

# Ökobilanzen verschiedener Photovoltaikanlagen



David Fritz<sup>1</sup>, Wolfgang Kromp<sup>1</sup> und Thomas Lindenthal<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universität für Bodenkultur Wien

## Problemstellung

Bevölkerungsexplosion + steigender Energieverbrauch + Verknappung von fossilen Rohstoffen → Energieversorgung nur durch alternative Energiequellen zu bewerkstelligen  
Öffentliche Diskussion über Umweltauswirkungen, tatsächliche Energieeffizienz, Energieamortisationszeit u.a. basiert oft wenig auf wissenschaftlichen Fakten.

## Methoden

- aktuelle wissenschaftliche Arbeiten zu Energiebilanzen, Ressourcenverbrauch, Ökotoxizität und CO<sub>2</sub>-Bilanzen.
- Qualitative Interviews mit Experten aus der Photovoltaik-Branche

## Energy Pay Back Time (EPBT)

EPBT<sup>2</sup>: Zeitspanne bis erneuerbare System dieselbe Energiemenge (als Primärenergieäquivalent) generiert, die zur Erzeugung verbraucht wurde.

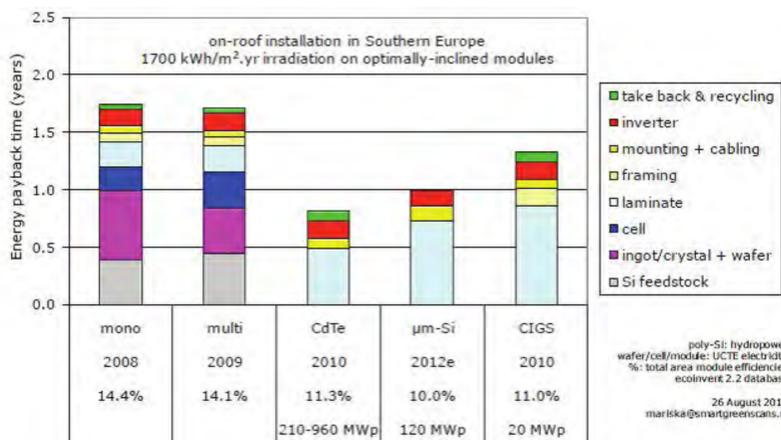
$$\frac{E_{mat} + E_{manuf} + E_{trans} + E_{inst} + E_{EOL}}{E_{agen} - E_{aoper}}$$

- $E_{mat}$ : Primärenergieverbrauch der Materialproduktion
- $E_{manuf}$ : Primärenergieverbrauch um das PV-System zu fabrizieren
- $E_{trans}$ : Primärenergieverbrauch des Materialtransports
- $E_{inst}$ : Primärenergieverbrauch für die Installation des PV-Systems
- $E_{EOL}$ : Primärenergieverbrauch für End-of-Life Management
- $E_{agen}$ : jährliche Elektrizitätsproduktion in Primärenergieeinheit
- $E_{aoper}$ : jährlicher Primärenergieverbrauch für Betrieb und Wartung

### Wichtige Parameter für Berechnung der EPBT:

- Jährliche Sonneneinstrahlung (Südeuropa 1700 kWh/m<sup>2</sup>/a; Mitteleuropa 1000 kWh/m<sup>2</sup>/a)
- Anlagenwirkungsgrad
- Installationsort zusammen mit Energieausbeute (Performance Ratio PR ca. 0,7 bis 0,8)
- Lebensdauer (meist mit 30 Jahren angenommen)

Auflistung<sup>3</sup> der einzelnen Life-Cycle Abschnitte zur EPBT [Jahre]:



EPBT für in Österreich installierte Anlagen: 2 bis 4 Jahre.

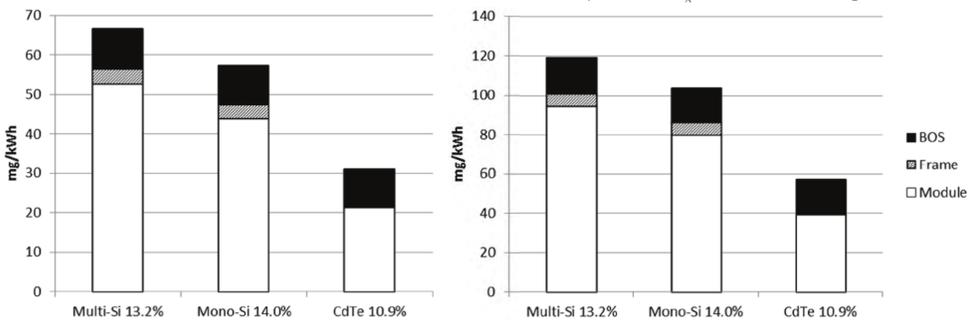
## Ökotoxizität

Weitere ökologische Auswirkungen: Schwermetall-(Arsen, Cadmium, Chrom, Blei, Quecksilber und Nickel), NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, Feinstaub- oder Cd-Emissionen. Grundsätzlicher Unterschied zwischen direkten und indirekten Emissionen.

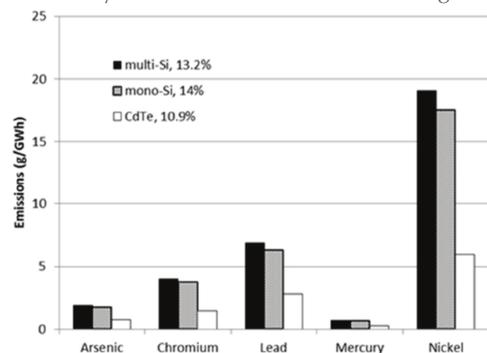
Bei PV fallen mit Ausnahme der CdTe-Technologie nur indirekte Emissionen an. Wie bei den GHGE ist der zugrundeliegende Energiemix ausschlaggebend.

Mono-Si, multi-Si und CdTe-Anlagen beherrschen derzeit den Weltmarkt.

Lebenszyklus<sup>2</sup> NO<sub>x</sub>-Emissionen [mg/kWh]:



Lebenszyklus<sup>2</sup> Schwermetallemissionen [g/GWh]:



Bei diesen Abbildungen: ENTSO-E Mix.

Die geringsten Emissionen fallen bei der CdTe-Technologie an.

### References:

- <sup>1</sup> Fthenakis V., Kim H. C., Frischknecht R., Raugei M., Sinha P. and Stucki M.: Life Cycle Inventories and Life Cycle Assessments of Photovoltaic Systems, IEA PVPS Task 12, Subtask 20, LCA Report IEA-PVPS T12-02-2011, October 2011, International Energy Agency Photovoltaic Power Systems Program
- <sup>2</sup> M.de Wild-Scholten: Environmental Profile of PV Mass Production: Globalization, 26th European Photovoltaic Solar Energy Conference, 5.-9. September 2011, Hamburg, Germany
- <sup>3</sup> K.Wambach, S. Schlenker, A. Müller, B. Konrad, Sunicon AG: A Voluntary Take Back Scheme and Industrial Recycling of Photovoltaic Modules

## Treibhausgas- (GHG) und CO<sub>2</sub>-Bilanzen

Treibhausgasemissionen (Greenhouse Gas Emissions GHGE) als CO<sub>2</sub>-eq für Zeithorizont von 100 Jahren

Wichtigsten Vertreter<sup>2</sup>:

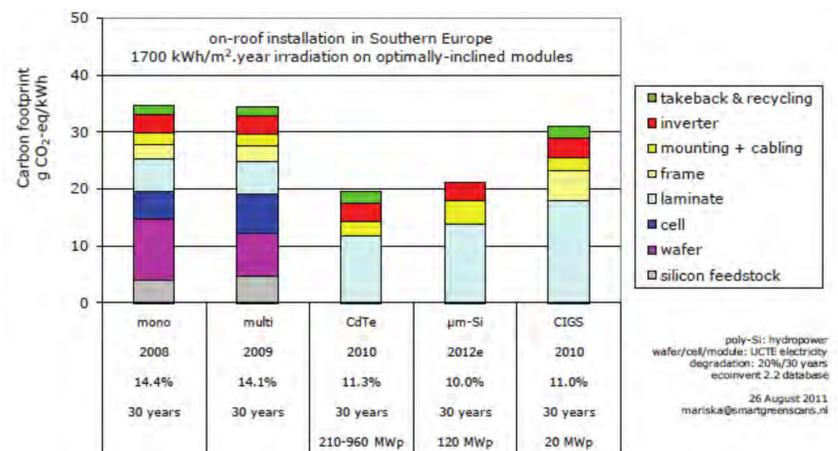
- Kohlendioxid CO<sub>2</sub> (Global Warming Potential GWP=1)
- Methan CH<sub>4</sub> (GWP=4)
- Lachgas N<sub>2</sub>O (GWP=298)
- Fluorkohlenwasserstoffe FKW (GWP=4750-14400)

$$GHG_{Emissions} = \frac{\text{Kommulative GHG}_{Emissions}}{G * \text{Modulfläche}}$$

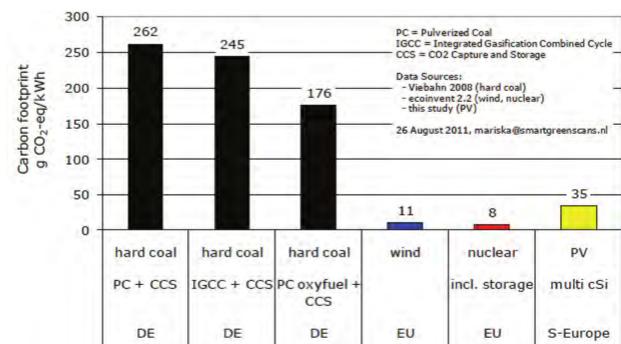
G: Produkt aus Sonneneinstrahlung, Lebensdauer, PR, Wirkungsgrad

Sämtliche CO<sub>2</sub>- bzw. Schadstoffemissionen stammen aus dem zur Erzeugung der Anlage erforderlichen Energieaufwand. Die GHGE liegen zwischen 10 bis 180 g CO<sub>2</sub>-eq/kWh, je nach Technologie und Installationsort. Die Treibhausgasbilanz ist vom verwendeten Energiemix abhängig. Steigt der Anteil der erneuerbaren Energieträger im ENTSO-E Mix sinken die GHGE (bis zu 50%). Die CdTe-Technologie emittiert am Wenigsten, weil der Herstellungsprozess weniger energieintensiv ist.

Auflistung<sup>3</sup> der einzelnen Life-Cycle Abschnitte zu den GHGE [g CO<sub>2</sub>-eq/kWh]:



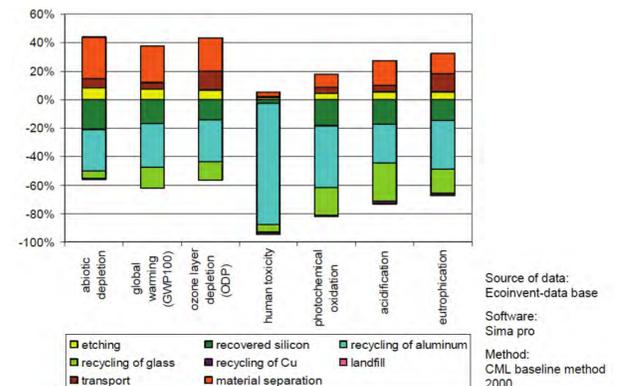
Vergleich<sup>3</sup> der GHGE [g CO<sub>2</sub>-eq/kWh] unterschiedlicher Energiebereitstellungsarten



## Recycling

Große Masse an ausgedienten Modulen erst in Zukunft (2015) erwartet.

Auswirkung<sup>4</sup> des Recycling auf die Biosphäre (Recycling der Chevetogne Anlage durch Sunicon Ag):



- Abiotic Depletion: Abbau von nichterneuerbaren Ressourcen
- Ozone Layer Depletion (ODP): Ozonschichtabbau
- Photochemical Oxidation: Sommersmog
- Acidification: Versäuerung
- Eutrophication: Anreicherung von Nährstoffen in einem Ökosystem

- Öko. Nachteile: Ätzen, die Materialtrennung und der Transport
- Öko. Vorteile: Recycling von Glas, Cu, Al, Si

Kontakt: davidfritz@gmx.at