

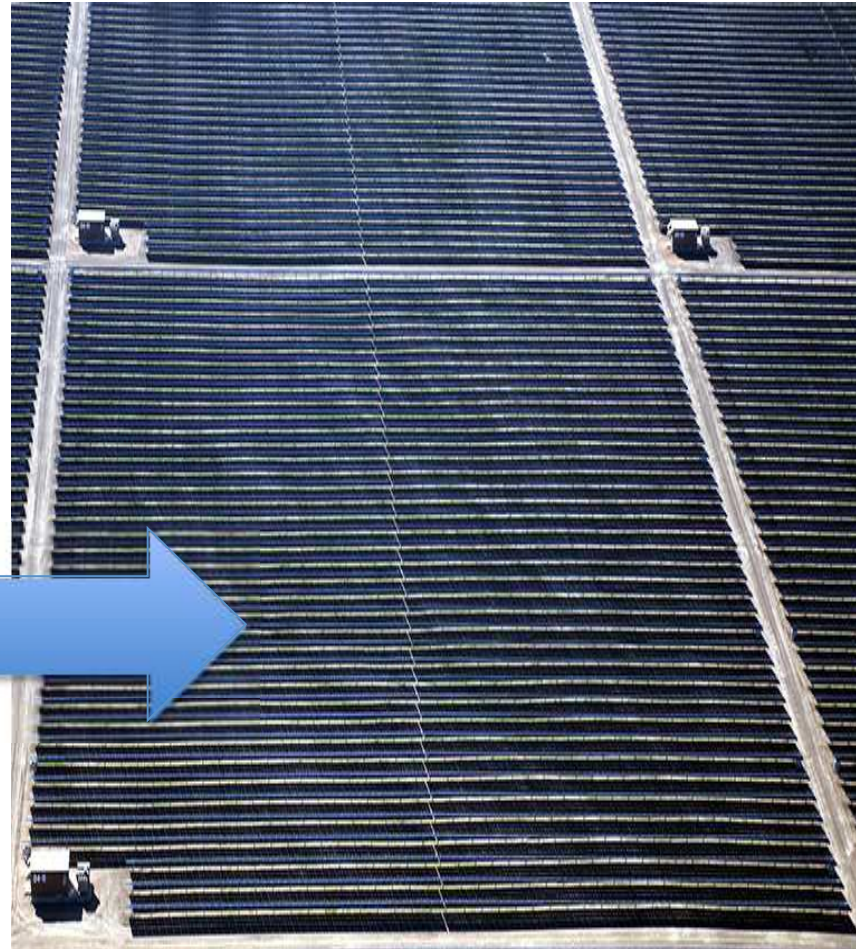
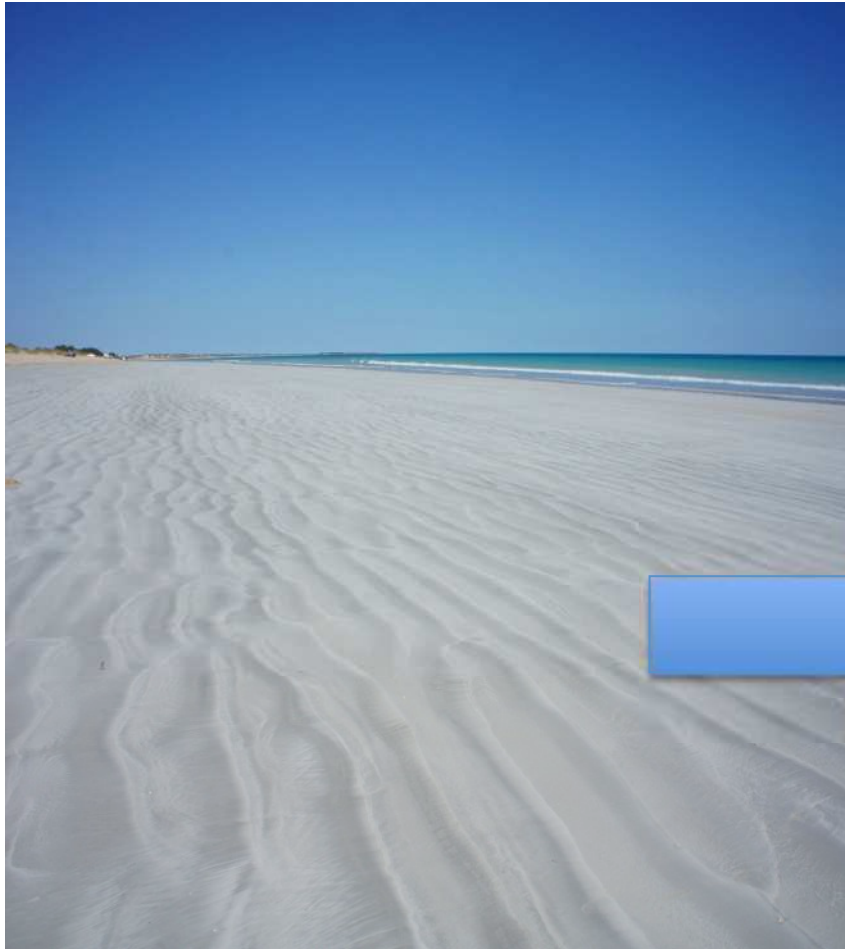


PHOTOVOLTAIK
Vom Quarzsand zum Solarstrom
Recycling von PV Modulen

Claudio Ferrara

PHOTOVOLTAIK

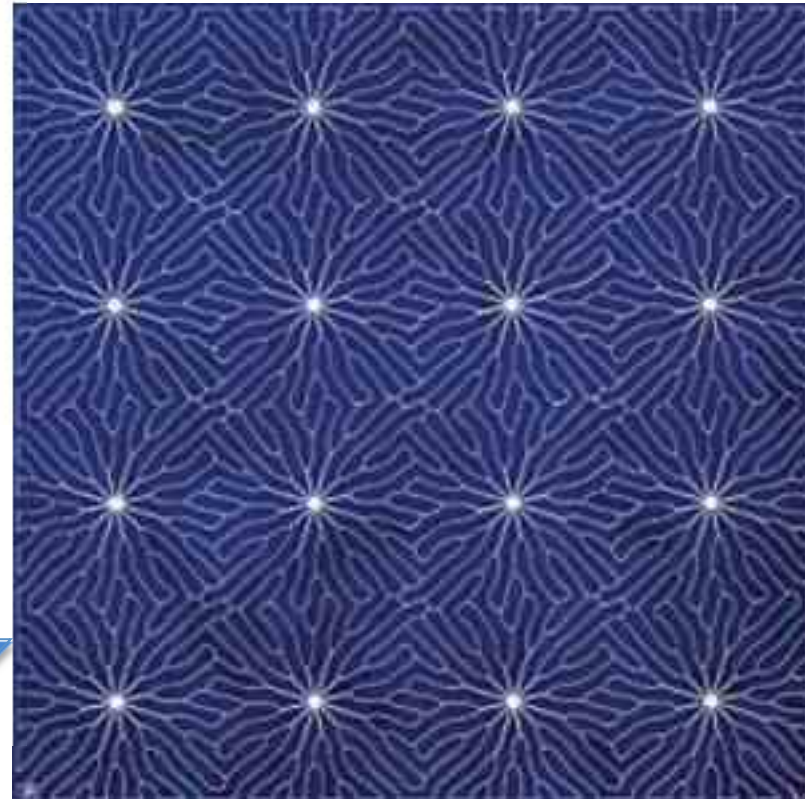
Vom Quarzsand zum Solarstrom | Recycling von PV Modulen



PHOTOVOLTAIK

Vom Quarzsand zum Solarstrom | Prozessschritte

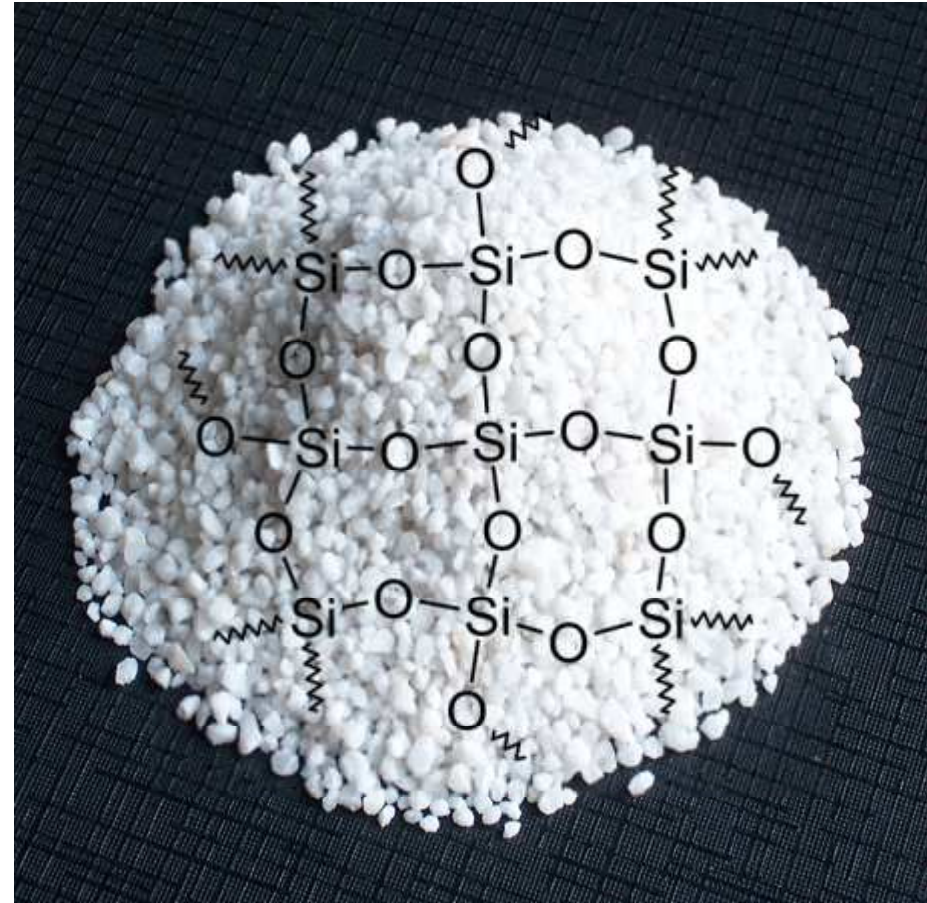
1. Quarz | Siliciumdioxid: SiO_2
2. (Roh-) Silicium
3. Einkristalle | multikrialline Blöcke
4. Wafer
5. Solarzellen
6. PV Module
7. PV Anlage | Kraftwerk



PHOTOVOLTAIK

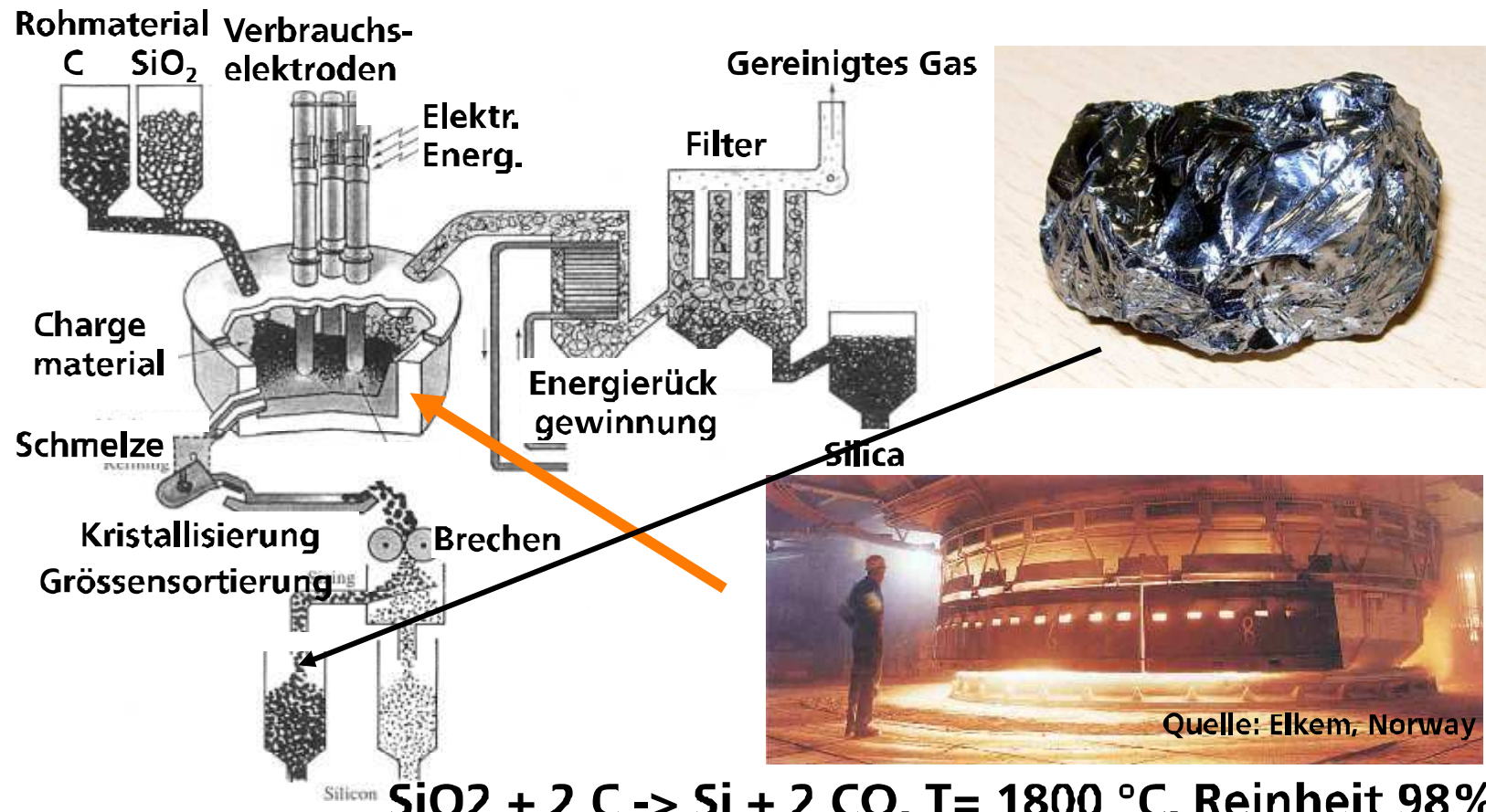
Vom Quarzsand zum Solarstrom | Ursprung: Quarz

- Quarz | sand
 - Siliciumdioxid: SiO_2
 - Silicium ca. 15 Mass.% der Erde
 - ca. 25,8 Gew.% der Erdkruste
 - Nach O_2 zweithäufigste chemisches Element



PHOTOVOLTAIK

Vom Quarzsand zum Solarstrom | Metallurgische Silicium (mg-Si)

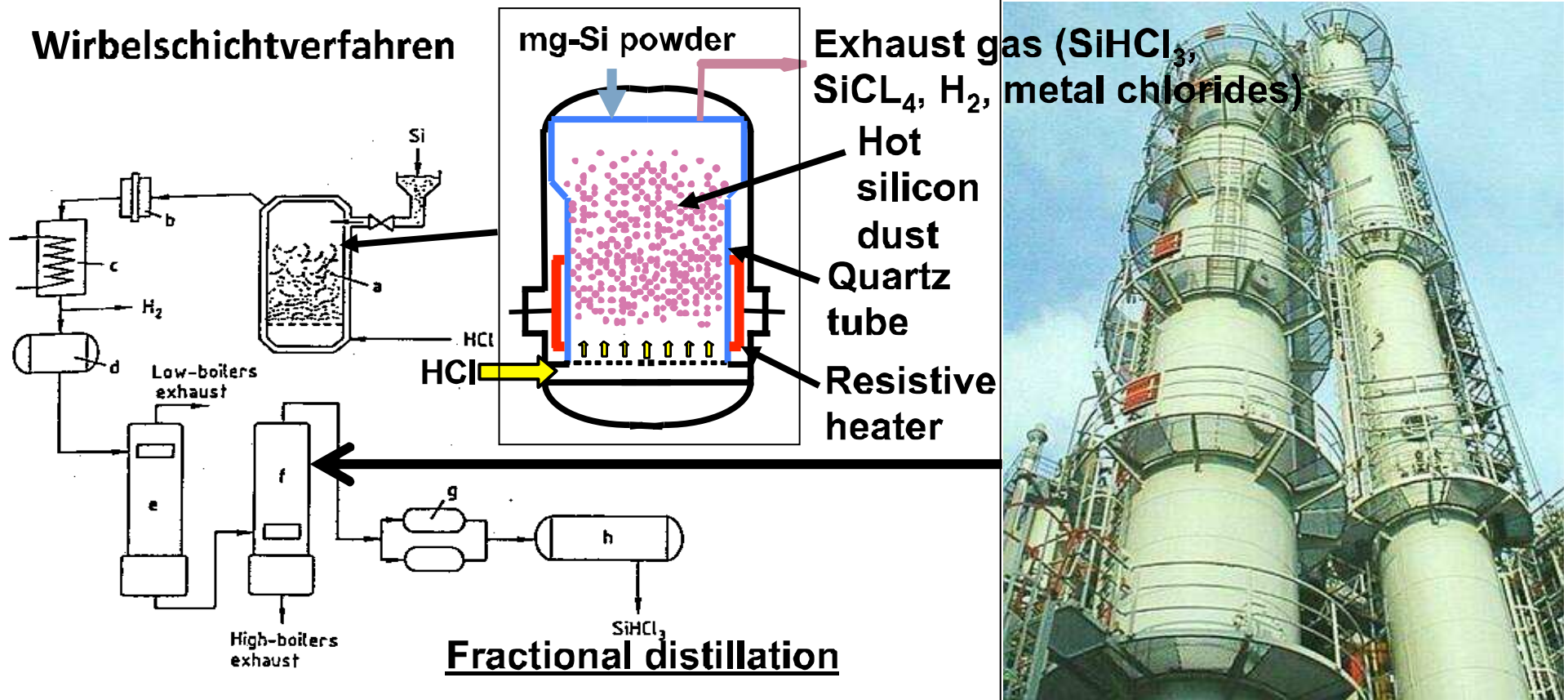


Quelle: B. Ceccaroli and O. Lohne

Quelle: Prof. G. Willeke, Fraunhofer ISE, DE

PHOTOVOLTAIK

Vom Quarzsand zum Solarstrom | Siemens Prozess I:
mg-Si zu hoch reinem Trichlorsilan (SiHCl₃), exotherm

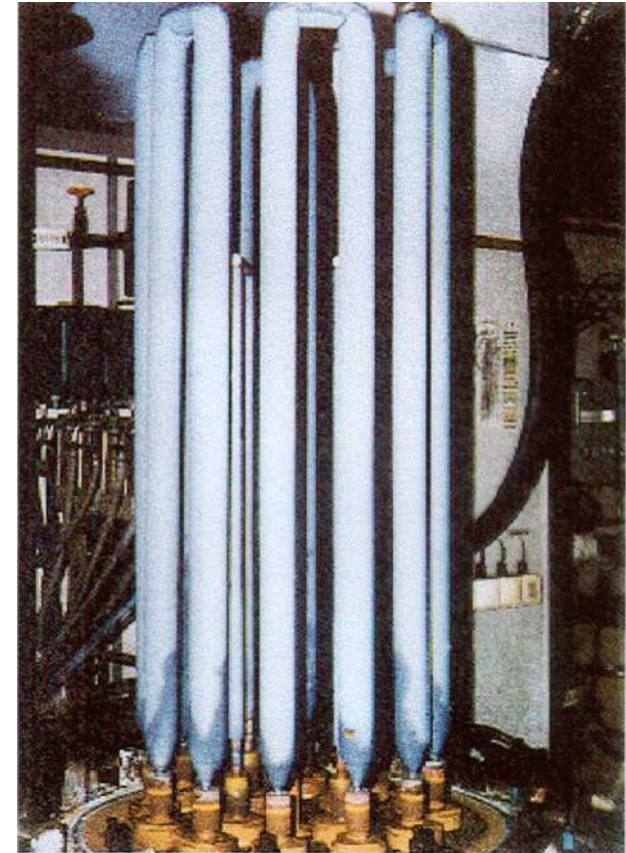
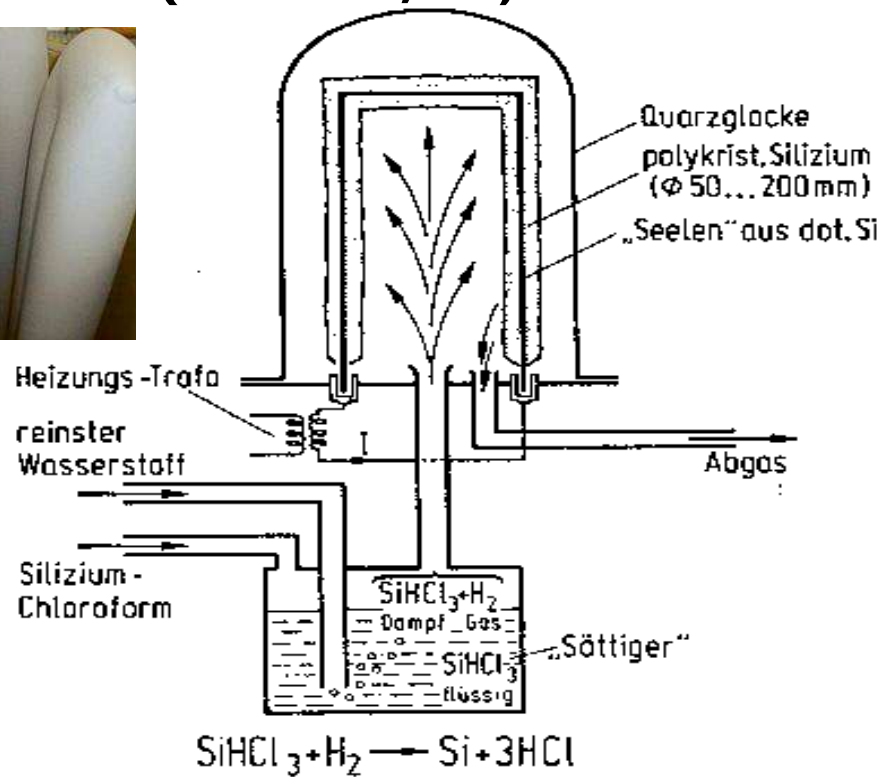


Quelle: Prof. G. Willeke, Fraunhofer ISE, DE

PHOTOVOLTAIK

Vom Quarzsand zum Solarstrom | Siemens Prozess II: Trichlorsilan (SiHCl_3) mittels CVD zu Solar Grade poly-Si

$4 \text{ SiHCl}_3 + 2 \text{ H}_2 \rightarrow 3 \text{ Si} + \text{ SiCl}_4 + 8 \text{ HCl}$, $T = 1350 \text{ }^\circ\text{C}$,
Reinheit 99,999% (5 Neuner, 5N)

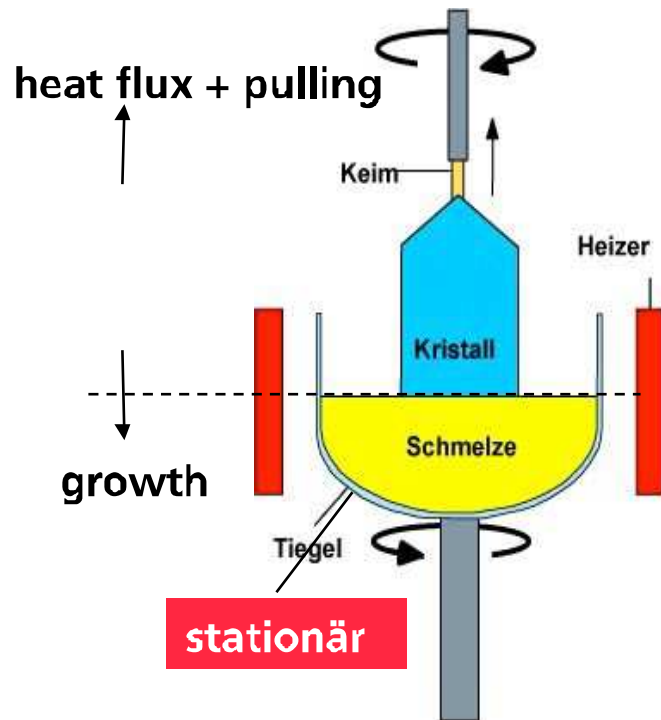


Quelle: Prof. G. Willeke, Fraunhofer ISE, DE

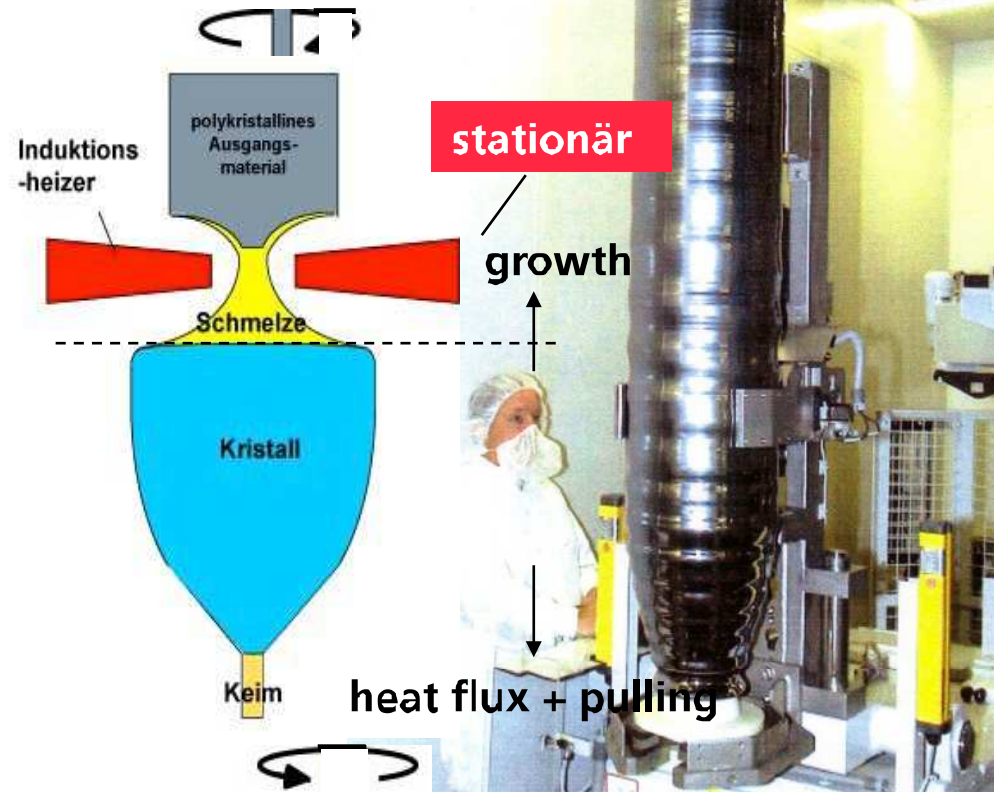
PHOTOVOLTAIK

Vom Quarzsand zum Solarstrom | Silicium Einkristallwachstum

Czochralski (Cz)



Floating Zone (FZ)

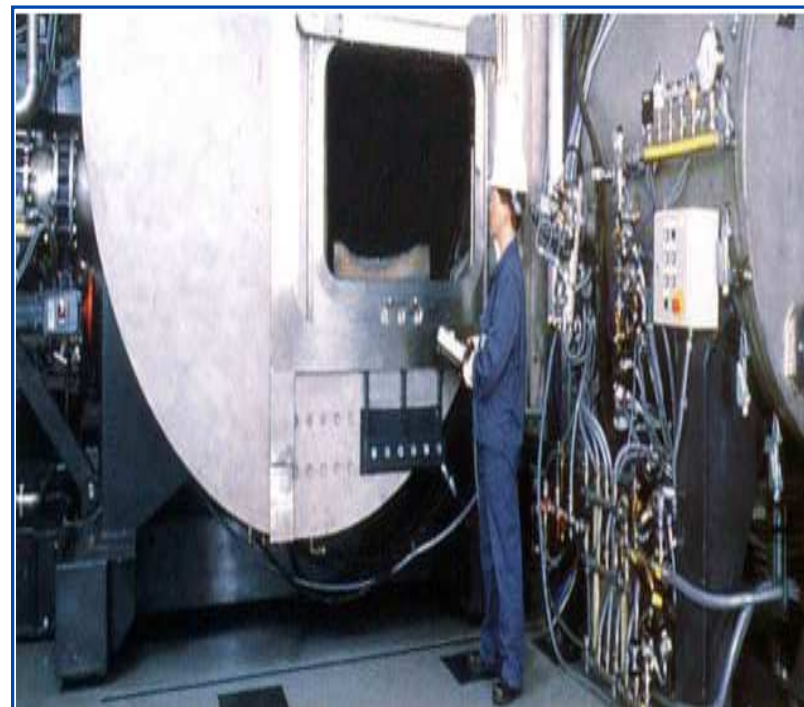
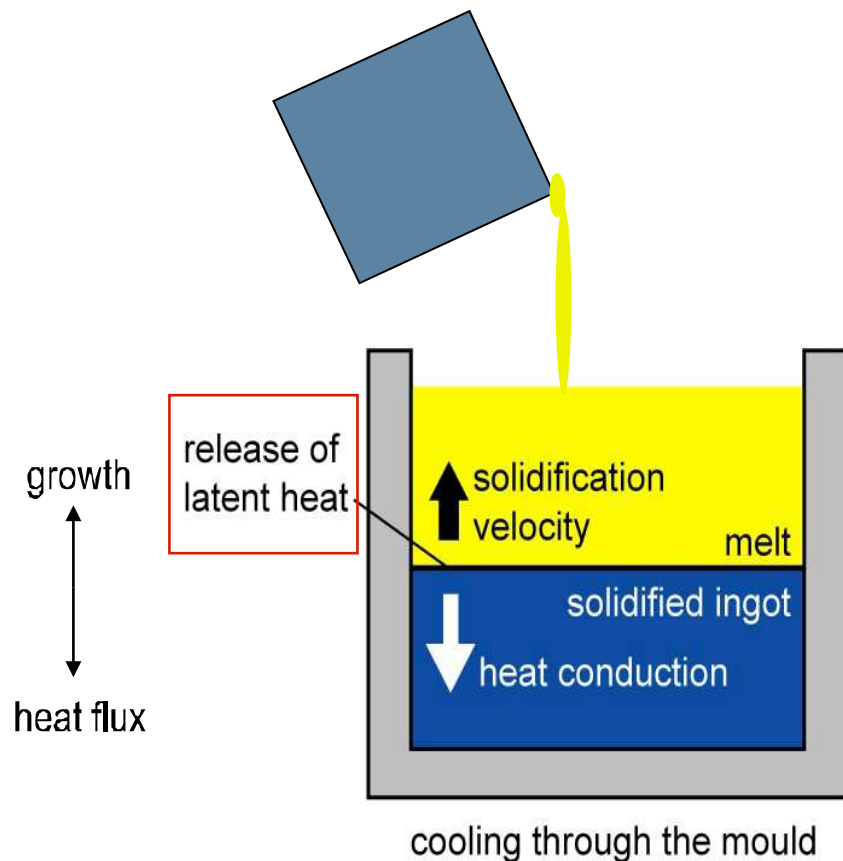


Quelle: Prof. G. Willeke, Fraunhofer ISE, DE

PHOTOVOLTAIK

Vom Quarzsand zum Solarstrom | Multikristallines Silicium

Siliciumschmelze 1450 °C

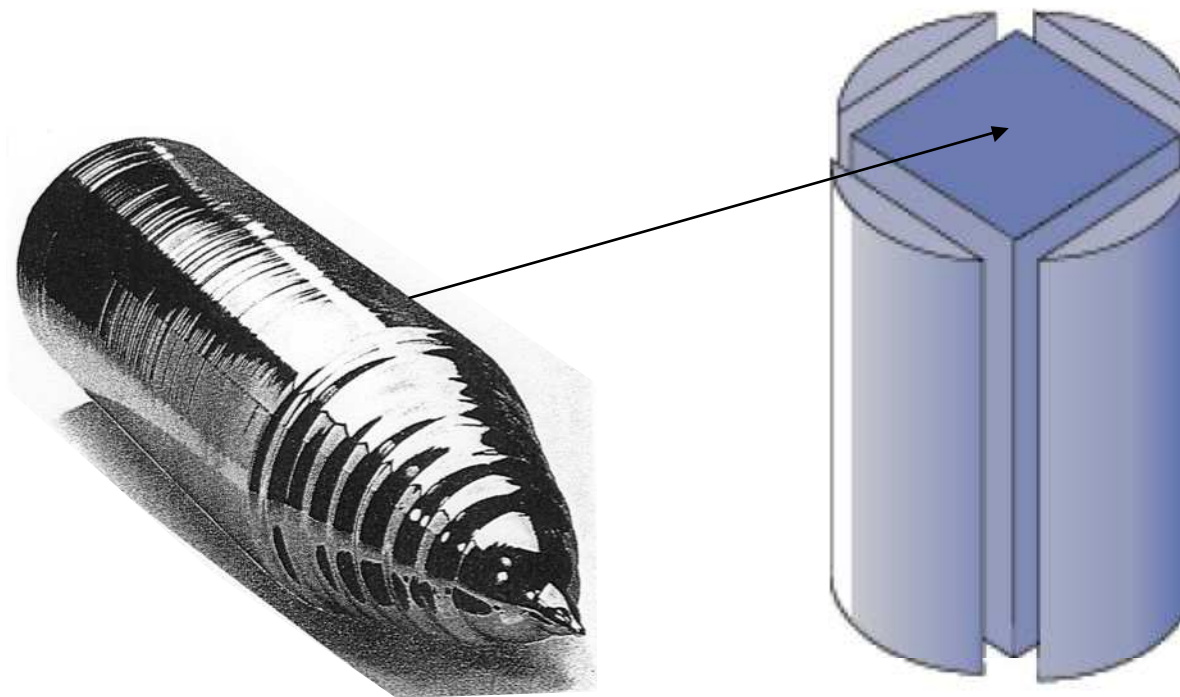


Quelle: Dr. T. Bähr, Access, 2007

Quelle: Prof. G. Willeke, Fraunhofer ISE, DE

PHOTOVOLTAIK

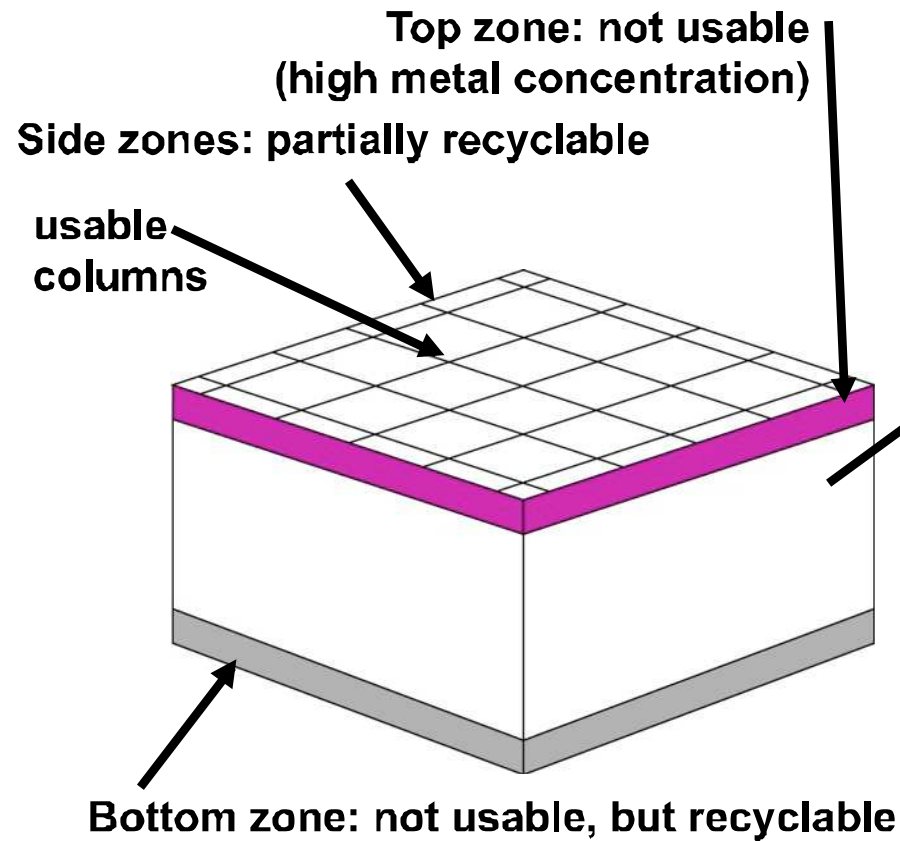
Vom Quarzsand zum Solarstrom | Wafering



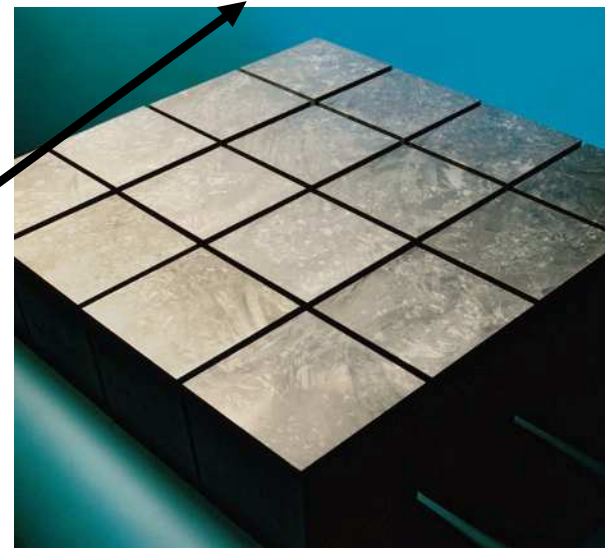
Quelle: Prof. G. Willeke, Fraunhofer ISE, DE

PHOTOVOLTAIK

Vom Quarzsand zum Solarstrom | Wafering



Overall mass yield ingot to column: 70%

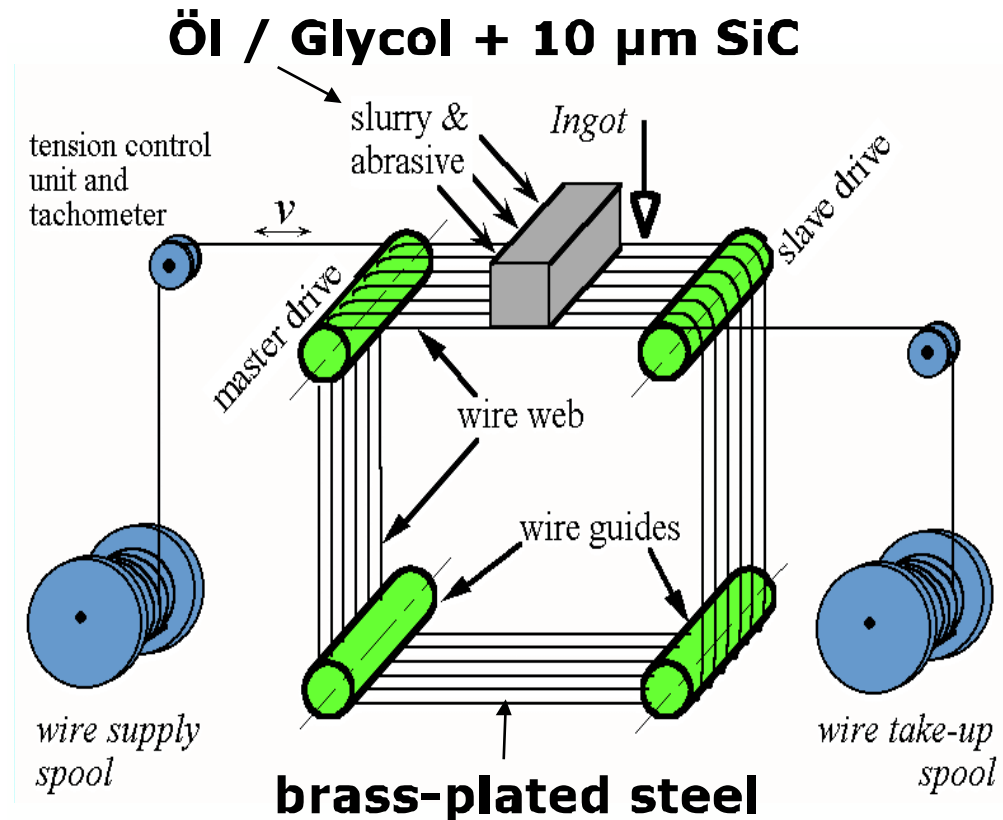
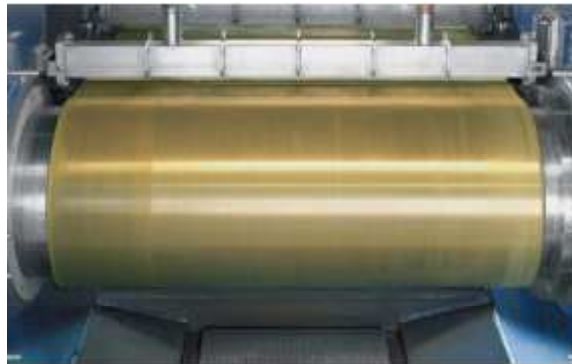


PHOTOVOLTAIK

Vom Quarzsand zum Solarstrom | Wafering: Multi Wire Slurry Saw MWSS

Daten 2004

Durchm.:	180 μm
Länge:	500 km
Geschw.:	15 m/sec
Draht Abst.:	500 μm
Wafer Dicke:	295 μm
Sägeverlust:	205 μm



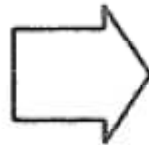
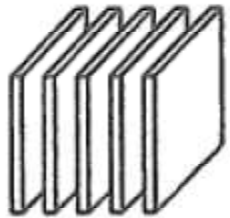
Quelle: Prof. G. Willeke, Fraunhofer ISE, DE

PHOTOVOLTAIK

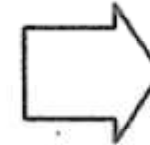
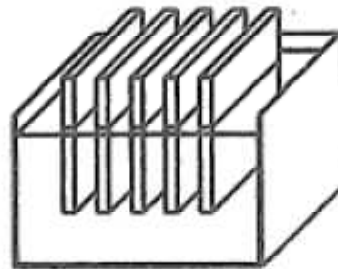
Vom Quarzsand zum Solarstrom | Herstellung Solarzelle

Phosphordiffusion 800-900°C

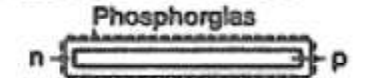
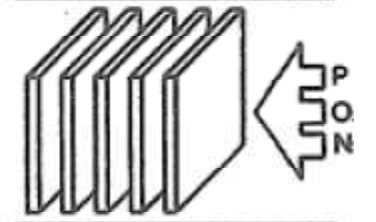
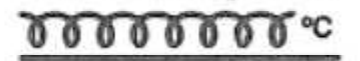
Silizium
Rohscheiben



Chemische
Reinigung

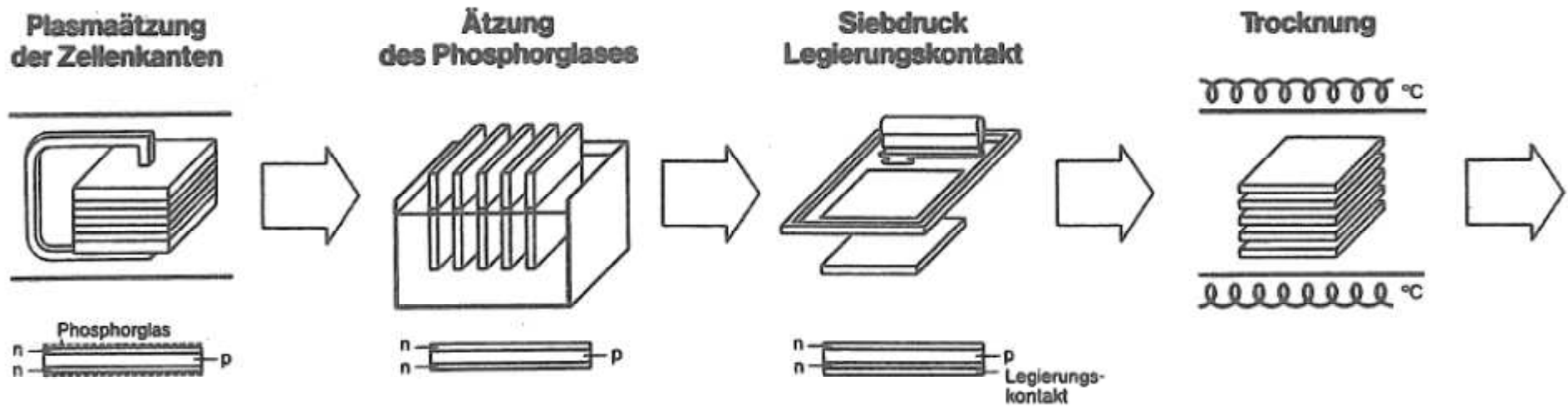


Diffusion
in der Gasphase



PHOTOVOLTAIK

Vom Quarzsand zum Solarstrom | Herstellung Solarzelle

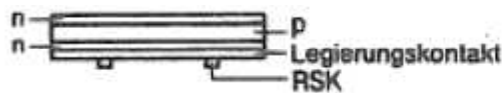
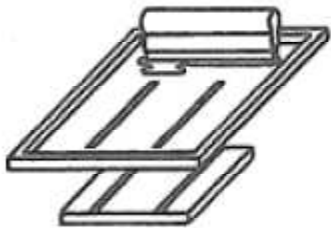


Quelle: H. Häberlin, Photovoltaik, 2007

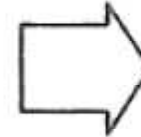
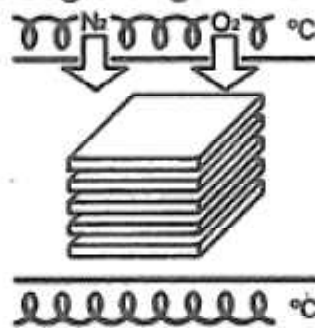
PHOTOVOLTAIK

Vom Quarzsand zum Solarstrom | Herstellung Solarzelle

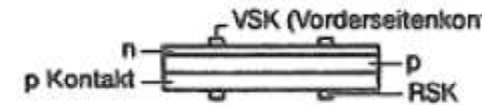
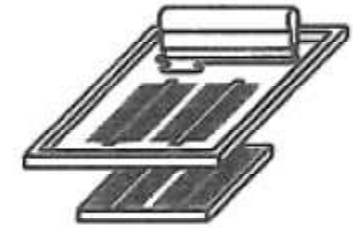
Siebdruck
Rückseitenkontakt



Sinterung
n/Legierungskontakt



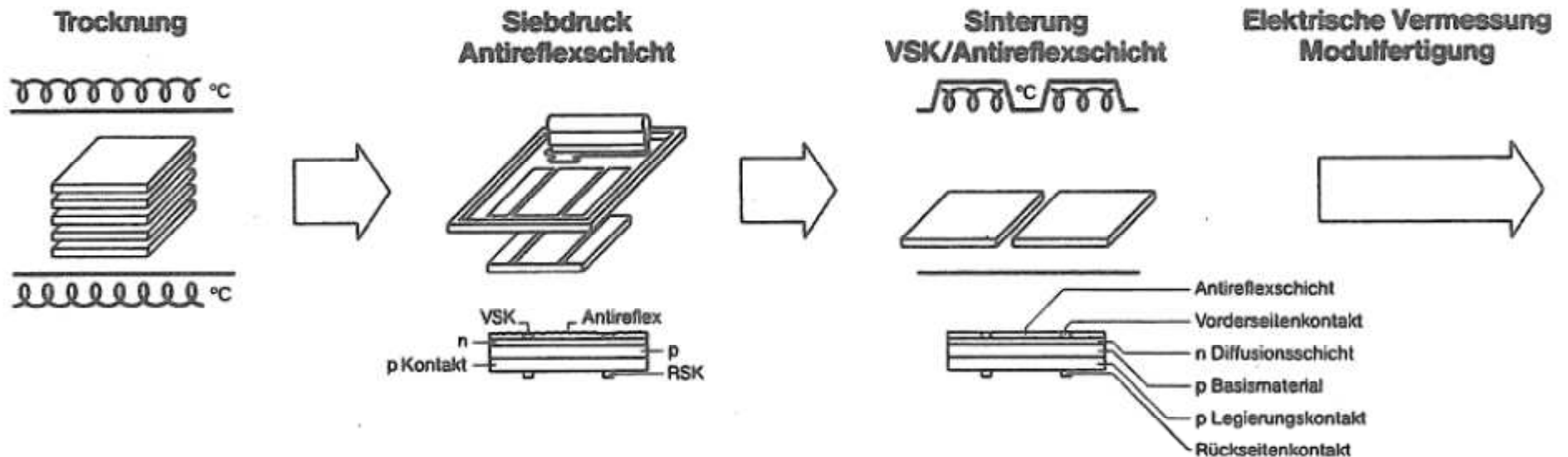
Siebdruck
Vorderseitenkontakt



Quelle: H. Häberlin, Photovoltaik, 2007

PHOTOVOLTAIK

Vom Quarzsand zum Solarstrom | Herstellung Solarzelle

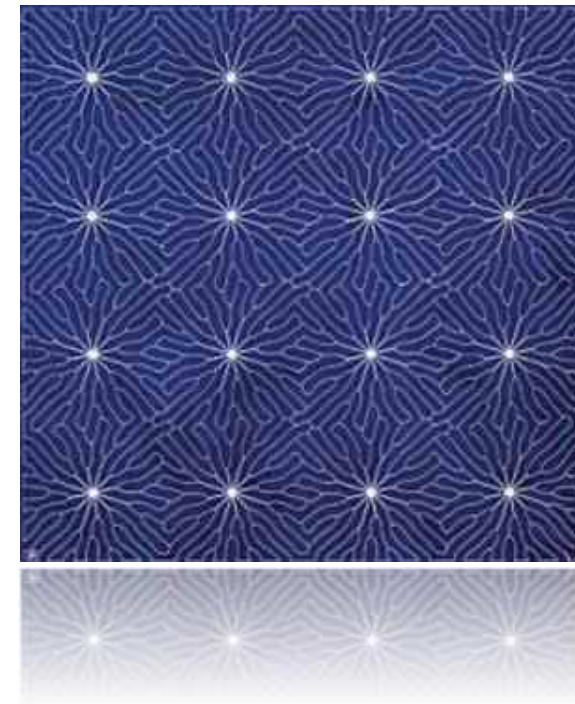


Quelle: H. Häberlin, Photovoltaik, 2007

PHOTOVOLTAIK

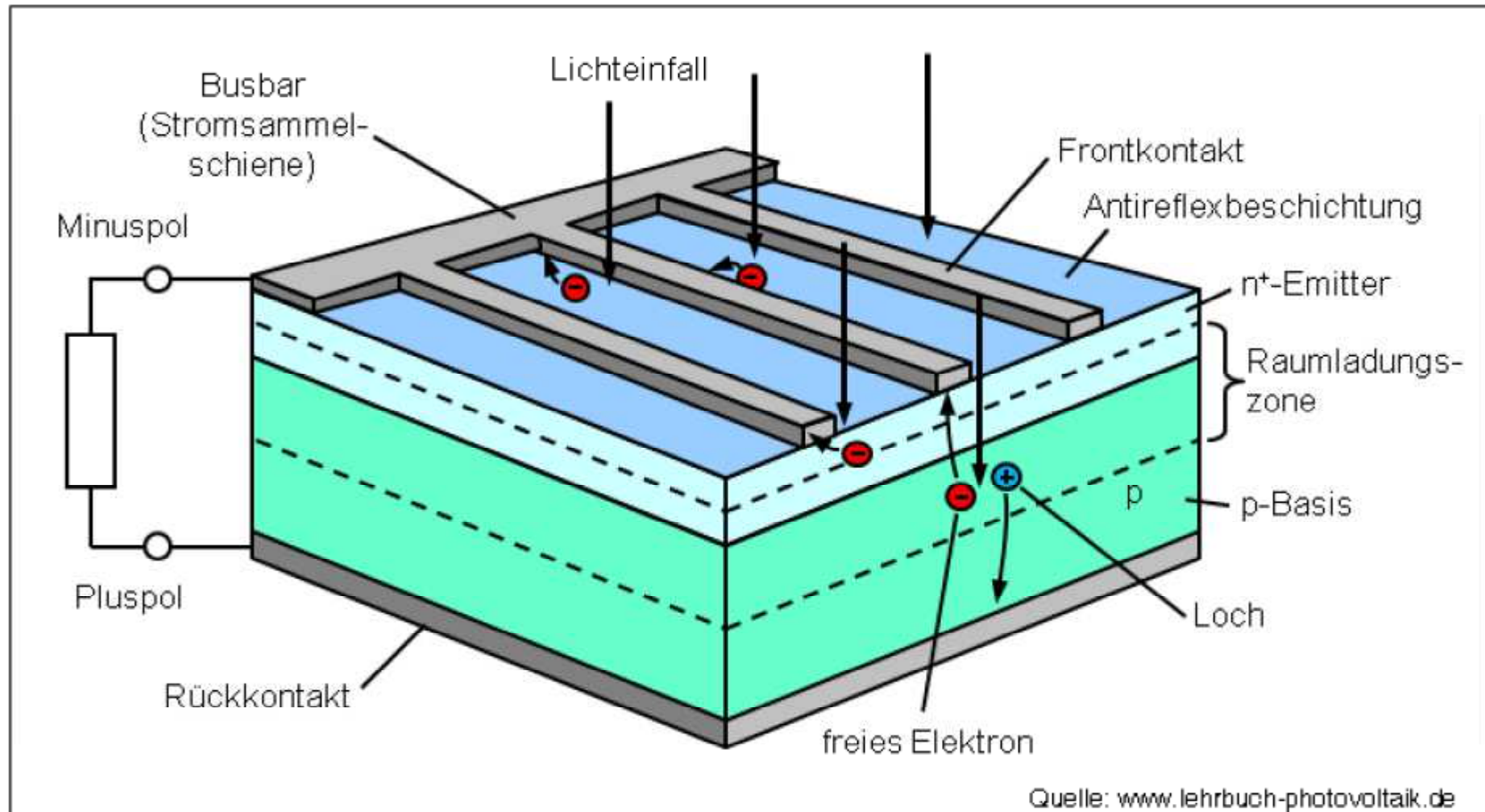
Vom Quarzsand zum Solarstrom | Herstellung Solarzelle

Beispiele Solarzellen



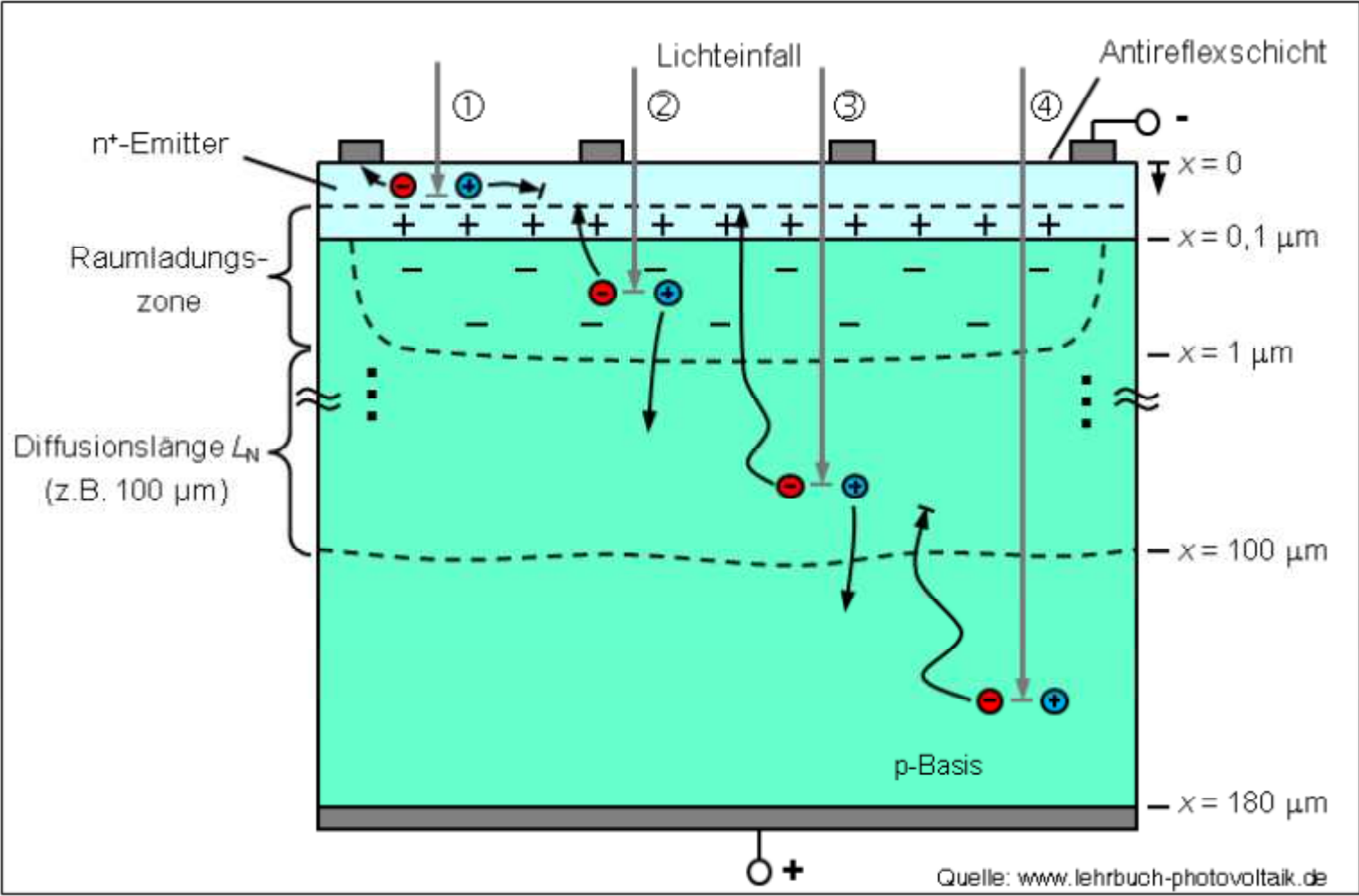
PHOTOVOLTAIK

Vom Quarzsand zum Solarstrom | Solarzelle Schema



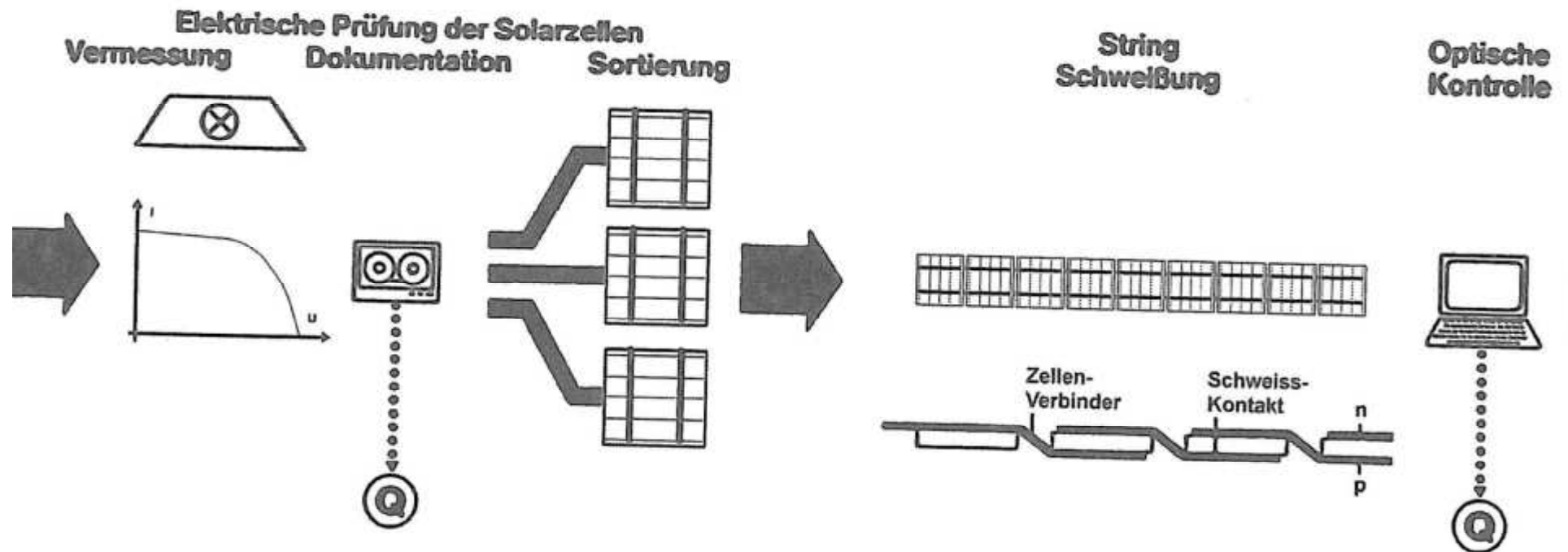
PHOTOVOLTAIK

Vom Quarzsand zum Solarstrom | Solarzelle Funktion



PHOTOVOLTAIK

Vom Quarzsand zum Solarstrom | Herstellung PV Modul

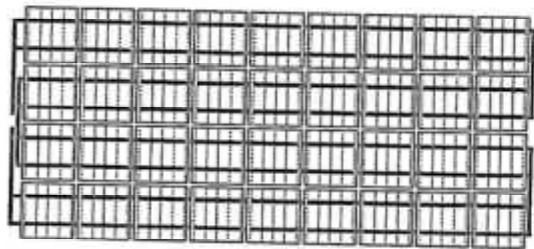


Quelle: H. Häberlin, Photovoltaik, 2007

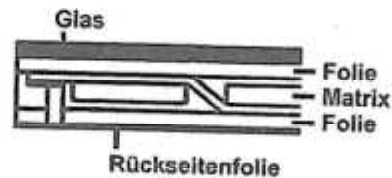
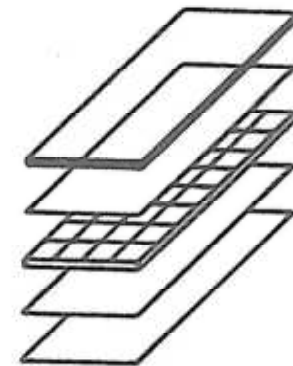
PHOTOVOLTAIK

Vom Quarzsand zum Solarstrom | Herstellung PV Modul

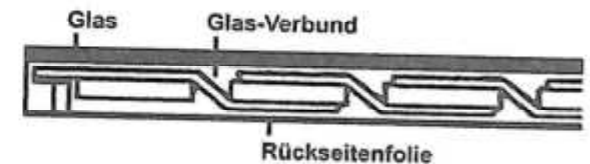
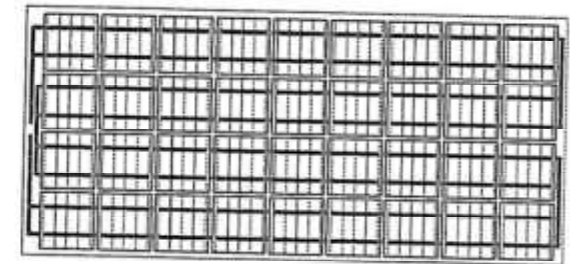
Strings werden zur Matrix ausgelegt und randverschaltet



Sandwich Aufbau



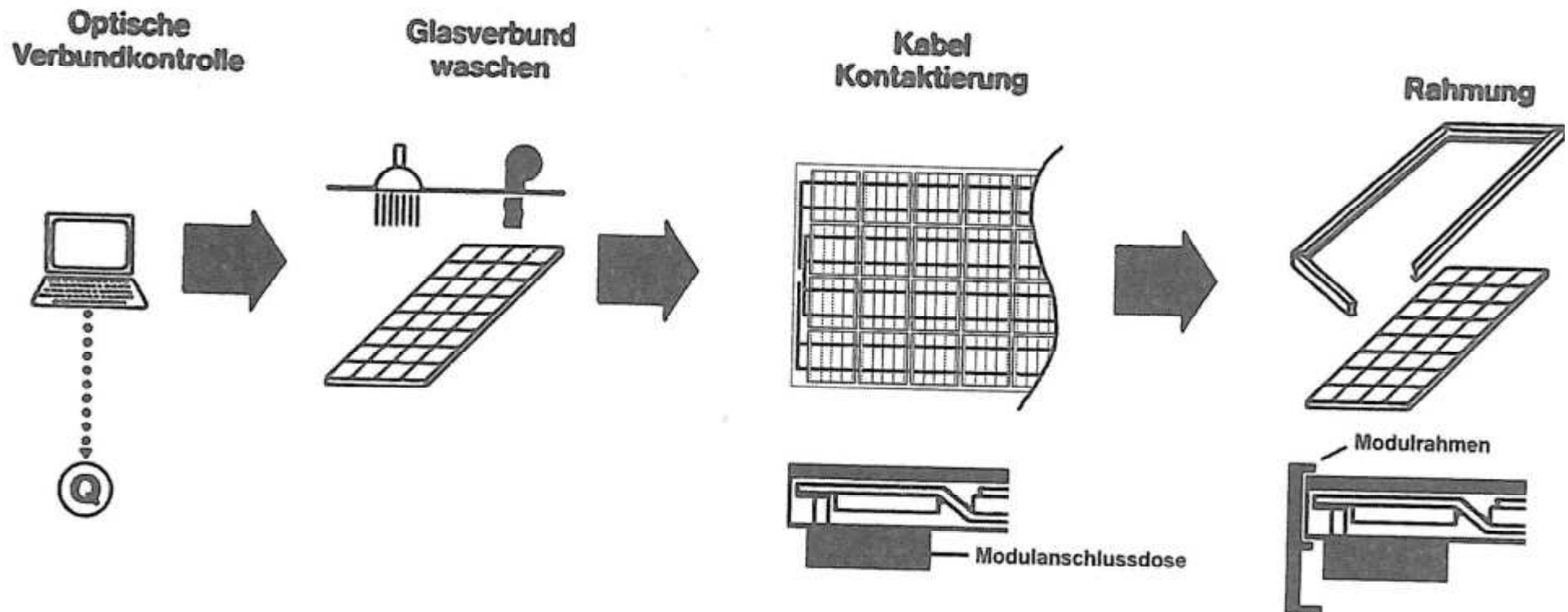
Verbund, Prozess (Vakuum, Temperatur)



Quelle: H. Häberlin, Photovoltaik, 2007

PHOTOVOLTAIK

Vom Quarzsand zum Solarstrom | Herstellung PV Modul



Quelle: H. Häberlin, Photovoltaik, 2007

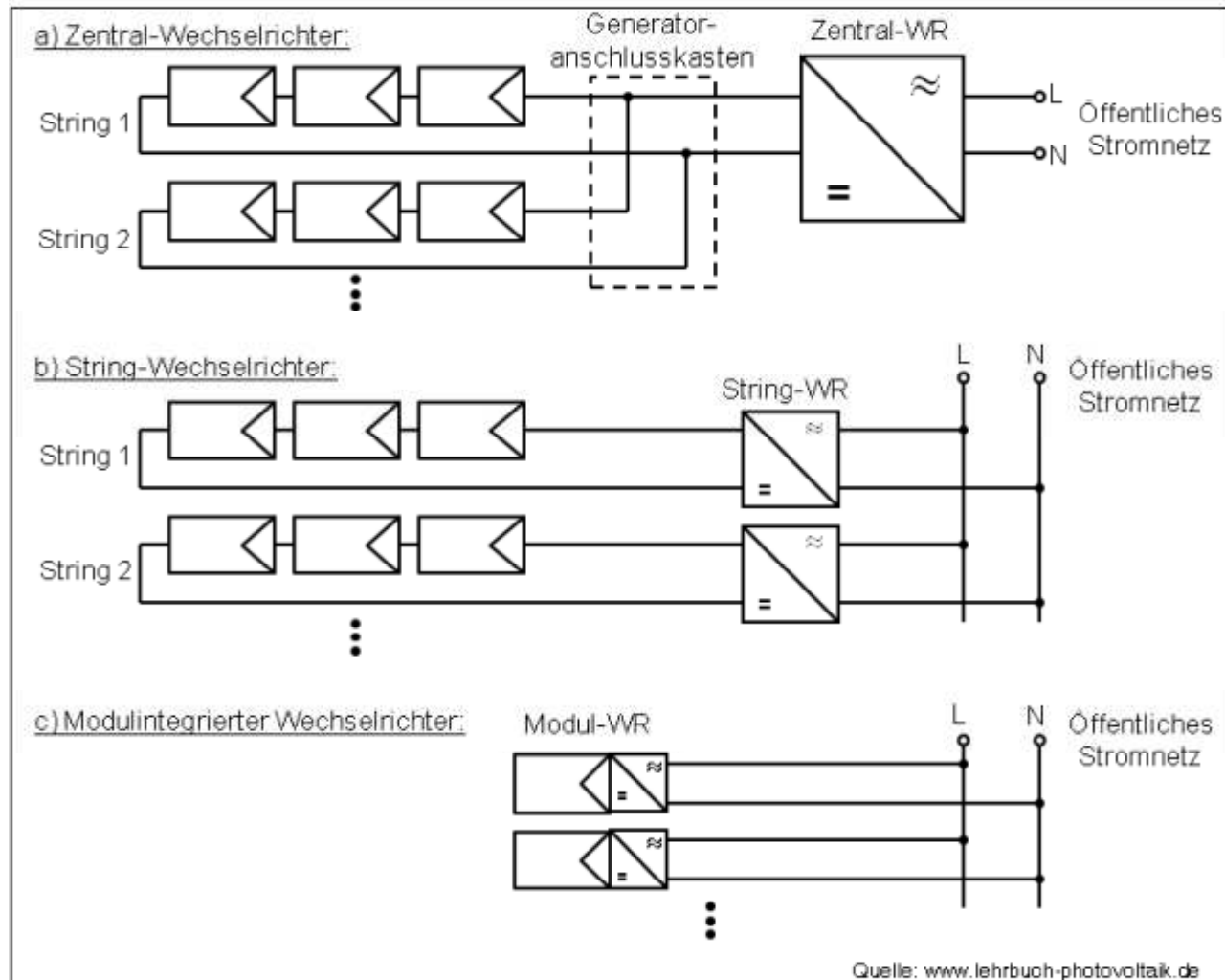
PHOTOVOLTAIK

Vom Quarzsand zum Solarstrom | PV Modul Technologien



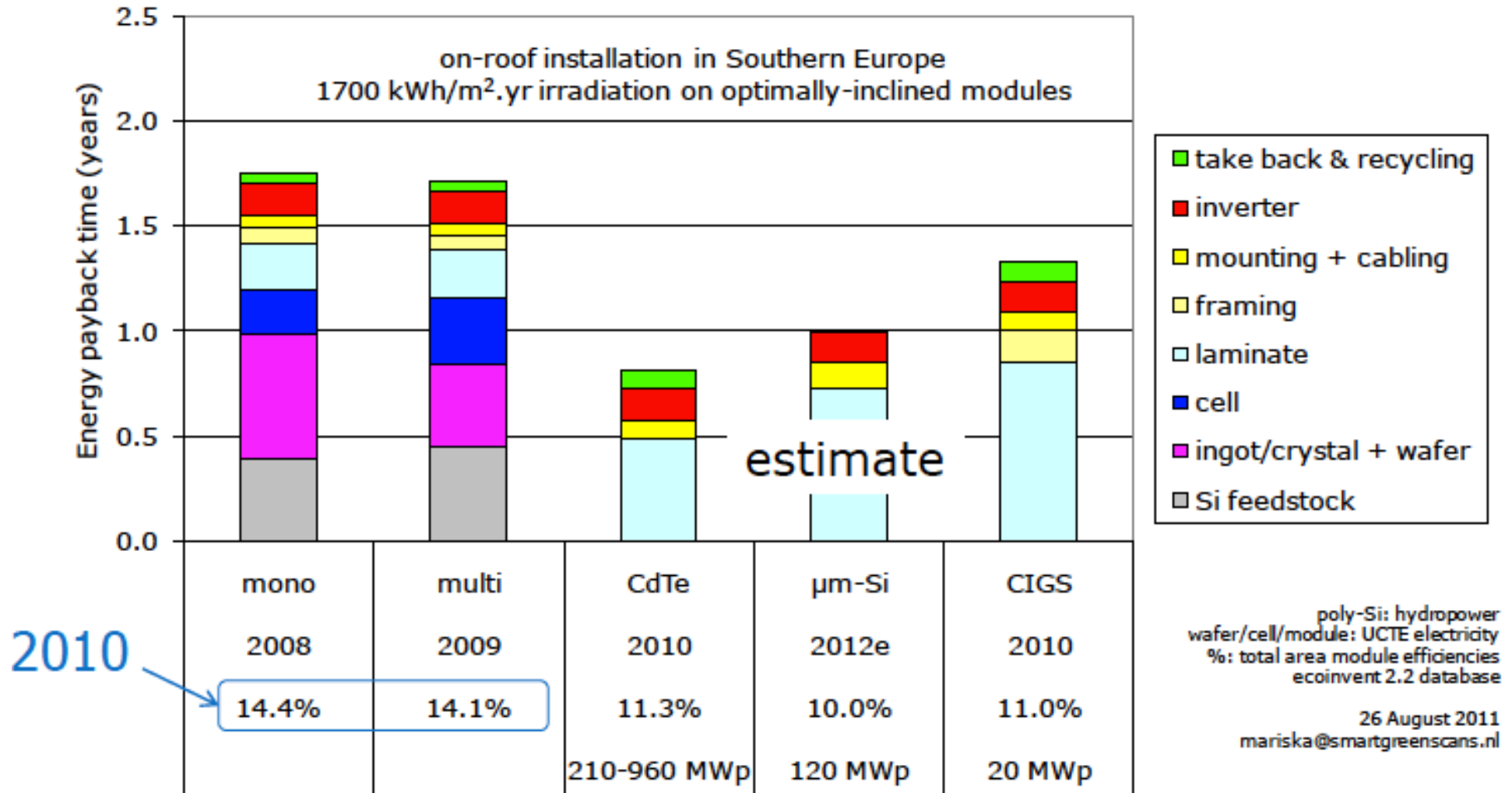
PHOTOVOLTAIK

Vom Quarzsand zum Solarstrom | PV Kraftwerk Schema



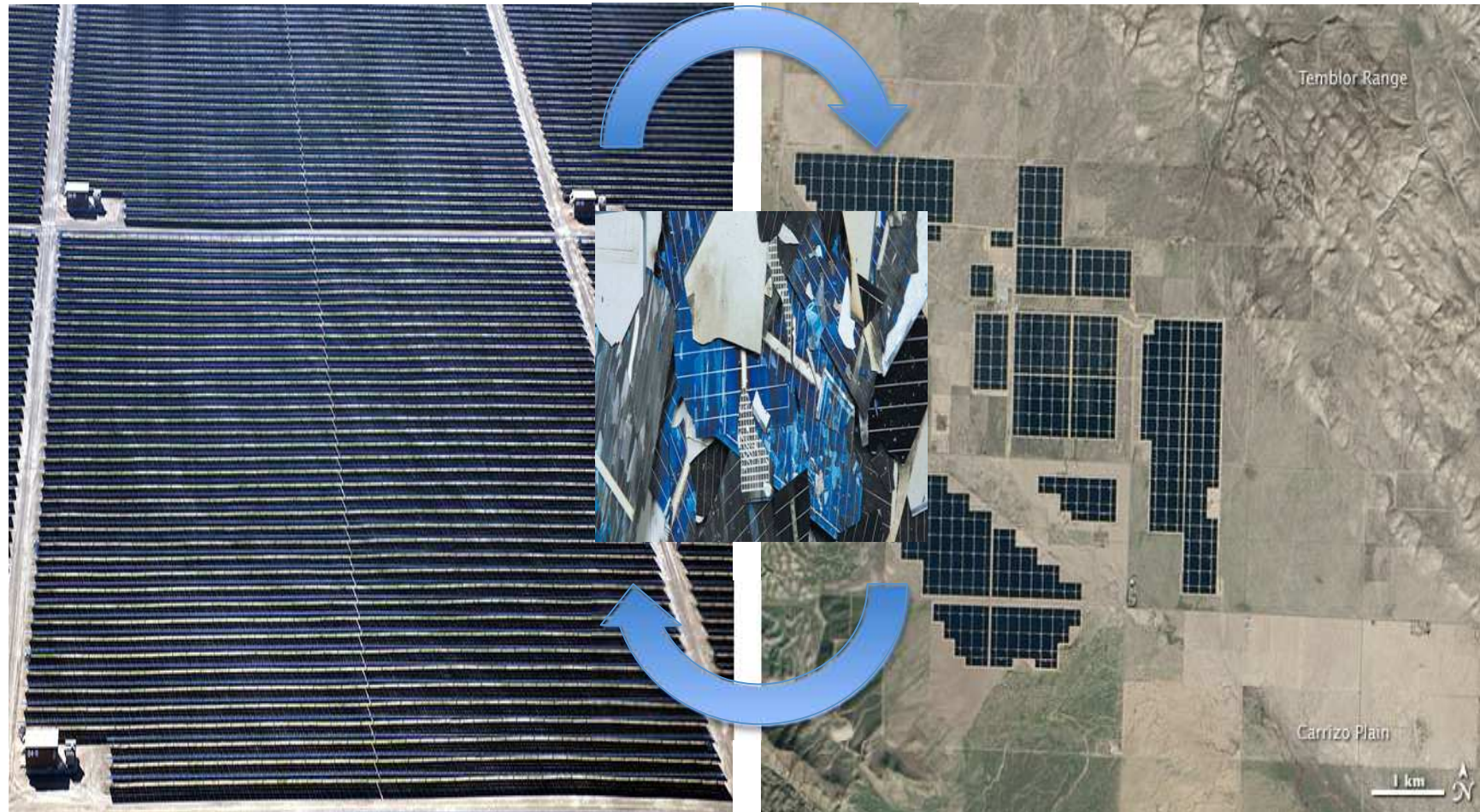
PHOTOVOLTAIK

Vom Quarzsand zum Solarstrom | Energierücklaufzeit



PHOTOVOLTAIK

Vom Quarzsand zum Solarstrom | Recycling von PV Modulen



PHOTOVOLTAIK

Vom Quarzsand zum Solarstrom | Recycling von PV Modulen

Lebensdauer 20+ Jahre

Hauptprozessschritte

1. Modullogistik
2. Grobseparierung
3. Materialtrennung
4. Rückführung in Produktionsprozesse



PHOTOVOLTAIK

Vom Quarzsand zum Solarstrom | Recycling von PV Modulen

Abb. 3: Zusammensetzung von c-Si- und Dünnschichtmodulen (entspr. der jeweiligen Technologie)

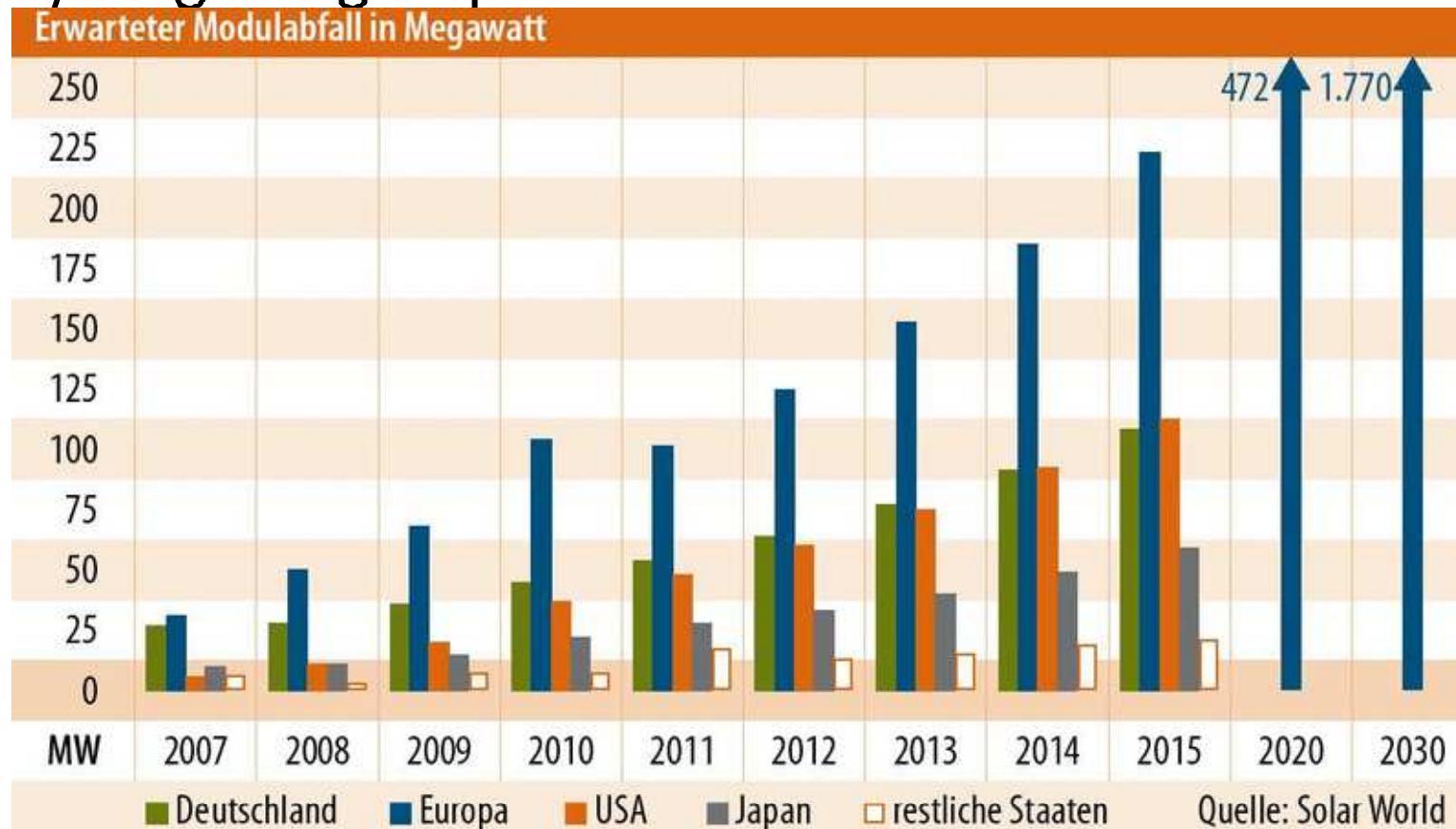
	c-Si (kristalline Siliziumzellen)	α-Si (amorphe Siliziumzellen)	CIS (Kupfer-Indium- Diselenid-Zellen)	CdTe (Cadmium- Tellurid-Zellen)
<i>Anteil in %</i>				
Glas	74	90	85	95
Aluminium	10	10	12	< 0,01
Silizium	ca. 3	< 0,1		
Polymere	ca. 6,5	10	6	3,5
Zink	0,12	< 0,1	0,12	0,01
Blei	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,01
Kupfer (Kabel)	0,6		0,85	1,0
Indium			0,02	
Selen			0,03	
Tellur				0,07
Cadmium				0,07
Silber	< 0,006			< 0,01

Quelle: Recycling von Solarmodulen – Potential und Anspruch eines zukünftigen Stoffstroms / PV CYCLE Studie 2007

PHOTOVOLTAIK

Vom Quarzsand zum Solarstrom | Recycling von PV Modulen

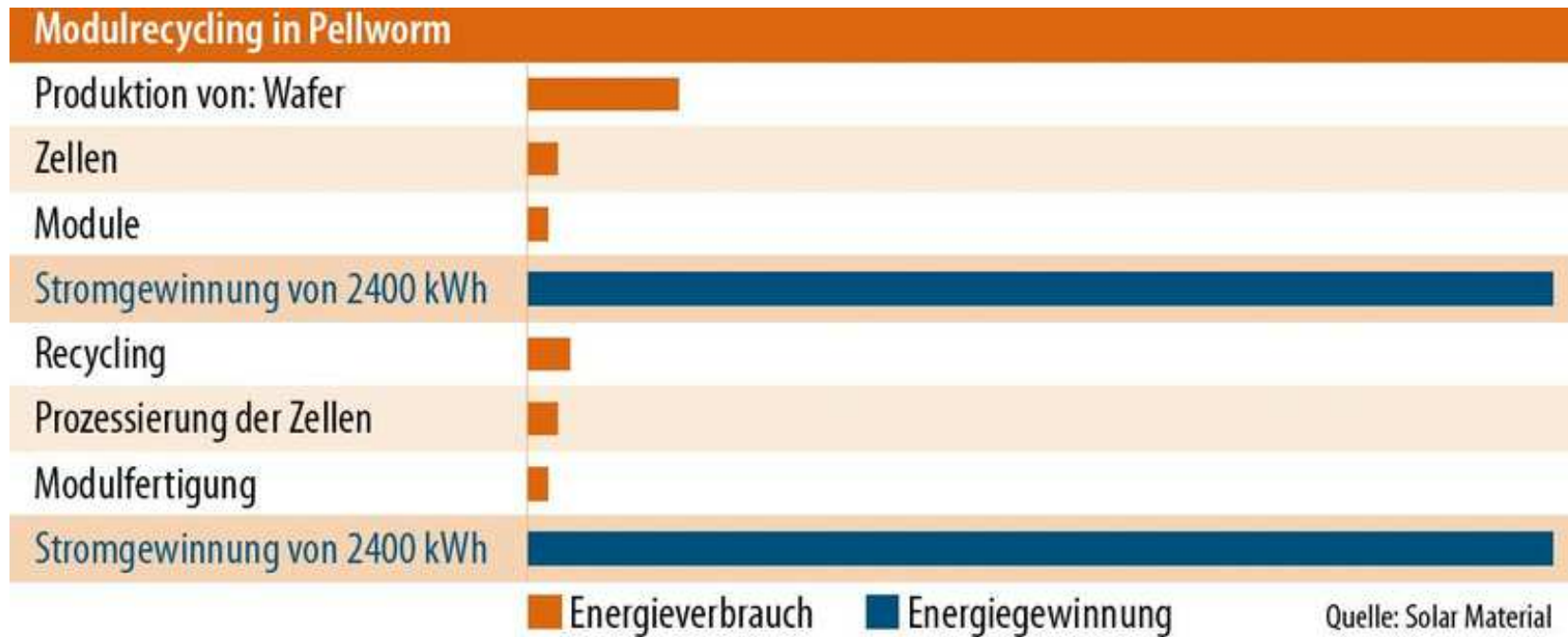
Recyclingmengen | Studie 2008



PHOTOVOLTAIK

Vom Quarzsand zum Solarstrom | Recycling von PV Modulen

Recycling Energiebedarf



PHOTOVOLTAIK

Zusammenfassung & Ausblick

- Unabhängige unendliche Energiequelle
(Liefergarantie ca. 4,8 Mrd. Jahre)
- Ausreichende Rohstoffe
- Energierücklaufzeit 1-2 Jahre
- Recycling reduziert Energiebedarf um bis zu 60%



PHOTOVOLTAIK

Vom Quarzsand zum Solarstrom | Recycling von PV Modulen

Vielen Dank für die
Aufmerksamkeit.

Samstags-Forum Regio Freiburg:

mehr zur Reihe Ressourcenfieber/Rohstoffwende:

<http://ecotrinoa.de/pages/samstagsforum/samstagsforum-2015.php>

<http://ecotrinoa.de/pages/veroeffentlichungen/d-infos-deutsch.php>

**zu Partnern, Vortragsdateien, Online-Reader, Bürger-Info
der Reihe „Vom Ressourcenfieber zur Rohstoffwende. Wie wollen wir leben?“**

siehe Programm

<http://ecotrinoa.de/downloads/2015/Samstags-Forum-2015-1Ressourcenfieber-Rohstoffwende.pdf>

Förderhinweis:

Projekt „Vom Ressourcenfieber zur Rohstoffwende. Wie wollen wir leben?“

Gefördert aus Mitteln der Glücksspirale des Ministeriums für
Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg

Gefördert durch die

GlücksSpirale


Baden-Württemberg
MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT

und von * ECO-Stiftung * ECOtrinoa e.V. * Ehrenamt

Bei den eigentlichen Vorträgen bzw. Podien und Führungen bzw. Seminar wurden jeweils das Vortragen und die Aussprache bzw. Diskussion im Saal bzw. vor Ort gefördert sowie das Aufbereiten der Vortrags-Dateien durch die Vortragenden für die Veröffentlichung zu Händen der Projektleitung.

Wir danken herzlich.


Ecotrinoa

Hrsg.: ECOtrinoa e.V., Post: Weiherweg 4 B, 79194 Gundelfingen

www.ecotrinoa.de, ecotrinoa@web.de