

Weltweite Geothermie-Wachstumsraten im Vergleich zu anderen erneuerbaren Energien

Ladislaus Rybach

Prof. Dr. Dr.h.c.

Institut für Geophysik ETH Zürich, Schweiz

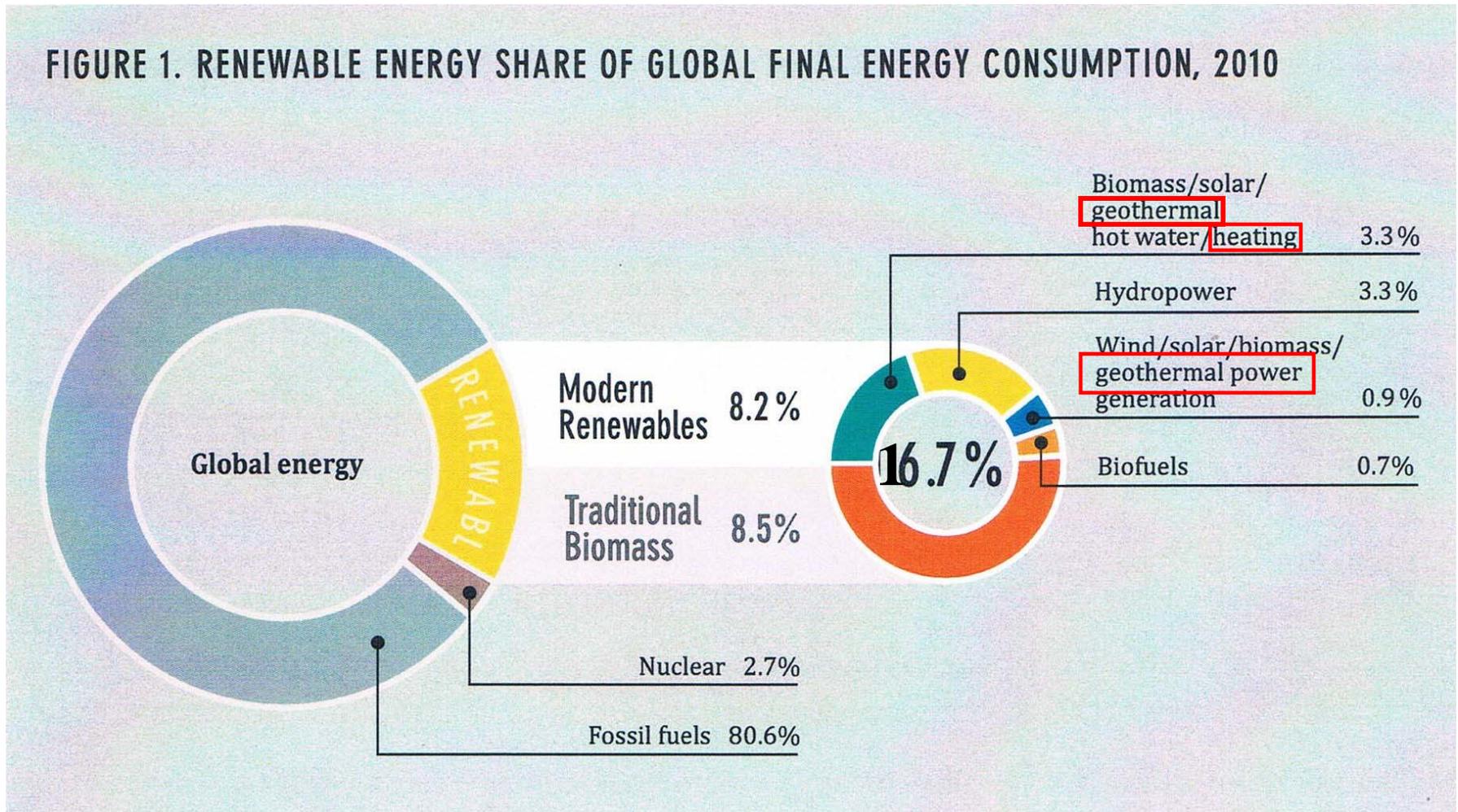
rybach@ig.erdw.ethz.ch

7. Master Class Course Conference "Renewable Energies"

Berlin, 3. - 7. Dezember 2012

Globale Anteile erneuerbarer Energien (Endenergie)

FIGURE 1. RENEWABLE ENERGY SHARE OF GLOBAL FINAL ENERGY CONSUMPTION, 2010



Quelle: REN 21 Global Status Report 2012

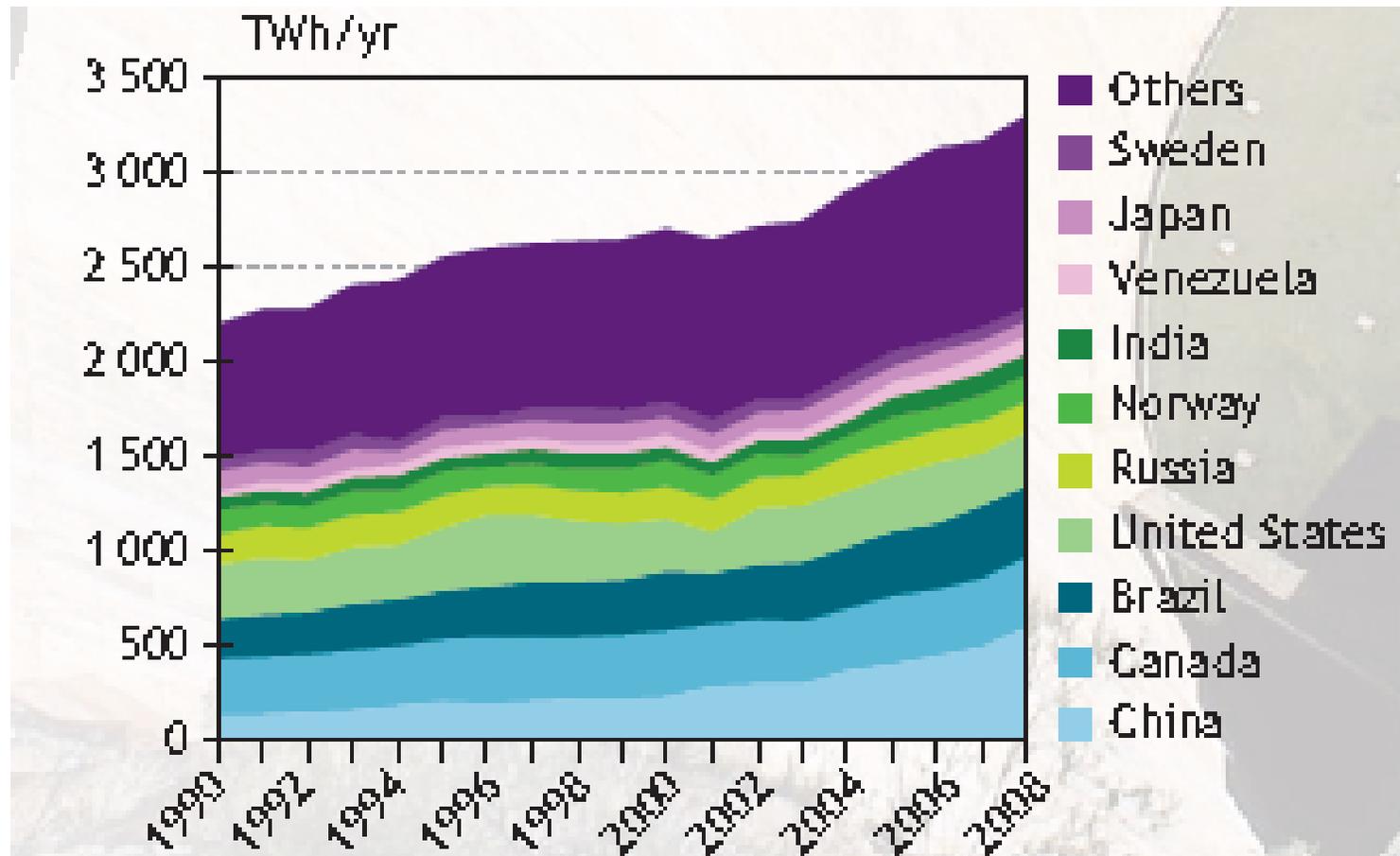
Potenzial erneuerbarer Energie-Ressourcen

Energiequelle	Leistung (EJ/yr)*
Geothermie	5000
Sonnenenergie	1575
Windenergie	640
Biomasse	276
Hydro	50
Total	7541

*) 1 EJ = 10^{18} J

Quelle: WEA – World Energy Assessment: Energy and the Challenge of Sustainability (2000)

Globales Wachstum Wasserkraft 1990 - 2008



Globales Wachstum in Biomasse

FIGURE 7. ETHANOL AND BIODIESEL PRODUCTION, 2000–2011

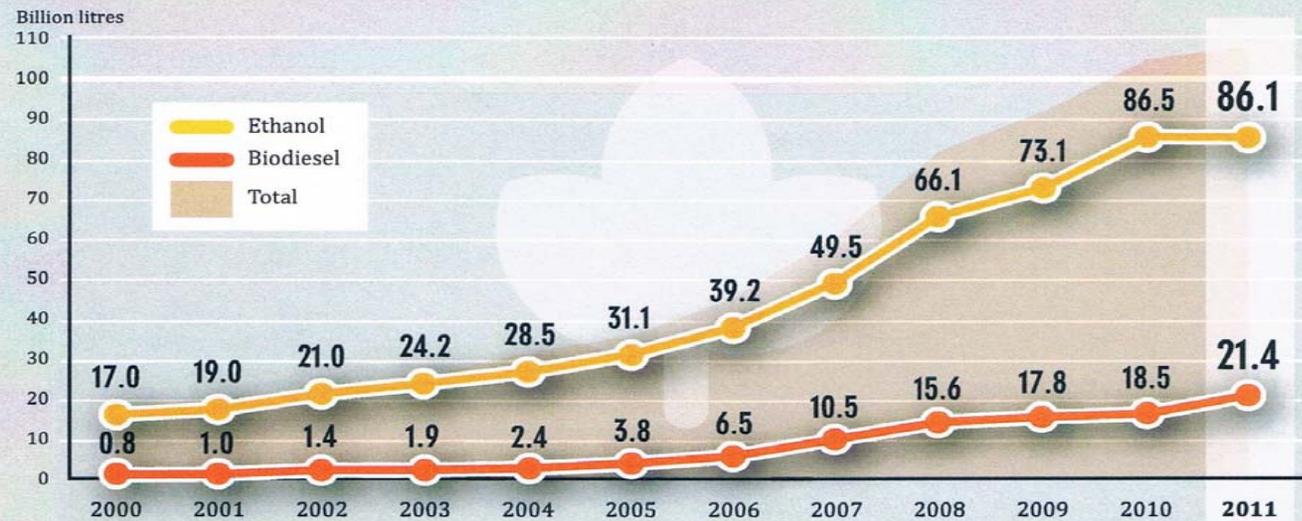
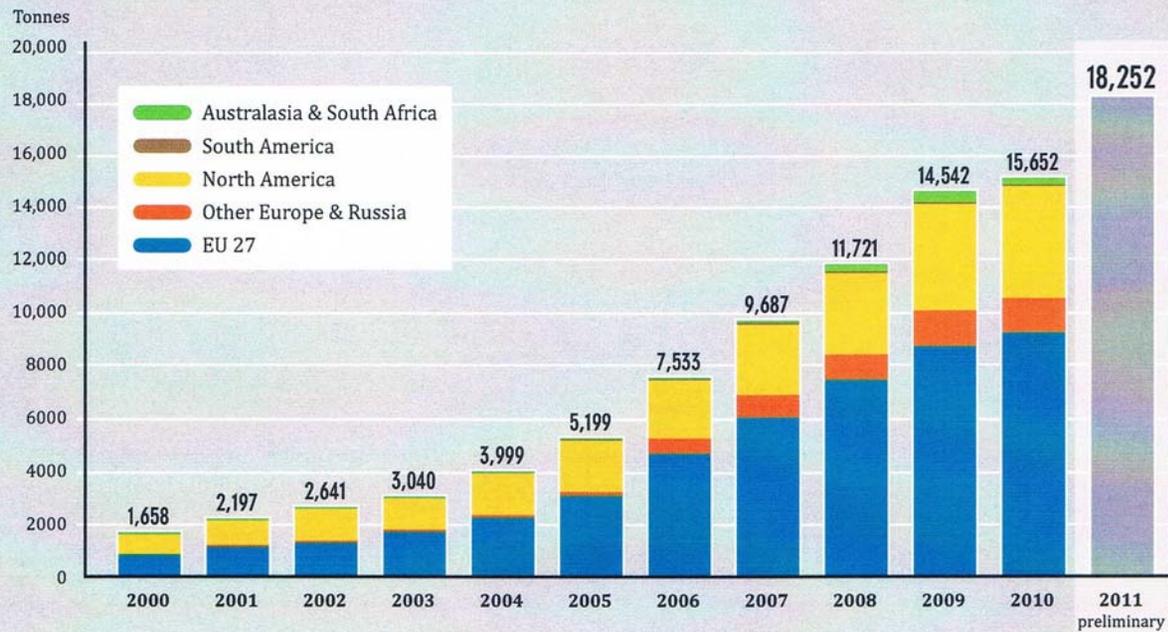
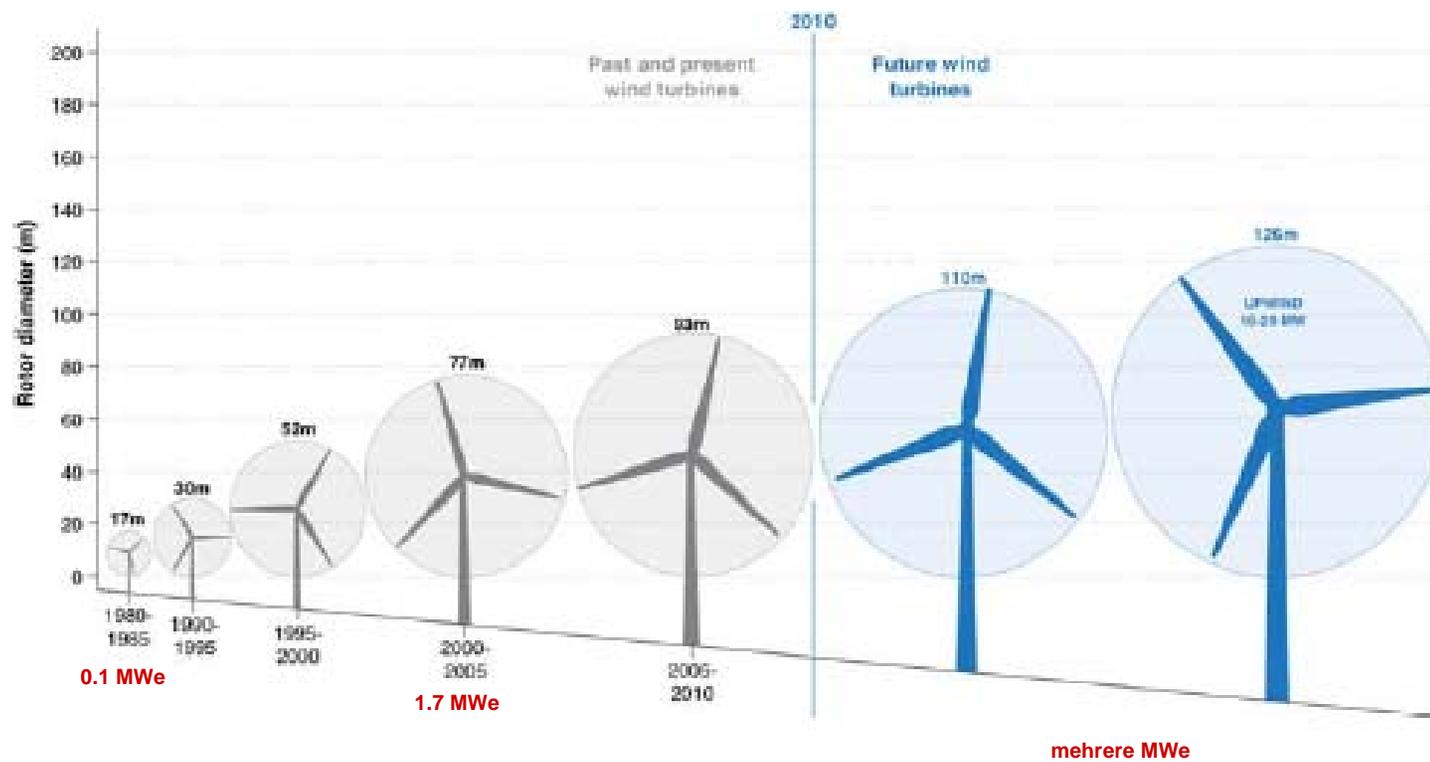


FIGURE 8. GLOBAL WOOD PELLET PRODUCTION, 2000–2011

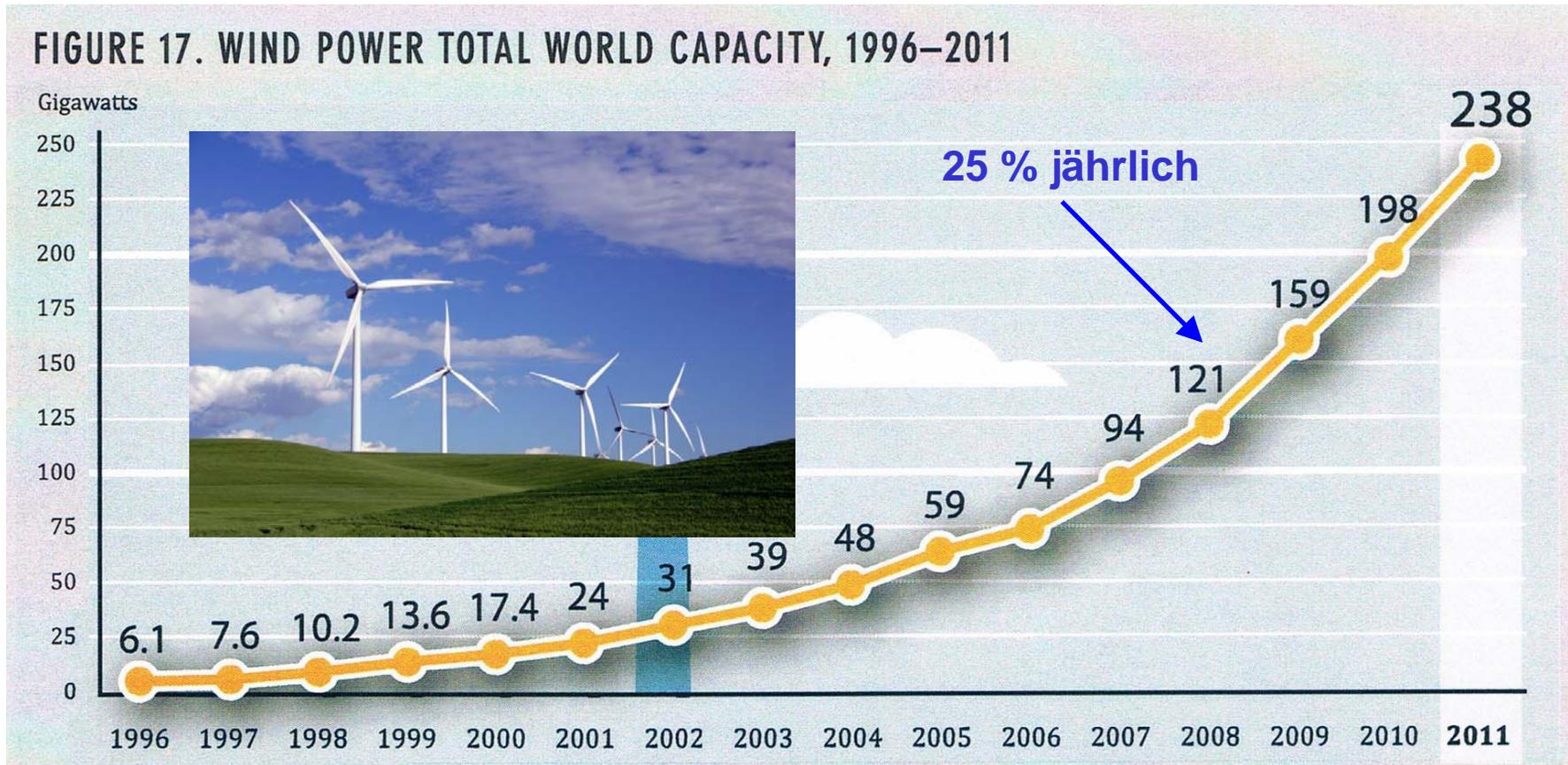


Quelle: REN21 (2012)

Windgeneratoren werden immer grösser.....

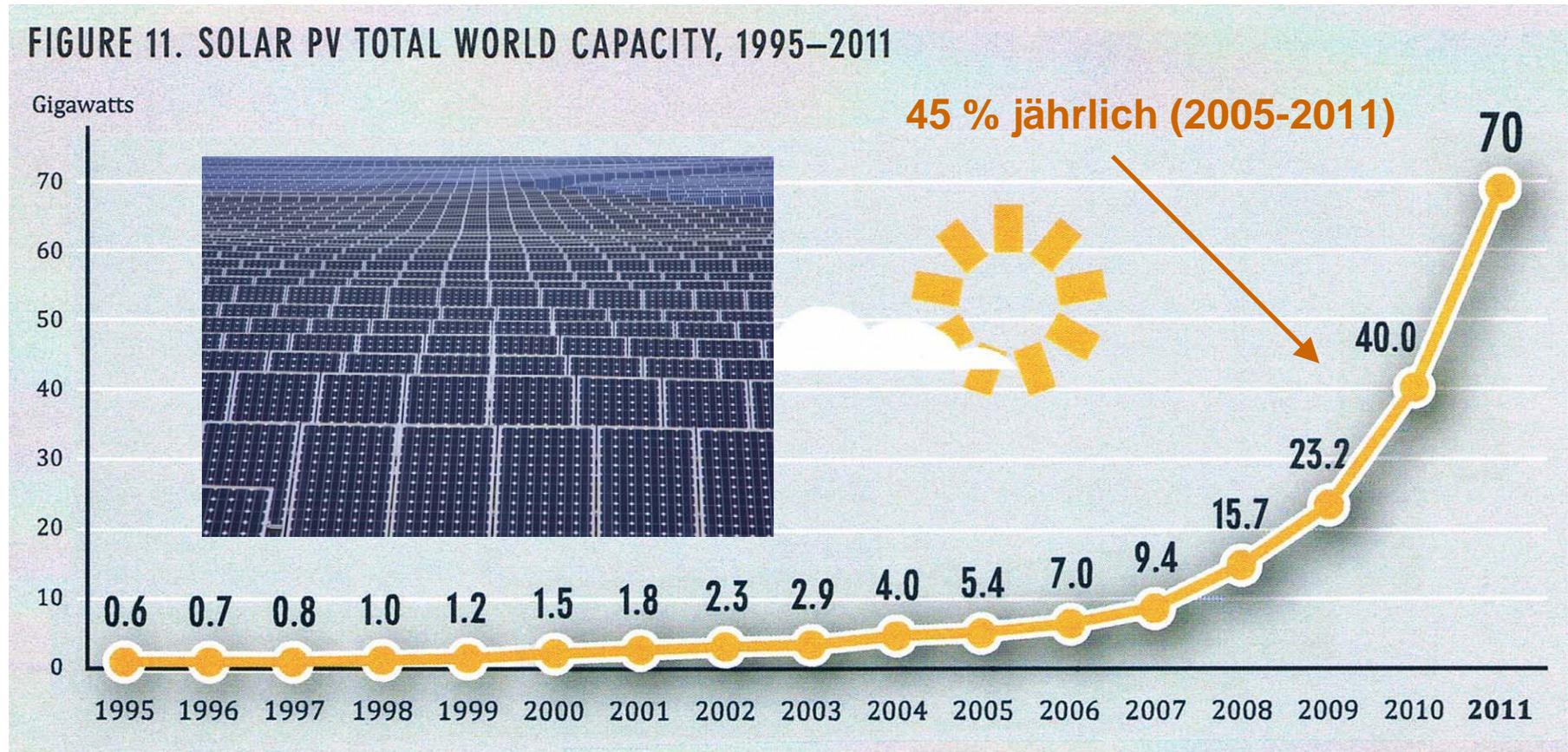


Globale Entwicklung Windenergie (Kraftwerksleistung in GWe)



Quelle: REN 21 Global Status Report 2012

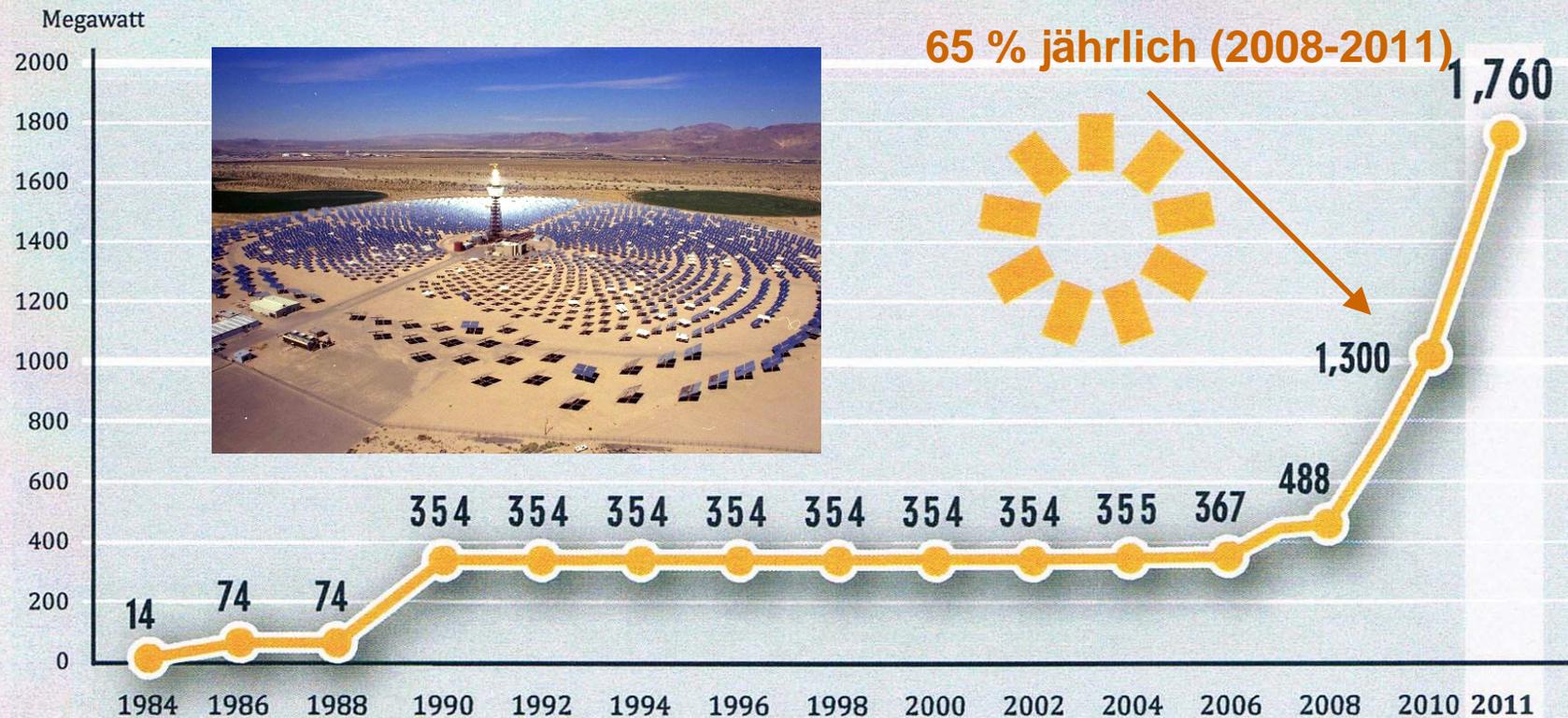
Globale Entwicklung Photovoltaik (Kraftwerksleistung in GWe)



Quelle: REN 21 Global Status Report 2012

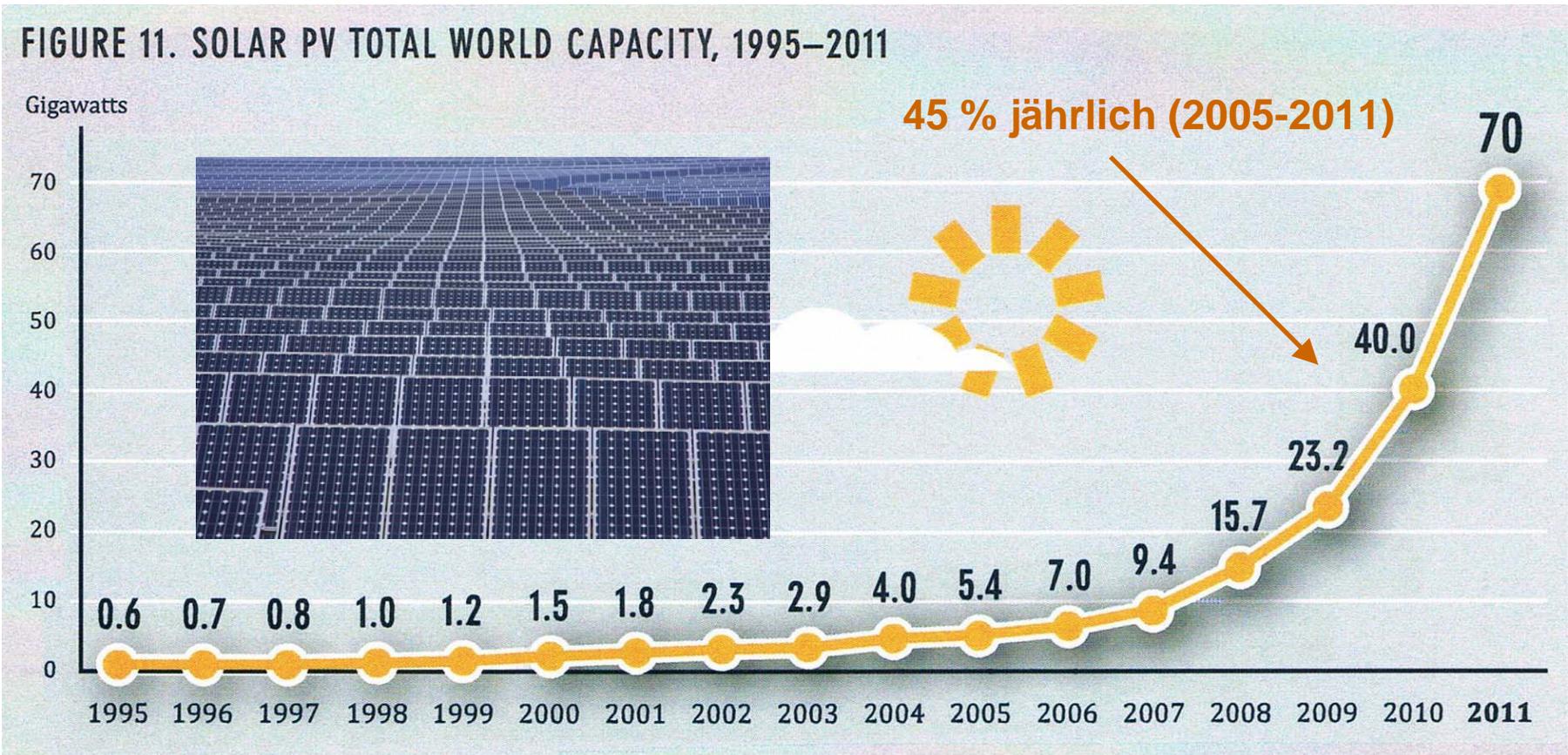
Globale Entwicklung Solarkraftwerke (Kraftwerksleistung in MWe)

FIGURE 14. CONCENTRATING SOLAR THERMAL POWER, TOTAL WORLD CAPACITY, 1984–2011



Quelle: REN 21 Global Status Report 2012

Globale Entwicklung Photovoltaik (Kraftwerksleistung in GWe)



Quelle: REN 21 Global Status Report 2012

Geothermie-Strom weltweit

Table 1. Top ten countries using geothermal energy. Data source: Bertani (2010)

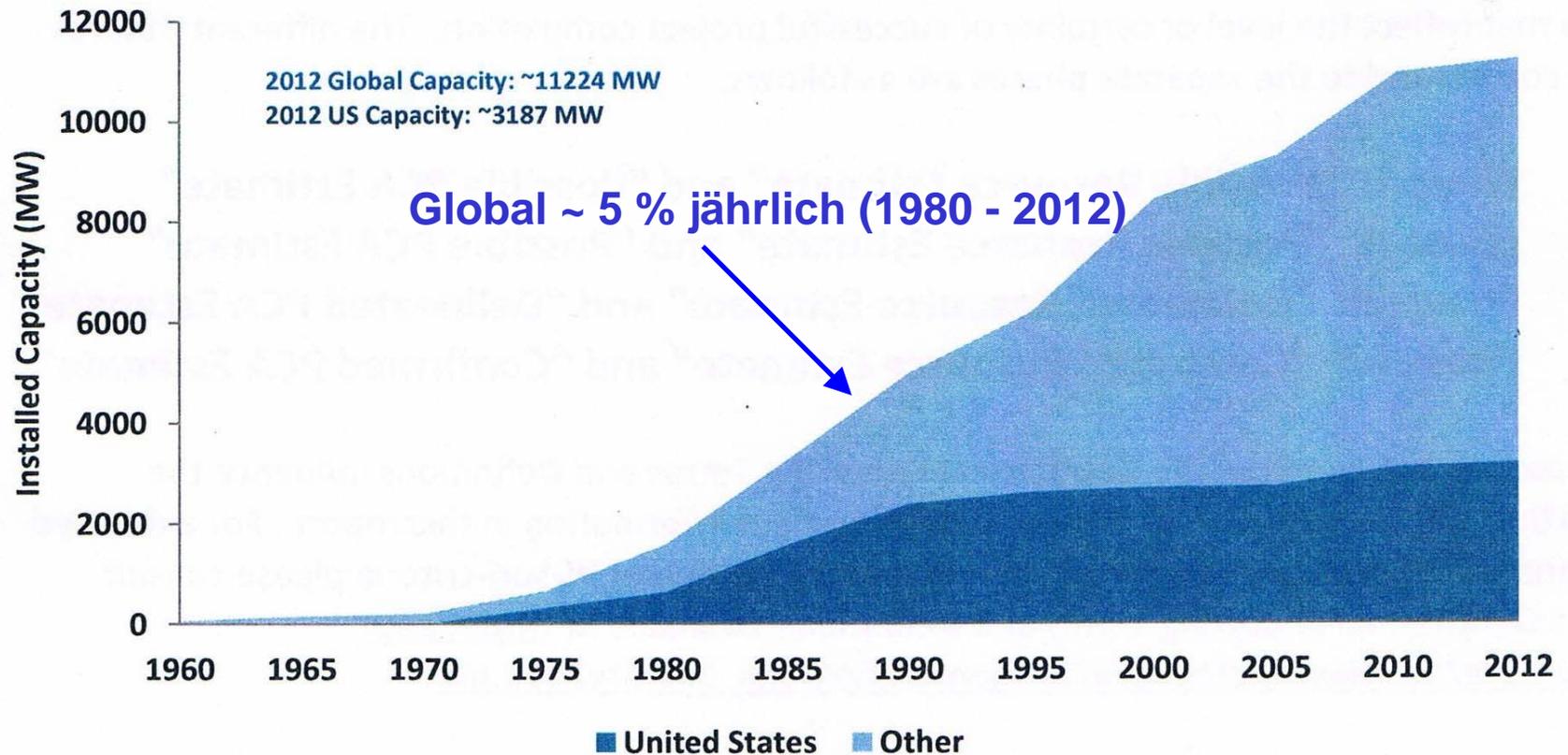
Geothermie-Stromproduktion	
Land	TWh/yr
USA	16.6
Philippines	10.3
Indonesia	9.6
Mexico	7.0
Italy	5.5
Iceland	4.6
New Zealand	4.1
Japan	3.1
Kenya	1.4
El Salvador	1.4
Total in 24 Ländern	67.2
Total installierte Leistung	10.7 GWe

Globaler Anteil:

~ 0.3 %

Weltweite Entwicklung Geothermiestrom (obere Kurve)

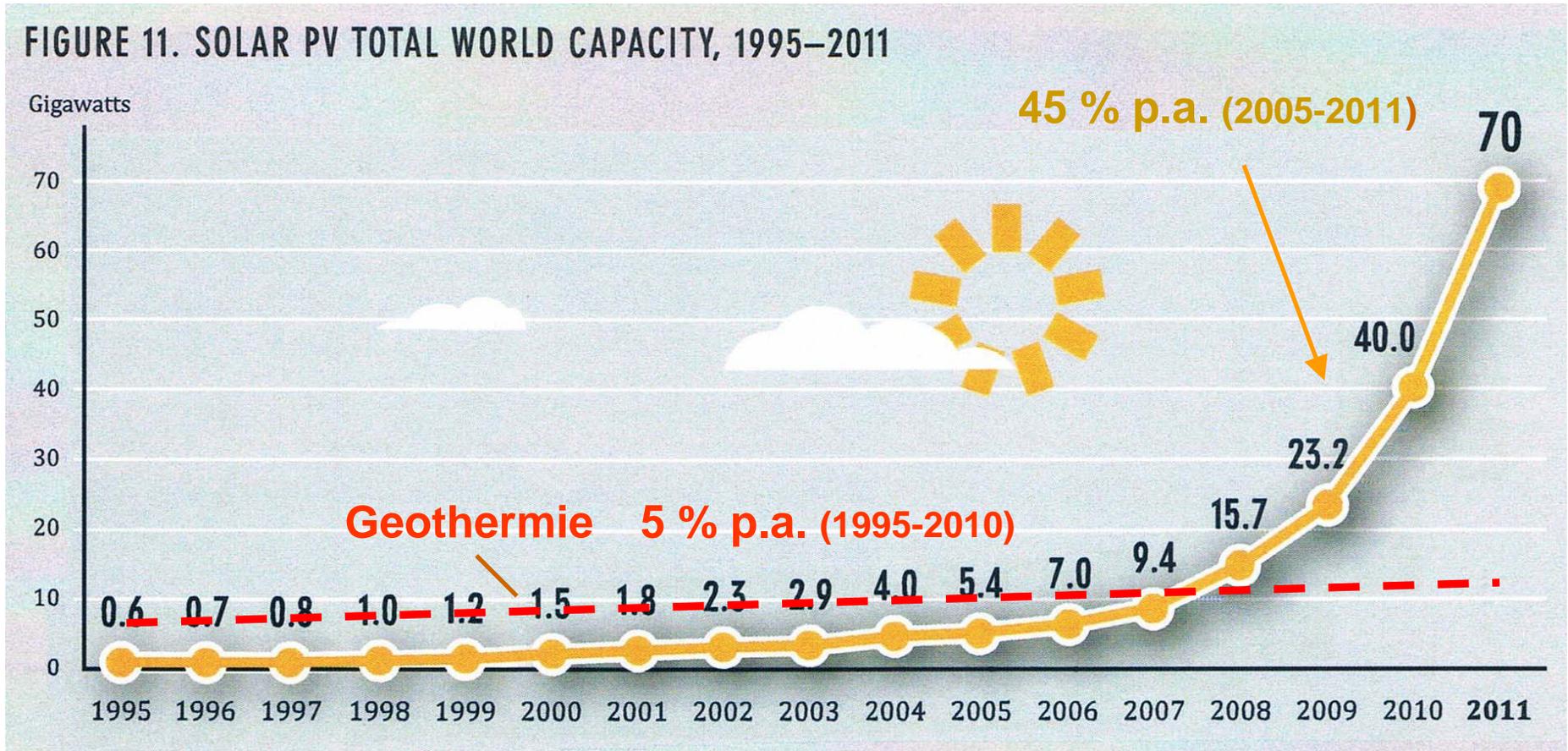
Figure 1: Global Context of US Geothermal Installed Capacity 1960 – 2012



Quelle: GEA 2012

Globale PV-Entwicklung vs. Geothermie-Strom

Quelle: REN21 (2011)



Geothermie ausschliesslich aus hydrothermalen Ressourcen

Vergleich globaler Stromproduktion aus erneuerbaren Quellen in 2011

Technologie	Installierte Leistung		Jahres- produktion		Verfügbarkeit
	GWe	%	TWh/yr	%	%
Wasserkraft	970	71.3	3'400	78.7	40
Biomasse	72	5.3	328	7.6	52
Wind	238	17.5	438	10.1	21
Geothermie	11	0.8	69	1.6	72
Solar PV	70	5.1	86	2.0	14
Total	1'361	100	4'321	100	

Quelle: REN21 (2012)

Photovoltaik überholt in 2011 die Geothermie !

Es ist klar: es besteht wirklich Handlungsbedarf !

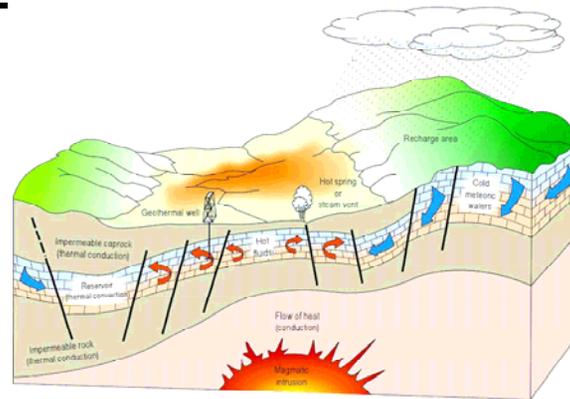
- **Geothermie-Stromerzeugung muss rapid und vielerorts vorangetrieben werden (mittels EGS ?)**
- **Geothermie-Kraftwerke müssen grösser werden**

2 Quellen der geothermischen Stromproduktion

- **Hydrothermal**

Wärmeträger (Dampf/Heisswasser) in der Tiefe lokal vorhanden

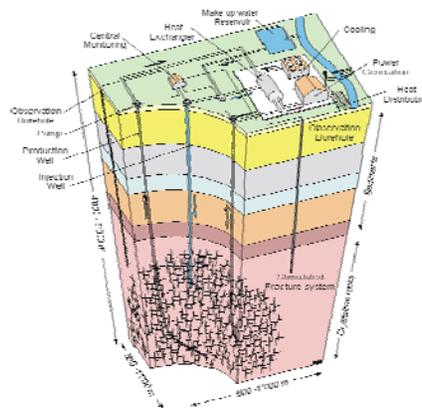
→ gibt es nicht überall



- **Petrothermal**

Wärmeträger muss künstlich zirkuliert werden à la „EGS“,

→ theoretisch überall möglich



Concept of the Deep Heat Mining System

Momentan grösstes Geothermie-Kraftwerk
(1 Turbine, 6 Bohrungen)
Nga Awa Purua, Neuseeland (2010)



140 MWe Geothermie-Kraftwerk (Fuji Electric Co.)

Hydrothermal !

Geothermie-Direktnutzung weltweit

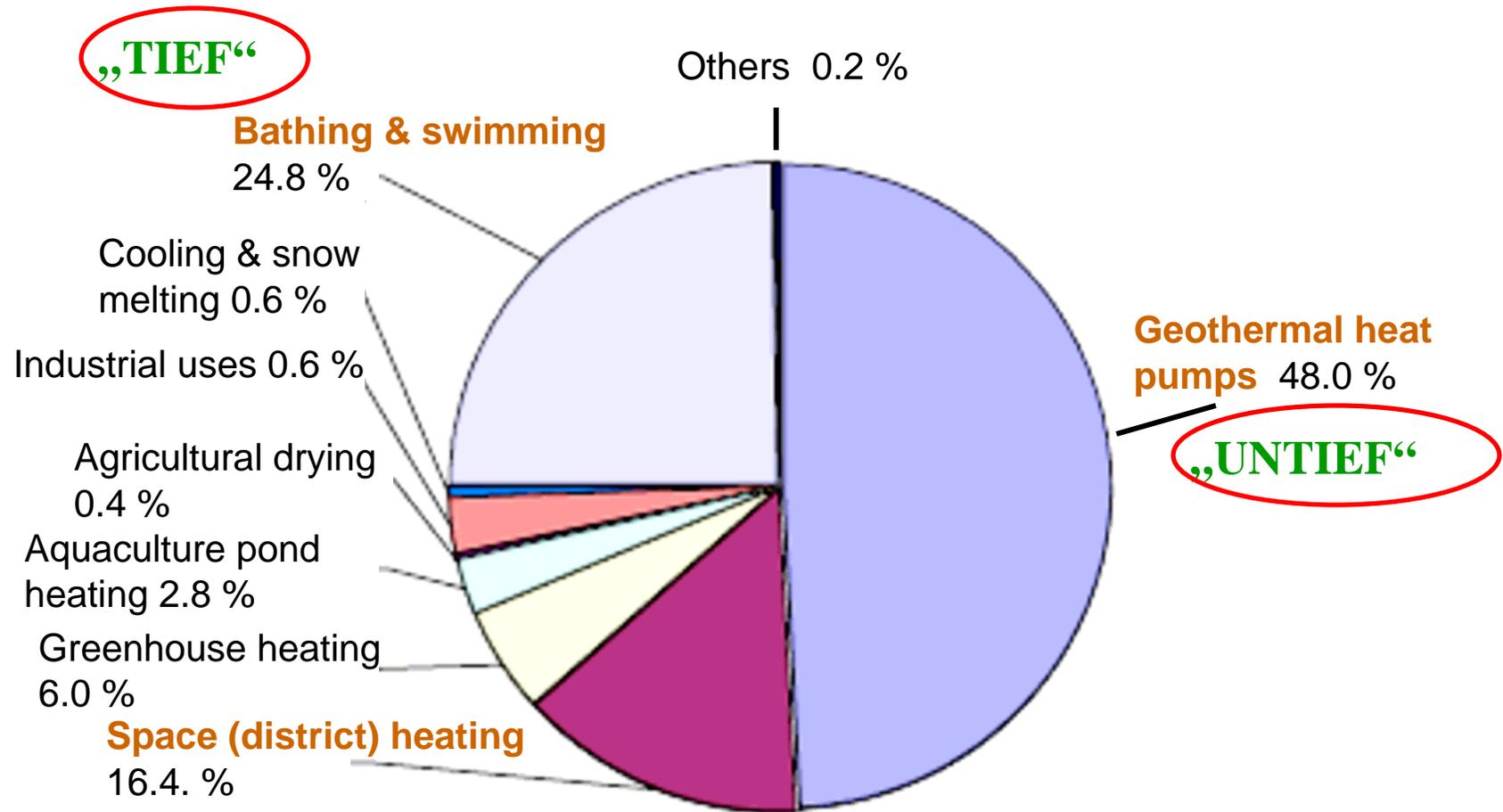
Table 2. Top ten countries using geothermal energy.

Data source: **Lund et al. (2010)**, **WGC2010**

Geothermie-Direktnutzung	
Land	PJ/yr
China	74.2
USA	56.5
Sweden	45.4
Turkey	36.7
Japan	25.6
Norway	25.2
Iceland	24.4
France	13.0
Germany	12.8
Netherlands	10.7
In 78 Ländern	438
Total-Leistung	50.6 GW _{th}

Geothermie Direktnutzung weltweit in 2010

438 PJ/yr, in 78 Ländern; Anteile



Quelle: Lund et al., WGC2010

Geothermie seit Urzeiten: Thermalwasserbaden

GÉOTHERMIE.CH



Thermalbad
Lavey-Les-Bains



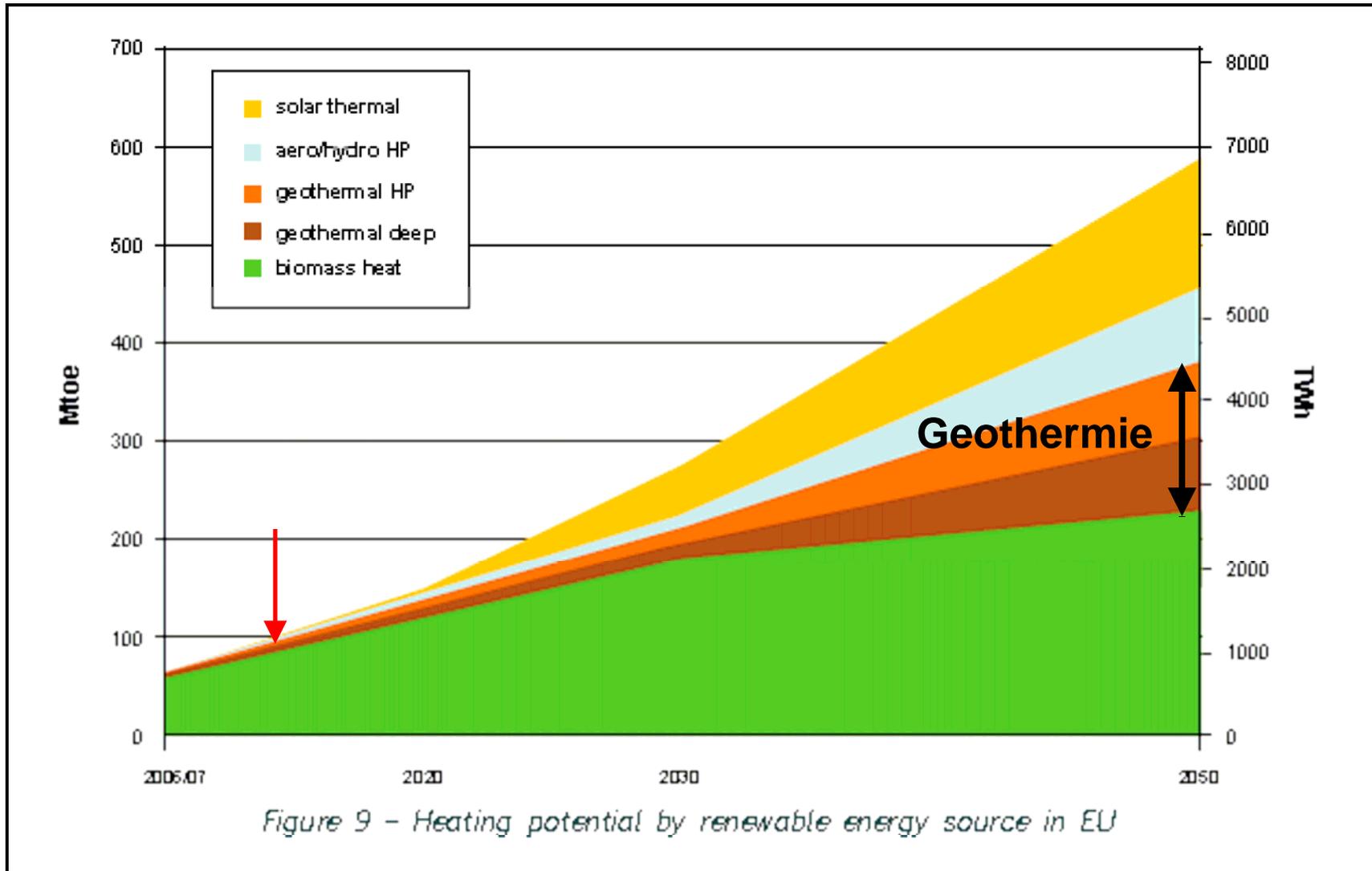
Beliefert durch Geothermie-Fernheizung:



In Island:
90 % aller Gebäude
(oben: Reykjavik)

In und um Paris:
über 200'000 Wohneinheiten

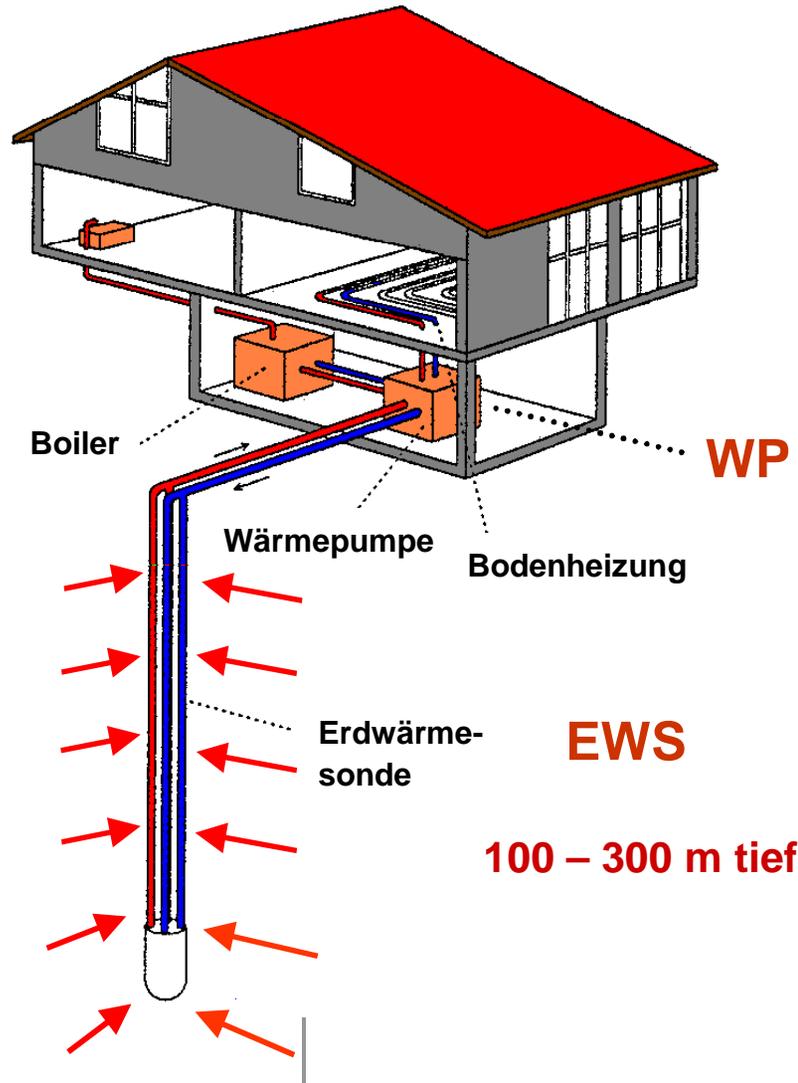
Entwicklungsvergleich Wärme – aus erneuerbaren Energien in der EU



Quelle: Publications Office of the European Union (2011)

System Erdwärmesonde/ Wärmepumpe → „Erdwärmepumpe“

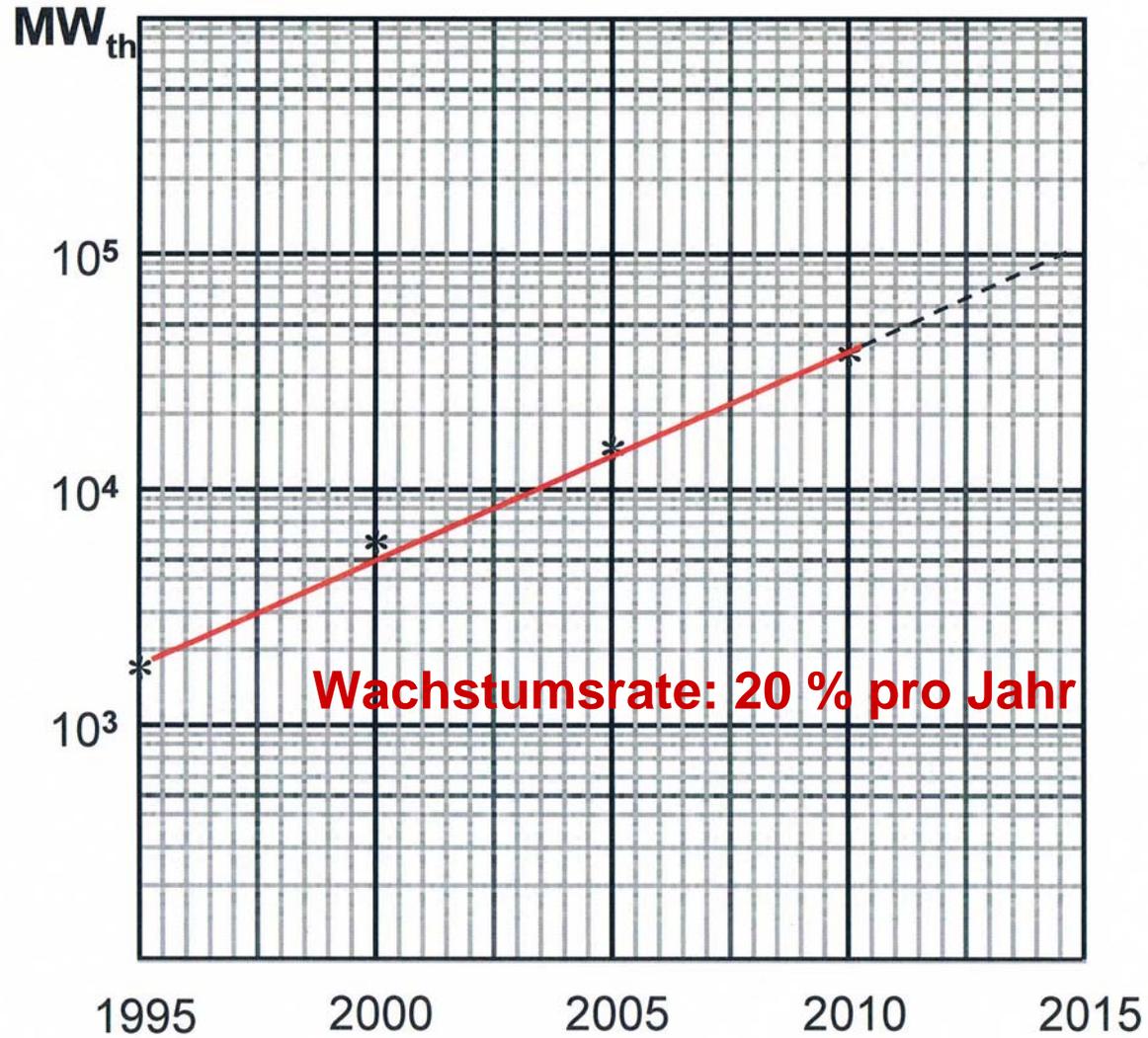
GÉOTHERMIE.CH



EWS-Bohrung und -Installation

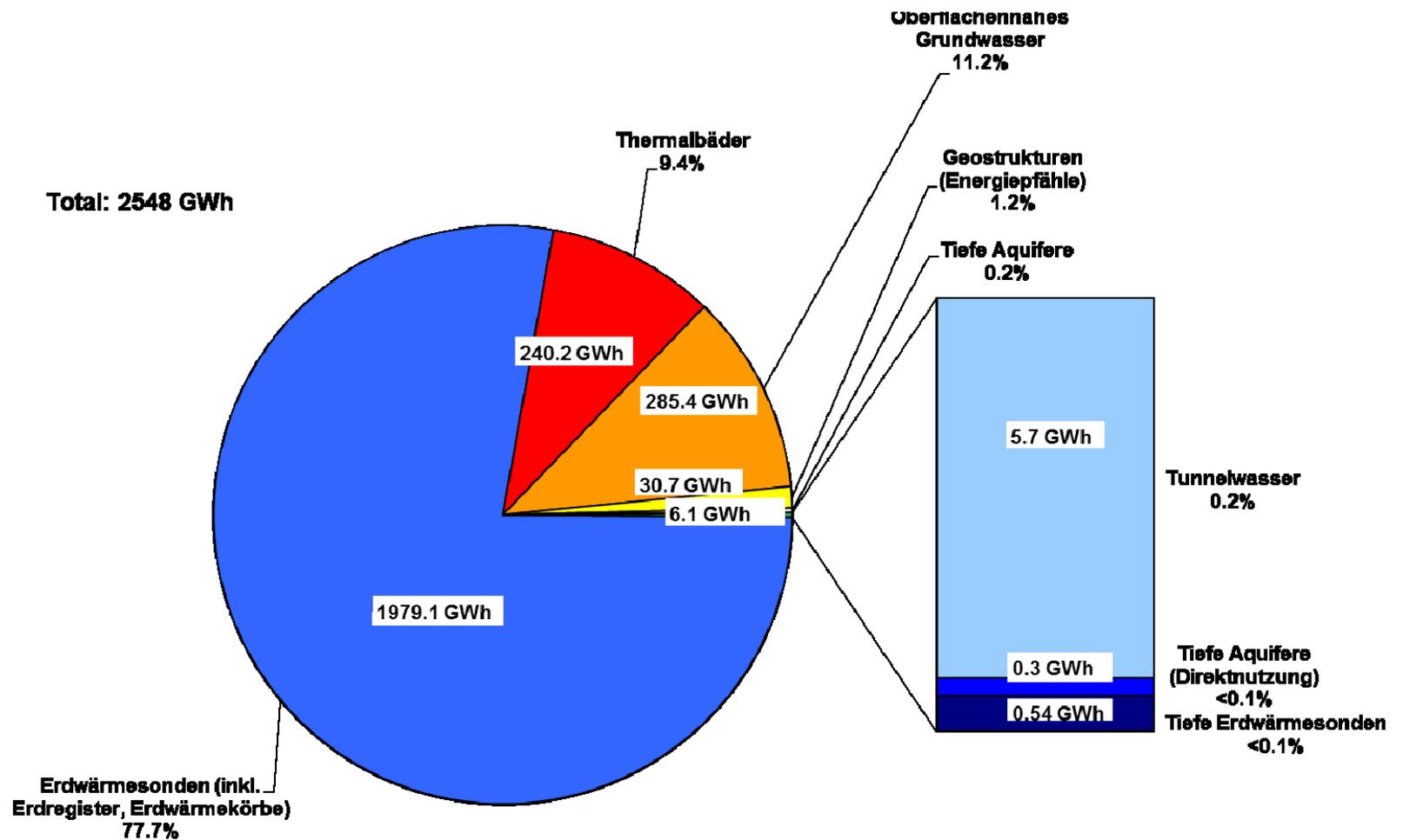
Weltweit installierte Erdwärmepumpen-Leistung

Daten aus Lund et al. (2010)



Geothermie – Boomsektor !

Anteile der Heizenergie aller geothermischer Systeme in der Schweiz in 2011

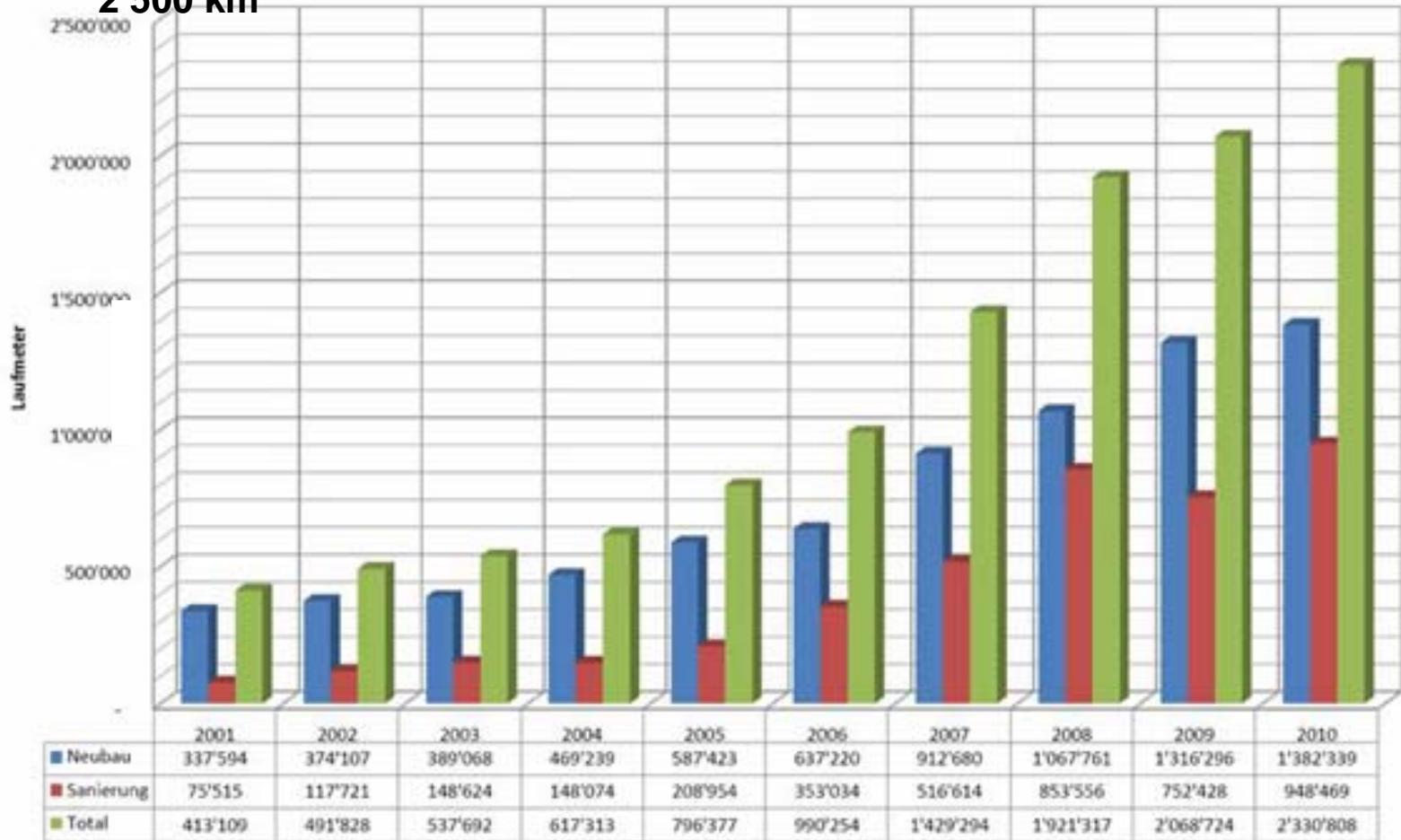




Bohrmeter pro Jahr für Erdwärmesonden in der Schweiz

Wachstumsrate 2001 – 2010 : 20 % pro Jahr

Bohrmeter
2'500 km



Neubau



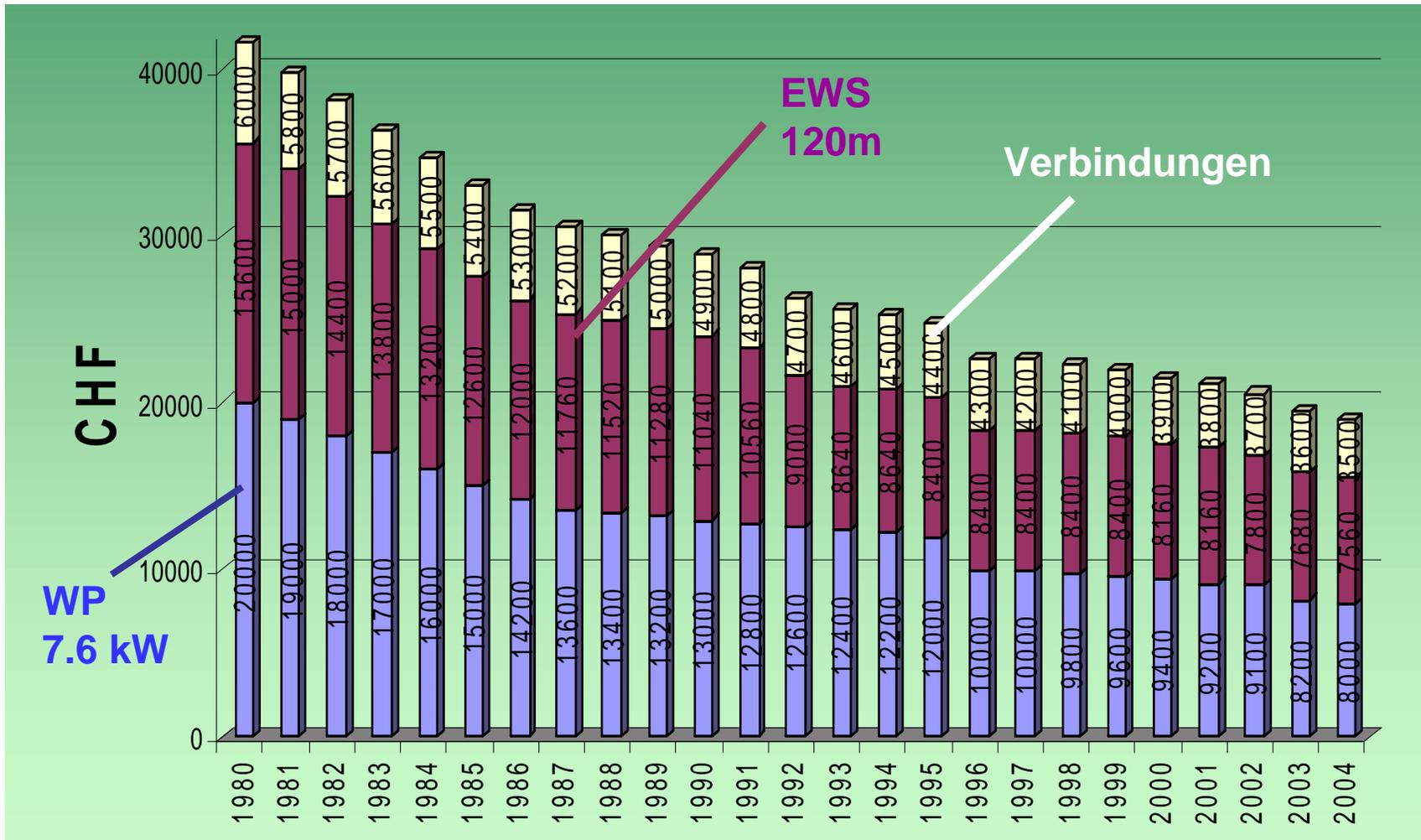
Renovation



Total

„Lernkurve“ Schweiz:

EWS/WP Preisentwicklung 1980-2004 (inflationsbereinigt)



Wirtschaftlichkeit

Gegenwärtig liegt der Installationspreis für Geothermie-Kraftwerke bei 3.0 – 4.5 M€/MW_e, die Produktionskosten bei 40 – 100 €/MWh.

Bei der Direktnutzung liegt der Einheitspreis für geothermische Fernheizung bei etwa 2.0 €/GJ; mit Erdwärmepumpen beträgt der kombinierte Preis für Heizung/Kühlung 16 €/GJ.

Relevanter ist die Anlage-Amortisationszeit bei Erdwärmepumpen-Systemen; diese beläuft sich auf 4 – 8 Jahre.

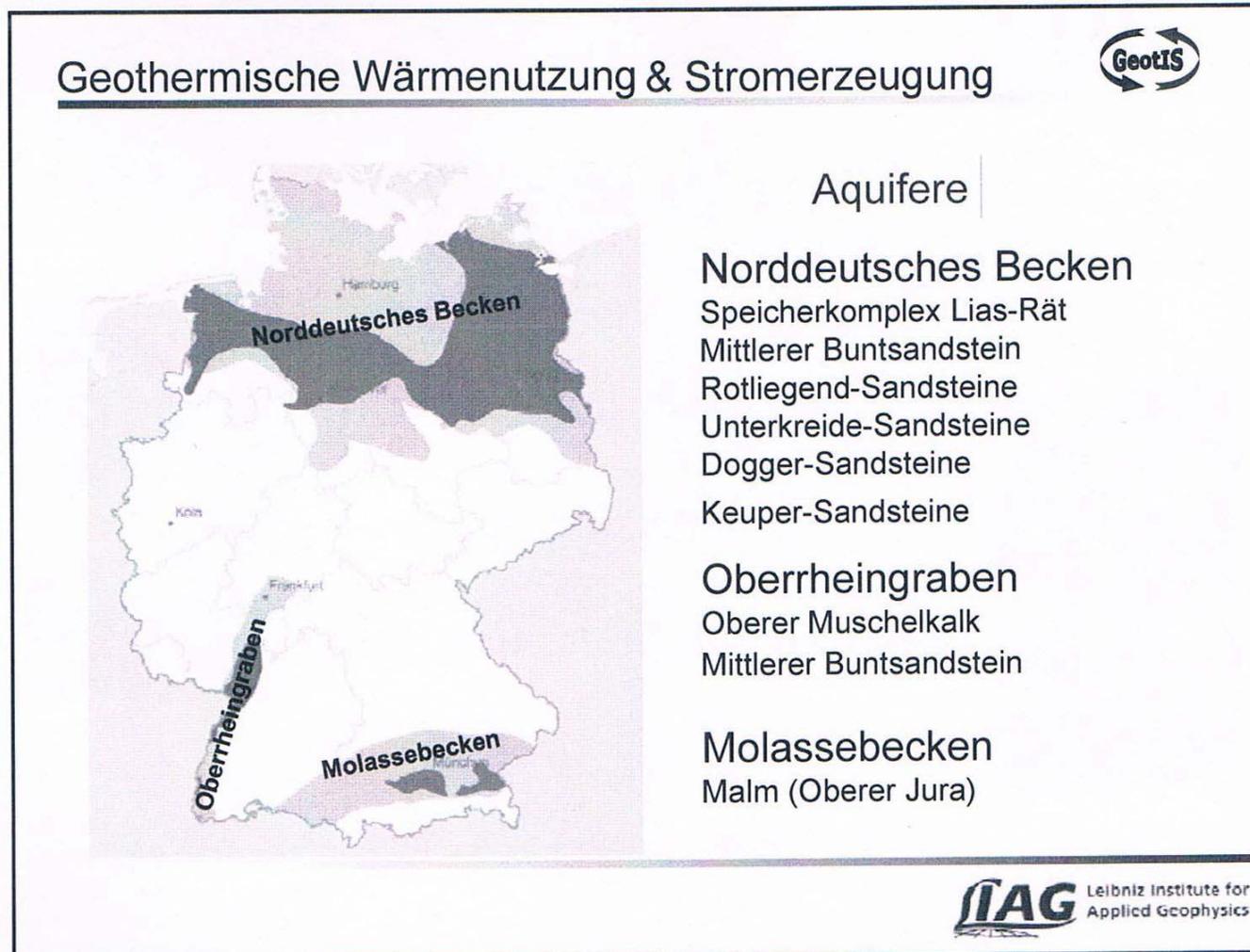
Umweltaspekte

Geothermische Technologien arbeiten ohne Verbrennung und verursachen damit wenig bis keine Treibhausgas-Emission.

Die Stromproduktion wie auch die Direktnutzung trägt bereits zur Verminderung der CO₂ Emissionen bei.

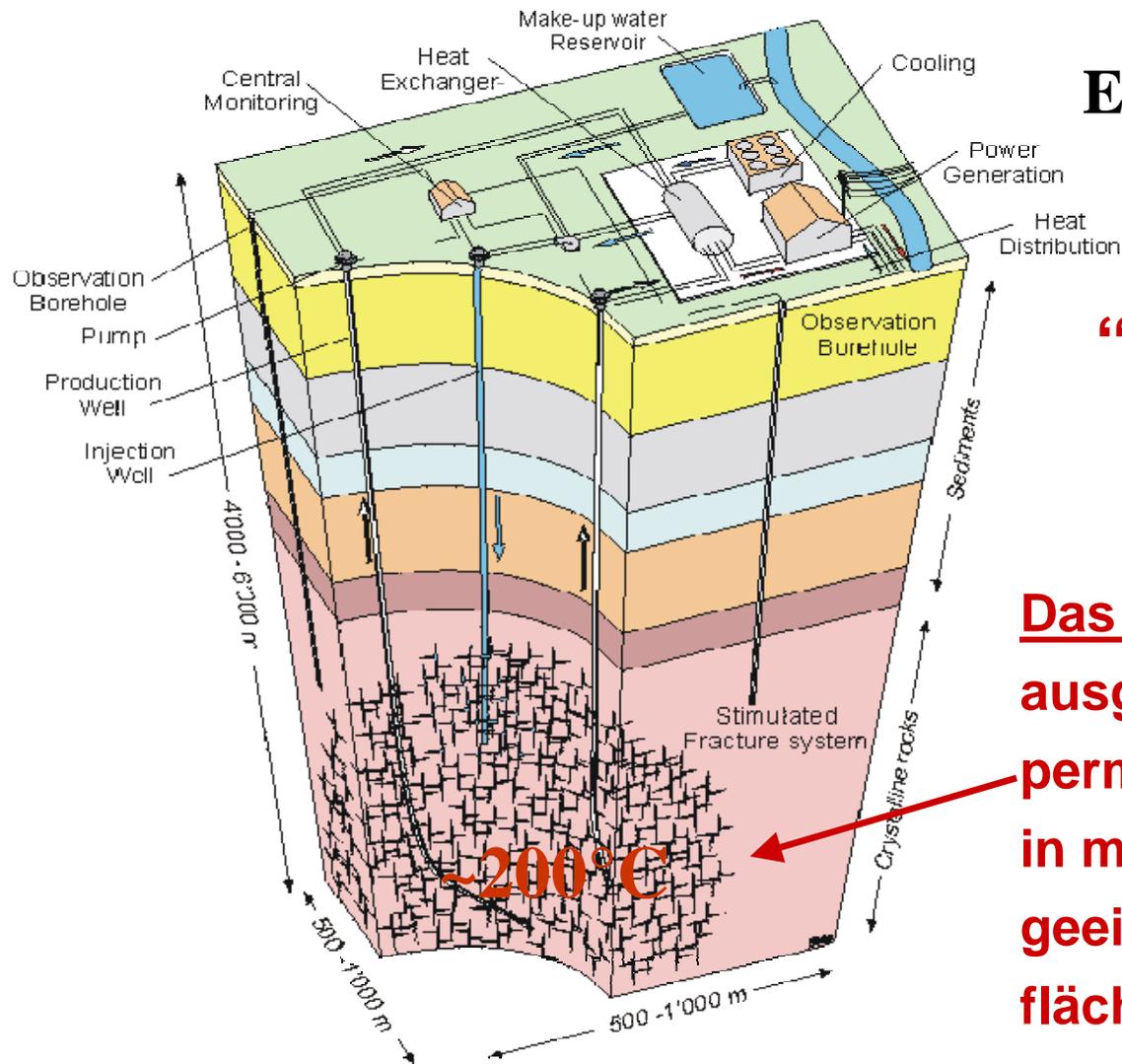
Der weitere Vormarsch der Geothermie kann –je nach dem, was substituiert wird– die CO₂ Emission noch signifikanter reduzieren.

Deutschland: Geothermie wo und wie vorantreiben?



Was tun im weissem Gebiet? **EGS !**

EGS Konzept, für Wärme-Kraft-Kopplung



EGS: Enhanced
Geothermal System

“petrothermal”

Das Kernstück :
ausgedehntes, genügend
permeables Kluftnetzwerk
in mehreren km Tiefe, mit
geeigneten Wärmetauscher-
flächen.

Concept of the Deep Heat Mining System

The Future of Geothermal Energy

Impact of Enhanced Geothermal
Systems (EGS) on the United States
in the 21st Century

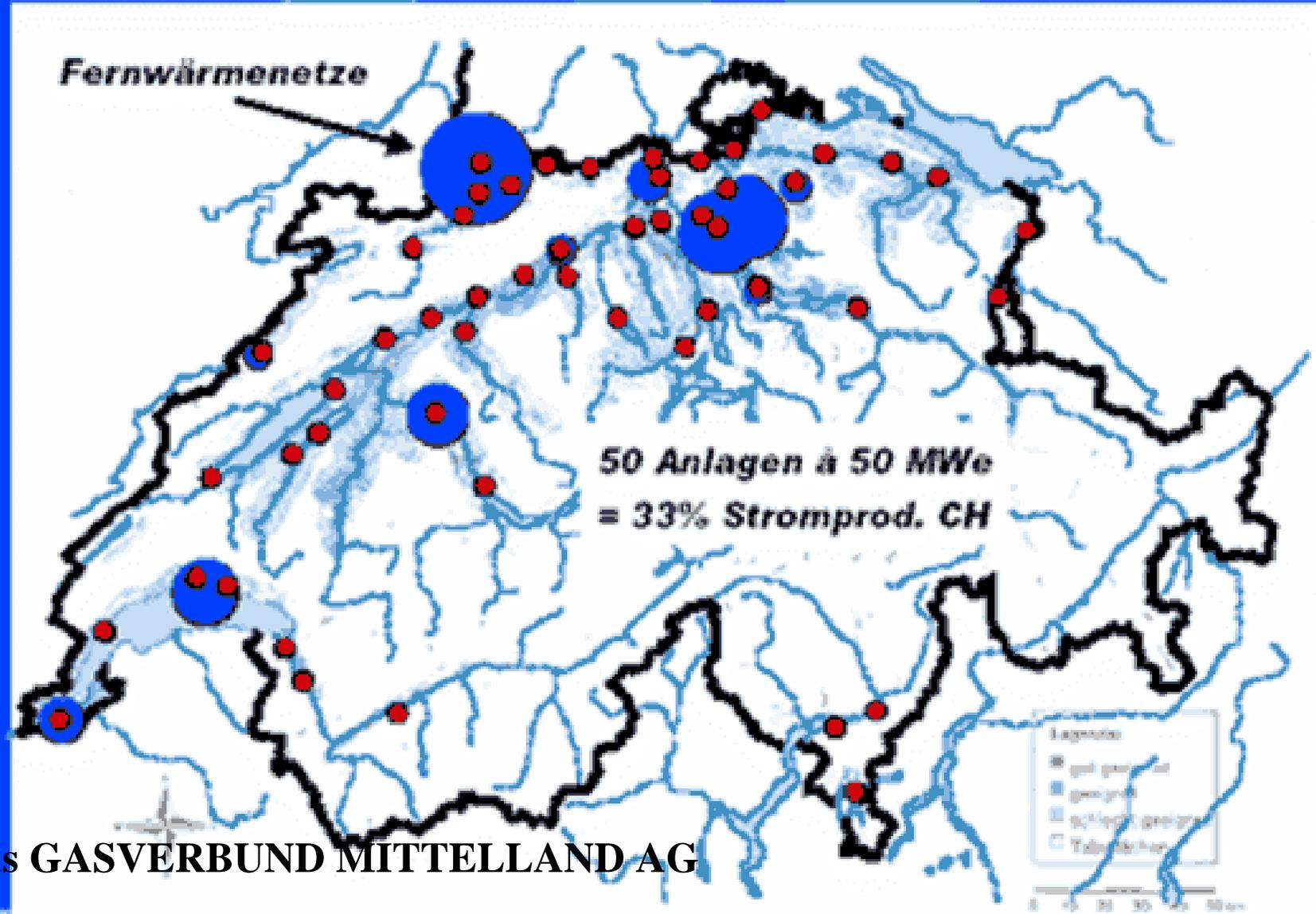
EGS ist die Zukunft!

EGS : Enhanced
Geothermal System

**M.I.T. study (2006)
358 p.**



AUSSICHTEN



aus GASVERBUND MITTELLAND AG

EGS Reservoir-Bedingungen

Obwohl die minimalen Anforderungen für ein technisch-wirtschaftliches EGS Reservoir seit einiger Zeit feststehen:

- **totales Volumen** $> 2 \times 10^8 \text{ m}^3$
- **totale Wärmetauscherfläche** $> 2 \times 10^6 \text{ m}^2$ – *gut verteilt !*
- **Fließwiderstand** $< 0.1 \text{ MPa/(kg/s)}$
- **thermische und**
- **Spannungsfeld-Bedingungen,**

ihre massgeschneiderte Realisierung,
unabhängig von den lokalen Standortbedingungen,
konnte noch nicht demonstriert werden.

Was ist zu tun? → F & E !

Entwicklung einer Technologie zur Strom-/Wärme-Produktion aus einem grundsätzlich überall vorhandenen Ressource (=Erdwärme in grösseren Tiefen), welche unabhängig von den lokalen geologischen Gegebenheiten eingesetzt werden kann.

Bislang hat man noch keine Erfahrung betr. Langzeitverhalten von tiefen **EGS-Wärmetauschern.**

Gegenwärtig ist die **EGS Kraftwerksgrösse bloss bei einigen MWe. Um im Strommarkt bestehen zu können wird es unumgänglich, die **EGS** Kraftwerksgrösse mindestens auf einige 10 MWe zu erhöhen.**

FAZIT

Die weltweite geothermische **Stromproduktion** beläuft sich heute auf rund 70 TWh/Jahr; die Kraftwerk-Investitionskosten betragen 2 – 4.5 Millionen €/MWe und die Produktionskosten 40 – 100 €/MWh.

Die geothermische Stromerzeugung ist unter den erneuerbaren Energien (noch) gut positioniert, insbesondere durch die hohe Verfügbarkeit.

Seit 2007 wächst jedoch die Stromproduktion aus Windkraftwerken, Fotovoltaik und Solarkraftwerken (mit 25 – 50 % pro Jahr) wesentlich stärker als bei der Geothermie (bloss etwa 5 % pro Jahr). Hier sind noch gewaltige Anstrengungen vonnöten, um einigermaßen Schritt zu halten.

Die **weltweite Direktnutzung** beläuft sich gegenwärtig auf rund 500 PJ/Jahr, aus einer Kapazität von rund 60 GW_{th}. Die höchsten Wachstumsraten weisen Erdwärmepumpen-Systeme auf; ihre weltweite Wärmeproduktion nimmt rasch zu (1995 – 2010 mit rund 20 % pro Jahr).

Weltweite Zukunftsaussichten

Voraussichtlich kann bis 2050 die weltweite geothermische Stromproduktionsleistung von gegenwärtigen 10 GW_e auf 70 GW_e mittels konventioneller Technologie gesteigert werden, mit innovativer Technologie(mit Enhanced Geothermal Systems, EGS) auf 150-200 GW_e.

Die Produktion der Direktnutzung in 2050 wird auf 5.1 EJ/Jahr veranschlagt, davon der Erdwärmepumpen-Beitrag von 4.2 EJ/Jahr.

Zukunftsansichten in Deutschland

Der Vormarsch der Erdwärmepumpen-Systeme wird unvermindert weitergehen;

Die Erschließung von tiefen Aquiferen wird im Rheingraben, im bayrischen Molassebecken und in Norddeutschland fortgesetzt;

Eine signifikante Verbreitung von EGS-Systemen (insbesondere für kommunale Strom- und Wärmeversorgung) benötigt zunächst noch umfangreiche F&E Arbeiten (mit entsprechender Finanzierung);

Unerlässlich sind erfolgreiche Pilot- und Demo-EGS-Anlagen!



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

**Prof. Dr. Dr.h.c. L. Rybach
Institute of Geophysics ETHZ
Sonneggstr. 5
CH-8092 Zurich, Switzerland
rybach@ig.erdw.ethz.ch**