



Solare Prozesswärme

*Mit Solarthermie Abläufe in Industrie
und Gewerbe unterstützen*

Zur Sache

Die meisten Nutzer kennen Solarthermieanlagen vor allem als Wärmelieferanten für Heizung und Warmwasser in Wohngebäuden. Und dies zu recht: Rund 90 % der Anlagen werden in Ein- und Zweifamilienhäusern installiert (Stand: 2015). Daneben gibt es weitere Bereiche, in denen es sinnvoll sein kann auf Solarthermie zu setzen. Dazu zählt etwa die Einbindung von Solarthermie in Nah- und Fernwärmenetze, die solare Klimatisierung sowie solare Prozesswärme für Industrie und Gewerbe. Für Unternehmen, die langfristig Energiekosten sparen und die eigene CO₂-Bilanz verbessern möchten, kann es interessant sein, Solarthermie in ihre Prozesse zu integrieren. Inwiefern mit einer Solaranlage Kosten eingespart werden können, hängt von vielen Faktoren ab: vom Umfang der Maßnahmen, von den gewählten Techniken und nicht zuletzt von der künftigen Entwicklung der Energiepreise. Sicher ist aber, dass eine Solaranlage einen Beitrag zur Reduktion des CO₂-Ausstoßes leistet.

Da Wärme nicht verlustarm über weite Strecken transportiert werden kann, sind für die Nutzung solarer Prozesswärme nur Standorte geeignet, bei denen sowohl günstige Einstrahlbedingungen als auch genügend Fläche vorhanden ist, um Kollektoren aufzustellen. In Zeiten geringer solarer Einstrahlung müssen konventionelle Anlagen den Bedarf komplett decken können. Vor allem Unternehmen mit reinem Tagesbetrieb und mit Prozessen, für die eine vergleichsweise geringe Temperatur erforderlich ist, sind für eine Einbindung von Solaranlagen interessant. Geeignete Einsatzgebiete bietet hier zum Beispiel die Lebensmittelindustrie.

In Abgrenzung zu Raumwärme und Warmwasserbereitung bezeichnet solare Prozesswärme solar bereitgestellte Wärme, die in Betrieben zur Herstellung, Weiterverarbeitung oder Veredelung von Produkten verwendet oder zur Erbringung einer Dienstleistung mit Prozesswärmebedarf genutzt wird. Die Nutzung erneuerbarer Energien zur Bereitstellung von Wärme und Kälte wird im Rahmen des Marktanzreizprogramms zur Förderung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt (MAP) des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie gefördert. Hier gibt es auch Fördermöglichkeiten für Prozesswärme, die in solarthermischen Anlagen erzeugt wird.

Im Vergleich zu Anwendungen in Haushalten variieren die Anlagenkonzepte in Industrie und Gewerbe wesentlich stärker. Planer müssen die Solaranlagen individuell an die Erfordernisse des jeweiligen Unternehmens anpassen. Diese Publikation stellt technische Besonderheiten, typische Einsatzgebiete sowie Leitfäden und Fördermöglichkeiten für den Einsatz von solarer Prozesswärme vor.

Ihre BINE-Redaktion wünscht Ihnen eine anregende Lektüre

Autoren

Dr. Bastian Schmitt, Universität Kassel,
Institut für Thermische Energietechnik
M.Sc. Dominik Ritter, Universität Kassel,
Institut für Thermische Energietechnik
Dr. Federico Giovannetti,
Institut für Solarenergieforschung
Hameln (ISFH)

Redaktion

Birgit Schneider

Urheberrecht

Eine Verwendung von Text und Abbildungen aus dieser Publikation ist nur mit Zustimmung der BINE-Redaktion gestattet. Sprechen Sie uns an.

Titelbild:

Ritter XL Solar GmbH

Aufmacherbilder:

S.3 Universität Kassel
S.6 Universität Kassel
S.11 Ritter XL Solar GmbH
S.15 Ritter XL Solar GmbH
S.18 Industrial Solar GmbH

Inhalt

- 3** Potenzial für Solarthermie
- 6** Technische Herausforderungen
- 9** Aus der Praxis: Mit Hilfe der Sonne Autos waschen
- 11** Solare Prozesswärme praktisch umgesetzt
- 13** Aus der Praxis: Solarthermie in Wäscherei integriert
- 15** Kollektoren für Prozesswärme
- 17** Aus der Praxis: Solarenergie für die Autoindustrie
- 18** Methoden international aufbereitet
- 19** En passant: Mit Solarwärme kühlen
- 20** Ausblick



Kaiserstraße 185-197, 53113 Bonn
Tel. 0228 92379-0
kontakt@bine.info
www.bine.info



Potenzial für Solarthermie

Rund drei Viertel des Endenergieverbrauchs der Industrie in Deutschland fällt für Prozess- und Raumwärme an. Vor allem im Niedertemperaturbereich bieten sich hier sowie im Sektor Gewerbe, Handel und Dienstleistung vielfältige Einsatzgebiete für solare Wärme an. Internationale Studien belegen das weltweite Potenzial dieser Technologie.

Um die CO₂-Emissionen in Industrie und Gewerbe langfristig zu reduzieren, muss hier der Wärmebedarf sinken und der Einsatz erneuerbarer Energien zunehmen. Dazu sollten Unternehmen zunächst prüfen, ob Maßnahmen zur Effizienzsteigerung oder Wärmerückgewinnung sinnvoll sind. So fällt in Produktionshallen und Werkstätten häufig Abwärme an, die für Prozesse wie Heizen oder Trocknen wieder verwendet werden kann. In vielen Fällen können industrielle Abläufe mit erneuerbaren Energien unterstützt werden. Die solare Prozesswärme bietet hier vielfältige Möglichkeiten, um den Bedarf an fossilen Energieträgern zu reduzieren. Solare Prozesswärme lässt sich besonders wirtschaftlich umsetzen, wenn Temperaturen unter 100 °C bereitgestellt werden sollen, hierfür keine Abwärme genutzt werden kann und ein konstanter Wärmebedarf zumindest in den strahlungsreichen Monaten April bis September gegeben ist.

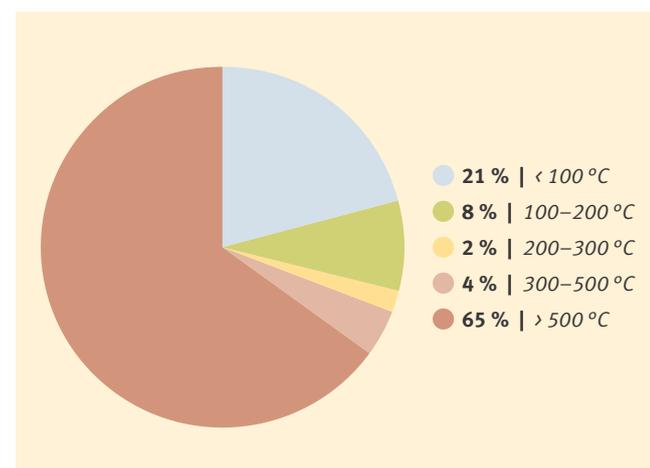
Das theoretische Potenzial für den Einsatz der Solarthermie lässt sich am Wärmebedarf der einzelnen Sektoren ablesen. Spitzenreiter ist die Industrie, sie benötigt 73 % der Endenergie für Wärme. Mit 55 % folgen Gewerbe, Handel und Dienstleistung (GHD). Allerdings reicht der alleinige Blick auf den Prozess- und Raumwärmebedarf nicht aus, um mögliche Anwendungen für solare Prozesswärme zu identifizieren. Ein wesentliches Auswahlkriterium ist das benötigte Temperaturniveau. Für den technologisch realisierbaren Temperaturbereich von maximal 300 °C kann solare Prozesswärme nach Berechnungen der Universität Kassel rund 3,5 % des industriellen Wärmebedarfs decken. Dies entspricht etwa 16 TWh/a. Bei einem durchschnittlichen Systemertrag von 400 kWh/(m²a) sind dies rund 40 Millionen m² Kollektorfläche, also etwa 5.600 Fußballfelder. Aufgrund der geringen Direktstrahlung in Deutschland konzentriert man sich hierzulande jedoch auf den Temperaturbereich unter 150 °C.

Im GHD-Sektor gibt es fast keine Prozesse, für die Hochtemperatur benötigt wird. Das heißt, ein wesentlich größerer Anteil des Wärmebedarfs könnte theoretisch mit Solarwärme gedeckt werden. Mit einer Kollektorfläche von rund 100 Millionen m² (zum Vergleich: aktuell ist in Deutschland eine Kollektorfläche von etwa 20 Millionen m² installiert)

könnte die Solarthermie nach Schätzungen der Universität Kassel 40 TWh/a Wärme in diesem Sektor zur Verfügung stellen. Im Unterschied zur Industrie ist der Wärmebedarf hier allerdings wesentlich stärker saisonal geprägt, da der Anteil des Raumwärmebedarfs größer ist. Im Sommer reduziert sich der Wärmebedarf.

Prozesse unter 100 °C sind besonders gut geeignet, um Solarwärme einzubinden. Für viele Abläufe in Industrie, Gewerbe, Handel und Dienstleistung wird dieses Temperaturniveau benötigt. Beispiele sind das Aufwärmen von Kesselspeise- oder Kesselzusatzwasser, mit dem industrielle Prozesse beheizt werden, sowie Waschen, Reinigen oder Trocknen (Abb. 2). Ein signifikanter Teil des Niedertemperaturwärmebedarfs ist auf raumlufttechnische Anlagen zurückzuführen. Diese werden in vielen Branchen eingesetzt, um mit vorgegebener Luftfeuchte und Temperatur definierte Produktionsbedingungen zu schaffen. Je nach Branche und hergestelltem, verarbeitetem oder veredeltem Produkt können die Temperaturen eines Prozesses stark variieren.

Abb. 1 Wärmebedarf in der Industrie nach Temperaturniveau
Quelle: Universität Kassel



Theoretisch: Lebensmittelindustrie besonders interessant

Im Vergleich mit anderen Industriesektoren haben die Chemie- und die Lebensmittelindustrie einen sehr hohen Wärmebedarf. Dies macht sie für den Einsatz solarer Prozesswärme besonders interessant. Allerdings fällt bei der chemischen Industrie mehr als 60 % des Wärmebedarfs oberhalb einer Temperatur von 500 °C an. Dadurch sind bedeutende Abwärmemengen vorhanden, die für Nieder-temperaturprozesse genutzt werden können und die Einsatzmöglichkeiten von Solarthermie einschränken. Demnach ist die Lebensmittelindustrie die vielversprechendste Branche für die Nutzung solarer Prozesswärme. Dies zeigt sich auch an der relativ hohen Anzahl der bisher

weltweit eingesetzten Solaranlagen bei der Herstellung oder Verarbeitung von Lebensmitteln.

Ein Großteil der Prozesse bei der Herstellung und Verarbeitung von Lebensmitteln laufen bei einer Temperatur unterhalb von 100 °C (Abb. 3). Da es in der Lebensmittelindustrie strenge Hygienevorschriften gibt, spielen Reinigungsvorgänge hier eine große Rolle. Je nach Verfahren resultiert daraus ein hoher Bedarf an Wärme zur Beheizung der automatisierten Reinigungsanlagen oder ein sehr großer Warmwasserbedarf. Neben der Reinigung von Produktionsanlagen betrifft dies auch die verwendeten Behälter wie Flaschen, Kisten, Gläser oder Formen, die das Zwischen- oder Endprodukt enthalten.

Ein weiterer relevanter Prozessschritt ist das Trocknen, das häufig der letzte Schritt in der thermischen Prozesskette ist und den Energieverbrauch eines Unternehmens maßgeblich beeinflussen kann. Um die Produkte zu schonen, sind beim Trocknen oft nur niedrige Temperaturen erforderlich. Zusätzlich dauert die Trocknung teils sehr lange. Beides macht diesen Prozess für den Einsatz von Solarwärme besonders interessant.

Um Lebensmittel haltbar zu machen, werden diese häufig pasteurisiert. Dabei wird das Produkt auf etwa 70 °C bis 100 °C erwärmt. Bei höheren Temperaturen spricht man von Sterilisation. Auch dieser Ablauf kann solar unterstützt werden, ist jedoch komplizierter zu erschließen.

Neben der Lebensmittelindustrie ist auch der klassische Maschinenbau für die Nutzung solarer Prozesswärme interessant. Bei der Herstellung von Kraftwagen und Metallzeugnissen sowie im Maschinenbau wird ein Großteil des Wärmebedarfs für Warmwasser, Raumheizung und raumlufttechnische Anlagen benötigt. Das hierfür erforderliche Temperaturniveau spricht für einen Einsatz von Solarenergie.

Die meisten Anlagen in Gewerbe und Landwirtschaft

Mittlerweile sind in Deutschland über 200 Solaranlagen zur Bereitstellung von Prozesswärme in Betrieb, Bau oder Planung. Auch wenn das größte Potenzial für deren Einsatz im industriellen Bereich liegt, wurden bislang die meisten dieser Anlagen in Gewerbe und Landwirtschaft mit eher kleineren Kollektorflächen (durchschnittlich 60 m²) installiert. Ein Blick auf die Anwendungsbereiche der existierenden Anlagen zeigt, dass ein Viertel der Anlagen (bezogen auf die Kollektorfläche) zur Trocknung eingesetzt wird. Dabei spielt vor allem die Biomasse-trocknung eine wichtige Rolle. Einen weiteren großen Anteil haben die beiden Anwendungen Fahrzeugreinigung und Tierzucht. Während es bei der Fahrzeugreinigung auch mehrere Anlagen über 100 m² Kollektorfläche gibt (die größte hat knapp 600 m²), sind die realisierten Anlagen zur Tierzucht fast ausschließlich kleiner als 100 m² (der Durchschnitt liegt bei 50 m²). Die Solaranlagen im industriellen Sektor wie beispielsweise bei Brauereien, Galvanikbetrieben oder der Gas-Druckregelung weisen hingegen deutlich größere Kollektorflächen von zum Teil mehreren hundert Quadratmetern auf. Trotz des hohen Potenzials und der vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten solarer Prozesswärme, erfolgt die Marktentwicklung

Abb. 2 Branchenübergreifend geeignete Anwendungen zur Nutzung solarer Prozesswärme in Industrie und Gewerbe
Quelle: Universität Kassel

Temperaturbereich [°C]	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240
Branchenübergreifend												
Kesselspeise- oder -zusatzwasser Vorwärmen												
Waschen / Reinigen												
Trocknen												
RLT-Anlagen												

Abb. 3 Die Solarthermieanlage im Hintergrund des Sudhauses der Hütt-Brauerei bei Kassel stellt warmes Wasser für den Brauprozess bereit.
Quelle: Universität Kassel



bisher nur langsam. Dies liegt häufig daran, dass potenzielle Anwender zu wenig über die Möglichkeiten der Nutzung solarer Wärme wissen und es vorrangige Effizienzmaßnahmen gibt, die ein erhebliches Potenzial besitzen. Zusätzlich scheuen Industrieunternehmen den Aufwand für die Integration und Installation der Solaranlagen und fordern meist sehr kurze Amortisationszeiten.

Nachdem im Rahmen der Novellierung des Marktanzreizprogramms im August 2012 die Förderquote für Solaranlagen zur Bereitstellung von Prozesswärme auf 50 % erhöht wurde, hat sich die Anzahl der Solaranlagen für dieses Anwendungsgebiet signifikant erhöht. Vor der Novelle waren in Deutschland etwa 20 Anlagen mit einer Kollektorfläche von insgesamt gut 4.000 m² in Betrieb. Allein nach der Novelle wurden rund 250 Anträge mit mehr als 16.500 m² Kollektorfläche zur Bereitstellung solarer Prozesswärme bewilligt. Etwas über die Hälfte dieser Anlagen sind mit Flachkollektoren, knapp 30 % mit Vakuumröhrenkollektoren und knapp 20 % mit Luftkollektoren ausgestattet. Von den 250 bewilligten Anlagen befinden sich Ende 2016 rund 180 Anlagen mit knapp 11.500 m² Kollektorfläche in Betrieb, die restlichen Anlagen befinden sich noch in der Planungs- bzw. Bauphase.

Internationale Perspektiven

Die Erkenntnisse zu geeigneten Anwendungsgebieten in Deutschland lassen sich auch auf andere Länder übertragen. Der Bericht „Renewable Energy in Industrial Applications“ der United Nations Industrial Development Organization nennt ein technisches Potenzial für solarthermische Prozesswärme von etwa 2.200 TWh pro Jahr in 2050. Dies entspricht etwa drei Prozent des weltweiten Endenergiebedarfs der Industrie. Wie in Deutschland liegt auch in Gesamteuropa das theoretische Potenzial für den Einsatz von Solarenergie im Durchschnitt bei 3 bis 4 % des industriellen Wärmebedarfs. In Ländern mit deutlich höherer Einstrahlung als Deutschland (zum Beispiel Chile, Indien oder die MENA Region „Middle East & North Africa“) dürften die Möglichkeiten wesentlich größer sein, da die Unternehmen hier auch konzentrierende Kollektortechnologien wie Parabolrinnenkollektoren einsetzen können. Diese sind in der Lage, Wärme auf einem höheren Temperaturniveau von bis zu 250 °C bereitzustellen. Dadurch erhöht sich die Bandbreite der sinnvoll zu versorgenden Prozesse.

Wie in Deutschland stellt die Lebensmittelindustrie auch weltweit mit die meisten Möglichkeiten zur Nutzung solarer Wärme. Experten sehen hier etwa ein Drittel der möglichen Einsatzgebiete. Weitere wichtige Branchen sind der Maschinen- und Fahrzeugbau, Bergbau und die Gewinnung von Steinen und Erden sowie die Herstellung und Verarbeitung von Leder und Textilien.

Das Potenzial verteilt sich zu je etwa einem Drittel auf China, auf Länder, die Mitglied der OECD sind sowie weitere Nationen. Ein bisher noch nicht erschlossenes, jedoch sehr aussichtsreiches Anwendungsfeld findet sich im Bereich der Erdölförderung, z. B. für die sogenannte Enhanced Oil Recovery im Mittleren Osten. Für dieses Verfahren werden große Mengen Dampf benötigt, die mittels konzentrierenden Kollektoren bereitgestellt werden können.

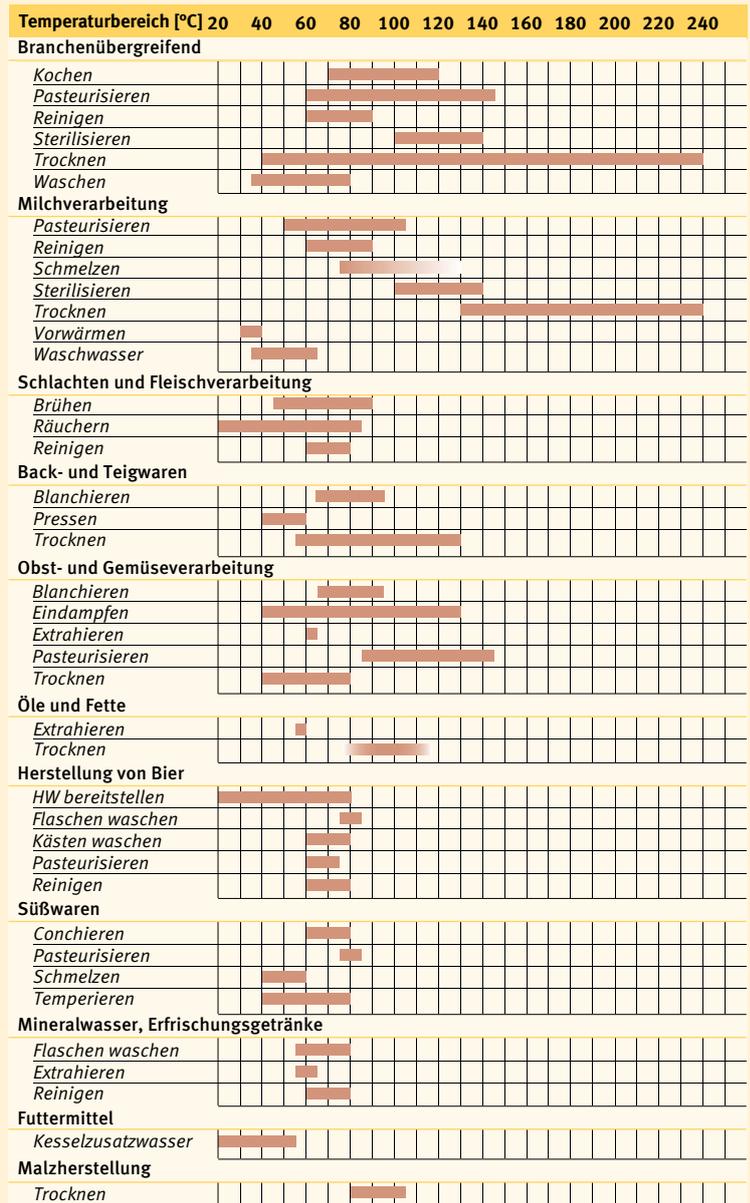


Abb. 4 Bedeutende Behandlungsverfahren im Ernährungsgewerbe
Quelle: Universität Kassel

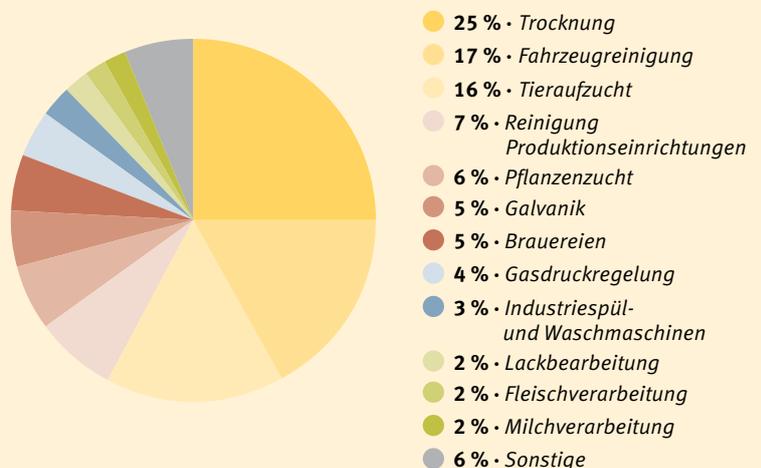


Abb. 5 Aufteilung der Anwendungen solarer Prozesswärme auf Basis der in Deutschland installierten oder in Planung befindlichen Kollektorfläche von insgesamt ca. 20.000 m². Quelle: www.solare-prozesswärme.info



Technische Herausforderungen

Anlagen zur solaren Prozesswärme können sowohl die übergreifende Versorgungsebene als auch einzelne Teilprozesse in Industrie und Gewerbe mit Sonnenenergie unterstützen. Neben der klassischen Einbindung des flüssigen Wärmeträgermediums in Warm- oder Heißwassernetze spielt die solare Dampferzeugung in südlicheren Standorten eine wichtige Rolle.

Im Vergleich zu Anwendungen in Haushalten, sind Standardlösungen bei der Einbindung solarer Prozesswärme eher die Ausnahme. Die Anlagen müssen meist individuell in bestehende Systeme eingepasst werden. Grundsätzlich lässt sich dabei unterscheiden, ob sie in die Versorgungs- oder die Prozessebene (Abb. 6) integriert wird. Auf der Versorgungsebene wird das übergreifende Energieversorgungssystem mit Wärme beliefert. Dazu gibt es in vielen Industrie- oder Gewerbebetrieben ein Kesselhaus, das die Wärme erzeugt und verteilt. Ein zentrales Verteilnetz versorgt die Verbraucher mit der erzeugten Wärme. Oberhalb einer Nutztemperatur von 100 °C übernehmen meist Dampfnetze mit Temperaturen zwischen 140 °C und 200 °C (4 bis 15 bar) diese Aufgabe. Der Dampf wird dann indirekt über einen Wärmeübertrager oder direkt zur Beheizung der unterschiedlichen Wärmesenken genutzt. So kann etwa bei Waschprozessen der Dampf direkt in kaltes Wasser injiziert werden, um die Solltemperatur zu erreichen.

Wärmeträgermedium

Die zentrale Einbindung von Solaranlagen auf Versorgungsebene kann man danach unterscheiden, welches Wärmeträgermedium zum Einsatz kommt. Bei Warmwassernetzen oder Heißwassernetzen kann eine Solaranlage seriell zur Rücklaufanhebung oder parallel zur Bereitstellung der Vorlauftemperatur eingebunden werden. Wird hingegen Dampf als Wärmeträgermedium verwendet, ergeben sich drei Möglichkeiten zur Einbindung der Solarwärme (Abb. 7). An sonnenreichen Standorten, welche den Einsatz konzentrierender Solarkollektoren ermöglichen, kann eine parallele Einbindung erfolgen. Dabei wird solarer Dampf erzeugt und in das konventionelle Dampfverteilssystem eingespeist (1). In gemäßigteren Klimazonen wie Nord- oder Mitteleuropa kann eine serielle Einbindung zur solaren Aufheizung des Kesselzusatzwassers (3) gegebenenfalls auch des Kesselspeisewassers (2) erfolgen. Während die Aufheizung von Kesselspeisewasser bei 100 °C beginnt und in Abhängigkeit des gewünschten Dampfdruckes über 150 °C hinausgehen kann, wird Kesselzusatzwasser von etwa 20 °C auf 95 °C bis 105 °C erwärmt.

Dampf solar erzeugen

Solare Dampferzeugung ist nur mit konzentrierenden Kollektoren möglich. Diese bündeln die Solareinstrahlung und können so die benötigte Wärme auf dem hohen Temperaturniveau effizient bereitstellen. Dampf kann direkt oder indirekt solar erzeugt werden. Bei der direkten Dampferzeugung wird das Kesselspeisewasser durch den Kollektor geführt und verdampft dort teilweise. Das Wasser-Dampf-Gemisch gelangt anschließend in eine Dampftrommel und wird dort getrennt. Das verbleibende Wasser wird erneut dem Kollektorkreis zugeführt. Wenn der Dampf in der Dampftrommel das Druckniveau der konventionellen Dampfversorgung erreicht, wird er in das bestehende Netz eingespeist. Bei der indirekten Dampferzeugung (Abb. 11) wird in den Kollektoren Druckwasser oder Thermoöl als Wärmeträgermedium verwendet. Wenn das Wärmeträgermedium durch die Kollektoren auf die geforderte Temperatur aufgeheizt wurde, wird es über Heizschlangen in einen speziellen Wärmeübertrager geführt, in dem sich das Kesselspeisewasser befindet und durch die Wärmezufuhr verdampft. Der Wärmeübertrager wird in demselben Druckbereich wie das Dampfnetz betrieben, sodass der erzeugte Dampf direkt in das vorhandene Netz eingespeist werden kann.

Wird solar erzeugter Dampf in das Netz eingespeist, verhält sich der konventionelle Dampferzeuger wie bei einer reduzierten Last und produziert weniger Dampf. Bis zu welchem Grad dies ohne nennenswerte Wirkungsgrad einbußen zu realisieren ist, hängt von dem Verhältnis der installierten Leistungen von Solaranlage und Dampferzeuger sowie der typischerweise anliegenden Last und dem Modulationsverhalten des Dampferzeugers ab.

Bei der dezentralen Einbindung auf Prozessebene wird die Solarwärme direkt für einen oder mehrere Prozesse genutzt. Dies hat in vielen Fällen den Vorteil, dass die Prozesstemperatur deutlich unterhalb der Temperatur der Versorgungsebene liegt. Diese Tatsache wirkt sich positiv auf den Ertrag der Solaranlage aus. Dafür gibt es auf Prozessebene eine größere Anzahl von Prozessen mit unterschiedlicher Anlagentechnik und verschiedenen

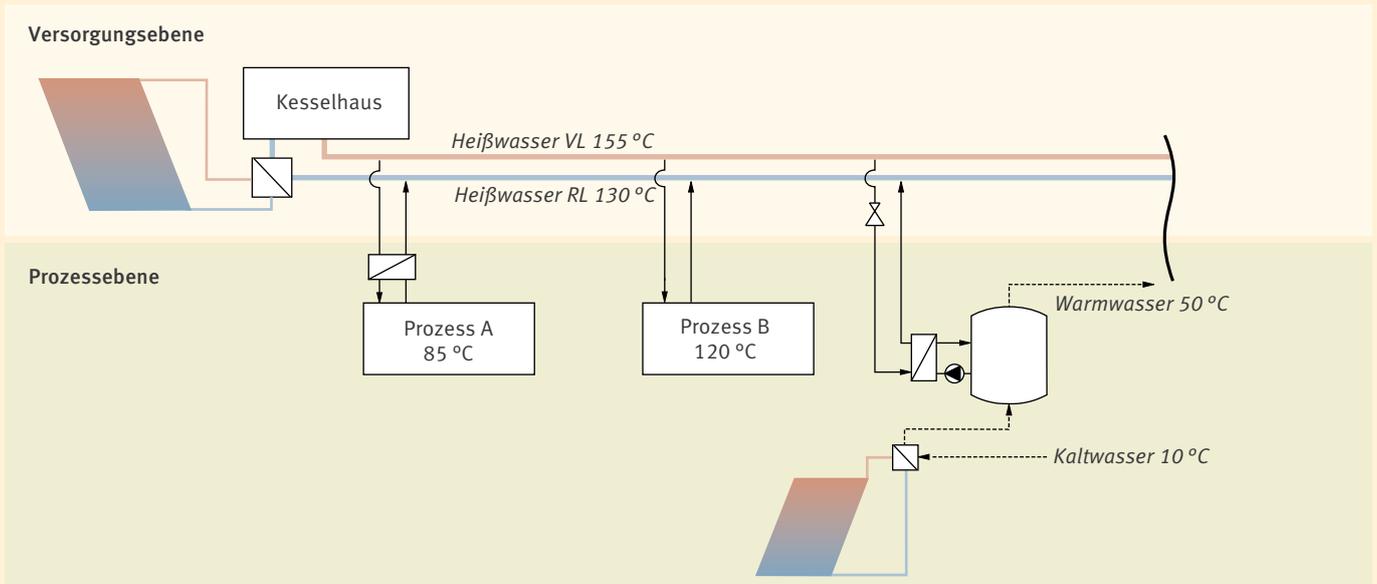


Abb. 6 Bei der Einbindung von solarer Prozesswärme unterscheidet man zwischen Versorgungs- und Prozessebene. Quelle: Universität Kassel

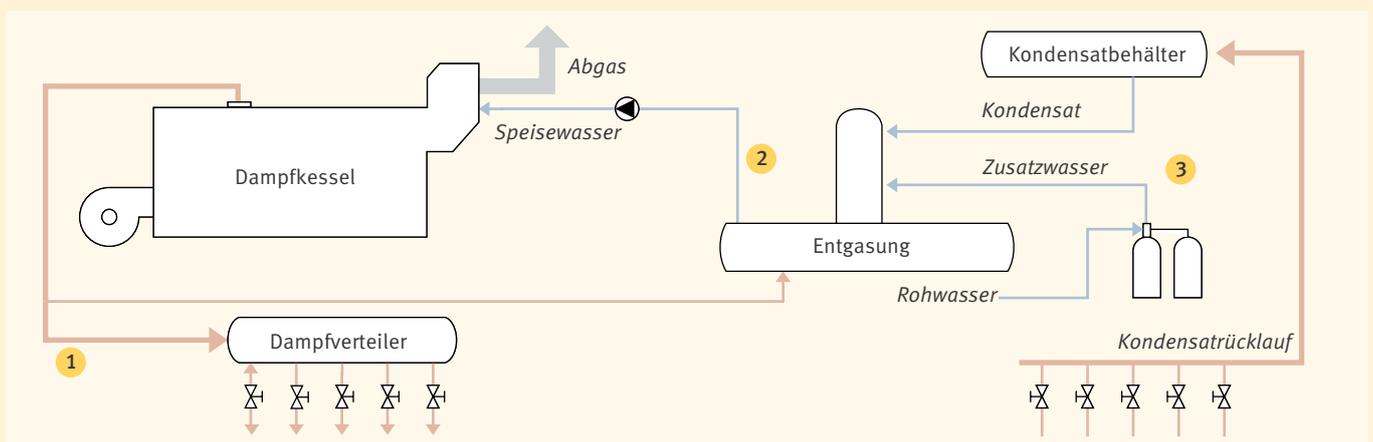


Abb. 7 Die wichtigsten Komponenten eines Kesselhauses mit Möglichkeiten zur Einbindung von Solarwärme (1, 2, 3). Quelle: Universität Kassel

Solltemperaturen. Dies erschwert es, die Abläufe bei der Einbindung der Solarwärme zu verallgemeinern.

Soll für einen bestimmten Prozess Solarwärme eingebunden werden, spielt die vorhandene Beheizung dieses Prozesses eine entscheidende Rolle. Je nachdem, ob dieser Prozess mit einem internen oder externen Wärmeübertrager, einer elektrischen Heizpatrone oder der direkten Dampfinjektion beheizt wird, kann sich die zusätzliche Einbindung von Solarwärme als einfach bis extrem kompliziert erweisen. Je nachdem, welche Wärmesenke mit Solarwärme versorgt werden soll, können sich demnach unterschiedliche Konzepte für die Einbindung ergeben.

Wärmeübertrager

Solarwärme kann in einen Prozess eingebunden werden, der standardmäßig mit einem externen Wärmeübertrager beheizt wird. Über diesen wird ein Produkt oder ein Prozessmedium (z. B. Milch, Saft, Wasser, Lauge oder Luft)

vorgewärmt oder beheizt. Der solar beheizte Wärmeübertrager wird dazu seriell vor dem konventionellen eingebunden. Dabei kann entweder der gesamte aufzuheizende Produkt- oder Prozessmediumstrom oder lediglich ein Teil davon solar erwärmt werden.

Neben der nachträglichen Einbindung eines externen, solarbeheizten Wärmeübertragers können zusätzlich interne Wärmeübertrager solar beheizt werden. Diese sind zum Beispiel in Bäder, Maschinen oder Tanks integriert. In den meisten Fällen sind dabei konventioneller und solarbetriebener Wärmetauscher parallel geschaltet.

Auch auf Prozessebene kann solarer Dampf auf einem reduzierten Druckniveau bereitgestellt werden. Dabei besteht zum einen die Möglichkeit, Dampf im Unterdruckbereich, also unterhalb von 100 °C, zur Verfügung zu stellen. So wird er für eine Vielzahl von Verdampfungsprozessen in der Lebensmittelindustrie verwendet (beispielsweise bei der Herstellung von Fruchtsaftkonzentrat oder der Entalkoholisierung von Bier). Zum anderen besteht die Möglichkeit,



Abb. 8 Installation eines internen Wärmeübertragers in eine Maischepfanne in der Göss Brauerei in Österreich.
Quelle: AEE INTEC

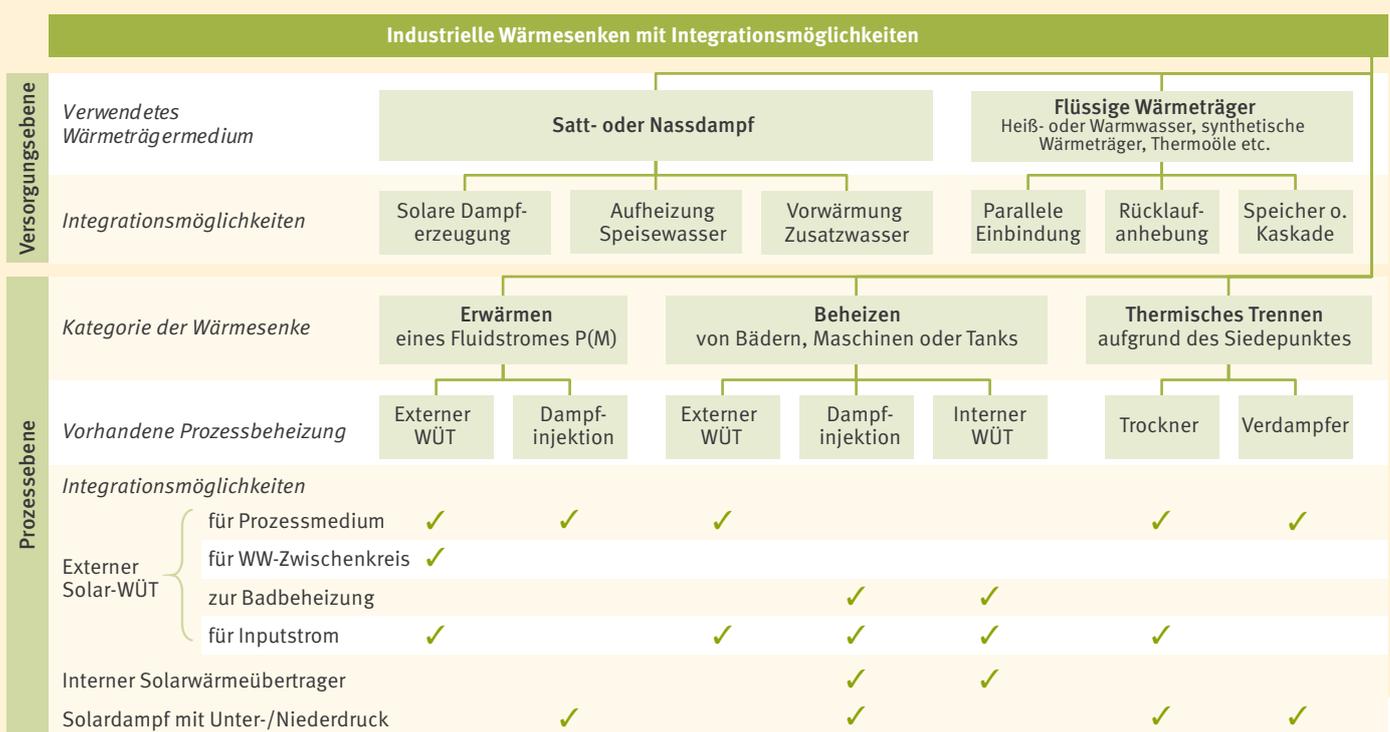
Dampf auf einem Temperaturniveau von 110 bis 135 °C bereitzustellen. Dieser kann für Prozesse verwendet werden, die konventionell mittels direkter Dampfinjektion beheizt werden (z. B. die Beheizung von Wasserbädern bei der Geflügelschlachtung oder bei der Sterilisation von Milch). Im Vergleich zur Dampferzeugung auf Versorgungsebene muss die Solaranlage hierbei zum Teil deutlich niedrigere Temperaturen bereitstellen. Aus diesem Grund ist dieses Konzept mit stationären Kollektoren (z. B. CPC- oder Vakuumflachkollektoren) auch für Anwen-

dungen in Deutschland oder vergleichbaren Klimazonen denkbar.

Auswahl geeigneter Integrationspunkte

Vor allem bei größeren Betrieben finden sich oft mehrere potenzielle Einspeisepunkte für Solarwärme auf Versorgungs- und Prozessebene (Abb. 9). In diesem Fall sollten die identifizierten Möglichkeiten gegenübergestellt und

Abb. 9 Klassifizierung aller industriellen Wärmesenken und Möglichkeiten zur Integration von Solarwärme: Welche davon umgesetzt werden, hängt auf Prozessebene maßgeblich von der vorhandenen Prozessbeheizung ab. Für einzelne Wärmesenken ergeben sich damit mehrere Möglichkeiten.
Quelle: Universität Kassel



Aus der Praxis

verglichen werden. Das erforderliche Temperaturniveau, die Betriebszeit sowie der Aufwand zur Einbindung sind die drei wichtigsten Kriterien, um zu entscheiden, ob die Integration solarthermischer Anlagen sinnvoll ist.

Grundsätzlich sinkt der Wirkungsgrad eines Kollektors mit steigender mittlerer Kollektortemperatur. Dadurch sinkt der Ertrag. Aus diesem Grund ist in Deutschland und Ländern mit vergleichbaren klimatischen Bedingungen das solar bereitzustellende Temperaturniveau das wichtigste Kriterium bei einer Entscheidung für einen Integrationspunkt. Anwendungen mit niedriger Prozesstemperatur oder Prozesse, bei denen eine Vorwärmung möglich ist, sind folglich für die solare Einbindung besonders interessant. Dabei ist zu beachten, dass von der Temperatur eines Prozesses nicht automatisch auf die Temperatur geschlossen werden kann, die eine Solaranlage bereitstellen muss. Die solar bereitzustellende Temperatur variiert in Abhängigkeit der Art und Weise, wie die Solarwärme in den Prozess eingebracht werden kann. Wird beispielsweise ein bei 60 °C betriebenes Reinigungsbad für Metallteile mithilfe eines zusätzlichen externen Wärmeübertragers solar beheizt, kann bereits eine solare Vorlauftemperatur genutzt werden, die 10 K über der Prozesstemperatur liegt. Würde die Solarwärme hingegen über eine Mantelheizung in den Prozess eingebracht werden, müsste die solare Vorlauftemperatur deutlich über 70 °C liegen, da diese Art der Wärmeübertrager in Parallelschaltung eine höhere Temperaturdifferenz zwischen Heizmedium und aufzuheizendem Medium benötigen.

Mit Blick auf das Lastprofil sollten Prozesse bevorzugt werden, die möglichst lange und konstante Laufzeiten im Wochen- und Jahresverlauf aufweisen. Das tägliche Lastprofil einer Wärmesenke ist dabei meist von untergeordneter Rolle. Da die meisten Betriebe nur montags bis freitags oder samstags produzieren, sollte der Pufferspeicher einer Solaranlage derart ausgelegt werden, dass mindestens der solare Energieeintrag eines Tages gespeichert werden kann. Dadurch geht die am Wochenende eingestrahelte Wärmemenge nicht ungenutzt verloren. Somit hat also der Pufferspeicher in der Regel eine ausreichende Kapazität, um etwaige Schwankungen der Last innerhalb eines Tages zu kompensieren. Lediglich bei Betrieben beziehungsweise Integrationspunkten, die an sieben Tagen pro Woche einen Wärmebedarf haben, spielt auch das tägliche Lastprofil bei der Dimensionierung des Speichers eine Rolle.

Geht man vom Lastprofil aus, bietet vor allem die Einbindung von Solarwärme auf Versorgungsebene deutliche Vorteile gegenüber der Versorgung eines einzelnen Prozesses. Aufgrund der Vielzahl an Wärmeverbrauchern, die an das Netz angeschlossen sind, ergibt sich auf der Versorgungsebene in der Regel ein konstantes Lastprofil während der Produktionszeit. Zusätzlich besteht hier die Möglichkeit, Solarwärme auch außerhalb der Produktionszeiten zu nutzen. So kann die eingespeiste Solarwärme beispielsweise an Wochenenden die Stand-by-Verluste der Wärmebereitstellung und -verteilung kompensieren.

Schließlich ist auch der Aufwand zur Einbindung der Solarwärme in das bestehende System ein entscheidender Faktor bei der Auswahl eines geeigneten Integrationspunktes.

Mit Hilfe der Sonne Autos waschen

Wenn die Sonne scheint, ist in Autowaschanlagen Hochbetrieb. Die hohe solare Einstrahlung kann mithilfe einer Solaranlage genutzt werden, um den erforderlichen Wärmebedarf zum Teil zu decken. Diesen Vorteil nutzt die Kette Mr Wash bei ihren Betrieben in Mannheim und Hannover. Eine weitere Solaranlage wird Anfang 2017 in einer Autowaschanlage in Bremen in Betrieb genommen.

Das bei der Autowäsche benutzte Osmosewasser wird über einen Wärmetauscher vorerwärmt. Osmosewasser ist von Kalk und Schadstoffen gereinigtes Leitungswasser mit einer deutlich reduzierten Wasserhärte. Würde dieses gefilterte Reinigungswasser direkt erwärmt, wäre die Gefahr zu groß, dass es verschmutzt. Zusätzlich wäre für die direkte Integration von Osmosewasser in die Anlage ein anderer Betriebsdruck erforderlich, der mit gängigen Solaranlagen nicht kompatibel ist. Die für die Trocknung der Autos eingesetzte Luft wird ebenfalls mit Solarwärme vorerwärmt. Hier erfolgt die Systemtrennung über einen Wasser/Luft-Wärmetauscher.

Bei allen drei Anlagen wurde die freie Dachfläche maximal für die Aufständerung von Compound Parabolic Concentrator (CPC) Vakuumröhrenkollektoren genutzt. In Mannheim belegen diese rund 200 m², in Hannover rund 600 m². Ein Warmwasserspeicher ist in keiner Anlage vorhanden. Da die „produzierte“ Wärme meist direkt abgenommen wird, ist ein Puffer nicht erforderlich und wirtschaftlich nicht sinnvoll.

Wenn sonntags keine Autos gewaschen werden, geht die Anlage vorübergehend in den Stillstand. Falls die Solarstrahlung zur Deckung des Wärmebedarfs nicht ausreicht, wird die Anlage in Mannheim mit Fernwärme nachgeheizt. Bei den beiden anderen Betrieben erfolgt dies mit Gas.



Abb. 10 Oben: Waschmittelrückstände und Schaum werden mit destilliertem Wasser abgespült. Anschließend wird das Auto mit Heißluft aus bis zu elf Luftkanälen getrocknet. Unten: Vakuumröhrenkollektoren auf dem Dach der Autowaschanlage in Mannheim. Quelle: Mr Wash

Wie hoch dieser Aufwand ist, hängt vom jeweiligen Prozess ab. Während beispielsweise bei der Warmwasserbereitstellung für Reinigungszwecke im besten Fall lediglich ein Wärmeübertrager zuzüglich Peripherie (Pumpe, Ventil, Rohrleitung etc.) für die Einbindung benötigt wird, kann dies bei der Beheizung von Bädern oder Maschinen deutlich komplizierter ausfallen. Möglicherweise muss hier eine aufwendige Nachrüstung mit speziellen internen

Wärmetauschern erfolgen. In den meisten Fällen ist die Integration bei Prozessen, welche mit externen Wärmeübertragern betrieben werden, weniger aufwendig. Dies liegt daran, dass die Anlagentechnik hier meist besser zugänglich ist. Zusätzlich ist es einfacher, einen externen, solarbeheizten Wärmeübertrager seriell zu verschalten, als einen Prozess mit interner Beheizung.

Wirtschaftlichkeit und finanzielle Förderung

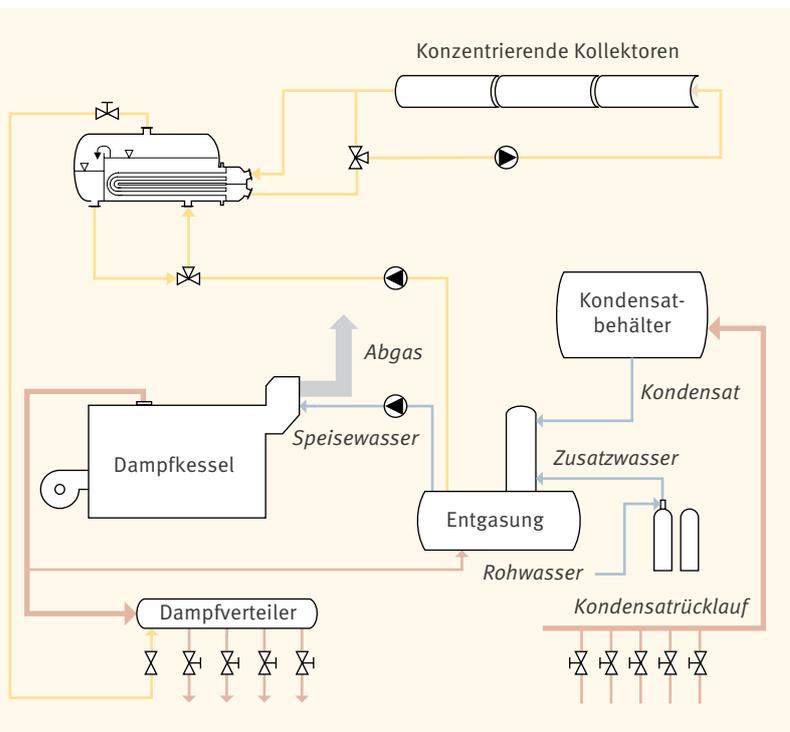
Bei den Investitionskosten für solare Prozesswärmeanlagen gibt es große Unterschiede. Die Kosten variieren in Abhängigkeit vom verwendeten Kollektortyp, der Anlagenhydraulik und Prozessanbindung. Spezifische Investitionskosten komplett installierter Systeme bewegen sich in einem Bereich zwischen 350 Euro/m² und 1000 Euro/m². In Ausnahmefällen, z. B. aufgrund einer sehr aufwendigen Prozessintegration, können die Kosten auch darüber liegen.

Im Rahmen des Marktanreizprogramms zur Förderung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt (MAP) des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) gibt es Fördermöglichkeiten für Technologien zur Wärmeerzeugung aus erneuerbaren Energien. Bei Anlagen zur Bereitstellung solarer Prozesswärme ist hier eine Förderung in Höhe von bis zu 50 % der Nettoinvestitionskosten möglich (Stand 2017). Dabei gibt es verschiedene Varianten. Die Förderung von solaren Prozesswärmeanlagen in einer Größe ab 20 m² erfolgt als Investitionskostenzuschuss vom Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (<http://bit.ly/2ohho6C>). Anlagen mit einer Größe ab 40 m² können auch mit Tilgungszuschüssen zu einem zinsgünstigen Kredit der Kreditanstalt für Wiederaufbau (<http://bit.ly/2oikoyf>) gefördert werden; es ist aber immer nur eine der beiden Förderarten möglich. Dies sollte bei einer Wirtschaftlichkeitsberechnung genauso berücksichtigt werden wie die sehr geringen Kosten für Betrieb und Wartung über die Lebensdauer von 20 bis 25 Jahren.

Als eine Maßzahl für die geringen Betriebskosten lässt sich die Anlagenarbeitszahl solarthermischer Großanlagen heranziehen. Hierbei handelt es sich um das Verhältnis aus erzeugter thermischer Energie und der dafür eingesetzten elektrischen Energie. Diese kann problemlos bei 50 bis 70 kWh_{th}/kWh_{el} liegen. Zum Vergleich: Die Jahresarbeitszahlen von Wärmepumpen gehen nur selten über 5 kWh_{th}/kWh_{el} hinaus. Innerhalb der europarechtlichen Beihilfegrenzen besteht für kleine und mittlere Unternehmen (KM_U) die Möglichkeit, die Förderquote z. B. durch die Kombination mit regionalen Förderprogrammen zu erhöhen.

Die Amortisationszeit liegt bei einer typischen Anlage meist bei etwa sieben Jahren. Diese kann in bestimmten Fällen oder bei der Kombination mit Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz unterschritten werden. Dennoch sind aufgrund der langen Nutzungsdauern Kapitalrenditen von über 5 % erreichbar. Wer eine eigene Investition scheut, kann trotzdem von den Vorteilen solarer Prozesswärme profitieren, indem er solares Wärmeliefer-Contracting nutzt. Dabei übernimmt ein Contractor Planung, Finanzierung, Realisierung und Betrieb der Solaranlage und liefert die Wärme zu einem vertraglich vereinbarten Preis pro kWh an das Unternehmen.

Abb. 11 Integrationskonzept zur indirekten solaren Dampferzeugung auf Versorgungsebene
Quelle: Universität Kassel



Erste VDI-Richtlinie in Arbeit

Ein Entwurf der ersten VDI-Richtlinie zum Thema Solare Prozesswärme soll im Jahr 2017 erscheinen. Experten aus Industrie und Wissenschaft arbeiten seit etwa zwei Jahren an der Entwicklung des Regelwerks mit der Nummer VDI 3988. Dieses richtet sich vor allem an Planer von solarthermischen Anlagen für industrielle Prozesse. Aber auch Handwerker können die Richtlinie als Orientierungsrahmen nutzen. Diese definiert, wie Prozesse zu erfassen sind und in welchen Fällen Solarthermie dafür geeignet ist. Es wird der gesamte Planungsprozess – von der Vorplanung bis hin zur Ausführung – betrachtet und beispielhaft Berechnungsgrundlagen zur Erfassung der solarthermischen Anlage vorgegeben. Die Informationen dienen als Überblick und sind branchenunabhängig formuliert. Interessenten erfahren zum Beispiel, welche äußeren Faktoren – wie bauliche und statische Anpassungen oder Baugenehmigungen – die Erstellung der solarthermischen Anlage beeinflussen können und wie sich die Anlagenkosten zusammensetzen.



Solare Prozesswärme praktisch umgesetzt

Bevor Unternehmen beginnen, solare Prozesswärme zu integrieren, sollten sie genau prüfen, ob und in welcher Form eine solche Anlage sinnvoll wäre. Wärmerückgewinnung und Effizienzmaßnahmen können manchmal die wirtschaftlichere Alternativen sein. Ein Leitfaden hilft bei der Entscheidungsfindung.

Für eine erfolgreiche Wärmewende muss sich der Einsatz fossiler Energieträger in Industrie und Gewerbe zukünftig massiv reduzieren. Neben thermischer Solarenergie finden sich noch weitere Technologien, die emissionsfrei oder -arm Wärme bereitstellen können. Dazu zählen etwa Wärmepumpen, KWK-Anlagen oder Biomassekessel. Bevor Unternehmen diese einsetzen, sollten sie sich zunächst bemühen, den Prozesswärmebedarf zu reduzieren. Dies kann sowohl durch Effizienzmaßnahmen als auch Wärmerückgewinnung erfolgen. Die Prüfung möglicher Wärmerückgewinnungsmaßnahmen ist besonders wichtig, da diese in direkter Konkurrenz zur Einbindung solarer Prozesswärme treten können. Aus diesem Grund bedeutet ein hoher Wärmebedarf unterhalb von 100 °C nicht automatisch, dass Solarwärme in dem betrachteten Unternehmen sinnvoll eingebunden werden kann.

Effizienzmaßnahmen können sich sowohl positiv als auch negativ auf die Umsetzbarkeit solarer Prozesswärme auswirken. So können technologische Neuerungen in thermischen Prozessen dazu führen, dass die Solltemperaturen reduziert werden und damit die Einbindung von Solarwärme erst möglich oder deutlich effizienter und damit wirtschaftlicher wird. Im Gegenzug können jedoch auch thermisch angetriebene Abläufe durch elektrisch angetriebene Prozesse (z. B. Ultraschall) ersetzt werden. In diesem Fall ist die Nutzung von Solarwärme nicht mehr möglich. Grundsätzlich wirken sich jedoch viele Entwicklungen, wie die Umstellung von diskontinuierlichen zu kontinuierlichen Prozessen oder die Reduktion von thermischen Lastspitzen, positiv auf die Einbindung solarer Prozesswärme aus.

In nahezu jedem Unternehmen finden sich ungenutzte Abwärmeströme. Daher sollte stets geprüft werden, ob die Abwärme in Abhängigkeit von ihrer Temperatur, dem zeitlichen Anfall und der Form (beispielsweise Abwasser oder Abluft) genutzt werden kann. Dabei spielt auch die Nähe einer geeigneten Wärmesenke eine wichtige Rolle. Neben prozessspezifischen Wärmerückgewinnungsmaßnahmen gilt es daher auch, die Nebeneinrichtungen wie Bereitstellung von Wärme, Kälte und Druckluft zu berücksichtigen, da sich auch bei Kompressoren oder im Kesselhaus immer wieder bislang ungenutzte Abwärmeströme finden. Dies

ist bei der Planung einer solaren Prozesswärmeanlage von großer Bedeutung, da die anfallende Abwärme aufgrund des Temperaturniveaus meist in direkter Konkurrenz zu Solarwärme steht und in der Regel wirtschaftlicher umzusetzen ist.

Umsetzungshilfe für Praktiker

Um solare Prozesswärme in Unternehmen zu integrieren, kann man sowohl branchen- als auch prozessorientiert vorgehen. In der Vergangenheit arbeiteten Forscher vor allem daran, sogenannte Branchenkonzepte für die Nutzung von Solarwärme anzufertigen. Diese dienen hauptsächlich dazu, Solarplanern die Produktionsabläufe und Anlagentechnik innerhalb der jeweiligen Branche zu vermitteln und die Zusammenarbeit mit den Unternehmen zu vereinfachen. Das prozessspezifische Vorgehen dient hingegen dazu, die technische Machbarkeit einer Solar-

Abb. 12 Diese Gas-Druckregelanlage in Nordhessen wird mit Solarwärme aus einer 355 m² großen Kollektorfläche teilversorgt. Die Solarwärme wird zur Beheizung des Erdgases vor der Druckreduzierung genutzt.
Quelle: Enertracting GmbH



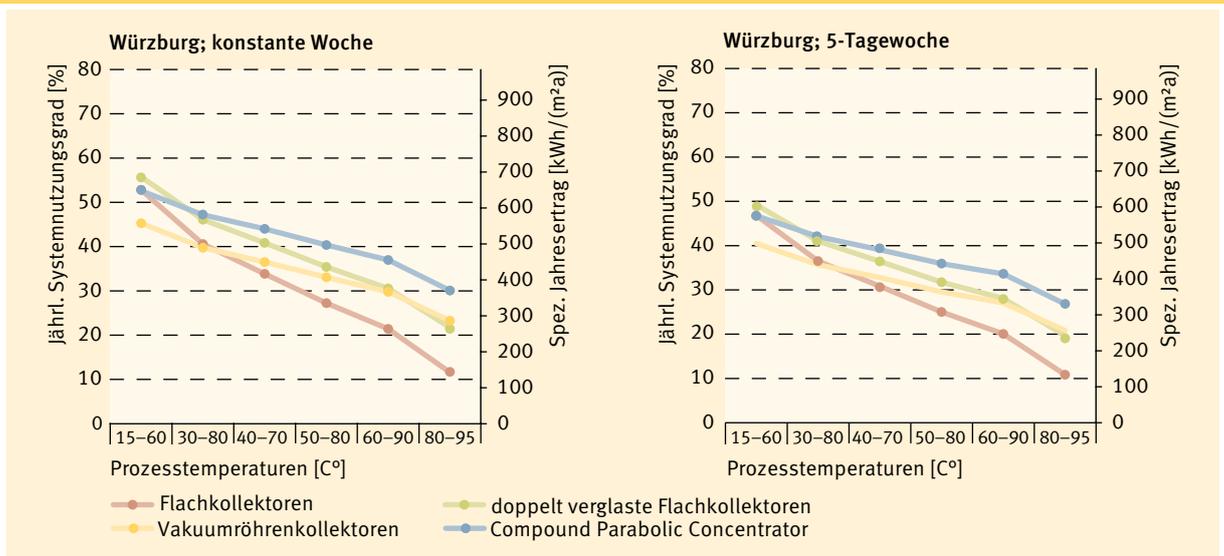


Abb. 13 Jahresnutzungsgrad solarer Prozesswärme am Standort Würzburg für unterschiedliche Kollektortypen und Prozesstemperaturen mit dem resultierenden spezifischen Jahresertrag (bezogen auf die Bruttofläche) Quelle: Universität Kassel

anlage abzuschätzen. Bei der Integration von Solarwärme ist nicht die Branche, sondern der jeweilige Prozess mit der verwendeten Anlagentechnik von Relevanz.

Während es für Anwendungen in Haushalten Auslegungsrichtlinien und Faustformeln für die Dimensionierung von Kollektorfläche und Speichervolumen gibt, war dies für Anwendungen im industriellen und gewerblichen Umfeld bislang nicht der Fall. Von Wissenschaftlern für die Praxis entwickelte Leitfäden sollen dies ändern. Ein wesentlicher Bestandteil dieser Handlungsempfehlungen ist die Machbarkeitsabschätzung. Mit dieser soll geklärt werden, ob bei einem Unternehmen Solarwärme sinnvollerweise genutzt werden kann, wo und wie die Wärme eingebunden werden sollte, welche solare Systemtechnik dazu benötigt wird und wie groß die Anlage für eine wirtschaftlich optimierte Auslegung sein sollte. Um auf Basis dieser technischen Spezifikationen eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung durchführen zu können, muss der Ertrag der Solaranlage abgeschätzt werden.

Abb. 14 Mit einer Machbarkeitsabschätzung in sechs Schritten können Interessenten beurteilen, ob und in welcher Form die Integration einer solaren Prozessanlage sinnvoll ist. Quelle: Universität Kassel



Im Rahmen des vom Bundeswirtschaftsministerium (BMWi) geförderten Projektes „SolFood – Solarwärme für die Ernährungsindustrie“ (FKZ 0325541A) erarbeiteten Wissenschaftler und Praktiker Hilfsmittel, die die Identifikation geeigneter Integrationspunkte vereinfachen und die Vorauslegung und Ertragsabschätzung solarer Prozesswärme ermöglichen. Der so entstandene „Leitfaden zur Vorplanung solarer Prozesswärme“ bietet die Möglichkeit, die Machbarkeitsabschätzung deutlich effizienter durchzuführen. Dies befähigt Akteure wie Solarfirmen, Planer, Energieberater und -manager vermehrt Projekte in Industrie und Gewerbe anzustoßen und durchzuführen. Bei ihren Untersuchungen berücksichtigten die Experten folgende Städte in Europa zur Vorauslegung und Ertragsabschätzung solarer Prozesswärme: Kopenhagen, Madrid, Toulouse und Würzburg.

Für die Vorauslegung der Kollektorfläche wurde die Richtlinie VDI 6002 „Sanierung von sanitärtechnischen Anlagen – Trinkwasseranlagen“ auf solare Prozesswärme übertragen. Dabei wird die Solaranlage auf einen sonnigen Sommertag ausgelegt (Globalstrahlung > 7 kWh/(m²d)). An diesem soll sie den Wärmebedarf des Integrationspunktes gerade decken können. Dies vermeidet Überschüsse und erzielt hohe spezifische Erträge, was für die Wirtschaftlichkeit entscheidend ist. Je nach Standort, verwendetem Kollektortyp, der Zieltemperatur der Solaranlage sowie dem Lastprofil der Wärmesenke ergeben sich unterschiedliche Auslegungsfaktoren für die Dimensionierung der Solaranlage. Soll beispielsweise in Deutschland mit einem Flachkollektor Warmwasser bereitgestellt werden, welches von 15 °C auf 60 °C aufgewärmt werden muss, kann für die Auslegung eine solare Wärmebereitstellung von etwa 4 kWh/m² an einem Sommertag angesetzt werden. Bei einem Temperaturniveau von 50 °C auf 80 °C wären dies hingegen nur noch 3 kWh/m². In Abhängigkeit von der Zieltemperatur und dem Lastprofil kann das Speichervolumen bestimmt werden.

Um den Ertrag abschätzen zu können, müssen für die Parameter Ort, Last, Temperatur und Kollektortyp die resultierenden Nutzungsgrade der Solaranlage bestimmt werden. Diese geben an, wie viel Prozent der eingestrahlenen

Aus der Praxis

Solarthermie in Wäscherei integriert

Wäschereien haben einen hohen Wärmebedarf bei Temperaturen unter 100 °C. Dort wo Abwärme nicht genutzt werden kann, sind die entsprechenden Prozesse für den Einsatz von solarer Prozesswärme interessant. Mit den relativ langen Amortisationszeiten der Anlagen haben die meist mittelständischen Familienbetriebe der Wäschereibranche weniger Probleme, da sie ihre Planungen eher langfristig ausrichten.

Im vom Bundeswirtschaftsministerium geförderten Forschungsprojekt SoProW (FKZ 0325999) entwickeln Partner aus Solarforschung (Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme), Wäschereibranche, Solarthermieindustrie und Softwareentwicklung Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz und zur Einbindung von Solarwärme in Wäschereibetrieben. Dazu analysieren sie die Abläufe in zehn Wäschereien, simulieren und bewerten verschiedene Integrationsvarianten.

Gut geeignet ist die Waschwassererwärmung, bei der Dampf in das Wasser eingedüst wird. Ein weiterer Prozess, der gut solar unterstützt werden kann, ist die Erzeugung von Dampf, mit dem die Wäsche besprüht wird. Bei diesem Vorgang gehen dem System Dampf, und Wasser verloren. Diese müssen aufbereitet und wieder dem Kessel zugeführt werden. Die Erwärmung dieses Kesselzusatzwassers stellt einen weiteren Ablauf dar, in den Solarwärme integriert werden kann.

Im Rahmen des Projektes planen die Beteiligten Prozesswärmeanlagen für drei Wäschereien in Freiburg, Offenburg und Bonndorf im Schwarzwald. Diese sollen als Leuchtturmprojekte für ähnliche Betriebe dienen. Außerdem entwickeln die Partner ein Konzept sowie einen Leitfaden für die Wäschereibranche.



Abb. 15 Auf dem abgebildeten Beladeband wird die Schmutzwäsche in die Waschstraße geführt. Das dort verwendete Waschwasser kann solar vorgewärmt werden. Quelle: Fraunhofer ISE, Stefan Hess

Standpunkte

Warum sollte man in solare Prozesswärme investieren?



Christoph Brunner

Bereichsleiter für Industrielle Prozesse und Energiesysteme bei der AEE INTEC – Institut für Nachhaltige Technologien in Österreich und Operating Agent des IEA Solar Heating and Cooling Task „Solar Process Heat for Production and Advanced Applications“

Unter dem Wandel von produzierenden Betrieben zu einer systemisch vernetzten „Industrie 4.0“ ist der intelligente Umgang mit fluktuierend auftretender erneuerbarer Energie, wie zum Beispiel Solarthermie, ein integraler Teil dieses Leitgedankens. Dabei wird der Einsatz von solarer Prozesswärme ja nach angewandter Technologie (konzentrierende und nicht-konzentrierende Kollektoren) sowie Produktionsstandort eine wichtige Rolle in einem hybriden Energieversorgungssystem auf unterschiedlichen Temperaturniveaus spielen.

In Verbindung mit Wetterdaten werden bei der Planung standortbezogene Energieerträge berechnet, die eine sichere Versorgung der Prozesse mit thermischer Energie garantieren. Eine solarthermische Energieversorgung steht dabei für konstante und kalkulierbare Energiekosten, da die eingesetzten Technologien mit geringem Wartungsaufwand betrieben werden können und nach Abschreibung der Anlagekosten die Energie beinahe gratis zur Verfügung steht. Unter diesen Gesichtspunkten können wirtschaftliche Lösungen durch solarthermische Anlagen für ausgewählte Industrien angeboten werden.



Thomas Weber,

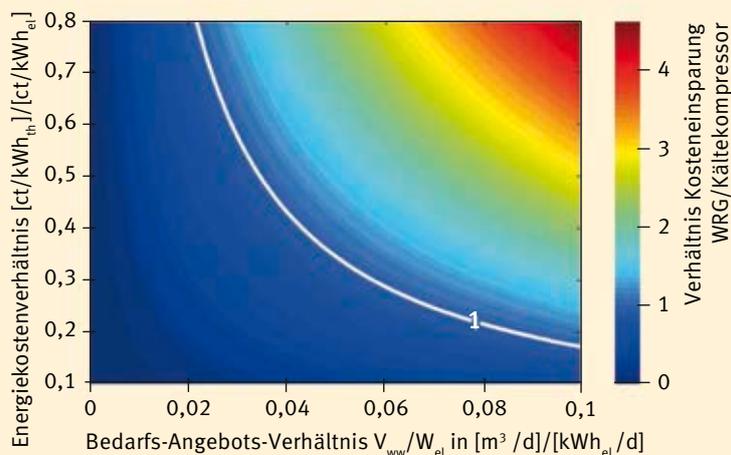
Geschäftsführer des Energieversorgers
EAM GmbH & Co. KG

Über die Jahre der Erprobung und des Praxiseinsatzes hat die Solarthermie bewiesen, dass sie unsere hohen Ansprüche hinsichtlich Versorgungszuverlässigkeit für Anlagen unseres Erdgasversorgungsnetzes voll erfüllt. Weiterhin leisten wir durch Vermeidung von CO₂-Emissionen einen Beitrag zur Schonung der Umwelt und vermindern durch Verdrängung fossiler Energieträger zugunsten kostengünstiger solarer Prozesswärme unsere Betriebskosten. Dies ist durch die enge Zusammenarbeit mit einem jungen, regionalen und innovativen Unternehmen möglich, welches sich auf die Entwicklung, Bau und Betrieb großer solarthermischer Anlagen spezialisiert hat. Dieses Unternehmen stellt uns im Rahmen eines Erneuerbare-Energien-Wärmecontractings die benötigte Prozesswärme unter anderem aus einer solarthermischen Großanlage zur Verfügung. Dabei wird uns vertraglich garantiert, dass der solare Wärmepreis immer etwas unter dem aktuellen Erdgaspreis liegt.

Wir sind überzeugt, dass solarthermisch erzeugte Prozesswärme in naher Zukunft den Preiswettbewerb mit fossil erzeugter Wärme für sich entscheiden wird. Von daher sehen wir das Potenzial der Übertragbarkeit bei eigenen – aber auch bei Gasdruckregelanlagen anderer Netzbetreiber – als sehr hoch an.

Energie im Jahresverlauf als Nutzwärme in einen Prozess oder Heizkreis eingespeist werden kann. Dieser Nutzungsgrad kann mit der jährlichen Einstrahlung des in Frage kommenden Standortes der Solaranlage multipliziert werden, woraus sich der Ertrag der Solaranlage ergibt. Ein Beispiel: Soll in Deutschland ein Prozess auf einem Temperaturniveau zwischen 40 und 70 °C mit einem Flachkollektor solar versorgt werden, können in Abhängigkeit von Lastprofil und Effizienz des Kollektors jährliche Systemnutzungsgrade zwischen 27 und 50 % erzielt werden. In Madrid sind bei gleichen Randbedingungen Nutzungsgrade von 31 bis 55 % möglich. Somit ergeben sich bei gleicher Anlagentechnik unterschiedliche Erträge.

Abb. 16 Auf der Skala rechts sind die Kosten für die eingesparte thermische Energie durch Wärmerückgewinnung und für die eingesetzte elektrische Energie für den Kältekompressor ins Verhältnis gesetzt. Ist dieser Wert kleiner als 1 (Bereich unterhalb der weißen Linie links), sollte die Kondensationstemperatur so niedrig wie möglich gewählt werden, sodass der verbleibende Warmwasserbedarf durch Solarthermie gedeckt werden kann. Oberhalb der weißen Linie ist es günstiger, über eine höhere Kondensationstemperatur mehr Warmwasser mittels Wärmerückgewinnung bereitzustellen.
Quelle: Universität Kassel



Auch innerhalb Deutschlands kann der Nutzungsgrad stark variieren: Je nach Randbedingungen sind hier Nutzungsgrade zwischen 10 % im ungünstigsten Falle (Zieltemperatur zwischen 80 und 95 °C, Verwendung eines Flachkollektors) und 60 % bei optimalen Verhältnissen möglich. Aufgrund dieser Bandbreite, müssen bei der Abschätzung des zu erwartenden Ertrags immer die individuellen Randbedingungen berücksichtigt werden. Typische Daumenwerte, die für gängige Trinkwarmwasser- oder Kompressoren gelten, können hiervon deutlich abweichen.

Neben dem branchenunabhängig anwendbaren Leitfaden zur Vorplanung solarer Prozesswärme wurde im Rahmen des Forschungsprojektes „SolFood“ auch der „Leitfaden zur Nutzung solarer Prozesswärme in der Ernährungsindustrie“ entwickelt. Dieser beinhaltet alle wesentlichen Informationen zur Einbindung von Solarwärme in dem Industriezweig mit dem aktuell größten Potenzial. Die Informationen lassen sich aber auch auf andere industrielle oder gewerbliche Bereiche übertragen. Neben der Beschreibung der wichtigsten wärmeintensiven Prozesse mit dem jeweiligen Temperaturniveau sind hier auch die Möglichkeiten zur Einbindung von Solarwärme dargestellt.

Leitfaden für Ernährungsindustrie

Typisch für die Ernährungsindustrie ist, dass Wärme- und Kältebedarf häufig parallel auftreten. Thermische Solaranlagen treten somit in Konkurrenz zur Abwärmenutzung aus Kälteanlagen oder der Einbindung von Großwärmepumpen.

So kann beispielsweise mit einigen wenigen Kennwerten (Kosten für Strom und Wärme, täglicher Warmwasserbedarf und täglicher Stromverbrauch für Kälteerzeugung) abgeschätzt werden, wie die Wärmerückgewinnung von Kompressionskältemaschinen optimal betrieben werden kann (Abb. 16). Aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten kann es sinnvoll sein, die Kondensationstemperatur der Kältemaschine anzuheben, um damit mehr Warmwasser über die Wärmerückgewinnung bereitzustellen. Andererseits kann es jedoch auch wirtschaftlicher sein, die Kältemaschine mit einer möglichst niedrigen Kondensationstemperatur zu betreiben und Warmwasser mittels Solarthermie bereitzustellen.

Eine weitere Orientierung bieten die in der europäischen Initiative „Solar Process Heat – SO-PRO“ entwickelten Handlungsempfehlungen. Hier enthalten sind Informationen zu vier Prozessen, die für solare Prozesswärme besonders geeignet sind und in Industriebetrieben häufig vorkommen. Dabei handelt es sich um die Abläufe „Bereitstellung von Warm- oder Heißwasser für Wasch- oder Reinigungsprozesse“, „Erwärmung von Kesselzusatzwasser für (teilweise offene) Dampfnetze“, „Beheizen von industriellen Bädern oder Behältern“ und „Konvektives Trocknen mit Heißluft in offenen Systemen“. Für diese wurden Systemkonzepte entworfen und Energieerträge simuliert. Für ein erstes Verständnis und eine erste Einschätzung ist die „So-Pro Guideline“ sehr hilfreich. Gibt es in der Realität Abweichungen beim Standort, Lastprofil oder Kollektortyp, sind die Auslegungsgrundlagen nicht mehr gültig.



Praxishilfen für Vorplanung und Auslegung

- Hier finden Interessenten den „Leitfaden zur Vorplanung solarer Prozesswärme“ sowie den „Leitfaden zur Nutzung solarer Prozesswärme in der Ernährungsindustrie“:
<http://www.solfood.de/downloads.html>
- Im Rahmen der europäischen Initiative „Solar Process Heat – SO-PRO“ wurden Auslegungsrichtlinien auf Basis von Nomogrammen entwickelt: www.solar-process-heat.eu/guide
- Erträge von Solaranlagen bei unterschiedlichen Randbedingungen lassen sich mit frei verfügbaren Tools wie dem Programm Gain Buddy simulieren: www.spf.ch/GainBuddy.297.0.html



Kollektoren für Prozesswärme

Wie eine Solaranlage in der Industrie konfiguriert und dimensioniert ist, variiert sehr stark mit den spezifischen Anforderungen im jeweiligen Unternehmen. Bei gängigen Anwendungstemperaturen von 20 bis 250 °C stehen sehr unterschiedliche Kollektortechnologien zur Verfügung und die Planer müssen individuell entscheiden, welcher Typ am besten zum Einsatz kommt.

Entscheidend bei der Auswahl des passenden Kollektortyps sind in erster Linie die Kosten und die Leistung bei der anvisierten Betriebstemperatur. Als zusätzliche Kriterien sollen die baulichen Gegebenheiten und eventuell damit verbundene Einschränkungen bei der Installation (z. B. Platzbedarf, Dachstatik und -neigung) berücksichtigt werden. Sogenannte Bruttowärmeerträge können dabei helfen, die Leistung zu bewerten. Dabei handelt es sich um idealisierte Erträge in kWh/m²a bei einer über das Jahr konstanten Kollektortemperatur und einem unendlich großen Speicher. Diese Informationen stehen für jeden geprüften und nach Solar-Keymark zertifizierten Kollektor zur Verfügung. Die Erträge werden hier aber nur bei 25, 50 und 75 °C Fluidtemperaturen für fest definierte, repräsentative europäische Standorte und Kollektororientierungen ermittelt. Unter Berücksichtigung der tatsächlichen Lastprofile und Anlagekonfigurationen können diese Ergebnisse von realen Systemerträgen stark abweichen.

Am häufigsten verbreitet sind für Prozesswärme Flachkollektoren, die abgedeckt oder nicht abgedeckt bis etwa 100–110 °C eingesetzt werden können. Sie bieten einen einfachen, kompakten und robusten Aufbau, können sowohl direkte als auch diffuse Strahlung optimal nutzen und sind günstiger als andere Technologien. Neben flüssigkeitsbetriebenen Kollektoren haben auch Luftkollektoren einen signifikanten Anteil am Markt. Diese werden für Prozesse, die mit Luft als Wärmeträger laufen, eingesetzt, vor allem für die Trocknung von Hackschnitzeln und anderer Biomasse.

Ab 70–80 °C kommen ausschließlich hocheffiziente Produkte in Frage. Die Effizienzsteigerung der Flachkollektoren kann man erreichen, wenn man die Wärmeverluste an die Umgebung durch die Frontscheibe, die den großen Anteil der Gesamtverluste ausmacht, reduziert. Einige Hersteller verwenden eine Zweifach-Abdeckung, die aus Gläsern mit Antireflex-Beschichtungen besteht. Der Scheibenzwischenraum ist meistens offen zur Atmosphäre. Eine noch leistungsfähigere Variante besteht aus einer angepassten Wärmeschutzverglasung mit niedrig emittierenden (low-e) Beschichtungen und Edelgasfüllung. Diese wird aktuell im Rahmen eines Forschungsprojektes (ge-

fördert vom Bundeswirtschaftsministerium, FKZ 0325973) am Institut für Solarenergieforschung in Hameln (ISFH) untersucht.

Als alternative Konvektionsbremse und Wärmestrahlungsschirm kann die zweite Glasscheibe durch eine hochtransparente Polymerfolie ersetzt werden, die zwischen Glasabdeckung und Absorber eingespannt wird. Die langfristige Stabilität ist allerdings geringer als bei Glas und die Folie kann Falten bilden. Um dem entgegenzuwirken, setzen aktuelle Entwicklungen in der Industrie und in der Forschung auf eine Vierseiteneinspannung der Folie. Dies reduziert zusätzlich thermische Verluste, da die Folie plan und damit mit optimierten Abständen zur Glasscheibe und zum Absorber eingespannt bleibt. Am Zentrum für Ange-

Abb. 17 Im Rahmen einer Arbeitsgruppe (SHC Task 49) der Internationalen Energieagentur erfassten die Teilnehmer in einer Datenbank 200 weltweit installierte Anlagen. Hier ist die Aufteilung der Anlagen nach Kollektortechnologie zu sehen. Quelle: www.ship-plants.info, Eigene Erstellung ISFH

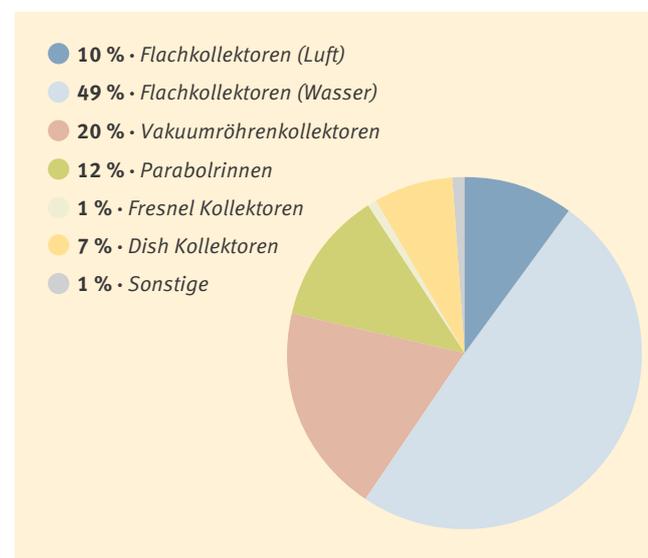




Abb. 18 Flachkollektoren sind für Prozesswärme am häufigsten verbreitet.
Quelle: KBB Kollektorbau



Abb. 19 Eine Parabolrinnenanlage mit sechs mal zwei Parabolrinnenkollektoren. Quelle: Anna Durst, BINE Informationsdienst

wandte Energieforschung (ZAE) Bayern wurde beispielweise eine neue Einspannungsvorrichtung untersucht (BMW-gefördertes Forschungsprojekt, FKZ 0328957A). Dabei wird die Folie nicht im Kollektorgehäuse eingespannt, sondern in einem Glas-Folie-Verbundelement, das prinzipiell in jeden üblichen Kollektorrahmen integriert werden kann. Unabhängig davon, ob Folie oder Glasscheibe, die Zweifach-Abdeckung reduziert im Durchschnitt die thermischen Verluste um 25–30 % im Vergleich zu einem einfach verglasten Flachkollektor (bei $T_{\text{Fluid}} - T_{\text{Umgebung}} = 80 \text{ °C}$), was eine Erweiterung des Einsatzbereiches für diese Kollektortypologie von etwa 30 K ermöglicht.

Die Wärmedämmung der Kollektorabdeckung kann verstärkt werden, indem man Wabenstrukturen aus Zellulose unter der Glasscheibe einsetzt. Die optischen Eigenschaften des Materials und die besondere Wabengeometrie gewährleisten eine sehr hohe Strahlungsdurchlässigkeit bei gleichzeitiger Unterdrückung der Verluste aus Konvektion und Wärmestrahlung. Diese Kollektorart wurde beispielsweise für die solare Unterstützung von Prozessen zum Waschen von Weinfässern und Behältern in einer Weinkellerei sowie in einer Wäscherei bei Temperaturen bis 85 °C erfolgreich eingesetzt. Einen deutlich größeren Leistungssprung weisen hochevakuierte Flachkollektoren auf, die Wärme für Prozesstemperaturen bis zu 180 °C erzeugen können. Aufgrund der hohen Preise wurden bisher nur wenige Demonstrationsanlagen realisiert, beispielsweise in der Bitumenindustrie. Hier werden aber starke Kostensenkungen in den nächsten Jahren erwartet, wodurch sie im Prozesswärmebereich an Bedeutung gewinnen könnten.

Vakuumröhrenkollektoren stellen die zweithäufigste Bauweise, die auch für Prozesswärme verwendet werden kann. Durch den evakuierten Aufbau weisen sie deutlich niedrigere Wärmeverluste als übliche Flachkollektoren auf und können bis zu Temperaturen von 160 °C effizient betrieben werden. In der oberen Leistungsklasse liegen die sogenannten CPC (Compound Parabolic Concentrator)-Kollektoren, bei denen ein schwach konzentrierender parabolischer Reflektor hinter den Glasröhren positioniert ist. So kann die einfallende Strahlung besser genutzt wer-

den. Diese Kollektoren unterscheiden sich hinsichtlich Aufbau und Art der Glasröhre (einfach oder doppelwandig), des Absorbers (flach oder zylindrisch) und des Wärmeübertragers (U- und Koaxialrohr). Besondere Vorteile auch in Bezug auf Prozesswärmeanwendungen kann hier die Variante mit Gravitationswärmerohren (Englisch: heat pipes) bieten. Verglichen mit direkt durchströmten Systemen, stellt das Wärmerohr einen zusätzlichen Wärmewiderstand im Nutzpfad dar, der zu leichten Leistungseinbußen führt. Die Trennung vom Kollektor- und Solarkreis ermöglicht andererseits eine einfachere Hydraulik und die Minimierung der Temperaturbelastung im System bei Stagnation. Da der Wärmetransport vom Absorber zum Solarkreis durch einen zweiphasigen Prozess im Wärmerohr (Verdampfung und Kondensation) erfolgt, lässt sich durch gezielte Auswahl und Dosierung des Wärmeträgerfluids im Rohr die maximale Prozesstemperatur festlegen. Dies gewährleistet einen zuverlässigen Betrieb, insbesondere bei Anlagen die auf maximale solare Deckung ausgelegt sind.

Konzentrierende Kollektoren für hohe Temperaturen

Für industrielle Prozesse, die Wärme bei noch höheren Temperaturen bis über 250 °C benötigen, kommen hochkonzentrierende Kollektoren zum Einsatz. Ein typischer Anwendungsbereich ist hier die direkte oder indirekte Dampferzeugung. Diese eignen sich am besten für sonnenreiche Gebiete, wie zum Beispiel Südamerika, Indien oder die MENA (Middle East / North Africa) Region. Sie arbeiten ausschließlich mit direkter Sonnenstrahlung, die durch Spiegelsysteme auf einen Wärmeübertrager gebündelt wird. Als Wärmeträger werden neben Wasser und Dampf auch Thermoöle verwendet. Hochkonzentrierende Kollektoren wurden Mitte der 80er Jahre für solarthermische Kraftwerke zur Erzeugung von Strom entwickelt. Diese Systeme wurden für Anwendungen in der Prozesswärme angepasst. Sie sind kleiner dimensioniert und leichter aufgebaut, damit sie in modularer Bauweise auch auf Dächern von Industriehallen installiert werden können. Die Kollektoren unterscheiden sich prinzipiell nach Anordnung des konzentrierenden Spiegels. Am meisten ver-

Aus der Praxis



Abb. 20 Fresnel-Reflektoren: Spiegellamellen werden der Sonne nachgeführt. Quelle: Industrial Solar GmbH

breitet sind linienfokussierende Systeme, vor allem Parabolrinnenkollektoren.

Bei diesen Systemen wird die einfallende Strahlung entlang der Brennlinie einer verspiegelten Rinne mit parabol-förmigem Querschnitt auf ein Receiver-Rohr konzentriert. Hier wird die Strahlung in Wärme umgewandelt und an das strömende Wärmeträgermedium übertragen. Das Stahlrohr ist selektiv beschichtet und von einem evakuierten Glashüllrohr umgeben. Die Einzelmodule werden in Reihe auf Montagesysteme aufgebaut und torsionssteif miteinander verbunden. Die linienfokussierende Alternative zu Parabolrinnenkollektoren sind Fresnel-Reflektoren.

Statt eines parabelförmigen Konzentrators werden hier bodennah liegende Spiegellamellen aus Glas eingesetzt. Diese werden der Sonne nachgeführt, während das Receiver-Rohr ortsfest ist. Über den Receiver wird zudem ein Sekundärspiegel angebracht, der die nicht perfekt fokussierte Strahlung auf das Absorber-Rohr zurückreflektiert. Aufgrund des schlanken Aufbaus und der Position des Primärspiegels, der niedrigeren mechanischen Belastungen ausgesetzt ist, sowie der Verwendung von einfacheren Standardkomponenten, sind Fresnel-Reflektoren sowohl in der Herstellung als auch in der Wartung kostengünstiger als Parabolrinnenkollektoren. Durch die konstruktionsbedingten höheren optischen Verluste werden aber bei vergleichbarer Größe auch etwa 30 % niedrigere Jahreserträge erzielt.

Als hochkonzentrierende Kollektoren werden auch punktfokussierende Systeme verwendet, in den meisten Fällen sogenannte „Dish-Konzentratoren“. Dabei handelt es sich um rotationssymmetrisch parabolisch gekrümmte Hohlspiegel mit kurzen Brennweiten, die die Strahlung mithilfe einer zweiachsigen Nachführung auf einen „punktförmigen“ Receiver bündeln. Je nach Größe des Spiegels und Anzahl der Module werden Temperaturen bis zu 300 °C erreicht. Diese Systeme sind besonders in Indien verbreitet, wo sie zum Kochen, Backen aber auch für die Milchproduktion sowie in der Papier- und Textilindustrie eingesetzt werden.

Solarenergie für die Autoindustrie

Wie können die Automobilindustrie und deren Zulieferbetriebe solare Prozesswärme nutzen? Um dies herauszufinden, untersuchen Wissenschaftler unter Leitung des Instituts für thermische Energietechnik der Universität Kassel 20 Standorte im Rahmen des deutsch-österreichischen Forschungsprojektes Solar Automotive (FKZ 0325863). Unter anderem bei Opel, Volkswagen und MAN analysieren sie einzelne Prozesse und entwickeln Konzepte zur Nutzung solarer Wärme. Darüber hinaus untersuchen sie die Abläufe in Zulieferbetrieben für Leder, Textil, Leiterplatten und Oberflächenbearbeitung.

Solarenergie kann etwa beim Betrieb von raumlufttechnischen (RLT) Anlagen eingebunden werden. Deren Aufgabe ist es, während der Automobil-Produktion Temperatur und Feuchte konstant zu halten. Auf der Versorgungsebene bieten Warm- und Heißwassernetze innerhalb der Betriebe mögliche Integrationspunkte. In Lackierstraßen kommen RLT-Anlagen und beheizte Bäder zum Einsatz. Diese finden sich auch in Galvanikbetrieben bei der Vorbehandlung zur Kathodischen Tauchlackierung sowie bei Bauteilwaschanlagen. Auch diese Prozesse werben die Wissenschaftler aus. Zusätzlich untersuchen sie Möglichkeiten, Solarthermie mit anderen Erzeugungstechnologien wie Großwärmepumpen, Blockheizkraftwerken oder Mikrogasturbinen zu kombinieren.

Der Schwerpunkt der Analysen liegt bei den Standorten in Deutschland und Österreich auf der Wärmebereitstellung unterhalb von 120 °C. In der zweiten Projekthälfte sollen auch Standorte der Unternehmen im Ausland untersucht werden, z. B. in Spanien, Südafrika, Indien oder Mexiko. Hier prüfen die Forscher zusätzlich die Einbindung konzentrierender Kollektoren, die Dampf oder Heißwasser auf höherem Temperaturniveau bereitstellen.

Abb. 21 Bei der Automobilproduktion sind eine konstante Raumluftfeuchte und Temperatur wichtig. Die dafür erforderlichen RLT-Anlagen können solar unterstützt werden. Quelle: Fotolia / RAM





Methoden international aufbereitet

Eine Arbeitsgruppe der Internationalen Energieagentur (IEA) bearbeitete vier Jahre lang das Thema solare Prozesswärme. Das international besetzte Team entwickelte Verfahren und Tools, die die Planung und Umsetzung von entsprechenden Anlagen vereinfachen und beschleunigen sollen. In einer öffentlichen Datenbank finden sich Informationen zu weltweiten Anlagen.

Weltweit gibt es viele Initiativen, die sich für die Verbreitung solarer Prozesswärme engagieren. So beschäftigte sich eine international besetzte Arbeitsgruppe der Internationalen Energieagentur (IEA) von Februar 2012 bis Juni 2016 mit der Bereitstellung von Solarwärme für industrielle Anwendungen. Derartige Arbeitsgruppen der IEA setzen sich aus Vertretern von Industrie, Forschung und Entwicklung zusammen und bearbeiten ein Anwendungsgebiet in thematisch unterteilten Gruppen, den sogenannten Subtasks. Im Rahmen des Task 49 „Solar Process Heat for Production and Advanced Applications“ konzentrierten sich die Mitglieder in drei Subtasks darauf, Methoden und Werkzeuge zu erarbeiten, die sowohl die Projektentwicklung als auch die Planung und Umsetzung solarer Prozesswärme zukünftig vereinfachen und damit auch beschleunigen sollen.

Im Rahmen von Subtask A „Process heat collector development and process heat collector testing“ analysierten die Experten wie Prozesswärmekollektoren und Solarkreis-komponenten weiter verbessert werden können. Sie verglichen die unterschiedlichen Kollektortypen nach techno-

logischen und ökonomischen Kriterien und formulierten Empfehlungen für standardisierte Testverfahren. Die Ergebnisse dieser Arbeiten stehen nun teilweise öffentlich zur Verfügung. So wurden beispielsweise für einen technischen Report Informationen zum Stagnationsverhalten großer Solaranlagen aufbereitet. Gerade in industriellen Anwendungen spielt es eine wichtige Rolle, das Stagnationsverhalten zu beherrschen, da hier häufig große Kollektorfelder installiert sind, die am Wochenende meist keinen Abnehmer für die Solarwärme finden.

Eine wesentliche Herausforderung bei solarer Prozesswärme ist es, die Solarwärme in das bestehende System zu integrieren. Mit dieser Thematik befassten sich die Teilnehmer von Subtask B (Process integration and Process Intensification combined with solar process heat). Dabei lag der Fokus auf den in der Industrie anzutreffenden Prozessketten, der verwendeten Anlagentechnik und der konventionellen Beheizung. Die Experten untersuchten die Möglichkeiten und Grenzen der Einbindung solarer Prozesswärme und leiteten daraus entsprechende Hilfsmittel ab. Im Rahmen dessen wurde für Fachleute der Branche eine Datenbank zu Industriebranchen und deren typischen industriellen Prozessen umfangreich erweitert und um mögliche Integrationskonzepte für Solarwärme ergänzt. Mit der sogenannten „Integration Guideline“ wurde zudem ein umfassender Report publiziert, der sich neben Solarplanern auch an Energieberater und -manager, Anlagenbauer und Verfahrenstechniker richtet. Der Leitfaden beinhaltet alle wesentlichen Informationen, wie Solarwärme in bestehende Strukturen von industriellen Unternehmen integriert werden kann und welche Besonderheiten dabei zu beachten sind.

Teilnehmer der Subtask C „Design Guidelines, Case Studies and Dissemination“ konzentrierten sich auf die gesamte Solaranlage und die Umsetzung solarer Prozesswärmanlagen. Um die Verbreitung dieser Technologie voranzubringen und um vor allem für die Akquise und Projektentwicklung eine wertvolle Hilfestellung anzubieten, wurde beispielsweise eine Datenbank erstellt, die solare Prozesswärmanlagen aus unterschiedlichsten Branchen weltweit darstellt.



Internationale Projekte und deren Ergebnisse

- Überblick über weltweit existierende solare Prozesswärmanlagen: www.ship-plants.info
- Die Hintergründe des IEA Tasks 49 sowie alle publizierten Ergebnisse der einzelnen Subtasks finden sich auf der Website: <http://task49.iea-shc.org>. Unter „Subtask B“ liegt u. a. die internationale „Integration Guideline“ für Solarplaner, Energieberater, Anlagenbauer und Verfahrenstechniker zum Download bereit.
- Datenbank zu Industriebranchen und deren typischen industriellen Prozessen ergänzt um mögliche Integrationskonzepte für Solarwärme: wiki.zero-emissions.at

Aus der Praxis

Fossiler Dampferzeuger erneuerbar unterstützt

Im vom Bundeswirtschaftsministerium geförderten Projekt SolSteam (FKZ 0325545) entwickelt und untersucht das Institut für Solarforschung des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) gemeinsam mit dem deutschen Industriepartner Industrial Solar GmbH verschiedene Konzepte zur unmittelbaren Integration von Solardampf in Dampfkreisläufe. Wird Solardampf eingesetzt, reduziert sich der Verbrauch fossiler Energie, wenn bei der Einspeisung von Solarwärme in den Dampferzeuger die konventionelle Feuerung entsprechend reduziert wird.

Derzeit testen die Experten ein neues Konzept zur Integration des Solardampfes beim Hersteller von pharmazeutischen Produkten „RAMPharma“ in Amman (Jordanien). Die Anlage ist die erste solare Anlage zur Gewinnung von Prozessdampf in der MENA (Middle East/North Africa) Region.

Bei Sonnenschein schafft das System einen solaren Deckungsanteil von 100 % und eine konventionelle Dampferzeugungsanlage ist nicht erforderlich. Wenn ab den frühen Abendstunden die solare Einstrahlung nicht mehr stark genug ist, wird die Anlage mit Diesel angetrieben. Das Fresnel-Kollektorfeld (396 m² Aperturfläche) speist Satteldampf direkt in das Dampfnetz des Unternehmens ein. Der Druck im Netz liegt bei 6 bar und die Temperatur bei 166 °C. Der Dampf wird vor allem zur Trocknung von Tabletten eingesetzt. Die Anlage ging im März 2015 in Betrieb und läuft seitdem kontinuierlich. Im Rahmen des Projektes SolSteam findet bis 2017 ein Monitoring statt. Die Ergebnisse können für vergleichbare Hybridsysteme genutzt werden.

Abb. 22 Bei dieser Anlage zur Dampferzeugung ersetzt Solarenergie größtenteils fossile Energieträger. Quelle oben: DLR, Quelle unten: Anders



En passant

Abb. 23 Solar betriebene Klimatisierung: Die Regeneration des Entfeuchtungsrotors wird direkt durch ein 100 m² Luftkollektorfeld betrieben. Quelle: Fraunhofer ISE



Mit Solarwärme kühlen

Solarenergie kann nicht nur zur Wärmeerzeugung, sondern auch zur Bereitstellung von Kälte eingesetzt werden. Besonders interessant daran ist, dass Wärmebedarf und Wärmeangebot meist zeitgleich vorhanden sind. In gemäßigteren Klimazonen werden die solaren Kälteanlagen meist zum Klimatisieren von Nichtwohngebäuden eingesetzt. Auch Kühltage in südlichen Klimazonen und viele Prozesskälteanlagen benötigen besonders viel Energie, wenn die Sonne intensiv scheint. Der Einsatz von solaren Kälteanlagen anstelle von elektrischen Kältemaschinen entlastet zudem das Stromnetz, gerade zu Spitzenlastzeiten. Mit Hilfe von Solarenergie wird bei der solaren Klimatisierung die Luft gekühlt und die Luftfeuchte reguliert. Die Antriebsenergiequelle einer Kältemaschine oder eines Klimatisierungsverfahrens wird durch solare Wärme statt elektrischer Energie aus dem Stromnetz betrieben.

Bei solarthermischen Anlagen unterscheidet man zwischen geschlossenen und offenen Verfahren. Geschlossene Verfahren stellen mit Ab- oder Adsorptionskälteanlagen Kaltwasser bereit, das beispielsweise in Kühldecken genutzt wird. Die Kaltwassertemperatur hängt davon ab, ob Geräte versorgt werden, die auch für die Luftentfeuchtung genutzt werden, oder ob die angeschlossenen raumseitigen Komponenten nur zur Abfuhr sensibler Lasten, d. h. zur Kontrolle der Temperatur, dienen. Offene Sorptionsverfahren konditionieren hingegen die Zuluft. Dabei senken sie nicht nur die Temperatur, sondern sorgen auch für eine angenehme Raumluftfeuchte. Das Kältemittel ist Wasser und steht in direktem Kontakt mit der Atmosphäre, daher die Bezeichnung als „offene Systeme“.

Abb. 24 Solar betriebene offene, sorptiv gestützte Klimatisierung von Seminarräumen. Quelle: Fraunhofer ISE





Ausblick

Trotz ihres großen Potentials handelt es sich bei der solaren Prozesswärme nach wie vor noch um einen Nischenmarkt. Um die Hemmschwelle für den Einsatz dieser Technologie zu reduzieren, entwickelten Experten auf nationaler und internationaler Ebene Branchenkonzepte, Leitfäden sowie Datenbanken für weitergehende Informationen zum Thema. Hiermit können Interessenten eine Machbarkeitsabschätzung durchführen und erhalten Hilfestellungen für die praktische Umsetzung von Anlagen.

Die Solarthermie ist nur eine von vielen Möglichkeiten, wie der Prozesswärmebedarf in Unternehmen gedeckt werden kann. Sie konkurriert dabei mit Maßnahmen wie Abwärmenutzung, KWK-Lösungen oder fossilen Energieträgern. Zusätzlich ist die Steigerung der Energieeffizienz ein wichtiges Thema. Prozesswärme einzusparen, ist in vielen Fällen höchst rentabel. Stellschrauben sind die Bedarfsreduzierung, Nutzung von Abwärme, innovative und abgestimmte Komponenten sowie eine effiziente Steuerung und Regelung von Betriebsabläufen.

An der ETA-Modellfabrik der Technischen Universität Darmstadt sieht man beispielhaft, wie eine energieeffiziente Industrie in Zukunft aussehen kann und welche Herausforderungen somit auf die solare Prozesswärme warten. In dem vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie geförderten Projekt erforschen Wissenschaftler, wie die Industrie durch Vernetzung aller Gebäude- und Produktionskomponenten Energie effizienter nutzen kann. Die Betrachtung des Gesamtsystems – aus Maschinen, Energiespeichern, Gebäudetechnik und Gebäudehülle – soll dazu beitragen, den Primärenergiebedarf in der Produktion um 40 Prozent zu senken. Neben der energetischen Verbesserung der einzelnen Produktionsanlagen spielt deren energetische Vernetzung eine Rolle.

Im Zuge der Abwärmenutzung werden hier neben den Produktionsanlagen auch die Maschinenperipherie, die Haustechnik und das Fabrikgebäude mit einbezogen. So dient beispielsweise die Abwärme der Werkzeugmaschinen dazu, weitere Anlagen mit Wärme zu versorgen oder die 550 Quadratmeter große Halle zu beheizen. Die Abwärme von Wärmebehandlungsanlagen kann dazu genutzt werden, um Reinigungsbäder zu erwärmen oder mittels Sorptionstechnik Kälte zu erzeugen. Das Produktionsgebäude kann als Wärmesenke für Niedrigtemperaturabwärme dienen. Ebenso lässt es sich zur solarthermischen Wärmeerzeugung nutzen oder auch dazu, Kaltwasser zu erzeugen, indem Wärme an die Umgebung abgegeben wird.

Eine zukünftige Herausforderung wird es sein, die Solarthermie als Bestandteil eines energieeffizienten Technologiekonzepts zu integrieren, in dem die unterschiedlichen Technologien kombiniert werden und sich sinnvoll ergänzen.

Links

- » Website mit grundlegenden Informationen zu solarer Prozesswärme:
www.solare-prozesswärme.info
- » Institut für Thermische Energietechnik, Universität Kassel | www.solar.uni-kassel.de
- » Institut für Solarenergieforschung Hameln | www.isfh.de
- » Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme | www.ise.fraunhofer.de
- » AEE-Institut für Nachhaltige Technologien | www.aee-intec.at
- » Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt DLR e.V., Institut für Solarforschung
www.DLR.de/sf

Mehr vom BINE Informationsdienst

- » Mit solarer Wärme kühlen. BINE-Themeninfo III/2016
- » Solarthermische Kraftwerke. BINE-Themeninfo II/2013
- » Sonnenhäuser energetisch und ökonomisch bewertet. BINE-Projektinfo 09/2016
- » Dieses Themeninfo gibt es auch online und in englischer Sprache unter www.bine.info/Themeninfo_II_2017

BINE Informationsdienst berichtet aus Projekten der Energieforschung in seinen Broschürenreihen und dem Newsletter. Diese erhalten Sie im kostenlosen Abonnement unter www.bine.info/abo

Impressum

Projektorganisation

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi)
11019 Berlin

Projekträger Jülich
Forschungszentrum Jülich GmbH
10969 Berlin

Förderkennzeichen

Projekt SoProW: 0325999 A-D
Projekt SoProW-Demo 0325859
Projekt Solar Automotive 0325863 A-B
Projekt SolSteam 0325545 A-C
Projekt SolFood 0325541A

ISSN

1610-8302

Herausgeber

FIZ Karlsruhe · Leibniz-Institut für Informationsinfrastruktur GmbH
Hermann-von-Helmholtz-Platz 1
76344 Eggenstein-Leopoldshafen

Kontakt · Info

Fragen zu diesem Themeninfo?
Wir helfen Ihnen weiter:

0228 92379-44
kontakt@bine.info

BINE Informationsdienst

Energieforschung für die Praxis
Ein Service von FIZ Karlsruhe

Kaiserstraße 185-197
53113 Bonn
www.bine.info

Gefördert durch:



Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages