

Ist Solarenergie sauber und preiswert?

Millionen ausgedienter Solarmodule mit wertvollen, aber krebserregenden Zusatzstoffen in Ökozyklen !

Toxische Zusatzstoffe in Solarmodulen: Warum?

Um aus Solarmodulen elektrischen Strom gewinnen zu können, werden ihnen verschiedene Zusatzstoffe wie Cadmium, Antimon, Silber oder Blei beigelegt. Diese Stoffe sind notwendig, um die gewünschten Halbleitereigenschaften zu erzielen. Der photovoltaische Effekt – und damit die Stromerzeugung – beruht letztlich auf der elektrischen Leitfähigkeit dieser Materialien. Gleichzeitig handelt es sich bei mehreren dieser Stoffe um toxische oder potenziell krebserregende Substanzen, die bei unsachgemäßer Entsorgung Umwelt und Gesundheit gefährden können.

Zusammenfassung

Der weltweite Ausbau der Solarenergie gilt als zentraler Baustein der Energiewende. Dabei werden jedoch die ökologischen, gesundheitlichen und klimapolitischen Folgewirkungen der Herstellung, Nutzung und Entsorgung von Solarmodulen häufig unzureichend berücksichtigt.

Der vorliegende Artikel analysiert insbesondere die Problematik des global anwachsenden Solarmodulabfalls, die begrenzten Recyclingmöglichkeiten, die Verlagerung von CO₂-Emissionen durch die energieintensive Produktion nach China sowie die Auswirkungen des deutschen Atomausstiegs auf Stromimporte, Energiepreise und die CO₂-Bilanz.



1. Einleitung

Solar- und Windenergie werden weltweit als saubere, preiswerte und nachhaltige Energiequellen propagiert. Ziel ist es, den Klimawandel einzudämmen und die Abhängigkeit von fossilen Energieträgern zu reduzieren. Gleichzeitig entstehen jedoch neue Umweltprobleme, insbesondere durch die Herstellung und Entsorgung ausgedienter Solarmodule sowie durch systemische Effekte im internationalen Energiemarkt. Es gibt sozusagen **keinen „free lunch“**.

2. Globale Entwicklung der Solarmodulabfälle

Im Jahr 2023 betrug die weltweit installierte Solarleistung rund 1.400 GW, was etwa 77 Millionen Tonnen Material entspricht. Bis 2045 werden zusätzlich rund 2.000 GW erwartet. Bei einer durchschnittlichen Lebensdauer von 20 bis 25 Jahren ist weltweit mit einer

Abfallmenge von über 100 Millionen Tonnen ausgedienter Solarmodule zu rechnen. Diese Abfallmengen stellen die bestehenden Recyclingstrukturen vor erhebliche Herausforderungen.

Tabelle 1: Stromerzeugung, installierte Gesamtleistung, Solarleistung und Solarmodulabfälle

(Welt 2023; Türkei und Deutschland 2024; Schätzung: durchschnittlich 300 W pro Modul)

Region	Stromerzeugung (TWh/Jahr)	Installierte Gesamtleistung (GW)	Solarleistung (GW)	Anzahl Solarmodule	Altmodule/Schrott pro Jahr
Welt	29.485	8.820	1.400	ca. 4,67 Mrd. (≈ 100 Mio. t)	ca. 233 Mio.
Türkei	335	124	20	ca. 67 Mio.	ca. 3 Mio.
Deutschland	491	269	98	ca. 325 Mio.	ca. 16 Mio.

3. Recycling-Realität und Stoffströme

Häufig wird angegeben, Solarmodule seien zu etwa 95 % recycelbar. In der Praxis können jedoch überwiegend nur Glas und Aluminium wirtschaftlich zurückgewonnen werden. Kunststoffe werden meist thermisch verwertet. Silizium ist aufgrund des hohen Energiebedarfs beim Reinigungsprozess wirtschaftlich kaum recycelbar. Schwermetalle wie Blei oder Cadmium stellen besondere Umwelt- und Gesundheitsrisiken dar, da sie bei unkontrollierter Freisetzung toxisch wirken.

Auch **5 % nicht recycelbarer Anteil** sind erheblich – dies entspricht Millionen von Schrottmodulen.

4. Umwelt- und Gesundheitsrisiken

Durch Witterungseinflüsse, mechanische Beschädigungen oder unsachgemäße Montage sowie Entsorgung können giftige Stoffe aus Solarmodulen in Böden, Grundwasser und Pflanzen gelangen. Über die Nahrungskette können diese Substanzen in den menschlichen Körper aufgenommen werden und langfristig das Krebsrisiko sowie andere chronische Erkrankungen erhöhen.

5. Herstellung von Solarmodulen und globale CO₂-Verlagerung nach China

Ein Großteil der weltweit installierten Solarmodule – auch für den deutschen Markt – wird in China gefertigt. Die Herstellung von Polysilizium, Wafern und Modulen ist äußerst energieintensiv und erfolgt dort zu großen Teilen unter Einsatz von Kohleenergie. Dadurch entstehen erhebliche CO₂-Emissionen am Produktionsstandort.

China war 2024 mit rund 11,2 Milliarden Tonnen CO₂ für etwa 31 % der weltweiten CO₂-Emissionen verantwortlich. Deutschland emittierte im gleichen Zeitraum rund 570 Millionen Tonnen (ca. 1,6 %), Frankreich etwa 250 Millionen Tonnen. Diese Zahlen verdeutlichen, dass die Verlagerung energieintensiver Produktionsprozesse zwar nationale Emissionsbilanzen in Industrieländern verbessert, die globalen Emissionen jedoch nicht reduziert, sondern teilweise sogar erhöht.

Der vermeintliche Klimavorteil der Solarenergie in den Verbrauchsländern relativiert sich somit, wenn die Herstellungsemissionen der importierten Anlagen nicht in die nationale CO₂-Bilanz einbezogen werden.

6. Ausstieg aus der Kernenergie in Deutschland und Stromimporte

Mit der Abschaltung der letzten Kernkraftwerke im April 2023 hat Deutschland vollständig auf die Nutzung der Kernenergie zur Stromerzeugung verzichtet. In der Folge ist Deutschland zunehmend auf Stromimporte angewiesen.

Bereits 2023 wurde Deutschland erstmals seit über zwei Jahrzehnten wieder Netto-Stromimporteur. Im Jahr 2024 sowie Anfang 2025 stammte ein erheblicher Teil der importierten elektrischen Energie aus Frankreich. Frankreich erzeugt rund zwei Drittel seines Stroms aus Kernkraft und weist daher einen sehr niedrigen CO₂-Emissionsfaktor pro Kilowattstunde auf.

Damit entsteht ein energiepolitischer Widerspruch: Während Deutschland aus Gründen der Risikovermeidung auf Kernenergie verzichtet, wird gleichzeitig Strom importiert, der im Ausland überwiegend durch Kernenergie erzeugt wird. Dies beeinflusst sowohl die Versorgungssicherheit als auch die reale CO₂-Bilanz des deutschen Stromverbrauchs.

7. Deutschland als Hochpreis-Energiestandort

Die Energiewende wird in Deutschland jährlich mit rund 20 Milliarden Euro subventioniert. Diese Kosten tragen wesentlich zu hohen Strompreisen für Industrie und Haushalte bei. Dadurch ist Deutschland im internationalen Vergleich kein günstiger Produktions- und Investitionsstandort mehr. Insbesondere energieintensive Unternehmen haben ihre Produktion teilweise ins Ausland verlagert, unter anderem nach China. Im Vergleich zu Frankreich liegen die Strompreise in Deutschland im Jahr 2025 deutlich höher.

8. Schlussfolgerungen

Der Ausbau der Solarenergie ist aus klimapolitischer Sicht notwendig, muss jedoch ganzheitlich betrachtet werden. Neben dem Ausbau erneuerbarer Energien sind realistische CO₂-Bilanzen unter Einbeziehung der Herstellungsemissionen, wirksame Recyclingstrategien für Solarmodule sowie eine konsistente und wirtschaftlich tragfähige Energiepolitik erforderlich.

Die hohen Energiepreise in Deutschland verschärfen zusätzlich wirtschaftliche Standortnachteile und fördern die Abwanderung energieintensiver Industrien. Ohne Korrekturen drohen langfristige Umwelt-, Klima-, Gesundheits- und Wirtschaftsbelastungen, die kommenden Generationen aufgebürdet werden.

Yüksel Atakan, Dr., Dipl.-Phys.E-Mail: ybatakan4@gmail.com 22.12.2025

Literatur

1. Deutschland als „nicht mehr günstiges Industrieland“ wegen hoher Energiepreise Heinemann, Friedrich; Kraus, Margit; Steger, Paul (2025):

Energiepreise und Importrisiken im Standortvergleich — Sonderstudie zum Länderindex Analyse der Energiepreisniveaus und Wettbewerbsrisiken für Industrie in Deutschland im

internationalen Vergleich, mit Fokus auf Strom- und Energiepreisentwicklung gegenüber anderen EU- und OECD-Ländern. [Familienunternehmen](#)

2. Kernenergie in der EU / energiepolitische Literatur

Vietor, Marcel (2011):

Energiesicherheit für Europa: Kernenergie und Erdgas als Brückentechnologien.

Nomos Verlag, Baden-Baden. ISBN: 978-3-8329-6584-6.

Sowie:

- Our World in Data: *Global CO₂ Emissions*
- International Energy Agency (IEA): *Solar PV Manufacturing and Energy Use*
- Statistisches Bundesamt (Destatis): *Stromerzeugung und Stromhandel Deutschlands*
- RTE France: *Electricity Production Mix*
- Energy & Management: *CO₂-Emissionsfaktoren der Stromerzeugung in Europa*