

# Vorurteile und Tatsachen zu Solarstrom

Daniel Rufer, Dr. sc. techn. ETH, MBA

Zum Thema Strom aus Photovoltaik (PV) kursieren in der Schweiz verschiedenste falsche Behauptungen. Einige dieser Vorurteile werden nachfolgend richtiggestellt. Detaillierte Quellenangaben ermöglichen eine transparente Überprüfung.

## 1. Welches Potenzial hat Solarstrom in der Schweiz?

**Vorurteil:** „Im Gegensatz zu Spanien oder Kalifornien ist die Produktion von Solarstrom in der Schweiz völlig unsinnig.“

**Tatsachen:**

■ Im Schweizer Mittelland (Küsnacht ZH) produzieren effiziente Photovoltaik-Anlagen heute rund  $185 \text{ kWh/m}^2$  im Jahr [1]. Der gesamte jährliche Stromverbrauch pro Person in der Schweiz liegt bei  $7'400 \text{ kWh}$  [2]. Um 20% dieses Stroms mit Photovoltaik (PV) zu produzieren, werden somit  $8 \text{ m}^2$  PV-Module pro Person benötigt. Allein auf den dafür geeigneten Dachflächen in der Schweiz könnten bis zu  $20 \text{ m}^2$  PV-Module pro Person installiert werden [3].

■ In den Schweizer Alpen liegt die solare Einstrahlung und damit die Stromproduktion bis zu 40% höher als im Mittelland und erreicht Werte wie in der Sahara [4], [5].

## 2. Können PV-Anlagen ihre graue Energie kompensieren?

**Vorurteil:** „Solarstrom ist in der Schweiz nicht nachhaltig, denn die zur Herstellung der PV-Anlagen benötigte graue Energie kann gar nie eingespart werden.“

**Tatsachen:**

■ Die graue Energie eines Produktes ist die nicht erneuerbare Primärenergie (Erdöl, Erdgas, Kohle, Uran), die zu dessen Herstellung und Entsorgung benötigt wird [6].

■ Die Herstellung und Entsorgung einer PV-Anlage (monokristalline Silizium-Module, Dachbefestigung, Wechselrichter, Elektroinstallation, entsprechender Anteil der Stromnetz-Infrastruktur und Anteil der Stromverluste im Netz) erfordern graue Energie von  $887 \text{ kWh/m}^2$  für in den Philippinen hergestellte PV-Module. Für in China hergestellte Module liegt die graue Energie bei  $1257 \text{ kWh/m}^2$  [1].

■ Eine Solarstromproduktion von jährlich  $185 \text{ kWh/m}^2$  (gemäss Ziff. 1) ersetzt die gleiche Menge Stromimporte in die Schweiz. Grund: Die Wasser- und Atomkraftwerke der Schweiz realisieren - unabhängig von Solarstromeinspeisungen - stets ihre maximale Jahresstromproduktion. Im europäischen Stromnetz reduzieren diese  $185 \text{ kWh}$  Solarstrom die 3,1-fache Menge an nicht erneuerbarer Primärenergie [7]. Mit  $1 \text{ m}^2$  PV-Modulen werden somit  $574 \text{ kWh}$  nicht erneuerbare Primärenergie eingespart.

■ Daraus folgt, dass die graue Energie der PV-Anlage bereits nach 1,5 Jahren amortisiert ist (= 887 / 574). Bei Solarmodulen aus China ist die graue Energie der PV-Anlage nach 2,2 Jahren amortisiert (= 1257 / 574). Somit kann eine PV-Anlage während ihrer mindestens 30-jährigen Betriebsdauer 14- bis 20-mal mehr nicht erneuerbare Primärenergie einsparen, als ihre Herstellung benötigte.

■ Gas-, Kohle- und Atomkraftwerke benötigen im Betrieb dauernd mehr nicht erneuerbare Primärenergie, als sie Strom produzieren (s. Ziff. 3). Sie können deshalb die zu ihrer Herstellung und Entsorgung benötigte graue Energie gar nie kompensieren.

### **3. Wie wirkungsvoll ist die Stromproduktion?**

**Vorurteil:** „Photovoltaik hat einen im Vergleich zu konventionellen Kraftwerken sehr schlechten Wirkungsgrad.“

#### **Tatsachen:**

■ Effiziente Solarmodule haben heute einen Wirkungsgrad von über 21%, d.h. von der einfallenden Solarstrahlung (Primärenergie) wird 21% in elektrische Energie umgewandelt [8]. Dieser Wirkungsgrad wurde in den letzten Jahren kontinuierlich erhöht und wird künftig weiter steigen [9].

■ Atomkraftwerke wandeln die als Uran vorhandene Primärenergie mit einem Wirkungsgrad von weniger als 25% in Strom um, d.h. 75% der nicht erneuerbaren Primärenergie ist Verlust [7].

■ Solarmodule und Atomkraftwerke haben somit nahezu den gleichen Wirkungsgrad. Die Solarenergie ist aber unerschöpflich und risikofrei.

### **4. Wie umweltbelastend ist Solarstrom?**

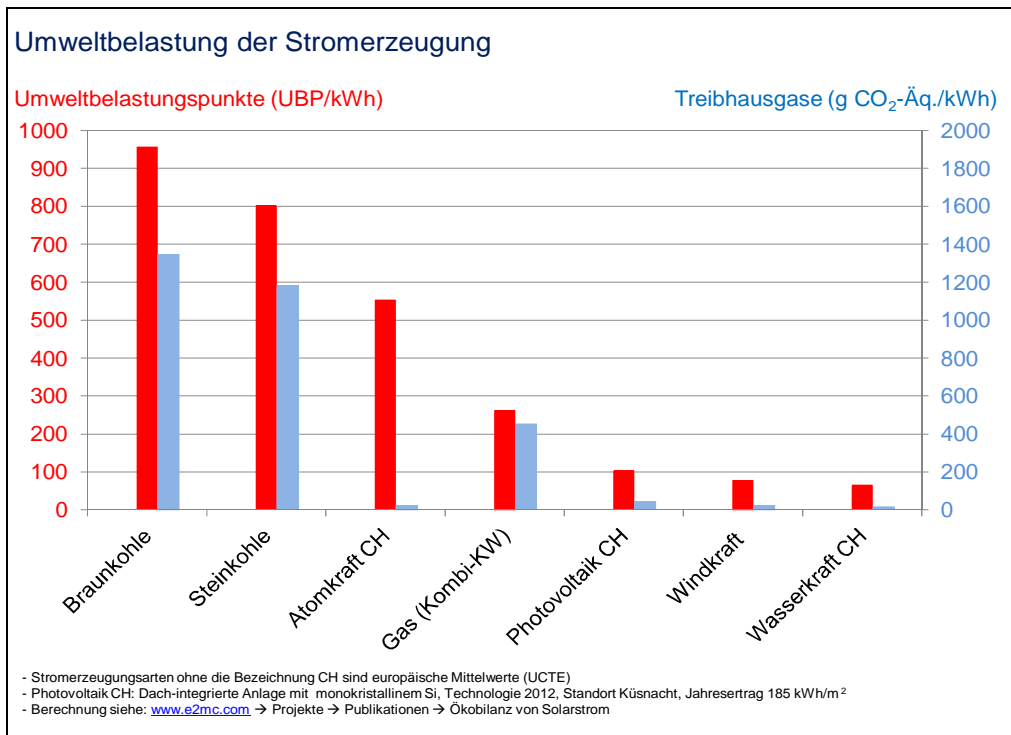
**Vorurteil:** „Die Photovoltaik ist im Vergleich zu anderen Kraftwerken sehr material- und betriebsintensiv. Mit PV-Anlagen entstehen grosse Mengen an CO<sub>2</sub>-Emissionen und Sonderabfall.“

#### **Tatsachen:**

■ PV-Anlagen sind während ihrer gesamten Betriebsdauer (mindestens 30 Jahre) völlig emissionsfrei und praktisch wartungsfrei. Je nach Standort ist alle paar Jahre eine einfache Reinigung der Oberfläche sinnvoll.

■ Bei der Herstellung und Entsorgung von Produkten – seien es Waschmittel, Mobiltelefone oder Brennstäbe für Atomkraftwerke – fallen stets Emissionen und Sonderabfälle an. Entscheidend ist dabei die Art und Menge der Umweltbelastungen. Ein anerkannter Indikator dafür sind die „Umweltbelastungspunkte“ [10]. Die nachfolgende Grafik zeigt, dass Solarstrom (zusammen mit Wind- und Wasserkraft) klar die geringste Umweltbelastung aufweist.

■ PV-Module basieren auf Silizium, d.h. auf dem weit verbreiteten Quarzsand. Am Ende der Lebensdauer sind die Module zu 85% und deren Befestigung zu 100% rezyklierbar [11].



## 5. Was kostet Solarstrom?

**Vorurteil:** „Die Gestehungskosten von Solarstrom sind unbezahlbar und erfordern deshalb extrem hohe staatliche Subventionen.“

### Tatsachen:

- Die Gestehungskosten von Solarstrom beinhalten Verzinsung, Abschreibung und Wartung der PV-Module, der Dachbefestigung, des Wechselrichters und der Elektroinstallation. In Deutschland liegen diese Kosten heute je nach Standort und Grösse der PV-Anlage bei 10-17 Rappen pro kWh Solarstrom (ohne Subventionen, mit einer Abschreibungsdauer von 25 Jahren [12]).
- In der Schweiz liegen die Gestehungskosten von Solarstrom wegen höheren Montage-, Installations-, Wartungs- und Kapitalkosten heute noch bei rund 15-21 Rappen pro kWh. Die darauf basierende kostendeckende Einspeisevergütung KEV beträgt (da sie nur über 20 Jahre, statt über die gesamte Abschreibungsdauer von 25 Jahren ausbezahlt wird) 17-26 Rappen pro kWh Solarstrom [13]. Diese Vergütung ist für Privatpersonen netto 15 bis 30% tiefer, denn sie muss als zusätzliches Einkommen versteuert werden.
- Für die Energiestrategie 2050 der Schweiz sind die in 15-20 Jahren zu zahlenden Kosten von Solarstrom relevant. Ab 2030 kann mit Kosten von weniger als 7-11 Rappen pro kWh Solarstrom gerechnet werden [12].
- Strom aus neuen Gaskraftwerken kostet 9-12 Rappen pro kWh [12]. Für Strom aus neuen Atomkraftwerken werden in England 13 Rappen pro kWh verlangt [14]; inkl. Risikoversicherung wären diese Kosten mehr als doppelt so hoch [5].
- PV-Anlagen werden somit künftig zu den kostengünstigsten Stromerzeugungsarten in der Schweiz gehören.

## 6. Stromspeicherung und Netzausbau wegen Solarstrom?

**Vorurteil:** „Solar- und Windstrom sind nicht planbar und nicht speicherbar. Damit kann die konstante Stromproduktion der Kernkraftwerke nicht ersetzt werden. Nachts und bei Windstille werden die Lichter ausgehen.“

### **Tatsachen:**

- Die Schweiz ist mit den bestehenden und geplanten Stauseen und Wasserkraftwerken optimal in der Lage, den Strom aus den fünf Atomkraftwerken durch Solar- und Windenergie zu ersetzen. Dies zeigen unabhängige Studien [5], [15].
- Dank Solarstrom kann die Stromproduktion der Wasserkraftwerke tagsüber stark reduziert werden. Nachts und an nebligen Tagen kann deren Stromproduktion entsprechend erhöht werden. In gleicher Weise können die Wasserkraftwerke durch Produktionsverschiebung (ohne Pumpspeicherung) auch unterschiedlich anfallenden Windstrom verlustfrei ausgleichen.
- Die Produktion von Solar- und Windstrom ist dank Wetterprognosen tages- und stundenweise im Voraus planbar. Darauf basierend kann der Einsatz der Wasserkraftwerke - und teilweise auch der Stromverbrauch - so gesteuert werden, dass Produktion und Verbrauch von Elektrizität jederzeit übereinstimmen.
- Der Anteil Solarstrom in der Schweiz betrug Ende 2012 rund 0,6% [16]. Erst wenn dieser Anteil in einigen Jahrzehnten bei 20-30% liegen wird, kann an einzelnen sonnigen Sommertagen die Solarstromproduktion grösser sein als der Stromverbrauch. In solchen Fällen kann die Solarstromproduktion während kurzer Zeit gedrosselt werden oder der überschüssige Solarstrom kann exportiert oder in dezentralen Batterien für einige Stunden zwischengespeichert werden [15].
- Ein Ausbau des schweizerischen Stromnetzes ist notwendig, weil der Stromhandel mit dem Ausland in den letzten Jahren stark zugenommen hat [2]. Eine künftig hohe Solarstromproduktion erfordert nur in Ausnahmefällen Netzverstärkungen (z.B. Zuleitungen zu Bauernhöfen mit grossen PV-Anlagen). Insgesamt entlasten die dezentralen Stromeinspeisungen das Stromnetz und reduzieren die Netzverluste der Elektrizitätswerke [1], [17].

## 7. Gesamtkosten der künftigen Stromversorgung?

**Vorurteil:** „Die Energiewende in Deutschland ist eine Vernichtung von enormen volkswirtschaftlichen Werten. Für die Schweiz ist sie nicht zur Nachahmung empfohlen.“

### **Tatsachen:**

- Deutschland hat es fertiggebracht, in den letzten 6 Jahren den Atomstromanteil von 27% auf 16% zu reduzieren (Abschaltung der risikoreichsten Kraftwerke) und durch Strom aus Wind- und PV-Anlagen zu ersetzen [18]. Der Strom aus fossilen Kraftwerken ist um 2,6% reduziert worden. Dank der deutschen Energiewende sind die Kosten für Solarstrom nun auch in der Schweiz stark gesunken.
- Eine Stromversorgung der Schweiz, die ausschliesslich auf erneuerbaren Energien (Wasser, Sonne, Wind, Biogas etc.) beruht, ist insgesamt nicht teurer als wenn neue Gas- oder Atomkraftwerke eingesetzt würden [5]. Die Stromkosten liegen für alle Szenarien im Bereich von 16-18 Rappen pro Kilowattstunde.

## Quellen mit Begründungen

- [1] Rufer D., Braunschweig A. (2013) Ökobilanz von Solarstrom. [www.e2mc.com](http://www.e2mc.com) → Projekte → Publikationen → Ökobilanz von Solarstrom
- [2] Bundesamt für Energie BFE (2013) Schweizerische Elektrizitätsstatistik 2012. BBL, Verkauf Bundespublikationen, Bern
- [3] International Energy Agency (2002) Potential of Building Integrated Photovoltaics. Report IEA - PVPS T7-4; [www.netenergy.ch/pdf/BipvPotentialSummary.pdf](http://www.netenergy.ch/pdf/BipvPotentialSummary.pdf)
- [4] Akademien der Wissenschaften Schweiz (2012) Zukunft Stromversorgung Schweiz. [www.akademien-schweiz.ch/index/Publikationen/Berichte.html](http://www.akademien-schweiz.ch/index/Publikationen/Berichte.html)
- [5] Gunzinger A. (2013) Kann sich die Schweiz mit Strom aus nur erneuerbaren Energien selbst versorgen? [www.electrosuisse.ch/de/verband/etg/etg-rueckblicke/131204-energieeffizienz.html](http://www.electrosuisse.ch/de/verband/etg/etg-rueckblicke/131204-energieeffizienz.html)
- [6] Merkblatt SIA 2032 (2009) Graue Energie im Fokus. SIA Verlag, Zürich
- [7] Itten R., Frischknecht R., Stucki M. (2013) Life Cycle Inventories of Electricity Mixes and Grid. ESU-services, Uster
- [8] Datenblätter Solar-Module von SunPower (2013). [www.sunpowercorp.de](http://www.sunpowercorp.de)
- [9] International Technology Roadmap for Photovoltaic, Results 2012. [www.itrpv.net](http://www.itrpv.net)
- [10] Frischknecht R., Steiner R., Jungbluth N. (2009) Methode der ökologischen Knappheit – Ökofaktoren 2006. Bundesamt für Umwelt, Bern
- [11] PV Cycle (2013) Recycling of Silicon based PV. <http://www.pvcycle.org/pv-recycling/recycling-of-si/>
- [12] Fraunhofer ISE (2013) Stromgestehungskosten erneuerbare Energien. [www.ise.fraunhofer.de](http://www.ise.fraunhofer.de)
- [13] Energieverordnung EnV (Stand 1. Januar 2014) Systematische Rechtssammlung SR 730.01. [www.admin.ch](http://www.admin.ch)
- [14] Rasonyi P. (24.10.2013) Hastige Renaissance der Kernenergie. NZZ Nr. 247, Seite 9
- [15] Andersson G., Boulouchos K., Bertschinger L. (2011) Energiezukunft Schweiz. Energy Science Center, ETH Zürich
- [16] Hostettler Th. (2013) Markterhebung Sonnenenergie 2012. Swissolar, im Auftrag des Bundesamts für Energie BFE, Bern
- [17] Bucher Ch. (2012) Auswirkungen eines hohen Photovoltaikanteils auf das Niederspannungsnetz. Nationale Photovoltaik-Tagung 2012, Baden
- [18] Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (2013) Energiedaten: Gesamtausgabe. [www.bmwi.de](http://www.bmwi.de)

## Autor

Daniel Rufer, Dr. sc. techn. ETH, MBA

E2 Management Consulting AG, Wehntalerstrasse 3, 8032 Zürich, Mail: [drufer@e2mc.com](mailto:drufer@e2mc.com)

Der Autor freut sich auf Rückmeldungen, Fragen, Präzisierungen oder Aktualisierungen.

7.04.2014