
FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SOLARE ENERGIESYSTEME ISE

Der Einfluss von Halbzellen auf Modulleistung und -kosten



Max Mittag

Fraunhofer-Institut
für Solare Energiesysteme ISE

Webinar PV-magazine

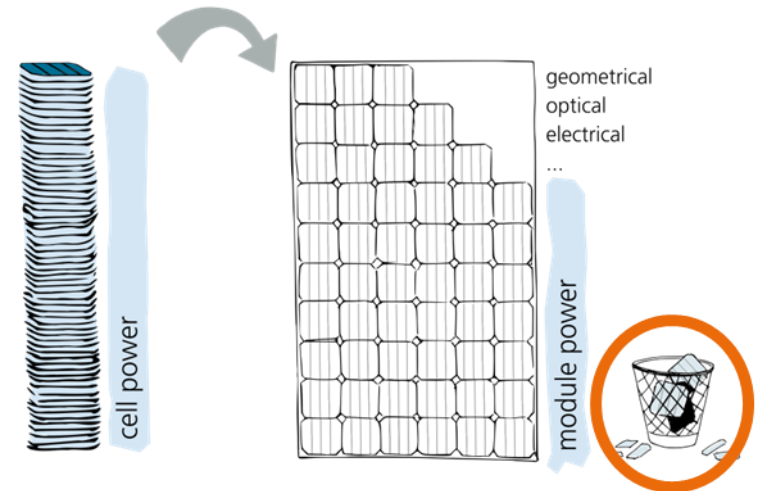
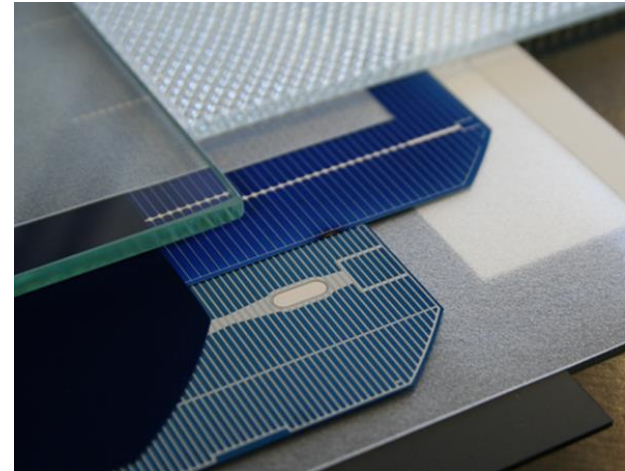
Freiburg, 02.10.2018

www.ise.fraunhofer.de

Zelle zu Modul Analyse

Motivation

- Leistungsverluste = finanzielle Verluste (€/Wp)
- Modulmaterialien (BoM) und Moduldesign beeinflussen Leistung
- Leistung Zellen > Leistung Modul
- Zelle zu Modul-Verlust (CTM)
- Analyse der Verluste erlaubt techno-ökonomische Optimierung von PV-Modulen



Zelle zu Modul Analyse

Motivation

- CTM-Optimierung erhöht Gewinn
 - Solarzellen werden für €/Wp gekauft
 - Module werden für €/Wp verkauft
- Ziel: Modulleistung erhöhen ohne leistungsfähigere Zellen zu verwenden
- **Sind Halbzellen ein möglicher Ansatz?**

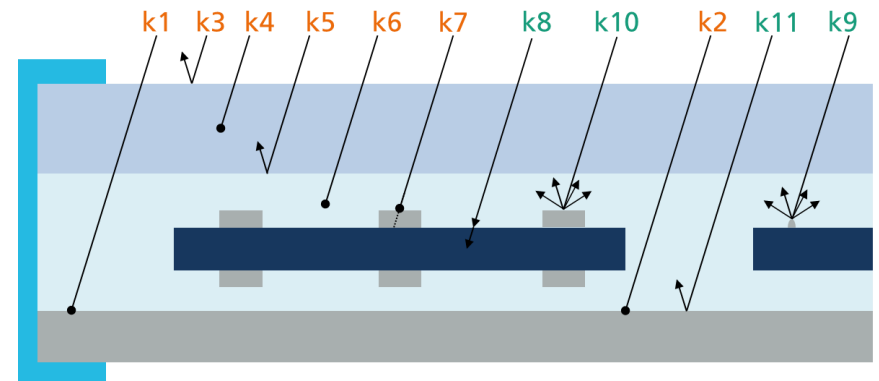


PV-Modul mit **5.6% Zelle-zu-Modul-Gewinn**,
hergestellt im Fraunhofer ISE Module-TEC (2016)

Zelle zu Modul Analyse

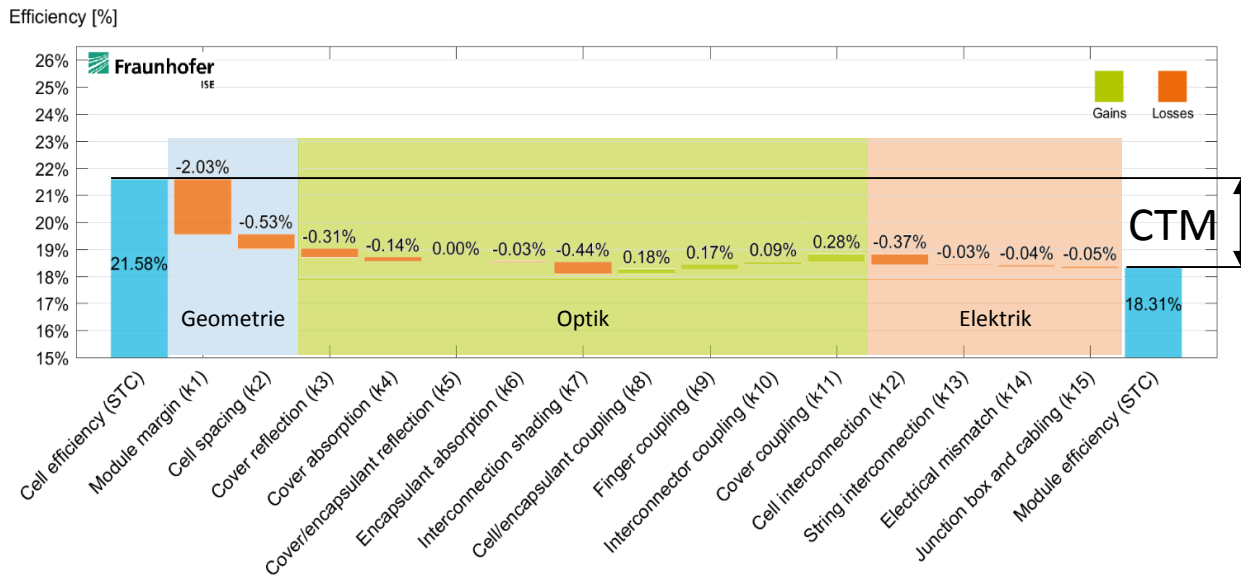
Gewinn- und Verlustfaktoren

- Geometrie: inaktive Flächen am Rand und im Zellzwischenraum
 - Optik: Reflektion, Absorption, Transmission, interne Verschattung, "Lichtmanagement"
 - Elektrik: Widerstände, Mismatch
- **Wissenschaftliche Modelle erlauben Analyse und Vorhersage**



Optische Gewinne und Verluste in PV Modulen

Zelle zu Modul Analyse

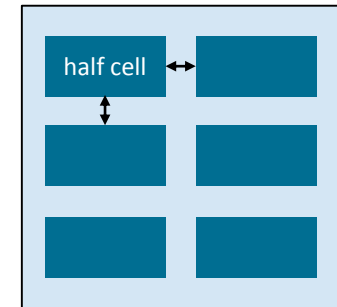
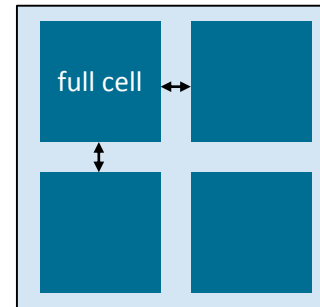


Graphische Benutzeroberfläche von SmartCalc.CTM

Moduldesign für Halb- und Vollzellen

■ Anpassung des Moduls für Halbzellen

- Zellzwischenräume
- Anzahl an Zellen
- Modulgröße



Voll- und Halbzellenmodule mit gleicher Größe, identischen Abständen aber unterschiedlicher aktiver Fläche

■ Zellzwischenraum

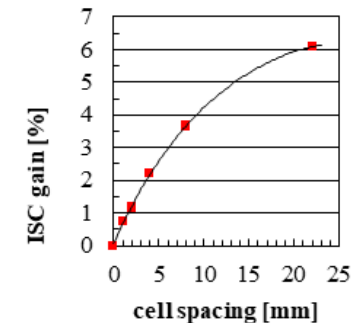
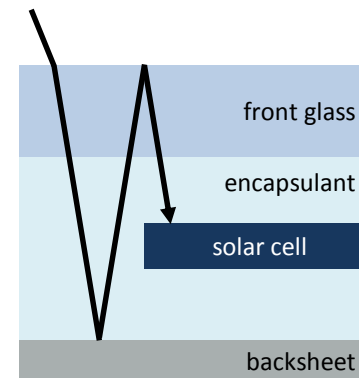
- Reflexionsgewinne Rückseite, elektr. Verluste

■ Anzahl Solarzellen

- Modulleistung, Kosten

■ Modulgröße

- Kosten



Mechanismus der Rückseitenreflektion, Gewinne abhängig vom Zellabstand

Zelle zu Modul Analyse

Halb- und Vollzellen

→ Annahmen notwendig um Konzepte zu vergleichen

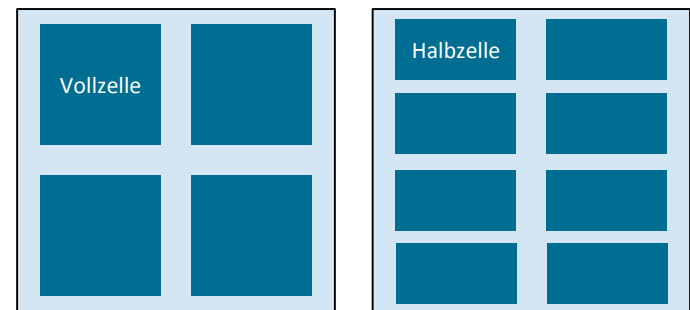
■ Moduldesign für die vergleichende CTM-Analyse

■ gleiche Modulgrößen

■ Identische aktive Fläche

→ Unterschiedliche Zellabstände

■ Gewählte Designs für beide Module sind beispielhaft



gleiche Modulfläche, gleiche Zellfläche, andere Abstände

Zelle zu Modul Analyse

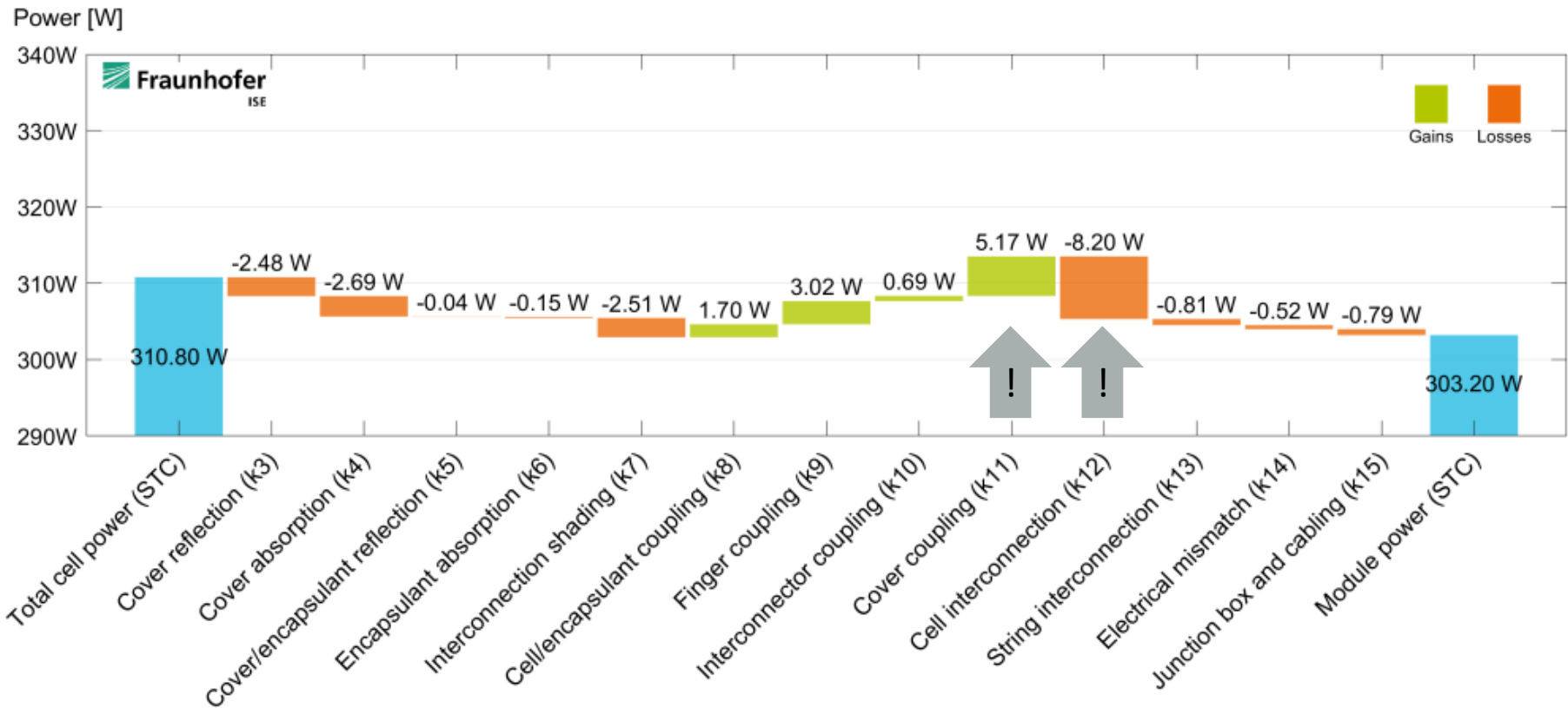
Inputparameter

	Vollzelle	Halbzelle
Solarzellen	60	120
Länge [mm]	1670	1670
Breite [mm]	998	998
Zellabstände [mm]	5.3	2.5
Stringabstände [mm]	2.5	2.5
Fläche [m ²]	1.677	1.677
Aktiver Flächenanteil	87.9%	87.9%

- Solarzellen und andere Modulmaterialien identisch in beiden Varianten

Zelle zu Modul Analyse

Vollzellen-Modul

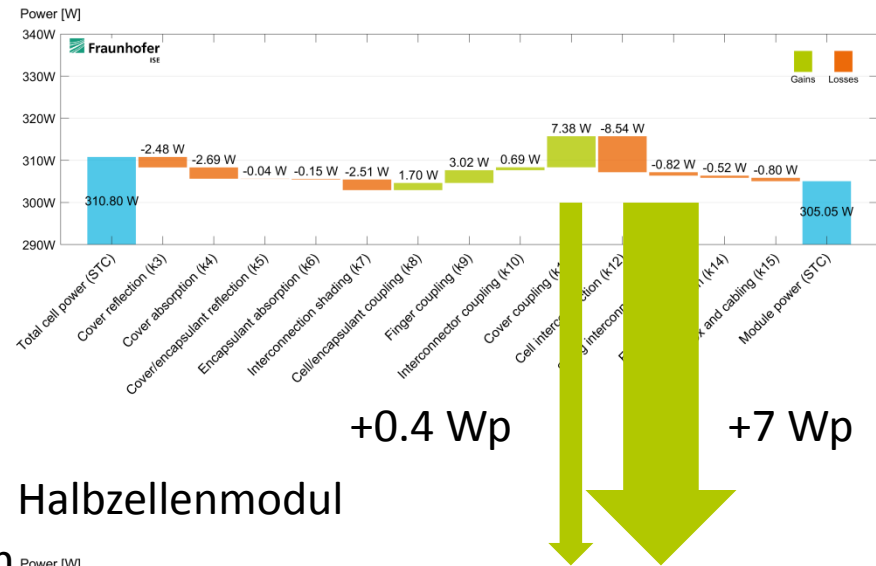


Zelle zu Modul Analyse

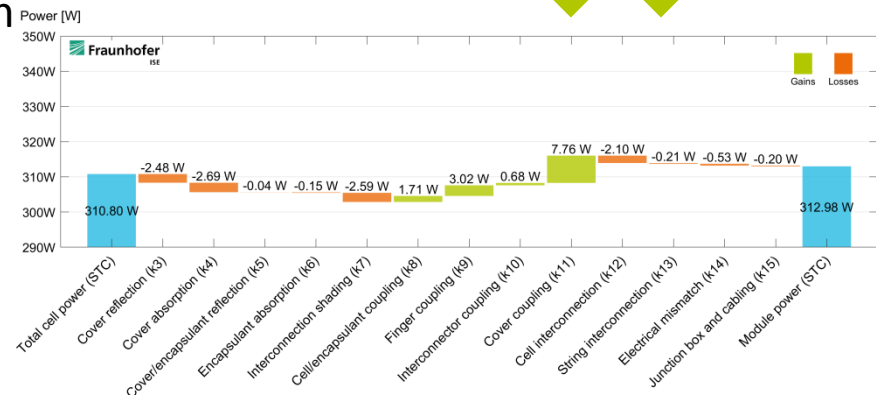
Konzeptvergleich

	Vollzelle	Halbzelle
Leistung [Wp]	305	313
CTM _{power} [%]	98.1	100.7
Effizienz [%]	18.25	18.73

Vollzellenmodul



Halbzellenmodul



- Reduzierte elektrische Verluste
- Größere Anzahl an Zellzwischenräumen
- Geringere Zellabstände
- ➔ Nur geringe zusätzliche Gewinne aus interner Reflektion

Zelle zu Modul Analyse

Konzeptvergleich

	Vollzelle	Halbzelle	
Leistung [Wp]	305	313	+8 Wp
CTM _{power} [%]	98.1	100.7	+2.6% _{abs}
Effizienz [%]	18.25	18.73	+0.5% _{abs}

- Initiale Zelleistung bei beiden Modulen identisch
- Höhere Modulleistung beim Halbzellenmodul durch verbesserten CTM
- Modulfläche unverändert (→ unveränderte BoM)
- Ergebnisse abhängig von spezifischem Modulaufbau

→ Wirtschaftliche Analyse nach Ermittlung der Modulleistung möglich

Techno-Ökonomische Analyse

- CTM-Analyse zeigt Vorteile von Halbzellenmodulen bezüglich Leistung
- Exakter Modulaufbau notwendig zur Quantifizierung der Vorteile

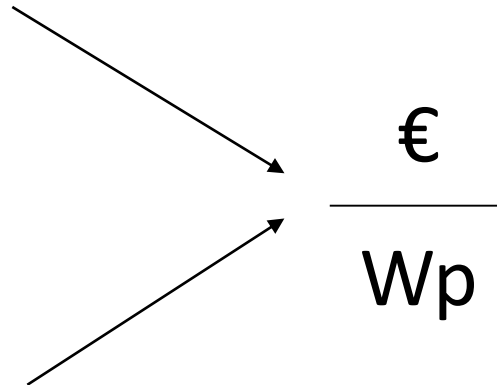
→ Modulleistung

■ Wirtschaftliche Analyse

■ Materialkosten

■ Prozesse

→ Cost of Ownership



Cost of Ownership Analyse

Szenario A: geringe Zusatzkosten für Halbzellen

- Keine zusätzlicher Stringer
- Keine Erhöhung von Bruchraten
- Keine Extrakosten für das Zellhandling
- Keine Leistungsverluste durch Zellteilung
- Keine Änderungen der BoM (gleiche Modulfläche)

- Erhöhte Modulleistung für das Halbzellenmodul (+8 Wp)
- Zellteilungsautomat
 - Max. 6000 Stk/h, 300 k€ Invest

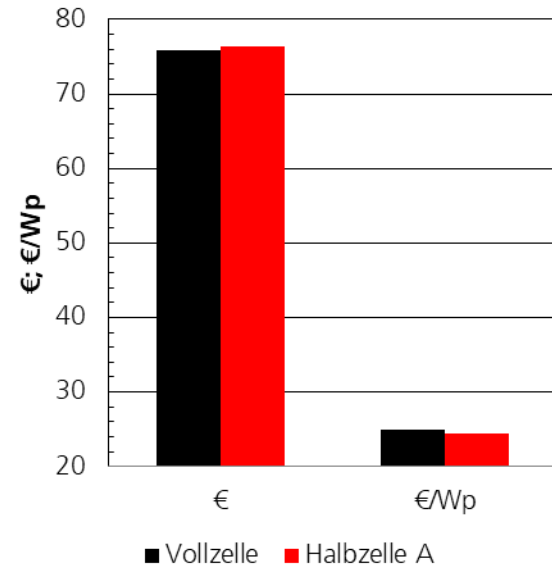
Glas	4 €/m ²
EVA	0.9 €/m ²
Solarzelle	12 €ct/Wp
Verbinder	3.5 €ct/m
Rückseitenfolie	2 €/m
Anschlussdose	3 €/pcs
Rahmen	1.10 €/m

Materialkosten für die Cost of Ownership Berechnung

Cost of Ownership Analyse

Szenario A: geringe Zusatzkosten für Halbzellen

- Vollzellenmodul
 - 25.0 €ct/Wp
 - 75.8 €/Modul
- Halbzellenmodul
 - 24.4 €ct/Wp
 - 76.3 €/Modul



■ Ergebnisse Szenario A:

- Halbzellenmodul mit höheren absoluten Kosten
- CTM-Leistungsgewinne reduzieren spezifische Kosten (€/Wp) für Halbzellenmodule

Cost of Ownership Analyse

Szenario B: Zusatzkosten für Halbzellen

- Zusätzlicher Stringer: +1
- Erhöhung von Bruchraten: 0.1% (+100% Bruch bei der Zellteilung)
- Extrakosten für das Zellhandling: +1% auf das gesamte Invest
- Leistungsverlust durch Zellteilung: -1%
- Zellteilungsautomat
 - Max. 6000 Stk/h, 300 k€ Invest
- Erhöhte Modulleistung für das Halbzellenmodul: +8 Wp
- Keine Änderungen der BoM (gleiche Modulfläche)

Glas	4 €/m ²
EVA	0.9 €/m ²
Solarzelle	12 €ct/Wp
Verbinder	3.5 €ct/m
Rückseitenfolie	2 €/m
Anschlussdose	3 €/pcs
Rahmen	1.10 €/m

Materialkosten für die Cost of Ownership Berechnung

Cost of Ownership Analyse

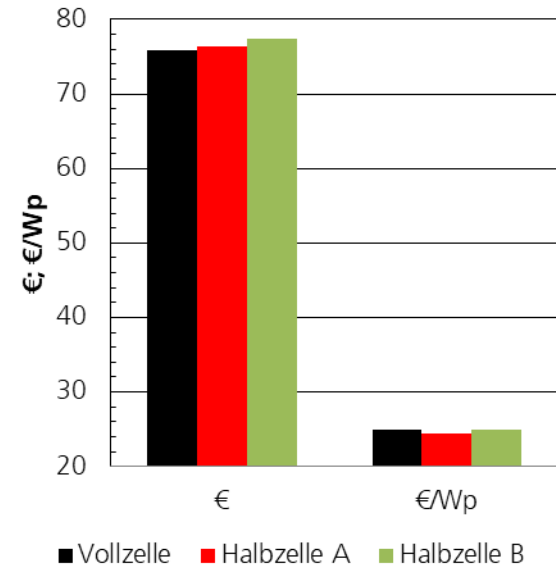
Szenario B: Zusatzkosten für Halbzellen

- Vollzellenmodul
 - 25.0 €ct/Wp
 - 75.8 €/Modul
- Halbzellenmodul
 - 25.0 €ct/Wp
 - 77.3 €/Modul

■ Ergebnisse Szenario B:

- Höhere Kosten durch Prozesseinflüsse und technologische Hürden können den Leistungszuwachs kompensieren
- Detaillierte Analyse notwendig,

- Betrachtung zusätzlicher Aspekte ggf. sinnvoll (System + LCoE)



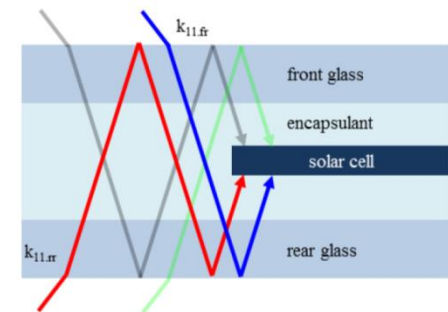
Zusammenfassung

- Halbzellen steigern Modulleistung (~ 2-3%)
- Vollzellenmodul mit niedrigeren absoluten Kosten (€)
- Kostenvorteil (€/Wp) von Halbzellenmodulen abhängig von
 - Herstellungsprozessen und Anlagentechnik
 - Einfluss der Zellteilung auf Bruchraten und Leistungsverluste
- ➔ Ergebnisse der techno-ökonomischen Analyse abhängig von den spezifischen Inputs (Produktionsumgebung, Moduldesign)

- Umstellung des Moduldesigns notwendig (Serien- und Parallelschaltung)
- Anpassungen der BoM ggf. notwendig (bspw. veränderte Modulgröße)

Kompatibilität zu weiteren Entwicklungen

- Halbzellen kompatibel zu vielen neuen Ansätzen
 - Glas-Glas, Runddraht-Verschaltung,...
 - Größere Solarzellen (156 → 161 mm)
 - Höhere Ströme und elektrische Verluste (~ +10%)
 - BoM-Veränderung wahrscheinlich (Modulgröße)
 - Bifazialität
 - Höhere Ströme und elektrische Verluste (bis ca. +30% abhängig vom Albedo)
- Detailanalyse für jedes Setup notwendig



Thank you for your attention!



Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE

www.cell-to-module.com

www.ise.fraunhofer.de

ctm@ise.fraunhofer.de