

Umweltfussabdruck von Fotovoltaikstrom: Stand heute und zukünftige Entwicklung



International Energy Agency
Photovoltaic Power Systems Programme

Dr. Rolf Frischknecht, treeze Ltd.

14. Nationale Photovoltaik-Tagung
22. – 23. Februar 2016, Kursaal Bern

Motivation und Fragestellung

- Langfristig ausgerichtete Energiepolitik
 - verlangt Investitionsentscheide heute
 - hat weittragende Konsequenzen
 - bedarf zukunftsgerichteter Informationen
- Umweltauswirkungen der Stromerzeugung mit zukünftigen Photovoltaik-Panels

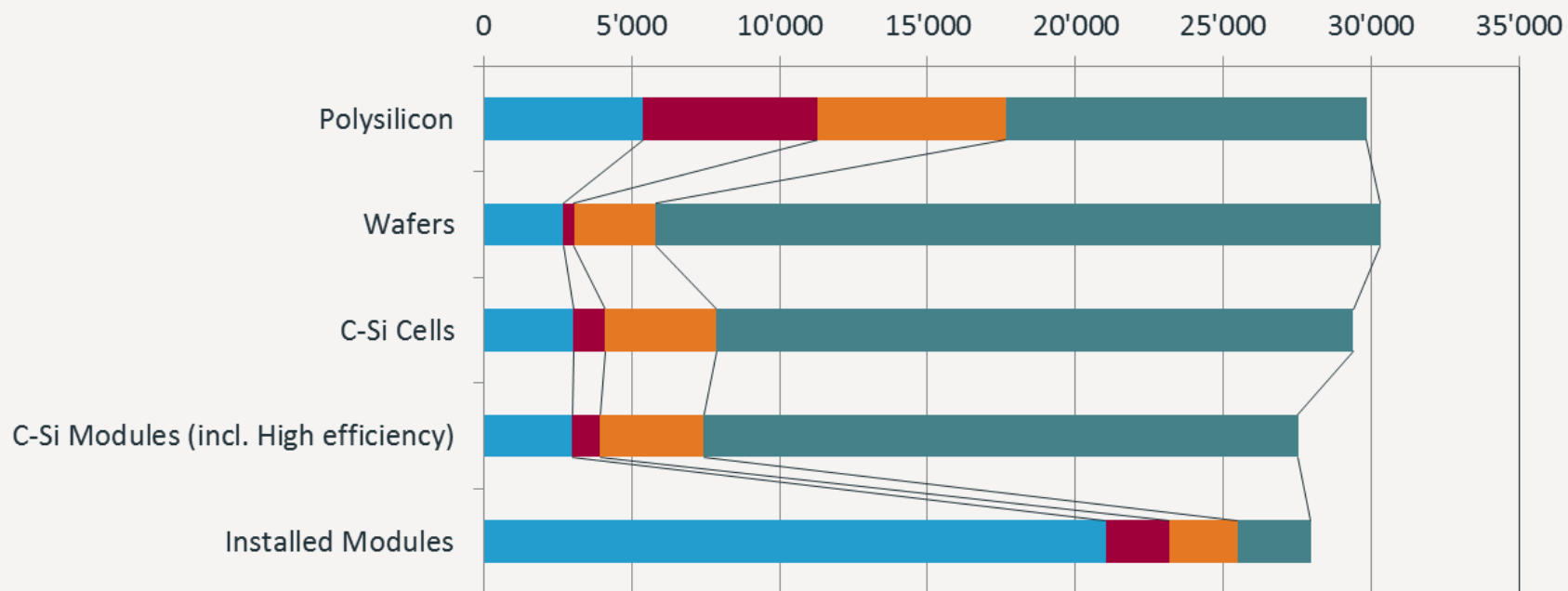
Analysierte Technologien und Untersuchungsumfang

- 2 PV Technologien
 - CdTe Dünnschicht Laminate (ungerahmt)
 - Laminate mit kristallinen Mono-Silizium Zellen (ungerahmt)
- Untersuchungsumfang
 - Ressourcengewinnung bis Herstellung Module
 - Inverter und Befestigung
 - Betrieb
 - Rückbau
- Bezugsgrösse: 1 kWh Wechselstrom
- Herstellung und Betrieb in Zukunft (ca. 2030 - 2050)

Marktsituation C-Si 2011

in MW

Photovoltaic power in MW (based on actual production in 2011)



| | Installed Modules | C-Si Modules (incl. High efficiency) | C-Si Cells | Wafers | Polysilicon |
|--------------------|-------------------|--------------------------------------|------------|--------|-------------|
| ■ Europe | 21'029 | 2'992 | 3'037 | 2'698 | 5'393 |
| ■ Americas | 2'151 | 944 | 1'066 | 360 | 5'902 |
| ■ Asia and Pacific | 2'290 | 3'501 | 3'760 | 2'761 | 6'352 |
| ■ China | 2'500 | 20'090 | 21'528 | 24'500 | 12'194 |

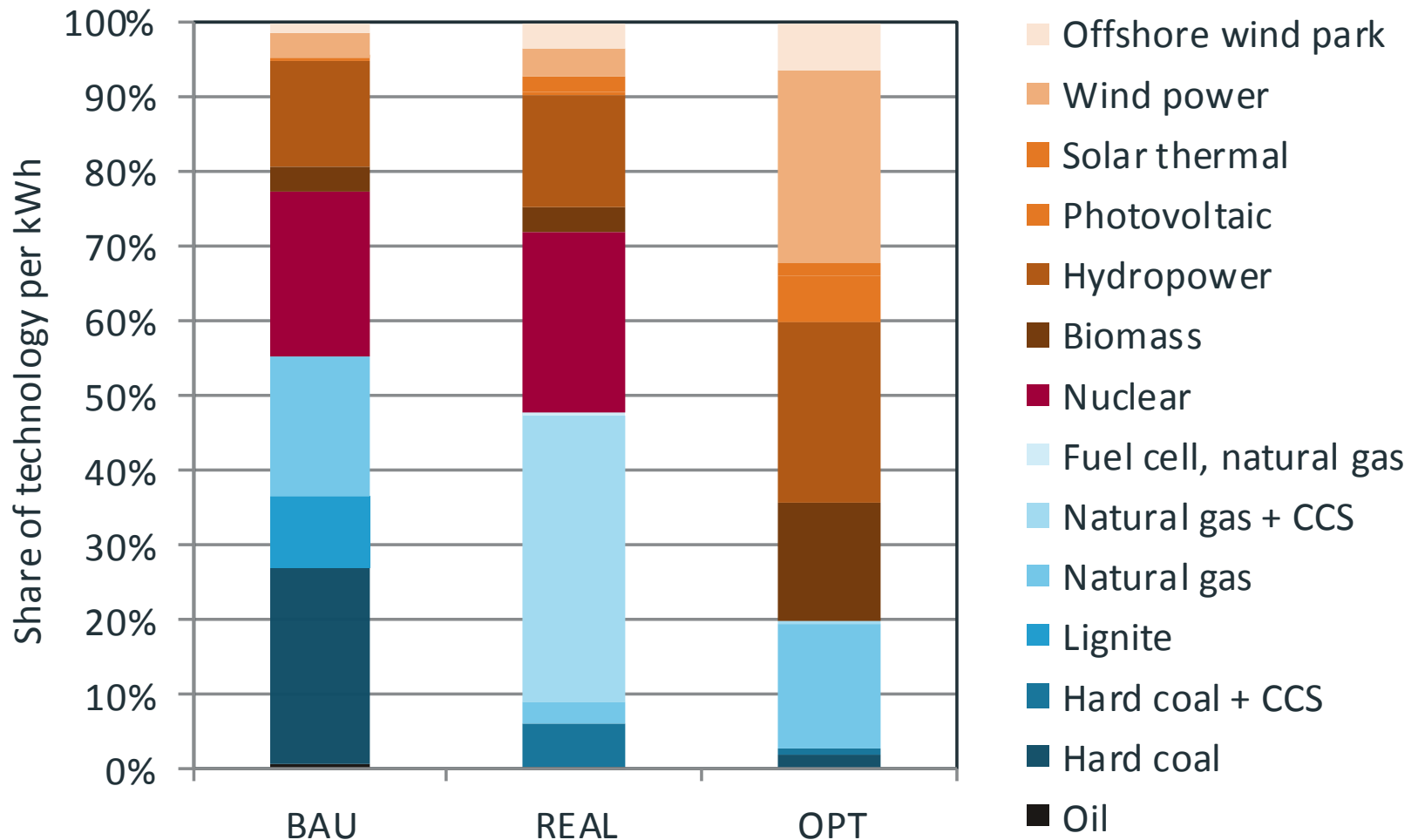
Berücksichtigte Entwicklungen

- PV Wertschöpfungskette
 - Moduleffizienz
 - Materialeffizienz
 - Herstellung Feedstock (Solar grade Silizium)
- Übrige Wirtschaft
 - Metallherstellung (Aluminium, Kupfer, Stahl)
 - Mineralische Baustoffe (Zement)
 - Lkw Transport
 - Strommix (genutzt in der PV Wertschöpfungskette)

Drei Szenarien

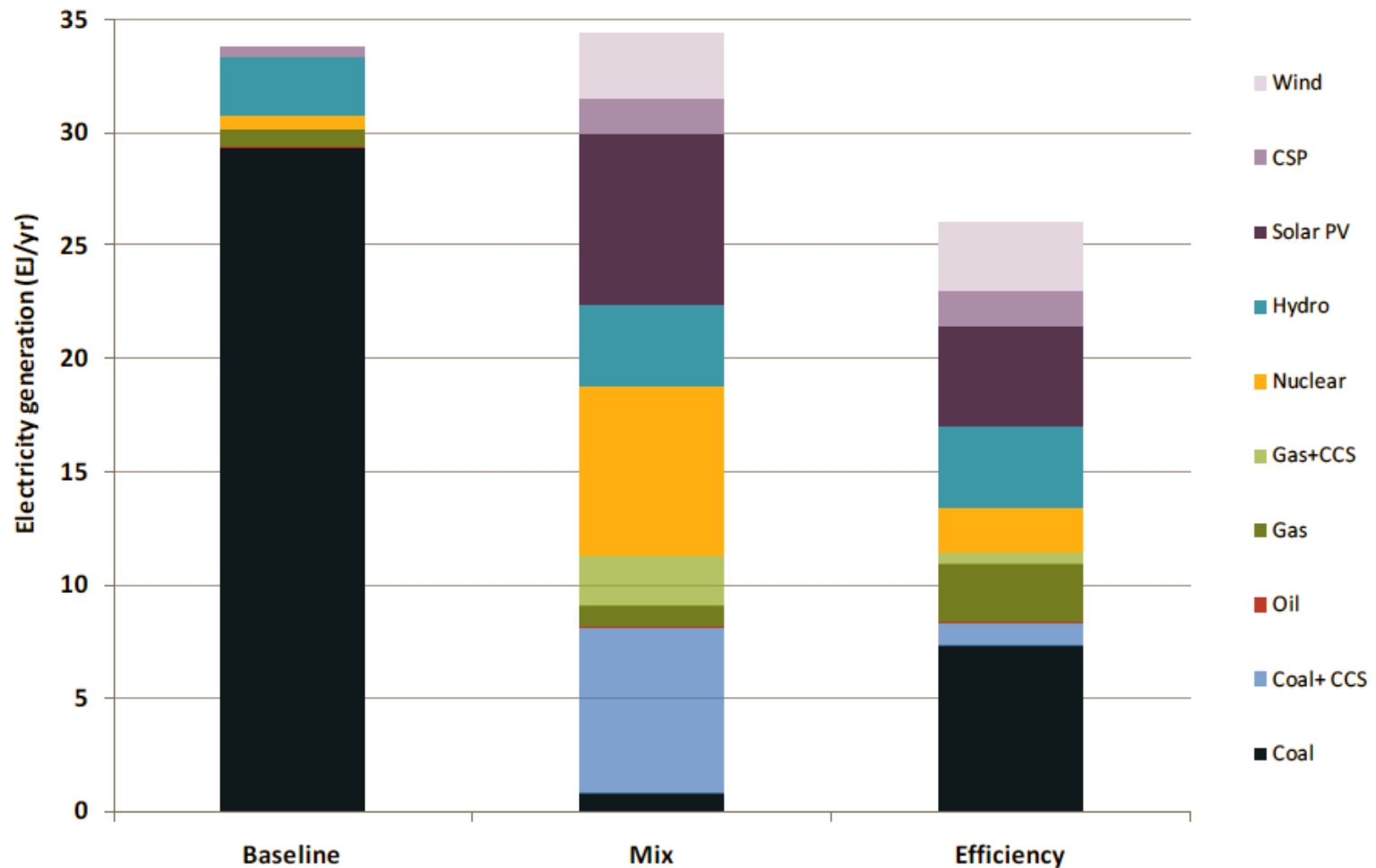
- **business as usual (BAU):**
Weiterführen der bisherigen Energiepolitik. Keine Ziele bezüglich Energiebedarf
- **realistische Verbesserungen (REAL):**
Erneuerbare Energien und energieeffiziente Technologien werden gefördert.
Schlüsseltechnologien werden gefördert und Energiepolitik hat einen hohen Stellenwert
- **optimistische Verbesserungen (OPT):**
Hoch ambitionierte Energiepolitik. Effiziente Technologien werden stark gefördert

Strommix ENTSO-E 2050



NEEDS project: Frischknecht et al. (2008)

Strommix China 2050

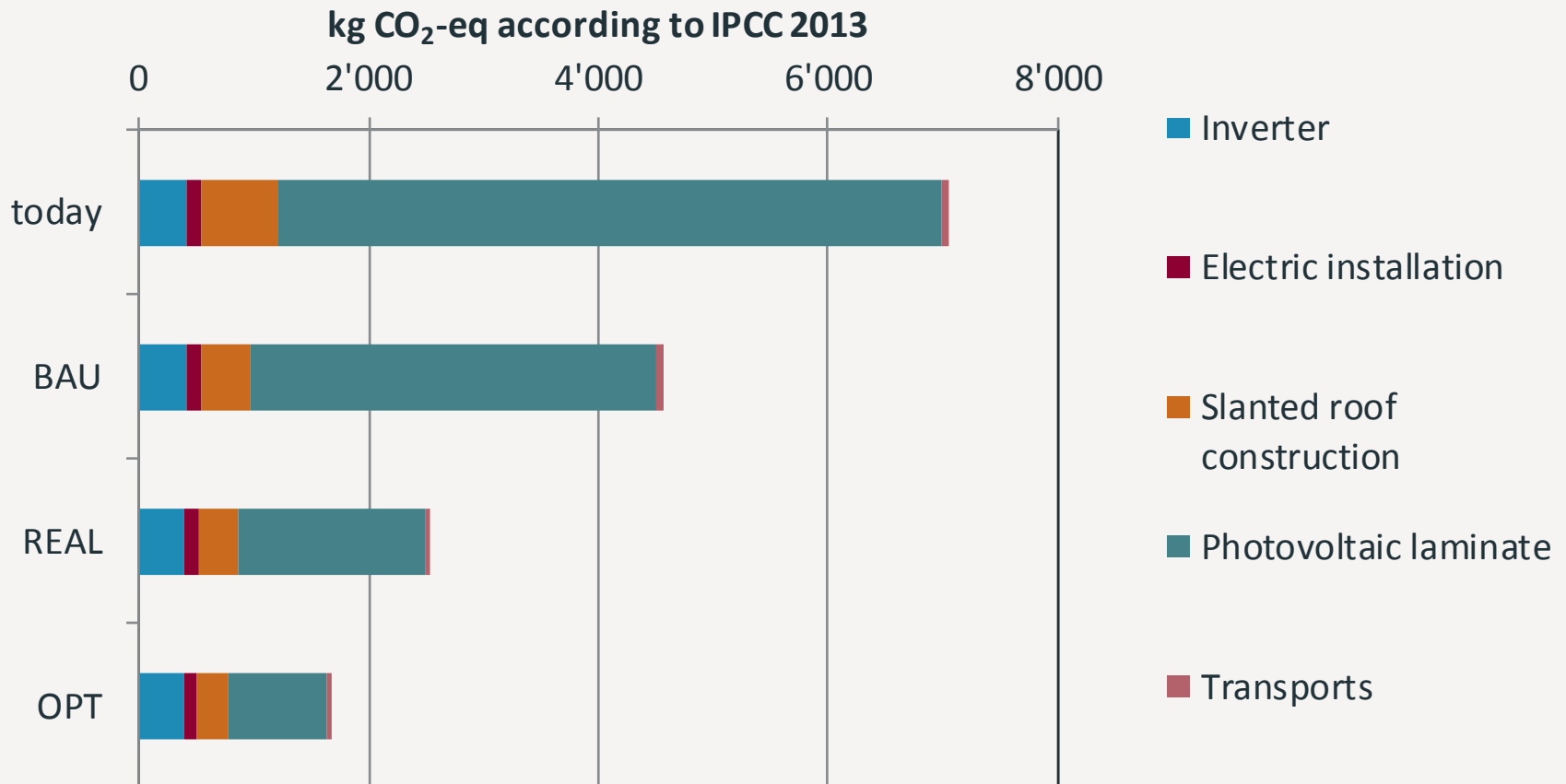


Schlüsselgrößen in der PV Wertschöpfungskette

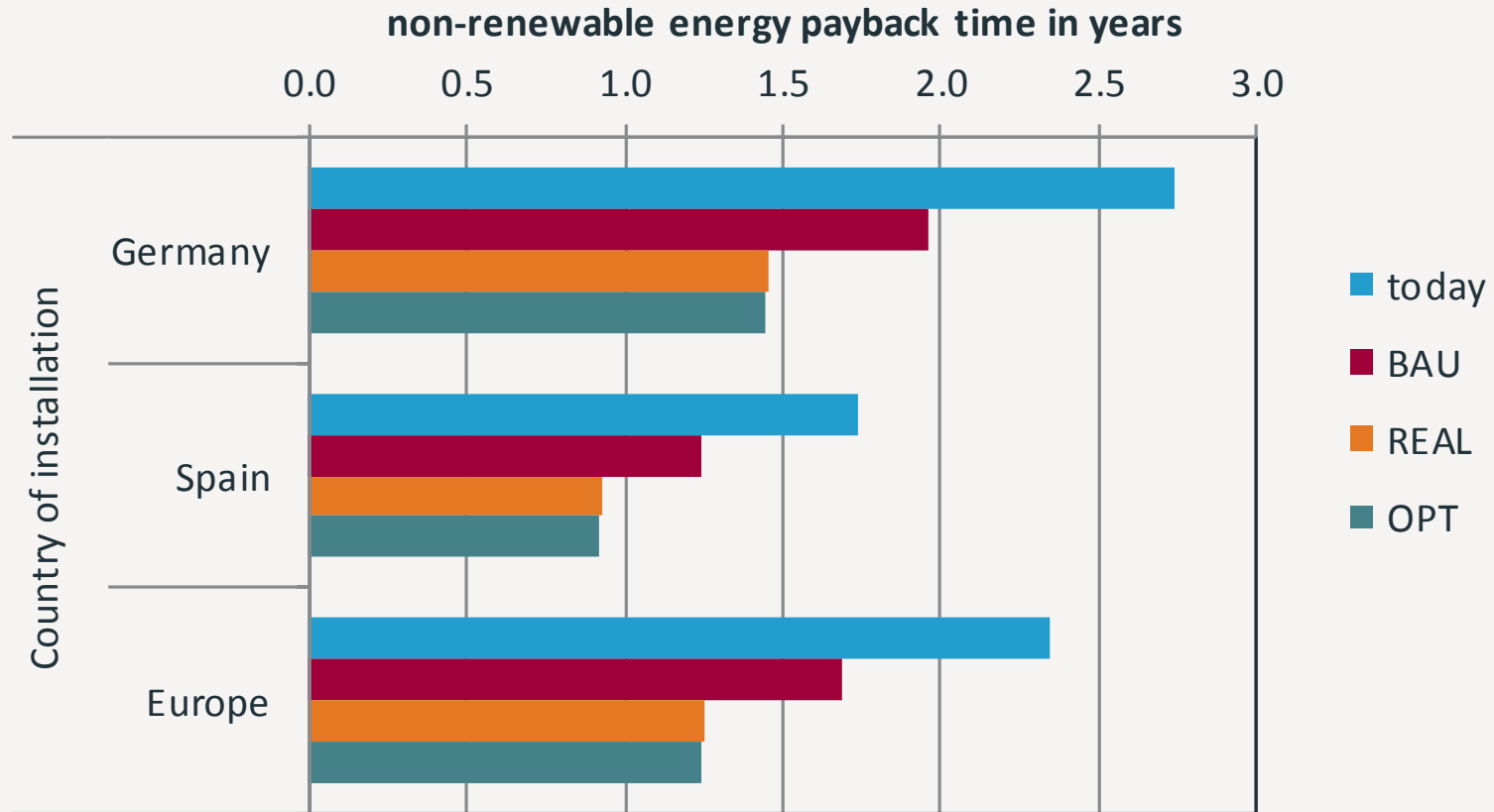
| | TODAY | BAU | REAL | OPT |
|---|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Zelleffizienz | 16.5 % | 25.0 % | 27.0 % | 29.0 % |
| Verringerung Zell- zu Moduleffizienz | 8.5 % | 8.5 % | 6.8 % | 5.0 % |
| Moduleffizienz | 15.1 % | 22.9 % | 25.2 % | 27.6 % |
| Waferdicke | 190 μm | 150 μm | 120 μm | 100 μm |
| Sägespalt | 190 μm | 150 μm | 120 μm | 100 μm |
| Silberbedarf pro Zelle | 9.6 g/m^2 | 9.6 g/m^2 | 5.0 g/m^2 | 2.0 g/m^2 |
| Anteil Fluidized-bed reactor (FBR) bei der Poly Si Produktion | 0 % | 20 % | 40 % | 100 % |
| Glasdicke | 4.0 mm | 4.0 mm | 3.0 mm | 2.0 mm |
| Lebensdauer | 30 Jahre | 30 Jahre | 35 Jahre | 40 Jahre |

Treibhausgasemissionen

3 kWp Mono-Si Anlage

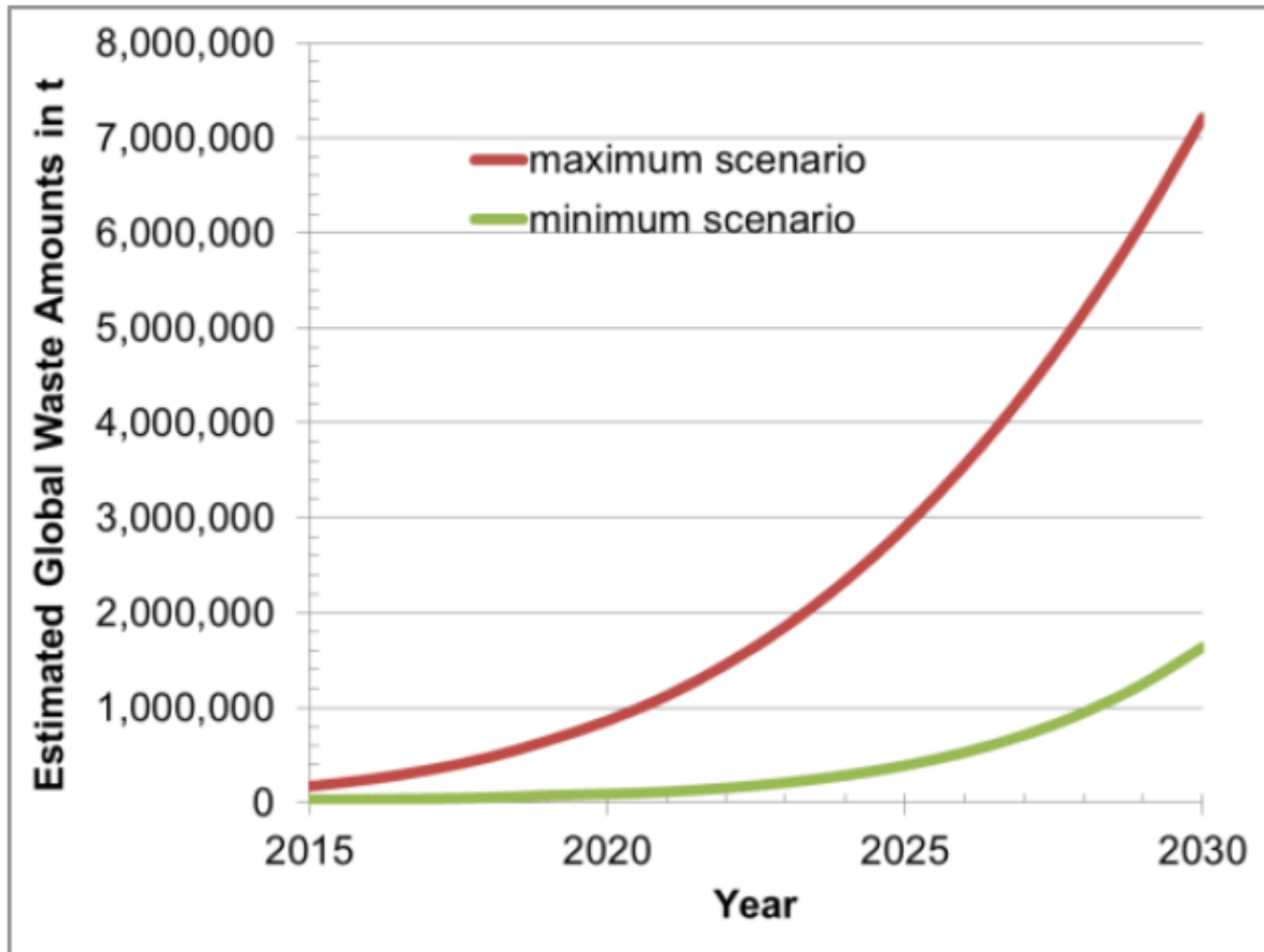


Non-renewable energy payback time NREPBT for Single-Si-PV

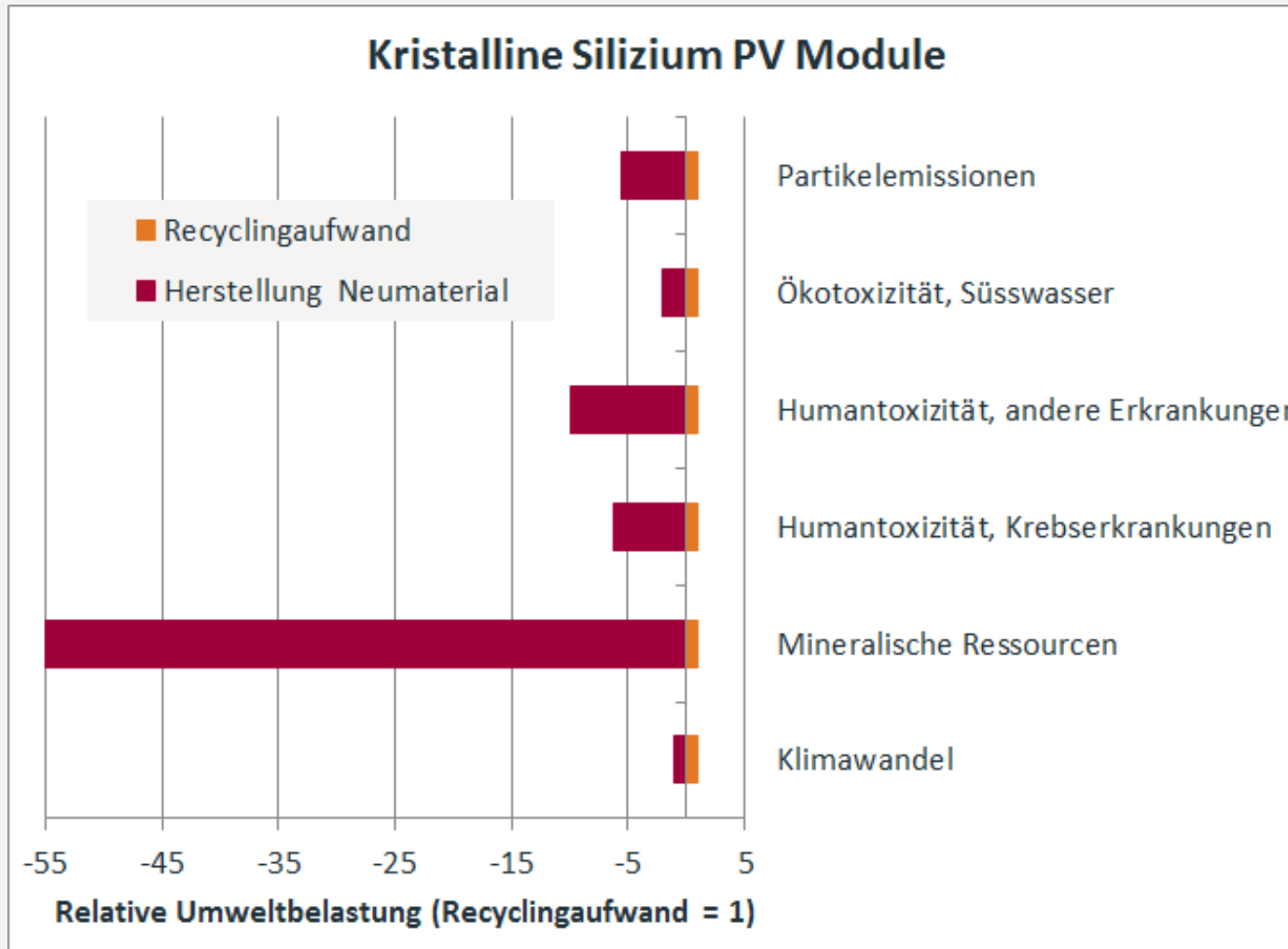


Referenzstrommix: Europäischer nicht-erneuerbarer Residualmix

In Zukunft zu erwartende Abfallmengen PV-Panels



Vergleich Recyclingaufwand zu Aufwand Herstellung Neumaterial



- Zukünftige Entwicklungen in der PV Industrie, in der Strombereitstellung und in der Metallherstellung führen zu deutlich tieferen Umweltbelastungen
- Energierückzahldauern monokristalliner Silizium PV Anlagen können in Südeuropa auf unter 1 Jahr sinken
- Die Gewinnung von Wertstoffen durch Recycling von PV-Panels ist weniger umweltbelastend als die Gewinnung von Neumaterial

Herzlichen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Rolf Frischknecht

frischknecht@treeze.ch

Downloads: treeze.ch/en/projects/case-studies/energy/photovoltaic/

Verdankung:

Bundesamt für Energie (Finanzierung)

Karsten Wambach (Daten Panel-Recycling)

IEA PVPS Task 12 Team (Review und Feedback)

