

# Effiziente Gestaltung der Energiewende

Franz Trieb

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.  
Institut für Technische Thermodynamik  
Abteilung Systemanalyse und Technikbewertung

Stuttgart

10.10.2013

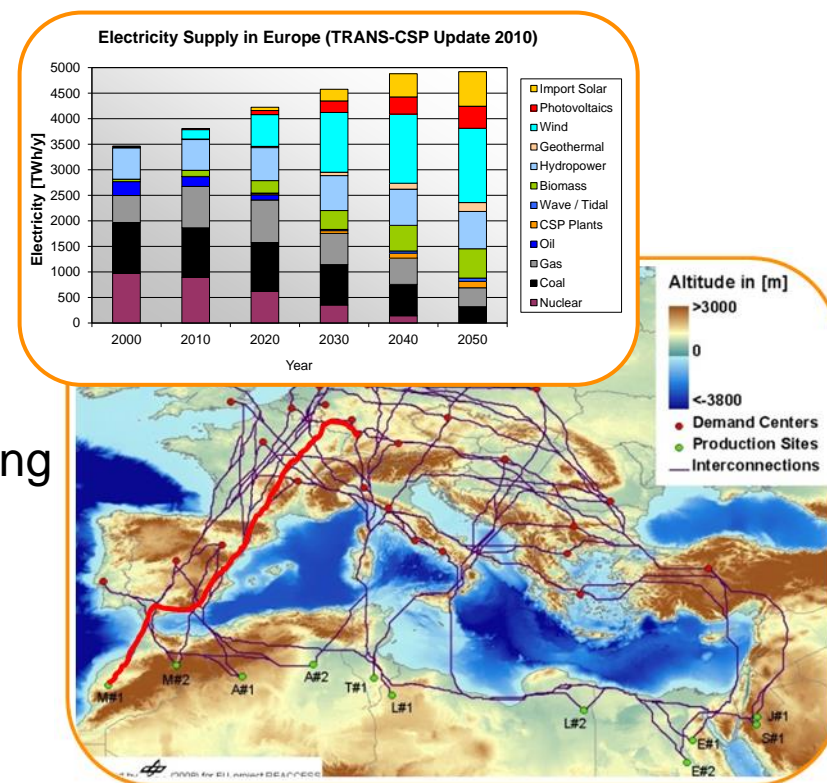


Wissen für Morgen

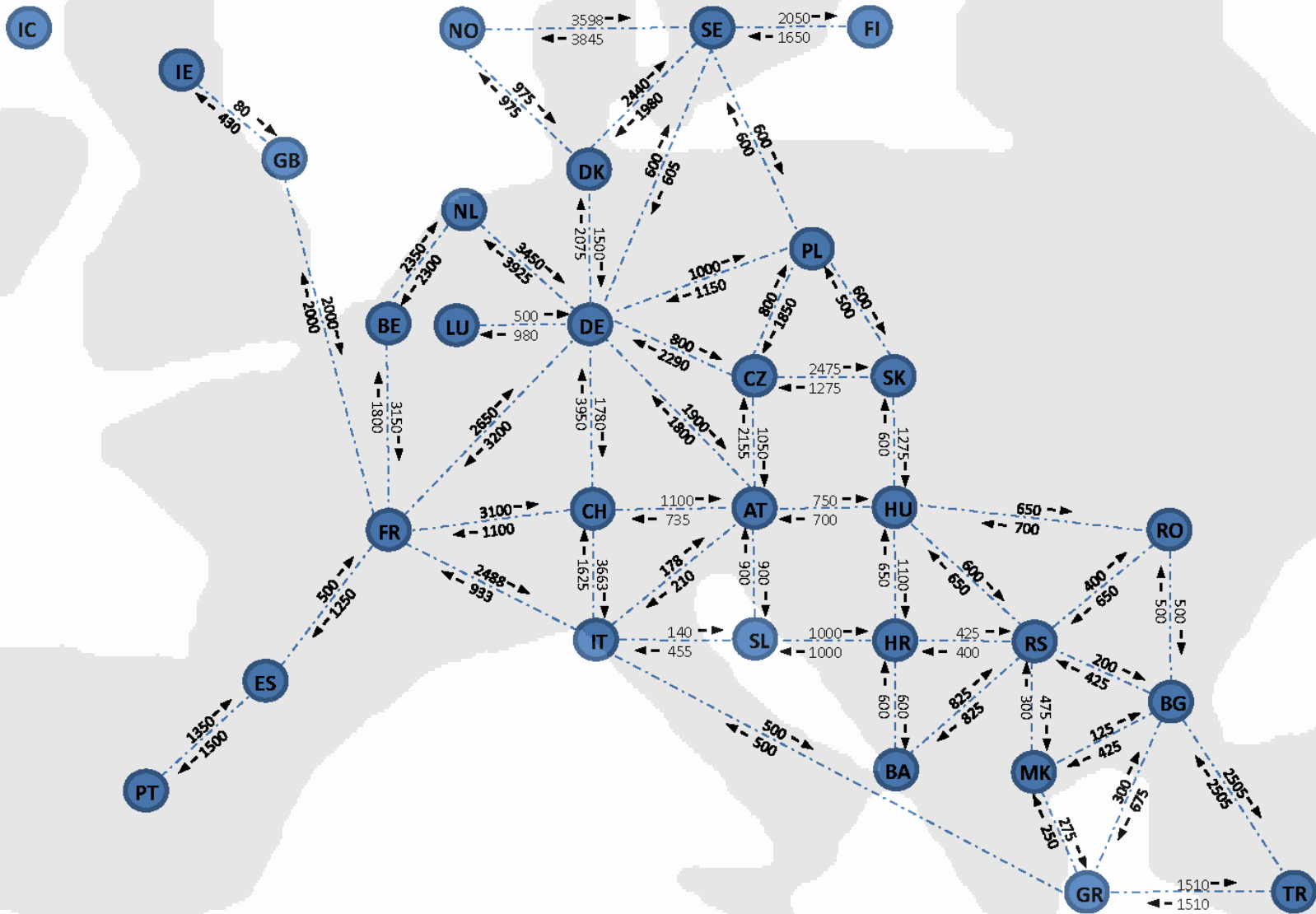


# Solarstromimporte von Nordafrika nach Europa (DLR)

- Trans-Mediterranean Renewable Energy Cooperation (TREC 2003)
- Nachhaltigkeitsszenario für 30 europäische Länder, das den Bedarf an regelbaren Solarstromimporten quantifiziert (TRANS-CSP 2006).
- Identifizierung von ca. 300 potentiellen Korridoren zur Verbindung von 11 Solarstandorten in Nordafrika mit 29 europäischen Ballungszentren (REACCESS 2009).
- Auswahl und Konkretisierung von 33 potentiellen Korridoren zum Export von 700 TWh/a nach Europa bis zum Jahr 2050 (Energy Policy 42 (2012)).
- Modell der europäischen Stromversorgung inkl. Solarstromimporten (Stetter 2012)
- Modell einer ersten HGÜ Verbindung Marokko - Baden-Württemberg (BETTER 2012-2014).



# DC-Modell der europäischen Stromversorgung ...



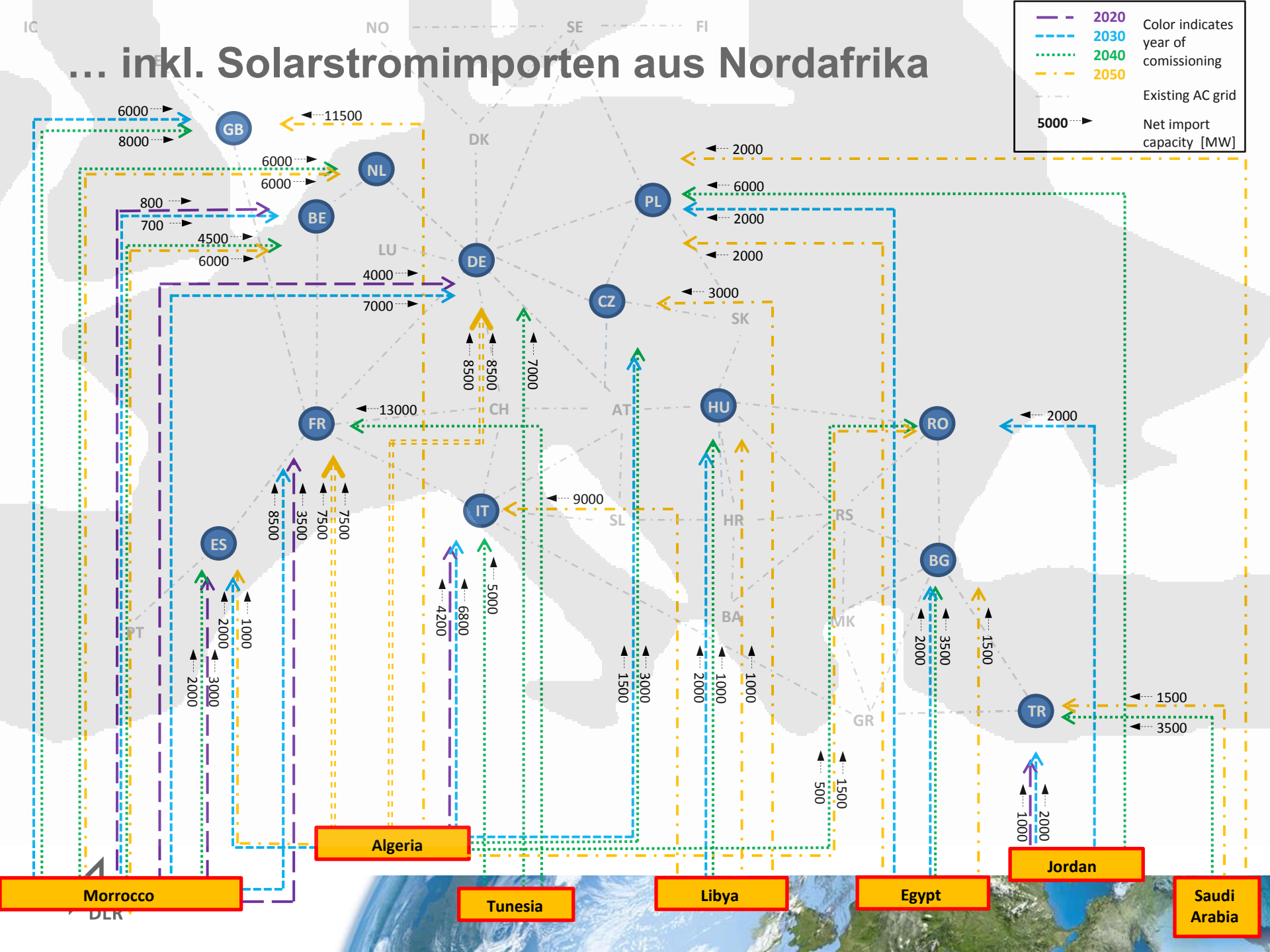
# ... inkl. Solarstromimporten aus Nordafrika

Color indicates year of comissioning

- 2020 (Purple dashed line)
- 2030 (Blue dashed line)
- 2040 (Green dotted line)
- 2050 (Yellow dashed line)

Existing AC grid (Grey dashed line)

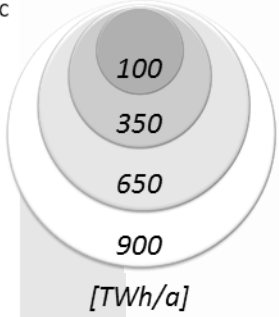
Net import capacity [MW] (5000 arrow)



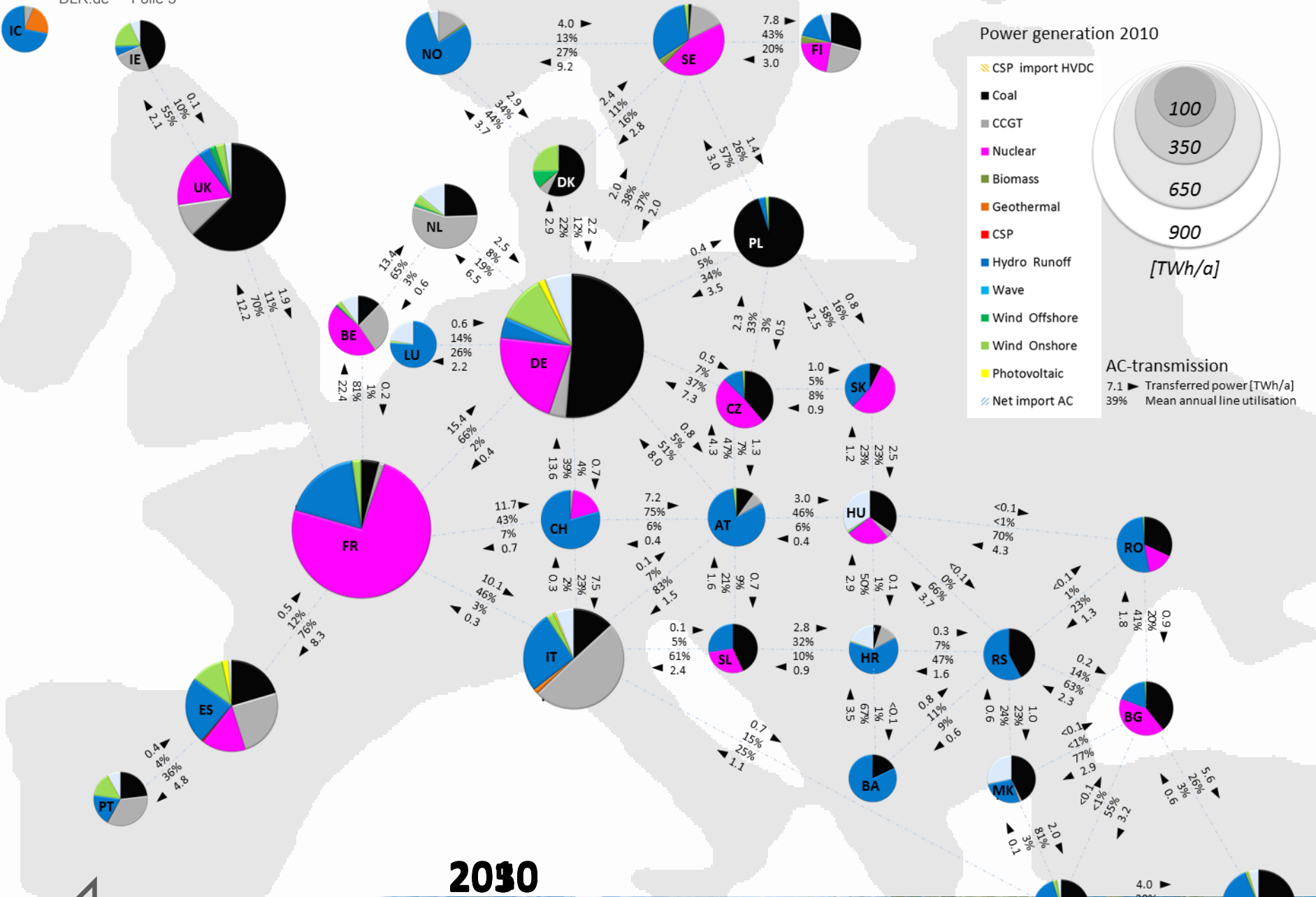


Power generation 2010

- CSP import HVDC
- Coal
- CCGT
- Nuclear
- Biomass
- Geothermal
- CSP
- Hydro Runoff
- Wave
- Wind Offshore
- Wind Onshore
- Photovoltaic
- Net import AC

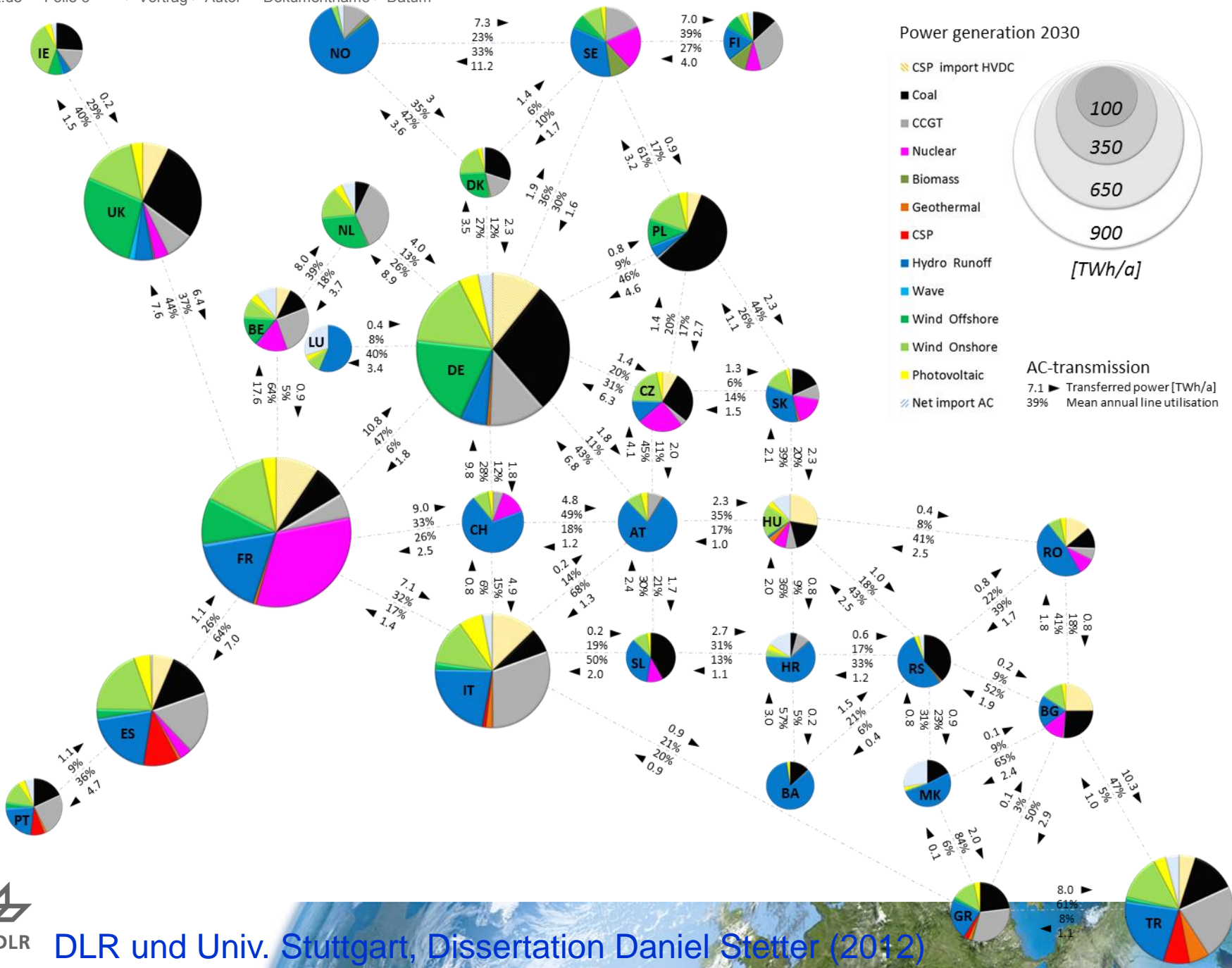


AC-transmission  
7.1 ▶ Transferred power [TWh/a]  
39% Mean annual line utilisation



2010

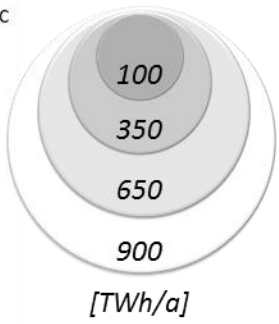




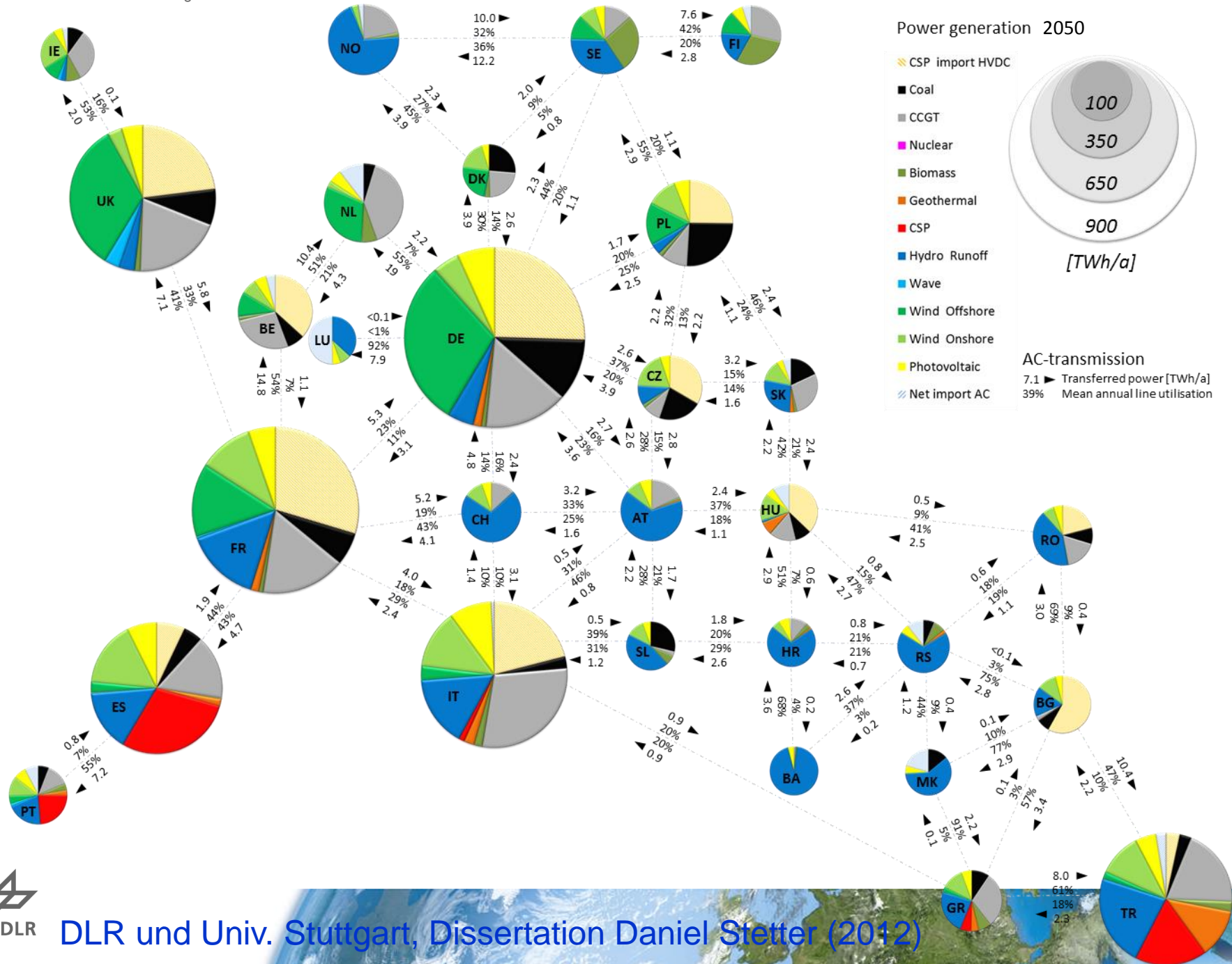


Power generation 2050

- CSP import HVDC
- Coal
- CCGT
- Nuclear
- Biomass
- Geothermal
- CSP
- Hydro Runoff
- Wave
- Wind Offshore
- Wind Onshore
- Photovoltaic
- Net import AC

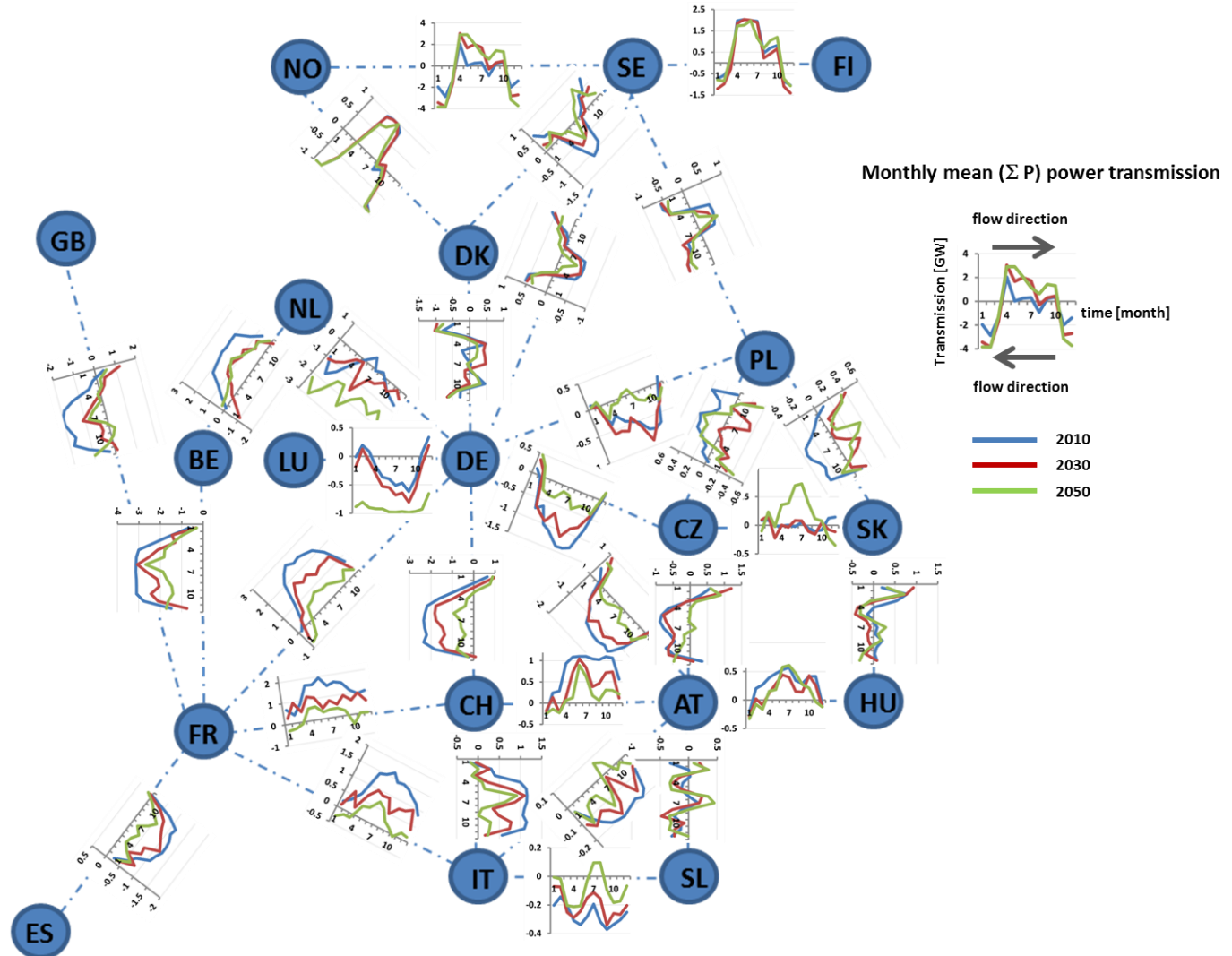


AC-transmission  
 7.1 ▶ Transferred power [TWh/a]  
 39% Mean annual line utilisation

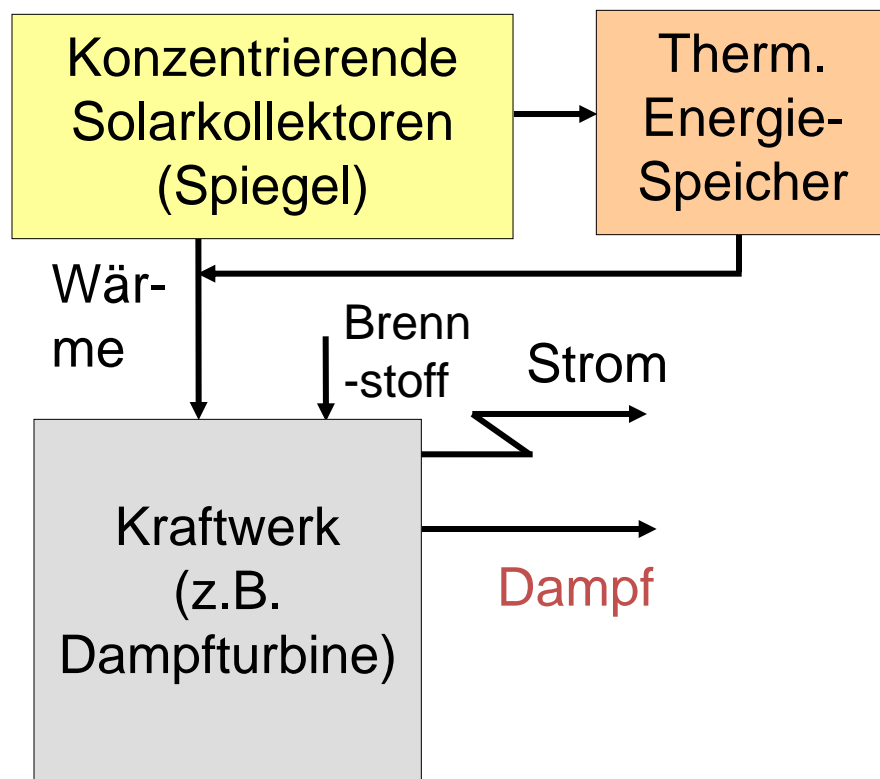


# Auswirkungen auf die Netzbelastung

Transport-  
Netzbelastung  
nimmt ab!



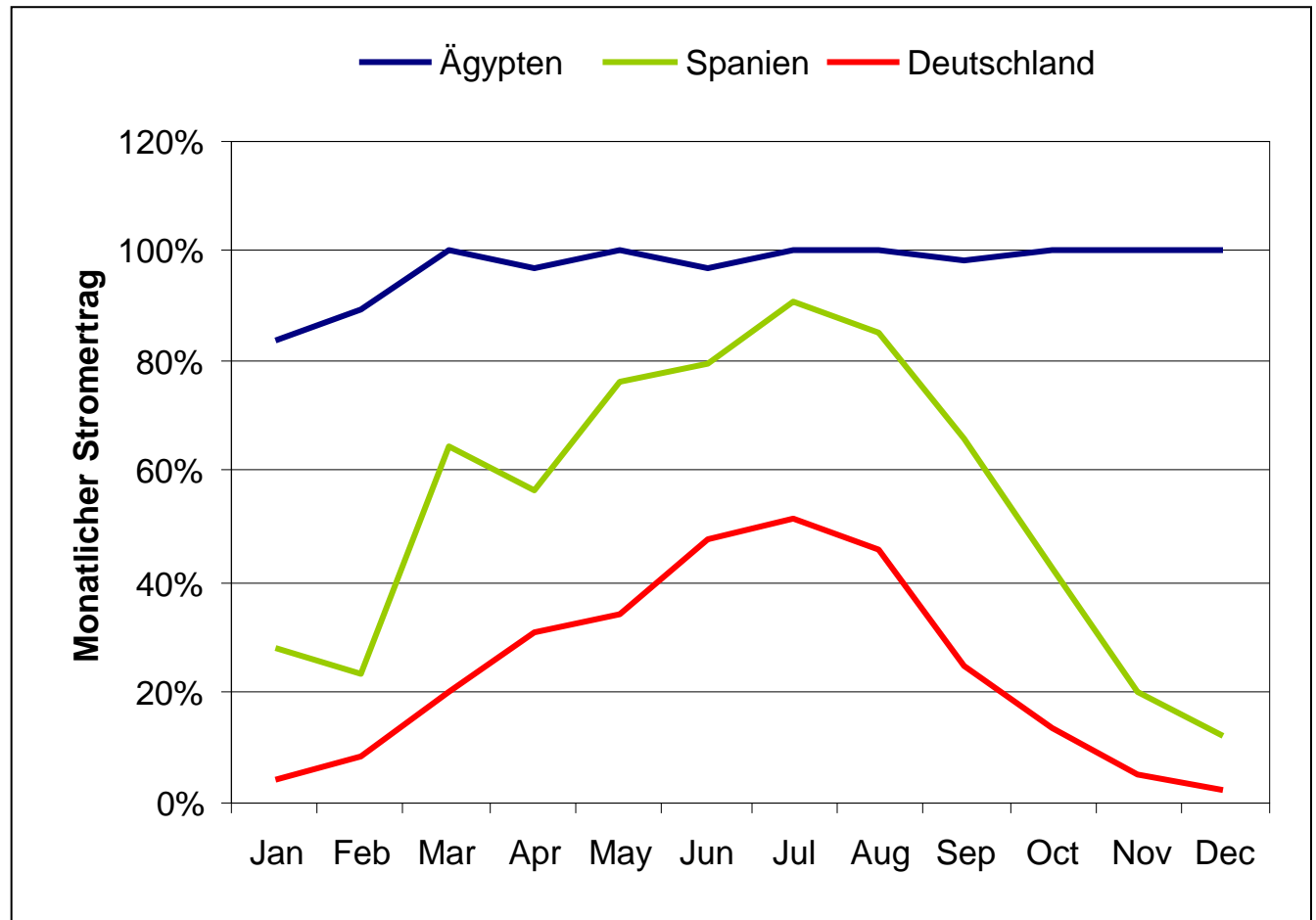
## Prinzip eines solarthermischen Kraftwerks



- ✓ Sonnenenergie ersetzt Brennstoff
- ✓ Sekundenreserve
- ✓ Regelbare Leistung
- ✓ Kraft-Wärme-Kopplung für Wasserentsalzung, Kälte, Fernwärme, Industrie

# Solarthermische Kraftwerke in Nordafrika können ganzjährig jederzeit Strom nach Bedarf liefern

Vorteil Nordafrika:  
Viele Sonnentage  
Hoher Sonnenstand



## Die Energiewende: Umbau zu nachhaltiger Energieversorgung

1. Kostengünstig
2. Sicher
3. Umweltverträglich
4. Sozialverträglich

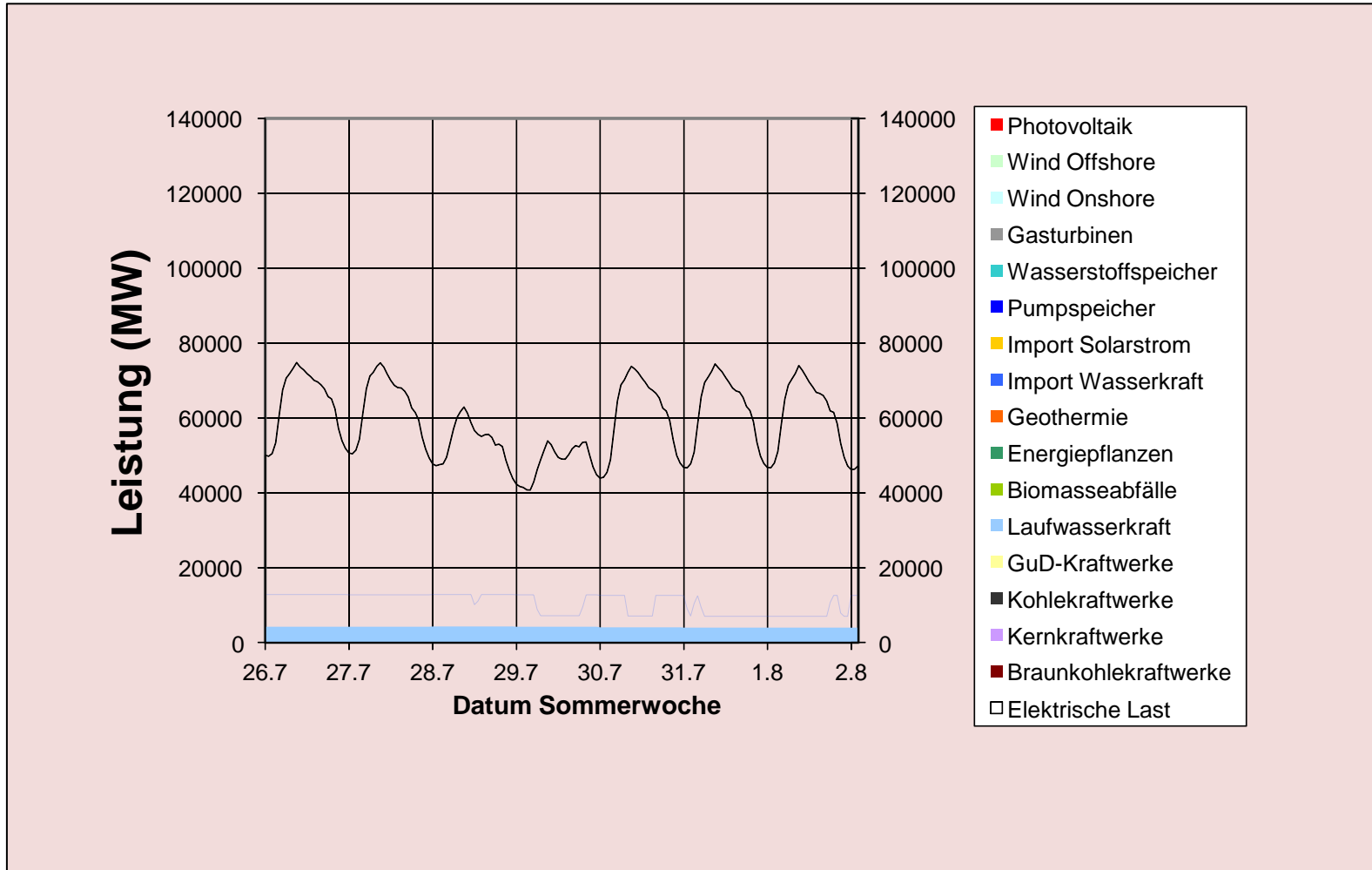
➔ Großer Anteil erneuerbarer Energiequellen vor allem im Strombereich

➔ Fossile Energie wird über Pipelines, Tanker, Schiffe, Bahn transportiert

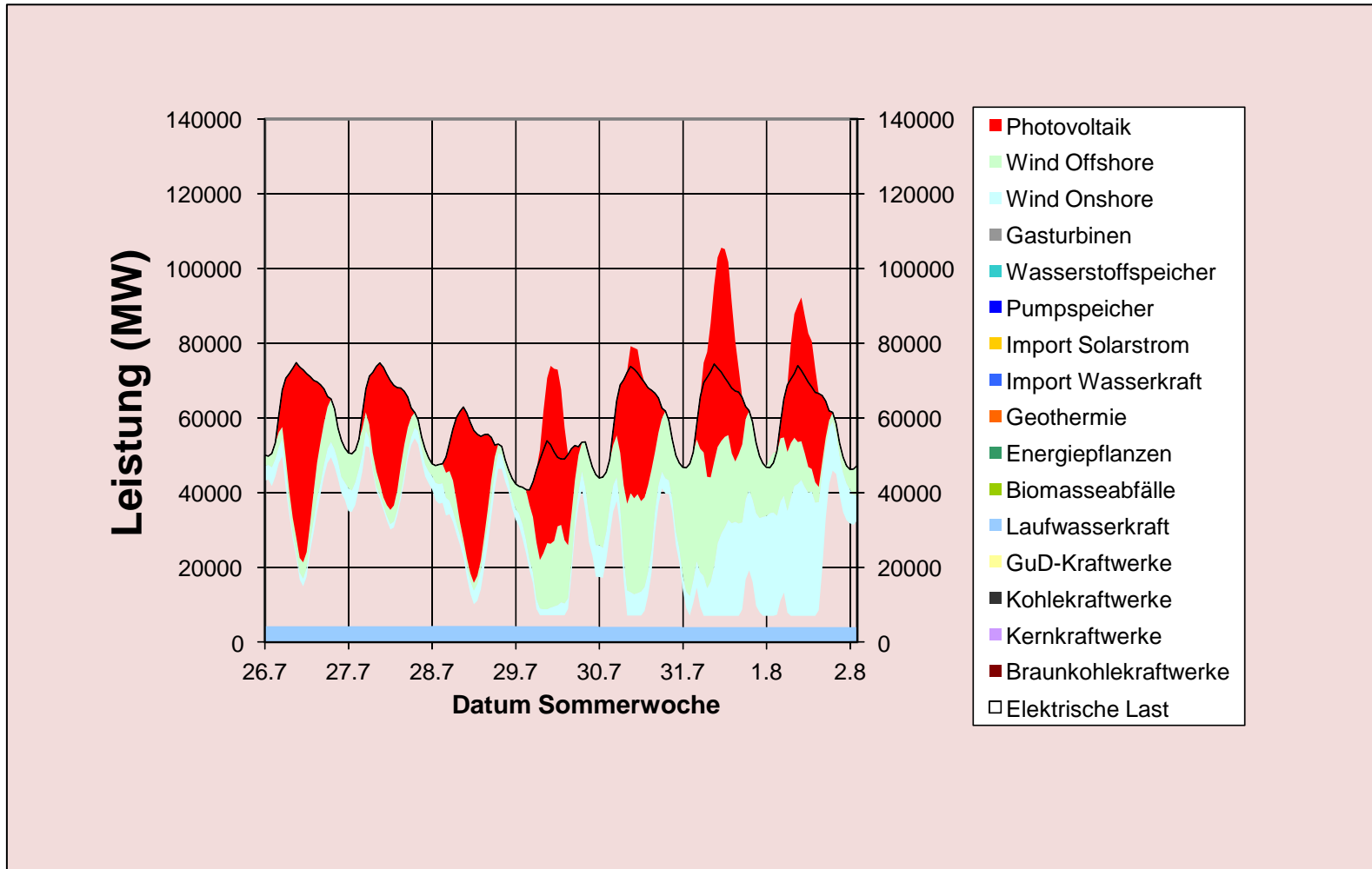
➔ Erneuerbare Energie wird über Stromleitungen transportiert



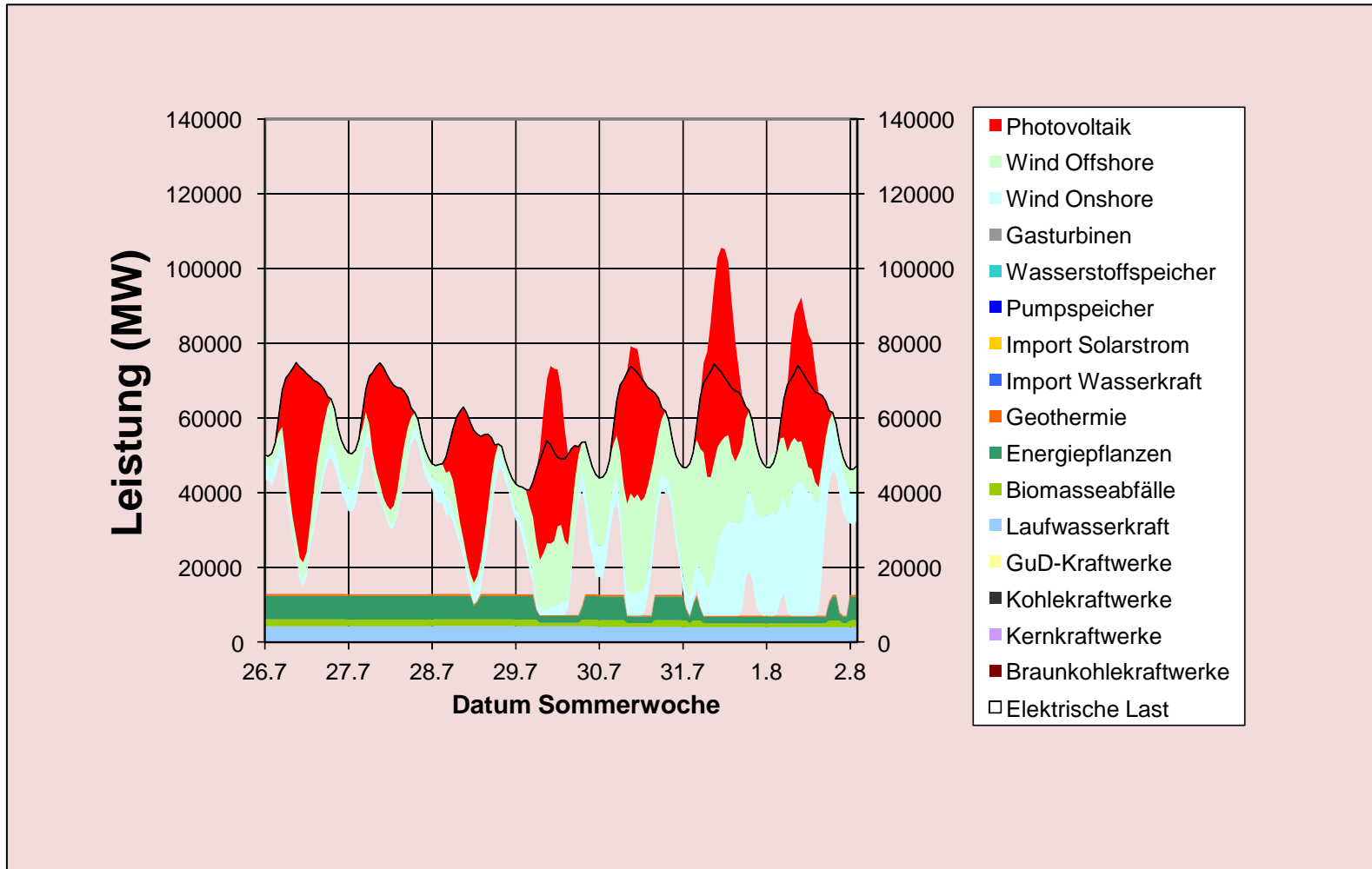
# Effiziente Gestaltung der Energiewende bis 90% EE?



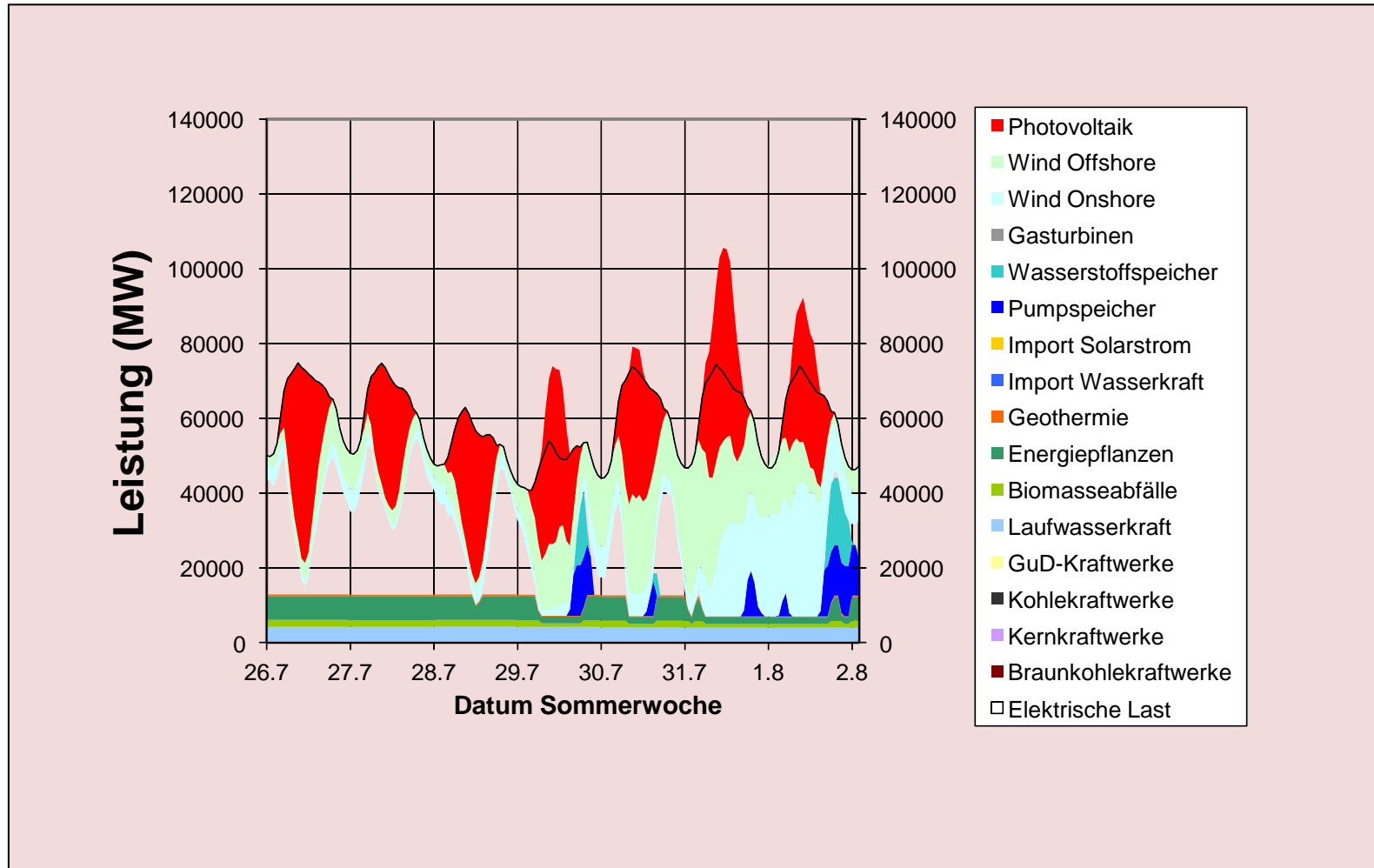
# Onshore Wind, offshore Wind und PV ausbauen



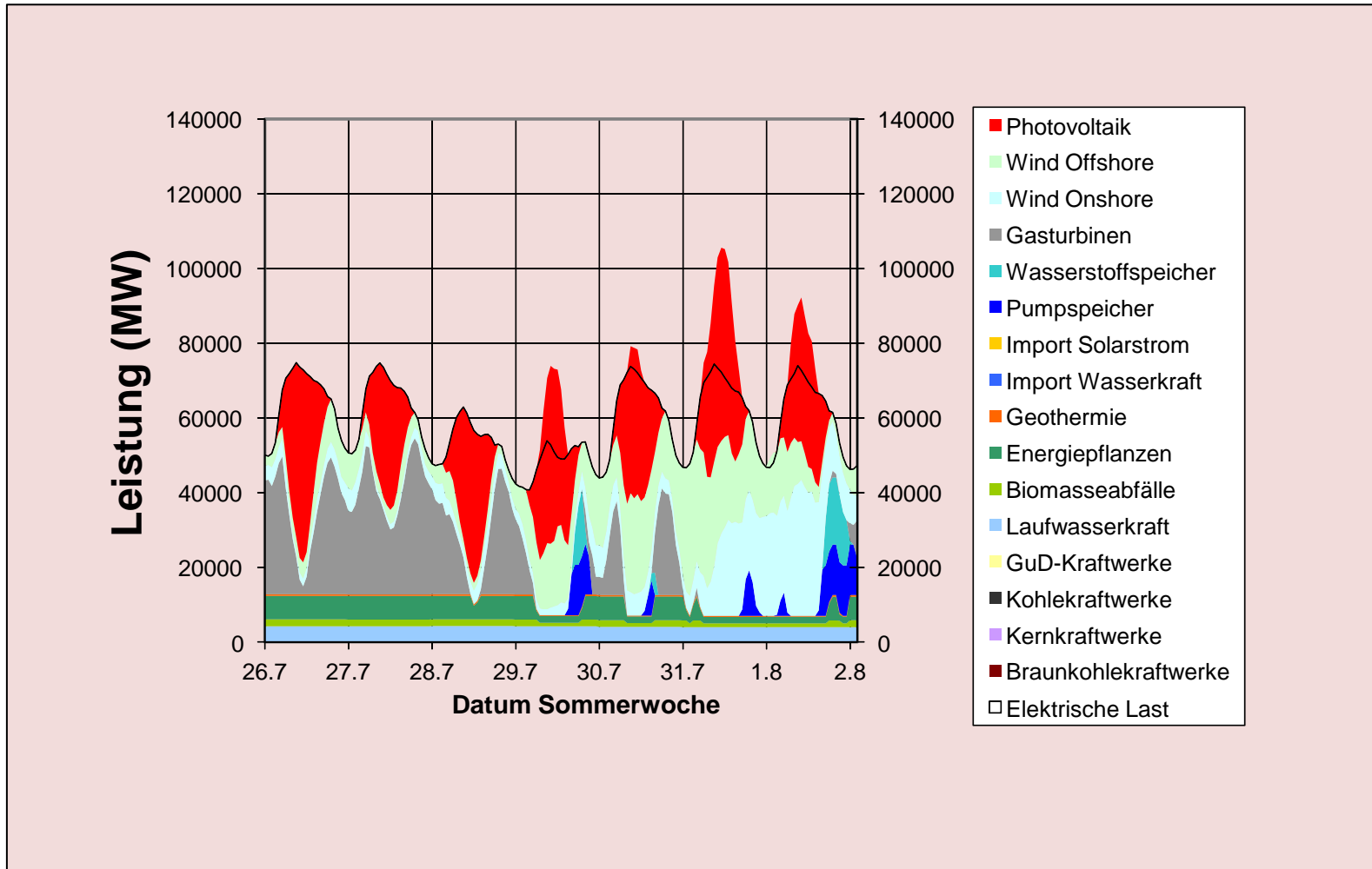
# Biomasse und Geothermie ausbauen



# Stromspeicher, Lastmanagement und Netze ausbauen



# Restliche 10% mit Erdgas oder synth. Erdgas füllen



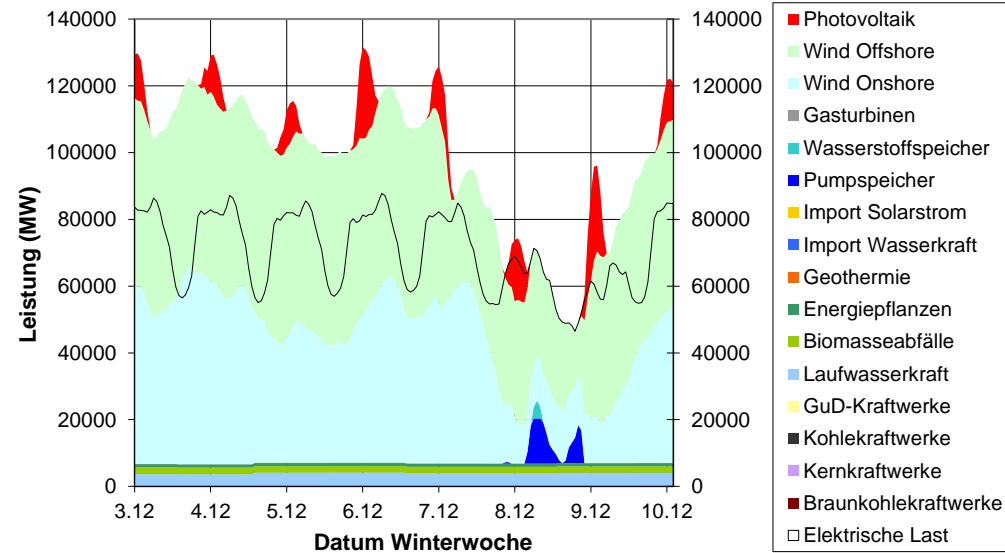
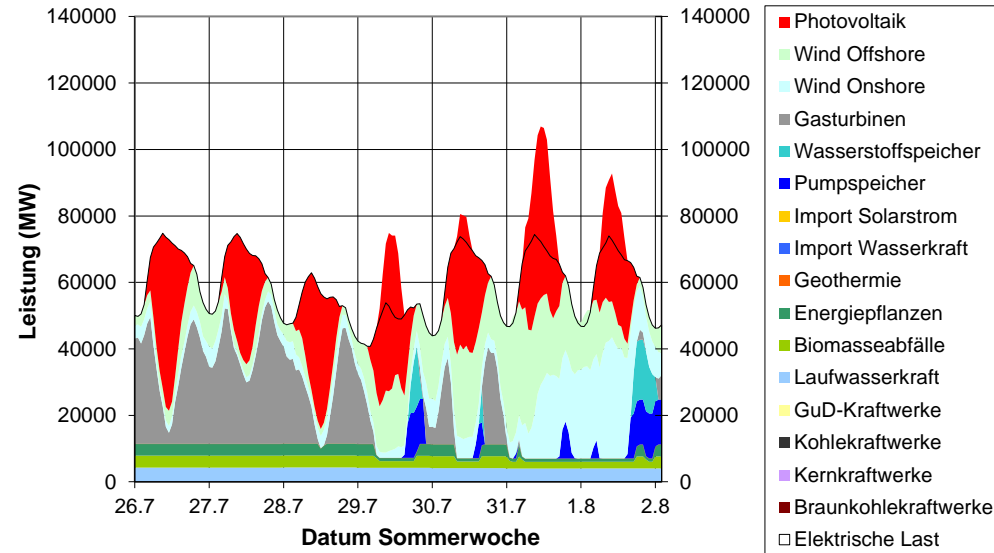
# Deutschland 20XX:

90% EE Szenario ohne  
regelbare Solarstromimporte

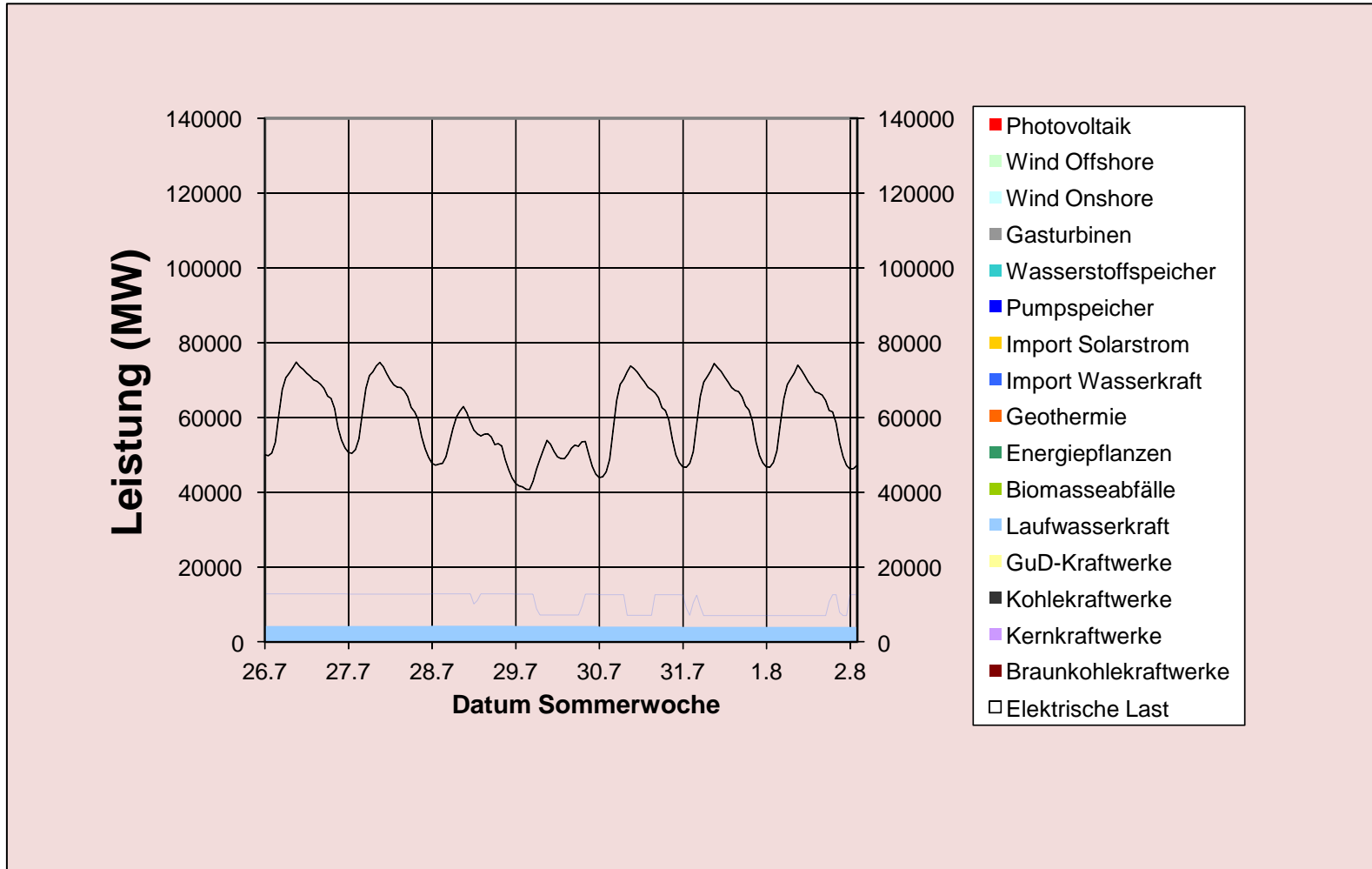
**375 GW + 40 GW Netz**

**+ 40 GW Speicher**

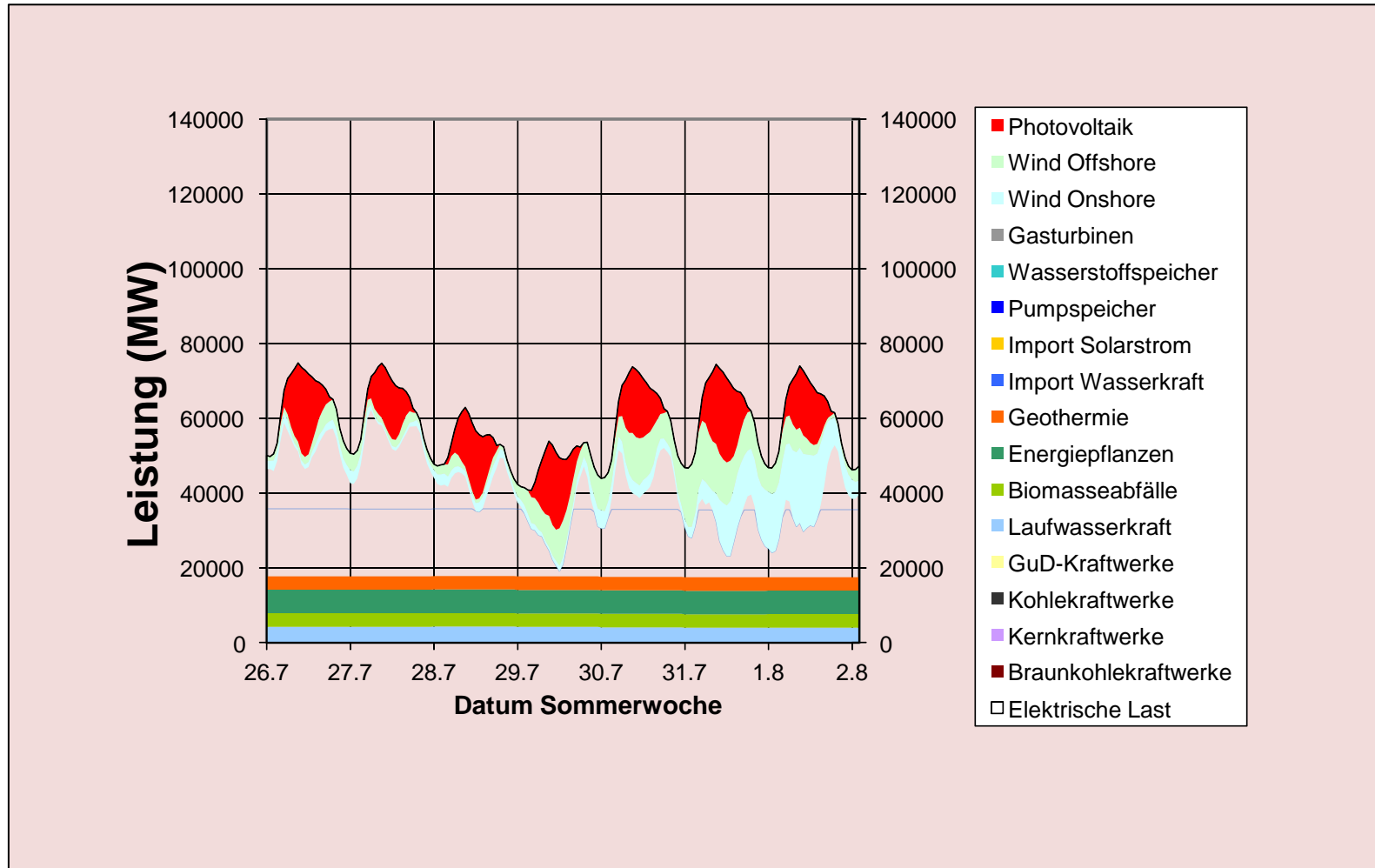
Energieträger	Installierte Leistung	Pro Jahr gelieferte Strommenge	Mittlere Auslastung
	MW	TWh/a	h/a
<b>Fluktuierend / Erneuerbar</b>	<b>235500</b>	<b>551.3</b>	
Photovoltaik	<b>100000</b>	98.9	989
Wind Onshore	<b>70000</b>	156.4	2235
Wind Offshore	<b>60000</b>	257.7	4295
Laufwasserkraft	<b>5500</b>	38.2	6951
<b>Regelbar / Erneuerbar</b>	<b>8000</b>	<b>37.9</b>	
Biomasseabfälle, Müll	<b>4000</b>	22.1	5515
Holz, Energiepflanzen, Biogas	<b>4000</b>	15.9	3964
Geothermie	0.0	0.0	0
Import Wasserkraft per HGÜ	0.0	0.0	0
Import Solarstrom per HGÜ	0.0	0.0	0
<b>Fossil / Nuklear</b>	<b>90000</b>	<b>56.4</b>	
Gasturbinenkraftwerke	<b>90000</b>	56.4	627
Kohlekraftwerke	0	0.0	0
GuD und BHKW	0	0.0	0
Kernkraftwerke	0	0.0	0
Braunkohlekraftwerke	0	0.0	0
<b>Speicher und Netztransfer</b>	<b>80000</b>	<b>48.7</b>	
Pump- und Druckluftspeicher	<b>20000</b>	15.7	785
H2-Speicher Leistung	<b>20000</b>	13.8	688
H2-Speicher Kapazität (Tage)	<b>1</b>		
Netztransferkapazität (NTC)	<b>40000</b>	19.3	482
<b>Gesamter Kraftwerkspark</b>	<b>373500</b>	<b>579</b>	<b>1551</b>



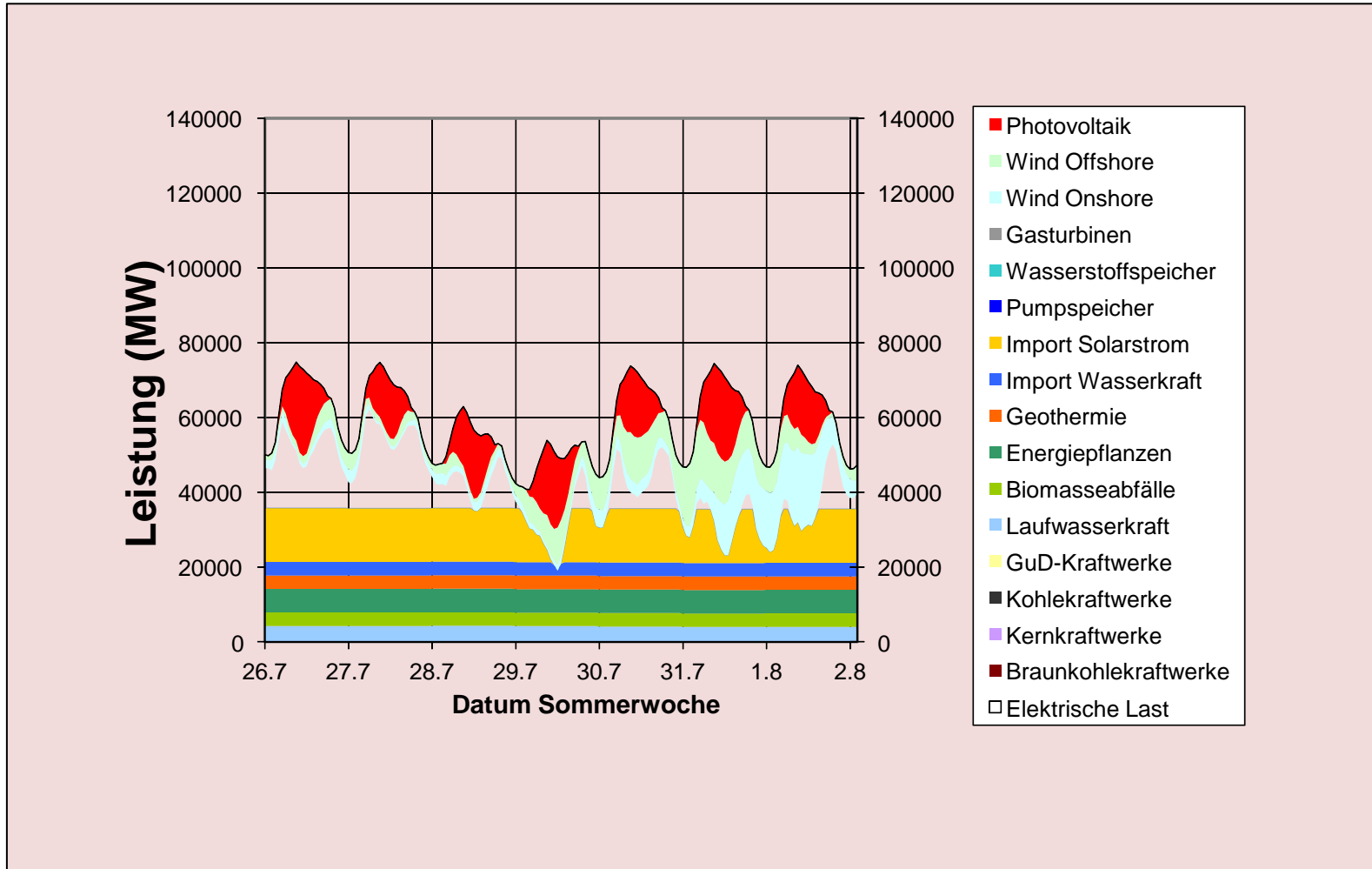
# Effiziente Gestaltung der Energiewende bis 90% EE - Plan B



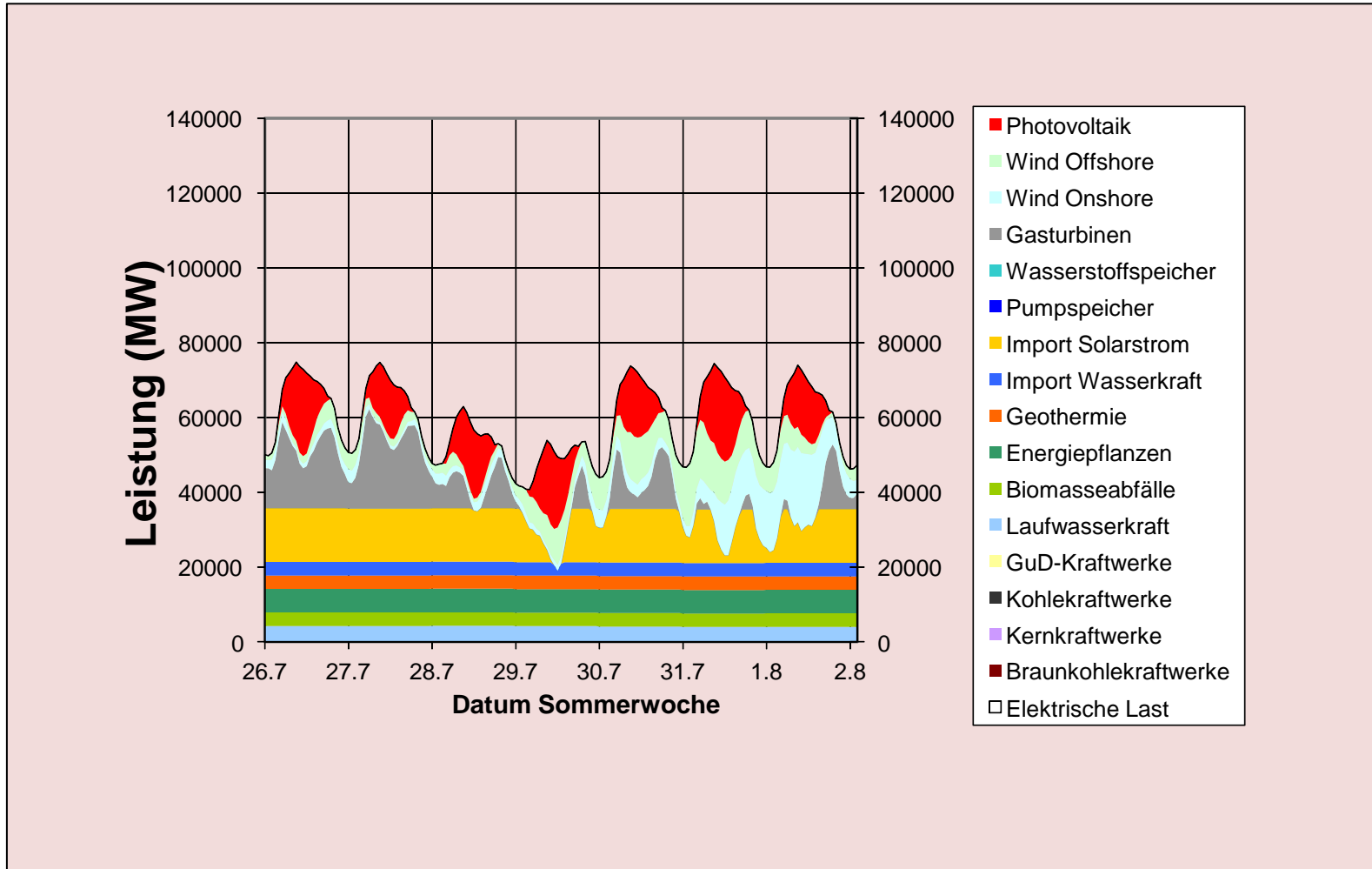
# Wind, PV und grundlastfähige EE gleichermaßen ausbauen



# Gut regelbare EE importieren soweit nötig



# Restliche 10% mit Erdgas oder synth. Erdgas füllen



# Deutschland 20XX:

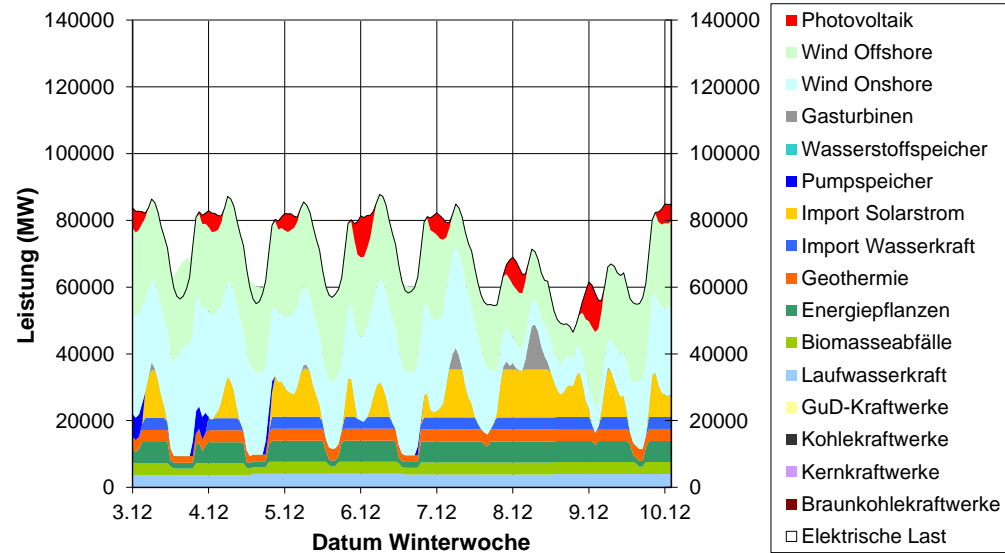
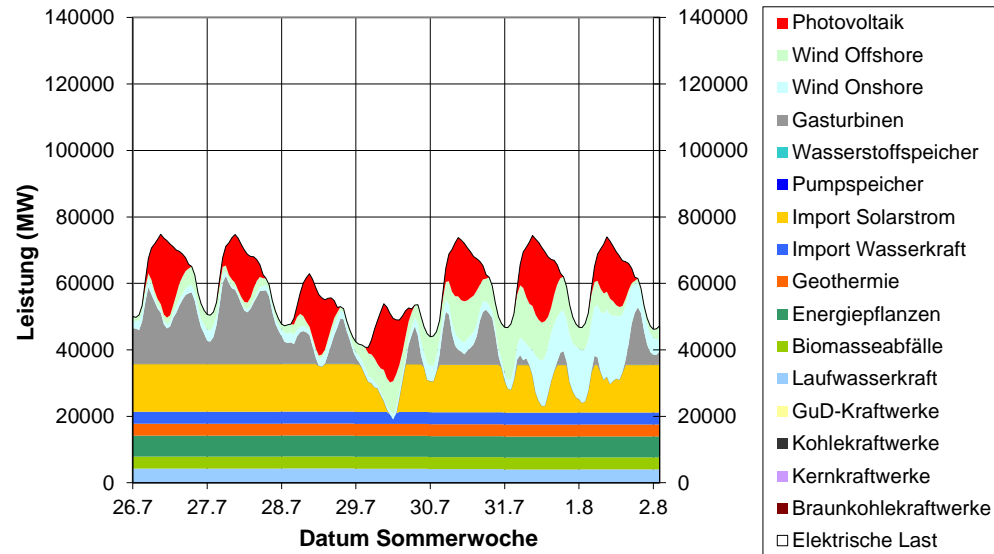
90% EE Szenario mit

regelbaren Solarstromimporten

**225 GW + 8 GW Netz + 20 GW HGÜ**

**+ 8 GW Speicher**

Energieträger	Installierte Leistung	Pro Jahr gelieferte Strommenge	Mittlere Auslastung
	MW	TWh/a	h/a
<b>Fluktuierend / Erneuerbar</b>	<b>117500</b>	<b>288.1</b>	
Photovoltaik	45000	44.5	989
Wind Onshore	40000	89.4	2235
Wind Offshore	27000	116.0	4295
Laufwasserkraft	5500	38.2	6951
<b>Regelbar / Erneuerbar</b>	<b>35000</b>	<b>220.2</b>	
Biomasseabfälle, Müll	4000	30.0	7502
Holz, Energiepflanzen, Biogas	7000	49.8	7112
Geothermie	4000	30.2	7547
Import Wasserkraft per HGÜ	4000	25.8	6462
Import Solarstrom per HGÜ	16000	84.3	5271
<b>Fossil / Nuklear</b>	<b>65000</b>	<b>54.4</b>	
Gasturbinenkraftwerke	65000	54.4	837
Kohlekraftwerke	0	0.0	0
GuD und BHKW	0	0.0	0
Kernkraftwerke	0	0.0	0
Braunkohlekraftwerke	0	0.0	0
<b>Speicher und Netztransfer</b>	<b>16000</b>	<b>3.1</b>	
Pump- und Druckluftspeicher	7500	1.9	255
H2-Speicher Leistung	0	0.0	0
H2-Speicher Kapazität (Tage)	0		
Netztransferkapazität (NTC)	8500	1.1	135
<b>Gesamter Kraftwerkspark</b>	<b>225000</b>	<b>561</b>	<b>2494</b>



2020 erledigt  
dauert in China 5 Jahre

## Effiziente Gestaltung der Energiewende

1. Einsatz und Weiterentwicklung aller verfügbaren Flexibilisierungsoptionen wie Lastmanagement, Netzausbau, Stromspeicher, flexible KWK, Power-to-Gas, Effizienz, usw.
  2. Gut regelbare Optionen auf der Basis erneuerbarer Energiequellen erschließen und notfalls importieren (bio, hydro, solarth. KW, geo).
- ➔ Bedeutung gut regelbarer Solarstromimporte zur Entlastung der Energiewende:
- bis zu 5 mal weniger Netze
  - bis zu 5 mal weniger Speicher
  - bis zu 150 GW weniger Kraftwerke
  - deutlich schneller ohne technische Durchbrüche realisierbar
  - auch umsetzbar wenn alle Nachbarn ähnlich vorgehen



# Vielen Dank!

[franz.trieb@dlr.de](mailto:franz.trieb@dlr.de)

Integration erneuerbarer Energiequellen bei hohen Anteilen an der Stromversorgung, Fachzeitschrift Energiewirtschaftliche Tagesfragen 63, Heft 7, 28–32 (2013)

[http://www.et-energie-online.de/Portals/0/PDF/artikel\\_2013\\_07\\_trieb.pdf](http://www.et-energie-online.de/Portals/0/PDF/artikel_2013_07_trieb.pdf)



## Beliebte Mythen:

1. Stromexport ist technologieoffen
2. Export von Stromüberschüssen
3. Export über Supergrid
4. Solarstromexport = Kolonialismus
5. Wasserverbrauch in der Wüste
6. Ende der Nomaden
7. Supraleitung
8. Import verdrängt heimische EE
9. Abhängigkeit steigt
10. Sahara wird zugepflastert
11. Albedo führt zu Klimawandel

## Nein, sondern:

gut regelbarer CSP Strom  
Export von hochwertigem Strom  
Export über HGÜ Link von A → B  
Export = lokale Wertschöpfung  
Trockenkühlturm + Entsalzung  
Optionen für Nomaden  
HGÜ seit 1960  
Import ergänzt heimische EE  
Abhängigkeit sinkt ( $E/(N+1)$ )  
0.1% wird für 15% gebraucht  
1/50000 wird exportiert

