

Überblick Photovoltaiklieferkette und Chancen einer Produktionsansiedlung in Niedersachsen

Stefan Bordihn, Bianca Lim, Rolf Brendel

Institut für Solarenergieforschung GmbH

Am Ohrberg 1

D-31860 Emmerthal



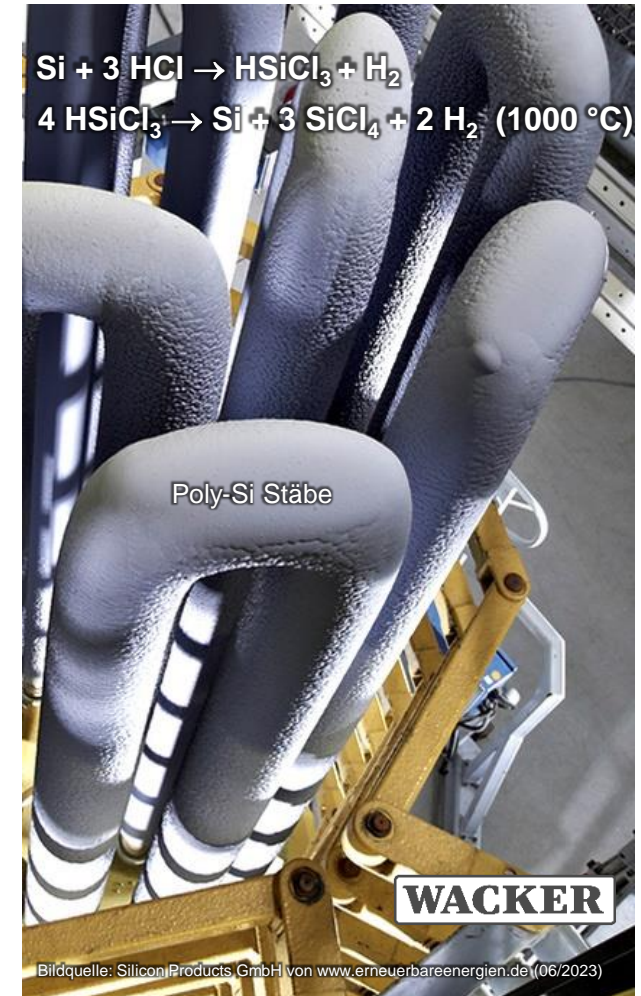
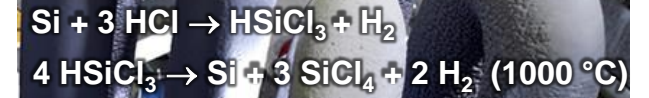
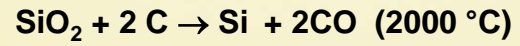
Bildquellen: ISFH

- 1. Einführung und Überblick in die Photovoltaik-Lieferkette**
- 2. Produktionswiederansiedlung mit Vorteilen Niedersachsens**

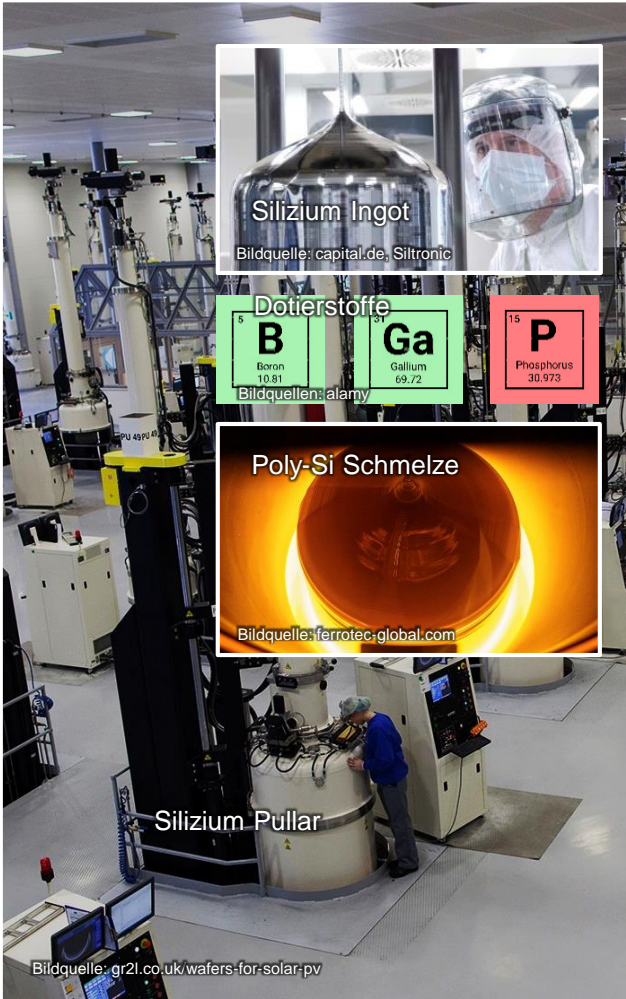


Einführung und Überblick Photovoltaik-Lieferkette

Vom metallurgischen- zum poly-Silicium



Silizium Ingotherstellung

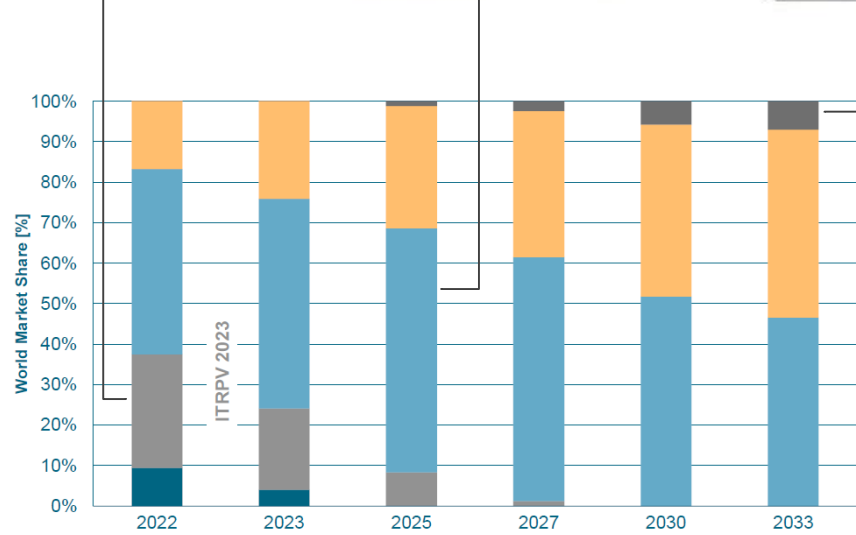
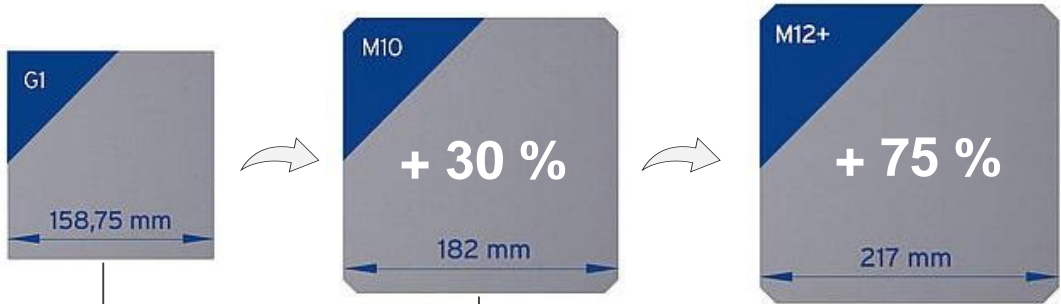


Vom Ingot zum Wafer



Bildquelle: Insoll Tools Technology

Wafergrößenenwicklung, Bildquelle: Rena Technologies GmbH

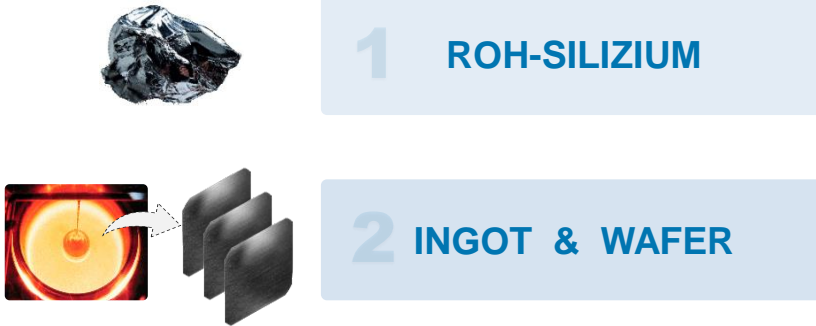






- > G12: 210.0 x 210.0 mm²
- G12: 210.0 x 210.0 mm²
- M10: 182.0 x 182.0 mm²
- M6: 166.0 x 166.0 mm²
- G1: 158.75 x 158.75 mm² and M4: 161.7 x 161.7 mm²

Bildquelle: ITRPV Roadmap 2023

Photovoltaik Wertschöpfungskette

Produktionskapazitätsanteil 2021 ^[1]



				
1 ROH-SILIZIUM	6 %	71 %	5 %	6 %
2 INGOT & WAFER	<1 %	94 %	<1 %	3 %

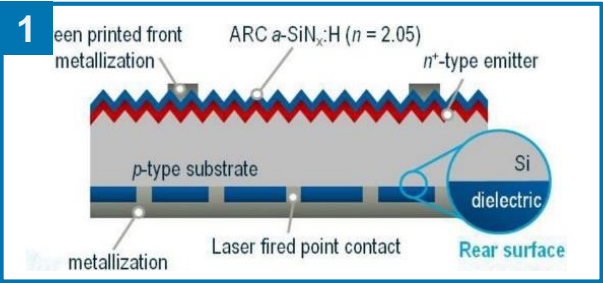
[1] IEA Supply Chain Report 2022.

APAC ohne Indien und China.

Solarzellen: Technologieunterscheidung

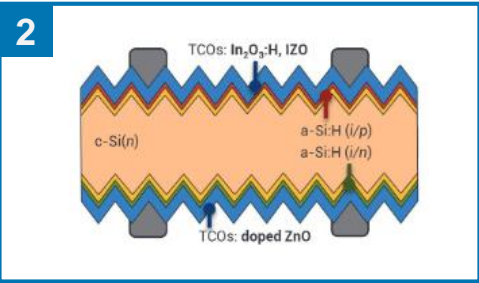


Passivated Emitter and Rear PERC



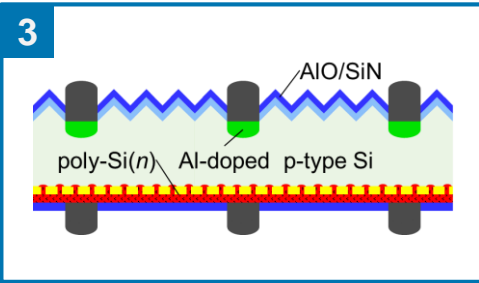
Bildquelle: Hanwha Q Cells, Stefan Bordihn

Hetero-Junction Technology HJT



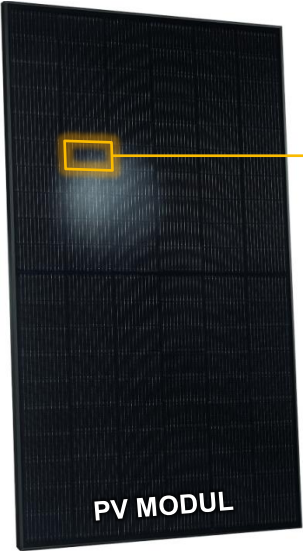
Bildquelle: www.cursor.tue.nl/en/background/2018/juni/week-3/homegrown-solar-power/

Passivated Contacts POLO



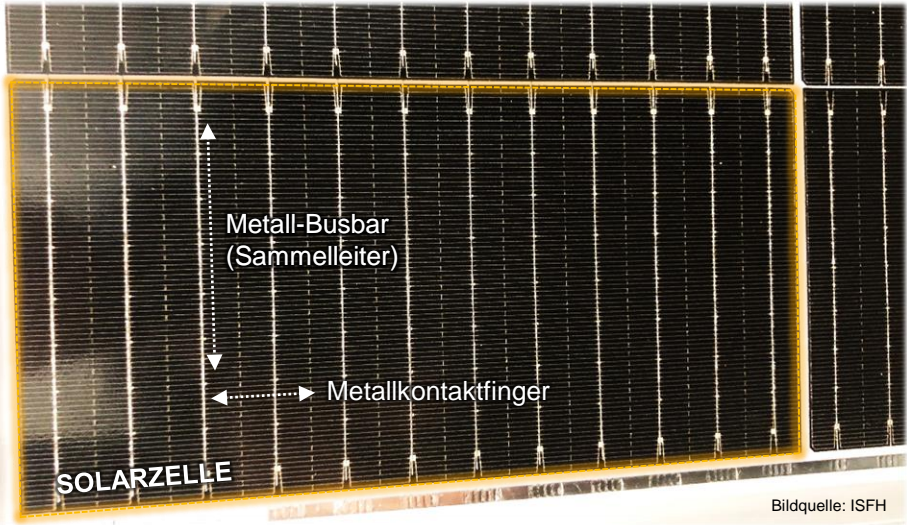
Bildquelle: ISFH

Querschnittszeichnung



PV MODUL

Bildquelle: Hanwha Q Cells



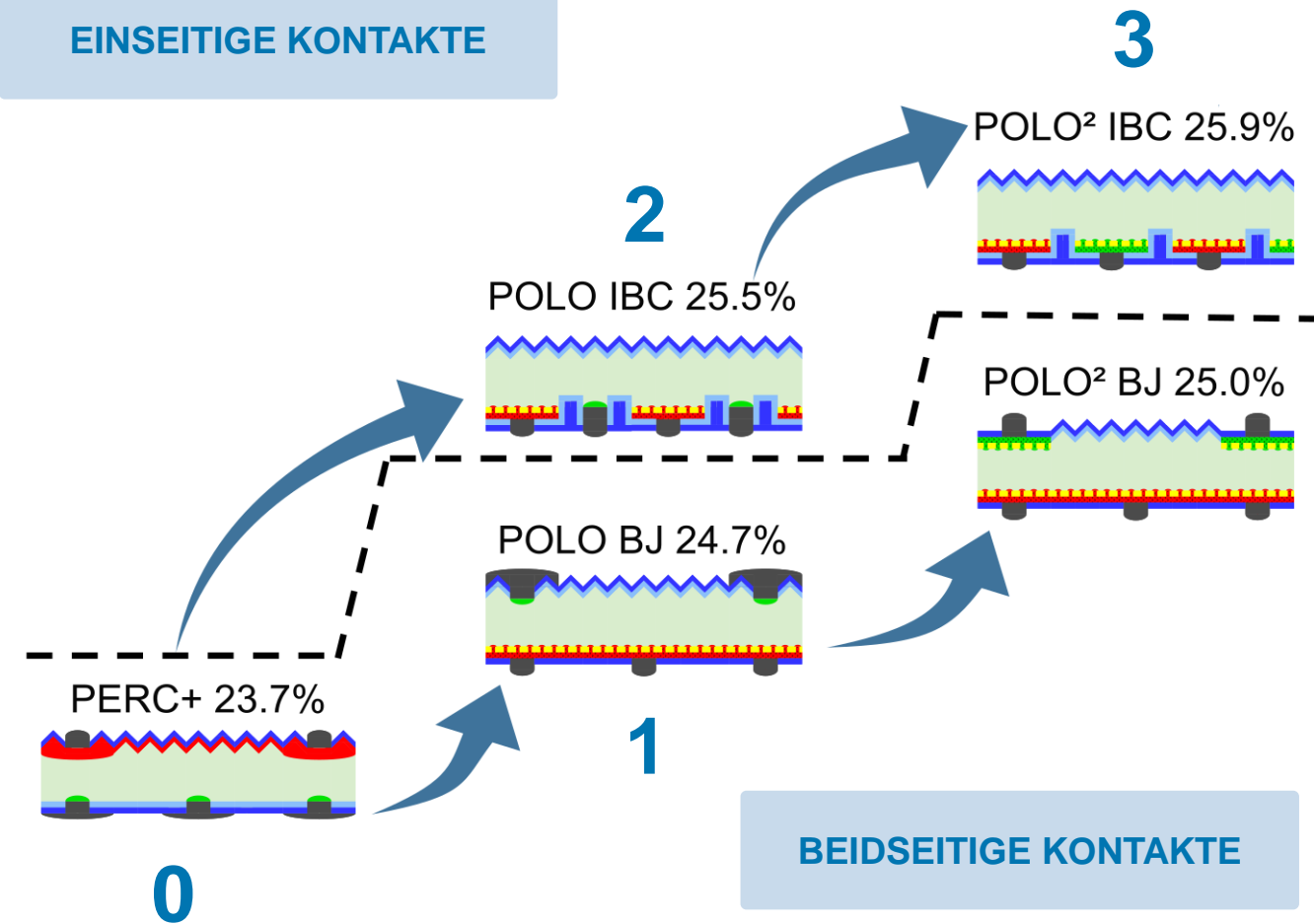
SOLARZELLE

Bildquelle: ISFH

- PV-Module: sehr ähnliche Erscheinung
- Technologische Differenzierung hauptsächlich in Halbleiter-Architektur und Fertigungssequenz der Solarzellen
- Differenzierung durch: Elektrische Leistung, Zuverlässigkeit und Kosten

Schrittweise, aufbauende Solarzellenentwicklung

EINSEITIGE KONTAKTE



4
c-Si/Pero Tandem 33%
TANDEM

- Schrittweise Entwicklung: Risiko-Minimierung
- Kostenersparnis durch aufeinander aufbauende Konzepte
- Kontinuierliche Wirkungsgradsteigerung

Quelle: C. N. Kruse et al., *Scientific Reports* 11 (1), 996 (2021).

Solarzellen: Wesentliche Herstellungsschritte

- Reinigung der Si-Wafer nach dem Sägen
- Reinigung vor Beschichtungsprozessen
- Textur auch meist nass-chemisch



- Plasmaprozesse zur Oberflächenveredelung „Passivierung“
- Erhöhung optischer und elektrischer Qualität
- Sicherstellung Zuverlässigkeit / Langlebigkeit



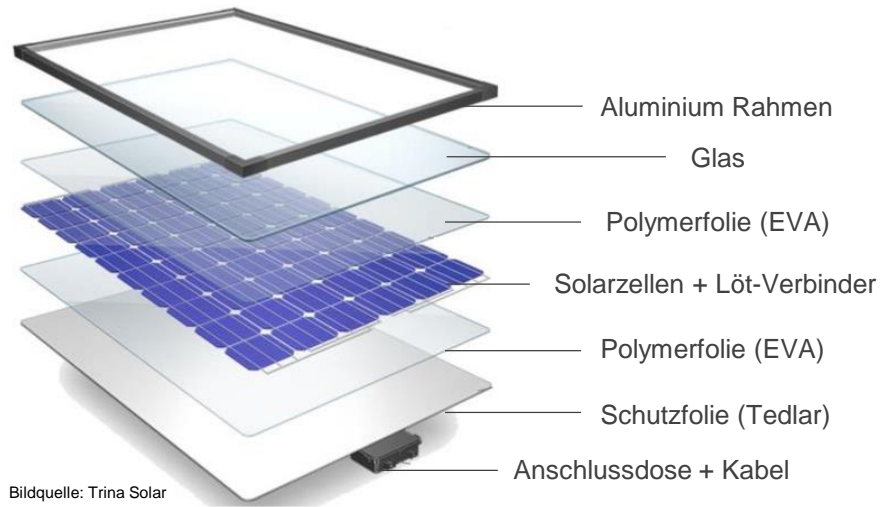
Photovoltaik Wertschöpfungskette



[1] IEA Supply Chain Report 2022.

APAC ohne Indien und China.

Typischer Aufbau eines PV-Moduls



Bildquelle: Trina Solar

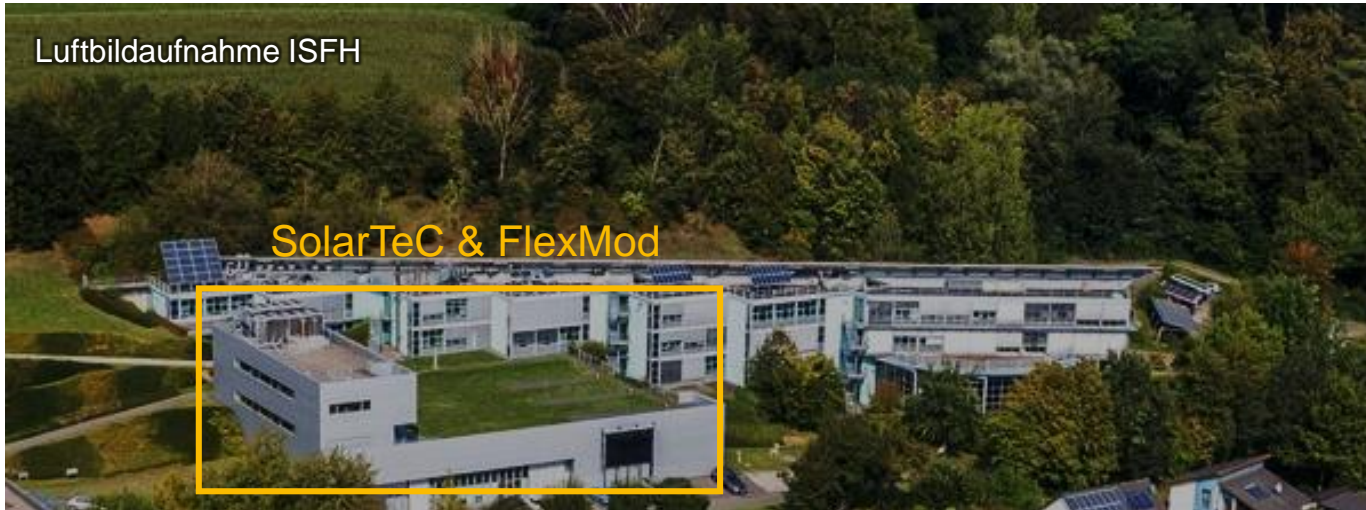
- Massenmarkt PV-Module: sehr ähnliche Erscheinung
- **Optische Differenzierung** über Form und Farbe möglich

Spezialanwendungsbereiche

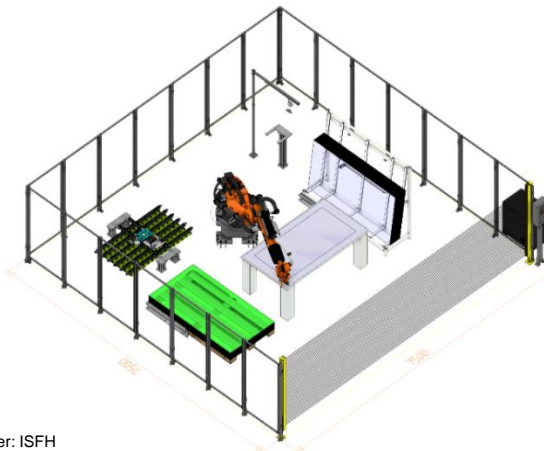
- Architektur (*building integrated BI-PV*)
- Landwirtschaft (*agriculture Agri-PV*)
- Fahrzeug (*vehicle integrated VI-PV*)
- Gewässern (*floating F-PV*)

Beispiele anwendungsangepasste Ausführungsformen

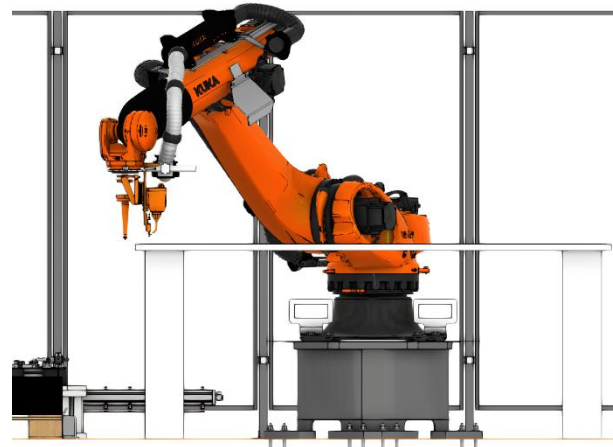




- ISFH: Fertigung von Solarzellen und PV-Modulen mit Industrie-typischen Anlagen
- Technologie offen: Standard-Prozesse sowie der nächsten und übernächsten Generation
- **Flexible PV-Modulfertigung** über Variation Form und Farbe möglich, je nach Anwendungsziel

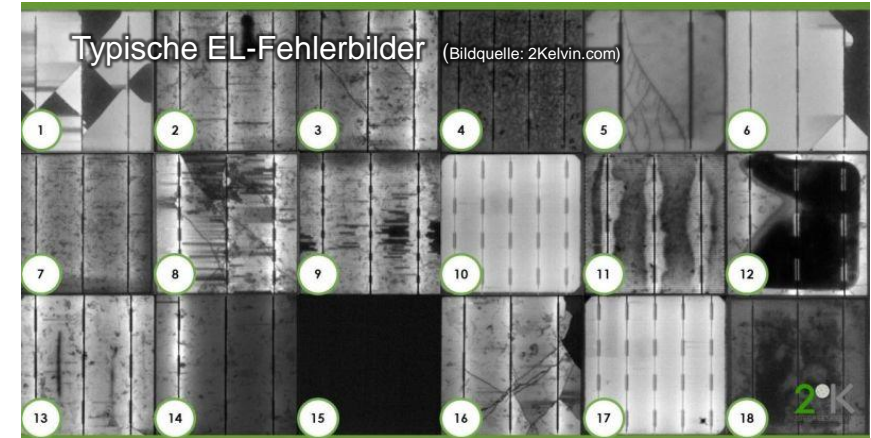


Bilder: ISFH



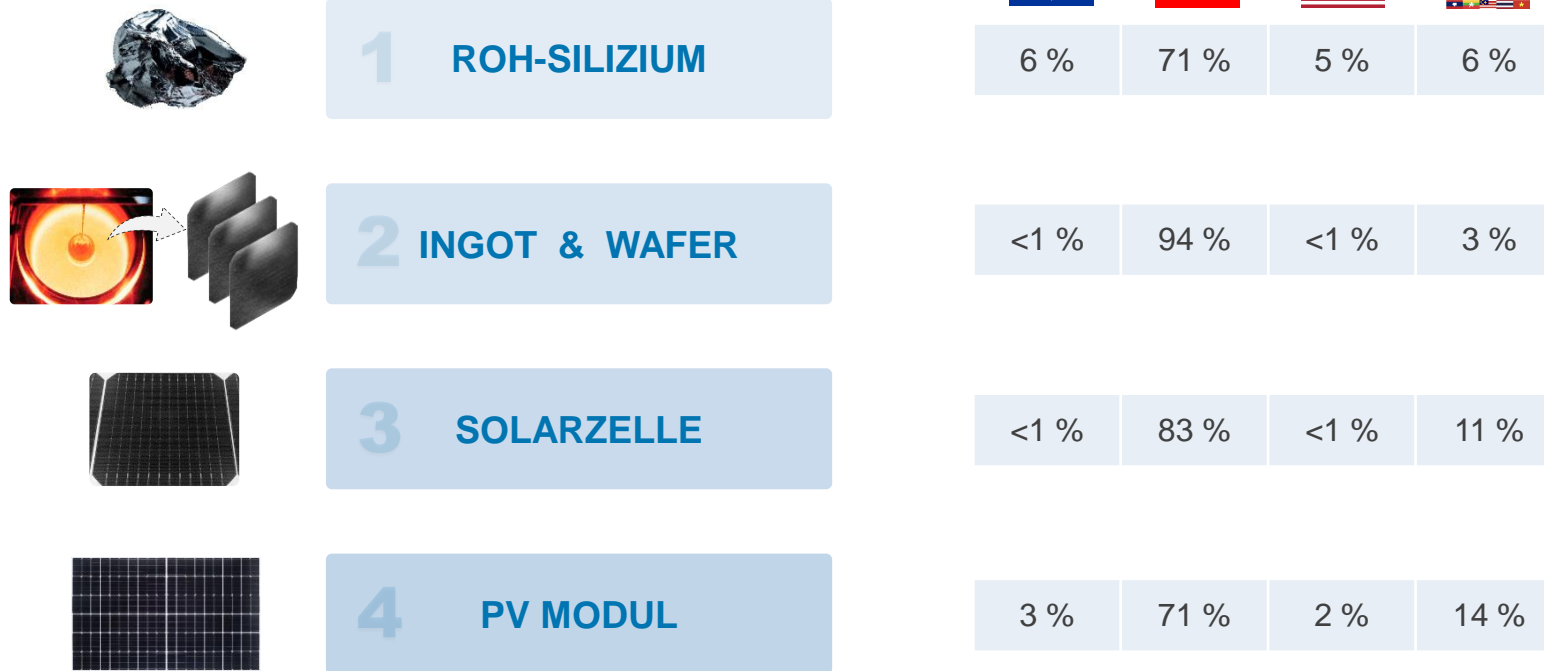
Roboter-zentrierte Fertigungseinheit

- Direkt hoch-skalierbare Einheit (35 MW)
- Digitaler Prozess von Planung bis Fertigung
- Computergestützte Auswertung / Optimierung



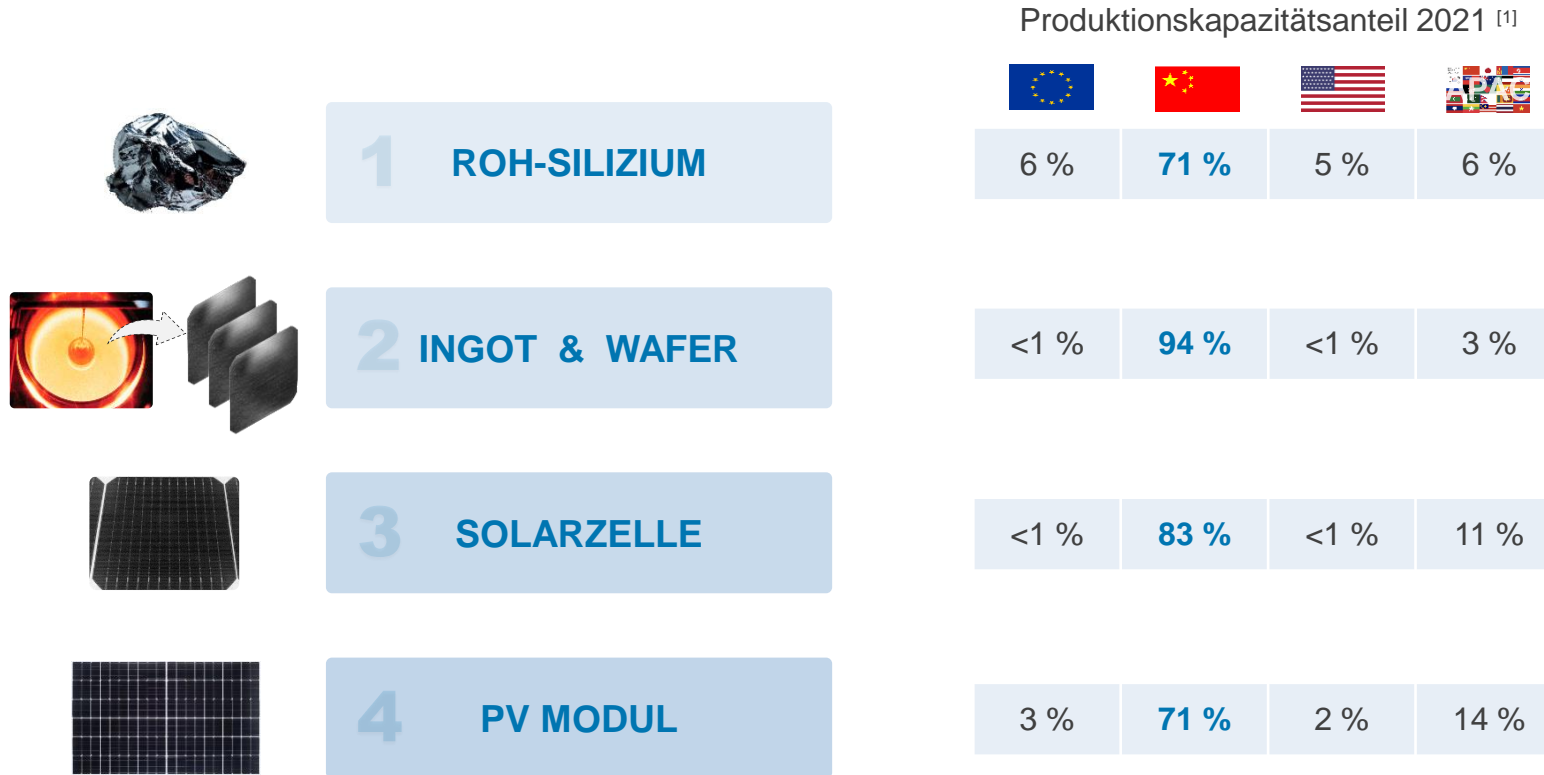
- PV-Modulanalysen mit industriellen Messsystemen (Leistungsmessung, Elektrolumineszenz)
- Qualitätskontrolle der PV-Module: Rückschlüsse auf Fertigungsfehler der Solarzelle und dem PV-Modul

Photovoltaik Wertschöpfungskette



[1] IEA Supply Chain Report 2022.

APAC ohne Indien und China.

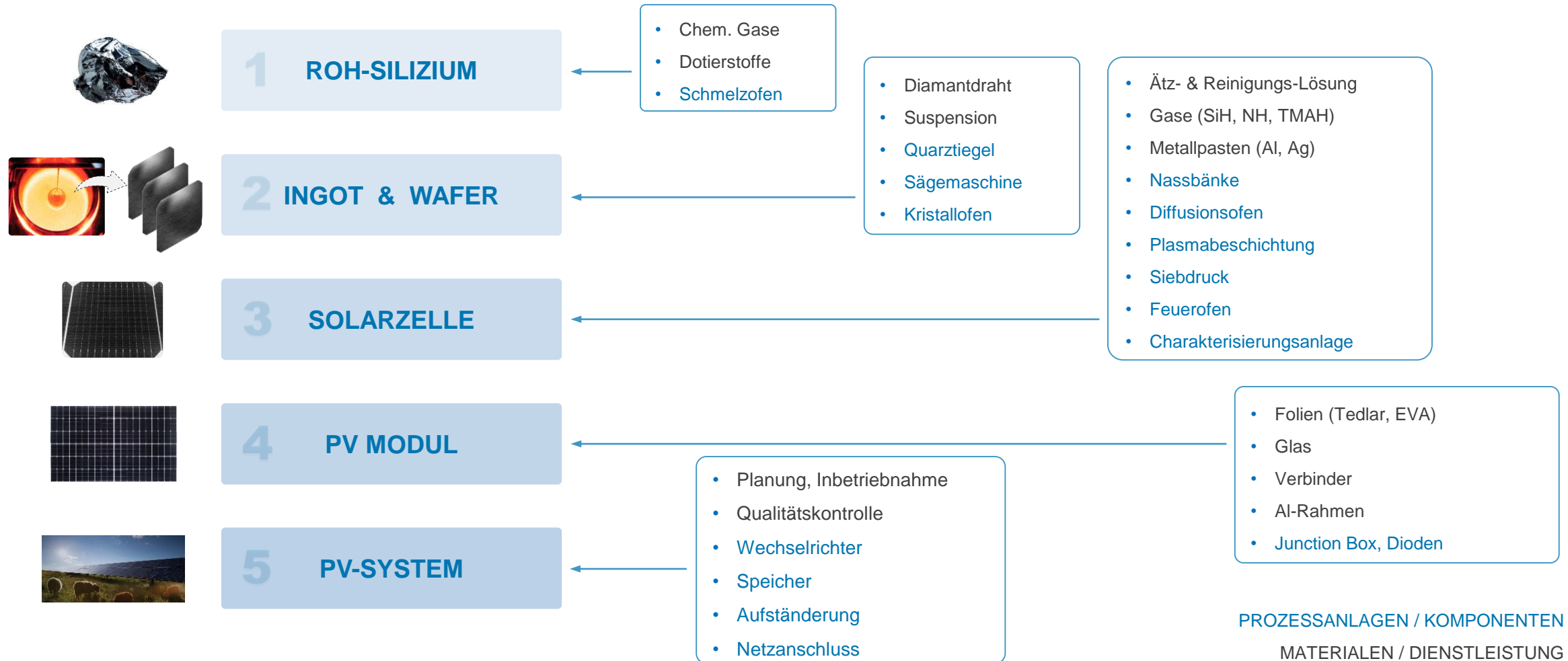


- Energie-intensive Schritte bestimmen CO₂-Bilanz des Gesamtprodukts
- Si-Wafer- und deren Herstellungsanlagen hauptsächlich aus CN
- Solarzellenfertigung hoch-technisch, vergleichbar mit Halbleiterindustrie, aber Endprodukt Commodity-ähnlich
- Gewichtsbestimmend (Glas) / Transportkosten, Herstellung global verteilter

Hohe wirtschaftliche Abhängigkeit von China

[1] IEA Supply Chain Report 2022.
APAC ohne Indien und China.

Erweiterte Photovoltaik Wertschöpfungskette

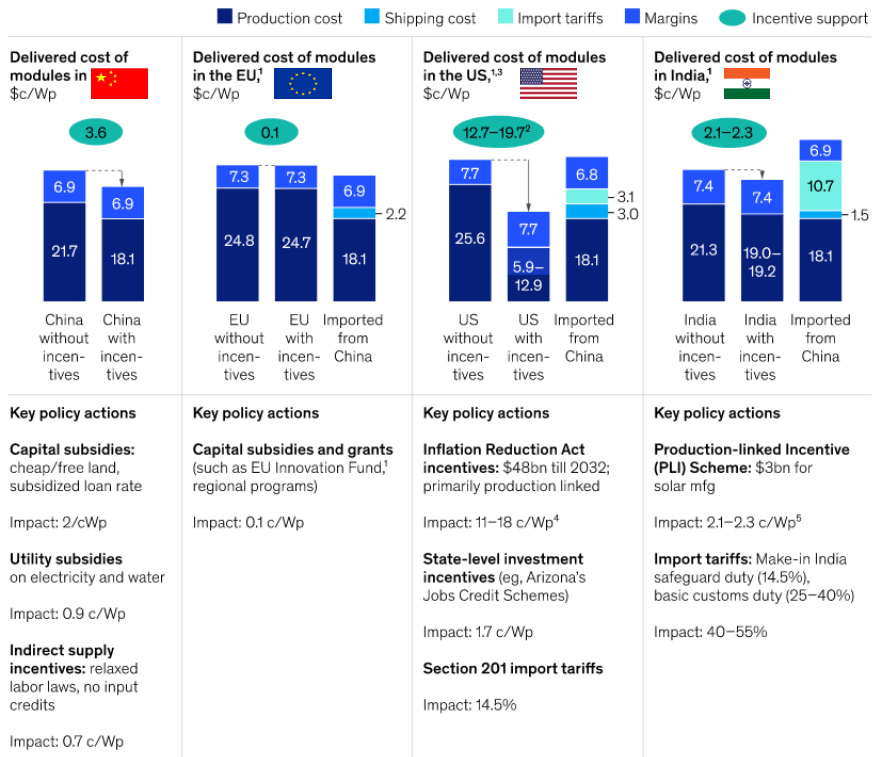


Produktionsansiedlung in Niedersachsen

Politischer Einfluss anderer Wirtschaftsräume



Impact of incentives on local solar manufacturing cost across the regions, estimates



- Mittlere EU-Produktionskosten ~25 \$c/Wp (Technologie- und Herstellerabhängig)
- Chinesische Förderung reduziert PV-Modulproduktionskosten um 3.6 \$c → von ~22 \$c/Wp auf 18.1 \$c/Wp
- Indien → PV-Modulproduktionskosten von ~21 \$c/Wp auf 19 \$c/Wp und Zölle auf Chinesische Produkte (~11 \$c/Wp)
- USA → PV-Modulproduktionskosten von ~26 \$c/Wp durch Förderung auf 13 \$c/Wp

Massiver Druck für Europäische Hersteller um mit US-Produktionsmitbewerber zu konkurrieren

¹Assumption: shipping cost = 0 for locally manufactured solar modules.
²For EU, incentive impact (depreciation spend saved) corresponds to Enel's (€118 million) received for 3 GW HJT solar manufacturing unit through the EU Innovation Fund.
³Impact range (including state incentives) depends on partial localization (cells and modules): 12.7 c/Wp vs for full localization: 19.7 c/Wp.
⁴IRA to provide 100% of the proposed incentive till 2029, phased out linearly by 2033. Incentive breakdown: p-Si (1.5 c/W), wafers (5.5 c/W), cells (4 c/W), and modules (7 c/W). IRA's impact (avg NPV) range: 8.8 c/W (US cells and modules)—14.4 c/W (full US localization) till 2033.
⁵PLI incentive value (range) primarily depends on module efficiency: 0 (< 19.5%), 2.25 INR/Wp (19.5–20%), and 2.75 INR/Wp (>20%).
 Source: Expert interviews, McKinsey analysis



- Aufbau Energie-intensiver Wertschöpfungsstufen Zeit- & Kostenintensiver

	D PV-Modul	C Solarzellen	B Ingot/Wafer	A Poly-Si
Investment /GW [1] (nur Anlagen)	65 Mio.€	90 Mio.€	90 Mio.€	125 Mio.€
Bauzeit [1]	1 – 2 Jahre	1 – 2 Jahre	2 – 3 Jahre	3 – 5 Jahre
Flächenbedarf ha /GW	1,7 – 2 [4, 5]	1,7 – 2	0,8 – 1 [2, 3]	

- **Schrittweise Wiederbelebung** und Stärkung der deutschen PV-Produktion:
 - Schritt 1: Ausbau PV-Modulproduktion
 - Schritt 2: Erhöhung Solarzellenproduktion
 - Schritt 3: Ansiedlung Poly-Si und Wafer
- **Niedersachsens Häfen: Internationaler Import** und kurze Wege im Europäischen Verbund

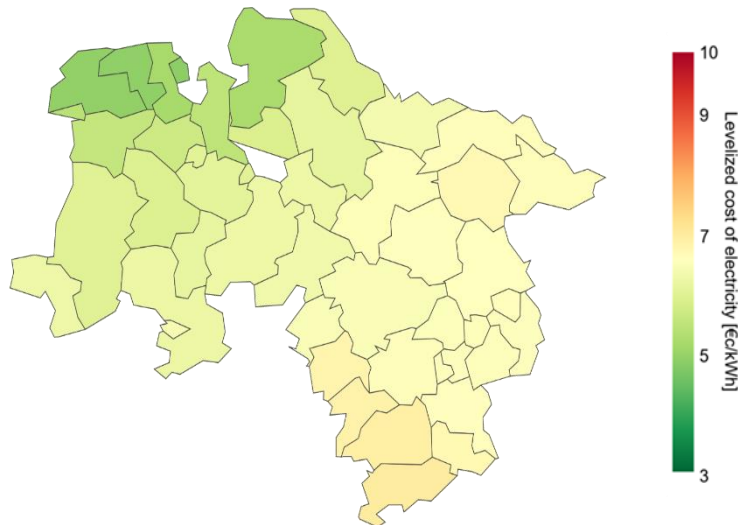
[1] NREL „Solar Photovoltaics Supply Chain Deep Dive Assessment“ Report 02/2022.

[2, 3] <https://www.norsun.no/about>, [GoogleMaps](#)

[4, 5] <https://pv-magazine-usa.com/2019/09/23/hanwha-q-cells-officially-opens-the-largest-solar-factory-in-the-western-hemisphere/>, [GoogleMaps](#)



- Modellierung von erneuerbaren Energieerzeugern in Niedersachsen
- Optimierung der Generation für typische Verbrauchsprofile



- Ergebnis als Kartendarstellung mit Mittelwerten der Landkreise einer **24/7 Stromerzeugungskosten auf Basis autarker, erneuerbarer Generation**
- Einfluss der günstigen Windstrombedingungen an der Küste sichtbar: Nord-Südgefälle sowie flachen Flächengemeinden im Westen sichtbar

Jobmotor Solarstrom

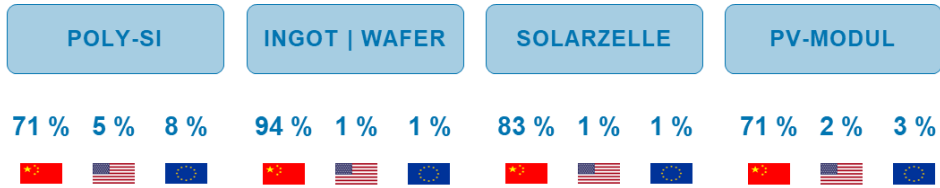


- Beschäftigte Solarstromspeicherbranche
- Beschäftigte PV-Branche



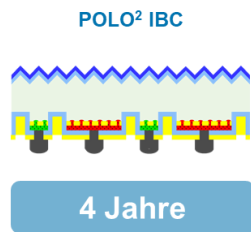
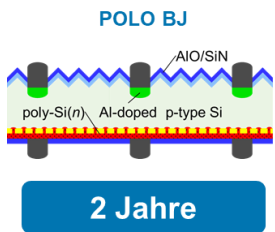
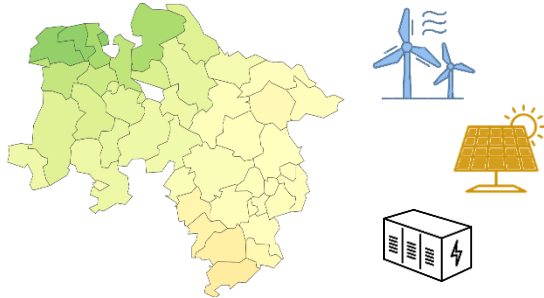
Quelle: BSW/EuPD Research/ees Europe 2023 | *Schätzung

Zusammenfassung und Fazit

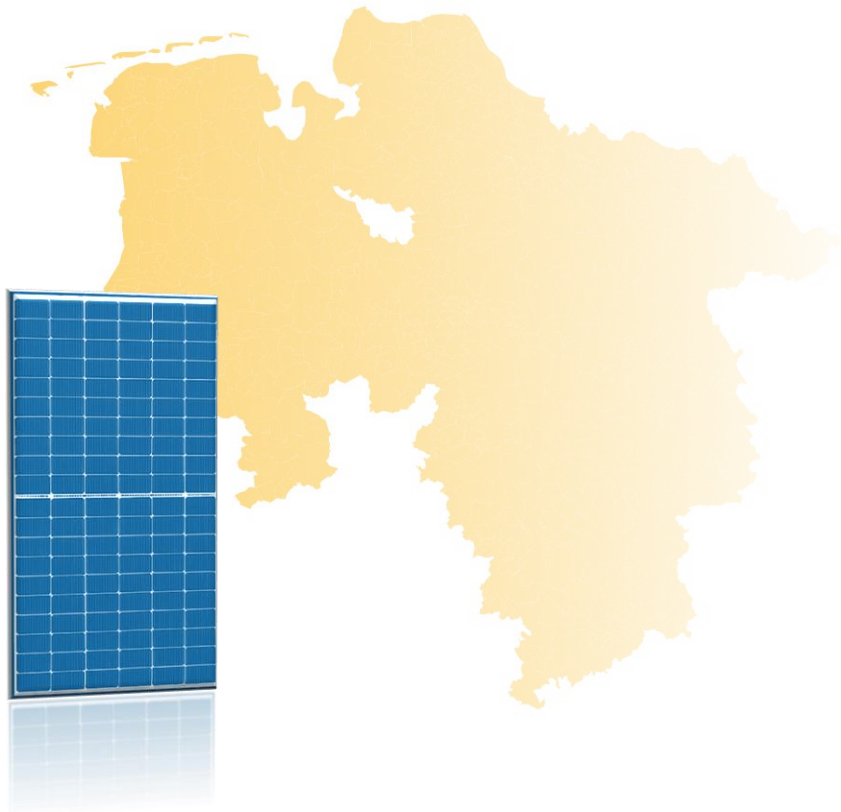


Produktionskapazitätsanteil 2021 nach Region (nicht enthalten: APAC, Indien, ROW)

Datenquelle: IEA Supply Chain Report 2022.



- Hohe politische und wirtschaftliche Abhängigkeit von China, Dominanz in den ersten Wertschöpfungsstufen
- Zusätzliche Belastung durch politische Fördermaßnahmen in USA, China und Indien
- Niedersachsens Häfen: Internationaler Import und kurze Wege im Europäischen Verbund (z.B. Wafer aus Norwegen)
- Günstigste Energiekosten an der Nordseeküste: Modellierung autarke, 24/7 regenerative Energieversorgung
- Umsetzungsrelevante PV-Entwicklung
- Starkes PV-Forschungsnetzwerk in Niedersachsen
- ISFH-Technologieangebot für Investoren: Solarzelle + PV-Modul-Spezialfertigung auf Basis hoch-skalierbarer Herstellungsprozesse



Vielen Dank.

KONTAKT

Stefan Bordihn, bordihn@isfh.de oder www.isfh.de