



## Energie

Prof. Dr. Dr. F. J. Radermacher |  
Datenbanken/Künstliche Intelligenz

[franz-josef.radermacher@uni-ulm.de](mailto:franz-josef.radermacher@uni-ulm.de)

## Inhalt

- Energieverbrauch
- Windeinspeisung
- TREC (Trans-Mediterranean Renewable Energy Cooperation)
- Bilanzierung
- Biomassenutzung
- Geothermie

## Energieverbrauch

Energieverbrauch (Welt, 2002): ca. 113.000 TWh/a

$$1TWh = 10^{12} Wh = 10^9 kWh$$

Energieverbrauch, (primär, Deutschland, 2002): ca. 4.000 TWh/a  
(ca. 3,5% bei ca. 1,23% der Weltbevölkerung)

Energieverbrauch, (Endenergie, Deutschland, 2002): ca. 2.500 TWh/a  
(ca. 3,5% bei ca. 1,23% der Weltbevölkerung)

(Verluste, Energie zur Bereitstellung von Energie etc. erzeugen  
Differenz zwischen Primär-und Endenergie)

## Einheiten

$$1J = 1Ws$$

$$1GJ = 10^9 J$$

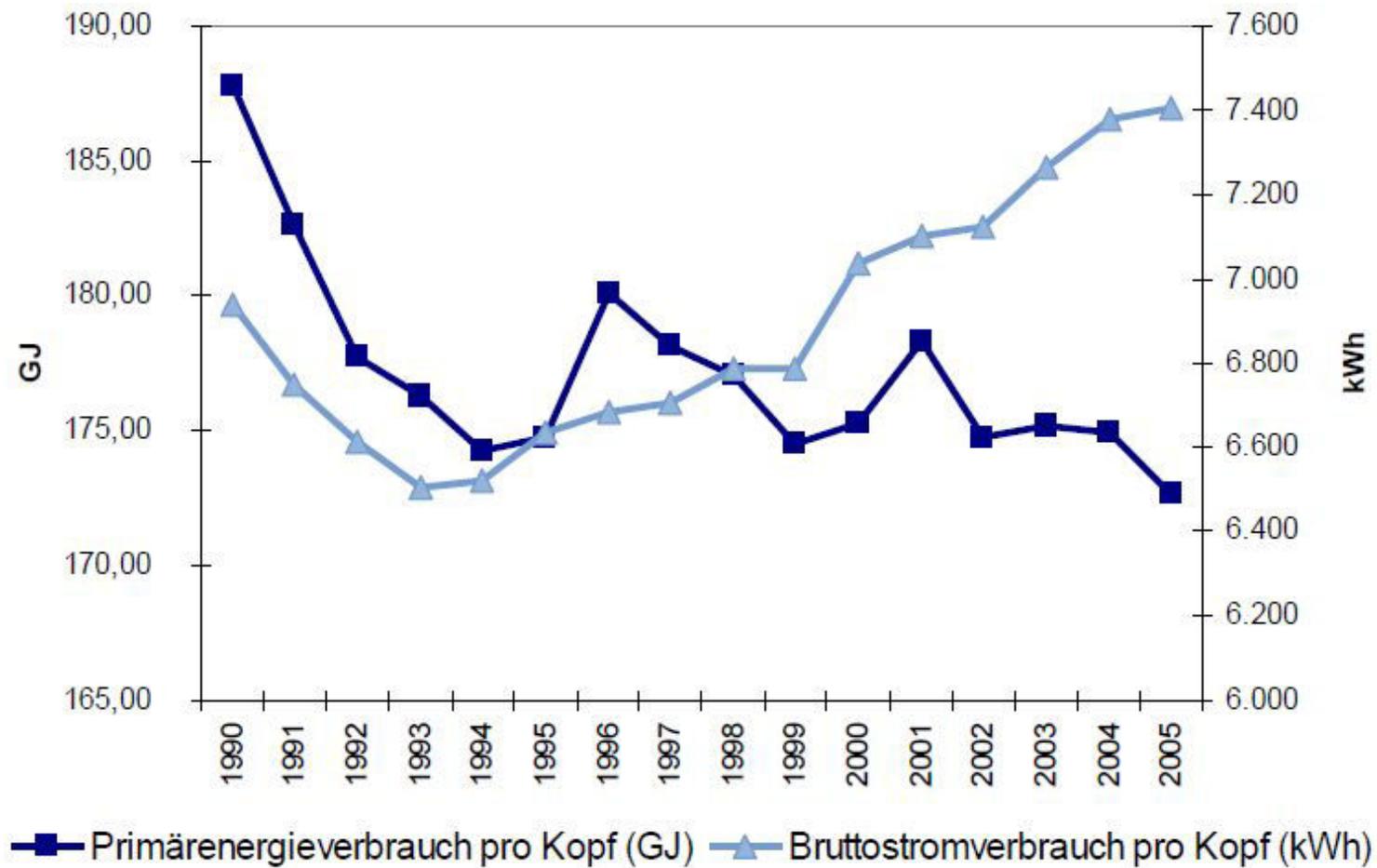
$$1PJ = 10^{15} J$$

$$1KWh = 3,6 \cdot 10^6 J$$

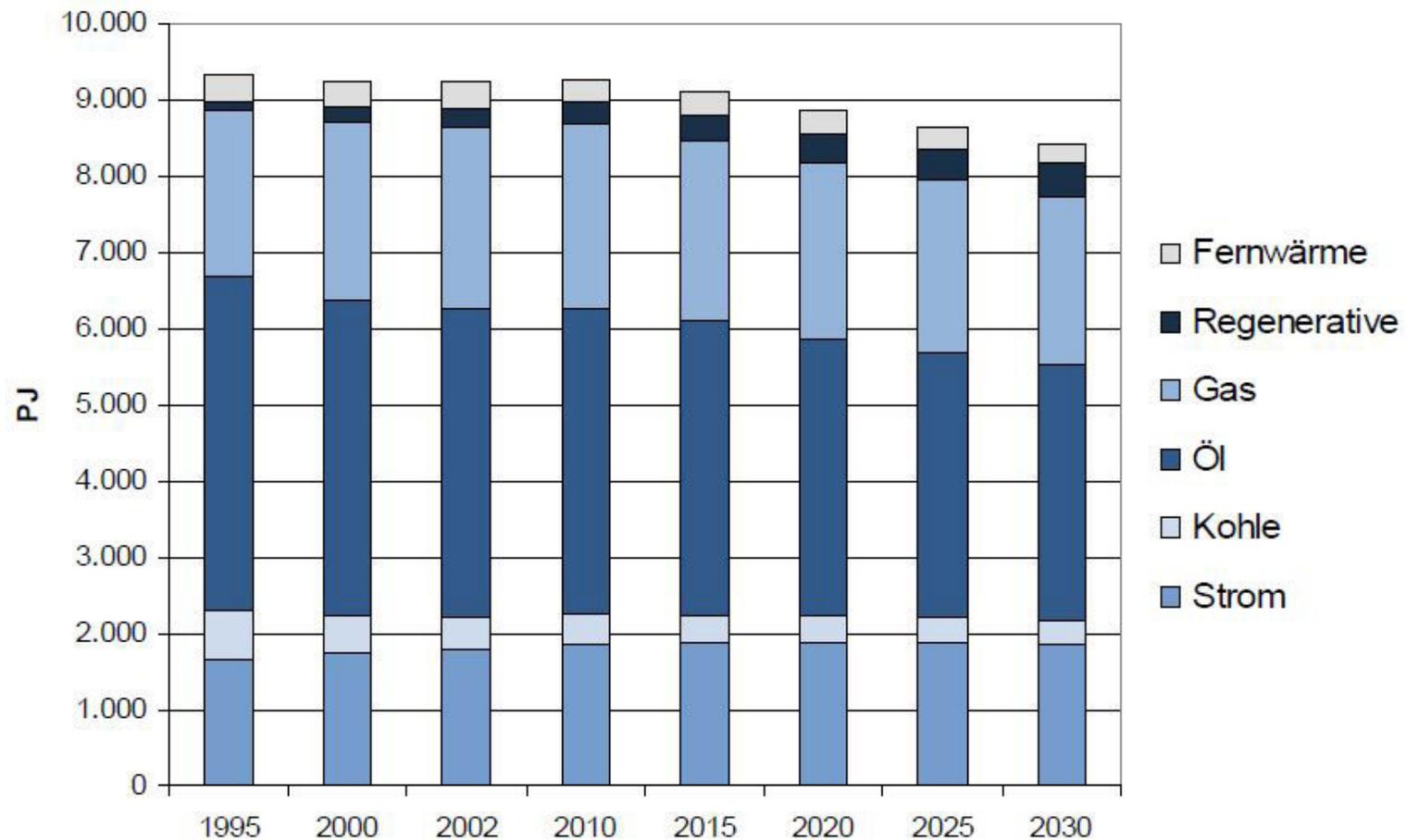
„2.000W Gesellschaft“ (Zürich)

→ Derzeitiger pro Kopf Verbrauch an Energie global

## Energieverbrauch je Kopf der Bevölkerung in Deutschland



## Endenergieverbrauch nach Energieträgern 1995-2030 in Deutschland



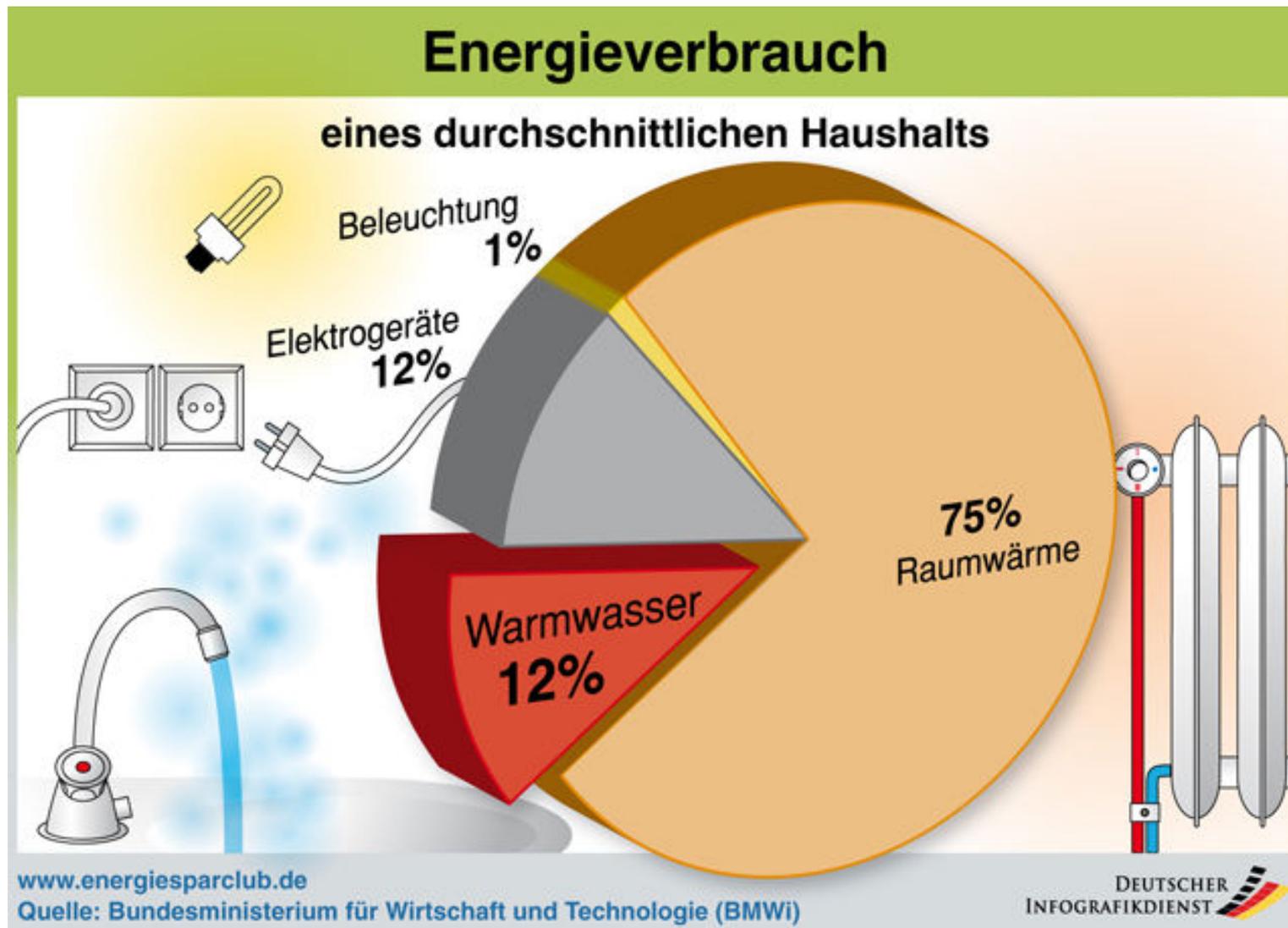
## Energieprognosen

Steigerung: Jahr 2000  $\longrightarrow$  2020 (+60%)

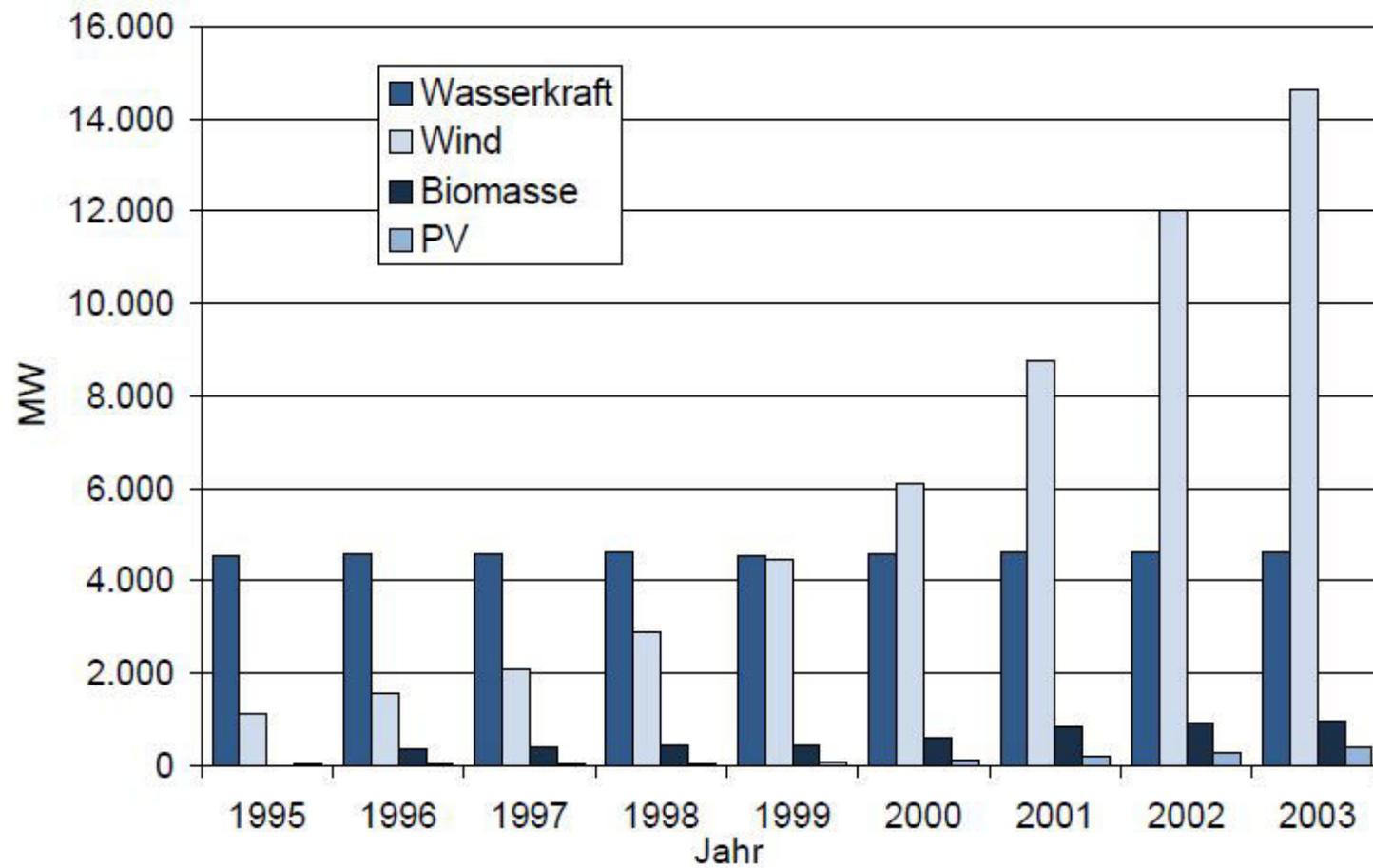
Steigerung. Jahr 2000  $\longrightarrow$  2050 (+120%)

Fokus auf Strom (generell)

Fokus auf Biomasse, Solarenergie, Wind (regenerativ)



## Energieverbrauch je Kopf der Bevölkerung in Deutschland



## Vergleich mit anderen Energiearten

### Energieerzeugungskosten

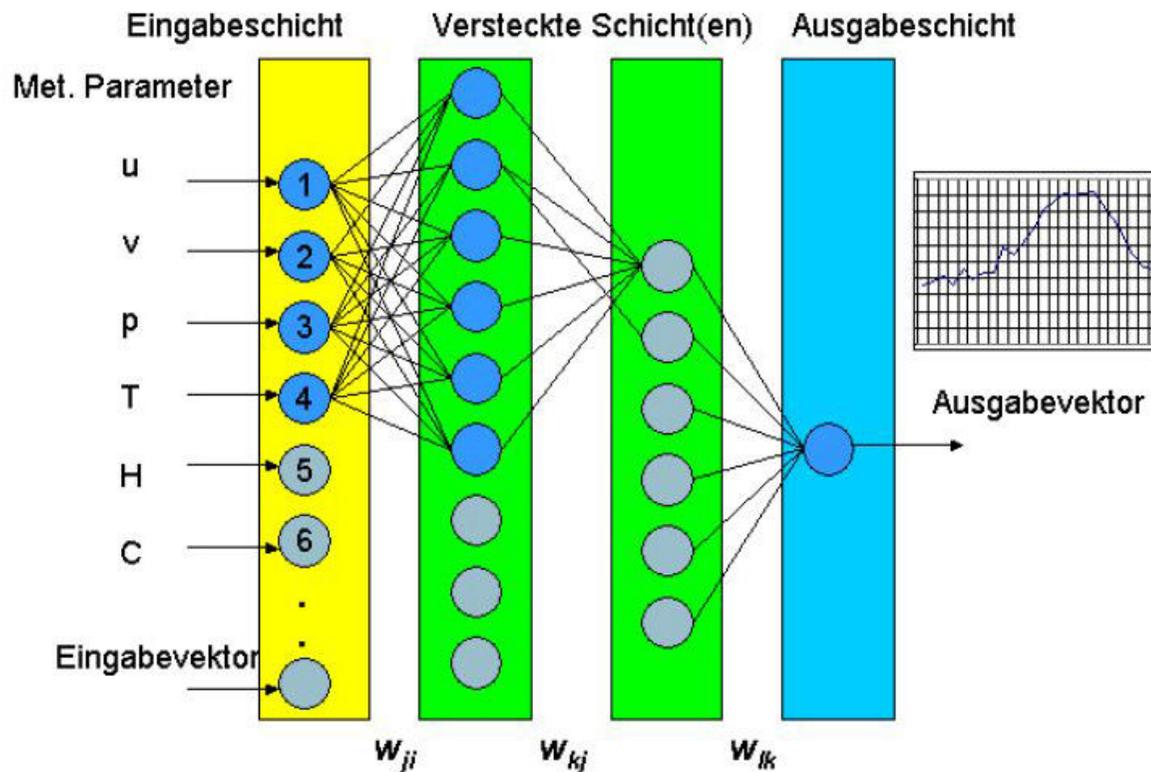
	Cent/kWh	Euro/Monat
Meereswellenstrom	3	486
Erdöl-Wärmeenergie (60\$/Barrel)	3	486
Wasserkraftstrom	3,5	567
Kohlekraftwerk	3,5	567
Atomstrom ohne Versicherung	3,5	567
Windkraftstrom	8	1.296
Kernfusionsstrom	10	1.620
Erdwärmestrom	12	1.943
Solarstrom (Photovoltaik)	50	8.098

## Windeinspeisung

### Istwert-Bestimmung und Prognose der Windenergieeinspeisung

- Online-Modell berechnet den Istwert aus repräsentativen Messungen
- Prognosemodell berechnet die zu erwartende Windenergieeinspeisung auf Basis von Leistungsmessungen und Wetterprognosen
- Genauigkeit:
  - 94% für die Folgetagsprognose
  - 96% für die 4-Stunde-Prognose
- Einsatz:
  - E.ON-Netz
  - Vattenfall Europe Transmission
  - RWE Transportnetz Strom
  - EnBW Transportnetze

## Berechnung der Windparkleistung mit KNN



### Eingangsdaten

$u, v$ : Wind 10, 100m

$p$ : Luftdruck

$T$ : Temperatur

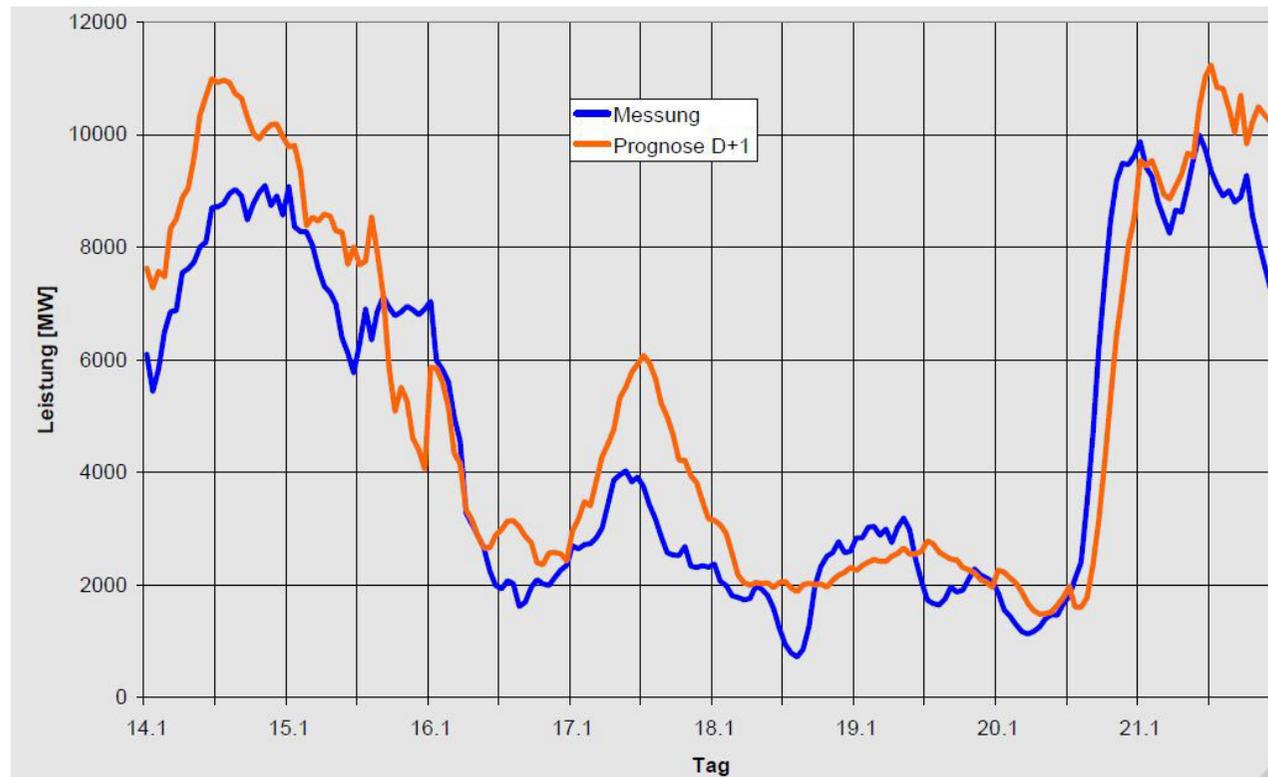
$H$ : Luftfeuchtigkeit

$C$ : Bedeckungsgrad

### Ausgangsdaten

normierte Leistung

## Windenergieeinspeisung Deutschland Istwert und Folgetagsprognose



## eENERGY (Zukunft?)

„electronic energy“, Forschungsprogramm des BMBF

(=Bundesministerium für Bildung und Forschung)

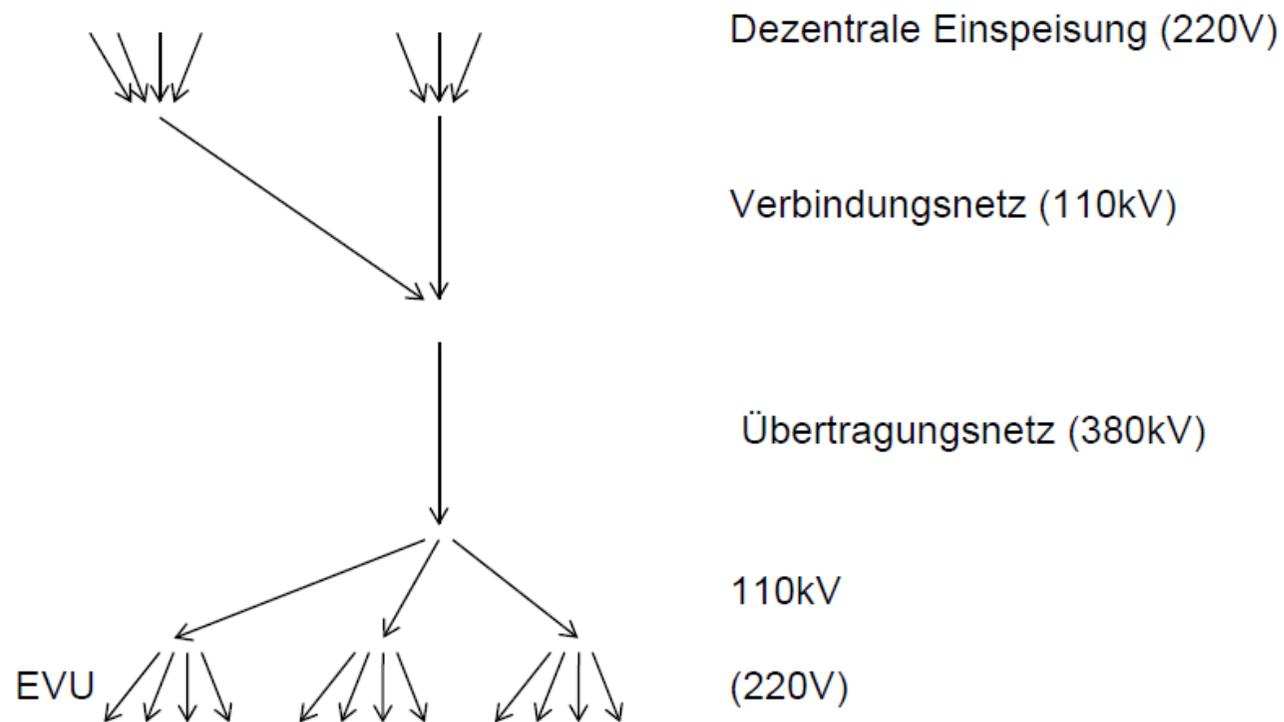
Ziel:

- Alle dezentralen Einspeisungen kommunizieren (über Stromnetz?)  
ihr derzeitige Leistung
- In Energiezentralen wird aktuelle Einspeisung berücksichtigt und  
Kraftwerke mit fossilen Energien werden gedrosselt !

## Weiterleitung in Deutschland

### Novelle des EEG 2010

- Einspeisevergütung bleibt
- Weiterleitung in Übertragungsnetz kann unterbleiben



## TREC (Trans-Mediterranean Renewable Energy Cooperation)

Ziel:

Europäische Energieversorgung (□ Stromversorgung) und Mittlerer Osten und Nordafrika („MENA“)

1. Wüstenstrom als Ergänzung in europäisches Stromnetz einspeisen!

2. Nutzen für MENA:

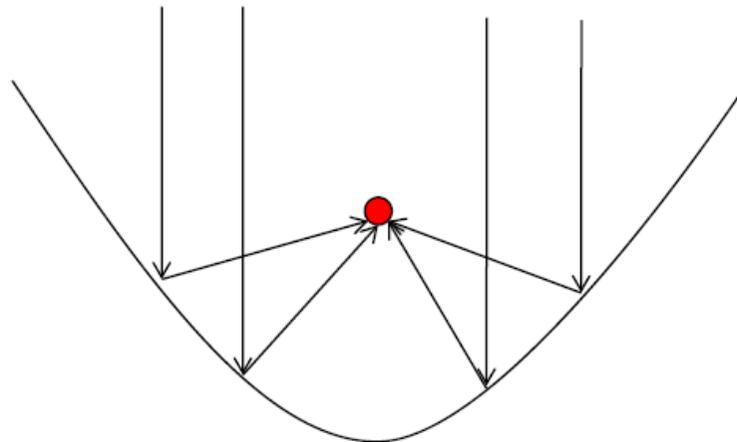
Einkommen/Arbeitsplätze  
CO<sub>2</sub>-freie Meerwasserentsalzung  
Infrastruktur

## TREC (Trans-Mediterranean Renewable Energy Cooperation)

Basistechnik „Parabolrinnenkraftwerk“

Erwärmung einer durch Rohre fließenden Speicherflüssigkeit

Warum Parabel?



Parallel einfallende Lichtstrahlen werden in dem Brennpunkt einer Parabel konzentriert

## Elektrizitätsnetzwerk

Bisher: „zentrale“ Einspeisung durch überschaubare Zahl von Kraftwerken

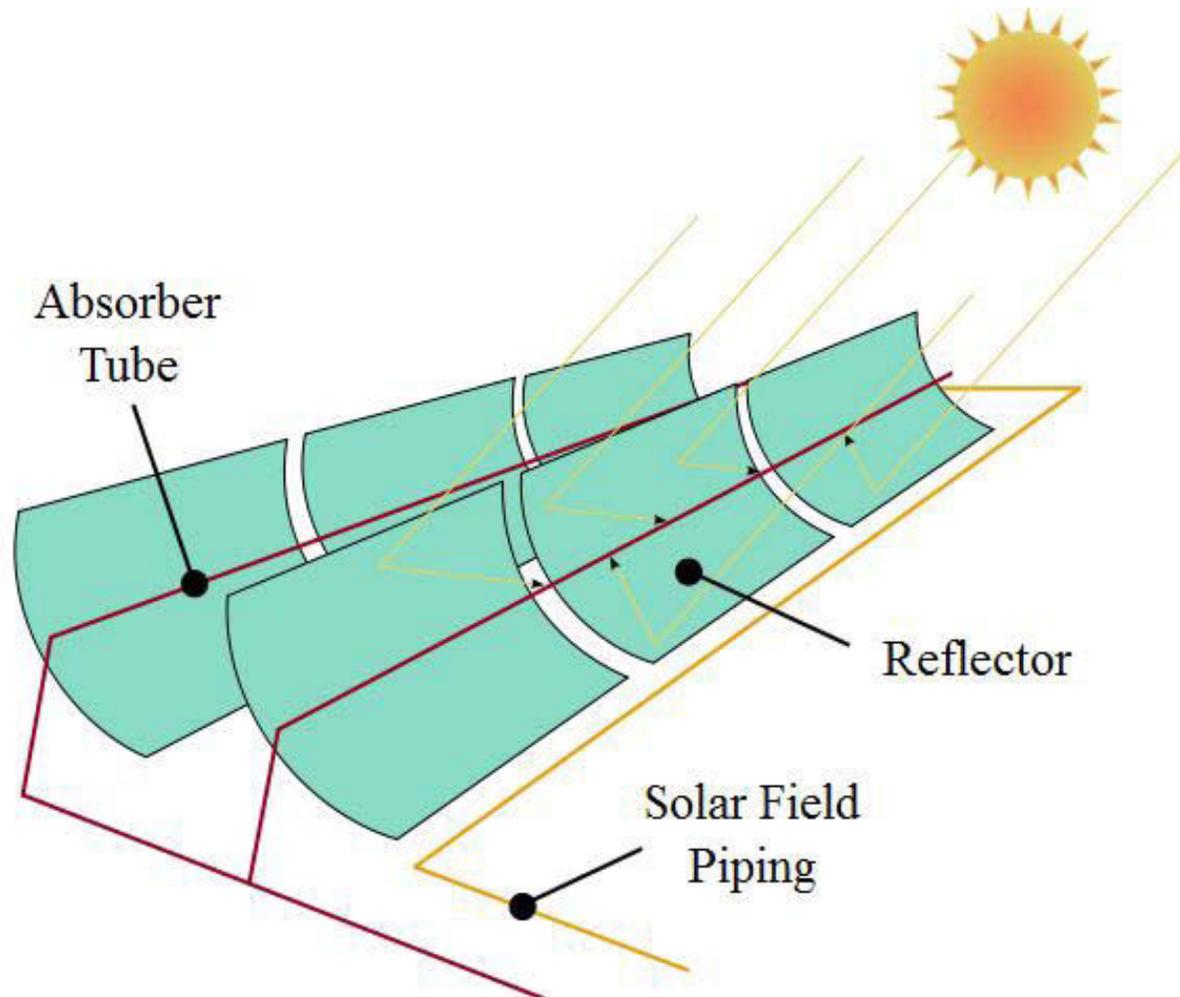
Trend: dezentrale Einspeisung wegen Erneuerbaren Energien Gesetz (EEG) (Windstrom, Solarstrom, Strom aus Kraft-Wärme Kopplung)

Situation: um Spitzenlasten abzufangen, wird dir sog. Regelenergie vorgehalten. Dadurch wird „wesentlich“ mehr Strom erzeugt als abgenommen (mehr als durch viele Kleinerzeuger eingespeist)

Problem: Dezentral eingespeister Strom wird **systemisch** nicht/kaum genutzt, d.h. konv. Kraftwerke werden nicht/kaum heruntergefahren. (Ausnahme: Windenergie)

## Skizze eines Parabolrinnenkollektors

(Eine technisch weniger aufwendige Alternative zu Parabolrinnen bieten sog. Fresnelspiegel)



## Parabolrinnenkollektorfeld

für Solarthermische Kraftwerke in Kramer Junction, Kalifornien

- 6m breite und bis zu 180m lange Parabolrinnen mit Temperaturen von bis zu 400°C, 354 MW Leistung, Wirkungsgrad: 14%
- 200.000 Haushalte werden mit Strom versorgt





## Engl.: CSP-plant (concentrating solar thermalpower)

- Stromerzeugung mittels Dampfturbinen, auch nachts und bei Spitzennachfrage  
(keine direkte Umwandlung von Strahlung in elektr. Strom)
- Nebeneffekt: Kraft-Wärme-Kopplung bzw. Kraft-Kälte-Kopplung
- Zusätzlich Windkraft (Marokko)
- Realisierung bis 2020 wird als möglich angesehen
- Stromtransport mittels Hochspannungsgleichstromleitung
- Vorschlag EU finanziert ein Einspeiseprogramm für Nordafrika

- Derzeit weltweiter Stromverbrauch 17.000 TWh/a
  - Deutschland: 500 TWh/a (2,94%)

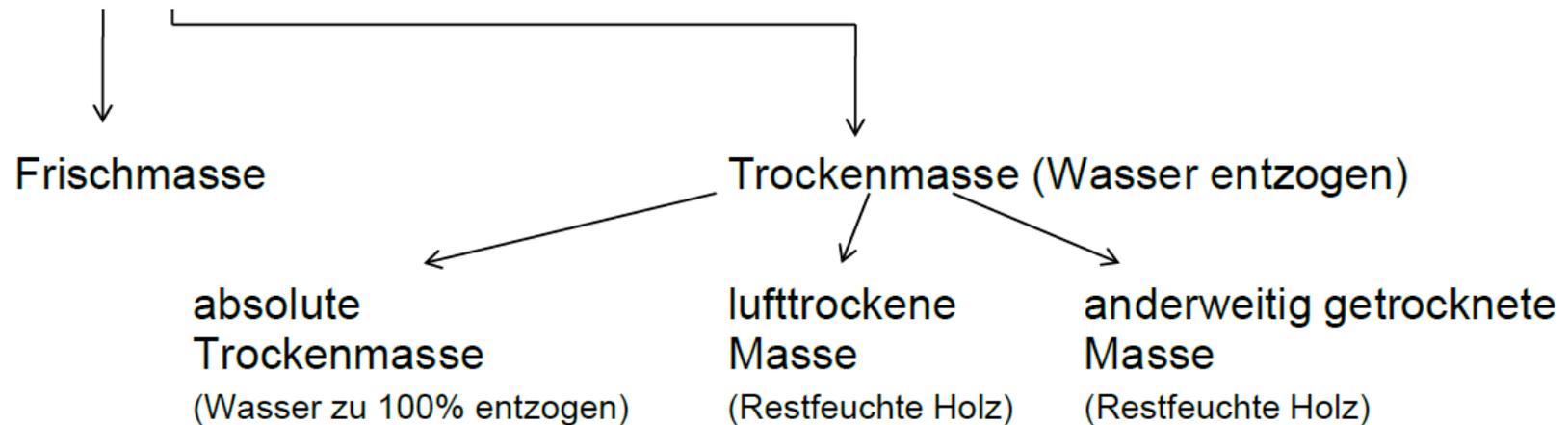
$$1TWh = 10^{12} Wh = 10^9 kWh$$

- Überschlagsprognose:
  - Alle Wüsten der Erde zusammen bieten das 700fache des Weltverbrauchs
  - Naher Osten und Nordafrika bieten das 37fache des Weltverbrauchs
  - Übertragungsverlust: ca. 3% je 1.000km.
    - zu  $\geq 90\%$  Weltbevölkerung kann Wüstenstrom ökonomisch sinnvoll geliefert werden

## Biomassenutzung für Treibstoffe

- Bio Ethanol (Benzin bzw. Benzinersatz bzw. Benzinzusatz):  
aus Biomasse mittels Gärung
- Bio Diesel:  
aus Rapskernen oder Sonnenblumenkernen gepresst  
Nachteil: hoher Anteil an ungenutzter Biomasse
- Btl („biomass to liquid“, Diesel oder Dieseleratz):  
aus getrockneter Biomasse

## Biomasse (Masse an organischem Material)



Fossile Energieträger (Kohle, Erdöl, Erdgas) werden ausgenommen

Einsatz von Biomasse zur Energiegewinnung über

- Biogas (Faulung in Kläranlagen)
- Treibstoffe (aktuell)

## Chorenverfahren (1. Stufe)

- Erzeugung von Synthesegas in 3 Schritten („Biomassevergasung“) aus Biomasse mit 15-20% Feuchtigkeitsanteil
- Jede Art Biomasse verwendbar
  - Energiepflanzen statt Nutzpflanzen, wie z.B. Chinaschilf (= Elefantengras)
  - Energiepflanzen benötigen weniger Dünger und Pflanzenschutzmittel als Nutzpflanzen, da sie nach dem größten Wachstumsschub von der Blüte „geerntet“ werden
  - (fast) CO<sub>2</sub>neutral?

## Fischer Tropsch Verfahren (2. Stufe)

- Umwandlung von Synthesegas (Gemenge aus CO und H<sub>2</sub>) in flüssige Kohlenwasserstoffe (Alkane, Alkene, Alkohole,...), als Treibstoff
- In Deutschland während dem 2. Weltkrieg
- In Südafrika z.Zt. des Embargos während Apartheid  
→ Verfahren in großem Stil funktionsfähig
- Synthesegas entsteht aus Kohleverbrennung (bisher) und aus „Chorenverfahren“

## Generelles ethisches Problem

Energiepflanzen verdrängen Nahrungspflanzen über Preis

- Getreide in Deutschland nur 1/3 des Erzeugerpreises seiner Energie als Heizöl (seit 2006)  
(Vergleich hinkt, da Erzeugerpreis mit Endpreis vergleichbar)
- Mischkulturen von Energiepflanzen (trotz Fruchtfolgen)

## Geothermie

### Ursachen:

- Bewegungsenergie während Erdentstehung in Wärme umgewandelt und bis heute vorhanden und
- Folge natürlicher, radioaktiver Zerfälle

### Unterscheidung:

- Oberflächengeothermie: Warmwassergewinnung durch Wärmepumpen
- Tiefengeothermie: Strom-und Warmwassergewinnung

## Geothermie

Durchschnittlicher Temperaturzuwachs  $\geq 35^{\circ}\text{C}$  pro 1.000m Tiefe, aber starke Abweichungen vom Durchschnitt (analog hydraulische Leitfähigkeit: fast 10 Zehnerpotenzen)

Wasser bzw. Wasserdampf in Lockergestein (wegen Hohen Drucks Wasser bei  $\geq 100^{\circ}\text{C}$  flüssig) oder Gestein warm und trocken!

## Geothermie

Hydrothermale Geothermie: unterirdische Warmwasserspeicher

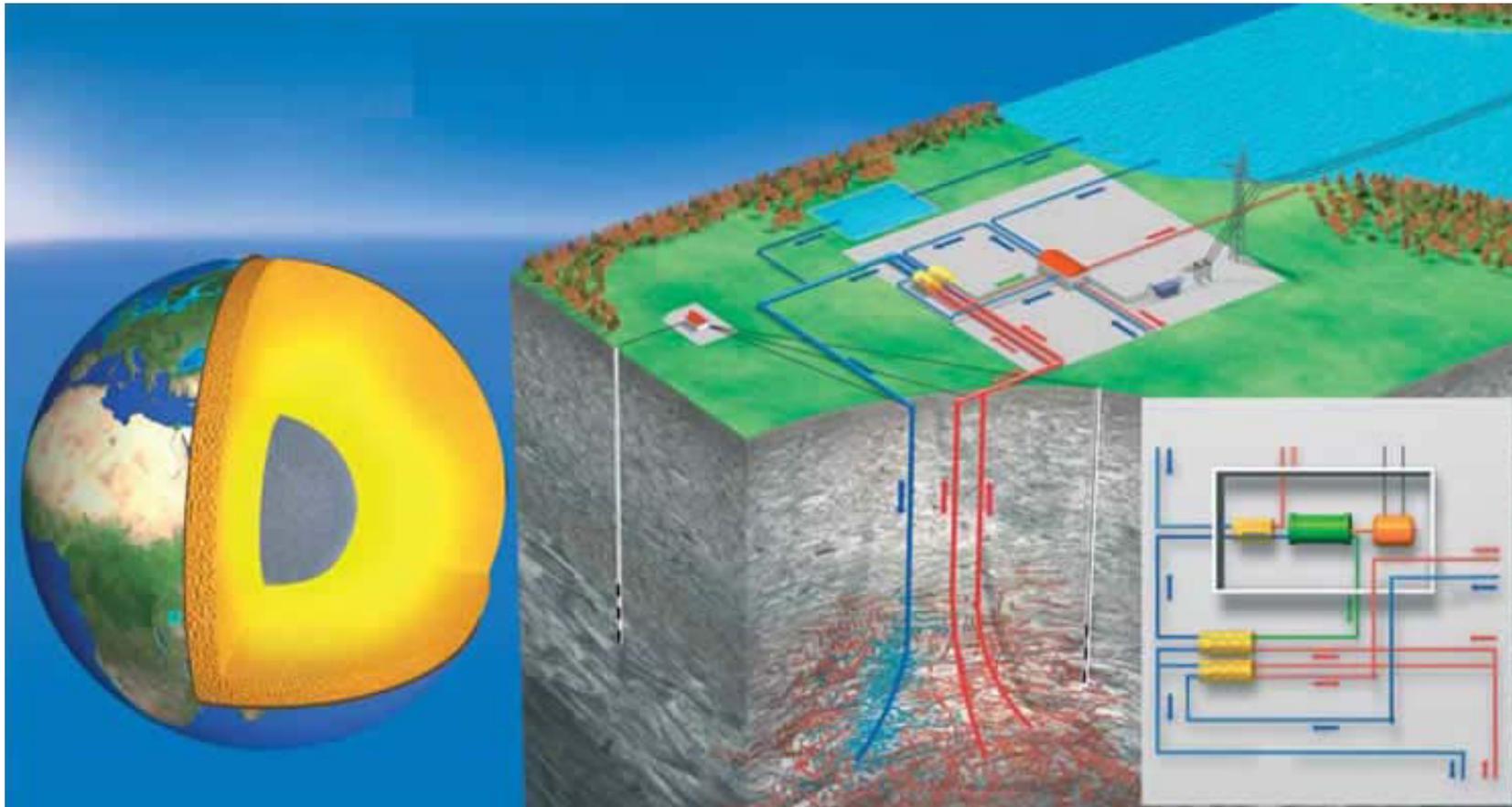
Geothermiestrom genommen nicht regenerativ, aber Schätzung Weltenergiebedarf dank Erdwärme in obersten 3km für 100.000 Jahre abzudecken!

Prinzip: zwei getrennte Bohrungen je für Entnahme und Verpressung bis in 3.500m Tiefe

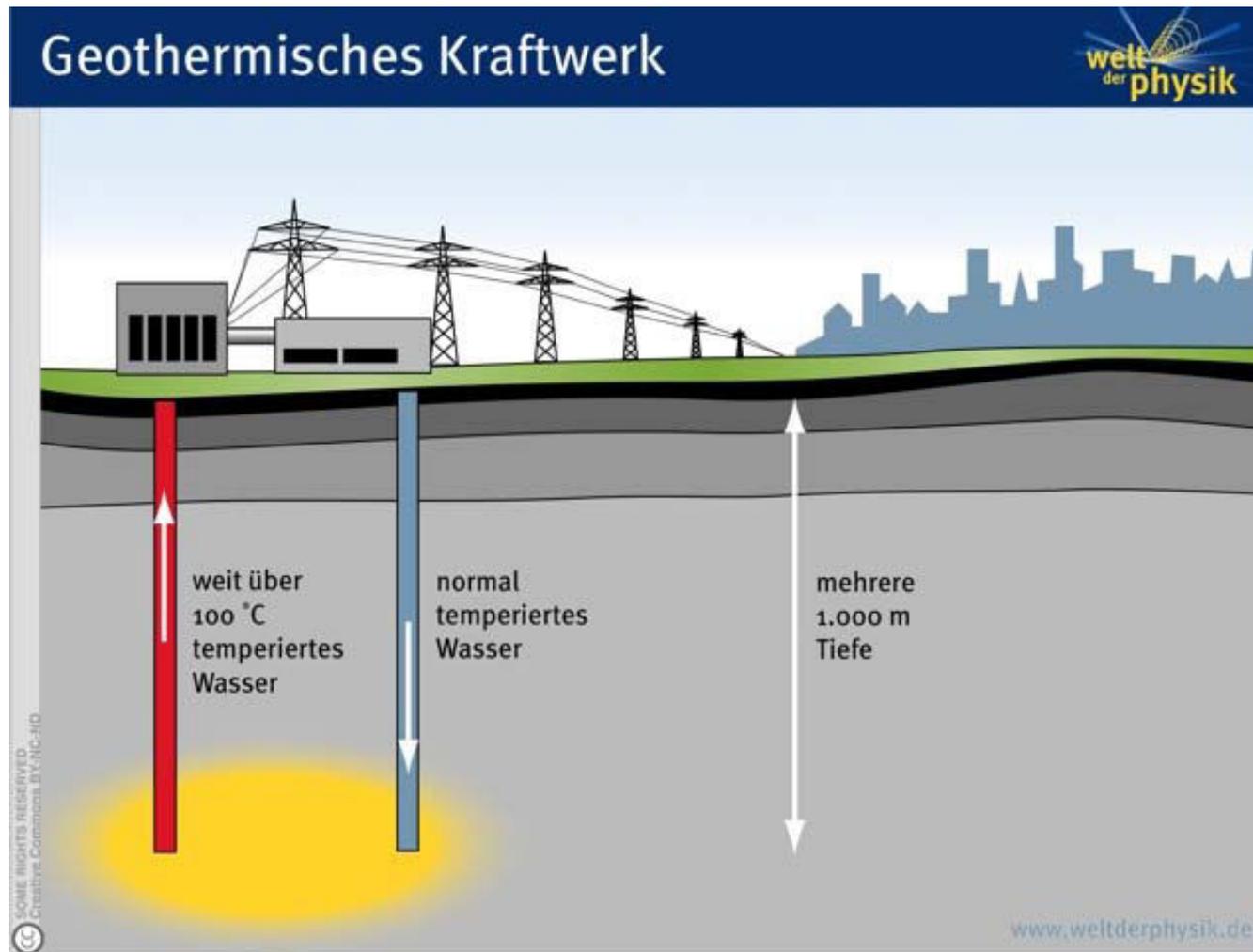
Normalverfahren: Warmwasserentnahme, dann „unterstromig“ Verpressung

HDR Verfahren (hotdry rock Verfahren):  
Kaltes Wasser verpresst, „unterströmig“ Entnahme als angewärmtes Wasser

# Geothermie



## Geothermie



## Geothermie

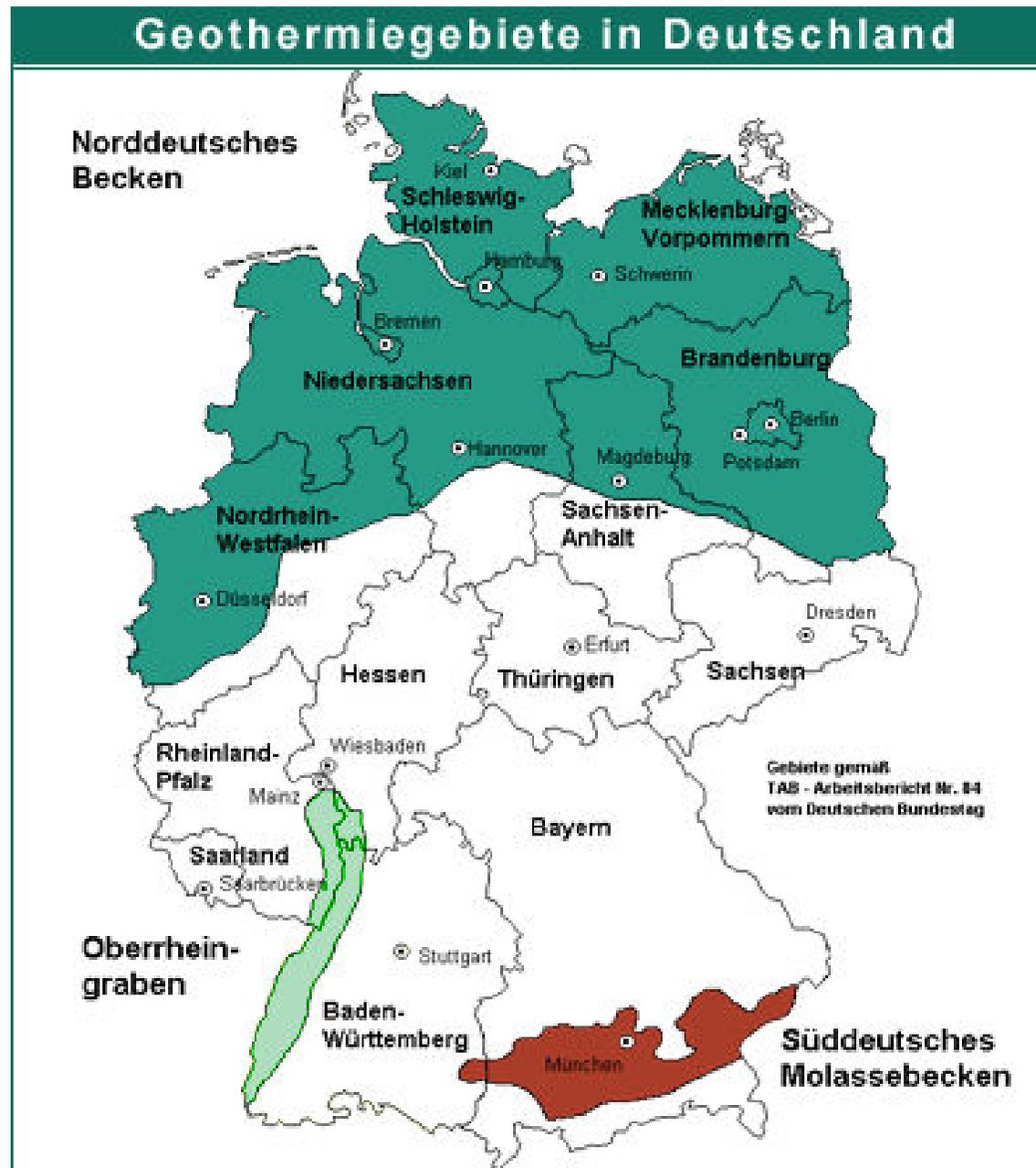
Problem beim HDR: Zusätzliches Wasser schmiert, so dass sich Gesteinsspannungen entladen können

→ Erdbeben (Basel, Kalifornien „bigone“)

Energiegewinnung durch Geothermie  
≤ 5% aller alternativ gewonnenen Energie („Liebhaberei“)

In Deutschland:

- Oberrhein
- Norddeutschland □ Mecklenburg-Vorpommern
- Bayern



## Silanwirtschaft

„Treibstoff“, der ca. 80% der Energiedichte von Benzin besitzt