



**ROTH & RAU**  
CELL & COATING SYSTEMS

## **Nächste Generation von Solarzellen und -modulen auf der Basis von kristallinem Silicium**

Bernd Rau, Roth & Rau AG

15<sup>th</sup> LEIBNIZ CONFERENCE OF ADVANCED SCIENCE

**Erneuerbare Energien 2013**

Berlin, 02. – 03. Mai 2013



A member of Meyer Burger Group



**ROTH & RAU**  
CELL & COATING SYSTEMS

# Roth & Rau 2013 – ein Überblick



A member of Meyer Burger Group

**Nächste Generation von  
Solarzellen und -modulen auf  
der Basis von kristallinem  
Silicium**

Bernd Rau Roth & Rau AG

15<sup>th</sup> LEIBNIZ CONFERENCE  
OF ADVANCED SCIENCE

**Erneuerbare Energien 2013**  
Berlin, 02. – 03. Mai 2013





**ROTH & RAU**  
CELL & COATING SYSTEMS

# Roth & Rau 2013 – ein Überblick

April 2013



A member of Meyer Burger Group

# Roth & Rau im Überblick



ROTH & RAU  
CELL & COATING SYSTEMS

- Firmengründung 1990 als Roth & Rau Oberflächentechnik GmbH
- Umfirmierung zur Roth & Rau AG 2001; Börsengang 2006
- Übernahme durch die Meyer Burger Technology AG 2011
- Roth & Rau – ein Unternehmen für Hochtechnologie mit den Kernbereichen
  - Beschichtungs-Technologien
  - Mikrowellen Technologien
  - Fabrikinstallation und -automatisierung
  - Software
- Anbieter von Technologien und Fertigungsausrüstungen für die Photovoltaik-, OLED-, Batterie- und Optische Industrie sowie weitere industrielle Anwendungsgebiete
- Umsatz zum 31.12.2012: 154 Mio EUR (Meyer Burger Gruppe: 528 Mio EUR)
- Mitarbeiter zum 31.12.2012: 898 in der Roth & Rau Gruppe weltweit (Meyer Burger Gruppe: 2.186)

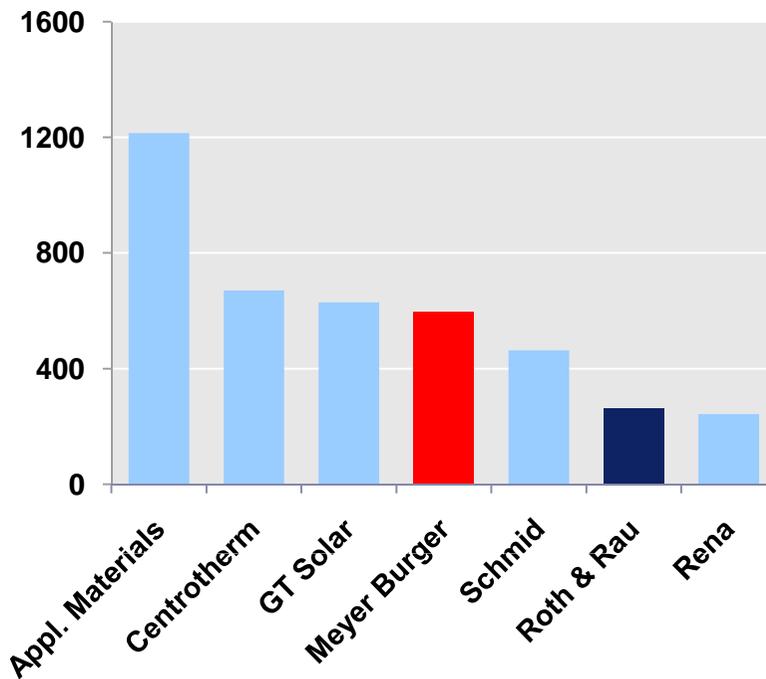
# Stärkung der Marktposition



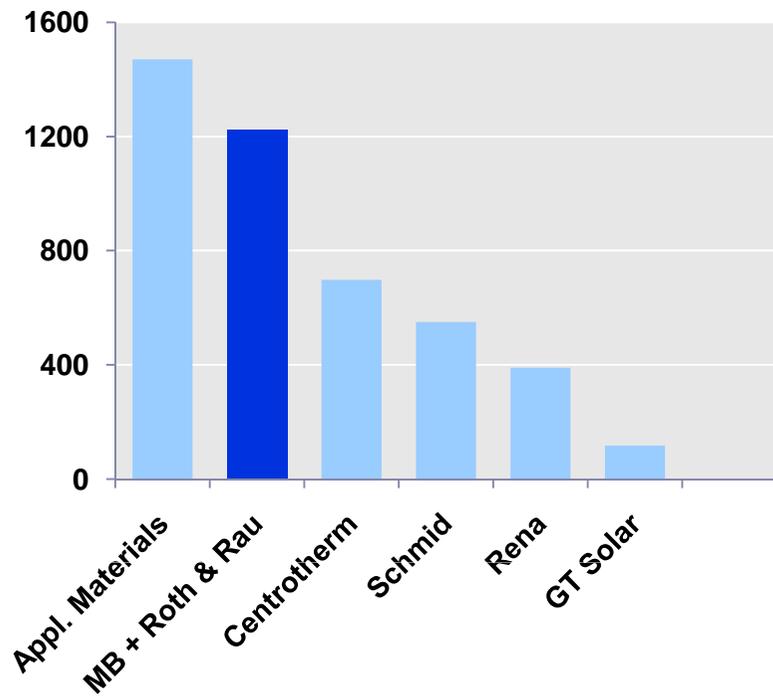
**ROTH & RAU**  
CELL & COATING SYSTEMS

Umsatz in Mio. EUR

2010



2011



➔ Zusammen mit Roth & Rau wurde die Meyer Burger Gruppe zum zweitgrößten Equipment-Anbieter im Photovoltaikmarkt



# Management/ Shareholders



**ROTH & RAU**  
CELL & COATING SYSTEMS

## Gruppen-Management



Peter Wagner  
CEO



Peter Frankfurter  
CFO



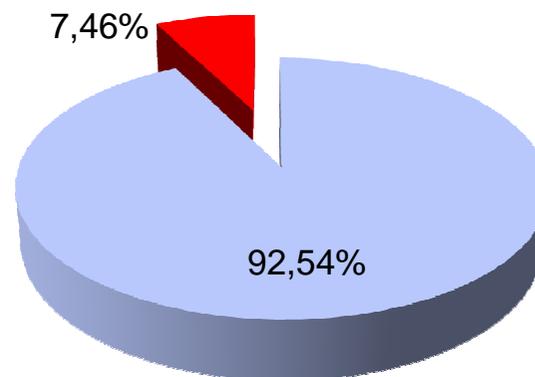
Peter Manolopoulos  
COO



Thomas Hengst  
CSO

## Aktionärsstruktur Roth & Rau AG (zum 31.12.2012)

Meyer Burger Technology AG  
Minderheitsaktionäre



## Börseninformation (zum 31.12.2012)

Aktien: 16,2 Mio  
Marktkapitalisierung: 208 Mio  
Entry Standard, Frankfurt



A member of Meyer Burger Group

# Auf die Stärken fokussieren: Kombiniertes PV-Angebot



**ROTH & RAU**  
CELL & COATING SYSTEMS

Prozesse	<h2>Wafer</h2> 	<h2>Zelle</h2> 	<h2>Modul</h2> 	<h2>Systeme</h2> 
Technologien	<p>Cropping Bricking / Squaring Wafering Deglueing Separation Final Cleaning Inspection</p>	<p><b>Texturing</b> <b>PECVD-Coating</b> <b>PVD-Coating</b> <b>Anti-Reflection Coating</b> Contact Printing Testing / Sorting</p>	<p>Soft Touch Soldering Interconnection / Lay-up Laminating Final Assembling Performance Measuring Sorting</p>	<p>BIPV System Shading Roof Mounting System Free field Off grid</p>



**MEYER BURGER**

## Technologie Marken



**MB WAFERTEC**  
SWISS SLICING SYSTEMS



**DIAMOND WIRE**  
MATERIAL TECHNOLOGIES



**MEYER BURGER**  
DW SLICING SYSTEMS



**AMB AUTOMATION**  
WAFER PROCESSING



**MB ROBOTICS**  
ROBOTICS / AUTOMATION



**HENNECKE**  
METROLOGY SYSTEMS



**ROTH & RAU**  
CELL & COATING SYSTEMS



**MICROSYSTEMS**  
PRECISE SURFACE PROCESSING



**MUEGGE**  
MICROWAVE & PLASMA SYSTEMS



**AIS AUTOMATION**  
SOFTWARE SYSTEMS



**SOMONT**  
CELL CONNECTING



**3S MODULTEC**  
MODULE SOLUTIONS



**PASAN**  
MEASUREMENT SYSTEMS



**3S PHOTOVOLTAICS**  
SOLAR BUILDING TECHNOLOGIES



**AIS AUTOMATION**  
SOFTWARE SYSTEMS



**MB SERVICES**  
WORLDWIDE ASSISTANCE



A member of Meyer Burger Group

# Antireflex-Beschichtungs-Equipment für Solarzellen



ROTH & RAU  
CELL & COATING SYSTEMS

## Kernprodukte

- **SiNA® / MAiA®**
  - Führendes Produkt im Markt
  - System mit dem höchsten Durchsatz in Kombination mit hervorragender AR-Schicht-Qualität und geringen Betriebskosten
  - Neue modulare Anlagen-Generation mit verbesserten Kostenvorteilen und der Möglichkeit, neue Zelltechnologien umzusetzen
  - MAiA® Anlage auf SiNA® -Basis für zusätzliche Prozessschritte innerhalb eines Systems
- Herstellung von mehr als 500 Systemen
- Produktionskapazität 17...19GW
- Produktionszeitraum 2000 bis heute
- Entwicklungsbeginn 1996



SiNA®





**ROTH & RAU**  
CELL & COATING SYSTEMS

## **Nächste Generation von Solarzellen und -modulen auf der Basis von kristallinem Silicium**

Bernd Rau, Roth & Rau AG

15<sup>th</sup> LEIBNIZ CONFERENCE OF ADVANCED SCIENCE

**Erneuerbare Energien 2013**

Berlin, 02. – 03. Mai 2013



A member of Meyer Burger Group

**Le roi est mort, vive le roi**

Der König ist tot – es lebe der König !

**Die Photovoltaik ist tot –**

**es lebe die Photovoltaik !**

# Gegenwärtige Herausforderung für die Wettbewerbsfähigkeit der Photovoltaik auf dem Energiemarkt

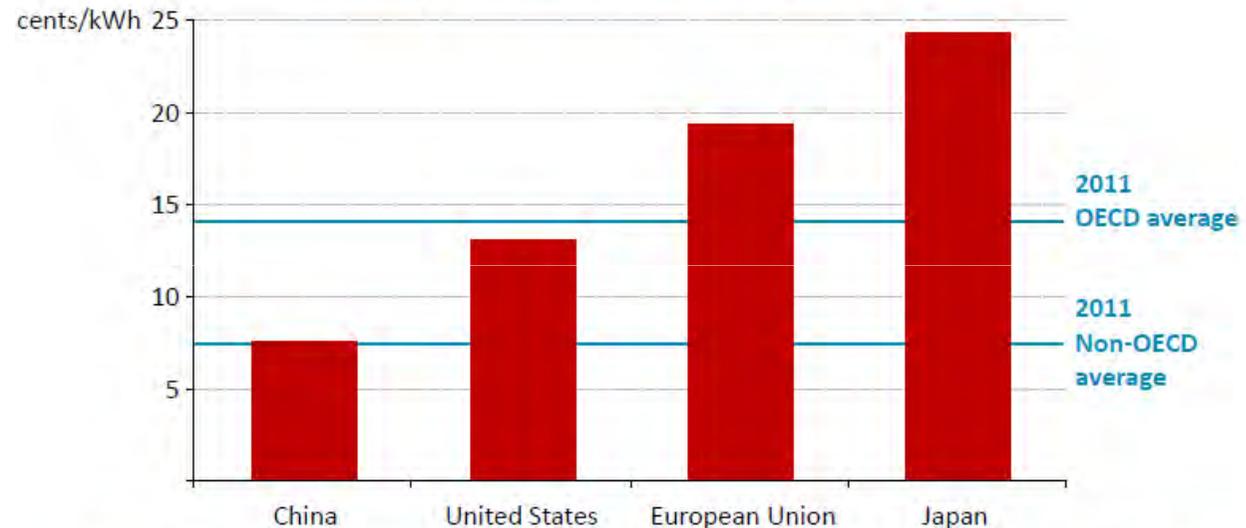


ROTH & RAU  
CELL & COATING SYSTEMS

- **Marktpreise versus Herstellkosten !**
- Überkapazitäten in der Produktion über die gesamte Wertschöpfungskette (Silizium bis Modul)
- Neuordnung der Subventions- & Energiepolitik

- **Benchmarking  
Energiepreise**

Average household electricity prices, 2035



*Electricity prices are set to increase with the highest prices persisting in the European Union & Japan, well above those in China & the United States*



# Ziel der Technologie- & Anlagen-Entwicklung ist die Wettbewerbsfähigkeit des Solarstromes

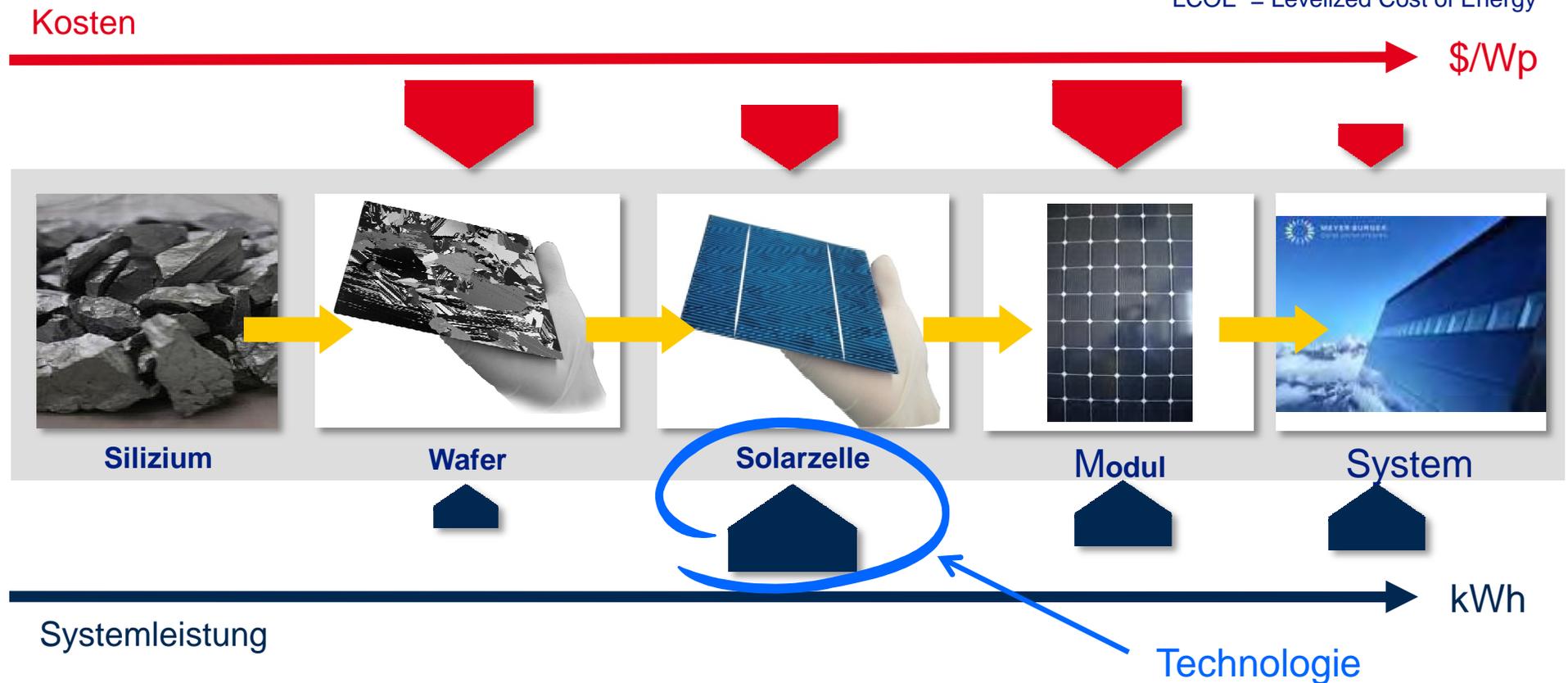


ROTH & RAU  
CELL & COATING SYSTEMS

Drastische Reduktion der Solarstromkosten => LCOE

$$\text{LCOE} = \frac{\text{Summe Kosten (über die Lebensdauer)}}{\text{Systemleistung (Energieerzeugung über die Lebensdauer)}}$$

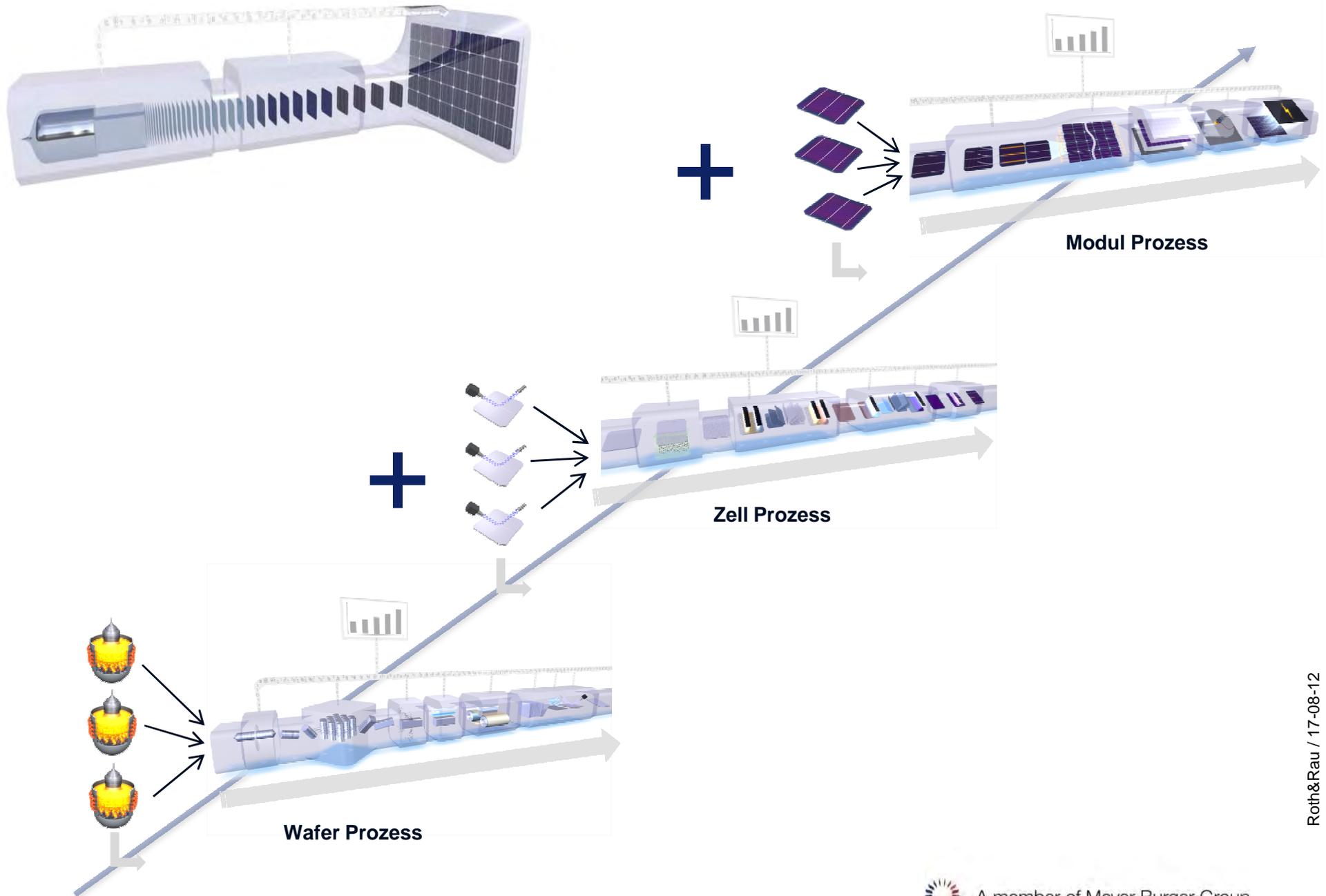
LCOE = Levelized Cost of Energy



# PV-Wertschöpfungskette



**ROTH & RAU**  
CELL & COATING SYSTEMS



# Technologie & Kostensenkungspotential



ROTH & RAU  
CELL & COATING SYSTEMS

## Effizienz



- Steigerung der Effizienz durch evolutionäre als auch revolutionäre Ansätze
  - Up-grades bestehender Zelllinien (weltweit etwa 1000...)
  - Einführung neuartiger Technologien für die Zellherstellung
- Integrierte Ansätze
  - Systemintegration zur Erhöhung der Performance des Gesamtsystems unter Einbeziehung aller Wertschöpfungsstufen (z.B. Meyer Burger Gruppe mit Technologieportfolio Wafer – Zelle – Modul - System)

## Yield



- Höhere Prozessstabilität des Equipments
- Vereinfachung von Prozessabläufen (weniger Produktionsschritte)
- Höherer Automatisierungsgrad
- Prozesskontrolle
  - Inline Messtechnik
  - Einführung MES
  - Wafer Tracking
- Integrierte Lösungen



# Technologieentwicklung & Management von Innovationen



ROTH & RAU  
CELL & COATING SYSTEMS

## Sustaining Technologies



- „erhaltende Technologien“ sind Technologien, die sich entlang eines bekannten Pfades der Leistungsverbesserung in etablierten Leistungskriterien bewegen (evolutionärer Ansatz)
  - Up-grades bestehender Linien (weltweit etwa 800...900)
  - Einführung neuartiger Technologien für die Zellherstellung durch Substitution & Add-On
- Integrierte Ansätze
  - Systemintegration zur Erhöhung der Performance des Gesamtsystems unter Einbeziehung aller Wertschöpfungsstufen

## Disruptive Technologies



- „ablösende Technologien sind Technologien, die einen bekannten Pfad der Leistungs-/ Produktverbesserung in etablierten Kriterien unterbrechen u. komplett neue Dimensionen/Kriterien abdecken. Disruptive Technologien unterbrechen den bereits vorhandenen Entwicklungspfad der Leistungskriterien und definieren die Kriterien/Performance neu
- Vereinfachung von Prozessabläufen (weniger Produktionsschritte)
- Höherer Vernetzungs-/Automatisierungsgrad (siehe auch „Industrie 4.0“) u.a.
- Durchgängig integrierte & flexibilisierte Lösungen



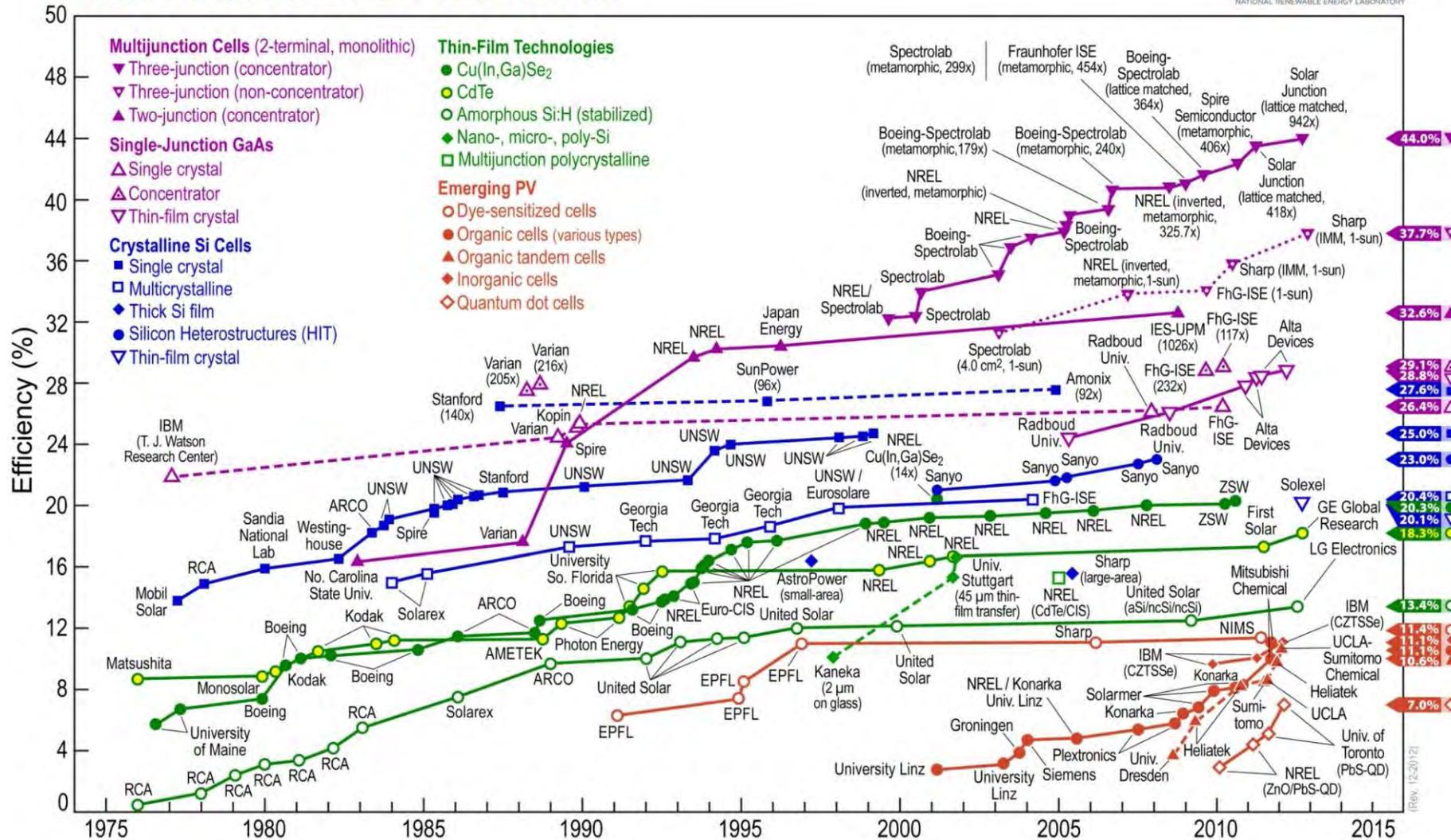
# Forschung & Entwicklung

## Effizienzsteigerung der Schlüssel zum Erfolg ?



**ROTH & RAU**  
CELL & COATING SYSTEMS

### Best Research-Cell Efficiencies



Quelle: NREL <http://www.renewableenergyworld.com/rea/news/article/2013/01/solar-cell-efficiency-round-up-thin-film-is-closing-the-gap-with-silicon>



# Forschung & Entwicklung

## Effizienzsteigerung der Schlüssel zum Erfolg ?



**ROTH & RAU**  
CELL & COATING SYSTEMS

### Multijunction Cells (2-terminal, monolithic)

- ▼ Three-junction (concentrator)
- ▼ Three-junction (non-concentrator)
- ▲ Two-junction (concentrator)

### Single-Junction GaAs

- ▲ Single crystal
- ▲ Concentrator
- ▼ Thin-film crystal

### Crystalline Si Cells

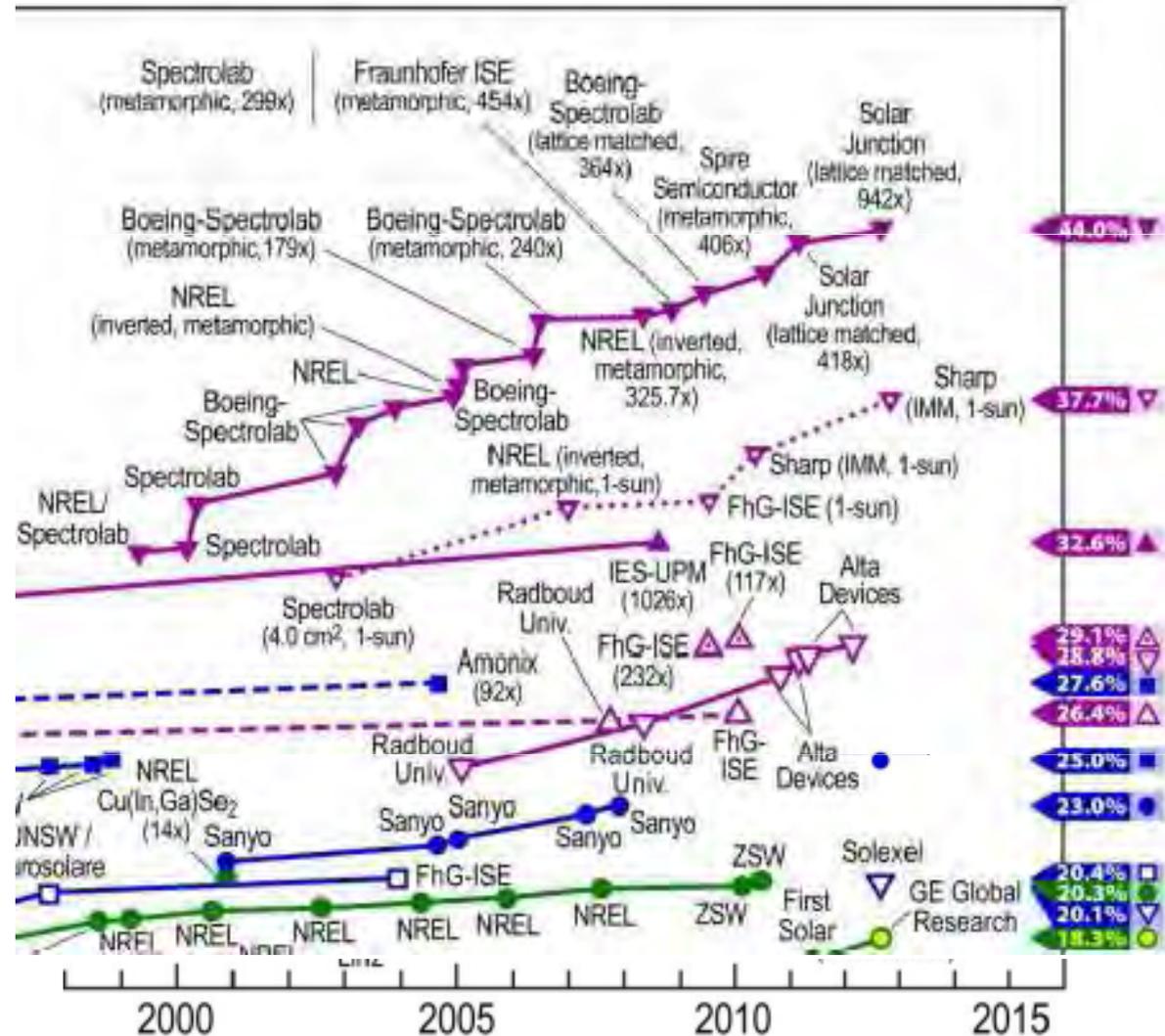
- Single crystal
- Multicrystalline
- ◆ Thick Si film
- Silicon Heterostructures (HIT)
- ▼ Thin-film crystal

### Solar Cell Efficiency Records (April 2013)

- IMM-Cell 37,7% (Sharp)
- GaAs-Cell 28,8% (AltaDevices)
- mono-Si-Cell 24,7% (Panasonic)
- CCIG-Cell 20,4% (Empa)\*
- CIS-Cell 19,7% (Solar Frontier)\*
- CdTe-Cell 18,3% (GE)\*
- OPV-T.-Cell 12,0% (Heliatek)\*

\*Quelle:NREL

<http://www.renewableenergyworld.com/rea/news/article/2013/01/solar-cell-efficiency-round-up-thin-film-is-closing-the-gap-with-silicon>



# Forschung & Entwicklung

## Der Weg zum Erfolg



ROTH & RAU  
CELL & COATING SYSTEMS

### Technologie Zentren in Hohenstein-Ernstthal (D) und Neuchâtel (CH)

- Entwicklung und Optimierung von Prozessen bei der Solarzellen-Produktion
- Entwicklung und Testläufe neuer Anlagen unter produktionsnahen Bedingungen
- Demonstration von Anlagen und Prozessen für Kunden
- Bediener-Training und Mitarbeiter-Training unter realen Produktionsbedingungen



# Forschung & Entwicklung

## Der Weg zum Erfolg



**ROTH & RAU**  
CELL & COATING SYSTEMS

Netzwerk langjähriger Partnerschaften mit führenden nationalen und internationalen Solar-Forschungs-Instituten



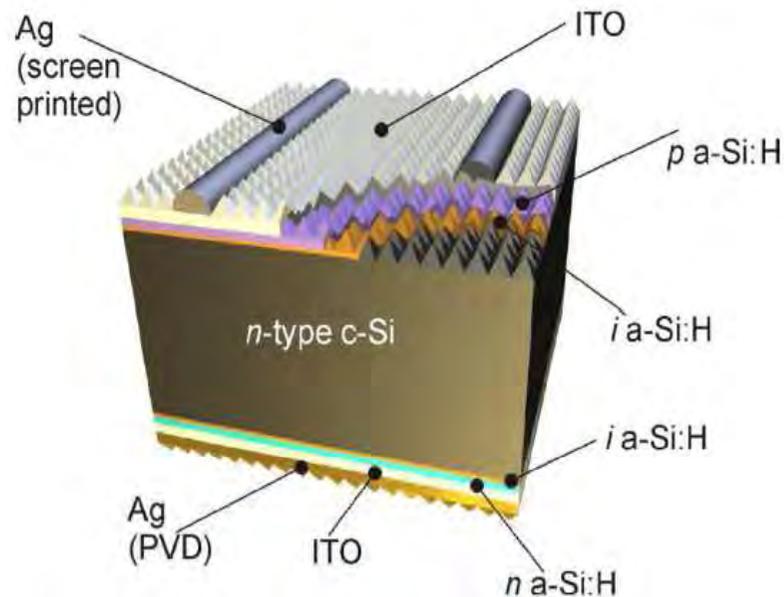
A member of Meyer Burger Group

# Motivation für Heterojunction Technology (HJT)



ROTH & RAU  
CELL & COATING SYSTEMS

## Technologie- & Kosten-Vorteile !



- **Simple structure** for high efficiency device (low number of processing steps)
- **Low temperature processing**, doping with TF-Si layers, compatible with thin wafers, low breakage)
- **Excellent passivation** with a-Si layer (High  $V_{oc}$  → high cell efficiency potential)
- **Excellent  $T_c$**  high energy yield (-0.20%/K vs. -0.45%/K for standard c-Si technology)
- **Excellent low light behaviour**
- **Best in class regarding LCoE**

# Neue Technologie-Generation Heterojunction Technology (HJT)



ROTH & RAU  
CELL & COATING SYSTEMS

## Kundennutzen

- Hohe Effizienz ( $\geq 21\%$ ) mit weiterem Steigerungspotential
- Geringer Produktionskosten aufgrund von Niedertemperatur-Herstellkonzepten und vereinfachter Produktionsabläufe
- Weitere Vorteile für die Endprodukte (z.B. bessere Leistungsfähigkeit auch bei hoher Umgebungstemperatur, BOS Kostenvorteil durch hohe Moduleffizienz)



## Status Quo und Zukunftsaussichten

- Überführung der Laborerfolge in Produktionsanlagen (HELiA) für die Serienfertigung
- In Kombination mit der „WireBonding“-Technologie (innovativer Kontaktierungs-Technologie) kann eine weitere Steigerung der Performance für HJT-Solarmodule erreicht werden
- Bündelung von Kompetenzen innerhalb der Meyer Burger Gruppe (Waferfertigung, Zellprozess, Charakterisierung, Zellverbindung und Modul-Fertigung) für optimale Endprodukte



HELiA

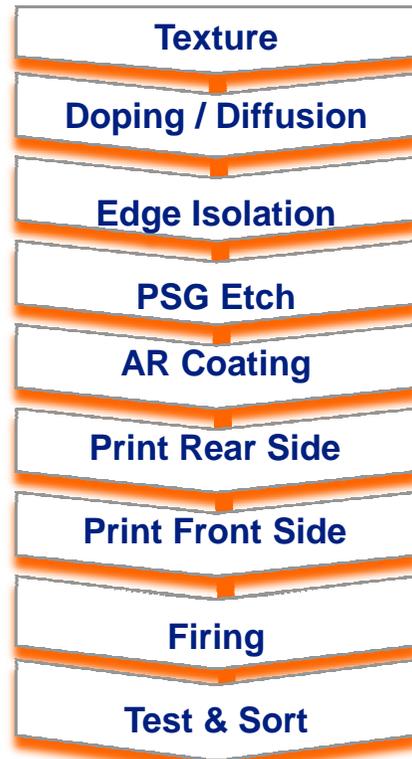


# HJT Process Sequence



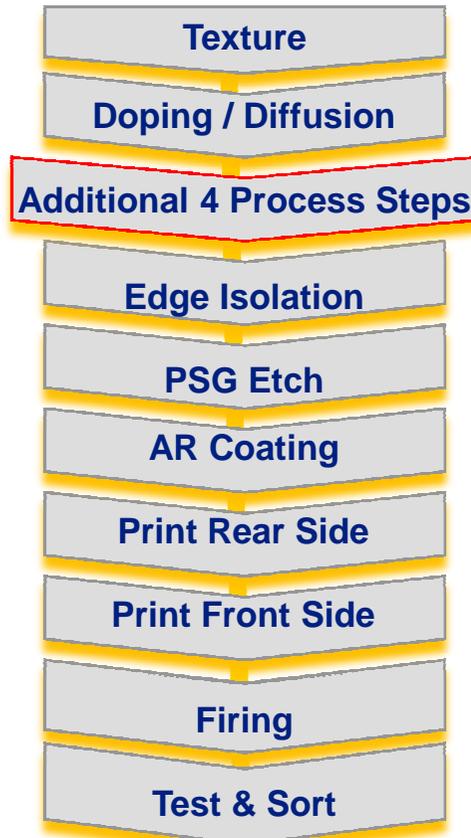
ROTH & RAU  
CELL & COATING SYSTEMS

## Standard process



CZ :18,5%  
MC: 16,8-17%

## Selective Emitter process



CZ: 18,5%-21%  
MC: 17%-20%

## HJT process

- Less production steps
- Less wafer handling
- Low temperature (< 250°C) processes only
- Higher yield in system



Potential for cost savings!

## HJT process



CZ n-type: 20~23%, potentially to reach even 25% in soon future

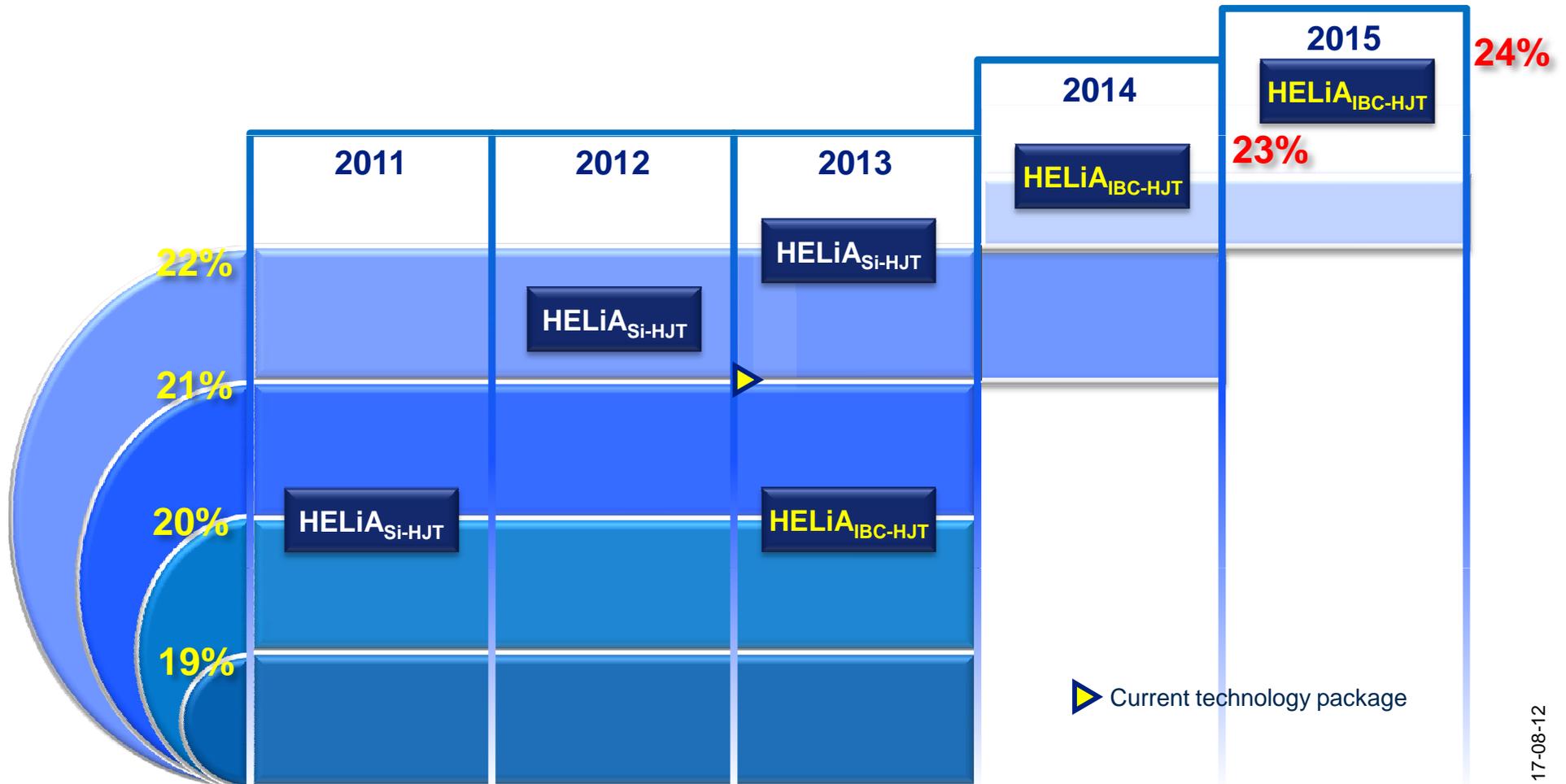


# HJT Roadmap-Entwicklungsziele



ROTH & RAU  
CELL & COATING SYSTEMS

6-inch CZ wafer



Roth&Rau / 17-08-12

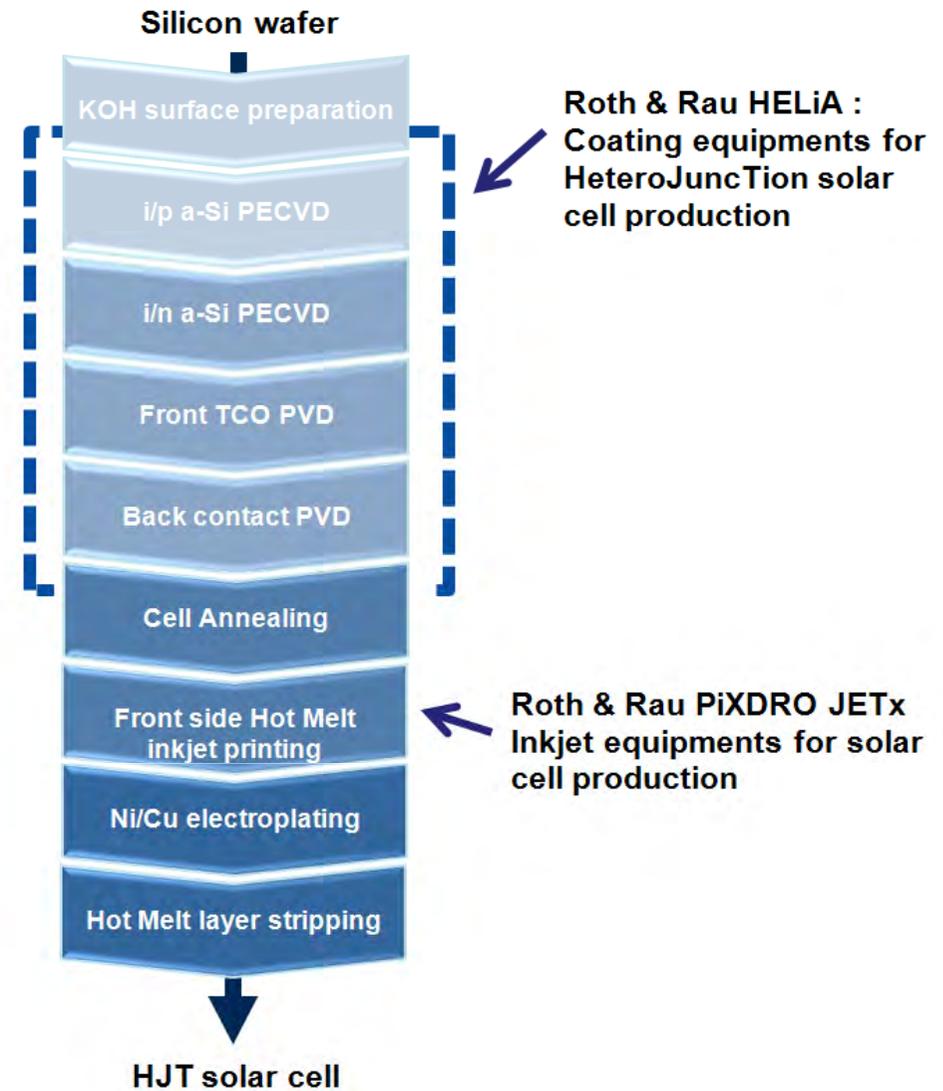
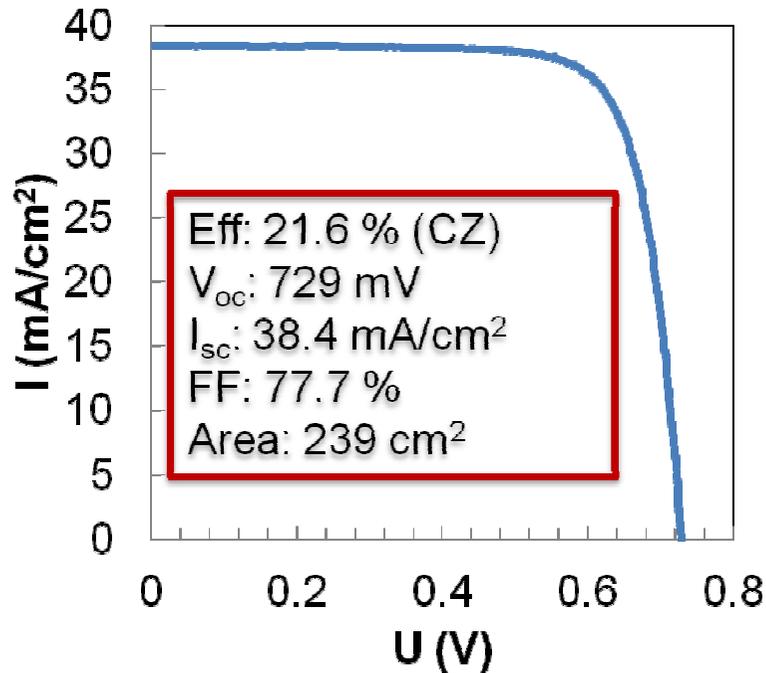


# Achievements – R&D Line

## Silver – free



**ROTH & RAU**  
CELL & COATING SYSTEMS



Roth & Rau Research

Roth & Rau / 11-00-14

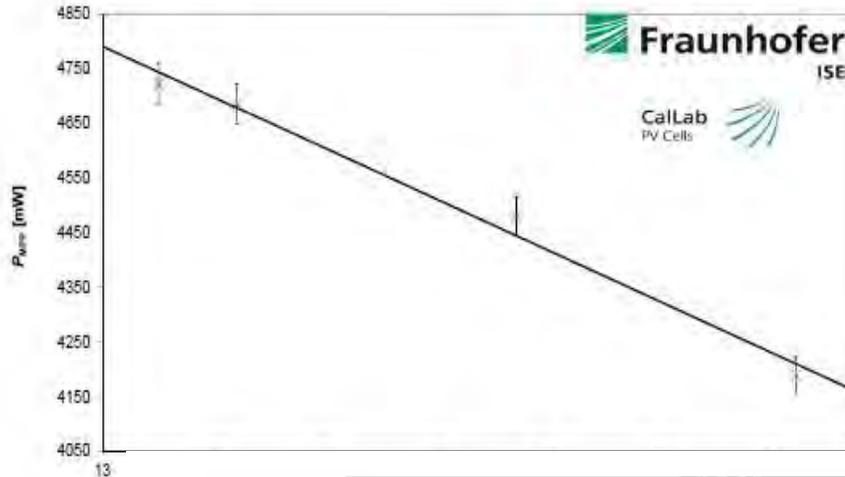


# Achievements – Temperature Coefficient



**ROTH & RAU**  
CELL & COATING SYSTEMS

**Power:**  
 $TK(P_{MPP}) = (-9.43 \pm 0.79) \text{ mW / K}$   
 $TK(P_{MPP}) = (-0.201 \pm 0.017) \% / K$



**-0,20 %/K on Cell level!**

**-0,22 %/K on Module level!**

Test date [DD.MM.YYYY]		13.12.2012
Irradiance [W/m <sup>2</sup> ]		1000 ± 50
Module temperature [°C] high / low		56 / 22
Sample #	Coefficient	Calculated value
20120007554	α [% / K]	0.031
	β [% / K]	-0.200
	γ [% / K]	-0.219



**Excellent Temperature Coefficient certified by Fraunhofer ISE CalLab and TÜV Rheinland!**

17-08-12

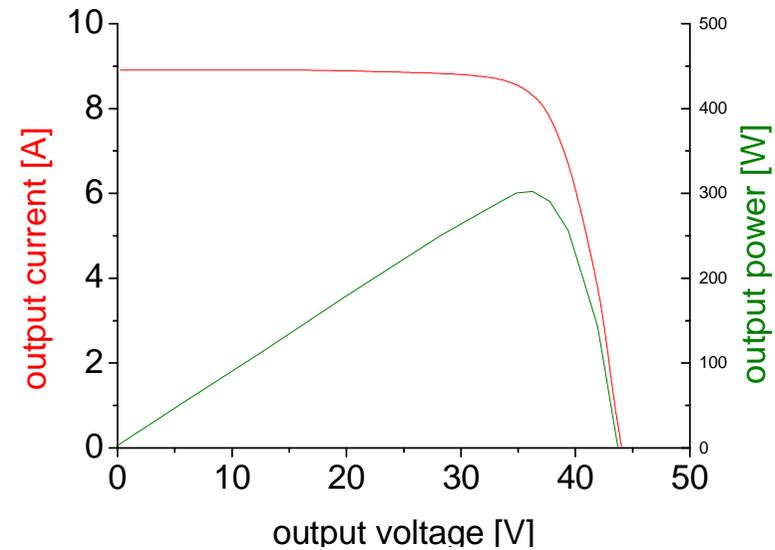
# Achievements – Module Efficiency



ROTH & RAU  
CELL & COATING SYSTEMS



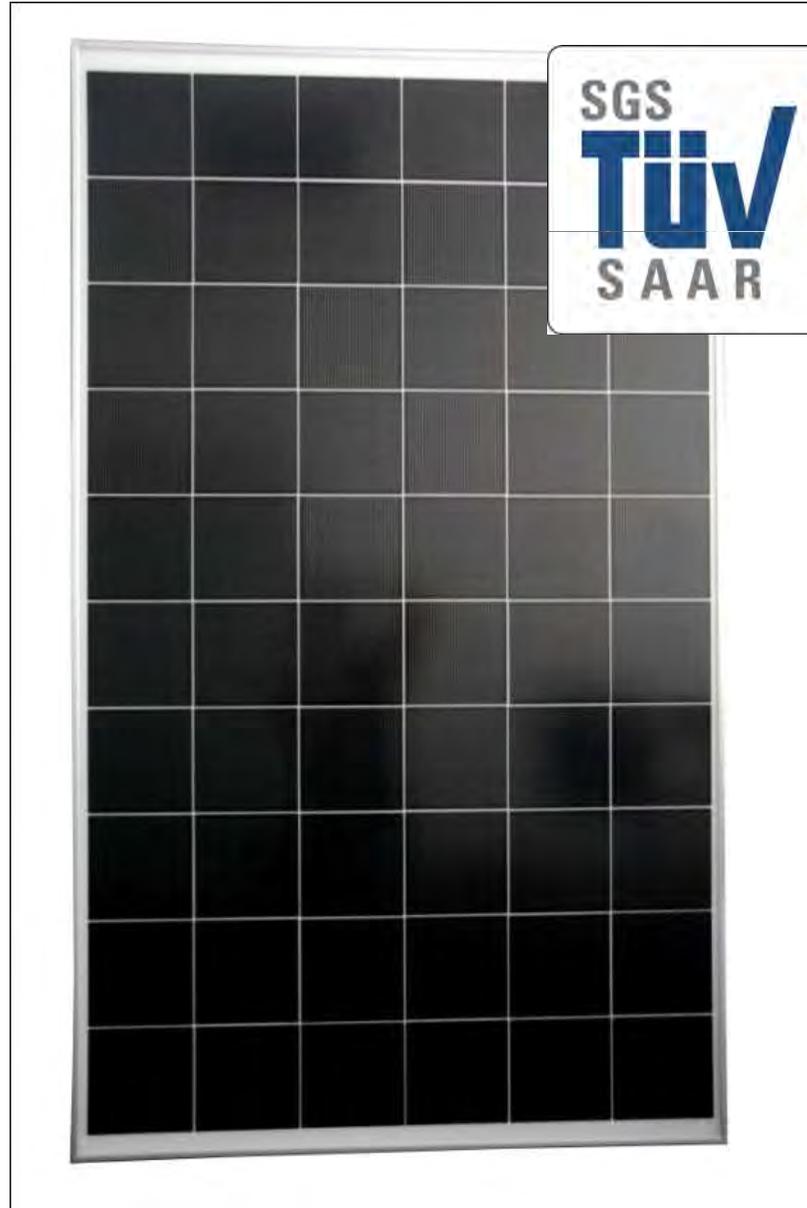
**Record Module!**  
60 Cell, 156mm x 156mm  
**303 Watt!**



# Achievements – Module Certification



**ROTH & RAU**  
CELL & COATING SYSTEMS



**MB HJT Modules  
Reliable and IEC certified!**

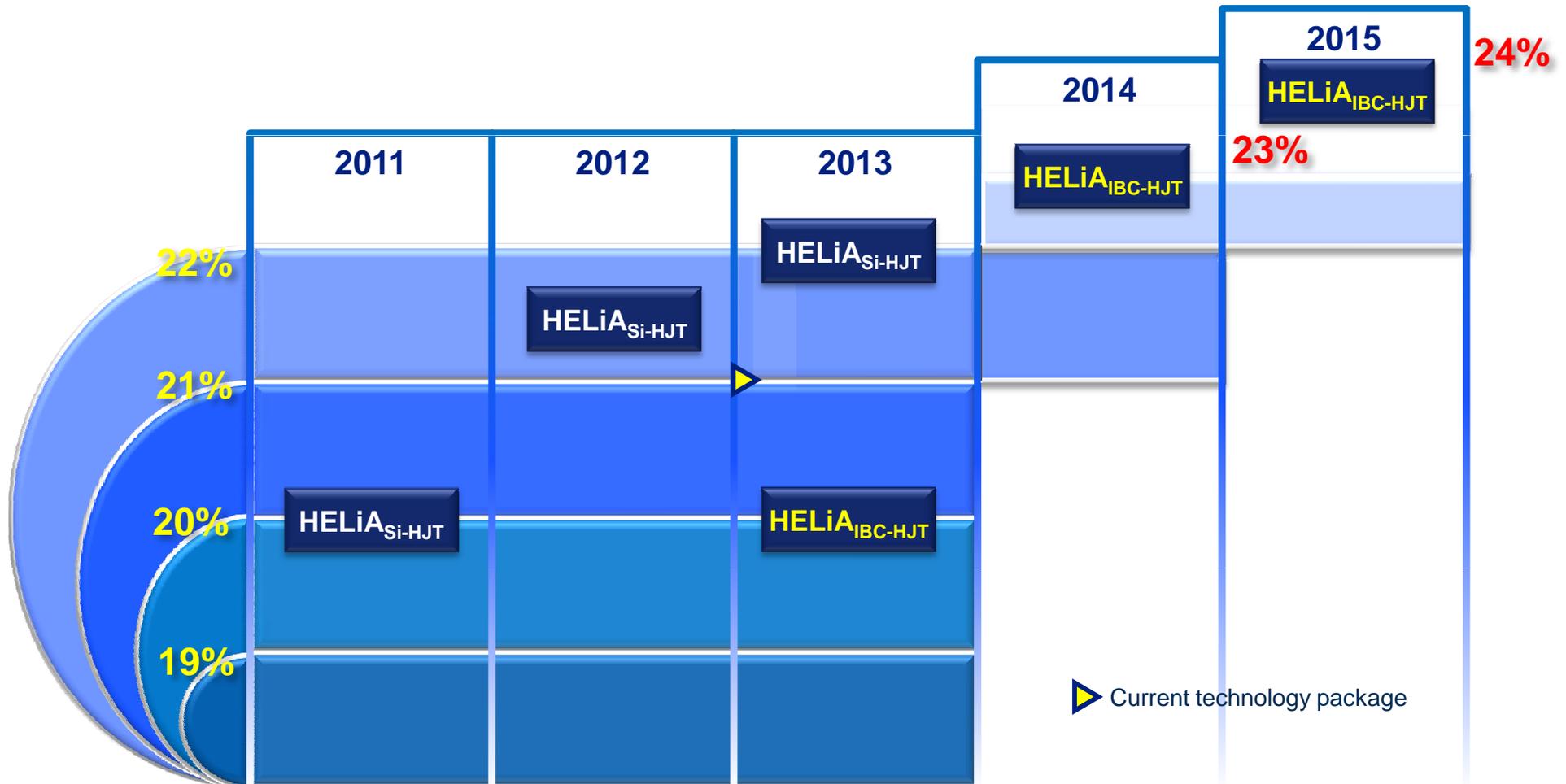


# HJT Roadmap – Entwicklungsziele sind auch Kostenziele!



ROTH & RAU  
CELL & COATING SYSTEMS

6-inch CZ wafer



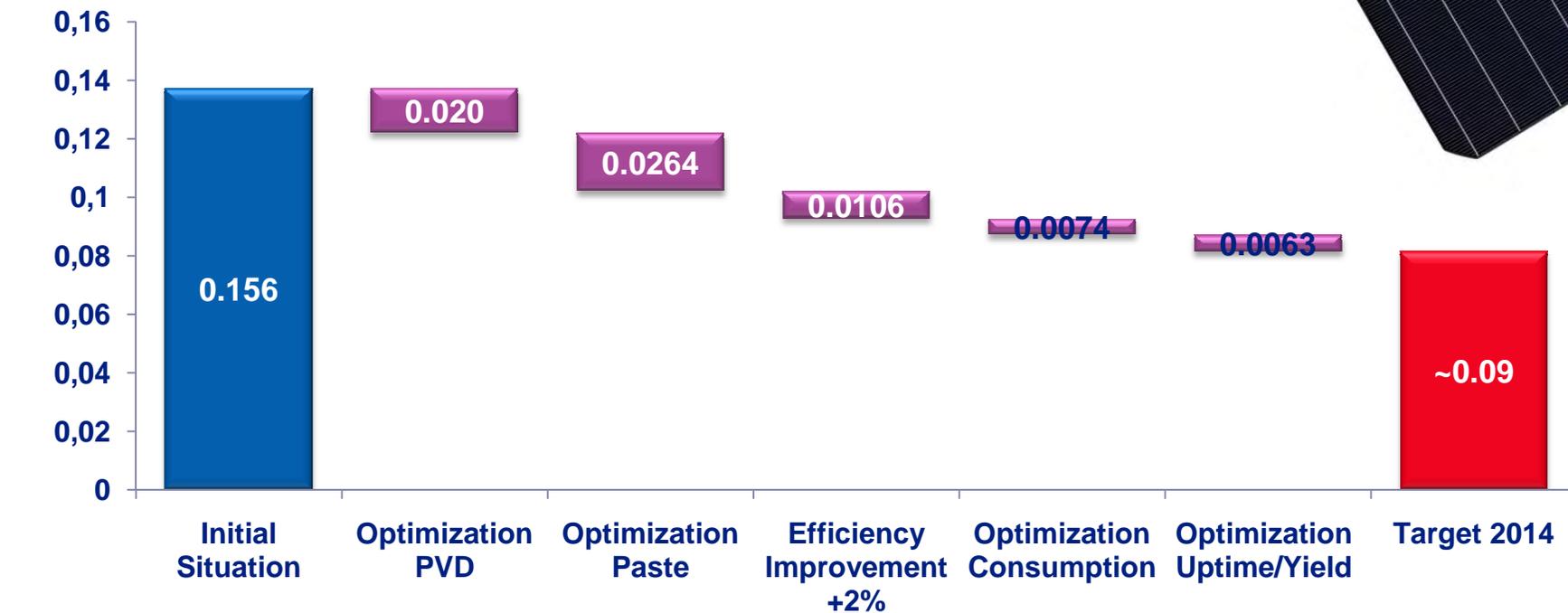
# R&R HeteroJunction-Technologie – Potential für Kostenreduktion



ROTH & RAU  
CELL & COATING SYSTEMS

Significant cost saving potential for R&R HJT Technology!

USD/Wp



\* Note: Saving potential only on cell level considered. Overall saving across complete value chain considerably higher.





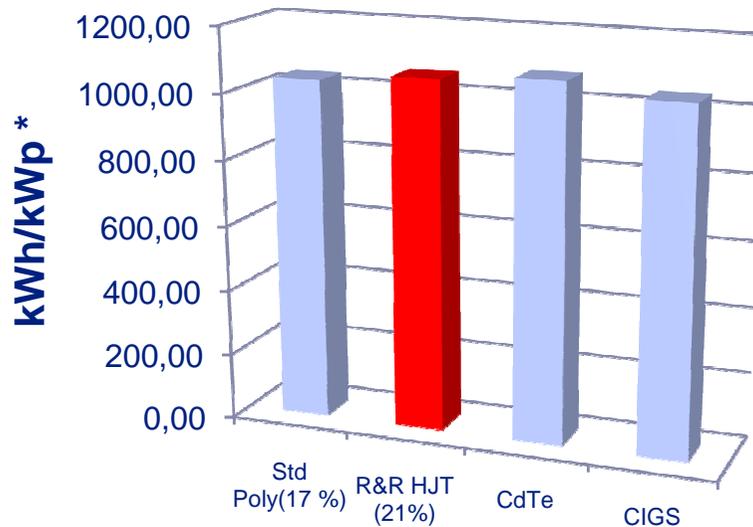
# Total Cost of Ownership Energy Yield



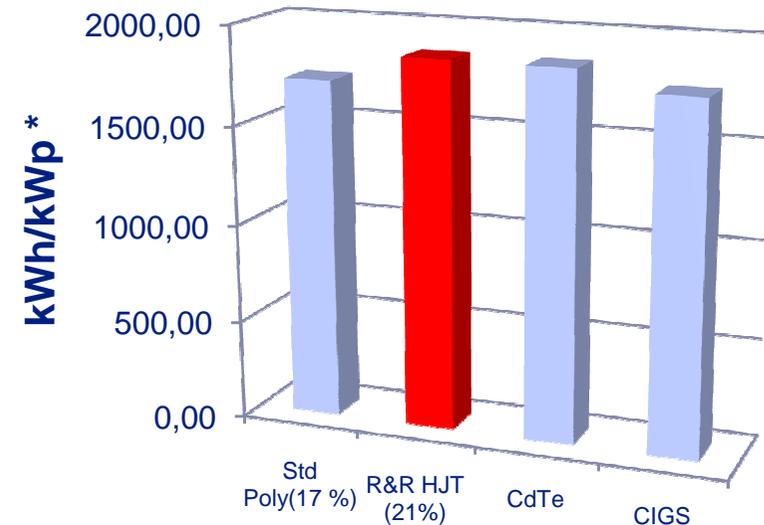
**ROTH & RAU**  
CELL & COATING SYSTEMS

## Energy Yield for a 100 kW simulated PV installation

### Site: Germany



### Site: India



No major differences in Germany due to moderate climate. However significant differences in India. Overall energy yield in India higher due to higher solar irradiation!

NOTE: Data simulated with PV SOL 5.5 Expert. Inverter Fronius Agilo 100.0-3. Modules Poly: 240 W, HJT 290 W, CdTe 90 W, CIGS 95 W





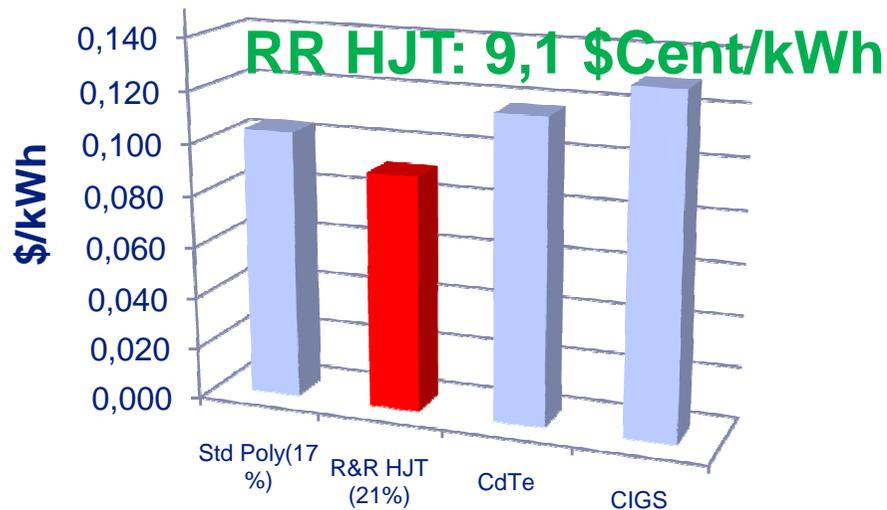
# Total Cost of Ownership Energy Yield



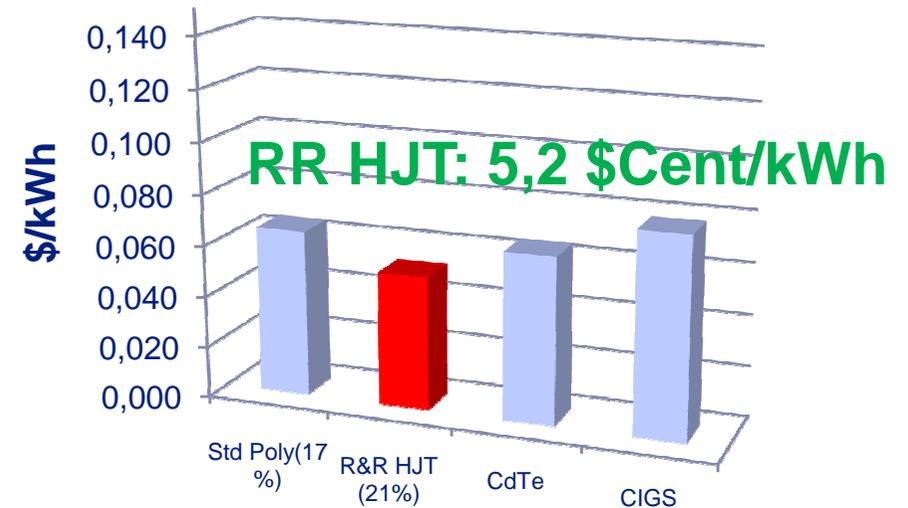
**ROTH & RAU**  
CELL & COATING SYSTEMS

## Levelized cost of energy (LCOE) for a 100 kW simulated PV installation

Site: Germany (Hohenstein)



Site: India (Delhi)



**HJT is Best-in-Class regarding LCOE!**  
Maximum return on energy and invest at lowest system installation costs

NOTE: 80% bank loan, 20% self invest, capital interest: 2%, loan interest 4%, 0,5% degradation/year, 0,7% running cost/yr., Base System cost 2015 with 20% margin.



# Heterojunction Technology – Summary



ROTH & RAU  
CELL & COATING SYSTEMS

- Einfacher Produktionsprozess → Geringe Anzahl Produktionsschritte
- Niedertemperaturprozess (~ 200°C) → Energieverbrauchsreduktion
- Einsatz dünner Wafer → hohes Potential der Kostenreduzierung
- Excellenter Temperaturekoeffizient → Hoher Energieertrag
- Gross throughput: 2400 wafers per hour for basic production system
- Highest cell efficiency > 21% ++
- Roth & Rau ist gemeinsam mit der Meyer Burger Gruppe ein kompetenter Partner für die Lieferung aller erforderlichen Produktionsanlagen für diese Technologie:
  - PECVD / PVD /(DryEtching)
  - Tester/Sorter/Curing
  - Automation / MES
- Roth & Rau unterstützt den Nutzer bei der Auswahl aller weiteren Lieferanten, spezifiziert erforderliche Leistungen sowie informiert und unterstützt zu Verbesserungen im Bereich Ausrüstung und Technologie

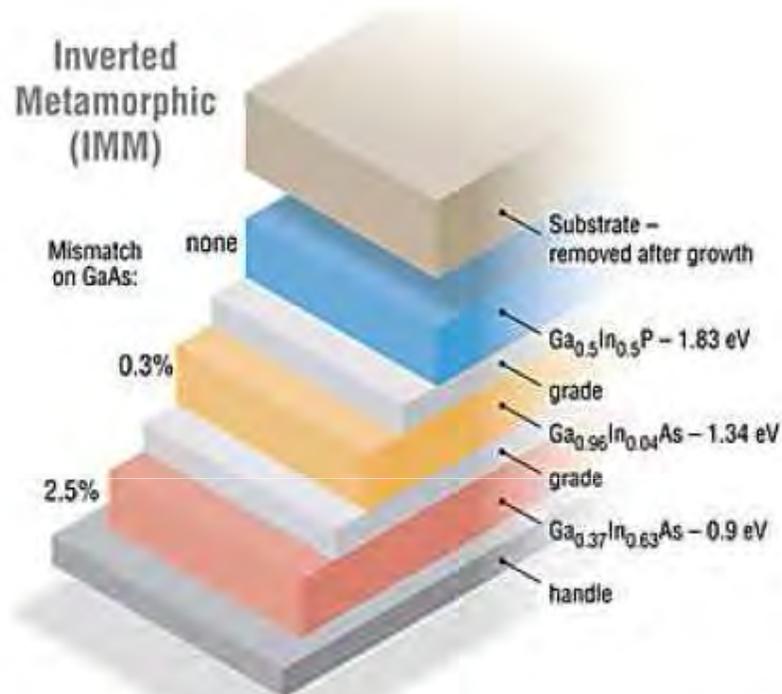


# Die Zukunft der Solarzelle ?



ROTH & RAU  
CELL & COATING SYSTEMS

- (Immer) weniger Silicium > 10µm mit „Bulk“-Qualität !?
- selbstverständlich Beschichtung & mehr...
- Neue Systemstrukturen und kosteneffiziente Produktionssysteme
- Erreichen der LOCE-Benchmarks



**Efficiency 40% + !**

*In the IMM cell, high-performance subcells are realized by: (1) inverting the usual growth order, growing mismatched cells last, (2) engineering a transparent buffer layer to mitigate dislocations, and (3) removing the primary substrate/attachment to the secondary "handle."*

Source: National Center for Photovoltaics (NCPV) at NREL

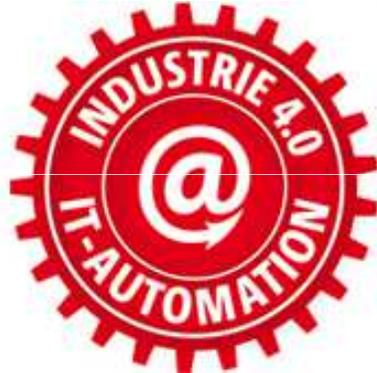


A member of Meyer Burger Group

# Vision für die Produktion

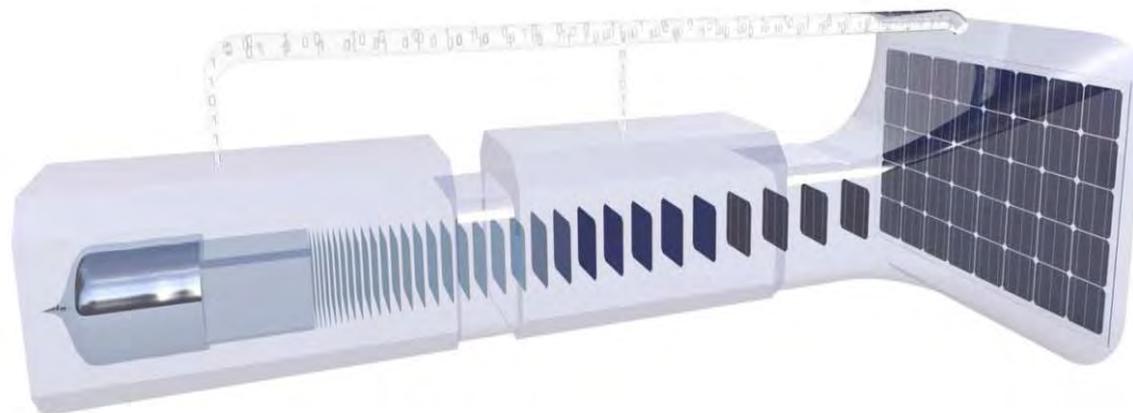


ROTH & RAU  
CELL & COATING SYSTEMS



Fabrik 4.0

>> integrierte Produktion photovoltaischer Produkte & Systeme



**Le roi est mort, vive le roi**

Der König ist tot – es lebe der König !

**Die Photovoltaik ist tot ? –**

**es lebe die Photovoltaik !!**

For a sunny future



**ROTH & RAU**  
CELL & COATING SYSTEMS

[www.roth-rau.com](http://www.roth-rau.com)

Roth & Rau AG  
An der Baumschule 6 - 8  
09337 Hohenstein-Ernstthal  
Germany

☎ +49 3723 671 234  
Fax +49 3723 671 1000  
e-mail: [info@roth-rau.com](mailto:info@roth-rau.com)



**Herzlichen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !**