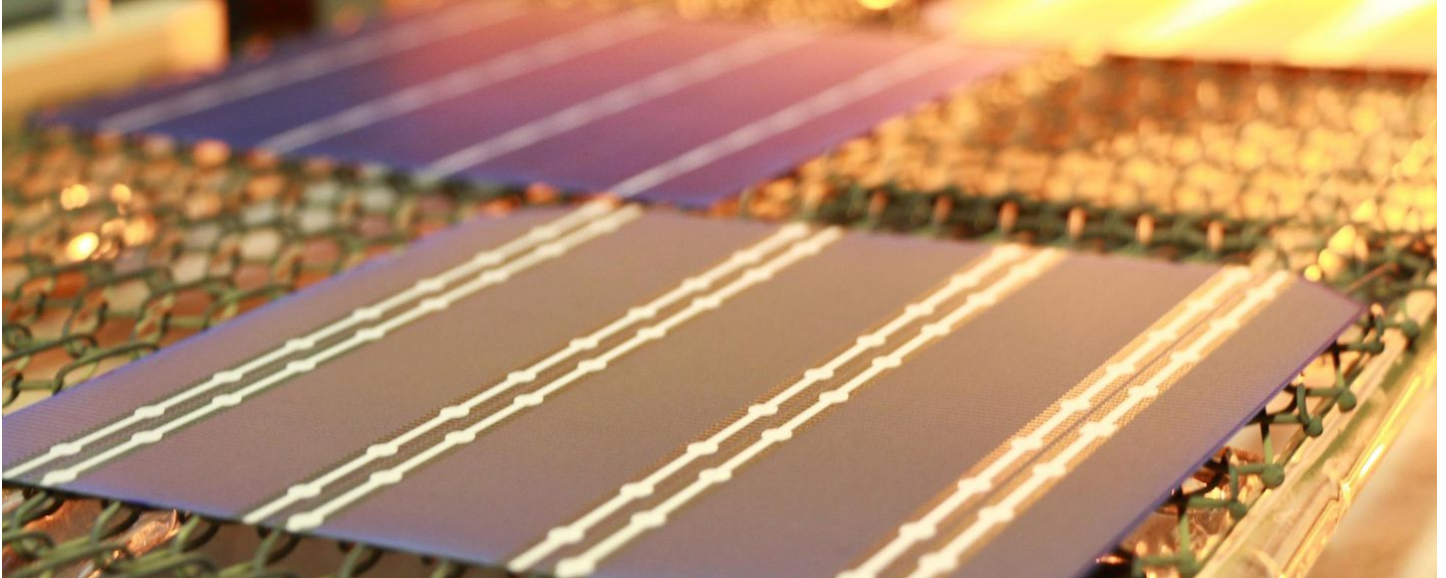


[Projekte](#) / [Projektsuche](#) / Unterschiedliche Solarzellentypen auf einer Produktionslinie fertigen



Photovoltaik

## Unterschiedliche Solarzellentypen auf einer Produktionslinie fertigen

**Kurztitel:**

FlexFab

**Förderkennzeichen:**

0324194A, B

**Themen:**

Produktionstechnologien, Neue Materialien und Konzepte

**Projektkoordination:**

RCT Solutions

**Laufzeit gesamt:**

Juli 2017 bis Dezember 2020

**Schlagworte:**

[Digitaler Zwilling](#)

[Industrie 4.0](#)

[Siliziumzelle](#)

[Automation](#)



[Siebdruck](#)

[Rückkontaktzelle](#)

## ANSPRECHPARTNER ZUM PROJEKT

 Dr. Wolfgang Jooß  
 +49(0)7531-58470-17  
 RCT Solutions GmbH  
Line-Eid-Str. 1  
78467 Konstanz  
 [www.rct-solutions.com](http://www.rct-solutions.com)

---

 ISC Konstanz e. V.  
 <https://isc-konstanz.de/>

## QUINTESSENZ

- Das Konzept FlexFab zielt auf den Einsatz von Industrie 4.0-Technologien, um PERC- und ZEBRA-Solarzellen auf einer Fertigungslinie produzieren zu können.
- Eine neue Software überwacht und steuert die flexible Produktion unterschiedlicher Zelltypen.
- Invertierte Pyramiden auf der Oberfläche der Wafer reduzieren die Reflexion und steigern den Wirkungsgrad der PERC-Solarzellen.
- Eine neuartige Emitterschicht verbessert die Dotierung von ZEBRA-Solarzellen und steigert deren Wirkungsgrad.

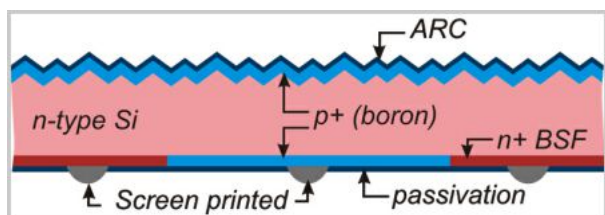
Flexibel von der Produktion eines Solarzellentyps auf ein anderes Konzept wechseln können – und das alles auf der gleichen Produktionslinie – das ist ein Ziel des Forschungsvorhabens FlexFab. Konkret wird die parallele Fertigung von ZEBRA- sowie PERC+-Solarzellen erforscht. Um unterschiedliche Produkte auf einer Linie produzieren zu können, setzt das FlexFab-Konzept auf den Einsatz von Industrie 4.0 - Technologien. So werden digitalisierte Fertigungsmethoden untersucht. Beispielsweise, wie Wafer automatisiert ihren Weg durch die Fabrik finden können. Zudem haben die Projektpartner die genannten Zellkonzepte und Herstellungsverfahren erfolgreich weiterentwickelt.

## Mehr Flexibilität, um verschiedene Solarzellentypen herzustellen

Produktionskapazitäten für Solarzellen sind in Europa kaum mehr orhanden. Circa 90 Prozent der weltweiten Zell- und Modulproduktion befindet sich momentan in China und Südostasien. Diese Konzentration auf den asiatischen Markt, erschwert es, weiterentwickelte Solarzellenkonzepte in Europa zu fertigen und zu vermarkten. Es fehlen Produktionslinien, um neue Konzepte zu testen. Hier setzt das Forschungsvorhaben FlexFab an, kurz für „Flexible Produktion von Solarzellen in zukünftigen PV Fabriken“. Die Investition in eine neue Produktionslinie soll nicht länger an ein bestimmtes

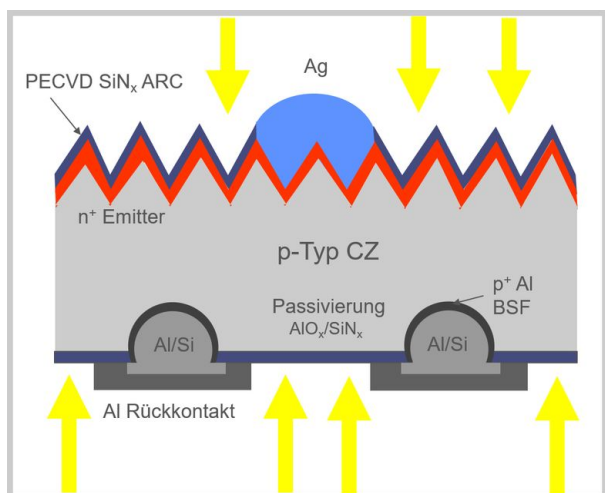
Zellkonzept gebunden sein. So können neuartige Konzepte getestet werden, ohne neue Linien aufbauen zu müssen.

Die Projektteams sehen in einer flexiblen Produktionslinie eine Chance, ihre bifazialen Zellkonzepte PERC+ (RCT Solutions) und ZEBRA (ISC Konstanz) besser vermarkten zu können. Dabei handelt es sich um Solarzellen, die sowohl auf der Vorderseite die direkte Solarstrahlung als auch auf der Rückseite indirektes, also am Untergrund reflektiertes Licht nutzen können, um Strom zu erzeugen. Das Investitionsrisiko für neue Technologien wie ZEBRA wird so reduziert. Der Investor kann stets auf andere Silizium-Zellkonzepte wie die etablierte PERC-Zelle, ausweichen. „PERC“ steht für monocrystalline Passivated Emitter and Rear Cell. ZEBRA-Zellen gehören zu den Rückkontaktzellen (IBC-Zelle: interdigitated back contact-Zelle). Der Name ZEBRA leitet sich von der gestreift erscheinenden Rückseite der Zelle ab, erzeugt durch die Kontakte. Die aktive Fläche der Vorderseite ist frei von verschattenden Kontakten und die Module erscheinen ganzflächig dunkelblau.



© ISC Konstanz

Schematischer Querschnitt der ZEBRA IBC Solarzelle. BSF: BackSurfaceField (Rückkontaktfeld), ARC: Antireflexschicht



© RCT Solutions

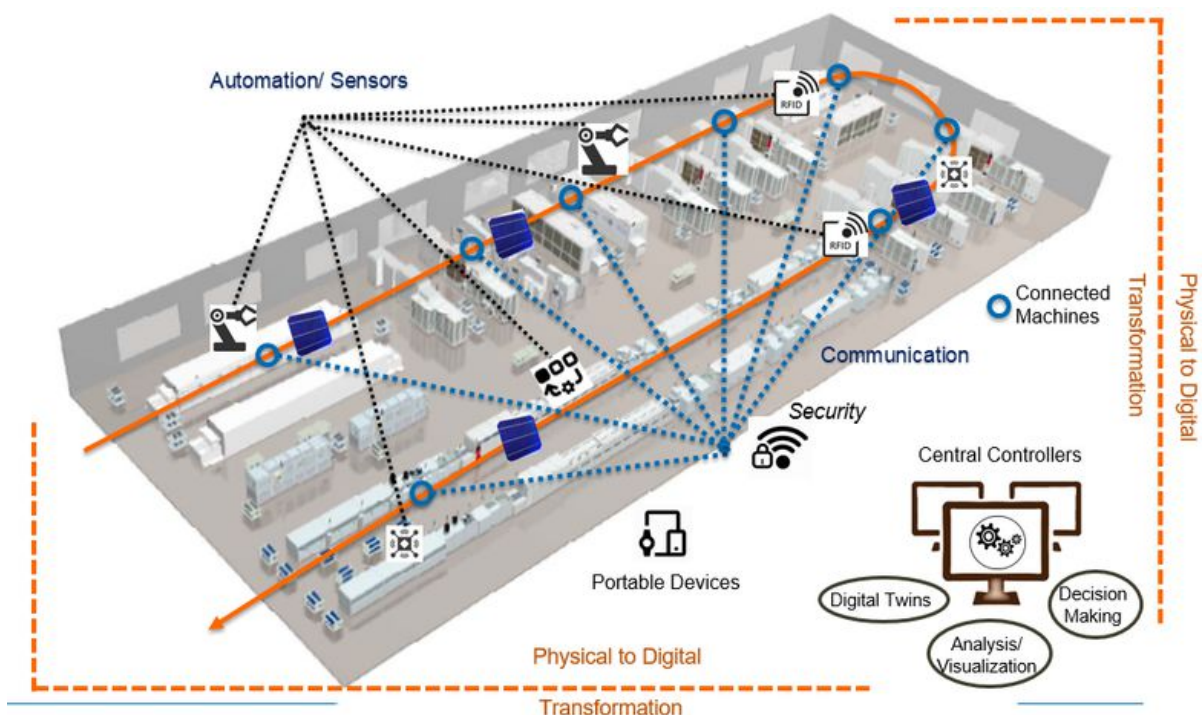
Schematischer Querschnitt einer PERC+ Solarzelle. PECVD: plasmaunterstützte chemische Gasphasenabscheidung.

## Industrie 4.0: Intelligente Solarzellfertigung der Zukunft

Das FlexFab-Konzept nutzt Industrie 4.0-Technologien, um unterschiedliche Zelltypen auf einer Produktionslinie zu fertigen. Der Aufbau digitalisierter Photovoltaik-Fabriken erfordert ein hohes Maß an robotergestützten Arbeitsabläufen. Zudem muss das gesamte Produktionssystem miteinander vernetzt sein. Über Sensoren ist die physische Welt mit der digitalen Welt verknüpft. Denkbar wäre, dass unterschiedlichen Wafer automatisiert ihren Weg durch die Fabrik finden. Dabei sind alle Parameter und Messungen leicht zugänglich. So kann die Produktion optimiert werden und Zeiten für Wartungsarbeiten lassen sich minimieren. Wafer bestehen in den meisten Fällen aus Silizium und sind das Kernstück einer kristallinen Siliziumzelle.

Ein wichtiger Bestandteil von Industrie 4.0 ist der digitale Zwilling, die detaillierte Kopie von Produkten, Prozessen und Systemen auf physikalische und statistische Modelle. Diese erfassen die aktuellen Messwerte und Betriebszustände. Das Produkt kann sozusagen hergestellt werden, bevor es tatsächlich produziert wird. Die Simulation kann zahlreiche Tests durchführen und das künftige Produkt auf Herz und Nieren prüfen.

Als Basis für die FlexFab dient eine Produktionslinie für PERC-Zellen, die in ihrer üblichen Variante aus neun Equipments (Gerätestationen) besteht. Im Verlauf der letzten Jahre haben sich diese Zellen zum Standard entwickelt. Sie sind günstig herzustellen, weisen dennoch einen hohen Wirkungsgrad auf und führen momentan zu den niedrigsten Stromerzeugungskosten bei Freiflächenanlagen. Erweitert man die Linie um drei weitere Equipments kann die Produktion auf ZEBRA-Zellen umgestellt werden. Im Vergleich zu einer Produktionslinie für einen Zelltyp ist die Gesamtinvestition etwas höher. Allerdings können Kosten eingespart werden, in dem die Equipments geschickt miteinander verbunden und angepasst werden. Je nach Bedarf des Markts kann die Produktion zwischen zwei Zelltypen wechseln.



Vision einer intelligenten Solarzellerfertigung der Zukunft: Sensoren und Rückkopplung zwischen Prozessschritten erlauben eine intelligentere Automatisierung. © ISC Konstanz

## Software ibook unterstützt das FlexFab-Konzept

Diese neue Software ermöglicht unterschiedliche Fertigungswege durch die Fabrik. So können verschiedene Zellkonzepte in einer Fabrik gesteuert, überwacht und hergestellt werden. Aktuell testen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler das System im Laborbetrieb des ISC Konstanz. Dafür haben sie einzelne Anlagen mit digitalen Schnittstellen ausgestattet und an die entwickelte Software gekoppelt. Fertigungs- und Messdaten können automatisch und von verschiedenen Standpunkten aus überwacht werden.

## Vor- und Nachteile der Solarzellenkonzepte

Innerhalb des Projekts FlexFab haben die Projektpartner ebenfalls die PERC+- und die ZEBRA-Technologie weiterentwickelt. Auch diese Zellen sollen sich für eine flexible Produktion eignen. Die ZEBRA-Zelle ist effizienter als PERC+-Zellen, allerdings auch teurer in der Herstellung. Die PERC+Zelle bedient momentan den großen Markt für Freiflächenanlagen. Die ZEBRA-Zelle eignet sich für Gebäude, bei denen verfügbare Fläche und Optik eine wichtige Rolle spielen. Damit bedienen die genannten Zell-

Konzepte zwei für Europa wichtige Märkte.

## Neuartige Texturierung reduziert Reflexion von PERC+-Solarzellen deutlich

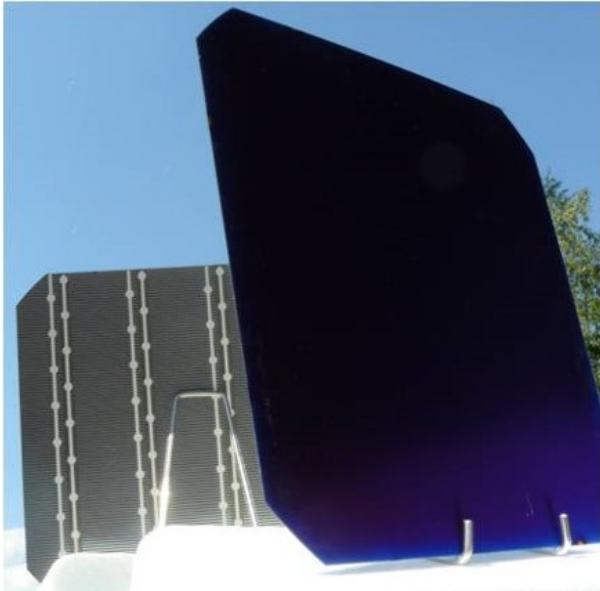
Die Struktur der Waferoberfläche bestimmt maßgeblich die Höhe der reflektierten Solarstrahlen. Daher texturiert die Industrie kristalline Silizium- Wafer, indem gezielt lichtlenkende Oberflächenstrukturen erstellt werden. Innerhalb des Projekts FlexFab haben die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler das MCCE Verfahren (Metal Catalyst Chemical Etching) untersucht und einen neuen Ansatz zur Texturierung von multi- und monokristallinen DWS-Wafern (diamond wire sawn wafers) entwickelt. Dieser Prozess dauert nur wenige Minuten und kann direkt in die Zellfertigung integriert werden. Er ersetzt die bislang verwendeten Verfahren. Bei dieser Methode wird auf die raue Oberfläche der Wafer punktuell Silber aus einer Lösung abgeschieden. Dieses fungiert als Katalysator für den anschließenden Ätzprozess. Dadurch entstehen unterhalb der Silberpartikel kleine Löcher. Anschließend wird das Silber wieder entfernt und der Wafer nochmals geätzt. Danach haben sich auf der Oberfläche bei monokristallinen Wafern invertierte Pyramiden gebildet. Diese Strukturen reduzieren die Reflexion unter 12 Prozent. Das Verfahren eignet sich sowohl für mono- als auch für multikristalline Zellen und kann ebenfalls in einer FlexFab eingesetzt werden.

Weitere Forschungsarbeiten haben sich auf die Metallisierung der bifazialen Rück- als auch Vorderseite von Wafern konzentriert, um weniger Oberfläche zu verschatten. Hier haben die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler das Siebdruckverfahren optimiert, um Anzahl und Breite der Kontaktfinger zu minimieren. Dadurch haben sie den Wirkungsgrad bei monokristallinen PERC+-Zelle auf über 22 Prozent steigern können.

## ZEBRA-Solarzelle: Wirkungsgrad erreicht 23,3 Prozent

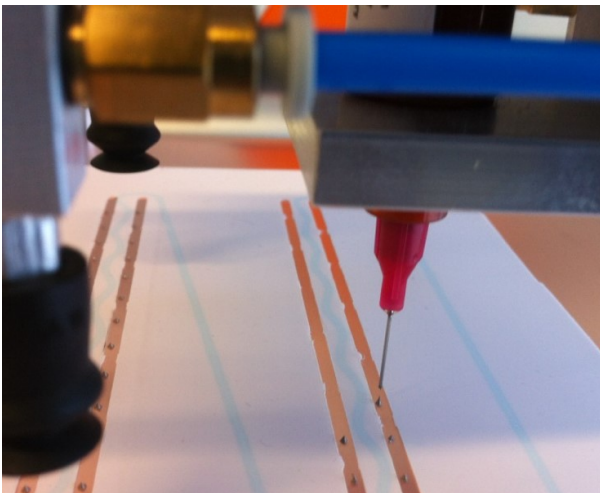
Um den Wirkungsgrad von ZEBRA-Solarzellen zu steigern, haben die Projektteams verschiedenen Schritte innerhalb der Produktion der Zellen untersucht und weiterentwickelt.

Optimierungspotenzial findet sich beispielsweise in der Emitterschicht. Ihre Funktion besteht darin, die im Siliziumkristall generierten Elektronen zu den Kontakten abzuleiten. Die Forscherinnen und Forscher haben das Verfahren verändert und zwei Diffusionsschritte verwendet. So haben sie Bereiche mit geringer und hoher Dotierung erzeugt und die Effizienz der ZEBRA-Zelle verbessert. Daneben beeinflusst die Passivierung des Halbleiters die Effizienz von Solarzellen. Bei dem Verfahren wird eine dielektrische Schutzschicht aufgebracht. Diese haben die Forschenden weiterentwickelt und so die Leerlaufspannung (VOC) der Solarzellen erhöhen können. Zudem haben sie den Siebdruckprozess erfolgreich angepasst, in dem sie die Kontaktfläche mit einer sogenannten Punktkontaktstruktur verkleinert haben. In Summe haben die Forschungsarbeiten den Wirkungsgrad der ZEBRA-Zelle von 22 auf 23,3 Prozent steigern können.



© ISC Konstanz

Bifaziale ZEBRA Solarzelle vor einem Spiegel: im Spiegelbild sind die Metallkontakte erkennbar.



© ISC Konstanz

Applikation von Leitkleber auf ZEBRA IBC Solarzellen für die Modulherstellung mit leitfähiger Rückseitenfolie (conductive backsheet).

## FlexFab-Konzept könnte sich positiv auf die europäische Solarindustrie auswirken

Bislang gibt es keine Fabrik, in der gleichzeitig frei wählbare Anteile verschiedener Zellkonzepte für unterschiedliche Marktsegmente (Freiflächen und Gebäudeintegration) gefertigt werden können. Aktuell

bestehende Initiativen verfolgen das Ziel, Investoren für das FlexFab-Konzept zu gewinnen, beispielsweise das Projekt 5GW+GreenFab. Hier planen die Projektteams, die Produktionskapazitäten für PERC sowie IBC-Solarzellen und -modulen auf über 5 Gigawatt aufzubauen. Die nachhaltige und kosteneffiziente Fertigung kann dazu beitragen, die Solarindustrie in Europa zu stärken. Innerhalb des Folgeprojekts [FlexFab2](#) arbeiten die Forscherinnen und Forscher von RCT Solutions und ISC Konstanz bereits an neuen Konzepten, die neben der Zellproduktion auch die Ingot-, Wafer- und Modulproduktion in das FlexFab integrieren. Erste Ergebnisse erwarten sie Ende 2022.

Letzte Aktualisierung: 15.07.2021



Bei EnArgus, dem zentralen Informationssystem zur Energieforschungsförderung, befindet sich unter anderem eine Datenbank mit sämtlichen Energieforschungsprojekten – darunter auch dieses Projekt.