Strommix der untersuchten Produktionsstandorte Lebenszyklusanalyse von c-Si-Photovoltaikanlagen **EU-28** Materialinput der c-Si-Module Treibhausgaspotential der Anlagenkomponenten in der Herstellungsphase Prozesskette der c-Si-Modulherstellung von Dach- & Freiflächenanlagen Wechselrichter Unterkonstruktion el. Leitungen ■ Kohle ■ Erdgas ■ Erdöl ■ CO2-arme Erzeuger CO₂-arme Erzeuger: Wasserkraft, Solar, Wind, Geothermie, Wellen & Gezeiten, Atomkraft Weltweite Produktion von Verteilung marktrelevanter Technologien in Prozent PV-Modulen 2005 - 2018 Laminat-Fol Anschlussdose Mono c-Si Kontaktierung Freifläche \rightarrow Weltweit gesehen sind ca. $^2/_3$ der installierten PV-Leistung Freiflächenanlagen → In Deutschland sind ca. ¾ Dachanlagen und rund ¼ Freiflächenanlagen Ouelle: Fraunhofer IBP, basierend auf PVPS / PE → Glas macht 80 – 90 % eines PV-Moduls aus Bandbreiten des Treibhausgaspotentials der c-Si-Module in der Herstellungsphase → Bei gerahmten Modulen steigt der Materialinput um ca. 19 % ■ Silizium-Wafer-Technologie Herstellungsphase je nach Produktionsstandort (Europa, USA oder China) Hintergrundinformationen Dünschichttechnologie in kg CO₂-Äq./m² Modul → c-Si-Module dominieren mit 95 % Marktantei Multi c-Si Mono c-Si Bandbreiten des Treibhausgaspotentials der c-Si-Module im Vergleich zu Kohle- & Erdgaskraftwerken in g CO₂-Äq./kWh Herstellungsphase Nutzungsphase Lebensende 1000 Energetische PV Modul GWP (kg CO₂-Äq./m /kWh) Recycling BOS-Unterkonstruktion Emissionen Componenter (Luft, Wasser, elektrische Leitungen (DC) Ressourcen Systemgrenze Nicht betrachtet Elektrische Leitungen (AC) Infrastruktur zum Netzübergabepunkt ransformatoren China USA China 100 → Das Treibhausgaspotential einer PV-Produktion in Europa ist, verglichen mit der USA & China, am Annahmen für die Lebenszyklus-Analyse Lebensende geringsten, aufgrund des höheren Anteils CO₂-armer Erzeuger im Strommix Multi c-Si Mono c-Si **Parameter** Kohle Erdgas Photovoltaik Photovoltaik Mitteleuropa: Lebenszyklus Ergebnisse des c-Si-Modulrecyclings inkl. (multi c-Si) (mono c-Si) 1200 kWh/(m²*Jahr) Sonneneinstrahlung Bandbreiten der Energy Payback Time der c-Si-Gutschriften in relativer Darstellung Südeuropa: Module in Mittel- & Südeuropa in Jahren 1700 kWh/(m²*Jahr) Bandbreiten des Treibhausgaspotentials der c-Si-Module für Dach- & Freiflächenanlagen in Mittel-Nutzungsdauer PV-Anlage 30 Jahre & Südeuropa je nach Produktionsstandort (Europa, USA oder China) in g CO2-Äq./kWh Performance Ratio inkl. 0,8 (Dach) Multi c-Si-Module Mono c-Si-Module 0,75 (Freifläche) Degradationsverluste 1,6 m²/Modul Modulfläche Anschlusskabe 0% ■ Junction Box Modulmasse 11,7 kg/m² $11,2 \text{ kg/m}^2$ Radlader am Recyclingstandort Modulwirkungsgrad Glasscherben 16,8 % ■ Entsogung Feststoffabfälle (Standardtestbedingungen) Kunststoffe Solarzellenabmessung 15,6 cm x 15,6 cm Transporte Alurahmen Glas/Rückseitenfolie, inkl Modulaufbau Entsorgung Mischabfälle Aluminiumrahmen Prozessmittel (Strom) Stahl- / Eisenfraktionen Wechselrichter Lebensdauer 20 Jahre 4380 Stunden/Jahr Wechselrichter Nachtstunden Mechanische & elektrische Freifläche Dach Freifläche Freifläche Freifläche Dach Komponenten (Inverter, Aus europäischen Raum Mitteleuropa Mitteleuropa Südeuropa Südeuropa Südeuropa Südeuropa Mitteleuropa Unterkonstruktion, el. → Auch über den gesamten Lebenszyklus ist das Treibhausgaspotential einer PV-Produktion in Europa am geringsten. Leitungen) → Unter Berücksichtigung aktueller Technologietrends (geringerer Materialeinsatz in der Wafervorkette & Einführung eines Diamantsägeverfahrens in China: 20000 km (Frachtschiff) → Zusätzliche Treibhausgasemissionen im Recycling-Prozess sind Südeuropa der Waferherstellung) werden die niedrigsten Treibhausgaspotentiale berechnet. Mitteleuropa Transportwege Herstellung USA: 6500 km (Frachtschiff) hauptsächlich auf die Kunststoffverbrennung zurückzuführen → Je nach Produktionsszenario liegt der Anteil der Modulherstellung am Gesamtergebnis des Treibhauspotenzials der PV-Anlagen bei ca. 73-84 % → Der investierte Primärenergieaufwand für die Herstellung, die Nutzung und 📗 → Anteile des Aluminiumrahmens & der Glasscherben überwiegen Europa: 950 km (LKW) (multi c-Si) bzw., 78-89 % (mono c-Si), gefolgt von den Unterkonstruktionen, Wechselrichtern, elektrischen Leitungen. das Lebensende der PV-Anlagen amortisiert sich innerhalb weniger Jahre → Recycling-Quote: > 80 % Transportwege Lebensende 300 km (LKW) → Die Transporte zum Anlagenstandort tragen zu ca. 1-2 % der Gesamtergebnisse im Treibhausgaspotential bei.