

# Energieautonomie durch dezentrale Energiesysteme

**Prof. Dr.-Ing. habil. Stefan Krauter**

**University of Paderborn  
Electrical Energy Technology  
Sustainable Energy Concepts**

**[www.nek.upb.de](http://www.nek.upb.de)**

# Übersicht

Elektrischen Energieversorgung in Europa & Deutschland

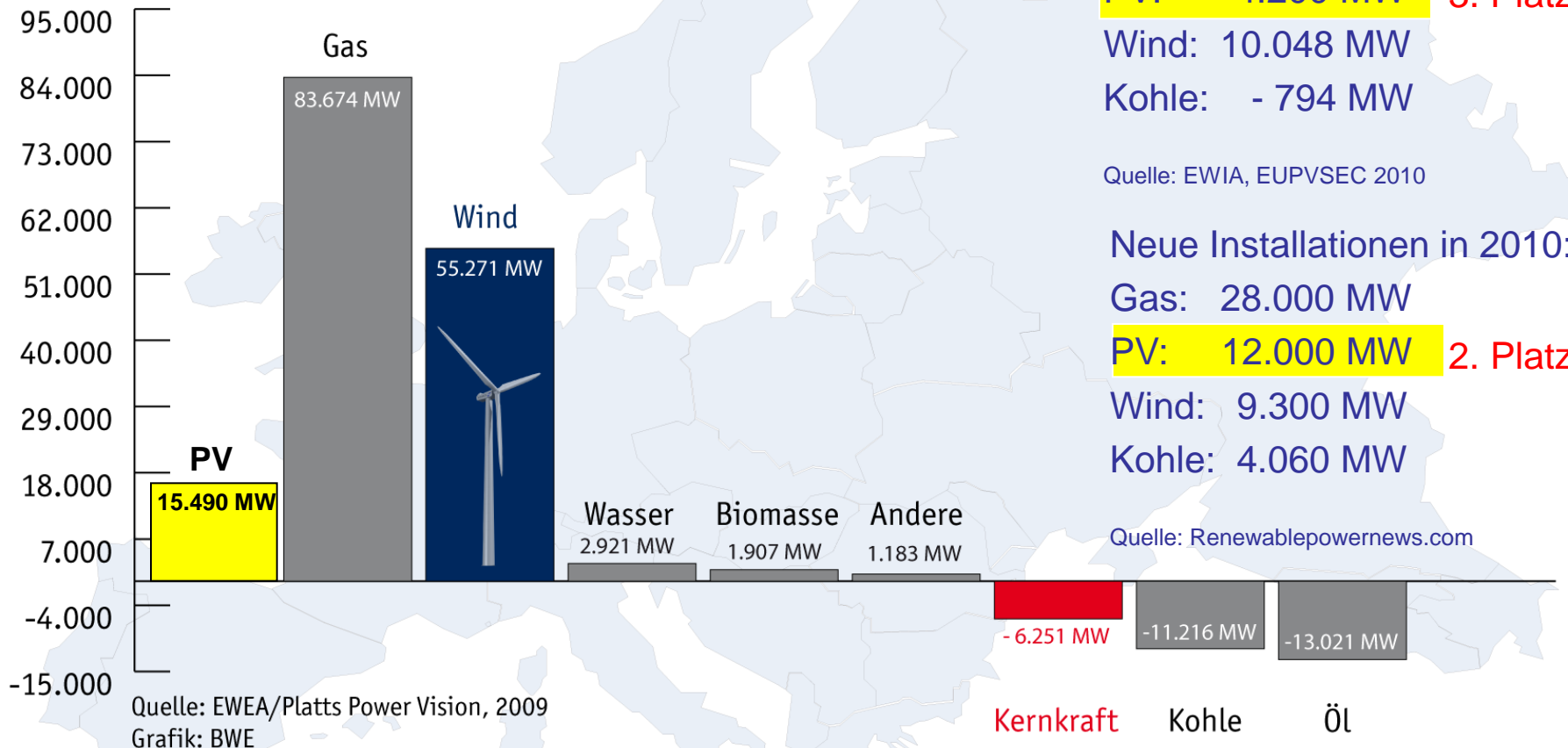
Entwicklungstendenzen am Beispiel PV

Organisation: Zentral vs. Dezentral

IT & Energie - Parallele Entwicklungen?

Dezentrale Organisation

# Neubau von Kraftwerkskapazitäten 2000-2008 in Europa



Neue Installationen in 2009:

- Gas: 6.226 MW
- PV: 4.200 MW 3. Platz**
- Wind: 10.048 MW
- Kohle: - 794 MW

Quelle: EWIA, EUPVSEC 2010

Neue Installationen in 2010:

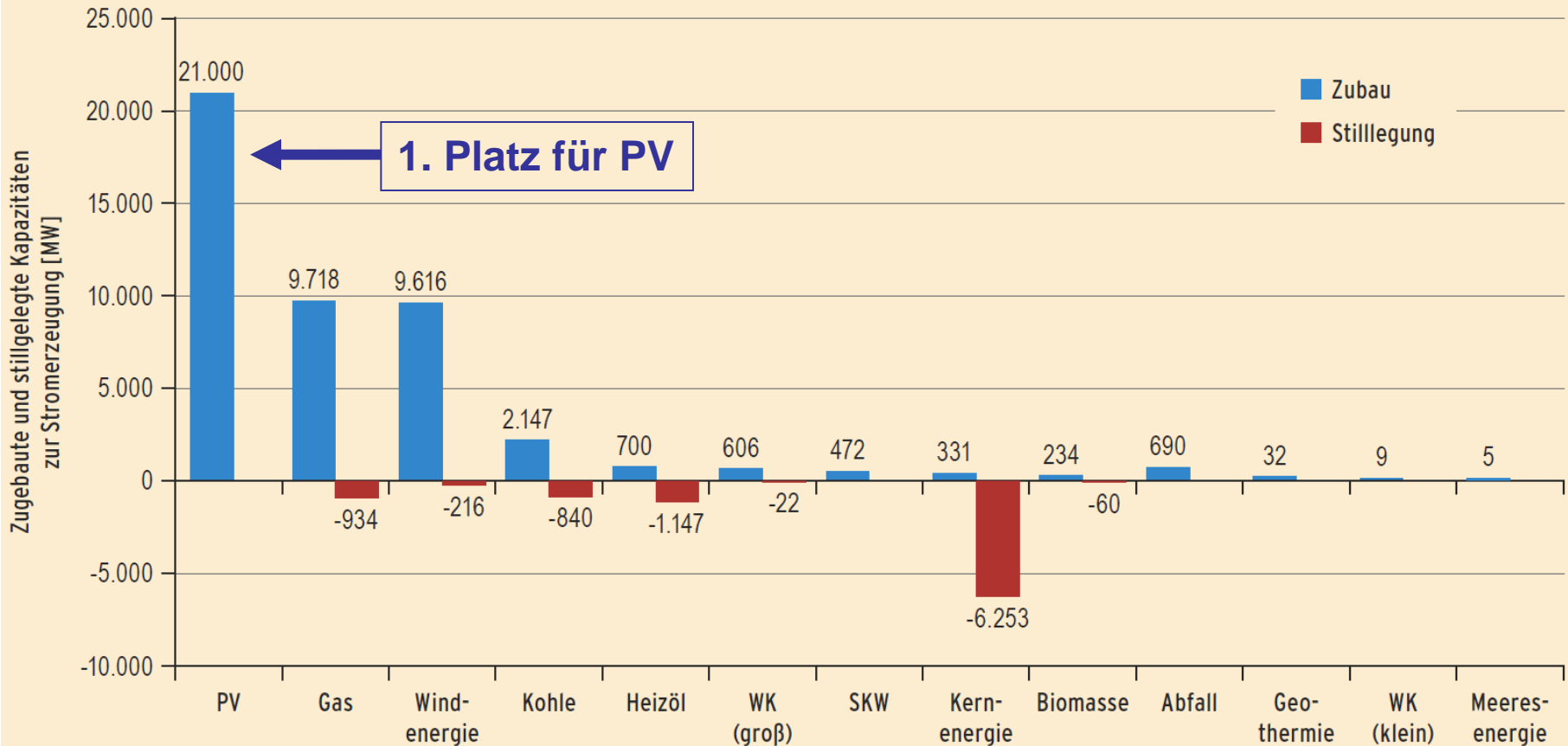
- Gas: 28.000 MW
- PV: 12.000 MW 2. Platz**
- Wind: 9.300 MW
- Kohle: 4.060 MW

Quelle: Renewablepowernews.com

# Energietechnologien in Europa 2011

## Ranking der installierten Nennleistung von Neuanlagen

Zubau und Stilllegung von Kapazitäten zur Stromerzeugung in der EU im Jahr 2011



WK = Wasserkraft  
SKW = Solarthermische Kraftwerke

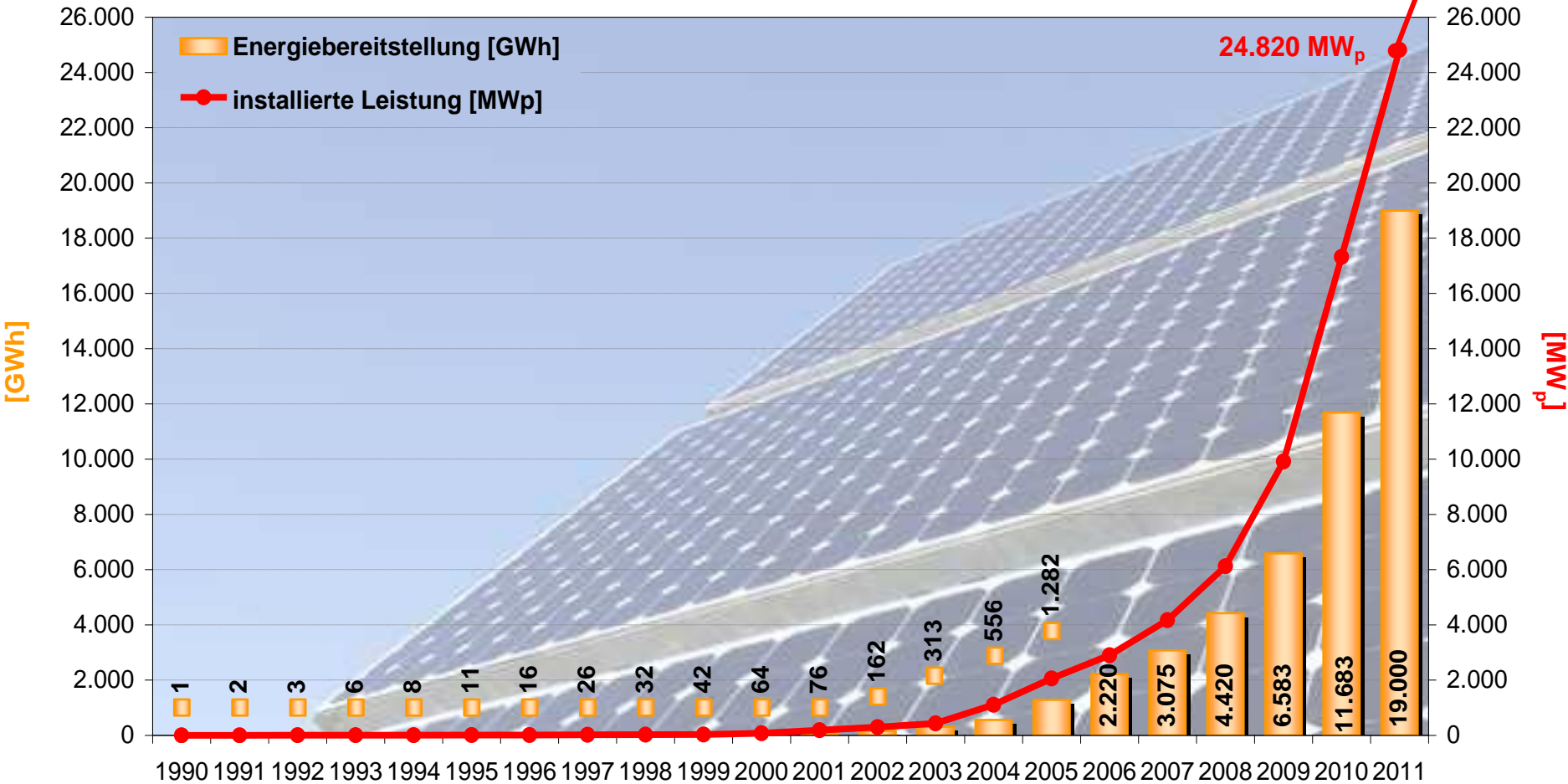
Quelle: EWEA [100]

# Entwicklung der PV-Installationen weltweit

Country	2011 Newly connected capacity (MW)	2011 Cumulative installed capacity (MW)
<b>1 Italy</b>	<b>9,000</b>	<b>12,500</b>
<b>2 Germany</b>	<b>7,500</b>	<b>24,700</b>
3 China	2,000	2,900
4 USA	1,600	4,200
<b>5 France</b>	<b>1,500</b>	<b>2,500</b>
6 Japan	1,100	4,700
7 Australia	700	1,200
<b>8 United Kingdom</b>	<b>700</b>	<b>750</b>
<b>9 Belgium</b>	<b>550</b>	<b>1,500</b>
<b>10 Spain</b>	<b>400</b>	<b>4,200</b>
<b>11 Greece</b>	<b>350</b>	<b>550</b>
<b>Slovakia</b>	<b>350</b>	<b>500</b>
<b>13 Canada</b>	<b>300</b>	<b>500</b>
India	300	450
15 Ukraine	140	140
Rest of the World	1,160	6,060
<b>Total</b>	<b>27,650</b>	<b>67,350</b>

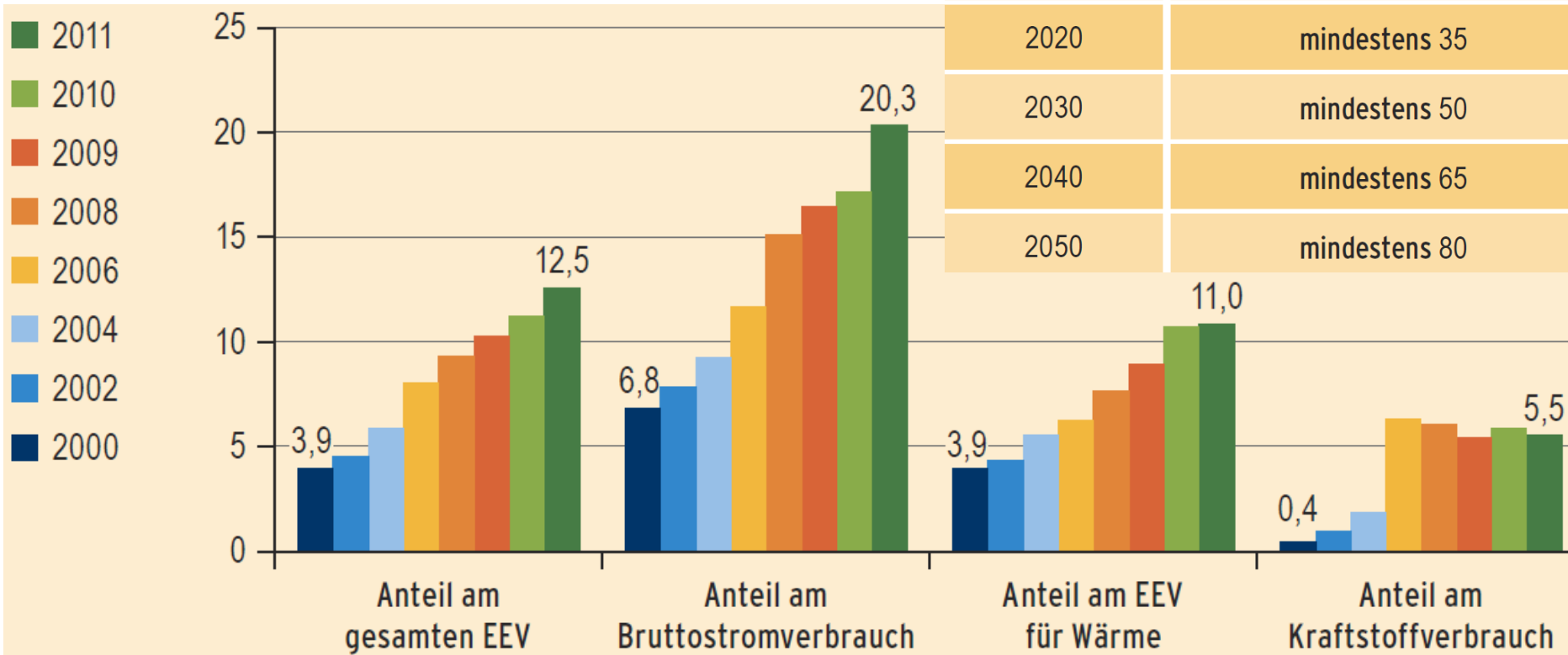
# Entwicklung der Strombereitstellung und installierten Leistung von Photovoltaikanlagen in Deutschland

**Juli 2012:**  
**29,7 GW**



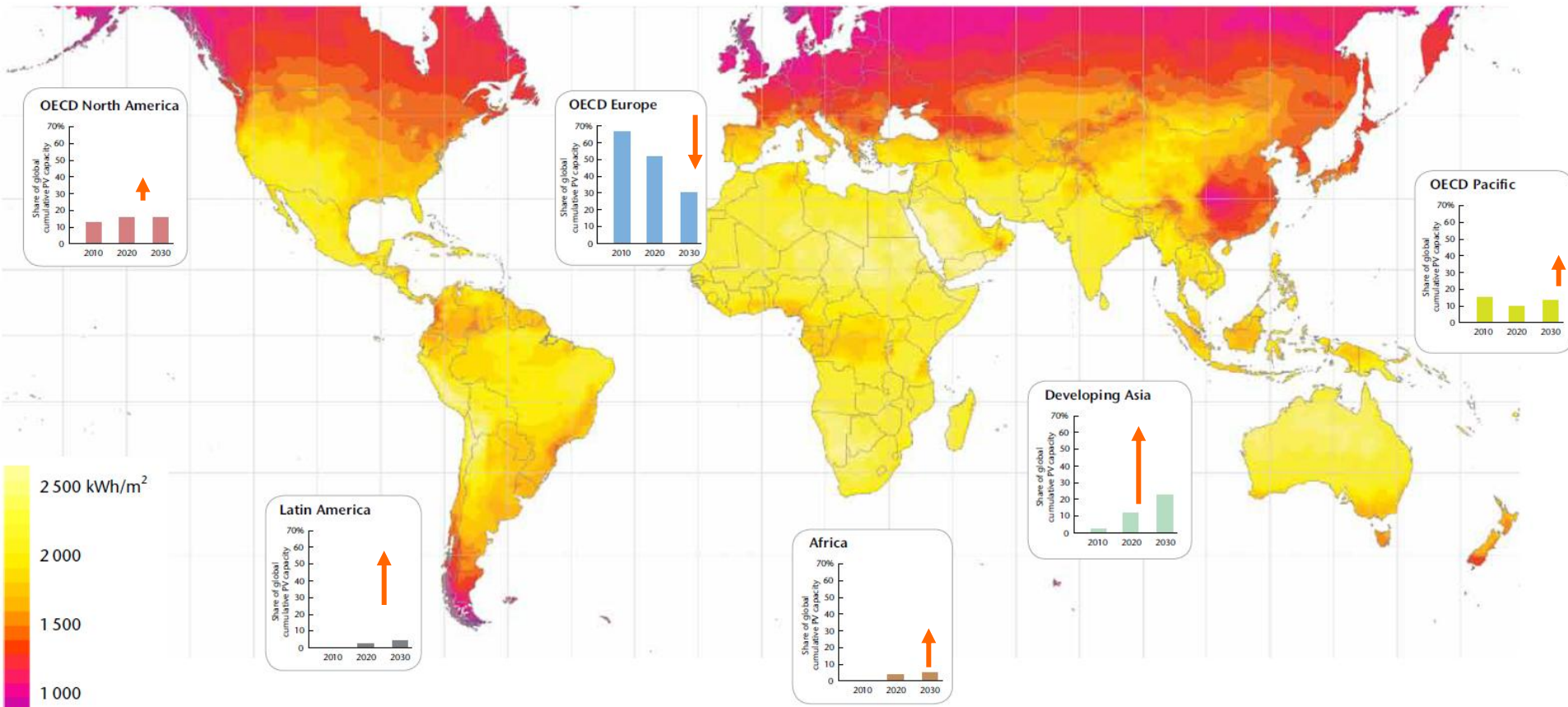
Quelle: BMU-KI III 1 nach Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat); 1 GWh = 1 Mio. kWh; 1 MW = 1 Mio. Watt;  
Hintergrundbild: BMU / Bernd Müller; Stand: März 2012; Angaben vorläufig

# Entwicklung des Anteils erneuerbarer Energien in Deutschland 2000-2011



EE-Anteil am Stromverbrauch	
bis spätestens	[%]
2020	mindestens 35
2030	mindestens 50
2040	mindestens 65
2050	mindestens 80

# Energiewende als Exportartikel: Potential & Entwicklung der PV weltweit



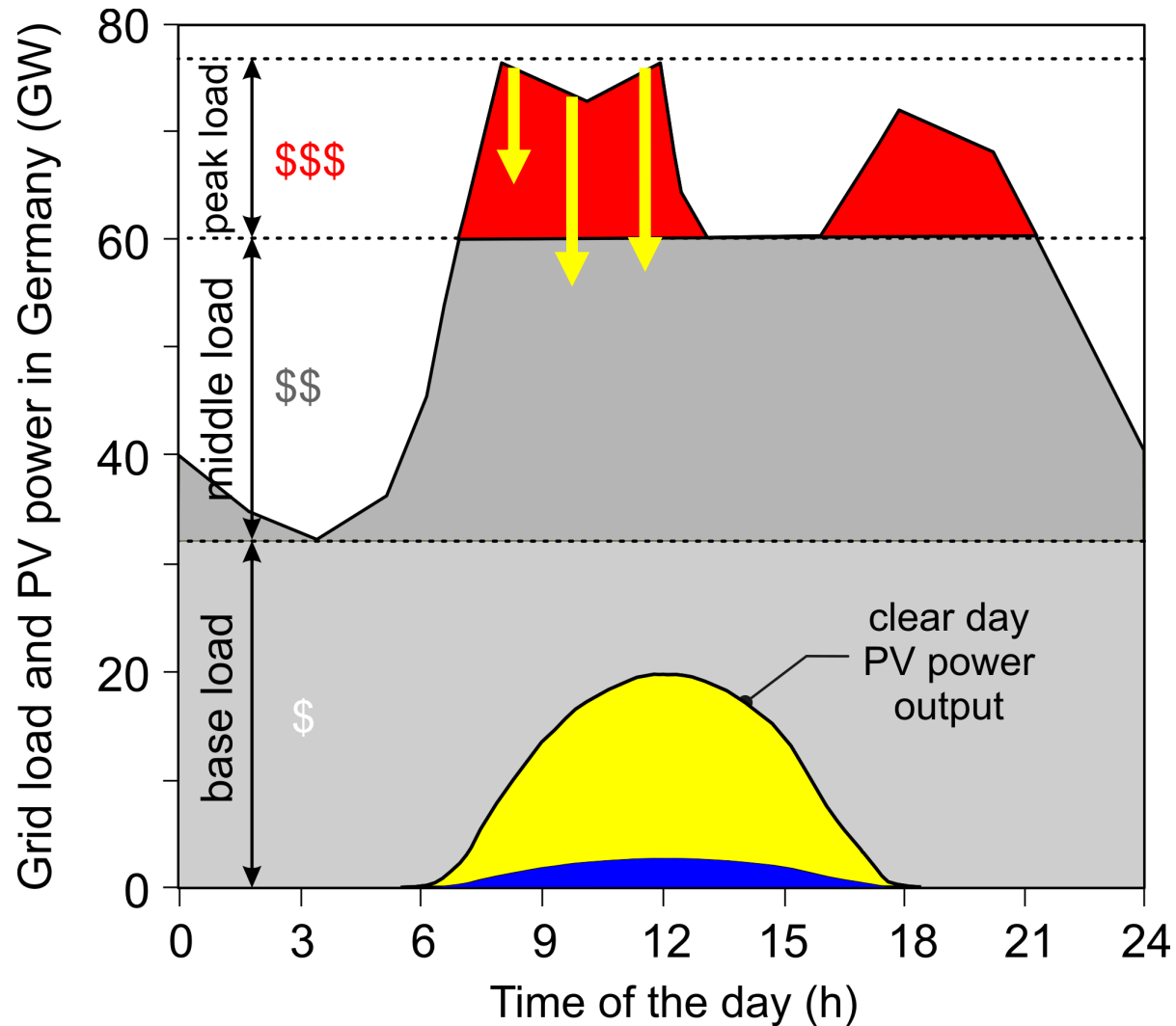
Weniger Installationen in Europa, mehr in Asien, Afrika, Lateinamerika

Konsequenz: mehr Orientierung für den Export

internationale EE-Expertise gefragt → Herausforderung an die Universitäten



# Tages-Lastgang und PV in Deutschland

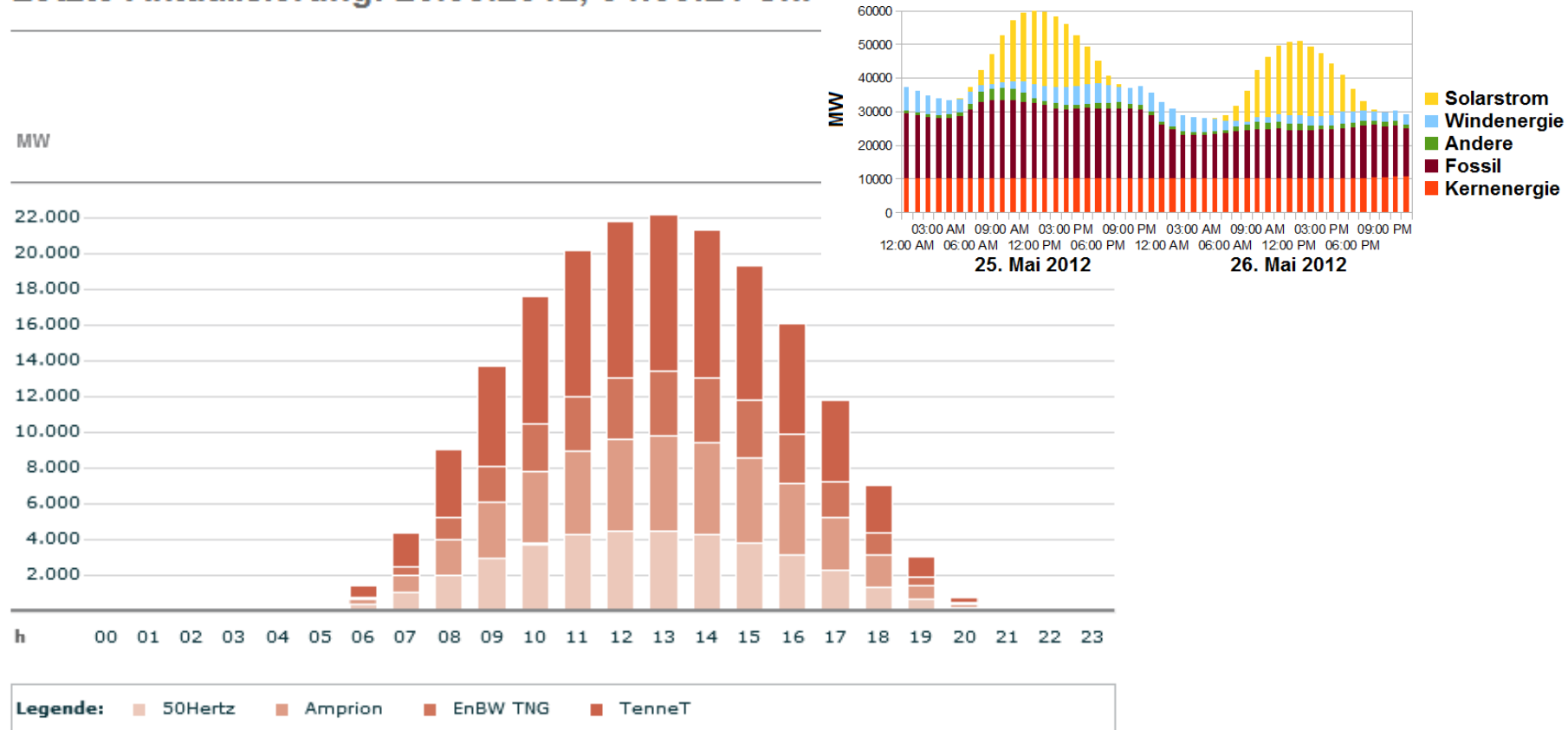


# PV-Leistung im Netz am 25. und 26.05.2012

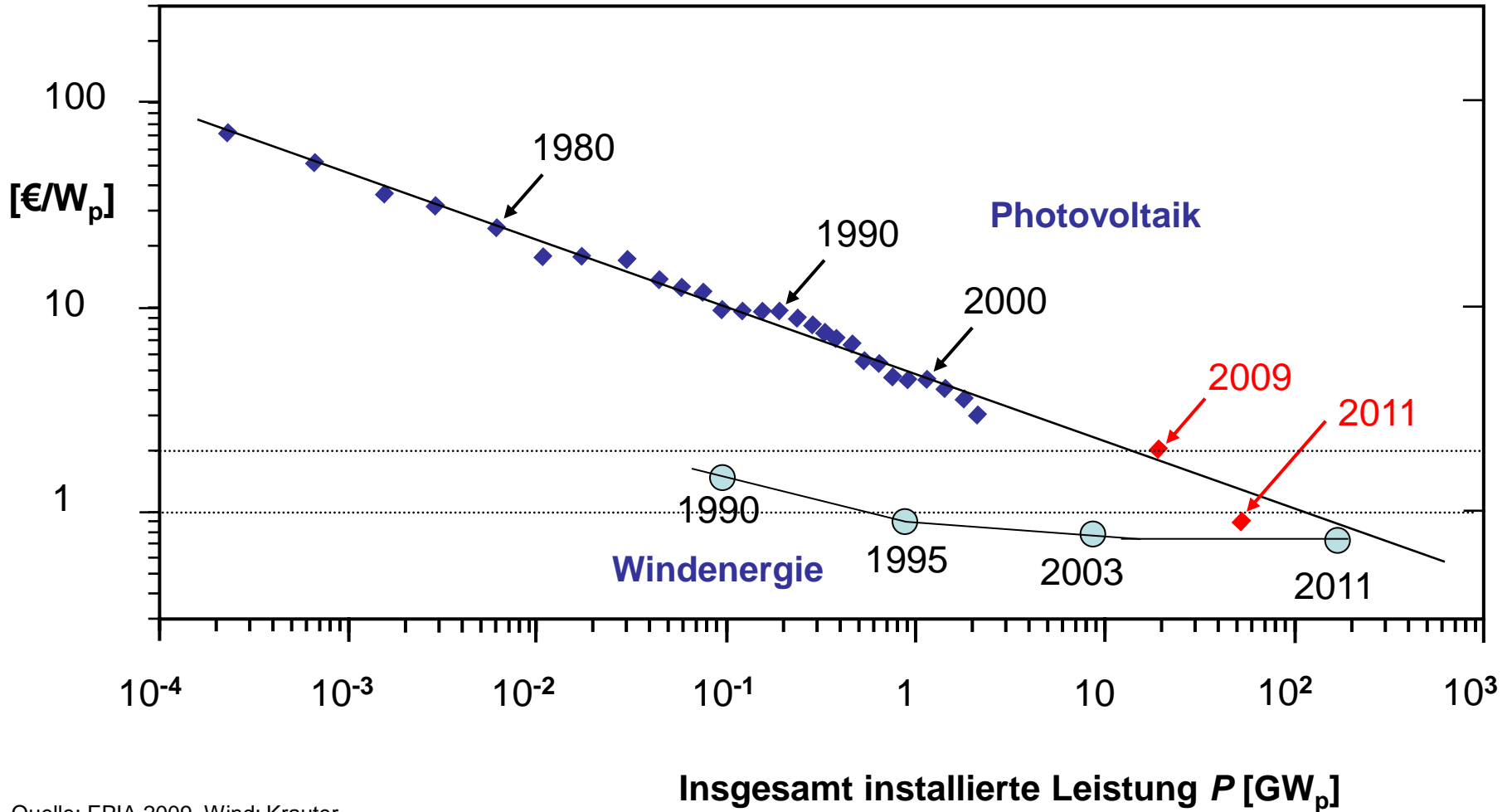
## Beitrag am 26.5.: 40% am Gesamtverbrauch

Angezeigter Zeitraum: 25.05.2012, 00:00 Uhr - 25.05.2012, 23:59 Uhr

Letzte Aktualisierung: 26.05.2012, 04:00:21 Uhr



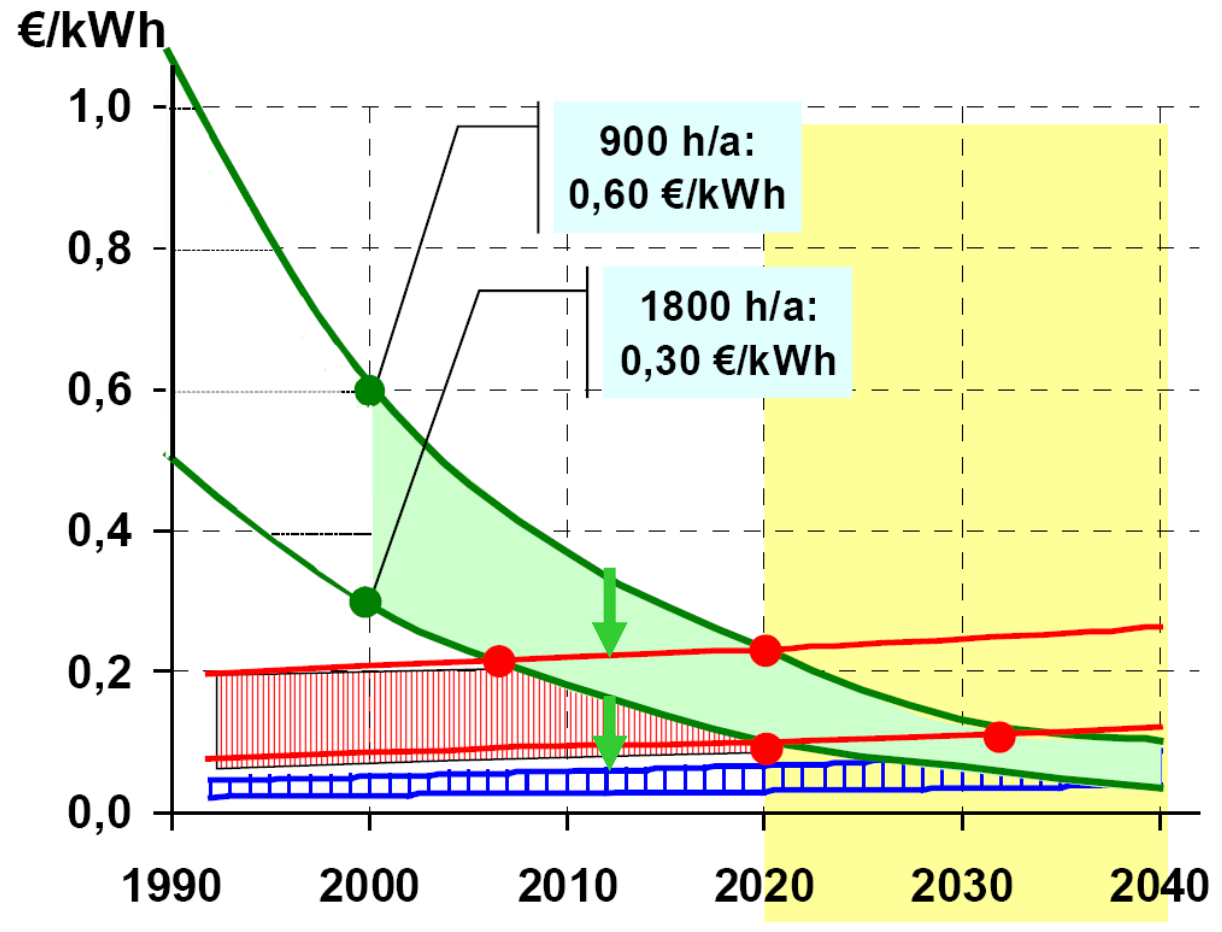
# „Lernkurve“ der PV: 10 → 2 Jahre für Halbierung der Kosten Windenergie: 13 Jahre für Halbierung der Kosten



Quelle: EPIA 2009, Wind: Krauter

# 2012 statt erst 2020: PV wird günstiger als konventioneller Strom

## Strom-gestehungs-kosten



Quelle: Hoffmann 2000, Krauter 2010

# Einspeisevergütung PV 2012 (2004: 0,54 €/kWh)

Werte in Ct./kWh

Inbetriebnahme	Dachanlagen von ... kWp bis ... kWp			
Datum	0-10	10-40	40-1000	1 MW-10 MW
Ab 01.04.2012	19,50	18,50	16,50	13,50
Ab 01.05.2012	19,31	18,32	16,34	13,37
Ab 01.06.2012	19,11	18,13	16,17	13,23
Ab 01.07.2012	18,92	17,95	16,01	13,10
Ab 01.08.2012	18,73	17,77	15,85	13,97
Ab 01.09.2012	18,54	17,59	15,69	12,85
Ab 01.10.2012	18,36	17,42	15,53	12,71
Ab 01.11.2012	noch nicht vorhanden			
Ab 01.12.2012	noch nicht vorhanden			

# Eigenheime mit integrierter PV-Eigenstromversorgung: Attraktiv für den Endverbraucher (0,18 statt 0,25 €/kWh)



**Nur der nicht durch PV verfügbare Strom wird zugekauft,  
jedoch zu einem Mehrpreis von 39%**

© Hakushin Corporation

# 39% Mehrpreis:

d.h. für Privatpersonen wird die Verbrauchsanpassung an die PV-Verfügbarkeit wirtschaftlich sinnvoll.

Verbraucher wie Waschmaschine und Spülmaschine werden an sonnenreichen Tagen benutzt.

Kaufinteresse an automatisierbaren Produkten entsteht (auch Gefrier- und Kühlschränke)

Interesse an Kleinspeichern,  
Kosten jedoch sehr hoch (0,2-0,3 € kWh).

**Trend: Teil-Autonomie**

# Gewerbe, Industrie, öffentlicher Sektor

Neben dem bei Privathaushalten üblichen Energietarif (€/MWh) wird bei Industriekunden ab einer gewissen Abnahmeleistung ein Leistungstarif (€/MW) zur Bereitstellung bezahlt

d.h. es ist attraktiv, eine eigene, alternative Stromversorgung aufzubauen, um den Leistungstarif zu reduzieren.

Trend: Teil- und Voll-Autonomie, zur Zeit durch BHKW  
Zukünftig durch „virtuelle bzw. Kombi-Kraftwerke“



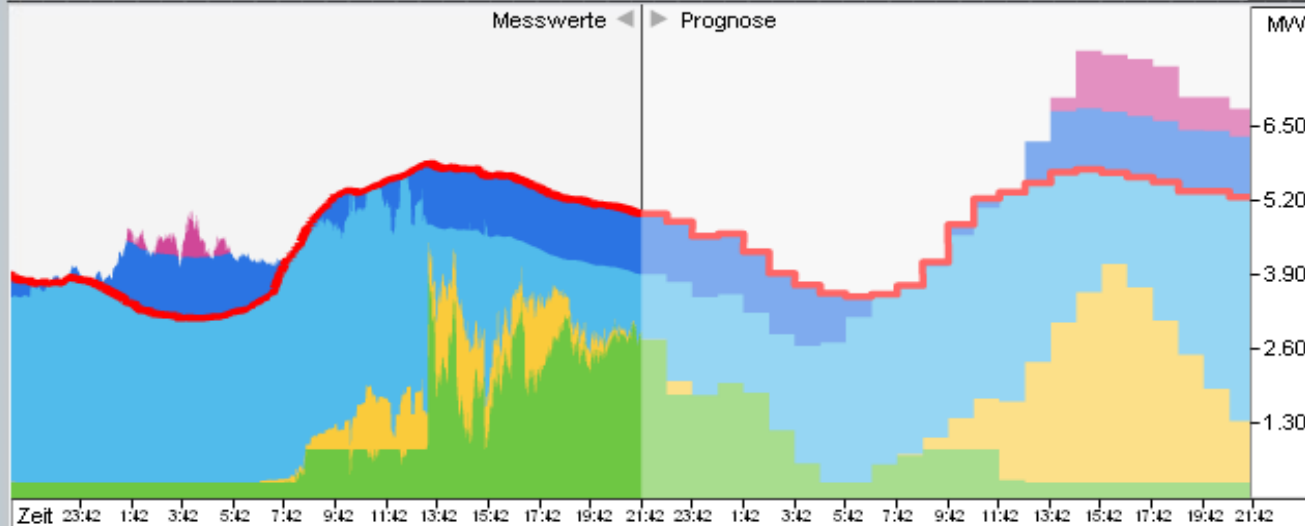


# DAS REGENERATIVE KOMBIKRAFTWERK

## DIAGRAMM FÜR STROMBEDARF UND EINSPEISUNG

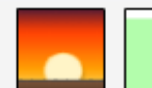


Messwerte ◀ ▶ Prognose

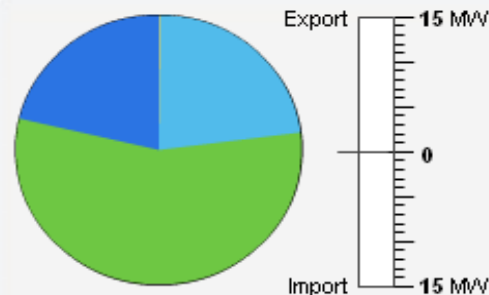


## UMGEBUNGSBEDINGUNGEN

Uhrzeit 21:42 Uhr  
Datum 10.07.2007



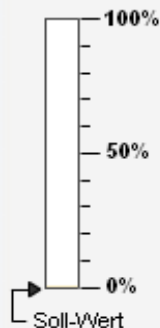
## MOMENTANWERT STROMMIX



### SOLAR



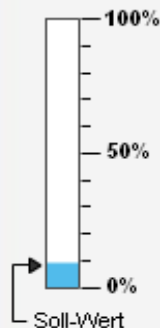
Leistung



### WIND



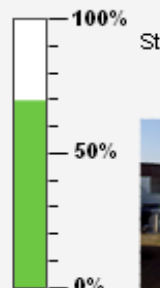
Leistung



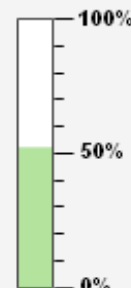
### BIOGAS



Leistung

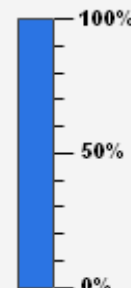


Biogasspeicher

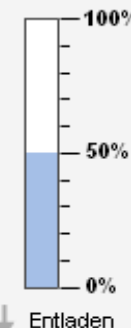


### SPEICHER (WASSER)

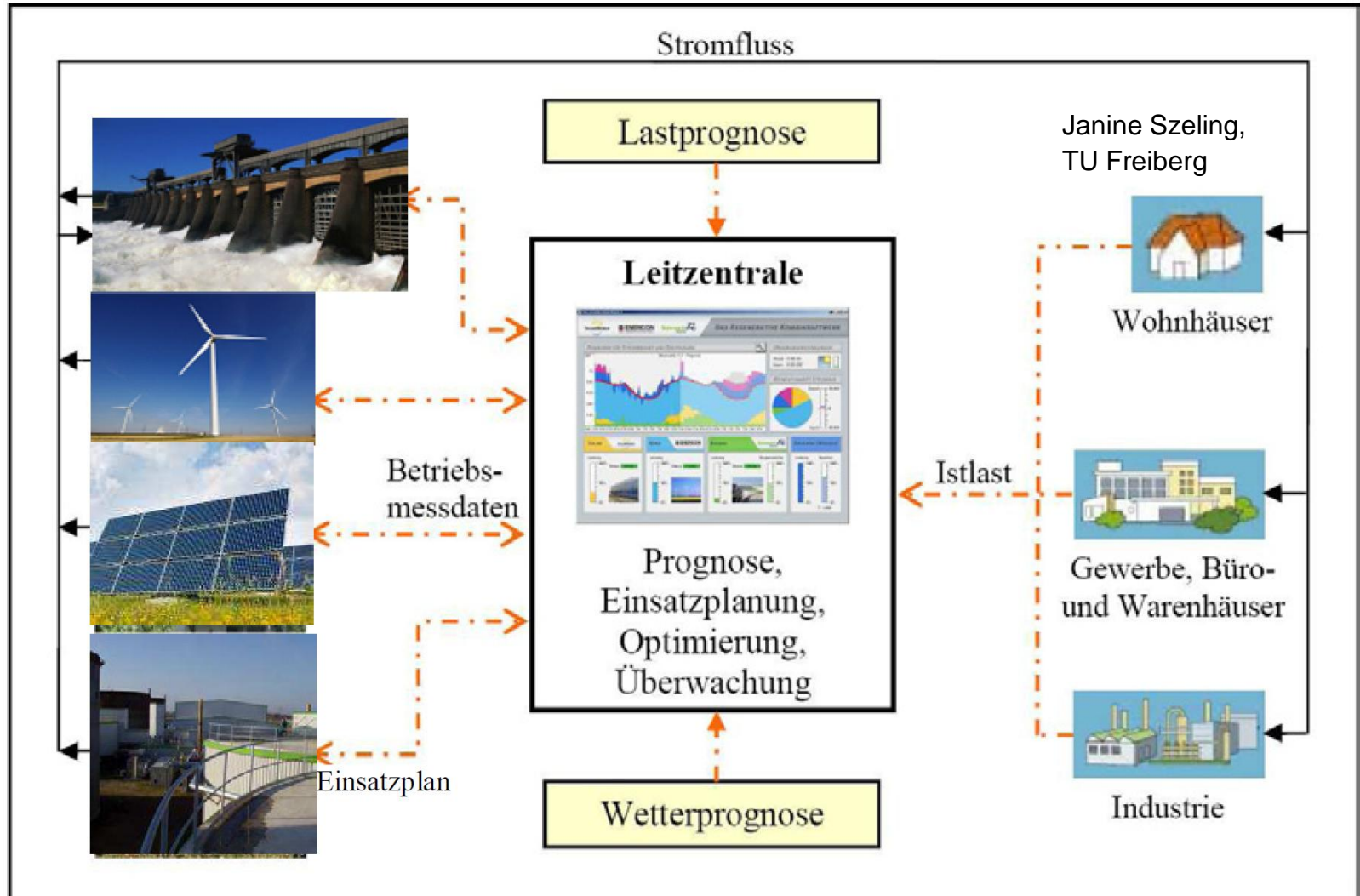
Leistung



Speicher



# Externe Parameter eines Kombi-Kraftwerkes

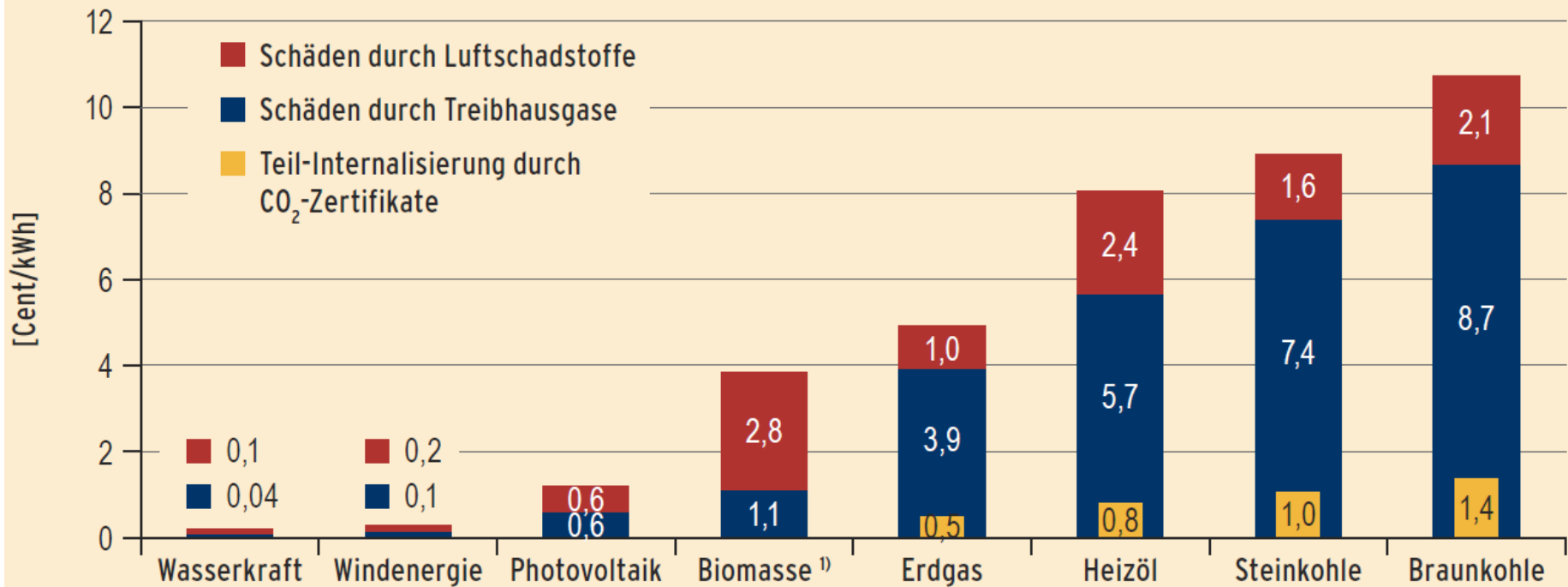


**Bisher: zentrale Steuerung – heute: dezentral möglich**

# Vernachlässigt beim Kostenvergleich: Gesamtkosten

Normalerweise wurden nur die reinen Erzeugungskosten eingepreist

## Spezifische Umweltschäden und CO<sub>2</sub>-Kosten in Cent pro Kilowattstunde Strom nach Energieträgern im Jahr 2011



Quellen: eigene Berechnungen Fraunhofer ISI nach ISI et al. [147], [53], [50]; NEEDS [128]; UBA [75]; PointCarbon [127]

Quelle: Bundesumweltministerium 2012

# Entwicklung Energieautonomie

Durch gegensätzliche Preisentwicklung (konventioneller Strom teurer, PV-Strom wird günstiger) nimmt der Autonomiebereich zu

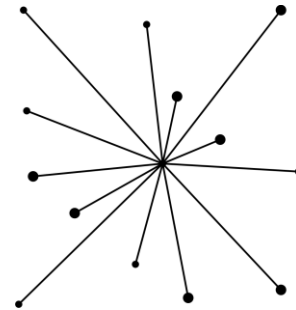
Zeitweise Überproduktion kann wirtschaftlich werden, wenn damit teure Energielücken geschlossen werden können

Attraktiver Markt für EVUs: Bereitstellung von günstiger Regelenergie

# Vergleich zur Entwicklung der Informationstechnik

In den 60-70-iger Jahren stark zentrale Strukturen (Mainframes, BTX)

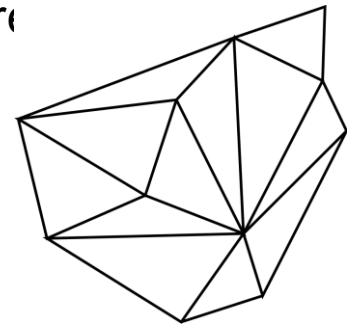
User bekommt nur „Terminals“ (IBM: „mehr als 5 Computer braucht die Welt nicht“)



In den 80-igern bis 00-er Jahren zunehmend dezentrale Strukturen:

**PC** (Apple 1977, IBM 1982), : Lokale Steuerung, Nutzer konfiguriert und steuert alles selbst

**Internet** (TCP/IP wurde so dezentral und als Gesamtsystem extrem ausfallsicher ausgelegt, Ursprung: militärische Nutzung)



Ab 2010: Zentrale & dezentrale Strukturen (smart-net, web 3.0):

Cloud Computing, Smart Phones, Browser-Games, wenn gewollt: starke Kommunikation & Interaktion zwischen den Netzteilnehmern

# Organisation von Dienstleistungen im Internet: Zentral vs. Dezentral (Web)

<i>Original on-line service model</i>	<i>Web-influenced on-line service model</i>	<i>Web model</i>
Central information choice ("gatekeeper")	Personal Web pages  Central choice of (professional) content providers	Anyone can provide content
Closed user interface (proprietary software)	Pre-selected third-party software, sometimes customized	Any Internet-compatible software

**BTX, CompuServe, AOL, MSN → World-Wide-Web**

Gillett, Massachusetts Institute of Technology: The Self-governing Internet: Coordination by design

# Voraussetzung für eine erfolgreiche dezentrale Organisation

1. Einheitliche Sprache („Kommunikationsprotokoll“)
2. Möglichkeit der Teilnahme („Zulassung am Markt“)
3. Interaktion (sowohl „Sender“ als auch „Empfänger“ – zwischen allen Teilnehmern)
4. Verantwortlichkeit (Zusagen müssen erfüllt werden)

**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !**

**Diskussion ?**

**Gerne !**