

# Hintergründe zu Solarenergie

geschrieben von Chris Frey | 27. April 2024

Lars Schernikau

## Die Unbeständigkeit der Sonne – extreme Wetterereignisse

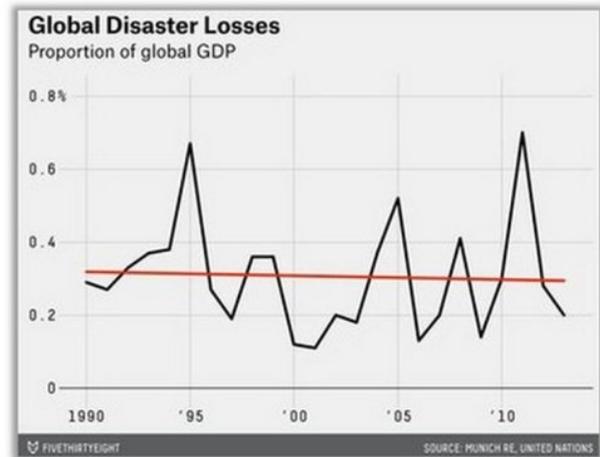
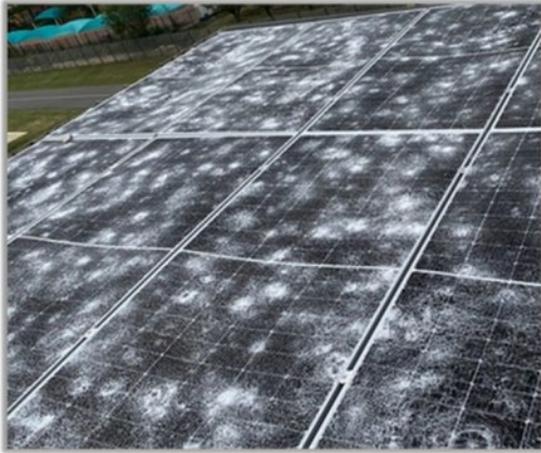
Wir alle wissen, dass die Sonne nicht immer scheint, aber viele von uns sind sich nicht bewusst, wie schlechtes Wetter (das auch bereits vor der Erfindung von Solarzellen auftrat) teure Solaranlagen in nur wenigen Stunden zerstören kann.

Hier einige ausgewählte Beispiele

- Sturm beschädigt weltgrößte schwimmende Solaranlage in Indien (Apr 2024): [hier](#)
- Solarpark in Nebraska durch einen einzigen Hagelsturm zerstört (Jun 2023): [hier](#)
- Hagelsturm in den Vereinigten Arabischen Emiraten (Feb 2024): [hier](#)
- Was passiert, wenn netzgebundene Batterien ausfallen: [hier](#)

In Europa müssen „Balkonkraftwerke“ nicht registriert werden. Es gibt keine Garantie dafür, dass sie halten, was sie versprechen, und niemand weiß wirklich, welche von ihnen funktionieren und welche Leistung sie genau erbringen. Das heißt, wenn Millionen von Menschen Solarpaneele installieren und die Sonne scheint, kommen Gigawattstunden Strom auf den Markt, die oft unvorhersehbar sind und die Preise in die Tiefe fallen lassen... wie Mitte April, als die Netzbetreiber die Einspeisung von Solarstrom vor allem aus Holland unterschätzt haben und die Strompreise daher zeitweise unter -100 EUR/MWh gefallen sind. Intelligente Stromhändler kaufen in Frankreich für -60 und verkaufen nach Deutschland für -20 EUR/MWh ([Link](#)).

ps: Glücklicherweise scheint es, dass weltweit und im Durchschnitt extreme Sturmereignisse (Zyklone) konstant oder leicht rückläufig sind ([hier](#))



## Lebenszyklus von Solarpaneelen

Der Lebenszyklus von Millionen von Solarmodulen und Tausenden von Windkraftanlagen wird nicht nur durch schlechtes Wetter beeinflusst (siehe vorheriger Abschnitt), sondern auch durch normale Abnutzung und Verschleiß, wobei die Qualität der Herstellung natürlich einen großen Unterschied macht.

Der prognostizierte Lebenszyklus wirkt sich natürlich direkt auf den Stilllegungs-/Entsorgungsbedarf aus. Die Schätzungen für künftige Entsorgungs- und Recyclingkapazitäten für Wind- und Solaranlagen basieren auf einer durchschnittlichen Lebensdauer von 25-30 Jahren, während moderne Wind- und Solaranlagen im Netzmaßstab tatsächlich nur einen Bruchteil davon überdauern.

Man kann sich vorstellen, wie sich ein kürzerer Lebenszyklus auf die „geplante“ Stilllegung und die „Recycling“-Kapazität auswirken würde... aber wahrscheinlich noch wichtiger ist der Einsatz von Energie und Rohstoffen. Ich vermute (oder besser gesagt, ich bin mir ziemlich sicher), dass alle großen Agenturen für Energieberichterstattung einen großen Fehler begehen, indem sie den Lebenszyklus von Solarmodulen überbewerten und daher den Bedarf an Rohstoffen und Energie unterbewerten.



## **Über den Lebenszyklus: Auszug aus der demnächst erscheinenden, von Lars Schernikau mitverfassten Forschungsarbeit zum Thema Solar**

Hier ist ein Auszug aus einem unserer kommenden akademischen Studien über Solar... gekürzt. Diese Studie wird von Enrico Mariutti geleitet und von mir und anderen mitverfasst.

Zitat aus dem Entwurf der wissenschaftlichen Studie (frei übersetzt aus dem Englischen):

Üblicherweise wird in Analysen des Lebenszyklus' die Lebensdauer von Photovoltaikanlagen mit 25 Jahren (Ward et al 2018, JRC2010, Chowdhury et al 2022) oder sogar 30 Jahren (RSE 2021, IRENA-IEA 2016, Energy.gov 2023) angesetzt. Diese Erwartungen haben sich jedoch zumindest als optimistisch erwiesen.

In der Literatur wird häufig zwischen Leistungsgarantie und Produktgarantie unterschieden. Bei der **Leistungsgarantie (performance warranty)** garantiert der Hersteller den Grad der Verschlechterung des Moduls, der tatsächlich jedes Jahr stattfindet. Bei der **Produktgarantie**

**(product warranty) garantiert der Hersteller die tatsächliche Funktionsfähigkeit des Moduls** und verpflichtet sich, es im Falle eines Ausfalls oder einer Fehlfunktion zu ersetzen oder zu erstatten. Es ist zu betonen, dass sich beide Garantien auf strenge Kriterien in Bezug auf die Wartung beziehen und dass es derzeit keine Daten gibt, um festzustellen, wie viel Prozent der installierten Systeme diese Kriterien erfüllen.

Die Leistungsgarantie erstreckt sich in der Regel auf 25 Jahre (Muller et al. 2021), die *Produktgarantie für kostengünstige (Mainstream-)Module aus China beträgt dagegen in der Regel 10-12 Jahre* (Clean Energy Reviews 2024), und es gibt derzeit keine Anhaltspunkte dafür, dass sich dieser Wert wesentlich von der Lebensdauer des Geräts unterscheidet. Vergleiche mit Photovoltaik-Paneelen von vor zwanzig Jahren erscheinen irreführend. Der Markt für Verkapselungen und Rückseitenfolien hat sich sowohl hinsichtlich der Materialien als auch der Hersteller (CPIA) diversifiziert, die Modulspannung hat sich erhöht, die Dicke der Glasscheibe hat sich verringert und die Architektur der Systeme hat sich verändert.

Ganz allgemein hat sich der „Motor“ des Paneels, die Zellen, in den letzten zwanzig Jahren weiterentwickelt. Nicht nur die Technologie hat sich geändert, sondern vor allem die Dicke der Wafer hat sich erheblich verringert. Und dünnere Zellen bedeuten, dass die Zellen anfälliger für Risse sind, sowohl bei der Produktion (Wieghold et al. 2019) als auch bei der Nutzung (Dhimish und Hu 2022). All diese Faktoren müssen berücksichtigt werden, wenn man historische Parallelen zu Paneelen zieht, die vor zwanzig Jahren hergestellt worden waren.

Kürzlich wurde berichtet, dass die Isovoltaics AAA-Rückwandfolie, verwendet in einer Charge von rund 12 GWp, nach zehn Jahren eine Ausfallrate von 88 % aufweist (kWh Analytics 2022). Darüber hinaus werden bei Schätzungen der erwarteten Lebensdauer von Photovoltaikanlagen, die ausschließlich auf der Leistungsgarantie beruhen, in der Regel alle Faktoren außer Acht gelassen, die nicht durch die Leistungsgarantie abgedeckt sind. Ein Beispiel dafür sind extreme Wetterereignisse.

Allein für Hagel gilt, dass Hagelstürme mit Hagelkörnern zwischen 30 und 45 mm – genug, um eine Photovoltaikanlage ernsthaft zu beschädigen oder sogar zu zerstören (EIT Amsterdam 2019) – in einigen Regionen wie Texas bereits innerhalb von 10 Jahren immer wieder auftreten ([kWh Analytics 2022](#)). Daher sollte es nicht überraschen, dass in der Branche bereits eine Reihe von Paneelen das Ende der Lebensdauer (EoL) weit früher erreicht als auf der Grundlage einer erwarteten Lebensdauer von 25-30 Jahren prognostiziert.

**Ende Auszug**



Bild: Ein interessanter [Bericht](#) über „solare Risikobewertungen“, veröffentlicht 2022 von kWh analytics, unterstützt durch Forschung von WoodMac, BNEF, NREL, und vielen anderen

Das NREL 2021 stellt fest, dass ein großer Teil des teilweisen und vollständigen Repowerings 10-12 Jahre nach der Installation aufgrund von fünf Faktoren erfolgt:

*„(1) kostengünstige, effizientere Modultechnologie, (2) Auslaufen von Stromabnahmeverträgen, (3) Austausch von Wechselrichtern und anderen Anlagen in Verbindung mit der Notwendigkeit, strengere Anschluss-, Brandschutz-, Bau- und Ausrüstungsvorschriften einzuhalten, (4) vorzeitige Stilllegungen aufgrund extremer Wetterereignisse (z. B. Feuer- und Hagelschäden) sowie Herstellerdefekte und (5) steuerliche Anreize – Nachrüstungsinvestitionen können für eine Investitionssteuergutschrift, einen Steuerabzug im Rahmen des modifizierten beschleunigten Kostendeckungssystems und/oder einen Abschreibungsbonus von 50 % in Betracht kommen.“*

Ein aktueller Bericht des Institute for Sustainable Futures und der University of Technology Sydney (ISF UTS 2020) schreibt den in den USA installierten Paneelen eine effektive Lebensdauer von 15-20 Jahren zu, weist aber darauf hin, dass „Erkenntnisse von Interessengruppen darauf hindeuten, dass frühzeitige Verluste die durchschnittliche Lebensdauer auf 15 Jahre reduzieren könnten“.

Besonders aussagekräftig ist eine aktuelle Studie (Libra et al. 2023) eines Forscherteams der tschechischen Universität für Biowissenschaften in Prag über 85 Solarkraftwerke, die zwischen 2009 und 2010 in Mitteleuropa installiert worden waren. Die Forscher stellten fest, dass

die Leistung in den ersten zehn Jahren den Erwartungen entspricht, sich aber ab dem elften Jahr (kurz nach Ablauf der Produktgarantie) dramatisch verschlechtert. Die Delaminierung der Module scheint die Hauptursache für die Verschlechterung der Anlagen zu sein.



“Beehive” charcoal ovens in Brazil (Alamy)

## Rohmaterialien

Über 60 % des mineralischen Wertes sind in nur 3 % des Gewichts der Solarpaneele enthalten. In den offiziellen [Prognosen](#) der International Renewable Energy Agency (IEA) wird behauptet, dass bis Anfang der 2030er Jahre mit großen jährlichen Abfallmengen zu rechnen ist, die sich bis zum Jahr 2050 auf 78 Millionen Tonnen [belaufen](#) könnten, wenn man von einem 30-jährigen Lebenszyklus der Paneele ausgeht. (siehe vollständiger Bericht [hier](#) bei IER). Ausgehend von dem, was ich zuvor gesagt habe, können Sie nun die tatsächliche Lebensdauer berücksichtigen.

Für die Herstellung von Silizium benötigt man (weitere Einzelheiten bei [Troszak 2019](#)):

- sehr hochwertiges Quarzgestein (Sand reicht nicht aus, auch wenn sein Siliziumgehalt ebenfalls hoch ist)
- sehr spezifische, aschearme, reaktive, und hochwertige metallurgische Kohle (nur wenige Bergwerke können diese liefern)
- Hüttenkoks aus Kokskohle

- Petrolkoks (aus Öltraffinerien)
- Holzkohle
- Holzschnitzel

Übrigens, zur Holzkohle: Zur Herstellung von Holzkohle müssen viele Laubbäume verbrannt werden. Beim traditionellen Verfahren wird das Holz in „Bienenstocköfen“ gestapelt, angezündet und dann meist erstickt, damit das Holz nicht vollständig zu Asche verbrennt. Nach Gewicht gehen etwa 75 % des Holzes als CO, CO<sub>2</sub>, Rauch und Wärme in die Atmosphäre verloren.

In Brasilien wird schätzungsweise noch immer mehr als ein Drittel der Holzkohle illegal aus geschützten Arten hergestellt. Brasilien ist ein Holzkohlelieferant für Siliziumhersteller in anderen Ländern, einschließlich der Vereinigten Staaten. Siliziumhütten auf der ganzen Welt verwenden Holzkohle aus vielen Quellen, so dass Solarsilizium mit Holzkohle geschmolzen werden kann, die direkt aus dem Regenwald und nicht aus Holz von Plantagen stammt.



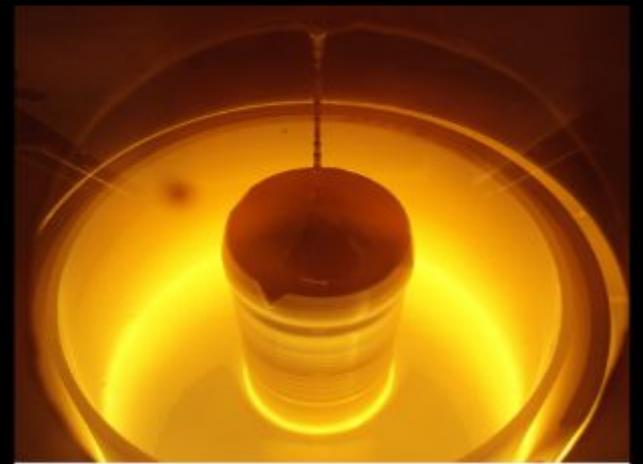
Figure 1. Workman shovels coal and lumpy quartz (silicon ore) into a silicon smelter in China. (photo: Getty)



Figure 3. Pouring liquid metallurgical grade (~99% pure) silicon into molds, to cool into silicon "metal". (Getty)



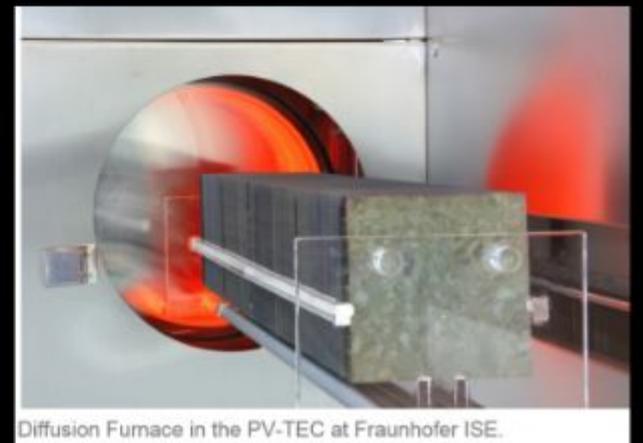
Polysilicon chunks being heated in a crucible. When melted, a single crystal will be pulled out of the liquid polysilicon. (Getty)



Czochralski ingot being pulled from melted polysilicon. (Image source: [Siltronix](#))



Czochralski process whole ingot (left), and brick and chords after sawing (right), crown and tail (upper right) ([SVM](#))



Diffusion Furnace in the PV-TEC at Fraunhofer ISE. Loading of the diffusion tubes with batches of multicrystalline silicon wafers. The wafers, sorted into quartz boats, are brought into the (up to) 1000 °C hot quartz tubes. ([Fraunhofer ISE](#))

## Herstellung von Silizium (für Solarpaneele)

Die Siliziumproduktion ist der energie- und rohstoffintensivste Prozess bei der Herstellung von Paneelen. Außerdem werden in der Siliziumschmelze mehrere Kohlenstoffquellen als chemische Reduktionsmittel verwendet, was sich natürlich auf die Umwelteffizienz

auswirkt, einschließlich der Treibhausgase. Die Siliziumproduktion und das Wafering sind die Hauptverursacher, die über 60 % des gesamten Energiebedarfs für die Herstellung von Paneelen ausmachen.

Metallurgisches Silizium (MG-Si) aus der Schmelze entspricht nicht den Reinheitsanforderungen der Photovoltaikindustrie und muss daher zwei weitere energieintensive Prozesse durchlaufen, bevor es zu Solarzellen verarbeitet werden kann.

**Zunächst wandelt das Siemens-Verfahren MG-Si aus der Schmelze in polykristallines Silizium** (Polysilizium genannt) um, indem es einen extrem energieintensiven Prozess verwendet, ein Hochtemperatur-Aufdampfverfahren (Troszak 2019). Die Reinheitsanforderungen für Solarsilizium werden derzeit häufig mit bis zu sechs Neunen 6N (99,9999), möglicherweise 9-10N oder noch höher (99,99999999%) angegeben, ein Faktor 10.000 reiner als die 5-6N-Reinheit, die für Solar-PV vor einem Jahrzehnt erforderlich war, und die Reinheit für Halbleitersilizium ist tendenziell höher, neun Neunen 9N oder noch höher (99,99999999%).

Beim Siemens-Verfahren wird Silizium zerkleinert und mit Salzsäure (HCl) gemischt, um Trichlorsilangas ( $\text{SiHCl}_3$ ) zu erzeugen. Dieses TCL wird erhitzt und auf sehr heißen Siliziumstäben (1150C) abgeschieden, während die Wände der Reaktionskammern gekühlt werden. Die hochreinen Siliziumstäbchen werden zerkleinert und als Polysilizium verkauft.

All diese während dieses Prozesses erforderlichen Schritte werden von allen großen Energie-Institutionen und -agenturen und damit auch von den Regierungen unterschätzt. Die Auswirkungen auf die Umwelt und die Volkswirtschaften (sowohl energie- als auch geldwirtschaftlich) sind sehr groß.

Thomas Troszak und andere haben viel darüber geforscht und auch geschrieben (z. B. [hier](#) „Warum verbrennen wir Kohle und Bäume, um Paneele herzustellen?“ Thomas A. Troszak).

Die folgenden Fotos geben Ihnen einen guten Überblick über einige der Prozessschritte, die bei der Herstellung von Solarsilizium erforderlich sind (eine weitere Verarbeitung/Veredelung ist für Computerchips in Ihrem Computer, Elektrofahrzeug, Telefon oder anderen elektronischen Geräten erforderlich):

5

Das Buch des Autors „*Unbequeme Wahrheiten... über Strom und die Energie der Zukunft*“ ist im Fachhandel erhältlich, Alle Graphiken und auch das Buch sind online bei [www.unpopular-truth.com](http://www.unpopular-truth.com)

---

## **Persönliche Anmerkung des Autors:**

Am 9. April war ich in Frankfurt als Redner auf der Institutional Money Conference, der wahrscheinlich größten Veranstaltung für institutionelle Anleger in Deutschland. Ich habe viele interessante Leute aus einer Branche getroffen, mit der ich normalerweise nicht viel zu tun habe.

Eines ist klar: Jeder macht sich Gedanken und stellt Fragen. Der Tag begann mit einem Podium, auf dem der „Wirtschaftsweise“ Prof. Grimm sprach.

Ich sorgte für einige Lacher, als ich eine Frage zum Thema Energie stellte... und nach der Antwort auf dem Podium fragte mich der Moderator noch einmal: „**Ist Ihre Frage beantwortet**“, und ich antwortete: „**Nein**“... wie auch immer, meine Sitzung war interessant, mit einer gesunden Debatte über die Zukunft der Energie.

Hier sind die Aufzeichnungen der Veranstaltung (die am selben Tag neu aufgezeichnet wurden)

- Warum es so schwierig ist, mit Wind und Sonne „ehrliches“ Geld zu verdienen, 12min – [hier](#)
- **Auch in Deutsch:** Warum es so schwierig ist mit Wind und Solar „ehrliches Geld“ zu verdienen, 14min – [hier](#)
- 2 Min Kurz-Zusammenfassung – [hier](#)
- 3 Fragen von Institutional Money an Lars (in Deutsch), 2min – [hier](#)

Übersetzt von Christian Freuer für das EIKE

Anmerkung: Dieser Beitrag wurde mir als Newsletter zugesandt, so dass kein expliziter Link angegeben werden kann. Der Autor selbst hat aber die Übersetzung überprüft, seine Änderungsvorschläge sind eingearbeitet.