
Vortragsreihe „EnergieLos!?“, Universität Dortmund, 11. Januar 2001

Regenerative Energien: Nutzen ohne Verbrauch?

Prof. Dr.-Ing. Alfred Voß

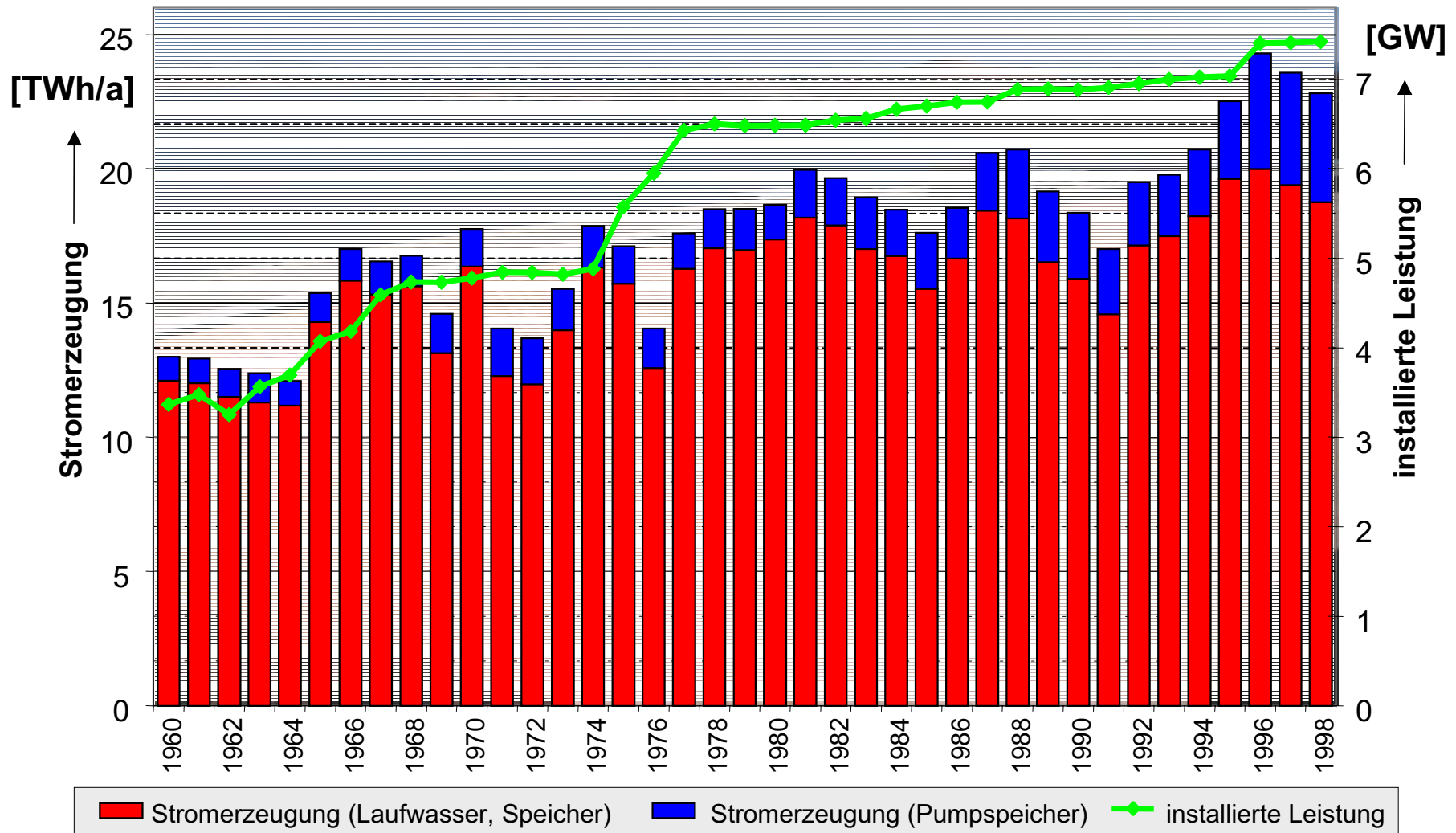
Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland im Jahr 1998

	Primärenergie [PJ/a]	Elektrizität [GWh/a]
Wasserkraft	62	17.264
Wind	16	4.489
Biomasse	68,8	1.050
Geothermie	3,1	--
solare Strahlung	3,3	40
Gesamt	153,2 (1,07 %*)	22.843 (4,1 %**)

* Anteil am Primärenergieverbrauch

** Anteil an der Stromerzeugung (brutto)

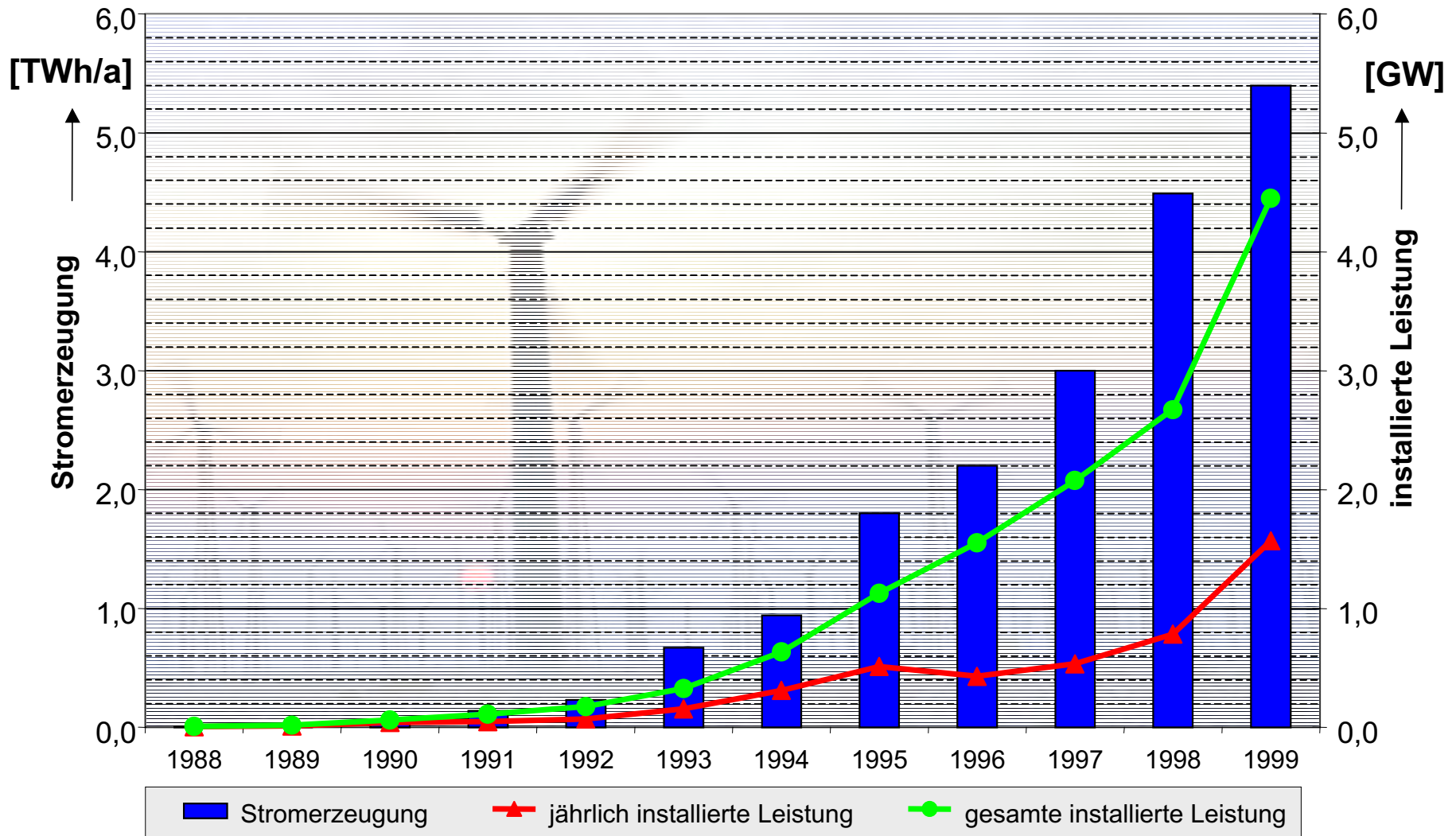
Entwicklung der Wasserkraftnutzung in Deutschland



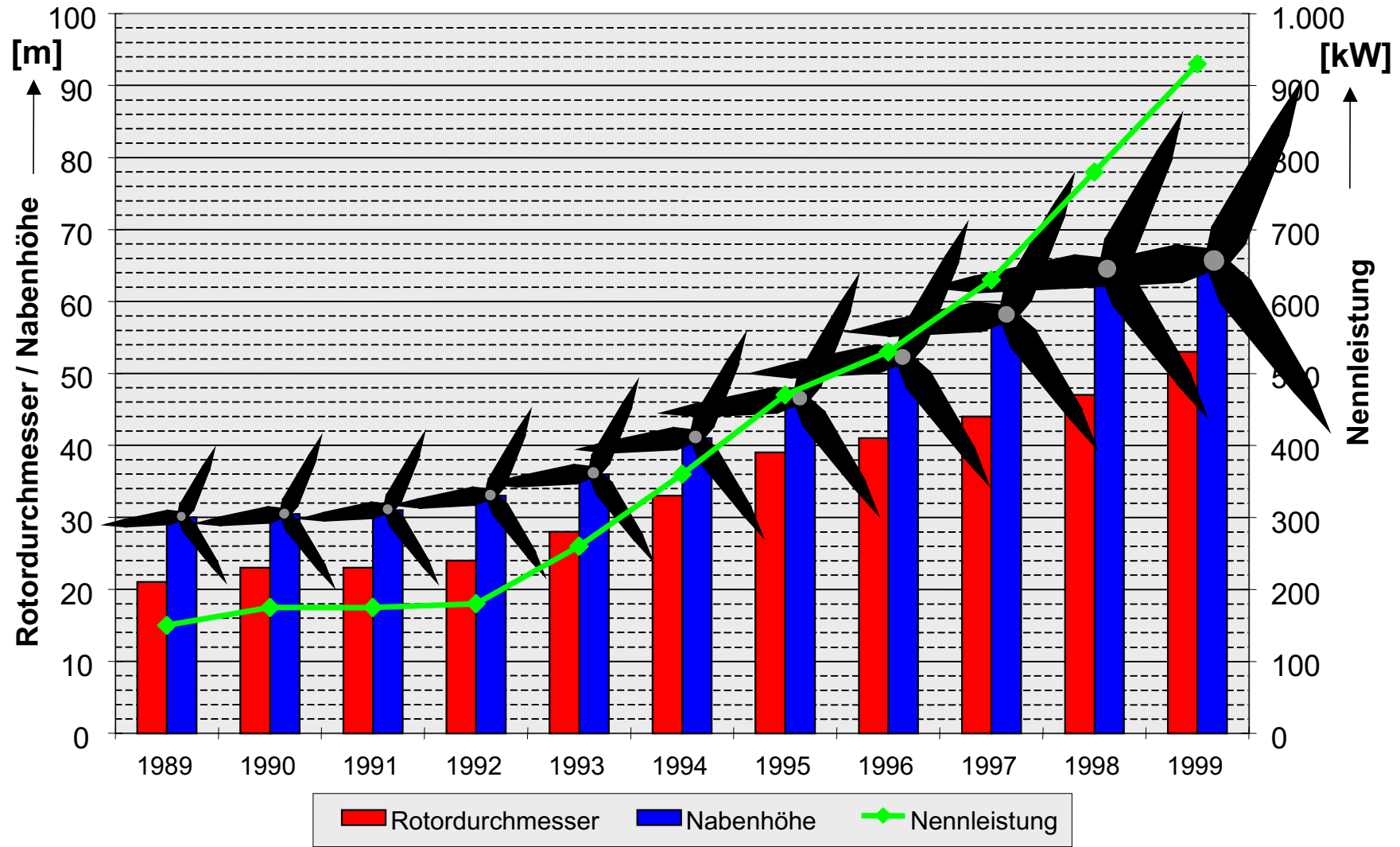
Entwicklungsperspektiven der Wasserkraftnutzung

- ◆ Ausgereifte Anlagentechnik für praktisch alle Leistungsbereiche verfügbar.
- ◆ Das technische Erzeugungspotenzial beträgt ca. 25 TWh/a. Es ist zu rund 80 % bereits ausgeschöpft.
- ◆ Stromerzeugungskosten je nach Randbedingungen und Anlagenleistung zwischen 10 und 37 Pf/kWh.

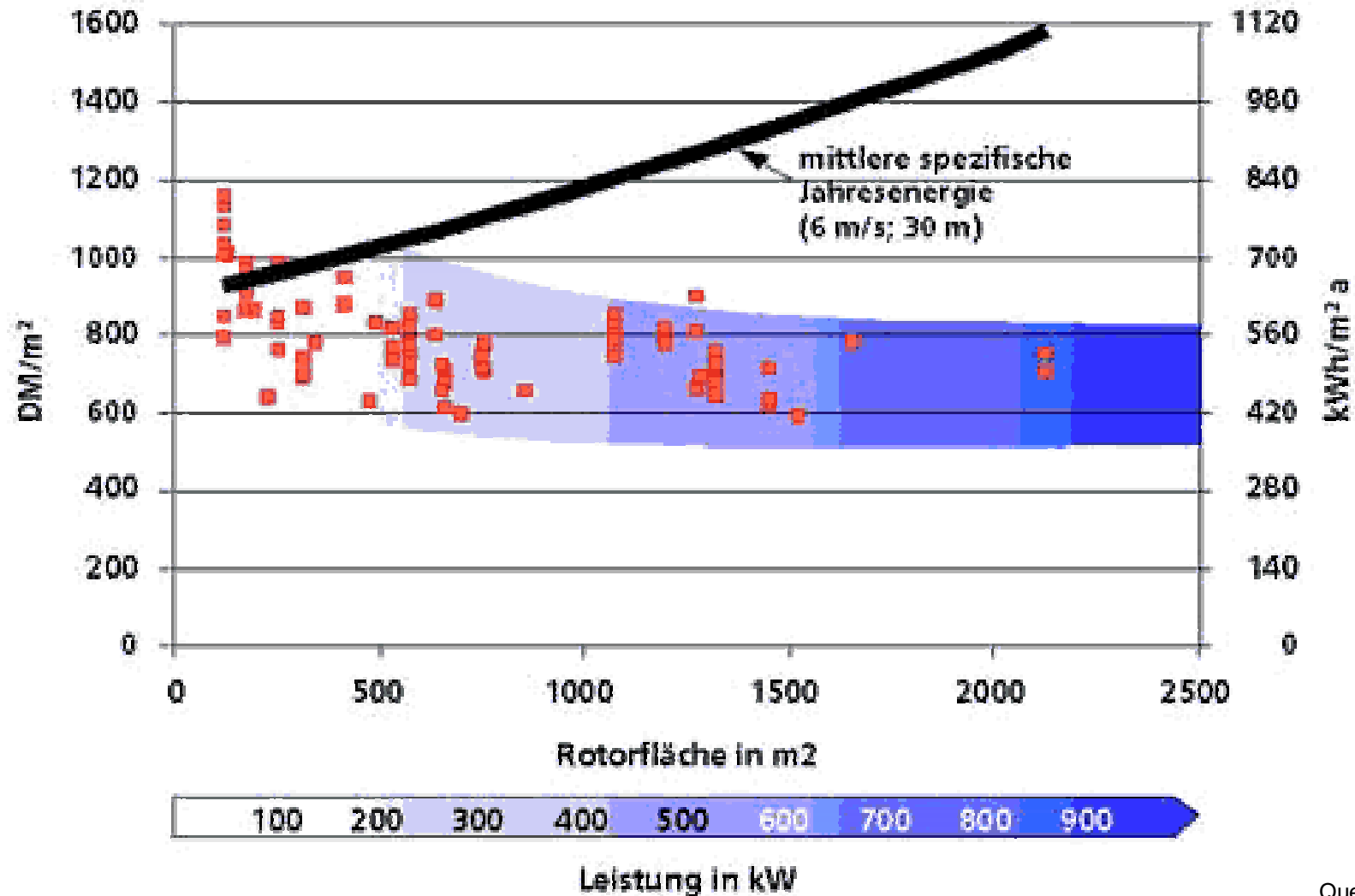
Entwicklung der Windkraftnutzung in Deutschland



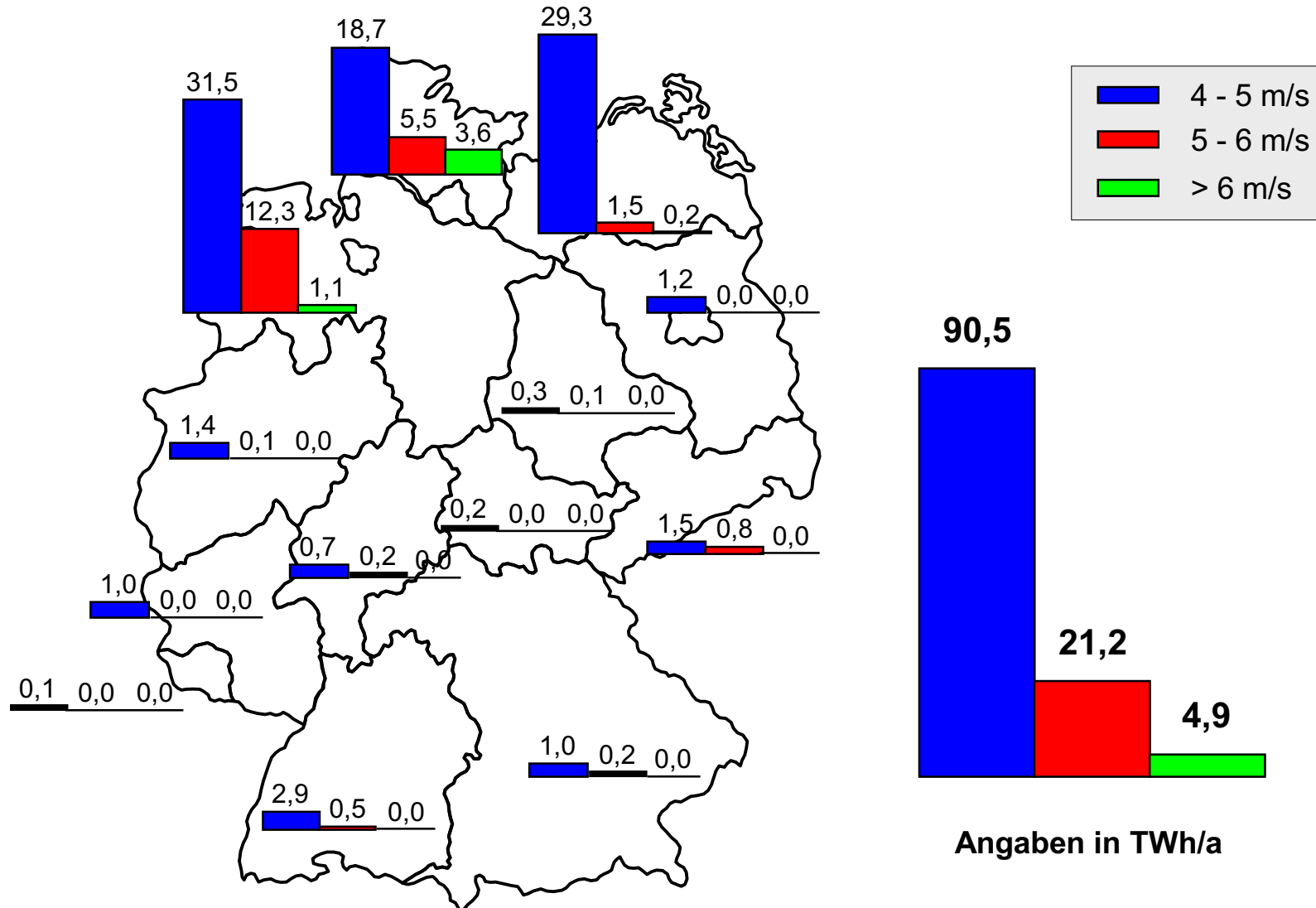
Größenentwicklung von Windenergieanlagen



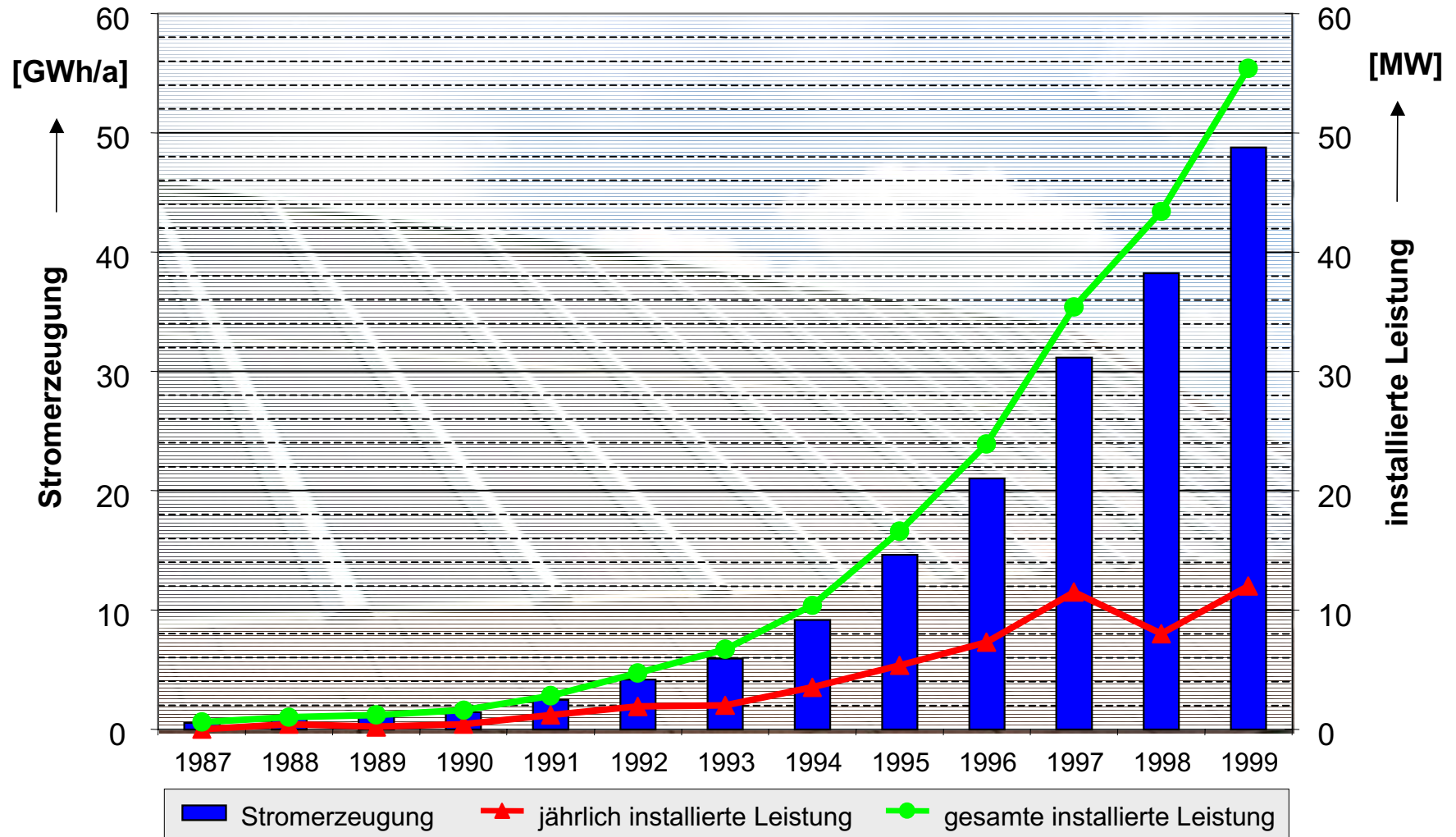
Kosten von Windenergieanlagen



Technische Potenziale der Windenergieerzeugung in Deutschland



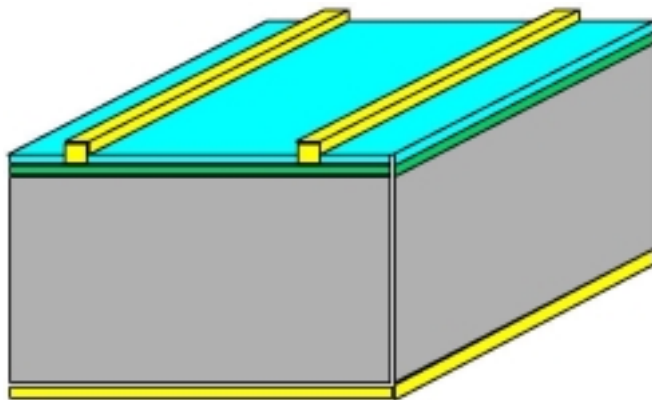
Entwicklung der photovoltaischen Strahlungsnutzung*) in der BRD



*) netzgekoppelt

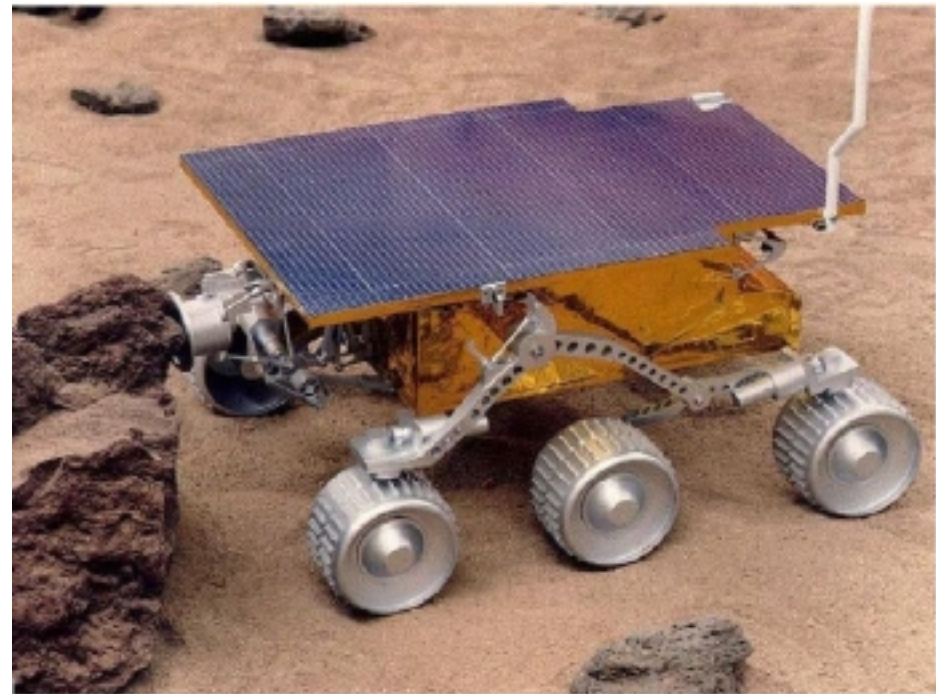
Konventionelle Si-Solarzelle

- ◆ Mono- oder multikristalline Si-Scheiben
- ◆ Fläche: $100 \times 100 \text{ mm}^2$ bis $150 \times 150 \text{ mm}^2$
- ◆ Dicke: 250 bis 350 μm
- ◆ Kontaktierung auf Vorder- und Rückseite
- ◆ Marktbeherrschender Zelltyp heute
- ◆ Modul-Wirkungsgrade in der Fertigung: 13 - 18 %
- ◆ Nachteil: hohe Herstellungskosten
(Si-Material, Sägen, Serienverschaltung)

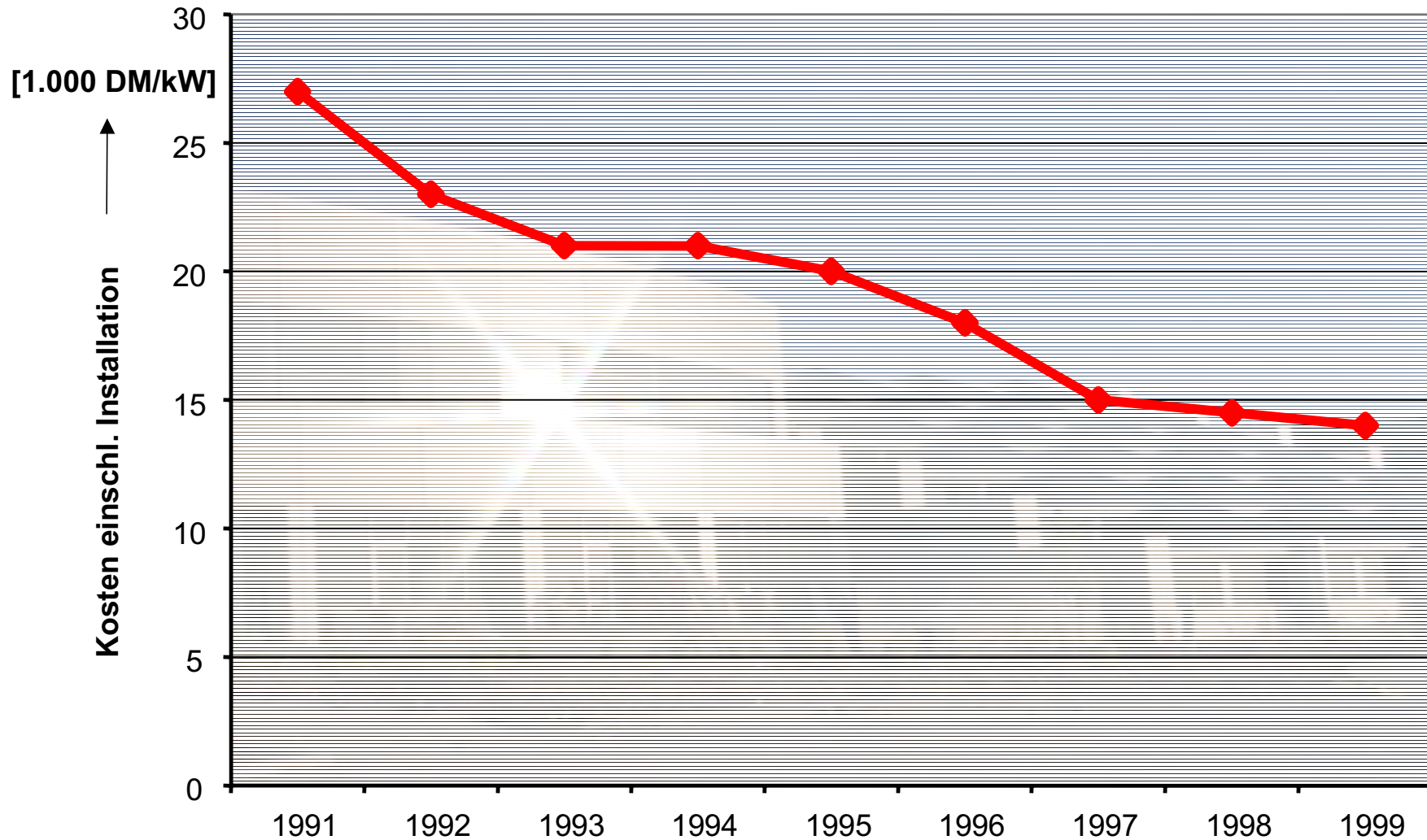


Kostenreduktion von PV-Zellen durch neue Technologien

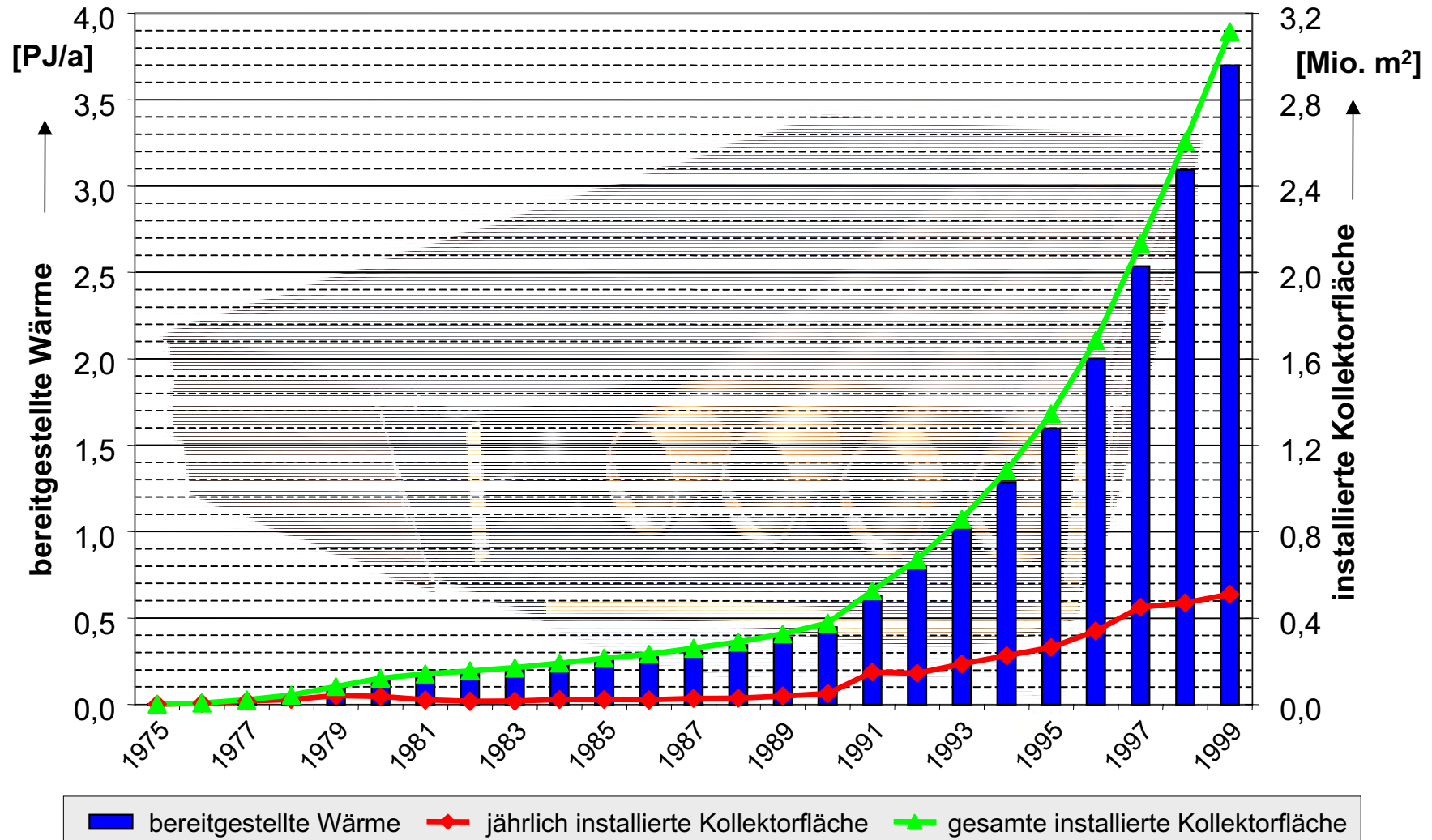
- ◆ fortgeschrittenes Design für kristalline Si-Zellen
- ◆ Dünnschichtsolarzellen
 - ⇒ amorphes Silizium
 - ⇒ dünnes kristallines Silizium
 - ⇒ Cadmiumtellurid CdTe
 - ⇒ Kupfer-Indium-Diselenid CIS
- ◆ Konzentrator Systeme
- ◆ Tandemzellen



Kostenentwicklung für netzgekoppelte Photovoltaikanlagen (bis 10 kW)

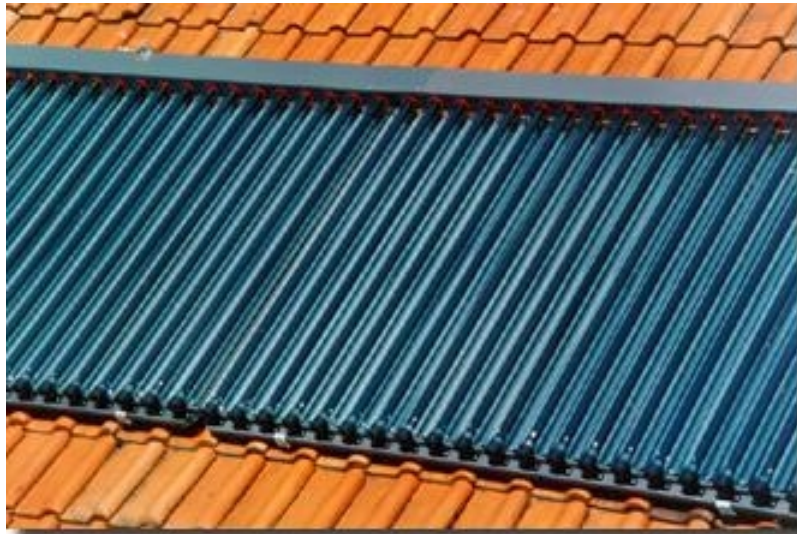


Entwicklung der solarthermischen Wärmebereitstellung in der BRD

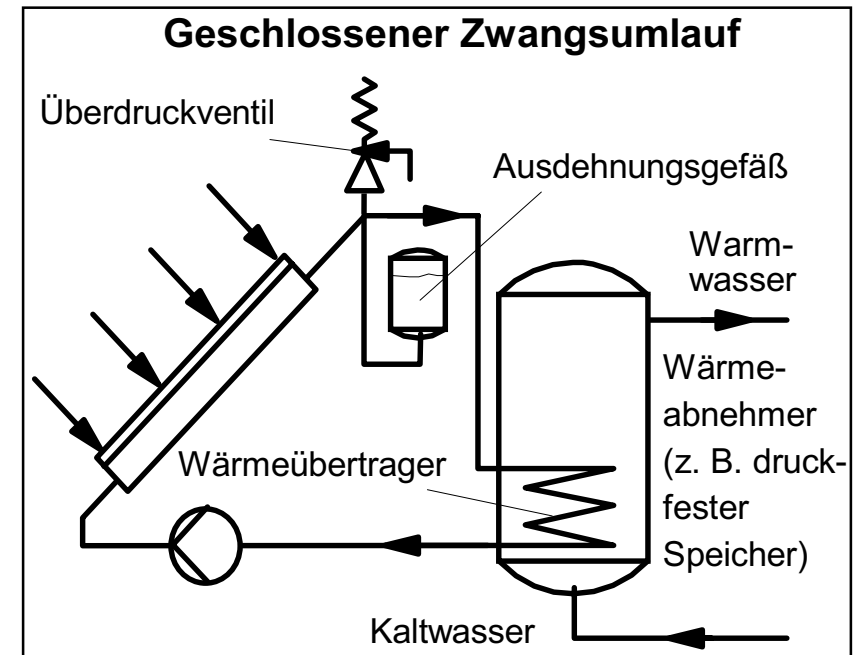
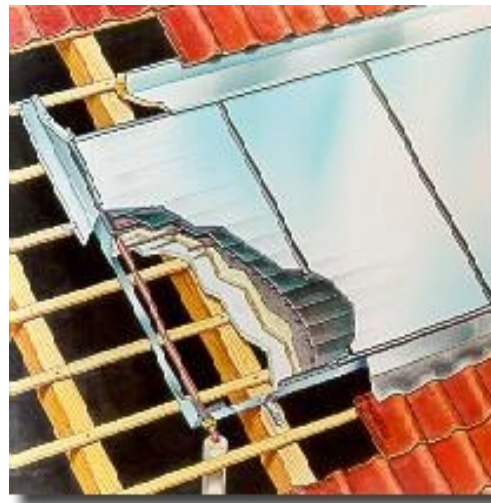


Anlagen der solarthermischen Wärmebereitstellung

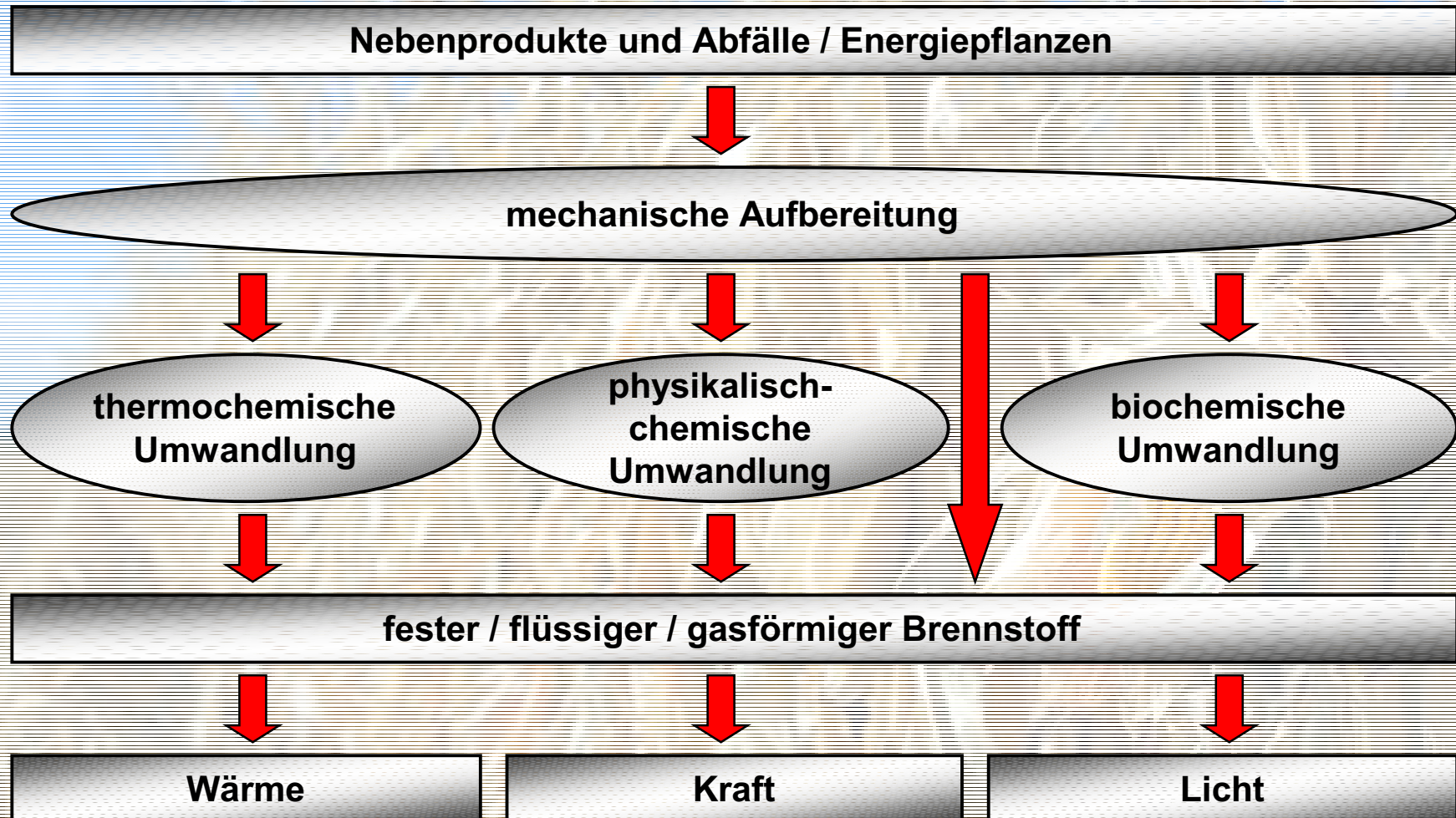
Vakuurröhrenkollektor



Flachkollektor



Möglichkeiten der energetischen Nutzung von Biomasse



Potenziale u. Nutzung von organischen Nebenprodukten u. Abfällen

	Technisches Potenzial [PJ/a]	Derzeitige Nutzung [PJ/a]
Waldrestholz	142	55,0
sonst. Restholz	99	52,0
Stroh	104	2,8
Biogas-Gülle, Mist	81	0,4
Deponiegas	16	2,6
Klärgas	27	0,2
Summe	470	113

Endenergieverbrauch 1999: 9.288 PJ

Potenziale u. Kosten von Energieträgern aus Energiepflanzenanbau

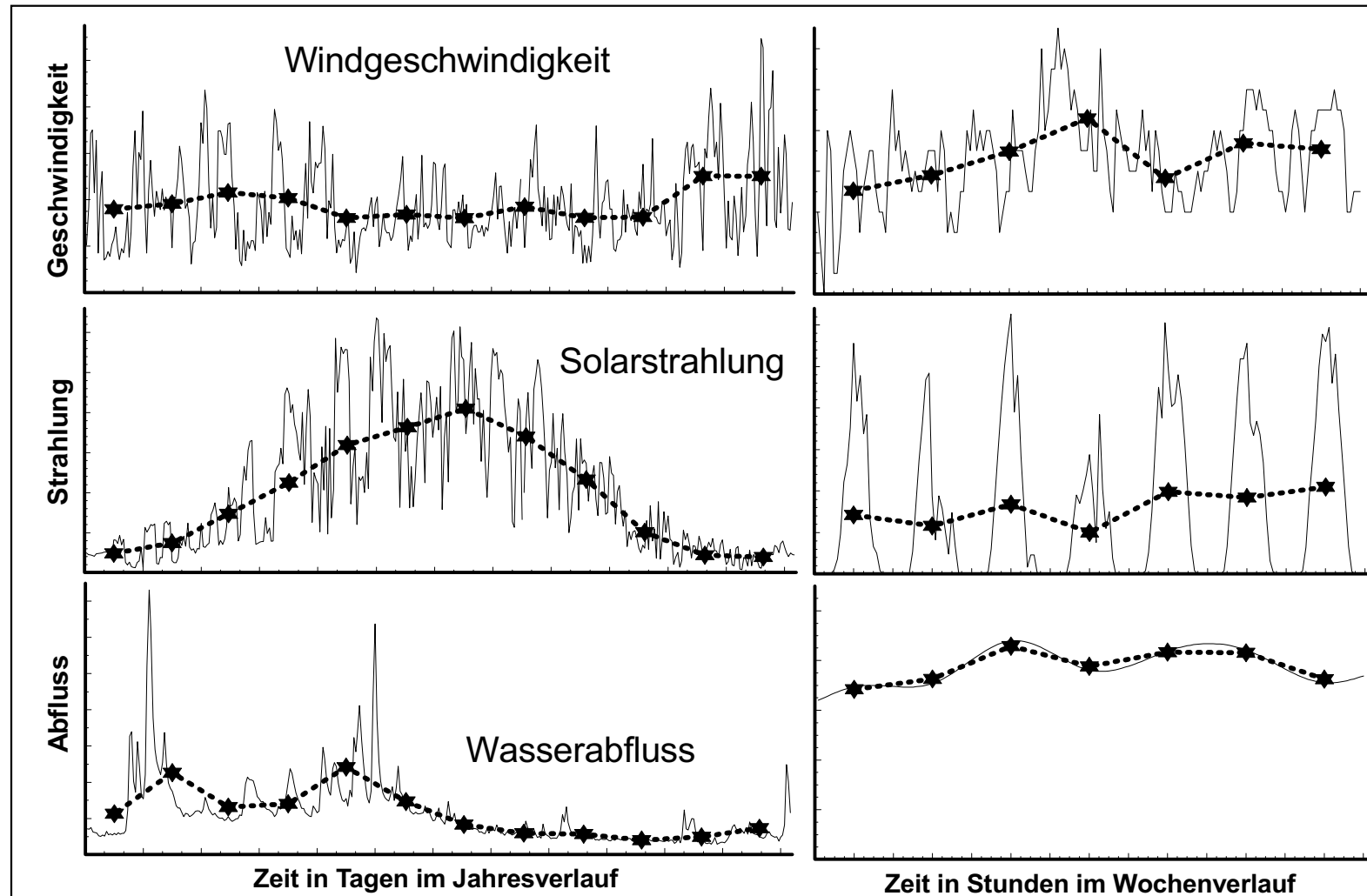
	Technisches Potenzial [PJ/a]	Energieträgerkosten [DM/GJ]	[Pf/kWh]
Festbrennstoffe	ca. 840	12 - 17²⁾	4,3 - 6,1
Pflanzenöl	ca. 92	40 - 70³⁾	14 - 25
Alkohol	ca. 425	60 - 80	22 - 29

¹⁾ max. Potentiale für eine Fläche von 4 Mio. ha

²⁾ Basis: Getreide (Ganzpflanzenballen) ab Anbaufläche

³⁾ RME-Kosten ab Fabrik

Jahres- u. Wochengänge aus Monats-, Tages- bzw. Stundenmitteln



Potenziale u. Nutzung regenerativer Energien zur Stromerzeugung

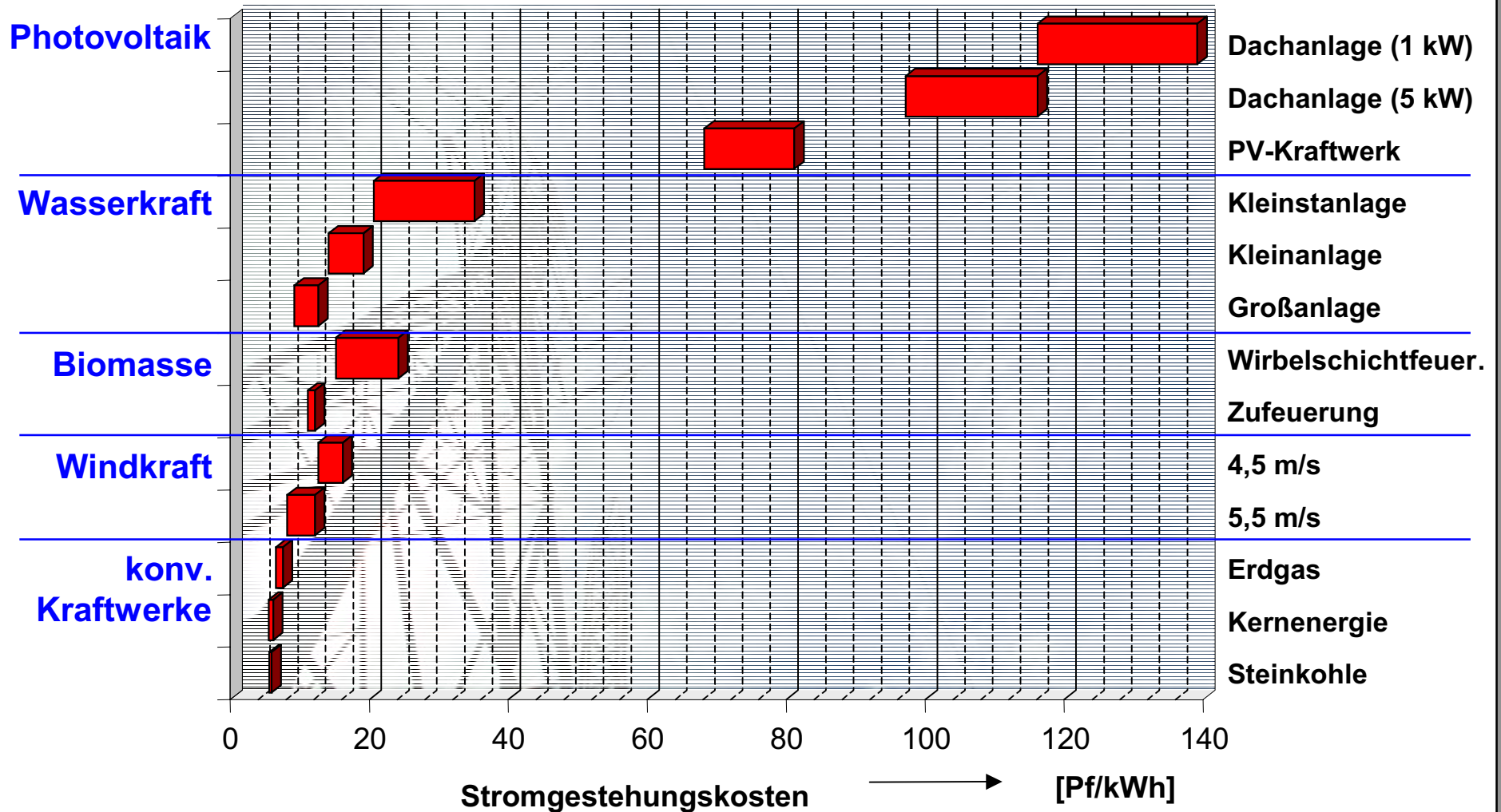
	Technisches Erzeugungspotenzial [TWh/a]	Technisches Endenergiepotenzial [TWh/a]	Nutzung [TWh/a]
Wasserkraft	ca. 25	ca. 23,5	19,5
Windenergie onshore	104 - 128	30 - 35	5,4
Windenergie offshore	ca. 237		
Photovoltaik Dachflächen	40 - 120	35 - 40	0,05
Photovoltaik Freiflächen	180 - 530		

Bruttostromerzeugung 1999: 553 TWh

Anforderungen an Energiesysteme

- ◆ Energie kostengünstig (im Hinblick auf die Gesamtkosten) bereitstellen
- ◆ Ressourcen haushälterisch nutzen
- ◆ Umweltbelastungen auf das ökologisch Verträgliche begrenzen
- ◆ Leben und Gesundheit möglichst wenig beeinträchtigen
- ◆ zu einer nachhaltigen Entwicklung beitragen

Vergleich von Stromgestehungskosten (derzeitiger Stand der Technik)



Nachhaltige Entwicklung (sustainable development)

- Brundtland-Kommission:
“Nachhaltige Entwicklung” ist eine Entwicklung, die die Bedürfnisse der gegenwärtig lebenden Menschen befriedigt, ohne die Befriedigung ähnlicher Bedürfnisse zukünftiger Generationen zu beeinträchtigen.
- Ziel:
Den nachkommenden Generationen einen Bestand an natürlichen Ressourcen zu hinterlassen, der ihnen die Befriedigung ihrer Bedürfnisse mindestens entsprechend unserem heutigen Niveau erlaubt.

Lebensweganalyse: Kumulierter Primärenergieaufwand und Amortisationszeiten

	kumulierter Primärenergieaufwand in kWh _{prim} / kWh _{el}	Amortisationszeit in Monaten
Photovoltaik ¹	0,62 - 0,84	61 - 88
Wasserkraft	0,04 - 0,09	7 - 13
Windkraft ²	0,11 - 0,17	8 - 13
Steinkohle	0,3 ³	4
Braunkohle	0,23 ³	4
Erdgas	0,26 ³	2
Kernenergie	0,07 ³	3

¹ monokristallin, amorph; ² mittlere Windgeschw. 4,5 m/s; ³ ohne Brennstoffeinsatz im Kraftwerk

Lebensweganalyse: Ressourcenaufwand

	Eisenerz in kg/10 ⁶ kWh _{el}	Kupfererz in kg/10 ⁶ kWh _{el}	Bauxit in kg/10 ⁶ kWh _{el}
Photovoltaik ¹	4 162 - 40 569	218 - 514	257 - 4 772
Wasserkraft	1 510 - 2 768	10 - 13	16 - 19
Windkraft ²	5 155 - 10 798	91 - 204	213 - 529
Steinkohle	2 509	19	50
Braunkohle	952	25	28
Erdgas	1 813	12	33
Kernkraft	501	2,3	29

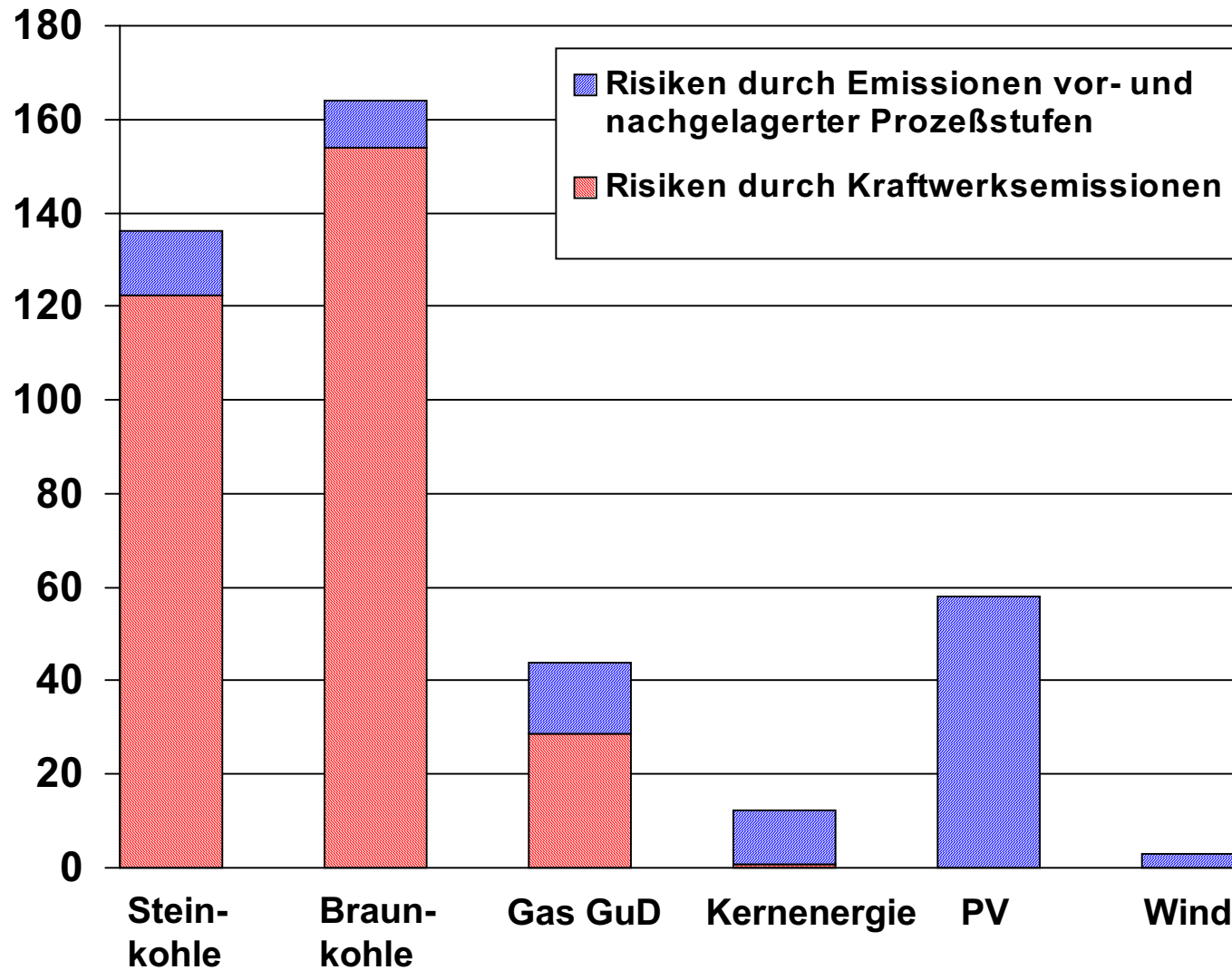
¹ monokristallin, amorph; ² mittlere Windgeschw. 4,5 m/s

Lebensweganalyse: Emissionen

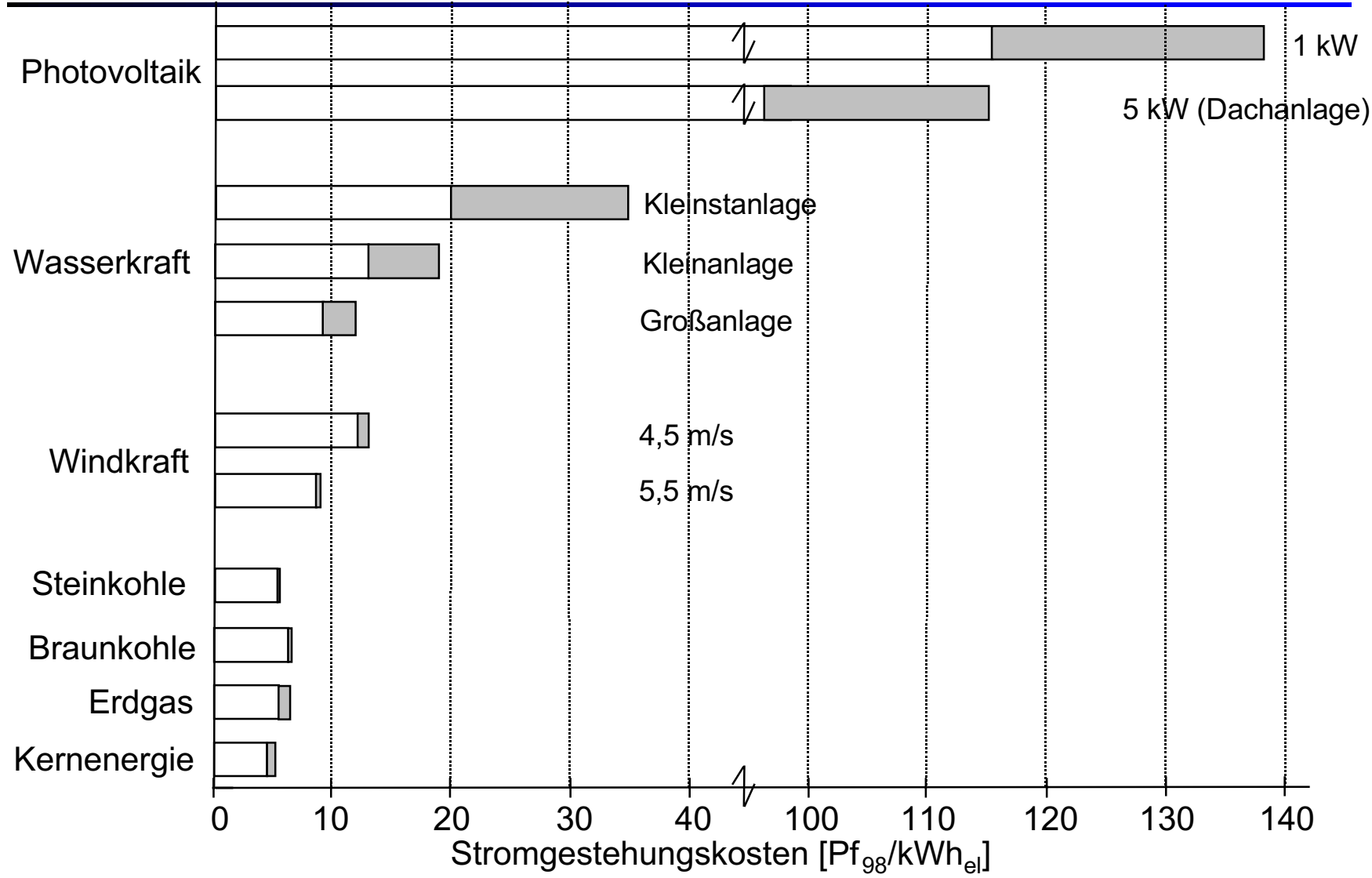
	SO ₂ in kg/10 ⁶ kWh _{el}	NO _x in kg/10 ⁶ kWh _{el}	CO ₂ in t/10 ⁶ kWh _{el}
Photovoltaik ¹	239 - 329	246 - 286	141 - 183
Wasserkraft	20 - 36	31 - 56	12 - 20
Windkraft ²	64 - 104	47 - 92	24 - 39
Steinkohle	755	728	844
Braunkohle	795	686	1 027
Erdgas	228	489	424
Kernenergie	37	35	11

¹ monokristallin, amorph; ² mittlere Windgeschw. 4,5 m/s

Gesundheitsrisiken verschiedener Stromerzeugungstechnologien



Stromerzeugungskosten im Vergleich (heutiger techn. Stand, 4%/a realer Zinssatz)



Externe Kosten verschiedener Stromerzeugungssysteme für ausgewählte Schadenskategorien (ohne Kosten des Treibhauseffekts) - in Pf/kWh -

	Stein- kohle	Braun- kohle	Gas GuD	Kern- energie	PV	Wind
Öffentliche Gesundheitsschäden	1,7	2,0	0,6	0,05 ¹⁾ – 0,22 ²⁾	0,8	0,03
Berufliche Gesundheitsschäden ³⁾	0,2	≈ 0	0,004	0,009	- 0,05	0,008
Schäden an Feldpflanzen	0,06	0,08	0,03	0,007	0,04	0,001
Materialschäden	0,03	0,04	0,007	0,002	0,02	0,0006
Lärm	n. q.	n. q.	n. q.	n. q.	n. q.	0 - 0,012
Ökosysteme	n. q.	n. q.	n. q.	n. q.	n. q.	n. q.
Zwischensumme	2,0	2,1	0,64	0,07 – 0,24	0,81	0,04 - 0,05

1) 3% Diskontrate. 2) 0% Diskontrate.

3) Angabe des "Netto-Risikos", d.h. es wird die Differenz zu dem durchschnittlichen Risiko gewerblicher Tätigkeit betrachtet.

n. q.: nicht quantifiziert

Vergleich der CO₂-Minderungskosten von ausgewählten technischen Maßnahmen für das Jahr 1990

