

Hochentwickelte Photovoltaik-Systeme basierend auf kristallinem Silizium haben eine sehr geringe Energierücklaufzeit von 1,7 Jahren. Ein Beitrag von Mariska de Wild-Scholten und Erik Alsema

Energetische Bewertung von PV-Modulen



Mariska de Wild-Scholten

Anschrift der Autorin:
Energy Research Centre
of the Netherlands
(ECN), Unit Solar
Energy, P.O. Box 1,
1755 ZG Petten,
Niederlande,
Tel. +31 (0)224/56-
4736, Fax -8214,
E-Mail:
m.dewild@ecn.nl
www.ecn.nl/en/zon/

Die Produktion von Photovoltaikmodulen hat einen ungeheuren Anstieg zu verzeichnen, von zirka 80 MWp im Jahr 1995 bis auf ungefähr 1.700 MWp im Jahre 2005. Auf Grund dieses immensen Wachstums und wegen des großen Potenzials der Photovoltaik als einer erneuerbaren Energienquelle wird eine detaillierte Untersuchung von heutigen und zukünftigen Umwelteinstellungen von Photovoltaiksystemen zunehmend wichtig. Typischerweise wird hierfür die Methode der Lebenszyklusanalyse (LCA) verwendet.

Lebenszyklusanalyse und Energierücklaufzeit

In einer Lebenszyklusanalyse werden die Umwelteinflüsse eines Produkts bewertet. Eine Zusammenstellung des Energiebedarfs aller verwendeten Herstellungsschritte und die Auflistung des gesamten Materialverbrauchs sowie die Gesamtmenge an Emissionen in die Umwelt ist notwendig. Typischerweise wird eine „cradle-to-grave“ Approximation benutzt: Der vollständige Lebenszyklus eines Produkts, vom Ressour-

cenbergbau bis hin zur Abfallentsorgung, wird in Betracht gezogen. Für PV-Systeme hat die Produktgebrauchsphase einen geringfügigen Einfluss, und Recyclingverfahren existieren nur in Pilotlinien. Daher sind diese zwei Phasen von dieser Studie ausgelassen worden. (Anmerkung: Eine Studie eines Pilotverfahrens zum Modul-Recycling hat eine deutliche Verringerung negativer Umwelteinflüsse nachgewiesen [5].) Die Energierücklaufzeit gibt die Anzahl an Jahren an, in denen das PV-System

Elektrizität erzeugen muss, um die Energie zurückzugewinnen, die wäh-

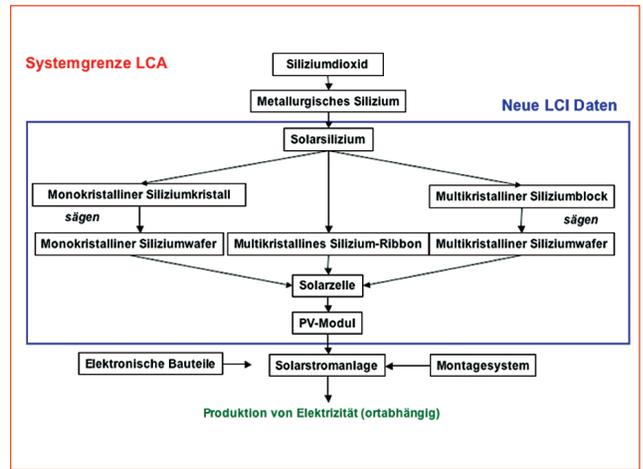


Abbildung 1: Die verschiedenen Prozessschritte im Produktionsverfahren für drei Typen kristalliner Silizium-Solarzellen und die Systemgrenze der hier gemachten Lebenszyklusanalyse. Man beachte, dass in der „Ribbon“-Technologie (Mitte) Silizium-Wafer direkt aus der Siliziumschmelze gezogen werden, was ein Zusägen der Wafer erspart und daher bedeutsame Materialverluste vermeidet.

rend der Produktion der Systembauteile verbraucht wurde. Für Windturbinen beträgt die Energierücklaufzeit etwa vier Monate. Für (Fossil)-Kraftstoff ist der Begriff weniger zutreffend, weil während der Verwendungsphase des Kraftstoffs die meiste Energie verbraucht wird. Der Lebenszyklus bezüglich der Treibhausgasemission eines PV-System ergibt sich durch die ermittelte Gesamtemission der Treibhausgase über den Lebenszyklus des PV-Systems (im Wesentlichen durch die Produktion der Komponenten verursacht), welches ins Verhältnis gesetzt wird zur Gesamtmenge an Elektrizität, die vom PV-System während seiner Lebenszeit er-

Tabelle 1: Annahmen für die LCA Studie von kristallinen Silizium-PV-Technologien¹

Parameter	Multikristallines Si	Monokristallines Si	Ribbon Silizium
Si-Waferdicke (µm)	270-300	270-300	300-330
PV-Modul-Lebensdauer (Jahre)	30	30	30
PV-Modul-Wirkungsgrad (AM 1,5 %)	13,2	14	11,5

¹ Ein Standard-PV-Modul wurde verwendet: 125 mm x 125 mm Wafer, 72 Zellen/Modul, 1,25 m² Modulfläche, 3,6 mm Glas mit EVA/Tedlar Einkapselung, entweder ohne oder mit Rahmen aus 3,8 kg Aluminium. Die Lebensdauer des Wechselrichters wurde auf 15 Jahre geschätzt. Die „end-of-life“-Behandlung wurde in diesem LCA nicht berücksichtigt.

Parallel zur hafa Bremen und BAUEN Bremen

Die Fachausstellung für Solartechnik und energieeffizientes Bauen

09.-11. Sept. 2006

Bremen · Messe Centrum, Halle 4.1 · 9.30-18.00 Uhr

Attraktives Rahmenprogramm, Fachforum für Fachbesucher, Vorträge für Verbraucher

Weiter Informationen: www.heckmann.com, Tel. 0421/201 55-0
Eine Informations- und Verkaufsausstellung der Fachausstellungen Heckmann GmbH

Ideelle Träger:

"Solar statt Öl"

Solare Mobilität:

- zu Lande - mit Solarmobilen und Solarrollern
- zu Wasser - mit der Sonne im Boot
- in der Luft - elektrisch, leise und abgasfrei

der Bundesverband Solarmobil informiert:

www.solarmobil.net

zeugt wird. Der Lebenszyklus bezüglich der Treibhausgasemission kann zwischen Energietechnologien verglichen werden, um so deren potenziellen Beitrag zur Treibhausgasmilderung zu ermitteln.

erheblich weiterentwickelt. Eine Aktualisierung des Umweltprofils von PV-Modulen war daher dringend erforderlich; Photovoltaik musste intensiver mit den anderen Energieoptionen, wie zum Beispiel Biomasse, Wind, Atom

auswirkungen von Photovoltaik ist. Das Copernicus Institut (Universität von Utrecht) und ECN Solarenergie (Petten) haben kürzlich eine LCA-Studie über kristalline Silizium-Photovoltaik beendet [1-3]. Drei vorherrschende Si-

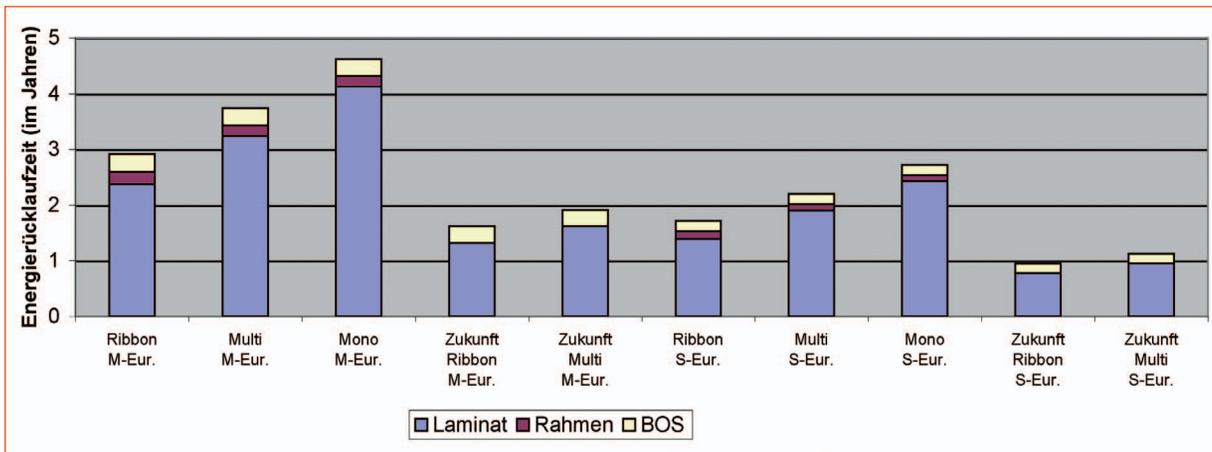


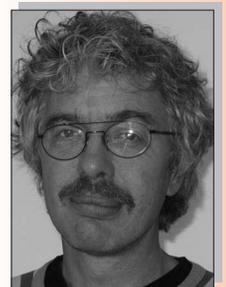
Abbildung 2: Energierücklaufzeit (in Jahren) für eine in das Stromnetz einspeisende Solarstromanlage unter der Annahme einer Lichtintensität von 1.700 kWh/m²/a (Südeuropa) sowie 1.000 kWh/m²/a (Mitteleuropa)

Das Umweltprofil von PV-Modulen

Schon in den späten 80er Jahren wurden LCA-Studien der damaligen Photovoltaik-Technologien veröffentlicht. Seitdem haben sich jedoch in der PV-Industrie sowohl die Solarzellentechnologie an sich als auch die Modultechnologie

und Kohle verglichen werden. Zum Beispiel ist es für einen Vergleich aller dieser Energietechnologien notwendig, die Energierücklaufzeit und die Treibhausgasemissionen über den vollständigen Lebenszyklus zu kennen. Diese Parameter sind besonders wichtig für die Photovoltaik, da der Energieverbrauch während der PV-Modulproduktion der vorherrschende Faktor für die Umwelt-

Technologien wurden analysiert (siehe Tabelle 1). Zusammen haben diese Photovoltaik-Technologien ungefähr 94 % des PV-Weltmarktes 2004 abgedeckt. Die Ergebnisse dieser Studie beziehen sich folglich auf die heutzutage am häufigsten vertretenen PV-Technologien. Die Studie wurde im Rahmen des europäischen Projekts „CrystalClear“ ausgeführt, mit dem Ziel, kristalline



Erik Alsema

Anschrift des Autors:
Universität Utrecht,
Copernicus Institut,
Heidelberglaan 2
3584 CS Utrecht,
Niederlande,
Tel.: +31 (0)30/253-
7618,
Fax +31 (0)30/253-
7601,
E-Mail:
e.a.alsema@chem.uu.nl,
www.chem.uu.nl/nws/
www/general/personal/alsema_a.htm



...für erstklassige
Photovoltaikanlagen



SolarMarkt AG
Christaweg 42
D-79114 Freiburg
Telefon (076 1) 1 20 39-0
www.solarmarkt.com

SolarMarkt AG – Der Technologielieferant

Wissenschaft
& Technik

Sunville®

Brightens your future



The new Sunville®6000



3 MPP Tracker

The new Sunville®10000



3 MPP Tracker

Sunville® -

high performance Netz-Wechselrichter

- mit 3 separaten MPP-Trackern
- für 1- und 3-phasige Einspeisung
- für Netzeinspeisung bis 10kWac
- mit ENS nach VDE0126-1-1
- mit max. Wirkungsgrad > 97%
- mit extrem kleinen Abmessungen
- hoher Leistungsdichte.
- mit integriertem Datenlogger

machen PV-Anlagen effizienter.



Vertrieb und Service in Zentraleuropa



Wiesbadener Str. 64

D-61462 Königstein

TEL : +49-6174-209 289

FAX : +49-6174-21 186

E-mail : info@suntension.de

http://www.suntension.com

Hergestellt von der Firma

PHOENIXTEC POWER CO., LTD.

http://www.phoenixtec.com.tw/solar

Siliziumtechnologie zu verbessern. Die wesentlichen Ergebnisse dieser Studie wurden beim „Materials Research Society Fall 2005 Meeting“ [1-2] präsentiert. Der Vortrag wurde mit viel Interesse verfolgt, zumal die Studie das Ergebnis einer einmaligen Zusammenarbeit mit elf Photovoltaik-Firmen in Europa und den Vereinigten Staaten ist. Zum ersten Mal wur-

Reaktor-Technologie) übergangen wird. Für diesen besonderen Fall wurde eine EPBT von zirka einem Jahr und ein Lebenszyklus in Hinblick auf CO₂-Emission von 20 g/kWh berechnet, unter der Annahme eines multikristallinen Silizium-PV-Moduls, installiert in Süd-Europa. Mit der heutigen, hoch entwickelten kristallinen Silizium-PV können wir solche,

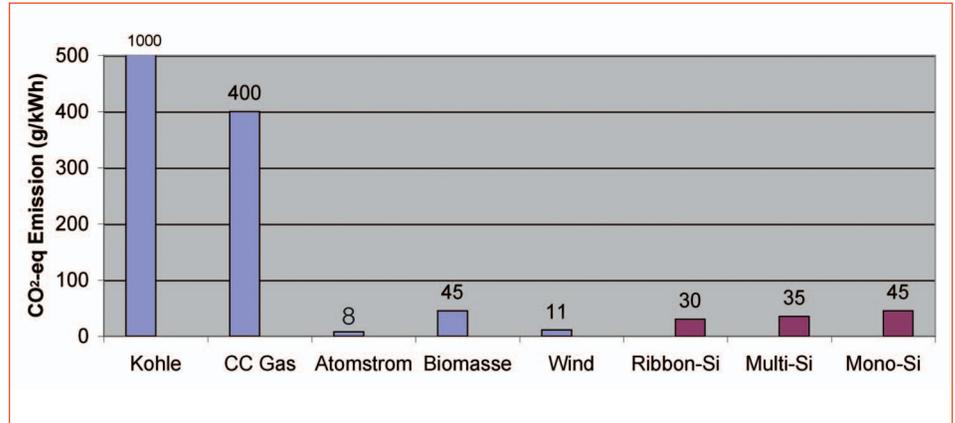


Abbildung 3: Vergleich der Treibhausgas-Emissionen dreier Solarstromanlagen in Südeuropa, die auf verschiedenen Siliziumtechnologien basieren, mit diversen anderen Energieerzeugungstechnologien. Anmerkung: Die Emission eines Kohlekraftwerkes (1.000 g/kWh) überschreitet das Y-Achsenmaximum! (Quellen: Kohle, CC Gas, Atomstrom, Biomasse und Winddaten aus der Ecoinvent Datenbank [4] abgeleitet)

den aktuelle Details über Materialien und Verarbeitungsschritte über die ganze Produktionskette von PV-Systemen hinweg verwendet (Abbildung 1). Der gesamte Datensatz ist auf der ECN-Website zum allgemeinen Gebrauch einsehbar.

Abbildung 2 zeigt die kalkulierte Energierücklaufzeit für Dach-PV-Systeme, die in das Netz einspeisen. Drei Bauteile bestimmen ein PV-System: das Laminat, der Modulrahmen und Wechselrichter/Verkabelung/Montagesystem (Balance-Of-System, BOS). Wie in Abbildung 2 zu sehen, wird die Energierücklaufzeit (Energy Pay-Back Time, EPBT) größtenteils von dem Energiebedarf bestimmt, der für die Produktion des PV-Moduls (eingekapselte Wafer auf Glas) benötigt wird. Die EPBT liegt zwischen 1,7 und 4,6 Jahren. Der exakte Wert hängt von der Höhe der jährlichen Sonneneinstrahlung und der verwendeten Siliziumtechnologie ab. Er ist jedoch schon wesentlich kleiner als die Lebenszeit von PV-Modulen, welche normalerweise bei 30 oder mehr Jahren liegt.

In Abbildung 3 wird der Lebenszyklus bezüglich der CO₂-Emission für verschiedene Energietechnologien verglichen (in Einheiten von g-CO₂-eq/kWh dargestellt). Wie erwartet erweist sich die Photovoltaik als sehr CO₂-sparend im Vergleich zu auf fossilen Kraftstoffen basierenden Technologien; dennoch sind weitere Verbesserungen notwendig und auch zu erwarten.

Bezüglich der Photovoltaik können diese Werte weiter verbessert werden, wenn Module einen höheren Wirkungsgrad (16 %) haben, die Waferdicke auf 150 µm verringert wird und zu einem neuen Produktionsverfahren für Solar-Silizium (auf der Basis der Fluidized-Bett-

dann absolut konkurrenzfähigen Bedingungen innerhalb der nächsten drei Jahre erwarten.

Im September dieses Jahres werden auf der 21th European Photovoltaic Solar Energy Conference in Dresden neue Ergebnisse präsentiert. Kontaktieren Sie bitte die Autoren, falls Sie sich für diese Publikation interessieren.

Literatur

- [1] Alsema, E. & M.J. Wild-Scholten: Environmental Impacts of Crystalline Silicon Photovoltaic Module Production. In: Materials Research Society Fall 2005 Meeting. 2005. Warrendale, USA: Materials Research Society
- [2] Wild-Scholten, M.J.de & E.A. Alsema: Environmental Life Cycle Inventory of Crystalline Silicon Photovoltaic Module Production. In: Materials Research Society Fall 2005 Meeting. 2005. Boston, USA: Materials Research Society; see also <http://www.ecn.nl/library/reports/2006/c06002.html>
- [3] Fthenakis, V. & E. Alsema: Photovoltaics Energy Payback Times, Greenhouse Gas Emissions and External Costs: 2004-early 2005 Status. Progress In Photovoltaics: Research and Applications, 2006. 14(3): p. 275-280
- [4] Frischknecht, R., et al.: Ecoinvent 2000 - The Swiss National Life Cycle Inventory Database. 2004, Swiss Centre for Life Cycle Inventories: Dübendorf, CH, www.ecoinvent.ch
- [5] Müller, A., K. Wambach & E. Alsema: Life cycle analysis of a solar module recycling process. In: Materials Research Society Fall 2005 Meeting. 2005. Boston, USA: Materials Research Society, Warrendale, USA