

# SO-PRO

## SOLARE PROZESSWÄRME

Planungshilfe zur Auslegung thermischer Solaranlagen für ausgewählte industrielle Prozesse

[www.solar-process-heat.eu](http://www.solar-process-heat.eu)



Intelligent Energy  Europe

saena   
Sächsische  
Energieagentur GmbH

## INHALTSVERZEICHNIS

Seite	Inhalt
<b>03</b>	<b>1. EINLEITUNG</b>
03	1.1. Großes Potenzial für solare Prozesswärme
03	1.2. Zweck und Gebrauch dieser Broschüre
<b>04</b>	<b>2. VORBEREITENDE MASSNAHMEN</b>
04	2.1. Rahmenbedingungen
04	2.2. Prozess-Charakteristik
05	2.3. Standortentwicklung
05	2.4. Prozessoptimierung und Wärmerückgewinnung
<b>06</b>	<b>3. AUSLEGUNG SOLARTHERMISCHER ANLAGEN</b>
06	3.1. Temperaturniveau für die Einbindung der Solaranlage
06	3.2. Entsprechende Qualität des Wärmelastprofils
07	3.3. Dimensionierung von Kollektorfläche und Puffergröße (Abschätzung)
08	3.4. Auswahl des Kollektortyps
08	3.5. Simulationen und Software-Tools
08	3.6. Nomogramme
<b>11</b>	<b>4. SYSTEMENTWÜRFE FÜR AUSGEWÄHLTE ANWENDUNGEN</b>
11	4.1. Erhitzen von Warmwasser für Reinigungszwecke
13	4.2. Vorwärmung von Kesselzusatzwasser für den Dampferzeugungsprozess
15	4.3. Beheizen industrieller Bäder
18	4.4. Konvektives Trocknen mit Heißluft
<b>20</b>	<b>5. SPEZIFISCHE AUSLEGUNGS- UND WARTUNGSASPEKTE FÜR SOLARE PROZESSWÄRMEANLAGEN</b>
20	5.1. Einbindung in den Prozess
20	5.2. Stillstand und Stillstandsschutz, Thermische Stagnation
22	5.3. Betrieb solarthermischer Systeme zur Erzeugung von Prozesswärme
<b>23</b>	<b>6. SYSTEMKOSTEN, WIRTSCHAFTLICHKEIT UND FÖRDERUNG</b>
23	6.1. Typische Systemkosten
24	6.2. Wirtschaftlichkeit solarer Prozesswärme
25	6.3. Förderung
<b>26</b>	<b>7. BEISPIELE FÜR DIE NUTZUNG SOLARER PROZESSWÄRME</b>
<b>28</b>	<b>WEITERFÜHRENDE LITERATUR</b>
<b>29</b>	<b>INFORMATIONEN ZUM PROJEKT SO-PRO</b>
<b>29</b>	<b>IMPRESSUM</b>

# SOLARE PROZESSWÄRME

## 1. EINLEITUNG

### 1.1. Großes Potenzial für solare Prozesswärme

Das Potenzial für die Nutzung von Solarthermie für Prozesswärme ist groß: In Europa werden etwa 27 Prozent des Gesamt-Endenergiebedarfs als Wärme in der Industrie verbraucht. Davon liegen rund 30 Prozent des Wärmebedarfs unter einem Temperaturniveau von 100 °C und weitere 27 Prozent zwischen 100 und 400 °C [1]. Ein beträchtlicher Teil dieser Wärme, besonders der Anteil unterhalb von 100 °C, könnte mit solarthermischen Anlagen erzeugt werden. Vielversprechende Sektoren sind beispielsweise die Getränke-, Textil- und Metallindustrie, der Bereich Oberflächenbehandlung, aber auch die Papier- und Chemieindustrie [2]. Entscheidend für den Einsatz von Solaranlagen für Prozesswärme ist jedoch weniger die Branche. Maßgeblich sind vielmehr die individuellen Gegebenheiten in jedem einzelnen Unternehmen. So gibt es in vielen Betrieben Anwendungsmöglichkeiten für solare Prozesswärme, in denen man es auf den ersten Blick nicht vermuten würde.

### 1.2. Zweck und Gebrauch dieser Broschüre

Diese Broschüre richtet sich an Solarfirmen, Installateure, Energieberater, spezielle Haustechnikplaner und Forschungseinrichtungen. Die Einbindung solarthermischer Anlagen wird für vier ausgewählte industrielle Prozessanwendungen näher analysiert:

- Vorwärmung von Warm- und Heißwasser für offene **Wasch- und Reinigungsprozesse**
- (Vor-)Heizen von **Kesselzusatzwasser** für (teilweise) offene Dampfnetze
- Heizen **industrieller Bäder**
- Konvektives **Trocknen** mit Heißluft in offenen Systemen

Diese Anwendungen wurden ausgewählt, da sie häufig in den verschiedenen Industriesektoren vorkommen und ein großes Potenzial für den Einsatz solarthermischer Anlagen aufweisen.

Die vorliegende Planungshilfe ist ein kurzes, praxisorientiertes Dokument, das Informationen zur Einbindung von Solaranlagen bei den oben genannten Anwendungen bereitstellt. Das Hauptziel besteht darin, die Bereiche Industrie- und Prozesstechnik sowie Solartechnik zu verbinden. Es geht nicht darum, ausführliche Planungsgrundlagen bereitzustellen. Daher bietet diese Broschüre einen kurzen Einblick in die ausgewählten Prozessanwendungen, aber auch in die Grundlagen der Solartechnik. Ein strukturierter Planungsansatz wird in

einigen Schritten detailliert erklärt. Umfangreiche Informationen können ausführlicheren Planungsleitfäden, auf die diese Broschüre verweist, entnommen werden.

Die empfohlenen Systemkonzepte und die simulierten Energieerträge wurden für die vier vorgestellten spezifischen Anwendungen berechnet und optimiert. Obwohl die ausgewählten Beispiele für die betrachteten Anwendungsfälle repräsentativ sind, wird aufgrund der Vielzahl industrieller Prozesse das optimale Solarsystemdesign in vielen Fällen von den Beispielen abweichen. Das bedeutet, dass die Ergebnisse, die in der Broschüre präsentiert werden, eine individuelle Planung nicht ersetzen können.

## 2. VORBEREITENDE MASSNAHMEN

Vor der Planung einer solarthermischen Anlage zur Prozesswärmeerzeugung sollten folgende Punkte Schritt für Schritt betrachtet werden:

- Analyse der Rahmenbedingungen
- Analyse der Prozess-Charakteristik und des Wärmeverteilungssystems
- Standortentwicklung
- Potenzial für Prozessoptimierung und Wärmerückgewinnung

### 2.1. Rahmenbedingungen

Im ersten Schritt kann die **SO-PRO Checkliste** (verfügbar unter [www.saena.de](http://www.saena.de)) ausgefüllt werden. Ist eines der drei Hauptkriterien nicht erfüllt, so ist die sinnvolle Einsatzmöglichkeit für solare Prozesswärme eher unwahrscheinlich:

#### Hauptkriterien

- Wird Prozesswärme mit einem Temperaturniveau unterhalb von 100 °C bzw. Prozesskälte benötigt?
- Stehen besonnte Dach-, Fassaden- oder Freiflächen für die Montage einer Solaranlage zur Verfügung?
- Wird während der Sommermonate eine signifikante Energiemenge für Prozesswärme oder Prozesskälte benötigt?

Ist die Bewertung auch anhand der detaillierten Checkliste positiv, empfiehlt sich eine Besichtigung der Anlage. Bei dieser Begehung oder Grobanalyse sollte ein erfahrener Techniker oder Ingenieur aus dem Unternehmen, der die Prozesse und das Gebäude gut kennt, ebenfalls anwesend sein. Außerdem werden folgende nächste Schritte empfohlen:

- a) Vorab-Besprechung mit dem Unternehmen über die benötigten Informationen zum Gebäude, zu den Wärmeverteilungssystemen, Energiekosten und industriellen Prozessen. So können diese wichtigen grundlegenden Informationen beim Besichtigungstermin bereits vorliegen.
- b) Anfertigung einer Skizze des Gebäudes bzw. der Gebäude mit den Grunddaten, wie z. B. Abmaße der verfügbaren unverschatteten und zugänglichen Dachflächen und deren

Orientierung, Neigung und Zugänglichkeit für Kräne (normalerweise erforderlich), Informationen über die Statik (falls vorhanden).

- c) Grobberechnung der zugänglichen und unverschatteten Dachfläche für das Kollektorfeld, der verfügbaren Fläche für den Pufferspeicher und andere Installationen sowie der Distanz vom Pufferspeicher zum Kollektorfeld und zu den möglicherweise unterstützten Prozessen. Außerdem gilt es, mögliche Hürden, z. B. beim Transport des Pufferspeichers, aufzunehmen.
- d) Einholen von Informationen hinsichtlich gesetzlicher Anforderungen und Bestimmungen für die Errichtung einer Solaranlage (z. B. Bewilligungs-/Anzeigepflichten).

### 2.2. Prozess-Charakteristik

Es ist erforderlich, zuerst die Prozesse, die thermische Energie benötigen, in **offene und geschlossene** sowie **kontinuierliche und diskontinuierliche** Prozesse zu unterteilen. Besonderes Augenmerk gilt offenen Prozessen, die keine Wärmerückgewinnung haben, aber kontinuierlich betrieben werden, da diese Prozesse das größte Potenzial für die Integration einer Solaranlage bieten.

- a) Daten über den Wärmebedarf der Anlage sind zu ermitteln. Wichtige Informationen sind die Temperaturniveaus jener Prozesse, die Wärme benötigen. Über die thermischen Lastprofile der Prozesse, die zumindest auf einer jahreszeitlichen Basis vorliegen sollten, lässt sich die jährliche Menge der benötigten Energie in Form von Wärme feststellen. Weitere Informationen sind die Art des Heizsystems, die verwendeten Energieträger (z. B. Gas, Öl oder Strom), der Energiepreis (ggf. aufgeschlüsselt nach Grund- und Leistungspreis) und eine Einschätzung des Nutzungsgrades des Heizsystems.
- b) Ein **Überblick** über alle thermischen Prozesse im Unternehmen ist notwendig, um die Möglichkeit einer Kopplung mit einer solarthermischen Anlage zu überprüfen. **Prozess-Schemata sind hilfreich**, um die Massen- und Energieflüsse besser zu verstehen. Die mittleren Ein- und Austrittstemperaturen der Prozesse sollten bekannt und der Gesamtwärmebedarf des Unternehmens sollte auf die einzelnen Prozesse aufteilbar sein. Eine professionelle Energieberatung kann in diesem Zusammenhang von Nutzen sein und weitere Einsparpotenziale aufzeigen.

# SOLARE PROZESSWÄRME

## 2.3. Standortentwicklung

Im Rahmen der ersten Analyse ist zu diskutieren, ob künftig Änderungen bei den Prozessen oder bei den Systemen zur Bereitstellung oder Verteilung von Wärme im Unternehmen vorgesehen sind. Falls absehbar ist, dass sich entweder die benötigte Wärmemenge oder der Lastgang in Zukunft deutlich verändert, kann dies erhebliche Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit der solarthermischen Anlage haben.

Sind Änderungen bei der Wärmeerzeugung oder der Wärmeverteilung geplant, dann bieten diese Installationsmaßnahmen eine gute Gelegenheit, im Zuge dieser Umbaumaßnahmen zeitgleich eine solarthermische Anlage zu integrieren. Dies kann zum einen die Installationskosten für die solarthermische Anlage reduzieren und möglicherweise auch zu Synergieeffekten durch gemeinsam genutzte Komponenten führen.

## 2.4. Prozessoptimierung und Wärmerückgewinnung

- Ist eine Änderung des Produktionsprozesses geplant?

Veränderungen des Produktionsprozesses oder der Produktionsgeräte haben auch spürbare Auswirkungen auf den Wärmebedarf. Daher sollten immer, wenn bei einem Unternehmen eine wesentliche Änderung des Produktionsprozesses innerhalb der nächsten fünf Jahre geplant ist, vor der Planung der Solaranlage die tatsächlichen Wärmelastprofile ausreichend bekannt sein.

- Werden Geräte (Produktionsgeräte, Wärmeerzeuger) modernisiert/ausgetauscht?

Eine Prozessoptimierung in Form der Reduzierung des Wärmebedarfs (z. B. durch neuere Anlagen, Wärmerückgewinnung) hat in vielen industriellen Bereichen ein besonders hohes wirtschaftliches Potenzial. Die Umsetzung solcher Maßnahmen ist jedoch besonders komplex, da diese Maßnahmen auch Auswirkungen auf den Produktionsprozess haben können. Der Zustand der Anlagen und Rohre (ausreichende Wärmedämmung, Alter, Sauberkeit) sollte überprüft werden. Kommen für die Anlage eine Modernisierung der Produktionsgeräte, ein Austausch alter Wärmeerzeuger oder eine thermische Prozessoptimierung infrage, sollten diese Maßnahmen immer vor der Planung einer solarthermischen Anlage betrachtet werden [4], [5].

Ein besonderer Teil der Prozessoptimierung ist die Wärmerückgewinnung. Mögliche Wärmerückgewinnungs-Maßnahmen sollten vor der Planung der Solaranlage überprüft werden, um bereits vorhandene Abwärme sinnvoll zu nutzen. Für eine nähere Betrachtung sind folgende Fragen zu beantworten:

- Gibt es bereits Wärmerückgewinnungs-Maßnahmen? Was ist diesbezüglich geplant?
- Gibt es Heißwasser oder ein anderes Prozessmedium, das als „Abfallprodukt“ anfällt?
- Gibt es bestehende Kreisläufe mit Kondensatrücklauf, falls Dampf als Transportmedium genutzt wird? Sind Prozesse vorhanden, die einen Teil des Dampfes direkt nutzen?
- Gibt es Prozesse, bei denen eine Wärmerückgewinnung technisch und wirtschaftlich ausgeschlossen werden kann?

Sollte eine Wärmerückgewinnung möglich und bisher noch nicht genutzt sein, wird vor der Planung der Solaranlage eine genauere Analyse durch Energieberater empfohlen.

Leistung, Wirtschaftlichkeit und Zuverlässigkeit der Solaranlage hängen sehr stark von einer ausführlichen Analyse der Prozess-Charakteristik im Vorfeld und von einer fundierten Überprüfung der Optimierungsmaßnahmen ab. Eine sorgfältige Ausführung der oben angeführten Vorbereitungsmaßnahmen bildet eine gute Basis für den wirtschaftlich sinnvollen Einsatz solarthermischer Anlagen zur Prozesswärme-Erzeugung.

## 3. AUSLEGUNG SOLARTHERMISCHER ANLAGEN

### 3.1. Temperaturniveau für die Einbindung der Solaranlage

Für hohe spezifische solare Erträge sollte die verfügbare Mindesttemperatur so gering wie möglich sein. Die Eintrittstemperatur für den Wärmetauscher sollte üblicherweise kleiner als 90 °C sein, wirtschaftlich optimal sind Temperaturen kleiner als 50 °C.

### 3.2. Entsprechende Qualität des Wärmelastprofils

Für die Planung sollte ein wöchentliches, monatliches und jährliches Wärmelastprofil für den zu unterstützenden Prozess bekannt sein. Das Wärmelastprofil für die Nutzung einer Solaranlage hat folgende Kriterien zu erfüllen:

- Wärmebedarf im Frühjahr, Sommer und Herbst
- Wärmebedarf an mindestens fünf Tagen pro Woche
- Der tägliche Wärmebedarf im Sommer soll nicht viel geringer sein als der tägliche Wärmebedarf in der restlichen Zeit des Jahres.

Um solche Lastprofile zu erstellen, reichen meist selektive Messungen oder Angaben der Prozessplaner nicht aus. Es ist sehr empfehlenswert, den Wärmebedarf (Energieverbrauch und Temperaturniveau) aller Anlagen, die für eine Unterstützung durch eine Solaranlage infrage kommen, zumindest an einem typischen Arbeitstag zu messen. Es ist außerdem wichtig, dass das Lastprofil erst nach Umsetzung der Energiesparmaßnahmen (z. B. Wärmerückgewinnung) berechnet wird und nur die restliche Temperaturspreizung nach Anwendung dieser Maßnahmen Berücksichtigung findet.

Nach der Entscheidung, für welche Prozesse solare Wärme infrage kommt und an welcher Stelle im System diese Wärme idealerweise eingespeist werden soll, lassen sich die Lastprofile wie folgt berechnen: Für jeden infrage kommenden Prozess sind der Volumenstrom und das Temperaturniveau am Einspeisepunkt über den zeitlichen Verlauf zu ermitteln. Zusätzlich sollte an dieser Position auch das maximale Temperaturniveau (abhängig vom Prozess und der maximalen Temperatur des Solarsystems) ermittelt werden.

Beispiel:

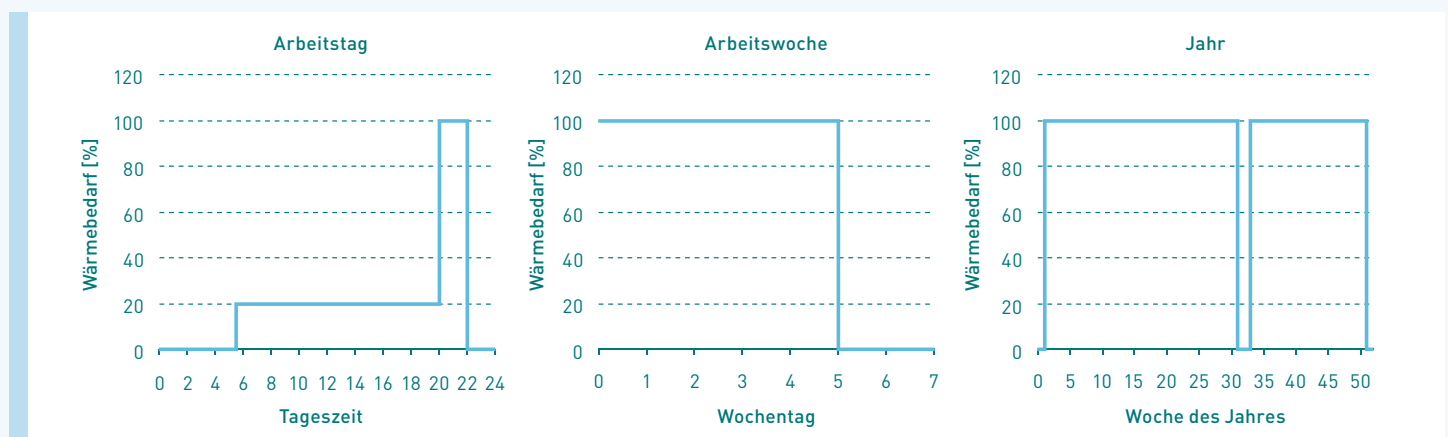


Abb. 1: Diskontinuierliches Lastprofil für die Reinigung der Produktionsanlagen in einem kleinen Unternehmen.

# SOLARE PROZESSWÄRME

Das Lastprofil aus Abb. 1 zeigt die zeitliche Verteilung des Bedarfs an Warmwasser einer in zwei Schichten arbeitenden Firma aus der Lebensmittelbranche. An einem Arbeitstag herrscht ab 5:30 Uhr ein weitgehend konstanter Bedarf an Warmwasser, weil um diese Zeit eine Produktionsstraße anläuft, in der automatisiert Behälter gereinigt werden. Vor Arbeitsende zwischen 20 und 22 Uhr findet eine manuelle Generalreinigung der Produktionsstraße und der umgebenden Produktionshalle statt, sodass hier größere Mengen Warmwasser benötigt werden. An Wochenenden, während der letzten und der ersten Jahreswoche sowie in drei Wochen im August wird nicht gearbeitet. Bei einem gemessenen Bedarf von zehn Kubikmetern Warmwasser pro Arbeitstag mit einer Temperatur von 60 °C und einer konstanten Kaltwassertemperatur von 15 °C beträgt der tägliche Energiebedarf für die Erwärmung des Warmwassers ohne Verluste und ohne exakte Berücksichtigung der Wasserdichte vereinfacht:

$$Q_{\text{Arbeitstag}} = m_{\text{Arbeitstag}} \cdot \bar{c}_p \cdot \Delta T$$
$$\approx (10.000 \text{ kg} \cdot 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 45 \text{ K}) / 3600 \frac{\text{kJ}}{\text{kWh}} = 522,5 \text{ kWh}$$

$Q_{\text{Arbeitstag}}$  = Thermischer Energiebedarf zur Erzeugung des Warmwassers pro Tag

$m_{\text{Arbeitstag}}$  = Masse des pro Tag erwärmten Wassers

$\bar{c}_p$  = Mittlere spezifische Wärmekapazität des Wassers

$\Delta T$  = Differenz zwischen Kaltwasser- und Warmwassertemperatur

Nach Abb. 1 ist der Gesamtbedarf von zehn Kubikmetern wie folgt über den Tag verteilt: Zwischen 5:30 Uhr und 20 Uhr (= 14,5 Stunden) treten nur 20 Prozent der Maximallast auf. Das bedeutet, dass für gewöhnlich ca. 408 Liter pro Stunde mit 60 °C (oder 21,3 kWh/h) während der Produktion verbraucht werden. Zwischen 20 und 22 Uhr werden 2040 Liter pro Stunde (oder 106,5 kWh/h) benötigt.

Unter Berücksichtigung der Wochenenden und der Ferienzeiten (nur an 235 Tagen im Jahr wird Wärme benötigt) errechnet sich ein jährlicher thermischer Energiebedarf dieses Reinigungsprozesses von 122,8 Megawattstunden pro Jahr. Der über alle Tage eines Jahres ermittelte Tagesbedarf an Warmwasser liegt somit bei durchschnittlich 6,4 Kubikmetern.

## 3.3. Dimensionierung von Kollektorfläche und Puffergröße (Abschätzung)

Um sehr schnell und ohne Berücksichtigung der individuellen Rahmenbedingungen mögliche Startpunkte für die Simulation zur Auslegung einer Solaranlage zu erhalten, kann das Kollektorfeld auf zwei Arten vordimensioniert werden:

- Als Kollektorfläche verfügbare Dachfläche des Industriebetriebs  $\times$  500 Kilowattstunden pro Quadratmeter<sub>Ap</sub> (Aperturfläche), dividiert durch den jährlichen thermischen Energiebedarf aller potenziell solar zu versorgenden Prozesse. Bei Flachdächern sollte die Dachfläche zuvor durch den Faktor 2,5 dividiert werden, um die Fläche zwischen den aufgeständerten Kollektoren zu berücksichtigen, die benötigt wird, um Verschattungen der Kollektoren untereinander zu minimieren. Ein sinnvoller Startwert für die Simulation liegt dann vor, wenn das Ergebnis eine solare Deckungsrate weniger als 60 Prozent ergibt. Wenn dies nicht der Fall ist, empfiehlt sich Methode b).
- Als Startpunkt für die Kollektorfläche werden 40 Prozent des jährlichen thermischen Energiebedarfs der solarthermisch zu unterstützenden Prozesse, dividiert durch 500 Kilowattstunden pro Quadratmeter<sub>Ap</sub>, in der Simulation verwendet. Abweichungen bei der Aufstellung des Kollektors um  $\pm$  20 Grad aus der Südrichtung haben üblicherweise keine signifikanten Einflüsse auf den Solarertrag. Ein Neigungswinkel von 35 Grad ist für Mitteleuropa ein guter Ausgangswert.

Ein Speichervolumen von 50 Litern pro Quadratmeter<sub>Ap</sub> ist in der Regel ein guter Startpunkt für die Simulation.

Beispiel: Vordimensionierung von Kollektorfläche und Speichervolumen für den in Kapitel 3.2 beschriebenen Reinigungsprozess nach Methode b):

$$A_{Ap} = (Q_{\text{Jahr}} \cdot 0,4) / 500 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2_{Ap}}$$
$$= (122,8 \text{ MWh} \cdot 0,4) / 500 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2_{Ap}} \approx 100 \text{ m}^2_{Ap}$$
$$V_{\text{Sto}} = A_{Ap} \cdot 50 \frac{\text{l}}{\text{m}^2} = 100 \text{ m}^2_{Ap} \cdot 50 \frac{\text{l}}{\text{m}^2_{Ap}} \approx 5 \text{ m}^3$$

$A_{Ap}$  = Kollektor-Aperturfläche für den Simulationsstart

$V_{\text{Sto}}$  = Speichervolumen für den Simulationsstart

### 3.4. Auswahl des Kollektortyps

Bei Kollektoren muss zwischen der Bruttokollektorfläche und der Aperturfläche unterschieden werden.

Die Bruttokollektorfläche beschreibt die äußeren Dimensionen des Kollektors (üblicherweise das Produkt aus Länge und Breite). Das ist die Mindestfläche für die Montage auf einem ausreichend geneigten Dach. Die Aperturfläche entspricht der aktiven Lichtsammel­fläche des Kollektors, die direkte und reflektierte Strahlung aufnehmen kann. Aufgrund des Kollektorrahmens und teilweise auch der Zwischenräumen innerhalb des Kollektorfeldes ist die Bruttokollektorfläche größer als die Aperturfläche. Üblicherweise beziehen sich alle spezifischen Angaben zu den Kollektoren auf deren Aperturfläche.

Flachkollektor	Vaku­umröhrenkollektor
→ geringere Kosten	→ größerer Jahresertrag
→ bei niedrigen Temperaturanforderungen besseres Kosten-Nutzen-Verhältnis	→ für denselben Energieertrag wird weniger Kollektorfläche als bei Flachkollektoren benötigt
→ dachintegrierte Systeme bieten die Möglichkeit, die Dachhaut durch Kollektoren zu ersetzen	→ höhere Effizienz bei hohen Kollektortemperaturen und bei geringer Einstrahlung
→ im Stagnationsfall besseres Entleerungsverhalten im Vergleich zu Vaku­umröhrenkollektoren in U-Anordnung (vgl. 5.2)	→ teilweise besteht die Möglichkeit, durch Verdrehen der Rohre die Aperturfläche auch an Fassaden oder Flachdächern ohne aufwändige Unterkonstruktion zur Sonne zu neigen

Tab. 1: Vergleich zwischen Flachkollektor und Vaku­umröhrenkollektor.

### 3.5. Simulationen und Software-Tools

Es gibt eine Vielzahl von Software-Tools, von denen aber nicht alle zur Simulation von Anlagen für solare Prozesswärme geeignet sind. Ein wichtiges Kriterium ist, dass der individuelle Lastgang, das erforderliche Temperaturniveau und das Systemkonzept möglichst gut abgebildet werden können. Darüber hinaus sollte das Simulationsprogramm Stagnationsfälle simulieren können, einschließlich der dann auftretenden Stillstandstemperaturen im Kollektorfeld. Wenn Solarthermie in industriellen Anwendungen überwiegend zur Vorwärmung von Warmwasser dient, ist davon auszugehen, dass die spezifischen Solarerträge die üblichen Erträge für Solarthermieanlagen zur Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung im Gebäudebereich übersteigen.

### 3.6. Nomogramme

Nomogramme sind die Ergebnisse der Simulation mit unterschiedlichen Parametern. Sie sind sehr hilfreich, um Tendenzen darzustellen, und geben somit Tipps für den richtigen Entwurf des Systems. Es ist äußerst wichtig, zu beachten, dass ein Nomogramm nur für eine spezielle Anlage, das angegebene Systemkonzept, ein bestimmtes thermisches Lastprofil und eine Temperaturanhebung gültig ist. Variabel sind innerhalb der hier verwendeten Nomogramme die Aperturfläche und das spezifische Speichervolumen.

Die Nomogramme in dieser Broschüre enthalten ausschließlich spezifische Werte und sind deswegen auf die jeweils benötigten absoluten Energiemengen vollständig skalierbar. Zu diesem Zweck werden daher nur spezifische Werte grafisch dargestellt.

Die Nomogramme in dieser Broschüre sind außerdem nicht geeignet, um eine Planung für spezifische Prozesse zu ersetzen, da sie nur für jeweils einen speziellen Fall ausgelegt wurden. Im Einzelfall ist zu erwarten, dass beispielsweise Kollektor­neigung, Einstrahlungsbedingungen, Lastprofil oder Temperaturniveau vom gezeigten Beispiel abweichen. Die Nomogramme können aber Anhaltspunkte für die Dimensionierung vergleichbarer Systeme liefern und dort den Simulationsaufwand reduzieren.

Das Beispiel in Abb. 2 zeigt ein Nomogramm, das den Reinigungsprozess aus Kapitel 3.2 simuliert.

# SOLARE PROZESSWÄRME

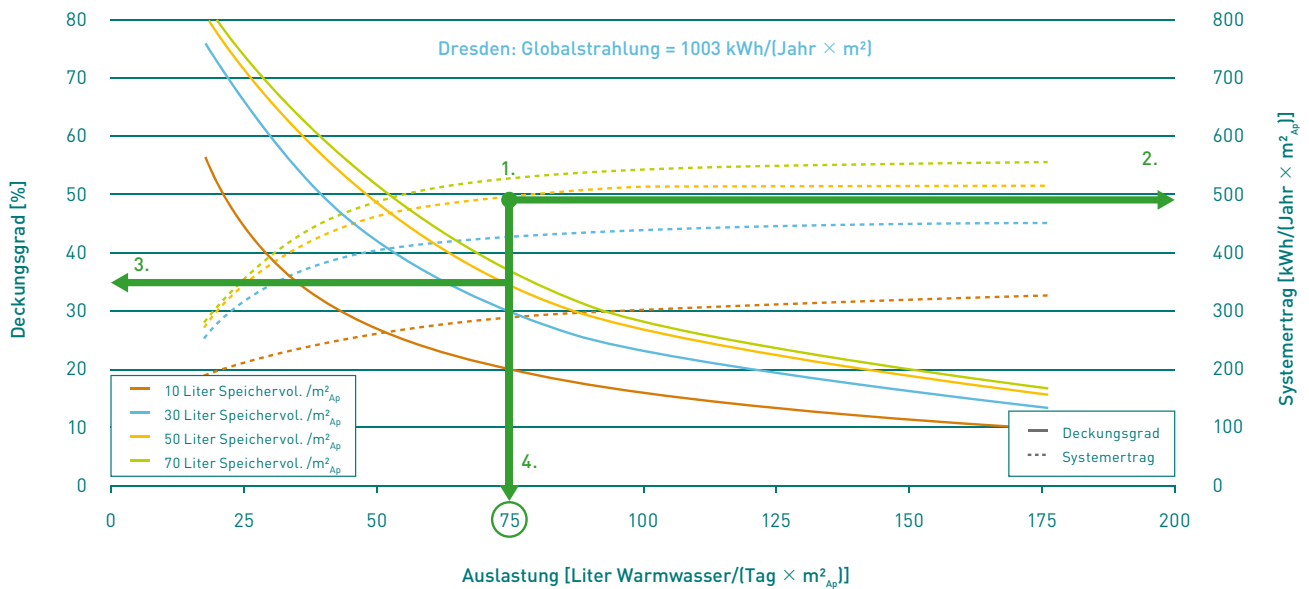


Abb. 2: Beispiel für ein Nomogramm, gültig für das System in Abb. 3 und das Lastprofil in Abb. 1 (diskontinuierliches Lastprofil, Erhitzung von 15 °C auf 60 °C, Standardflachkollektoren, Schichtenspeicher, Kollektorneigung 35 Grad).

Im dargestellten Nomogramm gibt es vier unterschiedliche Farben, die jeweils für ein spezifisches Speichervolumen stehen (Liter Speichervolumen je Quadratmeter<sub>Ap</sub>).

Der Nutzungsgrad (x-Achse) gibt an, wie viele Liter warmes Reinigungswasser pro Quadratmeter installierter Kollektorfläche (Aperturfläche) benötigt werden. Der Wert bezieht sich dabei auf den über das Jahr gemittelten Tagesbedarf, nicht auf den Bedarf eines Arbeitstages. Natürlich können auch andere, auf die Kollektor-Aperturfläche bezogene Energieverbrauchs-werte, wie z. B. der Wärmeenergiebedarf eines Bades (vgl. Abb. 9), verwendet werden.

Auf der linken y-Achse ist der solare Deckungsanteil angegeben (durchgehende Linien). Er beschreibt den Anteil an Wärmeenergie, der bei einem bestimmten Verhältnis von Wärmebedarf, Aperturfläche und Speichervolumen von der solarthermischen Anlage maximal zur Verfügung gestellt werden kann. Die durchgehenden Linien im Diagramm zeigen die Graphen des solaren Deckungsanteils für vier spezifische Speichervolumen.

Auf der rechten y-Achse sind die spezifischen solaren Gewinne angegeben (Energienmenge, die die solarthermische Anlage pro Jahr und Quadratmeter<sub>Ap</sub> dem Prozess liefert, gestrichelte Linien). Wie für den solaren Deckungsanteil werden auch die spezifischen solaren Gewinne bei einem bestimmten Verhältnis von Wärmebedarf, Aperturfläche und Speichervolumen dargestellt. Die vier gestrichelten Linien im Diagramm zeigen die spezifischen solaren Gewinne für jeweils vier spezifische Speichervolumen.

**Beispiel:**

Die für das System entworfenen Nomogramme können auf verschiedene Weise verwendet werden. Wenn die Wirtschaftlichkeit der Schlüsselfaktor ist, sollten die solaren Gewinne das wichtigste Kriterium sein. Eine Voraussetzung, wie sie die Abb. 2 zeigt, kann folgendermaßen durchgeführt werden:

- Man suche auf den 50 l/m<sup>2</sup>-Kurven einen Punkt (1), bei dem die solaren Gewinne besonders hoch sind (2: 490 kWh/Jahr × m<sup>2</sup><sub>Ap</sub>) und gleichzeitig der solare Deckungsanteil signifikant ist (3: 34,5 %).

- Daraus berechnet sich dann die resultierende Kollektor-Aperturfläche mithilfe des Nutzungsgrades (4). Für unser Beispiel sähe das folgendermaßen aus:

$$\text{Aperturfläche} = \{6.440 \text{ l Reinigungswasser/durchschnittlicher Tag}\} / \{75 \text{ l/Tag} \times \text{m}^2_{\text{Ap}}\} = 86 \text{ m}^2_{\text{Ap}}$$

- Daraus lässt sich das notwendige Speichervolumen berechnen. Für unser Beispiel sähe das folgendermaßen aus:

$$\text{Speichervolumen} = 50 \text{ l Speichervolumen/m}^2_{\text{Ap}} \times 86 \text{ m}^2_{\text{Ap}} = 4,3 \text{ m}^3$$

- Es gibt die Möglichkeit, den jährlichen Solarertrag entweder über den Deckungsgrad oder über den spezifischen Systemertrag zu ermitteln:

$$\text{Systemertrag} = 122,8 \text{ MWh/Jahr} \times 34,5 \% = 42,4 \text{ MWh/Jahr}$$

$$\text{Systemertrag} = 490 \text{ MWh}/\{\text{Jahr} \times \text{m}^2_{\text{Ap}}\} \times 86 \text{ m}^2_{\text{Ap}} = 42,1 \text{ MWh/Jahr}$$

- Die Variation einiger Werte wird empfohlen, z. B. die Installation von 64 Quadratmetern Kollektor-Aperturfläche (6.440 l/Tag/64 m<sup>2</sup><sub>Ap</sub> = 100 l/Tag × m<sup>2</sup><sub>Ap</sub> Auslastung) bei gleichem spezifischem Speichervolumen (gelbe Kurve). Die spezifischen solaren Gewinne werden dadurch auf ca. 510 kWh/m<sup>2</sup><sub>Ap</sub> steigen. Im Gegensatz dazu wird der solare Deckungsanteil dramatisch auf 27 Prozent fallen und der Energiegewinn der Solaranlagen damit auf 122,8 MWh/a × 27 % = 32,2 MWh/Jahr sinken. Wird bei einer Kollektorfläche von 86 Quadratmetern<sub>Ap</sub> ein spezifisches Speichervolumen von 70 l/m<sup>2</sup><sub>Ap</sub> installiert, so steigen die spezifischen solaren Gewinne auf 540 kWh/m<sup>2</sup><sub>Ap</sub>, und der solare Deckungsanteil steigt auf 37 Prozent an.

Natürlich spielen in der Praxis auch die Verfügbarkeit und die Preise der Komponenten eine wichtige Rolle. Im Beispiel werden möglicherweise vorgefertigte Flachkollektoren mit zehn Quadratmetern Aperturfläche verwendet, sodass 90 Quadratmeter installiert werden müssen. Es werden dann beispielsweise weiterhin ein preiswert verfügbarer Primärspeicher mit 1,5 Kubikmetern und zusätzlich parallel zwei weitere Pufferspeicher mit ebenfalls je 1,5 Kubikmetern installiert, sodass sich ein spezifisches Speichervolumen von 50 Litern pro Kubikmeter<sub>Ap</sub> ergibt.

**Aus dem Nomogramm im Beispiel ergeben sich folgende Schlussfolgerungen:**

- **Größere solarthermische Anlagen** haben geringere Nutzungsgrade. Der solare Deckungsanteil für diese Systeme ist sehr hoch. Der spezifische Systemertrag pro Quadratmeter ist jedoch gering, was die Wirtschaftlichkeit dieser Systeme verringert. Außerdem besteht bei größeren Solaranlagen die Gefahr von Stillstandszeiten an Wochenenden oder in Zeiten mit geringem Wärmebedarf.
- **Kleinere solarthermische Anlagen** weisen hohe Nutzungsgrade auf. Die spezifischen solaren Gewinne sind hoch, da der Bedarf immer viel größer ist als die Leistung der Solaranlage. Andererseits ist hier der solare Deckungsanteil gering. Dies kann ebenfalls die Wirtschaftlichkeit verringern, falls der Planungsaufwand und die Prozessanalyse einen bedeutenden Anteil an den Kosten der solarthermischen Anlage haben. Geringe solare Deckungsanteile tragen nur bedingt dazu bei, die Energiekosten des Unternehmens zu verringern und das herkömmliche Heizsystem zu entlasten.
- Bei **kleinen spezifischen Speichervolumen** steigt die Häufigkeit längerer Stillstandszeiten und hoher Arbeitstemperaturen im Kollektorkreislauf. Dadurch reduziert sich der Wirkungsgrad des Kollektors. Diese Anlagen sollten nur angewendet werden, wenn der solare Deckungsanteil vergleichsweise gering und das Lastprofil ziemlich kontinuierlich ist (z. B. Wärmebedarf auch an den Wochenenden, kein Betriebsurlaub).
- **Hohe spezifische Speichervolumen** führen zu höheren solaren Gewinnen und besseren solaren Deckungsanteilen. Häufig ist ein Speichervolumen von mehr als 50 Litern pro Quadratmeter nicht notwendig, besonders da durch den Pufferspeicher die Kosten und der Platzbedarf für die Solaranlage steigen.

# SOLARE PROZESSWÄRME

## 4. SYSTEMENTWÜRFE FÜR AUSGEWÄHLTE ANWENDUNGEN

### 4.1. Erhitzen von Frischwasser für Reinigungszwecke

Das unterstützte System zur Warmwasseraufbereitung ist ein offenes System ohne Wärmerückgewinnung, da das Reinigungswasser normalerweise verschmutzt ist und im Waschprozess abgekühlt wird. Kaltwasser mit 15 °C wird auf 60 °C erhitzt. Bei Anlagen mit unregelmäßigem Wasserverbrauch und sehr hohen Durchflussraten verfügt das Backup-Heizsystem normalerweise über einen zusätzlichen Pufferspeicher, der mit einem Heizkessel beheizt wird.

Bei der Installation, wie sie in Abb. 3 dargestellt ist, kann eine Solaranlage sehr einfach über einen zusätzlichen Wärmetauscher integriert werden (auch Frischwasserstation genannt). Immer wenn frisches Wasser zu erhitzen ist, wird es von der Solaranlage (vor-)erhitzt, ehe es in den Pufferspeicher eintritt. Ein Kaltwasser-Bypass auf der Entnahmeseite des Solarspeichers verhindert hohe Temperaturen im Frischwasserkreislauf, die möglicherweise im Pufferspeicher auftreten können. (Speichertemperaturen bis zu 90 °C). Der Solarwärmetauscher kann im Solarkreislauf mit einem 3-Wege-Ventil umgangen werden, um das Solarfluid zirkulieren zu lassen,

bis eine bestimmte Temperaturdifferenz zwischen der unteren Speichertemperatur und dem Kollektorkreislauf für den Wärmetauscher verfügbar ist. Ansonsten könnte Wärme aus dem Speicher im Kollektorkreislauf verloren gehen, und es besteht das Risiko, dass der Wärmetauscher im Winter einfriert. Wird der Speicher geladen, dann steuern ein oder mehrere 3-Wege-Ventile die Eintrittshöhe des Durchflusses so, dass die Schichtung des Speichers so gut wie möglich beibehalten wird. Das Speichervolumen kann natürlich durch eine Kaskade mehrerer Speicher bereitgestellt oder, falls verfügbar, mit Schichtungsanlagen geladen werden.

Bei Prozessen mit einem hohen Bedarf an Reinigungswasser kann das Vorwärmen des Warmwassers mit geringen solaren Deckungsanteilen aufgrund der geringen Kaltwassertemperatur zu hohen spezifischen Solarerträgen führen und damit sehr wirtschaftlich sein.

Die Simulationsergebnisse (Nomogramm) für das System in Abb. 3 und das diskontinuierliche Lastprofil wie in Abb. 1 sind im Beispielnomogramm (Abb. 2) zu finden. Abb. 5 hingegen zeigt eine vergleichbare Simulation für das kontinuierliche Lastprofil aus Abb. 4.

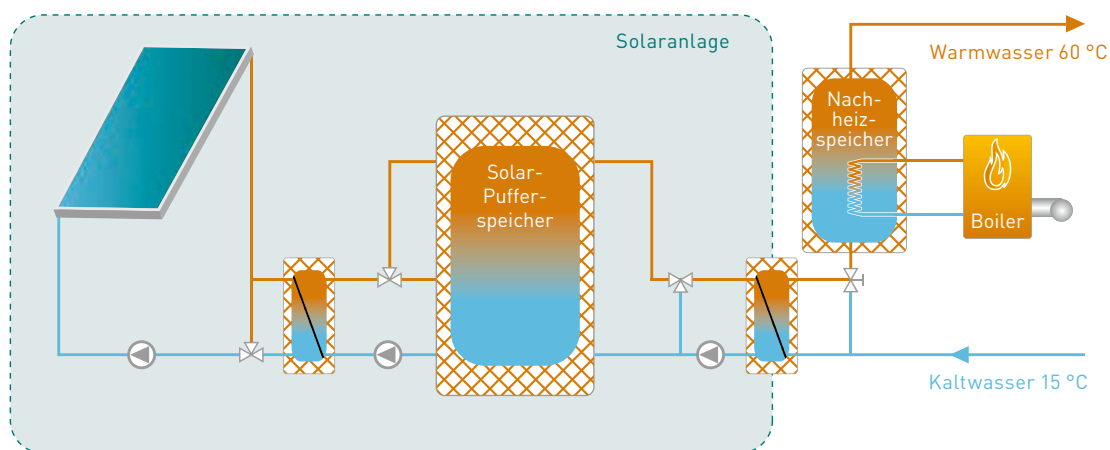


Abb. 3: Systemkonzept mit einem Frischwasserwärmetauscher und einem zusätzlichen Kessel (vereinfachte Darstellung eines konventionellen Wasseraufbereitungssystems).

## Lastprofil und Nomogramm

### „Erhitzen von Warmwasser für Reinigungszwecke“

Das Lastprofil in Abb. 4 gilt für besonders große Unternehmen (3-Schicht-Betrieb) mit einem Arbeitsbetrieb an sieben Tagen pro Woche und über das gesamte Jahr hinweg. Hier ist der Waschprozess ein Teil der Produktion, und der Bedarf ist sehr konstant. Auch für dieses Lastprofil wird das Systemkonzept aus Abb. 3 empfohlen.

Verglichen mit dem Nomogramm für ein diskontinuierliches Lastprofil (Abb. 2) zeigt das Nomogramm in Abb. 5 deutlich höhere Systemerträge und solare Deckungsgrade, da es hier keine Energieverluste über den Sommerbetriebsurlaub gibt. Es ist wichtig, nicht zu hohe solare Deckungsanteile zu wählen, weil ein Stillstand der Anlage im Sommer vermieden werden sollte. (Es wird daher ein solarer Deckungsanteil von ca. 40 Prozent empfohlen). Aufgrund des kontinuierlichen Lastprofils sollten außerdem nicht mehr als 50 Liter pro Quadratmeter Speichervolumen installiert werden.

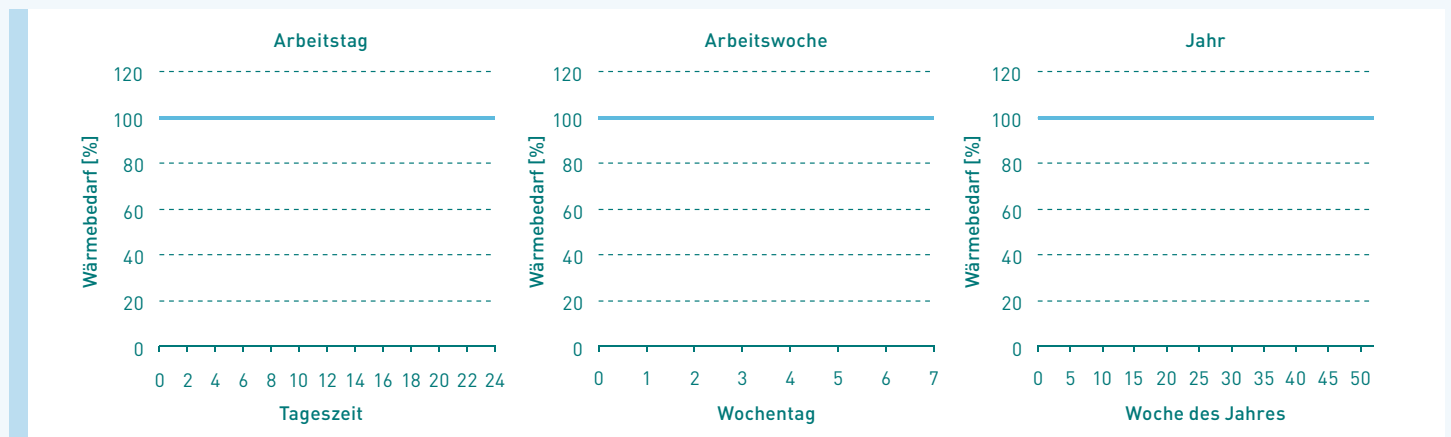


Abb. 4: Kontinuierliches Lastprofil eines Reinigungsprozesses, der Teil der Produktion in einem großen Unternehmen ist.

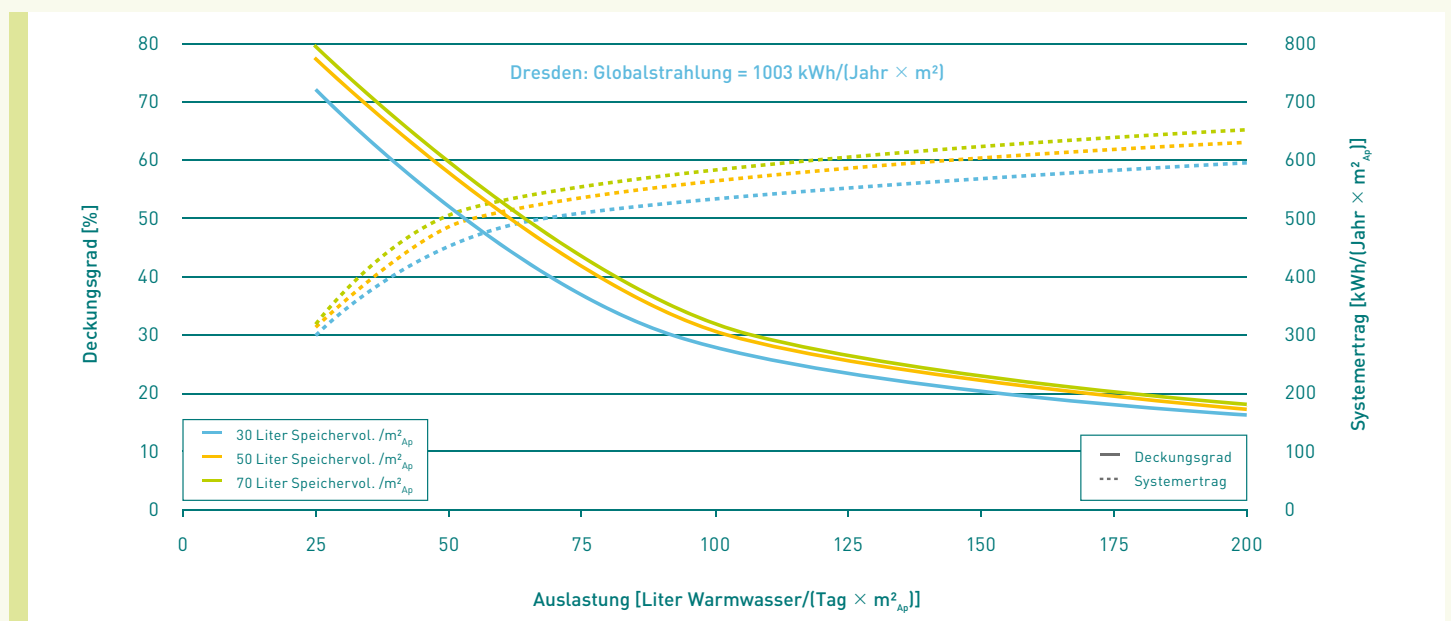


Abb. 5: Beispiel für ein Nomogramm, gültig für das System in Abb. 3 und das Lastprofil in Abb. 4 (kontinuierliches Lastprofil, Erhitzung von 15 °C auf 60 °C, Standardflachkollektoren, Schichtenspeicher, Kollektorneigung 35 Grad).

# SOLARE PROZESSWÄRME

## 4.2. Vorwärmung von Kesselzusatzwasser für den Dampferzeugungsprozess

Die Unterstützung der Prozessdampferzeugung ist nur dann sinnvoll, wenn ein beträchtlicher Teil des verwendeten Dampfes direkt im Prozess benötigt wird. (Das Dampfnetz ist ein offenes oder teilweise offenes System.) Nur das Erhitzen des zusätzlichen, demineralisierten Kesselzusatzwassers ist wirtschaftlich interessant; das Erhitzen des Kondensats oder des Speisewassers selbst ist aufgrund der hohen Temperaturen für solare Systeme wenig attraktiv.

In (teilweise) offenen Dampfnetzen wird das demineralisierte Kesselzusatzwasser normalerweise mit dem zurückkommenden Kondensat gemischt und muss entgast werden, bevor es in den Dampfkessel eintreten kann. Diese Entgasung wird normalerweise thermisch mit dem Dampf aus dem Kessel durchgeführt (Speisewasser wird auf bis zu 90 °C erhitzt, bei Systemen mit einem Überdruck von 0,2 bar bis 0,3 bar auch etwas oberhalb von 100 °C). Daher ist es eine gute Lösung, das enthärtete Rohwasser vorzuwärmen, bevor es mit dem Kondensat vermischt und bevor das Mischwasser entgast wird. Auf diese Art wird für die Entgasung weniger Dampf benötigt. Weil Dampf viele unterschiedliche Prozesse im Unternehmen

versorgt, kann die Solaranlage einen beträchtlichen Teil des gesamten Wärmebedarfs sehr elegant durch die Installation nur eines Wärmetauschers decken.

Das empfohlene Solarsystemkonzept ist das gleiche wie für den Reinigungsprozess (siehe Abb. 3). Aufgrund der Korrosionsgefahr im Speicher oder im Solarwärmetauscher wird auf der Entladeseite des Speichers ein zusätzlicher Wärmetauscher installiert.

Ein besonders wichtiger Aspekt für Dampfnetze ist die hohe Wahrscheinlichkeit, dass nutzbare Abwärmepotenziale durch Wärmerückgewinnung vorhanden sind. Vor der Planung der Solaranlage sollte dieser Aspekt im Detail betrachtet werden. In manchen Fällen kann die Mindesttemperatur des enthärteten Rohwassers nach Wärmerückgewinnungs-Maßnahmen auf bis zu 60 °C ansteigen; dadurch sinkt der Wirkungsgrad der Solaranlage. Das muss für jede betrachtete Anlage individuell überprüft werden.

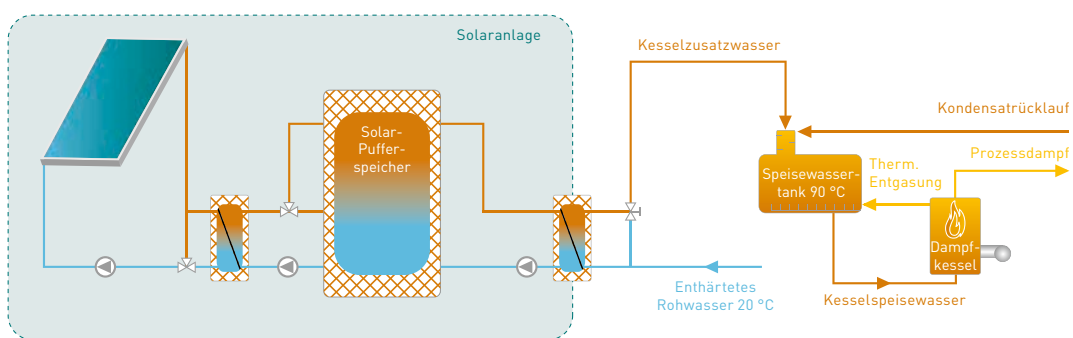


Abb. 6: Systemkonzept zur Vorwärmung von Kesselzusatzwasser eines teilweise offenen Dampfprozesses (vereinfachte Darstellung des Prozessdampfkreislaufs).

**Lastprofil und Nomogramm „Vorerwärmung zusätzlichen Speisewassers für den Dampferzeugungsprozess“**

Das Lastprofil in Abb. 7 gehört zu einer Wäscherei, die das ganze Jahr durchgehend, jedoch nicht an den Wochenenden betrieben wird. Während der Arbeitszeit ist der Verbrauch kontinuierlich mit einer Temperaturerhebung von 20 °C auf 90 °C.

Die erreichbaren solaren Gewinne sind geringer als bei den Anlagen für Reinigungszwecke. Das liegt an der höheren Mindesttemperatur von 20 °C (verglichen mit 15 °C beim Waschen und Reinigen), da das Wasser bereits beim Entsalzen erwärmt

wird. Auch die erreichbaren solaren Deckungsanteile sind geringer, da das Wasser auf bis zu 90 °C erhitzt werden muss (die Wärmelast wird immer auf die Temperaturerhebung bezogen, die von der Solaranlage bereitgestellt werden kann).

Abb. 8 zeigt eindeutig, dass die Auslastung nicht über 75 Liter pro Tag und m<sup>2</sup> Aperturfläche liegen soll, da sich die solaren Gewinne für ein angemessenes spezifisches Speichervolumen ab diesem Wert nicht mehr erhöhen und der solare Deckungsanteil stark einbricht.

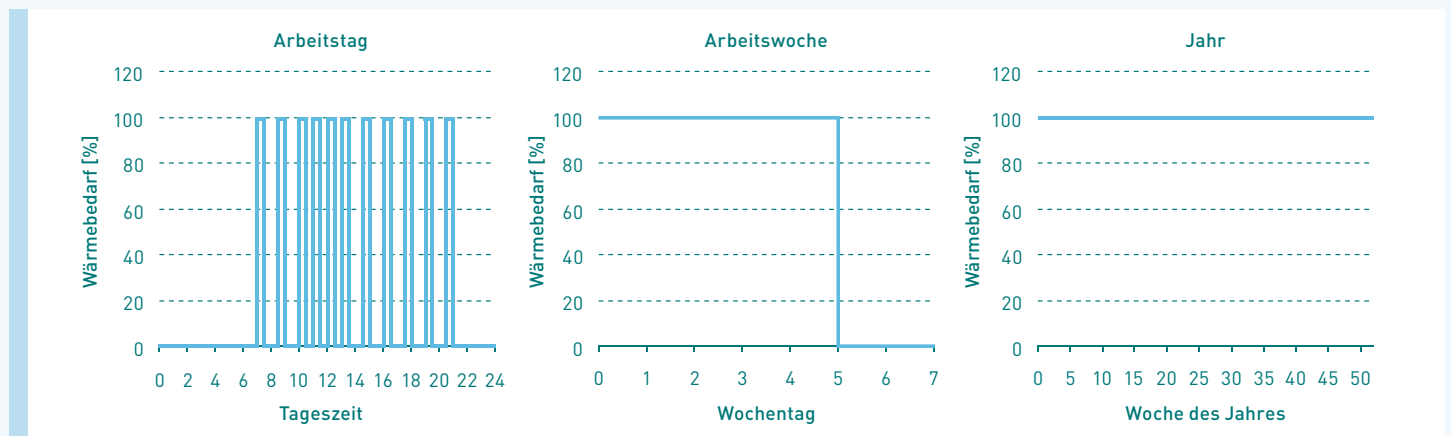


Abb. 7: Kontinuierliches Warmwasserverbrauchsprofil für einen teilweise offenen Dampfprozess in einer Wäscherei (2-Schicht-Betrieb, kein Betriebsurlaub).

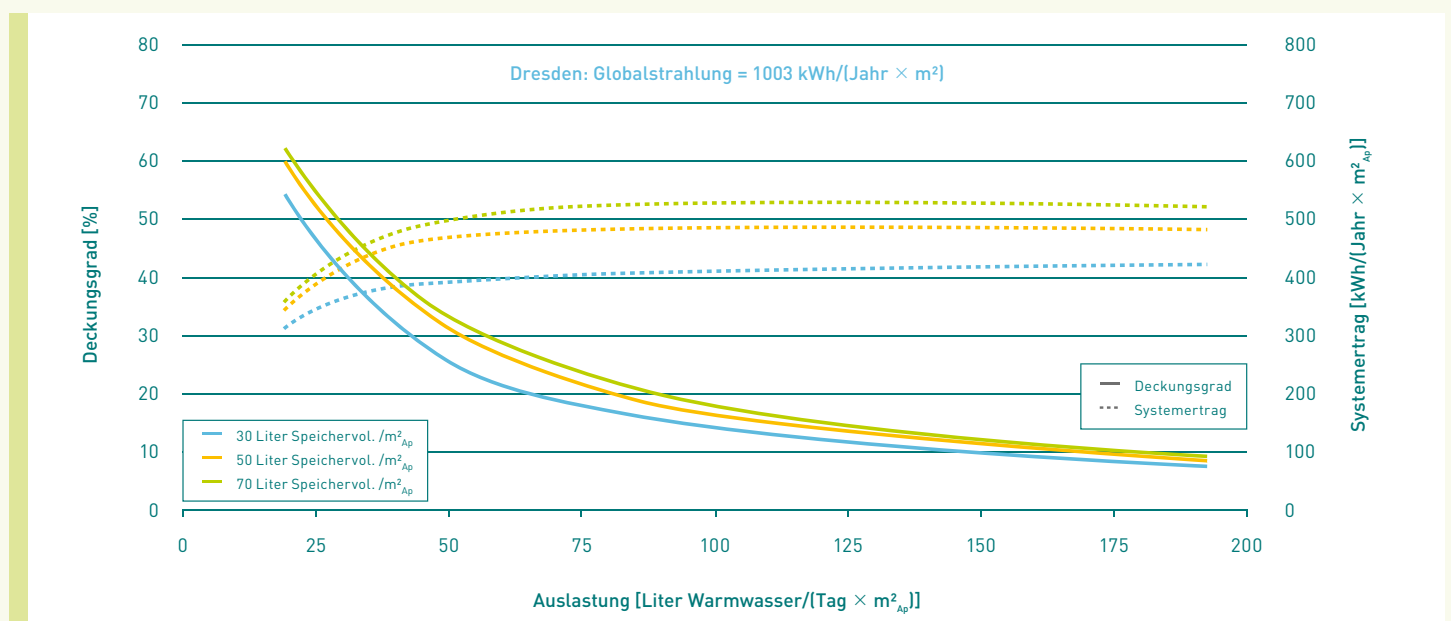


Abb. 8: Beispiel für ein Nomogramm, gültig für das System in Abb. 6 und das Lastprofil in Abb. 7 (Kollektortyp: Standardflachkollektor mit einer Neigung von 35 Grad, Schichtenspeicher).

# SOLARE PROZESSWÄRME

## 4.3. Beheizen industrieller Bäder

Bei diesem System zur möglichen Nutzung von Solarenergie gibt es, verglichen mit den beiden Systemen zur Erhitzen von Warmwasser, einige Unterschiede. Da die durch die Solaranlage produzierte Energiemenge normalerweise erheblich geringer als der Wärmebedarf ist (der Wärmetauscher benötigt eine Eintrittstemperatur von 90 °C), gibt es die Möglichkeit, den Speicher zu umgehen, um Speicherverluste zu reduzieren und um zu verhindern, dass die Wassertemperatur im Speicher durch Mischen reduziert wird. Das ist aufgrund der Mindesttemperatur von 70 °C im gesamten System sehr wichtig.

Der Rückfluss vom Bad kann im Speicher mithilfe eines 3-Wege-Ventils gemischt werden, um eine gute Schichtung zu garantieren, wenn im unteren Bereich des Speichers Temperaturen geringer als 70 °C auftreten. Falls die solare Einstrahlung zu gering ist und die Speichertemperatur unterhalb von 70 °C sinkt, ermöglicht ein 3-Wege-Ventil das direkte Beheizen des Bades aus dem Kessel mit Umgehung des Pufferspeichers.

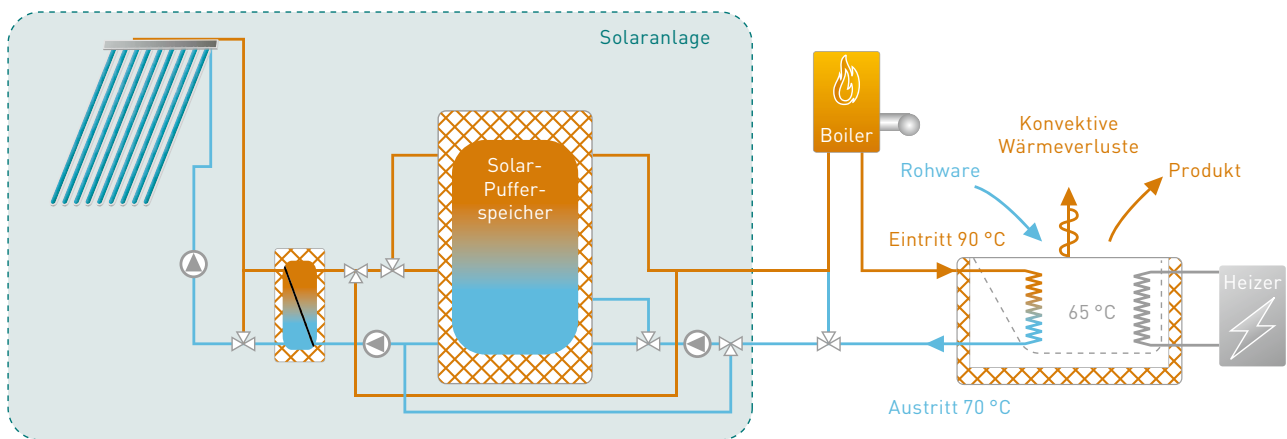


Abb. 9: Systemkonzept für das solare Heizen eines industriellen Bades (direkte Nutzung von Solarthermie ist möglich, elektrisch betriebene Heizgeräte zur Temperaturkontrolle der Bäder).

## Lastprofil und Nomogramm „Beheizen industrieller Bäder“

Das Lastprofil in Abb. 10 zeigt, dass das Unternehmen in zwei Schichten und nicht am Wochenende arbeitet. Der Wärmebedarf von 20 Prozent in der Nacht und an den Wochenenden kommt von den Wärmeverlusten der Bäder, die beheizt werden, um eine konstante Temperatur von 65 °C zu halten. Während der Arbeitszeit treten konvektive Wärmeverluste auf, und auch die behandelten Teile entnehmen einen Teil der Wärme. Bei diesem Beispiel wird das Bad nicht nachgefüllt.

Beim Beheizen industrieller Bäder sind die solaren Gewinne normalerweise geringer als beim Aufheizen von Warmwasser. Die solaren Erträge hängen wesentlich von der minimal verfügbaren Temperatur ab, also der Rücklauftemperatur des Bades. Die Erträge sind besonders gering, wenn die Bäder selten oder nie ausgewechselt werden, wie dies in den Beispielen in dieser Broschüre simuliert wurde.

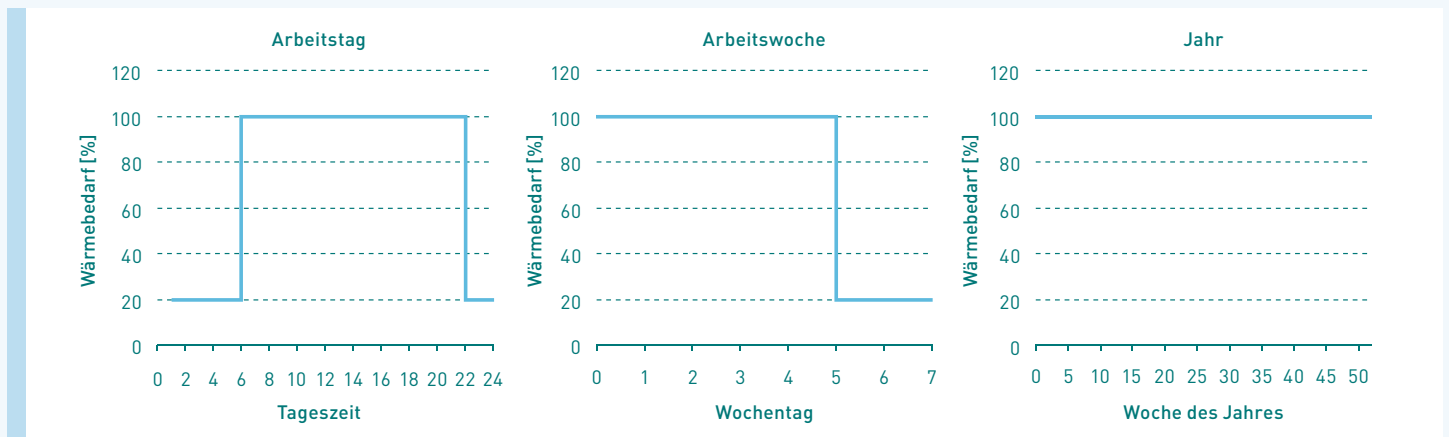


Abb. 10: Kontinuierlicher Wärmebedarf eines industriellen Bades in einem kleinen Unternehmen (da es im Beispielunternehmen zu einer Beschädigung der Elektrolyte kommen kann, wenn diese zu sehr abkühlen, muss dem Bad zum Ausgleich der Wärmeverluste auch in der Zeit etwas Wärme zugeführt werden, wenn es nicht in Betrieb ist)

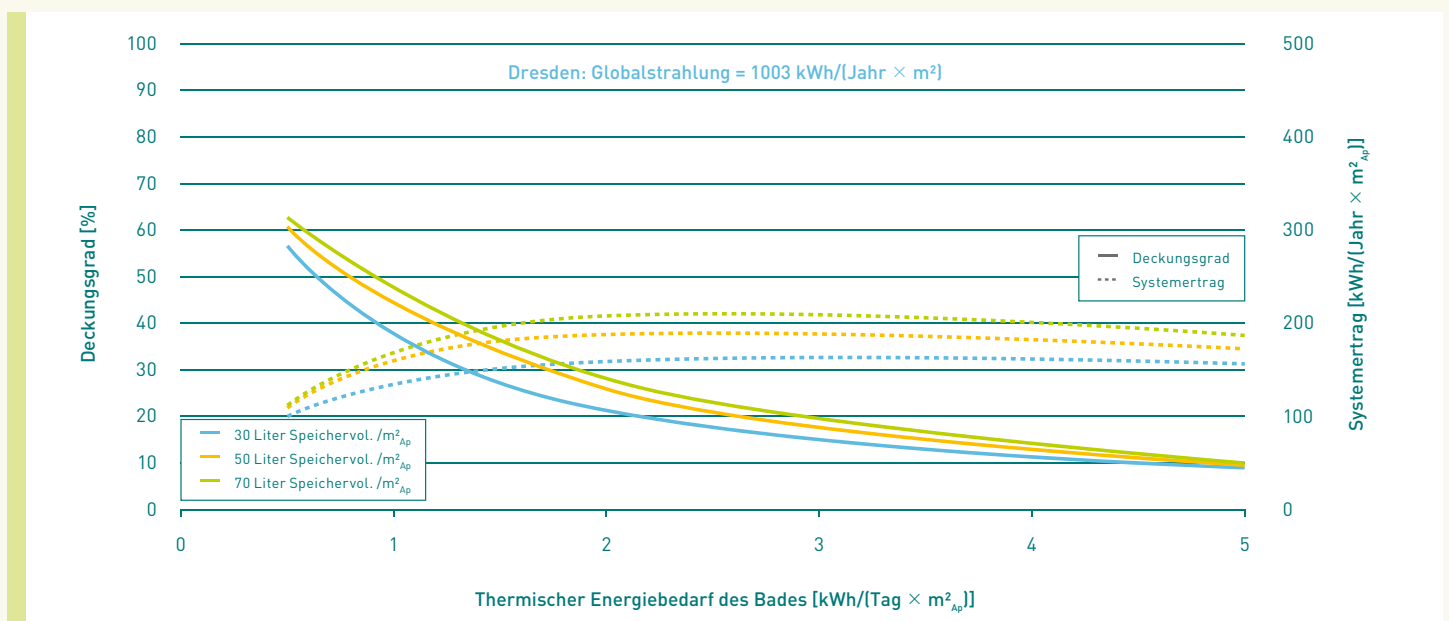


Abb. 11: Beispiel für ein Nomogramm, gültig für ein System wie in Abb. 9 und ein Lastprofil wie in Abb. 10 (Kollektortyp: Vakuumröhrenkollektor mit einer Neigung von 35 Grad, Schichtenspeicher, Badtemperatur: 65 °C; Wärmetauscher-Eintrittstemperatur: 90 °C, Austrittstemperatur: 70 °C).

# SOLARE PROZESSWÄRME

In Anlagen, bei denen die Bäder regelmäßig neu befüllt und dann aus dem Pufferspeicher beheizt werden, sind deutlich höhere Erträge zu erwarten. Ein Vorteil beim Beheizen von Bädern oder Tanks kann ein geringes nötiges Pufferspeichervolumen sein, wenn das Bad oder der Tankinhalt selbst als ein thermischer Speicher wirken kann. Für ein Lastprofil wie in Abb. 10 kann der Pufferspeicher während des reduzierten „Stand-By“-Bedarfs in der Nacht das Nachheizen für einige Stunden übernehmen. In diesem Fall reduziert sich der ineffiziente Teillastbetrieb des konventionellen Heizsystems.

Das Beispiel zeigt, dass für die Implementierung einer solarthermischen Anlage die genaue Analyse aller Prozesse sowie ein ausgeklügeltes Steuerungssystem sehr wichtig sind.

Wenn die Temperaturen im Bad nur noch 45 °C statt 65 °C betragen, kann der Solarertrag mit Vakuumröhren nahezu verdoppelt werden. Abb. 12 ermöglicht darüber hinaus den Vergleich von Vakuumröhrenkollektoren und Flachkollektoren bei gleicher Aperturfläche für diesen Einsatzfall mit einer minimalen Temperatur von 50 °C (Rücklauftemperatur des Wärmetauschers).

In diesem Fall werden vor allem die verfügbare Fläche zur Kollektormontage sowie die spezifischen Kollektorkosten die wirtschaftliche Entscheidung zwischen den beiden Varianten wesentlich beeinflussen.

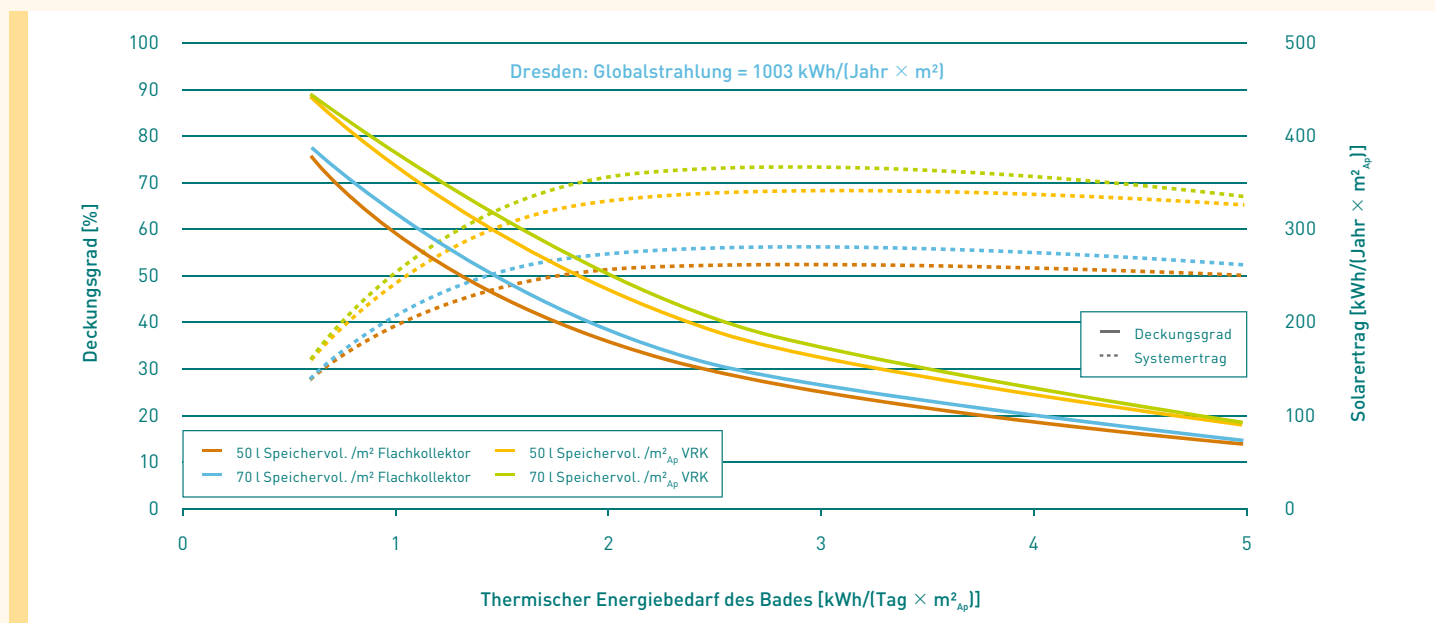


Abb. 12: Beispiel für ein Nomogramm, gültig für ein System wie in Abb. 9 und ein Lastprofil wie in Abb. 10 (Vergleich von Standardflachkollektor und Vakuumröhrenkollektor jeweils mit 35 ° Neigung, Schichtenspeicher, Badtemperatur: 45 °C; Wärmetauscher-Eintrittstemperatur: 70 °C, Austrittstemperatur: 50 °C).

#### 4.4. Konvektives Trocknen mit Heißluft

Der hier dargestellte Prozess ist ein offener Trocknungsprozess ohne Wärmerückgewinnung aus der feuchten Abluft. In konventionellen Systemen wird Umgebungsluft über Wasser-Luft-Wärmetauscher auf 40 °C erhitzt. Der solare Luftkollektor wird in diesem Fall zur Vorwärmung des Luftstroms verwendet. Aufgrund des Lastprofils (Abb. 14) wird auf einen Pufferspeicher verzichtet. Der Ventilator befindet sich auf der heißen Seite des Luftkollektors, um zu vermeiden, dass Leckageluftströme vom Kollektor für den Trocknungsprozess verloren gehen können.

Luftkollektoren haben eine andere Charakteristik als Kollektoren, die mit Wasser oder Wasser-Glykol-Gemischen betrieben werden. Im Vergleich zu diesen Kollektoren verringert ein reduzierter Massenstrom die Effizienz erheblich. So kann die Effizienz eines Luftkollektors bei einem Massenstrom von 100 Kilogramm Luft/(h × m<sup>2</sup><sub>Ap</sub>) bei 70 Prozent liegen und sich bei einem Massenstrom von 20 Kilogramm Luft/(h × m<sup>2</sup><sub>Ap</sub>) auf nur noch 45 Prozent Effizienz reduzieren. Ein Nachteil ist, dass die Druckverluste bei einem hohen Massendurchsatz fünf- bis sechsmal so hoch sind, verglichen mit dem niedrigeren Massenstrom.

Wenn erhitze Umgebungsluft für den Trocknungsprozess benötigt wird, generiert ein konventioneller Lüfter den erforderlichen Massenstrom. Dieser Lüfter kompensiert außerdem alle Druckverluste im konventionellen System. Bei nicht aus-

reichender Sonneneinstrahlung ist der Lüfter im Solarkollektorkreislauf nicht aktiv, und die Luft wird vom konventionellen Wärmetauscher beheizt. Wenn sich bei ausreichender Sonneneinstrahlung der Luftkollektor hingegen auf ein ausreichendes Temperaturniveau aufheizt, läuft der Solarlüfter an. Er kann einen maximalen Massenstrom von 100 Kilogramm Luft/(h × m<sup>2</sup><sub>Ap</sub>) erzeugen. In diesem Fall ist der Temperaturhub im Kollektor gering, aber die Effizienz sehr hoch. In Abhängigkeit von der Einstrahlung wird die noch erforderliche Temperaturerhöhung auf 40 °C vom konventionellen Wärmetauscher bereitgestellt. In Abhängigkeit von der Größe und der internen Verschaltung des Luftkollektors (Kollektoren in einer Reihe sind meist seriell, die Kollektorreihen meist parallel verschaltet) wird zusätzliche Kaltluft automatisch über den konventionellen Ventilator bereitgestellt, der mit konstanter Drehzahl läuft, um stets die Mindestmassenströme zu gewährleisten.

Bei hoher Solareinstrahlung kann die Temperatur nach der Mischung von Kaltluft und Warmluft die gewünschten 40 °C übersteigen. Um dies zu verhindern, kann die Drehzahl des Solarlüfters reduziert werden. Durch die verringerte Drehzahl reduziert sich der Massenstrom im Luftkollektor, und dessen Effizienz sinkt. Somit ist es möglich, über die Drehzahlregelung des Solarlüfters eine maximale Temperatur der Trocknungsluft von 40 °C zu gewährleisten. In diesem Fall kann das konventionelle Heizsystem vollständig abgeschaltet werden, und die Leistungsaufnahme des Solarventilators reduziert sich ebenfalls aufgrund der geringeren Druckverluste im Kollektor.

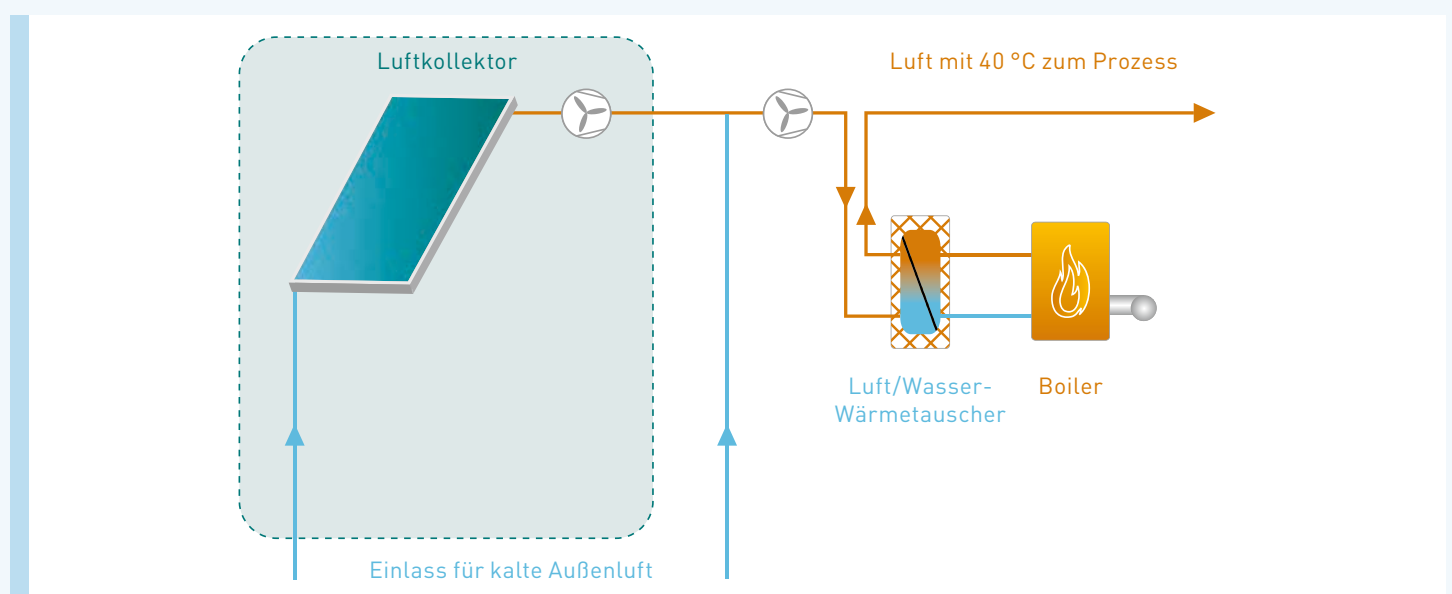


Abb. 13: Systemkonzept für einen offenen Trocknungsprozess. Das offene Luftkollektorsystem wird serienmäßig von einem Kessel unterstützt.

# SOLARE PROZESSWÄRME

Bei günstig ausgelegten Systemen und exakt auf das Anwendungsprofil zugeschnittenen Kollektoren kann der Luft-Wasser-Wärmetauscher an sonnigen Tagen über eine Bypass-Schaltung gänzlich umgangen werden, um die Druckverluste weiter zu reduzieren.

Luftkollektoren haben keine Probleme mit Frost oder Stagnation.

Für hohe spezifische Energieanforderungen (kleine Kollektorfelder) kann der Luftkollektor üblicherweise mit einem hohen Massendurchsatz betrieben werden, wenn die Temperatur der Trocknungsluft 40 °C nicht überschreitet. Dies führt zu einer

hohen Effizienz des Kollektorfeldes. Andererseits sind die erreichbaren solaren Deckungsgraden in diesem Fall gering, und das konventionelle Heizsystem bleibt dauerhaft im Betrieb.

Bei großen Kollektorflächen hingegen muss der spezifische Massenstrom bei hoher Einstrahlung reduziert werden, womit sich die Effizienz des Kollektors an sonnigen Tagen deutlich reduziert. Bei einem solchen System und dem in Abb. 14 angenommen Lastprofil sind in Mitteleuropa solare Deckungsgraden von 15 bis 20 Prozent realistisch.

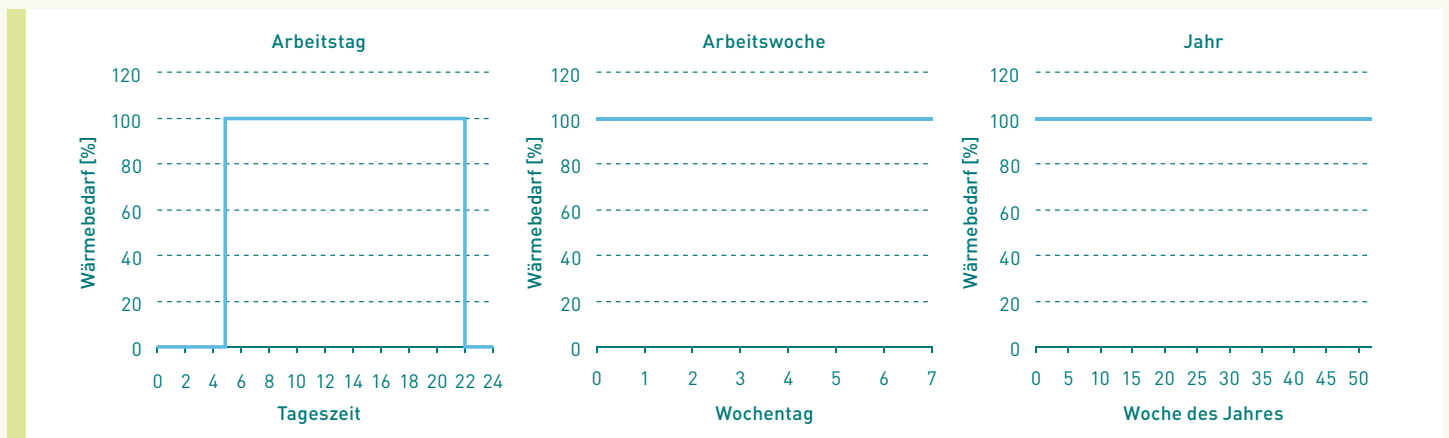


Abb. 14: Lastprofil für einen Konvektionstrocknungsprozess [Anwendung im Beispiel eignet sich gut für den wirtschaftlichen Betrieb von Luftkollektoren, da bei Sonnenschein auch stets warme Luft benötigt wird].

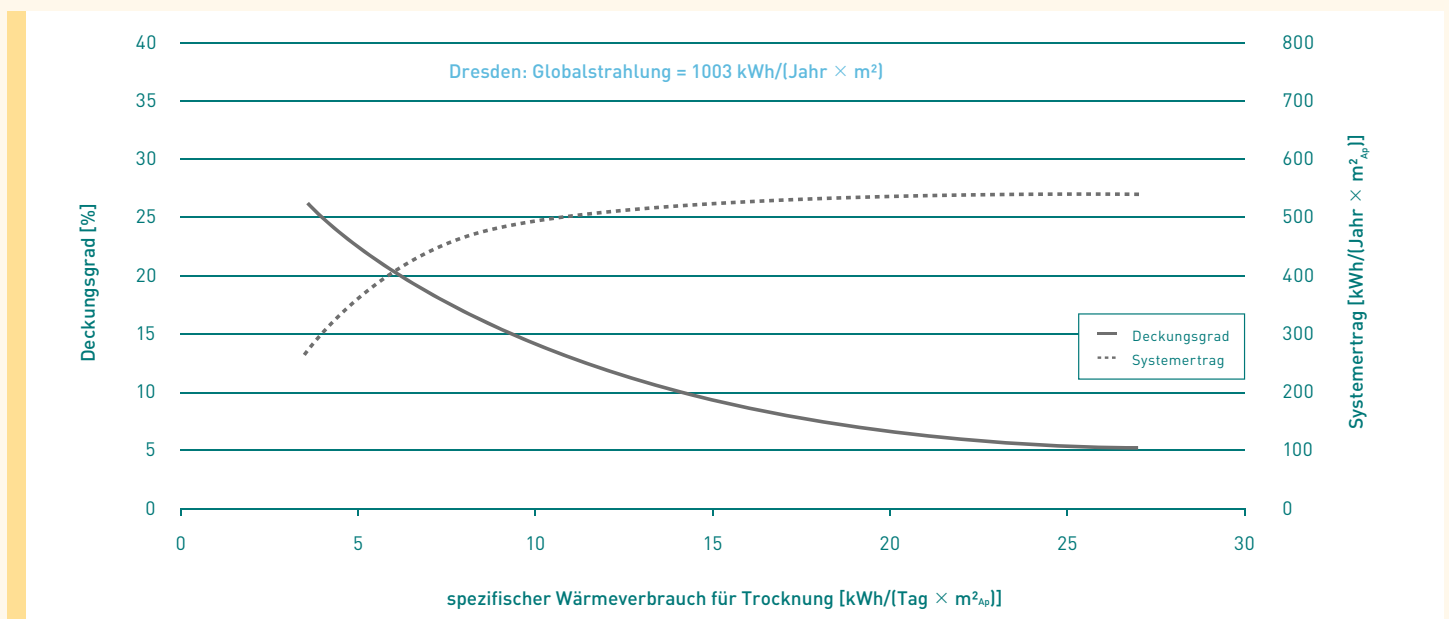


Abb. 15: Beispiel für ein Nomogramm, gültig für ein System mit konvektiver Trocknung über Luftkollektoren wie in Abb. 13 und ein Lastprofil wie in Abb. 14 (kein Speichersystem, der Volumenstrom wird automatisch zwischen 20 kg/(h × m²ₐₚ) und 100 kg/(h × m²ₐₚ) reguliert).

## 5. SPEZIFISCHE AUSLEGUNGS- UND WARTUNGSASPEKTE FÜR SOLARE PROZESSWÄRMEANLAGEN

In diesem Kapitel werden nur Auslegungs- und Wartungsaspekte beschrieben, die besonders relevant für Anlagen zur Prozesswärmeerzeugung sind oder sich von Anlagen zur Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung im Gebäudesektor unterscheiden. Detaillierte Informationen zur Planung, Installation und Auslegung der technischen Komponenten großer solarthermischer Anlagen finden sich in der Literatur unter [6], [7] und [8].

### 5.1. Einbindung in den Prozess

Normalerweise muss der Pufferspeicher der Solaranlage mit dem Heißwasserversorgungssystem mittels eines Wärmetauschers verbunden sein. Grund dafür sind folgende drei Aspekte:

- **Legionellen:** Wenn Trinkwasser in einem Speicher mit einem Volumen von mehr als 400 Litern gespeichert wird, muss der Speicher einmal täglich auf über 60 °C erhitzt werden, um die Gefahr von Legionellen zu vermeiden.
- **Kalkablagerung:** Wenn Frischwasser auf über 60 °C erhitzt wird, kann sich Kesselstein ablagern (in Speichern, Wärmetauschern etc.). Dadurch reduziert sich die Wärmeübertragung.
- **Korrosion:** Wenn z. B. Standardstahltanks regelmäßig mit Frischwasser, das einen sehr hohen Anteil an Sauerstoff enthält, in Kontakt kommen, so kann das zu Beschädigungen durch Korrosion führen.

Frischwasser kann nur direkt im Pufferspeicher erhitzt werden, wenn keiner dieser Punkte zutrifft oder wenn sie wirksam abgesichert sind.

### 5.2. Stillstand und Stillstandsschutz, Thermische Stagnation

Im Falle einer signifikanten solaren Einstrahlung auf den Generator bei inaktiver Pumpe im Kollektorkreislauf beginnt sich das Kollektorfeld aufzuheizen, bis die Stagnationstemperatur erreicht wird. Dies ist die Temperatur, bei der die Energieaufnahme des Kollektors seiner Energieabgabe durch Strahlung und Wärmeübergang entspricht. Abhängig vom Kolleortyp und von den Einstrahlungsbedingungen können dabei Temperaturen von mehr als 200 °C erreicht werden.

Die verschiedenen Phasen der Stagnation lassen sich wie folgt beschreiben: Zuerst dehnt sich das Fluid im Kollektorkreislauf durch den Temperaturanstieg aus. Bei Erreichen der Verdampfungstemperatur (abhängig vom Druck) bilden sich Dampfblasen. Der Druck steigt daraufhin stark an. Je nach Konstruk-

tion der Kollektorröhren kann die Solarflüssigkeit durch den entstehenden Dampf aus dem Kollektor gedrückt werden (vgl. Abb. 16). Abhängig von der Konstruktion des Kollektorfeldes und der entstehenden Dampfmenge kann der Dampf dabei die Sammelrohre und weitere Teile des Solarkreislaufes erreichen.

Die verbleibende Flüssigkeit im Kollektor kocht erst bei höherer Temperatur aufgrund des nun herrschenden hohen Systemdrucks. Der Dampf in den Kollektoren ist überhitzt. Sobald die Temperatur im Kollektorkreislauf fällt, kondensiert der Dampf, und Flüssigkeit strömt aus dem Ausgleichsgefäß nach.

**Mögliche Gründe für die Stagnation** durch Dampf im Kollektor sind:

- Die Maximaltemperatur im Pufferspeicher ist erreicht, und die Pumpe im Solarkreislauf ist inaktiv. (Die Häufigkeit für dieses Ereignis hängt wesentlich vom Verhältnis der Kollektorfläche zum Wärmebedarf der Prozesse ab.)
- Defekte Pumpe im Kollektorkreislauf oder Fehler bzw. Ausfall in der Steuerung.
- Druckverlust im Kollektorkreislauf, z. B. durch Leckage.

**Folgende Probleme können durch Stagnation entstehen:**

Eine Solarflüssigkeit aus einem Wasser-Glykol-Gemisch kann schneller altern oder zerstört werden. Glykol degeneriert entweder durch eine dauerhaft hohe Temperatur oberhalb von 160 °C (abhängig vom Glykol-Typ) oder durch Kontakt mit Sauerstoff im Falle von Leckagen. Bei thermischer Zersetzung des Glykols besteht die Gefahr, dass die Kollektorröhren verstopft werden. Weitere Komponenten des Kollektorkreislaufes können ebenfalls beschädigt werden, insbesondere die Membran im Druckausgleichsgefäß sowie Ventile, Pumpen und Entgaser. Bei falsch ausgelegtem Druckausgleichsgefäß oder unterdimensionierten Ventilen kann es zur Beschädigung und damit zu ungewolltem Flüssigkeitsaustritt kommen.

Neben den möglichen technischen Problemen steht die Solarenergie im Stagnationsfall auch nicht als nutzbare Wärmeenergie zur Verfügung und geht dem Anwender somit verloren.

# SOLARE PROZESSWÄRME

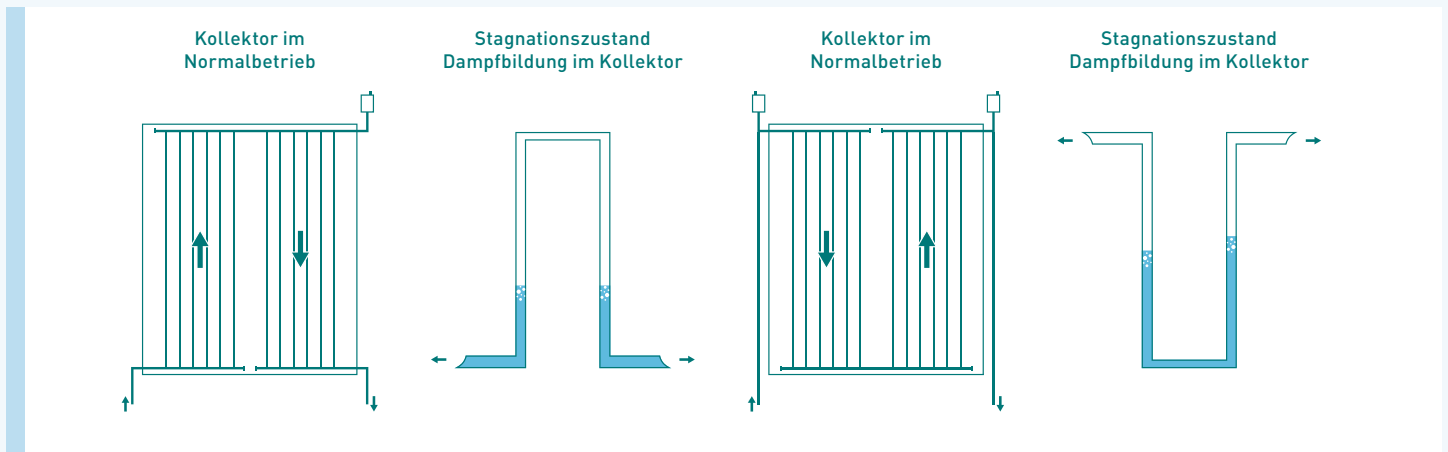


Abb. 16: Vergleich von günstig (links) und ungünstig (rechts) angeordneten Rohren. Wenn sich Kollektoren und Kollektorfelder durch den entstehenden Dampf von Flüssigkeit freidrücken lassen (umgekehrte U-Anordnung), ist die entstehende Dampfmenge und somit der Druck gering. Im ungünstigen Fall hingegen verdampft die verbleibende Flüssigkeit im Kollektorrohr, und es kann zu thermischen Schäden kommen.

Stagnationsprobleme müssen bereits bei der Planung der Anlage vermieden werden. Jede Solaranlage sollte ein Stagnationskonzept aufweisen, da Stagnation ein auftretender Betriebszustand von Solaranlagen ist (z. B. bei fehlender Wärmeabnahme während der Betriebsferien oder bei Stromausfall).

## Maßnahmen zur Vermeidung von Stagnationsproblemen:

- Kollektoren und Kollektorfelder so installieren, dass sie durch Dampf zügig entleert werden (umgekehrte U-Konfiguration). Bei der Wiederbefüllung muss Luft aus dem System entweichen können.
- Eine fachgerechte Auslegung des Ausgleichsgefäßes sicherstellen. Das Gefäß sollte in der Lage sein, das vollständige Volumen der Solarflüssigkeit im Kollektorfeld aufzunehmen. Das Druckausgleichsgefäß ist vor Dampf zu schützen (Verbindungsrohr nicht isolieren, ggf. passive Kühler je nach Dampferzeugungskapazität des Kollektorfeldes installieren).
- Kein Rückschlagventil zwischen Kollektorfeld und Druckausgleichsgefäß installieren. Das Rückschlagventil bestimmt die Ausbreitungsrichtung des entstehenden Dampfes.
- Die Solaranlagen so auslegen, dass der Druck im Stagnationsfall unterhalb von 6 bar liegt, um ein Aktivieren des Sicherheitsventils zu vermeiden.
- Ein gegen hohe Temperaturen unempfindlicheres Glykol-Gemisch wählen, dampf- und temperaturbeständige Komponenten verwenden, falls diese vom Dampf erreicht werden können.
- Insbesondere für Kollektorfelder mit Vakuumröhren, bei denen eine umgekehrte U-Anordnung nicht möglich ist, muss die Dampfproduktionskapazität des Kollektorfeldes bekannt sein. Dies ist ein wichtiges Auslegungskriterium für das Druckausgleichsgefäß.
- Es ist sicherzustellen, dass die Kollektorpumpe nicht starten kann, wenn sich noch Dampf im Kollektorfeld befindet (z. B. über Temperatursensoren und eine festgelegte maximale Wiederanlauftemperatur).
- Ein System mit niedrigem Druck reduziert den thermischen Stress der im Kollektor verbliebenen und kochenden Solarflüssigkeit. Allerdings muss dann mit einem höheren Dampfvolmen gerechnet werden.
- Falls nötig, aktive Kühlsysteme einsetzen. Bei Flachkollektoren kann Hitze aus dem Pufferspeicher nachts wieder an die Umgebung abgegeben werden. Auch der Anschluss von Rückkühlssystemen am Kollektorfeld ist möglich. Durch diese Maßnahmen entstehen allerdings zusätzliche Kosten bei gleichzeitiger Reduktion der spezifischen Erträge. Außerdem können die Systeme bei Stromausfall versagen.

- Kleine solarthermische Anlagen mit einem Pufferspeicher versehen, der ausreichend dimensioniert ist, um auch bei hoher Einstrahlung einen Nachfrageausfall, z. B. über das Wochenende, aufnehmen zu können. Dies vermindert Stagnation und erhöht die spezifischen Erträge des Solarsystems. Die Kapazität von Pufferspeichern hängt auch wesentlich von der verfügbaren Temperaturspreizung ab. Falls es sich beim Wärmeabnehmer um ein System mit hoher Rücklauftemperatur handelt, entstehen sehr hohe Speichertemperaturen (vgl. Abb. 9).

Weiterführende Information zur Stagnation finden sich unter [9].

### 5.3. Betrieb solarthermischer Systeme zur Erzeugung von Prozesswärme

Ein korrekt ausgelegtes und installiertes System minimiert die Betriebskosten und den Wartungsaufwand. Der wichtigste Aspekt beim Betrieb solarthermischer Anlagen besteht darin, die Verantwortung für die regelmäßige Inspektion und Wartung der Anlage in die Verantwortung einer Person im Unternehmen zu legen, die mit dem System gut vertraut ist. Detaillierte Planungsunterlagen und Richtlinien bzw. Checklisten zur Wartung sollten für die regelmäßige Überprüfung zur Verfügung stehen.

Nach der Inbetriebnahme der Anlage ist eine ausreichend lange Einregelungsphase einzuplanen, bei der die Einstellungsparameter im realen Anlagenbetrieb variiert, überprüft und optimiert werden können. Darüber hinaus empfiehlt es sich, ein elektronisches Überwachungssystem zu integrieren, das die Betriebszustände der Anlage sowie die solaren Erträge aufzeichnet und speichert. Dadurch sind Auswirkungen auf veränderte Systemeinstellungen leicht nachzuverfolgen, und der Zustand der Anlage kann auch außerhalb der Nutzungszeiten ausgewertet werden. Das System ist in der Lage, Fehler automatisch zu erkennen an den Verantwortlichen weiterzuleiten, beispielsweise per SMS.

## 6. SYSTEMKOSTEN, WIRTSCHAFTLICHKEIT UND FÖRDERUNG

### 6.1. Typische Systemkosten

Die spezifischen Investitionskosten für Systeme zur Erzeugung solarer Prozesswärme variieren in Deutschland zwischen 180 und mehr als 500 Euro pro Quadratmeter Aperturfläche. Dies hängt vom Anlagenkonzept, der Anlagengröße, den verwendeten Komponenten sowie dem Installationsaufwand ab. Weitere Kosten fallen an, wenn Produktionsanlagen vorübergehend stillgelegt werden müssen. Bei Systemen zur solaren Trocknung entfällt üblicherweise der Pufferspeicher, was zu niedrigeren Kosten führen kann.

Der spezifische solare Wärmeertrag von Anlagen zur Prozesswärme-Erzeugung kann den von Solaranlagen im Haushaltsbereich bis zum Doppelten übertreffen. Dies hängt ab vom gewünschten Temperaturlevel und dem Lastprofil. Dadurch lassen sich die Amortisationszeiten unter Umständen deutlich reduzieren.

Gut geplante und sorgfältig gewartete solarthermische Anlagen weisen eine typische Nutzungsdauer von 20 Jahren auf. Die Kosten für solare Wärme variieren sehr stark, abhängig von den Einstrahlungsbedingungen, dem Anlagendesign und der Anlagengröße, den Prozessen sowie Förderprogrammen und Abschreibungsbedingungen für die Investitionskosten.

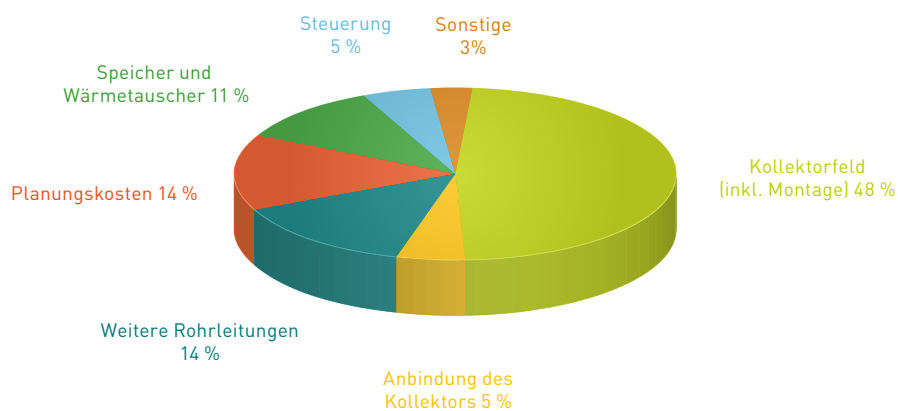


Abb. 17: Verteilung der spezifischen Investmentkosten für große solarthermische Anlagen (Solarthermie-2000). [10]

## 6.2. Wirtschaftlichkeit solarer Prozesswärme

Folgende Annahmen werden für die Beispielrechnung zugrunde gelegt:

Die spezifischen Investitionskosten für die solarthermische Anlage betragen 300 Euro pro Quadratmeter<sub>Ap</sub>. Es wird eine Förderung von 30 Prozent der Investitionskosten berücksichtigt.

Die jährlichen Betriebskosten der solarthermischen Anlage liegen bei sechs Euro pro Quadratmeter<sub>Ap</sub>. Die Betriebskosten steigen um zwei Prozent pro Jahr.

Der spezifische jährliche Ertrag der solarthermischen Anlage beträgt 450 Kilowattstunden pro Quadratmeter<sub>Ap</sub>.

Die Solaranlage wird über einen Zeitraum von zehn bzw. 20 Jahren abgeschrieben oder finanziert. Der Kalkulationszinsatz beträgt in beiden Fällen fünf Prozent.

Bei der konventionellen Wärmeerzeugung wird ein Brennstoffpreis von 50 Euro pro Megawattstunde angenommen. Die jährliche Preissteigerung für konventionelle Brennstoffe beträgt drei bzw. fünf Prozent.

Beim Kostenvergleich werden die Vollkosten für die solarthermische Anlage den reinen Brennstoffkosten für die konventionelle Wärmeerzeugung gegenübergestellt, da üblicherweise davon auszugehen ist, dass trotz Solaranlage auf das konventionelle Wärmesystem nicht verzichtet werden kann und somit außer dem substituierten Brennstoff keine weiteren Einspareffekte durch die thermische Solaranlage auftreten.

Das kann in bestimmten Fällen auch anders sein. Wirtschaftlichkeitsberechnungen sind stets individuell anzufertigen und sollten verschiedene Szenarien berücksichtigen.

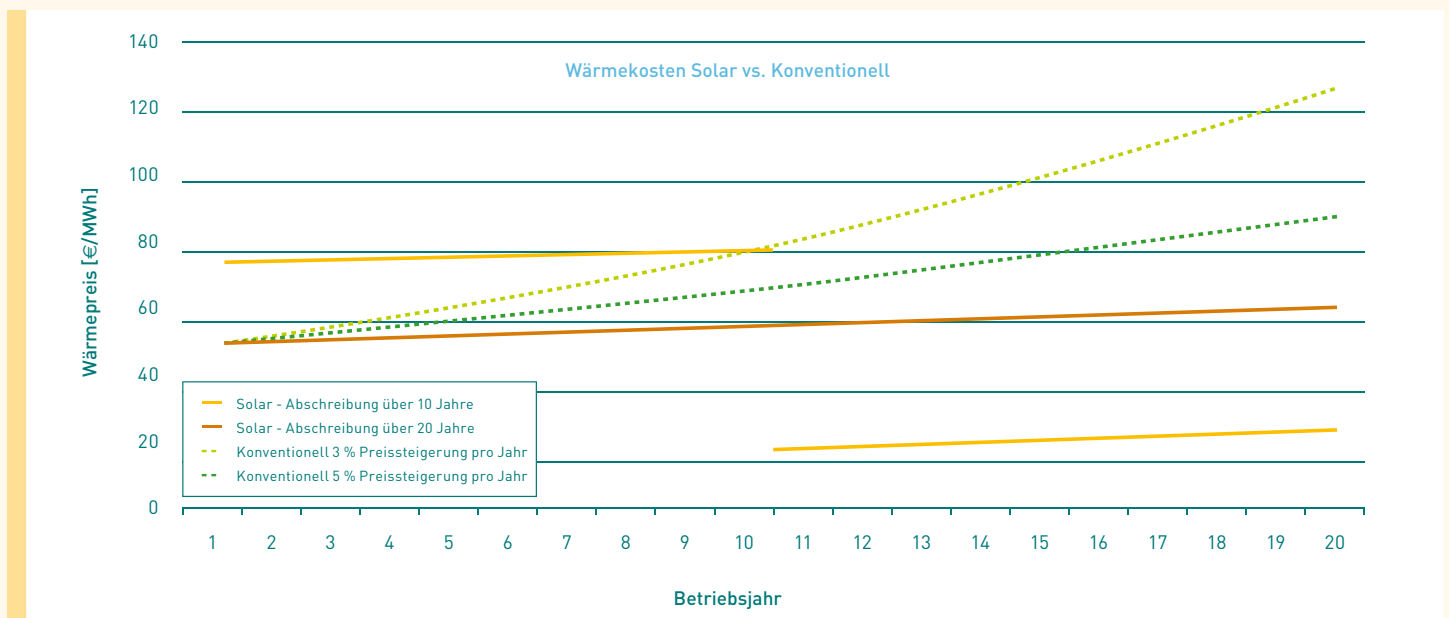


Abb. 18: Wärmekostenvergleich: solare bzw. konventionelle Erzeugung.

# SOLARE PROZESSWÄRME

Wenn die Solaranlage über zehn Jahre abgeschrieben wird, verbleiben ab dem elften Betriebsjahr nur noch die Betriebskosten für die Solaranlage. Bei einer Abschreibungsdauer von 20 Jahren ist die solarthermische Anlage in diesem Beispiel vom ersten Betriebsjahr an wirtschaftlich konkurrenzfähig; bei einer Abschreibung über zehn Jahre ergibt sich ein (dann deutlicher) wirtschaftlicher Vorteil erst ab dem elften Betriebsjahr.

Die Entwicklung der Brennstoffpreise über 20 Jahre ist spekulativ, daher wurden im Beispiel zwei Varianten mit drei bzw. fünf Prozent jährlicher Preissteigerung dargestellt.

## 6.3. Förderung

**Bundesweit** wird solare Wärmeerzeugung über das Markt-anreizprogramm für erneuerbare Energien im Wärmemarkt gefördert. Dies schließt Anlagen zur Erzeugung solarer Prozesswärme mit ein.

Unterschieden wird dabei zwischen Anlagen mit einer Größe bis 40 Quadratmeter und größer als 40 Quadratmeter Bruttokollektorfläche. Anlagen bis 40 Quadratmeter Bruttokollektorfläche werden über das BAFA mit einem Investitionszuschuss bis 180 Euro pro Quadratmeter gefördert. Anlagen größer als 40 Quadratmeter können über zinsgünstige Kredite der KfW-Bank finanziert werden, wobei bis zu 30 Prozent Tilgungszuschuss gewährt werden können.

Über das Programm „Sonderfonds Energieeffizienz in KMU“ der KfW-Bank sind Energieeffizienzberatungen mit 60 bis 80 Prozent der Beratungskosten förderfähig. Als Standard der Energieeffizienzberatung, insbesondere bei der Bewertung von Prozesstechnologien durch zertifizierte Gewerbeenergieberater mit nachgewiesener Branchenkompetenz, steht in Sachsen dabei auch der Sächsische Gewerbeenergiepass (SäGEP) zur Verfügung.

In **Sachsen** fördert die Sächsische Aufbaubank (SAB) Vorhaben über das Programm Energie- und Klimaschutz (EuK/2007) mit Zuschüssen, ggf. in Kombination mit zinsverbilligten Darlehen.

Üblicherweise beschränken sich Förderprogramme auf kleine und mittlere Unternehmen (KMU), in bestimmten Fällen sind aber auch größere Unternehmen förderfähig.

Förderkonditionen sind meist komplex und abhängig vom individuellen Fall; außerdem ändern sie sich rasch. Aktuelle Informationen dazu stehen auf [www.saena.de](http://www.saena.de) unter der Rubrik Förderung zur Verfügung.

## 7. BEISPIELE FÜR DIE NUTZUNG SOLARER PROZESSWÄRME

### Lackiererei Vogel (Erwärmung der Kabinenluft sowie Trocknung)

Die Lackiererei VOGEL in Zwickau (Sachsen) installierte im August 2010 ein 43 Quadratmeter großes Kollektorfeld aus Vakuum-Röhrenkollektoren und einen Pufferspeicher mit drei Kubikmetern. Die erzeugte Wärme dient zum einen dem Beheizen der Kabinen auf 22 bis 24 °C während des Lackiervorgangs sowie zur Erzeugung heißer Trocknungsluft mit 60 bis 70 °C. Nach der Planung soll die Anlage in einem typischen Jahr rund 18 Megawattstunden an Energie erzeugen und damit ca. 30 Prozent des bisherigen Gasbedarfs substituieren.

### Montesano (Lebensmittelindustrie, Waschen und Reinigen)

Das Schlachthaus in Montesano (Spanien) stellt verschiedene Arten von Fleischprodukten her. 2008 wurde ein solarthermisches System mit 290 Quadratmetern Flachkollektoren und einer Leistung von 203 Kilowatt errichtet. Das Speichervolumen beträgt 23 Kubikmeter.

Das System erzeugt ca. 45 Prozent des Wärmebedarfs für das zum Waschen und Reinigen benötigte Heißwasser. Typische Temperaturen liegen zwischen 40 und 60 °C. Der substituierte Energieträger ist Heizöl.

Aufgrund der sehr günstigen Einstrahlungsbedingungen liefert das System 314 Megawattstunden pro Jahr an Energie, was einem spezifischen Jahresertrag von 1.083 Kilowattstunden pro Quadratmeter Kollektorfläche entspricht. Die Investkosten betragen 200.000 Euro.

### Laguna (Textilindustrie, Erhitzen von Kesselzusatzwasser)

Laguna ist eine mittelgroße Wäscherei in Marburg (Deutschland). Zwei mit Erdgas befeuerte 300-Kilowatt-Kessel erzeugen Dampf, der als Wärmeträger zu verschiedenen Prozessen geleitet wird. Ein signifikanter Anteil des Dampfes wird darüber hinaus im Prozess selbst verbraucht; nicht genutztes Kondensat wird dem Speisewassertank wieder zugeführt. Die Arbeitszeiten liegen werktags von 7:30 Uhr bis 15:30 Uhr. An Wochenenden wird üblicherweise nicht gearbeitet, es gibt keine Betriebsferien.

Im Juli 2010 wurde ein solarthermisches System mit einer Aperturfläche von 57 Quadratmetern und einer Leistung von 40 Kilowatt installiert. Das Speichervolumen beträgt 3,3 Kubikmeter.



Abb. 19: Vakuumröhrenkollektoren auf dem Flachdach der Lackiererei. Die Absorberbleche in den Röhren sind dabei in der Halterung nach Süden verdreht.



Abb. 20: Flachkollektoren auf dem Dach der Schlachtereie in Monsanto (Teneriffa, Spanien).



Abb. 21: Prototypen verbesserter Flachkollektoren mit doppelter Frontverglasung (Glas und Folie) und externen Reflektoren).

# SOLARE PROZESSWÄRME

Das solare System dient der Vorerwärmung demineralisierten Speisewassers auf 20 bis 90 °C, das benötigt wird, um die Wasserverluste durch direkt genutzten Dampf zu kompensieren. Außerdem wird das Erwärmen des Speisewassers bis auf 120 °C erprobt. Auf Prozessebene wird Frischwasser für die Waschmaschinen auf 20 bis 80 °C erhitzt. Die zum Einsatz gebrachten Kollektoren sind Prototypen, die für besonders hohe Einsatztemperaturen bis zu 125 °C ausgelegt wurden.

## **Steinbach & Vollmann (Oberflächenbehandlung, Erhitzen von Bädern)**

Der metallverarbeitende Betrieb Steinbach & Bosch aus Heiligenhausen (Deutschland) installierte im Jahr 2008 eine solarthermische Anlage, um den Gasverbrauch des Unternehmens um 30 bis 35 Prozent zu reduzieren.

400 Quadratmeter Vakuumröhrenkollektoren mit einer Leistung von 280 Kilowatt liefern die Wärme an einen neun Kubikmeter großen Pufferspeicher. Versorgt werden damit 16 galvanische Bäder mit zusammen 21 Kubikmetern Volumen sowie Brauchwasser und die Gebäudeheizung.

Die Bäder können dabei zu einem gewissen Umfang ebenfalls die Funktion eines Wärmepuffers übernehmen. Das Temperaturniveau für die Bäder liegt zwischen 60 und 80 °C.

Die Investitionskosten betragen 240.000 Euro; unter Berücksichtigung der Förderung wird eine Amortisation innerhalb von sieben Jahren erwartet.

## **Lammsbräu (Brauerei, Konvektionstrocknung)**

Die Lammsbräu Gebr. Ehrensperger e. K. aus Neumarkt (Deutschland) hat im Jahr 2000 ein 72 Quadratmeter großes Kollektorfeld mit einer Leistung von 50 Kilowatt installiert. Die einfach verglasten Luftkollektoren erwärmen frische Umgebungsluft, die zur Malztrocknung eingesetzt wird. Für den Prozess wird Wärme bis zu 60 °C verwendet; ein Wärmespeicher ist nicht erforderlich.



Abb. 22: 400 Quadratmeter Vakuumröhrenkollektoren sind auf dem Firmendach nach Süden ausgerichtet.



Abb. 23: Luftkollektoren auf dem Dach mit den Belüftungsrohren auf der rechten Seite.

## WEITERFÜHRENDE LITERATUR

- [1]  
S. Werner (2007): The European Heat Market, ECOHEATCOOL - Work Package 1. Final Report, IEE ALTENER Project, Euroheat & Power, Belgium
- [2]  
C. Vannoni, R. Battisti, S. Drigo (2008): Potential for Solar Heat in Industrial Processes. IEA Task 33/IV: Solar Heat for Industrial Processes. Ciemat, Madrid  
[www.iea-shc.org/task33/publications](http://www.iea-shc.org/task33/publications)
- [3]  
C. Brunner, B. Slawitsch et al. (2008): Industrial process indicators and heat integraton in industries. IEA Task 33/IV: Solar Heat for Industrial Processes. AEE IN-TEC, Gleisdorf.  
[www.energytech.at/pdf/ieatask33\\_4\\_ipi.pdf](http://www.energytech.at/pdf/ieatask33_4_ipi.pdf)
- [4]  
EINSTEIN: Expert system for an INtelligent Supply of Thermal Energy in Industry. <http://iee-einstein.org/>
- [5]  
W. Weiss, M. Rommel (2008): Process Heat Collectors. IEA Task 33/IV: Solar Heat for Industrial Processes. AEE INTEC, Gleisdorf. [www.iea-shc.org/task33/publications](http://www.iea-shc.org/task33/publications)
- [6]  
Planning and Installing Solar Thermal Systems. A Guide for Installers, Architects and Engineers. Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie (DGS). 2nd Edition, May 2010, ISBN 9781844077601
- [7]  
VDI 6002 Blatt 1: Solar heating for domestic water - General principles, system technology and use in residential building, Verein Deutscher Ingenieure (VDI), September 2004, German/English. Available from [www.vdi.de](http://www.vdi.de).
- [8]  
A. Aidonis, V. Drosou et al. (2002): PROCESOL II: Solar thermal plants in industrial processes - Design and Maintenance Guidelines. Centre for Renewable Energy Sources, Pikermi.  
[www.energytech.at/pdf/procesol\\_2\\_english.pdf](http://www.energytech.at/pdf/procesol_2_english.pdf)
- [9]  
StagSim: Verbundprojekt zu Systemuntersuchungen großer solarthermischer Kombianlagen. [www.solarkombianlagen-xl.info](http://www.solarkombianlagen-xl.info)
- [10]  
F. Peuser (2002): Große Solaranlagen zur Trinkwassererwärmung. BINE Themen Info III/2002. [www.bine.info/fileadmin/content/Publikationen/Themen-Infos/III\\_2002/themen0302internetx.pdf](http://www.bine.info/fileadmin/content/Publikationen/Themen-Infos/III_2002/themen0302internetx.pdf)
- [11]  
T. Müller, W. Weiss et al. (2004): PROMISE: Produzieren mit Solarenergie. Final report.  
[http://www.nachhaltigwirtschaften.at/nw\\_pdf/0401\\_promise.pdf](http://www.nachhaltigwirtschaften.at/nw_pdf/0401_promise.pdf)
- [12]  
H. Schweiger et al. (2001): POSHIP: Potential of Solar Heat in Industrial Processes. Final report.  
[http://www.solarpaces.org/Library/docs/POSHIP\\_Final\\_Report.pdf](http://www.solarpaces.org/Library/docs/POSHIP_Final_Report.pdf)

# SOLARE PROZESSWÄRME

## INFORMATIONEN ZUM PROJEKT SO-PRO

Obwohl solare Wärme im Haushaltsbereich in Europa zunehmend Marktanteile gewinnt, haben solarthermische Anlagen zur Erzeugung von Prozesswärme den Marktdurchbruch noch nicht erreichen können. Prinzipiell ist das Potenzial sehr hoch, da rund 30 Prozent des industriellen Wärmebedarfs bei Temperaturen unterhalb von 100 °C anfallen – einem Temperaturbereich, der von solarthermischen Anlagen gut bedient werden kann. Dennoch wurden im Rahmen des IEA Task 33 „Solar Heat for Industrial Applications“ erst 70 solcher Installationen in Europa identifiziert.

SO-PRO, ein vom Programm „Intelligent Energy Europe“ unterstütztes Projekt, setzt sich das Ziel, die Markteinführung von Anlagen zur solaren Prozesswärme in sechs Europäischen Regionen (Oberösterreich, Madrid, Südböhmen, Nordrhein-Westfalen, Maribor und Sachsen) zu fördern.

Projektziele sind unter anderem die verbesserte Informationsbereitstellung für Entscheidungsträger in der Industrie, die Weiterbildung von Fachkräften aus der Branche, die Entwicklung von Checklisten und Leitfäden sowie die Initiierung und Begleitung von zwölf Pilotprojekten in den Regionen.

Über Europa verteilte Aktivitäten stellen sicher, dass die Erfahrungen aus dem Projekt für ein breites Anwendungsspektrum zur Verfügung stehen werden.

Weitere Informationen zu SO-PRO sind unter [www.solar-process-heat.eu](http://www.solar-process-heat.eu) verfügbar.

## IMPRESSUM

### Redaktion:

Stefan Heß, Fraunhofer ISE, Germany (Europäische Version)  
Axel Oliva, Fraunhofer ISE, Germany (Europäische Version)

Sächsische Energieagentur – SAENA GmbH

Der Inhalt dieser Broschüre basiert auf einer regionalisierten Version der Publikation „Solar Process Heat Generation: Guide on Solar Thermal System Design for Selected Industrial Processes“ des Fraunhofer Instituts für Solare Energiesysteme ISE, verfügbar unter:  
[www.solar-process-heat.eu](http://www.solar-process-heat.eu)

### Herausgeber:

Sächsische Energieagentur - SAENA GmbH  
Pinnaische Straße 9  
01069 Dresden

Telefon: 0351/4910-3152

Fax: 0351/4910-3155

E-Mail: [info@saena.de](mailto:info@saena.de)

Internet: [www.saena.de](http://www.saena.de)

### Gestaltung/Layout:

media project creative network GmbH

### Druck:

reprogress GmbH

### Disclaimer:

Die alleinige Verantwortung für den Inhalt dieser Publikation liegt bei den AutorInnen. Sie gibt nicht unbedingt die Meinung der Europäischen Gemeinschaften wieder. Die Europäische Kommission übernimmt keine Verantwortung für jegliche Verwendung der darin enthaltenen Informationen.

1. Auflage November 2010

