

Solarkollektoren – Technologien und Systemtechnik

Dr. Wolfgang Eisenmann
ISFH
w.eisenmann@isfh.de

Matthias Rommel
Fraunhofer ISE
matthias.rommel@ise.fraunhofer.de

Frank Späte
Solar-Institut Jülich -
Fachhochschule Aachen
spaete@sj.fh-aachen.de

Harald Drück
Universität Stuttgart;
Inst. für Thermodynamik
und Wärmetechnik
drueck@itw.uni-stuttgart.de

Einleitung

Die thermische Nutzung der Sonnenenergie ist in Deutschland seit rund 20 Jahren von einem starken Wachstum geprägt (Abb. 1). Die Branche hat sich und ihre Produkte in diesem Zeitraum deutlich professionalisiert.

Der Sonnenkollektor als Grundbaustein aller solarthermischen Systeme wandelt die auftreffende Solarstrahlung in Wärme um. Die wichtigsten Kollektorbauarten sind in Abb. 2 dargestellt.

Die verschiedenen Bauarten variieren deutlich in ihrer Leistungsfähigkeit und im Preis: Die unverglasten Kunststoffkollektoren werden zur Erwärmung von Freibädern im Temperaturbereich bis 30 °C eingesetzt, Flach- und Vakuumröhrenkollektoren zur Warmwasserbereitung und Gebäudeheizung sowie zur Klimatisierung im Temperaturbereich bis rund 80 °C, Parabolrinnen zur Bereitstellung industrieller Prozesswärme bis zu mehreren 100 Grad.

Damit stehen heute leistungsfähige und zuverlässige Kollektoren zur Verfügung, aber die Kosten müssen weiter gesenkt werden. Innovationen durch neue Materialien, Verfahren und Konzepte sind nach wie vor erforderlich.

Entwicklung der Kollektortechnik seit 1980

Besonders die Flachkollektoren sind in den letzten 25 Jahren weiter entwickelt worden. 1980 waren die verwendeten Absorberschichten für die Sonnenstrahlung meist nicht selektiv, und die transparente Abdeckung bestand häufig aus Kunststoffmaterialien. Die Einführung selektiver Absorberschichten wie z. B. Schwarzchrom ermöglichte einen entscheidenden Sprung in der Leistungsfähigkeit. Ab 1995 kamen die ersten in Vakuumverfahren hergestellten, hochselektiven Absorberschichten auf den Markt, die eine weitere Leistungssteigerung brachten.

Abbildung 1
Entwicklung des Kollektormarkts in Deutschland (Umrechnungsfaktor für alle Kollektorbauarten: $1 \text{ m}^2 \cong 700 \text{ W}_{th}$ vgl. [1])
Quelle: BSI

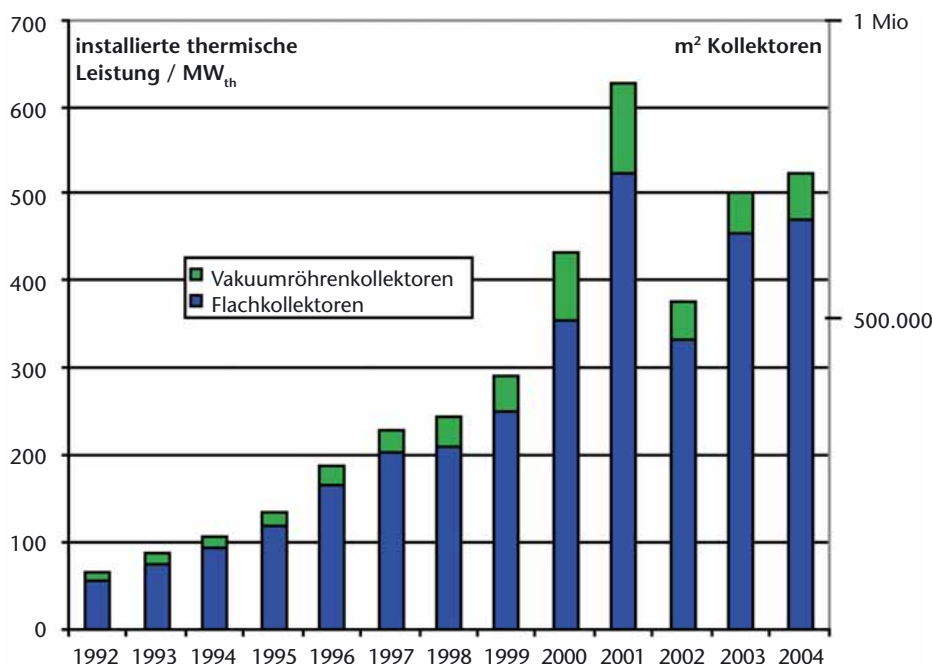


Abbildung 2
Bauarten von
Sonnenkollektoren



Flachkollektoren

unverglaster Kunststoffkollektor

Vakuumröhrenkollektor

Parabolrinnenkollektor

Diese „blauen Schichten“ haben inzwischen die Absorberschichten der ersten Generation weitgehend verdrängt.

Anfang der 90er Jahre hatte sich eisenarmes, hochtransparentes Sicherheitsglas als Material für die Kollektorabdeckung durchgesetzt. Die Verwendung von Klarglas oder schwachstrukturiertem Glas statt der vorher üblichen

prismierten Gläser hat zu weiteren Ertragssteigerungen geführt. Seit etwa 2001 wird auch Antireflexglas für Solarkollektoren verwendet [1].

Neben Absorberblechen aus Kupfer sind in jüngster Zeit auch Aluminiumbleche auf dem Markt. Bei den Fügeverfahren zur Verbindung von Absorberblech und den Fluidkanälen dominieren heute die Ultraschall- und die neu hinzugekommene Laserschweißung. In den letzten Jahren hat auch die Automatisierung der Produktion erhebliche Fortschritte gemacht.

Hochwertige Vakuumröhrenkollektoren stehen schon seit längerer Zeit zur Verfügung. In ihnen ist der Zwischenraum zwischen Absorber und Verglasung evakuiert. Gegenwärtige Entwicklungen zielen vor allem auf Kostensenkungen, Verkürzung der Montagezeiten und Beherrschung des Stillstandsverhaltens.

Forschungsbedarf zur Stillstandsproblematik thermischer Solaranlagen

Die gestiegene Leistungsfähigkeit von Flachkollektoren drückt sich auch in einer Erhöhung der maximalen Stillstandstemperatur von etwa 140 °C (1980) bis teilweise über 230 °C (2005) aus. Viele Solaranlagen, insbesondere solche zur Heizungsunterstützung, sind für den Sommerbetrieb überdimensioniert. Bei vollständig beladenem Wärmespeicher schaltet die Solarpumpe ab. Das führt dazu, dass sich die sonnenbestrahlten Kollektoren immer weiter aufheizen. Bei fortdauernder Solarstrahlung verdampft die Wärmeträgerflüssigkeit. Abhängig von der hydraulischen Ausführung der Kollektoren und des Kollektorkreislaufs kann sich heißer Dampf über weite Strecken ausbreiten [2]. Dies kann zur vorzeitigen Alterung oder Beschädigung temperaturempfindlicher Komponenten (z. B. Membranausdehnungsgefäß oder Solarpumpe) führen und auch das Fluid selbst kann thermisch zu stark belastet werden.

Der Trend zu höher dimensionierten Solaranlagen und die gestiegene Leistungsfähigkeit der Kollektoren fördern das Auftreten von Anlagenstillstand mit der Verdampfung der Wärmeträgerflüssigkeit.

*Abbildung 3
Metalldach-Sonnenkollektor nach dem Prinzip des Elastomer-Metall-Absorbers.
Oben: Formteile ohne und mit Elastomerschlauch, unten: Pilotanlage Freibad Nordstemmen*

Da aber hohe solare Deckungsanteile erforderlich sind, um fossile Brennstoffe möglichst weitgehend zu ersetzen und damit die Emission des klimaschädlichen Kohlendioxids zu reduzieren, müssen dringend Lösungen für die Stillstandsproblematik gefunden werden. Das Bundesumweltministerium fördert aus diesem Grund das Verbundprojekt „Systemuntersuchungen großer solar-thermischer Kombianlagen“, an dem die Firmen ZfS-Rationelle Energietechnik GmbH und Solar und Wärmetechnik Stuttgart (SWT) sowie die Forschungsinstitute Fraunhofer ISE und ISFH beteiligt sind (siehe auch [3]). Neben der Optimierung der Anlagentechnik für Großanlagen zur solaren Heizungsunterstützung ist es das Ziel, Ansätze zur Beherrschung des Stillstands Betriebs zu entwickeln. Hierzu ist vor allem das Verständnis der Vorgänge während der Stagnation durch Experimente an Einzelkollektoren, Test-Kollektorfeldern und realen Anlagen entscheidend verbessert worden.

Gebäudeintegration von Kollektoren

Wenn der Kollektor zusätzlich die Funktion der Gebäudehülle (Dach oder Fassade) übernimmt, ermöglicht diese Doppelnutzung wichtige Potenziale zur Kostensenkung. Des Weiteren bewirkt ein dach- oder fassadenintegrierter Kollektor – wenn er ohne thermische Trennung (Hinterlüftung) integriert ist – im Jahresmittel eine effektive Reduzierung der Wärmeverluste der Gebäudehülle, da sich der Absorber auch im Winter bei schwacher Solarstrahlung, die keinen Kollektorbetrieb ermöglicht, über Umgebungstemperatur erwärmt. Der Kollektor kann also insbesondere in der energetischen Sanierung des Gebäudebestandes und auch als Gestaltungselement eingesetzt werden.

Die Integration in die Fassade ist besonders interessant für Systeme mit hohen solaren Deckungsanteilen, weil der jahreszeitliche Verlauf der Einstrahlung auf die Kollektoren dem der Heizperiode besser angepasst ist und weil wesentlich seltener Stillstandsbetrieb entsteht als bei dachinstallierten Kollektoren.



Moderne Metalldächer sind architektonisch attraktiv und können so konstruiert werden, dass sie gleichzeitig als Sonnenkollektoren dienen. Die am ISFH entwickelten Konzepte für diese doppelte Nutzung von Dächern eröffnen neue Märkte für die Solarthermie, ermöglichen wichtige Kostensenkungen und sind architektonisch ansprechend. So ist es z. B. möglich, Zinkdächer als unverglaste Kollektoren auszuführen. Der Transport der Solarwärme erfolgt durch Kapillarrohrrmatten, die vom Wärmeträgermedium durchströmt werden und die auf die Rückseite des Zinkblechs aufgeklebt sind.

Dunkle Metalldächer aus Formteilen können mit Ω -förmigen Vertiefungen (sogenannten Sicken) ausgeführt werden, in die Schläuche aus Spezial-EPDM¹ eingelegt werden (s. Abb. 3, oben). Die absorbierte Sonnenenergie wird durch das in den Schläuchen zirkulierende Wasser aufgenommen und der Nutzung zugeführt. Die Konstruktion ist frostsicher, da der Schlauch die Volumenausdehnung beim Gefrieren problemlos aufnimmt. Dieses Prinzip des Elastomer-Metall-Absorbers (EMA) ermöglicht die Realisierung großflächiger, gebäudeintegrierter, kostengünstiger Sonnenkollektoren. Wenn höhere Wasser-

¹ EPDM: Ethylen-Propylen-Dien-Monomer Gummi

temperaturen gefordert sind, kann der Kollektor auch verglast ausgeführt werden. *Abb. 3* zeigt die erste Pilotanlage im Freibad Nordstemmen, die 2005 im Rahmen eines von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) geförderten Projektes des ISFH realisiert wurde. Weitere mögliche Anwendungsbereiche sind industrielle Prozesswärme, Wasserentsalzung und Warmwasserbereitung.

Innovationen

Neue Materialien

Die Verwendung neuer Materialien für nahezu alle Komponenten des Kollektors eröffnet neue Chancen:

- Beim Absorbermaterial sind neben Kupfer und Aluminium auch Stahl oder Kunststoffe interessante Optionen.
- Farbige Absorberschichten (teilstelektive Lacke) sind Gegenstand intensiver Forschung [3] und werden sicher die Akzeptanz der Solartechnik bei Architekten verbessern und bieten erhebliche Kostensenkungspotenziale. Sie können in Zukunft auch auf unverglasteten Kollektoren im Dach oder in der Fassade angewendet werden.

Selbstreinigende Antireflexverglasungen könnten hohe Erträge ohne Alterungserscheinungen sicherstellen. Kollektorgehäuse aus Kunststoff sind bei hohen Stückzahlen kostengünstiger als die heute gängigen Aluminium-Rahmenkonstruktionen. Hochtemperaturbeständige Vakuumdämmungen ermöglichen sehr flache, leistungsstarke Kollektoren, die sich auch in Fensterkonstruktionen einbauen lassen [5]. Neue Kollektorfluide könnten mittelfristig die Stillstandsproblematik entschärfen [6].

Neue Verfahren

Ein Solarkollektor mit bionischen Strömungsstrukturen wird derzeit am Fraunhofer ISE entwickelt [6]. Natürliche Konstruktionen weisen im Gegensatz zu üblichen seriellen oder parallelen Kanalanordnungen in Solarabsorbern meist mehrfach verzweigte („fraktale“) Netzwerke auf. Im Rahmen eines von der DBU geförderten Projekts wird dieses biologische Prinzip auf



Abbildung 4
Absorber mit
bionischer
Strömungsstruktur

die Technik übertragen, um eine gleichmäßige Durchströmung bei geringem Druckverlust zu erreichen. Mit Hilfe eines mathematischen Algorithmus (FracTherm) ist es möglich, eine gegebene Fläche mit festgelegtem Ein- und Austrittspunkt mit einem fraktalen Hydrauliknetzwerk zu versehen. Der in *Abb. 4* gezeigte Absorber wurde mit Hilfe eines Verfahrens gefertigt, das den Vorteil bietet, auch sehr komplexe Geometrien herzustellen zu können. Die Absorber erreichen dadurch sehr hohe Kollektorwirkungsgradfaktoren, d. h. die Solarstrahlung wird sehr effektiv auf das Fluid übertragen. Bisherige Untersuchungen des FracTherm-Absorbers zeigten eine gleichmäßigere Durchströmung und bei hohen Massenströmen einen geringeren Druckverlust als bei vergleichbaren Absorbern mit paralleler Kanalanordnung (Harfenabsorber). Das ästhetische Aussehen könnte bei zukünftigen Entwicklungen vor allem auch für Solarfassaden interessant sein.

Konzepte für Prozesswärme

Die hohen Energiepreise erhöhen die Nachfrage nach solar erzeugter Wärme. Das gilt auch für Wärme mit höherem Temperaturniveau z. B. für industrielle Prozesse (100 – 300 °C) oder Klimatisierung (> 80 °C). Zur Zeit werden angepasste und neuartige Kollektorkonzepte dafür intensiv erforscht und für den Markt erschlossen (siehe zum Beispiel [7]).

Abbildung 5
Parabolrinnenkollektor
des SIJ (Prototyp)



Folgende Konzepte sind in der Entwicklung:

- Spezielle Flachkollektoren mit zweifacher, reflexionsarmer Verglasung und Argonfüllung im Scheibenzwischenraum.
- Konzentrierende Kollektoren, insbesondere Parabolrinnenkollektoren. An diesen Entwicklungen arbeiten z. B. die Firma Kopf gemeinsam mit der AEE in Österreich oder die Firma Solitem gemeinsam mit dem DLR in Köln und dem Solar-Institut Jülich (SIJ). Bei der SIJ-Entwicklung einer kleinen Parabolrinne ($2 \times 1 \text{ m}^2$) als Absorber wurde eine preiswerte, leistungsfähige Vakuumröhre chinesischer Bauart verwendet (Abb. 5)
- Ein Vakuumreceiver für große Rinnen wurde von der Firma Schott entwickelt und wird in der „Euro-Trough“-Rinne, einer europäischen Entwicklung unter Beteiligung des DLR, eingesetzt. Dies ist die derzeit leistungsfähigste Parabolrinne.

Weitere Konzepte

Solarkollektoren, die statt Flüssigkeiten Luft in den Fluidkanälen verwenden, werden als Luftkollektoren bezeichnet. Sie bieten sich vor allem dort an, wo auch das Wärmeversorgungssystem mit Luft betrieben wird, z. B. bei der Hallenheizung oder bei sorptionsgestützter Klimatisierung. Wesentliche Vorteile sind die inhärente Frostsicherheit und das unproblematische Stillstandsverhalten.

Photovoltaisch-thermische Hybridkollektoren (PVT) erzeugen aus dem Sonnenlicht gemeinsam thermische und elektrische Energie, indem die Abwärme der Solarzellen einer thermischen Nutzung zugeführt wird. Diese Systeme verfügen über eine hohe Gesamtausbeute. Sie weisen außerdem Potenziale für Kosteneinsparungen gegenüber getrennten Photovoltaik- und Kollektorsystemen auf, da nur ein Gehäuse und nur ein Montageschritt erforderlich sind. Zudem wird ein gemeinsamer Vertrieb von Solarstrom- und Solarwärmesystemen ermöglicht. Diese Vorteile können langfristig an Bedeutung gewinnen, wenn die Dachflächen knapper werden oder die Installationskosten gesenkt werden sollen. Nachteilig ist, dass die thermische Leistungsfähigkeit von PVT-Kollektoren beim gegenwärtigen Stand der Technik im Vergleich zu herkömmlichen Flachkollektoren deutlich reduziert ist. Außerdem weisen heute viele Komponenten (insbesondere das Laminat und Elektronikbauteile für den PV-Teil) eine zu geringe Temperaturbeständigkeit für den Einsatz in verglasten PVT-Kollektoren auf. Erhebliche Forschungsanstrengungen zur Verbesserung der Materialien und Wärmeübergänge sind erforderlich, um die hohen Potenziale realisieren zu können und um marktreife Produkte zu entwickeln. Im laufenden EU-Projekt „PV-Catapult“ ist unter Beteiligung des Fraunhofer ISE und des ISFH ein Entwicklungs- und Vermarktungsplan für PVT-Systeme erarbeitet worden [8].

Genormte Verfahren zur Prüfung der Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit sind gerade für die Entwicklung und Einführung innovativer Kollektoren besonders wichtig. Für die heute marktgängigen Bauarten findet EN 12975 Anwendung. Zusätzlich zu den genormten Verfahren ist es aber auch wichtig zu wissen, wie sich die Leistungsfähigkeit der Kollektoren im Lauf

der Zeit verändert. Ursächlich für eine eventuelle Abnahme der Kollektorleistung können z.B. Degradationserscheinungen der Absorberschicht oder eine Abnahme der Transmission der Glasscheibe sein. In dem am Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik (ITW) bearbeiteten Vorhaben „QanKoll“, gefördert durch das Förderprogramm Solarthermie 2000 plus des BMU wird zur Zeit das Alterungsverhalten der gegenwärtigen Generation von Sonnenkollektoren untersucht.

Zusammenfassung und Ausblick

Die Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit heutiger Sonnenkollektoren hat einen hohen Stand erreicht. Dennoch müssen für eine verbesserte Wirtschaftlichkeit die Gestehungskosten der Solarwärme weiter deutlich gesenkt werden. Große Potenziale liegen für Warmwasser-Systeme weniger in einer weiteren Steigerung der Leistungsfähigkeit als vielmehr in einer Verbesserung des Preis/Leistungs-Verhältnisses. Weitere Verbesserungen der Zuverlässigkeit sind vor allem für eine sichere Beherrschung des Stillstandsbetriebs in Kollektor und Kollektorkreislauf erforderlich.

Zur Erreichung dieser Ziele und für neue Anwendungsbereiche ist die Entwicklung und Verwendung neuer Materialien für nahezu alle Komponenten des Kollektors erforderlich. Zur Erprobung dieser Materialien werden immer wieder Langzeit- und Alterungsuntersuchungen notwendig sein. Neue Kollektorkonzepte werden insbesondere zur Erschließung neuer Anwendungsbereiche für höhere Betriebstemperaturen benötigt: Prozesswärme, solare Kühlung, Meerwasserentsalzung etc.

Mit der Verbreiterung der Anwendungsgebiete der Solarwärme wird auch eine Diversifizierung der Kolleortypen unter Entwicklung anwendungsspezifisch optimierter Bauarten einhergehen. Luftkollektoren, konzentrierende Kollektoren und photovoltaisch-thermische Hybridkollektoren sind interessante Konzepte für die Zukunft, für die auch angepasste Prüfverfahren und -normen entwickelt werden müssen.

Der Trend zu größeren Kollektorflächen lässt sinkende anteilige Installationskosten erwarten. Gebäudeintegration und farbige Absorberschichten werden die Möglichkeiten zur architektonischen Gestaltung weiter verbessern. Die zunehmende Automatisierung der Produktion und die Verfeinerung der Qualitätssysteme der Hersteller werden die Konstanz der Fertigungsqualität noch erhöhen und die Kosten senken.

Literatur

- [1] Weitere Informationen zur neuen, auf die Leistung bezogenen Solarwärme-Statistik siehe http://www.iea-shc.org/welcome/Technical_note_solar_thermal_capacity.doc
- [2] Hausner H., Fink C.: Stagnation behaviour of solar thermal systems. Download unter http://www.iea-shc.org/outputs/task26/A_Hausner_Stagnation.pdf
- [3] <http://solarkombianlagen-xl.info>
- [4] Berner J.: Energiereiche Farben. Sonne, Wind und Wärme 09-2005, S. 38-40
- [5] Reim M. et al.: Silica aerogel granulate material for thermal insulation and daylighting. Solar Energy 79 (2005) 131-139.
- [6] Bösmann A.: Ionische Flüssigkeiten als neue Wärmeträgermedien. Tagungsband 13. Symposium Thermische Solarenergie OTTI, S. 174-178, 2003
- [7] Hermann M.: Entwicklung des FracTherm-Absorbers – Simulationen und Experimente. Tagungsband 15. Symposium Thermische Solarenergie OTTI, S. 94-99, 2005
- [8] Rommel M., Weiss W. (ed.): Medium Temperature Collectors. Download unter http://www.iea-shc.org/3_1.html (IEA SHC Task 33)
- [9] Download der Roadmap unter http://www.pvtforum.org/f_roadmap.html