



## Strom aus der Sahara: Eine klimaverträgliche Antwort auf den Umweltwandel? Von der Vision zur Realität

Franz Trieb DGVN Baden-Württemberg  
Rathaus Stuttgart  
 Stuttgart, 24.07.2009

 Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.  
in der Helmholtz-Gemeinschaft



### Studien

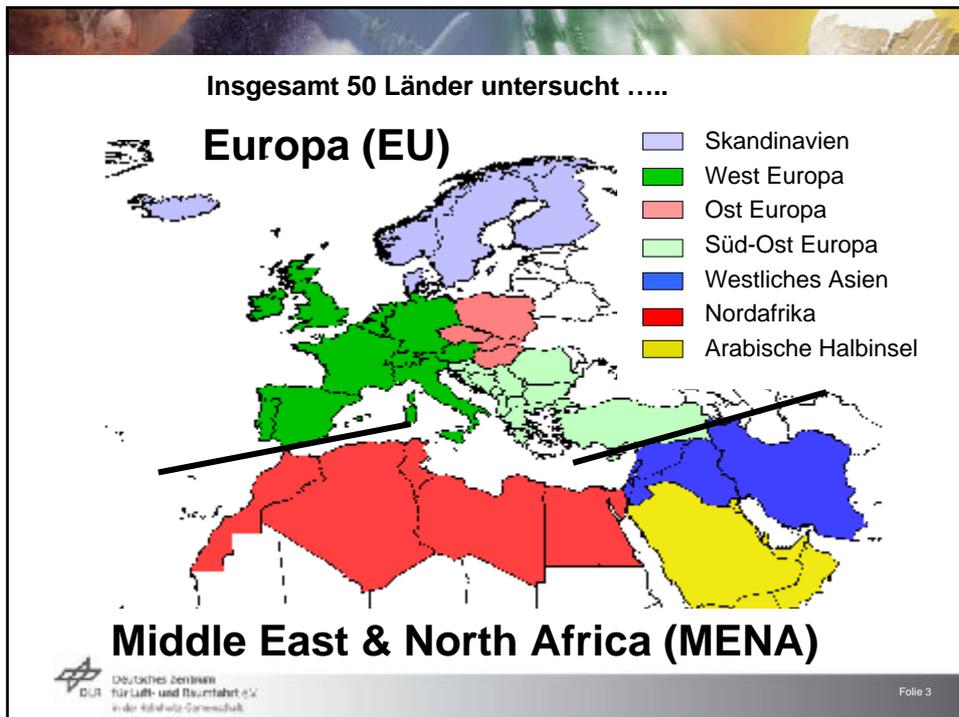




Ermittlung der erneuerbaren Energiepotentiale für die nachhaltige Produktion von Elektrizität und Trinkwasser in 50 Ländern Europas, Nordafrikas und des Mittleren Ostens unter Berücksichtigung der Option solarthermischer Kraftwerke.


 Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

 Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.  
in der Helmholtz-Gemeinschaft Folie 2



### Nachhaltig heißt ...

- ✓ **Sicher**
  - verschiedene, sich ergänzende Quellen und Reserven
  - elektrische Leistung nach Bedarf
  - langfristig verfügbare Ressourcen
  - sichtbare und zeitnah ausbaubare Technologie
- ✓ **Kostengünstig**
  - niedrige Kosten
  - keine langfristigen Subventionen
- ✓ **Kompatibel**
  - geringe Emissionen
  - Klimaschutz
  - geringe Risiken
  - fairer Zugang

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.  
 in der Helmholtz-Gemeinschaft

Folie 4

## Elektrizität gewinnt man aus ...

- ✓ Kohle, Braunkohle
- ✓ Erdöl, Erdgas
- ✓ Kernspaltung, Kernfusion
- ✓ **Wasserkraft**
- ✓ **Biomasse**
- ✓ **Solarthermische Kraftwerke**
- ✓ **Geothermie (Hot Dry Rock)**
- ✓ **Windenergie**
- ✓ **Photovoltaik**
- ✓ **Wellen / Gezeiten**

Ideal gespeicherte  
Primärenergie

**Speicherbare  
Primärenergie**

**Fluktuierende  
Primärenergie**

## Erneuerbare Energietechnologien



Wasserkraft



Solarthermische  
Kraftwerke



Biomasse



Geothermie



Gezeiten



Wellen

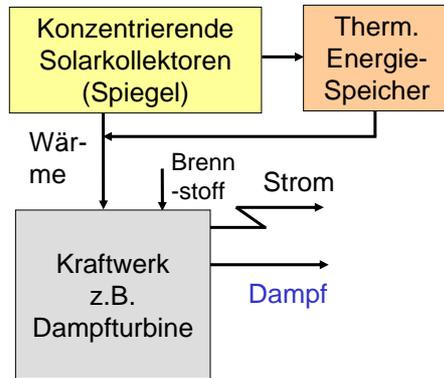


Photovoltaik



Windkraft

## Prinzip eines solarthermischen Kraftwerks



✓ Sonnenenergie ersetzt Brennstoff

✓ Sekundenreserve

✓ Regelleistung nach Bedarf

✓ Kraft-Wärme-Kopplung für Wasserentsalzung, Kälte, Fernwärme, Industrie

## Solar Electricity Generating System - SEGS, Kalifornien, USA (354 MW, am Netz seit 1985)



**ANDASOL 1, Guadix, Spanien  
(50 MW, 7 h Speicher, 2009)**




 Deutsches Zentrum  
 für Luft- und Raumfahrt e.V.  
 in der Helmholtz-Gemeinschaft

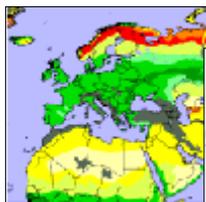
[www.solarmillennium.de](http://www.solarmillennium.de)

Folie 9

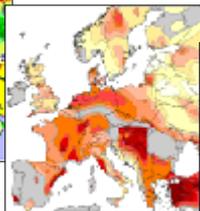
**Erneuerbare Energiepotenziale in EUMENA**

Biomasse (0-1)

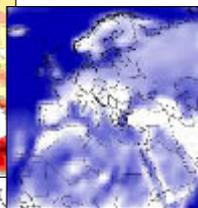
**in Klammern: (Stromertrag in GWh/km<sup>2</sup>/a)**



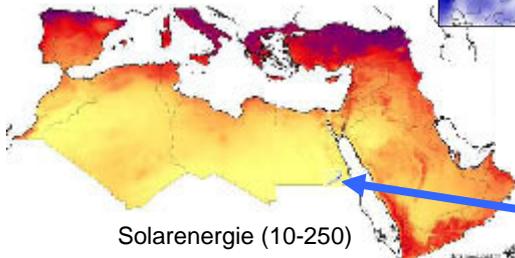
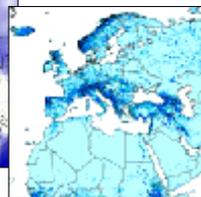
Geothermie (0-1)



Windenergie (5-50)



Wasserkraft (0-50)



Solarenergie (10-250)

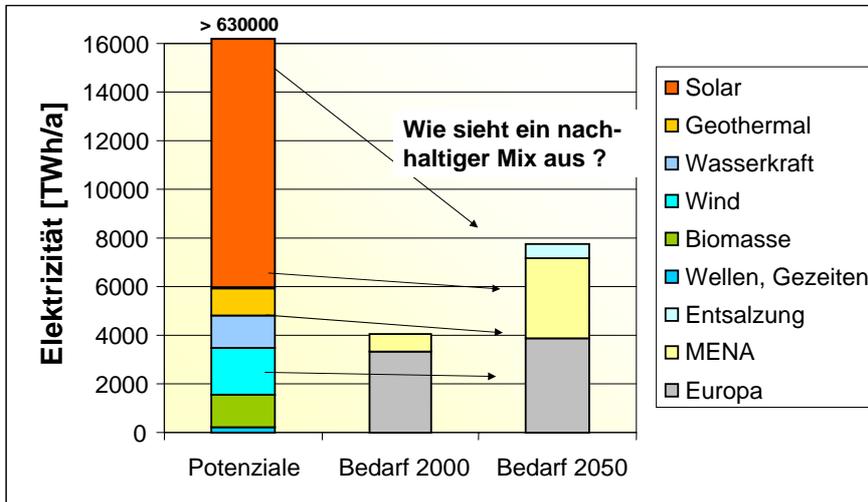
Ein solarthermisches Kraftwerk von der Größe des Stausees am Assuan Dam würde 120 mal soviel Energie erzeugen wie dieser, nämlich über 30% des Europäischen Strombedarfs


 Deutsches Zentrum  
 für Luft- und Raumfahrt e.V.  
 in der Helmholtz-Gemeinschaft

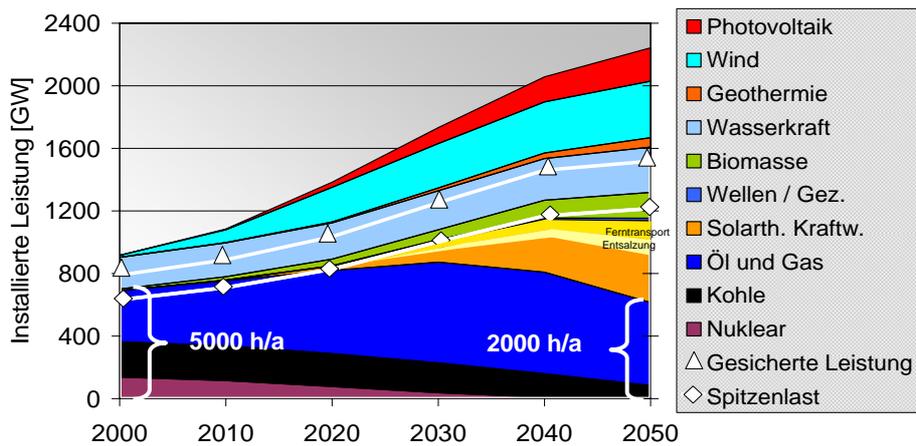
[www.dlr.de/tt/med-csp](http://www.dlr.de/tt/med-csp)

Folie 10

## Ökonomische Potenziale vs. Bedarf in EUMENA



## Installierte Leistung vs. Spitzenlast in EUMENA



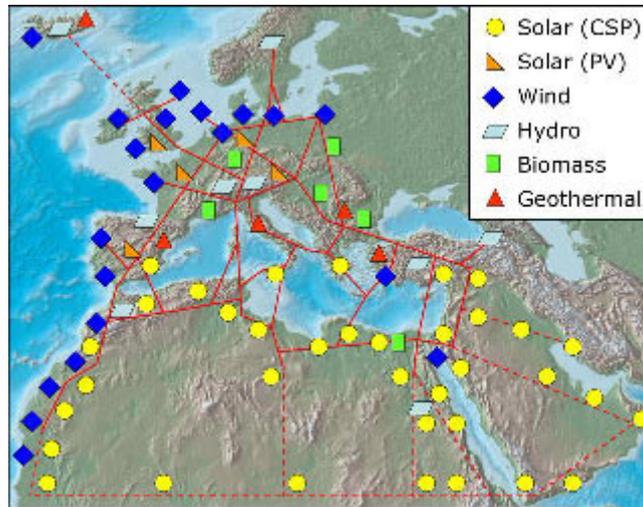
➔ 100 % Verfügbarkeit + 25 % Reservekapazität

## HGÜ-Stromautobahnen verbinden die ergiebigsten Produktionsstandorte mit den größten Verbrauchszentren

**TREC**  
Clean Power Transmission Europe  
Trans-European  
Renewable Energy Cooperation  
in cooperation with the Club of Rome



Deutsches Zentrum  
für Luft- und Raumfahrt e.V.  
in der Helmholtz-Gemeinschaft



<http://www.desertec.org>

Folie 13

## HGÜ-Leitungen in China

HGÜ Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung  
HVDC High-Voltage-Direct-Current Transmission



Spannung:  $\pm 800.000$  Volt  
Leistung: 6400 Megawatt  
Länge: 2070 km  
Quelle: Wasserkraft



Deutsches Zentrum  
für Luft- und Raumfahrt e.V.  
in der Helmholtz-Gemeinschaft

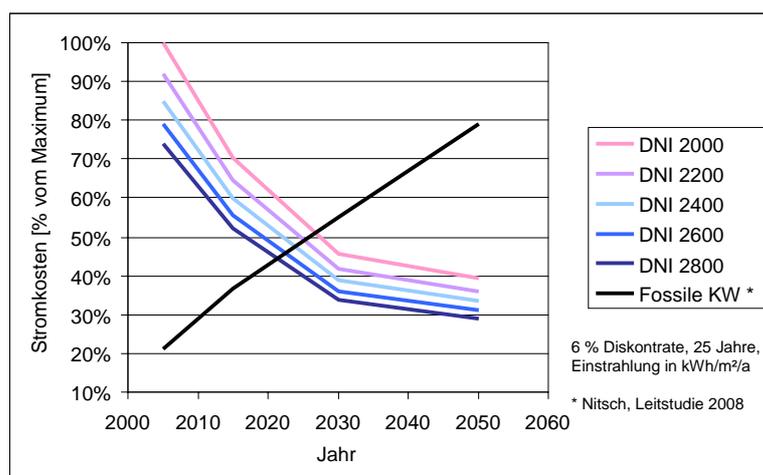
<http://www.abb.com>  
<http://www.siemens.com>

Folie 14

## Was wird sich technisch ändern?

1. Die mittlere Auslastung fossiler Kraftwerke sinkt von heute etwa 5000 h/a auf unter 2000 h/a, mit entsprechend weniger Emissionen. Es werden gut regelbare Spitzenlastkraftwerke, keine schlecht regelbaren Grundlastkraftwerke gebraucht.
2. Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung (HGÜ) wird zunehmend zum Ferntransport erneuerbarer Quellen in die Ballungszentren eingesetzt.

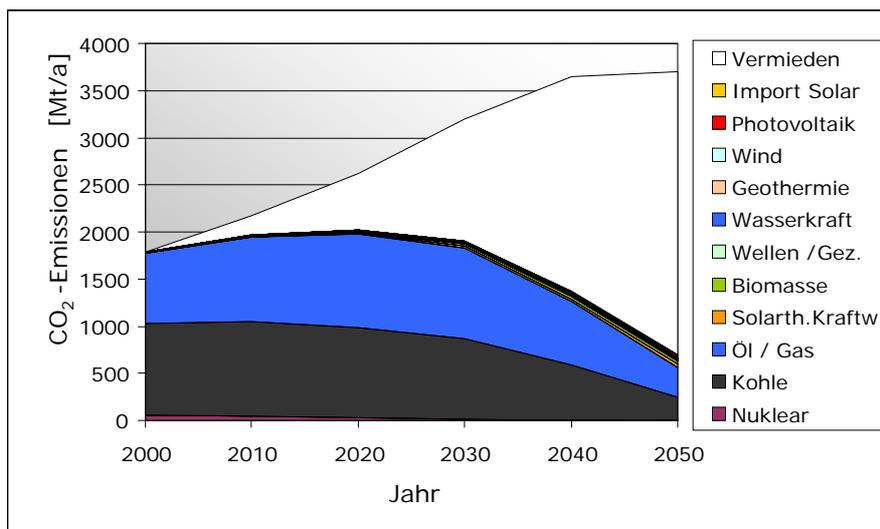
## Lernkurven solarthermischer vs. fossiler Kraftwerke



## Was wird sich ökonomisch ändern?

1. Nach anfänglicher Förderung führt der Ausbau erneuerbarer Energiequellen zu einer Stabilisierung der Energiepreise und zur Entlastung der öffentlichen und privaten Haushalte führen.
2. Solarstromimporte aus der Wüste werden eine bezahlbare und gut regelbare Komponente der Stromversorgung.

## Reduktion der CO<sub>2</sub> Emissionen aus der Stromerzeugung auf 0.5 t/cap/a



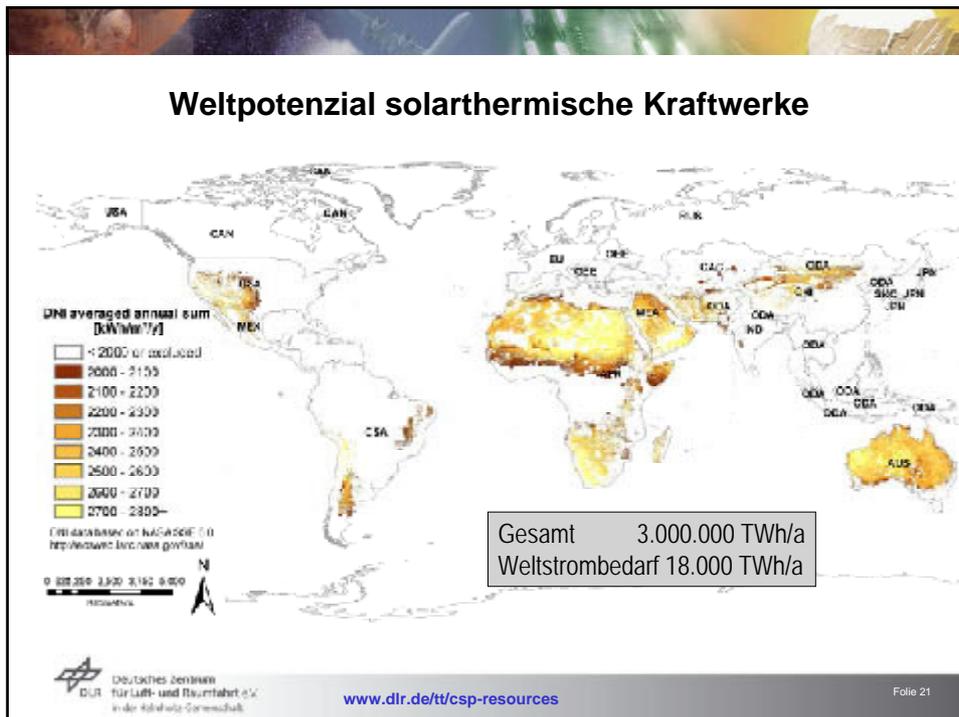
## Was wird sich ökologisch ändern?

1. Klimagase u. a. Emissionen werden im Stromsektor trotz Wirtschafts- und Bevölkerungswachstum bis 2050 auf etwa 38% gegenüber 2000 reduziert.
2. Der gesamte erneuerbare Kraftwerkspark wird etwa 1% der Landflächen in Anspruch nehmen.  
(zum Vergleich: europäisches Verkehrsnetz: 1,2%).



Energie,  
Wasser,  
Nahrung,  
Arbeit und  
Einkommen

für weitere  
300 Mio.  
Menschen  
in MENA ?



## Was muss sich politisch ändern?

1. Eine gemeinsame internationale Anstrengung zur Erschließung erneuerbarer Energieträger ersetzt den zunehmenden Kampf um begrenzte Energieträger.
2. Die Umsetzung dieses Prinzips tritt in den Vordergrund internationaler Sicherheitspolitik.

Deutsches Zentrum  
 für Luft- und Raumfahrt e.V.  
 in der Helmholtz-Gemeinschaft

Folie 22

**Fossile ~~Energiequellen~~ speicher**

Erdöl  
Erdgas  
Braunkohle  
Steinkohle

**Erneuerbare Energiequellen**

Sonne  
Wind  
Wasser  
Biomasse

50 Jahre später

 Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.  
in der Helmholtz-Gemeinschaft

Folie 23

Homo sapiens sapiens, der weise, weise Mensch, ist die einzige Spezies, die auf die Nutzung der globalen Energiequellen verzichtet und statt dessen weltweit die Energiespeicher leert.

 Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.  
in der Helmholtz-Gemeinschaft

Folie 24

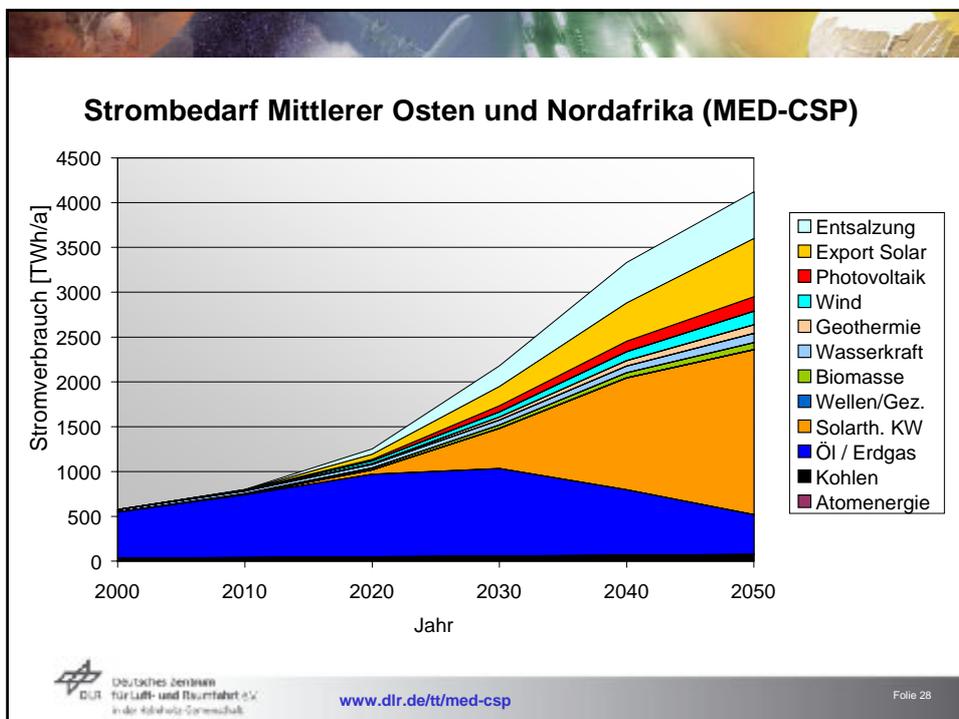
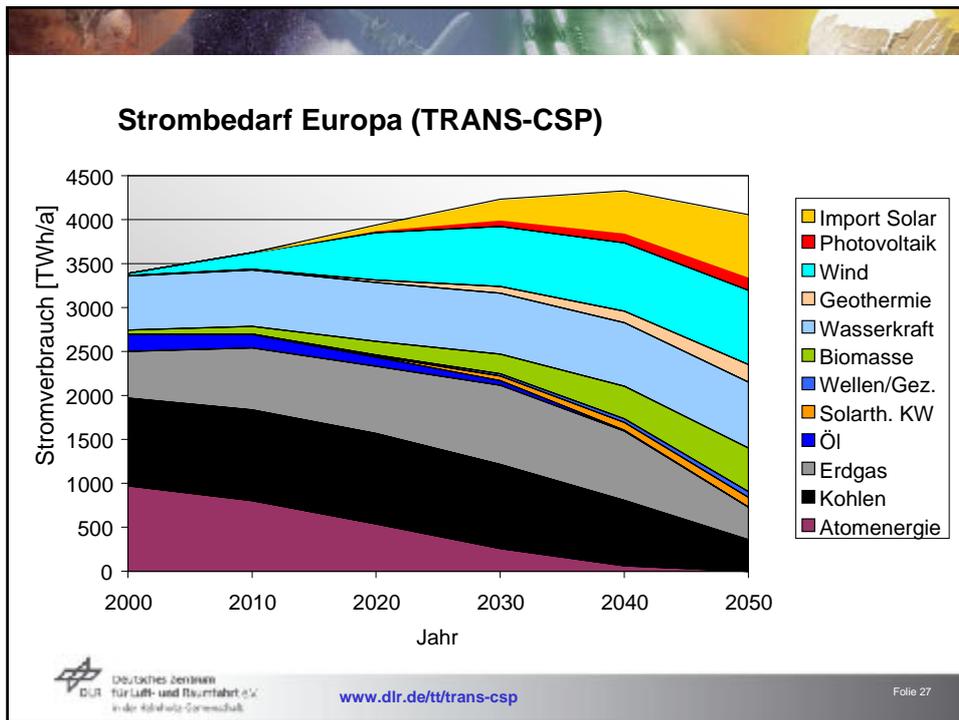


**Total EU-MENA HVDC Interconnection 2020 – 2050 \***

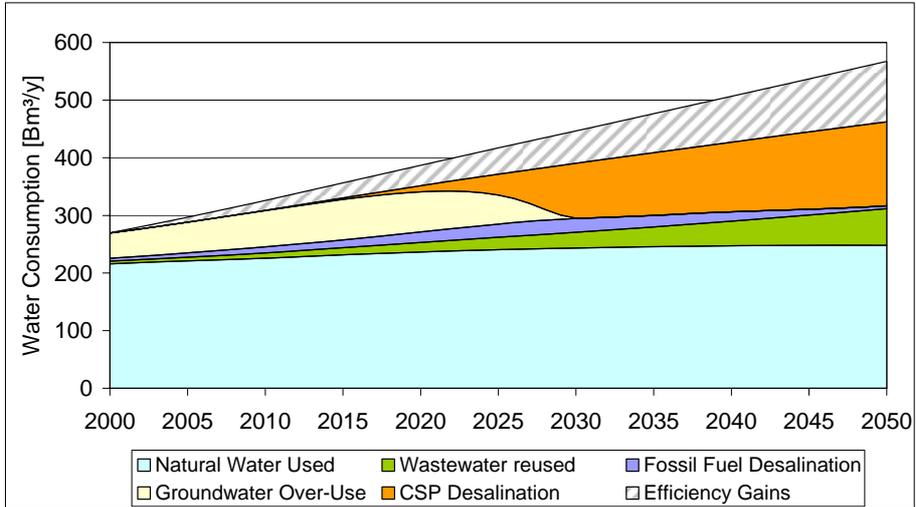
Year		2020	2030	2040	2050
Lines x Capacity GW		4 x 2.5	16 x 2.5	28 x 2.5	40 x 2.5
Transfer TWh/y		60	230	470	700
Capacity Factor		0.60	0.67	0.75	0.80
Turnover Billion €/y		3.8	12.5	24	35
Land Area km x km	CSP	15 x 15	30 x 30	40 x 40	50 x 50
	HVDC	3100 x 0.1	3600 x 0.4	3600 x 0.7	3600 x 1.0
Investment Billion €	CSP	42	134	245	350
	HVDC	5	16	31	45
Elec. Cost €/kWh	CSP	0.050	0.045	0.040	0.040
	HVDC	0.014	0.010	0.010	0.010

\* All countries analysed in TRANS-CSP

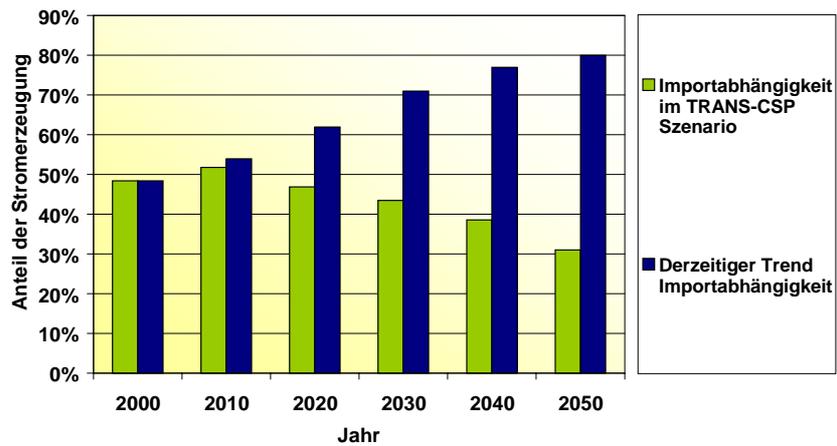
 Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.  
in der Helmholtz-Gemeinschaft
 [www.dlr.de/tt/trans-csp](http://www.dlr.de/tt/trans-csp)
Folie 26



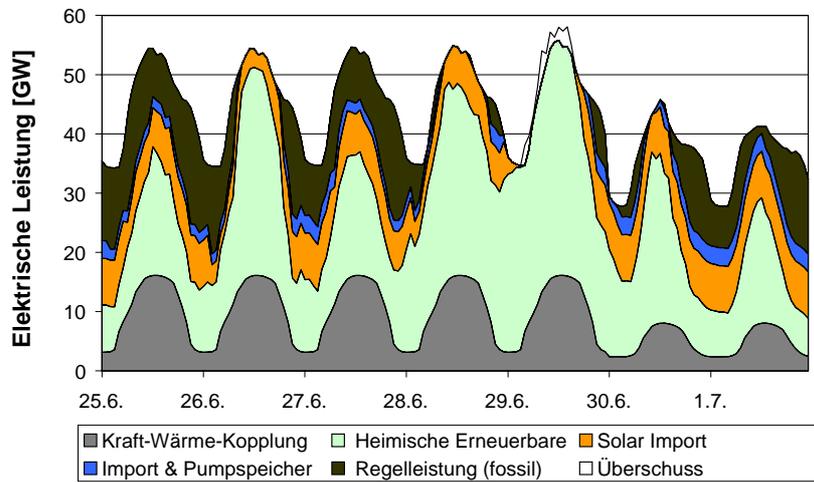
### AQUA-CSP Scenario for Middle East & North Africa



### Importabhängigkeit der Stromerzeugung

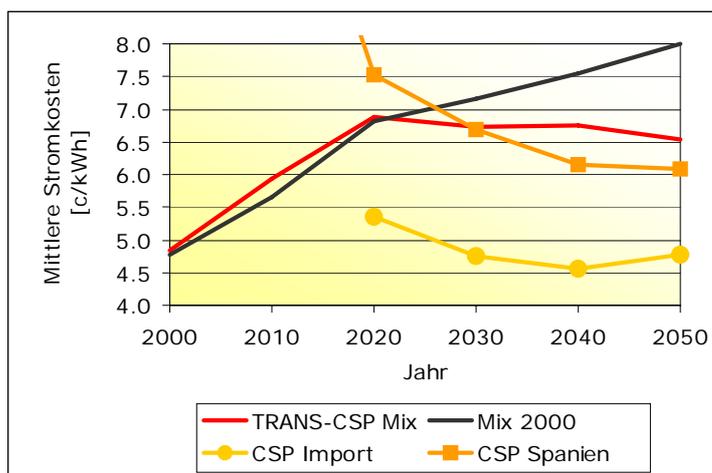


### Leistung nach Bedarf: Fossile Brennstoffe decken (nur noch) Lastspitzen



Stundenmodellierung Deutschland 2050

### Entwicklung der Stromkosten am Beispiel Spanien



Werte in €<sub>2000</sub> (real), Brennstoffpreise IEA WEO 2005 (Ölpreis 40 \$/bbl in 2030), ab 2020 CCS

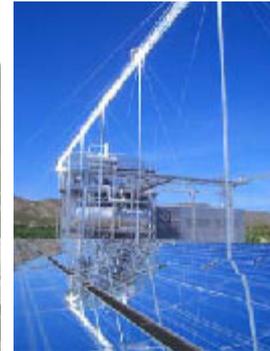
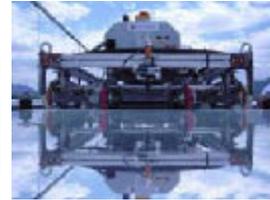
**NOVATEC**  
**Linear Fresnel**  
**2 MW, Puerto**  
**Errado, Spanien**

**Produktions-**  
**automaten**

**Direkt-**  
**verdampfung**

**Trockenkühlung**

**Putzroboter**



## Energiespeicher

Molten Salt



Beton



Phasenwechsel



Wasser-/Dampfspeicher



## Konzentrierende Sonnenkollektoren

Parabolrinne (PSA)

bis 550 °C  
Dampfturbinen

Linear Fresnel (MAN/SPG)

Solarturm (SNL)

über 1000 °C  
Gasturbinen,  
Motoren

Dish-Stirling (SBP)

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.  
in der Helmholtz-Gemeinschaft

Folie 35

## Auswirkung thermischer Energiespeicher auf die Auslastung

Direkt-Normal-Strahlung [kWh/m²/a]	SM4 (h/a)	SM3 (h/a)	SM2 (h/a)	SM1 (h/a)	ANDASOL 1 (h/a)	Nevada Solar 1 (h/a)
2000	6000	5000	3500	1800	-	-
2200	6500	5500	4000	2000	3500	-
2400	7000	6000	4500	2200	-	2000
2600	7500	6500	5000	2400	-	-
2800	8000	7000	5500	2600	-	-

```

    graph TD
      subgraph SM1
        SF1[Solar Field 1]
      end
      subgraph SM2
        SF2[Solar Field 2]
      end
      subgraph SM3
        SF3[Solar Field 3]
      end
      subgraph SM4
        SF4[Solar Field 4]
      end
      SF1 --> P[Power Block]
      SF2 --> S1[Storage 1]
      SF3 --> S2[Storage 2]
      SF4 --> S3[Storage 3]
      S1 --> P
      S2 --> P
      S3 --> P
      P -- Electricity --> E[Electricity]
  
```

SM = Solar Multiple  
 1 Solarfeld = 6000 m<sup>2</sup>/MW  
 1 Speicher = 6 h Volllast

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.  
in der Helmholtz-Gemeinschaft

[www.dlr.de/tt/csp-resources](http://www.dlr.de/tt/csp-resources)

Folie 36