

# Warum Solarstrom nicht klimaneutral aber trotzdem umweltfreundlich ist

## aktuelle Ökobilanzen zu Fotovoltaik

**Matthias Stucki, Karin Flury**

**Rolf Frischknecht**

ESU-services GmbH., Uster, Switzerland



27. Symposium Photovoltaische Solarenergie  
Bad Staffelstein, Deutschland, 29. Februar - 2. März 2012



Klimaneutrales Null-Emissions-Haus dank Solarstrom?

## Schlüsselfragen

- Wie hoch sind die Umweltauswirkungen von heutigem Solarstrom, wenn der gesamte Lebenszyklus von Solaranlagen beurteilt wird?
- Inwiefern kann Fotovoltaik die Umweltintensität der Stromproduktion vermindern?
- Wie kann die Umweltperformance von Solarstrom optimiert werden?

## Methode der Ökobilanz

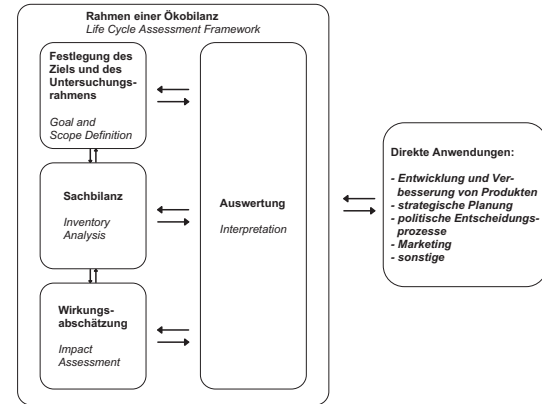
- Systematische Analyse der Umweltauswirkungen über den ganzen Lebenszyklus
- Beurteilung aller Emissionen in Luft, Boden und Wasser
- Ermittlung der Ressourcenverbräuche wie Energie, Land und Mineralien



## Systemumfang Solarstrom

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

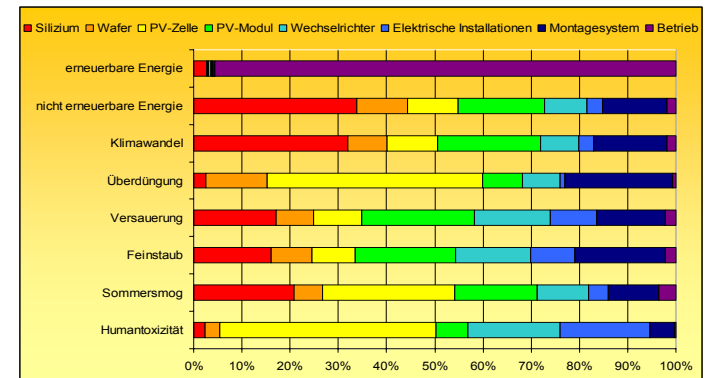
## Methode der Ökobilanz in der ISO-14040 Norm



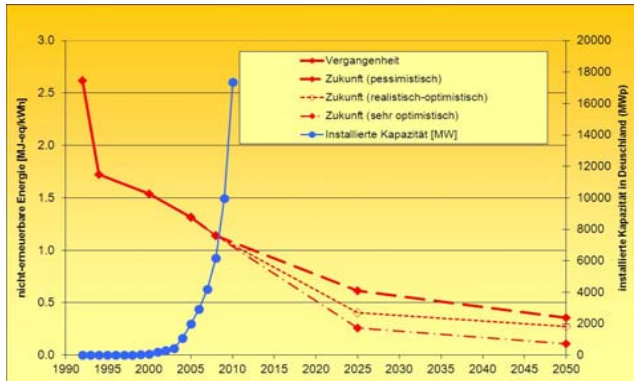
## Hauptcharakteristika der Anlage

Anlagegrösse (Nennleistung)	3 kW <sub>p</sub>
Zelltechnologie	Multikristalline Siliziumzellen
Zelleffizienz	14,4 %
Moduleffizienz	2025: 17 - 22%; 2050: 18 - 25%
Standort	Deutschland
Modultyp	Gerahmte Paneele *
Montagesystem	Aufgesetzt auf Schrägdach *
Lebensdauer der Anlage	30 Jahre
Ertrag	809 kWh / kW <sub>p</sub>
* Anlage 2025 und 2050: dachintegrierte, rahmenlose Laminate	

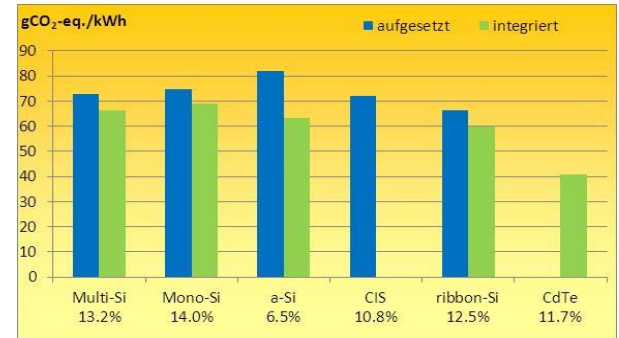
## Umweltbelastungsanteile der Prozess-Stufen



## Entwicklung 1990-2050



## Vergleich verschiedener Technologien



## Resultate

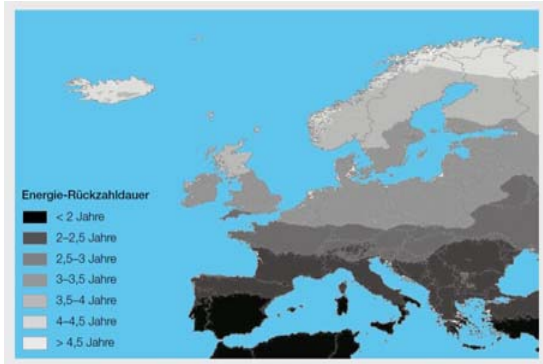
- Die wichtigsten Beiträge zu den Umweltbelastungen von Solarstrom kommen aus der Siliziumproduktion und der Herstellung von Wafer, Solarzellen, Modulen und dem Montagesystem.
- Der Verbrauch nicht-erneuerbarer Energie wurde seit den 90er Jahren stetig reduziert.
- Strom aus CdTe-Laminaten hat einen tieferen CO<sub>2</sub>-Fussabdruck als Strom aus siliziumbasierten Paneelen.

## Energierückzahldauer

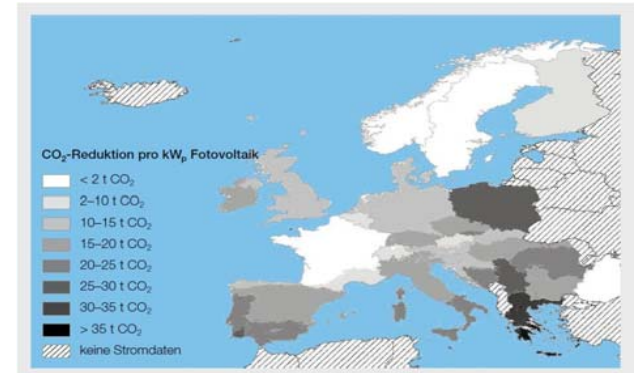
entspricht der Zeit, bis eine Fotovoltaik-Anlage durch ihre Stromproduktion den Verbrauch nicht erneuerbarer Primärenergie um so viel reduziert hat, wie für die Herstellung der Anlage benötigt wurde.

Referenzsystem: Bedarf an nicht erneuerbarer Primärenergie des europäischen Strommixes

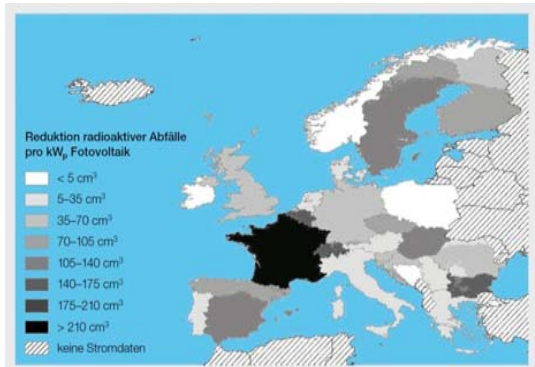
## Energie-Rückzahldauer von PV-Anlagen



## Treibhausgas-Reduktionspotenzial von PV-Anlagen



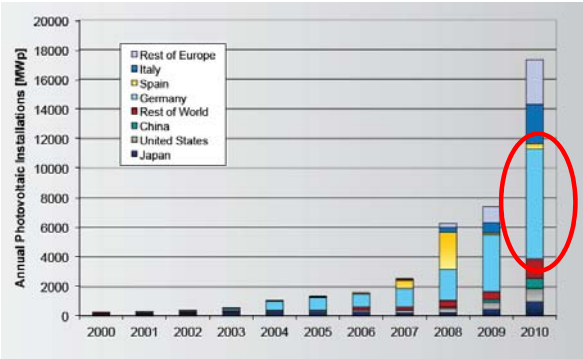
## Reduktion radioaktiver Abfälle durch Solarstrom



## Resultate

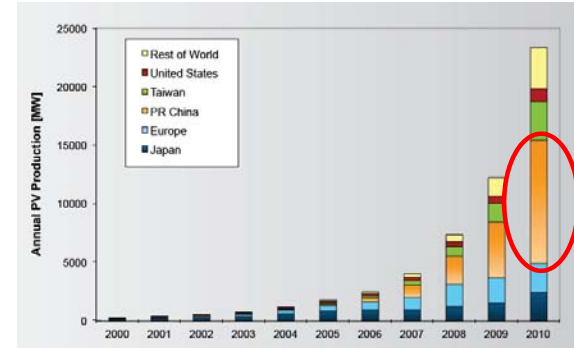
- In Südeuropa beträgt die Energie-Rückzahldauer weniger als 2 Jahre
- 1 kWp Solaranlage kann folgende Umweltbelastungen reduzieren:
  - Mehr als 35 Tonnen Treibhausgase (Griechenland)
  - Mehr als 210 cm<sup>3</sup> hochradioaktive Abfälle (Frankreich)

## Deutschland ist führend im Bau von PV-Anlagen



Quelle: Jäger-Waldau 2011

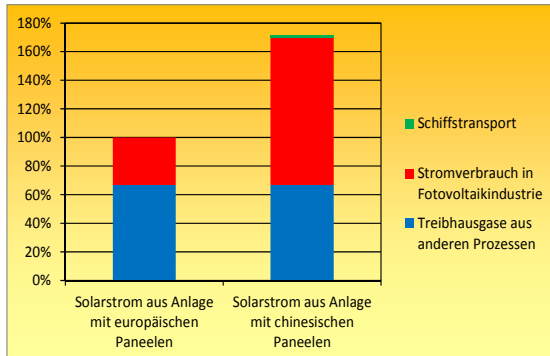
## Enormes Wachstum der chinesischen Produktion



→ Deutschland importiert Module aus China

Quelle: Jäger-Waldau 2011

## Vergleich der Treibhausgasemissionen durch chinesische und europäische PV-Module



## Resultate

- Deutschland ist Marktführer beim Bau von Fotovoltaik-Anlagen
- China ist Marktführer bei der Fotovoltaik-Produktion
- Mit Importen von asiatischen Modulen verschlechtert sich die Klimabilanz von europäischem Solarstrom um 70 %.

## Gesamtbeurteilung

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



Auch Solarstrom verursacht Umweltbelastungen

~~Klimaneutral~~ ~~Low~~ ~~Emissions~~-Haus dank Solarstrom?

Umweltfreundliches Niedrig-Emissions-Haus dank Solarstrom!

## Herzlichen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

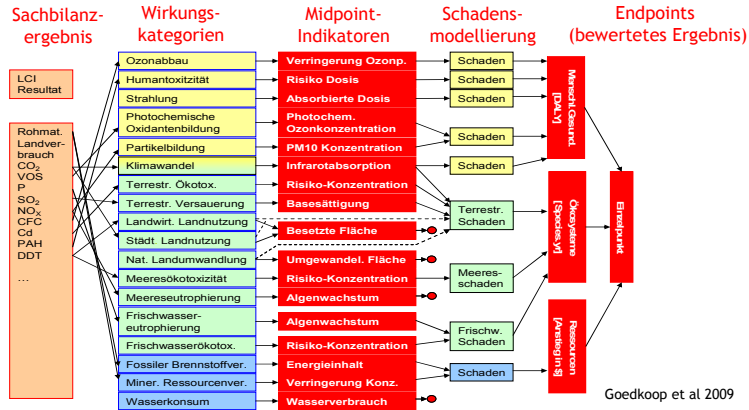
Matthias Stucki  
stucki@esu-services.ch  
www.esu-services.ch  
ESU-services, Uster, Schweiz

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

## Referenzen

1. IEA-PVPS, *Trends in Photovoltaic Applications. Survey report of selected IEA countries between 1992 and 2010*, 2010, International Energy Agency (IEA).
2. Frischknecht, R., R. Steiner, and N. Jungbluth, *Methode der ökologischen Knappheit - Ökofaktoren 2006*, 2008, Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern.
3. Goedkoop, M., et al., *ReCiPe 2008 - A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level. First edition. Report 1: Characterisation*, 2009: NL.
4. International Organization for Standardization (ISO), *Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines*, 2006: Geneva.
5. Fthenakis, V., et al., *Methodology Guidelines on Life Cycle Assessment of Photovoltaic Electricity*, 2nd edition, 2011, IEA PVPS Task 12, International Agency Photovoltaic Power Systems Programme.
6. ecoinvent Centre, *ecoinvent data v2.2, ecoinvent reports No. 1-25*, 2010, Swiss Centre for Life Cycle Inventories: Dübendorf, Switzerland.
7. Itten, R. and R. Frischknecht, *Electricity Mixes and Electricity Grid*, in *Sachbilanzen von Energiesystemen: Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und den Einbezug von Energiesystemen in Ökobilanzen für die Schweiz, in Vorbereitung*, R. Dones, Editor 2012, ESU-services Ltd., Swiss Centre for Life Cycle Inventories: Uster, CH.
8. Jungbluth, N., et al., *Photovoltaics*, in *Sachbilanzen von Energiesystemen: Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und den Einbezug von Energiesystemen in Ökobilanzen für die Schweiz, in Vorbereitung*, C. Bauer and R. Dones, Editors, 2012, ESU-services Ltd.: Uster, CH.
9. Frischknecht, R., et al., *Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods*, 2007, Swiss Centre for Life Cycle Inventories: Dübendorf, CH.
10. Frankl, P., et al., *Final report on technical data, costs and life cycle inventories of PV applications, Research Stream 1a, Deliverable 11.2*, 2006, AMBIENTE ITALIA: Italy.
11. Frischknecht, R., et al., *Ökoinventare für Energiesysteme. Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und den Einbezug von Energiesystemen in Systemanalysen*, Paul Scherrer Institut Villigen: Bundesamt für Energie (Hrsg.), Bern.
12. Frischknecht, R., et al., *Ökoinventare von Energiesystemen: Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und den Einbezug von Energiesystemen in Ökobilanzen für die Schweiz*, 1996, Gruppe Energie - Stoffe - Umwelt (ESU), Eidgenössische Technische Hochschule Zürich und Sektion Ganzheitliche Systemanalysen, Paul Scherrer Institut, Villigen: Bundesamt für Energie (Hrsg.), Bern, CH.
13. Jäger-Waldau, A., *Photovoltaic Status Report*, JRC, Ispra, Italy
14. Jungbluth, N., *Photovoltaik*, in *Sachbilanzen von Energiesystemen: Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und den Einbezug von Energiesystemen in Ökobilanzen für die Schweiz*, R. Dones, Editor 2003, Paul Scherrer Institut Villigen, Swiss Centre for Life Cycle Inventories: Dübendorf, CH.
15. Jungbluth, N. and R. Frischknecht, *Literaturstudie Ökobilanz Photovoltaikstrom und Update der Ökobilanz für das Jahr 2006*, 2006, ESU-services für Bundesamt für Energie: Uster, p. 43.
16. Hostettler, T., *Markterhebung Sonnenergie 2008: Teilstatistik der Schweizerischen Statistik der erneuerbaren Energien*, 2009, SWISSOLAR Schweizerischer Fachverband für Sonnenergie im Auftrag des Bundesamtes für Energie: Bern.
17. Stucki, M. and R. Frischknecht, *Vermindert Photovoltaik die Umweltintensität des Schweizer Stroms? Erkenntnisse aktueller Ökobilanzen zu Strom aus Solarzellen*, in *Bulletin SEI/ISEZ* 2010.
18. de Wild-Schooten, M.J. *Environmental Profile of PV Mass Production: Globalization*, in *26th European Photovoltaic Solar Energy Conference*, 2011, Hamburg, Germany: SmartGreenScans.

## Von der Sachbilanz zur Wirkungsabschätzung (Bsp. ReCiPe)



## Übersicht

- Im Gegensatz zu konventionellen Kraftwerken mit fossilen Energieträgern → beim Betrieb von PV-Anlagen keine Treibhausgas-Emissionen
- Trotzdem ist auch Solarstrom nicht klimaneutral
- Für die Fotovoltaik-Ausgangsmaterialien und in der Fotovoltaik-Industrie wird Strom, Wärme und Treibstoff verbraucht.
- Je nach eingesetztem Energieträger und Strommix, mehr oder weniger hohe Treibhausgasemissionen