



Dokumentation

Photovoltaiktechnologien für Solarstromgewinnung
Produktionsprozesse und Umweltbelastung



Photovoltaiktechnologie für Solarstromgewinnung
Produktionsprozesse und Umweltbelastung

██████████

Aktenzeichen:

Abschluss der Arbeit:

Fachbereich:

██████████

██████████

WD 8 – 3000-014/10

22. Februar 2010

WD 8: Umwelt, Naturschutz, Reaktorsicherheit,
Bildung und Forschung

██████████

Inhaltsverzeichnis

1.	Welche Umweltbelastungen können bei der Herstellung von Photovoltaikanlagen auftreten und wie können diese im Produktionsprozess reduziert werden?	4
2.	Gesetzlichen Bestimmungen	4
2.1.	Welche speziellen gesetzlichen Bestimmungen müssen bei der Herstellung von Photovoltaikanlagen eingehalten werden?	4
3.	Welche Arbeitsschritte benötigt man für die Herstellung der verschiedenen Photovoltaikanlagen?	4
3.1.	Silicium-Photovoltaik	4
3.1.1.	Gewinnung von Silicium	5
3.1.2.	Herstellung von Solar-Silicium aus Rohsilicium durch Reinigungsverfahren	5
3.1.3.	Wafer-Herstellung	5
3.1.4.	Solarzellen aus monokristallinem Silicium	5
3.2.	Dünnschicht-Technologie	5
3.3.	Modulherstellung	6
3.4.	Zusammenfassung Herstellungsprozess	6
3.5.	Welche Herstellungsschritte wurden bisher in der Bundesrepublik durchgeführt?	6
4.	Anlagen	8

1. Welche Umweltbelastungen können bei der Herstellung von Photovoltaikanlagen auftreten und wie können diese im Produktionsprozess reduziert werden?

- Belastung der Umwelt mit Säuren.
- Freisetzung von Fluorkohlenwasserstoffen (geringe Mengen, vermeidbar).
- Freisetzung von Stickoxiden (Emissionsreduktion um 90% möglich durch Gaswaschverfahren).
- Freisetzung von Blei (vermeidbar da Verzicht auf Blei möglich).
- CO₂-Ausstoß bei der Reduktion von Siliciumoxid zu Silicium.

Die Reduktion von Siliciumoxid mit Kohlenstoff ist unvermeidbar zur Silicium-Gewinnung. Allerdings wäre es möglich diesen Prozess CO₂-neutral zu gestalten, indem anstatt Kohle nachwachsende (kohlenstoffhaltige) Rohstoffe verwendet werden.

Saubere Sache? Umweltschutz in der Produktion. Bodo Höche, Sonne Wind & Wärme, 12/2007, S 112.

2. Gesetzlichen Bestimmungen

2.1. Welche speziellen gesetzlichen Bestimmungen müssen bei der Herstellung von Photovoltaikanlagen eingehalten werden?

Die EG-Richtlinie 2002/95/EG (Anlage 10) zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten regelt die Verwendung von Gefahrstoffen in Geräten und Bauteilen. In Photovoltaik-Modulen verwendete Stoffe, die unter die RoHS (Restriction of Hazardous Substances)-Richtlinien fallen:

Blei: - Bleifritten (Druckpaste bei Siebdruck auf Halbleiter)
 - Lote
 - Kupferband-Verbinder (Lotbeschichtung)

Cadmium: - Halbleiterschicht (nur bei nicht a-Si Dünnschichtmodulen)
 als CdS (CIS und CdTe-Module), als CdTe (nur CdTe-Module).

3. Welche Arbeitsschritte benötigt man für die Herstellung der verschiedenen Photovoltaikanlagen?

Über 90 Prozent der hergestellten Solarzellen sind aus kristallinem Silicium (ISE Jahresbericht 2008). Alternative Technologien basieren auf amorphem Silizium (a-Si), sogenannten III-V Halbleitern, Farbstoffsolarzellen und organischen Solarzellen.

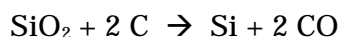
3.1. Silicium-Photovoltaik

Silicium (chemisches Symbol Si) ist ein chemisches Element der Ordnungszahl 14. Es steht in der 4. Hauptgruppe des Periodensystems der Elemente und ist ein sogenanntes Halbmetall und

Elementhalbleiter. Silicium in elementarer Form ist ungiftig und ein häufiges Element Die Erde besteht zu etwa 15 Massenprozent aus Silicium.

3.1.1. Gewinnung von Silicium

Die Herstellung von Silicium, ist ein energetisch relativ aufwendiger Prozess. Der erste Schritt ist dabei die Reduktion von Siliciumdioxid (Quarzsand) mit Kohle im Lichtbogenofen:



Es entsteht also Kohlenmonoxid bzw. Kohlendioxid. Das Roh-Silicium, das durch diesen Prozess gewonnen wird, ist noch stark verunreinigt.

3.1.2. Herstellung von Solar-Silicium aus Rohsilicium durch Reinigungsverfahren

- Siemens-Verfahren: hoher Energieaufwand.
- Verwendung von Flussbett-Reaktoren:
nur ca. ein Viertel des Bedarfs an elektrischer Energie wie beim Siemens-Verfahren.

3.1.3. Wafer-Herstellung

Heute meistens durch Sägen von Wafern (dünne Silicium-Scheiben) aus Silicium-Blöcken. Einsparmöglichkeiten:

- Besseres Kristallwachstum
- dünnere Wafer
- weniger Verschnitt
- Reduktion des Waferbruchs
- Recycling des Silicium-Abfalls
- Waferherstellung direkt aus flüssigem Silicium (keine Sägeverluste)
- höhere Effektivität der Zellen

3.1.4. Solarzellen aus monokristallinem Silicium

Aus den Wafern werden Solarzellen hergestellt. Dazu wird den Wafern eine n-dotierte Schicht aufgedampft, um einen sogenannten p-n-Übergang herzustellen (die Wafer wurden bei der Herstellung p-dotiert). Im Wesentlichen wird dann auf der Oberseite der Zelle eine Antireflexschicht aufgebracht und auf der Unterseite die elektrischen Kontakte, damit die photovoltaische Spannung abgegriffen werden kann.

3.2. Dünnschicht-Technologie

Im Gegensatz zu der aufwendigen Herstellung von kristallinen Wafern aus Silicium, lassen sich sowohl aus amorphem Silicium, als auch aus anderen Materialien Solarzellen herstellen.

Ungefähr 8 Prozent des Markts werden aus dem Bereich Dünnschicht abgedeckt. Die wichtigsten, produktionsreifen Techniken sind Zellen aus: amorphem Silicium (a-Si), Cadmium-Tellurid (CdTe), Kupfer-Indium-(Gallium)-di-Selenid(CIS/CIGS) und Zellen aus organischen oder Nanomaterialien.

Die Zellen aus amorphen Silicium sind günstiger in der Herstellung und benötigen weniger Silicium, haben aber (bisher) einen schlechteren Wirkungsgrad als die kristallinen Silicium-Zellen.

Zellen aus Cadmium-Tellurid sind kostengünstig und haben einen höheren Wirkungsgrad als die a-Si-Zellen. Allerdings ist Cadmium ein hochgiftiges Schwermetall und die Verbindung Cadmium-Tellurid ist ebenfalls giftig. Tellur ist ein seltenes Halbmetall, die Verfügbarkeit der Ausgangsstoffe könnte also ebenfalls ein Problem werden.

Die CIS/CIGS Technologie hat bereits eine höhere Effizienz als die anderen Dünnschicht-Technologien, jedoch ist die Fertigung sehr aufwändig.

3.3. Modulherstellung

Die einzelnen Solarzellen werden in eine Schicht aus Ethylenvinylacetat (EVA) eingebettet. Die elektrischen Kontakte der Solarzellen werden verschaltet und witterungsfest zwischen eine Glas-scheibe (Vorderseite) und einen Verbundkunststoff (Rückseite) eingebettet, die robust mit einem Aluminiumrahmen eingefasst werden.

3.4. Zusammenfassung Herstellungsprozess

Die Herstellungsschritte für Anlagen aus kristallinem Silicium sind vereinfacht dargestellt:

Quarz → Silizium → Solar-Silizium → Wafer → Solarzelle → Solarmodul → Solaranlage

3.5. Welche Herstellungsschritte wurden bisher in der Bundesrepublik durchgeführt?

- Herstellung von Solar-Silicium aus Rohsilicium

z.B. Siltronic AG , <http://www.siltronic.com>, Wacker group, www.wacker.com

- Herstellung von mono- und multikristallinen Wafern für die Photovoltaikindustrie

z.B. Deutsche Solar AG, www.deutschesolar.de, Siltronic AG

- Herstellung von mono- und multikristallinen Solarzellen

z.B. Q.Cells, www.q-cells.de

- Herstellung von Solarmodulen aus mono- und polykristallinen Solarzellen

z.B. SOLARWATT AG, www.solarwatt.de

- Herstellung von Dünnschichtmodulen

z.B. Q.Cells, www.q-cells.de

- Herstellung von Kupfer-Indium-Gallium-Diselenid-(CIGS)-Dünnschicht-Solarzellen
z.B. Solarion AG, www.solarion.de

- Herstellung organischer Solarzellen
z.B. heliatek GmbH, www.heliatek.com

- Herstellung von Wechselrichtern
z.B. SOLARWATT AG, Dresden, www.solarwatt.de



4. Anlagen

- 1.) Saubere Sache? Umweltschutz in der Produktion. Bodo Höche, Sonne Wind & Wärme, 12/2007, S 112.
- 2.) 11:1 für die Photovoltaik. Stefan Stadler, Photovoltaik 07/2008, S 19.
- 3.) Crystal Clear – Projekt: Erste Ergebnisse zur Energierücklaufzeit. Anne Kreuzmann und Philippe Welter, Photon 09/2005, S 69.
Projekt Crystalclear: <http://www.ipcrystalclear.info/>
- 4.) Energetische Bewertung von PV-Modulen. Mariska de Wild-Scholten und Erik Alsema, Erneuerbare Energien 09/2006, S 66.
- 5.) Wettlauf um die Pole Position. Daniel Pohl, Sonne Wind & Wärme, 12/2007, S 118.
- 6.) Stoffbezogene Anforderungen an Photovoltaik-Produkte und deren Entsorgung. K. Sander, S. Zangl, M. Reichmuth, G. Schröder (2004).
<http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/2789.pdf>
- 7.) IEA-PVPS Task 12: Swiss activities in 2008. Aktualisierung der Ökobilanz von CDTE-PV. Rolf Frischknecht und Matthias Stucki, Annual Report 2008, www.esu-services.ch.
- 8.) Fraunhofer ISE Jahresbericht 2008, Marion Hopf, Karin Schneider (Redaktion) S43.
<http://www.ise.fraunhofer.de/veroeffentlichungen/infomaterial/jahresberichte/>
- 9.) Presseinfo Photovoltaik. Philipp Vohrer, Agentur für erneuerbare Energien, 2008.
<http://www.unendlich-viel-energie.de/de/solarenergie/detailansicht/article/39/photovoltaik.html>
- 10.) RICHTLINIE 2002/95/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 27. Januar 2003 zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten
<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2003:037:0019:0023:DE:PDF>