



Energetische Amortisationszeit und Umweltverträglichkeit, Teil 2

Umwelteigenschaften von thermischen Solaranlagen

Für den Vergleich von Solaranlagen gibt es mehrere Kriterien wie z. B. thermische Leistungsfähigkeit, Wirtschaftlichkeit, Sicherheit, Handhabung etc. Ein wichtiger Aspekt sind aber auch die Umwelteigenschaften der Solaranlage, denn gerade bei einer umweltfreundlichen Technologie sollten energetische Amortisationszeit und Umweltverträglichkeit berücksichtigt werden. Nachfolgend wird erläutert, wie die Umwelteigenschaften von thermischen Solaranlagen beurteilt werden können. Im Mittelpunkt des zweiten Teils stehen die Primärenergie und die Umweltverträglichkeit.

Wie bereits im ersten Teil des Artikels in SBZ 7/2003 erwähnt, setzt sich die eingesetzte Primärenergie aus kumuliertem Energieaufwand für Herstellung, Betrieb und Wartung zusammen. In Tabelle 6 sind diese Einflußfaktoren exemplarisch für eine Kombianlage ohne integrierte Wärmequelle aufgelistet. Zu beachten ist dabei, daß der kumulierte Energieaufwand für die Herstellung zwar den größten Anteil ausmacht, allerdings eine einmalig auftretende Größe ist. Demgegenüber stellen der kumulierte Energieaufwand für Betrieb und Wartung jährlich aufzuwendende Größen dar, die sich bei einer durchschnittlichen Lebensdauer von 20 Jahren entsprechend aufsummieren.

Substituierte Primärenergie

Die substituierte Primärenergie ergibt sich durch Abzug des Nachheizwärmebedarfes von der jährlich benötigten Brennstoff-

menge. Dies ist beispielhaft in Tabelle 7 dargestellt, wobei hier von einer anteiligen Energieeinsparung von 22 % ausgegangen wurde.

Energieaufwand für die Nachheizung

Da die Solaranlage im allgemeinen den gesamten Wärmebedarf nicht decken kann, ist eine Nachheizung mit konventioneller Technik erforderlich. Multipliziert man die anteilige Energieeinsparung mit der von der konventionellen (nicht solaren) Anlage benötigten Energiemenge Q_{conv} , so erhält man den Anteil, der durch die Solaranlage eingespart wurde. Subtrahiert man diesen von der Energiemenge Q_{conv} , so ergibt sich der von der Solaranlage benötigte Zusatzenergiebedarf Q_{aux} .

Jährlich benötigte Brennstoffmenge

Die benötigte Energiemenge einer konventionellen Anlage zur Trinkwassererwärmung sowie die Wärmeverluste des Trink-

INGESetzte PRIMÄRENERGIE	Einheit	Kombianlage ohne integrierte Wärmequelle
Materialien	[kWh]	7100
Transport	[kWh]	540
Zusammenbau und Installation	[kWh]	730
Kumulierter Energieaufwand für die Herstellung	[kWh]	8411
Kumulierter Energieaufwand für den Betrieb der Anlage	[kWh/a]	366
Kumulierter Energieaufwand für die Wartung	[kWh/a]	83

jährlich aufzuwenden
einmalige Größe

◀ Tabelle 6 Zusammenstellung der Einflußfaktoren auf die eingesetzte Primärenergie

Tabelle 7 Zusammenstellung der Größen für die Ermittlung der substituierten Primärenergie

SUBSTITUIERTE PRIMÄRENERGIE	Einheit	Kombianlage ohne integrierte Wärmequelle
Jährlich benötigte Brennstoffmenge	[kWh/a]	16557
Nachheizwärmebedarf	[kWh/a]	12894
Substituierte Primärenergie	[kWh/a]	3663

jährlich aufzuwenden

wasserspeichers wurden dem europäischen Normentwurf prEN 12977-2 entnommen, in welchem ein Warmwasserbedarf von 2945 kWh und die Wärmeverluste des Speichers mit 644 kWh spezifiziert sind. Der Heizwärmebedarf für ein Einfamilienhaus mit Niedrigenergiehausstandard und ca. 130 m² beheizter Nutzfläche beträgt 9090 kWh. Daraus ergibt sich ein Gesamtwärmebedarf von 12 679 kWh pro Jahr.

★ Solare Kombianlagen ohne integrierte Wärmequelle

Der jährliche Energiebedarf (in Form von Öl bzw. Gas) Q_{conv} für die vollständige Deckung des Wärmebedarfs (Warmwasser und Raumheizung) leitet sich unter Berücksichtigung des Kesselwirkungsgrades bei einer konventionellen (nicht solaren) Anlage von $\eta_{conv} = 85\%$ ab.

★ Solare Kombianlagen mit integrierter Wärmequelle

Der Energiebedarf Q_{conv} der konventionellen (nicht solaren) Anlage zur vollständigen Deckung des Wärmebedarfs (Warmwasser und Raumheizung) entspricht hierbei dem Energiebedarf, der von der solaren Kombianlage ohne solaren Beitrag zur vollständigen Deckung des Wärmebedarfs benötigt werden würde.

Die auf die Primärenergie bezogene jährlich benötigte Brennstoffmenge ergibt sich durch Berücksichtigung des Primärenergieäquivalentes von Gas von 1,11 kWh_{primär}/kWh.

Energetische Amortisationszeit

Wie vorstehend gezeigt wurde, hängt die energetische Amortisationszeit nicht allein von der anteiligen Energieeinsparung der Solaranlage ab. Sie wird auch maßgeblich durch die Art der verwendeten Materialien sowie der Betriebsenergie bestimmt. Letztere läßt sich durch optimierte Regelstrategien sowie durch den Einsatz drehzahlgeleiteter Pumpen und Verwendung von

elektrischen Bauteilen mit niedriger Leistungsaufnahme deutlich reduzieren.

Die energetischen Amortisationszeiten bei solaren Kombianlagen liegen gegenwärtig im allgemeinen zwischen 2 und 4 Jahren. Bei einer zu erwartenden Lebensdauer von mindestens 20 Jahren kann also mit dem Einsatz von solaren Kombianlagen noch eine beträchtliche Menge an Energie eingespart und ein wirkungsvoller Beitrag zur Schonung unserer Ressourcen geleistet werden.

Aspekte der Umweltverträglichkeit

Bei einer Beurteilung der Umwelteigenschaften einer thermischen Solaranlage muß neben den energetischen Gesichtspunkten auch die Umweltverträglichkeit der verwendeten Materialien berücksichtigt werden.

So könnten sich z. B. zwei Solaranlagen lediglich in der Art der verwendeten Wärmedämmung unterscheiden. Angenommen bei einer Anlage wird Mineralwolle mit RAL-Gütezeichen verwendet und bei einer anderen Anlage eine Mineralwolle, die die Freizeichnungskriterien der Gefahrstoffverordnung nicht erfüllt und als krebserzeugend gilt. Beide Anlagen würden somit dieselbe energetische Amortisationszeit aufweisen, ohne auf die Gesundheitsrisiken bzw. Umweltauswirkungen hinzuweisen. Deswegen ist es sinnvoll, die einzelnen Stoffe zusätzlich nach ihrer Umweltverträglichkeit zu untersuchen. Dazu ist es zunächst erforderlich die verwendeten Materialien der Anlagenkomponenten nach

Polyvinylchlorid (PVC)	H	Polyvinylchlorid (PVC) wird durch Polymerisation von Vinylchlorid hergestellt, welches als eindeutig krebserzeugender Stoff bekannt ist. PVC enthält im Vergleich zu anderen Kunststoffen größere Mengen an Additiven. Die im PVC enthaltenen Stabilisatoren und Farbstoffe sind schwermetallhaltig.
	B	Bei PVC-Bränden entstehen große Mengen an Salzsäuregas und hochgiftige Dioxine.
	R	Schwermetallgehalte und Dioxinbildung beim Recycling legen eine Verwertung getrennt von anderen Kunststoffen nahe. Hohe Sortenvielfalt an verschiedenen PVC-Arten. Recycling-PVC kostet dreimal soviel wie Primär-PVC, Recycling erscheint unwirtschaftlich.

Tabelle 8 Einordnung des Materials Polyvinylchlorid nach den Kriterien Herstellung (H), Brandschutz (B) und Recycling (R)

den Kriterien Herstellungsprozeß, Verarbeitung, Brandverhalten, Recycling und Trennbarkeit zu untersuchen. Unter dem Kriterium „Herstellungsprozeß“ wird der Produktionsprozeß auf Stoffe untersucht, die in Gesetzen, Verordnungen und Richtlinien als Problemstoffe genannt sind. Der Punkt „Verarbeitung“ berücksichtigt den Verarbeitungsprozeß an sich, beispielsweise ob dort lungengängige Fasern auftreten. Das „Brandverhalten“

der einzelnen Materialien muß hauptsächlich bei den Speichermaterialien der Solaranlage untersucht werden, da dieser im Gebäude steht, und sich bei manchen Materialien im Brandfall gefährliche Rauchgase entwickeln können. Die „Recyclingfähigkeit“ der verwendeten Materialien muß ebenfalls bewertet werden. Dabei spielt auch die Trennbarkeit der einzelnen Materialien voneinander eine große Rolle.

Tabelle 8 zeigt beispielhaft die Einstufung des Materials Polyvinylchlorid nach den Kriterien Herstellung, Brandschutz und Recycling.

Der besseren Übersichtlichkeit wegen erfolgt die Untersuchung durch Teilung der Solaranlage in ihre zentralen Komponenten Kollektorfeld, Speicher und Solarstation. Alle wesentlichen Bestandteile und Materialien werden dann hinsichtlich den oben aufgeführten Kriterien untersucht. Aufgrund der Vielzahl der bei einer Solaranlage verwendeten Materialien und Herstellungsverfahren, kann im folgenden nur exemplarisch auf einige Punkte eingegangen werden:

Umweltverträglichkeit beim Kollektorfeld

Beim Kollektorfeld sind die Hauptbestandteile der Absorber mit seinem Beschichtungsverfahren, der Rahmen mit Rückwand, die Wärmedämmung sowie das Montageset. Untersucht werden diese Hauptbestandteile anschließend nach eingesetztem Material sowie speziellen Beschichtungsverfahren.

✳ **Absorber und Rahmen mit Rückwand**
Erfolgt die Beschichtung des Absorbers beispielsweise galvanisch mit Schwarzchrom

oder werden umweltfreundlichere Sputter- oder PVD-Techniken verwendet? Bei den Rahmenmaterialien kommen eine Vielzahl von Stoffen zum Einsatz: von blankem Aluminium, kunststoffbeschichteten Aluminium, eloxiertem Aluminium, lackiertem Aluminium bis zu Gehäusen aus Kunststoff oder Kombinationen mehrerer Kunststoffe. Dabei führen unnötige Prozeßschritte zu einer Abwertung. Wird z. B. Aluminium elo-



Bild 7 Wärmedämmschale einer Solarstation

xiert, so ist dies rein funktionell betrachtet ein unnötiger Schritt im Herstellungsprozeß, da Aluminium korrosionsbeständig ist und auch in blankem Zustand als Rahmenmaterial verwendet werden kann. Weiterhin muß berücksichtigt werden, daß kunststoffbeschichtete Metalle oft einen erhöhten Aufbereitungsaufwand beim Recycling verursachen, der wiederum mit einem höheren Ressourcenverbrauch verbunden ist. Manche Kunststoffe können zwar recycelt werden, jedoch nur mit reduziertem Eigenschaftsniveau. Ein Beispiel ist die Zerstörung der Fasern beim Recycling und somit eine Minderung der Festigkeitseigenschaften. Vielen Kunststoffen müssen Flammenschutzmittel zugesetzt werden, damit eine bestimmte Brandklasse erreicht werden kann. Diese Flammenschutzmittel sind in der Regel halogeniert oder bromiert und schwer abbaubar. Sie reichern sich in der Umwelt an. Im Brandfall können dann ätzende Brandgase und Dioxine entstehen. Manche Kunststoffzusätze werden aus krebserregenden oder die Fortpflanzungsfähigkeit beeinträchtigenden Stoffen hergestellt.

✳ **Wärmedämmung**
Im Kollektor kommen als Wärmedämmung meist Baumwolle, Mineralwolle, Melamin-

Schaum oder beschichtetes Polyurethan zum Einsatz. Dabei ist Mineralwolle ein Oberbegriff für Dämmstoffe aus anorganischen Glas- und Gesteinsrohstoffen. Dazu zählt auch Stein- oder Glaswolle. Aufgrund der Lungengängigkeit der Fasern sollte darauf geachtet werden, daß nur Mineralwollen verwendet werden, die mit dem RAL-Gütezeichen ausgezeichnet worden sind.

✳ **Montageset des Kollektors**

Das Montageset des Kollektors ist direkt der Witterung ausgesetzt. Daher kommen durchweg korrosionsbeständige Materialien wie Aluminium, verzinkter Stahl oder Edelstahl zur Anwendung. Das Lackieren/ Beschichten von Dachschienen aus rein optischen Gründen wie zum Beispiel zu einer speziellen Farbgebung wird hier ebenfalls als überflüssiger Prozeßschritt erachtet.

Umweltverträglichkeit beim Speicher

Die Speicher bestehen meist aus Stahl, teilweise kommen auch Kunststoffspeicher zum Einsatz. Um den gegebenenfalls vorhandenen Trinkwassertank der Stahlspeicher vor Korrosion zu schützen, wird dieser innen mit Email besprüht. Dies ist ein zusätzlicher Prozeßschritt, der bei Kunststoff- bzw. Edelstahlspeichern entfallen kann. Die Wärmedämmung des Speichers erfolgt entweder durch direkte Aufschäumung mit Polyurethan-Hartschaum oder mit Weichschaumdämmungen, die per Reiß- oder Klickverschluß abnehmbar sind. Dabei erschwert die direkte Aufschäumung die stoffliche Trennung des Stahlbehälters des Speichers von der Kunststoffdämmung. Die Aufschäumung des Polyurethans erfolgt heute meist FCKW-frei.

Bei der Außenverkleidung bzw. des Speichermantels kommen Polystyrol, Polyethylen, kunststoffbeschichteter oder lackierter Stahl aber auch Polyvinylchlorid (PVC) zur Anwendung. PVC hat den Nachteil, daß es aus Vinylchlorid hergestellt wird, welches als eindeutig krebserzeugender Stoff bekannt ist. Außerdem enthält PVC eine große Menge an Additiven, die im Brandfall hochgiftige Dioxine entstehen lassen.

Umweltverträglichkeit bei der Solarstation

Die Dämmung der Solarstation erfolgt meist durch FCKW-frei aufgeschäumtes EPS (expandiertes Polystyrol) oder EPP (expandiertes Polypropylen). Häufig sind an der Wärmedämmschale noch zusätzliche Kunststoffverkleidungen anzutreffen, die oft dazu dienen nicht benötigte Aussparungen in der Wärmedämmschale zu kaschieren. Dies ist aus wärmedämmtechnischen Gesichtspunkten wenig hilfreich, da die Wärmedämmung eine wesentlich geringere Wärmeleitfähigkeit besitzt und somit geringere Wärmeverluste auftreten.

Umweltverträgliche Verpackung

Außer den verwendeten Materialien sollte auch von der Verpackung Umweltverträglichkeit verlangt werden. Diese sollte nach den Kriterien Vermeidung von Verpackungsabfall, Wiederverwendung, stoffliche, energetische Verwendung, Kennzeichnung und nach Schwermetallen oder gefährlichen Stoffen untersucht werden. Erfolgt beispielsweise eine Verpackungsvermeidung durch kompakte Bauweise wie Integration der Solarstation am Speicher oder Integration des Ausdehnungsgefäßes im Speicher? Ist das Ausdehnungsgefäß trotz Kartonverpackung unnötigerweise zusätzlich in einer Plastikhülle eingepackt? Erfolgt die Lieferung von Speicher und Wärmedämmung getrennt verpackt? Hat die verwendete Verpackung einen Zweitnutzen? Werden anstelle von EPS-Chips als Füllmaterial umweltfreundlichere Alternativen, wie zum Beispiel Altpapier-Reißwolfschnitzel verwendet?

Entsorgung der Solaranlage

Solaranlagen halten lange, aber nicht ewig. Deshalb ist es wichtig, daß sie nach ihrer Lebensdauer umweltgerecht entsorgt werden können. Eine Voraussetzung hierfür ist, daß die eingesetzten Materialien gekennzeichnet sind und für die Entsorgung getrennt demontiert werden können. Alle verwendeten Kunststoffbauteile sollten so gekennzeichnet sein, daß sie einer werkstoffgerechten Verwertung zugeführt werden können. Auch das Entsorgungskonzept sollte mit berücksichtigt werden. Wird das Verpackungsmaterial zurückgenommen? Werden Mehrwegverpackungen eingesetzt? Besteht eine Speicher- bzw. Kollektorrücknahmegarantie? So sind zum Beispiel bei Kollektoren, die das Umweltzeichen „blauer Engel“ RAL-UZ73 tragen, die Hersteller verpflichtet die Kollektoren



Bild 8 Umweltfreundliche Verpackung: Altpapier-Reißwolfschnitzel anstelle von EPS-Chips als Füllmaterial



zurückzunehmen und die Materialien einer Wiederverwertung zuzuführen. Die Beurteilung der Umweltverträglichkeit der Solaranlage sollte daher neben der Untersuchung der Umweltverträglichkeit der eingesetzten Materialien auch eine Analyse von Verpackung, recyclinggerechter Konstruktion, Kunststoffkennzeichnung und Entsorgungskonzept beinhalten.

Amortisationszeiten zwischen 1,3 und 4,3 Jahre

In dem Artikel wurde erläutert, wie die Umwelteigenschaften von thermischen Solaranlagen beurteilt werden können. Dabei ist ein maßgebliches Kriterium die energetische Amortisationszeit. Sie gibt an, ab wann die eigentliche Erntezeit beginnt. Das heißt, ab welchem Zeitpunkt die Solaranlage die Energiemenge eingespart hat, die zu ihrer Herstellung, Wartung und Betrieb eingesetzt wurde. Bei einer Optimierung thermischer Solaranlagen hinsichtlich geringem primärenergetischen Einsatz sollten jedoch auch andere umweltrelevante Kriterien berücksichtigt werden. So spielen Langlebigkeit der einzelnen Materialien, Lebensdauer der Solaranlage und die Umweltverträglichkeit der verwendeten Stoffe ebenfalls eine Rolle.

Ein weiteres Kriterium zur Beurteilung der Umwelteigenschaften ist die Umweltverträglichkeit der eingesetzten Materialien. Die verwendeten Stoffe sollten nach den Kriterien Herstellungs- und Verarbeitungsprozess, Brandschutz, Recyclingmöglichkeiten und Trennbarkeit untersucht werden. Hierbei muß auf entsprechende Kunststoffkennzeichnungen geachtet werden, damit die einzelnen Bauteile am Ende ihrer Lebensdauer einer Wiederverwertung zugeführt werden können. Eine recyclinggerechte Konstruktion und die Trennbarkeit einzelner Materialien voneinander erleichtern dabei die umweltgerechte Entsorgung der Bauteile am Ende ihrer Lebensdauer.

Solaranlagen zur Trinkwassererwärmung weisen energetische Amortisationszeiten von etwa 1,3 bis 2,2 Jahren auf. Wird zusätzlich zur solaren Trinkwassererwärmung noch ein Beitrag zur solaren Heizungsunterstützung geleistet, so ergeben sich bei solaren Kombianlagen energetische Amortisationszeiten von 2,0 und 4,3 Jahren. Betrachtet man hierzu die durchschnittliche Lebensdauer von thermischen Solaranlagen, die mindestens 20 Jahre oder mehr beträgt, wird deutlich, daß hier ein großes Potential besteht. Mit der thermischen Nutzung der Solarenergie können beträchtliche Beiträge zur Schonung unserer Ressourcen sowie zur Vermeidung von Emissionen des Treibhausgases CO₂ geleistet werden, an die viele andere Technologien zur Energieeinsparung bzw. -bereitstellung bis heute nicht herankommen. Hinzu kommt, daß Solarenergie in allen Gebieten dieser Erde – wenn auch in unterschiedlicher Intensität – als natürliche, unerschöpfliche Energiequelle kostenlos zur Verfügung steht.

Referenzen

[1] VDI-Richtlinien: VDI 4600, Blatt 1, Entwurf, Juni 1998 – Kumulierter Energieaufwand, Beispiele

Dipl.-Ing. Elke Streicher ist wissenschaftliche Mitarbeiterin beim Forschungs- und Testzentrum für Solaranlagen (TZS) des Instituts für Thermodynamik und Wärmetechnik (ITW) der Universität Stuttgart. Prof. Dr.-Ing. Hans Müller-Steinhagen ist der Direktor des ITW, 70550 Stuttgart, Telefon (07 11) 6 85-35 36, Telefax (07 11) 6 85 35 03.

Dipl.-Ing. Harald Drück ist seit 1994 auf dem Gebiet der Solartechnik tätig und leitet seit 1999 das TZS, das größte deutsche Testzentrum für thermische Solartechnik. Seit 2002 ist das TZS vom DAP für die Prüfung von thermischen Solaranlagen und ihren Bauteilen nach europäischen Normen akkreditiert. Drück hat auch maßgeblich bei der Erarbeitung der europäischen Solarnormen mitgewirkt.