



PROCESOL II



Solarthermische Anlagen in Industriebetrieben

Planungs- und Wartungsrichtlinien

Impressum:

Herausgeber:

AEE INTEC · A-8200 Gleisdorf · Feldgasse 19
Telefon: +43 (0)3112 5886-16 · Fax: +43 (0)3112 5886-18
<http://www.aee-intec.at>

ZAE Bayern · D-85748 Garching · Walther-Meißner-Str. 6
Telefon: +49 (0)89 35 62 50-41 · Fax: +49 (0)89 35 62 50-23
<http://www.zae-bayern.de>

Redaktion und Bearbeitung:

Aristotelis Aidonis (CRES), Vassiliki Drosou (CRES), Thomas Müller (AEE Intec),
Lars Staudacher (ZAE Bayern), Fernando Fernandez-Llebrez (Sodean),
Apostolis Oikonomou (EBHE), Silvino Spencer (Portugal)

Gesamtherstellung:

InfoSol · D-85598 Baldham · Eberweg 40

Copyright:

Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung e.V. (ZAE Bayern)
Garching, Mai 2005

Das Projekt wurde im Rahmen des ALTENER Programms von der Europäischen Kommission gefördert:
European Commission, Directorate General for Transport & Energy
200 Rue de la Loi, B-1049 Brussels – Belgium
Contract no: ALTENER 4.1030/Z/02-084/2002

1 – Einleitung

Die Industrie ist mit rund 30% der zweitgrößte Endenergieverbraucher sowohl in Deutschland als auch in Österreich. Obwohl im industriellen Bereich ein großer Teil der Energie in Form von Wärme bei niedrigen bis mittleren Temperaturen für Produktionsprozesse benötigt wird, ist die Anwendung von solarthermischen Anlagen bislang kaum verbreitet.

Im Rahmen des Projektes „Solar Thermal Process Heating coupled with Heat Recovery Technologies in Industrial Applications, ALTENER 4.1030/Z/02-084/2002“ wurde das Potenzial für solarthermische Anlagen im industriellen Bereich abgeschätzt. Vielversprechende Sektoren wurden näher betrachtet und die Einbindung von thermischen Solaranlagen geprüft. Für diese Sektoren wurden Auslegungsrichtlinien erarbeitet, die Planern von Solaranlagen den Zugang zu diesen Bereichen erleichtern sollen. Das Projekt soll die Einführung von thermischen Solaranlagen im industriellen Bereich in den beteiligten Ländern (Belgien, Deutschland, Frankreich, Griechenland, Österreich, Spanien, Portugal) fördern.

Weshalb eine Broschüre für solarthermische Anlagen im industriellen Bereich?

- Der industrielle Bereich stellt besondere Anforderungen an thermische Solaranlagen, die sich von herkömmlichen Anwendungen deutlich unterscheiden.
- Es besteht ein großes Potenzial für solarthermische Anwendungen.
- Die bisher gesammelten Erfahrungen haben gezeigt, dass richtige Planung und Wartung die zentralen Erfolgsfaktoren für gut funktionierende Anlagen sind.

Mit dieser Broschüre soll eine einfache und übersichtliche Darstellung von Planungs- und Wartungsrichtlinien für solarthermische Anlagen in Industriebetrieben gegeben werden.

Es sollte erwähnt werden, dass ein Teil der Planungs- und Wartungsrichtlinien für alle großen thermischen Solaranlagen gültig sind. Trotzdem ist es nicht Ziel dieser Arbeit alle üblichen Planungsaspekte für thermische Solaranlagen zu erläutern. Diese Aspekte wurden bereits ausführlich von anderen Autoren behandelt z.B. [Fink, 2004].

2 – Potenzial und Anlagenbeispiele

Der Endenergiebedarf des verarbeitenden Gewerbes in Deutschland beträgt rund 2740 PJ/a [Stat. Ba, 2001]. Davon werden etwa 1760 PJ/a oder 64% in Form von thermischer Energie eingesetzt. Eine typische Struktur des industriellen Prozesswärmebedarfs ist in Abbildung 1 dargestellt. Rund ein Drittel dieser Prozesswärme wird bei Temperaturen unter 200 °C benötigt. Auf den Bereich bis 100 °C entfallen noch etwa 14%.

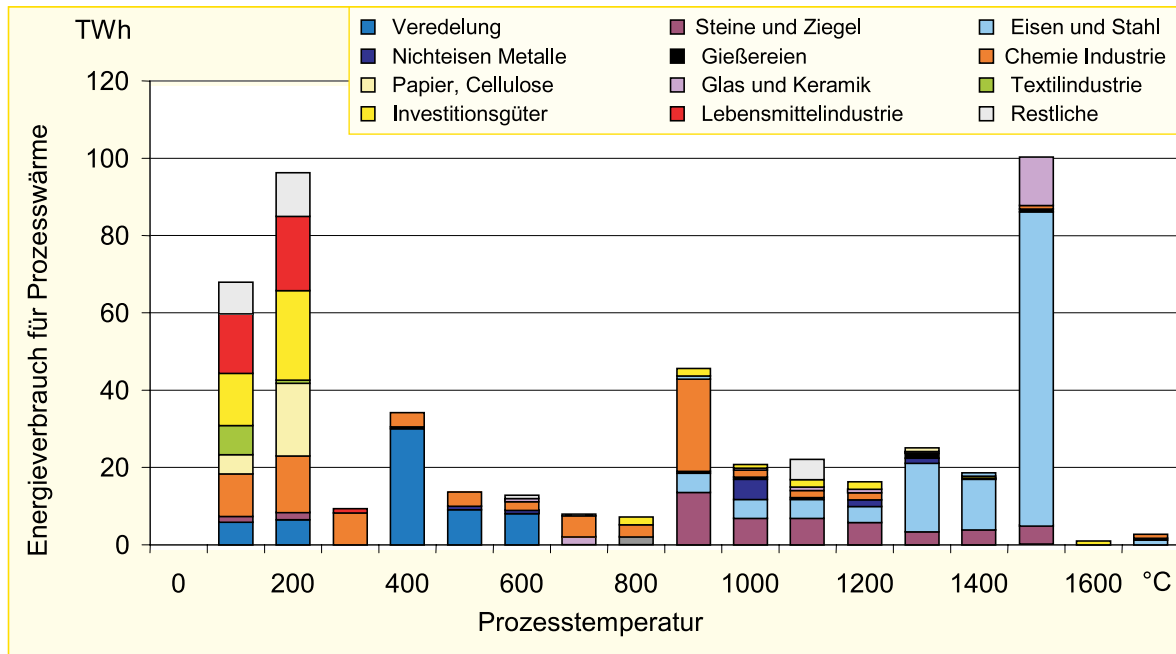


Abbildung 1: Bedarf an industrieller Prozesswärme in Deutschland [FfE, 1994](1 TWh = 3,6 PJ)

Mit heutiger Solartechnik, die einen hohen Qualitätsstandard und technische Reife aufweist, können Prozesse mit Temperaturen bis zu 80 °C wirtschaftlich versorgt werden. Die folgende Grafik (Abbildung 2) gibt einen Überblick über mögliche Prozesse verschiedener Branchen mit den zugehörigen Prozesstemperaturbereichen.

Die Abbildung zeigt, dass ein Großteil der Prozesse in der Lebensmittelindustrie, der Textilindustrie und anderen Branchen in einem Temperaturbereich bis 100 °C liegen. Dieser Bereich kann mit Flachkollektoren abgedeckt werden, welche die derzeit günstigste Technik am Markt darstellen. Im Bereich über 100 °C bis 150 °C können Vakuumröhrenkollektoren oder schwach konzentrierende CPC-Kollektoren eingesetzt werden.

In Österreich zeigt sich deutlich das große Potenzial der Lebensmittelerzeuger, der Textil- und chemischen Industrie sowie einiger Nischenbranchen. Der gesamte Nieder-temperatur-Energiebedarf der österreichischen Industrie belief sich 1997 auf ca. 85 PJ pro Jahr. Von diesem Bedarf können für die Prozesswärmebereitstellung bis 100 °C ca. 3,3 PJ pro Jahr durch solarthermische Anlagen bereitgestellt werden. Dies entspricht einem Anteil des Gesamtenergiebedarfs der österreichischen Industrie von ca. 1%. Diesen Anteil zu versorgen kann als ein kurzfristig erreichbares Ziel angesehen werden.

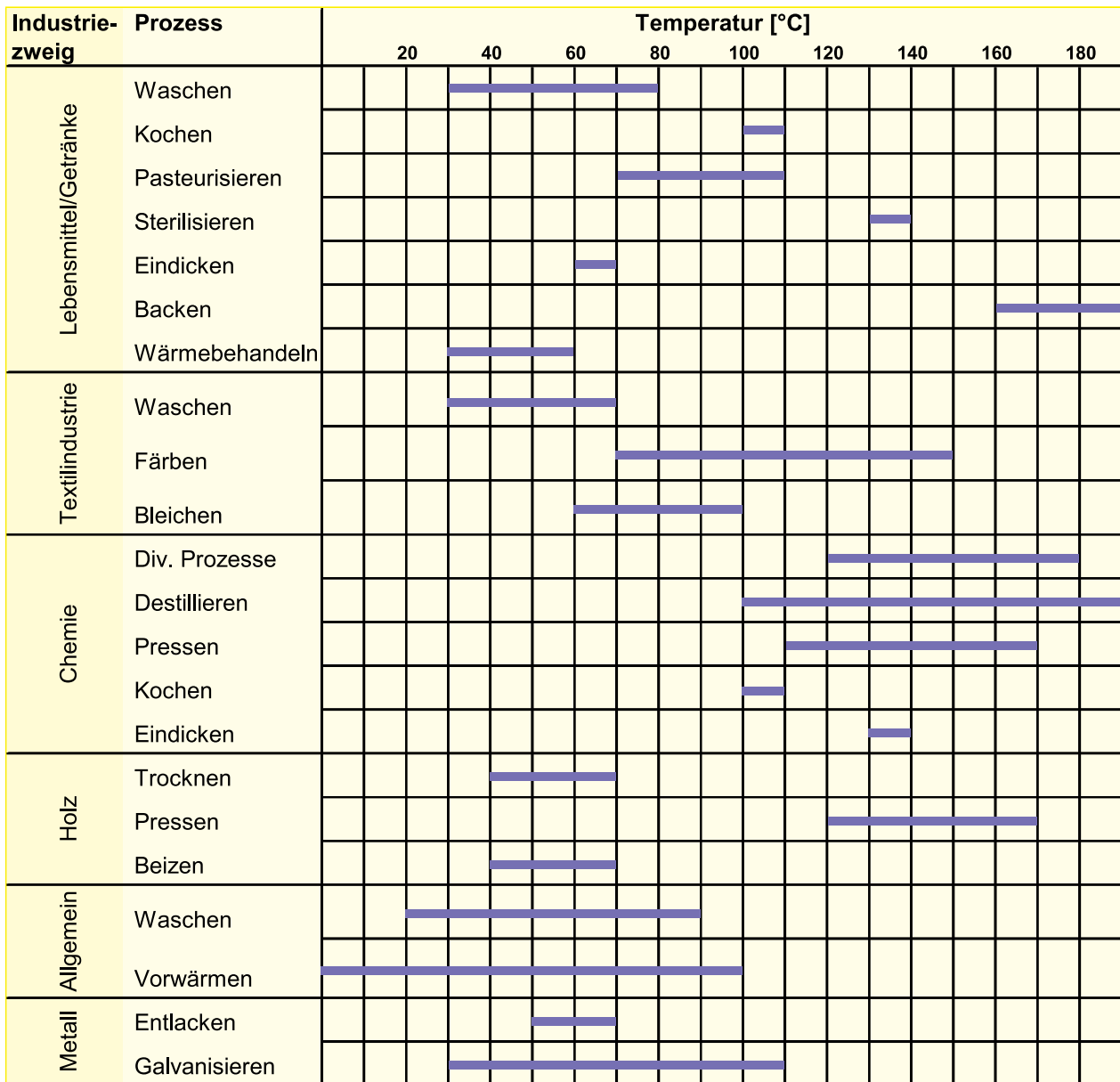


Abbildung 2: Prozesse im Überblick

Neben der Prozesswärme ist auch die Beheizung von Produktionshallen eine vielversprechende Möglichkeit für den Einsatz von solarthermischen Anlagen, da diese Anwendung unabhängig von der jeweiligen Branche ist.

Erweitert man den Temperaturbereich auf bis zu 250 °C so erhöht sich das Potenzial für solare Prozesswärme auf ca. 5,4 PJ pro Jahr. Das entspricht etwa 2% des Gesamtenergiebedarfs der österreichischen Industrie. Da für die Erschließung dieses Potenziales noch entsprechende Kollektoren entwickelt werden müssen, kann die Versorgung dieses Potenzials als ein mittelfristiges Ziel bezeichnet werden.

2.1 – Beispielanlagen

Dass thermische Solaranlagen für die Prozesswärmegenerierung nicht nur in der Theorie, sondern auch tatsächlich funktionieren, zeigen folgende Beispielanlagen.

Der Waschdienstleistungssektor bietet sehr gute Rahmenbedingungen für den Einsatz von thermischen Solaranlagen für die Bereitstellung des Waschwassers. Autowaschanlagen werden beispielsweise mit Temperaturen bis zu 60 °C betrieben, da über dieser Temperatur Beschädigungen des Lackes möglich sind.

Zwei Anlagen gleichen Typs sollen hier kurz vorgestellt werden. Es handelt sich dabei um die sogenannten „Sun Wash“ Anlagen in Köflach und Gratwein in Österreich. Abbildung 3 zeigt die Anlage in Köflach. In fünf Waschboxen können die Kunden ihre Fahrzeuge selbst waschen. Das Warmwasser dafür wird über Biomasse – Fernwärme und die Solaranlage bereitgestellt.



Abbildung 3: Sun Wash, Köflach, Österreich

Daten der Solaranlage		
Kollektorfläche brutto	43	m ²
installierte Leistung	30	kW _{th}
Solarspeichervolumen	2.000	Liter
Bereitschaftsvolumen	1.000	Liter
jährlicher solarer Deckungsanteil	40	%

Daten der Solaranlage		
Kollektorfläche brutto	510	m ²
installierte Leistung	360	kW _{th}
Solarspeichervolumen	40.000	Liter
jährlicher solarer Deckungsanteil	22	%

Ein weiteres Beispiel aus dem Dienstleistungssektor mit größerer Solaranlage ist Contank aus Spanien. Die Firma reinigt Container – das Warmwasser mit einer Temperatur von 70 - 80 °C wird zum Teil von der Solaranlage geliefert [Schäfer et al., 2005].

Abbildung 4: Hallenansicht und Detailansicht Kollektoren – Contank, Spanien



Sehr häufig besteht in der Industrie auch der Bedarf Produkte zu trocknen. Ein Beispiel einer Anlage aus diesem Bereich steht in Pulling in Oberbayern. Mit der Anlage werden Wildblumensamen mit Frischluft bei maximal 35° C getrocknet. Ein 150 m² großes Kollektorfeld versorgt dabei über einen 42 m³ großen Pufferspeicher das Heizsystem für den Trocknungsprozess. Ein großer Speicher ist in diesem Fall notwendig, um einen Zeitraum von bis zu 10 Tagen zwischen zwei Ernteperioden zu überbrücken. Die Trockenanlage befindet sich in einer separaten Halle und wird über eine Fernwärmeleitung aus dem Speicher versorgt. Außerhalb der Trocknungsperiode heizt die überschüssige solare Wärme ein Gewächshaus. Damit kann das solare Angebot das ganze Jahr optimal genutzt werden.

<i>Daten der Solaranlage</i>		
Kollektorfläche brutto	150	m ²
installierte Leistung	100	kW _{th}
Solarspeichervolumen	42.000	Liter
Bereitschaftsvolumen	1.000	Liter
jährlicher solarer Deckungsanteil	95	%



Abbildung 5: Solare Trocknungsanlage Krimmer, Pulling, Deutschland

<i>Daten der Solaranlage</i>		
Kollektorfläche am Flachdach brutto	24	m ²
Kollektorfläche in der Fassade brutto	105	m ²
gesamt installierte Leistung	90	kW _{th}
Speicherung der Solarwärme	im Betonboden	
jährlicher solarer Deckungsanteil	100	%

<i>Daten der Halle</i>		
beheizte Hallenfläche	550	m ²
Hallenhöhe	7	m
beheiztes Hallenvolumen	3.850	m ³



Die Beheizung von Produktionshallen ist ein weiteres interessantes Anwendungsgebiet für thermische Solaranlagen im industriellen Bereich. Die Kollektoren lassen sich nicht nur auf die meist großzügig vorhandenen Flach- oder Sheddächer installieren, sondern auch architektonisch ansprechend in die Fassade integrieren. Die im Bild dargestellte Produktionshalle der Firma Winkler in Feldkirch, Österreich wird zu 100% solar mit Heizwärme versorgt. Ermöglicht wird dies durch entsprechende Dämmung der Außenwände, ein Schleusensystem der Eingangstore sowie der Speicherung der Solarwärme direkt in den Betonboden. Die Wärmeabgabe erfolgt über eine Fußbodenheizung.

Abbildung 6: 100% solar beheizte Produktionshalle, Feldkirch, Österreich

3 – Vorbereitende Maßnahmen

Vor der eigentlichen Planung einer Anlage sind einige Informationen über den Standort und den Prozess erforderlich, die am besten bei einem Besuch des Industriebetriebs ermittelt werden. Sie können in zwei Kategorien eingeteilt werden:

- I Gebäude/verfügbare Flächen – rechtliche Gegebenheiten
- II Charakteristik des industriellen Prozesses

Folgende Informationen werden dazu benötigt:

I Gebäude/verfügbare Flächen – rechtliche Gegebenheiten

- a. Erstellen einer Skizze des Gebäudes mit den grundlegenden Maßen, der Orientierung und möglicher Hindernisse.
- b. Begutachten des Dachs oder der Dächer, Identifizieren von nicht erreichbaren Flächen, Schattenwurf und Zugang zu den Dachflächen. Außerdem ist der Zugang eines Krans (falls erforderlich) zu prüfen, sowie der vorhandene Platz für einen Speicher und die erforderlichen Installationen.
- c. Schließlich muss geprüft werden, ob es rechtliche Bestimmungen gibt, welche die Realisierung einer solarthermischen Anlage verhindern.

II Charakteristik des industriellen Prozesses

- a. Sammeln der verfügbaren Daten bzgl. der thermischen Verbraucher. Diese Daten schließen Art des konventionellen Energiesystems und das zeitaufgelöste Lastprofil des thermischen Verbrauchers, am besten mit Tages-, Wochen- und saisonalem Lastgang, ein.
- b. Begutachten aller Prozesse bzw. Verbraucher im Hinblick auf die Einbindung von solarthermischer Prozesswärme. Prozessschemata sind hilfreich, insbesondere das Prozessmedium und die Eintritts- und Austrittstemperaturen jedes Prozesses müssen bekannt sein.
- c. Identifizieren von Möglichkeiten zur Wärmerückgewinnung. Im Folgenden sind einige Aspekte aufgeführt, die bei einer technischen Inspektion untersucht werden sollten:
 - i) Gibt es bereits Einrichtungen zur Wärmerückgewinnung und welche Absichten verfolgt der Besitzer diesbezüglich in der Zukunft.
 - ii) Wenn Dampf als Wärmeträger eingesetzt wird: Gibt es einen Kondensatrücklauf?
 - iii) Ist die Wärmedämmung der heißen Anlagenteile in gutem Zustand?
 - iv) Gibt es Prozesse, bei denen eine Wärmerückgewinnung nicht wirtschaftlich durchführbar ist?

Sind die Informationen gesammelt ist zunächst zu prüfen, in welcher Form der oder die Prozesse bzgl. des Energieverbrauchs optimiert werden können, bevor ein geeigneter Verbraucher für solarthermische Energie ausgewählt wird. Eine Methode dazu wird im folgenden Kapitel vorgestellt.

4 – Erkennen von Wärmerückgewinnungspotenzialen von industriellen Prozessen

Vor der Integration einer thermischen Solaranlage muss auf jeden Fall eine Betrachtung der Prozessströme erfolgen, um mögliche Wärmerückgewinnungspotenziale zu identifizieren und ihre Nutzbarkeit zu bewerten. Es ist energetisch nicht sinnvoll einen Wärmebedarf solarthermisch zu decken, der durch internen Wärmetausch bereitgestellt werden kann, da sich eine Wärmerückgewinnung in der Regel mit geringerem Aufwand integrieren lässt.

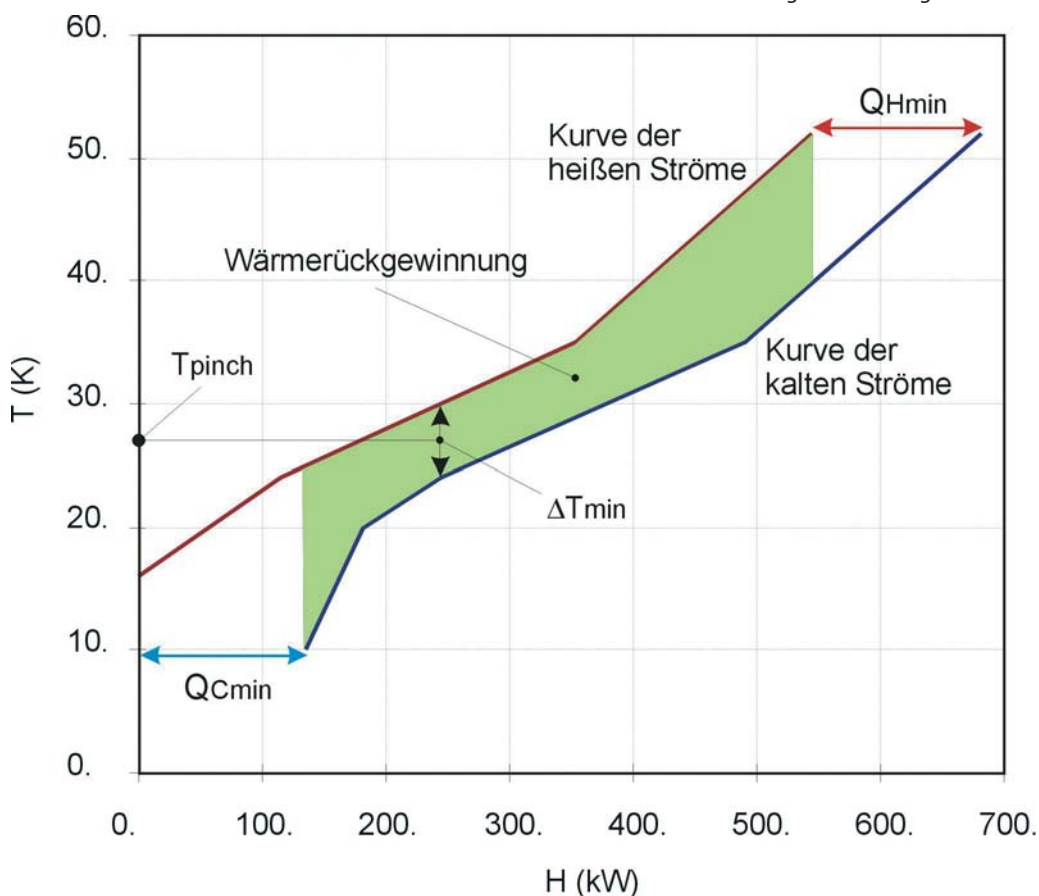
Eine Methode zur systematischen Betrachtung von Energieströmen einer Produktion, d.h. der aufzuwärmenden und der abzukühlenden Prozessströme, stellt die sogenannte Pinch-Methode [Linnhoff et al., 1998] dar. Diese von Linnhoff entwickelte Vorgangsweise ermittelt in relativ einfacher Weise den maximal möglichen Energieaustausch zwischen heißen und kalten Strömen und gibt den jeweils minimal nötigen externen Heiz- und Kühlenergiebedarf an. Sehr übersichtlich kann dies in sogenannten „Pinch-Diagrammen“ wiedergegeben werden, wie in der nachfolgenden Abbildung ersichtlich ist.

Wesentliche Bedeutung kommt der sogenannten Pinch-Temperatur zu. Über dieser Temperatur darf nicht extern gekühlt werden, darunter nicht extern geheizt. Darüber hinaus soll kein Wärmeaustausch über diesen Punkt hinweg erfolgen. Alle diese Fälle würden zu einer Verschlechterung der Gesamtsituation führen und den externen Energiebedarf sowohl für Kühlen als auch Heizen erhöhen!

Somit ergibt sich für die Integration einer thermischen Solaranlage eine wichtige Regel, die beachtet werden muss. Die niedrigste Temperatur für die Beschickung der Solaranlage (Rücklaufemperatur) muss über der Pinch-Temperatur liegen. Für die Effizienz von thermischen Sonnenkollektoren ist aber eine möglichst niedrige Rücklaufemperatur des Mediums wichtig, da die Effizienz mit steigender Temperatur absinkt. Es darf daher nicht die tiefste vorhandene Prozesstemperatur für die Beschickung der Solaranlage herangezogen werden, wenn die Möglichkeit zum internen Wärmeaustausch besteht.

Sollte der interne Wärmetausch nicht möglich sein bzw. ein abzukühlender Strom nicht verwendet werden können, kann die Solaranlage auch mit niedrigerer Rücklaufemperatur als der Pinch-Temperatur betrieben werden.

Abbildung 7: Pinch-Diagramm



5 – Allgemeine Hinweise zur Planung

Ist ein geeigneter Verbraucher für eine solarthermische Anwendung identifiziert worden, sind neben den baulichen Randbedingungen auch genaue Angaben über den Wärmebedarf und insbesondere dessen zeitlichen Verlauf Voraussetzung für die Auslegung. Messwerte zum Lastprofil werden empfohlen. Falls möglich sollte die Leistung und die Vor- und Rücklauf-temperatur über einen typischen Produktionszyklus gemessen werden. Sind Schwankungen in der Bedarfsstruktur vorhanden (Tages-, Wochenlastgang...), sollten diese, wenn möglich, ebenfalls mit erfasst werden. Wenn eine Messung nicht möglich ist, muss das Lastprofil aus anderen Größen z.B. produzierte Stückzahl/Std. oder dergleichen und dem spezifischen Energiebedarf pro Stück abgeleitet werden. Bei der Auslegung sind insbesondere Schwachlastperioden in den Sommermonaten zu berücksichtigen. Diese begrenzen die Größe des Kollektorfeldes. Grundsätzlich sollte immer Wärmebedarf bestehen, wenn das Kollektorfeld Wärme liefern kann oder kurzzeitig (maximal 2 Tage) zwischengespeichert werden können. Stagnation sollte vermieden werden, da sowohl der Wärmeträger als auch die Komponenten im Kollektorkreis wegen der hohen Stillstandstemperaturen großen Beanspruchungen ausgesetzt sind. Zudem verschlechtert sich der solare Systemertrag und damit die Wirtschaftlichkeit der Anlage, die bei gewerblichen Anwendungen eine große Rolle spielt.

Folgende Voraussetzungen sollte das Lastprofil erfüllen:

– Zur Verfügung stehende Prozesstemperatur

Um einen möglichst hohen solaren Ertrag zu erzielen, sollte die Temperatur des zu versorgenden Prozesses möglichst niedrig sein. Der Temperaturbereich von 40 – 90 °C kann prinzipiell von herkömmlichen Flachkollektoren versorgt werden. Bei mittleren Prozesstemperaturen ab 60 °C ist aber zu prüfen, ob Vakuumröhrenkollektoren nicht niedrigere Wärmepreise bereitstellen können.

– Zeitlicher Verlauf des Lastprofils

1. Es sollte Wärmebedarf wenigstens von Anfang März bis Ende Oktober bestehen
2. Es sollte wenigstens an 5 Tagen pro Woche Wärmebedarf bestehen

6 – Einbindung von solarer Prozesswärme für Waschprozesse

6.1 Beschreibung des Prozesses

Waschprozesse benötigen zumeist Frischwasser ohne Verschmutzungen. Somit wird immer Kaltwasser auf die gewünschte Waschtemperatur aufgeheizt. Da das Waschwasser nach der Verwendung entsprechend kontaminiert ist, kann es nicht mehr weiterverwendet werden. Nachfolgende Spülwässer könnten allerdings für Vorwaschstufen eingesetzt werden.

Wärmebedarfsprofil:

Der Jahresbedarf an Warmwasser mit 60 °C wird über alle Monate gleichverteilt angenommen. Der Kaltwasserzulauf wurde mit 15 °C festgelegt. Die dargestellten Kurven im Nomogramm gehen von einem kontinuierlichen Betrieb während sieben Tagen die Woche und 24 Stunden pro Tag aus. Es wurde ein Betriebsurlaub für die Dauer von 2 Wochen im Juli/August bzw. ein weiterer mit einer Woche im Dezember angenommen.

6.2 Einbindung von solarer Prozesswärme

Die Integration einer thermischen Solaranlage in Waschprozesse ist in der Regel sehr einfach möglich. Die Erweiterung bestehender Systeme kann durch Serien- oder Parallelschaltung der Solaranlage erfolgen. Die wirtschaftlich und energetisch optimalen Systeme stellen Einspeichersysteme dar, wie in Abbildung 8 dargestellt. Die Solaranlage wärmt den unteren Teil des Speichers vor, während die Nachheizung den oberen Teil des Speichers – sofern nicht die Solaranlage die gesamte nötige Energie liefert – bedient. Der Vorteil dieses Konzeptes liegt im einfachen Aufbau und den geringeren Speicherverlusten im Vergleich zu Mehrspeicherkonzepten. Falls schon ein Bereitschaftsspeicher vorhanden ist, kann der Solarspeicher in Serieschaltung als Vorwärmespeicher eingesetzt werden. Ab Kollektorfeldgrößen von ca. 20 m² (14 kW_{th}) sollte die Beladung des Solarspeichervolumens über externe Wärmetauscher (Plattenwärmetauscher) erfolgen.

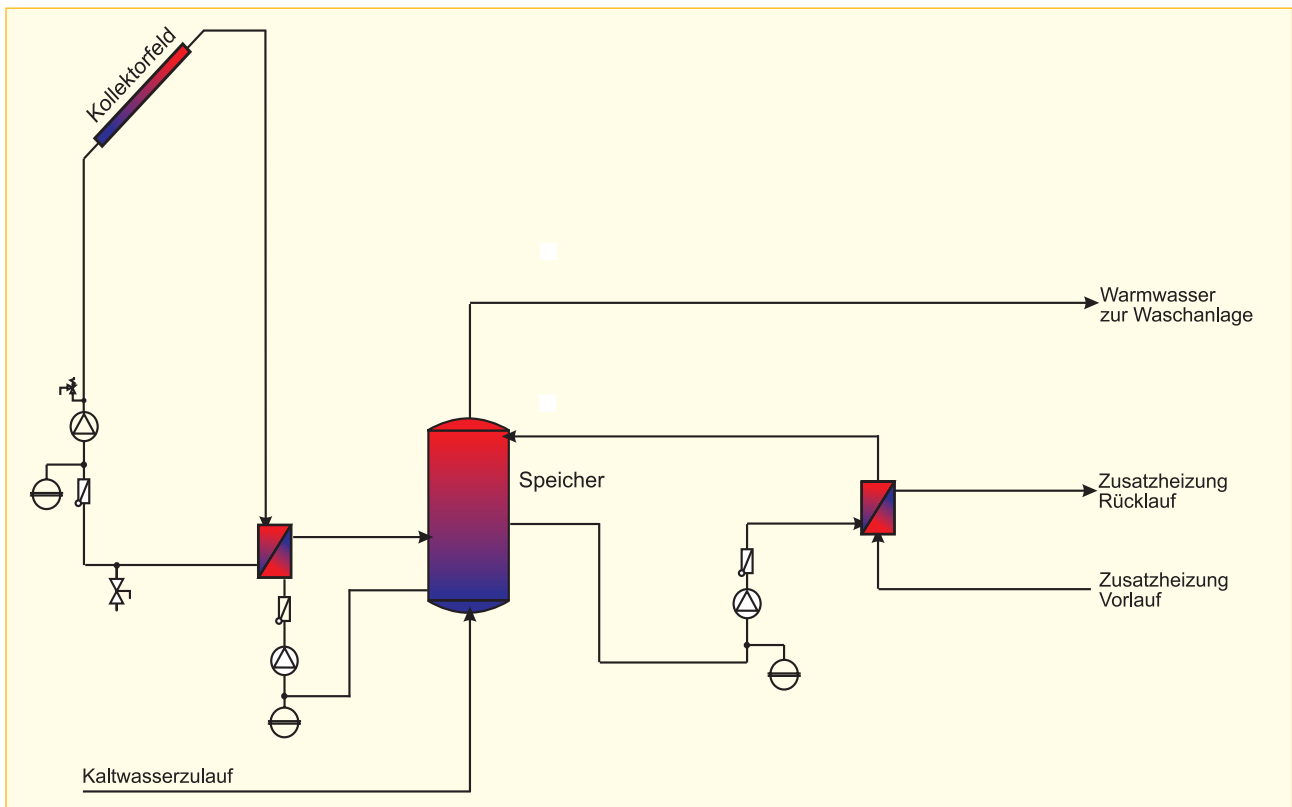


Abbildung 8: mögliches Hydraulikkonzept – Waschanlage

6.3 Auslegungsrichtlinien für Kollektorfeld und Speicher

Eine erste Abschätzung des solaren Ertrags von Anlagen und eine grobe Dimensionierung kann mit Hilfe des folgenden Nomogramms (siehe Abbildung 9) durchgeführt werden. Das Nomogramm bedient sich dabei der sogenannten Auslastung der Kollektorfläche, die wie folgt definiert ist:

$$\text{Auslastung [Liter/(m}^2 \cdot \text{Tag)]} = \text{Warmwasserbedarf [Liter/Tag]} / \text{Bruttokollektorfläche [m}^2\text{]}$$

Durch die Verwendung der Auslastung im Diagramm kann für beliebigen Warmwasserbedarf bei gegebenen bzw. gewünschten Deckungsanteil die zugehörige Kollektorfläche und der zu erwartende spezifische Solarertrag abgelesen werden.

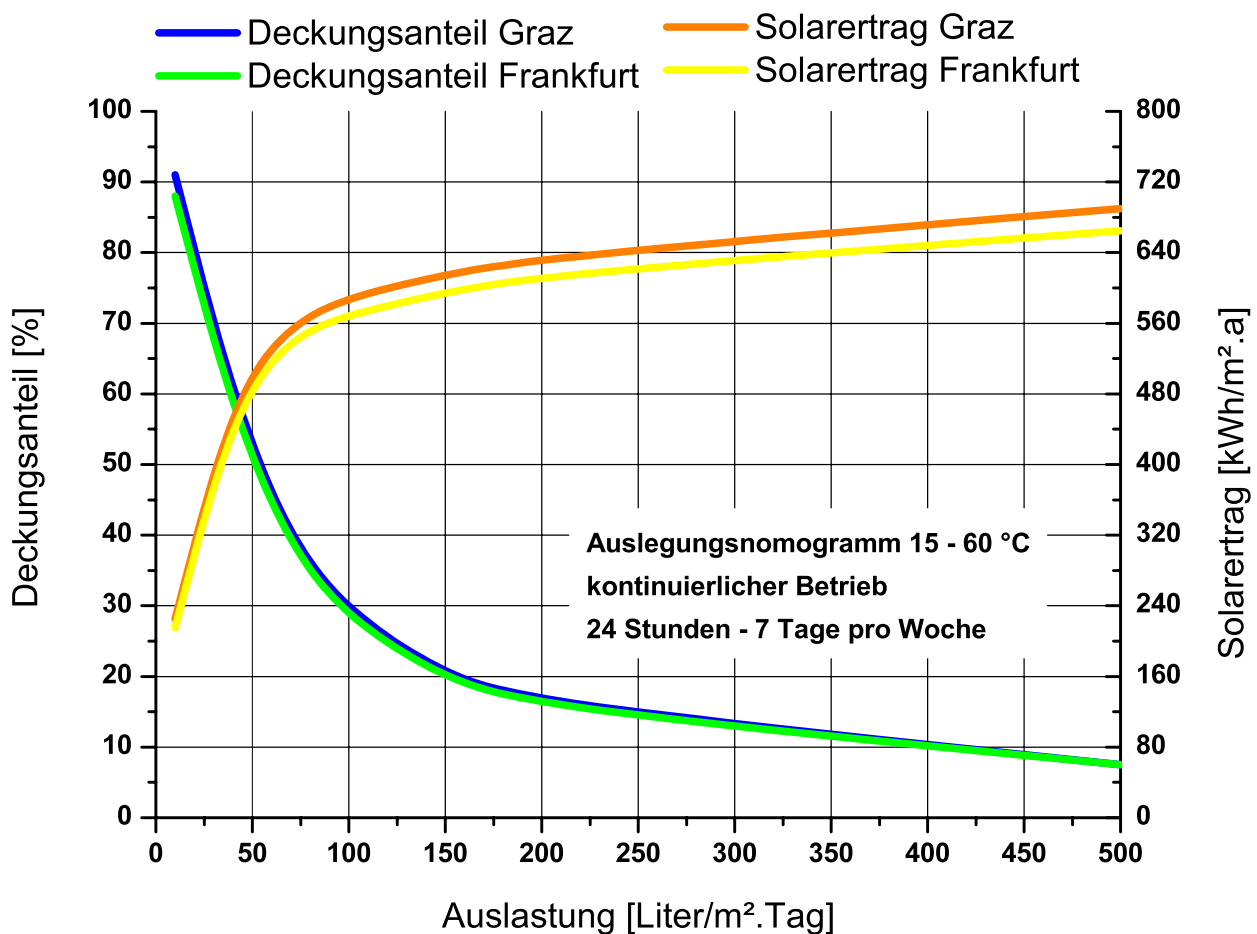


Abbildung 9: Auslegungsnomogramm – Waschprozesse

Vorgehensweise

Ausgehend von einem gewünschten Deckungsanteil wird von der linken y-Achse eine Horizontale auf die Deckungsgradkurve gelegt. Die Vertikale im Schnittpunkt ergibt auf der x-Achse die zugehörige Auslastung der Kollektorfläche bzw. den spezifischen Jahressolarertrag im Schnittpunkt mit der Solarertragskurve.

Die notwendige Kollektorfläche ergibt sich nach:

$$\text{Bruttokollektorfläche [m}^2\text{]} = \text{Warmwasserbedarf [Liter/Tag]} / \text{Auslastung [Liter/m}^2\text{.Tag]}$$

der solare Energieertrag eines Jahres nach:

$$\text{Solarer Ertrag [kWh/a]} = \text{spezifischer Solarertrag [kWh/a.m}^2\text{]} * \text{Bruttokollektorfläche [m}^2\text{]}$$

Die Größe des Solarspeichers kann mit 50 Liter pro m² Kollektorfläche angesetzt werden. Damit werden Speichergößen erreicht, die im wirtschaftlichen und energetischen Optimum liegen.

$$\text{Solarspeichervolumen} = 50 \text{ [Liter/m}^2\text{]} * \text{Bruttokollektorfläche [m}^2\text{]}$$

Für eine Dimensionierung der Solaranlagen im wirtschaftlichen Optimum sollte die Auslastung der Kollektorfläche entsprechend der folgenden Tabelle gewählt werden.

Warmwasserbedarf [Liter/Tag]	Auslastung der Kollektorfläche [Liter/Tag.m ²]
bis 10.000	50 bis 150
10.000 bis 100.000	150 bis 250
ab 100.000	ab 250

Tabelle 1: Wirtschaftliche Auslastungsbereiche

Umrechnung auf andere Standorte

Das Nomogramm zeigt die Kurven für Graz, Österreich und Frankfurt am Main, Deutschland. Der relative Unterschied zwischen den Solarertragskurven entspricht dabei in erster Näherung jenem der spezifischen Globalstrahlungssumme der Standorte.

Jährliche Globalstrahlung Graz, Österreich:	1126,0 kWh/m ² .a
Jährliche Globalstrahlung Frankfurt am Main, Deutschland:	1078,4 kWh/m ² .a

Für Standorte, die nicht im Diagramm dargestellt sind, kann eine überschlägige Korrektur der solaren Erträge entsprechend der jährlichen spezifischen Globalstrahlung vorgenommen werden. Dazu wird der Solarertrag des gewünschten Standortes wie folgt berechnet:

- Berechnung der Differenz der jährlichen spezifischen Globalstrahlungssumme von dargestelltem und gewünschtem Standort.
- Angabe der Differenz in Prozent der Globalstrahlung des dargestellten Standorts.
- Erhöhung bzw. Verminderung des spezifischen Solarertrags des dargestellten Standorts um die prozentuelle Differenz ergibt den Solarertrag des gewünschten Standorts.

7 – Einbindung von solarer Prozesswärme in Brauereien

7.1 Energiebedarf in Brauereien

Der Endenergiebedarf der Brauindustrie in Deutschland betrug 2001 rund 1,67 PJ pro Jahr. Damit ist die Brauindustrie einer der energieintensivsten Sektoren der Lebensmittelbranche. Zur Erzeugung von einem Hektoliter Bier werden zwischen 300-450 MJ benötigt. Auf Prozesswärme entfallen davon etwa 250-355 MJ. Hauptwärmeverbraucher in einer Brauerei ist das Sudhaus. Dort werden zwischen 46-52% der thermischen Energie verbraucht. Da der thermische Energiebedarf im Sudhaus sehr diskontinuierlich anfällt, bei Temperaturen von 105-120 °C, ist das Sudhaus in der Regel nicht der geeignetste Abnehmer für solare Prozesswärme [Benz, 1999].

Zweitgrößter Wärmeverbraucher ist der Flaschenkeller. Dort werden 15-19 % der thermischen Energie hauptsächlich zum Reinigen der Flaschen benötigt. Der Wärmebedarf einer Flaschenreinigungsmaschine liegt bei 43-78 MJ/(1000 Flaschen). Da das Lastprofil dieses Reinigungsprozesses relativ kontinuierlich über den Tag verteilt ist, und das Temperaturniveau der Reinigungslauge mit 75-85 °C deutlich niedriger liegt als die Prozesse im Sudhaus, eignet sich dieser Verbraucher besser für die Versorgung mit solarer Prozesswärme.

Die übrigen Wärmeverbraucher einer Brauerei (Kurzeiterhitzung, Entfeuchtung, Heizung, Brau- und Betriebswarmwasser, Würzekühlung, Fassabfüllung) spielen energetisch betrachtet eine untergeordnete Rolle. Zudem wird Warmwasser häufig über Wärmerückgewinnung erwärmt. Aus diesen Gründen wurde die Einbindung von solarer Prozesswärme in den Flaschenreinigungsprozess näher untersucht. Im Einzelfall sollte dennoch geprüft werden, ob einer der Nebenwärmeverbraucher berücksichtigt werden sollte.

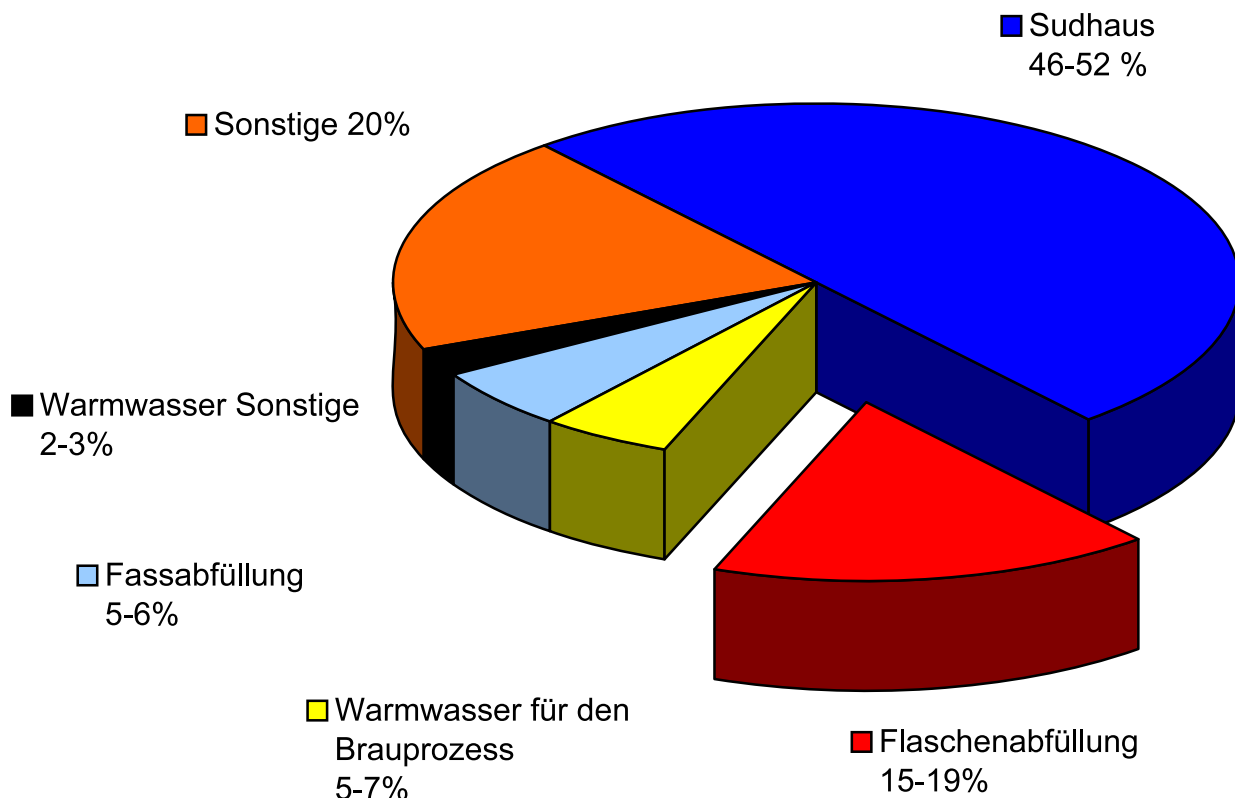


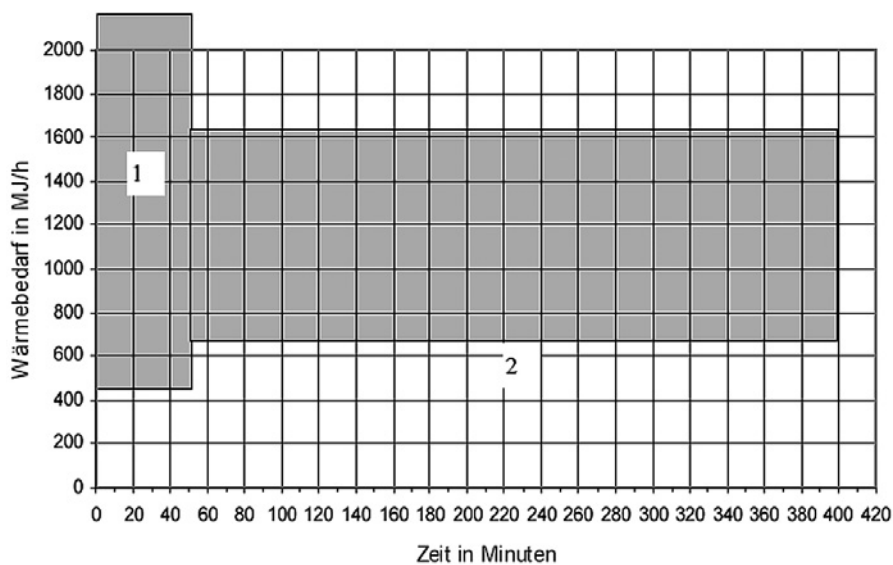
Abbildung 10: Aufteilung des Wärmebedarfs in Brauereien [FfE, 1999]

7.2 Beschreibung des Prozesses

Der Wärmeverbrauch einer Flaschenreinigungsmaschine setzt sich zusammen aus dem Aufheizwärmeverbrauch und dem Betriebswärmeverbrauch. Letzterer wiederum setzt sich aus lastunabhängigen Wärmeverlusten an die Umgebung und aus einem lastabhängigen Anteil zusammen, der von der Ausbringung der Maschine abhängt. Die Maschinenherstellangaben zum Wärmeverbrauch einer Flaschenreinigungsmaschine beziehen sich auf den Betriebswärmebedarf bei Nenn- und Effektivausbringung. Diese berücksichtigen bereits die Transmissionswärmeverluste der Maschine. In Abbildung 11 ist ein vereinfachtes Lastprofil einer Flaschenreinigungsmaschine abgebildet.

Der Wärmebedarf einer Flaschenreinigungsmaschine hängt von folgenden Faktoren ab:

1. Temperatur der warmen Lauge (75 – 85 °C)
2. Frischwasserverbrauch
3. Wärmedämmung der Maschine
4. Ausbringung



- 1) Aufheizen von 65 auf 80 °C
- 2) Wärmebedarf bei einer Durchschnittsausbringung von 26.000 Fl./h

Abbildung 11: Vereinfachtes Lastprofil einer Flaschenreinigungsmaschine [Benz, 1999]

Zur Auslegung einer thermischen Solaranlage für diesen Prozess sind Angaben zur thermischen Leistung der Flaschenreinigungsmaschine sowie zur Betriebsdauer und dem zeitlichen Verlauf der Ausbringung erforderlich.

7.3 Simulation

Durch Anlagensimulationen mit TRNSYS wurden Richtwerte für die Dimensionierung einer thermischen Solaranlage für diesen Prozess erarbeitet. Die Richtlinien gelten allerdings nur bei vergleichbaren Betriebsbedingungen, die im Folgenden vorgestellt werden.

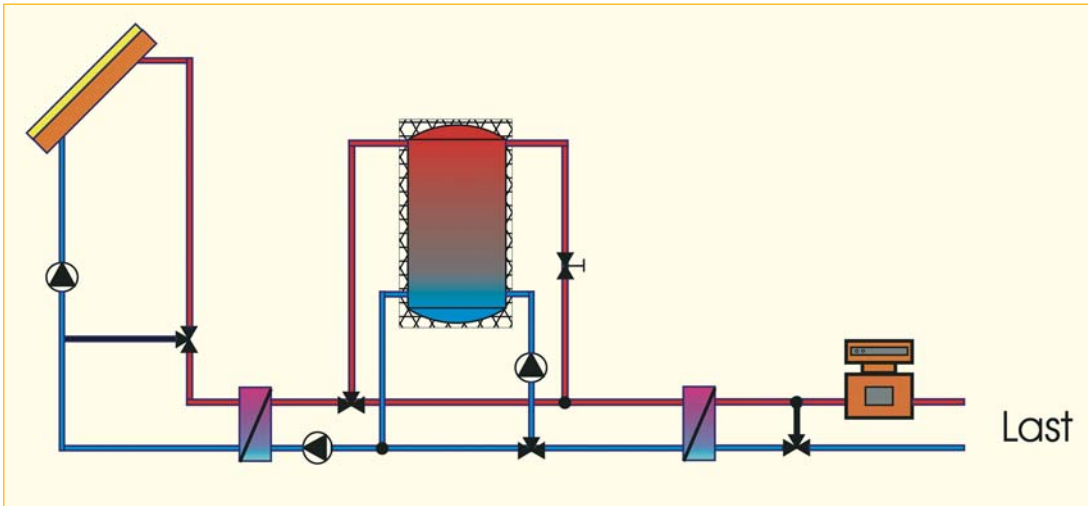


Abbildung 12: Hydraulikschema der simulierten Anlage

Das Hydraulikschema des Modells ist in Abbildung 12 dargestellt. Das Kollektorfeld versorgt darin je nach Lastanforderung entweder direkt den Prozess oder lädt den Speicher. Diese Anordnung ist für diese Anwendung günstig, da die solare Wärme ohne Umweg über den Speicher dem Prozess direkt zugeführt werden kann.

Die Simulationen wurden mit einem idealisiertem Lastprofil durchgeführt, welches aus Abnahmemessungen an einer Flaschenreinigungsmaschine gewonnen wurde. Es wurde angenommen, dass der Reinigungsprozess 5 Tage pro Woche (Montag bis Freitag) 10 Std./Tag betrieben wird. Für die Reinigungslauge wurde eine typische Temperatur von 80 °C angenommen. Ferner wurden die meteorologischen Daten von Frankfurt am Main gewählt, da diese hinsichtlich Einstrahlung einen durchschnittlichen Standort für Deutschland repräsentieren. Andere Standorte können näherungsweise analog umgerechnet werden, wie es im Kapitel 6.3 beschrieben wurde.

7.4 Auslegungsrichtlinien für Kollektorfeld und Speicher

Die Systemsimulationen wurden mit einem festen Verhältnis von Speichervolumen zu Kollektorfeldfläche von 0,1 [m³/m²] durchgeführt, da bei diesem Wert hohe solare Erträge erzielt werden. Variiert wurde das Verhältnis von Kollektorfeldfläche zu Nennleistung der Flaschenwaschmaschine. Für den Kollektor wurden die Parameter eines guten Vakuumröhrenkollektors verwendet.

Die Ergebnisse der Simulationen sind in Abbildung 13 dargestellt. Der solare Systemertrag beträgt rund 325 kWh/m²/a für einen solaren Deckungsanteil von 5-25 %. Solare Systemerträge höher als 300 kWh/m²/a werden für solare Deckungsanteile unter 30 % erzielt.

Neben der Last wurde der Einfluss des Speichervolumens auf den solaren Systemertrag untersucht. V/A-Werte größer als 0,1 führen zu keiner wesentlichen Verbesserung des Systemertrags. V/A-Werte kleiner als 0,05 führen zu Stagnationsproblemen, da die maximale Speichertemperatur häufig überschritten wird. Es wird deshalb empfohlen, dass spez. Speichervolumen V/A zwischen 0,05 und 0,1 m³/m² zu wählen.

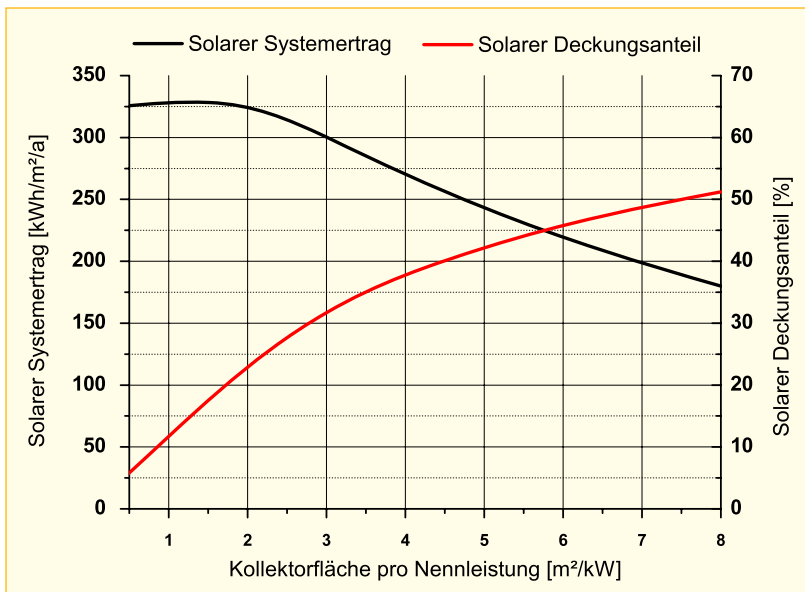


Abbildung 13: Solarer Systemertrag als Funktion der Kollektorfläche

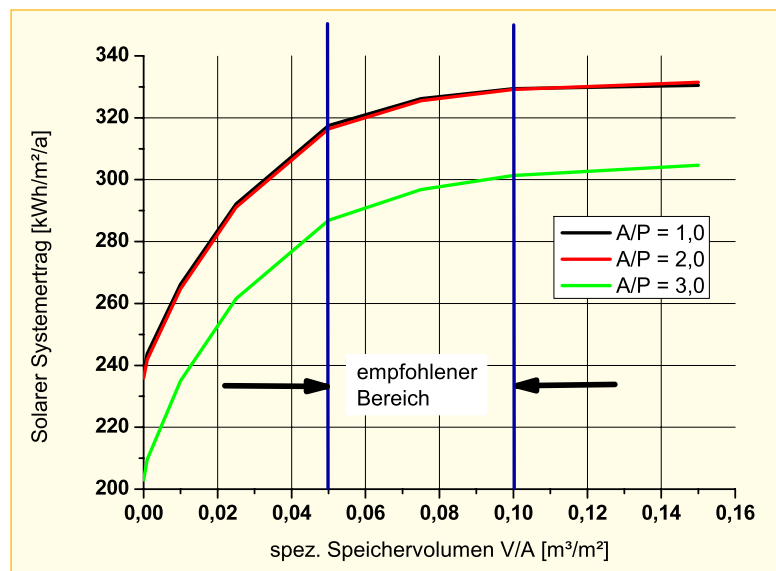


Abbildung 14: Solarer Systemertrag als Funktion des Speichervolumens

Ermittlung der Kollektorfläche und des Speichervolumens

1. Ermittlung der Nennleistung der Flaschenwaschmaschine P [kW]
z.B. P = 300 kW
2. Wählen des solaren Deckungsanteils zwischen 5 und 30 %
z.B. solarer Deckungsanteil = 22 %
3. Bestimmung des A/P Wertes aus Abbildung 13
-> A/P = 2,0
4. Berechnen der Kollektorfläche: $A = P \cdot A/P$
 $A = 300 \text{ kW} \cdot 2,0 \text{ m}^2/\text{kW} = 600 \text{ m}^2$
5. Berechnen des Speichervolumens für $V/A = 0,05$ und $0,1$
 $V(0,05) = 0,05 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot 600 \text{ m}^2 = 30 \text{ m}^3$; $V(0,1) = 60 \text{ m}^3$
6. Bestimmen des spezifischen solaren Systemertrags E aus Abbildung 14
 $E(0,05) = 316 \text{ kWh}/\text{m}^2/\text{a}$; $E(0,1) = 329 \text{ kWh}/\text{m}^2/\text{a}$
7. Berechnung des Wärmepreises beider Varianten und Auswahl

8 – Instandhaltungsrichtlinien

Um die Zuverlässigkeit einer thermischen Solaranlage über lange Zeit zu gewährleisten, sind regelmäßige Instandhaltungsmaßnahmen erforderlich. Die meisten dieser Maßnahmen sind lediglich regelmäßige Inspektionen. In Tabelle 2 sind die wichtigsten dieser Maßnahmen aufgelistet.

Maßnahme	Anzahl der Kontrollen	Erläuterung
Kontrolle des Wärmeträgers	Einmal im Jahr (z.B. Ende September)	Kontrolle der Konzentration des Frostschutzmittels und Bestimmung des pH-Wertes, dieser sollte >7 sein.
Druck des Primärkreislaufs	Mindestens zweimal im Jahr	Dieser sollte mit dem Wert aus dem Abnahmeprotokoll übereinstimmen. Die Kontrolle muss erfolgen, wenn das Feld nicht aufgeheizt ist, also am besten vor Sonnenaufgang.
ΔT Kollektorfeld (Mittags, bei guter Einstrahlung) sollte in der Nähe der Auslegung liegen	Zweimal im Jahr (Frühjahr und Sommer)	Höhere Werte von ΔT lassen auf einen verminderten Volumenstrom schließen – niedrigere Werte von ΔT können einen höheren Volumenstrom oder Leistungseinbußen des Kollektorfeldes bedeuten.
Kollektorfeldaustrittstemperatur und Austrittstemperatur des Sekundärkreises	Zweimal im Jahr	Diese Temperaturen sollten relativ nahe beieinander liegen. Ist der Unterschied > 10 K sollte der Kollektorkreiswärmetauscher und die Volumenströme primär/sekundär überprüft werden.
Primärkreispumpe darf nur laufen, wenn die Sonne scheint	Zweimal im Jahr	Wenn nicht müssen die relevanten Sensoren und der Regler überprüft werden.
Luft im Primärkreis	Einmal im Jahr	Macht sich durch Geräuschbildung bemerkbar. Nach dem Entlüften wieder den richtigen Systemdruck einstellen.
Verschmutzung der Kollektorscheiben	Einmal im Jahr	Diese müssen nur bei starker Verschmutzung, wenn kein Niederschlag zu erwarten ist gereinigt werden.

Tabelle 2: Instandhaltungsmaßnahmen für große thermische Solaranlagen

Neben den genannten Maßnahmen müssen selbstverständlich die konventionellen Anlagenkomponenten wie Pumpen, Speicher, ect. gemäß den Herstellerangaben gewartet werden.

9 – Zusammenfassung

Solarthermische Anlagen für industrielle Prozesse sind eine interessante Option für die Zukunft. Im Rahmen des Projektes wurde das Potenzial solarer Prozesswärme in ausgewählten industriellen Bereichen abgeschätzt und die Einbindung solarer Anlagen für einige günstige Anwendungen untersucht.

Es wurden Richtlinien erarbeitet, die bei der Planung beachtet werden sollten. Diese umfassen eine Klassifikation geeigneter Prozesse, vorbereitende Maßnahmen für den Planungsprozess und allgemeine Hinweise zum Vorgehen. Eine Methode zur Bewertung von Wärmerückgewinnungspotenzialen in Industriebetrieben wird vorgestellt.

Detaillierte Untersuchungen wurden für Waschprozesse durchgeführt, wie sie in sehr vielen Industriebetrieben insbesondere bei Getränkeherstellern (Brauereien) vorkommen. Mit Hilfe von Anlagensimulationen wurden für diese Anwendungen Auslegungsrichtlinien erarbeitet, die Planern den Zugang in die neuen Märkte erleichtern sollen.

Im Rahmen dieses Vorhabens konnte nur eine begrenzte Zahl von Prozessen betrachtet werden. Nach unserer Einschätzung müssen noch erhebliche Anstrengungen unternommen werden, um den industriellen Bereich für thermische Solaranlagen zu erschließen.

Gegenwärtig wird im Rahmen der IEA Task 33 „Solar Heat for Industrial Processes“ weiter an diesem Thema gearbeitet [IEA Task 33].

10 – Literatur/Quellenverzeichnis

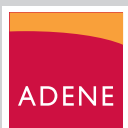
- [Benz, 1999] Benz, N.; Gut, M.; Ruß, W.: Solare Prozesswärmeerzeugung in der Lebensmittelindustrie, Bayerisches Zentrum für angewandte Energieforschung e.V., München, April 1999
- [FfE, 1994] Forschungsstelle für Energiewirtschaft, München, 1994
- [FfE, 1999] Forschungsstelle für Energiewirtschaft, Ermittlung von Energiekennzahlen für Anlagen, Herstellungsverfahren und Erzeugnisse, München 1999
- [Fink, 2004] Fink Christian et al. "Solar-supported heating networks in multi-storey residential buildings - A planning handbook with a holistic approach", available on Internet , AEE INTEC 2004.
- [IEA Task 33] IEA Task 33, "Solar Heat for Industrial Processes", Operating Agent: Werner Weiss (AEE), <http://www.iea-ship.org>, ongoing.
- [Linnhoff et al., 1998] Linnhoff B., March, Introduction to Pinch Technology, Linnhoff March, Northwich, U.K., 1998
- [Schäfer et al., 2005] Detlef Schäfer, Hans Schweiger, Ignasi Gurruchaga, Enric Mateu, Contank. A 360 kW Solar Thermal System for an Industrial Washing Process, ESTEC, 2005
- [Stat. Ba, 2001] Statistisches Bundesamt: Fachserie 4, Reihe 4.1.1, Beschäftigung, Umsatz und Energieversorgung der Betriebe des Verarbeitenden Gewerbes sowie des Bergbaus und der Gewinnung von Steinen und Erden 2001



ADEME, Sophia-Antipolis, Frankreich



EBHE, Athen, Griechenland



ADENE, Amadora, Portugal



ICEDD, Namur, Belgien



AEE INTEC, Gleisdorf, Österreich



SODEAN, Sevilla, Spanien



*CRES, Athen, Griechenland
Projektkoordinator*



ZAE, Garching, Deutschland

