

Kosten-optimale Kapazitätsplanung von Photovoltaik Modul Recyclinganlagen in der Europäischen Union

**Sophie Hinterholzer¹ Maximilian Oitzinger¹ Sebastian
Zwickl-Bernhard¹,**

¹Energy Economics Group (EEG), TU Wien, Austria

12 Februar 2026

TU Graz EnInnov

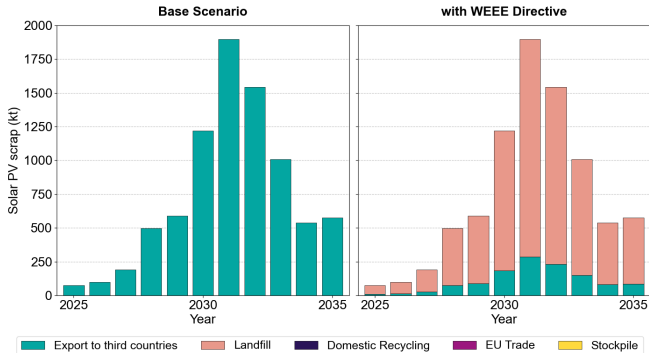


TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN



Motivation

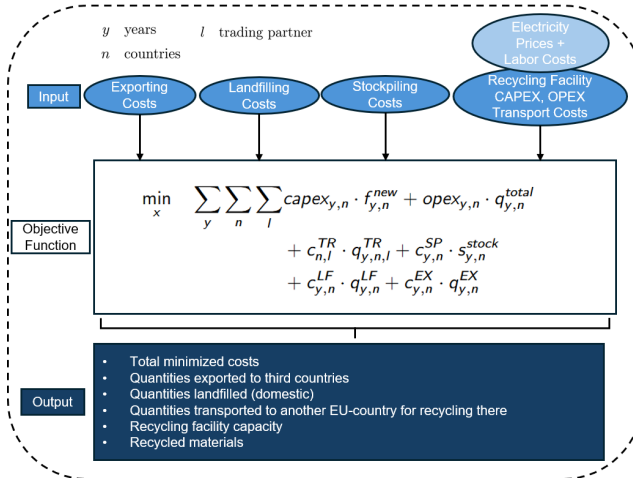
- Export zu Drittländern und damit keine Gewährleistung des Recyclings im Sinne der Kreislaufwirtschaft
- Selbst mit Sammelrate (WEEE Richtlinie) werden nicht alle kritische Rohstoffe (Aluminium, Kupfer, Silizium) recycelt



Forschungsfragen

- Wie sieht die kosten-optimale Recyclingstrategie für PV Module, insbesondere deren Kapazitätsentwicklung, im Zeitverlauf in der Europäischen Union aus, vor dem Hintergrund aktueller politischer Rahmenbedingungen, die verbindliche Ziele für die Rückgewinnung kritischer Rohstoffe sowie für die EU-weite Technologiebeschaffung festlegen?
- Welche spezifischen EU-Mitgliedstaaten weisen innerhalb dieser kosten-optimalen Strategie einen Vorteil auf und treten als Vorreiter hervor, indem sie ihre Recyclingkapazitäten im Vergleich zu anderen Ländern besonders schnell und in großem Umfang ausbauen?

Optimierungsmodell



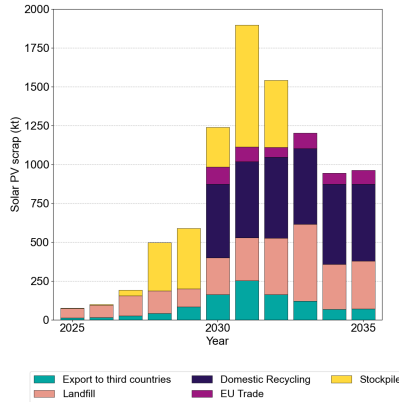
Main Scenario Constraint (Net Zero Industry Act & Critical Raw Material Act)

$$\sum_n q_{y,n}^{total} \times \eta^{recycling} + A_y \geq \alpha^{NZIAct} \times \alpha^{CRMAct} \times M_y \quad \forall y \quad (1)$$

- $q_{y,n}^{total}$...PV-Modul Schrott der recycelt wird
- $\eta^{recycling}$...Effizienz des Recyclingprozesses
- A_y ...Recycelte Rohstoffe von außerhalb der EU
- α^{NZIAct} ...40% der erneuerbaren Energietechnologien die installiert werden müssen in der EU produziert werden
- α^{CRMAct} ...25% des Bedarfs an kritischen Rohstoffen muss aus in der EU recycelten Materialien stammen
- M_y ...Jährlich neu installierte Leistung Photovoltaik

EU-Regulierungsmaßnahmen

- Schaffen Nachfrage nach recycelten kritischen Rohstoffen und führen damit zur Entwicklung PV-spezifischer Recyclinganlagen

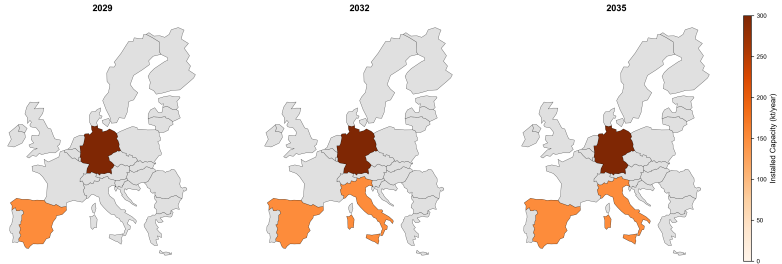


Kapazitätsplanung

Unter Berücksichtigung mehrerer Faktoren

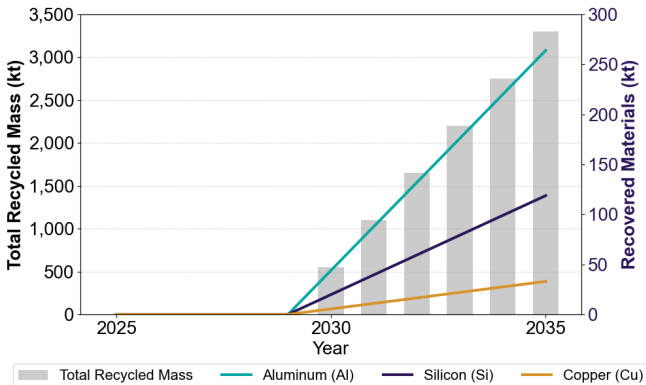
- **Strompreise**
- **Verfügbarkeit der End of Life PV-Module**
- **PV-Modul Produktionsstätten etc.**

werden vorzugsweise in Deutschland, Spanien und Italien Anlagen gebaut



Recycelte Rohstoffe

■ Recycelte Rohstoffe für die Produktion neuer PV-Module



Schlussfolgerungen

- 1 Die **zeitliche Verfügbarkeit** von End of Life PV-Modulen ist wichtig für die Planung einer optimalen Recyclingstrategie.
- 2 Bis **2035** benötigen wir in der EU eine PV-Modul spezifische Recycling Kapazität von **600 kt/y**, vorzugsweise in Deutschland, Spanien und Italien.
- 3 Bis **2035** werden **3 300 kt** recycelte Rohstoffe (Al, Cu, Si etc.) zur Verfügung stehen.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Fragen?

hinterholzer@eeg.tuwien.ac.at