



Prozesswärme im Marktanreizprogramm

Zwischenbericht zu Perspektivische Weiterentwicklung des Marktanreizprogramms FKZ 03MAP123

Sabine Frisch, Dr. Martin Pehnt, Philipp Otter
ifeu-Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg
Wilckensstraße 3 69120 Heidelberg
Tel: 06221 / 4767-0 E-Mail: martin.pehnt@ifeu.de

Michael Nast
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
Institut für Technische Thermodynamik
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)
Pfaffenwaldring 38-40
70569 Stuttgart

Heidelberg, Stuttgart, Juli 2010

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung.....	3
2	Temperaturniveaus und Prozesswärmebedarf in Deutschland.....	4
3	Technologien zur Erzeugung erneuerbarer Wärme.....	8
3.1	Solarthermie.....	8
3.1.1	Solarkollektoren	8
3.1.2	Systemintegration solarthermischer Anlagen	10
3.2	Große Wärmepumpen	10
4	Einsatzgebiete von erneuerbaren Wärmetechnologien	12
5	Hemmnisse.....	15
5.1	Geringes Temperaturniveau.....	15
5.2	Zeitliche Entkopplung des Wärmebedarfs und Wärmeeinfall (besonders bei der Solartechnologie)	15
5.3	Komplexität und Planungsaufwand	16
5.4	Geringer Bekanntheitsgrad, mangelndes Fachwissen.....	16
5.5	Bauliche und technische Gegebenheiten	16
5.6	Effizienzsteigernde Maßnahmen	17
5.7	Investitionskosten und Wirtschaftlichkeit	17
5.8	Konkurrierende Technologien	17
6	Potenziale	19
6.1	Das Potenzial für solare Prozesswärme.....	19
6.1.1	Abschätzung des Gesamtpotenzials	19
6.1.2	Potenziale der einzelnen Branchen.....	20
6.2	Das Potenzial von Wärmepumpen in der Industrie.....	27
7	Strategie für die Erschließung des solaren Prozesswärmepotenzials	29
8	Literatur	31

Prozesswärme im MAP3

M. Nast, DLR

S. Frisch, M. Pehnt, P. Otter, IFEU

1 Einführung

Das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz verfolgt das Ziel, „dazu beizutragen, den Anteil Erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch für Wärme (Raum-, Kühl- und Prozesswärme sowie Warmwasser) bis zum Jahr 2020 auf 14 Prozent zu erhöhen.“

Damit ist Prozesswärme expliziter Bestandteil des Ausbauziels. Das Gesetz lässt allerdings offen, ob die aus Strom erzeugte Prozesswärme (dies gilt allgemein für „Stromwärme“) für diese Zielgröße mit herangezogen wird. Einen Anhaltspunkt liefert die Begründung des Gesetzes. Dort wird Bezug auf die Leitstudie genommen, in der das 14 %-Ziel bezogen auf den Wärmeenergiebedarf ohne Strom interpretiert wird.

In der Abgrenzung der AG Energiebilanz ist in der Endenergiebilanz des Prozesswärmesektors allerdings auch der Strom inbegriffen, für den Sektor Haushalte beispielsweise der Strombedarf für die Lebensmittelzubereitung (z. B. Kochen).

Der Endenergieeinsatz für Prozesswärme beträgt mit 1.984 PJ im Jahr 2007 43 % des gesamten Energiebedarfs für Wärme und ist damit ein entscheidender Nachfragesektor.

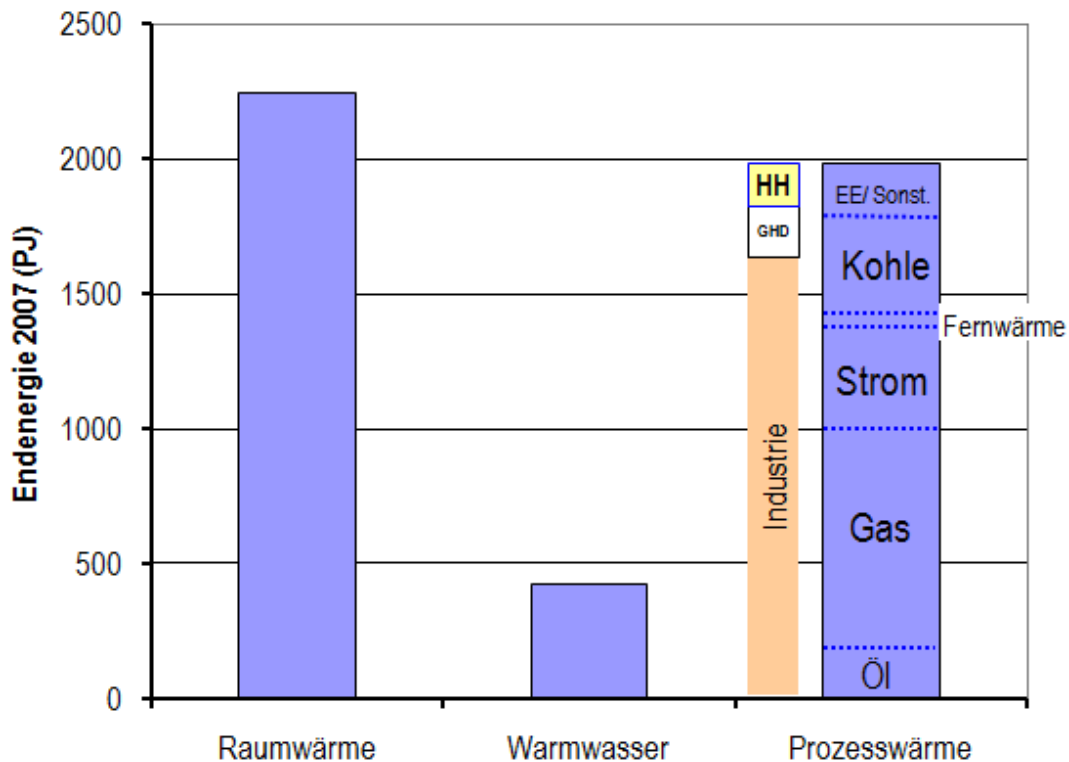


Abbildung 1: Vergleich des Prozesswärmebedarfs mit dem Gesamtwärmebedarf (BMWi 2009)

Über 80 % dieses Wärmebedarfs fallen dabei im Sektor Industrie, 13 % im GHD und nur 6 % im Haushalt (vornehmlich Kochen) an. In der Industrie werden 89% des gesamten Wärmebedarfs für Prozesswärme aufgewendet (BMW i 2009).

Tabelle 1: Endenergieeinsatz für Prozesswärme 2007 (BMW i 2009)

PJ 2007	Industrie	GHD	HH	Summe
Öl	100	44	0	144
Gas	721	117	18	856
Strom	211	73	100	384
Fernwärme	21	0	0	21
Kohle	428	0	0	428
EE und sonstige	129	18	6	152
Summe	1609	252	123	1984
davon Prozent EE	8	7	5	8

Dabei wird deutlich, dass im Industriesektor die Bereitstellung von Prozesswärme aus Gas (721 PJ) und Kohle (428 PJ) dominieren. Strom steht in der Industrie und im GHD mit 211 PJ bzw. 71 PJ an dritter Stelle. Im Haushalt dominiert dagegen der Stromverbrauch für die Prozesswärmebereitstellung mit 100 PJ, welcher hauptsächlich zum Kochen verbraucht wird. Die erneuerbaren Energien (einschließlich „sonstige“) tragen 152 PJ zum Endenergieeinsatz für Prozesswärme bei. Das sind 8% des gesamten Einsatzes für Prozesswärme.

Den Beitrag der erneuerbaren Energien zum Raumwärmebedarf aller Sektoren beziffert (BMW i 2009) auf 202 PJ. Der Beitrag der erneuerbaren Energien zum Warmwasserbedarf (425 PJ) wird dagegen nicht explizit ausgewiesen. Er kann aber auf ca. 35 PJ abgeschätzt werden. Insgesamt beläuft sich damit der Beitrag von „EE und sonstige“ zum Wärmebedarf auf 389 PJ. Hiervon sind gemäß (BMW i 2009) 37% (144 PJ) dem industriellen Sektor zuzuordnen und der Rest den Sektoren GHD und Haushalte. Dieser Wert kann als Obergrenze gewertet werden. Eine Analyse der Statistik des BMU zu erneuerbaren Energien (BMU 2009) ergibt, dass kaum mehr als 25% der für die Wärmeerzeugung bereitgestellten erneuerbaren Energien sich industriellen Verbrauchern zuordnen lassen.

Im zeitlichen Verlauf ist der Prozesswärmebedarf heute (2007) gegenüber 1996 nahezu unverändert, während er im GHD-Sektor angestiegen ist. Die Energieträgerverteilung hingegen hat sich deutlich verschoben: Während Prozesswärme aus Öl und Gas abgenommen hat, bleibt der Energieträger Kohle unverändert und Prozesswärme aus Strom und Sonstigen (v. a. Erneuerbare) steigen an.

2 Temperaturniveaus und Prozesswärmebedarf in Deutschland

Für die Verwendung von Wärme in industriellen Prozessen sind verschiedene Temperaturniveaus notwendig. Diese können qualitativ grob in drei Bereiche unterschieden werden:

- Niedertemperaturbereich: In diesen Bereich zählen alle Prozesse für Temperaturen unter 100 °C, und werden damit hauptsächlich für Prozesse zu Warmwasserbereitung zum Waschen und zur Nahrungsmittelproduktion verwendet. Der Raumwärmebedarf der Industrie gehört zwar nicht zur Prozesswärme, fällt aber auch in diesen Temperaturbereich. Für die Nutzung erneuerbarer Energiequellen und insbesondere

der Solarthermie ist dieses Temperaturniveau optimal geeignet (Werner 2006, S.147).

- Mittlerer Temperaturbereich: Hierzu zählen alle Prozesse die zwischen einem Temperaturniveau von 100 und 400°C bis 500°C liegen. Die Wärme wird zumeist mittels Dampf durch örtlich installierte Heizsysteme bereitgestellt. Um das Potenzial solarer Prozesswärme abschätzen zu können, muss dieser Temperaturbereich weiter unterteilt werden.
- Hoher Temperaturbereich: Temperaturen über 500°C werden beispielsweise für Herstellungsprozesse in der Keramik- und Metallindustrie benötigt. Die Bereitstellung dieser hohen Temperaturen stellt spezielle Anforderungen an die Heizsysteme. Oft wird hierzu auch Strom verwendet.

Ungefähr 10% des gesamten Prozesswärmebedarfs der Industrie entfällt auf den Temperaturbereich unter 100°C und weitere 15% auf den Bereich zwischen 100°C und 500°C¹. Tabelle 2 zeigt eine Aufteilung des Prozesswärmebedarfs nach Temperaturniveau auf die verschiedenen Industriezweige. Diese Tabelle beruht auf branchenspezifischen Energiekennwerten und der Anzahl der Beschäftigten im Jahr 2003 in den einzelnen Wirtschaftszweigen (Krewitt 2006). Die in der im Anhang dargestellten Originaltabelle von Krewitt ausgewiesene Gesamtsumme für den industriellen Prozesswärmebedarf des Jahres 2003 ist etwas geringer als die Angaben des BMWi für das Jahr 2007. Da davon ausgegangen werden kann, dass sich an der prozentuale Aufteilung des Prozesswärmebedarfs auf die verschiedenen Temperaturniveaus nur wenig geändert hat, werden die in Tabelle 2 dargestellten Werte mit der Energiebilanz des BMWi für das Jahr 2007 linear abgeglichen.

¹ Neben der hier zitierten Quelle (Krewitt 2006) gibt es weitere Quellen, welche den Prozesswärmebedarf der Industrie nach dem Temperaturniveau untergliedern. Die Aussagen dieser Quellen stimmen nicht vollständig miteinander überein. Bis zu einem Temperaturniveau von 100°C werden folgende Anteile am gesamten Prozesswärmebedarf angegeben:

- Hofer 1995: 12,7%. Dabei wurde der bei (Hofer 1995) angegebene Prozesswärmebedarf bereits um den dort enthaltenen Warmwasserbedarf reduziert.
- AGFW 2005: 12,8%. Dabei wurde der in (AGFW 2005) angegebene gesamte industrielle Wärmebedarf bereits um den Raumwärme- und Warmwasserbedarf gemindert. Die Angaben der AGFW beruhen vermutlich auf Untersuchungen des FhG-ISI aus dem Jahr 1999 (vergleiche hierzu AGFW 2000). Die Untergliederung nach Temperaturniveaus gemäß AGFW ging auch noch in die Potenzialuntersuchungen von (Werner 2006) ein.
- Lambauer 2008: Für das technische Potenzial von Wärmepumpen für die Bereitstellung industrieller Prozesswärme bis zu einem Temperaturniveau von 100°C wird ein Wert von 159 PJ/a ausgewiesen, welcher nahezu mit dem in Tabelle 2 ausgewiesenen Wert von 161 PJ für den Prozesswärmebedarf bis 100°C übereinstimmt. Für das übrige technische Potenzial (Raumwärme und Warmwasser) von Wärmepumpen in der Industrie wird bei Lambauer ein Wert von 231 PJ/a angegeben, welchem in Tabelle 2 ein nur geringfügig abweichender Wert von 223 PJ für den gesamten Wärmebedarf der Industrie für Raumwärme und Warmwasser entspricht.

Tabelle 2: Struktur des industriellen Wärmebedarfs im Jahr 2007, abgeleitet aus branchenspezifischen Endenergiekennwerten (Krewitt 2006) und abgeglichen mit der Energiebilanz des BMWi für das Jahr 2007 (BMWi 2009) in PJ/a

WZ	Wirtschaftszweig	PW < 100°C	PW 100-500°C	PW 500-1000°C	PW >1000	Summe PW	WW+RW	Gesamtsumme
15	Ernährungsgewerbe	34,0	41,8	0,0	0,0	75,8	26,1	101,9
16	Tabakverarbeitung ⁶	0,1	0,1	0,0	0,0	0,2	0,1	0,3
17	Textilgewerbe	10,6	0,0	0,0	0,0	10,6	7,4	18,0
18	Bekleidungs-gewerbe	0,8	0,0	0,0	0,0	0,8	0,6	1,3
19	Ledergewerbe	0,8	0,0	0,0	0,0	0,8	0,6	1,3
20	Holzgewerbe	4,7	1,2	0,0	0,0	5,9	0,9	6,8
21	Papiergewerbe	10,8	39,8	0,0	0,0	50,6	10,6	61,2
22	Verlags-/Druckgewerbe	1,3	18,5	0,0	0,0	19,8	3,1	22,9
24	Chemische Industrie	55,5	86,3	184,3	45,4	371,4	30,0	401,4
25	H.v. Gummi- u. Kunststoffwaren	3,6	13,6	0,0	0,0	17,1	7,0	24,1
26	Glasgewerbe, Keramik, Verarbeitung von Steinen u. Erden	4,6	7,1	106,4	220,3	338,5	15,2	353,7
27	Metallerzeugung u. -bearbeitung	3,3	10,4	122,5	480,5	616,8	18,9	635,7
28	H.v. Metallerzeugnissen	7,2	5,7	3,1	7,4	23,5	23,5	47,0
29	Maschinenbau	6,0	4,5	2,3	6,2	19,1	20,1	39,1
30	H.v. Büromaschinen, Datenverarbeit. u. -einrichtungen	0,2	0,1	0,1	0,2	0,6	0,6	1,2
31	H.v. Geräten der Elektrizitätserzeugung, -verteilung, u.Ä.	3,0	2,3	1,1	3,1	9,5	10,1	19,6
32	Rundfunk-, Fernseh- u. Nachrichtentechnik	1,1	0,8	0,4	1,1	3,3	3,4	6,8
33	Medizin-, Mess-, Steuer-, Regelungstechnik, Optik	0,5	0,4	0,2	0,6	1,8	1,9	3,8
34	H.v. Kraftwagen u- Kraftwagenteilen	10,9	8,2	4,0	11,2	34,2	35,8	70,0
35	Sonstiger Fahrzeugbau	1,5	1,2	0,5	1,6	4,8	5,0	9,9
36	H.v. Möbeln, Schmuck, Musikinstr., Sportgeräten	1,0	2,4	0,1	0,3	3,8	1,8	5,6
37	Recycling	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1
	Summe	161,4	244,4	425,0	778,2	1609,0	222,7	1831,0
	Anteil an gesamter Prozesswärme	10,0%	15,2%	26,4%	48,4%	100,0%		

Anmerkung: Zahlenwerte in rot sind wurden aus der Energiebilanz des BMWi übernommen.

Für den Einsatz von erneuerbarer Wärme sind diejenigen Branchen von besonderem Interesse, welche einen hohen Anteil ihres Prozesswärmebedarfs im Temperaturbereich bis 500°C aufweisen. Dies sind gemäß Tabelle 2 beispielsweise das Ernährungs- oder Textilgewerbe und auch die Herstellung von Gummi- und Kunststoffwaren.

Um Aussagen speziell zum Potenzial solarer Prozesswärme zu machen, muss der breite Temperaturbereich zwischen 100°C und 500°C weiter untergliedert werden. Mit CPC-Vakuumröhrenkollektoren lässt sich Prozesswärme bis etwa 150°C bereitstellen und mit einfachen, kleinen, der Sonne nachgeführten Rinnenkollektoren bis etwa 250°C. In (Hofer 1995) ist eine Untergliederung des Prozesswärmebedarfs der Industrie in Temperaturintervalle von 100 K dargestellt. Eine Untergliederung des Prozesswärmebedarfs im Bereich zwischen 100°C und 500°C ist in Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 3: Untergliederung des industriellen Prozesswärmebedarfs (ohne Warmwasser) im Bereich bis 500°C (Hofer 1995 und eigene Abschätzungen).

	<100°C	100-150°C	150-200°C	200-250°C	250-300°C	300-500°C	Rest	Summe
Alle Wirtschaftszweige	12,7%	11,3%	4,1%	1,2%	0,8%	8,1%	61,9%	100,0%
Nahrungs- und Genussmittel	42,9%	40,7%	16,4%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%
Chemische Industrie	22,5%	9,2%	7,0%	6,1%	3,0%	8,0%	44,3%	100,0%

Anmerkung: Für die Berechnung des Prozesswärmebedarfs bis 100°C wird nicht diese Tabelle sondern Tabelle 2 verwendet.

In Tabelle 3 ist auch derjenige Prozesswärmebedarf enthalten, der über den Energieträger Strom bereitgestellt wird. Im Bereich bis 150°C beträgt dieser Stromanteil etwa 10% (der Rest wird durch Brennstoffe oder Fernwärme abgedeckt).

Hofer unterteilt den Prozesswärmebedarf in Temperaturintervalle von 100 K. Die weitere Untergliederung in Temperaturintervalle von 50 K in den für Anwendungen der Solarthermie interessanten Bereich zwischen 100°C und 300°C erfolgte aufgrund eigener Abschätzungen. Dabei wurde berücksichtigt, dass der Prozesswärmebedarf knapp oberhalb eine Temperaturniveaus von 100°C relativ groß ist.

Aus dem Prozesswärmebedarf bis 100°C von 161,4 PJ (Tabelle 2) und den Anteilen der Temperaturintervalle über 100°C gemäß Tabelle 3 am gesamten Prozesswärmebedarf von 1609 PJ folgt in dem für solare Wärme besonders interessanten Temperaturbereich bis 150°C ein Bedarf von 343 PJ. Bis 250°C kommen nochmals 85 PJ hinzu, sodass in dem für solare Prozesswärme geeigneten Temperaturbereich insgesamt ein Bedarf von 428 PJ vorhanden ist – also etwa soviel wie der gesamte Warmwasserbedarf Deutschlands. Dieses technische Potenzial solarer Prozesswärme unterliegt einer Reihe weitere Einschränkungen und ist daher deutlich geringer als der Prozesswärmebedarf bis 250°C (siehe Abschnitt 6.1.1).

3 Technologien zur Erzeugung erneuerbarer Wärme

3.1 Solarthermie

Aufgrund von hohen Grundlasten lässt sich bei industriellen Prozessen, insbesondere im Niedertemperaturbereich zumindest ein Teil des Wärmebedarfs mit Hilfe von Solarkollektoren decken. Des Weiteren werden bei vielen Prozessen auch größere Speicher verwendet, welche auch von einer Solarthermieanlage genutzt werden können, und spezifisch somit kostengünstiger zu realisieren sind als Anlagen im Haushalt (Schmitt, 2009, S. 143). Bis 2008 waren weltweit jedoch nur ca. 90 Projekte mit einer Gesamtleistung von 25 MW_{th} für industrielle Anwendungen in Betrieb.

Nur ein geringer Anteil von 0,02% an der weltweit installierten Kollektorkapazität dient der Bereitstellung von Prozesswärme (Lauterbach 2009, S. 4)

3.1.1 Solarkollektoren

Solarkollektoren für die Bereitstellung von Prozesswärme müssen wegen des hohen Temperaturniveaus der zu versorgenden Prozesse relativ hohe Qualitätsanforderungen erfüllen. Der nachfolgende Technologieüberblick folgt zunächst (Vajen 2009).

Für einen Temperaturbereich bis 80°C ist eine Vielzahl von Flach- und Vakuumröhrenkollektoren auf dem Markt erhältlich, welche für die direkte Beheizung von Niedertemperaturprozessen genutzt werden können. Für die Einspeisung in einen Heizkreis oder die Beheizung von Prozessen mit höheren Temperaturen werden hingegen Kollektoren benötigt, welche für einen Temperaturbereich von 100..250°C optimiert sind. Dies sind Vakuumröhren- und Hochleistungsflachkollektoren, CPC-Kollektoren, kleine Parabolrinnen oder Fresnelkollektoren. Diese Kollektoren sind derzeit allerdings nur bedingt auf dem Markt erhältlich, da sie sich teilweise noch im Stadium der Entwicklung bzw. Optimierung befinden. Da konzentrierende Kollektoren große Anteile direkter Solarstrahlung benötigen, ist ein wirtschaftlicher Einsatz von Parabolrinnen oder Fresnelkollektoren in Deutschland derzeit fraglich. Daher wird kurz- bis mittelfristig die Grenze bei einer Temperatur von etwa 150°C liegen.

Hochleistungsflachkollektoren

Diese Kategorie beinhaltet Flachkollektoren, welche für einen Temperaturbereich von 80..120°C optimiert wurden. Dies bedeutet eine Minimierung der thermischen Verluste, bei möglichst gleichbleibenden optischen Eigenschaften. Dies kann mit Hilfe von Mehrfachabdeckungen mit Antireflexbeschichtung, hermetisch geschlossenen Kollektoren mit Edelgasfüllungen oder Niederdruck realisiert werden. Anbieter solcher Kollektoren sind z.B. Schüco (Deutschland) oder ökoTech (Österreich).

Konzentrierende Flach- und Vakuumröhrenkollektoren

Bei den sogenannten CPC-Kollektoren (Compound Parabolic Concentrator) wird ein CPC verwendet, um die Strahlung auf den Absorber zu konzentrieren. Da hierdurch die Absorberfläche sehr viel kleiner ist als im Vergleich zu Flachkollektoren, weisen CPC-Kollektoren geringere Wärmeverluste auf. In der Regel sind diese Kollektoren so konstruiert, dass sie die eintreffende Solarstrahlung um den Faktor ≤ 2 konzentrieren und somit auch einen Großteil der diffusen Strahlung nutzen können. Anbieter dieser Kollektoren sind z.B. Solarfocus (Österreich) oder Paradigma (Deutschland).

Parabolrinnen- und Fresnelkollektoren

Diese Kollektoren verfügen über einen höheren Konzentrationsfaktor als die zuvor genannten CPC-Kollektoren und sind für einen Temperaturbereich zwischen 150°C und 250°C besonders geeignet. Allerdings können diese Kollektoren nicht mehr fest orientiert betrieben werden, sondern benötigen eine einachsige Nachführung. Auf Basis von großen Parabolrinnenkollektoren, die für einen Temperaturbereich von 350..500°C für die elektrische Energieerzeugung eingesetzt werden, erfolgte die Entwicklung von kleineren Kollektoren mit Aperturweiten von 0,5..2,5 m. Anbieter solcher Parabolrinnen sind unter anderem Solitem (Deutschland) und Button Energy (Österreich). Fresnel-Kollektoren konzentrieren hingegen mit individuell nachgeführten linearen Reflektoren die Einstrahlung auf einen stationären Receiver und können so Temperaturen um 250°C erreichen. Anbieter dieser Technologie in Deutschland ist die Mirrox GmbH. Beide zuvor erläuterten Kollektortypen können mit Wasser oder Thermoöl als Wärmeträgerfluid betrieben werden, wobei bis 200°C in der Regel Druckwasser mit 16 bar verwendet wird. Darüber hinaus beinhalten weitergehende Forschungsaktivitäten die Direktverdampfung von Wasser.

Detaillierte Informationen zu Prozesswärmekollektoren für den Temperaturbereich von 80..250°C können der Broschüre „Process Heat Collectors“ entnommen werden, welche im Rahmen des IES-SHC Task 33/IV erstellt wurde (Weiss 2008).

Bezeichnung	Skizze (Querschnitt)	Kollektorarbeits-temperatur in °C
Flachkollektor	<p>Glasabdeckung Absorberblech Kupferrohr Wärmedämmung</p>	30 – 80* 30 – 90**
Vakuumflachkollektor	<p>Glasabdeckung Absorberblech Kupferrohr Stützen</p>	60 – 100*
Vakuumröhrenkollektor mit und ohne Reflektor	<p>Glashüllrohr Kupferrohr Absorberblech Reflektor</p>	50 – 190* 60 – 120**
Kollektor mit Reflektor CPC (Compound Parabolic Concentrator)	<p>Glasabdeckung Kupferrohr Absorberblech Reflektor</p>	70 – 290* 60 – 180**
Parabolrinnenkollektor (einachsig nachgeführt)	<p>Glasabdeckung Glashüllrohr Receiverrohr Reflektor</p>	70 – 290*

Abbildung 2: Kollektortypen, die für die Prozesswärmebereitstellung geeignet sind (Müller 2004)

3.1.2 Systemintegration solarthermischer Anlagen

Bei der Auslegung von solarthermischen Anlagen ist der zeitliche Verlauf des Wärmebedarfs ausschlaggebend und besonders Schwachlastperioden in den Sommermonaten sind zu berücksichtigen, da diese die Maximaltemperatur des Kollektorfeldes bestimmen, welche durch die Sicherheitseinrichtungen der Anlage noch beherrschbar sein muss. Es sollte möglichst immer Wärmebedarf bestehen, wenn das Kollektorfeld Wärme liefern kann oder die Wärme kurzzeitig (maximal 2 Tage) zwischengespeichert werden können. Stagnationen sollten vermieden werden, da der Wärmeträger und die Komponenten im Kollektorkreis wegen der hohen Stillstandstemperaturen großen Beanspruchungen ausgesetzt sind (AEE INTEC 2002, S. 8).

In industriellen Prozessen ist der Einsatz von Luft, Wasser oder Wasserdampf als Wärmeträger möglich. Es gibt verschiedene Möglichkeiten, solare Wärme in einen Prozess einzukoppeln. Eine Einkoppelung von mit Flachkollektoren erzeugter Wärme auf niedrigem und mittleren Temperaturniveau ist zur Vorerwärmung des Kaltwasserzulaufs des Kessels möglich. Zur Einkoppelung direkt in das Warmwassersystem sind dem Prozess entsprechende, meist höhere Temperaturen erforderlich, wie sie zum Teil nur mit konzentrierenden Systemen erreicht werden können. Meist können Solaranlagen nur eingesetzt werden, um den Primärenergiebedarf eines Prozesses zu reduzieren, da auch ein konventionelles System zur Wärmegenerierung vorhanden sein muss.

Wichtig für eine technisch und wirtschaftlich sinnvolle Integration ist die Art des Wärmeaustausches. Der apparative und regelungstechnische Aufwand steigt mit der Anzahl der Wärmetauscherkreise. Bei dem **einfachsten System** fließt das Prozessmedium direkt durch den Kollektor und wird dort erwärmt. Dies ist allerdings nur möglich, wenn es sich um ein nicht korrosives Medium handelt und keine Frostgefahr besteht. Eine weitere Möglichkeit ist ein **Zweikreisssystem**, bei dem die Wärme vom Solarkreislauf über einen Wärmetauscher an das Prozessmedium abgegeben wird. Eingesetzt wird dies zum Beispiel bei der Erwärmung von Galvanikbecken. Diese beiden Methoden können bei kontinuierlicher Prozessführung eingesetzt werden, wobei ein Teil der Grundlast durch die Solaranlage und der Rest durch konventionelle Systeme gedeckt wird. Der technische größte Aufwand ergibt sich bei **Systemen mit Speicher**. Durch die Speicherung überschüssiger Energie (z.B. bei diskontinuierlichen Prozessen) kann der solare Deckungsgrad erhöht werden. Allerdings steigen auch die Systemkosten und die Verluste des Systems sind höher. Der Entscheidung zur Dimensionierung einer Solaranlage, d.h. ob ein möglichst hoher solarer Deckungsgrad erreicht werden soll und eventuelle Überkapazitäten in Kauf genommen werden oder die Anlage kleiner ausgelegt wird, so dass sämtliche Energie genutzt werden kann, muss eine Wirtschaftlichkeitsberechnung zu Grunde liegen (Müller 2004).

3.2 Große Wärmepumpen

Wärmepumpen mit einer thermischen Leistung ab 100 kW werden zu den großen Wärmepumpen gerechnet. Für sie gibt es bisher kein standardisiertes Prüfverfahren und auch der Gültigkeitsbereich der einschlägigen Vorschriften zur Berechnung der Jahresarbeitszahl, wie z.B. die VDI 4650, beschränkt sich auf kleinere Wärmepumpen.

Große Wärmepumpen lassen sich in Industrie und Gewerbe zur Erzeugung von Raum- und Prozesswärme, zur Bereitstellung von Fern- und Nahwärme sowie zur Abwärmenutzung einsetzen. Anders als kleine Wärmepumpen müssen diese für ihren jeweiligen Einsatzbereich individuell geplant und ausgelegt werden. Einige Hersteller bieten bereits standardisierte An-

lagen an, aber die Einbindung in einen bestehenden Prozess oder Wärmekreislauf muss in jedem Fall durch den Planer individuell durchgeführt werden.

Mögliche nutzbare Wärmequellen für die Bereitstellung von Prozesswärme sind:

- Erdwärme
- Grundwasser
- industrielle Abwärme (Luft und Flüssigkeiten)
- Abwasser.

Nach /Lambauer 2008/ ist für den industriellen Bereich die Nutzung von Außenluft aufgrund der ungenügend erreichbaren Leistung weniger geeignet.

Zu unterscheiden sind 4 Arten von Wärmepumpen:

- Kompressionswärmepumpen
- Absorptionswärmepumpen
- Gasklimageräte (Gasbefeuerte Klimaanlage, die sowohl Heizen als auch Kühlen können. Beim Heizen wird die Außenluft und die Abwärme des Motors als Wärmequelle genutzt)

Zahlen zum Bestand an industriellen Wärmepumpen in Deutschland oder Europa sind nicht verfügbar¹.

Geeignete Anwendungsgebiete sind:

- Wärmepumpen zur Heizung und Wärmerückgewinnung als Bestandteil von Großklimaanlagen in Bürogebäuden und Warenhäusern
- Wärmepumpen zum gleichzeitigen Heizen und Kühlen von Räumen
- Wärmepumpen zur Ausnutzung der Niedertemperaturabwärme von Prozessen
- Wärmepumpen-Destillieranlagen zur teilweisen Wiederverwendung der eingesetzten Verdampfungsenergie

Derzeit sind die Hauptanwendungen von Wärmepumpen im industriellen Bereich die Abwärmennutzung zur Brauchwarmwasser- und Raumwärmebereitstellung. Als besonders geeignet wurden die Branchen Metallverarbeitung, Lebensmittelindustrie (z. B. Molkereien, Brauereien), Chemische Industrie, Papier-, Holz- und Textilverarbeitung identifiziert (Lambauer, 2008).

Stand der Technik

Mit der aktuell verfügbaren Technik kann eine thermische Leistung bis ca. 1.500 kW_{th} erreicht werden. Ein Hersteller bietet eine Leistung bis ca. 34 MW_{th} an. Die Leistungszahl liegt bei diesen Anlagen im Bereich von 2,4 bis 5,3 mit einem Maximum bei der aktuellen Wärmepumpentechnologie von ca. 6 bis 7. Das erreichbare Temperaturniveau im einstufigen Betrieb liegt im Moment bei 65 °C bis 75 °C, im zweistufigen Betrieb, also bei Reihenschaltung

¹ Nach Heidelck (zitiert in Lambauer, 2008) könnten rund 50-60% des Wärmebedarfs in Industrie und Gewerbe mit Wärmepumpen bereitgestellt werden. Diese Angabe muss allerdings sehr kritisch hinterfragt werden, da nur weniger als 30% des gesamten deutschen Prozesswärmebedarfs bei Temperaturen unterhalb von 200°C anfallen (vgl. Tabelle 3)

von zwei Wärmepumpenanlagen, bei ca. 80 °C. Darüber hinaus gibt es individuell geplante und gefertigte Sonderanlagen, welche bis ca. 90 °C bei einer Leistung von 300 kW_{th} produzieren können. Zu beachten ist, dass schon aufgrund der Hauptsätze der Thermodynamik bei höherem Temperaturniveau die üblichen Jahresarbeitszahlen von Wärmepumpen nur dann gehalten werden können, wenn auch die Temperatur der Wärmequelle höher als gewöhnlich ist (z.B. durch die Nutzung von Abwärme).

Es sind neue Kältemittel in der Entwicklung und in Zukunft sollen Temperaturen von 90 °C realistisch sein und sogar Werte von 100 °C realisierbar. Allerdings kann jetzt noch nicht abgeschätzt werden, wann diese Kältemittel am Markt verfügbar sein werden.

Der Planung und Auslegung der Wärmetauscher kommt eine große Bedeutung zu. Diese müssen mit dem Abwärmemedium (in der Regel Kühlwasser) wartungs- und verschleißarm betrieben werden können und es sollte darauf geachtet werden, die auftretenden Übertragungsverluste zu minimieren.

Für Flüssigkeiten werden im Leistungsbereich von 5 bis 500 kW Plattenwärmetauscher, im Bereich von 50 kW bis 2.000 kW Bündelrohrwärmetauscher eingesetzt. Für Gase werden im Leistungsbereich von 5 bis 500 kW Lamellenwärmetauscher verwendet.

Aktuelle Wärmepumpen sind auf eine maximale Eingangstemperatur von ca. 35 °C beschränkt, da höhere Temperaturen zu Schäden am Verdichter führen können. Wärmepumpenanlagen sind am wirtschaftlichsten, wenn sie kontinuierlich und nicht am Temperaturlimit betrieben werden, da bei hohen Ausgangstemperaturen die Leistungszahl sinkt. Um eine kontinuierliche Versorgung der Wärmepumpe mit Abwärme zu ermöglichen, können gegebenenfalls Wärmespeicher eingesetzt werden (Lambauer, 2008).

4 Einsatzgebiete von erneuerbaren Wärmetechnologien

In vielen Betrieben kann die Prozesswärme nicht ohne weiteres getrennt von der **Raum- und Hallenheizung** betrachtet werden, da es zum einen oft eine tatsächliche physikalische Verbindung zwischen beiden gibt (Abwärmenutzung) und zum anderen in der Praxis oft keine getrennte Verrechnung und Messung der beiden Komplexe bei Einkauf und Verbrauch erfolgt (Müller 2004, S. 20).

In unseren Breiten ist der Einsatzbereich von **solarthermischen Anlagen** aufgrund der Leistungsfähigkeit der Kollektoren und auch von **Wärmepumpen** auf Niedertemperaturprozesse beschränkt. In einigen Branchen besteht nur ein geringer Bedarf an Niedertemperaturanwendungen oder es dominieren Hochtemperaturprozesse bei denen eine Abwärmenutzung bzw. Wärmerückgewinnung die sinnvollere Alternative darstellt. Dies sind z.B. Eisen- und Stahlerzeugung, Glas, Steine und Erden, Metallerzeugung und -verarbeitung, Papier- und Zellstoffindustrie und Maschinenbau (Müller 2004, S.147). Mit **Biomasse** können Temperaturen bis über 400°C erreicht werden, was einen Einsatz für Prozesse im mittleren und hohen Temperaturbereich ermöglicht.

Einige verfahrenstechnische Grundoperationen, die Prozesswärme im Niedertemperaturbereich benötigen kommen in verschiedenen Branchen zum Einsatz und sind für den Einsatz von Solarthermie bzw. Wärmepumpen besonders geeignet. Abbildung 3 gibt einen Überblick über einige Prozesse und die dabei benötigten Temperaturbereiche.

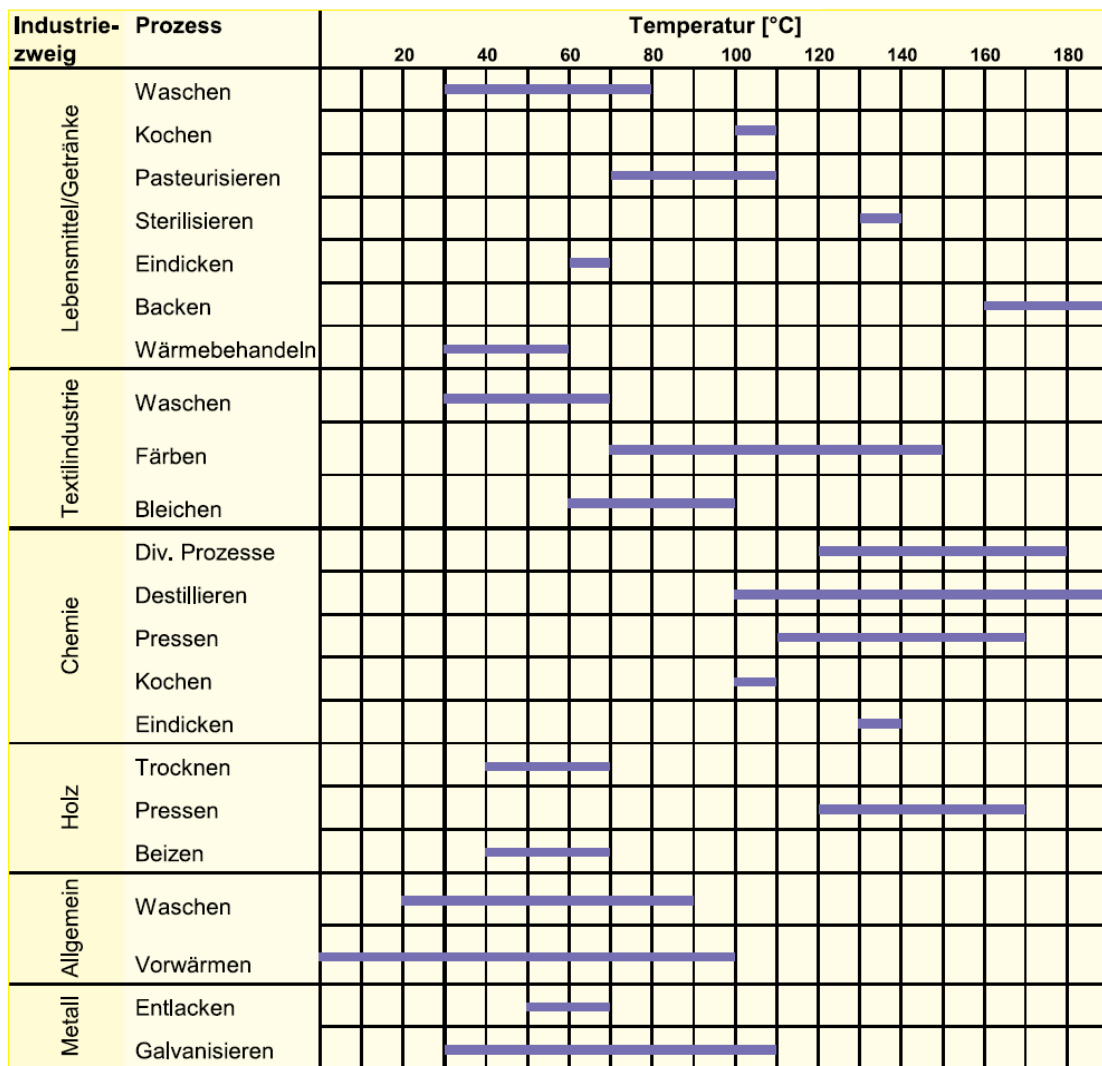


Abbildung 3: Industrielle Prozesswärme nach Temperaturbedarf. Quelle: FFE, zitiert nach (AEE INTEC 2005)

Die im folgenden beschriebenen Prozesse kommen häufig zum Einsatz, wobei die Randbedingungen und Anforderungen je nach Branche unterschiedlich sein können. Ein Schwerpunkt der Betrachtung liegt auf der Eignung für den Einsatz von Solarenergie.

Bereitstellung von Heißwasser und Dampf

Heißwasser oder Dampf in einem Temperaturbereich von ca. 50 bis 120 °C wird von vielen Betrieben für Wasch- und Kochprozesse benötigt. Bestehende konventionell beheizte Systeme arbeiten häufig mit höheren Temperaturen (120-180°C), da sich hierdurch kleinere Anlagen für die Wärmeübertragung ergeben. Beim Einsatz von Solarenergie wird man allerdings auf einem möglichst niedrigen Temperaturniveau einspeisen.

Trocknungs- und Entwässerungsverfahren

Durch Trocknung kann Restfeuchte aus Lebensmittel, Pflanzen, Früchten, Textilien, Holz und Klärschlamm oder Lösungsmittel beispielsweise bei Lackierarbeiten ausgetrieben werden. Die Temperaturen liegen dabei meistens unter 100°C, in seltenen Fällen bei bis zu 150°C. Oberhalb dessen fangen Zersetzungsprozesse an. Die Nutzung der solaren Energie

kann dabei direkt über die Trockenluft erfolgen oder indirekt über Heißwasser als Transport- und Speichersystem.

Einsatzstoff- und Materialvorwärmung

Dazu gehören zum Beispiel die Bereitung von Warmwasser für verschiedene Prozesse, Kesselspeisewasser und die Erwärmung von Rohstoffen aus Kühllagern. Die Erwärmung beginnt meist von Lagertemperatur, somit sind nur geringe Temperaturen erforderlich, was für einen Einsatz von Solarenergie optimal ist. Andererseits besteht hier oft eine direkte Konkurrenz zur Abwärmenutzung aus z.B. Prozessströmen, Kühlanlagen, Gasmotoren u.a..

Eindampfung und Destillation

Eindampfung ist die Aufkonzentration von Lösungen und wird z.B. bei der Herstellung von Milchpulver, bei Speise- und Streusalz in Salinen und bei der Abwasserbehandlung angewendet. Durch einen Betrieb der Eindampfanlagen mit verringertem Druck können diese mit niedrigeren Temperaturen arbeiten und so an den Einsatz der Solarthermie angepasst werden. Destillation wird z.B. zur Produktion von Aromen, Essenzen und alkoholischen Getränken eingesetzt. Beides sind energieintensive Prozesse, die in verschiedenen Branchen eingesetzt werden, so in der chemischen Industrie, Lebensmittel-, Papier- und Textilindustrie.

Waschen und Reinigen

Wasch- und Reinigungsvorgänge sind praktisch in allen Industrie- und Gewerbesparten notwendig, wobei typischerweise große Mengen an warmem Wasser ge- bzw. verbraucht werden. Temperaturen von bis zu 90°C sind hierfür notwendig. Anwendungsfälle sind beispielsweise:

- Flaschen, Fässer, etc. (Lebensmittelindustrie)
- Produktionshallen und Apparate besonders in der Lebensmittelindustrie (Brauereien, milchverarbeitende und Fleischindustrie)
- Textilien (Textilindustrie, Gewerbebetriebe, Wäschereien, etc.)
- Das Abtrennen von ungewollten Bestandteilen (Schmutz, Schale, Erde, Mikroorganismen, Pestizide, Salze, ...), um eine Weiterverarbeitung zu ermöglichen.
- Metallteile, Oberflächen vor Lackieren, Galvanisieren oder Emaillieren (Metallverarbeiter)

Blanchieren, Pasteurisieren, Sterilisieren, Kochen

Beim Blanchieren wird die Aktivität von Enzymen und Bakterien durch eine kurzzeitige Erhitzung des Produktes auf ca. 65-90 °C gehemmt. Pasteurisieren (ca. 70°C) und Sterilisieren (>100°C) gehören zu den energieintensivsten Möglichkeiten, die Haltbarkeit von Lebensmitteln zu erhöhen. Das Produkt wird direkt über heißes Wasser oder Dampf, oder indirekt über einen Wärmetauscher erwärmt (Schnitzer 2007).

Bleichen und Färben

Beim Bleichen werden bei Temperaturen von ca. 90 bis 130 °C Pigmente und Metalle entfernt, eingesetzt wird dieses Verfahren z.B. in der Textil- und Lebensmittelindustrie. Beim Färben werden in der Textilindustrie verschiedene Temperaturbereiche benötigt. Zum Färben gehören die folgenden Schritte: Vorbereiten der Farbe, evtl. Bleichen, Färben, Fixieren, Waschen und Trocknen.

Kühlprozesse

Kühlprozesse und die Klimatisierung von Produktionshallen (z.B. in der Lebensmittelindustrie) kann durch Adsorptionskühlmaschinen mittels solarer Wärme erfolgen (Schnitzer 2007).

Zu den Branchen, die bezüglich des erforderlichen Temperaturniveaus für den Einsatz von Solarthermie besonders gut geeignet sind, gehören:

- Lebensmittelindustrie
- Chemische Industrie
- Textilindustrie
- Kunststoffverarbeitung (zum Kleben und Laminieren)
- Zellstoff- und Papierindustrie (hier kann allerdings ein großer Teil des Wärmebedarfs durch die Verbrennung von Produktionsabfällen bereitgestellt werden)
- Baustoffindustrie (Betonherstellung, Trocknung von Gipsplatten)
- Gewerbebetriebe (Trockenkammern für Lack oder Holz, Reinigung von Metalloberflächen, Wäscherein, Autowaschanlagen).

5 Hemmnisse

Der Nutzung erneuerbarer Energien zur Prozesswärmebereitstellung stehen verschiedene Hemmnisse gegenüber. So waren beispielsweise bis Ende 2008 weltweit nur 90 Anlagen zur solaren Prozesswärmebereitstellung installiert. Im Folgenden werden die identifizierten Hemmnisse kurz dargestellt.

5.1 Geringes Temperaturniveau

Solarkollektoren in unserer Klimaregion sowie Wärmepumpen sind von ihrer technischen Leistungsfähigkeit auf Niedertemperaturprozesse beschränkt (Lauterbach 2009). So können in unseren Breiten mit Vakuumröhrenkollektoren Temperaturen von bis zu 150°C erreicht werden, mit Flachkollektoren bis ca. 100°C.

Wie in Abschnitt 1 beschrieben, liegt ca. 1/4 des gesamten Prozesswärmebedarfs unterhalb von 500°C. Bisher kommen Kollektoren nur für diesen Bereich der Wärmebereitstellung in Frage. Bei höherem Temperaturniveau können erneuerbare Anlagen zumindest zur Vorwärmung dienen. Hier stehen sie in der Regel jedoch in Konkurrenz mit Abwärmenutzungssystemen (siehe Abschnitt 5.8 – Prozessintegrierte Wärmerückgewinnung). Nach Lambauer (2008, S. 35) ist das Problem im industriellen Bereich weniger die fehlende nutzbare Abwärme, sondern eher die sinnvolle Verwendung von aus erneuerbaren Energien bereitgestellter Nutzwärme.

Der Wirkungsgrad von Solarkollektoren nimmt mit steigender Temperatur ab. Daher sollte die solare Prozesswärme auf einem möglichst niedrigen Temperaturniveau integriert werden (Hennecke et al. 2005).

5.2 Zeitliche Entkopplung des Wärmebedarfs und Wärmeeinfalls (besonders bei der Solartechnologie)

Bei Solarthermieanlagen ist der unregelmäßige Wärmeeinfall zu beachten – Überhitzung und Stagnation im Sommer gilt es zu vermeiden und im Winter ist die Wärmeversorgung auch bei geringer Einstrahlung zu gewährleisten.

Das am häufigsten verwendete Speichermedium ist Wasser und die Speicherkapazität ist abhängig von der Speichergröße und Betriebstemperatur. Angesichts der großen zu speichernden Wärmemengen, ist der benötigte Platzbedarf für den Speicher relativ hoch. Andere Technologien, die eine Speicherung mit geringerem Platzbedarf und höheren Temperaturen ermöglichen, sind in der Entwicklung. Dazu gehört die Speicherung latenter Wärme (z.B. Kondensationswärme, Schmelzwärme) sowie thermochemische Speicher, wobei die in endothermischen chemischen Reaktionen gespeicherte Wärme genutzt wird (z.B. Salze) (ESTTP 2008).

5.3 Komplexität und Planungsaufwand

Im Vergleich zu üblicher Wärmebereitstellung liegt bei der Prozesswärme die Problematik nicht primär bei der Systemtechnik, sondern bei der Integration dieser in die unterschiedlichen spezifischen Prozesse. Jedes Vorhaben bedarf einer Einzelfallbetrachtung. Zudem müssen die unterschiedlichen Optionen der erneuerbaren und effizienten Energieversorgung berücksichtigt werden. Der individuelle Planungsaufwand stellt daher ein enormes Hemmnis dar (Lauterbach 2009, S. 144). Außerdem ist die Einbeziehung von Fachleuten, welche sich mit den jeweiligen Prozessen auskennen, unabdingbar. In der Regel muss bei kritischen Prozessen und zur Überbrückung längerer strahlungsarmer Zeiten, eine vollwertige konventionelle Wärmeversorgung bereitgestellt werden. Deshalb bringt die Solaranlage oft keine Reduktion des konventionellen Anlagenteils mit sich und die Anlage muss sich allein durch die erzielten Brennstoffeinsparungen amortisieren (Hennecke et al. 2005).

5.4 Geringer Bekanntheitsgrad, mangelndes Fachwissen

Oftmals werden die Möglichkeiten zur rationellen Energieanwendung und die Integration erneuerbarer Energien in industrielle Prozesse aus Unwissenheit nicht genutzt. Im Vordergrund steht ein reibungsloser Ablauf des Prozesses, so dass die Notwendigkeit zur Integration übersehen wird („Never change a running system“). Zudem stehen, trotz steigender Energiekosten, Daten zum Energieverbrauch und die Unterteilung der einzelnen Prozessschritte nur selten in der notwendigen Güte zur Verfügung (Lauterbach 2009). Diese sind jedoch Grundvoraussetzung für eine sinnvolle Planung.

Mangelndes Fachwissen der Anlagenbetreiber spielt ebenso eine Rolle bei der Integration.

5.5 Bauliche und technische Gegebenheiten

Limitierend für Solarkollektoren sind häufig die verfügbaren Dach- und Freiflächen (POSHIP 2001). Industriehallendächer sind oftmals nicht für zusätzliche Lasten ausgelegt. Der zusätzliche Bauaufwand, welcher notwendig wäre, um die statische Festigkeit für die Installation Solarkollektoren herzustellen, ist ein weiteres Hemmnis (Lauterbach 2009).

Die Integration in bestehende Anlagen mit „gewachsenen Strukturen“ ist oft aufwändig und teuer als bei einem Neubau.

Die Wärmeverteilung erfolgt häufig in Dampfnetzen. Durch das hier vorherrschende Temperaturniveau ergaben sich kleinere Wärmeverteilungs- und Wärmeübertragungssysteme, diese hohen Temperaturen sind für erneuerbare Energieanlagen jedoch schwer zu erreichen. Ein Umbau ist mit weiterem erheblichem Aufwand verbunden (Schnitzer 2007 und Lauterbach 2009).

5.6 Effizienzsteigernde Maßnahmen

Es hat sich gezeigt, dass beispielsweise die Konzeption einer solarthermischen Anlage für die Bereitstellung von Prozesswärme noch stärker als im Wohnbereich erst nach vollständiger Ausschöpfung konventioneller Effizienzmaßnahmen sinnvoll ist. Maßnahmen wie Wärmedämmung von Speichern und Rohren, Wärmerückgewinnungsanlagen, eine gleichmäßigere Prozessführung und eine verbesserte Verschaltung der hydraulischen Komponenten müssen der Installation einer Anlage zur Nutzung erneuerbarer Energien vorgeschaltet werden (Jordan 2006).

5.7 Investitionskosten und Wirtschaftlichkeit

Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien haben aufgrund der individuellen und prozessspezifischen Planung häufig höhere Investitionskosten als vergleichbare konventionelle Technologien. Ein Großteil der Investitionsentscheidungen deutscher Unternehmen wird derzeit ausschließlich nach der Methode der Amortisationszeit (d.h. einem Risiko-Maß) getroffen, anstatt sie nach ihrer Rentabilität (Barwert oder interne Verzinsung) zu beurteilen. Bei industriellen Prozessen liegt die geforderte Amortisationszeit bei weniger als 2-4 Jahren, was eine schwer erfüllbare Forderung bei langfristigen Investitionen im Bereich der Energieversorgung ist. Zudem fallen in größeren Unternehmen Investitionsentscheidungen oft getrennt von der Betrachtung der resultierenden Betriebskosten, da die Finanzmittel aus unterschiedlichen Bereichen zur Verfügung gestellt werden. Eine ausführliche Berechnung der Kosten über den gesamten Nutzungszeitraum erfolgt häufig nicht (Lambauer 2008 und Lauterbach 2009).

Diese Problematik ließe sich prinzipiell durch Contracting-Projekte umgehen, bei denen die Wärmeanlage von einem externen Contractor errichtet und betrieben wird und das Unternehmen lediglich einen langfristigen Wärmeliefervertrag abschließt. Der Contractor muss seinerseits versuchen, sich gegen langfristig kaum auszuschließende Betriebsverlagerungen oder -schließungen abzusichern.

5.8 Konkurrierende Technologien

Beim Einsatz einer Technologie zur erneuerbaren Wärmeherzeugung müssen alle Alternativen untersucht und miteinander verglichen werden. Die Anwendung einer Technologie ist dabei in erster Linie von Parametern wie Wirtschaftlichkeit, Versorgungssicherheit, Umweltverträglichkeit und Nachhaltigkeit abhängig.

Konkurrenz mit anderen Technologien

Diese vermindern oft den Wärmebedarf auf Kosten eines erhöhten Stromeinsatzes. Beispiele sind:

- Membrananlagen statt Eindampfung,
- Mikrowellen-Heizungen statt Dampf,
- Sterilisation mittels UV statt Hitze,
- Entkeimung über Membranen statt Wärmepasteurisierung,
- Ultraschallreinigung bei niedrigeren Temperaturen,
- Biotechnologie statt klassischer Chemie,

- selbstreinigende Oberflächen und
- kaltaktive Waschmittel

Konkurrenz mit Kraft-Wärme-Kopplung

Unternehmen produzieren ihre Wärme oftmals mittels Kraft-Wärme-Kopplungsaggregaten, um neben der Wärme auch energetisch höherwertigen Strom zu produzieren, bzw. setzten vorhandene Notstromaggregate verstärkt im Normalbetrieb ein, um Stromverbrauchsspitzen zu kappen (Schnitzer 2007). Zur Anwendung kommen hier in der Regel Verbrennungskraftmaschinen, wie kleine Gasturbinen, Gas- oder Dieselmotoren, aber vereinzelt auch Dampfmaschinen und Stirlingmotoren. Die im Verbrennungsprozess entstehende Wärme kann für die vorhandenen Prozesse eingesetzt werden, was den Gesamtwirkungsgrad dieser Systeme deutlich erhöht. Diese stellen in der Regel Wärme im Temperaturbereich von unter 90°C zur Verfügung und agieren damit im gleichen Temperaturbereich wie derzeit die Solarthermie.

Prozessintegrierte Wärmerückgewinnung

Es ist energetisch nicht sinnvoll, Wärme mittels erneuerbarer Energien zu erzeugen, wenn die Möglichkeit besteht, diese durch internen Wärmetausch bereitzustellen. Wärmerückgewinnungsanlagen lassen sich in der Regel einfacher realisieren und sollten daher primär in Betracht gezogen werden. Eine einfache Möglichkeit zur Abschätzung, ob beispielsweise eine solarthermische Anlage sinnvoll installiert werden kann, bietet die sogenannte Pinch-Methode (Schnitzer 2007 und AEE INTEC 2005).

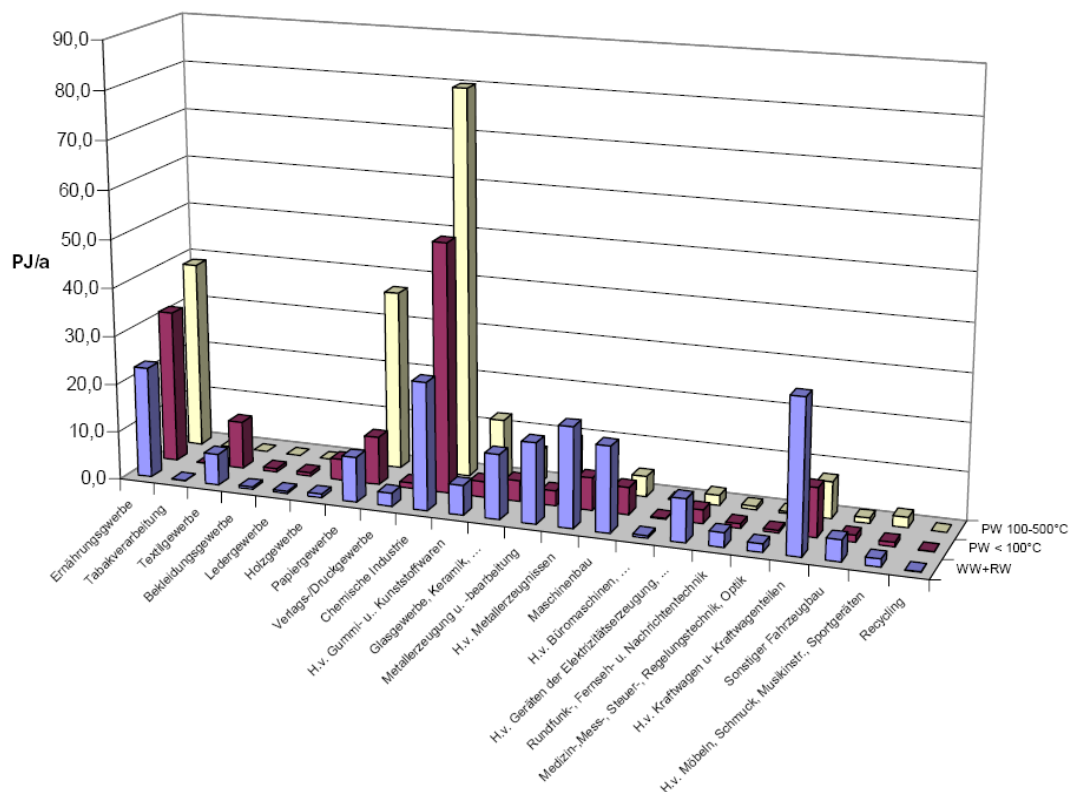


Abbildung 4: Bedarf an Nieder- und Mitteltemperaturwärme im verarbeitenden Gewerbe (Krewitt 2006)

6 Potenziale

6.1 Das Potenzial für solare Prozesswärme

6.1.1 Abschätzung des Gesamtpotenzials

Bei der Ermittlung eines realistischen Potenzials für solare Prozesswärme wird weitgehend einer für Österreich erstellten Potenzialstudie gefolgt (Müller 2004).

Das in Abschnitt 2 ausgewiesene technische Potenzial von 428 PJ, welches den Endenergiebedarf der Industrie für Prozesswärme bis zu einem Temperaturniveau von 250°C umfasst, kann nicht vollständig durch solare Wärme erschlossen werden. Es muss eine Reihe von Restriktionen berücksichtigt werden, welche das solare Potenzial sehr deutlich reduzieren.

1. Nur ein Teil der in Tabelle 2 dargestellten Branchen sind für den Einsatz von solarer Wärme geeignet. Bei Branchen mit einem großen Bedarf an Hochtemperaturprozesswärme kann damit gerechnet werden, dass sich der Prozesswärmebedarf bis 250°C durch die Nutzung von Abwärme aus den Hochtemperaturprozessen decken lässt. Im Fall des Holz- und Papiergewerbes ist davon auszugehen, dass genügend Holz- und Papierabfälle zur Verfügung stehen, um den Prozesswärmebedarf dieser Branchen weitgehend zu decken. Werden nun noch die Branchen mit vernachlässigbar geringem Niedertemperaturprozesswärmebedarf von der weiteren Untersuchung ausgeschlossen, so verbleiben gemäß (Müller 2004) nur noch die solar geeigneten Branchen der Nahrungs- und Genussmittelindustrie (WZ 15 und WZ 16), des Textil- und Bekleidungs gewerbe (WZ 17 und WZ 18) sowie der Chemieindustrie (WZ 24). In Übereinstimmung mit (Müller 2004) muss an dieser Stelle betont werden, dass es für einzelne Unternehmen in den hier nicht weiter betrachteten Branchen trotzdem sinnvoll sein kann, für geeignete Prozesse solarthermisch Energie bereitzustellen².
2. Auch von den Betrieben und Prozessen der im Prinzip solar geeigneten Branchen sind nicht alle für eine Solarisierung geeignet. Zu den prohibitiven Hemmnissen gehören beispielsweise, dass
 - der Prozesswärmebedarf auch durch (günstigere) Effizienzmaßnahmen wie Wärmerückgewinnung oder Abwärmenutzung verringert oder gedeckt werden kann,
 - die Prozesswärme aus betrieblichen Gründen mit Strom bereitgestellt werden muss,
 - es an geeigneten Stellflächen für Kollektoren fehlt.

(Müller 2004) rechnet damit, dass aufgrund betriebswirtschaftlicher Rahmenbedingungen und möglicher Steigerungen der Energieeffizienz sich auch in den solar geeigneten Branchen 60% des technischen Nieder- und Mitteltemperaturpotenzials nicht solar erschließen lassen.

3. Auch dort, wo die Integration einer Solaranlagen in den Produktionsprozess möglich ist, wird sie nur einen Teil des Wärmebedarfs decken können. (Müller 2004) setzt hierfür einen solaren Deckungsanteil von im Mittel 40% an.

² Beispiele hierfür gibt es im Bereich der Oberflächenbehandlung von Metallen oder der Reinigung von Kraftfahrzeugen.

Aufbauend auf den Tabelle 2 und Tabelle 3 zeigt Tabelle 4 den Prozesswärmebedarf der solar geeigneten Branchen. Auf diese Branchen entfällt knapp die Hälfte des gesamten industriellen Prozesswärmebedarfs im Temperaturbereich bis 250°C.

Tabelle 4: Prozesswärmebedarf solar geeigneter Branchen im Temperaturbereich bis 250°C.

	PJ	<100°C	100-150°C	150-250°C	Summe
Nahrungs- und Genussmittel		34	30	12	76
Textil- und Bekleidungsindustrie		11	0	0	11
Chemische Industrie		55	24	34	113
Summe		101	54	46	200

Tabelle 5 zeigt, wie groß in diesen Branchen der Anteil ist, der unter Berücksichtigung der oben aufgeführten Restriktionen mit solarer Wärme gedeckt werden kann.

Tabelle 5: Solares Prozesswärmepotenzial im Industriesektor.

	PJ	<100°C	100-150°C	150-250°C	Summe
Nahrungs- und Genussmittel		5	5	2	12
Textil- und Bekleidungsindustrie		2	0	0	2
Chemische Industrie		9	4	5	18
Summe		16	9	7	32

Insgesamt beträgt das solare Potenzial 32 PJ, von welchem etwa die Hälfte auf den Nieder-temperaturbereich bis 100°C entfällt und somit mit vergleichsweise einfachen Kollektoren gedeckt werden kann. Es ist nur das Prozesswärmepotenzial angegeben. Die Potenziale im Bereich der solaren Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser für den industriellen Sektor sind nicht enthalten.

Zur vollständigen Ausschöpfung des Gesamtpotenzials ist eine Kollektorfläche von ca. 25 Mio. m² erforderlich (bei einem solaren Ertrag von 350 kWh/m²,a). Das ist in etwa das 14-fache der heute jährlich in Deutschland neu installierten Kollektorfläche. Es handelt sich somit um ein bedeutendes Potenzial. Es ist allerdings deutlich geringer als das solare Potenzial von etwa 200 PJ/a, welches für die solare Warmwasserbereitung errechnet wurde (DLR 2001).

6.1.2 Potenziale der einzelnen Branchen

Lebensmittelindustrie

Ein besonders großes Potential ist in der Nahrungs- und Genussmittelindustrie zu finden mit Brauereien, Milch- und Fleischverarbeitung sowie Schlachtereien.

Um die Haltbarkeit von Lebensmitteln zu erhöhen, werden diese **pasteurisiert** (70 °C) bzw. **Sterilisiert** wofür Temperaturen um 70 °C bzw. über 100 °C notwendig und diese damit energieaufwendige Prozesse sind. Anwendungsfälle sind flüssige Lebensmittel, wie Milch und Säfte, Gebinde, Dosen und Marmeladen. Ähnliche Temperaturen sind beim **Blanchieren** notwendig. **Kochprozesse** in der Nahrungsmittelindustrie dienen vor Allem zur Herstellung von Fertigprodukten der Fleischindustrie. Hierfür werden Temperaturen zwischen 65

und 70 °C benötigt (Schnitzer 2007). Weitere geeignete Einsatzbereiche sind **Wasch- und Reinigungsvorgänge** von Flaschen, Fässern etc., in Produktionshallen und Apparaten (z.B. Brauereien, milchverarbeitende und Fleischindustrie) und zur Abtrennung von ungewollten Bestandteilen wie z.B. Schmutz, Pestizide und Salze. Dafür werden Temperaturen unter 90 °C benötigt. Ebenso **Trocken- und Eindampfprozesse** sowie **Auftauprozesse**, für die niedrige Temperaturen ausreichen.

Brauereien

Die Brauindustrie ist mit einem jährlichen Endenergiebedarf von rund 1,67 PJ (2001) einer der energieintensivsten Sektoren der Lebensmittelbranche. Ungefähr die Hälfte der Energie wird im Sudhaus verbraucht (AEE INTEC 2005 und Schmitt 2009). Dort werden beim Maischen und Läutern Temperaturen von 58 – 76 °C benötigt und für das Kochen um die 100 °C (Jordan 2006, Schmitt 2009 und Müller 2004). Allerdings kann durch Wärmerückgewinnung beim Kochen und Würze kühlen der größte Teil des Energiebedarfs des Maischens und Läuterns gedeckt werden (Schmitt 2009). Ein Viertel des gesamten thermischen Energieverbrauchs wird zum Reinigen von Flaschen und Fässern benötigt (Temperaturen bis ca. 80 °C). Der Wärmebedarf in diesem Bereich ist kontinuierlich und für den Einsatz solarer Prozesswärme gut geeignet. Ein Drittel der gesamten elektrischen Energie wird im Gär- und Lagerkeller zum Kühlen aufgewendet (AEE INTEC 2005 und Jordan 2006).

Ein Beispiel für die Integration einer Solaranlage ist die Hütt-Brauerei in Kassel Baunatal, bei der eine Solaranlage **5%** des Prozesswärmebedarfs der Brauerei deckt (BMU 2008, S. 150). In der Privatbrauerei Hofmühl GmbH Eichstätt in Bayern wurde 2008 eine solarthermische Anlage mit Vakuumröhrenkollektoren installiert, die mit Temperaturen bis 130 °C **50%** des Prozesswärmebedarfs decken soll. Der Brauprozess wird auf das Angebot an Solarstrahlung abgestimmt³.

Eine Studie für Österreich gibt das solare Potential für Brauereien mit nur **3%** des Bedarfs an Niedertemperatur-Wärme (bis 100 °C) an. Gründe dafür sind, dass ein hoher Wärmebedarf zwischen 80 –100 °C besteht, der nur bedingt geeignet ist für den Einsatz von Solarthermie, und große Brauereien zunehmend über KWK-Anlagen und Biogas-Anlagen verfügen und somit ein Überschuss an Wärme gegeben ist. Bei kleinen Brauereien hingegen ist die Auslastung nicht gegeben (Stillstandsgefahr) (Müller 2004).

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass eine Solarthermieanlage zur Erzeugung von Heißwasser für Brau- Reinigungs- und Sterilisationsprozesse sowie für Heiz- und Kühlzwecke geeignet ist. Allerdings treten bei den Brauereien größere verfahrenstechnische Unterschiede auf, weshalb eine allgemeingültige Aussage nur schwer getroffen werden kann und die sinnvolle und realisierbare Integration einer solarthermischen Anlage in jeder Brauerei individuell geplant werden muss (Schmitt 2009).

Milchverarbeitung

Die Branche der Milchverarbeitung weist einen kontinuierlichen, hohen Energiebedarf im niedrigen Temperaturbereich bis ca. 80 °C auf und ist damit für den Einsatz von Solarthermie prinzipiell gut geeignet. Allerdings wurden in der Vergangenheit schon Möglichkeiten der Wärmerückgewinnung realisiert und es besteht dadurch in vielen Prozessen eine relativ ge-

³ http://www.bayerisches-energie-forum.de/portal/bef_news_detail,93581,756,135314,detail.html (Zugriff am 23.09.2009)

ringe Temperaturdifferenz zwischen Vor- und Rücklauf. Eine Untersuchung der Milchverarbeitenden Industrie in Österreich zeigt, welche Prozesse für eine Integration von Solarthermie besonders geeignet sind. So kann die thermische Energie für das Waschwasser in der Käsefertigung und das Warmwasser für die Außenreinigung der Produktionsanlagen zu 100%, für die Thermisierung der Käsemilch sowie die Wärmebehandlung von Sauermilchprodukten zu 50% (der Rest durch Wärmerückgewinnung) und für die CIP- Reinigung („cleaning in place“ ohne Demontage der Anlage) zu 25% solarthermisch erzeugt werden. Je nach eingesetzten Anlagen und Produktpalette sind in den Betrieben auch weitere Prozesse für eine solarthermische Wärmeerzeugung geeignet. Dies muss allerdings im Einzelfall geprüft werden. Insgesamt wird berechnet, dass für den Temperaturbereich bis 150 °C **20%** solarthermisch gedeckt werden können (Müller 2004).

Schlachthäuser, Fleischverarbeitung

Der Bedarf an Niedertemperatur-Wärme (bis 150 °C) besteht vor allem bei der Desinfektion, Produktreinigung, Reinigung der Werkzeuge, Handwäsche und Heizbedarf. Nach Kalkulationen für die österreichische Industrie sind ca. 2/3 davon geeignet für eine solarthermische Nutzung. Das restliche Drittel kann durch Wärmerückgewinnung, insbesondere Abwärmenutzung aus Kühlprozessen, bereitgestellt werden.

Textilindustrie

In der Textilindustrie gibt es Waschprozesse (Wolle, Gewebe etc.), Bleich- und Färbeprozesse sowie spezielle thermische Behandlungen wie fixieren, bügeln, etc. und anschließendes Trocknen (Schnitzer 2007). Je nach Produktionszweig gibt es eine große Breite an Prozessen, da einige Hersteller nur bestimmte Fasern bearbeiten oder nur einen Herstellungsprozess bzw. Teilprozess durchführen (z.B. Spinnen, Weben, Färben) (Müller 2004). Entsprechend unterschiedlich sind auch die Möglichkeiten und Potentiale, solare Wärme zu integrieren. Für den größten Teil dieser Prozesse (z.B. Waschen, Entschlichten, Appretieren, Trocknen) werden Temperaturen unter 100 °C benötigt⁴.

Für die österreichische Textilindustrie ergab eine Grobabschätzung (abzüglich der Möglichkeiten der Wärmerückgewinnung) ein solarthermisches Potential von **25-50%** an der Niedertemperaturwärme bis 100 °C. Dabei ist zu beachten, dass der Wasser- und Energieverbrauch bei den einzelnen Prozessen sehr unterschiedlich sein kann. Die Auswertung von Fallstudien zeigte, dass selbst bei der Produktion gleicher Waren große Unterschiede auftreten (Müller 2004).

Zellstoff- und Papierindustrie

Diese Branche ist interessant, da der Energieverbrauch sehr hoch ist und die Energiekosten mit ca. 10-30% der Gesamtkosten einen entscheidenden Kostenfaktor darstellen⁵. Es besteht ein ganzjährig hoher Wärmebedarf für Koch- und Eindampf- sowie Trocknungsprozesse im Temperaturbereich bis 500 °C. Üblich sind Dampfnetze mit 2,5 bis 5 bar. Für Solarthermie oder Wärmepumpen kommen die Prozesse Altpapierrecycling und Veredlung (Strei-

⁴ Nach (Eikmeier 2006) liegt der gesamte PW-Bedarf Deutschlands unter 100°C und beträgt 10 PJ/Jahr, dazu kommen 6,5 PJ/Jahr für Warmwasser und Raumwärme. Allerdings werden nach dem Wärmeatlas Baden-Württemberg (Blesl et.al. 2008) für Prozesse wie z.B. Fixieren, Färben, Kondensieren Temperaturen bis 150 °C benötigt.

⁵ <http://www.ec-bioenergie.de/> (Zugriff am 21.09.2009)

chen) im Temperaturbereich von 45 bis 60°C und Trocknung bis ca. 100 °C in Frage (Lambauer 2008, S. 39). Aufgrund der hohen Bedarfs an Energie im Temperaturbereich über 100 °C besteht ein relativ hohes Abwärmepotential.

Zur Dampferzeugung werden verschiedene Techniken eingesetzt: Kohlekessel und KWK mit Gegendruck-Dampfturbine, Gasturbinen und Gas-und-Dampf-Kombikraftwerke zum Teil erfolgte eine Umstellung auf Ersatzbrennstoffe und eigene Reststoffe. Für eine regenerative Energieerzeugung bietet sich eine Umstellung der Dampferzeugung auf KWK mit Biomasse und Pellets an. Mit einem Wärmecontracting können Betriebe von den hohen Investitionskosten entlastet werden (EC Bioenergie GmbH 2009).

Chemische Industrie

Die chemische Industrie ist eine sehr heterogene Branche mit einer großen Vielfalt von Produkten, die z.T. sehr wärmeintensiv sind. Üblich ist die Wärmeversorgung mit Dampfnetzen, wobei mehrere Druckstufen, z.B. 2 bar bis 25 bar, verwendet werden (je nach Temperaturanforderung). Aber auch die direkte Nutzung von heißen Gasturbinenabgasen, etwa für Trocknungsprozesse in Drehrohröfen, kommt zum Einsatz. Während bei den beschriebenen Prozessen in der Regel hohe Temperaturen notwendig sind, reichen in der Biochemie (pharmazeutische Industrie) Temperaturen um 37 °C in der Regel aus. Typische Anwendungsfelder für Solarthermie sind neben dem Einsatz bei biochemischen Prozessen, Vorwärmeschritte und Polymerisation (Schnitzer 2007).

Der Wärmebedarf⁶ (bis 100°C) der chemischen Industrie in Deutschland wird bei (Lambauer 2008) mit 42 PJ/Jahr und bei (Eikmeier 2006) mit 78 PJ/Jahr angegeben. Für diesen Temperaturbereich gibt (Müller 2004) für die österreichische Industrie ein solarthermisches Potential von 33 % an. Übertragen auf den Wärmebedarf in Deutschland würde dies einem solaren Potential von 14 bzw. 23 PJ/Jahr entsprechen.

Galvanische Industrie

Die galvanische Industrie ist die Schnittstelle zwischen Metall- und Chemieindustrie und beschäftigt sich mit der elektrolytischen Beschichtung von Metallen, zum Beispiel zum Korrosionsschutz. Das Werkstück wird in einer Elektrolytlösung behandelt. Eine Wärmepumpe beispielsweise kann zur Kühlung des Galvanikbades auf eine konstante Temperatur von 30°C und für Trocknungsprozesse (ca. 65 °C) sowie zum Entfetten (60 °C) eingesetzt werden (Lambauer 2008, S. 46). Genaue Zahlen zur Betriebsstruktur sind schwer zu bekommen, da sich ein Teil der Betriebe zur Metall- und ein Teil zur Chemieindustrie zählt.

Nach Kalkulation von (Lambauer 2008) beträgt das durchschnittliche Wärmepumpenpotenzial 291 kWth/Betrieb. Bei einem Einsatz von industriellen Wärmepumpen mit einer Leistung ab 100 kWth ist der Einsatz in Deutschland ab einer Betriebsgröße von etwa 30 Mitarbeitern denkbar, was ca. 500 Betriebe wären.

Kunststoffverarbeitung

Wärmebedarf im Niedertemperaturbereich besteht bei Klebe- und Laminiervorgängen, wo bei erhöhter Temperatur die Aushärtung beschleunigt wird (Schnitzer 2007, S. 28). Mittels Wärmepumpe kann die Abwärme von Schmelz- und Kühlprozessen z.B. bei der Trocknung

⁶ Prozesswärme, Raumwärme und Warmwasser

eingesetzt werden. Das technische Wärmepumpeneinsatzpotential wird auf 760 kW_{th} /Betrieb geschätzt was einer Wärmepumpenmindestgröße von 100 kW_{th} eine erforderliche Betriebsgröße von 35 etwa Mitarbeitern ergibt und in Deutschland somit ca. 1.200 Betriebe betrifft.

Nach (Müller 2004) haben Untersuchungen in Österreich für diesen Industriezweig ein nur geringes Potential aufgezeigt, da der größte Teil des Energiebedarfs für einen höheren Temperaturbereich benötigt wird (200 °C und höher).

Baustoffindustrie

Hier gibt es besonders drei Sparten, in denen sich der Einsatz von Solarenergie anbietet: Die Vorerwärmung des Wassers bei der Herstellung von Betonfertigteilen beschleunigt den Aushärtvorgang und es können somit Lagerflächen eingespart werden. Bei der Herstellung von Gipsplatten werden Trocknungstemperaturen von 110 °C benötigt, um überschüssiges Wasser auszudampfen. In der Ziegelindustrie kann durch Trocknung der Ziegelmasse nach dem Formen der Abbindevorgang beschleunigt werden.

Aufgrund der starken Verknüpfung mit der Bauwirtschaft ist der Prozesswärmebedarf starken jahreszeitlichen Schwankungen unterworfen, hat aber kaum ausgeprägte Tages- und Wochenprofile. Ein Problem könnte die Staubbelastung und damit Verschmutzung der Kollektoren darstellen.

Gewerbebetriebe

Häufig wird Wärme für Trocknungs- und Reinigungsvorgänge benötigt. Mögliche Einsatzbereiche sind:

- Trockenkammern von Lackieranlagen
- Holztrocknung bei Sägewerken
- Oberflächenreinigung von Metallteilen vor dem Lackieren, Galvanisieren, Emaillieren (Schnitzer 2007, S. 29)

Wäschereien, Autowaschanlagen

Der Temperaturbereich für Waschprozesse in Wäschereien liegt meist zwischen 40-70 °C, max. bis 90 °C, in Autowaschanlagen bis 60 °C, bei höheren Temperaturen treten Schäden am Lack auf. Die Integration einer solarthermischen Anlage zur Erwärmung bzw. Vorerwärmung des Wassers ist meist relativ einfach möglich. Bei bestehenden Anlagen werden solare Deckungsgrade von z.B. 40 % bei einer Autowaschanlage in Österreich und 22 % bei der Containerreinigung in Spanien erzielt. Es lässt sich keine allgemeingültige Aussage treffen zu Potentialen und geeignetem solaren Deckungsgrad. Dieser kann sehr unterschiedlich sein und ist neben der Einstrahlung abhängig von der verfügbaren Dachfläche, der Speichergröße und dem Wasserbedarf (Gesamtverbrauch und zeitliche Verteilung).

Hallenheizung

Des weiteren ist die Beheizung von Produktionshallen eine interessante Möglichkeit. Zum Beispiel die Firma Winkler in Feldkirch/Österreich beheizt ihre Produktionshallen zu 100% solar. Die Wärme wird mittels Alu-Kunststoffrohren im Betonboden verteilt und gespeichert. Durch die hohe Speicherkapazität kann viel Energie zwischengespeichert und der hohe solare Deckungsgrad erreicht werden.

Der aktuell mögliche Temperaturbereich von Wärmepumpen (bis 70°C) ist für viele bestehende Heizungsanlagen als Vorlauftemperatur zu gering. Für den Einsatz kommen daher am ehesten Neubauten in Frage (Lambauer 2008, S.44).

Wie Tabelle 2 zu entnehmen ist, ist der Bedarf an thermischer Energie für Warmwasser und Raumwärme in der Industrie mit 223 PJ/Jahr insgesamt höher als der Bedarf an Prozesswärme in niedrigen Temperaturbereich. Prinzipiell sind die Branchen, die nicht über einen Wärmebedarf im hohen Temperaturbereich und damit große Abwärmemenge verfügen (vgl. Kapitel 4), geeignet für den Einsatz von Solarthermie. Als Grobabschätzung kann angenommen werden, dass der Bedarf hier ca. 70 PJ/Jahr beträgt. Bei einem angenommenen solaren Deckungsgrad (vgl. Müller 2004 für Österreich) von 20 % ergibt sich ein Potential von 14 PJ/Jahr.

Einen zusammenfassenden Überblick zu den Potentialen (einschließlich Raumwärme und Warmwasser) in den einzelnen Branchen gibt Tabelle 6.

Tabelle 6: Potentiale der verschiedenen Branchen

geeignete Branchen	Unterbranchen	techn. Potential Wärmepumpe, nach Lambauer (2008)		PW-Bedarf 2003, nach Eikmeier (2006)	Potential Solarthermie, nach Müller (2004) für Österreich	Besonderheiten/Bemerkungen
		Temp.bereich bis 70 °C in PJ/Jahr	Temp.bereich bis 100 °C	PW-Bedarf bis 100 °C in PJ/Jahr	solarer Deckungsgrad 40% für PW, 20% für Raumheizung	
Lebensmittel-industrie		31	55	55		
	Milchverarbeitung				bis 150 °C: 20% möglich	
	Schlachthäuser, Fleischverarbeitung				bis 150 °C: ca. 66% möglich	
	Brauereien				bis 100 °C: 3%	Beispielanlagen mit solarem Deckungsgrad zwischen 5 und 50%
Textilindustrie		7	9	16	bis 100 °C: 25-50 %, d.h. übertragen auf Dtl.: 4-8 PJ/Jahr	je nach Betrieb und Prozessen sind die Potentiale sehr unterschiedlich
Holz		7	7			
Zellstoff- und Papierindustrie		12	122	19		großes Abwärmepotential vorhanden
Chemische Industrie		27	42	78	bis 100 °C: 33%, d.h. übertragen auf Dtl.: 14 bzw. 23 PJ/Jahr	großes Abwärmepotential vorhanden
Kunststoff		22	22	9		
	Kunststoff					durchschnittlicher Abwärmeeinfall pro Betrieb: 1778 MWth/Jahr, das entspricht einem durchschnittlichen technischen WP-Potential von 760 kWth je Betrieb; Einsatz von WP ab 100 kWth: Betriebsgröße ab 35 Mitarbeiter, das betrifft 1200 Betriebe in Dtl.
Metall	Metallerzeugung und Bearbeitung	24	24	20		
	Galvanische Industrie					durchschnittlicher Abwärmeeinfall pro Betrieb: 680 MWth/Jahr, das entspricht WP-Potential von 291 kWth/Betrieb; in Dtl. sind ca. 500 Betriebe (Betriebsgröße ab 30 Mitarbeiter) dafür geeignet
Automobil		30	33	42		
Baustoffindustrie						einige Prozesse geeignet, die Machbarkeit/Wirtschaftlichkeit muss aber jeweils individuell betrachtet werden: die großen Mengen an Staub, die anfallen könnten problematisch sein wegen Verschmutzung der Kollektoren
Gewerbebetriebe	Wäschereien/Autowaschanlagen					prinzipiell gut geeignet; Beispielanlagen mit solaren Deckungsgraden von ca. 20-40%; generelle Aussagen zu Potentialen sind nicht möglich
Hallenheizung						prinzipiell gut geeignet; Beispielanlagen mit bis zu 100% solaren Deckungsgrad; geeignet sind am ehesten Neubauten, bei denen Vorlauftemperaturen für die Heizung von bis zu 70 °C ausreichen; bei einem angenommenen solaren Deckungsgrad von 20% (nach Müller, 2004, für Österreich) und einem Bedarf von 70 PJ/Jahr in geeigneten Branchen (Branchen ohne hohes Abwärmepotential) ergibt sich ein Potential von ca. 14 PJ/Jahr für Raumwärme und Warmwasser
Sonstige		72	76	107		
Gesamt		232	390	346		
davon WW + RW		176	188	196		

6.2 Das Potenzial von Wärmepumpen in der Industrie

Zum technischen Potenzial von Wärmepumpen wird hier zunächst der gesamte Wärmebedarf gerechnet, welcher bis zu einem von der Wärmepumpentechnologie vorgegebenen maximalen Temperaturniveau anfällt. Mit der aktuellen Technologie, das heißt einem erreichbaren Temperaturniveau von 70°C, könnten gemäß einer Studie der Universität Stuttgart in den geeigneten Branchen 15 PJ/Jahr für Brauchwasser, 55 PJ/Jahr für Prozesswärme und weitere 161 PJ/Jahr für Raumwärme bereitgestellt werden (vgl. Abbildung 5) (Lambauer, 2008, S. 41). Das entspricht ca. 9 % des Energiebedarfs der deutschen Industrie im Jahre 2006 (S.50). In diesen genannten Branchen beträgt das technische Potential somit 231 PJ/Jahr, mit dem Haupteinsatzbereich bei der Raumwärmebereitstellung. Wenn das Temperaturniveau durch technische Weiterentwicklung auf 100°C angehoben werden kann, kann das Potential um 70% gesteigert werden. Besonders in den Bereichen Papiergewerbe, Chemie und Ernährung könnte dann ein deutlich größerer Teil des Wärmebedarfs mit Wärmepumpen gedeckt werden.

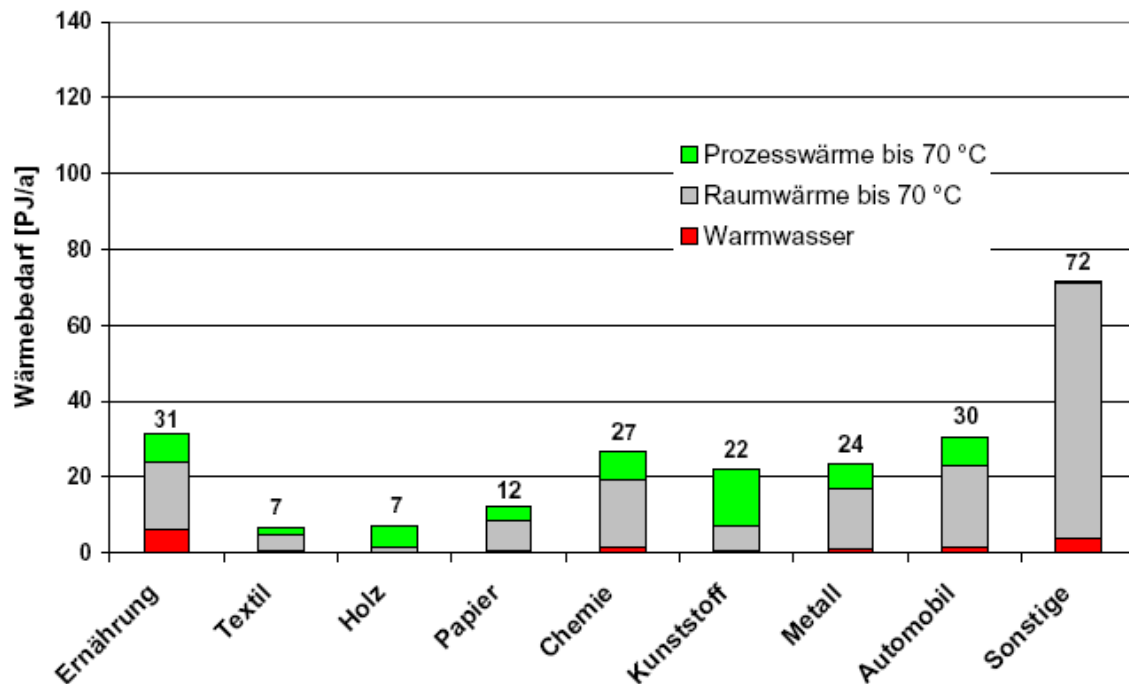


Abbildung 5: Wärmebedarf für ausgewählte Branchen bis 70°C (Lambauer 2008, S. 41)

Wie im Folgenden gezeigt, verringert sich das von Lambauer errechnete Potenzial verringert sehr deutlich, wenn ebenso wie bei der Ermittlung des Potenzials solarer Prozesswärme (siehe Abschnitt 6.1.1) nur die Wirtschaftszweige „Nahrungs- und Genussmittel“, „Textil- und Bekleidungsindustrie“ und „Chemische Industrie“ sowie weitere Hemmnisse wie die direkte Nutzung von ohnehin vorhandener Abwärme berücksichtigt werden.

Wie bei der Ermittlung des Potenzials Solarer Prozesswärme (s. Abschnitt 6.1.1) ist in vielen Fällen aufgrund der betrieblichen Rahmenbedingungen (z.B. zwingende Gründe für die Nutzung von Direktstrom als Wärmequelle) und möglichen Steigerungen der Energieeffizienz (z.B. Abwärmennutzung) eine vollständige Ausschöpfung des in Abbildung 5 dargestellten

Prozesswärmepotenzials¹ nicht möglich. Dieser Anteil wird im Folgenden mit 40% angesetzt².

Die Effizienz von Wärmepumpen sinkt, wenn die Anforderungen an das Temperaturniveau der bereitzustellenden Prozesswärme steigen. Um mit Wärmepumpen Einsparungen an Primärenergie zu erzielen, sollte die Leistungszahl (COP) der Wärmepumpe unter Betriebsbedingungen nicht unter 3,0 sinken. Für heutige Sole/Wasser- oder Wasser/Wasser-Wärmepumpen wird dieser Wert unterschritten, wenn die Temperaturdifferenz zwischen Wärmequelle und Wärmesenke³ 45 K überschreitet (Baumann 2007). Mit erdgekoppelten Sole/Wasser-Wärmepumpen, bei welchen die Wärmequellentemperatur bei 0 bis 5°C (=Soleeintrittstemperatur) liegt, ist eine effiziente Bereitstellung von Wärme daher nur bis zu einem Prozesstemperaturniveau von maximal 50°C möglich. Steht Grundwasser als Wärmequelle zur Verfügung, ist bei gleichem COP auch noch ein Temperaturniveau von 60°C erreichbar.

Bei höheren Temperaturanforderungen reicht die natürlich vorhandene Umweltwärme nicht mehr aus, um im praktischen Betrieb Leistungszahlen von wenigstens 3,0 zu erreichen⁴. Um dennoch diesen Wert zu erreichen, müssen Abwärmeströme vorhanden sein, welche genutzt werden können. Eine sinnvolle Nutzung eines Abwärmestroms durch eine Wärmepumpe liegt nur dann vor, wenn diese Abwärme nicht auch ohne den Einsatz einer teuren Wärmepumpe durch einfache Wärmerückgewinnung genutzt werden kann. Eine Untersuchung, wie hoch der Anteil der Fälle ist, wo zwar ein Bedarf an Prozesswärme zwischen 70 und 100°C vorhanden ist, aber entweder keine Abwärme zur Verfügung steht oder diese auf einfachere Weise nutzbar gemacht werden kann, kann im Rahmen der vorliegenden Untersuchung nicht geleistet werden. Mangels besserer Daten wird im Folgenden davon ausgegangen, dass bei Temperaturanforderungen von über 70°C nur in 20% der Fälle die Voraussetzungen für einen sinnvollen Einsatz von Wärmepumpen gegeben sind.

Unter Berücksichtigung der dargestellten Restriktionen lässt sich am gesamten Bedarf für Niedertemperaturprozesswärme bis 70°C maximal ein Anteil von **24 PJ/a** mit Hilfe von Wärmepumpen decken. Als Restriktion wurde hier berücksichtigt, dass in den Branchen Holz, Papier und Automobil entweder genügend Holz- und Papierabfälle zur Bereitstellung von Wärme vorhanden sind, oder dass eine direkte Abwärmenutzung den Einsatz von Wärmepumpen unnötig macht. Bei Erhöhung der Temperaturgrenze auf 100°C wird der den Wärmepumpen zugängliche Prozesswärmeanteil nur geringfügig auf 31 PJ/a erhöht. Als Restriktion war hierbei zu berücksichtigen, dass der größte Teil des Prozesswärmebedarfs zwischen 70 und 100°C in der für den Einsatz von Wärmepumpen ungeeigneten Papierbranche anfällt und dass des Weiteren Wärmepumpen in diesem Temperaturbereich nur dann sinn-

¹ Die direkte Nutzung von Abwärme ist prinzipiell auch für die Bereitstellung von Warmwasser und Raumwärme möglich. Diese würde zu einer Minderung des verbleibenden Potenzials für Wärmepumpen führen, was aber hier nicht weiter berücksichtigt wird.

² Bei der Potenzialermittlung für Solare Prozesswärme wurde ein höherer Wert von 60% angesetzt, da dort auch ein etwaiger Mangel an Kollektorstellflächen berücksichtigt werden musste.

³ Bei Sole/Wasser-Wärmepumpen ist dies die Temperaturdifferenz zwischen der Soleeintrittstemperatur in die Wärmepumpe und der Temperatur, mit welcher die Wärmepumpe in das Heizsystem einspeist (Vorlauftemperatur).

⁴ Die Jahresarbeitszahl, welche für die Gesamteffizienz des Wärmepumpensystems letztlich entscheidend ist, wird unterhalb der Leistungszahl liegen, da in der Berechnung der Jahresarbeitszahl weitere Stromverbraucher wie z.B. die Soleumwälzpumpe eingehen.

voll eingesetzt werden können, sofern passende Abwärmeströme vorhanden sind, die sich nicht anderweitig besser nutzen lassen. Das Potenzial von Wärmepumpen zur Erzeugung von Prozesswärme hat damit eine ähnliche Größe wie das in Abschnitt 6.1.1 dargestellte Potenzial Solarer Prozesswärme.

Unter Berücksichtigung dieser Restriktionen verbleibt für Wärmepumpen in der Industrie ein technisches Potenzial von 200 PJ/a für die Bereitstellung von Raumwärme, Warmwasser und Prozesswärme bis 70°C. Falls zukünftige Wärmepumpen auch Temperaturen bis 100°C bereitstellen können, erhöht sich dieses Potenzial auf 220 PJ/a.

7 Strategie für die Erschließung des solaren Prozesswärmepotenzials

Einzelne Beispiele für gelungene Solaranlagen zur Bereitstellung von Prozesswärme gibt es schon seit langem. Hierzu gehört die Rimuss-Kellerei in Hallau im schweizerischen Kanton Schaffhausen. Bereits im Jahr 1983 wurde hier auf dem Dach der Kellerei ein 400 m² großes Kollektorfeld aus Vakuumröhren errichtet. Es erzeugt bis heute Wärme zum Pasteurisieren und zum Reinigen von Flaschen und Geräten (Janzing 2008).

Trotz dieses Erfolges haben sich aber bis heute nur wenige Nachahmer gefunden. Weltweit werden nur knapp 90 Anlagen zur Bereitstellung von Prozesswärme gezählt und in Deutschland weniger als ein halbes Dutzend (Vajen 2009).

Schon aufgrund der geringen Anlagenzahl sind Solaranlagen zur Prozesswärmeerzeugung bis heute Unikate. Dies wird auch noch längere Zeit so bleiben, da die industriellen Prozessabläufe stark variieren, sowohl innerhalb einer Branche und erst recht zwischen den Branchen. Entsprechend hoch ist schon der Planungsaufwand. (Vajen 2009) beschreibt die Umsetzung eines Projektes folgendermaßen:

1. Kontaktaufnahme und Beschaffung von Vorabinformationen
2. Unternehmensbesuch und detaillierte Datenerfassung
3. Analyse und Darstellung des Ist-Zustandes
4. Konzepterstellung für Energieeffizienzmaßnahmen
5. Konzepterstellung zur Integration einer solarthermischen Anlage
6. Detailplanung aller Maßnahmen und Umsetzung.

Klar zu erkennen ist die große Bedeutung, die schon der Planung einer solaren Prozesswärmanlage zugemessen wird. Der Aufwand ist unvergleichlich größer als etwa bei einer solaren Brauchwasseranlage. Hinzu kommt, dass es durch die Integration der Solaranlage zu keinen Betriebsstörungen kommen darf, da die Energiekosten eines Industriebetriebs bis heute bei weitem geringer sind als etwa die Personalkosten. Des Weiteren ist zu beachten, dass trotz dieser Anforderungen ein aus Sicht des Betreibers eine wirtschaftliche Nutzung der Solaranlage möglich sein muss.

Hieraus können für Strategien zur Förderung solarer Prozesswärme folgende Schlüsse gezogen werden:

1. Planung

- Schon der Eintritt in das Planungsstadium sollte durch das MAP finanziell erleichtert werden.
- Unabhängig von der MAP-Förderung ist die Entwicklung von Branchen- oder prozessorientierten Energiekonzepten unter Berücksichtigung von solarer Prozesswärme sehr wünschenswert.

2. Verlässliche Prozessintegration

- Solare Prozesswärmeanlagen sind Teile des Produktionsprozesses. Sie müssen daher – trotz erhöhter technischer Anforderungen – zuverlässiger arbeiten als etwa solare Brauchwasseranlagen. Die MAP-Förderung ist daher so auszurichten, dass sich auf solare Prozesswärme spezialisierte Planungs- und Installationsfirmen herausbilden können, bei denen das notwendige Spezialwissen konzentriert ist.
- In den Förderbedingungen des MAP ist eine geeignete Funktionsüberwachung der Anlage zu fordern. Diese ist ohnehin im Interesse des Betreibers und stellt somit keine unzumutbare Anforderung dar.
- Unabhängig von der MAP-Förderung sind auch technologische Fortschritte bei der Qualifizierung von Solarkomponenten anzustreben, wobei sich dieser Fortschritt nicht nur auf den Kollektor selbst, sondern auch auf sonstige Komponenten (z.B. Sicherheitsventile) erstrecken sollte.

3. Wirtschaftlichkeit

- Die technischen Anforderungen an Prozesswärmeanlagen werden immer höher bleiben als die Anforderungen an gewöhnliche solare Brauchwasseranlagen. Dies verteuert tendenziell die solare Prozesswärme. Hinzu kommt, dass die Vorstellungen der Industrie zu den maximalen Amortisationszeiten wesentlich anspruchsvoller sind als die von privaten Haushalten. Den Wirtschaftlichkeitsanforderungen sollte von Seiten des MAP auf die Weise Rechnung getragen werden, dass von vorneherein auf die Realisierung von Skaleneffekten Wert gelegt wird, welche die Kosten der Anlagen tendenziell mindern. Die damit verbundene Bevorzugung großer Anlagen bei der Förderung hat zudem den Vorteil, dass die Bildung von Betrieben, welche sich auf die Installation solarer Prozesswärmeanlagen spezialisieren, unterstützt wird.
- Unabhängig vom MAP sind Forschungsaktivitäten mit dem Ziel, kostengünstige Hochtemperaturkollektoren zu entwickeln, wünschenswert.

Für eine zukünftige Novellierung der MAP-Richtlinie zugunsten der Markteinführung von solarer Prozesswärme legen obige Grundsätze folgende Konsequenzen nahe:

- Solare Prozesswärme ist für eine Übergangszeit mit höheren Sätzen zu fördern als heizungsunterstützende Anlagen.

- Die Planung einer solaren Prozesswärmeanlage sollte auch dann gefördert werden können, wenn sie letztendlich nicht realisiert wird.
- MAP-Förderungen für die Planung oder den Bau von solaren Prozesswärmeanlagen werden nur vergeben, wenn das Kollektorfeld eine Mindestgröße (z.B. 100 m²) überschreitet.
- Für den Einsatz besonders effizienter Hochtemperaturkollektoren (z.B. Bereitstellung von Prozesswärme bei 120°C mit einem dem Kunden garantierten Ertrag von 300 kWh/m²,a) ist eine erhöhte Förderung vorzusehen.

Für die Struktur der Fördersätze gibt es zwei mögliche Varianten.

1. Sofern die Förderung durch die KfW wie bisher als prozentualer Tilgungszuschuss gewährt wird, sollten bei der Ermittlung der anrechnungsfähigen Investitionskosten auch die Kosten für die Prozessintegration und für die Dachvorbereitung berücksichtigt werden können.
2. Falls die Förderung über eine spezifische Förderung je m² Kollektorfläche erfolgt⁵, so ist eine separate Möglichkeit zur Abrechnung der Planungskosten vorzusehen.

Weitere Details zu den Fördersätzen (in welchen auch die Amortisationserwartungen der Industrie zu berücksichtigen wären) und den technischen Fördervoraussetzungen sind vor einer Festlegung verbesserter Förderbedingungen noch auszuarbeiten.

8 Literatur

AEE INTEC und ZAE Bayern (Hrsg.) 2005: PROCESOL II: Solarthermische Anlagen in Industriebetrieben. Planungs- und Wartungsrichtlinien, Garching.

AGFW 2005: W. Lutsch, F.-G. Witterhold: Ergebnisse und Schlussfolgerungen aus der AGFW-Studie „Pluralistische Wärmeversorgung“. ISBN-Nr. 3 – 89999-003-X, Frankfurt, Januar 2005.

AGFW 2000: E. Jochem u.a.: Strategien und Technologien einer pluralistischen Fern- und Nahwärmeversorgung in einem liberalisierten Energiemarkt unter besonderer Berücksichtigung der KWK und erneuerbaren Energien – Kurzfassung der Studie. Kapitel 2.1.2. Frankfurt, März 2000.

Baumann, M., Laue, H.-J. und Müller, P.: Wärmepumpen – Heizen mit Umweltenergie. BINE Informationsdienst.

Blesl, M., Kempe, S., Ohl, M., Fahl, U., König, A., Jenssen, T., und L. Eltrop 2008: Wärmetas Baden Württemberg. Erstellung eines Leitfadens und Umsetzung für Modellregionen. Forschungsbericht FZKA-BWPLUS. Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER). Universität Stuttgart.

BMU 2009: Erneuerbare Energien in Zahlen. Stand Juni 2009.

⁵ Diese Variante hat den Vorteil, dass Kostendegressionen effektiver angereizt werden als bei der Förderung mit einem prozentualen Zuschuss zu den Investitionskosten, wo Kosteneinsparungen auch gleichzeitig eine Reduktion der Förderung bedeuten.

BMWi 2009: Energiedaten – Zahlen und Fakten. Excel-Sheet des BMWi, Tabelle 7, Stand 26.5.2009.

DLR 2001: J. Nitsch u.a.: Schlüsseltechnologie regenerative Energien. Teilbericht von DLR und FZK im Rahmen des HGF-Projektes „Global zukunftsfähige Entwicklung – Perspektiven für Deutschland“. Stuttgart/Karlsruhe, November 2001.

EC Bioenergie GmbH Heidelberg 2009: Perspektiven des Marktanreizprogramms. Heidelberg.

ESTTP (European Solar Technology Platform) 2008: Solar Heating and Cooling for a Sustainable Energy Future in Europe. Vision, Potential, Deployment Roadmap, Strategic Research Agenda. Sixth Framework Programme. Brüssel.

Hennecke, K., Lokurlu, A., Rommel, M. und F. Späte 2005: Solare Prozesswärme für Industrie, Meerwasserentsalzung und Solarchemie. FVS, LZE Themen 2005: Wärme und Kälte – Energie aus Sonne und Erde, Köln.

Hofer 1995: R. Hofer: Strom- und Wärmepotenziale von industriellen KWK-Anlagen. BWK Bd. 47 (1995) Nr. 11/12, S. 453-457.

Janzing 2008: B. Janzing: Mit guten Ideen viel Geld sparen. ProFirma, November 2008, S. 16-18.

Jordan, U., Vajen, K., Schmitt, B. und P. Bruchhäuser 2006: Potentialabschätzungen für die Integration solarer Prozesswärme am Beispiel von vier Industriebetrieben im Raum Kassel. Institut für thermische Energietechnik, Universität Kassel.

Krewitt, W. Eikmeier, B., Gabriel, J., Schulz, W. und Nast, M. 2005: Analyse des Potentials für den Einsatz hocheffizienter KWK, einschließlich hocheffizienter Kleinst-KWK, unter Berücksichtigung der sich aus der EU-KWK-RL ergebenden Aspekte. Endbericht zum Forschungsvorhaben Projekt I A-2 – 37/05 des Bundesministeriums für Wirtschaft und Arbeit. Bremer Energieinstitut und DLR, Bremen.

Lambauer 2008: J. Lambauer u.a.: Industrielle Wärmepumpen – Potenziale, Hemmnisse und Best-Practice Beispiele. Forschungsbericht des IER, Stuttgart, Juli 2008.

Lambauer, J., Fahl, U., Ohl, M., Blesl, M. und A. Voß 2008: Industrielle Großwärmepumpen – Potenziale, Hemmnisse und Best-Practice Beispiele. Forschungsbericht. Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER), Universität Stuttgart.

Lauterbach, C., Schmitt, B. und K. Vajen 2009: Solare Wärme für industrielle Prozesse, Universität Kassel.

Müller, T., Weiß, W., Schnitzer, H., Brunner, C., Begander, U. und O. Themel 2004: Produzieren mit Sonnenenergie. Potenzialstudie zur thermischen Solarenergienutzung in österreichischen Gewerbe- und Industriebetrieben. Berichte aus Energie- und Umweltforschung 1/2004, Wien.

POSHIP 2001: The Potential of Solar Heat for Industrial Processes. Final Report. AIGUASOL Enginyeria, Barcelona

Ritter, J. 2003: Bewertung des technischen Potentials verschiedener regenerativer Energiequellen zur Bereitstellung von Prozesswärme, Diplomarbeit FH Augsburg.

Schmitt, B., Lauterbach, C., Vajen, K. und J. Jordan 2009: Systemintegration thermischer Solaranlagen in industrielle Prozesse am Beispiel des Brauwesens. Institut für Thermische Energietechnik, Universität Kassel.

Schnitzer, H. et al. 2007: Solare Prozesswärme. IEA Solar Heating and Cooling Programm Task 33, Phase I Subtask B: Investigation of Industrial Processes. Berichte aus Energie und Umweltforschung 47/2007, Wien

UBA-Umweltbundesamt 2007: Nachhaltige Wärmeversorgung. Sachstandsbericht. Climate Change 03/07, Dessau.

Vajen 2009: K. Vajen u.a.. Solare Prozesswärme – Stand der Technik. VDI-Berichte Nr. 2074, 2009, S. 163-174

Vannoni, C., Battisti, R. und S. Drigo 2008: Potential for Solar Heat in Industrial Processes. IEA SHC Task 33 und SolarPACES Task IV. Department of Mechanics and Aeronautics – University of Rome “La Sapienza”, Madrid.

Weiss 2008: W. Weiss, M. Rommel: Process Heat Collectors – State of the Art within Task 33/IV. Gleisdorf 2008

Werner 2006: S. Werner: ECOHEATCOOL – Work package 1. The European Heat Market, Final Report, IEE ALTENER Project, Euroheat&Power, Belgium 2006.