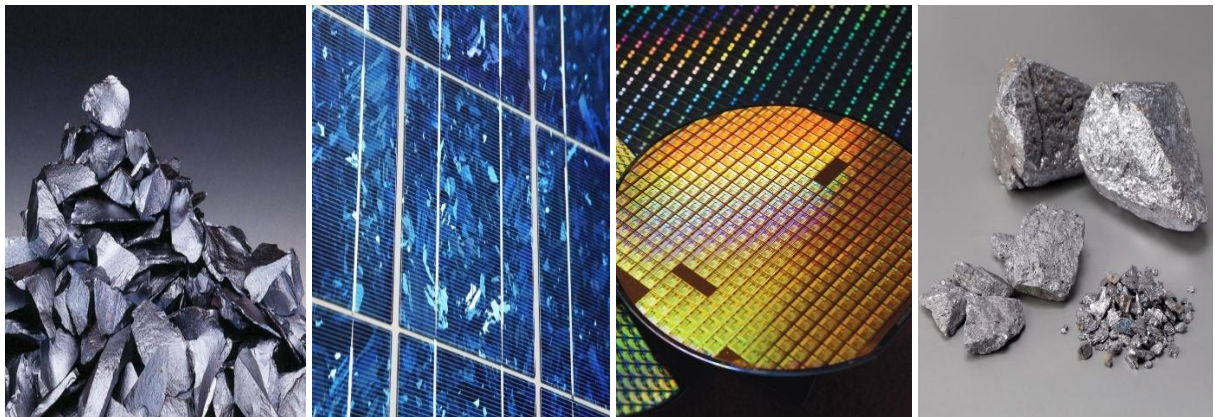


Silizium

Recyclingsteckbrief



Silizium

Recyclingsteckbrief

1. Versorgungssituation

Große natürliche Vorkommen von Quarz/Quarzit (SiO_2) als Rohstoff für Silizium befinden sich in Amerika, Australien, Afrika und Asien. In Europa sind abbauwürdige Quarz-Vorkommen vorhanden, dennoch ist die Industrie insbesondere bei Vorstufen der PV-Wertschöpfung stark importabhängig. Mit über 80 % hatte China 2024 die höchste Produktion von Siliziummaterialien weltweit. Die Produktionsstätten in Europa beziehen ihre Rohstoffe überwiegend aus importierten Primärrohstoffen bzw. Siliziummaterialien sowie ergänzend aus Schrotten [1,2]

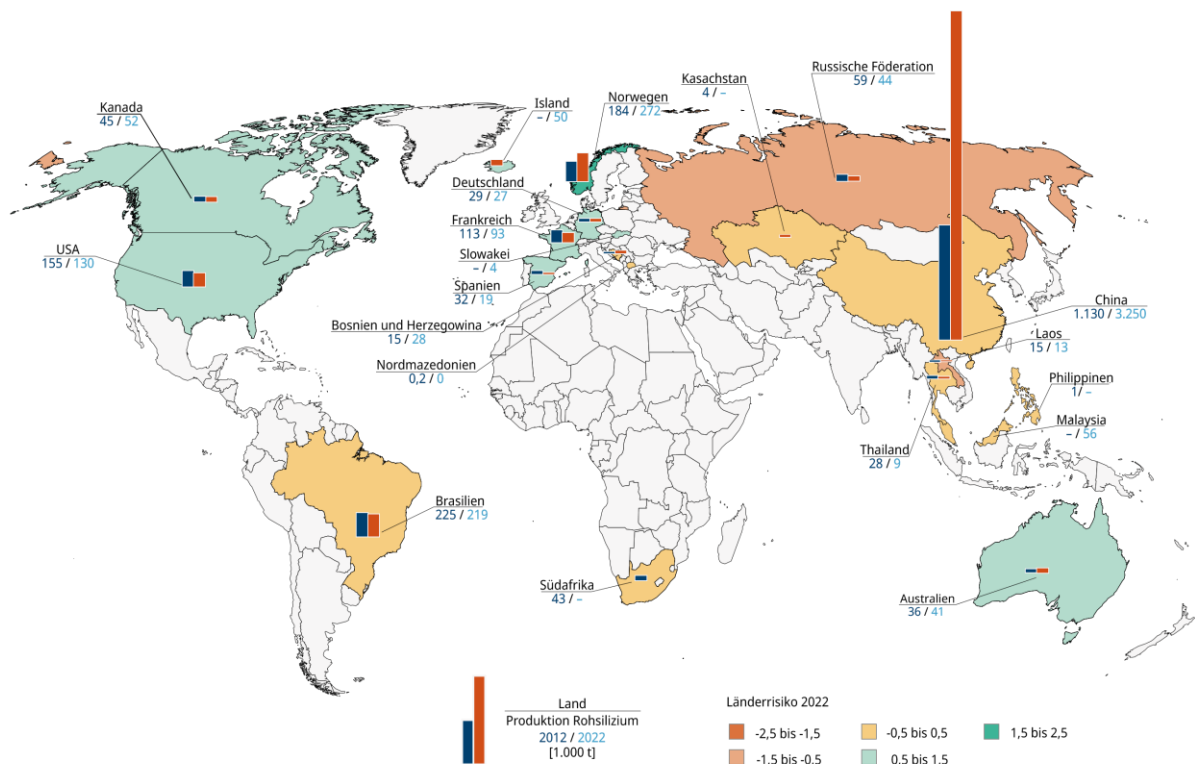


Abb.1: Länder mit bedeutender Produktion von Rohsilizium in den Jahren 2012 und 2022 [1]

Jahresproduktionsmenge an Silizium

ca. 9,65 Mio. t Siliziumgehalt weltweit (2024) [2,3,9]

Einsatzquote der Minenproduktion (Primärrohstoffe, Quarz/Quarzit) an der Produktionsmenge
ca. 8,70 Mio. t = 90 % weltweit (2024) [1,2,9]

Einsatzquote von Neuschrott an der Produktionsmenge
ca. 0,65 Mio. t = 6,7 % weltweit (2024) [2,5 und eigene Recherchen]

Einsatzquote von Altschrott an der Produktionsmenge
ca. 0,30 Mio. t = 3,1 % weltweit (2024) [2,5,8 und eigene Recherchen]

Jahresverbrauch Fertigprodukte:

ca. 9,0 Mio. t Siliziumgehalt weltweit (2024) [1,4,8], aufgeteilt in:

- ~60 % Ferrosilizium (Stahl-/Metallurgie Anwendungen)
- ~35 % Siliziummetall (Chemie, v. a. Silikone)
- < 5 % hochreines Polysilizium (Solarzellen und Halbleiter)

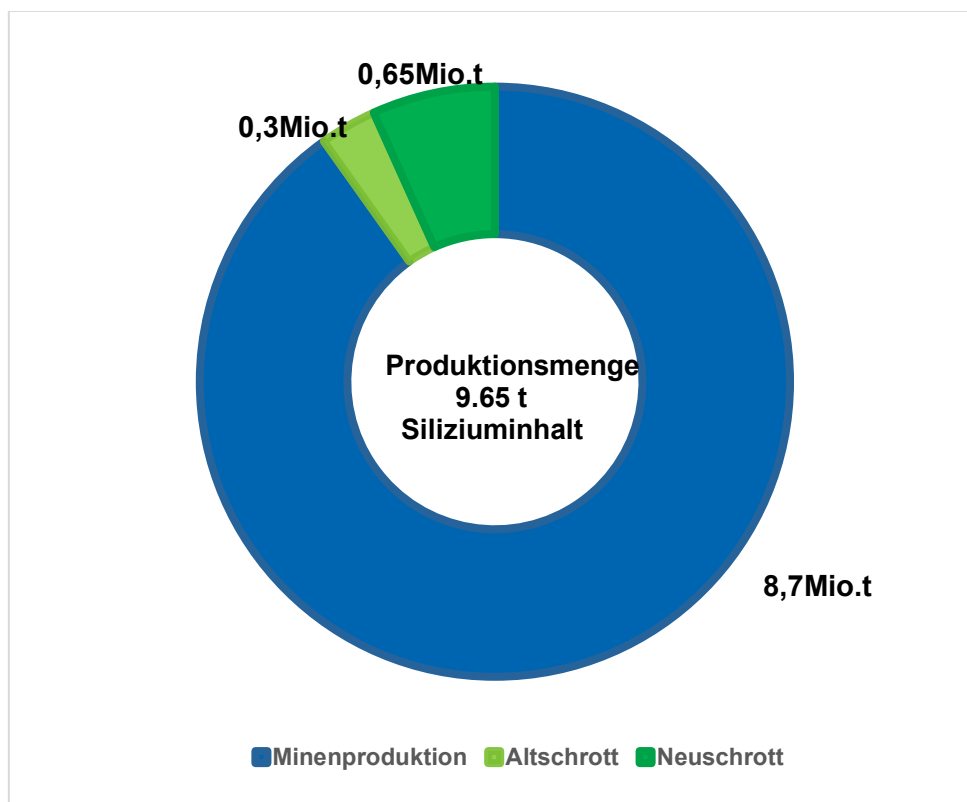


Abb.2: Jahresproduktion Silizium und Siliziumverbindung Weltweit (2024)

2. Ressourcen

Siliziumreserven in natürlichen Lagerstätten:

Silizium ist das zweithäufigste Element der Erdkruste. Abbauwürdige Rohstofflagerstätten in Form von Quarz und Quarzit gelten weltweit als sehr umfangreich und auf absehbare Zeit nicht limitierend. USGS und BGR beziffern die abbauwürdigen Reserven nicht in absoluten Tonnen, sondern als praktisch unbegrenzt verfügbar (Stand 2024) [1,2,9].

Siliziumpotenzial in natürlichen Lagerstätten:

Aufgrund der geologischen Häufigkeit wird das weltweite Potenzial ebenfalls als sehr groß und für viele Jahrzehnte ausreichend beschrieben [1,2,9].

Anteil der Verbrauchsmenge und geschätzte Verweildauer von Silizium in Produkten

[2,4,5,9 und eigene Recherchen]

~ 60 % in Ferrosilizium/Stahllegierungen	0,5–1,0 Jahre
~ 35 % in chemischen Produkten (Silikone, Silane)	5–15 Jahre
< 5 % in PV-Modulen (Polysilizium)	25–30 Jahre
< 1 % in Halbleitern/Elektronik	5–10 Jahre

Siliziumreserven in Produkten

ca.2–3 Mio. t Siliziumgehalt bis 2050 allein aus PV-Modulen; weitere Millionen Tonnen aus Produktionsabfällen (Kerf) und Elektronikschrotten (2024–2050) [1,2,5,8]

Siliziumpotenzial in Produkten ca.

60–78 Mio. t kumuliertes PV-Abfallaufkommen bis 2050 weltweit (davon 3–4 % Siliziumanteil in den Zellen) [1,2,5,8]

3. Preisinformationen

Historische Preise: [Metal Silicon Price Index, Trend, Chart 2025 & Forecast](#)

Aktuelle Preise: [Minor Metals – MineralPrices.com](#)

4. Recycling

Synergiepotenziale mit anderen Metallen in Alt- und Neuschrotten

Die Rückgewinnung von Silber, Kupfer, Aluminium und Zinn ist technisch möglich und wird – sofern wirtschaftlich – praktiziert.

Die Rückgewinnung dieser Metalle erfolgt meist in einer Kaskade in mehreren Unternehmen und Anlagen. [4,6,9]

Störstoffe in Abfällen, die das Recycling beeinträchtigen

Kunststoffverkapselungen (EVA, POE) und Rückseitenfolien (PVF, PVDF) in PV-Modulen, Lötzinn und Bleiverbindungen aus Zellkontaktierungen sowie Schleif- und Schmiermittel in Produktionsabfällen beeinträchtigen das Recycling und erhöhen den Energieaufwand.

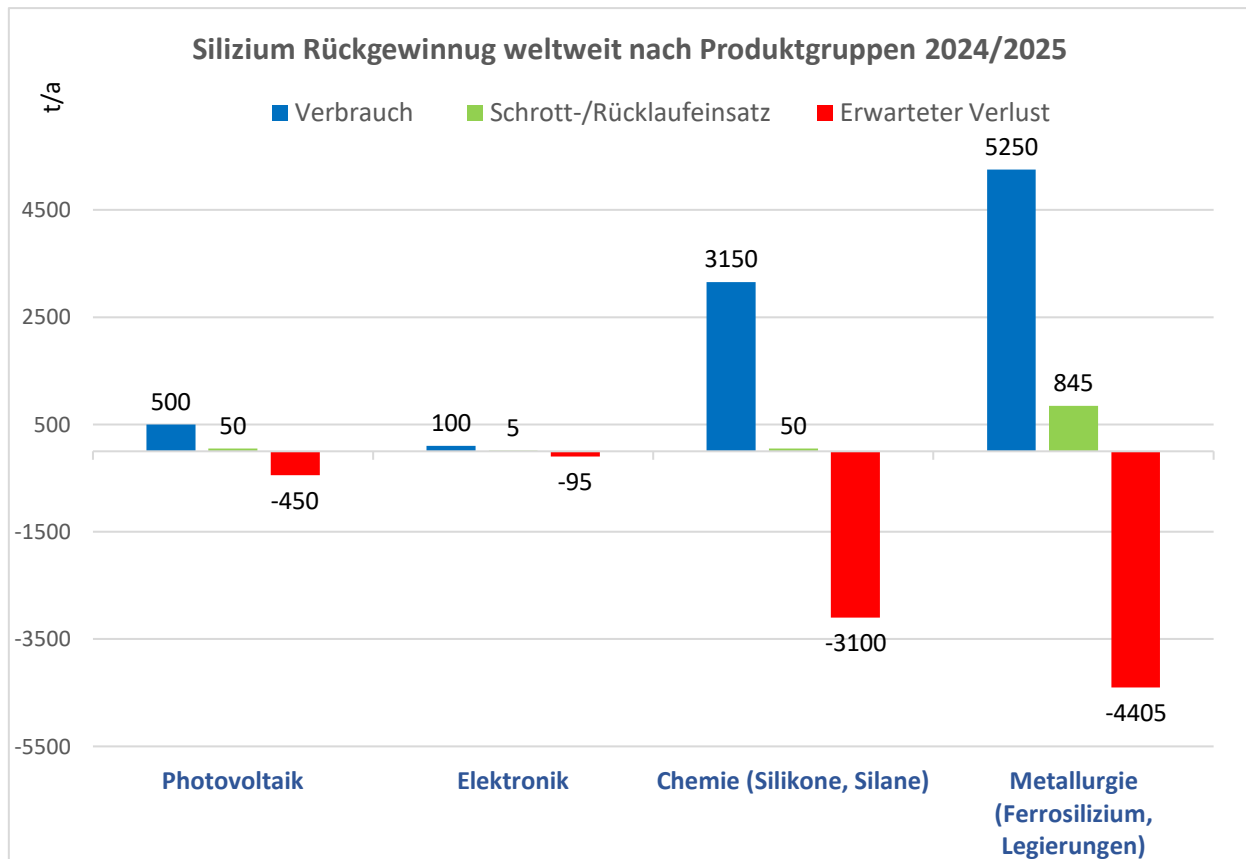


Abb. 3: Silizium-Rückgewinnung weltweit nach Produktgruppen [Eigene Auswertung aus 2,3,5]

Siliziumschrottsorten

Neuschrotte:

Sägeschlämme (Kerf-Loss), Waferbruch, Produktionsausschüsse aus Kristallisation und Waferzuschnitt.

Altschrotte:

End-of-Life Photovoltaikmodule, Elektronikschrotte mit Siliziumchips, Gießerei- und Stahlwerksrückläufe. [7,9 und eigene Recherchen]

Recyclingtechnologien

Verunreinigte Schrotte werden mechanisch, thermisch und chemisch aufbereitet.

Bei PV-Modulen erfolgt die Trennung von Glas, Metallen und Silizium durch Delamination, thermische Behandlung und nasschemische Reinigung.

Kerf-Abfälle werden durch Filtration, Säureaufschluss und magnetische Separation zu Sekundär-Silizium aufbereitet.

Das hochwertige Recycling („High-Value Recycling“) ermöglicht Rückgewinnungsraten von 80–96 % des Modulgewichts. [4, 7, 8]

Auswahl von Unternehmen mit Recyclingaktivitäten [4]

ROSI Solar SAS, Frankreich – Hochwertiges PV-Recycling, Rückgewinnung von Solar-Grade-Silizium, Silber und Kupfer. [ROSI | Kreislaufwirtschaft für die PV-Industrie](#)

LuxChemtech GmbH, Deutschland – Recycling von PV-Modulen, Halbleitern und Produktionsabfällen. [LuxChemtech GmbH - Ressources, Circular Economy, Environment](#)

Reiling GmbH & Co. KG, Deutschland – Großtechnisches PV-Recycling, Fokus auf Glas- und Metallrückgewinnung. [Wertstoffmanagement. Recycling. | Reiling Unternehmensgruppe](#)

PV CYCLE Europa – Sammel- und Rücknahmesystem mit Recyclingraten bis 96 % [Pv-Cycle.DE – Recycle](#)

Geschäftsmodelle zum Recycling

Siliziumrecycling folgt unterschiedlichen Geschäftsmodellen:

Erweiterte Herstellerverantwortung (EPR):

Hersteller und Importeure von PV-Modulen finanzieren Sammlung und Recycling nach EU-WEEE-Richtlinie. Organisationen wie PV CYCLE koordinieren europaweit Rücknahme und Verwertung.

Geschlossene Kreisläufe der PV-Industrie:

Unternehmen wie ROSI und LuxChemtech betreiben „Closed-Loop“-Kreisläufe, in denen Silizium, Silber und Kupfer direkt in die Modulproduktion zurückgeführt werden.

Recycling von Produktionsabfällen:

Wafer- und Zellhersteller verwerten Kerf-Abfälle und Waferbruch als Sekundärrohstoffe. Die Vergütung richtet sich nach Siliziumgehalt und Reinheit.

Dienstleistungsbasierte Modelle:

Integrierte Anbieter (z. B. Reiling, ROSI Solar, SENS eRecycling) übernehmen Sammlung, Aufbereitung und Vermarktung der Sekundärrohstoffe in einem Paket.

Quellen:

[1] BGR, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Silizium, Rohstoffwirtschaftlicher Steckbrief, Hannover 2024

[2] USGS, U.S. Geological Survey, Silicon, Reston, Virginia 2025

[3] Statista, Statista Research Department, Produktion von Silizium weltweit, 2025

[4] IEA-PVPS, Advances in Photovoltaic Module Recycling / Life Cycle Inventory. International Energy Agency PVPS Programme, 2024

[5] IRENA & IEA-PVPS, End-of-Life Management: Solar Photovoltaic Panels. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi 2016

[6] Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE with the support of PSE Projects GmbH, Photovoltaics Report, Freiburg 2025

[7] Resilex, Ergebnisse des Projekts, 2025

[8] Martens, Hans und Goldmann, Daniel: Recyclingtechnik, Fachbuch für Lehre und Praxis, Springer Verlag, Wiesbaden 2016

[9] DERA Deutsche Rohstoffagentur, Rohstoffinformationen 59, Rohstoffrisikobewertung – Silizium und Ferrosilikolegierungen, Berlin 2023

Anhang: Metallkonzentrationen Silizium und Begleitelemente												
Kategorie	Si	Si-Ausbringen je t Si	GWP als t CO ₂ je t Si	KEA als MJ je t Si	Ag	As	Cu	Al	Sn	Mn	Fe	Sn,Pb,C, P, B, Glas Kunststoff
Primäre Rohstoffe												
Quarzit / Quarz (Erze)	46 % (Si in SiO ₂)	80–95 %										
Erzkonzentrate (hochrein)	>99 % SiO ₂	>95 %						<0,0 5%			<0,05%	
Zwischenprodukte												
Polysilizium (Elektronik)	99,99999%	98–99 %									<1ppm	
Solarsilizium (Solar Grade)	99,99999%	98–99 %										
Ferrosilizium	15–90 %	80–95 %							0,5– 2%		x	
Produkte												
PV-Zellen (c-Si)	40–60 % (in Wafer)	80–95 %			0,05– 0,1%			1–2%				B; P<0,01% Glas /Kunststoff
Elektronikchips	>99,9999 %	>99 %										
Chemische Produkte (Silikone)	30–40 %	60–80 %							<0,0 1%		<0,01%	
Neue Weichschrotte												
Sägeschlämme (Kerf)	20–40 %	30–60 %										
Pulver / Stäube	40–70 %	50–70 %										
Späne (Halbleiter)	>99,9 %	70–90 %										
Neue Hartschrotte												
Waferbruch / Zell- Ausschuss	95–99 %	80–95 %										
Defekte Ingots	99,9 %	90–95 %										
Alte Hartschrotte												
End-of-Life PV-Module	3–5 % (bezogen auf Gesamtmod- ulmasse)	80–90 %										Kunststoff 10%
Elektronikschrotte (Chips auf PCBs)	1–3 % (in Geräten)	<50 %			0,1%		2– 10%	1–5%			<1%	Kunststoff 20–30%
Metallurgie-Rückläufe	20–60 %	50–70 %						1–3%			20–50%	B, P <0,05%
Siliziumhaltige Konsumgüter und Produkte												
Smartphones	10–15 g Si pro Einheit	20–40 %									1–10%	20–40%
Laptops / IT-Hardware	20–30 g Si pro Einheit	20–40 %									1–10%	20–40%
Fahrzeuge (Elektronikanteil)	5–10 g Si pro Fahrzeug	20–40 %									1–10%	20–40%

Legende:

Grün hinterlegt sind technisch gewinnbare Metalle (nicht immer wirtschaftlich realisierbar)

Rot hinterlegt sind Stoffe, die das Recycling beeinträchtigen.

X = Metall vorhanden, jedoch mit stark wechselndem Gehalt

GWP = Global Warming Potential

KEA = Kumulierter Energieaufwand

[Die Angaben beruhen auf eigenen Recherchen]