

---

# Evaluierung innovativer Druckverfahren für die Metallisierung von Si-Solarzellen

---



A. Lorenz

Evaluierung innovativer Druckverfahren für die Metallisierung von Si-Solarzellen

VDD Jahrestagung  
Lohr am Main, 30.09.2016

Fraunhofer ISE  
[www.ise.fraunhofer.de](http://www.ise.fraunhofer.de)



# Fraunhofer ISE

## Forschen für die Energiewende

Institutsleiter:  
Prof. Eicke R. Weber

Mitarbeiter: 1300

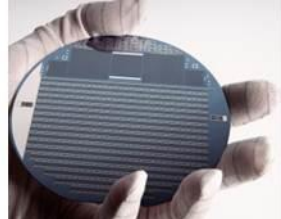
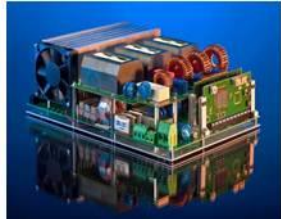
2012 Budget: 77,0 Mio. EUR

Gegründet: 1981



# Geschäftsfelder Fraunhofer ISE

Fotos © Fraunhofer ISE



Energieeffiziente Gebäude

Silicium-Photovoltaik

III-V- und Konzentrator- Photovoltaik

Farbstoff-, Organische und Neuartige  
Solarzellen

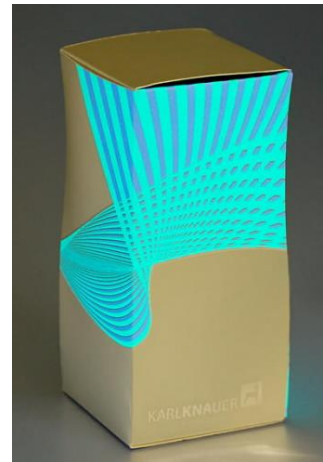
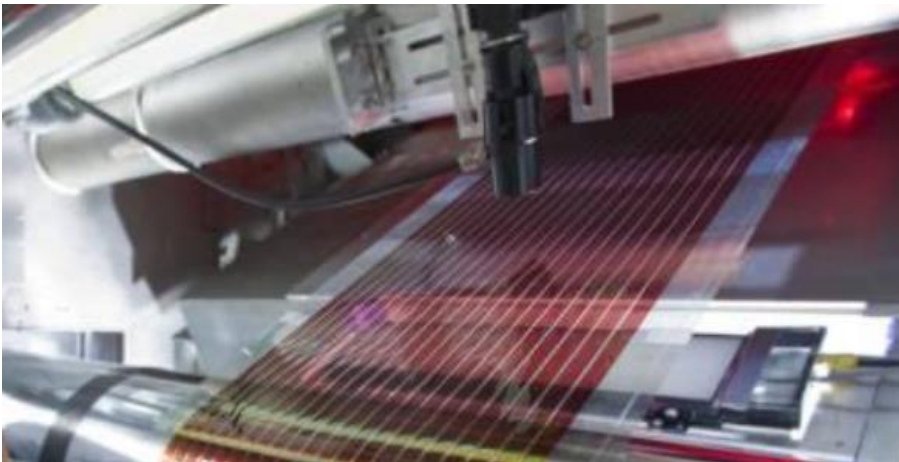
Photovoltaische Module und  
Kraftwerke

Solarthermie

- Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie
- Systemintegration und Netze – Strom, Wärme, Gas
- Energieeffiziente Leistungselektronik
- Emissionsfreie Mobilität
- Speichertechnologien
- Energiesystemanalyse

# Printed Electronics

## Anwendungsbeispiele



# Printed Electronics

## Silicium-Photovoltaik

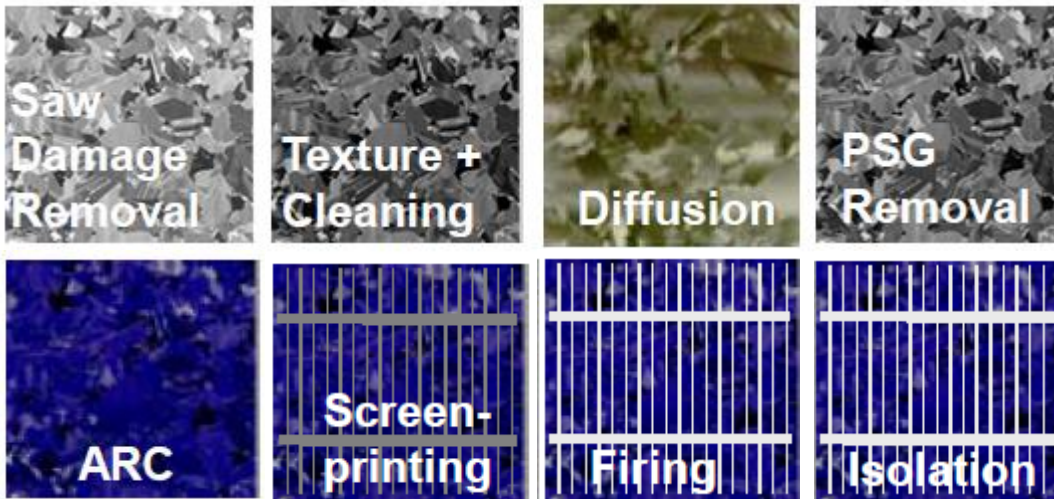
Metallisierung von Solarzellen – Ein Beispiel für eine seit Jahrzehnten bewährte Printed Electronics-Anwendung



Quelle: Fraunhofer ISE

# Printed Electronics

## Herstellungsprozess von Silicium-Solarzellen



Quelle: Vorlesung Photovoltaische Energiekonversion, Dr. S. Glunz, IMTEK Freiburg, SS 2012

Sägeschadenätze/  
Textur und Reinigung

Abscheidung Dotierquelle

Diffusion

PSG-Ätze, Emitter-Rückätze  
und Reinigung

PECVD-Abscheidung  $\text{SiN}_x$  ARC

Siebdruck-Metallisierung

Kontaktfeuern

# Printed Electronics

## Silicium-Photovoltaik

- Solarzellen benötigen Elektroden auf der Vorder- und Rückseite
- Früher: Photolithografische Strukturierung und Metallisierung
- Seit den 1970er-Jahren: Druck von Metallpasten im Flachbett-Siebdruck
- Heutzutage: ca. 95% Marktanteil des Siebdruckverfahrens für die Metallisierung



*Siebdruck-Linie für die Metallisierung von Silicium-Solarzellen (Quelle: Asys Solar)*



# Printed Electronics

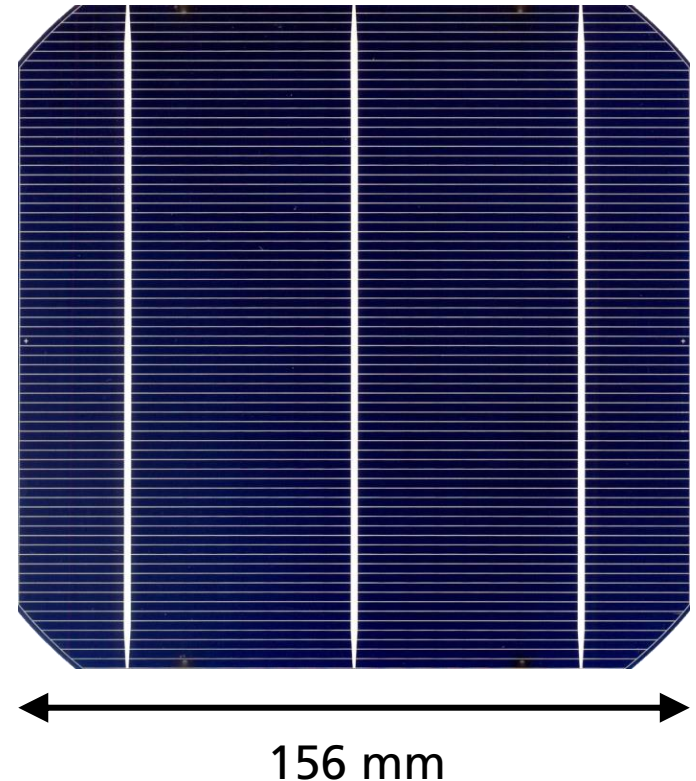
## Metallisierung von Solarzellen

### Vorderseite:

- ca. 100-120 Kontaktfinger mit Ag-Paste
- 3-6 Sammelbusse (Busbars) für Serienschaltung der Zellen mit Lötbändchen
- Schmale Kontaktfinger (Abschattung) mit geringem Linienwiderstand
- Keine Unterbrechungen

### Rückseite:

- Vollflächige Metallisierung mit Al-Paste
- Aussparungen für Eindruck von Ag-Lötpads



# Printed Electronics

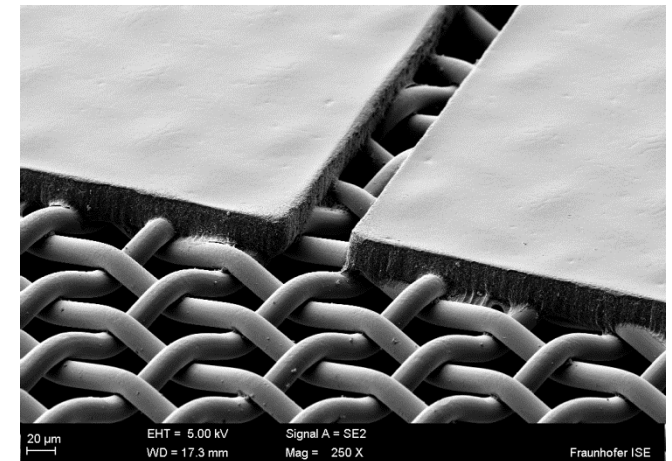
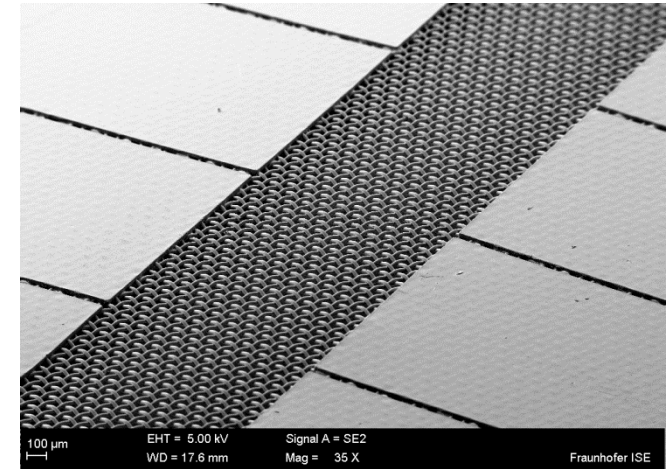
## Metallisierung von Solarzellen

### Vorderseite:

- ca. 100-120 Kontaktfinger mit Ag-Paste
- 3-6 Sammelbusse (Busbars) für Serienschaltung der Zellen mit Lötbandchen
- Schmale Kontaktfinger (Abschattung) mit geringem Linienwiderstand
- Keine Unterbrechungen

### Rückseite:

- Vollflächige Metallisierung mit Al-Paste
- Aussparungen für Eindruck von Ag-Löt pads

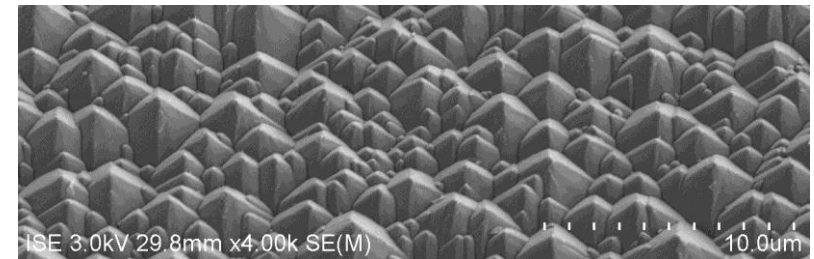
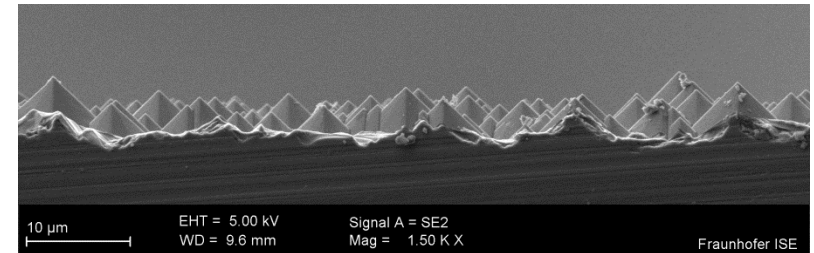


REM-Aufnahme eines Flachbett-Siebs (ISE)

# Druck auf Silicium-Wafer

## Herausforderungen aus drucktechnischer Sicht

- Sehr raue Oberfläche durch alkalische/saure Textur
- Sehr hohe Oberflächenenergie, d.h. Tendenz zum Spreiten des Fluids
- Druck feinsten, unterbrechungsfreier Linien erforderlich
- Geringe Linienbreite (Abschattung) bei gleichzeitig großer Schichtdicke (geringer Linienwiderstand)
- Entwicklung geeigneter Druckfluide/-pasten und Materialien



*Texturierte Oberfläche eines monokristallinen Silicium-Wafers*

# Technologischer Hintergrund

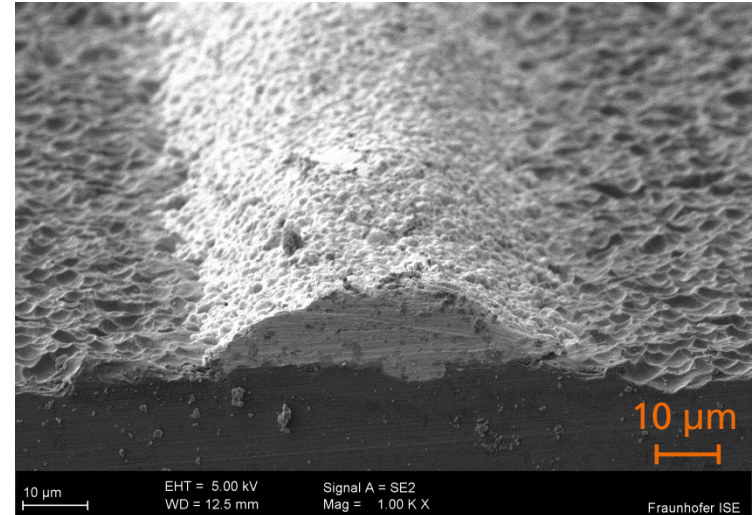
## Metallisierung von Solarzellen im Flachbett-Siebdruck

### High-End Siebdruck:

- Sehr feine Kontaktfinger ( $< 50 \mu\text{m}$  Breite)
- Kontaktfingerhöhe ca.  $15\text{-}25 \mu\text{m}$
- Unterbrechungsfreier Druck mit hoher Reproduzierbarkeit
- Durchsatz bis ca. 2000 Wafer/h

### Entwicklung am ISE:

- Optimierung des Druckprozesses
- Vergleiche von Pasten und Sieben
- Intensive Weiterentwicklung des Verfahrens mit industriellen Partnern



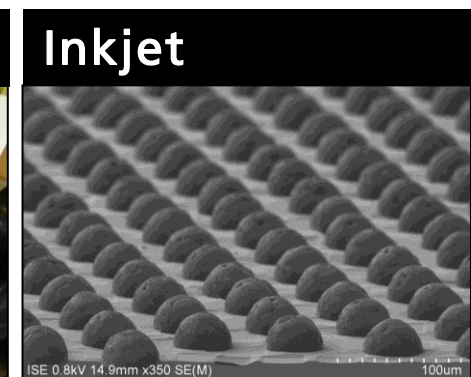
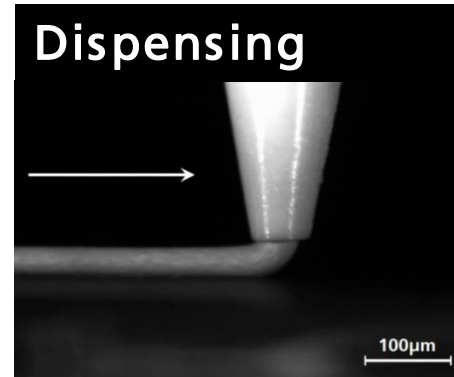
*Fineline-Kontaktfinger auf texturierter Waferoberfläche im Flachbett-Siebdruck*

# Entwicklung alternativer Technologien

## Zielsetzung und Technologien

### Zielsetzung:

- Minimierung der Kontaktfingerbreite
- Reduktion des Ag-Verbrauchs
- Optimierung des Wirkungsgrads der Solarzellen
- Erhöhung des Produktionsdurchsatzes



# Innovative Technologieansätze

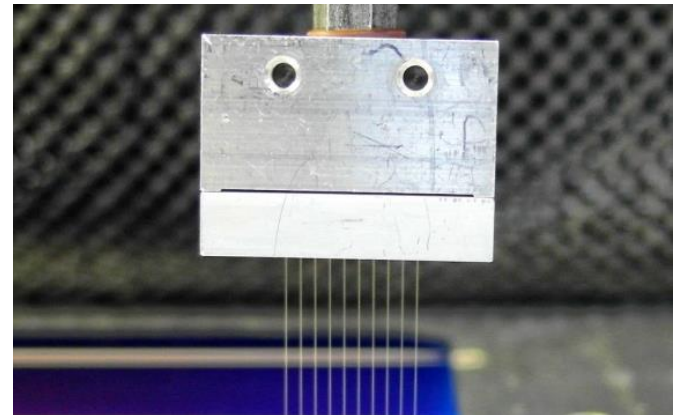
## Parallel-Dispensing der Kontaktfinger

### Herausforderung:

- Kontinuierliches Dispensen, Vermeidung von Abrissen
- Start-Stop-Mechanismus

### Technologische Lösung:

- Entwicklung einer Plattform für Dispens-Metallisierung von Solarzellen mit industriellen Partnern
- Intensive rheologische Anpassung der Ag-Paste
- Entwicklung einer Prototypenanlage mit Parallel-Dispenskopf (50 Nozzles)<sup>1</sup>



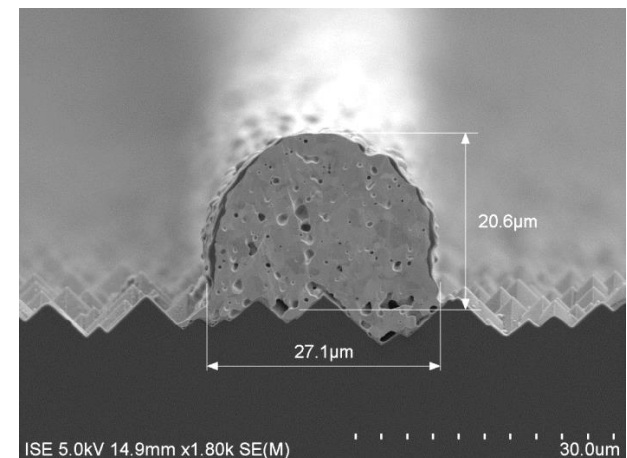
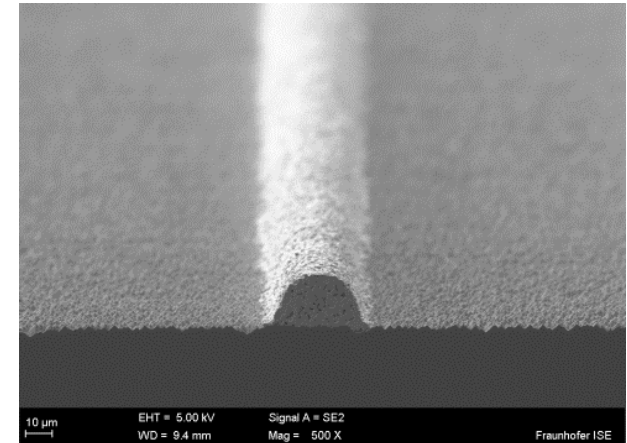
*Prototyp Dispenserplattform am Fraunhofer ISE / 10-Nozzle-Druckkopf für Solarzellen-Metallisierung im Einsatz (Quelle: ISE)*

# Innovative Technologieansätze

## Parallel-Dispensing der Kontaktfinger

### Aktuelle Ergebnisse:

- High-Speed Dispensing (700 mm/s) von Kontaktfingern mit bis zu 25  $\mu\text{m}$  Breite
- Nahezu perfekte geometrische Form der Kontaktfinger
- Idealer Kompromiss zwischen Abschattung (geringe Breite) und geringem Linienwiderstand (Leiterquerschnitt)



*Dispensierter Feinlinien-Kontaktfinger auf Silicium-Solarzelle (Quelle: ISE)*

# Innovative Technologieansätze

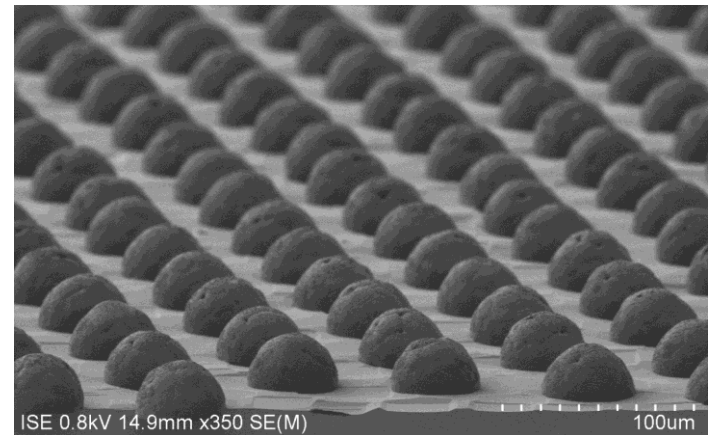
## Inkjet-Technologie für Silicium-Solarzellen

### Anwendungsbereiche:

- Metallkontakte mit Ag- oder Cu-Nanopartikelintinten
- Dielektrische Schichten
- Ätzmasken für selektives Ätzen
- Passivierungsschichten
- Diffusionsbarrieren
- ...



*IP410 Inkjet Printer am Fraunhofer ISE  
(Quelle: ISE)*



*Hotmelt-Maskenstrukturen im Inkjet (ISE)*

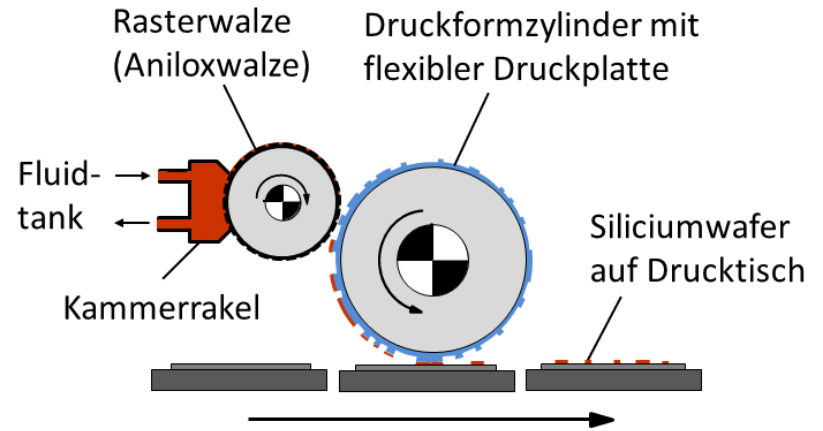


# Innovative Technologieansätze

## Rotationsdruckverfahren: Flexodruck

### Herausforderung:

- Rund-zu-flach Plattform für Druckversuche
- Entwicklung eines geeigneten Druckfluids
- Beständigkeit und Auflösung der Druckplatte
- Feinliniendruck ( $< 50 \mu\text{m}$ ) auf extrem rauhem Substrat
- Druck mit möglichst geringer Beistellung (Kiss-Printing)



*Schematische Darstellung einer Flexodruckeinheit für Si-Solarzellen (Quelle: ISE)*

# Innovative Technologieansätze

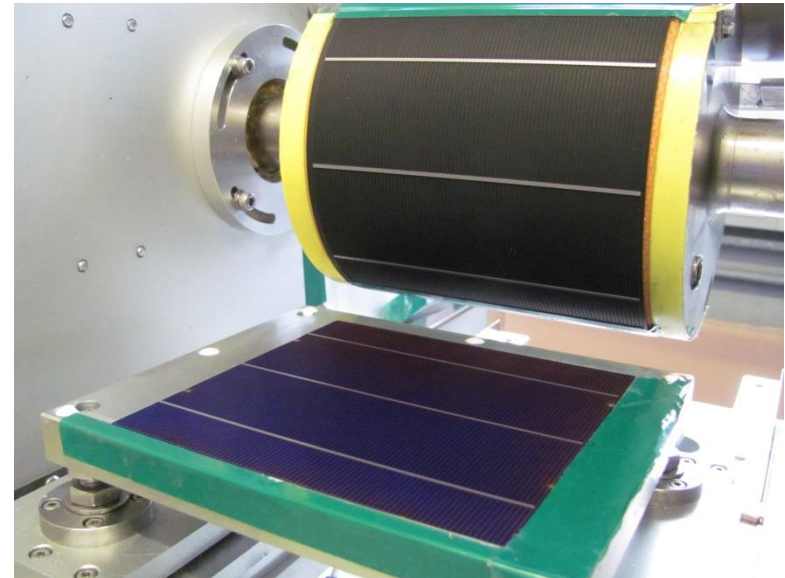
## Rotationsdruckverfahren: Flexodruck

### Druckmaschine:

- Spezial-Flexodruckmaschine mit Vakuumtisch
- Manuelle Positionierung und Entnahme der Wafer

### Druckfluide:

- Eigene Herstellung aus Ag-Pulver, Gläsern, Lösemitteln, Bindemittel und Additiven



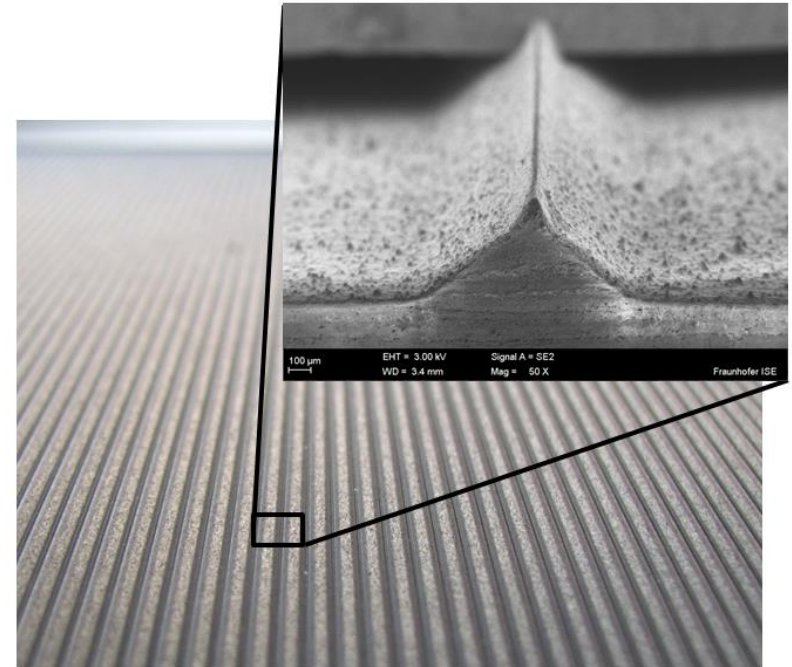
*Druckanlage mit Vakuumtisch für rund-zu-flach Druck auf Si-Wafer (Quelle: ISE, DFTA-TZ)*

# Innovative Technologieansätze

## Rotationsdruckverfahren: Flexodruck

### Druckplatte:

- Lasergravierte Elastomerklichees der Firma ContiTech
- Lasergravur erlaubt Strukturen bis 5  $\mu\text{m}$  Breite
- Hohe Beständigkeit gegenüber Abrasion und Lösemitteln
- Beliebige dreidimensionale Strukturierung möglich



ContiTech Laserline Klischee mit Feinlinienlayout für Solarzellenmetallisierung (Quelle: Conti/ISE)

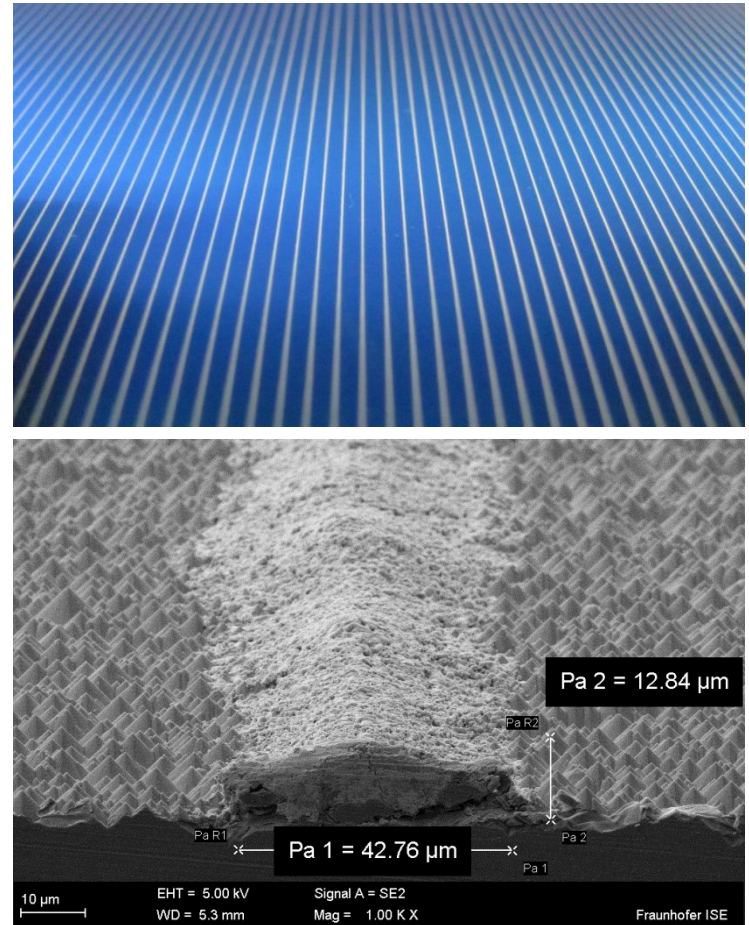


# Innovative Technologieansätze

## Rotationsdruckverfahren: Flexodruck

### Aktuelle Ergebnisse:

- Unterbrechungsfreier Druck eines Kontaktgitters auf Si-Wafer mit 156 mm Kantenlänge
- Kontaktfingerbreite  $< 50 \mu\text{m}$
- Gute elektrische Eigenschaften der Kontaktfinger (lateraler Widerstand  $< 5 \Omega/\text{cm}$ )
- Sehr gute Ergebnisse der Solarzellen (Wirkungsgrad  $\eta \approx 19 \%^{2)}$



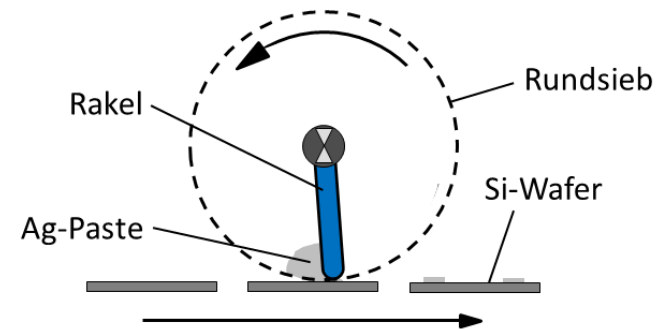
Flexodruck-Kontaktfinger auf Cz-Silicium (ISE)

# Innovative Technologieansätze

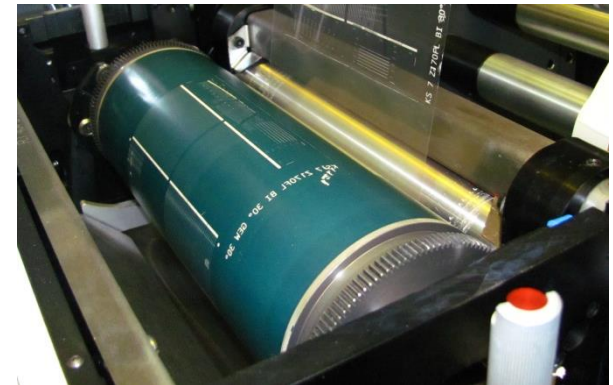
## Rotationsdruckverfahren: Rotationssiebdruck

### Herausforderung:

- Rund-zu-flach Plattform für den Druck auf Si-Wafer
- Rheologische Optimierung der Druckpasten
- Herstellung von Rundsieben mit extrem feinen Kanälen (30-40  $\mu\text{m}$ )
- Druck feiner, unterbrechungsfreier Linien auf rauhes Substrat



Prinzipskizze Rotationssiebdruck (Quelle: ISE)



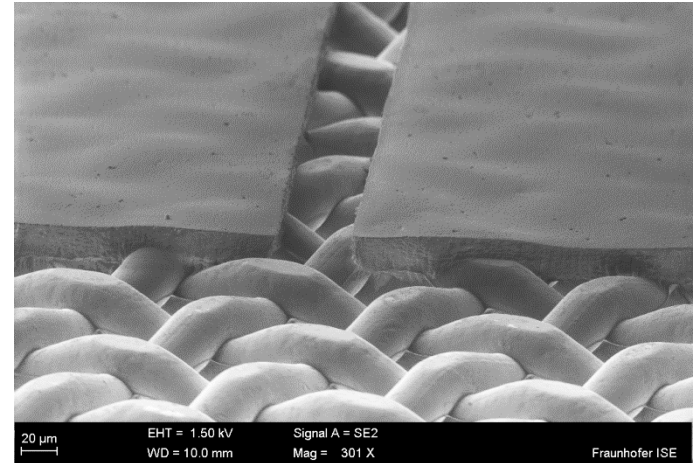
Gallus EM 280 Etikettendruckmaschine mit Rotationssiebdruckwerk (Quelle: Gallus/ISE)

# Innovative Technologieansätze

## Rotationsdruckverfahren: Rotationssiebdruck

### Aktuelle Ergebnisse:

- Proof of Concept erfolgreich gezeigt<sup>3</sup>
- Druck mit sehr hoher Geschwindigkeit möglich (20 m/min. und mehr)
- Gallus Präzisionssiebe für Rotationssiebdruck
- Erste Versuche zeigen vielversprechende Ergebnisse



REM-Aufnahme einer Gallus-Schablone mit feiner Kanalöffnung (25 µm) (Quelle: Gallus/ISE)

**gallus**

# Verbundprojekt „Rock-Star“

## Entwicklung von Rotationsdruckverfahren

- 9 Industriepartner
- Laufzeit: 01.09.2015 – 31.08.2018
- Gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
- Zielsetzung:
  - Evaluierung und Prozessentwicklung von Rotationsdruckverfahren
  - Konstruktion eines Demonstrators für die Hochdurchsatz-Metallisierung
  - Fertigung hocheffizienter Solarzellen mit Rotationsdruck-Metallisierung

### Projektkonsortium:



### Assoziierte Partner:



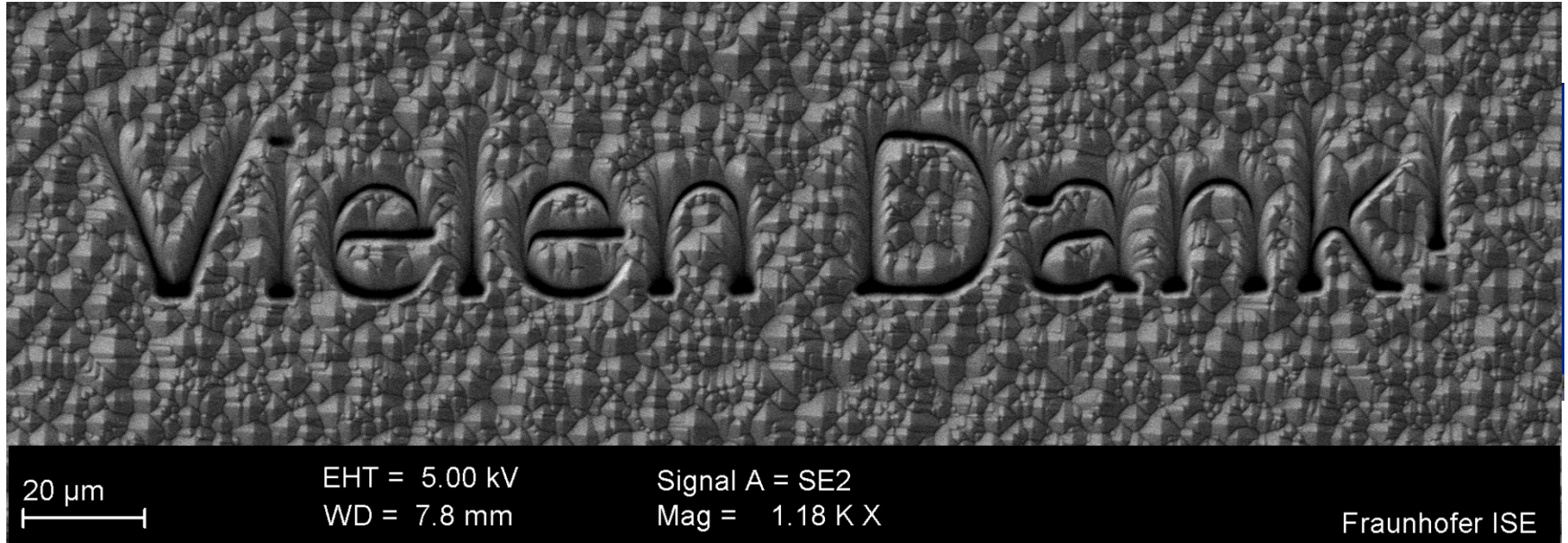
# Drucktechnik für die Metallisierung von Si-Solarzellen

## Zusammenfassung

- Standardverfahren mit größtem Marktanteil: Flachbett-Siebdruck
- Technologische Herausforderungen:
  - Verringerung der Fingerbreite
  - Reduktion des Ag-Verbrauchs
  - Steigerung des Wirkungsgrads
- Alternative Druckverfahren:
  - Parallel-Dispensing
  - Rotationsdruckverfahren (Flexodruck und Rotationssiebdruck)
  - Inkjet
- Entwicklung/Optimierung aller Druckverfahren für einen industriellen Einsatz am Fraunhofer ISE



# Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!



Andreas Lorenz  
[www.ise.fraunhofer.de](http://www.ise.fraunhofer.de)  
[andreas.lorenz@ise.fraunhofer.de](mailto:andreas.lorenz@ise.fraunhofer.de)

# Photovoltaik und Solarzellen

## Weiterführende Informationen

- Website des Fraunhofer ISE:  
[www.ise.fraunhofer.de](http://www.ise.fraunhofer.de)
- Kostenloser Download (PDF):
  - Jahresbericht Fraunhofer ISE 2015/16 (Aktuelle Forschungsaktivitäten)
  - Studie: Was kostet die Energiewende?
- ITRPV-Roadmap 2016:  
<http://www.itrpv.net/Reports/Downloads/>  
→ Prognose der technologischen Entwicklungen im Bereich PV