

Schlussbericht September 2004

Drain-Down-System für grosse Anlage

Ausgearbeitet durch

Basso Salerno
Salerno Engeler GmbH

4438 Langenbruck

Fritz Schuppisser
SOLTOP Schuppisser AG
8353 Elg

Inhaltverzeichnis

Zusammenfassung	2
1. Ausgangslage	3
2. Ziel.....	3
3. Die Anlage	3
3.1 Allgemein	3
3.2 Funktionsprinzip Drain-Down-System.....	5
4. Ergebnisse.....	7
4.1. Energie	7
4.2. Stillstand	10
5. Wirtschaftliche Aspekte	11
6. Schlussfolgerung und Aussicht.....	13
6.1 Energieertrag	13
6.2 Drain-Down-System	13
6.3 Wirtschaftlichkeit	13
7. Literatur	14
8. Verantwortliche Personen	14

Zusammenfassung

Die Solaranlage auf dem Dach des Hallenbads in Adliswil hat eine Kollektorfläche von 160 m², und ist als Vorwärmssystem an 2 Boiler mit je 2'500 Liter Wasserinhalt angeschlossen. Es unterstützt die Brauchwarmwasser-Bereitung und sorgt im Sommer für eine leichte Erwärmung des Kinderbeckens. Die bestehende Heizung und Wassererwärmung wird mit einem kombinierten Gas/Ölkessel betrieben. Geplant und ausgeschrieben war die ganze Anlage von Eicher und Pauli, Zürich.

Für die Notabstellung ist ein Drain-Down-System vorgesehen, das erstmals bei einer Anlage dieser Grösse zum Einsatz kommt. Für kleinere Anlagen (<20 m²) ist das System bei SOLTOP bereits Standard.

Die Solaranlage (Jahresproduktion 85 MWh/a) deckt ca. 25% des Energiebedarfs (350 MWh/a) an Brauchwarmwasser.

Zur Nutzung der Überschusswärme der Ferienmonate, wurde das Kinderbecken an das Solarsystem mit angeschlossen. Der Ertrag erhöhte sich von 75 MWh/a (Jahr 2002) auf 85 MWh/a (Mittel aus dem Jahr 2003 und 2004), was einer Steigerung um ca. 15 % entspricht. Der spezifische Bruttoertrag stieg von 470 auf 550 kWh/m² an.

Diese Verbesserung ist aber nicht nur auf die zusätzliche Sommer-Nutzung der Überschusswärme zurück zu führen, sondern auch witterungsbedingt.

Das Drain-Down-System ist funktionsfähig, muss aber grösser ausgelegt sein. Bei den simulierten Not-Abstellungen erreicht die Kollektor-Temperatur 150 °C bei einem Druck von 240 kP (2.4 bar). Das Starten bei voller Sonnenstrahlung (1000 W/ m²) dauert nach einer Not-Abstellung bis zum stabilen Betrieb fast 15 Minuten. Verbesserung betreffend dem Anschlusspunkt des Drain-Down-Gefässes sind möglich und wurden von SOLTOP bei weiteren grossen Anlagen bereits realisiert.

Die Wirtschaftlichkeitsberechnung zeigt, dass sich eine Solaranlage dieser Grösse in einem wirtschaftlichen Bereich bewegt. Mit einem Quadratmeterpreis von 960 CHF/kWh einem Zinsfuss von 3% auf die Investitionen und einem Ertrag von 530 kWh/m² liegt der kWh-Preis bei 12 Rappen, mit 15 Jahren Lebensdauer und 9 Rappen mit 30 Jahren Lebensdauer.

1. Ausgangslage

Drain-Down-Systeme (DDS) für Solaranlagen sind in der Schweiz wenig verbreitet. Insbesondere gibt es mittlerweile 2 grosse (<150m²) Solaranlagen die mit dem DDS arbeiten.

Das Drain-Down-System wird erfolgreich bei kleinen Solaranlagen (Kollektorfläche >20 m²) installiert. Das System ermöglicht Notabstellungen ohne dass die Anlage Schaden nimmt. Durch Entleerung der Kollektoren bei höheren Temperaturen (ca. 118°C), wird die chemische Zersetzung des Frostschutzmittels verhindert. Diese Entleerung der Kollektoren in das Drain-Down-Gefäss, erfolgt nur aufgrund des physikalischen Zustands des Kollektorinhalts und ist bei sinkenden Temperaturen reversibel. Die Solaranlage wird nicht bei jeder Wolke, etc. entleert, sondern nur dann wenn es die Situation erfordert.

Das Drain-Down-System bietet folgende Vorteile:

- Erhöhte Betriebssicherheit
- Senkung der Betriebskosten durch Reduktion der Service-Arbeit
- Membranenlos, kein Verschleiss

2. Ziel

Ziel des Projektes ist, praktische und wissenschaftliche Erfahrungen, von grossen Solaranlagen mit dem Drain-Down-System, für die Wasserwärmung zu eruieren.

3. Die Anlage

3.1 Allgemein

Die im Februar 2002 gebaute Solaranlage (ABB. 3.1), befindet sich auf dem Flachdach des Hallenbads in Adliswil.

Das Kollektorfeld ist aus 60 Modulen Flachkollektoren mit je 2.75 m² Absorberfläche in 4 Reihe zusammengesetzt. Die Gesamtfläche beträgt 160 m².

Die Neigung des Feldes ist 45°.

Die rostfreien Drain-Down-Gefässe (insgesamt 8 Stück) sind unter dem letzten Kollektor platziert. Das gesamte Volumen der Gefässe beträgt 440 Liter.

Die Anlage unterstützt die Warmwasserversorgung des Hallenbads in Adliswil. Mit der Überschusswärme wird im Sommer das Kinderbecken temperiert.

Die Wärme aus dem Kollektorfeld wird mittels Wärmetauscher in 2 Boiler mit je 2'500 Liter Inhalt (Abb. 3.2) zugeführt.



Abb. 3.1 Das 160 m²- Kollektorfeld auf dem Flachdach des Hallenbads

In der folgenden Tabelle 3.1 sind im Detail die Eigenschaften der Anlage und diverser Komponenten auf-
gezeigt.

Absorberfläche Gesamt	160 m ² Flachkollektor SOLTOP COBRA
Anzahl Module	60 in 4 Reihe von 15 Modulen, Parallel verschaltet
Absorberfläche Modul	2.75 m ²
Wasserinhalt Modul	3.3 Liter
Anstellwinkel	45°
Orientierung	0° auf Flachdach
Boiler	2 je 2'500 Liter, Total 5000 Liter
Wärmetauscher	2 mit je 15 m ²
Drain-Down-Gefäss	8 Stk. von 55 Liter, Total 440 Liter

Tab. 3.1 Merkmale und Eigenschaften der Anlage.



Abb. 3.2 Beide Boiler mit je 2500 Liter Inhalt und eingebauten Wärmetauscher sind im Keller untergebracht. Installateur: Widmer Heizungen Kilchberg. Lieferant: SOLTOP Schuppisser AG, Elgg

3.2 Funktionsprinzip Drain-Down-System

Ein kleiner, einfacher Mikroprozessor regelt die Solaranlage. Die Pumpe läuft nur wenn nutzbare Energie im Kollektorfeld vorhanden ist. Bei einem ΔT von 8K auf den kältesten Verbraucher (Boiler 1) wird die Pumpe aufgeschaltet, bei einem ΔT von 2K zum nächsten Verbraucher (Boiler 2) wird dieser seriell vor den kältesten Verbraucher geschaltet. So wird eine grosse Spreizung erreicht und möglichst schnell nutzbare Wärme generiert.

Erreicht das Brauchwasser in beiden Boiler die Maximaltemperatur (80°C), so stellt sich die Pumpe aus und die Anlage kommt zum Stillstand. Stillstand kann aber auch durch einem Stromausfall verursacht werden.

Die Temperatur im Absorber steigt. Liegt sie unter dem Siedepunkt des Frostschutzmittels, so ist im Solarkreis keine wesentliche oder bedrohliche Veränderung zu erwarten. Steigt die Kollektortemperatur über den Siedepunkt, wird Wasserdampf erzeugt. Der Druck im Kollektor steigt, der Wasserdampf drückt

das restliche Medium in die Drain-Down-Gefäße. In den Kollektoren bleibt nur Dampf. Das restliche Medium ist vom weiteren Anstieg der Temperatur verschont. Entsprechend der Dimensionierung der Drain-Down Gefäße soll der Druck im Kollektor nicht mehr höher ansteigen. Die Temperatur im Kollektor geht aber weiter bis auf 200°C

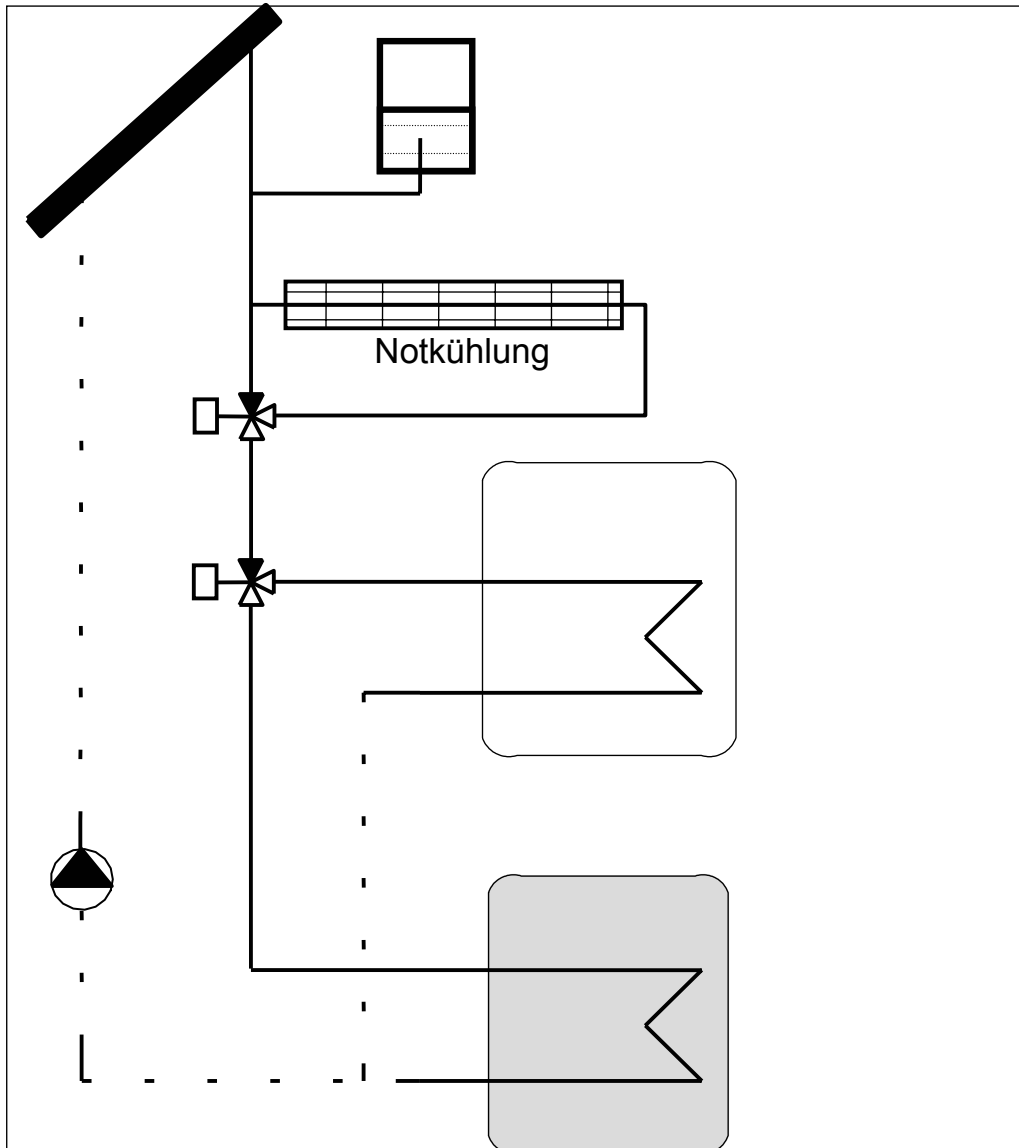


Abb. 3.4 Funktionsprinzip des Drain-Down-Systems: Beim Stillstand drückt der entstehende Wasserdampf das Medium aus dem Kollektorfeld in die Drain-Down-Gefäße. Eine chemische Zersetzung wird grösstenteils verhindert.

4. Ergebnisse

4.1. Energie

Der gesamte Brauch-Warmwasser-Bedarf des Hallenbads beträgt im Jahr 6'900 m³, das bedeutet, dass ca. 350 MWh/a mit Solarwärme zu ca. 25% und mit Gas/Oel zu ca. 75% gedeckt werden.

In Tab. 4.1.1 ist der Verbrauch in den Jahren 2002 und 2003 dargestellt.

	m ³	MWh
2002	6'873	359,6
2003	6'912	361,7

Tab. 4.1.1 Brauch-Warmwasser, die Energiemenge in MWh ist errechnet.

In der Tab. 4.1.2 ist der solare Brutto-Ertrag von 2002 bis 2004 (die letzten 3 Monate von 2004 sind hochgerechnet). Anfang 2003 wurde an die Solaranlage ein weiterer Kreis angeschlossen. Das Kinderbecken wurde mit der vor allem in der Ferienzeit anfallenden Überschusswärme leicht erwärmt.

Ertäge in MWh	2002	2003	2004
Jan	2.48	3.08	1.13
Feb	3.06	3.79	4.68
Mär	7.55	9.34	6.58
Apr	9.15	11.33	9.21
Mai	9.31	11.53	11.16
Jun	11.13	13.79	11.25
Jul	10.68	13.23	11.43
Aug	9.25	11.45	10.82
Sep	6.78	8.40	8.53
Okt	4.90	6.07	4.00
Nov*	1.62	2.01	2.00
Dez*	0.66	0.81	0.80
Total Jahr	76.57	94.83	81.58
Spez. Ertrag kWh/m²	479	593	510

Tab 4.1.2 Solarer Bruttoertrag in den Jahren 2002 bis 2004. Im Jahr 2003 ist die Globalstrahlung 16% höher als der Durchschnitt der letzten 20 Jahren. Juni und Juli sind die Monate mit den höchsten Erträgen. (November 04 und Dezember 04 hochgerechnet).*

Vor dem Ergänzen des Kreislaufs mit dem Kinderbecken beträgt der Brutto-Ertrag 76 MWh/a, der spezifische Brutto-Ertrag 479 kWh/m²a, anschliessend erreicht der Brutto-Ertrag im Jahr 2003 ca. 95 MWh mit

einem spezifischen Ertrag von fast 600 kWh/m² (Siehe auch Abbildung 4.1.1). Werden die Jahreschwankungen berücksichtigt, so ist ein langjähriger Mittelwert von 85 MWh/a (530 kWh/m²) zu erwarten. Mit der Nutzung der Überschusswärme konnte also eine Ertragssteigerung von 10% erreicht werden.

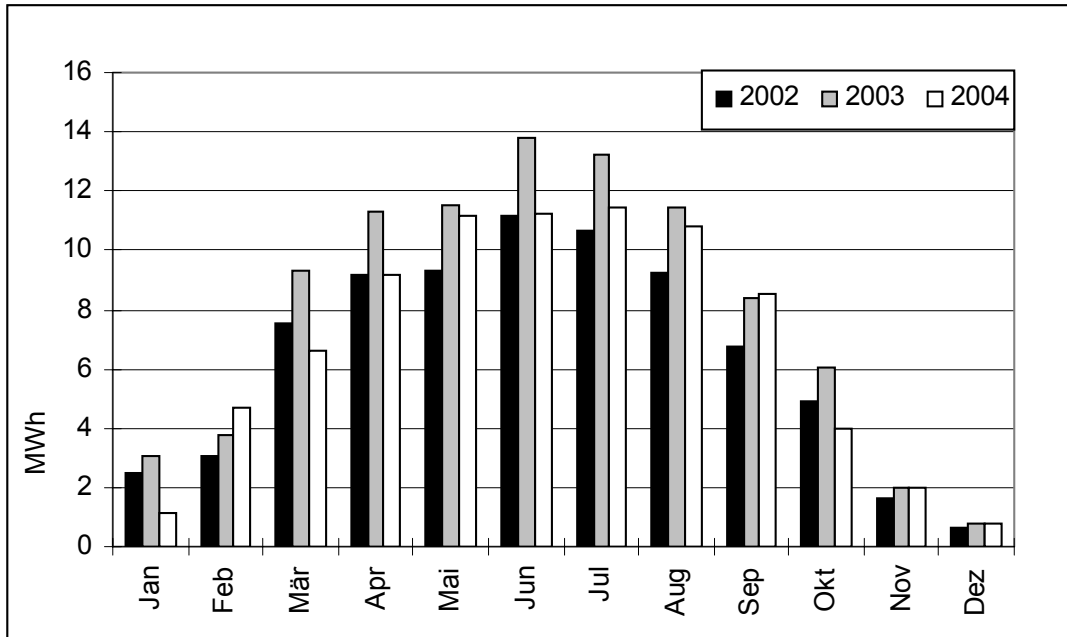


Abb. 4.1.1 Solare Brutto-Ertrag in den Jahren 2002 bis 2004. Im Jahr 2002 ist das Kinderbecken noch nicht an den Kreislauf angeschlossen.

Die Energiebilanz ist in der Tab 4.1.3 dargestellt. Der Solaranteil liegt zwischen 21% und 25%.

MWh	Jahr 2002		Jahr 2003	
Energieverbrauch für WW	360	100%	362	100%
Deckung Solar	77	21%	95	26%
Deckung Oel/Gas	283	79%	267	74%

Tab 4.1.3 Energiebilanz des Brauchwarmwasser. Die Solaranlage deckt 25% des Energieverbrauchs für Warmwasser. Mit der Überschusswärme wird ab dem Jahr 2003 das Kinderbecken aufgewärmt.

4.2. Stillstand

Abb 4.2.1 stellt eine Stillstands-Phase dar. Um 14:15 Uhr wurde die Solarpumpe, um eine Stillstands-Situation zu simulieren abgestellt. Ein Stillstand kommt dann vor, wenn im Boiler die Grenztemperatur (Max 90 °C) erreicht ist oder bei einem Stromausfall.

Nach ca. 5 Minuten erreicht das Medium (Glykol 40%) im Kollektorfeld die Temperatur von 100 °C und einen Druck von 100 kPa (1 bar). Das Wasser verdampft. Die variierende Temperatur im Kollektorfeld ist ein Hinweis auf interne Zirkulation. Der Systemdruck steigt bis ca. 230 kPa (2.3 bar), die Temperatur bis ca. 140 °C. Die Drain-Down-Gefäße erfüllen den Zweck, wobei es nicht bestimmt werden kann, welchen Weg das Medium nimmt. Im Normalfall wird die Kollektor-Pumpe bei einer Temperatur von über 120° C am Kollektor nicht mehr eingeschaltet. Als Versuch wurde der überhitzte Kollektor wieder in Betrieb genommen. Nur mit Mühe normalisiert sich der Solarkreislauf nach dem Starten wieder. Etwa 25 Minuten sind notwendig bis ein Normalbetrieb erreicht werden kann.

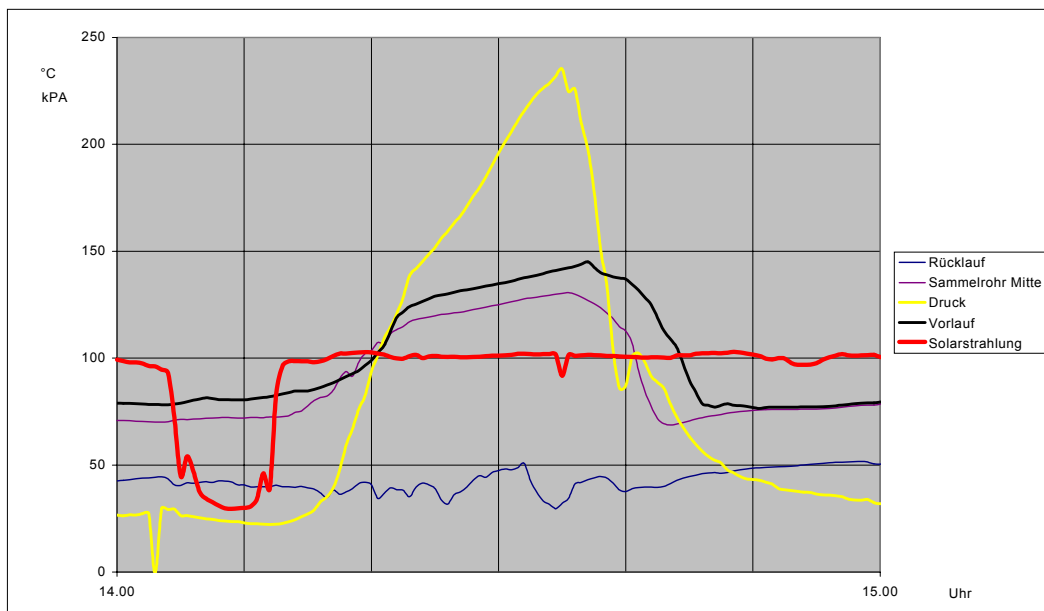


ABB. 4.2.1 Zeitverlauf von Temperaturen (Rücklauf, Vorlauf, Mitte Sammelrohr), Strahlung, Druck im Solarsystem. Um 14:15 Uhr wurde die Pumpe abgestellt.

5. Wirtschaftliche Aspekte

Die Gesamtanlagekosten betragen 183'000 CHF. Der Quadratmeter-Preis der Solaranlage beträgt somit **1125 CHF/m²**.

Kollektorfeld	145'000
Armaturen und Verbindungsleitung	21'000
Inbetriebnahme	1'500
Total Solar exkl. MWST	167'500
MWST	12'563
Total inkl. MWST	180'063

Tab. 5.1 Kosten des Solarteils

Die Jahreskosten bestehen bei einer Solaranlage praktisch nur aus den Investitionskosten, welche vom Zinsfuss und der Lebensdauer der Anlage abhängig sind. Im ABB. 5.1 ist der kWh-Preis in Abhängigkeit vom spezifischen Bruttoertrag der Anlage und Lebensdauer dargestellt. Der angenommene Zinsfuss ist 3%: Bei einem Ertrag von 530 kWh/m²a beträgt der kWh-Preis bei 15 Jahren Lebensdauer 17.5 Rappen bei 30 Jahren Lebensdauer 10.7 Rappen. Was eine Reduktion von 40% ausmacht. Bei 35 und 40 Jahre beträgt die Reduktion 44% und 48%.

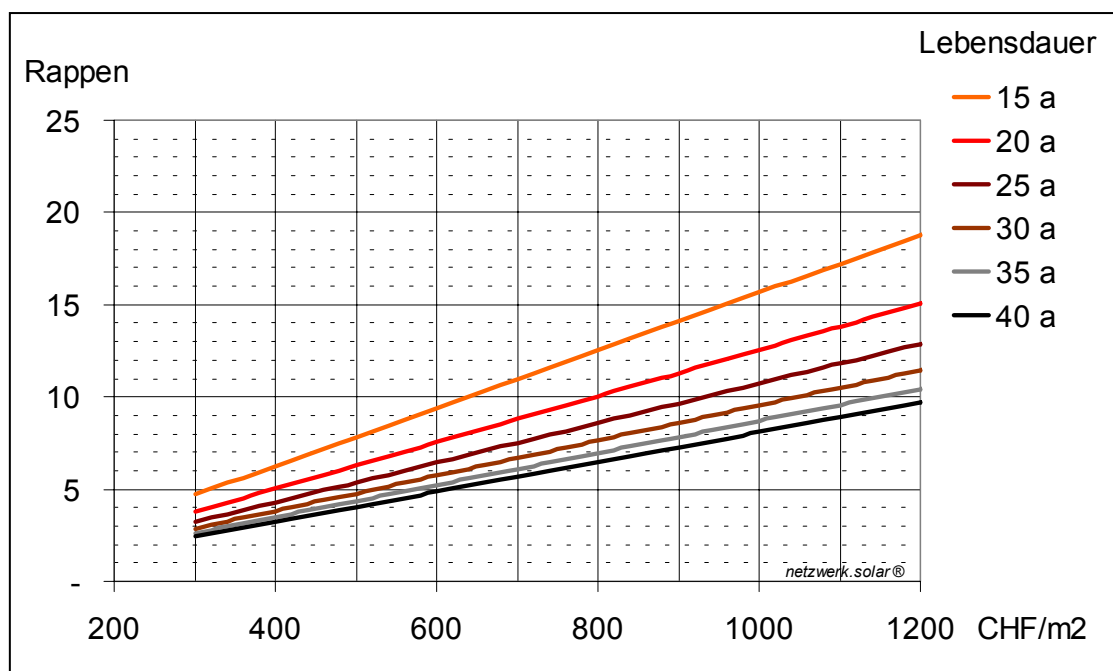


Abb. 5.1 Der kWh-Preis in Rappen abhängig von den Gestehungskosten und der Lebensdauer bei einem Ertrag von 530 kWh/m²a und einem Zinsfuss von 3%.

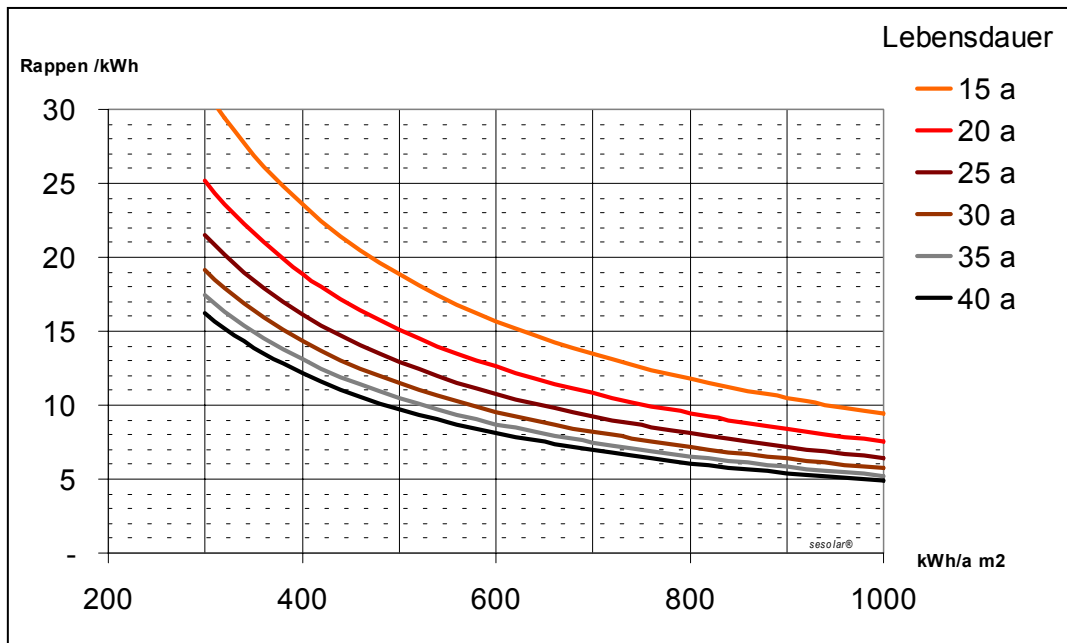


Abb. 5.2 kWh-Kosten in Abhängigkeit des solaren Bruttoertrages.

In ABB. 5.2 zeigt die Abhängigkeit des kWh-Preises mit dem Bruttoertrag der Solaranlage. Wird der Brutto-Ertrag von 475 kWh/m²a (Jahr 2002) bis auf 530 kWh/m²a erhöht, wie bei unserer Anlage der Fall ist, so kann bei einer Lebensdauer von 30 Jahren der kWh-Preis von 12.5 auf 10.7 Rappen reduziert werden. Dies bedeutet, dass grössere Solaranlage sich in einem wirtschaftlichen Bereich bewegen.

6. Schlussfolgerung und Aussicht

6.1 Energieertrag

Im ersten Jahr ist der solare Brutto-Ertrag mit $478 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ tief. Dies ist vor allem auf den Wärmeüberschuss in Sommer zurück zu führen und auf den sehr geringen Verbrauch in der Zeit wo das Hallenbad geschlossen und gereinigt wird. Im Jahr 2003, als die Überschusswärme im Sommer genutzt werden konnte, beträgt der Brutto-Ertrag knapp $600 \text{ kWh/m}^2\text{a}$. Also +24% als im Vorjahr. Dieser Verbesserungen sind auf die Nutzung der Überschusswärme (ca. 10%) und auf die besondere hohe Globalstrahlung im Jahr 2003 zurück zu führen. Der erwartete durchschnittliche solare Energie-Ertrag beträgt $530 \text{ kWh/m}^2\text{a}$. $600 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ könnten dann erreicht werden, wenn in der Zeit wo das Hallenbad zur Reinigung geschlossen wird ein Ersatzverbrauch da wäre.

6.2 Drain-Down-System

Das Drain-Down-System erfüllt entsprechend der Grossanlage Hallenbad Adliswil die Erwartung auf Funktionstüchtigkeit. Änderungen sind notwendig um den Überdruck tiefer halten zu können und um die Entleerung des Kollektors kontrolliert ablaufen lassen zu können.. Die Grösse der Gefässe und der Anschlusspunkt der Drain-Down-Gefäss-Leitung im hydraulischen Kreislauf der Solaranlage spiel eine wesentliche Rolle. Zu überprüfen ist ein System mit dem Anschluss im Rücklauf, statt im Vorlauf, wie in Abb. 6.2.1 zu sehen ist.

6.3 Wirtschaftlichkeit

Beträgt die Lebensdauer einer Gross-Solaranlage 30 Jahre und der spezifisches Bruttoertrag $600 \text{ kWh/m}^2\text{a}$, so kann ein kWh-Preis unter 10 Rappen/kWh erreicht werden, was im Bereich der Wirtschaftlichkeit liegt. Für die Wirtschaftlichkeitsfrage ist aber die Lebensdauer der Anlage von grosser Bedeutung, so reduziert sich der kWh-Preis um 40%, wenn eine Lebensdauer von 30 statt 15 Jahre angenommen werden kann.

Bei Grossanlagen müssen Anstrengung in Richtung Verlängerung der Lebensdauer vorgenommen werden, da in diesem Bereich Solarenergie wirtschaftlich voll konkurrenzfähig ist.

7. Literatur

1. Technischer Bericht Hallen- und Freibad Adliswil 2004 /R. Jucker

8. Verantwortliche Personen

Fritz Schuppisser
SOLTOP Schuppisser AG
T 052 364 00 77
83 53 Elgg
info@soltop.ch
www.soltop.ch

Basso Salerno
Salerno Engeler GmbH
T 062 390 16 22
info@sesolar.ch
www.sesolar.ch