

Die energetische Amortisationszeit als ein Bewertungsinstrument solarthermischer Anlagen

Dipl.-Ing. E. Streicher, Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik (ITW), Universität Stuttgart

Kurzfassung

Eine entscheidende Größe für die Beurteilung von thermischen Solaranlagen ist die energetische Amortisationszeit. Dies ist die Zeit, welche die Anlage in Betrieb sein muss, um die Primärenergie einzusparen, die für Herstellung, Betrieb und Wartung aufgewendet wurde. Der kumulierte Energieaufwand für die Herstellung der Solaranlage ist nicht ausschließlich der maßgebliche Einflussfaktor auf die energetische Amortisationszeit. Der Energieertrag der Solaranlage und die aufgewendete Hilfsenergie sind ebenfalls wichtige Größen und stellen daher ein weiteres Optimierungspotential dar.

Der vorliegende Beitrag beschreibt die Methodik zur Ermittlung der energetischen Amortisationszeit und erläutert die maßgeblichen Einflussgrößen anhand praxisnaher Beispiele. Weiterhin wird die Einführung der energetischen Amortisationszeit als ein Kriterium für die Vergabe des Umweltzeichens „Blauer Engel“ für Solarkollektoren und die damit zusammenhängende Problematik beschrieben und diskutiert. Am Ende des Beitrags werden aktuelle Bestrebungen zu einer einheitlichen Ermittlung der energetischen Amortisationszeit auf europäischer Ebene vorgestellt. Genau definierte Rahmenbedingungen sollen die Anwendung der Methodik vereinfachen und eine Vergleichbarkeit ermöglichen.

1. Einleitung

Ein wichtiger Aspekt für den Vergleich und die Beurteilung von thermischen Solaranlagen sind die Umwelteigenschaften der Solaranlage. Insbesondere bei einer umweltfreundlichen Technologie sollten zusätzlich zur erzielbaren Energieeinsparung auch die energetische Amortisationszeit und die Umweltverträglichkeit berücksichtigt werden.

Unter der energetischen Amortisationszeit versteht man die Zeit, die die Anlage in Betrieb sein muss, um die Primärenergie einzusparen, die für Herstellung, Betrieb und Entsorgung aufgewendet wird. Sie ergibt sich aus Division des kumulierten Energieaufwandes für die

Herstellung durch die Differenz zwischen der jährlich von der Solaranlage eingesparten Energie und der zum Betrieb aufgewendeten Hilfsenergie.

Eine der Haupteinflussgrößen auf die energetische Amortisationszeit ist der kumulierte Energieaufwand (KEA). Dieser beinhaltet den gesamten energetischen Aufwand für die Herstellung der Güter von der Stoffgewinnung über die Rohstoff- und Halbzeugherstellung bis zur Produktfertigung. Weiterhin umfasst dieser Kennwert den Energieaufwand während der Nutzung sowie den Energieaufwand für die Beseitigung, Wiederverwendung oder Rückführung des gebrauchten Produkts bzw. seiner Stoffkomponenten in neue Materialkreisläufe. Wie bei der Berechnung des KEA vorzugehen ist, gibt die VDI-Richtlinie 4600 [1] an.

Die energetische Amortisationszeit stellt einen allgemein verständlichen Kennwert dar, mit welchem verschiedene Solaranlagen miteinander verglichen werden können. Gleichzeitig dient sie als nützliches Hilfsmittel, um abschätzen zu können, welche Auswirkungen z. B. die Verwendung eines anderen Absorbermaterials oder eines anderen Absorberbeschichtungsverfahrens auf die Gesamtenergiebilanz der Solaranlage hat. Somit kann beurteilt werden, ob sich im Hinblick auf die Gesamtanlage durch eine ökologische Optimierung einer einzelnen Anlagenkomponente die gewünschten Verbesserungen erzielen lassen.

3. Methodik zur Ermittlung der energetischen Amortisationszeit

Die energetische Amortisationszeit (EAZ) ergibt sich durch die Ermittlung der eingesetzten Primärenergie, welche anschließend der Energie gegenübergestellt wird, die durch die Solaranlage eingespart wird (substituierte Primärenergie).

Das eingesetzte Primärenergieäquivalent (PEA_{ein}) setzt sich aus dem kumulierten Energieaufwand für die Herstellung (KEA_h), welcher auch den Transport und die Installation der Anlage beinhaltet, dem kumulierten Energieaufwand für den Betrieb der Anlage (KEA_b) sowie dem kumulierten Energieaufwand für die Wartung (KEA_w) zusammen.

$$PEA_{\text{ein}}(t) = KEA_h + KEA_b \cdot t + KEA_w \cdot t \quad (1)$$

Der Energieaufwand für die Herstellung der Anlage stellt eine einmalig auftretende Größe dar. Wohingegen der kumulierte Energieaufwand für den Betrieb und die Wartung der Anlage von der Zeit t abhängig sind, während der die Anlage genutzt wird.

Dem eingesetzten Primärenergieäquivalent wird ein substituiertes Primärenergieäquivalent (PEA_{sub}) gegenübergestellt. Dieses entspricht der Energie, die durch die Solaranlage eingespart wird und setzt sich wie folgt zusammen:

$$PEA_{\text{sub}}(t) = (Q_{\text{conv,tot}} - Q_{\text{aux,tot}}) \cdot t \quad (2)$$

Dabei stellt $Q_{\text{conv,tot}}$ den auf den Primärenergieverbrauch umgerechneten Energiebedarf dar, den ein konventionelles System zur Deckung des Warmwasserbedarfes benötigen würde. Wird die notwendige Energie für die Nachheizung der Anlage ($Q_{\text{aux,tot}}$) von diesem Wert subtrahiert, ergibt sich die Primärenergieemenge, die durch die Solaranlage eingespart wurde.

Setzt man das eingesetzte Primärenergieäquivalent mit dem substituierten Primärenergieäquivalent gleich und löst dieses Gleichungssystem nach der Zeit auf, erhält man folgende Gleichung für die Berechnung der energetischen Amortisationszeit (EAZ)

$$PEA_{\text{ein}}(t) = PEA_{\text{sub}}(t) \quad (3)$$

$$t = \text{EAZ} = \frac{KEA_h}{Q_{\text{conv,tot}} - Q_{\text{aux,tot}} - KEA_b - KEA_w} \quad (4)$$

Die Methodik zur Ermittlung der energetischen Amortisationszeit ist in Abbildung 1 dargestellt. Ab einer bestimmten Zeit schneidet das substituierte Primärenergieäquivalent ($PEA_{\text{sub}}(t)$) die Gerade, die den eingesetzten Primärenergiebedarf ($PEA_{\text{ein}}(t)$) darstellt. Das heißt, ab dieser Zeit ist die gewonnene Energie durch die Solaranlage größer, als das eingesetzte Primärenergieäquivalent und es beginnt die eigentliche "Erntezeit".

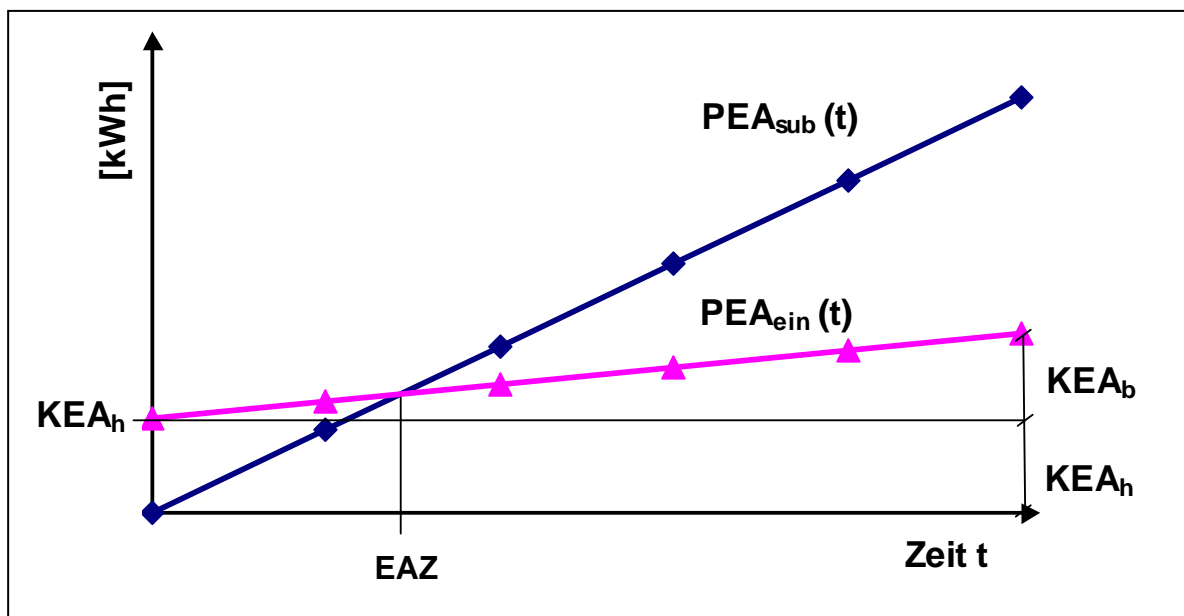


Abbildung 1: Darstellung der energetischen Amortisationszeit im Diagramm

4. Einflussgrößen auf die energetische Amortisationszeit

Wie oben bereits erwähnt ist eine der Haupteinflussgrößen auf die energetische Amortisationszeit der kumulierte Energieaufwand zur Herstellung. Dieser beinhaltet zusätzlich zu den einzelnen Materialien den kumulierten Energieaufwand für den Transport der Solaranlagen vom Hersteller bis zum Einbauort und einen Pauschalansatz für den Zusammenbau und die Installation der Anlage.

Ein weiterer Einflussfaktor stellt die jährlich aufzuwendende elektrische Energie für den Betrieb der Solarkreispumpe und des Reglers dar. Untersuchungen haben ergeben, dass die Pumpenleistung und die Pumpenlaufzeit bei unterschiedlichen Anlagen stark variieren. Durchaus realistisch sind die Größenordnungen in dem unten dargestellten Beispiel. Um den Einfluss dieses Parameters aufzuzeigen, wurde die EAZ für zwei Anlagen berechnet, die sich lediglich in der benötigten Betriebsenergie unterscheiden. Für die Ermittlung der EAZ von Anlage 2 wurden für die elektrische Leistungsaufnahme Werte einer energiesparenden Pumpe und eines energiesparenden Reglers verwendet. Zusätzlich wurde von einer geringeren Pumpenlaufzeit ausgegangen, die sich z. B. durch eine Optimierung der Reglereinstellungen realisieren lässt. Aus Tabelle 1 erkennt man, dass hiermit der kumulierte Energieaufwand für den Betrieb (KEA_b) von 312 kWh/a auf 117 kWh/a reduziert werden kann. Da der KEA_b eine kontinuierlich aufzuwendende Größe ist, macht sich diese Reduktion in der energetischen Amortisationszeit deutlich bemerkbar. Die EAZ wird hierbei um 0,2 Jahre reduziert (siehe Tabelle 2).

Tabelle 1: KEA_b bei geringerer elektrischer Pumpen- und Reglerleistung

BETRIEBS-ENERGIE	ANLAGE 1					ANLAGE 2				
		Lei- stung [W]	Lauf- zeit [h/a]	PEA [kWh _{prim} /kWh]	KEA [kWh/a]		Lei- stung [W]	Lauf- zeit [h/a]	PEA [kWh _{prim} /kWh]	KEA [kWh/a]
	Pumpe	43	1500	3.80	245	Pumpe	25	742	3.80	70
	Regler	2	8760	3.80	67	Regler	1.4	8760	3.80	47
SUMME	Betriebsenergie KEA_b				312	Betriebsenergie KEA_b				117

Tabelle 2: Einfluss geringerer KEA_b auf die energetische Amortisationszeit

Eingangsgrößen	Formelzeichen	Einheit	ANLAGE 1	ANLAGE 2
EINGESETZTE PRIMÄRENERGIE				
Kumulierter Energieaufwand für die Herstellung	KEA _h	[kWh]	4588	4588
Kumulierter Energieaufwand für den Betrieb der Anlage	KEA _b	[kWh/a]	312	117
Kumulierter Energieaufwand für die Wartung	KEA _w	[kWh/a]	41	41
SUBSTITUIERTE PRIMÄRENERGIE				
Jährlich benötigte Brennstoffmenge	Q _{conv,tot}	[kWh/a]	4687	4687
Nachheizwärmebedarf	Q _{aux,tot}	[kWh/a]	2109	2109
Substituierte Primärenergie	PEA _{sub}	[kWh/a]	2578	2578
ENERGETISCHE AMORTISATIONSZEIT				
	AZ	[a]	2.1	1.9

Auch wenn im Hinblick auf die häufig angenommene Lebensdauer von thermischen Solaranlagen von 20 Jahren die Auswirkung von 0,2 Jahren sehr gering erscheint, ist es doch beachtlich, dass dies dem gleichen Einfluss entspricht, den eine Erhöhung oder Verringerung der anteiligen Energieeinsparung um 5 % ergeben würde (Tabelle 4). In Tabelle 3 ist der jährliche Nachheizwärmebedarf bei einer anteiligen Energieeinsparung von 55 % (Anlage 1), 60 % oder 50 % aufgelistet.

Tabelle 3: Nachheizwärmebedarf bei Variation der anteiligen Energieeinsparung

ANLAGE 1				VARIATION 60%				VARIATION 50%			
anteilige Energieeinsparung	Nutzungsgrad	PEA [kWh _{prim} /kWh]	[kWh/a]	anteilige Energieeinsparung	Nutzungsgrad	PEA [kWh _{prim} /kWh]	[kWh/a]	anteilige Energieeinsparung	Nutzungsgrad	PEA [kWh _{prim} /kWh]	[kWh/a]
55	0.85	1.11	2109	60	0.85	1.11	1875	50	0.85	1.11	2343
Nachheizwärmebedarf			2109	Nachheizwärmebedarf			1875	Nachheizwärmebedarf			2343

Bei einer anteiligen Energieeinsparung von 55 % ergibt sich unter Berücksichtigung des Primärenergieäquivalentes für Gas von 1,11 kWh_{primär}/kWh, ein Nachheizwärmebedarf Q_{aux,tot} von 2109 kWh/a. Beträgt die anteilige Energieeinsparung der Solaranlage 50 %, hat dies einen Nachheizwärmebedarf von 2343 kWh/a zur Folge. Wohingegen eine Erhöhung der anteiligen Energieeinsparung auf 60 % zu einem Nachheizwärmebedarf von 1875 kWh/a führt. Interessant in diesem Zusammenhang ist die Auswirkung auf die energetische Amortisationszeit: Variiert man bei Anlage 1 (siehe Tabelle 3) den Nachheizwärmebedarf

von 2109 kWh/a auf 1875 kWh/a, so verändert sich die energetische Amortisationszeit nur um 0,2 Jahre. Die EAZ für Anlage 1 mit einer anteiligen Energieeinsparung von 55 % beträgt 2,1 Jahre (Tabelle 4). Eine höhere anteilige Energieeinsparung von 60 % führt zu einer Reduktion der EAZ von 2,1 auf 1,9 Jahre. Die Verringerung der anteiligen Energieeinsparung von 55 % auf 50 % ergibt eine Erhöhung der EAZ auf 2,3 Jahre.

Tabelle 4: Einfluss unterschiedlicher anteiliger Energieeinsparungen auf die EAZ

Eingangsgrößen	Formelzeichen	Einheit	VARIATION ANTEILIGE ENERGIEEINSPARUNG		
			55%	60%	50%
EINGESETZTE PRIMÄRENERGIE					
Kumulierter Energieaufwand für die Herstellung	KEA _h	[kWh]	4588	4588	4588
Kumulierter Energieaufwand für den Betrieb der Anlage	KEA _b	[kWh/a]	312	312	312
Kumulierter Energieaufwand für die Wartung	KEA _w	[kWh/a]	41	41	41
SUBSTITUIERTE PRIMÄRENERGIE					
Jährlich benötigte Brennstoffmenge	Q _{conv,tot}	[kWh/a]	4687	4687	4687
Nachheizwärmebedarf	Q _{aux,tot}	[kWh/a]	2109	1875	2343
Substituierte Primärenergie	PEA _{sub}	[kWh/a]	2578	2812	2344
ENERGETISCHE AMORTISATIONSZEIT					
	AZ	[a]	2.1	1.9	2.3

Das detaillierte Vorgehen, wie die einzelnen Einflussgrößen ermittelt werden, wurde in [2] veröffentlicht.

5. Problematik bei Verwendung verschiedener Datenbanken

Mehrere europäische Institutionen beschäftigen sich mit der Erfassung und Bereitstellung der Werte für den kumulierten Energieaufwand (KEA) verschiedener Materialien und Prozesse. Allerdings weisen die individuellen Werte oft Differenzen auf, die auf Annahme unterschiedlicher Bilanzierungsgrenzen zurückzuführen sind. Die schweizer Datenbank „ecoinvent 2000“ wurde mit dem Ziel der Harmonisierung gebräuchlicher Datenbanken erstellt. Dazu hat das Schweizer Zentrum für Ökoinventare verschiedene Datenbanken zusammengeführt und überarbeitet. Alle Daten nehmen auf die Produktions- und Versorgungssituation des Jahres 2000 Bezug. Es entstand somit eine umfangreiche Datenbank, die nicht nur für schweizerische, sondern für alle westeuropäischen Verhältnisse

Gültigkeit hat. „ecoinvent 2000“ kommt der ganzheitlichen Bilanzierung einen Schritt näher, da zusätzliche Prozessschritte betrachtet werden können und weitere Details, wie z. B. die Produktionsstätten, mit in die Berechnung eingehen. Durch die vorgenommene Harmonisierung ist eine äußerst umfangreiche Datenbank entstanden, die den entscheidenden Vorteil bietet, dass sie nahezu alle für eine Bilanzierung von Solaranlagen notwendigen Datensätze beinhaltet und bei der Berechnung nicht auf Einzelwerte anderer Datenbanken zurückgegriffen werden muss. Für eine transparente Ermittlung der energetischen Amortisationszeit ist es wichtig, dass die verwendete Datengrundlage sowie die Systemgrenzen der Bilanzierung exakt definiert sind. Insbesondere gilt dies auch für die vorgesehene Einführung der energetischen Amortisationszeit als ein Kriterium für die Vergabe des Umweltzeichens „Blauer Engel für Sonnenkollektoren“ (RAL-UZ 73), wie in folgendem Kapitel erläutert wird.

6. Der „blaue Engel“ für Sonnenkollektoren

In der neuesten Vergabegrundlage (Ausgabe Februar 2005) des Umweltzeichens „Blauer Engel für Sonnenkollektoren“ (RAL-UZ 73) wurde die energetische Amortisationszeit als Kriterium mit aufgenommen. Im Gegensatz zu der oben beschriebenen Methodik wird dabei die energetische Amortisationszeit nicht für eine komplette Solaranlage ermittelt, sondern lediglich für den Sonnenkollektor. Die Systemgrenze wird hier direkt am Kollektor gezogen, das Montageset das zur Befestigung des Kollektors auf dem Dach benötigt wird, wird hierbei als nicht zum Kollektor zählend betrachtet und bleibt daher bei der Berechnung unberücksichtigt. Ermittelt wird die energetische Amortisationszeit durch Gegenüberstellung des kumulierten Energieaufwandes für die Herstellung und den Transport mit dem spezifischen (flächenbezogenen) jährlichen Energieertrags des Kollektors.

Um das Umweltzeichen zu erhalten, müssen zusätzlich zu der energetischen Amortisationszeit weitere umweltrelevante Kriterien erfüllt werden. So ist neben einer recyclinggerechten Konstruktion, die die Trennbarkeit der einzelnen Materialien voneinander erleichtert auch die Rücknahme der Kollektoren am Ende ihrer Lebensdauer zu gewährleisten, damit diese einer umweltgerechten Verwertung zugeführt werden können.

Die Vergabegrundlage beinhaltet eine Vielzahl von Werten für den kumulierten Energieaufwand einzelner Materialien und selektiven Beschichtungsverfahren für den Absorber. Nicht nachzuvollziehen sind jedoch die Gründe für die Verwendung von Datensätzen aus unterschiedlichen Datenbanken. So werden teilweise Datensätze aus der früher häufig bei der Bilanzierung von Solaranlagen verwendeten Datenbank „Ökoinventare

für Energiesysteme“ angegeben. Andererseits kommt in einigen Fällen auch die schweizer Datenbank „ecoinvent 2000“ zur Anwendung, die wie oben bereits erwähnt, eine Überarbeitung der „Ökoinventare für Energiesysteme“ darstellt und den aktuelleren Stand besitzt. Die durch die Aktualisierung entstandenen Änderungen in den Werten für den kumulierten Energieaufwand sind teilweise beträchtlich. So reduziert sich beispielsweise der Wert für den kumulierten Energieaufwand für Kupfer von 26.83 kWh/kg auf 9.02 kWh/kg. Eine vergleichende Untersuchung der Datensätze beider Datenbanken wurde in [3] vorgestellt.

Die Verwendung der energetischen Amortisationszeit als eines der Hauptkriterien für die Vergabe des „Blauen Engels“ stößt in Fachkreisen auf heftige Kritik. Als Gegenargumente werden die großen Unsicherheiten genannt, mit denen die Werte behaftet sind. Die Tatsache, dass die Ergebnisse unabhängig voneinander durchgeführter Untersuchungen nicht sinnvoll vergleichbar sind, wenn sie auf unterschiedlichen Bilanzierungsgrenzen gründen oder wenn bei der Ermittlung des kumulierten Energieaufwandes unterschiedliche Datenbanken verwendet wurden, schwächt das Vertrauen in dieses Bewertungskriterium. Der Vorteil der energetischen Amortisationszeit ist jedoch, dass sie verhältnismäßig einfach zu bestimmen ist und einen allgemein verständlichen Kennwert darstellt. Es ist daher zwingend notwendig ein einheitliches Verfahren auf europäischer Ebene einzuführen, damit bei allen Untersuchungen mit der gleichen Vorgehensweise gearbeitet wird und somit eine Vergleichbarkeit gewährleistet ist.

7. Einheitliche Ermittlung auf europäischer Ebene

Im EU Projekt NEGST „New Generation of Solar Thermal Systems“ [4] wird derzeit ein Vorschlag für eine einheitliche Vorgehensweise erarbeitet. Dieser Normvorschlag beinhaltet eine umfassende Ökobilanz einer thermischen Solaranlage. Die Ergebnisse sollen übersichtlich auf einem genau spezifizierten Bewertungsbogen dargestellt werden, mit welchem auf den ersten Blick ersichtlich ist, welche Umweltauswirkungen das Produkt verursacht. Genau definierte Rahmenbedingungen für die Ermittlung der Werte sollen die Anwendung der Methodik vereinfachen und eine Vergleichbarkeit ermöglichen.

Neben der energetischen Amortisationszeit soll auch die gesamte Energiemenge verglichen werden, die während einer bestimmten Lebensdauer eingespart wird. Dieser Ansatz ist sinnvoll da es möglich ist, dass eine Solaranlage mit einer höheren energetischen

Amortisationszeit über ihre gesamte Lebensdauer eine höhere Energieeinsparung erzielt, als eine Anlage mit niedrigerer energetischer Amortisationszeit. Mit der zusätzlichen Angabe dieser eingesparten Energiemenge kann ausgeschlossen werden, dass solch ein System überbewertet wird [5].

Um auch die bei der Herstellung verursachten Emissionen berücksichtigen zu können, sind auf dem europäischen Bewertungsbogen weitere Angaben enthalten. So wird unter anderem auch der vermiedene „Global Warming Effect“ in CO₂-Äquivalenten angegeben. Das Global Warming Potential eines Treibhausgases gibt an, wie viel stärker oder schwächer eine bestimmte in die Atmosphäre emittierte Menge des Gases im Vergleich zur gleichen Menge CO₂ zum Treibhauseffekt beiträgt. Mit diesem Konzept können bei bekannten Emissionsmengen die unterschiedlichen Beiträge einzelner Treibhausgase verglichen werden.

8. Ausblick

Gegenwärtig liegen die typischen energetischen Amortisationszeiten bei Solaranlagen zur Trinkwassererwärmung bei 1,3 bis 2,3 Jahren und bei solaren Kombianlagen (Solaranlagen zur kombinierten Trinkwassererwärmung und Heizungsunterstützung) zwischen 2,0 und 4,3 Jahren. Bei einer zu erwartenden Lebensdauer von mindestens 20 Jahren kann also durch dem Einsatz von thermischen Solaranlagen eine beträchtliche Menge an Energie eingespart werden.

Bei einer Optimierung thermischer Solaranlagen hinsichtlich eines geringeren Primärenergieeinsatzes sollten jedoch auch andere umweltrelevante Kriterien berücksichtigt werden. So sind die Langlebigkeit der einzelnen Materialien und die Umweltverträglichkeit der verwendeten Materialien ebenfalls von entscheidender Bedeutung. Eine recyclinggerechte Konstruktion und die Trennbarkeit der einzelnen Materialien voneinander erleichtern die umweltgerechte Entsorgung und Wiederverwertung der Bauteile am Ende ihrer Lebensdauer.

Auch die Lebensdauer der Solaranlage sollte in diesem Zusammenhang nicht außer Acht gelassen werden. Denn wie alle Produkte ist auch eine Solaranlage gewissen Alterungserscheinungen unterworfen. Ein Projekt über die Quantifizierung des Alterungsverhaltens von Kollektoren „QanKoll“ wird derzeit am Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik (ITW), Stuttgart bearbeitet [6]. Dabei wird untersucht, welche Auswirkungen die Alterung von Kollektoren auf deren Leistungsfähigkeit sowie die daraus resultierende Energieeinsparung hat. In diesem Zusammenhang wird u. a. ein

Kollektormodell entwickelt, das temperaturbedingte Degradationsmechanismen berücksichtigt und somit die Leistungsabnahme in Abhängigkeit von der Zeit beschreiben kann.

- [1] VDI Richtlinie 4600, "Kumulierter Energieaufwand – Begriffe, Definitionen, Berechnungsmethoden", Juni 1997
- [2] E. Streicher, W. Heidemann, H. Müller-Steinhagen
Methodik zur Ermittlung der energetischen Amortisationszeit von thermischen Solaranlagen, Tagungsband zum zwölften Symposium Thermische Solarenergie, Seiten 123-128, Otti Energie-Kolleg, 2002, ISBN 3-934681-20-4
- [3] E. Streicher, W. Heidemann, H. Müller-Steinhagen
Ermittlung von energetischen Amortisationszeiten mit „ecoinvent 2000“,
Seiten 121-126, Otti Energie-Kolleg, 2005, ISBN 3-934681-39-5
- [4] EU Projekt NEGST „New Generation of Solar Thermal Systems“, www.swt-technologie.de/html/negst.html
- [5] Haller M., Vogelsanger P.: Payback-Time als Kriterium zur Förderung von thermischen Solaranlagen, SPF, Hochschule Rapperswil HSR, 25. April 2005
- [6] Solarthermie2000plus: Quantifizierung des Alterungsverhaltens solarthermischer Kollektoren (QanKoll), Förderkennzeichen 0329277A, Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU)