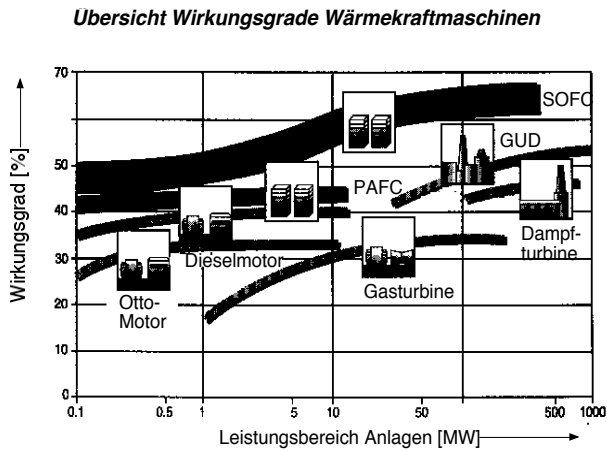


Brennstoffzellen

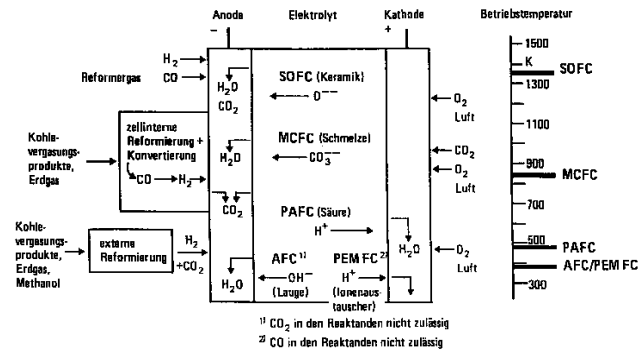
SOFC  
Leistungsanforderung an Zelle



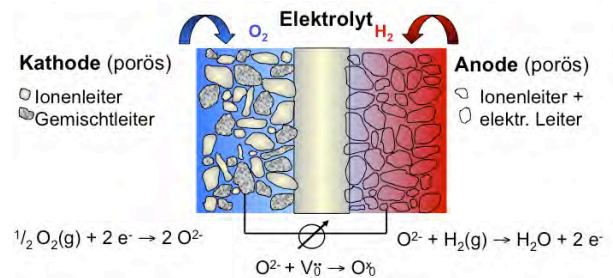
Leistungsanforderung an Zelle

Leistungsdichte	≥ 200 mW/cm <sup>2</sup>
Zellspannung	≥ 700 mV
bei	
Gasdruck	1 bar a
Brenngas	H <sub>2</sub> + CO + CO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O
Oxidationsmittel	<b>Luft</b>
Brenngasnutzung	> 70 %
Lebensdauer	≥ 40000 Std
Alterung (bez. auf Leistung)	≥ 0.5 % / 1000 Std

Übersicht Brennstoffzellen

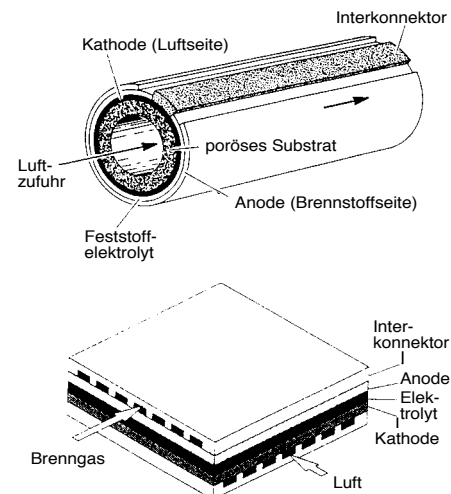


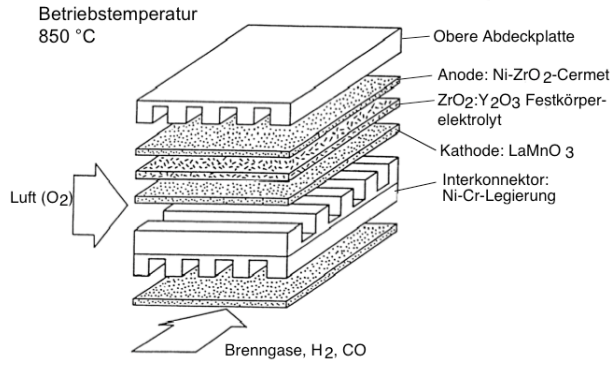
Schema Brennstoffzelle



BZ TYP	Elektrolyt	Elektroden (An./Kath.)	Inter-konnektor	Konstr. Werkstoffe
AFC	KOH in poröser Matrix	Ni/Ag (Pt/Pt)	Ni beschichtet	Inconel, C, Kunststoff
PEFC	protonenleitende Kunststoffmembran	Pt/Pt	Nb, Inconel beschichtet	Inconel, C, Kunststoff
PAFC	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> – Schmelze in SiC-PTFE Matrix	Pt/Pt	C	Inconel, C
MCFC	Li <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> -K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> – Schmelze in LiAlO <sub>2</sub> Matrix	Ni/NiO	Inconel beschichtet	Inconel, Ni, Keramik
SOFC	ZrO <sub>2</sub> + 8mol% Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (YSZ)	Ni-YSZ Cermet / (LaSr)MnO <sub>3</sub>	LaCrO <sub>3</sub> , Cr5Fe1. Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Keramik Cr5Fe1, Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>

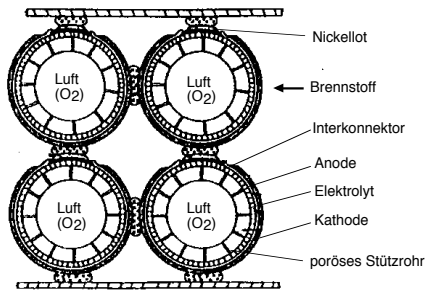
Vergleich planare und Röhrenbrennstoffzelle



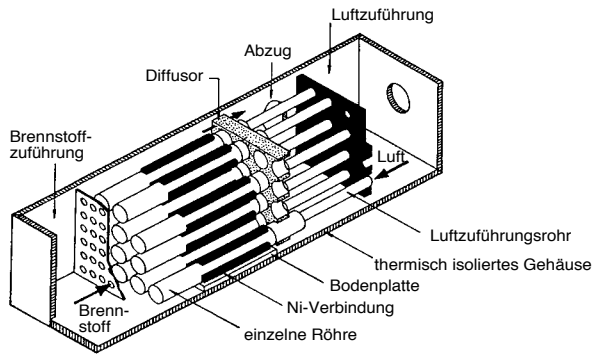


**Brennstoffzelle - Röhrenkonzept (Westinghouse)**

Vorteile: Abdichtung einfacher Nachteile: lange Ladungstransportwege  
geringe Leistungsdichte



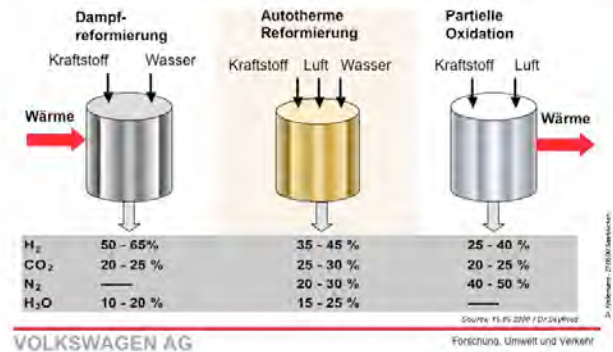
**Westinghouse Röhrenbrennstoffzelle**



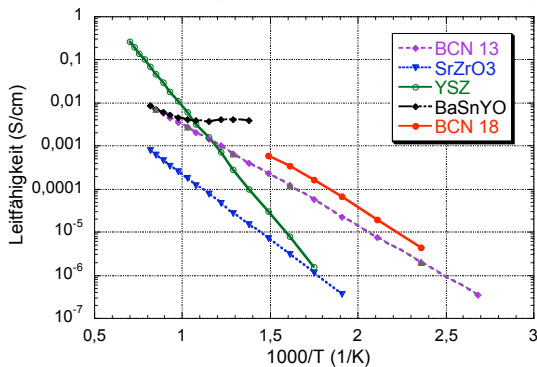
Beispiele für Ionenleiter

Substanz	Leitfähigkeit (S/cm)	Temperatur (°C)
Silber	$7,7 \cdot 10^5$	20
Eisen	$1 \cdot 10^5$	20
LiN <sub>3</sub>	$> 10^3$	20
TiN	$10^3$	20
Polypyrrol	$10^2$	20
a-AgJ	1,5	200
n-Germanium	0,7	20
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0,5	20
β-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	$10^{-1}$	200
50 Cu 50Cu <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub>	$10^{-2}$	50
ZrO <sub>2</sub> :Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (8%)	$2 \cdot 10^{-2}$	800
BCN 18	$8 \cdot 10^{-4}$	500
SiC	$10^{-4}$	1000
Na <sub>2</sub> O,3 SiO <sub>2</sub>	$10^{-5}$	500
ZrO <sub>2</sub> :Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (8%)	$-5 \cdot 10^{-5}$	500
Glas	$10^{-11} \dots 10^{-18}$	20
Bernstein	$10^{-18}$	20

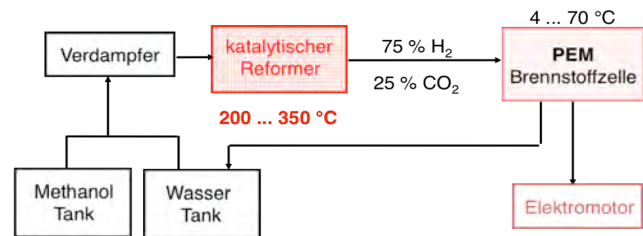
**Reformersysteme**



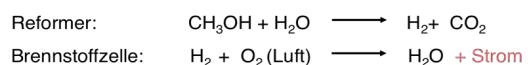
Elektrische Leitfähigkeit verschiedener Festkörperelektrolyte



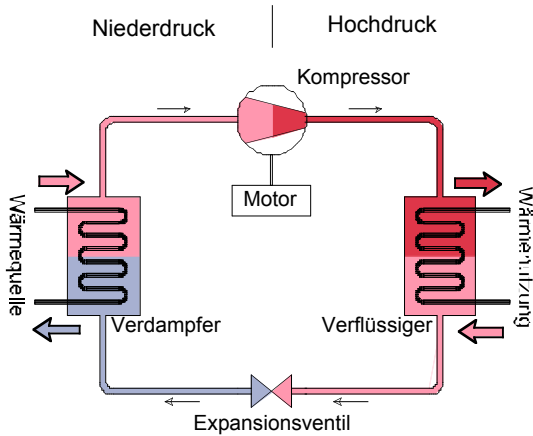
Prinzip Methanol-Brennstoffzellen Antrieb



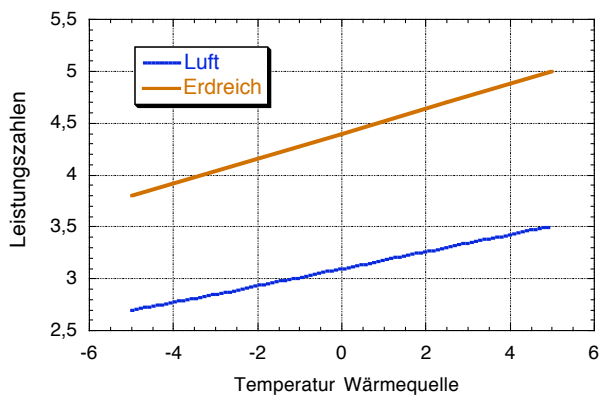
**Chemische Prozesse**



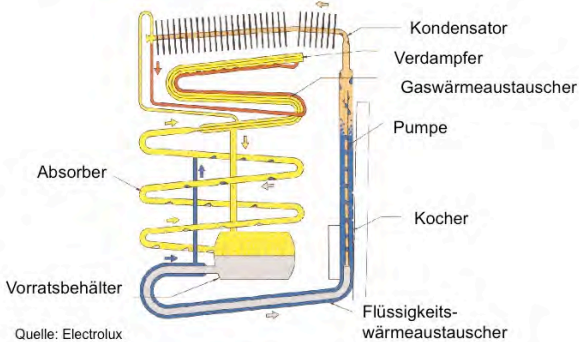
### Wärmepumpen



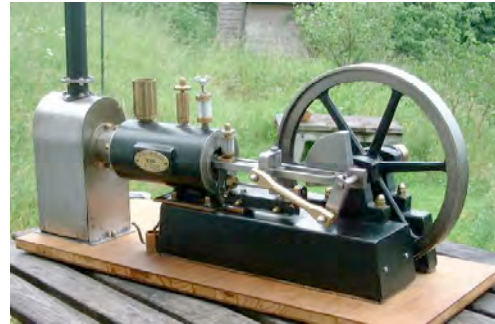
Effektivität von Wärmepumpen (Heizwassertemperatur 40 °C)



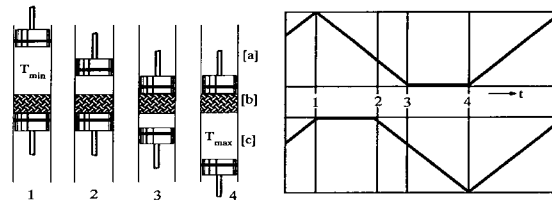
### Absorberkühlschrank



### Stirling Motor



### Stirling Prozess

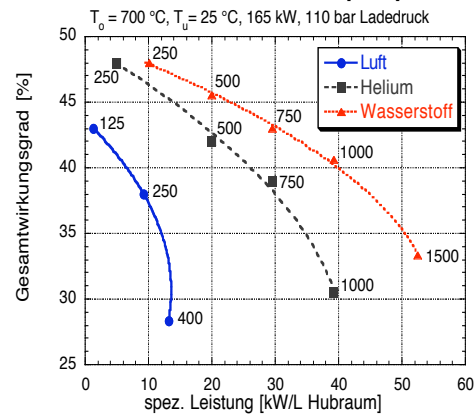


a: Kompressionsraum b: Regenerator c: Expansionsraum

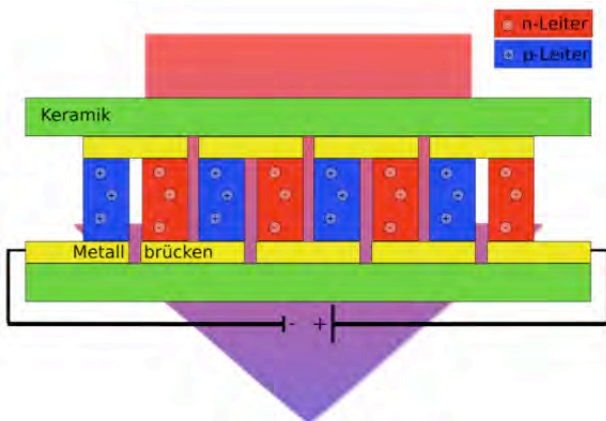
### Zustandsänderungen:

- 1 ... 2 Isotherme Kompression; Wärmeabfuhr nach außen; Arbeitszufuhr von außen
- 2 ... 3 Isochore innere Wärmezufuhr vom Regenerator (Verdrängerkolben)
- 3 ... 4 Isotherme Expansion; Wärmezufuhr von außen; Arbeitsabfuhr nach außen
- 4 ... 1 Isochore innere Wärmeabfuhr an den Regenerator (Verdrängerkolben)

### Gesamtwirkungsgrade des Philips Stirling Motors für verschiedene Drehzahlen [U/min]



### Thermoelektrische Wandler



Peltierelement (schematisch), Quelle: Wikipedia

### Wärme-Kraft-Kopplung

Fernwärme Deutschland (Quelle: Wikipedia)

Größe	Einheit	1992	2005
Unternehmen	Zahl	216	240
Netzlänge	km	14.136	19.284
Hausübergabestationen	Zahl	218.841	324.531
	MW	55.336	52.729
Wärmenetzeinspeisung	TJ/a	349.413	313.902
Wärmenetzeinspeisung	GWh/a	97.060	87.857
Anteil KWK	%	66	83
Anteil Heizwerke	%	37	16
Anteil Abwärmenutzung	%	2	1
Stromerzeugung aus KWK gesamt	GWh	k.A.	35.604
davon aus eig. Anlagen	GWh	22.700	31.103

Fernwärmeleitungen



Quelle: Wikipedia

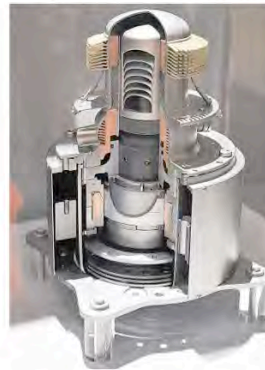
### Kosten kleine Blockheizkraftwerke

Preise 2008 am Markt befindlicher Strom erzeugender Heizgeräte im Leistungsbereich 1-5 kW<sub>elektr</sub>:

Verbrennungsmotor	3.000,- €/kW <sub>elektr</sub>
Dampfmotor	8.000,- €/kW <sub>elektr</sub>
Stirlingmotor	9.000,- €/kW <sub>elektr</sub>
Brennstoffzelle	30.000,- €/kW <sub>elektr</sub>
Ziel	< 5.000,- €/kW <sub>elektr</sub>

Quelle: KS KommunalSysteme für Energie, Umwelt und Verkehr GmbH, Saarbrücken

Stirling Motor für Kleinkraftwerk (Kraft-Wärme-Kopplung)

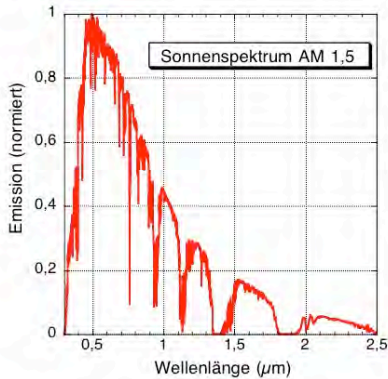


Mikro-KWK:	< 10 kW
Mini-KWK:	< 50 kW
BHKW:	50 kW... 2 MW
Vergleich Wirkungsgrade Strom:	
Brennstoffzelle	30...40 %
Stirling	10...15 %
Gasmotor	20 %

Bild: VDI-Nachrichten Nr. 13 (2010) S. 12

### Solarstrahlung

Nutzung Sonnenenergie



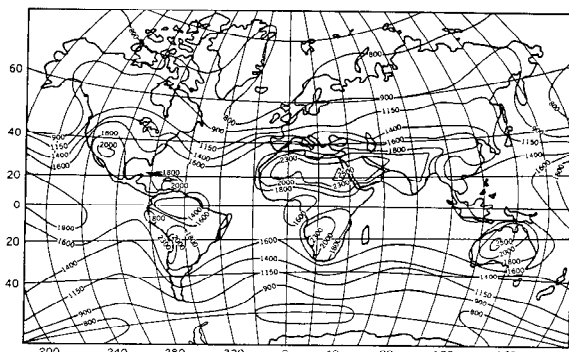
**Nutzung solare Energie:**

Umwandlung in Wärme (Solarkollektor)

$$\eta \leq 0,96$$

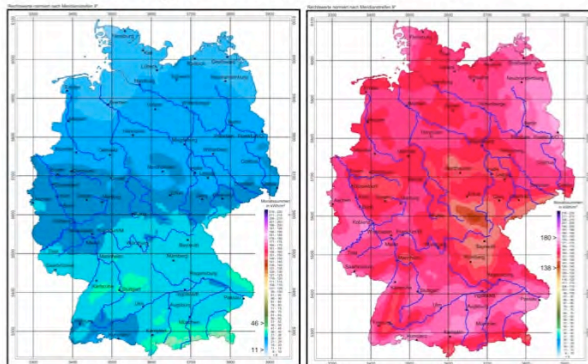
Umwandlung in Strom (Fotovoltaik)

$$\eta \leq 0,25$$

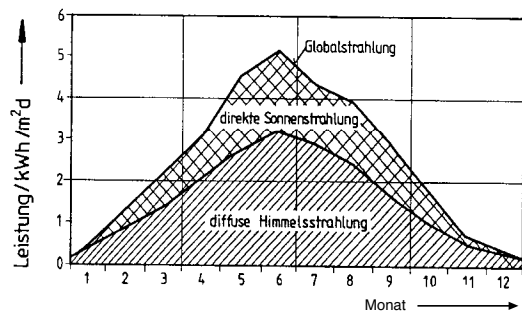


Mittelwert für die globale Sonneneinstrahlung und den direkten Strahlungsanteil für einige ausgewählte Orte in kWh/m<sup>2</sup>a

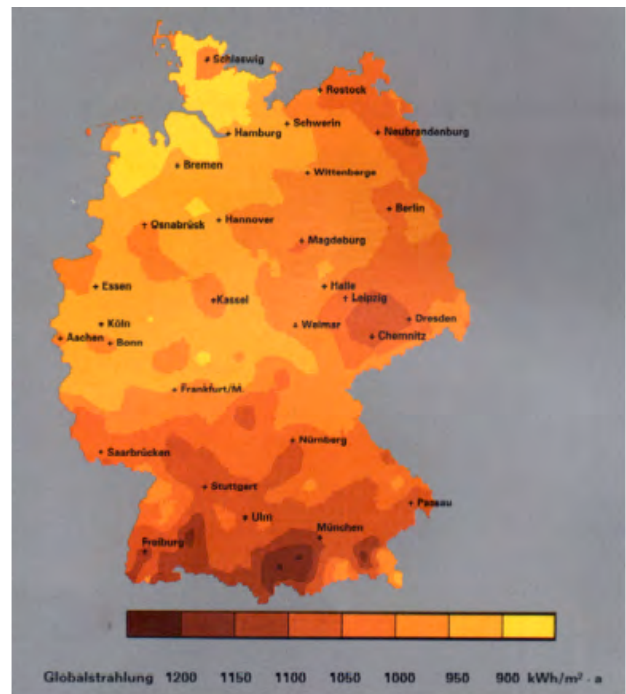
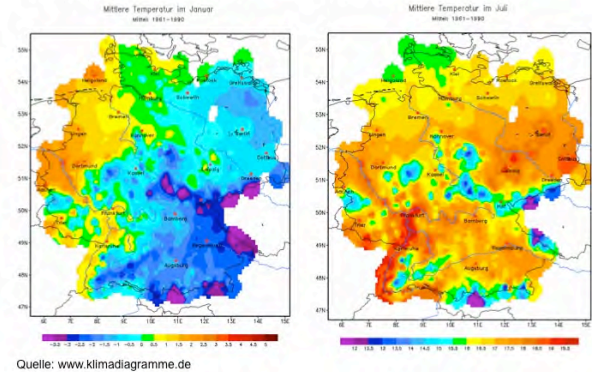
Globalstrahlung Deutschland 2009, Januar und Juli



Jahresgang der Tagessummen der Globalstrahlung in Hamburg (1963-65)



Vergleich mittlere Temperaturen Januar - Juli

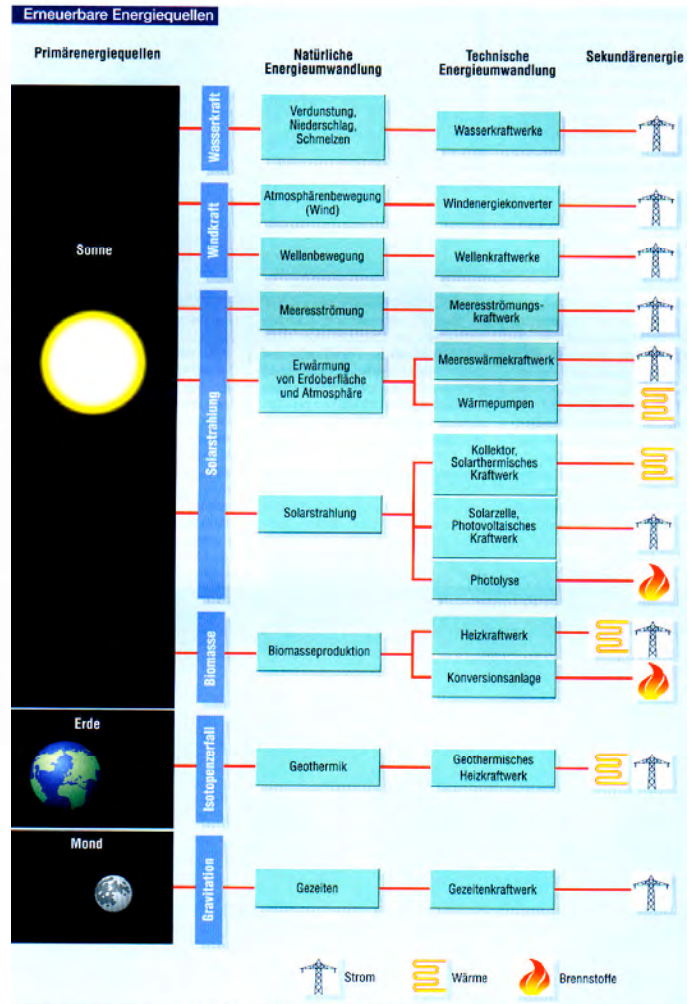
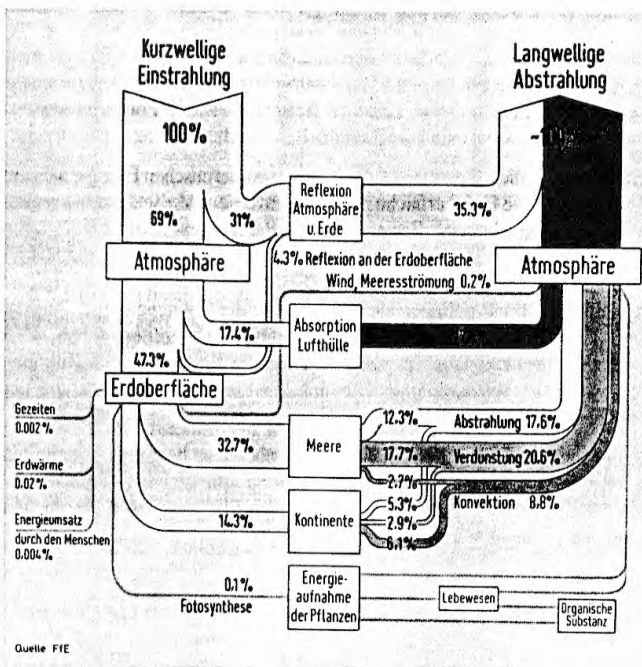


### Leistungsdichte erneuerbare Energiequellen

Wasserkraft	108 kW/m <sup>2</sup>	bei 6 m/s Durchflussgeschwindigkeit
Wellenenergie	14,5 kW/m <sup>2</sup>	je m Wellenfront, Wellenhöhe 1,5 m
Wind	0,13 kW/m <sup>2</sup>	bei 6 m/s; bei 20 m/2: 1,04 kW/m <sup>2</sup>
Sonnenstrahlung	1,25 kW/m <sup>2</sup>	in den Tropen;
	1,04 kW/m <sup>2</sup>	in D (AM 1,5);
Gezeitenströmung	0,002 kW/m <sup>2</sup>	

zum Vergleich:

Kohlekraftwerk	500 kW/m <sup>2</sup>	Wärmestromdichte an Berührung
Kernkraftwerk	650 kW/m <sup>2</sup>	Wärmestromdichte an Brennelement-Hüllrohr



Mittelwert für die globale Sonneneinstrahlung und den direkten Strahlungsanteil für einige ausgewählte Orte in kWh/m<sup>2</sup>a

Ort	Globalstrahlung	direkter Strahl
Albuquerque	3250	2630
Almeria	3107	2580
Nizza	2405	1790
Rom	2280	1664
Athen	2268	1622
Stuttgart	1729	1167
Zürich	1653	1089
Hamburg	1497	970

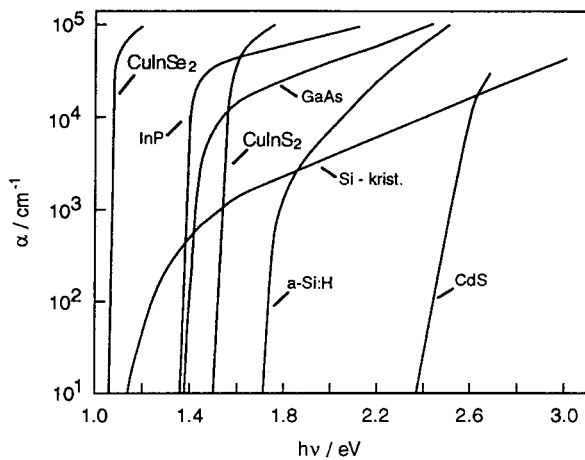
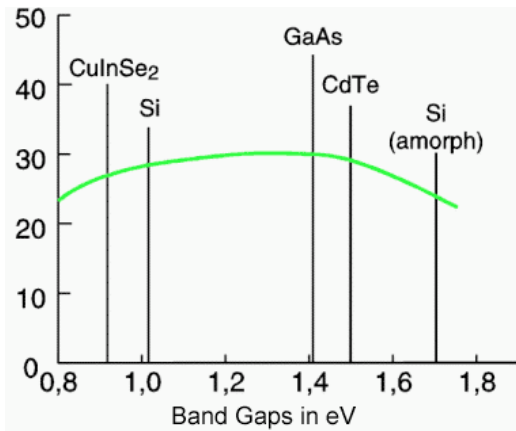
### Photovoltaik



Pumpstation in Jordanien, betrieben mit Solarzellen

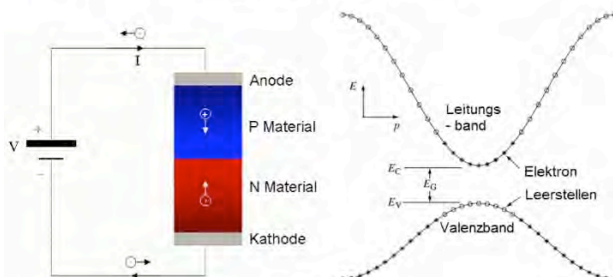


Solarzellenfertigung (Schott)

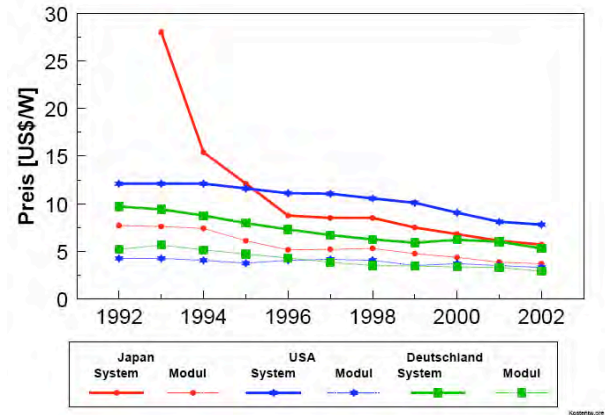


Fotoelektrischer Effekt - Prinzip

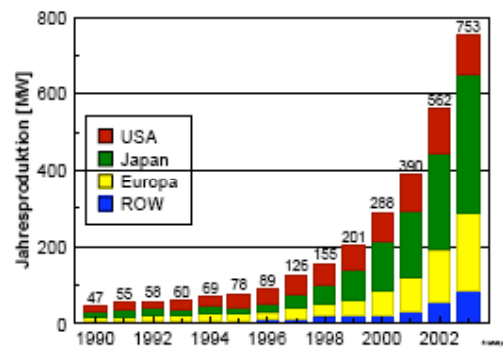
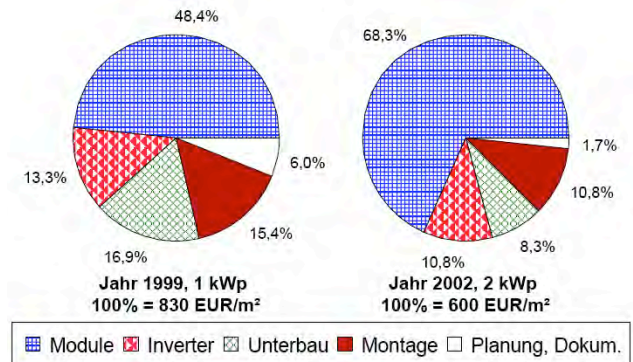
Durch die Absorption eines Photons wird ein freies Elektron im Leitungsband generiert. Dies wird durch das E-Feld im p-n Übergang separiert.



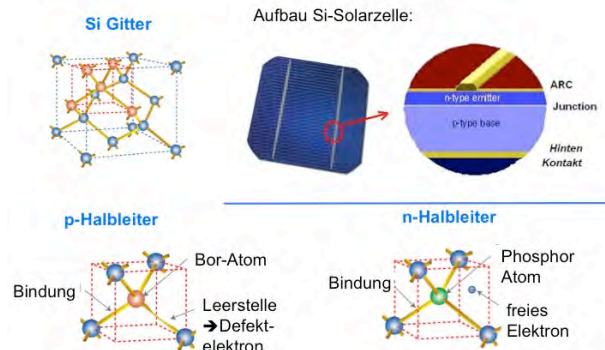
Preisentwicklung Si-Solarmodule

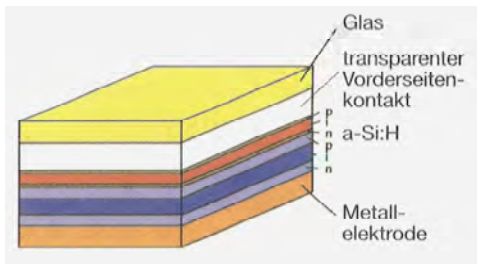


Kostenstruktur kleine PV-Anlagen

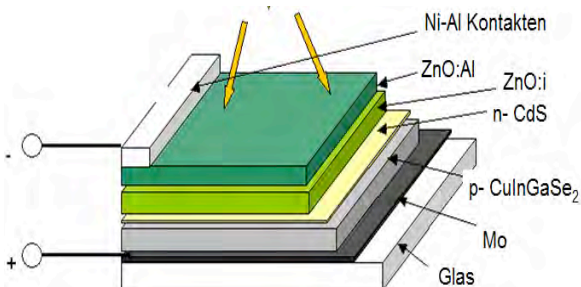


Si-Solarzelle

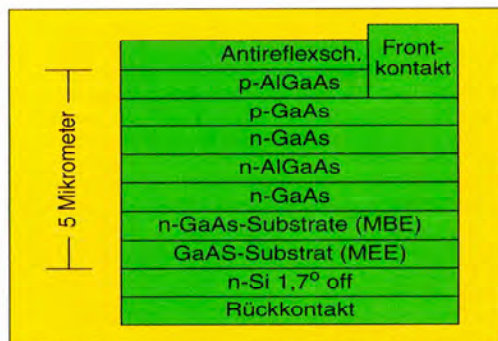




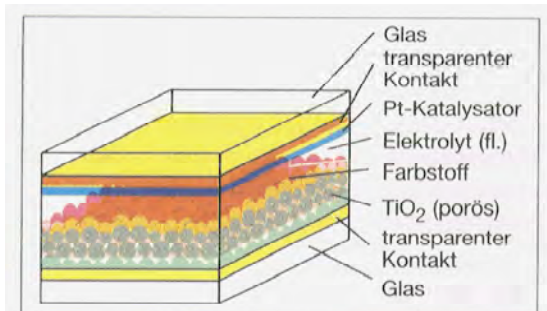
pin-a-Si:H-Solarzelle



CIS-Zelle



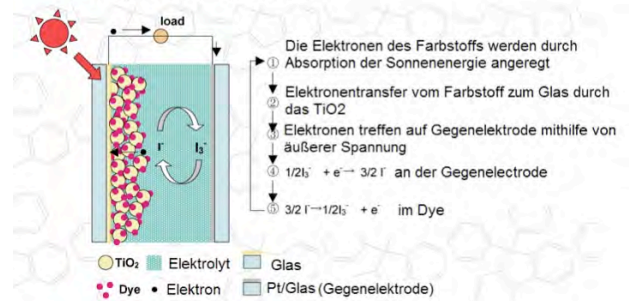
GaAs-AlGaAs-Solarzelle



Grätzel Zelle

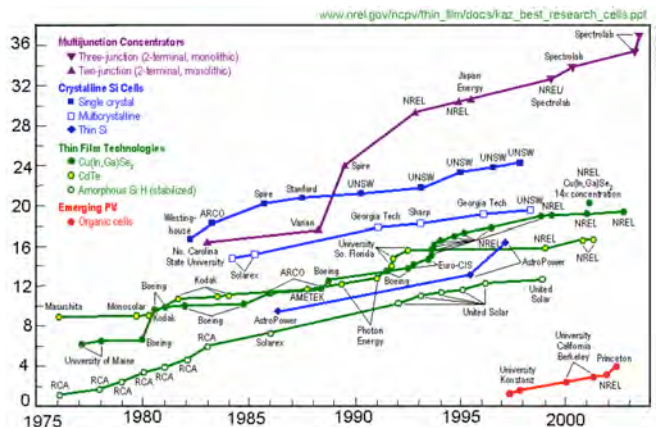
Grätzel-Zelle

- Bester Wirkungsgrad im Labor 11%
- kein p-n Übergang im Material

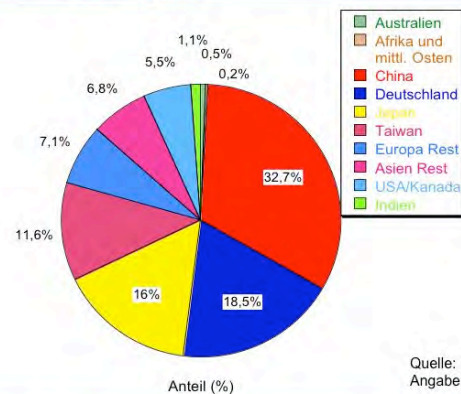


	Siliziumtechnologie			CIS	
	mono-Si	multi-Si	Dünnschicht (Tandem)	CuInSe <sub>2</sub>	CuInS <sub>2</sub>
<b>Laborzellen</b>					
kleinflächig (ca. 1 cm <sup>2</sup> )	24,7%	20,3%	11-12%	19,3%	13%
großflächig (ca. 150 cm <sup>2</sup> )	21,5%	17,6%	-	-	-
<b>Modulproduktion gegenwärtig</b>					
erreichte Bestwerte	17%	14,5%	8-9% (Prototyp)	12%	-
gut/typisch	13,5%	13%	-	11%	8,5% (projektiert)
<b>Modulproduktion, Zukunft</b>					
in ca. 10 Jahren	20%	18%	9-12%	15%	15%
in ca. 30 bis 40 Jahren	22%	22%	-	20%	-

Wirkungsgrad von PV-Modulen



Solarzellenherstellung 2008

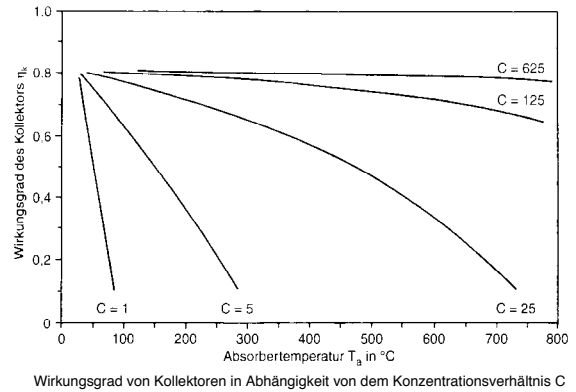


Quelle: Photon Angaben gerundet

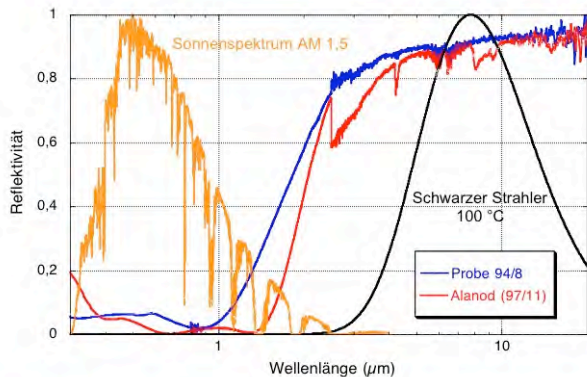
## Solarthermie

### Historische Eckdaten Solarthermie

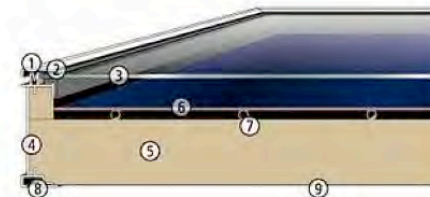
- 2000 Ägypten: Spiegel für Kellererwärmung
- 400 Städte in Griechenland werden nach Sonnenstand geplant
- 1866 solar betriebene Dampfmaschine
- 1868 Sonnenofen
- 1872 solare Mehrwasserentsalzungsanlage (Charles Wilson, GB)
- 1891 Patent auf solare Heißwasserbereitung
- 1907 Parabolrinnen-Kollektor (Wilhelm Mayr, Adolph Remshardt)
- 1954 Selektive Beschichtung
- 1964 Solarturm Anlage
- 1981 Eurelios Solarturmanlage
- 1984 Solarthermisches Kraftwerk SEGS 1, 14 MW, Kalifornien



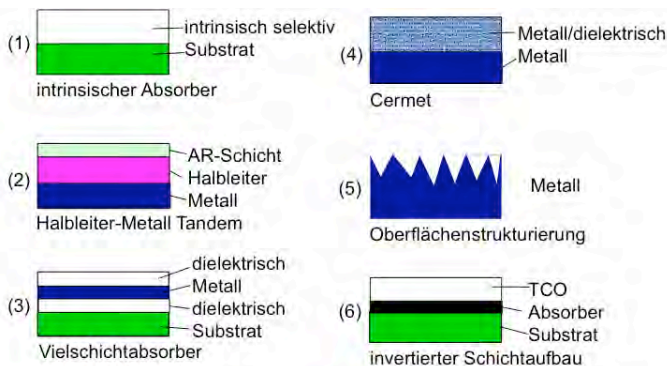
### Selektive Absorber für Solarthermie



### Aufbau Flachkollektor



- 1 Rahmen
- 2 Dichtung
- 3 transparente Abdeckung
- 4 Rahmen Seitenwandprofil
- 5 Wärmedämmung
- 6 Vollflächenabsorber
- 7 Kühlmittelkanal
- 8 Befestigungsnut
- 9 Rückwand



### Vakuum-Röhrenkollektoren



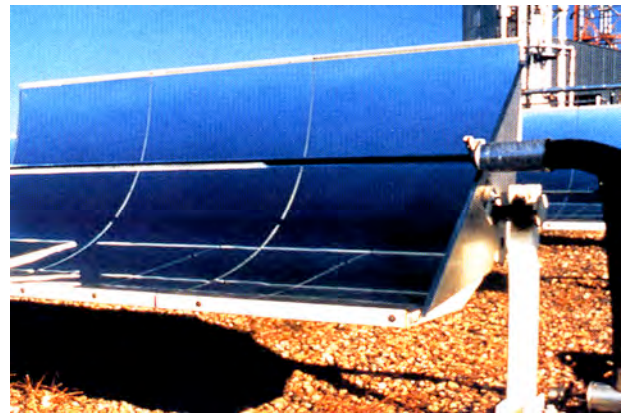


Fertigung Schott

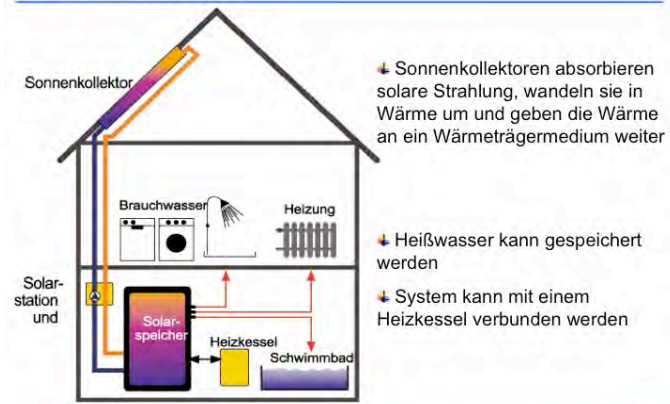


Solarautarkes Haus, Philips Aachen 1975

Solarthermisches Kraftwerk mit Parabolspiegel



Warmwasser Haus

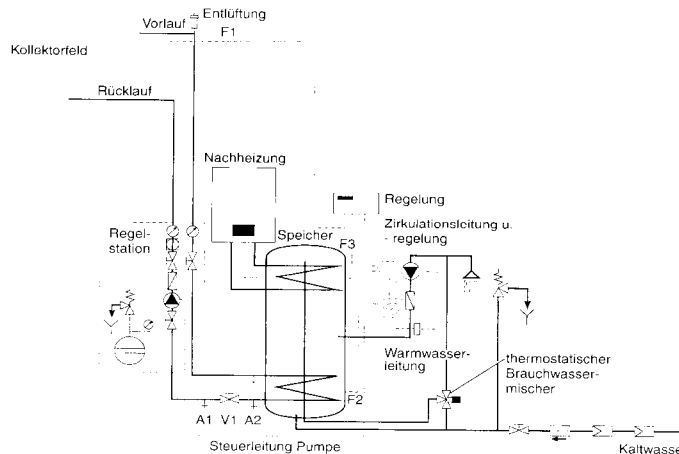


Parabolrinnen-Solarkollektor Almeria DLR (1)



Bild: DLR, Stuttgart

Parabolrinnen-Solarkollektor Almeria DLR (2)

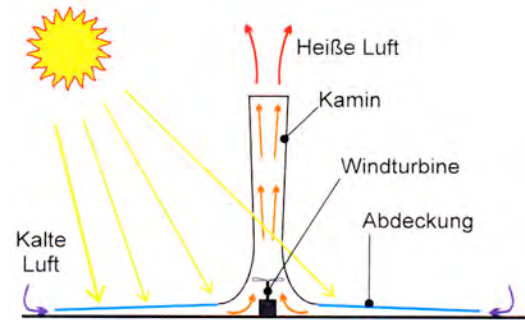


Schaltbild solare Brauchwasseranlage mit Armaturen und Regelung

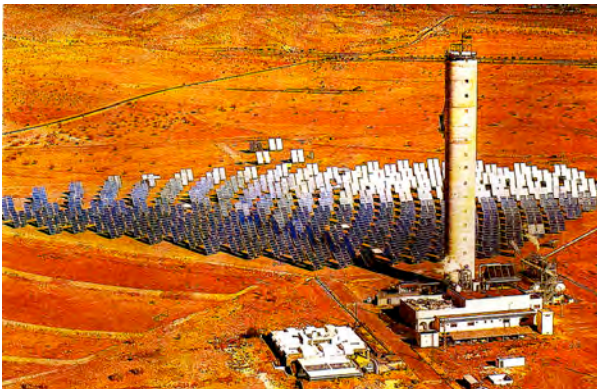
Latentwärmespeicher Almeria DLR



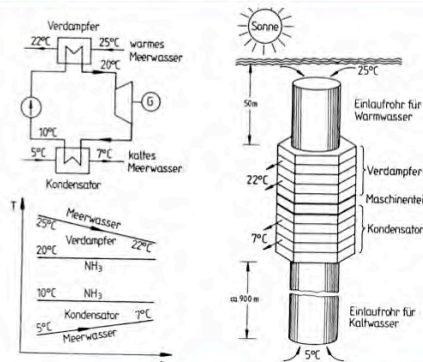
Heliostaten mit Stirlingmotor



Solarthermisches Kraftwerk in Almeira (Spanien)



OTEC Anlage



Zukunft Photonenfusion?

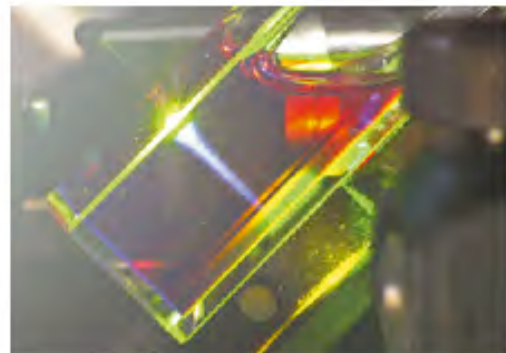


Bild: MPI Polymerforschung Mainz, 9. Okt. 2006

ENDE