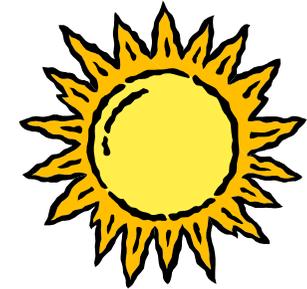


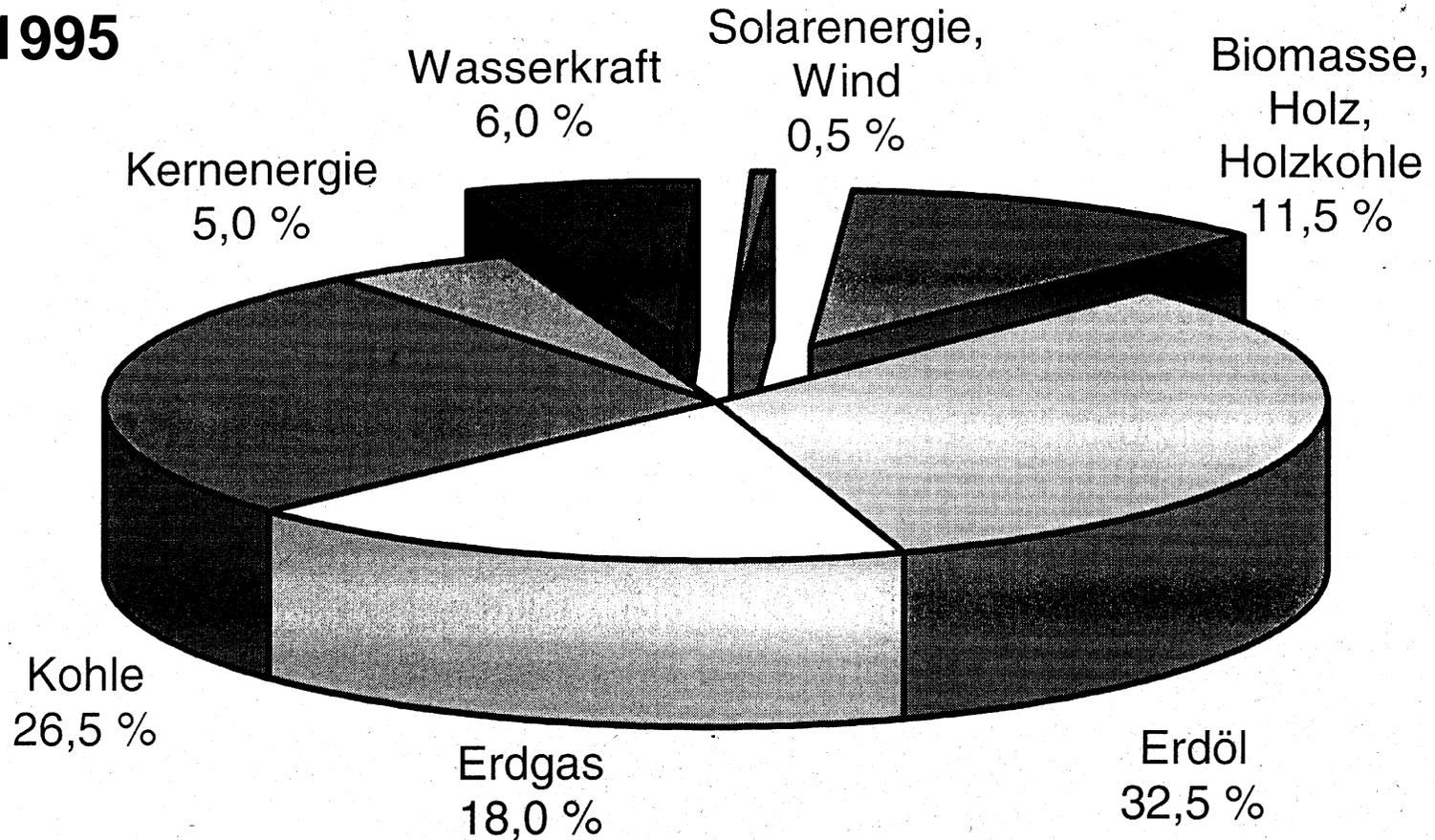
# Photovoltaik - Strom aus Sonne

Prof. Dr.-Ing. Mario Adam - Lehrgebiet Regenerative Energien



# Deckung des Primärenergiebedarfs

**Welt, 1995**



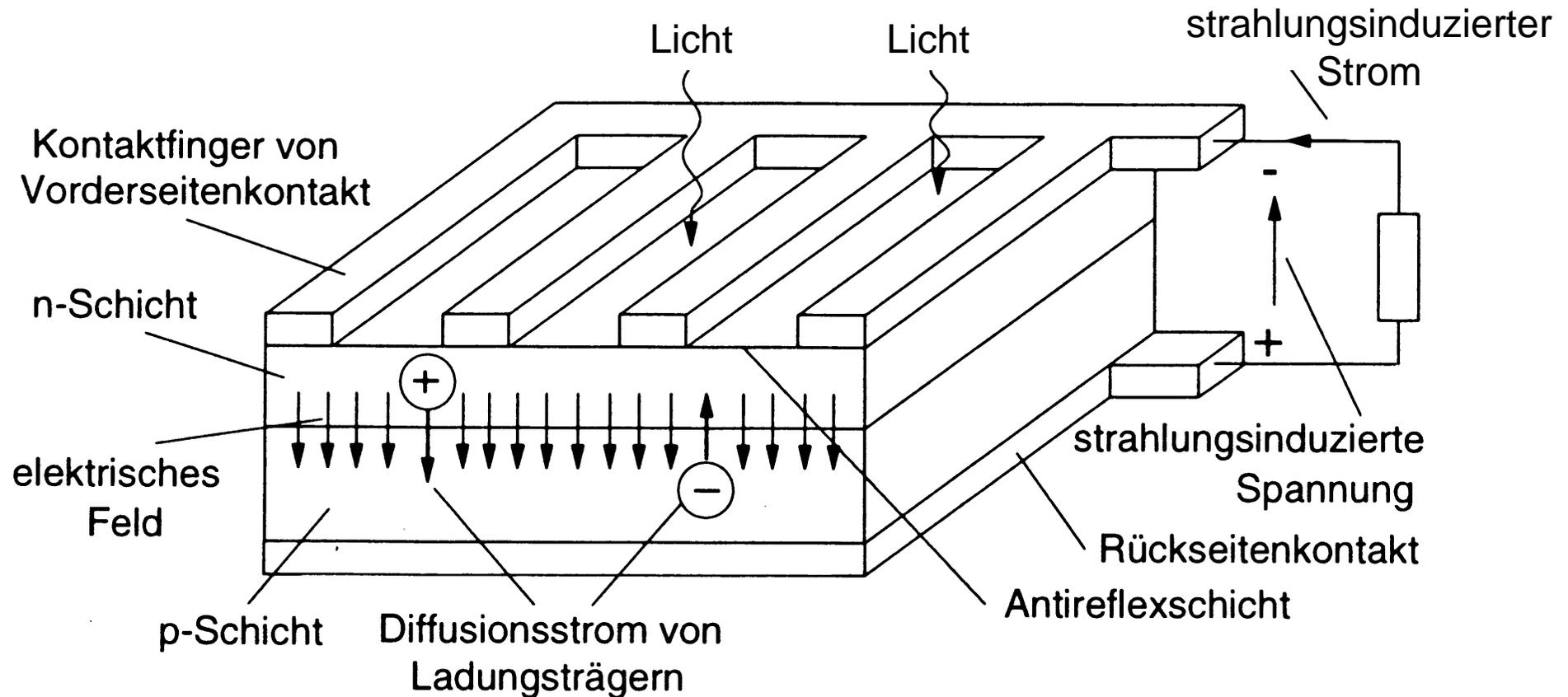
**BRD, 1999:**

Öl, Kohle, Erdgas,  
Kernenergie 97,8 %

Müll, Holz, etc. 1,5 %  
Wasserkraft 0,5 %

Windkraft 0,15 %  
Sonstige 0,05 %

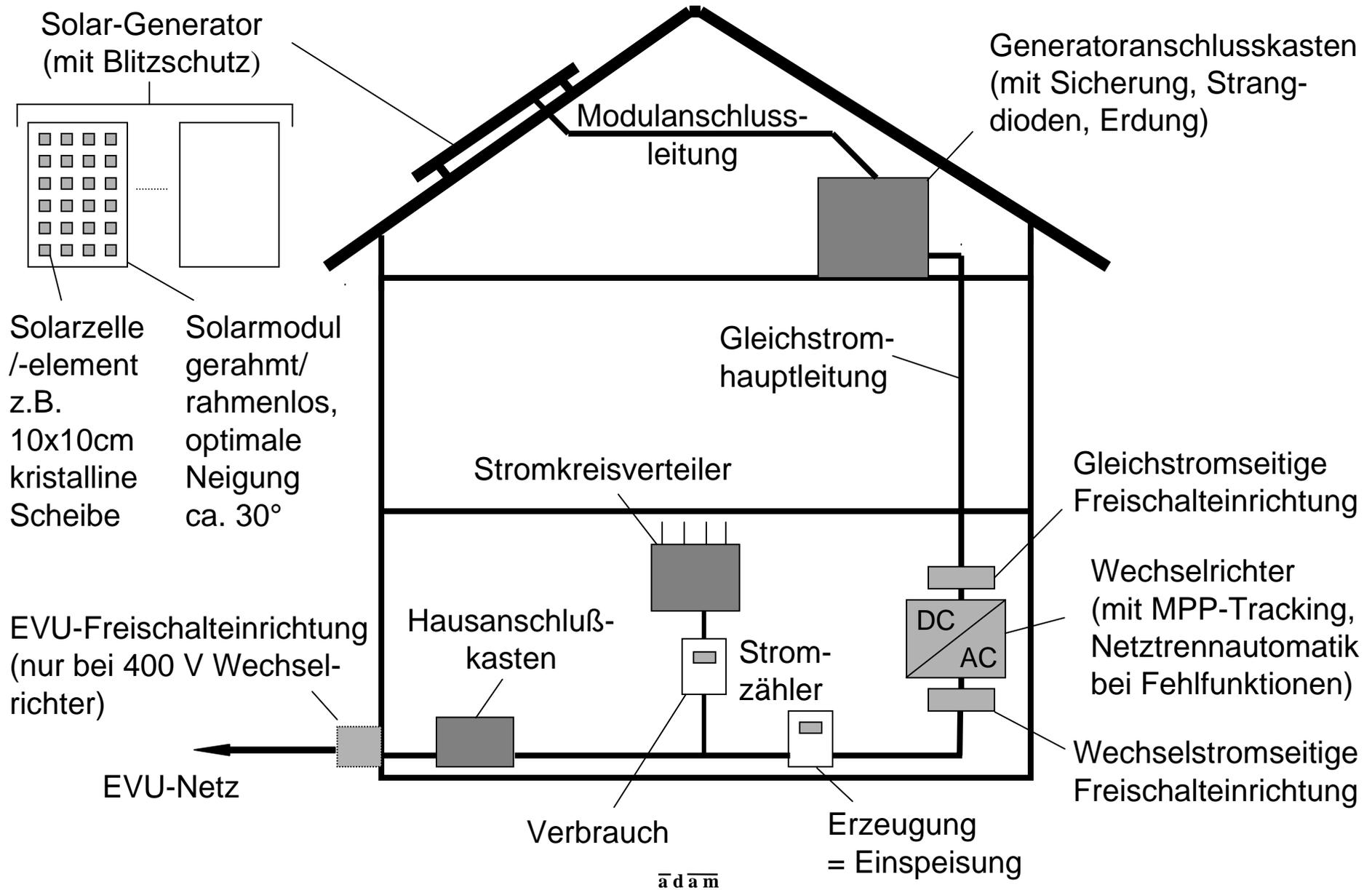
# Aufbau einer Solarzelle



Materialien: Silizium (polykristallin, monokristallin, amorph), Galliumarsenid, Cadmiumtellurid, ...

Form: kristalline Scheiben (ca. 400  $\mu\text{m}$ ), dünne Schichten (ca. 2  $\mu\text{m}$ ), ...

# Netzgekoppelte Photovoltaikanlage - Standard BRD



# Solarzellen - Wirkungsgrade, Stand der Technik

Material	Typ	Wirkungsgrad Labor	Wirkungsgrad Produktion	Stand der Technik <sup>a</sup>
Mono-Silicium, einfach	kristallin	24,0	14,0 - 18,0	1
Poly-Silicium, einfach	kristallin	18,6	13,0 - 15,0	1
MIS-Inversionsschicht (Silicium)	kristallin	17,9	16,0	2
Konzentratorzelle (Silicium)	kristallin	29,0	25,0	2
Amorphes Silicium einfach	Dünnschicht	13,0	8,0	1
Tandem 2-Schicht, amorphes Silicium	Dünnschicht	13,0	8,8	2
Tandem 3-Schicht, amorphes Silicium	Dünnschicht	14,6	10,4	1
Galliumarsenid (GaAs), mono	kristallin	29,0	21,0	2
Cadmiumtellurid (CdTe)	Dünnschicht	17,0	11,0	2
Kupfer-Indium-Diselenid (CuInSe <sub>2</sub> )	Dünnschicht	17,0	14,0	3

<sup>a</sup> 1 Großtechnische Produktion; 2 Kleintechnische Produktion; 3 Pilotproduktion.

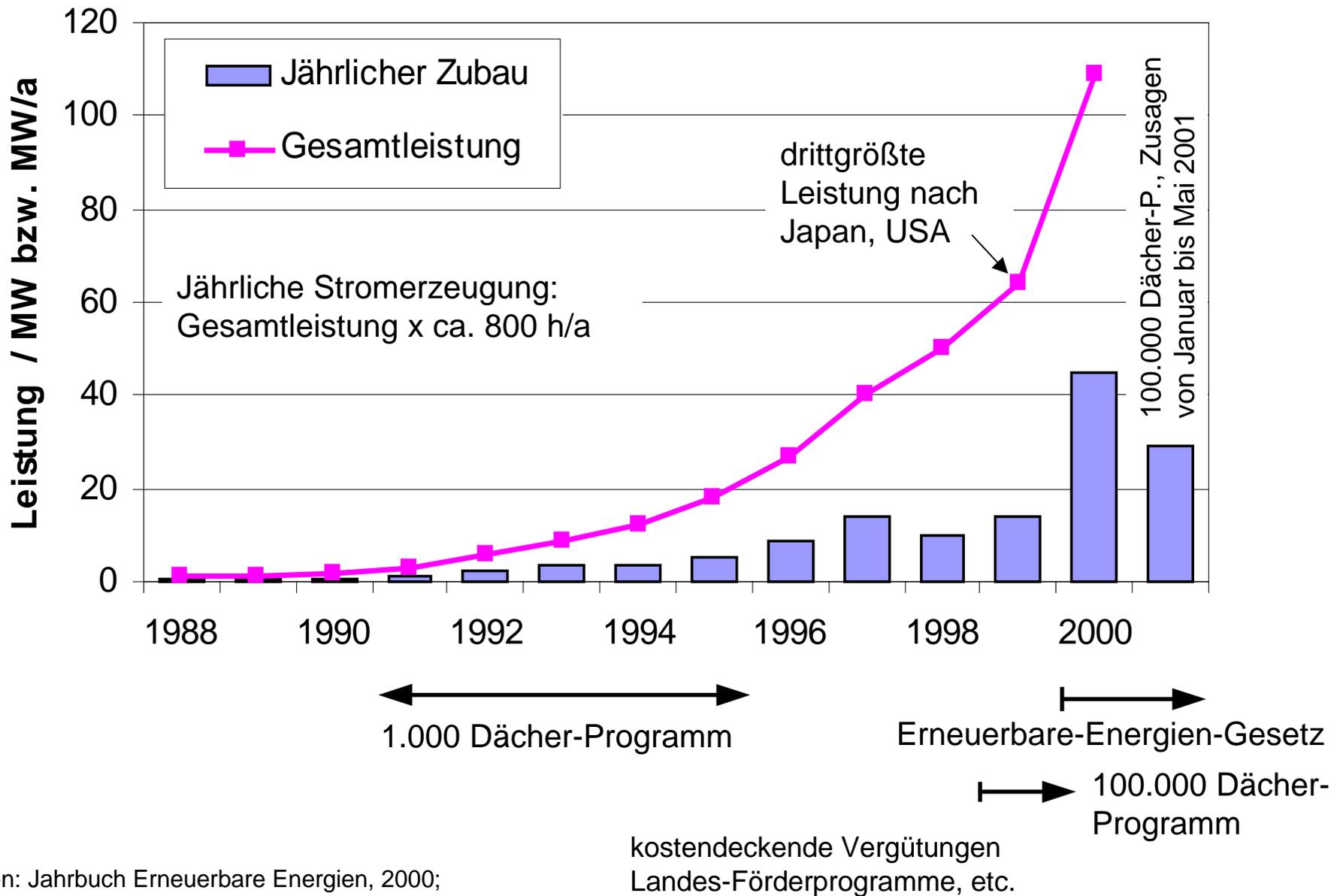
# Beispielhafte Kostenbetrachtung, NRW 2000

Peakleistung	3 kWp	REN-Förderung 2000 (NRW)	7500 DM
Investitionskosten (je nach Anlagentyp/-größe, etc.; heute: 12.000 - 16.000 DM/kWp 1991: ca. 26000 DM/kWp)	40.500 DM	100000 Dächer-Progr. (BRD) (4,5% Zinsverbilligung -> 1,91% effektiv; 10 Jahre Laufzeit; 2 tilgungsfreie Anlauf- jahre; < 5 kWp 100%)	33000 DM
Jährlicher Stromertrag (je nach Standort, Anlagenqualität/ -ausführung; 500 - 1000 kWh/kWp)	2340 kWh/a	Finanzierungslücke	0 DM
Inbetriebnahmejahr	2001	ggf. Ökozulage bei Eigenheimförderung Neubau/Kauf (BRD): 2 % der Investkosten abzgl. Zuschussförderung, max. 500 DM/a, über 8 Jahre, d.h. max. 4000 DM	
Einspeisevergütung über 20 a	99 Pf/kWh		

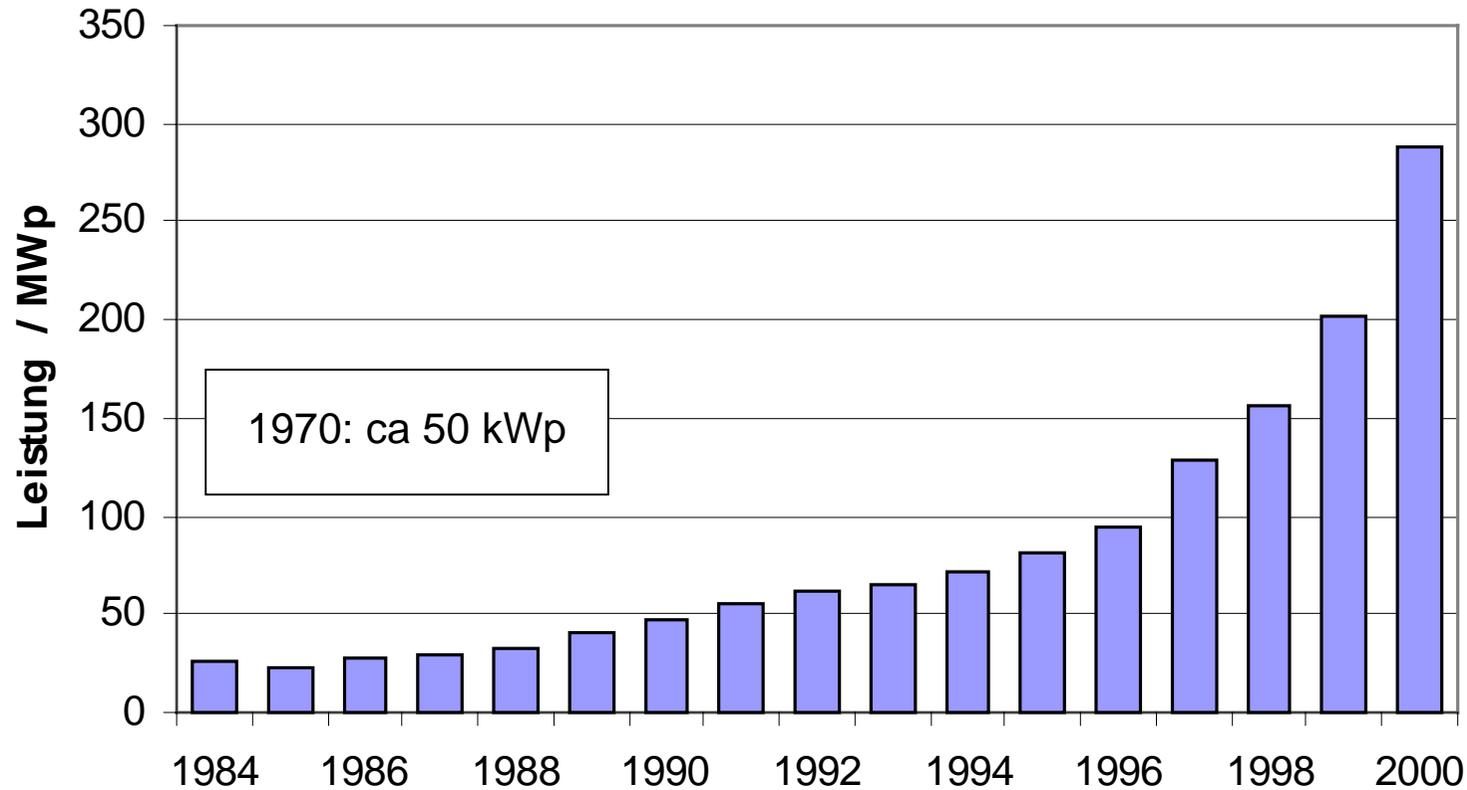
<u>Finanzplan</u>	<u>100000 Dächer-P.</u>	<u>Strom-Erlös</u>	<u>Vers./Wartung</u>	<u>Summe Jahr</u>	<u>Summe Gesamt</u>	
1. Jahr	- 630 DM	+ 2317 DM	- 324 DM	+ 1362 DM	+ 1362 DM	
2. Jahr	- 630 DM	+ 2317 DM	- 324 DM	+ 1362 DM	+ 2735 DM	
3. Jahr	- 4487 DM	+ 2317 DM	- 324 DM	- 2495 DM	+ 230 DM	
...						
10. Jahr	- 4487 DM	+ 2317 DM	- 324 DM	- 2495 DM	- 17234 DM	
11. Jahr	0 DM	+ 2317 DM	- 324 DM	+ 1993 DM	- 15241 DM	
...						
18. Jahr	0 DM	+ 2317 DM	- 324 DM	+ 1993 DM	- 1293 DM	
19. Jahr	0 DM	+ 2317 DM	- 324 DM	+ 1993 DM	<b>+ 700 DM</b>	<b>Amortisation</b>
20. Jahr	0 DM	+ 2317 DM	- 324 DM	+ 1993 DM	<b>+ 2692 DM</b>	

Quelle: Energieagentur NRW, 2000

# Photovoltaik-Leistung BRD



# Solarzellen-Fertigung Weltmarkt



## BRD

- 10 - 25 MWp, Shell Solar, Gelsenkirchen
- 10 MWp, TESSAG (ehemals ASE), Alzenau
- 5 MWp, Solarfabrik Freiburg
- Pilotfertigungen für CIS- und CdTe-Dünnschichtzellen von Würth Solar/Marbach und Antec/Rudisleben
- im Bau: BP Solar / Hameln, SolarWorld AG / Freiberg

Quellen: Jahrbuch Erneuerbare Energien, 2000;  
solarserver.de/solarmagazin

# Solare Stromerzeugung - Potenziale für die Zukunft

Theoretisches Potenzial: solare Einstrahlung auf BRD = 670 EJ/a  
Stromerzeugung ( $\eta=28\%$ ) = 52.000 TWh

## Technisches Angebotspotenzial (Top-Down-Betrachtung)

- verfügbare geeignete Fläche  $A = 4300 \text{ Mio m}^2 = 1,2\%$  der BRD-Fläche (rund 20 % auf Dächern, 80 % landwirtschaftliche „Überschussfläche“)
- Stromertrag pro  $\text{m}^2$  Modulfläche = 50...150 kWh/ $\text{m}^2\text{a}$   
Potenzial = 210 - 650 TWh/a

## Technisches Nachfragepotenzial (Bottom-Up-Betrachtung)

- bei Nutzung obiger Flächen, momentaner zeitlichen/örtlichen Nachfragecharakteristik, Stromerzeugung/-nutzung im gleichen Bundesland ( $\rightarrow \eta_{\text{Verteilung}} = 95\%$ )  
Restriktion 1: Speicherung aktueller Überschüsse nur in heutigen Pumpspeicherkraftwerken  
Restriktion 2: konventionelle Grundlastdeckung (= 50 % von  $P_{\text{Last,minimal}}$  im Jahresverlauf,  $\rightarrow$  Frequenz- und Spannungsstabilität bei heutiger Netz-/Versorgungsstruktur)

Potenzial =	19 TWh/a
Potenzial =	37 TWh/a
Potenzial =	195 ... 410 TWh/a
- ohne Restriktion 2
- ohne Restriktion 1, mit Wasserstoffspeichern ( $\eta=40\%$ )

Weitere Restriktion: Flächennutzung zur photovolt. Stromerzeugung konkurriert mit solaren Wärmeerzeugung

# Energieversorgung BRD - Szenario 2050

Primärenergieverbrauch [PJ], Westdeutschland

