

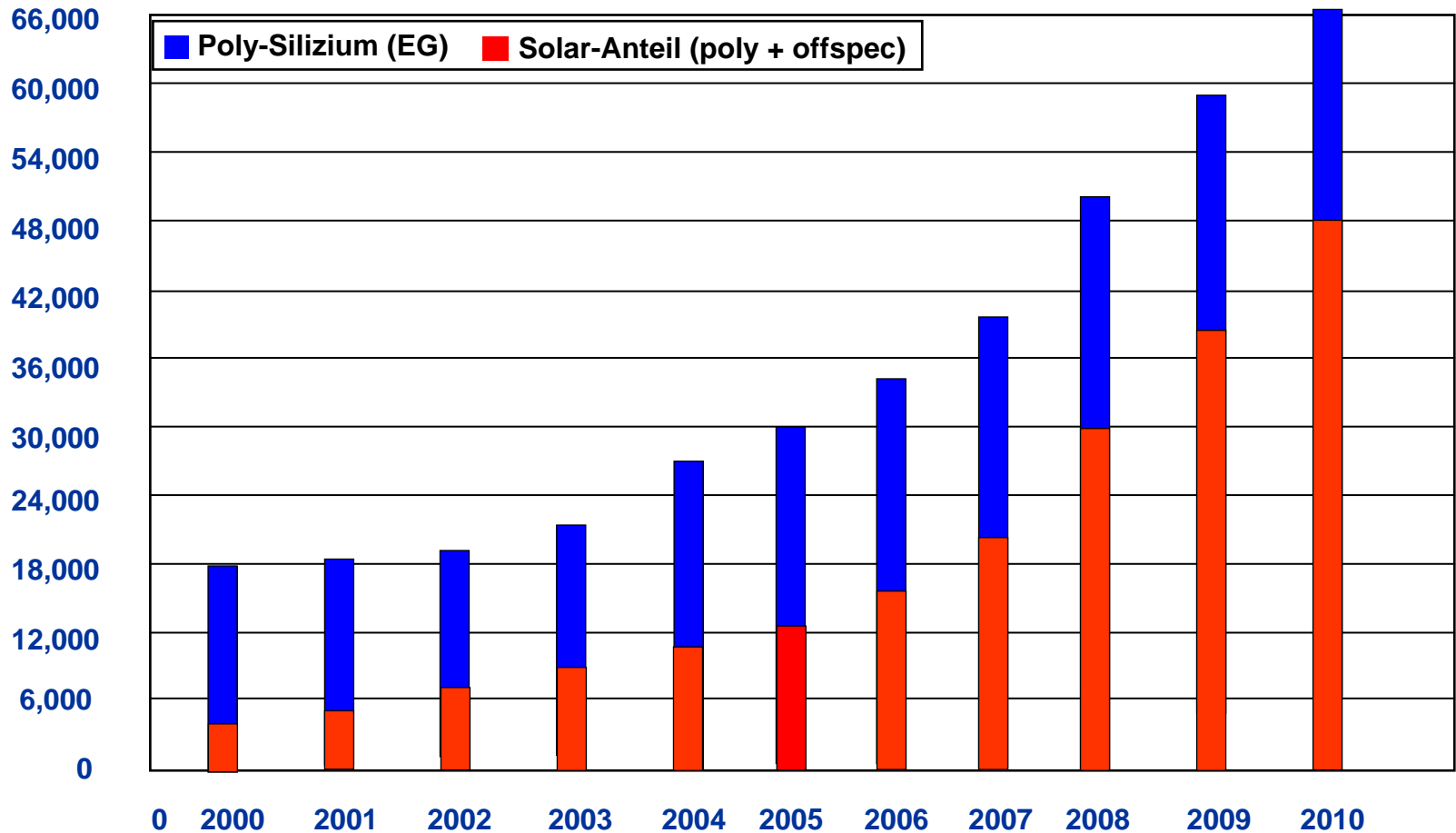
Solarsilizium

- Marktentwicklung
- Technologie
- Perspektiven

- Ausschließliche Nutzung von Abfällen aus der Halbleiterindustrie
(einige 100 to/a)
- Einsatz von Abfällen und poly-Silizium (Überproduktion, Fehlchargen)
(einige 1.000 to/a)
- Gezielte Herstellung von poly-Silizium für die PV-Industrie, Abfälle spielen untergeordnete Rolle
(einige 10.000 to/a und mehr)

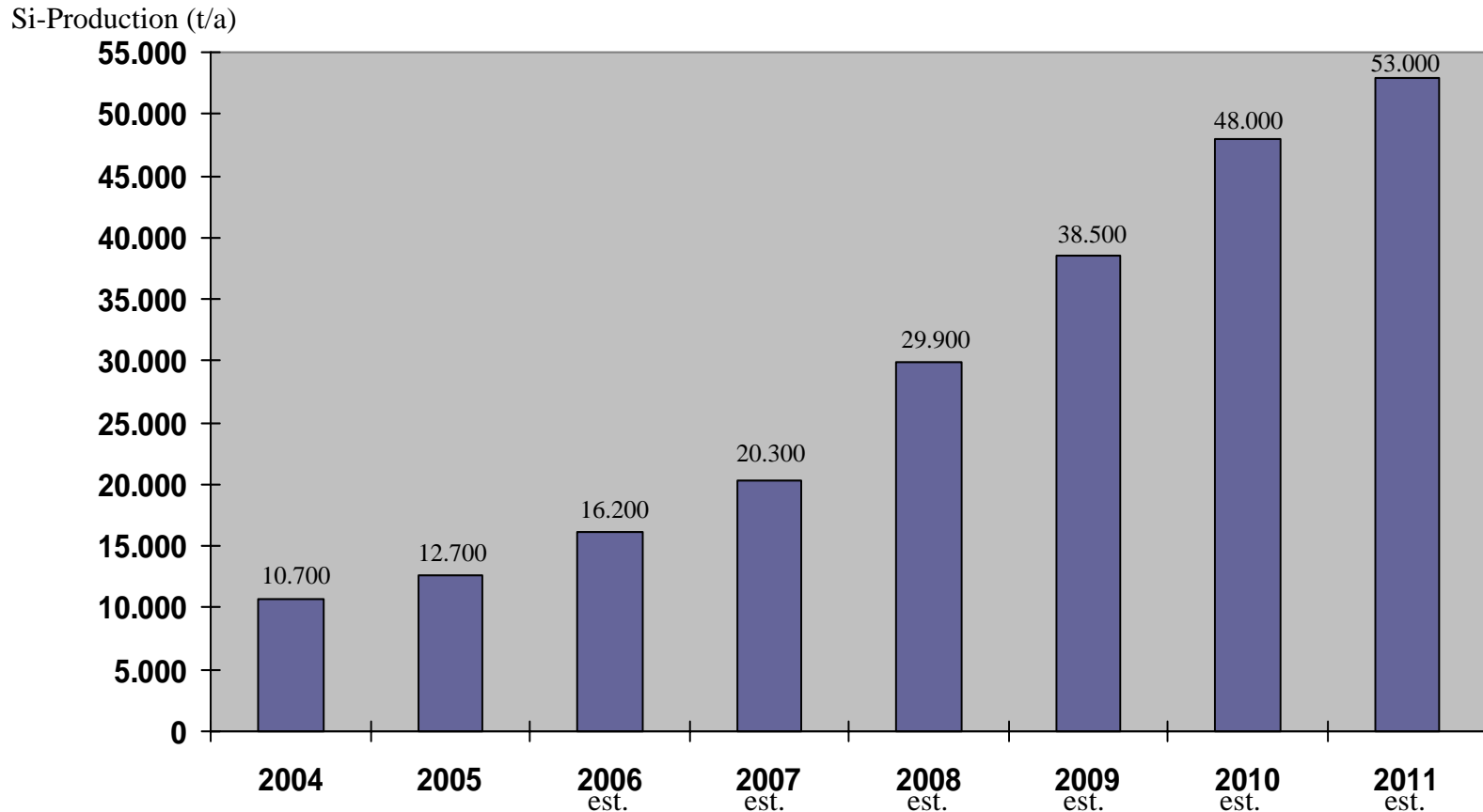
- Derzeit übersteigt der Bedarf deutlich die Produktionskapazitäten
- Wachstum der PV-Industrie durch Siliziumversorgung bestimmt
- Siliziumversorgung wird durch wenige große Hersteller in USA, Europa und Japan beherrscht
- Hohe Preise für Silizium haben PV-Produkte verteuert

Solarzellen werden Halbleiter als Haupteinsatzgebiet für poly-Silizium ablösen



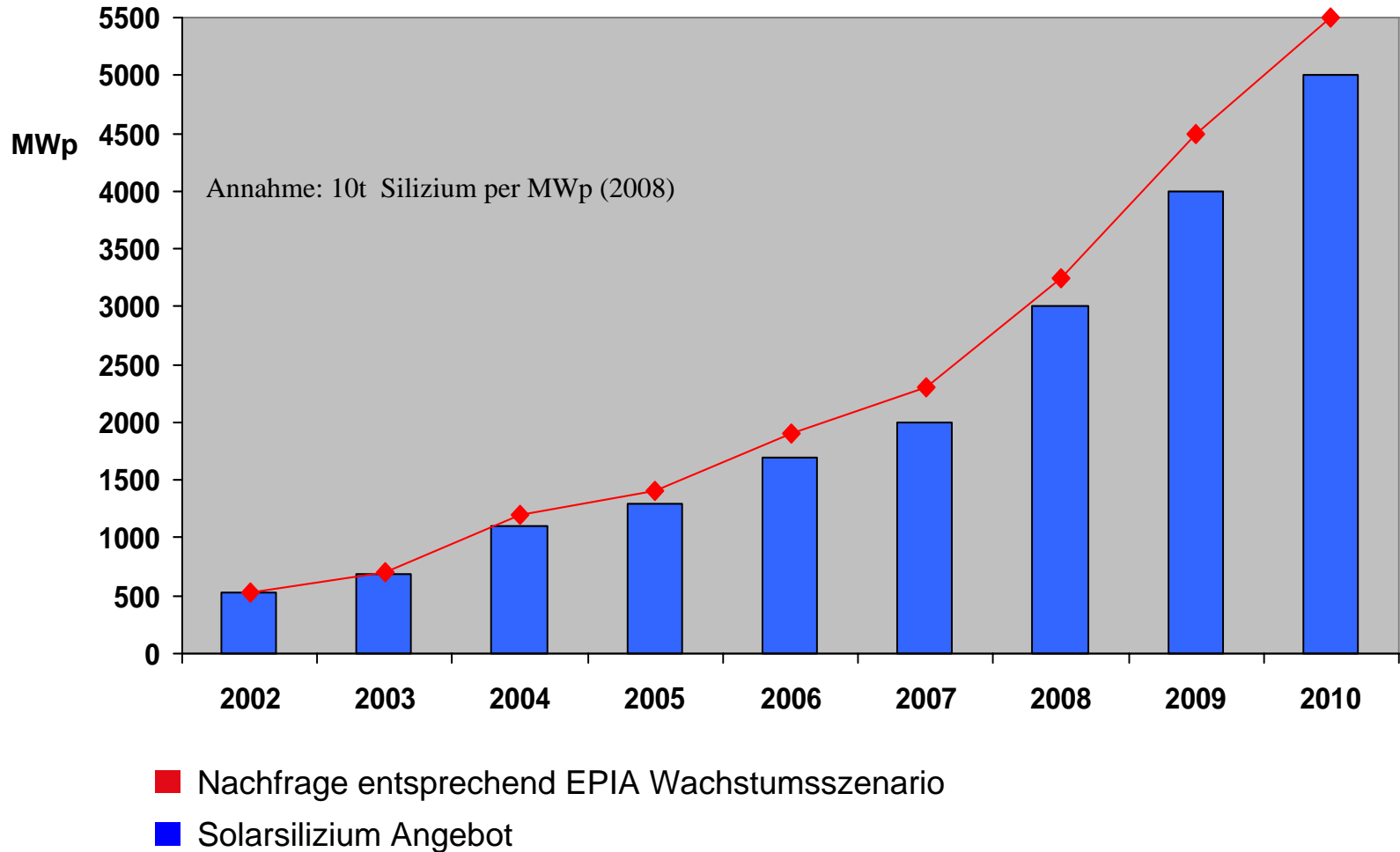
Source: PV Silicon

**Produktionserweiterungen der fünf großen Hersteller beruhen auf den Herstellprozessen für höchstreines Silizium für Halbleiter
In 2008/2009 könnten ca. 30.000 t Silizium für PV zur Verfügung stehen**



Source: PV Silicon

Ausweitung Siliziumproduktion nicht ausreichend für Marktwachstum



Quelle: PV Silicon

Was ist Solarsilizium?

- **Abfall aus der Halbleiterindustrie**
 - Fehlchargen poly-Silizium aus dem Siemens-/Wirbelschichtprozess
 - Einkristall-Endstücke („tops & tails“), Tiegelrückstand (potscrap)
- **Material aus vereinfachtem Siemens-/Wirbelschichtprozess**
- **Material aus direkter Reduktion von Quarz**
 - Aufbereitung von MG-Silizium („metallurgical grade“)
 - Einsatz reiner Einsatzstoffe
- **Material aus anderen Solarsiliziumprozessen**

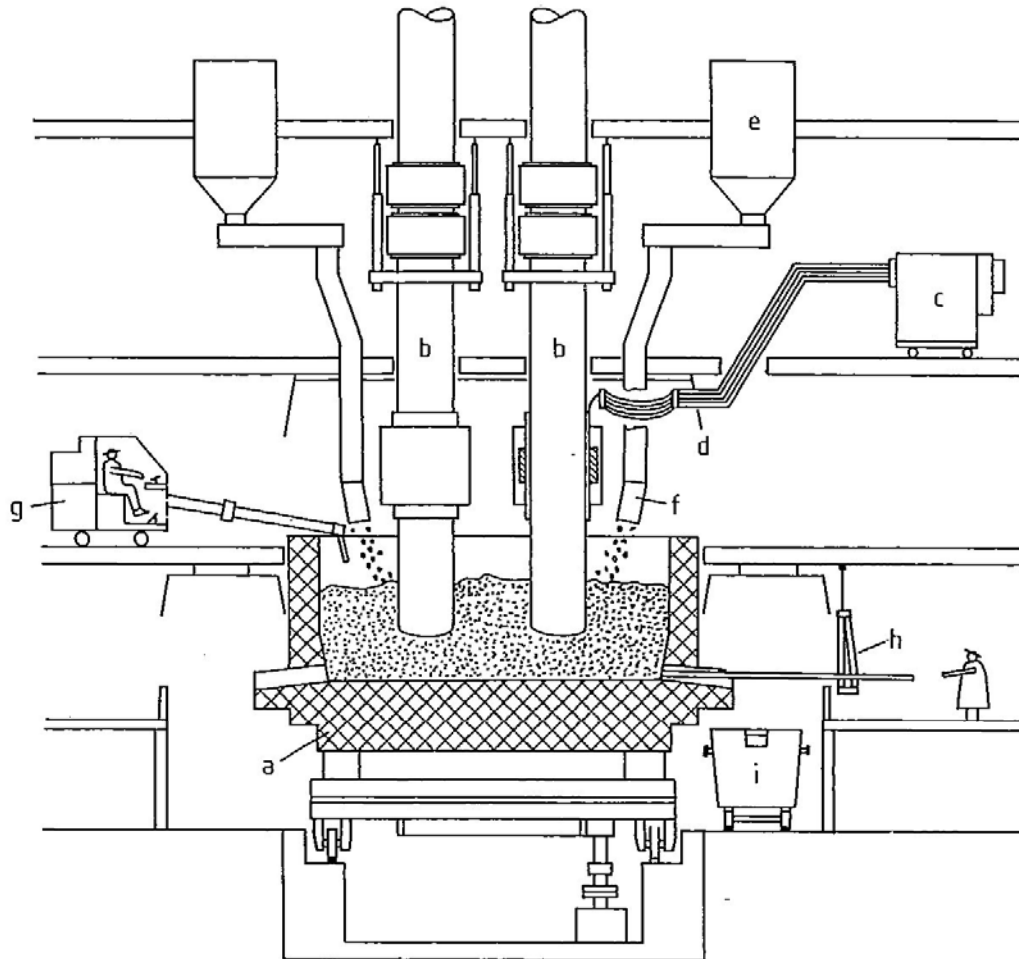
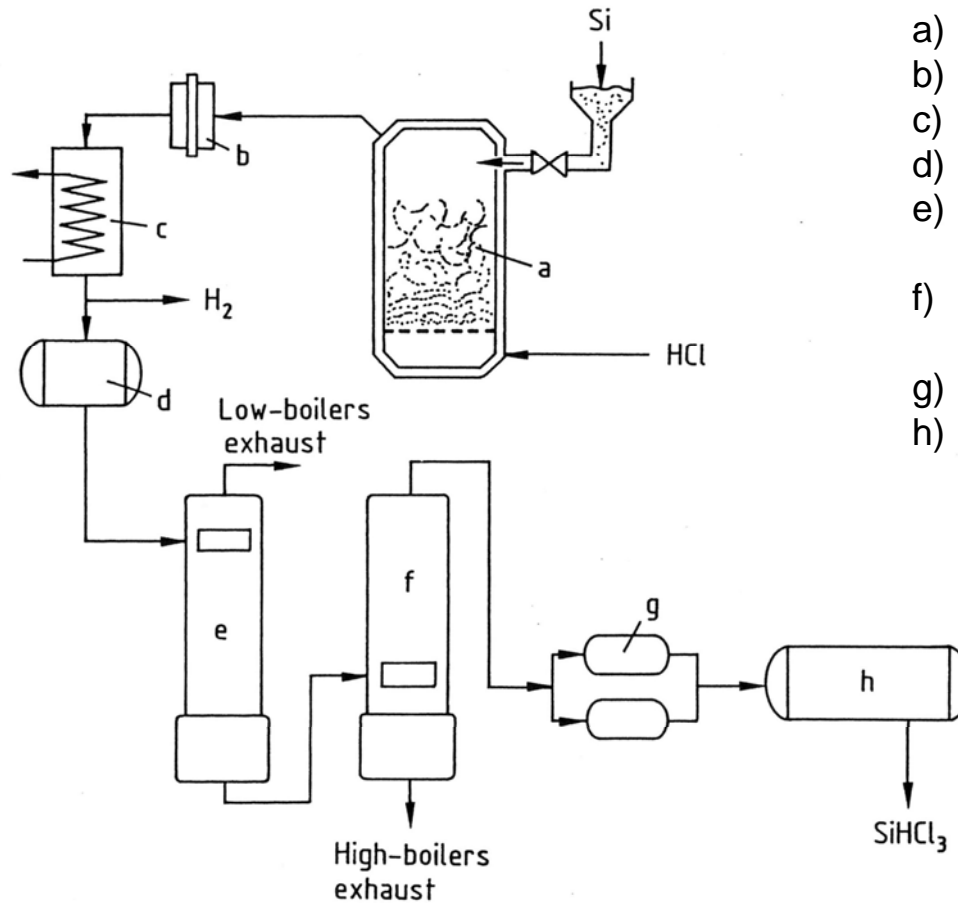


Figure 25. Submerged arc furnace

a) Furnace casing with lining (rotatable); b) Electrodes; c) Transformers; d) Secondary power supply; e) Raw material bunker; f) Charging pipes; g) Stoker machine; h) Burning-out unit; i) Tapping-off ladle



- a) Schichtreaktor
- b) Staubfilter
- c) Kondensator
- d) Tank
- e) Destillation leichtflüchtiger Verunreinigungen
- f) Destillation schwerflüchtiger Verunreinigungen
- g) Tank
- h) Speicher

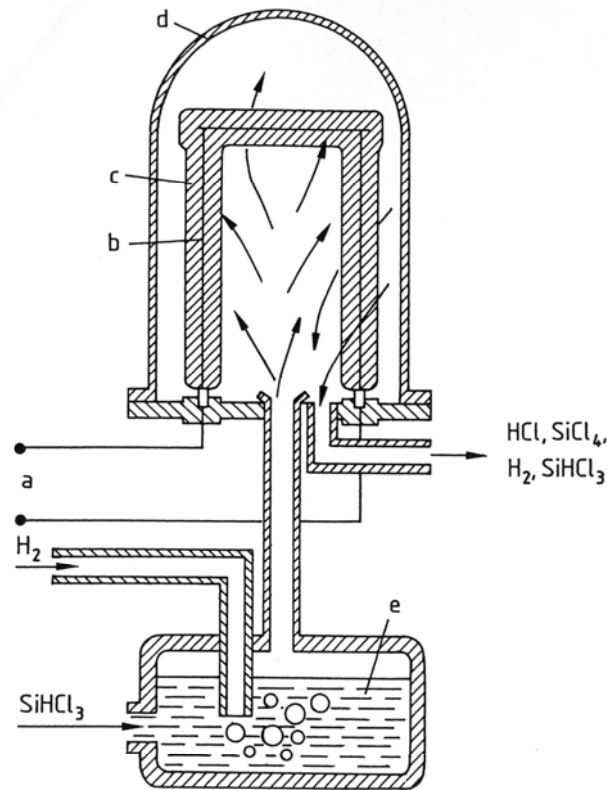
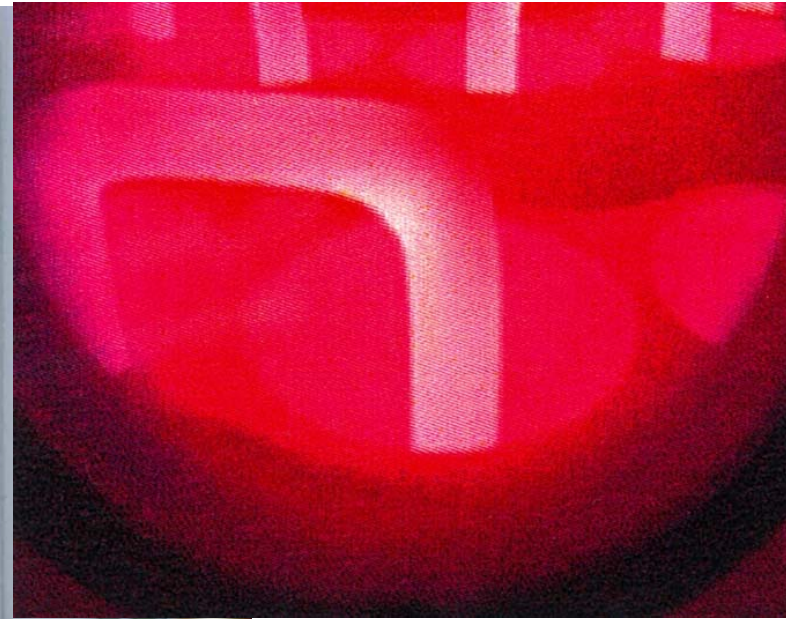


Figure 4. Chemical vapor deposition of silicon
a) Electrical current; b) Starting silicon slim-rod; c) CVD polycrystalline silicon rod (1400 K); d) Reactor (silica, metal); e) Saturator



WACKER **POLYSILICON**



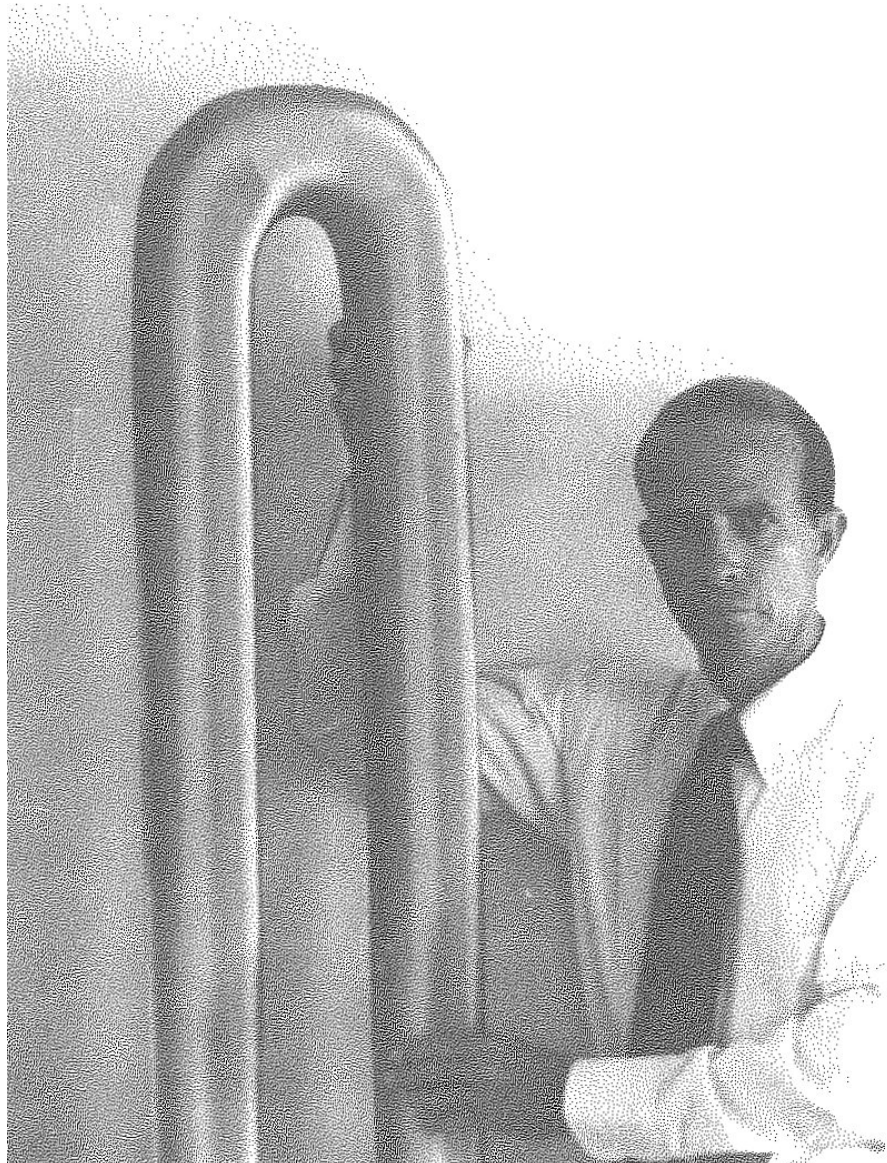
Quelle: REC Silicon





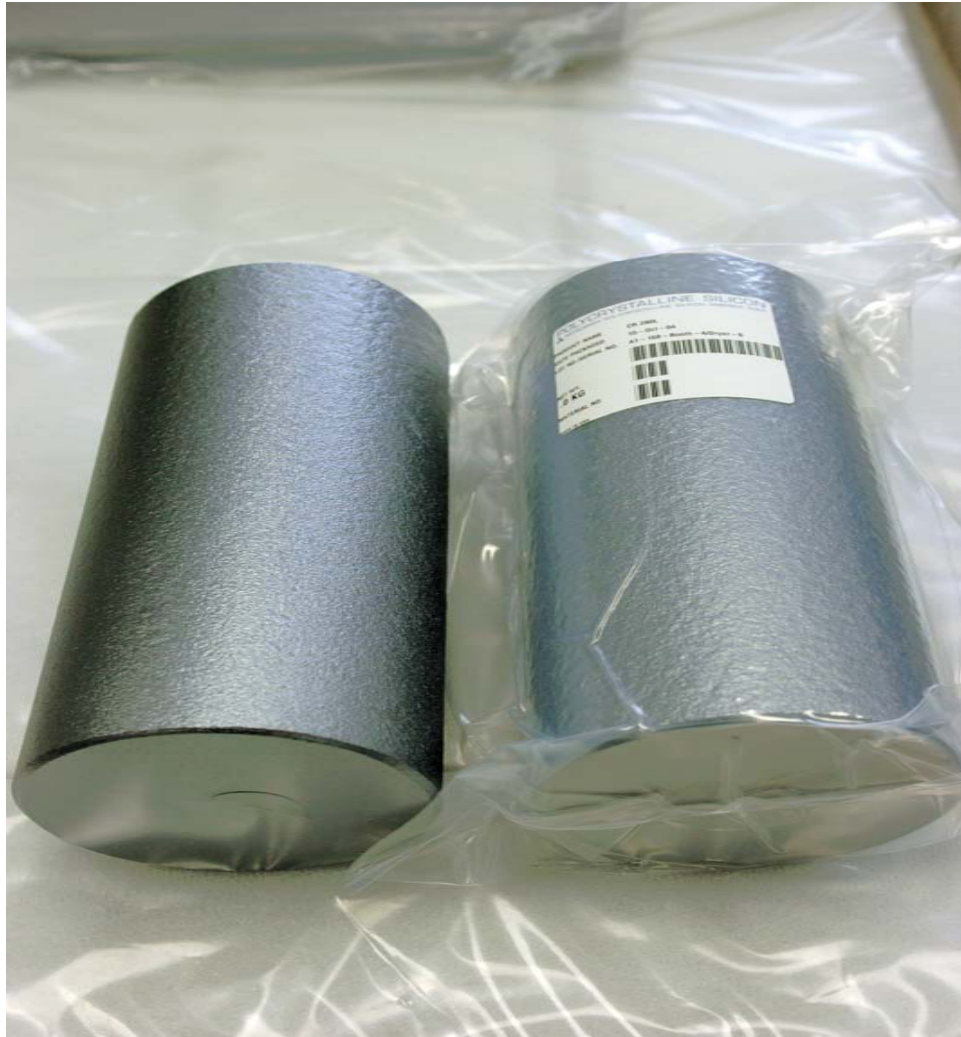
WACKER

POLYSILICON



Quelle: Mara et al. „Handbook of
Semiconductor Silicon Technology“

CZ Short Cut-Rods

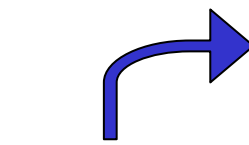
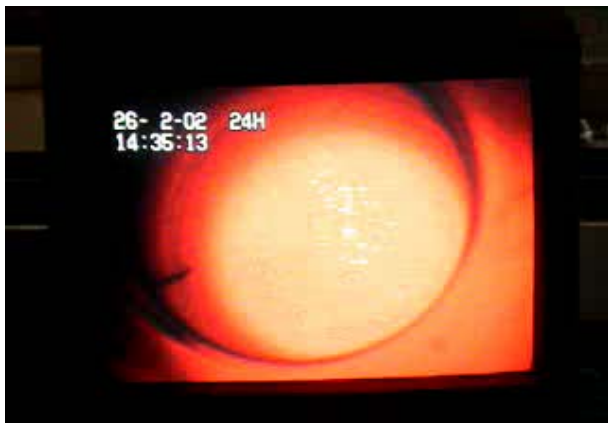




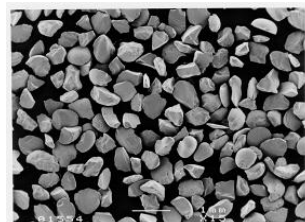
WACKER

POLYSILICON

FLUIDIZED BED GRANULAR DEPOSITION: A CONTINUOUS PROCESS

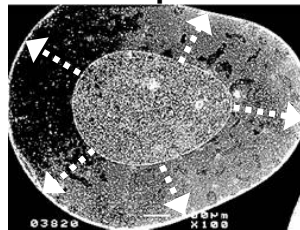


Milling system



Seed particles

← 700 μm →

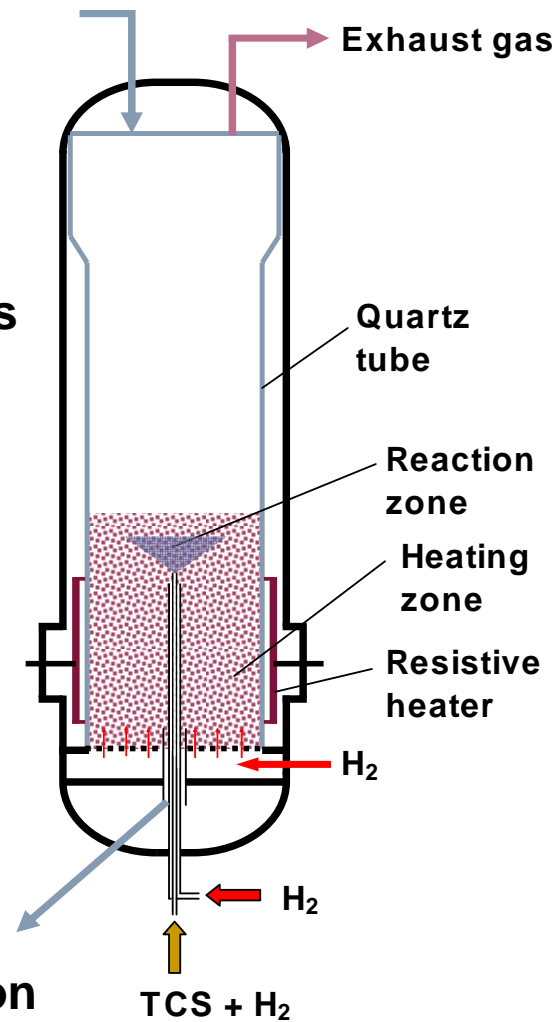
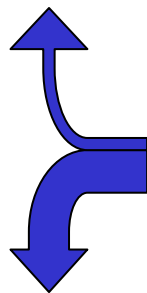


Particle growth



Granular silicon

Packaging



WACKER

POLYSILICON

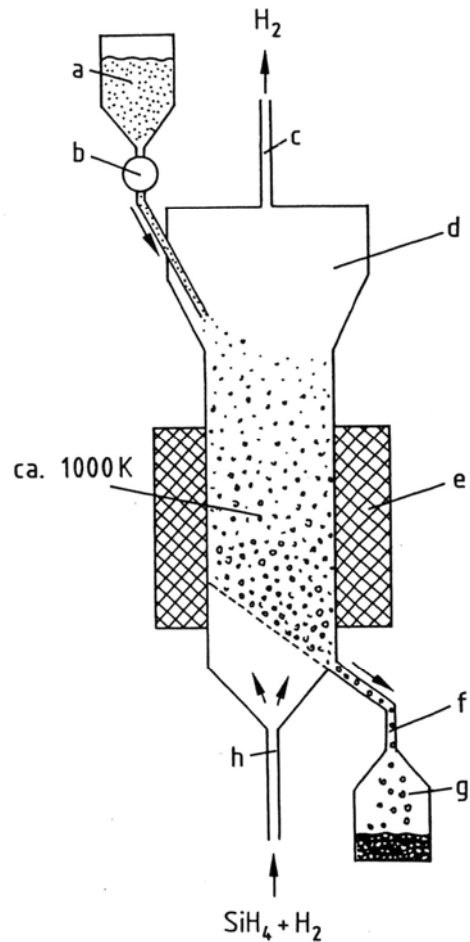
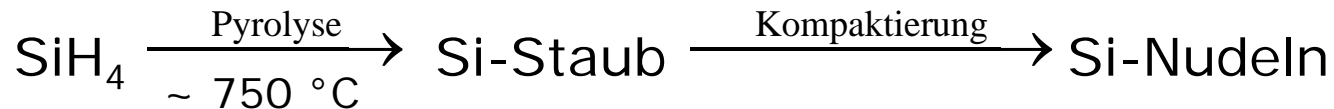
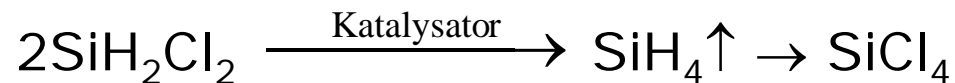
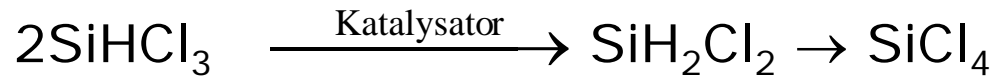


Figure 5. Chemical vapor deposition of granular silicon
a) Silicon powder; b) Powder-feeding device; c) Exhaust;
d) Fluidized-bed reactor; e) Heating (resistance or microwave); f) Removal of coarse silicon granules; g) Container for silicon granules; h) Gas injection

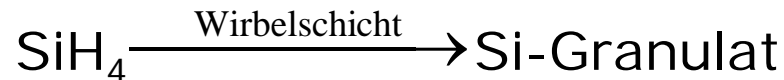
Quelle: Zulehner & Neuer

„Echtes“ Solarsilizium

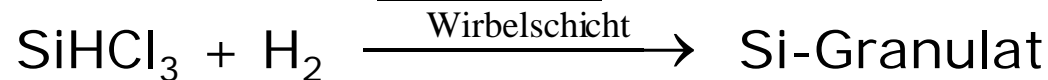
Solar World / Degussa (JSS)



REC (Scanwafer, Asimi)



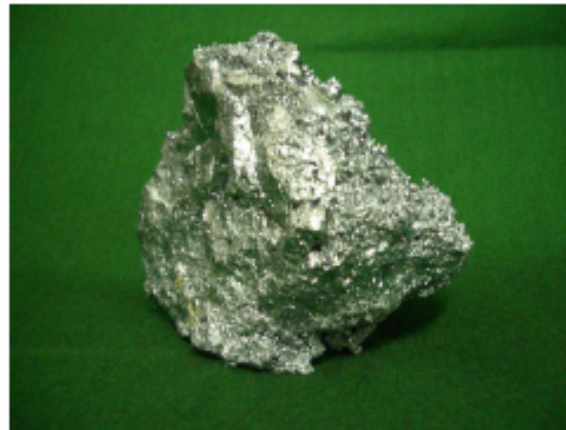
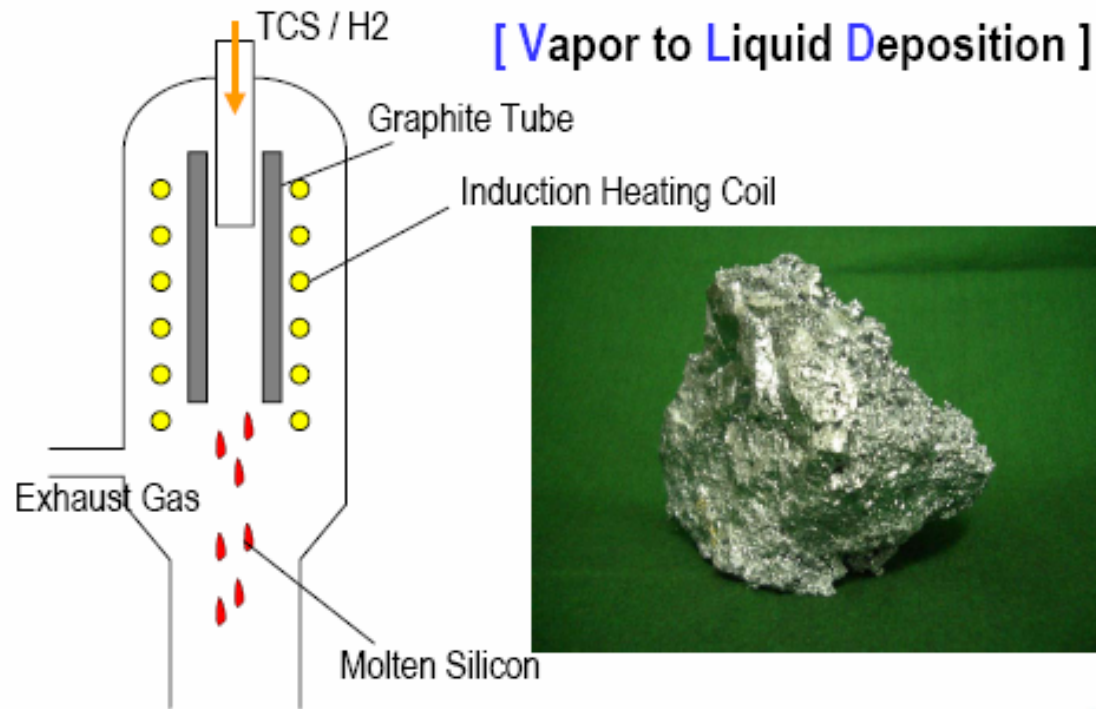
Wacker



Tokuyama



The Si Liquid runs from Reactor Tube just like a Tap Water



„Echtes“ Solarsilizium

Elkem: Aufbereitung von MG-Silizium

Vorteile:

- unbegrenzte Rohstoffe
- niedriger Preis für MG-Silizium

Nachteile:

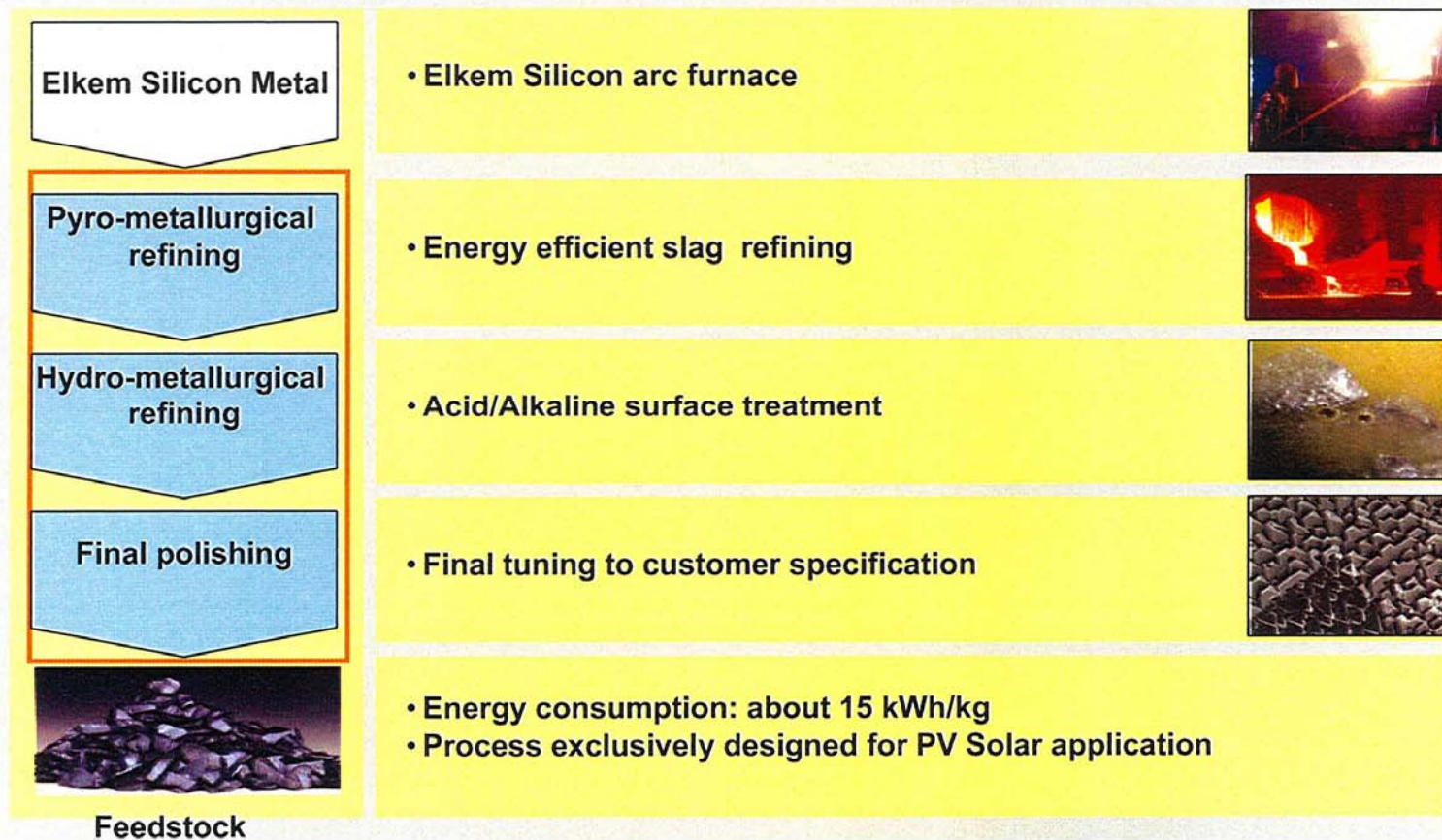
- hoher Verunreinigungspegel, insbesondere der Dotierstoffe B, P, Al, As
- größte Herausforderung: Beherrschung der Dotierung (Kompensation)
- trotz jahrzehntelanger Entwicklung bisher nicht auf dem Markt

Elkem:

- Entwicklung soweit, dass in Fertigungsanlagen investiert werden wird
- Produktion soll 2007/2008 beginnen
- mehrer 1000 Tonnen/Jahr Volumen
- Materialqualität noch nicht allgemein anerkannt

COST EFFICIENT METALLURGICAL REFINING PROCESS

Process capability demonstrated in pilot plant



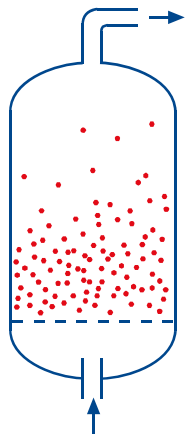
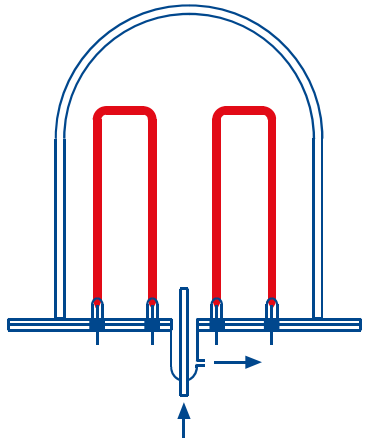
- Neue Hersteller von Solarsilizium notwendig
- Füllen Dünnschichttechnologien die Lücke?
- Es wird kein „billiges“ Solarsilizium geben, deshalb:

Reduzieren des spezifischen Siliziumverbrauchs durch dünne Wafer, hohe Ausbeuten, hohe Wirkungsgrade

Halbierung ist möglich



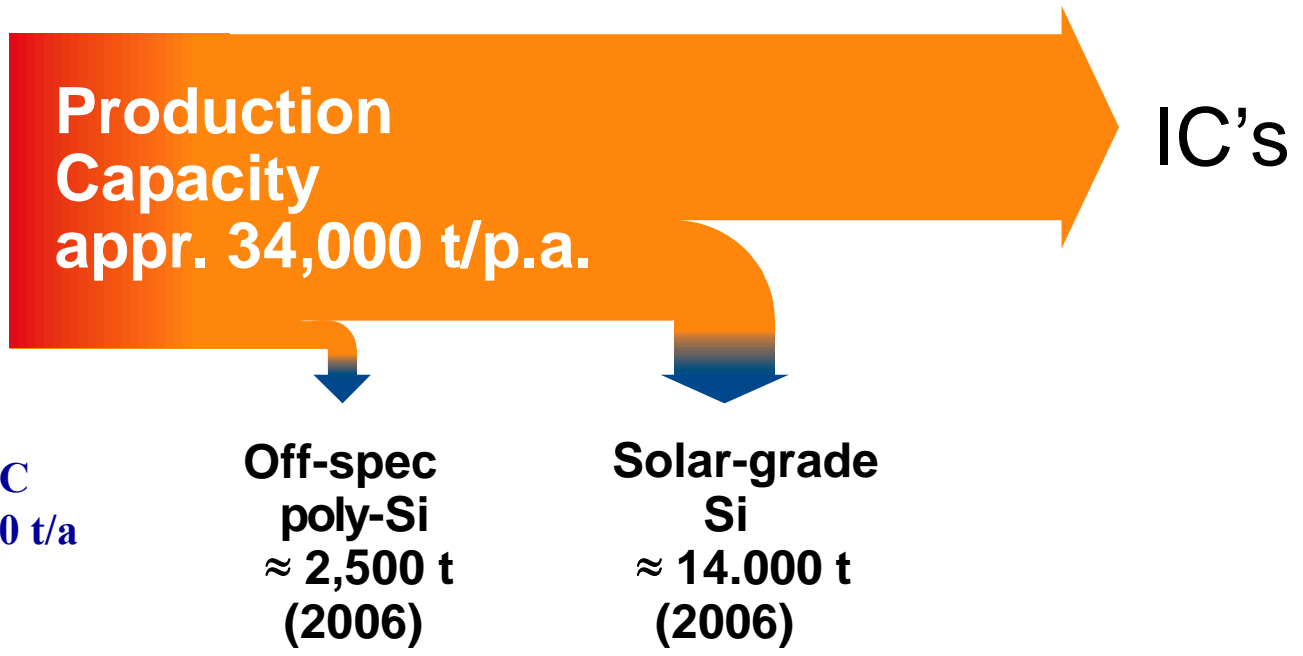
Siemens-type reactor



MEMC
≈ 2.700 t/a

Fluidized bed reactor

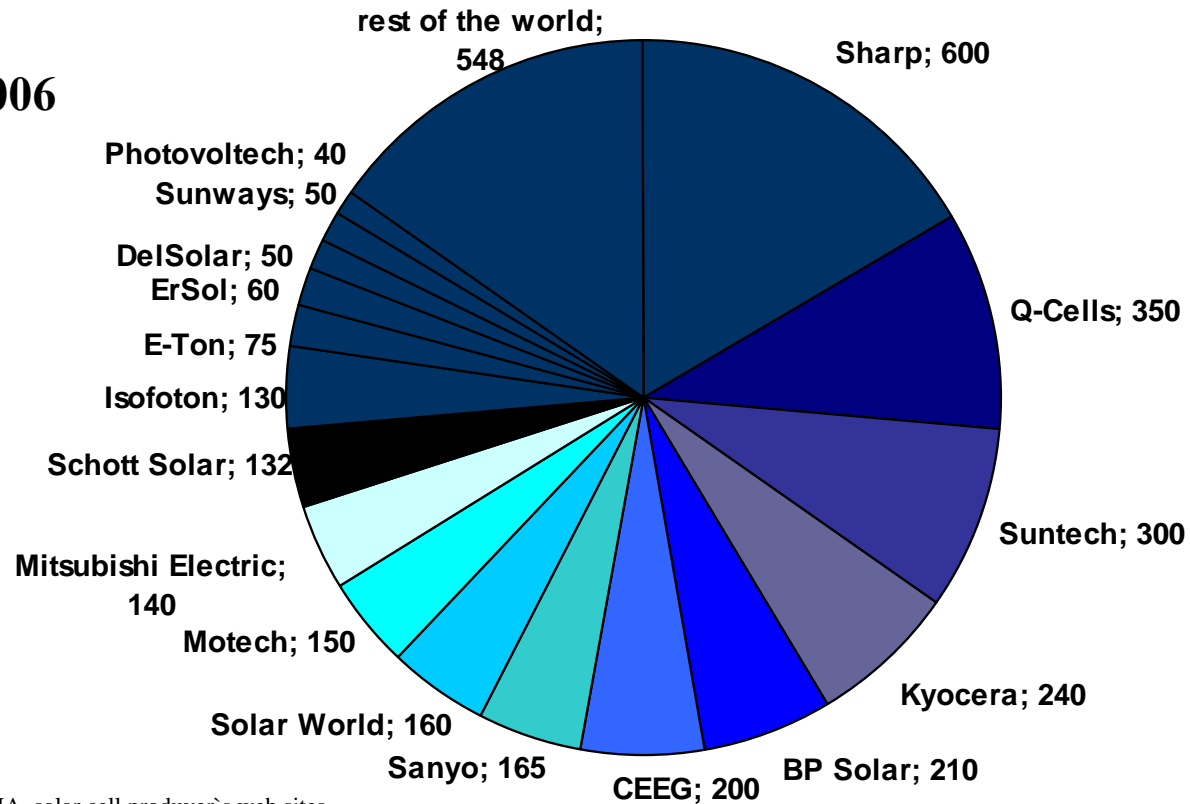
Hemlock:	9.000 t	} Planned capacity 2006
Wacker:	6.500 t	
Tokuyama:	5.400 t	
REC:	5.400 t	



In 2006 we estimate 3.600 MWp of solar cell production capacity to be installed world-wide

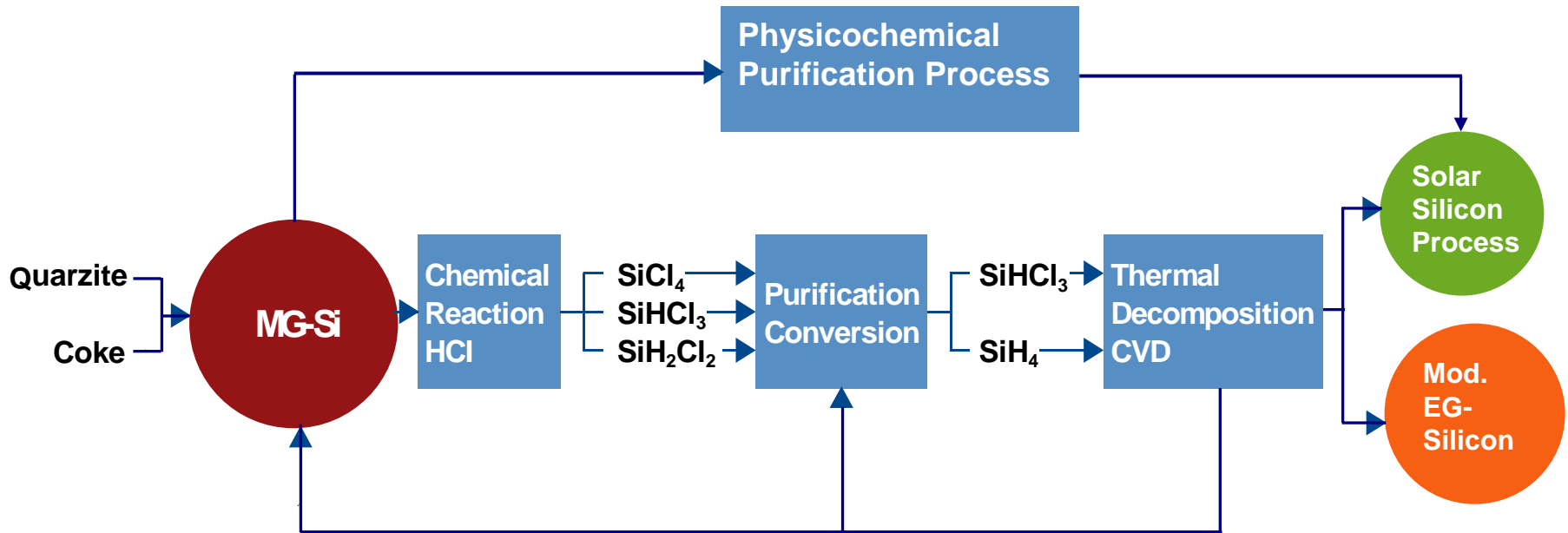
To feed this capacity with wafers requires considerable additional growth of silicon production than what is currently planned.

Prod. Cap. MW 2006



Source: PV Silicon, Photon International, EPIA, solar cell producer's web sites,

Among various silicon production technologies, a stripped-down Siemens-process (PV Silicon process) is the most attractive for solar applications



- **Major new investments for solar go into conventional Siemens-type deposition, modified EG-Si. Capable semiconductor usage.**
- **Fluidized bed reactor appears to offer no advantage compared to mod. Siemens**
- **Purified MG-Si still in pilot stage. High efficiency?**