

# Einbindung von solar- thermischen Kraftwerken in eine Energieversorgung von morgen

**Bernhard Hoffschmidt, DLR  
Institut für Solarforschung**

Samstag, den 06. April 2013

# Gliederung

- Ausbau erneuerbarer Energien in Deutschland
- Was ist Concentrating Solar Power (CSP)?
- Der Wert des CSP Stroms
- Heutige Märkte und Kosten
- Mögliche Rolle der CSP-Technologie in Europa und im Nahen Osten und Nordafrika (MENA)
- Mögliche Vorteile für Europa
- Herausforderungen

# Energiekonzept als Grundpfeiler der Energiewende

	Klima		Erneuerbare Energien		Effizienz			
	Treibhausgase (vs. 1990)	Anteil Strom	Anteil gesamt	Primärenergie	Strom	Energieproduktivität	Verkehr	Gebäude-sanierung
2020	- 40 %	35%	18%	- 20%	-10%	steigern auf 2,1%/a	-10 %	Rate verdoppeln 1% -> 2% bis 2020
2030	- 55 %	50%	30%	⋮	⋮			Minderung Wärmebedarfs um 20%
2040	- 70 %	65%	45%	▼	▼			bis 2050 Minderung PEV um 80%
2050	- 80-95 %	80%	60%	- 50%	-25%			- 40 %

Quelle: Schafhausen 2011

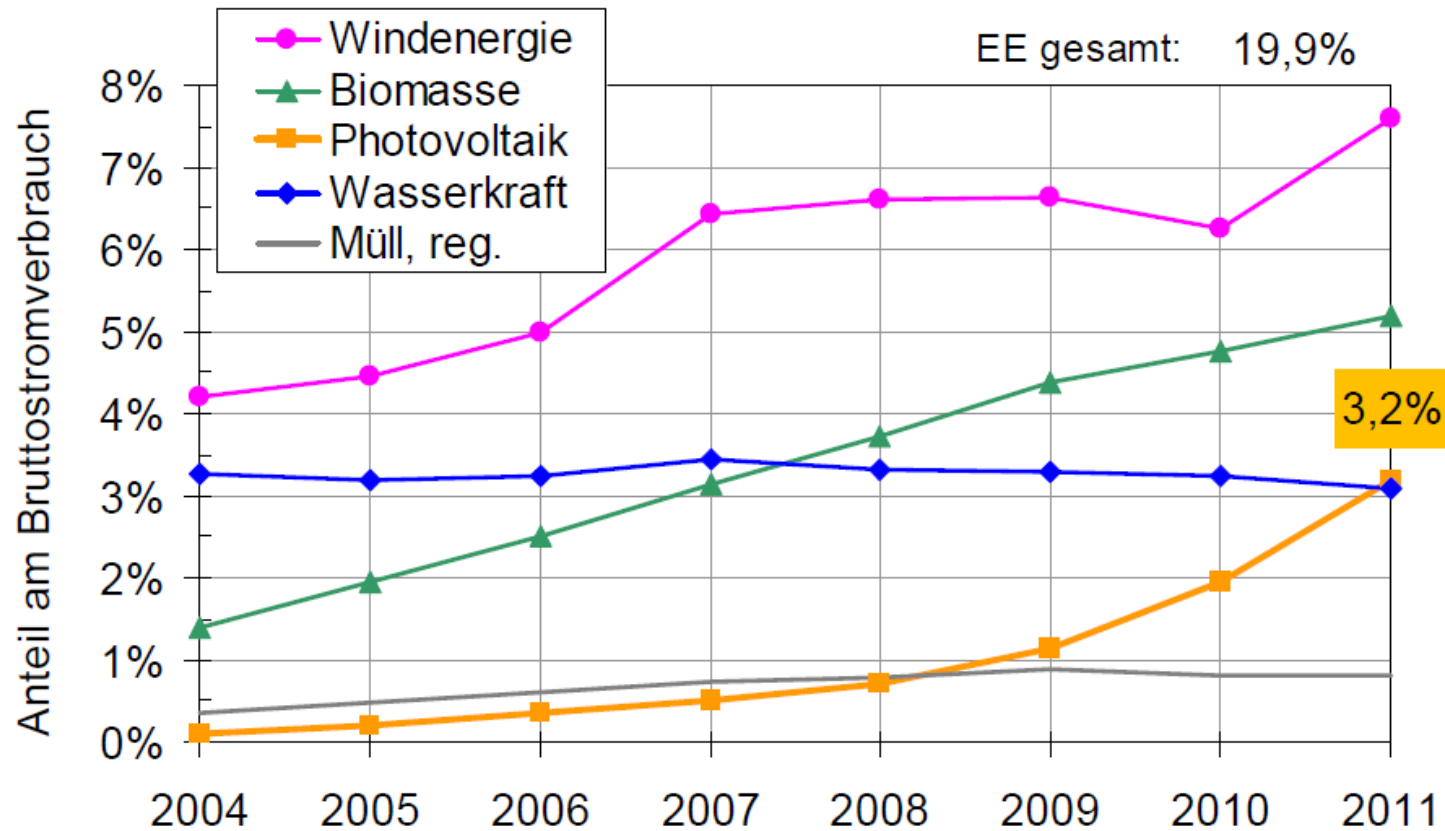
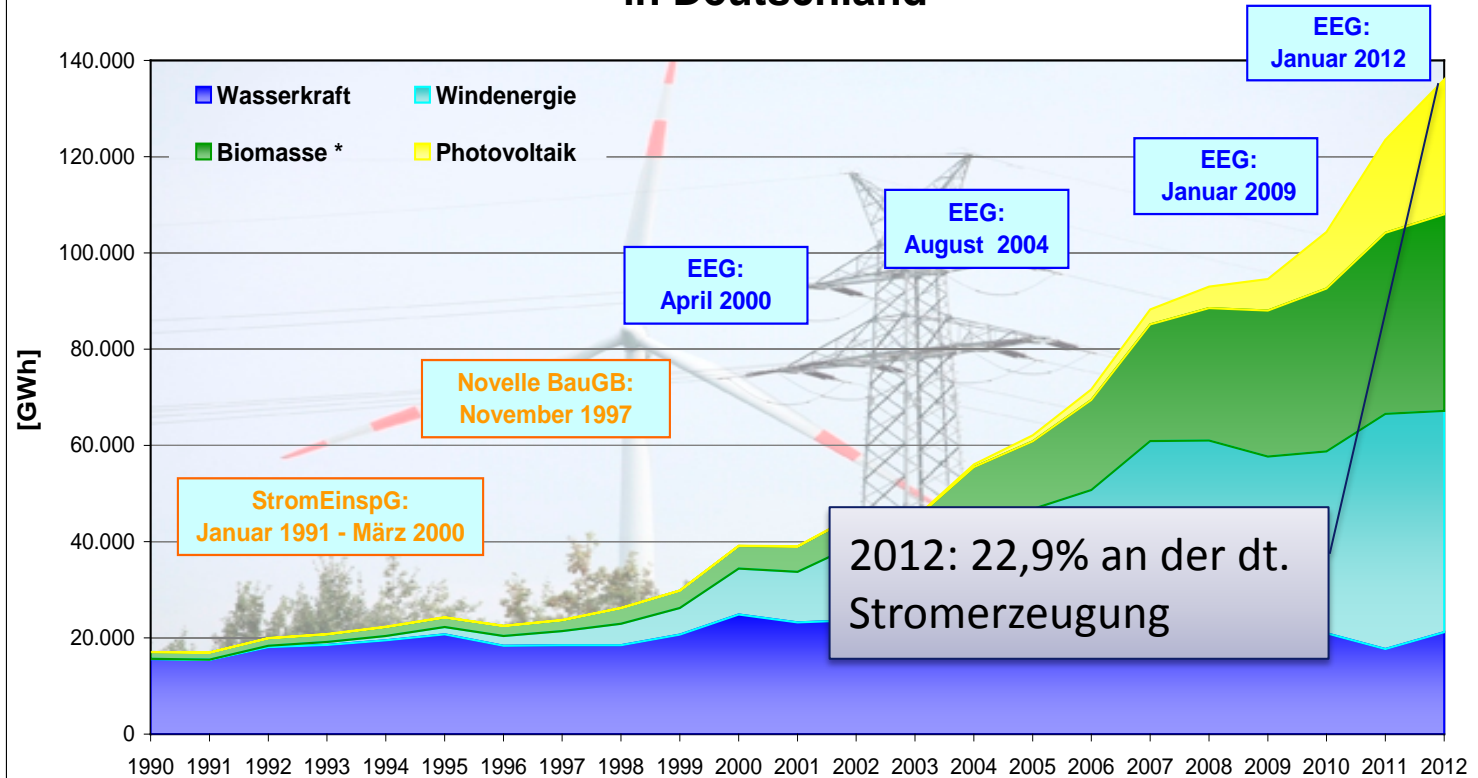


Abbildung 1: Anteil der Erneuerbaren Energien am Bruttostromverbrauch in Deutschland, Daten aus [BDEW1, BDEW3]

## Beitrag der erneuerbaren Energien zur Strombereitstellung in Deutschland



\* Feste und flüssige Biomasse, Biogas, Klär- und Deponiegas, biogener Anteil des Abfalls; 1 GWh = 1 Mio. kWh;

Aufgrund geringer Strommengen ist die Tiefengeothermie nicht dargestellt; StromEinspG: Stromeinspeisungsgesetz; BauGB: Baugesetzbuch; EEG: Erneuerbare-Energien-Gesetz;

Quelle: BMU - E I 1 nach Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat); Hintergrundbild: BMU / Christoph Edelhoff; Stand: Februar 2013; Angaben vorläufig

# Umwelt- und Klimaschutz, Wertung September und Dezember 2012



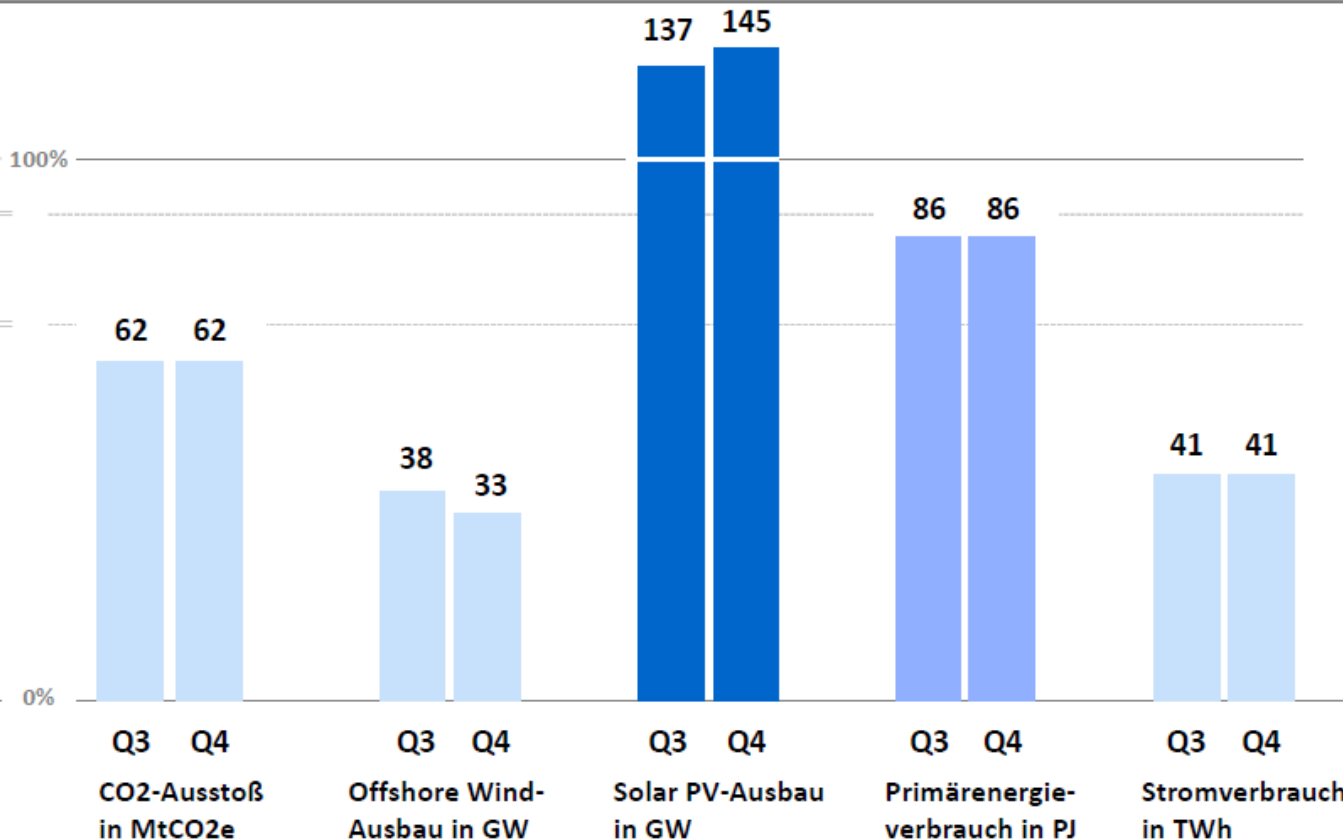
Startwert	997	0	6,1	14 317	615
Zielwert 2020	739	10	51,8	11 454	553
Aktueller Wert	937	0,2 0,2	26,8 29,2	13 701	609
Aktuelles Ziel	900	0,5 0,6	21,2 22,0	13 601	600
Erforderliche Entwicklung	-97	0,5 0,6	15,1 15,9	-716	-15

## Zielerreichung (In Prozent)

Im Zielkorridor

Leichter Anpassungsbedarf

Deutlicher Handlungsbedarf



Rechenbeispiel Zielerreichung CO2-Ausstoß:  $0\% \triangleq 997 \text{ MtCO}_2\text{e}$ ,  $100\% \triangleq 900 \text{ MtCO}_2\text{e}$ , aktueller Wert von  $937 \text{ MtCO}_2\text{e} \triangleq \frac{(937-997)/(900-997)}{1} = 62\%$

Quelle Vahlenkamp et al. ENERGIEWIRTSCHAFTLICHE TAGESFRAGEN 62. Jg. (2012) Heft 12

Source: EuPD Research 2011

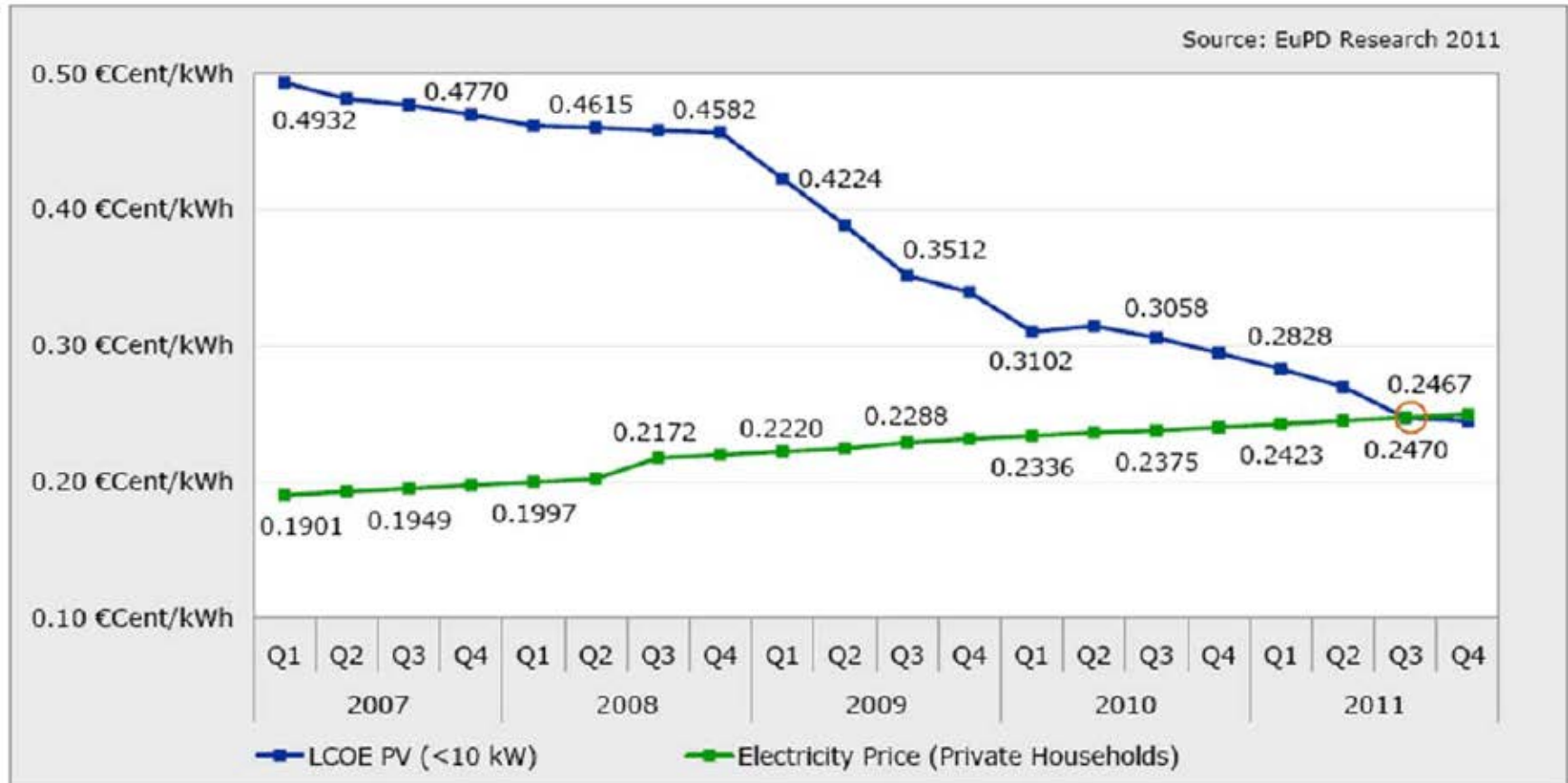
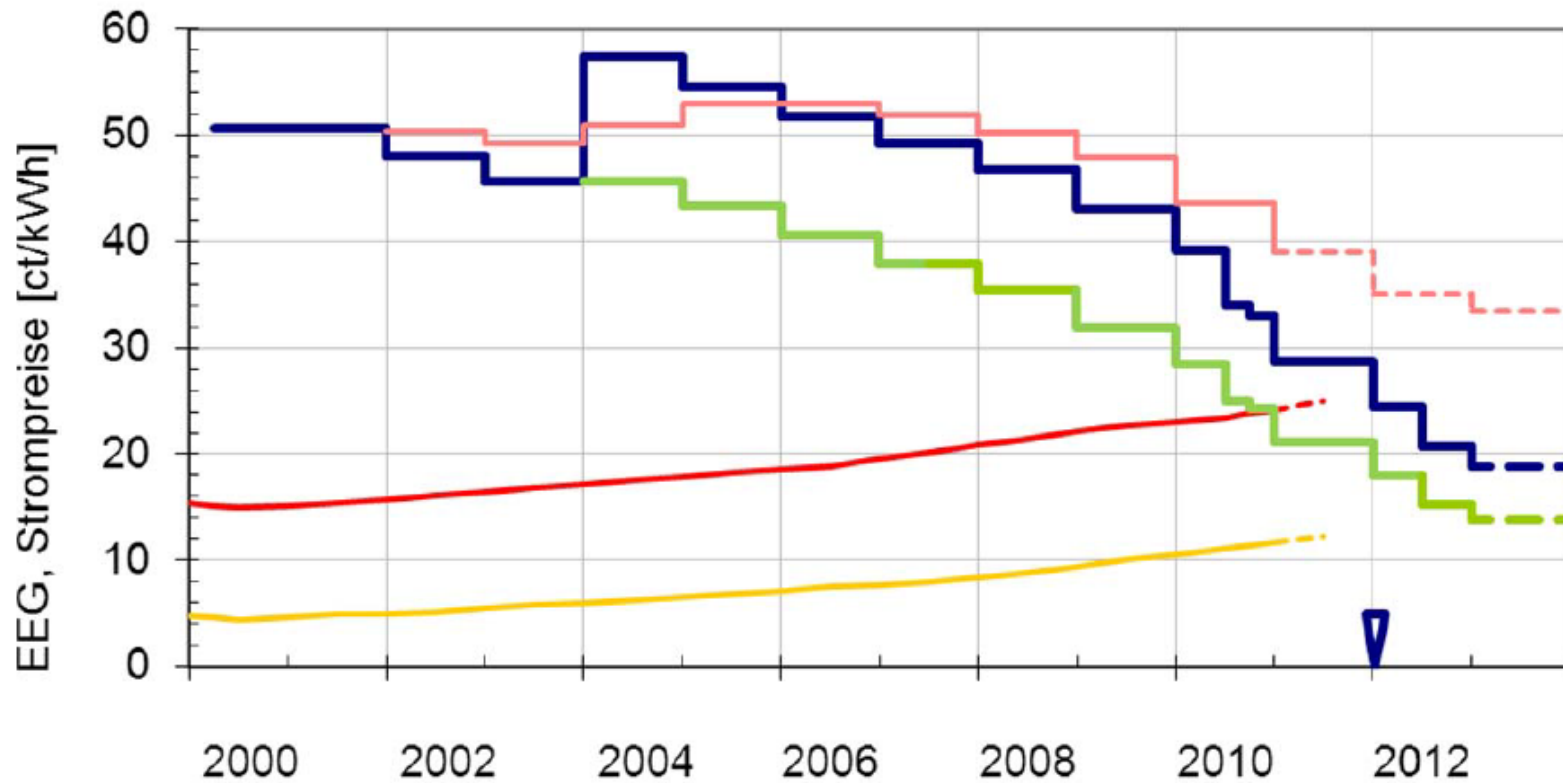


Abbildung 2: Entwicklung der Stromgestehungskosten für kleine PV-Dachanlagen und der Strompreise (EuPD Research 2011)





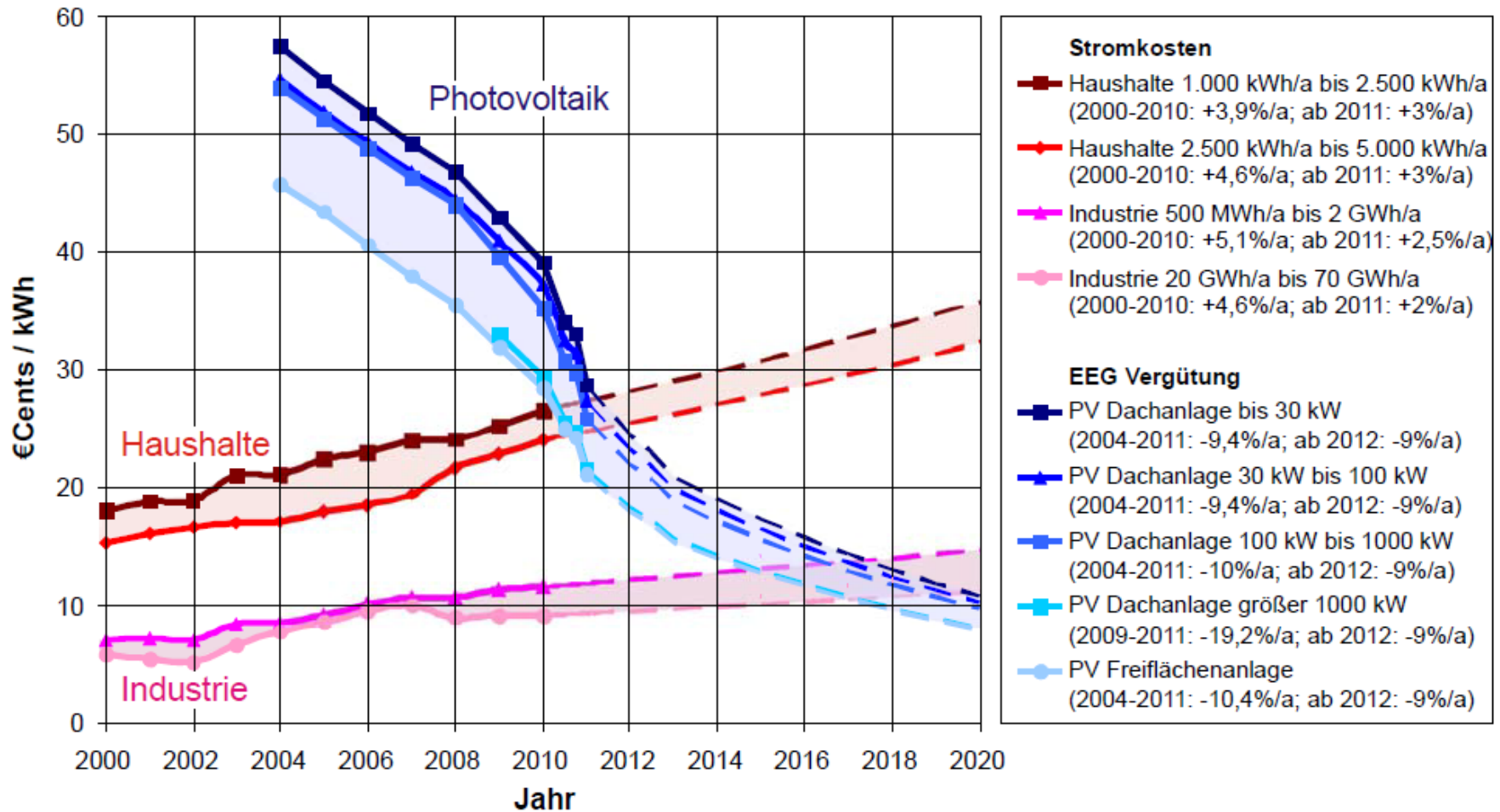
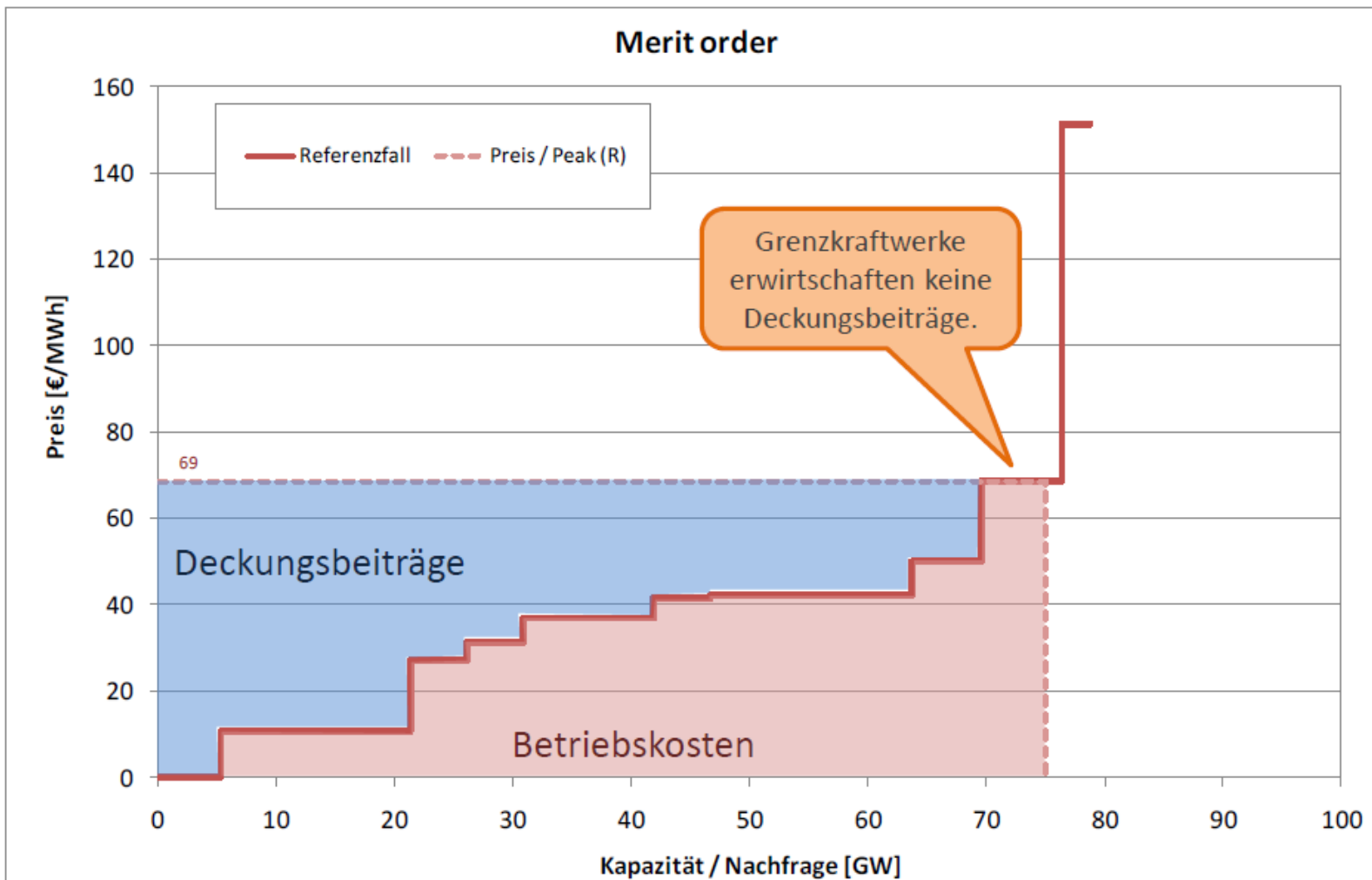


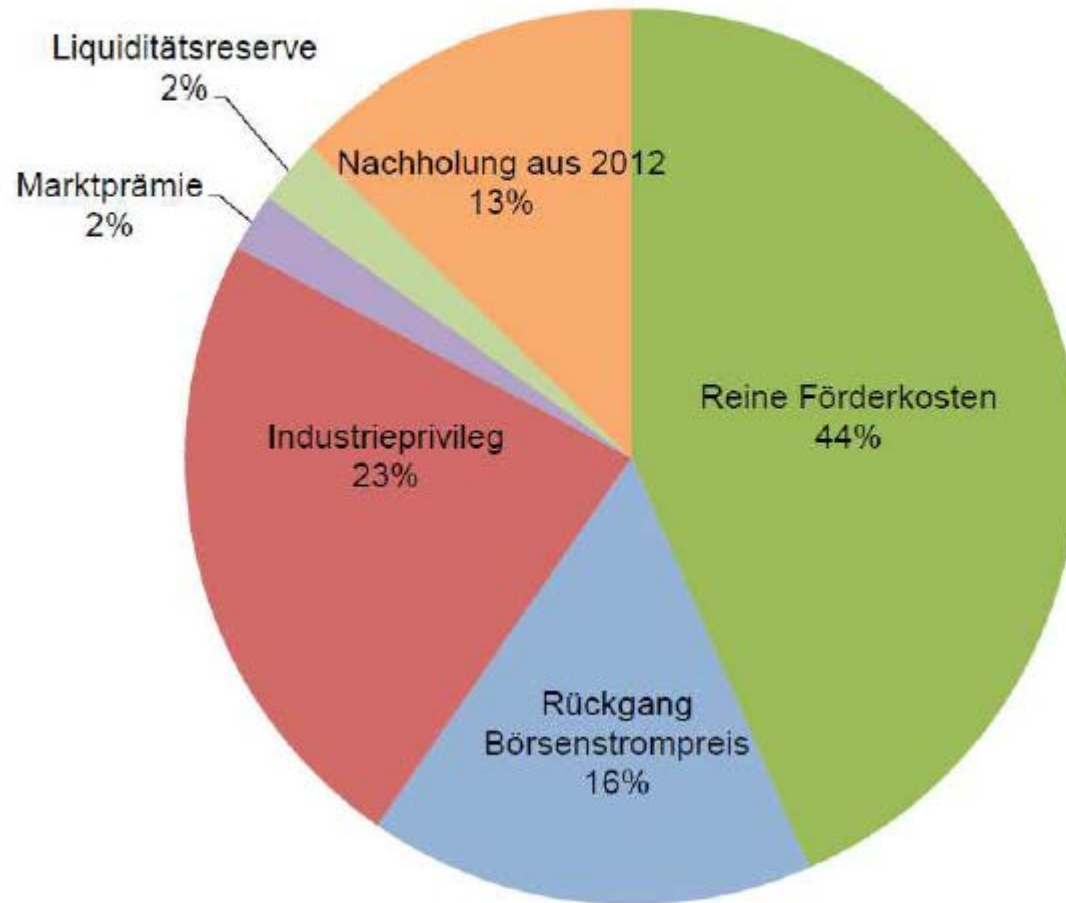
Abbildung 6: Prognose zur Vergütungs- und Strompreisentwicklung, Darstellung von Bruno Burger [FVEE]



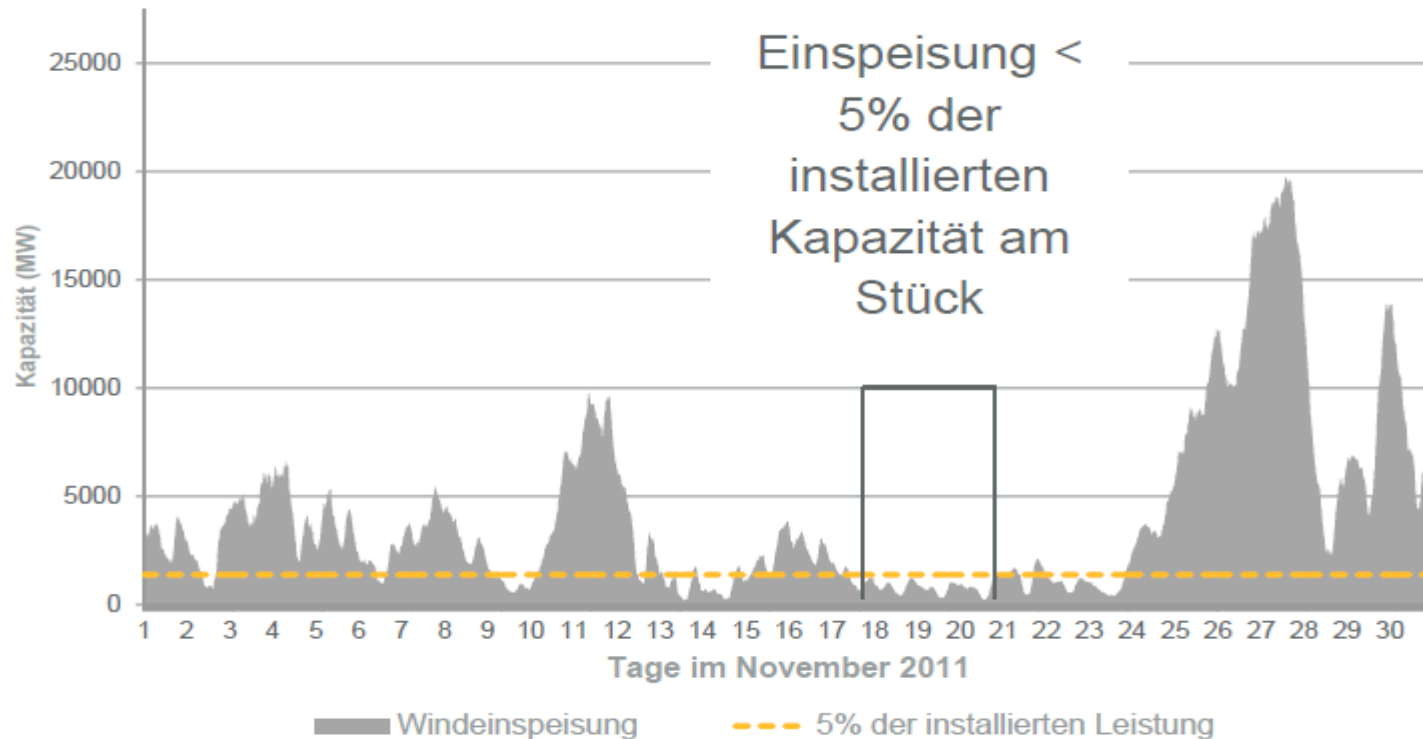


### Bestandteile der EEG-Umlage 2013

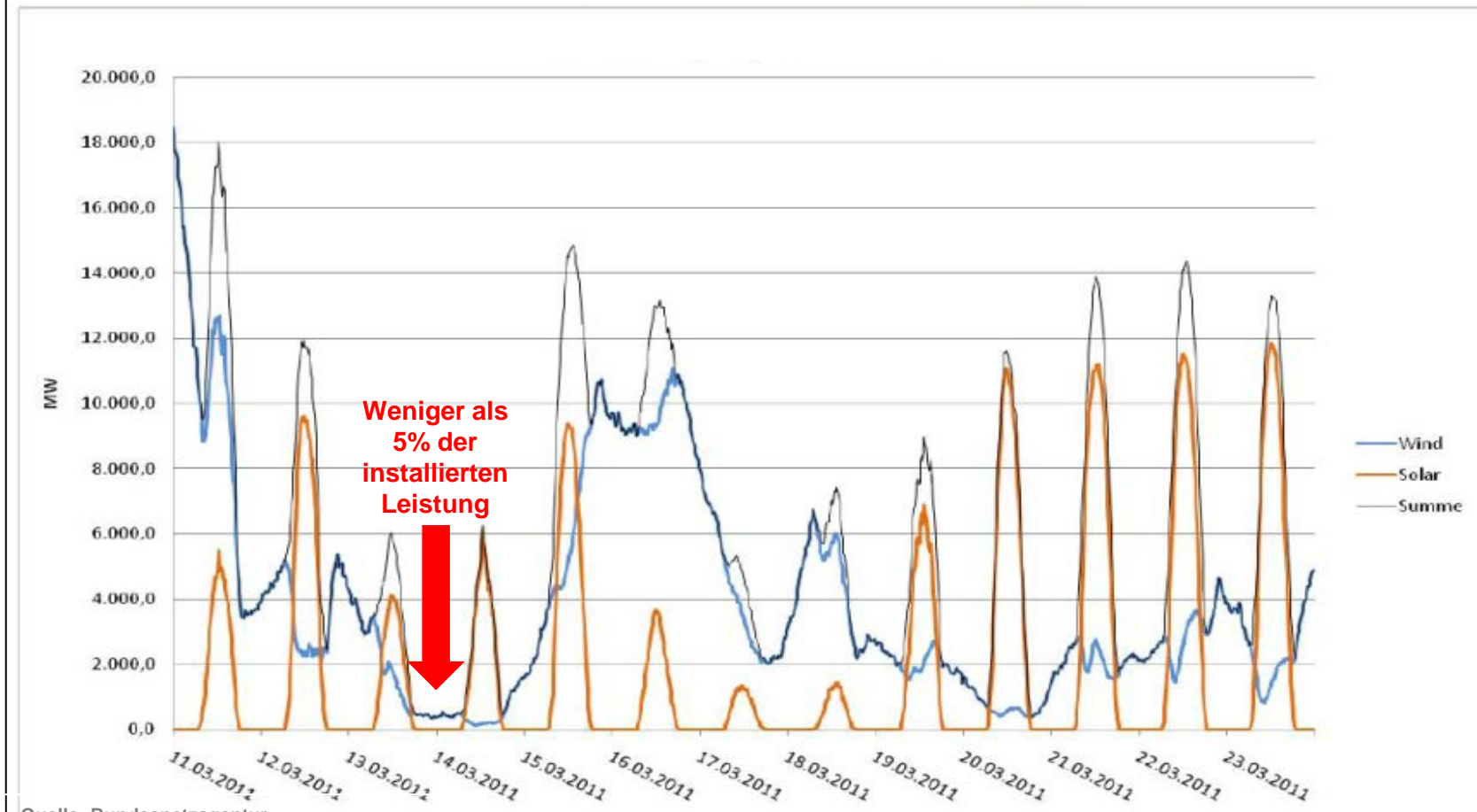
5,27 ct/kWh



## Windeinspeisung im November 2011

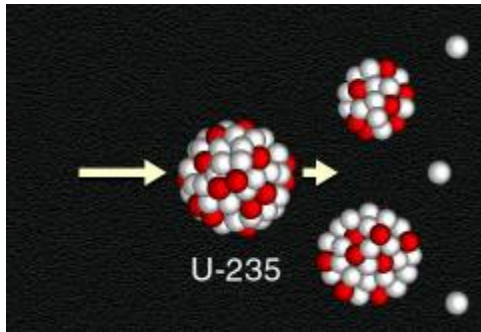


### Stromerzeugung aus Wind- und PV-Anlagen, 11. - 24.03.11.

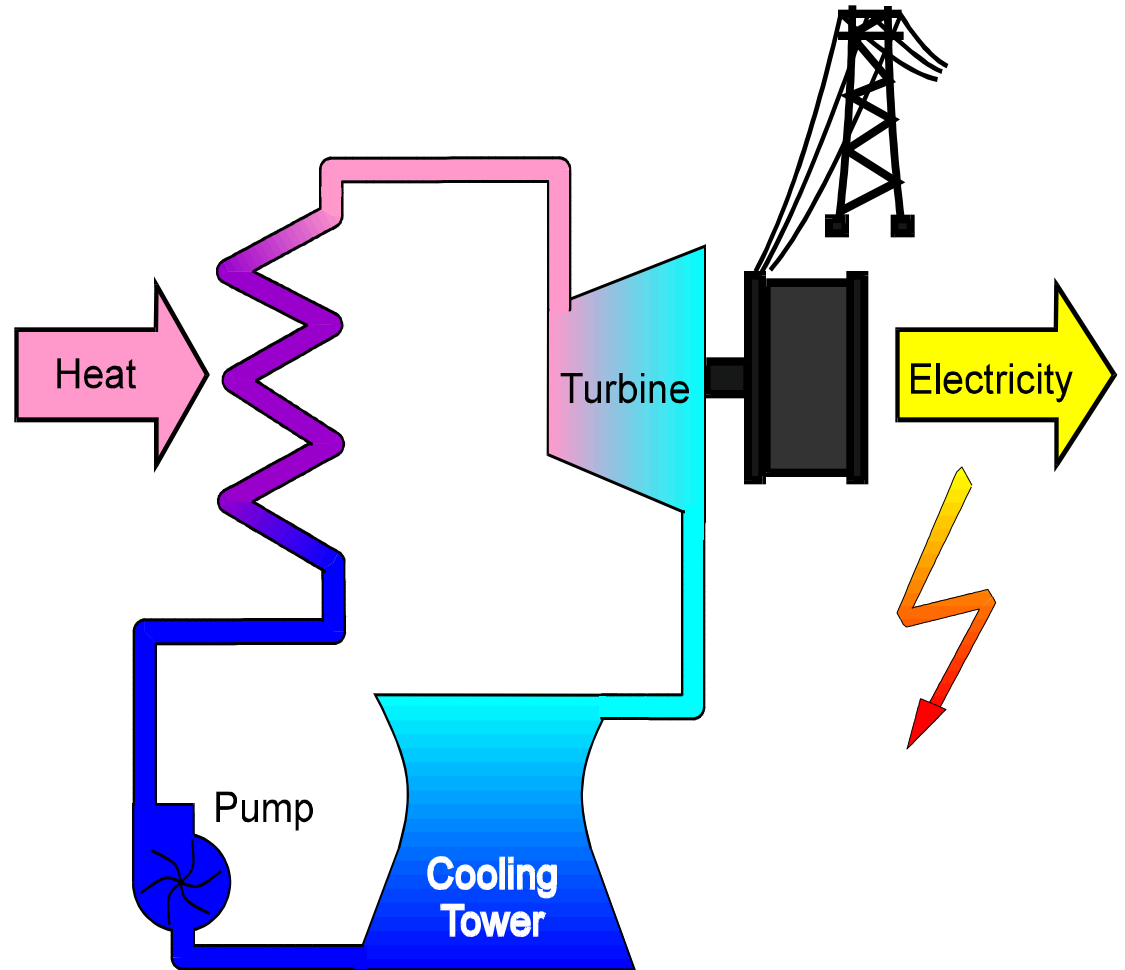


Quelle: Bundesnetzagentur

# Was ist CSP?



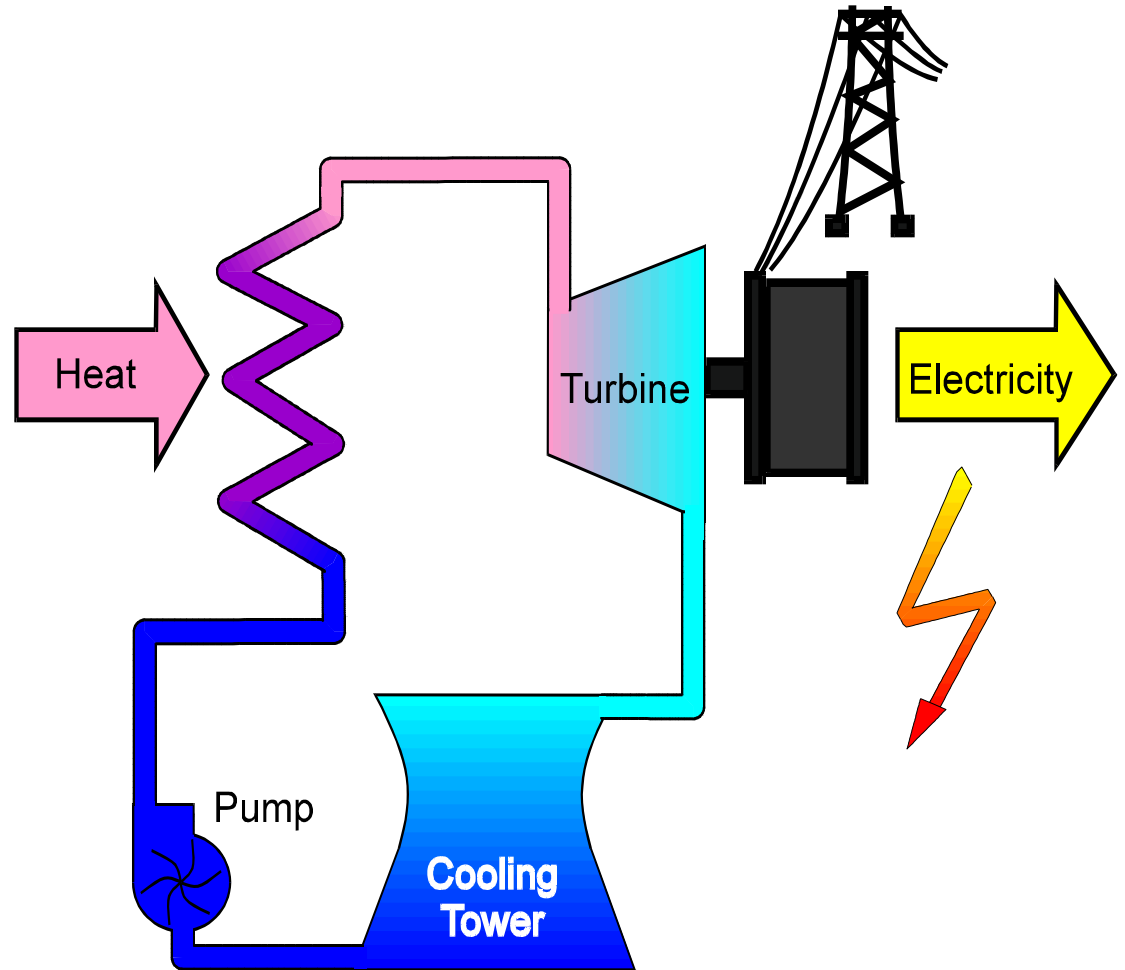
Konventionelle Kraftwerke



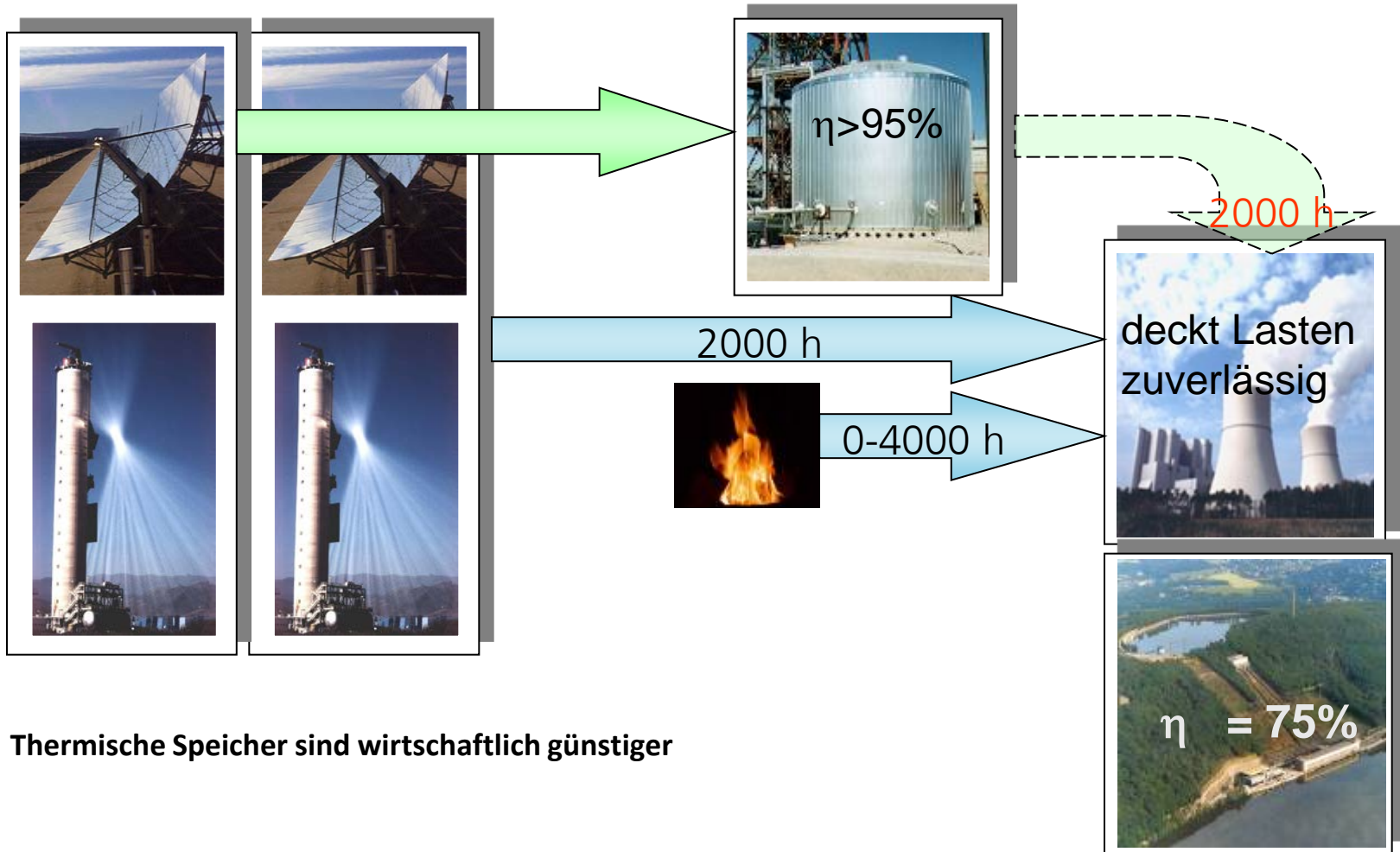
# Was ist CSP?



Solarthermische Kraftwerke



# Wärme vs. elektrische Energiespeicher

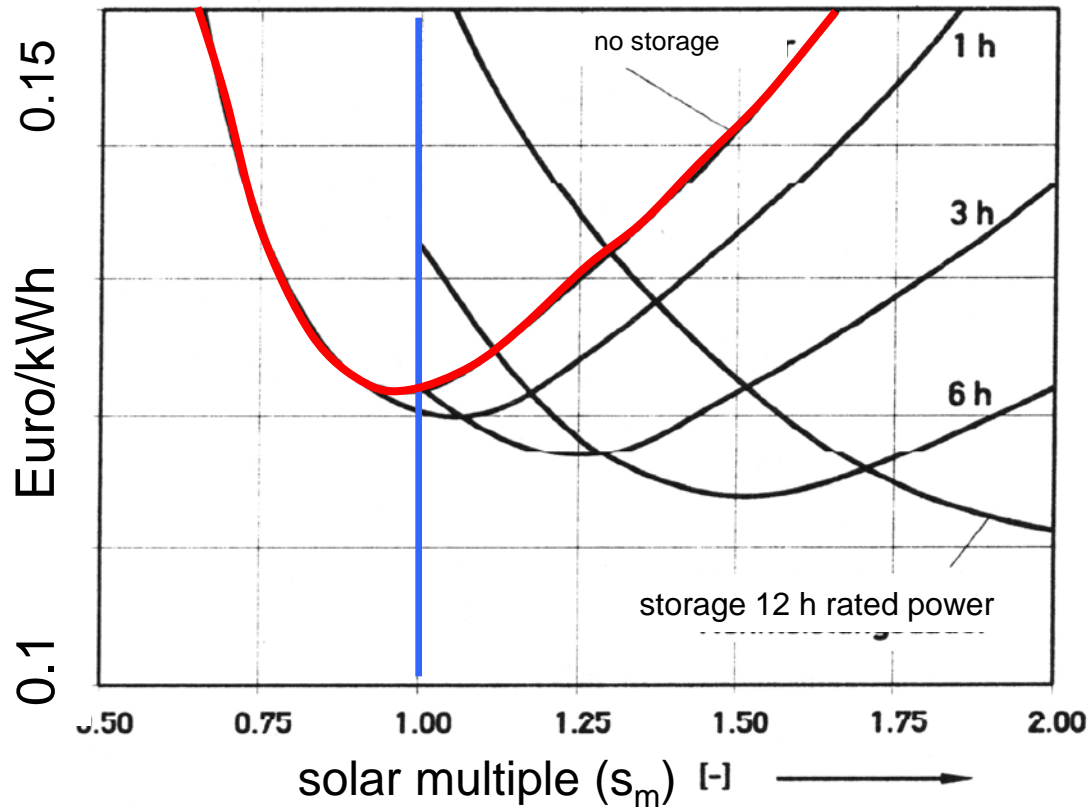


Thermische Speicher sind wirtschaftlich günstiger





# Stromgestehungskosten CSP mit und ohne therm. Speicher



(parabolic trough plant  
type SEGS VIII,  
 $P_{el}$  = 80 MWe  
yearly DNI = 2500  
kWh/m<sup>2</sup>  
 $s_m$  for 21. March!)

Electricity generation cost as function of solar multiple and storage size

# Kosten von Batterien als Stromspeicher

	Pb today	Pb 2010	Li-Ion today	Li-Ion 2020	Na-S today	Na-S 2020	Redox-Flow today	Redox-Flow 2020
Depth of Discharge	80	80	90	90	90	90	90	90
Effective Storage Size/GWh	2,5	2,5	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2
Efficiency /%	80	85	92	94	90	90	75	80
Invest EUR/kWh	300	200	750	250	500	200	500	250
Battery Total Invest /Bill EUR	0,75	0,50	1,67	0,56	1,11	0,44	1,11	0,56
System Total Invest /Bill EUR	1,50	1,00	3,33	1,11	2,22	0,89	2,22	1,11
Lifetime Battery / a	7	12	10	15	10	15	10	20
Throughput Energy /TWh	4,2	7,2	6,0	9,0	6,0	9,0	6,0	12,0
kWh Throughput Cost/ EUR/kWh	0,18	0,07	0,28	0,06	0,19	0,05	0,19	0,05
Charge Loss / TWh	0,8	1,1	0,5	0,5	0,6	0,9	1,5	2,4
Charge Loss Cost /Bill EUR€	0,25	0,32	0,14	0,16	0,18	0,27	0,45	0,72
Charge Loss Cost per kWh throughput/Bill EUR	0,06	0,05	0,02	0,02	0,03	0,03	0,08	0,06
Cost kWh throughput/ EUR/kWh (battery related)	0,24	0,11	0,30	0,08	0,22	0,08	0,26	0,11
Cost kWh throughput/ EUR/kWh (system related)	0,48	0,23	0,60	0,16	0,43	0,16	0,52	0,21

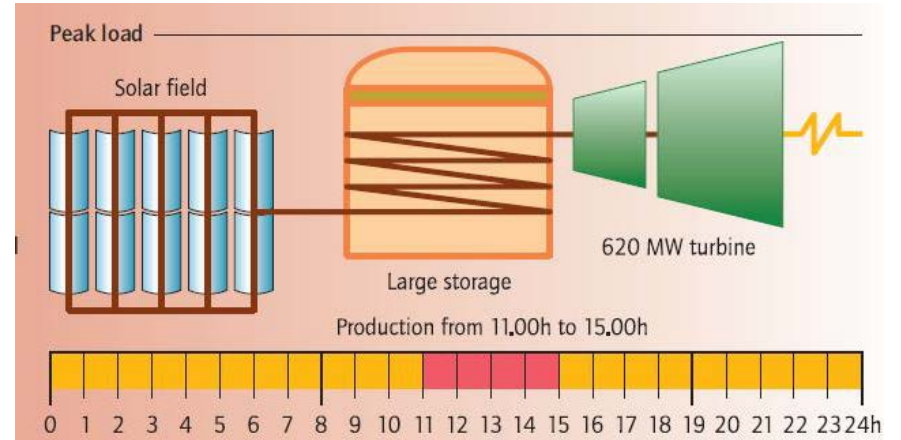
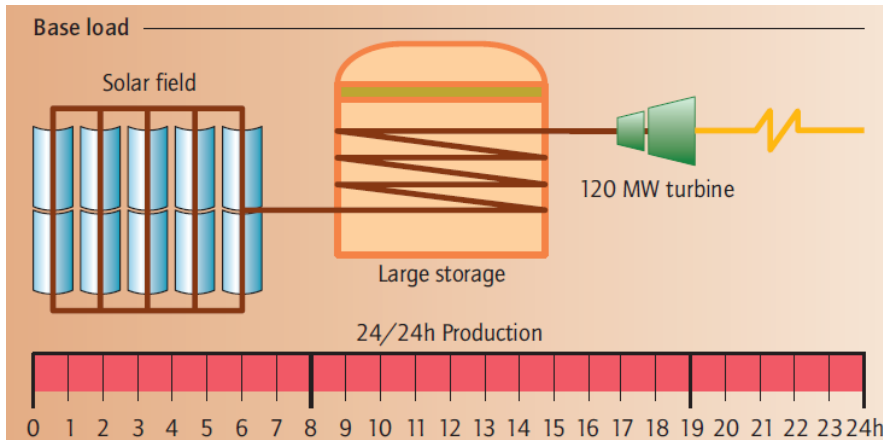
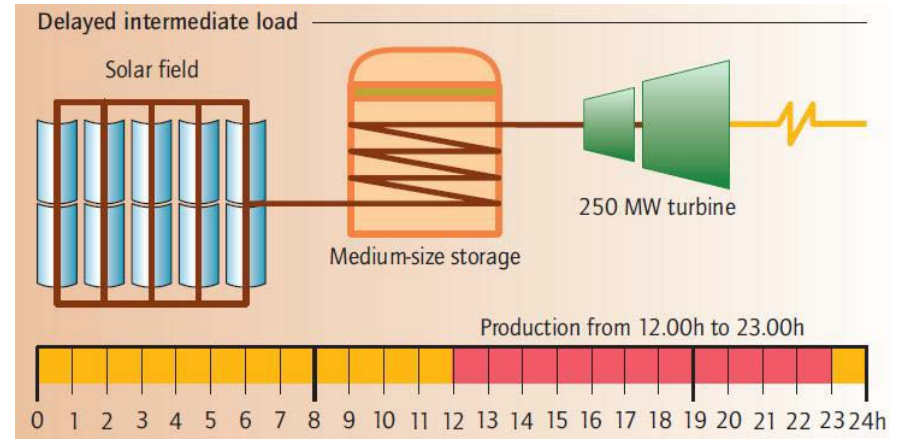
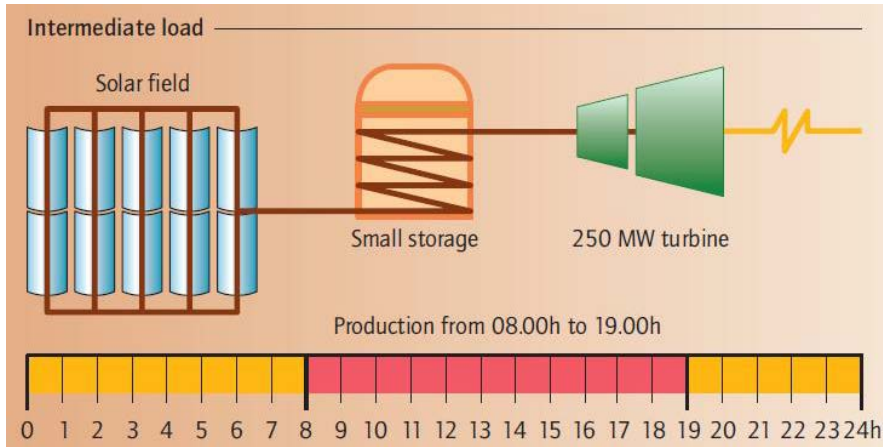
Rated Energy / GWh	2
Cycles per year	300
PV-Cost EUR/kWh	0,3

system cost ≈ batt  
 factor 2 for power control and BoP

**0,16 €/kWh**

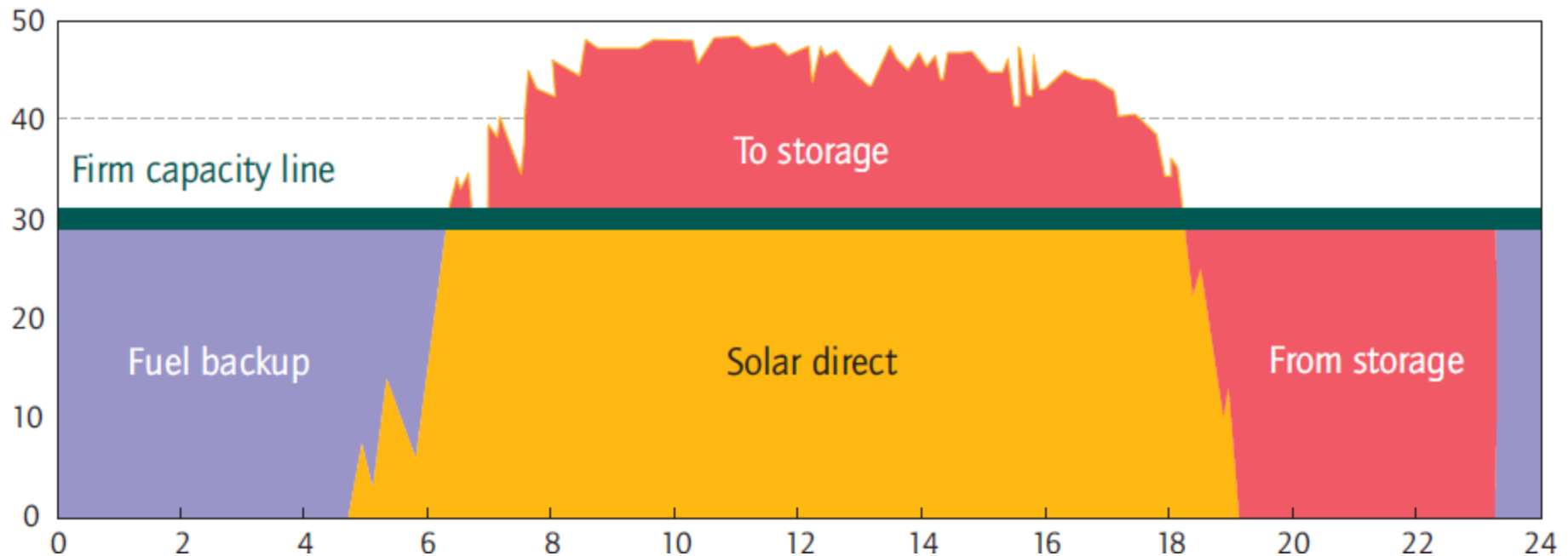
calculation without  
 amortization

# Design Varianten für CSP mit thermischem Speicher



Source: IEA CSP Technology Roadmap 2010

# Hybridsierung im Kraftwerk statt externe Schattenkapazität



# Heutige Märkte:

Parabolrinnen sind die meisten ausgereifte Technologie



# Der Wert der CSP Strom

## Komponenten der Preisbildung:

1. kWh elektrischer Energie
2. Beitrag zur Absicherung von Spitzenlast
3. Netzdienstleistungen

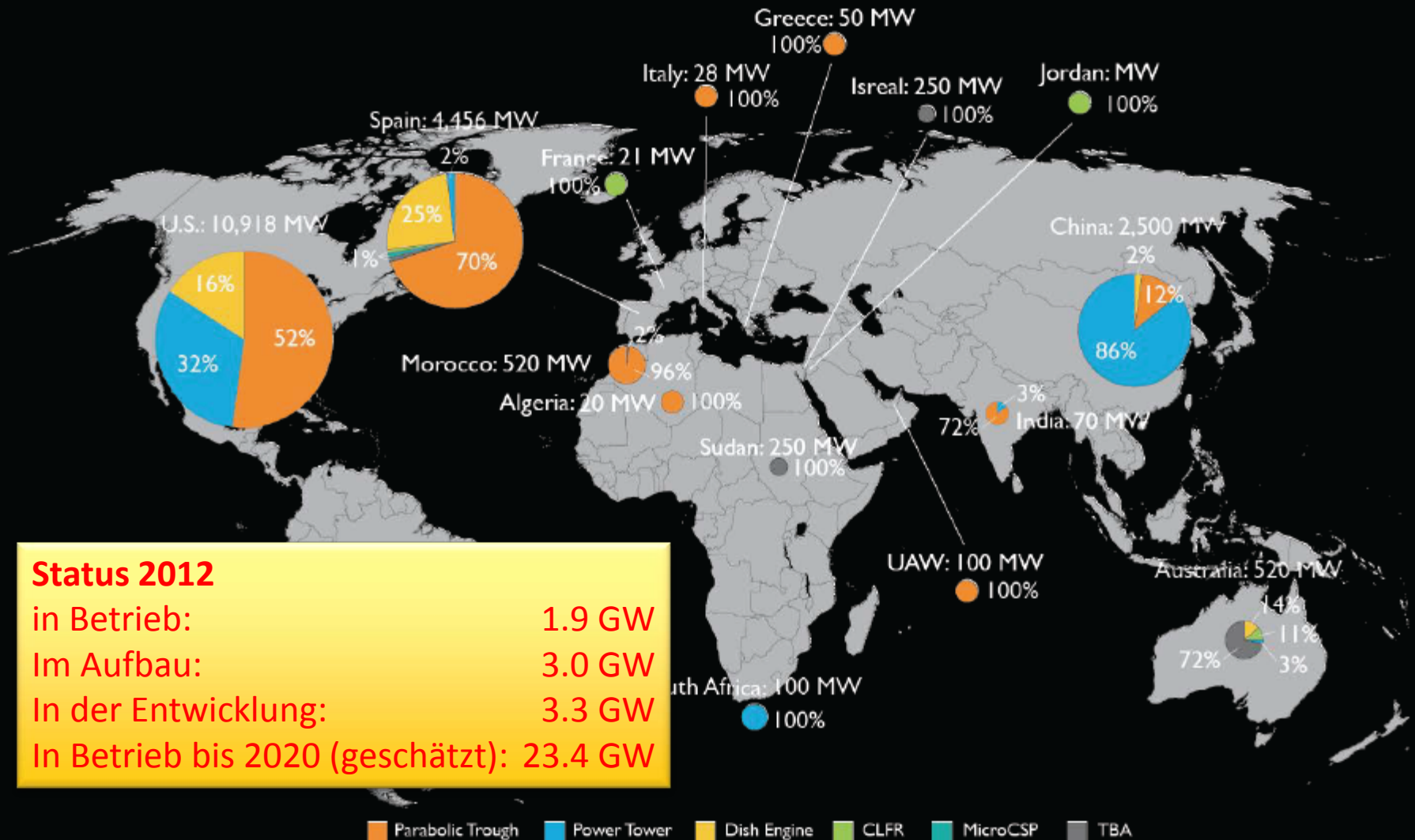
## Schlussfolgerungen:

- Bewertung auf Systemebene
- Wert der Speicher nimmt mit zunehmendem Anteil volatiler Einspeisung zu
- Alle 3 Komponenten können beträchtlich sein
- Förderprogramme müssen die Preissignale aus wettbewerblichen Strommärkten reflektieren
- Fossile Zusatzfeuerung erscheint als Übergangs Technologie sinnvoll

**Studien von NREL berechnen (2) und (3) im kalifornische Netz einen Wert von 2-4 \$centS/kWh für 2020**

# Global CSP Development Pipeline

CSP Plants Under Construction/Development (19.8 GW Total)



**Status 2012**

in Betrieb: 1.9 GW

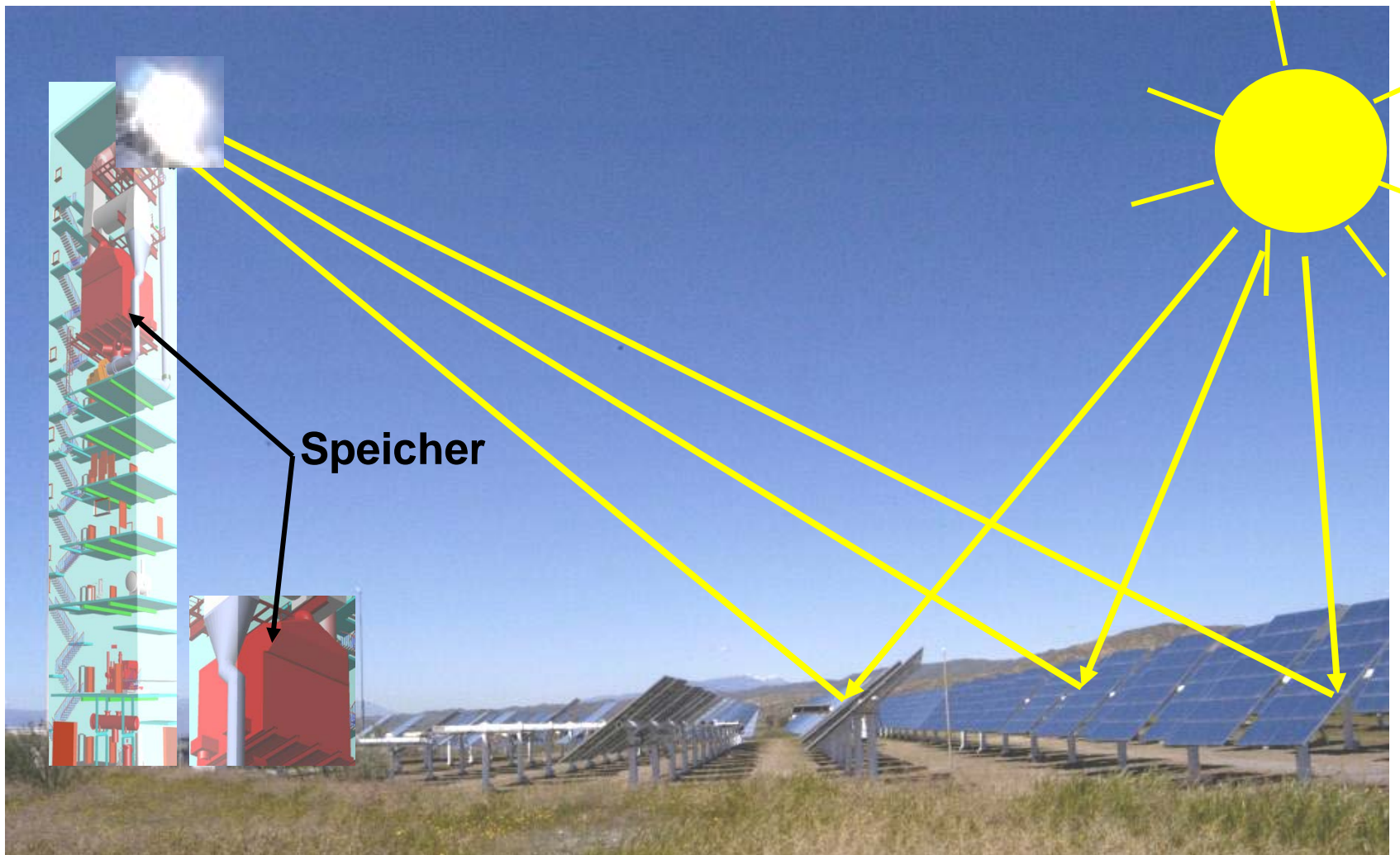
Im Aufbau: 3.0 GW

In der Entwicklung: 3.3 GW

In Betrieb bis 2020 (geschätzt): 23.4 GW

■ Parabolic Trough
 ■ Power Tower
 ■ Dish Engine
 ■ CLFR
 ■ MicroCSP
 ■ TBA

# Solarturmsysteme



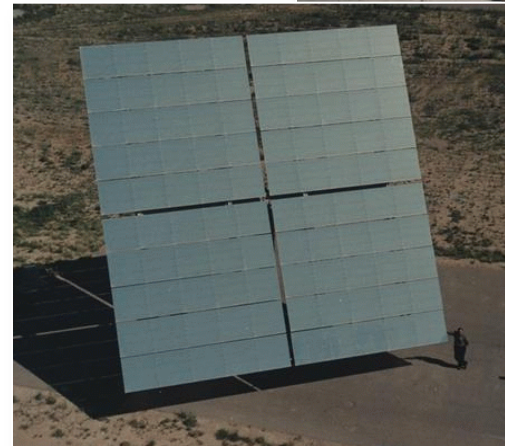
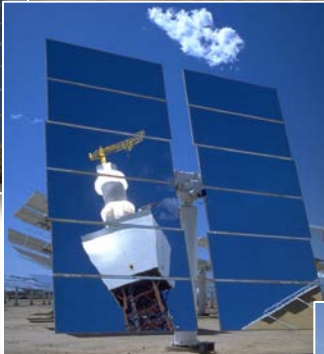


# Solarturm – Dampf, Salzschnelze

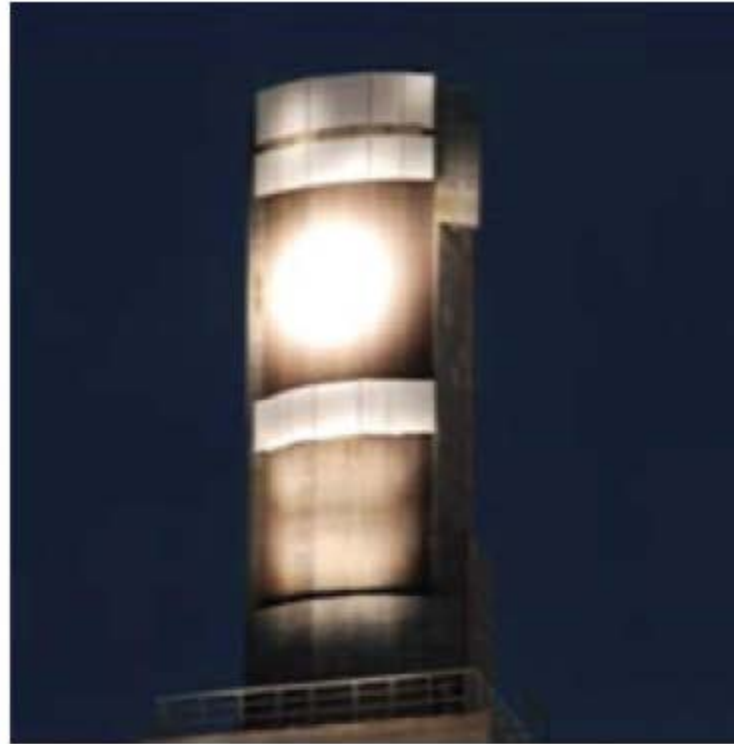
Ivanpah-CA 3x123 MW Brightsource  
Tonopah-NV 110 MW SolarReserve  
Lancaster-CA 5 / 46 MW eSolar



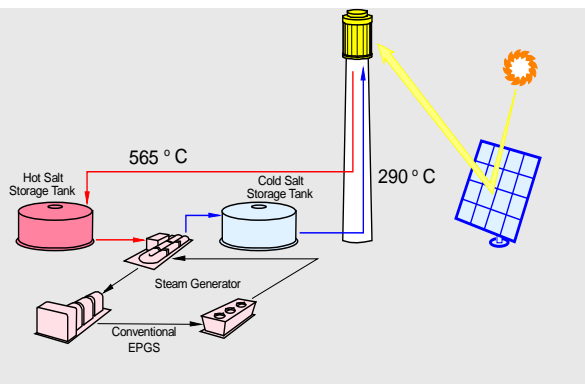
# Heliostate



# Receiver Konzepte

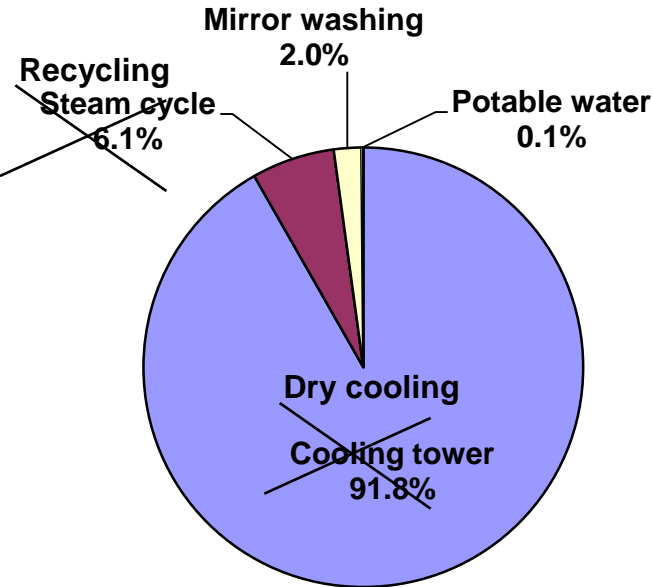


# Solar Tower, molten salt – Gemasolar 20 MW Torresol Spain



# Wie verhält sich CSP unter den Randbedingungen der Wüste?

## Wasserverbrauch?

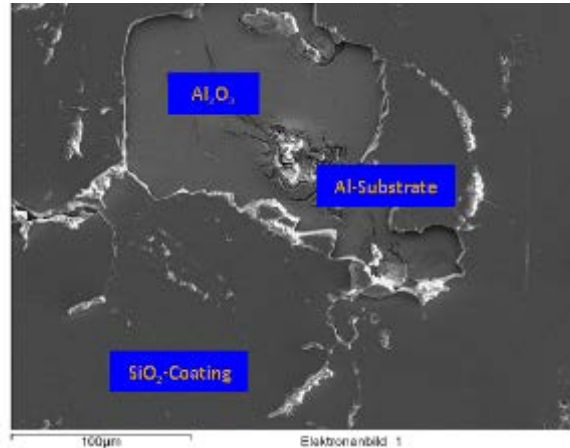


### Waschen (z.Z. kein Recycling)

75 l / MWh (geringe Verschmutzung)  
 30 l / m<sup>2</sup> Jahr (Spiegeloberfläche)  
 0,5 l / m<sup>2</sup> pro Reinigungszyklus

Niederschlag Cairo = 25 l / m<sup>2</sup> year

## Reflektor Degradation?

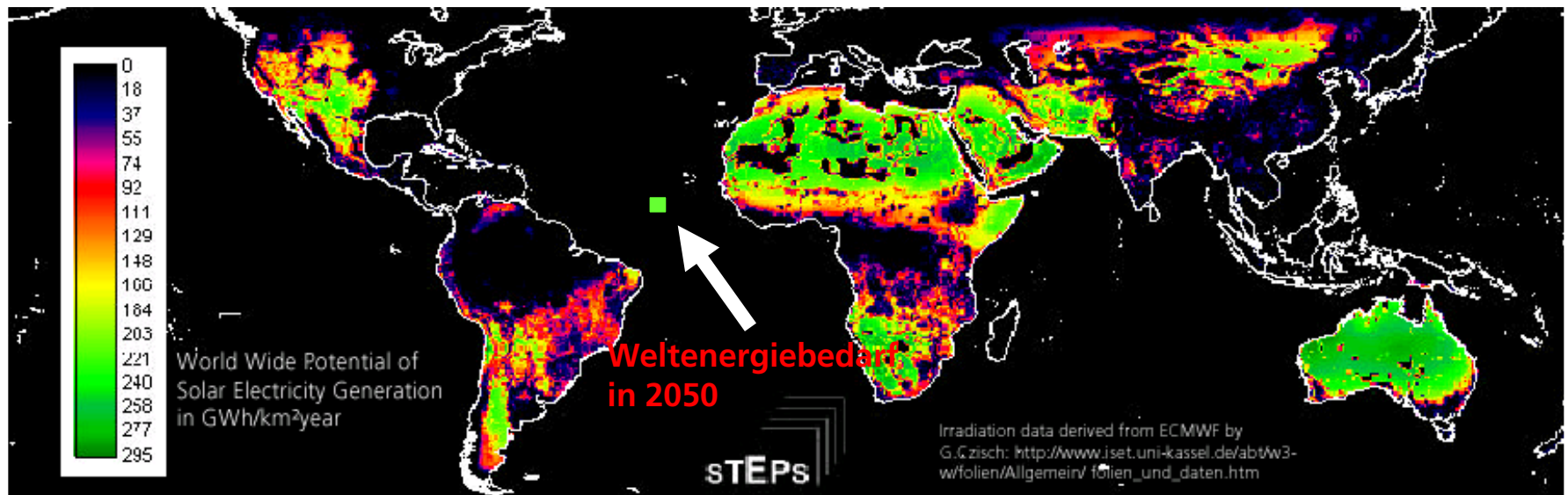


- Glasspiegel haben eine nachgewiesene Standfestigkeit von mehr als 25 Jahren im Betrieb
- Frontverspiegelte Spiegel sind deutlich anfälliger
- DLR hat beschleunigte Alterungstests für spezifische Reflektortypen entwickelt

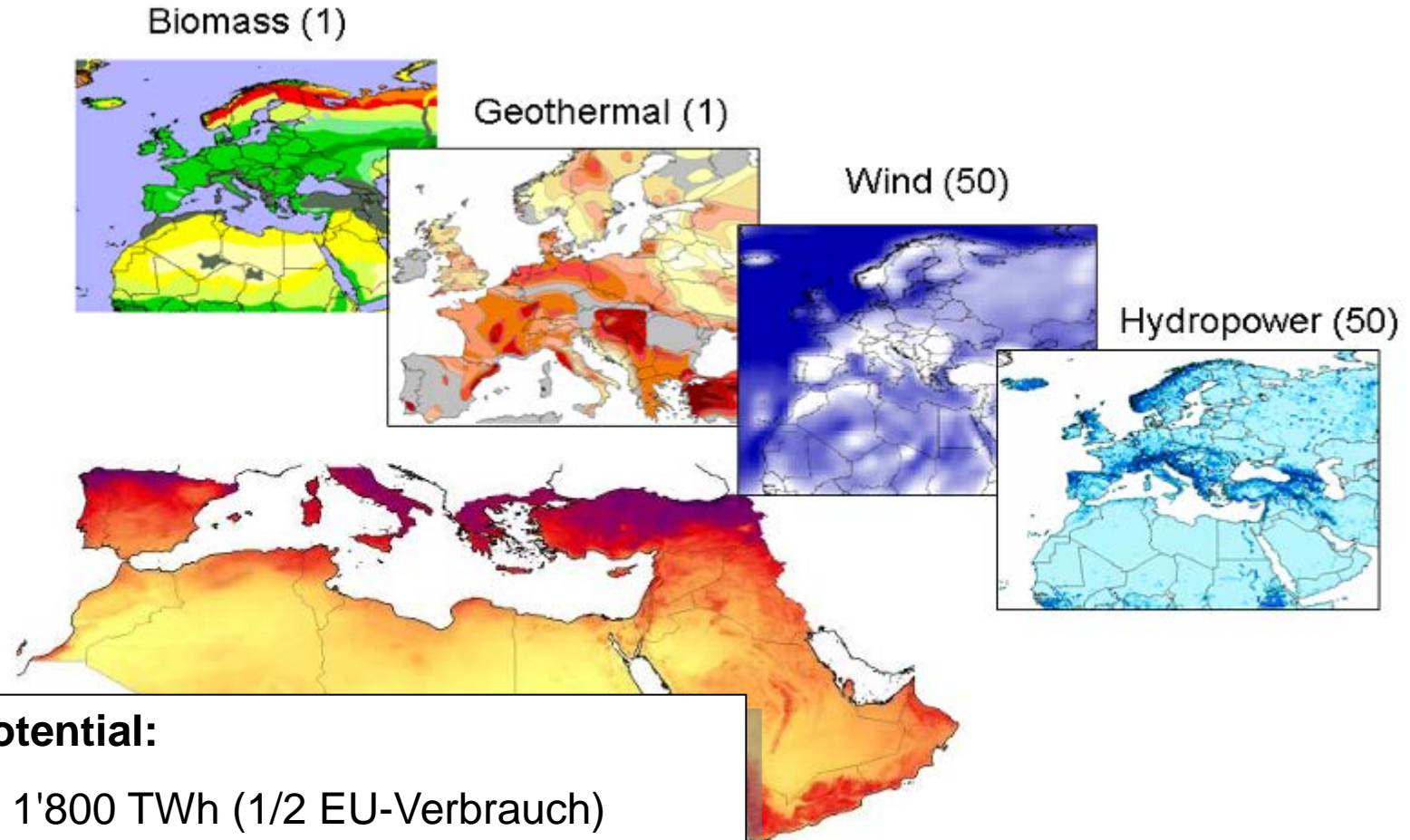
## Reflektor Verunreinigung

- Wöchentliche Reinigung der CSP
- Monatliche Reinigung von PV Systemen in Wüstenregionen
- Verunreinigung hängt stark von den lokalen und jahreszeitlichen Wetterbedingungen ab. Unterschiede können Faktor 2-3 betragen
- Eine mittlere Verunreinigung von 5% führt zu einer Ertragsreduktion von 3-6 \$/m<sup>2</sup>Jahr (abhängig vom Strompreis)
- Das Waschen benötigt 20 – 40 l / m<sup>2</sup> Jahr

# Potential



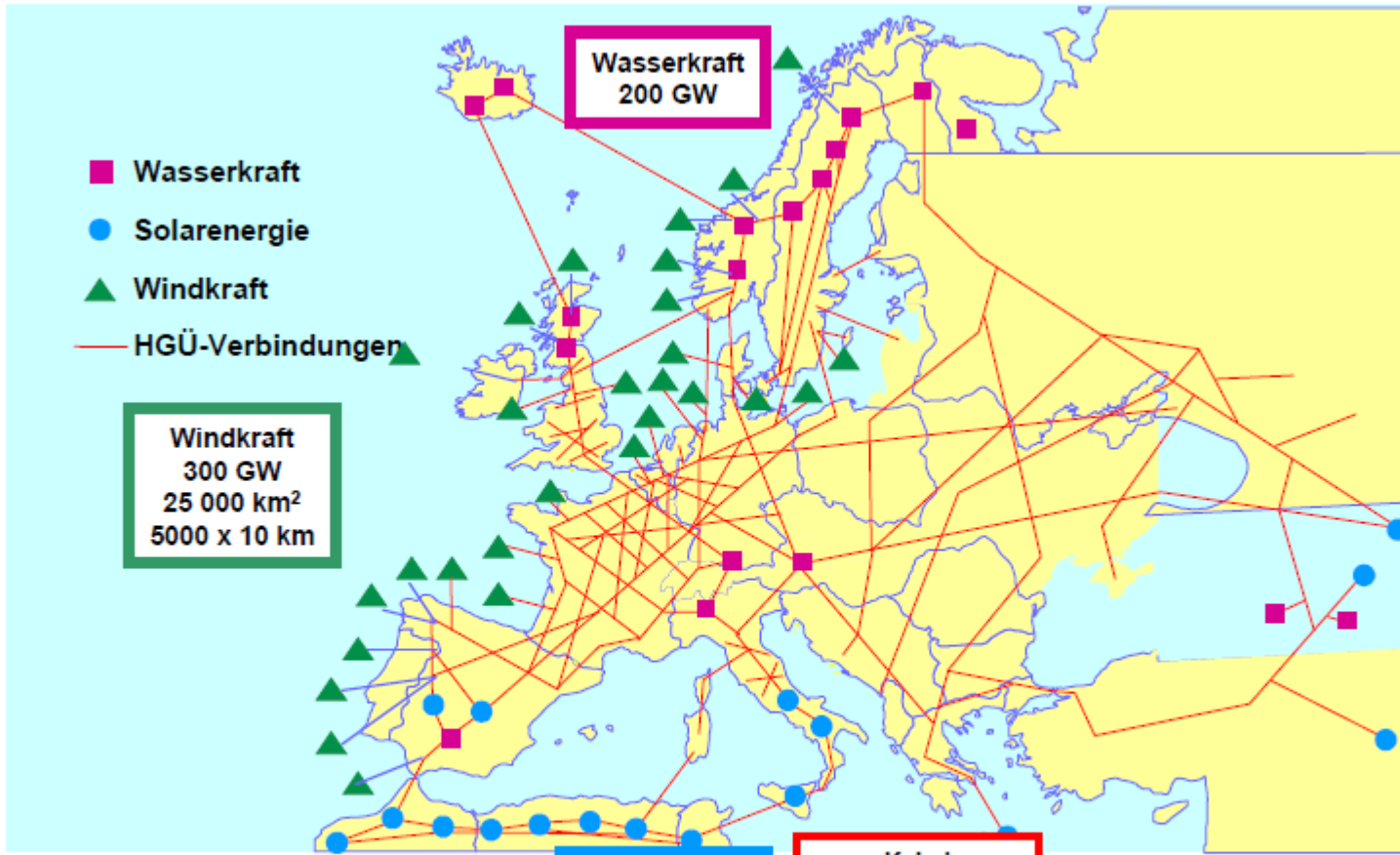
# Potenzielle Rolle von CSP in Europa und MENA Region



## CSP Potential:

Europe 1'800 TWh (1/2 EU-Verbrauch)

MENA > 600'000 TWh



- Wasserkraft
- Solarenergie
- ▲ Windkraft
- HGÜ-Verbindungen

Windkraft  
300 GW  
25 000 km<sup>2</sup>  
5000 x 10 km

Wasserkraft  
200 GW

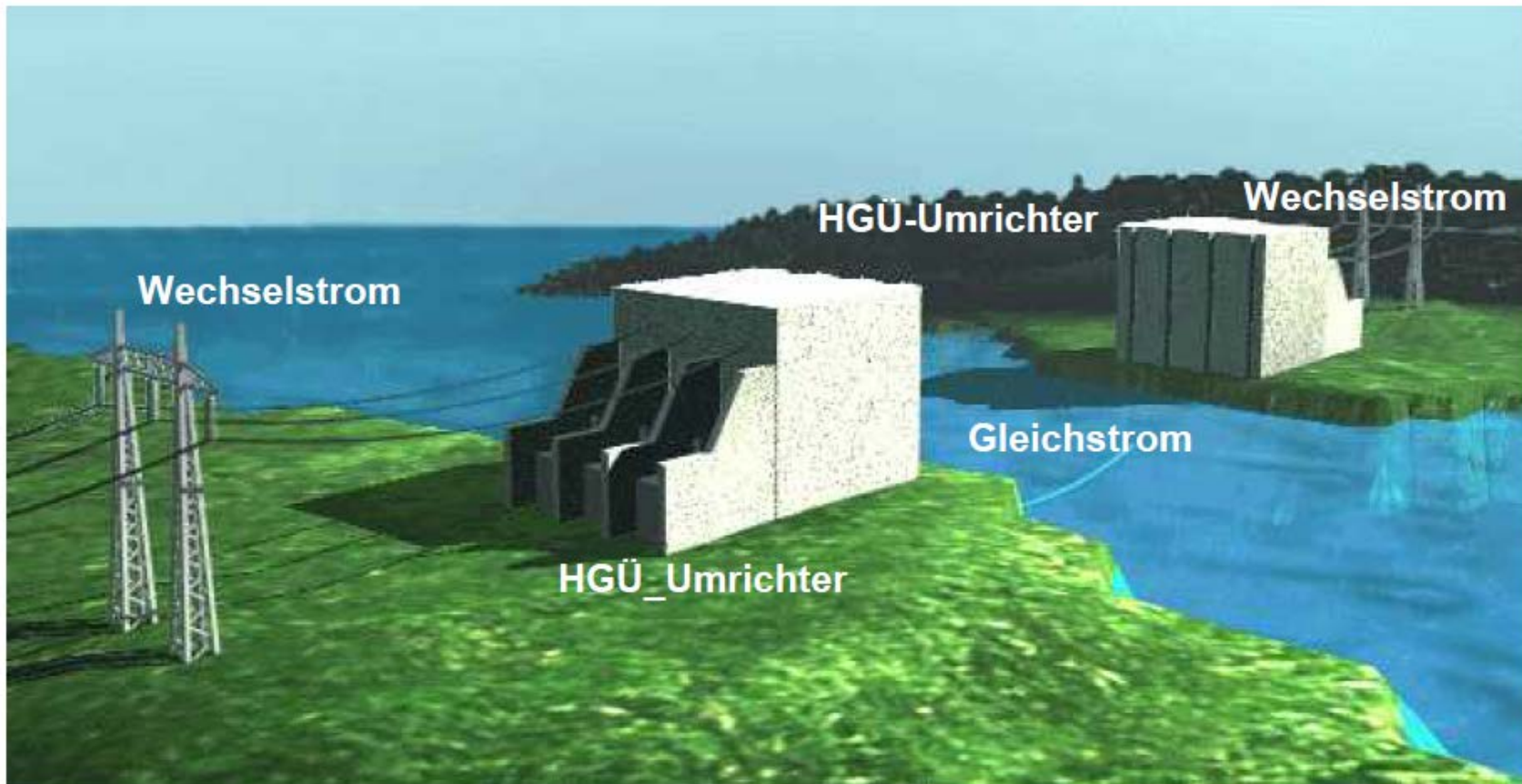
Solarenergie  
700 GW  
8000 km<sup>2</sup>  
90 x 90 km

Kabel  
(für Solarenergie)  
140 Paare à 5 GW  
und 3000 km



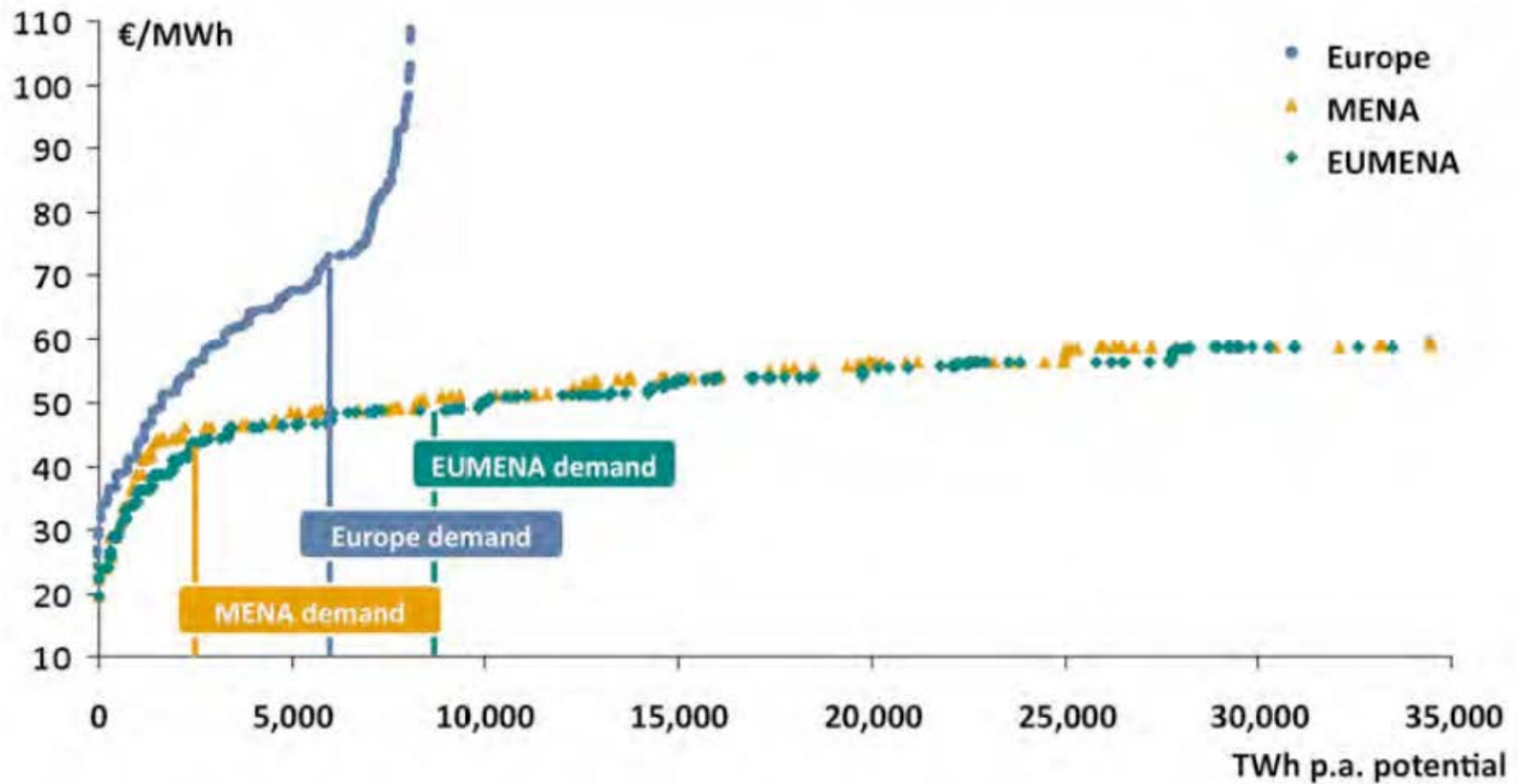


# Hochspannungsgleichstrom Übertragung (HGÜ)



**ABB hat die HGÜ-Technologie vor über 50 Jahren entwickelt.**

# Renewable Energy Potential

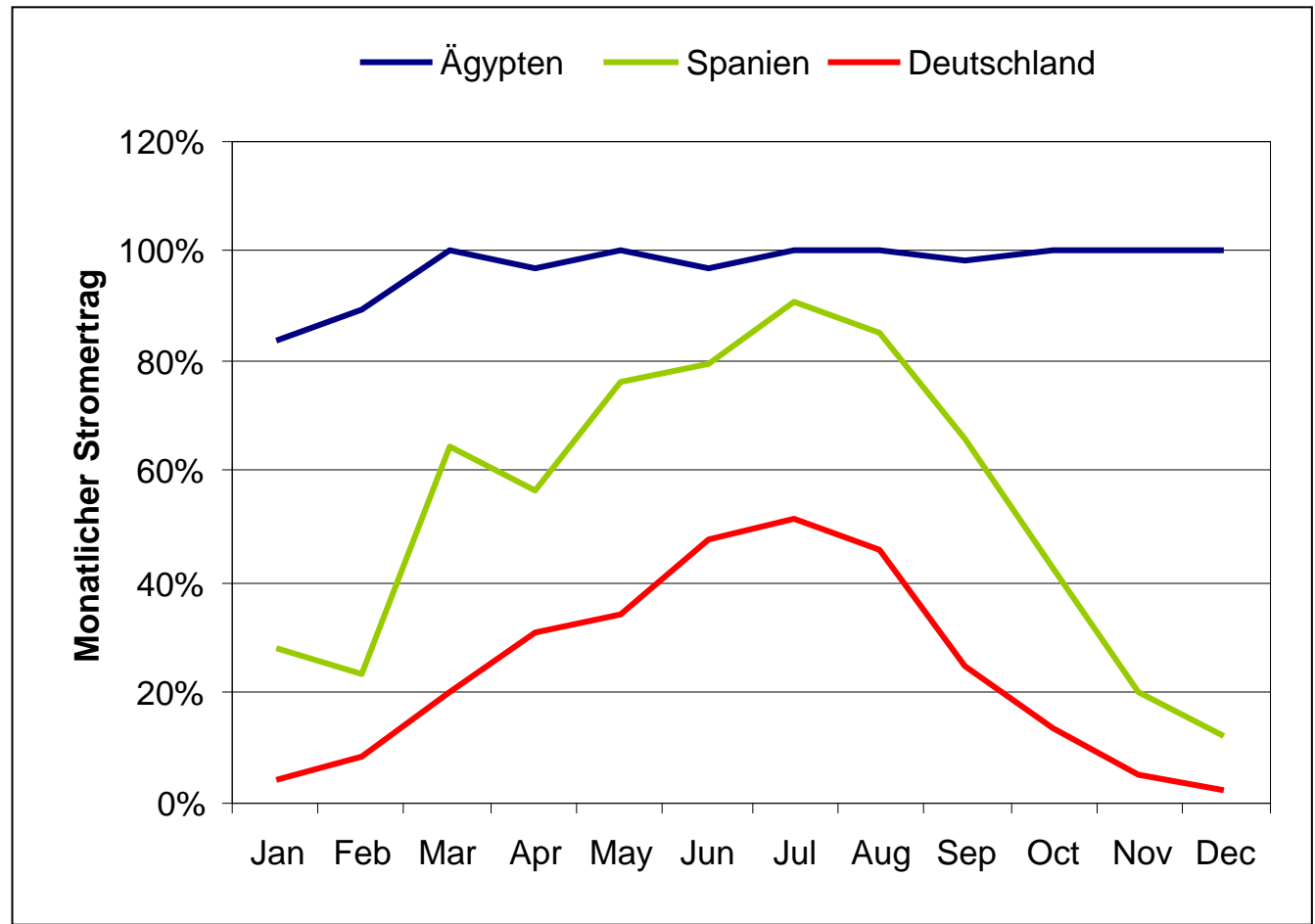


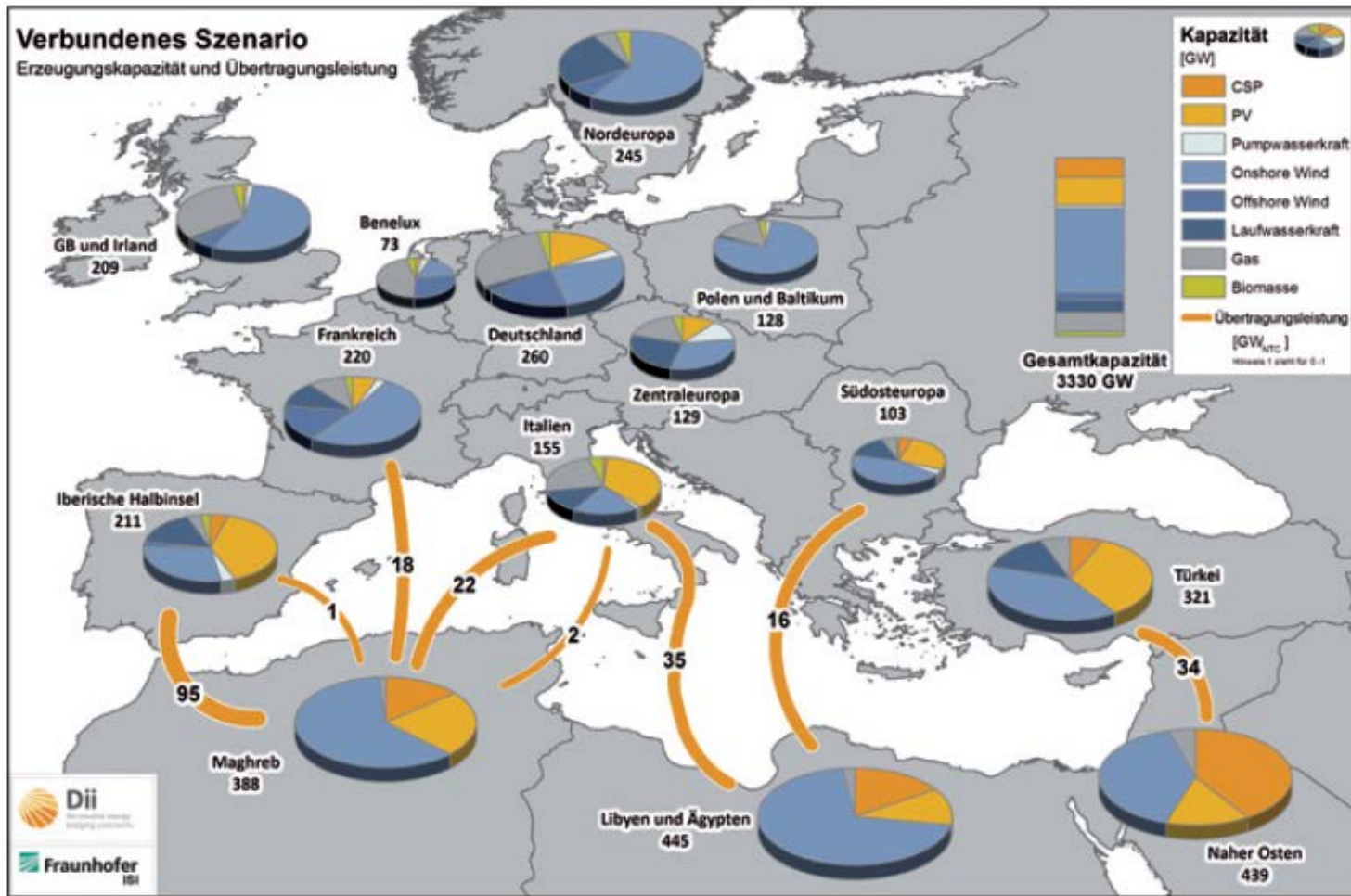
Source: Dii, Fraunhofer ISI Note: Demand refers to high demand case

# Die ganzjährige Verfügbarkeit von CSP ist nur in MENA hoch genug, um jederzeit verlässlich Regelenergie liefern zu können

CSP Layout:  
Solar Multiple 4  
Solar Only

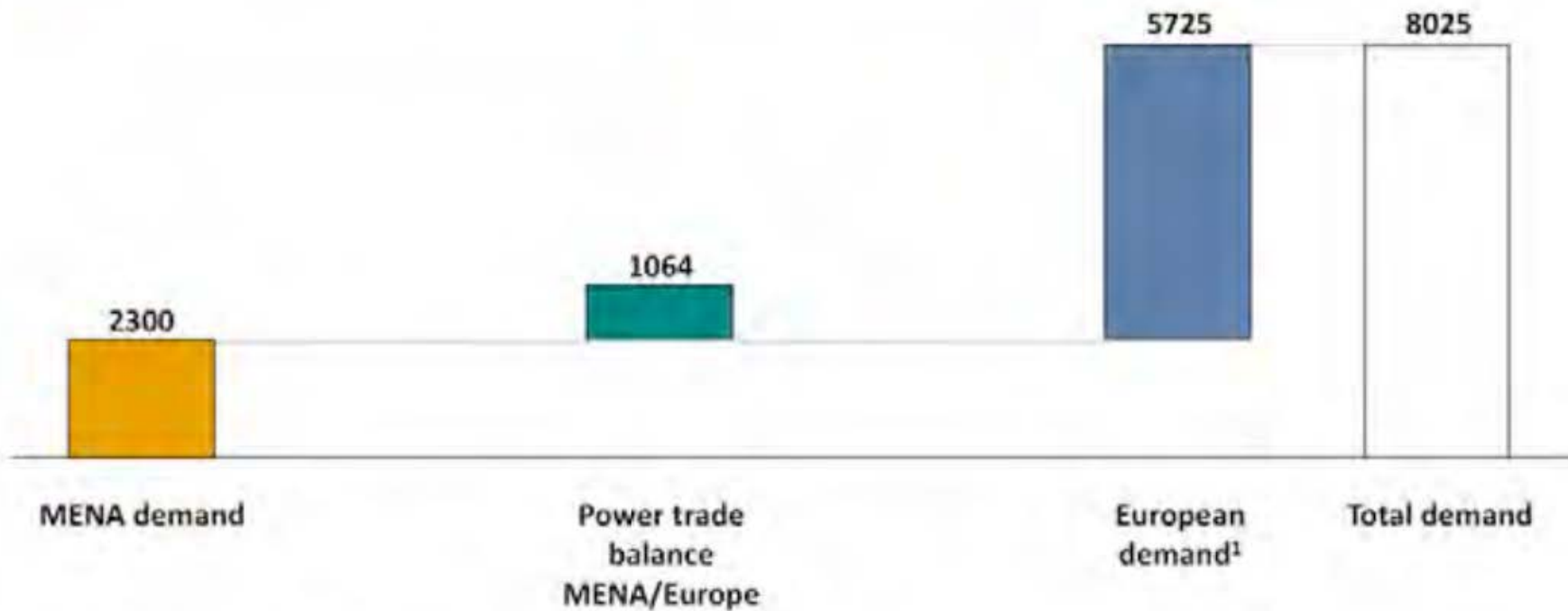
MENA Vorteile:  
Sonnentage  
Sonnenstand





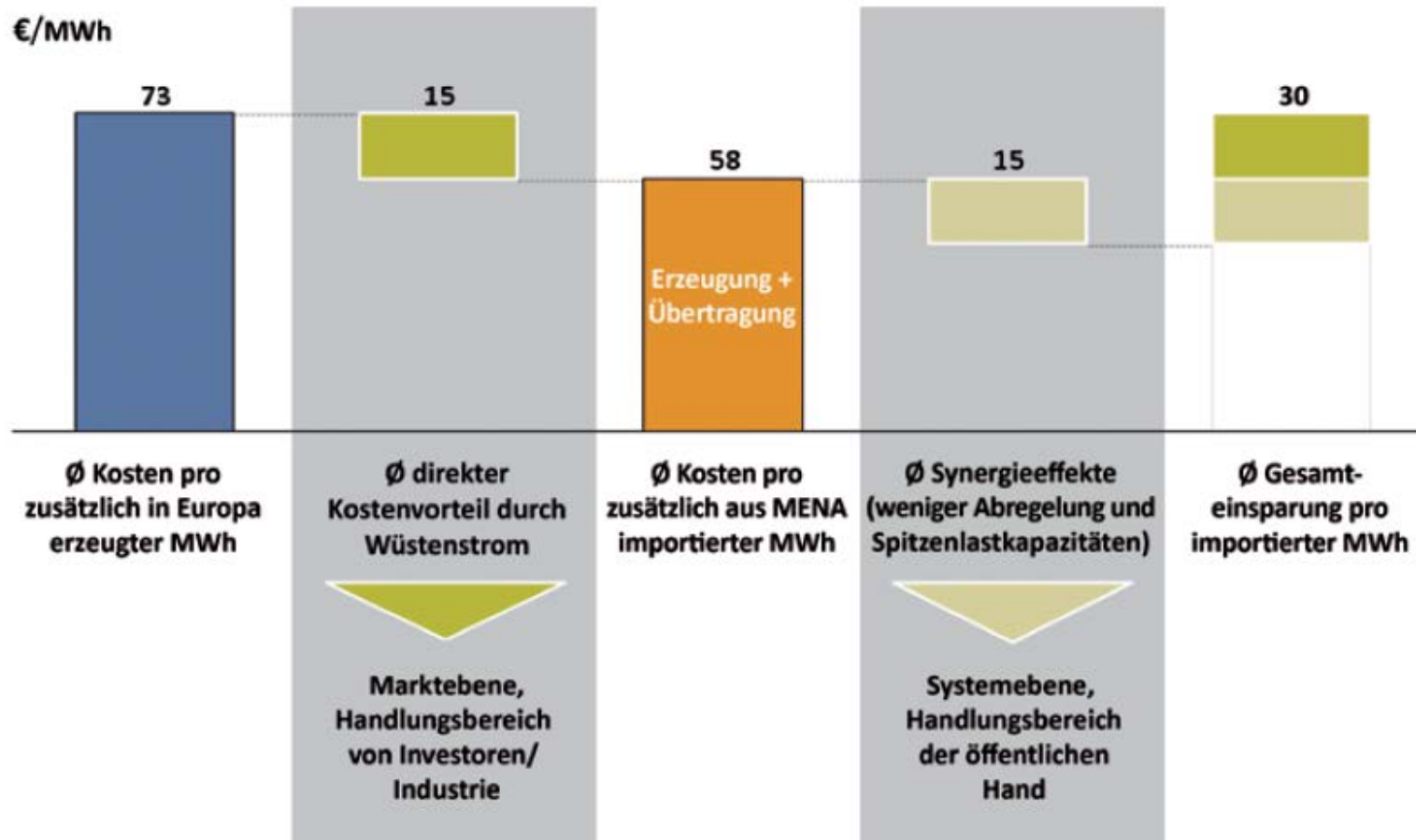
Power trade balance 2050 [TWh]

Export is 46% of MENA demand      Import is 19% of Europe demand



Source: Dii, Fraunhofer ISI 1. EU27+2 and Turkey

# Kostenvorteil einer Vernetzung



Quelle: Dii, Fraunhofer ISI Hinweis: In den Kosten der in Europa ankommenden Exporte aus der MENA-Region sind Leitungsverluste enthalten

# CSP in der MENA-Region?

## Günstige Faktoren:

- Größe und Qualität der solaren Ressourcen
- Rapide steigende einheimische Nachfrage
- Die Nähe zu Europa und seinen Appetit auf CO<sub>2</sub>-freie Energieerzeugung
- Hohe lokale Wertschöpfungsanteile der CSP-Technologie (bis zu 60% des Wertes bis 2020)

## Kritische Aspekte

- Investitionsbedingungen und Eigentumsverhältnisse
- Förderprogramme und die Kontinuität der Initiativen
- Export gegenüber Eigenverbrauch

# Vorteile für Europa

- CSP hat das Potenzial einen großen Beitrag zu einer kostengünstigen, bedarfsgerechten und **CO<sub>2</sub>-freien Stromversorgung in Südeuropa** (und MENA) beizutragen
- CSP kann die Notwendigkeit von **elektrische Speichersysteme** (Pumpspeicher, Druckluftspeicher, Power2Gas) im System reduzieren
- CSP hat **hohe lokale Wertschöpfungsteile** und kann dadurch zu **Wachstum und Arbeitsplätze** beitragen
- Kooperation mit MENA könnten **den globalen Klimaschutz beschleunigen** und eine **nachhaltige wirtschaftliche Entwicklung** stimulieren
- Transnational **HVDC Netzwerke** (EU-MENA) führen zu einer **Verringerung der Gesamtkosten der Transformationskosten** des Energiesystems



# Herausforderungen

- Wettbewerbsfähigkeit mit Energie aus fossilen Brennstoffen in den nächsten 10 bis 15 Jahren
- Aufbau von Netzinfrastruktur und Etablierung von Marktmechanismen zum Ausbau von CSP in Südeuropa und MENA
- Geeignete politische und wirtschaftliche Rahmenbedingungen in den MENA-Region um langfristig Investitionen in kohlenstoffarme Technologien zu ermöglichen



Danke für die Aufmerksamkeit

Kontakt: [robert.pitz-paal@dlr.de](mailto:robert.pitz-paal@dlr.de)

# Back-up Material