

# Heizen mit warmer Luft

## Modellierung und Simulation von Luftkollektoren

von Th. Prinz, Th. Schmalschläger

Während die solarunterstützte Raumheizung mit Warmwasserkollektoren in der Öffentlichkeit schon längst einen hohen Bekanntheitsgrad erreicht hat, sind solarunterstützte Warmluftheizungen relativ unbekannt. Um den Münchner Solar-Service der Stadtwerke München in diesem Bereich zu erweitern, wurden im Rahmen einer Diplomarbeit Luftkollektoren anhand eines Berechnungsprogrammes simuliert und somit die Grundlage für eine mögliche Einbindung in Luftheizungen geschaffen.

Im Gegensatz zu den USA, wo der Einsatz von solaren Warmluftsystemen schon längst die Phase überschritten hat, während der Gebäude mit Luftkollektoren unter unglaublichen Beständen der Öffentlichkeit errichtet wurden, ist die Luftkollektor-Technologie in Deutschland auf ein paar realisierte Objekte begrenzt. Die Mehrzahl dieser Objekte sind Industriebauten und öffentliche Gebäude. Dagegen stellen Wohngebäude mit Luftkollektoren hier noch die Ausnahme dar.

### Vorteile der solaren Warmluftsysteme

Neben der Einsparung an konventionellen Energieträgern und der sich daraus ergebenden Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen für das Gesamtgebäude, wird durch die solare Warmluftheizung das leidige Thema der Belüftung von Räumen gelöst und somit die Feuchtheitproblematik herabgesetzt. Die Bausubstanz wird durch das Lüftungssystem aktiv vor Schäden bewahrt.

Im Vergleich zu den Warmwasserheizungen zeigt sich zusätzlich, daß durch das Wärmeträgermedium Luft in den Warmluftheizungen die bei

Wasserkollektoren spezifischen Probleme nicht auftreten können. Die Zugabe von Frostschutzmittel, wie bei Wasserkollektoren, erübrigt sich durch die Tatsache, daß Luft weder gefrieren noch sieden kann. Die Probleme bei eventuellen Undichtigkeiten des Kreislaufes sind dadurch nicht gegeben.

Niedrige Kollektorausstrittstemperaturen von 25 bis 30°C können bereits zur Beheizung von Räumen eingesetzt werden. Diese können im Winter erreicht werden. Das Heizungssystem kann schnell und schon bei geringsten Sonneneinstrahlungen genutzt werden. So kann ein Beitrag des solaren Luftsystemes aus diesen Gründen auch im Winter problemlos garantiert werden.

### Man unterscheidet vier Grundtypen von Luftkollektoren

Bei solaren Luftkollektoren kennt man vier Grundtypen, die sich jeweils in der Luftführung bezüglich des Absorbers unterscheiden. Auf dem Markt lassen sich so Luftkollektoren mit über-, unter-, um-, und durchströmten Absorbern finden. Abb. 1 zeigt den schematischen Aufbau dieser Luftkollektoren.

Zusätzlich zu diesen vier Grundtypen gibt es noch zahlreiche Applikationen, die sich vor allem durch die Form und den Aufbau des Absorbers unterscheiden. Diese Vielzahl ist ebenfalls ein Indiz dafür, daß die solaren Luftheizungen noch am Beginn ihrer Einführung stehen.

### Modellierung der Luftkollektoren

Die Modellierung von solaren Luftkollektoren wurde unter Benutzung des Computer-Programms EXCEL Version 5.0 realisiert, welches durch die Visual Basic-Sprache für derartige Aufgaben sehr geeignet ist.

Bei der herkömmlichen Modellierung von Solarkollektoren werden durch Bestimmung der Wärmebilanzen für die einzelnen Kollektorbauanteile (Absorber, Abdeckung und Isolierung) und des durchströmenden Fluids der Kollektorstufenwirkungsgradfaktor  $F'$  und der lineare Wärmeverlustkoeffizient  $k_{ges}$  für die Wirkungsgradgleichung des Kollektors bestimmt. Die Wirkungsgradgleichung lautet bekannterweise allgemein:

$$\eta = F' \cdot \left[ (\tau \cdot \alpha) - \frac{k_{ges} \cdot (T_L - T_{Umg})}{E_g} \right]$$

Die Bestimmung dieser beiden Faktoren erweist sich bei Betrachtung sämtlicher Verlustmechanismen eines Kollektors als sehr umfangreich und kann ohne entsprechendes Mathematikprogramm nicht mehr durchgeführt werden. Eine Einbindung dieser Faktoren in ein erstelltes Simulationsprogramm und die Berechnung des gesamten Luftkollektors erwies sich als sehr zeitaufwendig und wurde deshalb verworfen.

Eine Studie von K. S. Ong an der University of Malaya, Malaysia über solare Luftkollektoren wurde schließlich als Grundlage für das Simulationsprogramm herangezogen.

Auch bei dieser Studie basiert die Berechnung des Kollektors auf dem Aufstellen der Wärmebilanzen für die einzelnen Kollektorkomponenten (Abdeckung, Absorber und Isolierung) und des Wärmeträgermediums (Luft).

Entgegen der Berechnung der beiden Faktoren  $F'$  und  $k_{ges}$  werden bei diesem Modell die einzelnen Temperaturen der Komponenten und des Wärmeträgermediums iterativ durch Aufstellen und Lösen von Matrizen berechnet. Das thermische Netzwerk

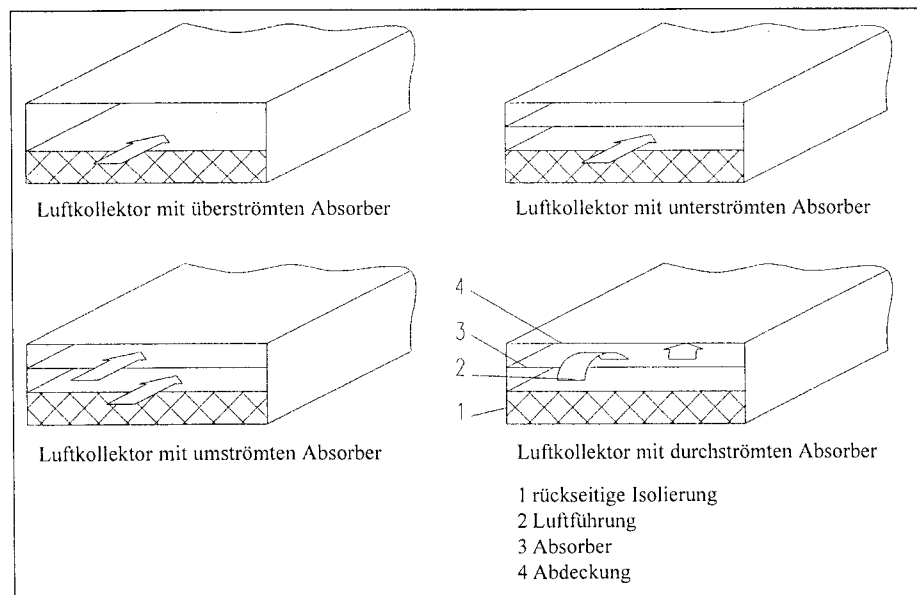


Abb. 1: Grundtypen der solaren Luftkollektoren

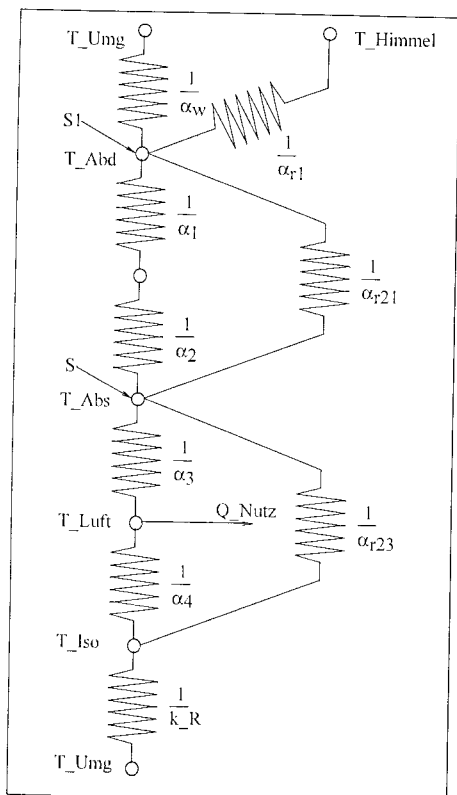


Abb. 2: Thermisches Netzwerk eines Luftkollektors mit unterströmten Absorber

eines Luftkollektors mit unterströmten Absorber ist in Abb. 2 dargestellt.

Um der Tatsache Rechnung zu tragen, daß der Temperaturverlauf im Inneren des Kollektors nicht linear verläuft, wird der Kollektor in mehrere, gleichlange Abschnitte unterteilt, in denen die Annahme der Linearität unter ausreichender Genauigkeit getroffen werden kann. Bei einer Wahl der Abschnittslänge von 0,5 bis 1 m zeigte sich durch Vergleiche mit Meßwerten, daß diese Annahme ausreichend ist.

Mit dieser rechnerischen Betrachtung wurde für die vier Grundtypen von solaren Luftkollektoren jeweils ein Modell geschrieben.

### Evaluierung des Programmes

An mehreren Instituten wurden Messungen an Luftkollektoren durch-

geführt. Von großer Bedeutung ist die Messung eines Luftkollektors mit durchströmten Absorber, da hier Meßergebnisse sowohl unter Laborbedingungen als auch unter natürlichen Bedingungen im Freilandversuch vorlagen. Die Messungen im Labor wurden am JRC, Ispra und der TNO Delft durchgeführt, dagegen lagen Meßergebnisse für den baugleichen Kollektor unter Freilandbedingungen von der bayerischen Landesanstalt für Landtechnik in Freising-Weihenstephan vor. Abb. 3 zeigt den Vergleich zwischen den vorliegenden Meßergebnissen und den von dem Berechnungsprogramm ermittelten Werten unter gleichen Bedingungen.

Bei den Meßwerten unter Laborbedingungen (JRC, TNO) zeigen sich sehr gute Übereinstimmungen mit den Werten des Berechnungsprogrammes. Bei diesen Werten handelte es sich um stationäre Betriebspunkte mit rein direkter Bestrahlung. Im Vergleich zwischen den Meßwerten des Freilandversuches Freising-Weihenstephan und den berechneten Werten zeigt sich, daß vor allem bei größeren Betriebsparametern von  $\Omega = (T_m - T_u)/G$  eine Abweichung vorhanden ist. Hierbei handelt es sich um Betriebspunkte, bei denen die mittlere Lufttemperatur um die 100°C liegt. Hier treten strömungsphysikalische Effekte auf, die in diesem Berechnungsprogramm nicht berücksichtigt werden konnten.

In dem für den Betrieb der Luftheizung relevanten Bereich mit kleineren Betriebsparametern, zeigt sich wiederum eine sehr gute Übereinstimmung der Meßwerte mit den berechneten Werten. Bei den Meßwerten zeigt sich der Unterschied zwischen Messungen unter Laborbedingungen (100 % direkte Strahlung) und den Bedingungen unter natürlichen Bedingungen sehr deutlich. Der Einfluß diffuser Strahlung spiegelt sich in den unterschiedlichen Wirkungsgraden wieder und kann bei der Mes-

sung und dem Betrieb von Solarkollektoren nicht vernachlässigt werden.

Neben der Studie über Luftkollektoren wurden von K. S. Ong auch Messungen unter Laborbedingungen an Luftkollektoren mit unter- und umströmten Absorbern durchgeführt. Ein Vergleich zwischen diesen Meßwerten und den berechneten Werten zeigte eine sehr gute Übereinstimmung. Die Abweichung der Austrittstemperaturen ist nur geringfügig und mehr als akzeptabel.

### Möglichkeiten des Berechnungsprogramms

Mit dem vorliegenden Berechnungsprogramm für Luftkollektoren ist es nun möglich, die vier Grundtypen auf ihr Wirkungsgradverhalten hin zu untersuchen. Neben der Auswahl des Kollektortypes besteht in diesem Berechnungsprogramm die Möglichkeit, die Geometrie des Kollektors sowie dessen Aufbau zu verändern.

Nicht nur der mögliche Einsatz von selektiven Beschichtungen des Absorbers kann untersucht werden, sondern auch der Einfluß von der Art der Abdeckung des Luftkollektors. So hat der Anwender die Auswahl verschiedener Abdeckungsvarianten, um deren Verhalten und Auswirkung auf den Wirkungsgrad des Kollektors zu verfolgen. Neben der herkömmlichen Einfach- und Doppelverglasung besteht die Möglichkeit, Kunststofffolien als Abdeckungsmaterial auszuwählen.

Die Befüllung von Edelgasen zwischen zwei Glas-Abdeckungen und deren Einfluß auf den Wirkungsgrad des solaren Luftkollektors ist eine weitere Option dieses Berechnungsprogramms. Der mögliche Einsatz transparenter Wärmedämmung als Abdeckungsmaterial für Luftkollektoren wurde ebenfalls in diesem Berechnungsprogramm eingebunden.

Neben der Möglichkeit, die Einflußgrößen auf den Wirkungsgrad des Luftkollektors zu untersuchen, kann

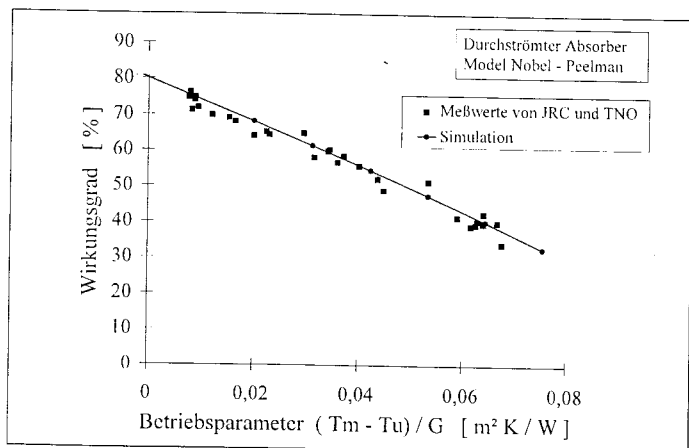


Abb. 3: Vergleich zwischen Meßwerten und berechneten Werten bei einem Luftkollektor mit durchströmten Absorber

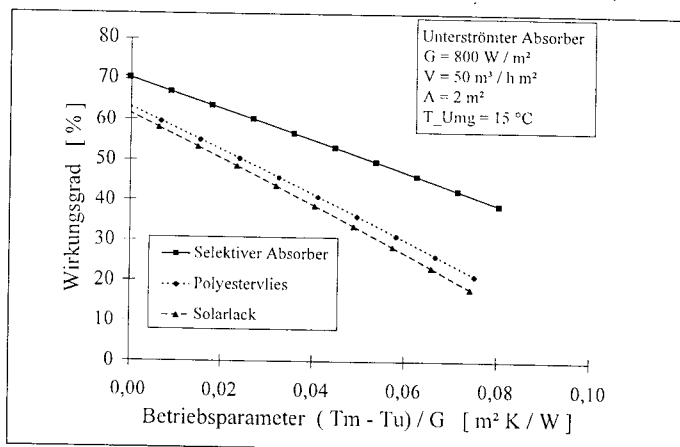


Abb. 4: Wirkungsgradverläufe eines Luftkollektors mit unterströmten Absorber bei verschiedenen Absorbermaterialien

anhand von Einstrahlungsdaten das Tagesverhalten der einzelnen Luftkollektoren simuliert werden, um so die tägliche Wärmelieferung des jeweiligen Kollektors zu bestimmen.

Grundlage für diese Berechnung ist die Dynamisierung des Berechnungsprogrammes, um so das instationäre Verhalten eines jeglichen Kollektors zu berücksichtigen. Dynamisierung bedeutet in diesem Fall die Berücksichtigung der spezifischen Wärmekapazitäten der einzelnen Kollektorkomponenten, welche die gespeicherte Wärme bei der Aufheizung und Abkühlung des Kollektors charakterisiert.

**Auswertung**

Anhand einer Sensitivitätsanalyse der Einflußgrößen wurden sämtliche Luftkollektor-Varianten in bezug auf ihren Wirkungsgrad untersucht. Aufgrund dieser Untersuchung ergab sich für jede Kollektorbauart die optimale Geometrie mit dem höchsten Wirkungsgrad. Im folgenden werden die Resultate kurz dargestellt.

• **optische Eigenschaften des Absorbers:**

Die Verwendung von selektiven Absorberbeschichtungen verringern,

wie bei herkömmlichen Wasserkollektoren, im hohen Maße die frontseitigen Verluste des Luftkollektors. Abb. 4 zeigt den Wirkungsgradverlauf eines Luftkollektors mit unterströmten Absorber unter Verwendung verschiedener Absorbermaterialien.

• **Höhe des Luftkanals:**

Geringe Bauhöhen des Luftkanals erhöhen den Wärmeübergangskoeffizienten von Absorber auf die durchströmende Luft. Dies führt zwangsläufig zu höheren Wirkungsgraden des Luftkollektors. Abb. 5 zeigt die Abhängigkeit des Wirkungsgrades und der Austrittstemperatur von der Bauhöhe des Luftkanals. Entgegenesetzt erhöhen sich aber die in Abb. 6 dargestellten Strömungsdruckverluste, die vor allem bei einem geschlossenen Heizkreislauf beachtet werden müssen. Die optimale Abmessung des Luftkanals liegt bei einer Höhe ab 1 bis 2 cm in Abhängigkeit des Volumendurchsatzes.

• **Eigenschaften der Isolierung:**

Wie zu erwarten, zeigt der Wirkungsgrad eine hohe Abhängigkeit von der Dicke des Isolierungsmaterials. Abb. 7 zeigt die Abhängigkeit des Wirkungsgrades und der Austrittstemperatur von der Dicke der

Isolierungsschicht auf der Rückseite eines Luftkollektors mit unterströmtem Absorber. Eine Isolierungsdicke auf der Rückseite des Kollektors sollte mindestens 5 bis 10 cm betragen. Weiterhin sollte der Emissionsgrad der Isolierungsoberfläche im Inneren des Luftkanals, entgegen dem von Wasserkollektoren, sehr hoch sein. Die Anbringung einer zusätzlichen seitlichen Isolierung kann dagegen sehr gering ausfallen oder sogar vernachlässigt werden.

• **Länge des Luftkollektors:**

Die Länge des Kollektors bestimmt in erster Linie die Austrittstemperatur und somit auch die spätere Auslegung des Kollektorfeldes. Abb. 8 zeigt die Temperaturverläufe der verschiedenen Kollektorkomponenten sowie des Wärmeträgermediums Luft in Abhängigkeit der Kollektorlänge.

Es zeigt sich sehr deutlich, daß der Temperaturverlauf der Kollektorkomponenten und des Wärmeträgers Luft im Kollektor nicht linear ist und sich immer mehr einem Grenzwert annähert.

Bei Luftkollektoren mit bis zu 7 m Länge können noch bedeutende Temperaturgewinne erzielt werden. Dagegen wirken sich weitere Verlän-

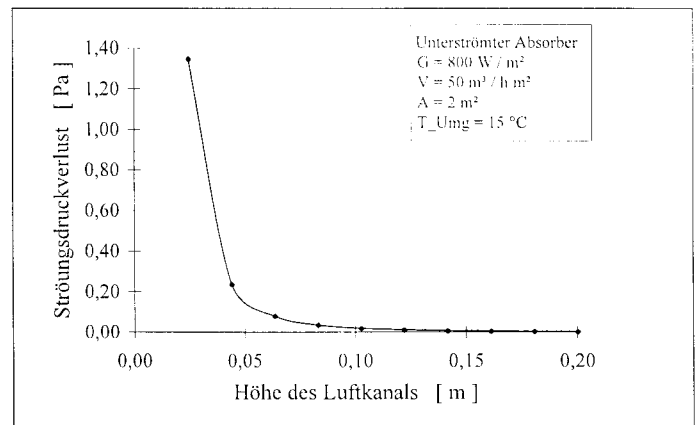
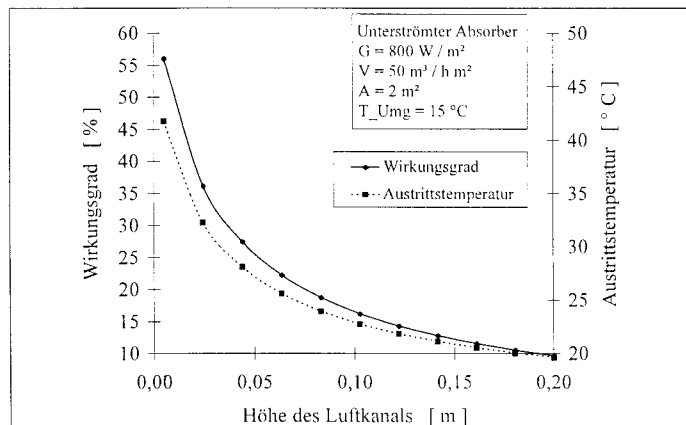


Abb. 5: Verlauf des Wirkungsgrades und der Austrittstemperatur bei einem Luftkollektor mit unterströmten Absorber bei unterschiedlichen Luftkanalhöhen

Abb. 6: Verlauf des Strömungsdruckverlustes bei einem Luftkollektor mit unterströmten Absorber bei unterschiedlichen Luftkanalhöhen

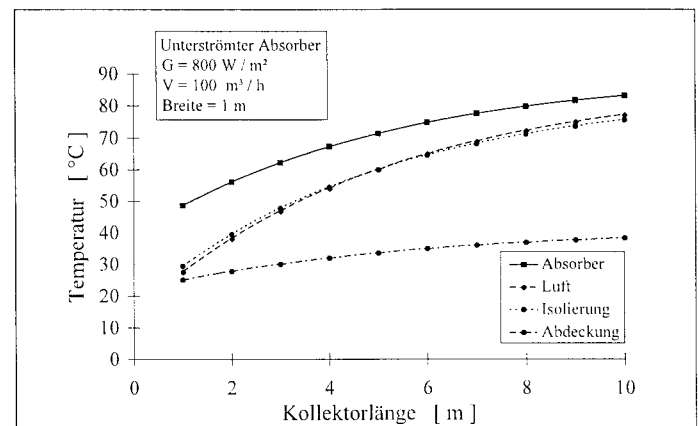
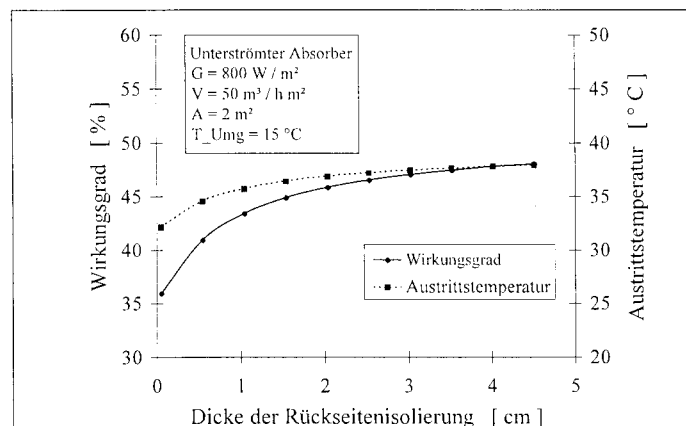


Abb. 7: Verlauf des Wirkungsgrades und der Austrittstemperatur bei einem Luftkollektor mit unterströmten Absorber bei unterschiedlichen Dicken der rückseitigen Isolierung

Abb. 8: Temperaturverläufe bei einem Luftkollektor mit unterströmten Absorber bei unterschiedlichen Längen des Luftkollektors

gerungen nur noch bedingt aus und müssen im Vergleich zu dem höheren Herstellungs- und Materialaufwand gesehen werden. Aus der obigen Abbildung kann geschlossen werden, daß eine Verlängerung des Kollektors über 10 m keine weitere Auswirkungen auf die Austrittstemperatur besitzt.

• *Art der Abdeckung:*

Die Art der Abdeckung bestimmt in großem Maße die frontseitigen Verluste und somit den Wirkungsgrad des Luftkollektors. Bei herkömmlichen Einfachverglasungen überragen die frontseitigen Verluste alle anderen. Der frontseitige Wärmeverlustkoeffizient beträgt hierbei um die  $5 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Durch Verwendung einer Doppelverglasung können die frontseitigen Verluste um mehr als die Hälfte reduziert werden. Durch den Einsatz von transparenter Wärmedämmung (TWD) als Abdeckung können die frontseitigen Verluste noch weiter verringert werden. Durch TWD kann der frontseitige Wärmeverlustkoeffizient auf  $1 \text{ W/m}^2\text{K}$  reduziert werden. Dies bedeutet gegenüber der Einfachverglasung eine Verringerung der frontseitigen Verluste um den Faktor 5.

Abb. 9 zeigt den Wirkungsgradverlauf eines Kollektors mit durchström-

ten Absorber mit verschiedenen Abdeckungsvarianten.

Der Einsatz von TWD richtet sich aber jeweils nach dem benötigten Temperaturniveau. Bei einer direkten Nutzung der erwärmten Luft im Gebäudereich ohne Speicher reicht ein Temperaturniveau von ca.  $30^\circ\text{C}$  aus. Diese Austrittstemperatur wird aber ohne Probleme von Luftkollektoren mit Einfachverglasung erreicht. Um den Herstellungsaufwand und die Herstellungskosten gering zu halten, ist es durchaus angebracht, auf den höheren Wirkungsgrad durch die TWD-Abdeckung zu verzichten. Ist ein höheres Temperaturniveau von Nöten, zum Beispiel durch die Anbindung an einen Gesteinsspeicher, kann die Anwendung von TWD als Abdeckung für den Luftkollektor durchaus angebracht sein.

Der Volumenstrom durch den Luftkollektor kann ebenfalls als Merkmal für die Auswahl der Abdeckung herangezogen werden. Bei einem hohen Volumenstrombedarf spielt die Auswahl der Abdeckung keine große Rolle, so daß auf die einfachste Form der Abdeckung zurückgegriffen werden kann.

Die Auswahl der geeigneten Kollektorvariante und der Kollektorgeometrie ist, wie zu erwarten, abhängig

von dem angegliederten Heizungssystem. Durch das Vorhandensein eines Feststoffspeichers werden an den Kollektor andere Bedingungen gestellt, als wenn die erwärmte Luft aus dem Kollektor direkt in die Wohnräume eingeblasen wird.

Die bestimmende Größe ist hierbei die Austrittstemperatur aus dem Luftkollektor. Während bei einer Direkt einblasung in die Wohnräume eine Temperatur bis zu  $30^\circ\text{C}$  ausreicht, muß bei einer wirtschaftlichen Betrachtung eines Feststoffspeichers die Eintrittstemperatur des Speichers mindestens  $50$  bis  $60^\circ\text{C}$  betragen.

In Abb. 10 bis 12 werden die erreichbaren Austrittstemperaturen eines Luftkollektors mit durchströmten Absorber bei unterschiedlichen Abdeckungsvarianten gezeigt.

Die Breite des Kollektors wurde dabei konstant auf  $1 \text{ m}$  gelassen. Die dabei zugrunde gelegten Einstrahlungsdaten entsprechen einem durchschnittlichen, schönen Mai-Tag um die Mittagszeit.

Aus den Abbildungen kann für den Einzelfall entschieden werden, unter welcher Einflußgröße (Kollektorränge, Volumenstrom, Austrittstemperatur) der Kollektor in seiner Bauweise aussehen muß. Dabei sollte aus rein wirtschaftlichen Aspekten

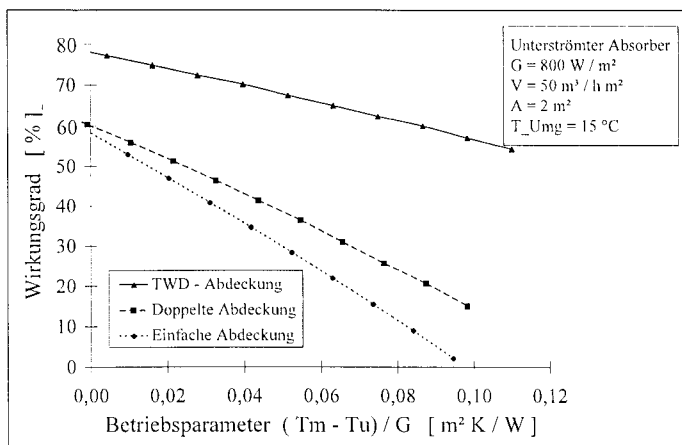


Abb. 9: Einfluß der Kollektor-Abdeckung auf den Wirkungsgradverlauf

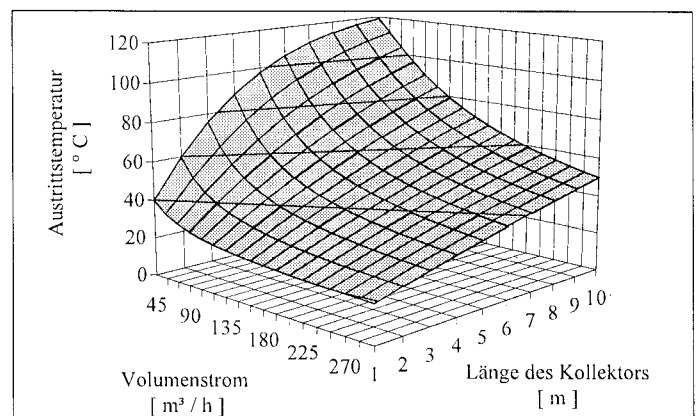


Abb. 11: Austrittstemperatur in Abhängigkeit der Kollektorränge und des Volumenstromes bei Luftkollektor mit durchströmten Absorber mit doppelter Abdeckung

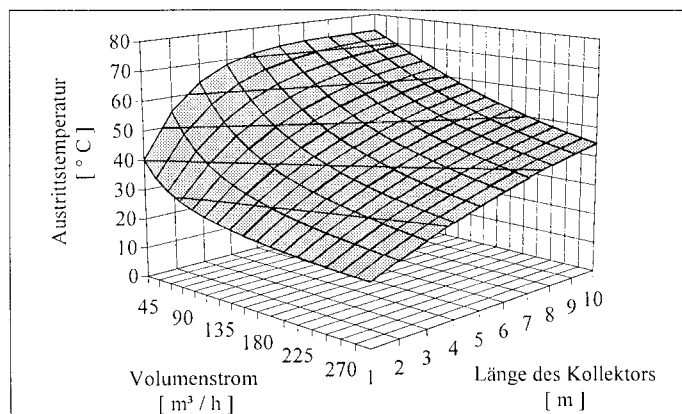


Abb. 10: Austrittstemperatur in Abhängigkeit der Kollektorränge und des Volumenstromes bei Luftkollektor mit durchströmten Absorber mit einfacher Abdeckung

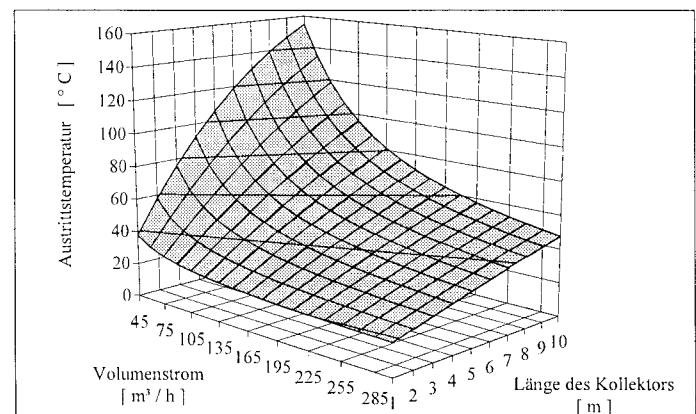


Abb. 12: Austrittstemperatur in Abhängigkeit der Kollektorränge und des Volumenstromes bei Luftkollektor mit durchströmten Absorber mit TWD-Abdeckung

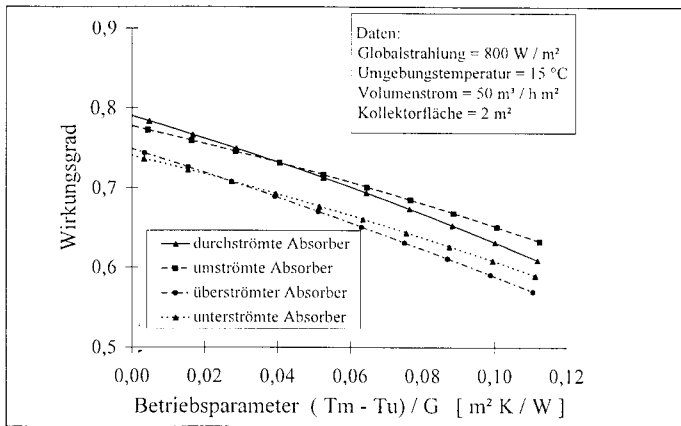


Abb. 13: Vergleich der verschiedenen Kollektor-Varianten

immer die Kollektorvariante mit dem einfachsten Aufbau gewählt werden, da diese gleichzeitig auch die am finanziell günstigste ist.

Man erkennt aus den obigen Abbildungen ebenfalls, daß bei zunehmendem Volumenstrom die Abhängigkeit von der Abdeckungsart abnimmt. Der Einsatz von TWD lohnt sich nur bei geringen Volumenströmen und falls hohe Austrittstemperaturen erreicht werden sollen, ansonsten verschwindet der Vorteil dieser Abdeckung und Einfach- und Doppelverglasungen können zur Anwendung gebracht werden.

## Resultat

Generell kann jede Kollektorvariante bezüglich ihres Wirkungsgradverhaltens, ihrem einfachen Aufbau, ihrer Handhabung, ihrer Verschaltungsmöglichkeit zu Kollektorfelder sowie ihrem Langzeitverhalten (Verschmutzung) beurteilt werden.

In dieser Arbeit sollte jedoch nur das reine Wirkungsgradverhalten der einzelnen Luftkollektoren dargestellt werden. Durch Vergleiche der einzelnen Kollektorvarianten mit den jeweils optimalen Geometrien zeigte sich, daß mit einem Luftkollektor mit durchströmten Absorber die höchsten Erträge zu erwarten sind. Dieses Abschneiden läßt sich durch den besseren Wärmeübergang zwischen Absorber und Luft erklären, da hier durch Durchströmung des Absorbers die effektive Wärmeübertragungsfläche am größten ist. Abb. 13 zeigt den Vergleich zwischen den einzelnen Kollektor-Typen.

Es zeigt sich in der obigen Abbildung, daß sich die Wirkungsgerade verschiedener Luftkollektoren überkreuzen. Da sich bei solaren Luftheizungen der Betriebsbereich der Luftkollektoren bei sehr kleinen Betriebsparametern befindet, kann eine Aussage über den effektivsten Kollektor getroffen werden.

Der Luftkollektor mit durchströmten Absorber erweist sich im Vergleich zu den anderen Kollektorbauarten als

effektivster Kollektor. Er ist jedoch in der heutigen Angebotsliste der Hersteller nicht vertreten.

Am gebräuchlichsten ist die Variante mit unterströmten Absorber, welche durch den einfacheren Aufbau und die Handhabung gekennzeichnet ist. Die Problematik der eventuellen Ver-

stopfung durch Staub bei Luftkollektoren mit durchströmten Absorber tritt bei diesen herkömmlichen Luftkollektoren nicht auf.

## Schlußfolgerung

Mit dem in dieser Diplomarbeit erstellten Berechnungsprogramm für solare Luftkollektoren ist es nicht nur möglich, die einzelnen Luftkollektorvarianten zu untersuchen, sondern auch die Wärmelieferung eines Luftkollektors in ausreichender Genauigkeit zu berechnen. In einem weiteren Schritt soll dem Kollektor eine Zusatzheizung nachgeschaltet werden. Dann ist es möglich, den solaren Deckungsanteil eines Luftkollektors im Frischluftbetrieb bei der Raumheizung zu bestimmen. Darüber hinaus soll auch ein Umluftbetrieb realisiert werden, der auch die Einbindung eines Feststoffspeichers vorsieht. Parallel wird ein PC-Programm entwickelt, das die f-Chart Methode für Luftheizungen umsetzt. Mit diesem Berechnungsprogramm wäre ein nutzbares Werkzeug geschaffen, mit dem die Einbindung von Luftkollektoren in ein Heizungssystem simuliert und somit dieses ausgelegt werden kann.

## Literatur

- /1/ Prinz, T.: Modellierung und Simulation von Sonnen-Luftkollektoren für den Einsatz in Wohngebäuden. Diplomarbeit, Stadtwerke München, 1996
- /2/ Ong, K. S.: Thermal Performance of Solar Air Heaters - Mathematical Model and Solution Procedure. Solar Energy Vol. 55, No. 2, S. 93-109, Pergamon Press, 1995.
- /3/ Ong, K. S.: Thermal Performance of Solar Air Heaters - Experimental Correlation. Solar Energy Vol. 55, No. 3, S. 209-220, Pergamon Press, 1995.
- /4/ Duffie, J. A. u. Beckman, W. A.: Solar Engineering of Thermal Processes. John Wiley & Sons, New York, 1980.
- /5/ Schmalschläger, T., Sporer, E. u. Brandstädter, B.: Konzeption einer solarunterstützten Warmluftheizung für ein Wohngebäude. In Proc. des fünften Symposiums Thermische Solarenergie, Kloster Banz,

21.-23. Juni 1995, Hrsg.: Ostbayerisches Technologie-Transfer Institut (OTTI), Regensburg, 1995, S. 77 - 81.

/6/ Schmalschläger, T.: Einsatz von Luftkollektoren zur Trocknung und Heizung. In Proc. der Fachtagung „Solare Trocknung und Heizung mit Luftkollektoren“ des Fachausschusses Thermie der DGS, Freising, 27. Oktober 1995. Hrsg.: Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie e.V., München, 1995.

## Wollen Sie noch mehr über Luftkollektoren erfahren?

Heft 24  
Landtechnik-Bericht



Solare Trocknung und Heizung mit Luftkollektoren  
Seminar des DGS-Fachausschusses Thermie und der Landtechnik Weihenstephan  
M. Beck, U. Berger, L. Klein

Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie e.V.  
International Solar Energy Society - German Section

DGS  
ISES

aus dem Inhalt:

- Einsatz von Luftkollektoren zur Trocknung und Heizung**  
 Thomas Schmalschläger  
 Stadtwerke München,  
 Abteilung Energieservice
- Solare Klärschlamm-trocknung**  
 Klaus Lakner  
 IST Energietechnik GmbH
- Kollektoranlagen zur Trocknung**  
 Kerstin Ribouni  
 PETKUS WUTHA GmbH
- Selbstbau von Warmluftkollektoren**  
 Manfred Beck  
 Landtechnik Weihenstephan
- Solare Trocknung und Heizung mit SOLARWALL Luftkollektoren**  
 Robert Seidemann  
 SOLARWALL
- Sonnenenergie zum Heizen?**  
 Siegfried Schröpf  
 Grammer KG
- Solare Gülletrocknung**  
 Manfred Reuß  
 Landtechnik Weihenstephan

Preis: DM 20,- inkl. Versand

DGS-Sonnenenergie Verlags-GmbH  
 Augustenstraße 79 · 80333 München  
 Tel.: 089/524071 · Fax: 089/521668