

Umweltdumping versus Technikexzellenz

Wie Marktveränderungen und Technologieentwicklung die Ökobilanz von Solarstrom beeinflussen

Rolf Frischknecht,
Matthias Stucki, Karin Flury
ESU-services GmbH, Uster, Schweiz



10. Nationale Photovoltaik-Tagung 2012
TRAFO Baden, Schweiz, 23. März 2012

Nissan LEAF Concept

- Top
- Concept
- Design
- Interview
- Spec
- Gallery
- Regional Product Sites

ZERO-EMISSION

REAL-WORLD ELECTRIC CAR • DISTINCTIVE DESIGN • CONNECTED MOBILITY

Echo der Zeit



Vorhergehender Beitrag

Nächster Beitrag

Beitrag 5 von 7 aus Echo der Zeit vom Donnerstag, 18.11.2010, 18.00 Uhr, DRS Sendetermine 1 und DRS 4 News

ETH-Professoren fordern null-Emission, statt Null-Energie

Die ETH Zürich fordert einen Paradigmenwechsel beim Bauen. Um der Klimaerwärmung entgegenzuwirken, müssten Gebäude so gebaut oder saniert werden, dass sie im Betrieb keine Schadstoffe mehr produzieren. Die Energiebilanz sei dabei zweitrangig. Mit ihrem «Zero Emissions-Ansatz» kritisiert das Departement Architektur der ETH Zürich auch hoch gehaltene Labels wie «Minergie» und «2000 Watt-Gesellschaft», die vor allem auf tiefen Energieverbrauch setzen.

CO2-freie Stromproduktion

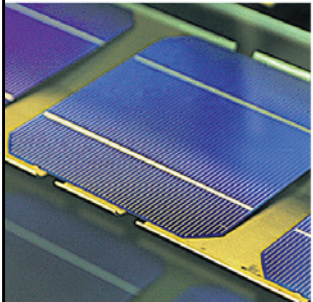
Quelle: www.viaggiata.ch



NZZ executive

Errungenschaften der Technik

Solarzellen – sauber, aber teuer



Genau wie den Transistor und die integrierte Schaltung verdanken wir die Solarzelle der Halbleitertechnik und dem mit grossem Abstand am häufigsten eingesetzten Halbleiter Silizium. Ganz reines Silizium ist ein elektrischer Isolator, schon analytisch nicht mehr nachweisbare Verunreinigungen machen es zum Halbleiter. Um exakt maassgeschneiderte Halbleiter-Eigenschaften zu erhalten, gibt man dem Silizium gezielt Verunreinigungen zu, was als Dotieren bezeichnet wird.

Funktionsweise
Dotiert man das chemisch vierwertige Silizium mit dreiwertigem Bor, so erhält man aufgrund des Überschusses positiver Ladungsträger (sog. Löcher) ein Kristallgitter die sog. p-Leitung. Dotiert man mit einem fünfwertigen Element wie Phosphor oder Arsen, so erhält das Silizium einen Überschuss negativer Ladungsträger (Elektronen), es wird n-leitend. Interessant wird es, wenn man durch Diffusion oder Ionen-Implantation von Dotierungselementen beider Arten einen sog. pn-Übergang schafft, wo die p-Leitung scharf zur n-Leitung übergeht. Solche Übergänge sind die Grundbedingung für die Herstellung von Transistoren und Solarzellen.

Ladungsträger zur n-Region gezogen, die negativen zur p-Region. Die Ladungen werden also getrennt, die elektrische Spannung am pn-Übergang ändert sich. Sind auf beiden Seiten des pn-Übergangs gut leitende Elektroden vorhanden, haben wir bereits eine funktionierende Solarzelle. Denn man können die vom Licht mobilisierten Elektronen über einen externen Verbraucher (Lampe, Motor sind dergleichen) unter Arbeitsleistung zur p-Seite fliessen, wo sie positive Ladungsträger neutralisieren.

Wirkungsgrad
Silizium-Solarzellen sprechen auf das gesamte Lichtspektrum an, von Ultraviolett bis zum Infrarot. Der Wirkungsgrad der Umwandlung von Licht in elektrische Energie hängt stark von der Dichte der Fehlstellen im Kristallgitter ab, wo die Ladungsträgerpaare rekombinieren können. Man bringt darum den pn-Übergang möglichst nahe zur lichtempfindlichen Oberfläche. Mit ultrareinen, monokristallinen (und sehr kostspieligen) Silizium erreicht man einen Wirkungsgrad von 30 Prozent, doch zeitlich man nicht die Halbleitertechnik, aber viel billigere polykristalline Silizium war der Wirkungsgrad von Transistoren aber folgte ein über

«Die spektakulären Vorteile der Silizium-Solarzelle müssen mit handfesten Nachteilen erkauft werden.»

mehr mithalten kann. Schon in den nächsten Jahren muss man mit einer massiven Verteuerung rechnen.

Ungünstige CO₂-Bilanz
Die spektakulären Vorteile der Silizium-Solarzelle müssen mit handfesten Nachteilen erkauft werden. Silizium ist zwar das zweithäufigste Element in der Erdkruste, doch um es in der erforderlichen Reinheit zu produzieren, muss sehr viel Energie investiert werden (etwa 100 Kilowattstunden pro Kilogramm). Entsprechend schlecht ist die CO₂-Bilanz, auch wird die isolierte Energie erst in zwei bis fünf Jahren amortisiert.

Geringe Verfügbarkeit
Der inhärente Nachteil des Solarstroms ist neben seinem hohen Preis (10) bis 12 ct/kWh, esu-services.ch

Alternative Energien haben vielen Anlegern wenig Freude bereitet – Aussicht auf Besserung besteht kaum

Neben der Austeritätspolitik der öffentlichen Hand leidet der Sektor auch unter der Konkurrenz durch chinesische Unternehmen. Diese vermögen photovoltaische Anlagen und das zu ihrer Herstellung notwendige Polysilizium weitaus billiger zu produzieren als ihre westlichen Mitbewerber. Die kosten-

Verleintes Geld statt verhaltenen Öl: Eisest werden Solar- und Windenergie als Zukunftsbranchen gefeiert, doch an der Börse zeigten sie wenig Leistung. Überkapazitäten und wogelwühlende Subventionen werden beide Sektoren noch länger belasten.

Christian Gatzeliger
Wenn der Winter Helvetia den Rücken kehrt, mag bei manchen Anlegern das Vertrauen in erneuerbare Energien wachsen. Die Frühlingssonne scheint nicht nur das Herz, sie bestärkt auch die photovoltaischen Zellen der Solarkraftanlagen; und frischer Wind treibt die Flügel der Windräder an. Wer sich indes in den vergangenen Jahren, ob von Frühlingsgewittern oder von eisigenberichten Aktienanalysen inspiriert, im Investment im Bereich der alternativen Energien entschlossen hat, nicht heute nach einer langen Serie von enttäuschenden Kursrückwärtigkeiten mit viel Verlusten, die kaum mehr regenerierbar scheinen.

So liegt etwa der Bloomberg-Index der globalen Windkraftindustrie, der 14 Hersteller und Betreiber von Windturbinen umfasst, heute 60% tiefer als Anfang 2009 – zu einem Zeitpunkt, als der Aktienmarkt als Ganzes sehr niedrig notierte. Der Börsenindex S&P 500 etwa liegt im gleichen Zeitraum 47% tiefer. Bei der Sonnenenergie sieht es ähnlich düster aus. Der Bloomberg-Index der Solarindustrie hat seit Januar 2009 nicht als 47% eingebrochen. Dabei haben sich Photovoltaikunternehmen lange Zeit vergleichsweise gut. Nach Ende April 2011 lag der Solar-Index bei etwa 50 Zählern. Dann aber folgte ein über

Lange ersehnt das Geschäft mit erneuerbaren Energien als Selbstläufer. Doch diese Zeiten sind vorbei. www.esu-services.ch

hatten. Die Hoffnungen auf kräftiges Wachstum hätten sich aber nicht erfüllt – vor allem, weil bei unbewegtem Strom aus Solis auch aus Windkraft bei den Kosten mit klassischen Energieträgern konkurrieren könnte. Alternative Energien waren und sind auf staatliche Unterstützung durch Direktsubventionen und garantierte Mindestpreise bei der Einspeisung angewiesen. Die Wirtschaftstechnologie lautstarke Pfeiler des Neuen der Austeritätspolitik der öffentlichen Hand leidet der Sektor auch unter der Konkurrenz durch chinesische Unternehmen. Diese vermögen photovoltaische Anlagen und das zu ihrer Herstellung notwendige Polysilizium weitaus billiger zu produzieren als ihre westlichen Mitbewerber. Die Kosten-
Besser stehen Industriekonzerne da, die neben der Windkraft noch auf andere Geschäftsfelder bauen können, etwa Siemens oder General Electric. Generell meint ein Analyst der CS, wie direkt aber aus dem Geschäft mit dem Wind die Luft raus.
Zu Investments in Solarstruktur ist ebenfalls kaum jemand. Derzeit, so ein Branchenexperte von Sarasin, sei an-
esu-services.ch

Schlüsselfragen

- Wie hoch sind die Umweltauswirkungen von heutigem Solarstrom, wenn der gesamte Lebenszyklus von Solaranlagen beurteilt wird?
- Wie beeinflusst die Herstellung in China die Umweltperformance von Solarstrom?
- Wie kann die Umweltperformance von Solarstrom optimiert werden?

Methode der Ökobilanz

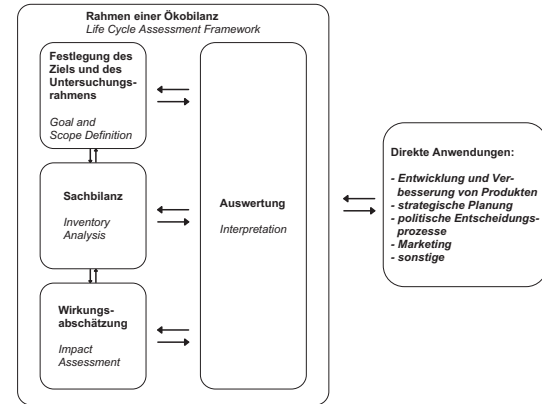
- Systematische Analyse der Umweltauswirkungen über den ganzen Lebenszyklus
- Beurteilung aller Emissionen in Luft, Boden und Wasser
- Ermittlung der Ressourcenverbräuche wie Energie, Land und Mineralien



Systemumfang Solarstrom

- Herstellung der Ausgangsmaterialien
- Produktion der Solarzellen, Wafer und Module
- Herstellung von Montagesystem und Wechselrichter
- Anlagebau, -betrieb und -entsorgung

Methode der Ökobilanz in der ISO-14040 Norm



Hauptcharakteristika der Anlage

Anlagegrösse (Nennleistung)	3 kW _p
Zelltechnologie	Multikristalline Siliziumzellen
Zelleffizienz	14,4 %
Moduleffizienz	2025: 17 - 22%; 2050: 18 - 25%
Standort	Schweiz
Modultyp	Gerahmte Paneele *
Montagesystem	Aufgesetzt auf Schrägdach *
Lebensdauer der Anlage	30 Jahre
Ertrag	922 kWh / kW _p
* Anlage 2025 und 2050: dachintegrierte, rahmenlose Laminare	

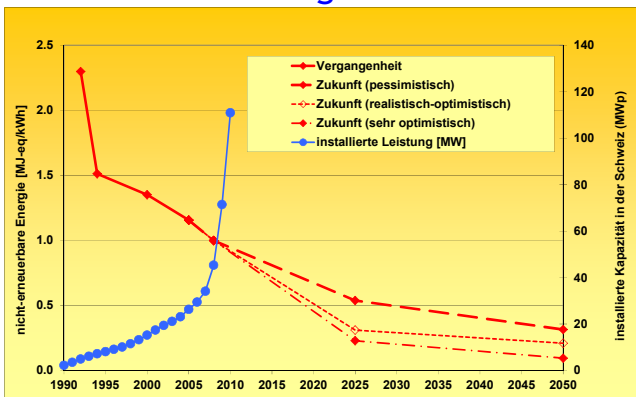
Hauptcharakteristika Fallbeispiel



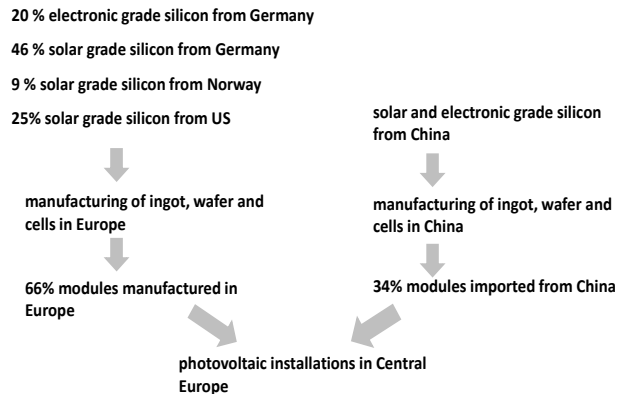
- Standort: Uster
- Sunpower E19 / 240
- Monokristallin
- Moduleffizienz: 19.3%
- Fläche: 32 m²

- Leistung: 6.48 kWp
- Ertrag: ca. 6'200 kWh/kWp

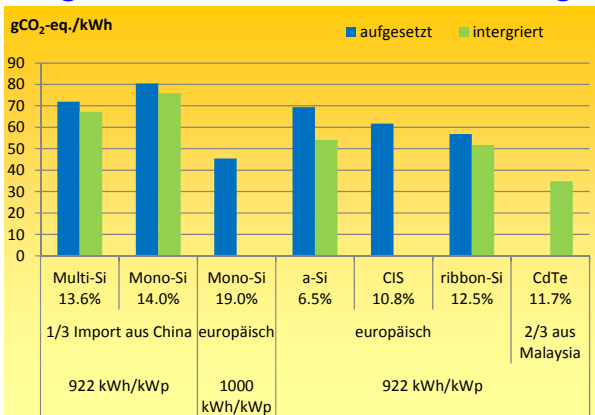
Entwicklung 1990-2050



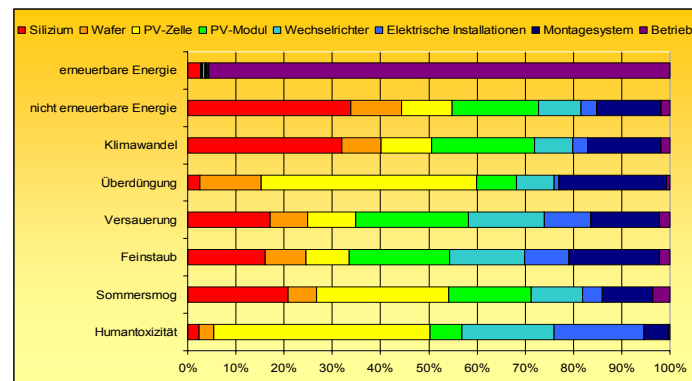
Modellierung: Herkunft Module & Silizium



Vergleich verschiedener Technologien



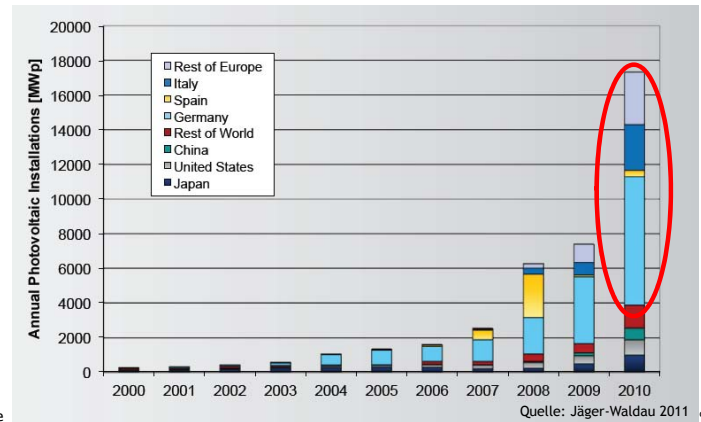
Umweltbelastungsanteile der Prozess-Stufen



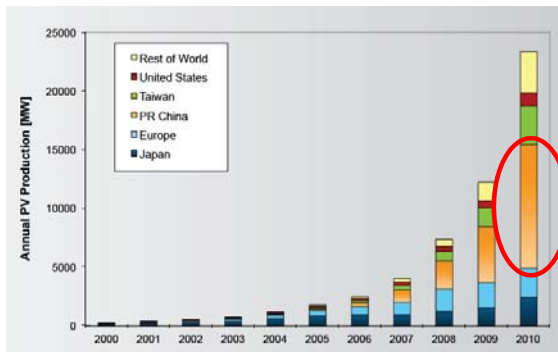
Resultate

- Die wichtigsten Beiträge zu den Umweltbelastungen von Solarstrom kommen aus der Siliziumproduktion und der Herstellung von Wafer, Solarzellen, Modulen und dem Montagesystem.
- Der Verbrauch nicht-erneuerbarer Energie wurde seit den 90er Jahren stetig reduziert.
- Strom aus CdTe-Laminaten hat einen tieferen CO₂-Fussabdruck als Strom aus siliziumbasierten Paneelen.

Europa ist führend im Bau von PV-Anlagen



Enormes Wachstum der chinesischen Produktion



→ Schweiz importiert Module aus China

Quelle: Jäger-Waldau 2011

Umweltvergehen in China

NZZOnline

Freitag, 10. März 2011, 15:03 Uhr

NACHRICHTEN FINANZEN MAGAZIN MARKTPLÄTZE

Startseite · Politik · Wirtschaft · Kultur · Digital · Sport · Zürich · Panorama

Nachrichten · Politik · International

Twittern Einstecken Senden

20. September 2011, Neue Zürcher Zeitung

Erneut ein erfolgreicher Protest in China

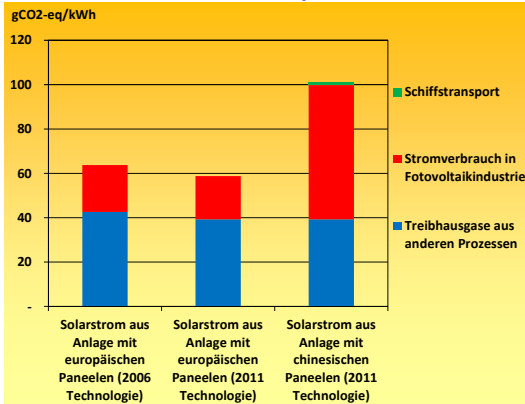
Ein Unternehmen stellt nach Umweltsünden vorerst die Produktion ein

Nach tagelangen Protesten von Anwohnern gegen eine Solarzellenfabrik im Osten Chinas hat die Lokalverwaltung das Werk geschlossen. Das Unternehmen gestand Umweltvergehen ein.

mac. Peking · In China hat erneut eine Fabrik auf Druck der örtlichen Bevölkerung ihre Tore zumindest vorübergehend schliessen müssen. Die Lokalverwaltung der Stadt Haining in der an Industriebetrieben reichen ostchinesischen Provinz Zhejiang südlich von Shanghai ordnete nach tagelangen Protesten von Anwohnern an, die Produktion eines Solarzellenwerks müsse eingestellt werden, weil dieses Umweltnormen verletzt habe. Die Fabrik gehört zur [Linko Solar Holdings](#), deren Aktien an der New Yorker Börse gehandelt werden.

NZZ 20.9.2011

Vergleich der Treibhausgasemissionen durch chinesische und europäische PV-Module



Resultate

- Europa ist Marktführer beim Bau von Fotovoltaik-Anlagen
- China ist Marktführer bei der Fotovoltaik-Produktion
- Technologische Fortschritte werden durch die Produktionsverlagerung nach Asien überkompensiert
- Strom aus PV-Anlagen chinesischer Herkunft hat um 70 % höhere Treibhausgas-Emissionen als Solarstrom aus Anlagen europäischer Herkunft

Umweltauswirkungen von PV

- Je nach Technologie zwischen 35 und 80 g CO₂-eq pro kWh (ab Klemme)
- wesentliche Komponenten: Herstellung Silizium, Wafer, Solarzellen, Module und Montagesystem
- Weitere Reduktionen infolge zukünftiger technischer Entwicklung zu erwarten

Einfluss Chinesische Produktion

- Stromintensive Siliziumherstellung
- Kein (nachweislicher) Einsatz erneuerbaren Stroms
- Deutliche Erhöhung der Umweltintensität von Solarstrom aus chinesischen Modulen
- Vereinfachte Bilanzierung
- Informationslage chinesische Produktion verbessern

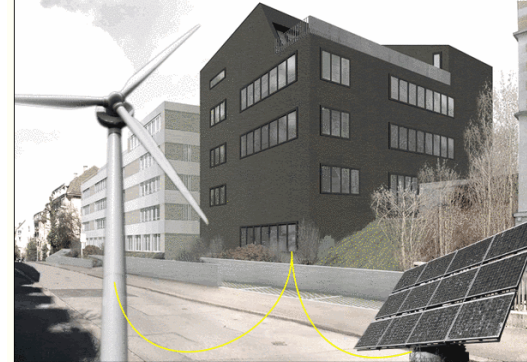
Optimierung Umweltperformance

- Strahlungsintensive Standorte und Ausrichtung
- Europäische Module mit hoher Effizienz
- CdTe Module
- Ressourcenschonende Montagesysteme
- Solarstrom ersetzt Strom aus Kohle-, Gas- oder Atomkraftwerken

Ökologische Stromproduktion

Niedrig-Emissions-Haus dank Solarstrom!

Quelle: www.viaggiata.ch



Herzlichen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Rolf Frischknecht
frischknecht@esu-services.ch
www.esu-services.ch
ESU-services, Uster, Schweiz

Verdankung: Die hier vorgestellten Arbeiten wurden ermöglicht dank finanzieller Unterstützung durch das Schweizerische Bundesamt für Energie (BFE).

Energierückzahldauer

entspricht der Zeit, bis eine Fotovoltaik-Anlage durch ihre Stromproduktion den Verbrauch nicht erneuerbarer Primärenergie um so viel reduziert hat, wie für die Herstellung der Anlage benötigt wurde.

Referenzsystem: Bedarf an nicht erneuerbarer Primärenergie des europäischen Strommixes

Energie-Rückzahldauer von PV-Anlagen



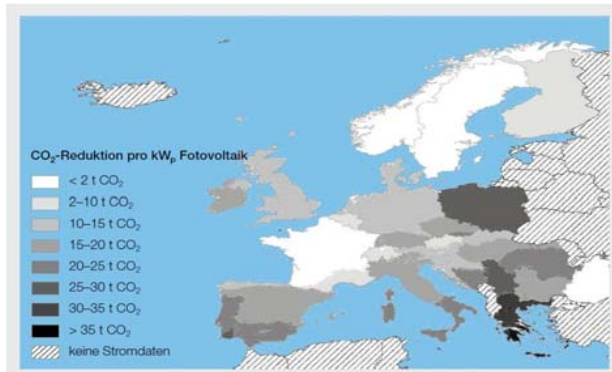
Reduktionspotenzial

entspricht der Menge Emissionen oder Abfall, welche eine Fotovoltaik-Anlage im Laufe ihrer Lebensdauer durch ihre Stromproduktion reduzieren hilft.

Emissionen und Abfälle, welche während der Herstellung der Anlage verursacht wurden, werden in Abzug gebracht.

Referenzsystem: Strommix des Landes, in welchem die Anlage installiert wird

Treibhausgas-Reduktionspotenzial von PV-Anlagen



Reduktion radioaktiver Abfälle durch Solarstrom

