

Die Notwendigkeit des Recyclings von Solarpanels

Dr. Yüksel Atakan, Strahlenphysiker Heppenheim, ybatakan4@gmail.com

Zusammenfassung

Die Notwendigkeit des Recyclings von Solarpanels wird immer dringlicher, da viele der seit den 1990er Jahren installierten Panels das Ende ihrer Lebensdauer von etwa 25 Jahren erreicht haben. Eine zentrale Frage ist, ob weltweit ausreichende Recyclingkapazitäten vorhanden sind, um die wachsende Menge alter Panels umweltgerecht zu verarbeiten und die Freisetzung giftiger Schadstoffe wie Blei und Cadmium in die Umwelt zu verhindern.



Schadstoffe in Solarpanels:

Solarpanels enthalten gefährliche Schwermetalle, darunter Blei, das in Lötstellen verwendet wird, und Cadmium in Dünnschichtpanels. Bei unsachgemäßer Entsorgung können diese Stoffe das Grundwasser und die Luft verschmutzen, insbesondere in Ländern ohne adäquate Recyclinginfrastrukturen.

Materialnutzung und Flächenbedarf:

Solarenergie benötigt große Mengen an Materialien wie Stahl, Beton und Glas sowie viel Fläche, da Solarpanels einen vergleichsweise niedrigen Wirkungsgrad haben. Dies führt zu einem erhöhten Ressourcenverbrauch und weiteren Umweltbelastungen.

Zukunftsaussichten:

Die Recyclingkapazitäten müssen dringend erweitert werden, um die wachsende Menge alter Solarpanels zu bewältigen. Trotz erster Fortschritte bei der Rückgewinnung wertvoller Rohstoffe reicht die Technologie in vielen Ländern noch nicht aus, um zukünftige Mengen zu verarbeiten und die Umweltbelastung durch Schadstoffe zu minimieren.

Fazit:

Solarenergie spielt eine entscheidende Rolle im Klimaschutz, aber die damit verbundenen Umweltprobleme, insbesondere im Bereich des Recyclings, müssen dringend angegangen werden. Nur durch eine nachhaltige Planung kann der Einsatz erneuerbarer Energien langfristig umweltfreundlich gestaltet werden

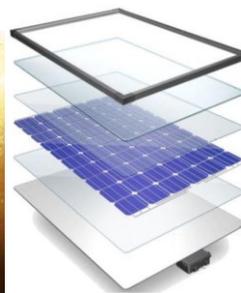
.....

Analyse-Einheiten

Gemäß „Öffentliche Nettostromerzeugung in Deutschland 2024 – Energetisch korrigierte Werte bis 08.09.2024“ wurden in Deutschland bis September 2024:

51 Terawattstunden = 51.000 Gigawattstunden (GWh) Strom aus 89 Gigawatt (GW) installierter Leistung erzeugt /1/.

1. **Effizienz der Solarstromerzeugung (Erläuterungen für Laien)** Unter „installierter Leistung“ versteht man die maximale elektrische Leistung, die eine Anlage erzeugen kann. Wenn z.B. 18 Solarpanels mit jeweils 300 Watt auf einem Dach installiert wurden, beträgt die installierte Leistung des Hauses: 18 Panels x 300 Watt = 5.400 Watt (W).



1. Aluminium Frame
2. Tempered Glass - to protect cells
3. Encapsulant material – e.g. EVA film
4. Silicon solar cells – 60 or 72 connected in series
5. Encapsulant material
6. Back sheet – various materials used
7. Junction box – typically using 12v wiring

Quelle: www.adac.de

Ein Silizium-Solarpanel besteht aus ca. 70 % Glas, 10 % Plastik, 8 % Aluminium, 5 % Silizium, 1 % Kupfer und 1 % Silber sowie geringen Mengen von Blei, Cadmium, Antimon und anderen Stoffen.

Der Kapazitätsfaktor bzw. die Effizienz (E) der Stromerzeugung eines Kraftwerks wird als das Verhältnis der tatsächlich erzeugten Strommenge im Jahr zur maximal möglichen Strommenge berechnet, die bei kontinuierlicher Volllast das ganze Jahr über erzielt werden könnte. d.h.: bis 8 September 2024 für 1 Jahr:

$$E = 51.000 \text{ GWh} / (89 \text{ GW} \times 24 \text{ Std.} \times 365 \text{ Tage}) = 51.000 / 779.640 = \mathbf{6,5 \%}$$

Das bedeutet, dass bei Solarenergie nur 6,5 % der installierten Leistung im Jahr in Strom umgewandelt werden konnten, während 93,5 % der Leistung ungenutzt blieben, da nachts keine Sonne scheint und an vielen Tagen die Sonneneinstrahlung zu schwach ist.

Zum Vergleich: Bei Wasserkraftwerken liegt der Effizienz (Kapazitätsfaktor) bei ca. 90 %, bei Kernkraftwerken ca. bei 80 % und bei fossilen Kraftwerken bei ca. 60 %.

Anmerkung: Diese Effizienz (E) oder der Kapazitätsfaktor darf nicht mit dem Wirkungsgrad eines Solarpanels verwechselt werden, der die Umwandlungsrate von Sonnenenergie in elektrische Energie im Panel darstellt und bei ca. 20 bis 25 % liegt.

Nach der Bundesnetzagentur /2/: „Am Jahresende 2023 betrug die installierte Gesamtleistung in Deutschland 81,7 Gigawatt. Um das Ausbauziel von 215 Gigawatt für

Solarleistung im Jahr 2030 zu erreichen, müssen künftig jährlich 19 Gigawatt zugebaut werden. 2023 wurden in Deutschland 54 TWh Strom aus Solarenergie erzeugt.“

2. Gesamtanzahl der Solarpanels in Deutschland

Ausgehend von rund 90 GW installierter Gesamtleistung und einer durchschnittlichen Leistung von 300 Watt pro Panel, beträgt die geschätzte **Gesamtanzahl der Panels in Deutschland heute:**

$$90 \text{ GW} \times 1.000.000.000 \text{ W/GW} / 300 \text{ W} = \mathbf{300 \text{ Millionen Stück.}}$$

Bei einem durchschnittlichen Gewicht von 20 kg pro Panel ergibt sich eine Gesamtsumme von: 300 Millionen Panels x 20 kg/Panel = 6 Millionen Tonnen.

Um diese Menge zu veranschaulichen: Würde man sie auf LKWs mit 30 Tonnen Ladung verteilen, ergäbe sich: 6.000.000 Tonnen / 30 Tonnen/LKW = 200.000 LKWs.

Eine Kolonne dieser LKWs mit jeweils 100 Metern Abstand würde eine Länge von 200.000 x 100 Meter = 20.000.000 Metern = 20.000 km erreichen, was der halben Äquatorlänge entspricht.

Sollten die Planziele gemäß /2/ für das Jahr 2030 erreicht werden, müssten alle genannten Zahlen um den Faktor $215/90 = 2,39$ erhöht werden. Das bedeutet, die Kolonne der Panels würde die Erde einmal umkreisen.

Anmerkung: Die „International Renewable Energy Agency“ prognostiziert weltweit bis zu 78 Millionen Tonnen Solarpanels bis 2050.

Ein Solarpanel hat eine Lebensdauer von etwa 25 Jahren. Solarenergie gibt es in Deutschland bereits seit 1990. Nach der Presse: „Der Durchbruch der Solarenergie begann mit dem 1000-Dächer-Programm der Bundesregierung zwischen 1990 und 1992“. Das bedeutet, dass viele Panels nach 32 Jahren heute bereits recycelt werden müssten.

3. Anzahl der zu recycelnden Panels in den nächsten 25 Jahren und ab heute pro Jahr

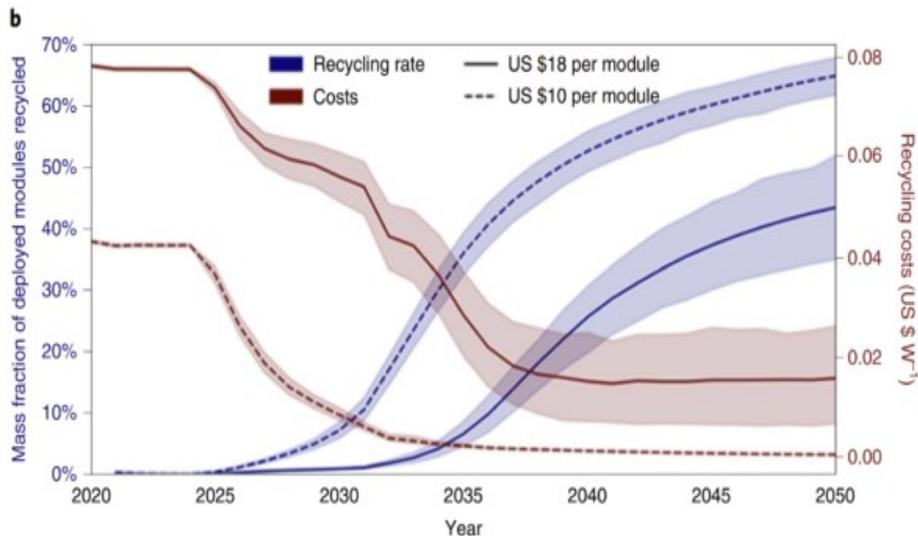
Angenommen, dass 300 Millionen Panels innerhalb von etwa 25 Jahren entsorgt werden und danach jährlich mindestens 4 % davon recycelt werden müssen, ergibt sich: 300 Millionen x 0,04 = 12 Millionen Panels pro Jahr.

Die Frage ist, ob in Deutschland jedes Jahr und in den folgenden Jahren genügend Recyclingkapazitäten vorhanden sein werden. Dies sollte weiter erforscht werden.

Das Recycling von Panels ist nicht nur teuer, sondern auch kompliziert und erfordert spezialisierte Maschinen und Fachpersonal (in Entwicklungsländern sind diese kaum vorhanden) /4/.

Das folgende Bild zeigt: Prozente von zu verwertenden Panels-Masse (links).

Das Recycling Price pro Watt in USA Dollars und pro Panel (rechts) Bild:



4. Schadstoffe in Solarpanels:

Es ist bekannt, dass in den Panels enthaltene Materialien wie Silizium, Cadmium, Antimon, Silber und Blei giftig sind und Altpanels daher mit Vorsicht entsorgt werden müssen. Insbesondere in Entwicklungsländern könnte dies ein großes Problem darstellen, wenn aus Kostengründen Altpanels nicht recycelt werden, sondern in offenen Mülldeponien unter schlechten Wetterbedingungen zerfallen und die giftigen Stoffe in die Umwelt gelangen.

Nach einer Studie (2014) erwarteten die Forscher z.B. weltweit 11.000 Tonnen Blei und 800 Tonnen Cadmium /3/ Diese Zahlen müssen sicherlich nach oben korrigiert werden, da die Anzahl der Panels seit 2014 stark gestiegen ist und weiter steigt.

Auszug aus Freiflächenanlagen - LfL (bayern.de) /5/

„Etwa 90 % aller Solarpanels enthalten Silizium als Halbleiter, das zur Dotierung nur wenige Fremdatome enthält. Kontakte und Lötstellen enthalten jedoch Silber, Zinn oder größere Mengen Blei (bei 3000 m² Modulfläche pro ha rd. 20 – 25 kg Blei).

Bei Dünnschicht-Solarpanels wird häufig schwer lösliches Cadmiumtellurid (CdTe) und in geringem Umfang Cadmiumsulfid (CdS) als Halbleiter verwendet. Trotz der nur ca. 3 µm dünnen Halbleiterschicht ist pro ha mit etwa 18-26 kg Cadmium zu rechnen.

Bei handelsüblichen Solarpanels sind Halbleiterschicht, Kontakte und Verbindungsbänder folienlaminiert und von einer Frontglasscheibe sowie bei den CdTe-Panels üblicherweise zusätzlich von einer Rückglasscheibe umgeben. Nach derzeitigem Kenntnisstand ist von intakten Panels bauartbedingt kein Cadmium- und Bleieintrag in den Boden zu erwarten.

Bei einer starken Beschädigung der Solarpanels (z. B. durch Hagel oder Brand) ist eine Cadmium- oder Bleifreisetzung aber nicht gänzlich auszuschließen. Im Sinne des vorsorgenden Bodenschutzes sollten defekte Panels deshalb nicht für längere Zeit auf der Anlagenfläche verbleiben /5/.

Kurzversion: Schadstoffe in Photovoltaik-Freiflächenanlagen 266 KB
Ausführlicher Artikel: Schadstoffe in Photovoltaik-Freiflächenanlagen“

5. Schlusswort

Der Zweck dieses Artikels ist es, auf die weniger bekannten Probleme der Solarstromerzeugung in Deutschland und weltweit aufmerksam zu machen. Zum Beispiel ist der Kapazitätsfaktor von Solaranlagen so niedrig, dass viel mehr Panels installiert werden müssen, als die installierte Leistung vermuten lässt. Eine Solarfarm mit 3 Millionen Panels für eine Leistung von 1.200 MW benötigt weit mehr Material (wie Stahl, Beton usw.) als andere Kraftwerke zur Erzeugung derselben Strommenge. Die Gesamtzahl der jährlich zu recycelnden Panels ist so groß, dass dies weltweit eine Herausforderung darstellt. Selbst in hochentwickelten Industrieländern könnte es durch enthaltene Giftstoffe zu Umweltbelastungen kommen, da das Recycling möglicherweise nicht vollständig durchgeführt wird und Teile der Panels auf Deponien landen.



Literatur

/1/: <https://www.energy-charts.info/charts/energy/chart.htm?l=de&c=DE&chartColumnS>

/2/: https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/2024/20240105_EEGZubau.html

/3/: Schadstofffreisetzung aus Photovoltaik-Modulen – Prof. Dr. Jürgen Werner, Universität Stuttgart, Institut für Photovoltaik (2014–2017) und
<https://www.enbausa.de/solarenergie/aktuelles/artikel/wissenschaftler-untersuchen-schadstoffe-aus-pv-modulen-3933.html>

/4/: Recycling von Solarpanels: Wirtschaftlichkeit und Herausforderungen – pv magazine USA (pv-magazine-usa.com)

/5/ Schadstoffe in Photovoltaik-Freiflächenanlagen - LfL (bayern.de)Schadstoffe in Photovoltaik-Freiflächenanlagen - LfL (bayern.de)