Stromgestehungskosten von Solarzellenanlagen im Vergleich

Autor(en): **Lenzlinger, Martin / Leemann, Robert / Real, Markus**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses**

Band (Jahr): **85 (1994)**

Heft 18

PDF erstellt am: **28.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-902598

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Die Gestehungskosten von erneuerbaren Energien sind dominiert von den Investitionskosten, während bei den nichterneuerbaren Energien meist die Betriebskosten massgebend sind. Bei einem Kostenvergleich müssen daher zu verschiedenen Zeiten anfallende Kosten und Erträge ökonomisch korrekt miteinander verglichen werden. Dafür ist die Barwertmethode das geeignete Instrument. Ein so errechneter Gestehungskostenvergleich zeigt, dass Strom aus Solarzellen heute acht- bis zehnmal teurer ist als gleichwertiger Strom aus konventioneller Produktion. Aufgrund der zu erwartenden Kostenentwicklung reduziert sich dieser Unterschied für im Jahr 2020 zu erstellende Produktionsanlagen auf voraussichtlich einen Faktor 2–3. Um die Stromgestehungskosten von Solarzellenanlagen noch stärker als angenommen zu senken, sind vor allem Kostenreduktionen bei Montage und Installation notwendig.

Stromgestehungskosten von Solarzellenanlagen im Vergleich

■ Martin Lenzlinger, Robert Leemann und Markus Real

Sonnenenergie ist gratis

Die Sonnenstrahlen, die vom Himmel fallen, sind kostenlos. Generell gehört es zum Wesen der erneuerbaren Energien, dass sie in der Form, in der sie primär anfallen, nichts kosten. Die Investitionen, die für die Umsetzung in nutzbare Energieformen nötig sind, sind aber meist beträchtlich. Die Betriebskosten wiederum sind oft gering. Die erneuerbaren Energien zeichnen sich also dadurch aus, dass fast die ganzen Kosten bei der Erstellung der Anlage anfallen.

Anders sieht es aus bei den nichterneuerbaren Energien. Die Investitionskosten für die Verwandlung in nutzbare Energie sind meist wesentlich niedriger als bei den erneuerbaren Energien, dafür sind aber die Betriebskosten und vor allem die Kosten für die Energie selbst – also die Brennstoffkosten – wesentlich grösser. Bei nichterneuerbaren Energien fallen die meisten Kosten also während dem Betrieb der Anlage an.

Wenn wir Stromgestehungskosten von netzgekoppelten Solarzellenanlagen mit solchen von thermischen Kraftwerken vergleichen wollen, müssen wir daher sorgfältig darauf achten, dass Kapitalkosten und Betriebskosten korrekt aufaddiert werden. Das ist nicht trivial, weil Kosten, die heute anfallen, wegen der Verzinsung und der Teuerung anders zu bewerten sind als Kosten, die innerhalb der nächsten dreissig oder fünfzig Jahre entstehen.

Barwertmethode als korrekte Methode zum Kostenvergleich

Die Barwertmethode gestattet es, künftige Kosten und Erträge ökonomisch korrekt miteinander zu vergleichen. Damit die in unterschiedlichen Jahren anfallenden Geldgrössen vergleichbar werden, müssen alle auf einen bestimmten Zeitpunkt bezogen, das heisst abgezinst («diskontiert») werden. Der auf den heutigen Zeitpunkt – oder auf ein bestimmtes Referenzjahr – abgezinste Wert einer künftigen Geldgrösse nennt man den Barwert. Dieser Barwert hat folgende anschauliche Bedeutung: Wenn ich heute (bzw. im Referenzjahr) einen dem Barwert entsprechenden Betrag zum Nominalzinssatz bei der Bank anlege, kann ich aus der Kapitalanlage in einem zukünftigen Zeitpunkt die dem Barwert entsprechenden Kosten begleichen.

Aus der Summe der Barwerte aller künftigen Kosten einer Stromerzeugungsanlage werden die durchschnittlichen realen Stromgestehungskosten in Rp./kWh über

Adresse der Autoren:
Dr. *Martin Lenzlinger*, Energiebeauftragter der Stadt Zürich, Beatenplatz 1, 8023 Zürich;
Dr. *Robert Leemann*, Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG, Bellerivestrasse 36, 8022 Zürich;
Markus Real, Alpha Real AG, Feldeggstrasse 89, 8008 Zürich.

die Lebensdauer der Anlage ermittelt. «Real» bedeutet hier, dass alle künftigen Kosten auf der Basis des Preisstandes 1991 berechnet werden.

Mit dieser Barwertmethode, die im Anhang detailliert dargestellt ist, haben die Industriellen Betriebe der Stadt Zürich eine Untersuchung über die langfristige Entwicklung der Stromgestehungskosten von Solarzellenanlagen und einen Kostenvergleich mit anderen Stromerzeugungsmöglichkeiten machen lassen. Die Untersuchung wurde von der Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG ausgeführt. Die Daten über die Kosten und Erträge der Solarzellenanlagen wurden von der Alpha Real AG beigesteuert. Die Resultate der Untersuchung sollen hier zusammenfassend dargestellt werden.

Nicht berücksichtigt wurden in dieser Untersuchung die externen Kosten, also die Kosten, die der Allgemeinheit durch die Umweltbelastung entstehen. Die quantitative Erfassung der Umweltbeeinflussung und deren monetäre Bewertung ist nämlich ausserordentlich schwierig. Es kann immerhin mit genügender Sicherheit gesagt werden, dass die externen Kosten von erneuerbaren Energien wesentlich niedriger sind als diejenigen konventioneller Produktionsmethoden. Bei Berücksichtigung der externen Kosten könnte der folgende Kostenvergleich also wesentlich anders aussehen.

Stromgestehungskosten einer Solarzellenanlage

Die Stromgestehungskosten hängen im wesentlichen von den Investitionskosten, der Stromproduktion, dem Zinssatz und der Lebensdauer ab. Beim Kaufpreis der eigentlichen Anlage gibt es grosse Unterschiede zwischen den verschiedenen Anbietern. Die technische Lebensdauer wird die angenommene Lebensdauer von 30 Jahren voraussichtlich wesentlich überschreiten. Die Energieproduktion hängt stark vom lokalen Klima und von der Ausrichtung der Anlage ab. In der vorliegenden Studie wurde eine 3-kW-Standardanlage an zwei verschiedenen Standorten untersucht. Dabei wird unterstellt, dass die erzeugte Elektrizität in Zürich verbraucht wird.

Für eine solche Anlage mit Standort Davos und Erstellungsjahr 1991 kann mit folgenden Annahmen gerechnet werden:

Investitionskosten: Fr. 15 650.–/kW (Preisstand 1991)

Jährliche Betriebskosten: Fr. 125.–/kW (real, Basis 1991)

Durchschnittliche jährliche Stromproduktion: 1050 kWh/kW

Zuschlag für Übertragungsverluste: 3%.

Daraus ergeben sich Stromgestehungskosten von 91 Rp./kWh (Mittel über die Lebensdauer, zu Preisen 1991). Dabei wurde ein Realzins (Nominalzins minus Teuerung) von 3% angenommen. Bei einem Realzins von 2% ergeben sich Stromgestehungskosten von 81 Rp./kWh.

Für eine ähnliche Anlage in Zürich mit den gleichen Investitionskosten, mit Betriebskosten von Fr. 100.–/kW, keinem Zuschlag für Übertragungsverluste, aber einem jährlichen Ertrag von nur 850 kWh/kW betragen die Gestehungskosten 106 bzw. 94 Rp./kWh.

Interessanterweise sind die Kosten pro kW für eine Solarzellenanlage praktisch unabhängig von deren Grösse. Das Gesetz der Kostendegression gilt für Solarzellenanlagen nicht. Das stimmt sogar für Grossanlagen von 500 kW. Das vom EWZ auf dem Dach des Seewasserwerks Moos geplante Solarkraftwerk hatte zum Beispiel spezifische Investitionskosten von Fr. 15 600.–/kW. Grössere Anlagen können zwar von Mengenrabatten bei den Sonnenzellen und von einer gewissen Kostendegression bei den Montagearbeiten profitieren. Umgekehrt braucht es aber Spezialanfertigungen für die Wechselrichter, während 3-kW-Wechselrichter von der Stange gekauft werden können. Entscheidend ist, dass Grossanlagen wesentlich aufwendiger sind bei der Verkabelung, das heisst bei den Verbindungen aus dem weitläufigen Solarzellenfeld zum Wechselrichter. Meist benötigen sie auch einen speziellen Anschluss an das Mittelspannungsnetz. Kleinanlagen können im allgemeinen mit wenigen Metern Gleichstromkabel an den Wechselrichter und von dort wieder mit kleinen Distanzen an ein Hausnetz angeschlossen werden. Sie profitieren damit vom überall vorhandenen Stromnetz. Zusammengefasst kann man sagen, dass es keine Vorteile bringt, dezentral anfallende Sonnenenergie in grossen zentralen Anlagen umzusetzen.

Stromgestehungskosten zukünftiger Solarzellenanlagen

Es ist anzunehmen, dass die Investitionskosten für Solarzellenanlagen langfristig real abnehmen werden. Damit nehmen auch die Stromgestehungskosten zu Prei-

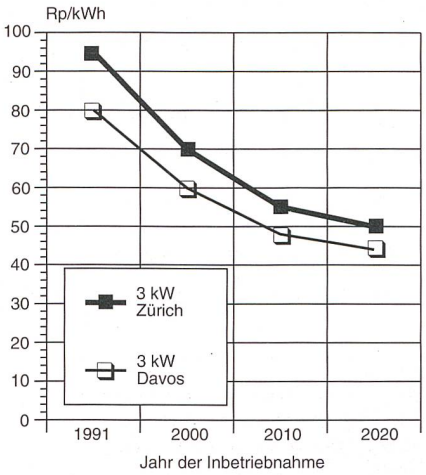


Bild 1 Stromgestehungskosten: Solarzellenanlage (reale Durchschnittskosten in Rp./kWh; Variante 1: Realzins 2%)

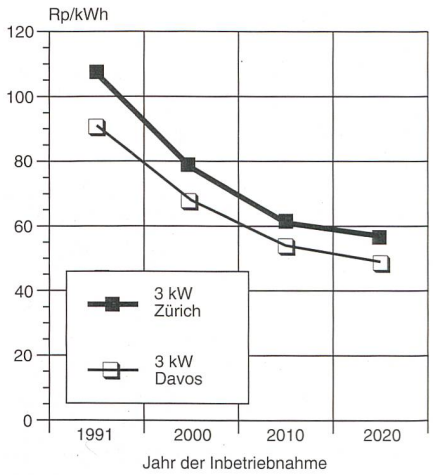


Bild 2 Stromgestehungskosten: Solarzellenanlage (reale Durchschnittskosten in Rp./kWh; Variante 2: Realzins 3%)

	Solarzellen		Wechselrichter		Montage/ Installation		Gewinn/ Risiko		WUST	Total
	Fr.	%	Fr.	%	Fr.	%	Fr.	%	Fr.	Fr.
1991	24 300	52	5 200	11	11 400	24	4 000	9	2 100	47 000
2000	12 500	38	4 300	13	10 600	32	4 000	12	1 500	32 900
2010	5 900	24	3 500	14	9 800	40	4 000	16	1 100	24 300
2020	5 100	23	2 900	13	9 100	41	4 000	18	1 000	22 100
%	21		56		80					47

Unterste Zeile: Preis 2020 geteilt durch Preis 1991 in %

Bild 3 Kosten einer 3-kW-Solarzellenanlage

sen von 1991 ab. Wenn für das Jahr 2000 Investitionskosten von Fr. 10 980.–/kW (zu Preisen 1991) angenommen werden, ergeben sich für diese zukünftige Anlage Stromgestehungskosten von 67 Rp./kWh, immer auf der Preisbasis 1991. Die Resultate von analogen Rechnungen für Anlagen mit Inbetriebnahme in den Jahren 2010 und 2020 sind in den Bildern 1 und 2 wiedergegeben.

Entwicklung der Investitionskosten von Solarzellenanlagen

Die Investitionskosten für Solarzellenanlagen setzen sich zusammen aus den Kaufpreisen für die Solarzellen und die Wechselrichter und den Kosten für die Montage, Verkabelung, die Klemmenkasten und das Hilfsmaterial. Zudem muss ein Betrag für die Planung und die unternehmerischen Aktivitäten des Erstellers vorgesehen werden.

Diese Rechnungen beruhen auf bestimmten Annahmen über die Kostenentwicklung bei den verschiedenen Kostenkomponenten. Die auf Untersuchungen der Firma Alpha Real AG beruhenden Annahmen sind in Bild 3 zusammengefasst. Wie alle langfristigen Kostenprognosen sind diese Annahmen mit einer beträchtlichen Unsicherheit behaftet; Richtung und Grössenordnung der Kostenentwicklung sind aber sicher richtig wiedergegeben. Auffallend ist die starke Reduktion der Kosten der Solarzellen, welche aufgrund des technischen Fortschritts (Verbesserung des Wirkungsgrads, Vereinfachung des Herstellungsprozesses) und der erhofften Massenfertigung bis im Jahr 2020 real pro kW nur noch rund 20% des heutigen Preises kosten sollen. Auch bei den Wechselrichtern ist wie bei anderen elektronischen Geräten eine Kostenreduktion zu erwarten, allerdings nur auf 56% des heutigen Preises. Die Verbilligung bei der Montage ist nicht auf eine reale Kostenreduktion für das Material oder die Arbeit, sondern auf die Verbesserung des Wirkungsgrades und damit auf die Verkleinerung der pro kW zu montierenden Fläche zurückzuführen. Eine Verbesserung des Wirkungsgrades ist daher doppelt wirksam: höherer Ertrag und weniger Montagekosten. Gesamthaft werden nach dieser Prognose die Kosten im Jahre 2020 real etwas weniger als die Hälfte der heutigen Kosten betragen.

Während heute die Kosten für die Sonnenzellen etwas mehr als die Hälfte der Anlagekosten ausmachen, fällt dieser Anteil bis 2020 auf etwas weniger als einen Viertel. Der Anteil der Montagekosten steigt demgegenüber von 24% auf 41%. Die Anstrengungen zur Kostenreduktion müssen sich daher auf die Montagekosten konzentrieren. Entweder müssen neue, kostengünstigere Montagearten gefunden werden, oder die Montagekosten müssen durch noch grössere Verbesserungen des Wirkungsgrades gesenkt werden. Dem sind allerdings ziemlich enge physikalische Grenzen gesetzt. Jedenfalls kann eine Billig-Solarzelle mit niedrigem Wirkungsgrad nicht die Lösung des Kostenproblems sein, wenn nicht gleichzeitig die Montagekosten pro Flächeneinheit ganz wesentlich gesenkt werden können. Das ist wohl am ehesten dann möglich, wenn Solarmodule die Funktionen anderer Bauteile, wie von Fassadenelementen oder der Dacheindeckung, übernehmen.

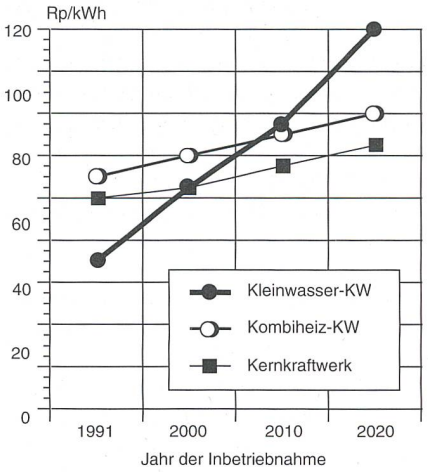


Bild 4 Stromgestehungskosten: Konventionelle Erzeugung (reale Durchschnittskosten in Rp./kWh; Variante 1: Realzins 2%, Gaspreis 1991 3,5 Rp./kWh)

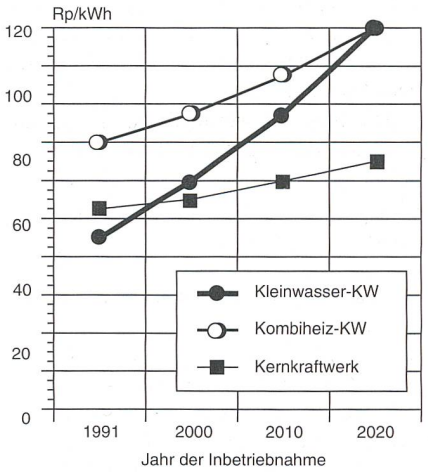


Bild 5 Stromgestehungskosten: Konventionelle Erzeugung (reale Durchschnittskosten in Rp./kWh; Variante 2: Realzins 3%, Gaspreis 1991 4,5 Rp./kWh)

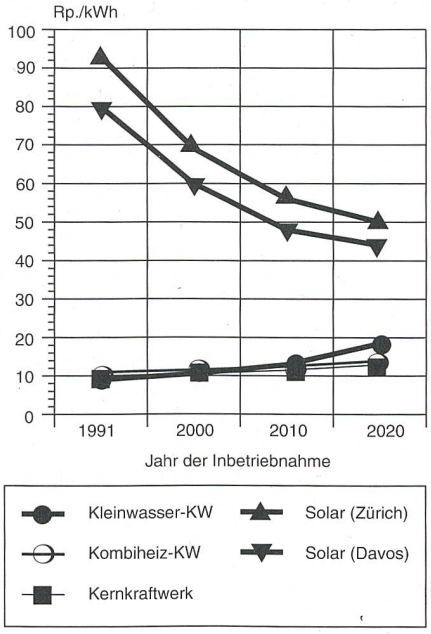


Bild 6 Stromgestehungskosten: Vergleich Solaranlage/Konventionelle Erzeugung (reale Durchschnittskosten in Rp./kWh; Variante 1: Realzins 2%)

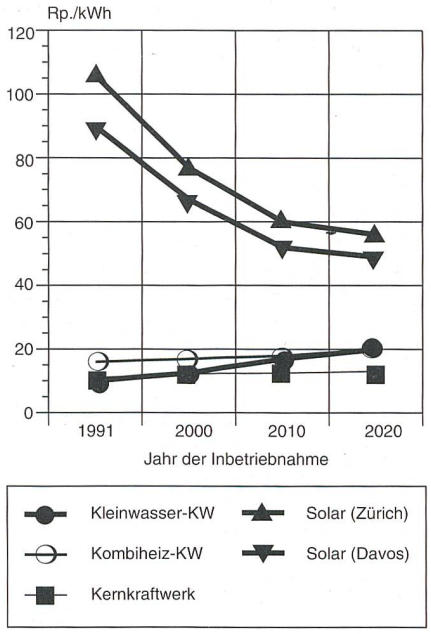


Bild 7 Stromgestehungskosten: Vergleich Solaranlage/Konventionelle Erzeugung (reale Durchschnittskosten in Rp./kWh; Variante 2: Realzins 3%)

Kostenvergleich mit anderen Produktionsmöglichkeiten

Strom aus konventionellen Kraftwerken fällt nicht zum gleichen Zeitpunkt an wie derjenige von Solarkraftwerken. Bei einem korrekten Vergleich muss man aber Anlagen mit ähnlichen Produktionscharakteristiken in bezug auf garantierte Leistung und zeitliche Wertigkeit der Energie miteinander vergleichen. In der vorliegenden Arbeit wurde die unterschiedliche Wertigkeit der Winter- und Sommerenergie dadurch berücksichtigt, dass der Mix der konventionellen Erzeugungsmöglichkeiten so gewählt wurde, dass sich insgesamt die gleichen Winter- und Sommerproduktions-

anteile ergeben wie bei der Solarzellenanlage. Dabei wurden die Gestehungskosten aus neuen Kleinwasserkraftwerken, aus thermischer Erzeugung in einem gasgefeuerten Kombikraftwerk sowie aus der Erzeugung in einem Kernkraftwerk zum Vergleich herangezogen.

Wesentliche Unterschiede bestehen auch bei der Verfügbarkeit der Leistung und bei den Energieanteilen zu Hoch- und Niedertarifzeiten. Die schlechtere Verfügbarkeit von Sonnenzellenanlagen (keine garantierte Leistung) wird dabei etwa kompensiert dadurch, dass die ganze Produktion in der Hochtarifzeit anfällt.

Durch Anwendung eines Kostenzuschlags für Übertragungsverluste wurden bei der Solarzellenanlage Davos, beim Wasserkraftwerk und beim Kernkraftwerk die unterschiedlichen Übertragungsverhältnisse (Distanz zum Verbraucher) mitberücksichtigt.

Gestehungskosten der Vergleichskraftwerke

Die Kostenschätzung für die Produktion aus neuen Kleinwasserkraftwerken basiert auf den im Rahmen der EGES durchgeführten Untersuchungen über das Ausbaupotential und die Kosten der Wasserkraftnutzung in der Schweiz. Die Investitionskosten wurden dabei auf den Kostenstand 1991 gebracht. Zudem wurde angenommen, dass die Wasserkraftwerke in der Reihenfolge abnehmender Wirtschaftlichkeit realisiert werden. Für 1991 wurden demzufolge bei einer Lebensdauer von 40 Jahren Investitionskosten von Fr. 7000.–/kW und eine Benutzungsdauer von 4500 Stunden angenommen, für das Jahr 2020 Investitionskosten von real Fr. 10 000.–/kW bei einer Benutzungsdauer von 3000 Stunden. Gemäss EGES wurde ein Winterproduktionsanteil von einem Drittel angenommen. Die resultierenden realen Durchschnittskosten sind in den Bildern 4 und 5 dargestellt.

Als thermisches Vergleichskraftwerk wurde ein gasbefeuertes Kombiheizkraftwerk mit 50–100 MW_{el} verwendet. Es wurde angenommen, dass die Investitionskosten von heute Fr. 1700.–/kW langfristig wegen schärferen Umweltauflagen real leicht ansteigen (Kostenschätzungen EWI). Für die Brennstoffkosten wird eine reale Teuerung von 1 bis 1,5% jährlich angenommen, wobei auch die anfallende Wärme entsprechend höher bewertet wird. Die so berechneten Gestehungskosten sind wiederum in den Bildern 4 und 5 dargestellt (Variante 1: Realzins 2%, Gaspreis 3,5 Rp./kWh, reale Brennstoffteuerung 1%; Variante 2: Realzins 3%, Gaspreis 4,5 Rp./kWh, reale Brennstoffteuerung 1,5%).

Die Berechnungen für das Kernkraftwerk beruhen wiederum auf den EGES-Studien. Auch hier wurden die Investitionskosten auf den Preisstand 1991 umgerechnet. Gemäss EGES wurde mit einer realen Preissteigerung der Brennstoffkosten von 0,5% (bis 1995), 1,0% (1995–2000) und 2,0% (ab 2000), einer jährlichen Betriebsstundenzahl von 7000 Stunden und einer Lebensdauer von 30 Jahren gerechnet. Für die Erzeugung aus Kernkraft ist der Anstieg der realen Stromgestehungskosten etwas geringer als beim Kombi-Heizkraftwerk wegen dem geringeren Anteil der Brennstoffkosten an den Gesamtkosten beim Kernkraftwerk (Bilder 4 und 5).

Kostenvergleich

Die Bilder 6 und 7 zeigen zunächst den Kostenvergleich zwischen der Solarzellenanlage und den einzelnen konventionellen Stromerzeugungsmöglichkeiten. Die heute noch erheblichen Kostenunterschiede von einem Faktor 7 nehmen langfristig deutlich ab. Auch am Ende der Betrachtungsperiode (2020) beträgt jedoch der Kostenunterschied noch das Zwei- bis Dreifache.

Die Gestehungskosten der Solarzellenanlage mit Standort Zürich kann direkt mit den Kosten des Kleinwasserkraftwerks verglichen werden, da beide einen Sommerproduktionsanteil von etwa zwei Drittel aufweisen.

Die Solarzellenanlage Davos kann mit einem Mix von drei Typen konventioneller Erzeugung verglichen werden. Bei einem Anteil von 70% aus einem Laufkraftwerk, 20% aus dem Kernkraftwerk und 10% aus einem Kombikraftwerk ergibt sich der gleiche Sommerproduktionsanteil von 58% wie beim Solarkraftwerk Davos. Der entsprechende Kostenvergleich ist in den Bildern 8 und 9 dargestellt. Es ergibt sich ein ähnliches Bild wie bei der Gegenüberstellung mit den einzelnen Kraftwerkstypen. Während die durchschnittlichen realen Stromgestehungskosten für Solarzellenanlagen von heute 60–70 Rp./kWh bis zum Ende der Betrachtungsperiode auf etwa 35 Rp./kWh sinken werden, steigen die realen Produktionskosten für den konventionellen Kraftwerk-Mix über den gleichen Zeitraum von heute rund 10 Rp./kWh auf gegen 20 Rp./kWh.

Ingesamt zeigt also der Kostenvergleich, dass im heutigen Zeitpunkt die Stromgestehungskosten für Solarzellenanlagen um ein Mehrfaches höher sind als für die konventionelle Stromerzeugung. Langfristig wird der Kostenunterschied erheblich verringert. Bei den getroffenen Annahmen über die Kostenentwicklung der verschiedenen Anlagetypen ist eine Kostenäquivalenz innerhalb der Betrachtungsperiode nicht zu erwarten. Dafür wären wesentlich grössere Fortschritte beim Wirkungsgrad der Solarzellen oder entscheidende Reduktionen bei den Montagekosten notwendig.

Anders sähe der Kostenvergleich aus, wenn die externen Kosten über Lenkungsabgaben (Energiesteuer oder CO_2-Abgabe) den verschiedenen Produktionsmethoden angelastet würden. Dadurch würden die konventionellen Energien so viel teurer,

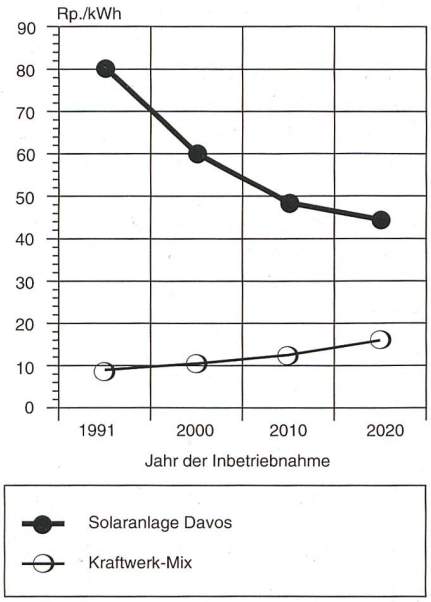


Bild 8 Stromgestehungskosten: Vergleich Solaranlage – Kraftwerk-Mix (reale Durchschnittskosten in Rp./kWh; Variante 1: Realzins 2%)

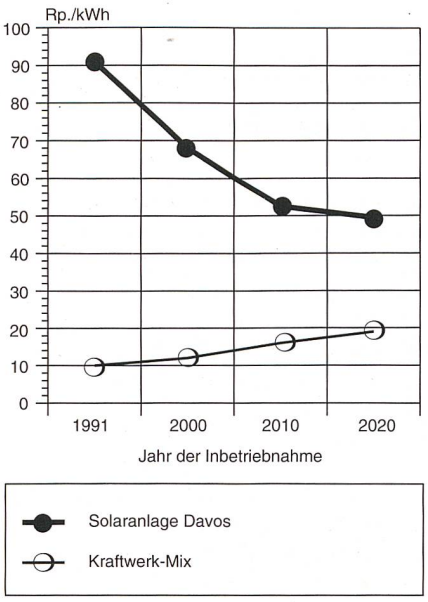


Bild 9 Stromgestehungskosten: Vergleich Solaranlage – Kraftwerk-Mix (reale Durchschnittskosten in Rp./kWh; Variante 2: Realzins 3%)

dass die Solarzellentechnologie wahrscheinlich wirtschaftlich konkurrieren könnte.

Anhang: Stromgestehungskosten nach der Barwertmethode

Als massgebliche Stromgestehungskosten (in Rp./kWh) werden in der vorliegenden Untersuchung die realen Kosten berechnet, welche sich im Mittel über die Lebensdauer der Produktionsanlagen ergeben. «Real» bedeutet, dass alle künftigen Kosten auf der Basis des Preisstandes 1991 berechnet werden.

Zur Berechnung des sogenannten Barwerts werden die realen Kosten (Baukosten; jährliche Betriebs- und Unterhaltskosten), die sich über die Jahre ergeben, zum angenommenen realen Zinssatz auf den Zeitpunkt der Inbetriebnahme diskontiert und summiert. Der reale Zinssatz ist gleich dem Nominalzinssatz abzüglich Teuerung.

Der so errechnete Barwert hat folgende anschauliche Bedeutung: Wenn ein dem Barwert entsprechender Betrag zum Nominalzinssatz auf der Bank angelegt wird, reicht er in Zukunft, um zum gegebenen Zeitpunkt die entsprechenden Kosten zu decken. Das kann an einem Beispiel mit einem Nominalzinssatz von 7% und einer Teuerung von 5% (Realzins von 2%) illustriert werden: Angenommen, in zehn Jahren fallen Kosten von nominal Fr. 1000.– an. Umgerechnet auf den heutigen Preisstand ergibt das reale Kosten von Fr. 614.–. Abgezinst mit einem Realzins von 2% ergibt sich ein Barwert dieser Kosten von Fr. 504.–. Wenn ich diesen Betrag zu einem Zinssatz von 7% anlege, erhalte ich nach zehn Jahren Fr. 1000.–.

Interessanterweise ist die Methode unabhängig von der Teuerung, wenn alle Kosten als reale Kosten mit Preisbasis im Jahre der Inbetriebnahme angegeben werden oder wenn angenommen wird, dass alle zukünftigen Kosten mit der Teuerung oder mit einem festen Prozentsatz über oder unter der Teuerung zunehmen. Die wichtige wirtschaftliche Annahme ist der Realzins, das heisst die Differenz zwischen dem Zinssatz und der Teuerung. Der Realzins ist wesentlich kleineren Schwankungen unterworfen als die Teuerung oder der Zinssatz, da Teuerung und Zinssatz miteinander schwanken. In der Vergangenheit hat sich der Realzins durchschnittlich zwischen 2% und 3% gehalten.

Die Stromgestehungskosten sind definitionsgemäss diejenigen Beträge, die pro kWh eingesetzt werden müssen, damit alle Kosten, das heisst die Investitions- und die Betriebskosten gedeckt werden können. Das heisst, der Barwert aus der zu den Gestehungskosten S bewerteten Stromproduktion E wird gleich der Summe aus den Investitionskosten I und dem Barwert der Betriebskosten B gesetzt. Bei der Barwertmethode wird angenommen, dass die nominellen Gestehungskosten mit der Teuerung jährlich zunehmen. Die errechneten durchschnittlichen Gestehungskosten S verstehen sich also als reale Kosten auf der Preisbasis 1991.

Wenn wir vereinfachend das Referenzjahr und das Jahr der Inbetriebnahme als identisch annehmen, werden die Stromgestehungskosten durch folgende Gleichung definiert:

$$\sum_{i=1}^{n} \frac{S_i^* \cdot E}{(1+r)^i \prod_{j=1}^{i}(1+q_j)} = I + \sum_{i=1}^{n} \frac{B_i^*}{(1+r)^i \prod_{j=1}^{i}(1+q_j)} \qquad (1)$$

S_i^* nominelle Stromgestehungskosten im Jahr i
B_i^* nominelle Betriebskosten im Jahr i
I Investitionskosten (unter Aufrechnung der Bauzinsen, Preisbasis 1991)
E durchschnittliche jährliche Stromproduktion
n Lebensdauer der Anlage
r realer Zinssatz
q_i Teuerung im Jahr i

$$S_i = \frac{S_i^*}{\prod_{j=1}^{i}(1+q_j)} \qquad B_i = \frac{B_i^*}{\prod_{j=1}^{i}(1+q_j)} \qquad (2)$$

S_i reale Stromgestehungskosten (Preisbasis 1991)
B_i reale Betriebskosten (Preisbasis 1991)

Die gesuchten durchschnittlichen, realen Stromgestehungskosten S über die Lebensdauer der Anlage (definitionsgemäss konstant, d. h. $S = S_i = S_j$) ergeben sich wie folgt:

$$S \cdot E \cdot \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{(1+r)^i} = I + \sum_{i=1}^{n} \frac{B_i}{(1+r)^i} \qquad (3)$$

Der Diskontierungssummenfaktor d ist definiert als:

$$d = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{(1+r)^i} = \frac{(1+r)^n - 1}{(1+r)^n r} \qquad S = \frac{I + \sum_{i=1}^{n} \frac{B_i}{(1+r)^i}}{d \cdot E} \qquad (4)$$

Für konstante reale Betriebskosten $B = B_i = B_j$ ergibt sich:

$$S = \frac{I + B \cdot d}{d \cdot E} = \frac{\frac{I}{d} + B}{E} \qquad (5)$$

Für eine konstante reale Betriebskostenteuerung t ergibt sich aus $B_i = B\,(1+t)^i$:

$$S = \frac{I + B \sum_{i=1}^{n} \frac{(1+t)^i}{(1+r)^i}}{d \cdot E} \qquad (6)$$

Prix de revient de l'électricité d'origine solaire

Les coûts d'investissements ont une influence décisive sur le prix des énergies renouvelables alors qu'en ce qui concerne les énergies fossiles, ce sont souvent les frais d'exploitation qui prédominent. La méthode de valeur actuelle permet de comparer correctement entre eux, sur le plan économique, des coûts et des revenus relevés à des moments différents.

Une telle comparaison montre que l'électricité d'origine solaire coûte actuellement 8 et 10 fois plus que l'électricité équivalente produite dans des centrales thermiques conventionnelles. En raison de l'évolution des coûts qu'il y a lieu d'attendre, cette différence diminuera probablement d'ici à l'an 2020 pour atteindre un facteur variant entre 2 et 3. Si l'on veut baisser encore davantage le prix de l'électricité d'origine solaire, il est indispensable de réduire, avant tout, les coûts d'installation.

Automatisch alles da.

Steuerungs- und Regelungssysteme, Antriebstechnik, Fluidtechnik, Sensorik, Robotik, Software und Services, Fachwissen

27.–30. Sept. 1994

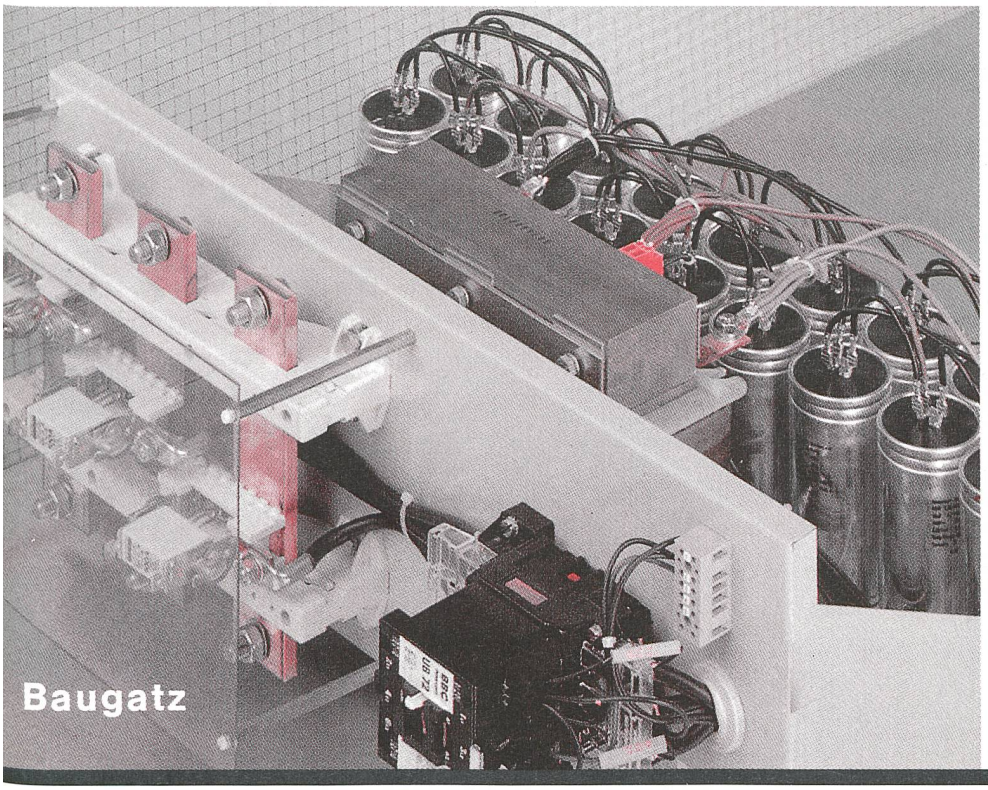
S.A.W.
SWISS AUTOMATION WEEK

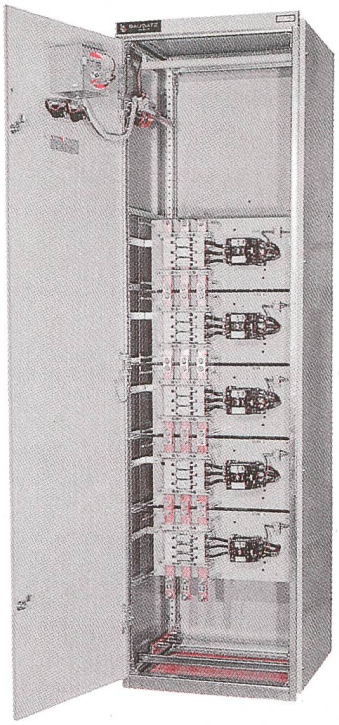
Messe Basel.

Nur an der Swiss Automation Week erwarten Sie die führenden Anbieter aus allen Bereichen der industriellen Automation. Unter einem Dach haben Sie die komplette Marktübersicht: 300 Aussteller präsentieren Neuheiten von 700 Unternehmen aus Europa, USA und Asien. Und viele Schnittstellen-, System- und Branchenlösungen. Dazu das «Forum Software und Services», die Sonderpräsentation «Forschung und Bildung» und einen praxisorientierten Kongress. Vom 27. bis 30. September 1994, täglich von 9 bis 18 Uhr in der Messe Basel. Information: Swiss Automation Week, CH-4021 Basel, Tel. (+41) 061 686 20 20, Fax (+41) 061 686 21 89. Willkommen zur produktivsten Fachmesse für industrielle Automation.

SCHOTEC AG

8810 Horgen 01/726 07 07





INFOCAM – für den Werkleitungskataster

INFOCAM – Die Gesamtlösung aus einem Haus

Durch die Integration des Moduls *WERKLEITUNGSKATASTER*, steht dem Anwender der volle Funktionsumfang eines modernen GIS/LIS zur Verfügung. Das Modul deckt die folgenden Ebenen ab:

- ***ELEKTRIZITÄT***
- ***FERNMELDEANLAGEN***
- ***TV***
- ***WASSER***
- ***ABWASSER***
- ***GAS***
- ***FERNWÄRME***

P 8/2-d

eica AG
rkaufsgesellschaft

Kanalstrasse 21, 8152 Glattbrugg, Tel. 01/ 809 33 11, Fax 01/ 810 79 37
Rue de Lausanne 60, 1020 Renens, Tel. 021/ 635 35 53, Fax 021/ 634 91 55

Leica

Alle reden von Energie.

Wir regeln, steuern und messen sie.

Die praktische Umsetzung der hochgesteckten Ziele von «Energie 2000» erfordert ein zukunftsweisendes, systemorientiertes Energie-Management. Eines, das Energieregelung, Energiesteuerung und Energiemessung eng miteinander verknüpft. Zellweger hat mehr als 45 Jahre Erfahrung im Bau von Rundsteueranlagen und zählt weltweit zu den drei grössten Herstellern in diesem Bereich. Dieses Know-how gibt uns den nötigen Vorsprung, um schon heute integrierte Systeme zu entwickeln, die den Anforderungen der Zukunft gewachsen sind. Ihr modularer Aufbau lässt jederzeit Anpassungen an geänderte Bedingungen zu. Rufen Sie einfach Telefon 01-954 81 11 an. Zellweger Energie in Fehraltorf ist auf Beratung spezialisiert.

zellweger energy

One step ahead

Zellweger Energie, CH-8320 Fehraltorf, Tel. 01 954 81 11

A Division of Zellweger Luwa AG, CH-8610 Uster