



Energetische Rückzahldauer Solarkollektoren Herrliberg



Erstellt durch Gabor Doka, Doka Ökobilanzen, Zürich

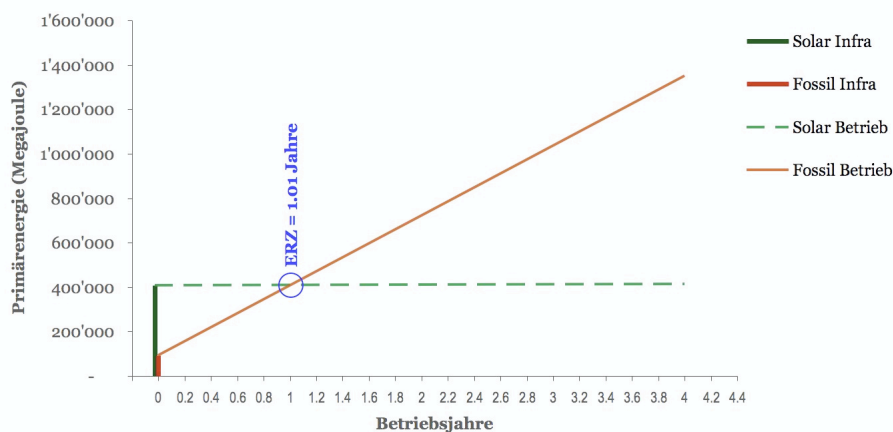


Im Auftrag von Lisbeth Germann, Bauvorständin
Herrliberg

Juni 2008

1 Zusammenfassung

Die energetische Rückzahldauer (ERZ) einer Solarkollektoranlage in Herrliberg zur Warmwasserbereitstellung wurde berechnet. Die zur Solaranlagenherstellung nötige graue Energie ist im Vergleich zu einer rein mit fossilen Brennstoffen betriebenen Variante nach 1.01 Jahren aufgeholt.



Nach dieser Zeit ist die Solaranlage deutlich und laufend weniger energieintensiv im Vergleich zur fossilen Variante. In 25 Jahren werden für die Solaranlage gesamthaft und über den ganzen Lebenszyklus gerechnet 450'000 Megajoule Primärenergie aufgewendet; für die fossile Variante (moderner kondensierender Erdgaskessel) wird für dieselbe Warmwassermenge gesamthaft 8'000'000 Megajoule, oder rund 18 mal mehr benötigt.

2 Was ist graue Energie?

Als grauer oder kumulierter Energieaufwand wird die aufgewendete Energie verstanden, welche für die Herstellung, den Transport und Entsorgung eines Konsumgutes nötig ist. Oft wird dieser Energieaufwand auf der Stufe *Primärenergie* zusammengefasst, d.h. als Summe der *Energierohstoffe*, die aus der Natur in Form

von Rohöl, Roh-Erdgas, Kohle und Uran entnommen werden müssen. Die Definition des kumulierten Energieaufwandes beinhaltet auch die in Wasserkraftwerken eingesetzte Energie, da ein grosser Teil der Schweizer Netzstromversorgung aus Wasserkraftwerken stammt (Kasser et al. 1999). In der vorliegenden Studie werden Rohöl, Erdgas, Kohle, Uran und Wasserkraft betrachtet und in der Einheit Megajoule (MJ) ausgewiesen.

3 Was ist die energetische Rückzahldauer?

Die *Infrastruktur* von Solaranlagen ist aufwendiger in der Herstellung als die Infrastruktur von vergleichbaren konventionellen, fossil betriebenen Wärmesystemen, wie z.B. mit Erdgas oder Erdöl. Dagegen wird bei konventionellen Wärmesystemen vor allem während des *Betriebs* viel Energie beansprucht. Bei einer Solaranlage wird also zum Zeitpunkt der Anlageerstellung relativ viel graue Energie beansprucht, im Betrieb aber nur sehr wenig, da dann vor allem Sonnenenergie genutzt wird. Bei fossilen Wärmesystemen wird durch die Anlageerstellung relativ wenig Energie beansprucht, im Betrieb aber sehr viel Energie benötigt. Betrachtet man den aufsummierten oder kumulierten Energieverbrauch beider Varianten, so startet die fossile Anlage mit einem Vorteil, verbraucht dann aber während des Betriebs mit hoher Rate zusätzliche Energie. Die Solaranlage startet mit Nachteil durch die aufwendige Infrastruktur, ist dann aber im Betrieb ausserordentlich sparsam.

Als energetische Rückzahldauer (ERZ) wird der Zeitpunkt nach Inbetriebnahme bezeichnet, an dem beide Varianten *gleich viel Gesamtenergie* verbraucht haben. Dies ist der Zeitpunkt, ab dem sich die ursprünglich hohen energetischen Investitionen in die Solaranlage auszuzahlen beginnen, da nach diesem Zeitpunkt der Gesamtenergieverbrauch der Solaranlage insgesamt kleiner ist als bei der fossilen Variante. Voraussetzung für die Berechnung der ERZ ist, dass beide Varianten dem Konsumenten dieselbe Nutzenergiemenge liefern.

Mathematisch berechnet sich die energetische Rückzahldauer wie folgt:

$$ERZ = \frac{I_S - I_F}{b_F - b_S}$$

wobei:

ERZ	= Energetische Rückzahldauer [Jahre]
I_S	= Energie für Infrastruktur der Solaranlage [Megajoule]
I_F	= Energie für Infrastruktur der fossilen Variante [Megajoule]
b_S	= jährliche Energie für Betrieb der Solaranlage [Megajoule/Jahr]
b_F	= jährliche Energie für Betrieb der fossilen Variante [Megajoule/Jahr]

(basierend auf Gugerli et al. 2000, Seite 28)

Die energetische Rückzahldauer kann auch geometrisch als Verlauf der Energiebelastung (y-Achse) über die Betriebsjahre (x-Achse) in sogenannten Lebenslinien dargestellt werden (Gugerli et al. 2000). Die energetische Rückzahldauer resultiert aus dem Schnittpunkt der Lebenslinien beider Varianten. Im

folgenden Schema sind die oben definierten Variablen eingezeichnet. Der anfängliche Vorteil der fossilen Variante (rot), welcher im Laufe der Zeit gegenüber der solaren Variante (grün) verschwindet, ist sichtbar.

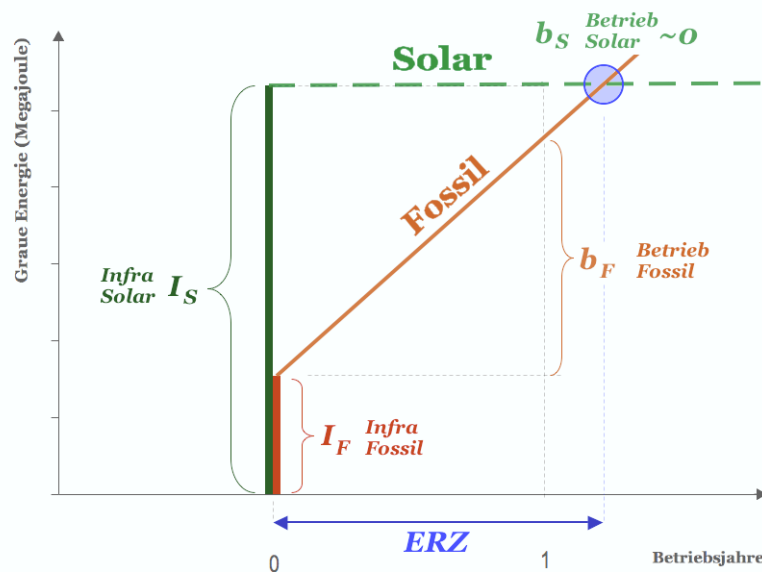


Abbildung 1 Schema der Lebenslinien der fossilen und solaren Warmwasserbereitstellung und Ableitung der energetischen Rückzahldauer (ERZ)

4 Umfang der Untersuchung

Zur Berechnung der kumulierten Energieaufwendungen wird neben eigenen Recherchen auf die Schweizerische Standard-Datenbank für Ökoinventare ecoinvent abgestützt (ecoinvent 2007) und deren Daten für die vorliegende Studie angepasst. In dieser schweizweit und international benutzten Datenbank sind eine Vielzahl von Konsumprodukten, so auch Solarkollektoren und konventionelle Heizungen, umfassend untersucht worden. Für Solarkollektoren wird z.B. deren Herstellung aus Glas, Kupfer, Beschichtungsmaterial, Stahl, Aluminium, Steinwolle, Gummi etc. aufgeführt sowie die direkten Energieverbräuche in der Solarkollektoren-Fabrik erfasst. Die Materialien, z.B. die Glasherstellung, sind ihrerseits mit ihren spezifischen Aufwendungen separat erfasst. Auch die Energieverbräuche wie Elektrizität, Erdgas oder Erdöl sind an ein Modell der schweizerischen und europäischen Energieversorgung gekoppelt, welches bis zur Entnahme der Energieträger aus dem Erdboden (bzw. Wasserkreislauf) zurückreicht. Ebenfalls berücksichtigt sind die all in diesen Prozessen entstehenden Abfälle und deren Behandlung sowie die notwendigen Transporte von Rohstoffen, Halbzeugen und Abfällen. Das heisst, es werden nicht nur die Herstellungsprozesse allein, sondern netzwerkartig und umfassend ganze sogenannte *Lebenszyklen* der Produkte abgebildet, welche von der Ressourcenentnahme, über Herstellung, Transport bis

zur Entsorgung reichen. Auch untergeordnete Belastungen werden so weitgehend erfasst – wie beispielsweise der anteilmässige Energieaufwand zur Erzeugung des Stahls für den Lastwagen, der das Glas zur Solarkollektor-Fabrik transportiert – da diese in ihrer Summe durchaus wichtige Beiträge ausmachen können. Ecoinvent ist als Werkzeug zur Erstellung von Ökobilanzen gedacht, aber es können damit auch reine Energiebilanzen gerechnet werden.

5 Betrachtete Systeme

Betrachtet wird eine Solarkollektoranlage, welche in Herrliberg für 9 Häuser mit je 4 Wohnungen einen Teil des Brauchwarmwassers bereitstellen sollen. Die energetische Rückzahldauer ist dann erreicht, wenn der kumulierte Energieverbrauch der Solaranlage genau gleich hoch wird wie der kumulierte Energieverbrauch einer konventionellen Brauchwarmwasser-Bereitstellung. Als konventionelle Variante wird hier ein Erdgas-Boiler betrachtet.

Um vergleichbar zu sein, müssen beide Varianten dieselbe Menge nutzbarer Energie abliefern. Diese Energiemenge ist hier 69'000 kWh Warmwasser pro Jahr, was für die Anlage in Herrliberg dem rein solar erzeugten Anteil des Brauchwarmwassers entspricht (solarer Deckungsgrad = 50% des Brauchwarmwassers). Die restlichen 50% werden bei beiden Varianten durch eine Erdgas Zusatzheizung bereitgestellt. Identische Systemteile werden für die vorliegende Betrachtung wegelassen¹.

Die berücksichtigte Infrastruktur der Solaranlage (I_S) besteht aus Kollektoren (45 Kollektoren mit total 123 m² Absorberfläche, Marke Soltop, Typ Cobra), Aufständern auf Flachdach, Wärmeträger-Flüssigkeit, Rohre mit Isolation zu den Speichern, Edelstahl-Warmwasserspeicher², Umwälzpumpen Solarkreislauf und Expansionsgefässe. Während des Betriebes (b_S) fallen nur geringe Energiebelastungen durch Stromkonsum für Wärmeträger-Umwälzpumpen und Regelelektronik sowie periodische Überprüfungen durch Fachkräfte an.

Die berücksichtigte Infrastruktur der Fossil-Variante (I_F) besteht aus 9 modernen, effizienten Erdgasbrennern und Edelstahl-Warmwasserspeichern³. Während des Betriebes (b_F) fällt natürlich der Erdgaskonsum an sowie der Stromkonsum für Regelelektronik.

¹ Die in beiden Varianten vorhandenen Anlagenteile hätten im in Abbildung 1 gezeigten Schema lediglich eine vertikale Verschiebung des Ursprungs zur Folge. Auf die ERZ hat dies keinen Einfluss.

² Pro Haus werden in der solaren Variante zwei 800l-Speicher installiert. Da die Solaranlage 50% der Warmwasserversorgung bereitstellt, werden in der solaren Variante anteilmässig pro Haus nur *ein* 800l-Speicher berücksichtigt; für die ganze Siedlung somit neun Speicher.

³ Pro Haus wird in der fossilen Variante ein 800l-Speicher installiert; für die ganze Siedlung neun Speicher. Da die Bezugsgrösse von 69'00 kWh Warmwasser nur 50% des gesamthaft benötigten Brauchwarmwassers für die ganze Siedlung darstellt, werden in der Rechnung der fossilen Variante anteilmässig nur 4.5 Speicher berücksichtigt.

Die Warmwasserverteilungsrohre in den Gebäuden werden weggelassen, da sie bei beiden Varianten identisch sind. Die graue Energie der Entsorgung, z.B. der gebrauchten Wärmeträgerflüssigkeit aus dem Anlagenabbruch, wird in der Infrastruktur vorgezogen zum Zeitpunkt Null verbucht, obwohl sie erst bei Anlagenabbruch auftreten (ähnlich: vorgezogene Entsorgungsgebühr). Da die energetischen Belastungen der Entsorgung in diesen Systemen im Promillebereich liegt, hat dies keine nennenswerten Auswirkungen auf das Resultat. Die prognostizierten Erträge der Solaranlage wurden überprüft und entsprechen den Ergebnissen der Prüfstelle SPF Rapperswil (SPF 2008).

6 Resultate

Die zur Berechnung der energetischen Rückzahldauer benötigten Grössen werden im Folgenden aufgeführt.

	Energie Infrastruktur [MJ]	Energie Betrieb [MJ/Jahr]
Solar	$I_S = 407'000$	$b_S = 1'640$
Fossil (Gas)	$I_F = 91'700$	$b_F = 315'000$
Solar ÷ Fossil	$4.43 \div 1$	$1 \div 192$

Es ist wie eingangs erwähnt erkennbar, dass die Solaranlage vor Betriebsbeginn wesentlich mehr Energie beansprucht hat als die fossile Variante. Die Infrastruktur für die Solaranlage ist einen Faktor 4.43 energieintensiver als die Infrastruktur der fossilen Variante. Im Betrieb dagegen ist die fossile Variante einen Faktor 192 energieintensiver, was diesen anfänglichen Vorteil sehr schnell kompensiert.

$$ERZ = \frac{I_S - I_F}{b_F - b_S} = \frac{407'000 - 91'700 \text{ [MJ]}}{315'000 - 1'640 \text{ [MJ]}} = \frac{315'300}{313'360} = 1.01 \text{ Jahre}$$

Die energetische Rückzahldauer für die Anlage in Herrliberg beträgt 1.01 Jahre. Dies liegt im Bereich der Rückzahlzeiten für Solarwärme in der Schweiz von 0.8 bis 1.8 Jahren⁴. Das eingangs gezeigte Schema der Lebenslinien sieht wie in Abbildung 2 gezeigt aus. Dargestellt sind nur die ersten vier Betriebsjahre. Eine thermische Solaranlage liefert rund 25 Jahre lang Energie. Über diese Zeit gerechnet ist die Energieeinsparung gegenüber der fossilen Variante noch viel höher als gezeigt⁵.

⁴ Gemäss Daten aus (ecoinvent 2007).

⁵ In 25 Jahren wird durch die Solaranlage 7.5 Terajoule (7.5 Millionen Megajoule) Primärenergie eingespart.

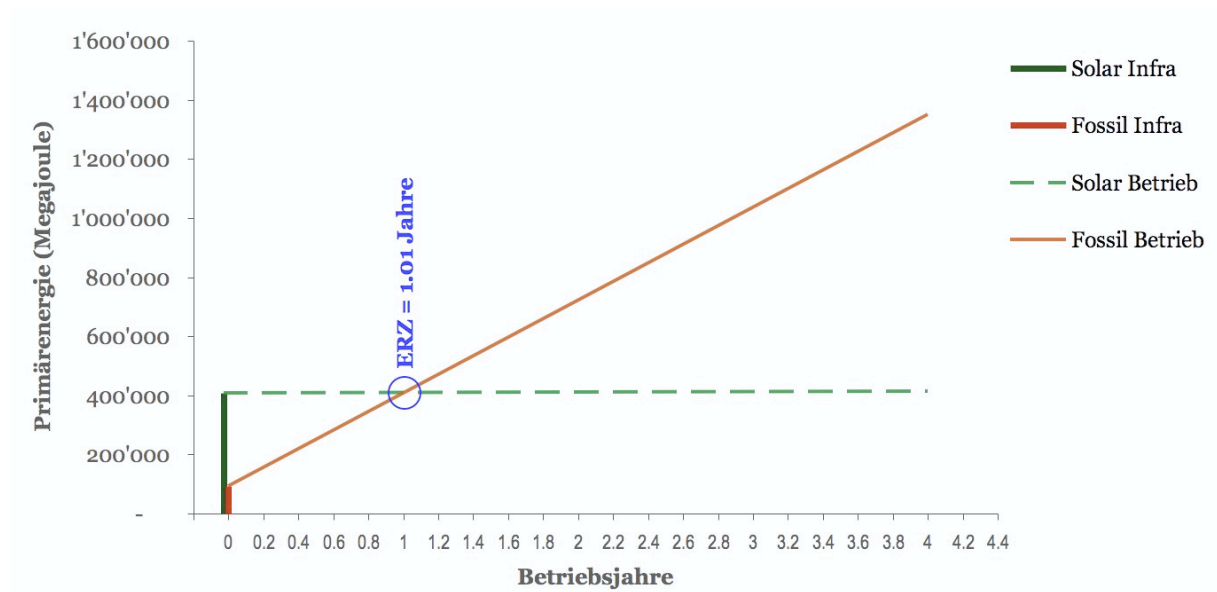


Abbildung 2 Lebenslinien des Primärenergieverbrauchs der Solar-Anlage in Herrliberg zur solaren Warmwasserbereitstellung im Vergleich zu der Lebenslinie einer funktionsidentischen fossilen Variante (Bezugsgrösse: 69'000 kWh Brauchwarmwasser pro Jahr) sowie Ableitung der energetischen Rückzahldauer (ERZ) der Solaranlage am Schnittpunkt.

Literatur

- ecoinvent 2007 Swiss Centre for Life Cycle Inventories "ecoinvent data v2.01" Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH. 2007. Nur erhältlich für ecoinvent-Mitglieder unter www.ecoinvent.ch.
- Gugerli et al. 2000 Gugerli H., Gilgen D., Binz A., Lehmann G., Frischknecht R. (2000) Ökologische Sanierung von Bürobauten. Bundesamt für Energie, BfE, Download vom 1. Februar 2001 von <http://www.empa.ch/DEUTSCH/zentren/zen/Internet-Files/Programm/Energie+Umwelt/Projektbeschriebe%20E+U/sanierung.pdf> (im Mai 2008 unter http://www.empa-ren.ch/ren/Projekte_Umwelt/Pdf%20Umwlt/sanierung.pdf)
- Kasser et al. 1999 Kasser U., Pöll M., Graffe K., Rentsch C., Egli N. (1999) Ökologische Bewertung mit Hilfe der Grauen Energie – Analysieren, Bewerten, Entwerfen, Ueberprüfen und Vereinfachen von Oekobilanzen. Bundesamt für Umwelt Wald und Landschaft Dokumentation, Bern, Schriftenreihe Umwelt Nr. 307.
- SPF 2008 Solartechnik Prüfung Forschung (2008) Solar Collector Factsheet Soltop Cobra S (C436) und Cobra X (C442) vom 22. Februar 2008. Solartechnik Prüfung Forschung SPF, Hochschule für Technik HSR, Rapperswil. Download vom 28. Mai 2008 von <http://www.solarenergy.ch/factsheets/scf436de.pdf> resp. <http://www.solarenergy.ch/factsheets/scf442de.pdf>

Die Informationen in diesem Bericht wurden vom Autor sorgfältig erarbeitet und nach bestem Wissen zusammengestellt. Dennoch sind aufgrund des umfangreichen Untersuchungsgegenstandes Fehler nicht ganz auszuschliessen. Aus diesem Grund sind die in der vorliegenden Publikation enthaltenen Informationen mit keiner Verpflichtung oder Garantie irgendwelcher Art verbunden. Doka Ökobilanzen haftet in keinem Fall für allfällige direkte oder indirekte Schäden, die aufgrund des Gebrauchs von Informationen aus diesem Bericht entstehen.