



Bild 1
Panoramasauna in Graftschaf Holzweiler.

Dr. rer. nat. Rolf Meißner

Geld verdienen mit Solarwärme

Über die Rentabilität moderner solarthermischer Großanlagen

1. Zusammenfassung

Auf den ersten Blick erscheint die Vorhersage, welchen geldwerten Nutzen ein Investor später einmal aus einer Solaranlage ziehen kann, sehr schwierig. Viele Einflussgrößen wie der zukünftige Energiepreisanstieg, die Inflation oder die Kapitalzinsentwicklung sind völlig unbekannt. Andere, wie der jährliche Solarenergiegewinn, der eigene Jahresnutzungsgrad, der Investitionsumfang und die Wartungskosten sind zu Beginn nur grob abschätzbar. Selbst die Förderrichtlinien, die Steuergesetzgebung oder der aktuelle Energiepreis stehen lediglich für den Moment der Planung fest. Zunächst werden die wichtigsten Rentabilitätsparameter wie die Amortisationszeit, der Kapitalgewinn, die Kapitalverzinsung, der solare Energiepreis oder der sog. ROI anhand eines Beispiels mit typischen Anfangsparametern erläutert. Dieses Beispiel dient als Referenzstandard. Dann wird untersucht, wie jeder einzelne Anfangsparameter die Wirtschaftlichkeit verbessert oder verschlechtert. Im Ergebnis bekommt der Leser ein gutes

Verständnis dafür, welche Randgrößen besonders wichtig sind und welche weniger, und auch dafür, warum dies so ist. Vorweg soll aber bereits festgestellt werden: Bei der heutigen wirtschaftlichen und technischen Ausgangssituation (2008) ist so gut wie jede richtig geplante CPC-Vakuumkollektoranlage mit Wasser als Wärmeträger eine gewinnbringende Investition in die Zukunft. Potenzielle Nutznießer können u.a. Getränkehersteller wie Brauereien, generell Lebensmittelhersteller, z. B. aus der Fleisch- und Wurstindustrie, Großwaschanlagen, Galvanisierbetriebe, Lackierereien sowie Kühlanlagen zur Raumklimatisierung, aber auch Krankenhäuser, Kasernen, Hotels und Freizeiteinrichtungen sein – im Grunde alle, die viel warmes Wasser mit Temperaturen bis maximal 130°C benötigen.

2. Kurze Begriffserläuterung

CPC-Vakuumröhrenkollektoren mit Wasser als Wärmeträger

Diese sichern den derzeit höchstmöglichen solaren Jahres-

gesamtertrag und eine lange Lebensdauer mit einem fast wartungsfreien System. Sie allein ermöglichen die einfache, direkte Anbindung an das hauseigene Wärmenetz, sparen teure Aggregate wie Wärmetauscher, Entlüfter, Ventile, Pumpen sowie Misch- und Regeltechnik, sind die Voraussetzung für den Einsatz eines ertragsoptimierten und dadurch kleinen Speichers, ersparen die hohen einmaligen und laufenden, mit jedem Frostschutzmittel verbundenen Kosten, senken stark die Kosten und Dauer von Inbetriebnahme und Reparaturarbeiten, vermeiden fast alle Risiken, die mit der thermischen Stagnation verbunden sind und nutzen die unübertrefflichen physikalischen, chemischen und ökologischen Eigenschaften von Wasser/1/. Darüber hinaus weisen CPC-Vakuumröhrenkollektoren die höchsten Jahreserträge und die geringste Leistungsabhängigkeit vom Sonnenstand und von der Kollektorausrichtung auf /2/ und garantieren das gesamte Jahr über hohe Prozesstemperaturen /3/.

Jährliche Alterung der Kollektoren

Hierunter ist hauptsächlich Ertragsminderung durch Verschmutzung zu verstehen. Diese hängt maßgeblich von der lokalen Umweltverschmutzung ab. In nicht oder wenig exponierten Regionen ist dieser Einfluss

vernachlässigbar (Standardwert 0,2% pro Jahr). Über den Einfluss in stark exponierten Gegenden infolge benachbarter Industriebetriebe, Großstadtverschmutzung, Pollenfall oder Laub können keine verbindlichen Aussagen getroffen werden. Die vorgeschriebene Mindestneigung von 15° verhindert den Stau von Schmutzbelägen und sichert die regelmäßige weitgehende natürliche Reinigung durch Regenfälle. In Küstenregionen und auf kleinen Inseln mit Seewettereinfluss ist mit 0,5% pro Jahr zu rechnen, weil sich Salzkristalle ablageren können.

Jährliche Betriebskosten

Als Verbrauchskosten fällt üblicherweise nur Strom für die Solarpumpe an (0,4...1% des Jahresertrages). Die jährlich einmal vorgeschriebene Wartung besteht aus Kontrollen, kurzen Funktionstests und ggf. Nachjustierungen. Der Aufwand hängt von der Anlagengröße ab, kann aber beim Referenzbeispiel in einer Stunde erledigt werden. Bei relativ kleinen Anlagen wie dem Referenzbeispiel sind 2% ziemlich knapp angesetzt, weil bestimmte Fixkosten wie die An- und Abreise des Kundendienstes nicht von der Anlagengröße abhängen. Bei großen Anlagen stimmt diese Annahme gut. Doch auch völlig übertriebene fiktive Betriebskosten von 10% verlängern



*) Dr. rer. nat. Rolf Meißner ist Physiker und seit 1990 bei Paradigma u. a. Produktmanager und Entwickler von Regelungen, Speichern und Großanlagenkonzepten. Gegen Ende 2006 gründete er den Bereich „Solarthermische Großanlagen und Prozesswärme“. Fax: 072 02/92 21 25
r.meissner@paradigma.de

beim Referenzbeispiel die Amortisationszeit um nur knapp 4%.

Großwartung nach (z. B.) 15 Jahren für (z. B.) 6 % der Investitionskosten

Dieser Posten ist nicht obligatorisch und fällt u.U. überhaupt nicht an. Es ist aber denkbar, dass nach dieser Zeit z. B. Isolierungen im Freien, einzelne Spiegel oder Montageelemente auswechslungsbedürftig erscheinen. Vielleicht gibt es dann auch eine neue Generation Röhren und Spiegel mit noch höherer Leistung, welche der Kunde gern gegen die alten getauscht hätte. Vielleicht soll aber auch nur das Dach repariert werden, wozu die Solaranlage vorübergehend außer Betrieb gesetzt und entfernt werden muss.

Jahresnutzungsgrad ohne Solaranlage

Der Jahresnutzungsgrad ist der jahresdurchschnittliche Anlagenwirkungsgrad über alle Betriebszyklen eines Wärmeerzeugers. Damit werden alle Betriebsverluste, gemessen über das Betriebsjahr, im Jahresnutzungsgrad erfasst. Auch wenn moderne Einzelgeräte einer Heizungsanlage in der Regel einen Wirkungsgrad bei Nennleistung von über 90 % haben, beläuft sich der Jahresnutzungsgrad nur auf 60-80 %. Im Sommer liegt der Anlagenwirkungsgrad oft weit unter 50 % /4/. Typische Richtwerte für Jahresnutzungsgrade in Prozent: Elektroheizung 95 %, Fernwärme 85 %, Gasbrennwertkessel 85 %, moderner Ölkessel 80 %, Flüssiggaskessel 80 %, alter Gaskessel 75 %, E-Nachtspeicher mit Puffer 70 %, alter Ölkessel 70 %, Holz-Pellets 70 %, Holz- Hackschnitzel 65 %, Scheitholzkessel 50 %.

Amortisationszeit

Hier werden die zeitliche Entwicklung der Investitionskosten (zuzüglich Steuern, abzüglich direkte und/oder prozentuale Förderungen, abzüglich Abschreibung, zuzüglich Kapitalverzinsung, abzüglich Inflation) und des Gewinns in Form eingesparter Energiekosten durch die Solaranlage (mit Energiepreisteigerung, Alterungseffekt,

Betriebskosten, Wartungskosten) betrachtet. Die Zeitdauer, bis die Gewinne die realen Investitionskosten übertreffen, wird als Amortisationszeit bezeichnet.

Gewinn

Der Gewinn bezeichnet hier das gesamte gesparte Kapital, welches nicht für konventionelle Energieträger (Öl, Gas, Elektroenergie usw.) ausgegeben werden musste, abzüglich der realen Investitionskosten.

Reale Investitionskosten

Investitionskosten, bereinigt um Förderung, Steuern, Abschreibung, Kapitalverzinsung und Inflation. Der Zeitverlauf der r. i. zeigt, wie sich eine äquivalente Kapitalanlage entwickelt hätte.

Effektive Verzinsung der Investition

Das ist der Prozentsatz, um den die realen Investitionskosten eine Wertsteigerung erfahren müssten, um nach der Betriebszeit die insgesamt gesparten Energiekosten zu erreichen.

Effektive Verzinsung des Gewinns

Das ist der Prozentsatz, um den die realen Investitionskosten wachsen müssten, um nach der Betriebszeit die ab dem Amortisationszeitpunkt gesparten Energiekosten zu erreichen.

Solarer Energiepreis

Das ist das Verhältnis der realen Investitionskosten zum Energiegewinn während der Betriebszeit.

Return on Investment (ROI)

ROI = Gewinn / Durchschnitts-Gesamtkapital /5/

COP – Coefficient of Performance

Mit Coefficient of Performance – kurz COP – wird der thermische Wirkungsgrad von Wärmepumpen bezeichnet. Die Definition ist identisch mit dem im deutschen Sprachraum verwendeten Begriff Leistungszahl. Für Kompressions-Wärmepumpen ist der COP der Quotient aus der Wärme Q_0 , die in den Heizkreis abgegeben wird, und der elektrischen Arbeit $W_{\text{elektrisch}}$ für den Verdichter: $COP = Q_0 / W_{\text{elektrisch}}$.

Anwendung	kWh/m ² a
Warmwasser- Vorwärmung	500
Warmwasser und Heizung	460
Schwimmbad und Fußbodenheizung	550
Mehrfamilienhaus ganzjährig	460
nur Raumheizung	250
Kühlung	340
Kühlung und Heizung	430
Prozesswärme bis 70° C, Mo.-So.	550
Prozesswärme bis 70° C, Mo.-Fr.	430
Prozesswärme bis 90° C, Mo.-So.	420
Prozesswärme bis 90° C, Mo.-Fr.	330

Tabelle 1 · Solarer Jahresgewinn für CPC Vakuumkollektoranlagen mit Wasser als Wärmeträger.

Bruttokollektorfläche	98 m ²
solarer Jahresgewinn	450 kWh/m ² a
Investitionskosten (ohne Steuern)	550 €/m ²
Energiepreis heute	9 Cent/kWh
eff. Jahresnutzungsgrad ohne Solaranlage	75 %
Betriebszeit	20 Jahre
Direktförderung	0 €/m ²
prozentuale Förderung	30 %
steuerlicher Abschreibungssatz	30 %
verteilt auf die Zeit von	10 Jahren
Mehrwertsteuer	19 %
jährliche Alterung der Kollektoren	0,2 %
jährliche Betriebskosten	2 %
Großwartung nach der Zeit von	15 Jahren
für anteilige Investitionskosten von	6 %
jährlicher Kapitalzins	4 %
jährliche Inflation	3 %
jährliche Energiepreisteigerung	12 %

Tabelle 2 · Annahmeparameter.

	pro m ²	gesamt	
Die Solaranlage spart über die Betriebszeit	8831	865441	kWh
im ersten Jahr gesparte Energiekosten	54,00	5292	€
abzüglich Betriebskosten	1,08	106	€
insgesamt gesparte Energiekosten	3842	376471	€
vermiedener CO ₂ Ausstoß (0,3 kg/kWh)	2,6	260	Tonnen

Tabelle 3 · Betriebsergebnisse, spezifisch und kumulativ.

	gewerblich	privat	
reale Investitionskosten	270	490	€/m ²
Amortisationszeit	5,2	7,0	Jahre
Gewinn nach Ablauf der Amortisationszeit	3494	3211	€/m ²
Effektive Verzinsung des Gewinns	13,7	9,9	%
Effektive Verzinsung der Investition	14,2	10,9	%
solarer Energiepreis	3,1	5,5	Cent/kWh
return on investment (ROI)	13,0	6,6	

Tabelle 4 · Betriebsergebnisse, gewerblich und privat.

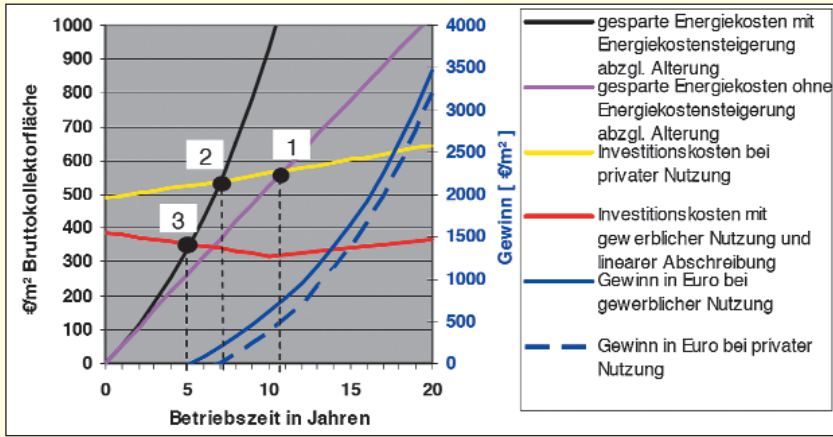


Diagramm 1
Betriebs-
ergebnisse.

Der COP einer Wärmepumpe ist durch den Kehrwert des Carnotwirkungsgrads η_c begrenzt: $COP < 1/\eta_c \dots /6$. Typische COPs von elektrischen Kompressionskältemaschinen zur Raumklimatisierung: 2,5 ... 3,5; Standardwert 3, Typische COPs von thermischen Kältemaschinen unter Ausnutzung von thermischer Niedertemperatur-Solarwärme bei Arbeitstemperaturen von 75 ... 95°C: 0,5 ... 0,75; Standardwert 0,7.

3. Erläuterung des Referenzbeispiels

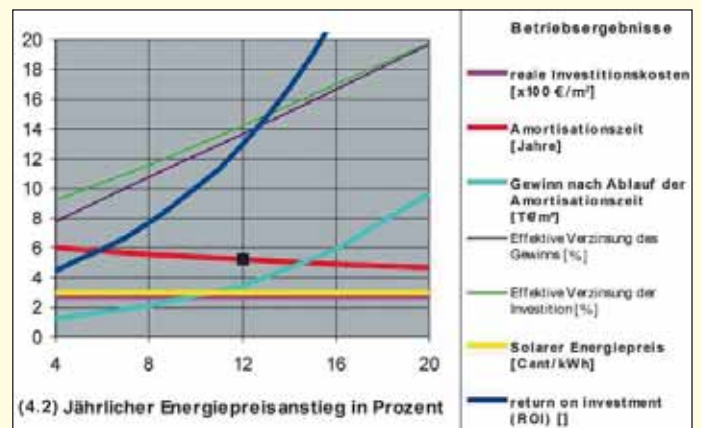
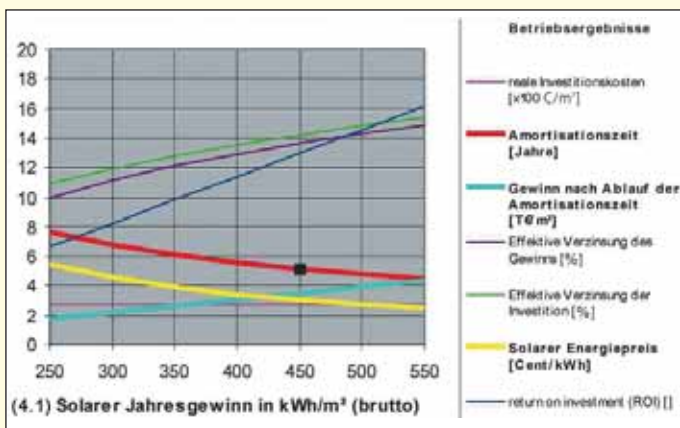
Abhängig vom zeitlichen Lastprofil, von der Art des Prozesses, der Solltemperatur, vom Standort, dem zufälligen Wetter und vom angestrebten Grad der Substitution konventioneller Wärmeerzeuger stellt sich ein bestimmter solarer Jahresgewinn ein. Auch ohne aufwändige Computer-Simulation, welche die vielen Unwägbarkeiten auch nicht kompensieren würde, können mit CPC-Vakuummöhrnenkollektoren und Wasser als Wärmeträger fast immer recht genaue Annahmen getroffen werden (Tabelle 1). Diese Werte

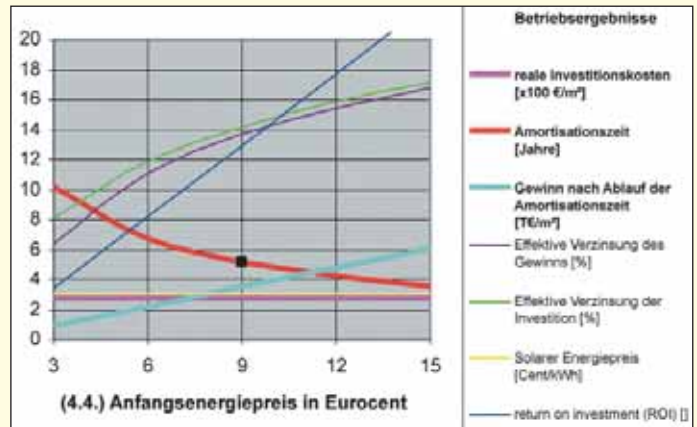
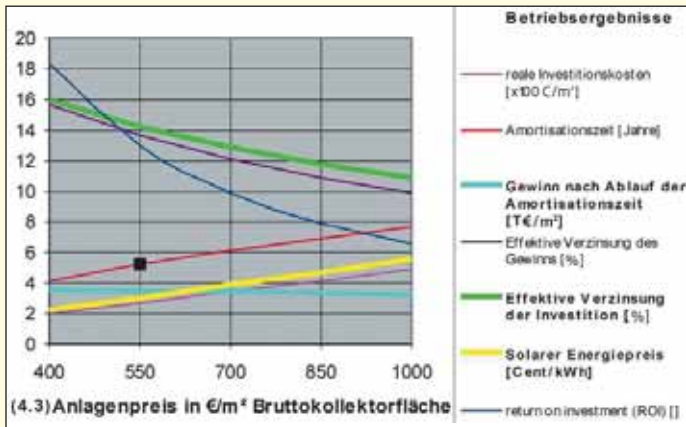
beziehen sich auf die gesamte Solaranlage, sind also bereits um die damit verbundenen Wärmeverluste korrigiert. Als Gesamtkosten für die Solaranlage sind je nach Anlagen und Speichergröße 450 bis 600 Euro pro Quadratmeter Bruttokollektorfläche realistisch, für Anlagen unter 100m² Bruttokollektorfläche bis 800 €/m², für mehr als 1000 m² u.U. auch weniger als 400 €/m². Die Parameter für das gewählte Beispiel (Tabelle 2) sollen als Referenz dienen. Es repräsentiert annähernd eine konkrete solarthermische Großanlage in Grafschaft-Holzweiler, welche eine Saunalandschaft das ganze Jahr über mit Wärme unterstützt. Bei sonst gleichen Parametern wird dort allerdings mit Investitionskosten von ca. 520 €/m² ein solarer Jahresgewinn von 550 kWh/m²a erzielt. Das sind realistische, aber überdurchschnittlich günstige Rentabilitätsvoraussetzungen, weshalb für das Referenzbeispiel bewusst deutlich ungünstigere Bedingungen angesetzt werden. Erntet man 20 Jahre lang jährlich 450 kWh/m² bei Investitionskosten von 550 €/m²,

dann ergibt sich bei gewerblicher Nutzung ein solarer Energiepreis von ungefähr 3,1 Cent/kWh und bei privater von 5,5 Cent/kWh (Tabelle 4). Bei konstanten Energiekosten auf heutigem Niveau von ca. 9 Cent/kWh ergäbe sich eine Amortisationszeit von ca. 10,8 Jahren (Punkt 1 im Diagramm 1). Natürlich erhöhen sich diese Zahlen infolge von laufenden jährlichen Kosten, wie z. B. für Wartung und für Elektroenergie, infolge der Verzinsung des Kapitals und der Alterung der Kollektoren. In unverhältnismäßig stärkerem Maße verringern sie sich aber durch die Inflation, durch Energiepreissteigerung, durch Förderungen und auch dadurch, dass aufgrund des begrenzten Kesselwirkungsgrades des ersetzten fossilen Energieerzeugers mehr als nur 450 kWh/m²a fossile Energie gespart wird. Bei gewerblicher Nutzung der Solaranlage verkürzt sich die Amortisationszeit durch steuerliche Abschreibung und die Erstattung der Mehrwertsteuer nochmals stark ///. Im Referenzbeispiel läge die Amortisationszeit bei 7,0 Jahren (Punkt

2) bei privater bzw. bei 5,2 Jahren (Punkt 3) bei gewerblicher Nutzung. Sobald sich die Anlage amortisiert hat, erzeugt eine thermische Solaranlage nahezu Reingewinn. Für eine lange Betriebszeit übersteigt der Gewinn die Investitionskosten um ein Vielfaches, was zu hervorragenden Verzinsungen des eingesetzten Kapitals von 10,9 % ohne bzw. 14,2 % mit gewerblicher Nutzung führt. Dies ist wesentlich mehr, als die üblichen 5...6%, die bei der Photovoltaik dank des Energieeinspeisegesetzes möglich sind. Auch die Kapitalrentabilität ROI (return on investment) kann sich sehen lassen.

Da der „Gewinn“ ohne die Solaranlage real als Energiekosten angefallen wäre, ist er nicht nur ein Buchwert, sondern bleibt auch real übrig. Somit kann er vom Zeitpunkt der Amortisation an wie eine Rente angelegt werden, z. B. wieder zum jährlichen Kapitalzins von 4%. Berücksichtigt man dies im ROI, steigt dieser nochmals um 2 bis 3 Prozentpunkte an. Würde beim Referenzbeispiel ein Kredit mit 10% Verzinsung und 10% Tilgung über die realen Investitionskosten von 98 m² x 270 €/m² = 26.460€ aufgenommen, dann wäre im ersten Jahr die größte Rate von ca. 2.911 € fällig. Die pro Jahr gesparten Energiekosten betragen abzüglich der Betriebskosten aber mehr als 5000€. Es bliebe also bereits ab dem ersten Jahr eine reale jährliche Entlastung von über 2.100€. Sämtliche Berechnungen können im Anhang anhand der Übersicht zu den verwendeten Formeln nachvollzogen werden.





4. Ergebnisse verschiedener Parametervariationen

4.1. Solargewinn

Der solare Gewinn ist direkt proportional zum monetären und indirekt proportional zum solaren Energiepreis. Er wirkt sich auch deutlich auf die Amortisationszeit aus. Es ist deshalb vorteilhaft, mit CPC-Hochleistungs-Vakuumpollektoren, welche derzeit den modernsten Stand repräsentieren, nach maximalem Solargewinn zu streben. Selbst wenn die Anlage für den doppelten Gewinn das Doppelte kosten würde, wäre dies noch rentabel, denn sie verbraucht nur die halbe Dachfläche und amortisiert sich auch energetisch viel eher. Tatsächlich kostet eine Hochleistungsanlage mit doppeltem Solargewinn jedoch weit weniger als das Doppelte einer Durchschnittsanlage und kann bei anspruchsvollen Anwendungen wie solarer Kühlung, Prozesswärme oder Raumheizung noch viel höhere Erträge erbringen. Weniger als der halbe Elektroenergiebedarf, geringere Wartungs- und Verbrauchskosten

(z. B. Frostschutzmittel, Wärmedämmung, usw.) sind weitere Vorteile von Hochleistungstechnik.

4.2.

Energiepreissteigerung

Die jährliche Energiepreissteigerung wirkt sich nicht auf die Investitionskosten und den solaren Energiepreis aus und auch nur wenig auf die Amortisationszeit. Es ist also egal, wie die Energie teurer wird, die solarthermisch gewonnene Kilowattstunde ist bei einer lange wartungsarm arbeitenden Anlage sowieso schon deutlich günstiger als die fossile. Während die eine solare Kilowattstunde durch kluge Investition heute auf lange Zeit zum niedrigen Fixpreis geordert werden kann, wird die fossile sich bis zum Ablauf der Betriebszeit auf unvorhersehbare Weise dramatisch verteuert haben. Der Gewinn, dessen Verzinsung sowie der ROI wachsen stark bei steigenden Energiepreisen. Doch es ist fast zynisch, hier noch von „Gewinn“ zu sprechen. Sofern die fossile Energie nicht eingespart werden kann, handelt es sich eher um „Schadensvermeidung“.

4.3. Investitionskosten

Der Anlagenpreis wirkt sich ähnlich wie die Förderung kaum auf den Gewinn aus. Aber selbst bei wirklich teuren Solaranlagen, wofür besondere Umstände wie Speicher, Wärmetauscher oder Kühlmaschinen verantwortlich sein können, bleiben bei gewerblicher Nutzung der solare Energiepreis sowie die Verzinsung des eingesetzten Kapitals in einem sehr interessanten Bereich.

4.4. Energiepreis

Der Energiepreis zum Zeitpunkt des Beginns der Betrachtung beeinflusst die Investitionskosten nicht. Er verkürzt aber maßgeblich die Amortisationszeit und verstärkt direkt proportional den Gewinn. Wozu wird der heutige Energiepreis überhaupt diskutiert? Ist er nicht eine schicksalhafte Konstante? Nein, es gibt völlig verschiedene Kilowattstundenpreise für z. B. Strom, Fernwärme, Öl, Gas, Holzpellets oder Hackschnitzel. Dann gibt es Sondertarife, Großabnehmer rabatte u. v. m. Nur eines ist allen gemein, sie werden ständig schneller als die Inflation ansteigen und dabei die Inflation mit anheizen.

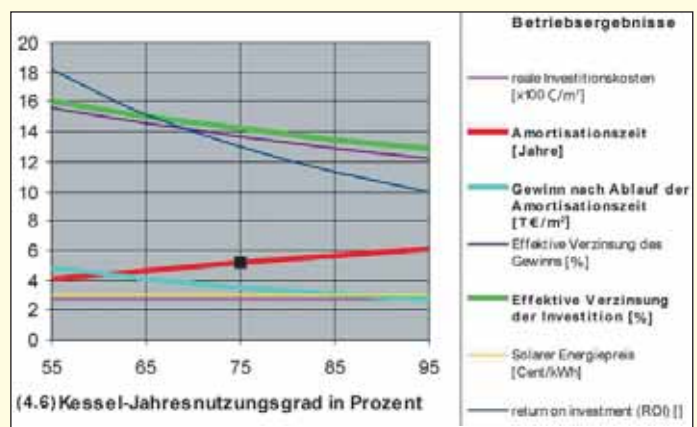
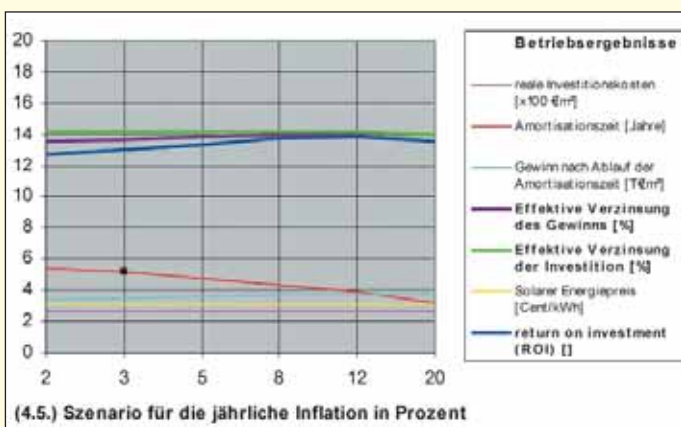
4.5. Inflation

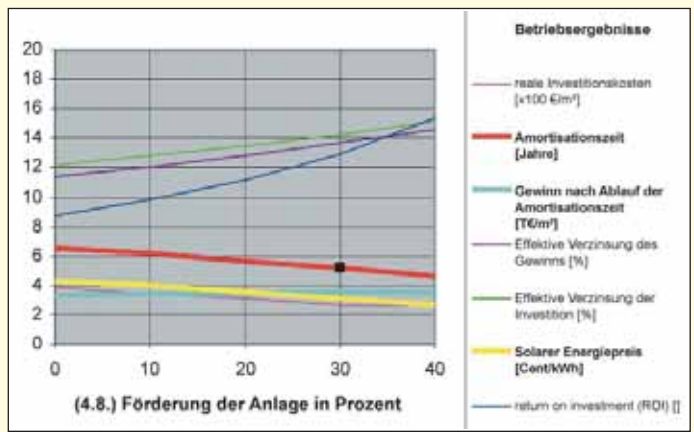
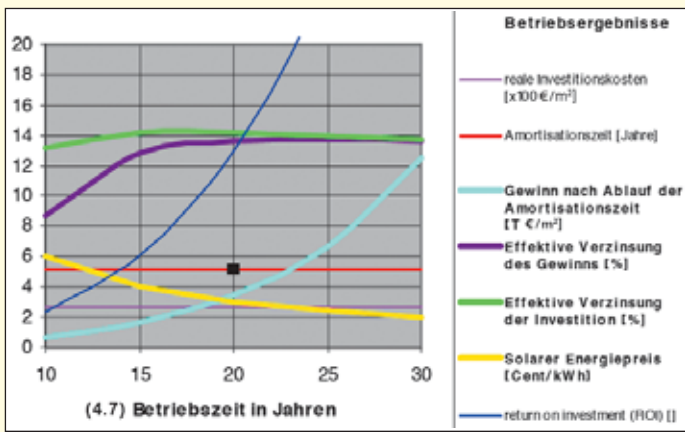
Die Inflation glättet alle Prozesse, nur die Amortisationszeit profitiert im Falle eines rasch fortschreitenden generellen Werteverfalls. Es soll hier nicht näher diskutiert werden, was passiert, wenn die Inflation höher sein sollte als der Energiepreisanstieg.

4.6. Jahresnutzungsgrad

Im Zusammenspiel von Solaranlagen mit konventionellen Kesseln sind zwei Effekte zu beachten:

1. Die solar gewonnene Energie substituiert fossile Energieträger. Jeder Solargewinn wird sich dann mindestens auch als eingesparte fossile Kilowattstunde niederschlagen.
2. CPC-Vakuumpollektoren können auch bei kalter Witterung mit schwachem Sonnenschein so hohe Temperaturen liefern, dass der konventionelle Kessel ausgeschaltet bleibt. Dabei wird zusätzlich zur ersetzten fossilen Energie auch noch die Bereitschaftsenergie des Kessels gespart, welche





im Jahresnutzungsgrad ihren Niederschlag findet. Dieser Effekt ist am größten, wenn der Kessel ohne Solaranlage am häufigsten takten würde. In der Regel ist das außerhalb der Heizperiode.

Dann ist der Anlagenwirkungsgrad besonders gering und die Solaranlage kann durch das Abschalten des Kessels ein Vielfaches der ohne Solaranlage notwendigen fossilen Energie sparen. Durch diesen synergetischen Effekt können mit Wasser betriebene CPC-Vakuuromhüllenkollektoranlagen ein Vielfaches der üblichen Jahreserträge pro Quadratmeter Kollektorfläche (siehe Tabelle 1) erreichen, wenn man in den solaren Gewinnen die vermiedenen fossilen Verluste mitzählt. Bei Flachkollektoren und Vorwärmerschaltungen gibt es diesen Effekt so gut wie nicht, weil der Kessel trotz der Solaranlage immer noch viel öfter in Bereitschaft bleiben muss. Im Diagramm zum Kessel-Jahresnutzungsgrad wird nur die voraussichtlich kleinste Wirkung dieses Effekts berücksichtigt, der sich bei einem niedrigen Jahresnutzungsgrad am stärksten auswirkt. Mit der Verbesserung des Kessel-Jahresnutzungsgrades verlängert sich deshalb die Amortisationszeit der Solaranlage, während der Ge-

winn und die Kapitalverzinsung geringer werden.

4.7. Betriebszeit

Die Betriebszeit ist kaum nach oben beschränkt. Betriebserfahrungen mit den Kollektoren über bisher ca. 12 Jahre lassen auf natürliche Lebenserwartungen von 20 Jahren und mehr schließen. Da aber die Schlüsselkomponenten, die Vakuumröhren und die CPC-Spiegel, mit minimalem Aufwand ausgetauscht werden können, ließe sich das „Solarkraftwerk“, sofern der Bedarf überhaupt besteht, nicht nur komplett regenerieren, sondern durch verbesserte Röhren und Spiegel u. U. sogar modernisieren. Dem größten Verschleiß unterliegt wahrscheinlich das Dämmmaterial für die Rohre im Freien. Das Betriebsende einer großen CPC-Vakuuromhüllenanlage steht in Zukunft sicher seltener im Zusammenhang mit ihr selbst als mit einer überfälligen Dachsanierung, neuen Flächennutzungsplänen oder anderen Bauvorhaben, die z. B. die Solaranlage verschatten. Grundsätzlich ist eine solarthermische Großanlage mit einem Wasserkraftwerk vergleichbar. Einer relativ langen Amortisationszeit folgt eine noch viel längere Zeit, in der die Anlage nahezu zum Nulltarif Energie liefert. Dabei sinkt der solare Energiepreis mit

jedem Betriebsjahr, bei unserem Beispiel auf unter 2 Cent pro Kilowattstunde. Der Gewinn wächst exponentiell, sodass die Anlage dem Besitzer umso mehr Freude bereitet, je länger sie abgeschrieben ist. Die Kapitalverzinsung erreicht einen Grenzwert, der über der prozentualen Energiepreissteigerung liegt.

4.8. Förderung

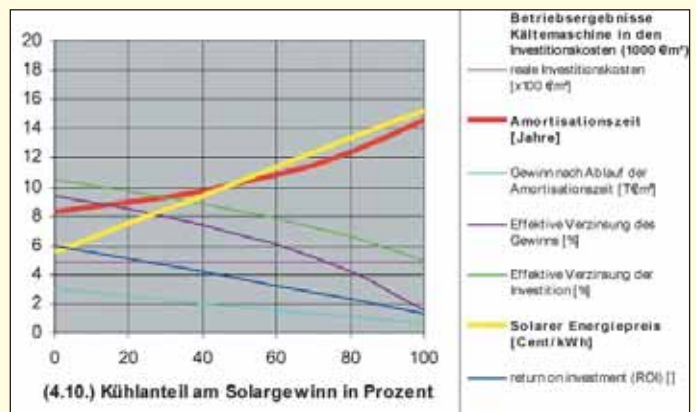
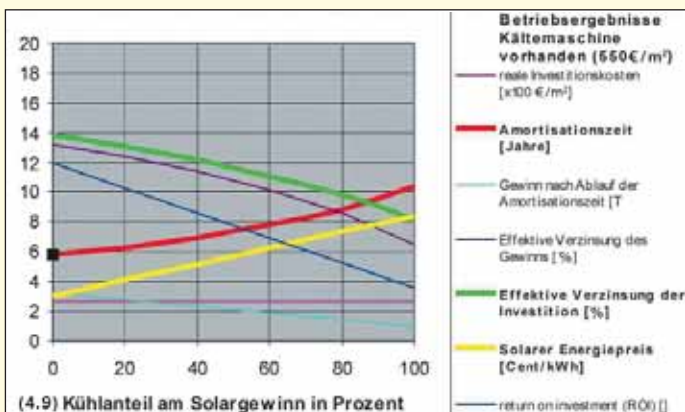
Die Förderung hat erstaunlich wenig Einfluss auf sämtliche absoluten Rentabilitätsparameter. Der Langzeitgewinn bleibt davon fast unberührt. Aber auch die Amortisationszeit und der solare Energiepreis verringern sich durch die Förderung nur unbedeutend. Deshalb hat Förderung in erster Linie nur eine psychologische Wirkung, die aber nicht unterschätzt werden darf, weil die Entscheidung, jetzt investieren zu wollen, aber dies u. U. auch nur mit Förderung zu können, dadurch stark forciert wird.

Es wird aber auch deutlich, dass, sachlich betrachtet, ein zinsloser Kredit nahezu dieselbe Wirkung zeigen würde.

4.9. Solare Kühlung, Kühlmaschine vorhanden

Die solare Kühlung ist in der Rentabilitätsbetrachtung ein besonders wichtiges, aber auch kompliziertes Beispiel für einen solarthermischen Prozess. Von

einer Kilowattstunde Sonnenwärme kann leider nur ein gewisser Anteil in Kälte verwandelt werden. Dieser Anteil ist der COP_{solar} (Coefficient of Performance) der solaren Kältemaschine. Gute solartaugliche Kältemaschinen erreichen hier z. B. ein COP von 0,7. Einige Kältemaschinen sind nicht solartauglich. Mit diesen Kältemaschinen, insbesondere mit elektrisch angetriebenen Kompressionskältemaschinen, erreicht man aber viel größere COPs als mit solartauglichen, z. B. $COP_{nichtsolar} = 3$. Ein ganz besonderes Augenmerk muss hierbei bei den Betriebskosten des vorgesehenen Gerätetyps gelten, denn Kältemaschinen benötigen alle viel Strom für den Betrieb des Kompressors und zum Abtransport der Niedertemperaturabwärme. Abweichend vom Referenzbeispiel wurde diesmal mit 20% Betriebskosten anstelle von 2% gerechnet. Um eine Rentabilitätsrechnung durchführen zu können, muss ein Vergleich zu nichtsolaren Energieträgern angestellt werden. Dies ist am einfachsten durchführbar, wenn die Kältemaschine nur zu einem bestimmten Anteil solar und zu einem anderen Anteil fossil betrieben wird. Es ist auch einfach, wenn es zwei Kältemaschinen gibt, von denen nur eine solar angetrieben wird.



In beiden Fällen könnte man die Einsparung messen. In der Regel hat man aber nur eine solare Kältemaschine. Dann muss man diese fiktiv mit einer Kältemaschine für nichtsolare Energien vergleichen nach dem Schema: Was würde es kosten, wenn dieselbe Kälteleistung mit dieser fiktiven Kältemaschine erzeugt würde? Da der solare Kühlprozess einen um den Faktor $COP_{nichtsolar}/COP_{solar} \approx 5$ höheren Energiebedarf erfordert, ist die Rentabilität des solaren Kühlens noch vergleichsweise gering. Die Rentabilität steigt aber stark an, wenn die Solaranlage nicht nur im Sommer kühlt, sondern im Winter auch mitheizt oder andere thermische Prozesse versorgt. Bei einem Kühlanteil von Null wäre wieder das Referenzbeispiel erreicht. Das erste Diagramm zeigt den Fall, dass die Kühlmaschine schon vorhanden ist oder nicht den Investitionskosten der Solaranlage zugeschlagen wird. Trotz mit dem Kühlanteil ansteigender Amortisationszeit, sinkender Kapitalverzinsung und vergleichsweise geringem Gewinn zeigt der solare Energiepreis, dass es sich langfristig sehr gut „rechnet“. Der solare Energiepreis bleibt, streng genommen, konstant und niedrig. Hier wurde ihm aber der Mehrbedarf an solarer Energie gegenüber einer nichtsolaren Kältemaschine aufgrund des kleineren COPwertes zugeschlagen, so dass es sich nicht um den Solarwärme- sondern um den Solarkältepreis handelt.

4.10. Solare Kühlung, Kühlmaschine neu

Wenn die Kältemaschine mit zu den Kosten der Solaranlage gerechnet wird, sodass ohne Förderung und ohne Abschreibung z.B. Investitionskosten von etwa 1000€/m² entstehen, dann sinkt die Rentabilität weiter und die Amortisationszeit kann in die Größenordnung der Lebenszeit der Anlage geraten. Trotzdem sichert auch diese Investition fast immer noch einen akzeptablen solaren Energiepreis und begrenzt so das Schadensrisiko, welches von einem unkalkulierbaren Energiepreisanstieg ausgeht. Ein schneller monetärer Profit ist jedoch derzeit leider noch kaum von

solchen Anlagen zu erwarten. Vor dem Hintergrund, dass weltweit mehr Energie für Kühlung als für Heizung aufgebracht werden muss, können solare Kühlanlagen aber einen großen Profit für die Umwelt erbringen.

5. Abschlussbetrachtungen und Fazit

Viele der hier geschilderten Abhängigkeiten können auch auf Flachkollektoranlagen übertragen werden, viele aber auch nicht. Konventionelle Flachkollektoranlagen mit Glykol als Wärmeträger haben beispielsweise wesentlich geringere Jahreserträge (siehe Tabelle 2) und sind viel größeren Ausfallrisiken ausgesetzt, weil zusätzlich notwendige Wärmetauscher, Pumpen, Ventile, zahlreiche Entlüfter, Glykol-Befüll-, -spül- und -Entleereinrichtungen sowie ca. alle 3 Jahre ein kompletter Glykolwechsel erforderlich sind. Dazu kommt mehr als der doppelte Elektroenergiebedarf und in der Regel ein sehr großer Speicher, der die Anlage ein paar Tage im Jahr vor dem thermischen Stillstand schützen muss und das übrige Jahr unnötige Wärmeverluste erzeugt. Auch der unter 4.7. geschilderte Vorteil der Kesselumschaltvermeidung bleibt bei Flachkollektoren infolge ihrer im Mittel zu niedrigen Temperaturen aus.

Als Fazit bleibt: CPC-Vakuumröhrenkollektoranlagen mit dem Wärmeträger Wasser sind heute schon selbst bei ziemlich ungünstigen Randbedingungen rentabel und können unter günstigen Bedingungen sogar als außerordentlich profitable Kapitalanlagen betrachtet werden. Mit dem Rentabilitätsrechner auf der Internetseite stehen jedem die hier verwendeten Werkzeuge zur Verfügung:

http://www.paradigma.de/mediadb/3556760/3556761/rentabilitaetsrechner_v2.html

Literatur

- [1] S. Abrecht, C. Kettner, R. Meißner, Heizungsjournal 06/2008, Kollektorvergleiche
- [2] S. Abrecht, W. Griebhaber, C. Kettner, R. Meißner, Heizungsjournal 09/2008, Kollektorerträge
- [3] S. Abrecht, C. Kettner, R. Meißner, Heizungsjournal 7-8/2008, Der Wert von Solarwärme
- [4] Wikipedia 27.06.08, <http://de.wikipedia.org/wiki/Wirkungsgrad#Kesselwirkungsgrad>
- [5] Wikipedia 27.06.08, http://de.wikipedia.org/wiki/Return_on_Investment
- [6] Wikipedia 28.06.08, http://de.wikipedia.org/wiki/Coefficient_Of_Performance
- [7] R. Meißner, Heizungsjournal 4-5/2008 (S. 28), Geld verdienen mit Solarwärme

6. Anhang: Rentabilitätsrechnung für solarthermische Großanlagen

Annahmeparameter		
F	Bruttokollektorfläche (Kessel-) Jahresnutzungsgrad ohne Solaranlage	m ²
$\eta_{s,SGA}$	erwarteter jährlicher Solargewinn	kWh/m ² a
$Q_{m,te}$	Preis pro Wärmeträgereinheit	z. B. €/L ₅₀ , ...
P_{pu}	Energieinhalt pro Wärmeträgereinheit	z. B. kWh/L ₅₀ , ...
Q_{su}	Betriebszeit	Jahre
n	Betriebskosten	€/m ²
q_{Blin}	Alterung pro Jahr	%
q_A	jährliche Energiepreissteigerung	%
q_{eps}	jährliche Inflationsrate	%
q_i	jährliche Kapitalzinsen	%
q_z	Kosten für eine (fiktive) Großwartung	€/m ²
q_w	Zeit, nach der u. U. eine Großwartung fällig ist	Jahre
t	Mehrwertsteuer	%
MwSt	Förderung pro Quadratmeter	€/m ²
$FÖ_{pm^2}$	Förderung absolut	€/m ²
$FÖ = F \cdot FÖ_{pm^2}$	Förderung prozentual	%
F_{pm}	steuerlicher Abschreibungssatz	%
StA	Investitionspreis	€/m ²
IP	Leistungszahl der Solarkühlmaschine	-
COP _{solar}	Leistungsz. für Kühlm. mit nichtsolarer Energie	-
COP _{nichtsolar}	Preis WE nichtsol. Kühlenergie (z. B. elektrisch)	€/kWh, z. B. €/kWh
$P_{pu,cool}$	Energieinhalt pro WE fossile Kühlenergie	kWh/..., z. B. 1 kWh/...
$Q_{pu,cool}$	Anteil des solaren Jahresgewinns für Kühlung	%
Q_{cool}		
Betriebsergebnisse		
$rIP_{pr} = IP(1 + \frac{MwSt}{100} - \frac{F_{pm}}{100}) - F_{pm}$	realer Investitionspreis für private Nutzung ⁹⁾	€
$rIP_{gw} = IP(1 - \frac{StA}{100})(1 - \frac{F_{pm}}{100}) - F_{pm}$	realer Investitionspreis für gewerbliche Nutzung ⁹⁾	€
$Q_{s} = F \cdot \frac{Q_{m,te}}{\eta_{s,SGA}}$	solare Jahresgewinn	kWh
$Q_n = Q_s \cdot \frac{1 - (1 - q_A)^n}{q_A}$	Solargewinn während der Betriebszeit	kWh
$m_{CO_2} = 0,3 \text{ kg/kWh } Q_n$	vermiedener CO ₂ -Ausstoß	kg
Im ersten Jahr gesparte Energiekosten:		
$E_{s1} = Q_s \cdot \frac{P_{pu}}{P_{pu,cool}} (1 - \frac{a_{cool}}{100} (1 - \frac{P_{pu,cool}}{Q_{pu,cool}} \cdot \frac{Q_{m,te}}{COP_{nichtsolar}}))$		€
$E = E_{s1} \cdot \frac{n}{P_{pu}}$	gesparte Wärmeinheiten nach n Jahren	m ³ _{Gas} , L ₅₀ , ...
$BK_{j1} = E_{s1} \cdot q_{Blin}/100$	Betriebskosten im ersten Jahr	€
Nach n Jahren gesparte Energiekosten:		
$E_{sn} = E_{s1} \left[\frac{(1 + q_{eps})^n - 1}{q_{eps}} + \frac{1 - (1 - q_A)^n}{q_A} - n \right] - BK_{j1} \left[\frac{(1 + q_i)^n - 1}{q_i} \right]$		€

Wirtschaftliche Aspekte

$G_{jn} \approx E_{jn} - rIP(1 - q_i)^n (1 + q_z)^n (1 + q_w)^n$	Gewinn nach n Jahren	€
Die Amortisationszeit tA ergibt sich aus der Auflösung der letzten Gleichung für G _{jn} =0 nach der Betriebszeitvariablen n (bzw. als Schnittpunkt der Kurve der gesparten Energiekosten und der Kurve des realen Investitionswertes, beide als Funktion der Betriebszeit):		
tA = n (G _{jn} =0, E _{jn} , rIP, q _i , q _z , q _w)	Amortisationszeit	Jahre
$G_{jta} \approx G_{jn} - rIP(1 - q_i)^{ta} (1 + q_z)^{ta} (1 + q_w)^{ta}$	Gewinn nach Ablauf der Amortisation	€
$Z_{G,jn} = 100 \left[\left(\frac{G_{jn}}{rIP} \right)^{\frac{1}{n}} - 1 \right]$	effektive Verzinsung des Gewinns	%
$Z_{G,jn} = 100 \left[\left(\frac{G_{jn}}{rIP} \right)^{\frac{1}{n}} - 1 \right]$	effektive Verzinsung der Investition	%
$P_{sol} = \frac{rIP Q_{m,te}}{E} (1 - \frac{a_{cool}}{100} (1 - \frac{P_{pu,cool}}{Q_{pu,cool}} \cdot \frac{Q_{m,te}}{COP_{nichtsolar}}))$	solare Energiepreis	€/kWh
$ROI = \frac{G_{jta}}{rIP}$	return on investment	-
1) Diese Kosten q _w werden bei der Amortisationsrechnung der Einfachheit halber über die x Jahre kontinuierlich verteilt.		
2) Es gibt auch Sonderfälle, wie z. B. gemeinnützige Vereine, die keinen Mehrwertsteuerabzug vornehmen, aber steuerliche Abschreibung und Förderung geltend machen können.		
3) Es wird hier der Einfachheit halber vernachlässigt, dass die steuerliche Abschreibung über einen Zeitraum von üblicherweise 10 Jahren gleichmäßig verteilt stattfindet.		