

Geschlossene Petro-Geothermie

Energie aus grossen Tiefen

Beitrag zur Energie-Wende

Was ist " Geschlossene Petro-Geothermie (GPG) " ?

GPG ist :

Strom und **Wärme** aus **grosser Tiefe** ,
ohne Erdbeben-Gefahr

Wärme aus **grosser Tiefe** ist :

- **unerschöpflich, kostenlos, nachhaltig**
- **Bandenergie** aus **unserem** Boden
- **umwelt-** und **klima-**verträglich
- ohne **Risiken**, ohne **Abfälle**

GPG ist die **Basis** der **Vision** der **SwissGeoPower AG**

VISION der SwissGeoPower (SGP) :

” 50 • 50 • 50 ”

bedeutet **dreierlei** :

1) 50 Anlagen à 50 MW_e

- gemäss IEA
(International Energy Agency)
- liefern **2.5 GW Strom**
= 2 AKWs (Gösgen, Leibstadt)
→ **Energiewende möglich**

à **50 Mio. CHF** (ab 10. Anlage),
weil **NEUE Bohr-Verfahren**

2) Versorgungs-Sicherheit

- weil **Unabhängigkeit**,
da keine Energie-Importe,
→ **keine Devisen-Exporte**
weder für Wärme, Strom noch Mobilität

3) Cleantech- Produkt

- **neue Export-Märkte** und
- **neue Arbeitsplätze**, und dies **weltweit**, auch in Schwellen- und Entwicklungsländern, wie von Bund und Wirtschaft angestrebt.

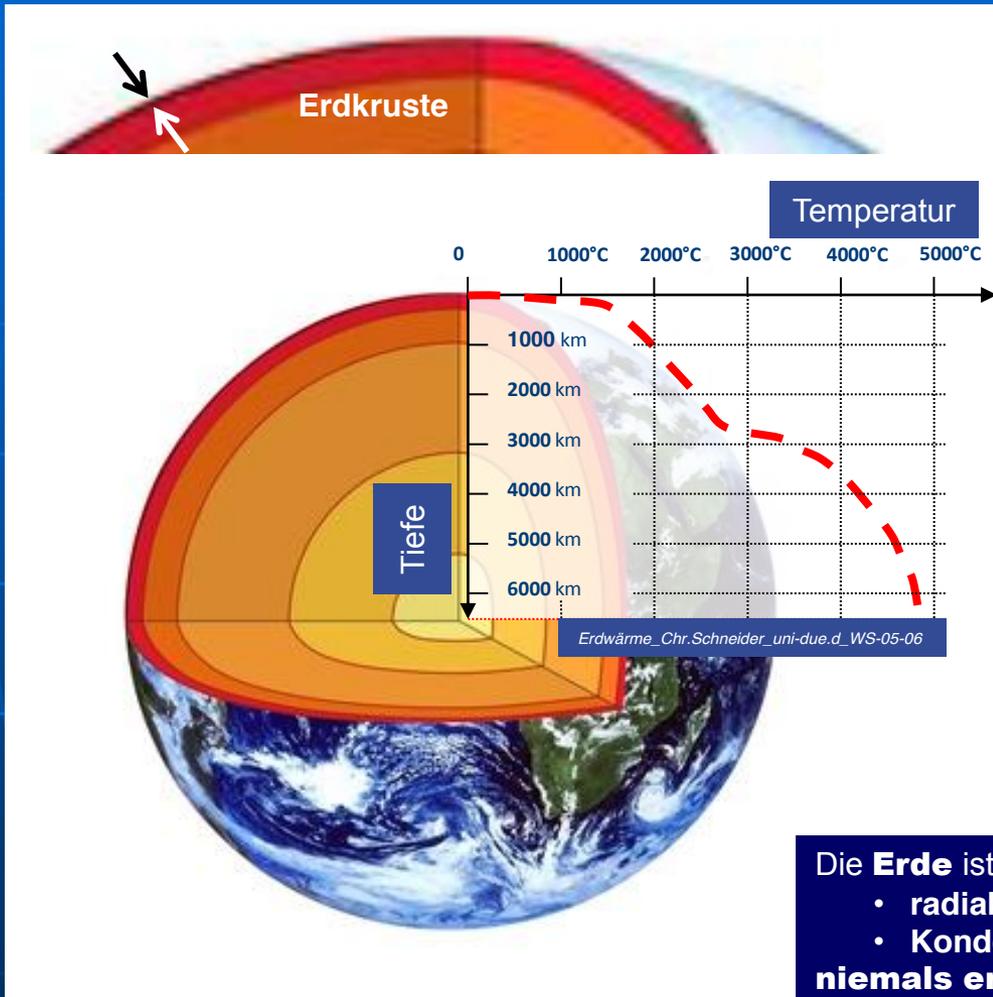


Figure 17.2 Vision of 50 EGS plants, each with 50 MW_e, to provide 33 % of Swiss electricity.
“Fernwärmenetze”: existing district heating systems.

p.171_IEA (International Energy Agency), Geothermal Energy Annual-Report (06-Jan.2008)

und **WOHER** soll **all die Energie** denn **kommen** ?

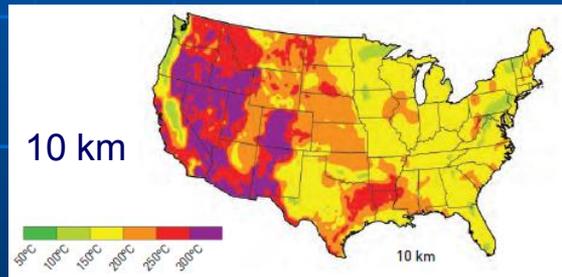
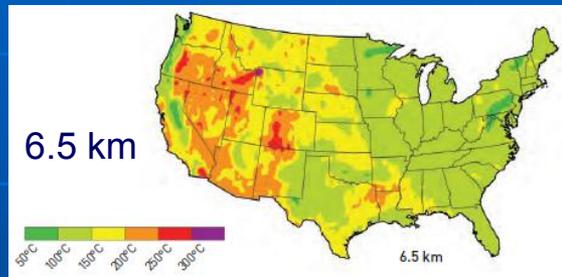
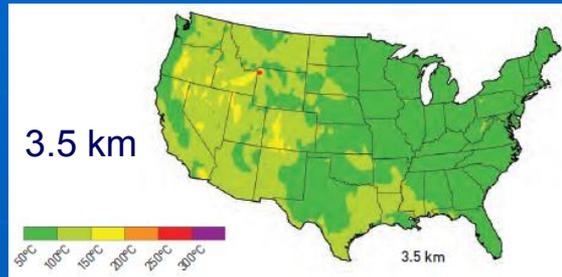
Die Erde - eine unerschöpfliche WÄRME - QUELLE



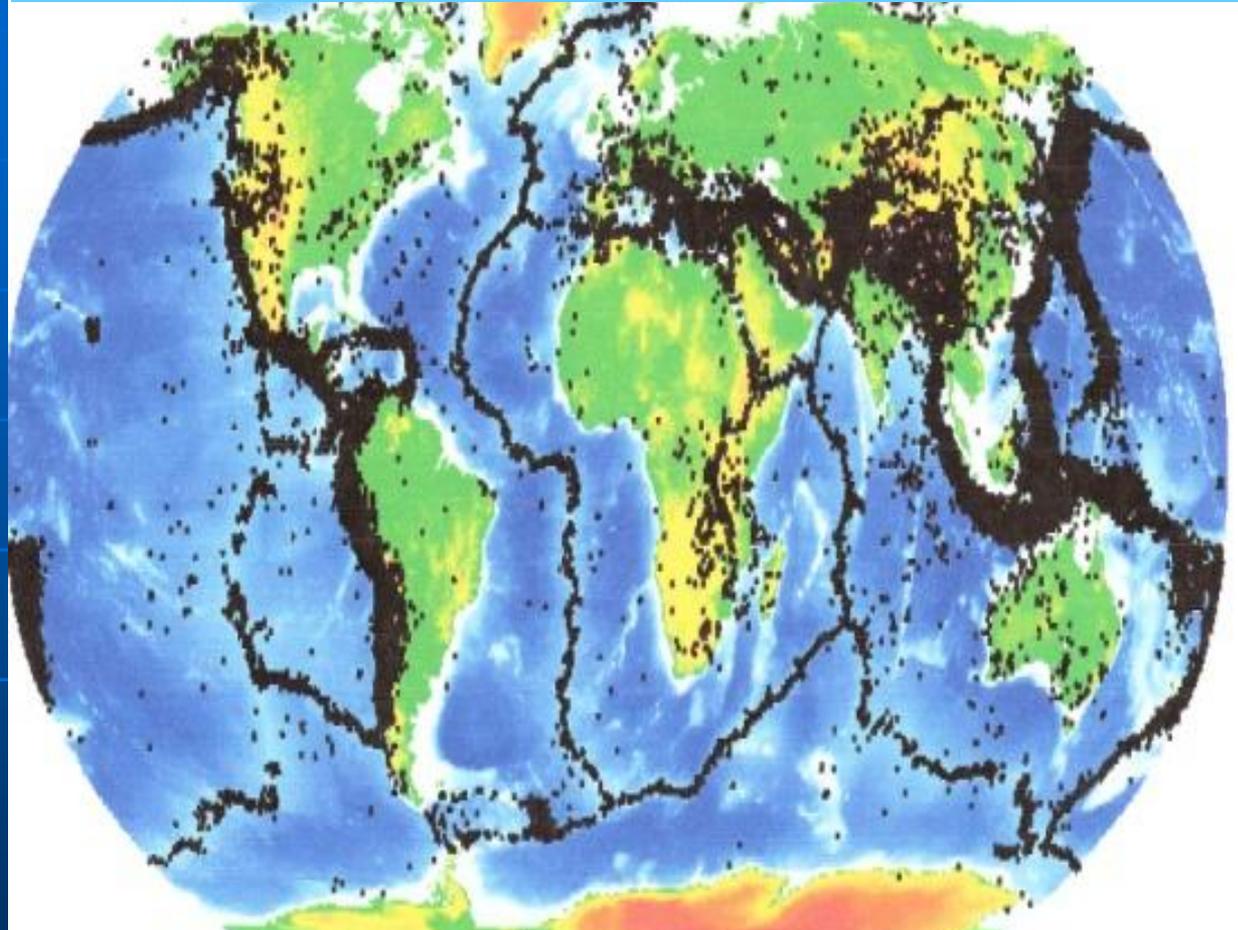
- **Erd-Radius (R) :**
R = **6371 km**
 - Dicke der **Erdkruste :**
= **25 km**, also
 - weniger als **4 ‰** von R
 - vergleichbar zu **Ei-Schale**
 - schon **unter der Erdkruste :**
T > 500 °C
 - **Innerhalb der Erdkruste** ist der Temperatur-**Gradient** viel **grösser** , als in grösserer Tiefe, s. Diagramm
 - **Zentrums-Temp. :**
knapp **5000°C**
- **99%** von Erd-Volumen sind **über 1000°C**
- Wir sitzen auf schier **unendlichem Wärmervorkommen**

und wie ist die daraus **resultierende Wärmeverteilung**, abhängig von der Tiefe ?

In **10 km** Tiefe : **weltweit** über **150 °C** (USA = repräsentativ)



Erdbeben (M > 4) 1980 – 2002 *World Data Center for Seismology, Denver*

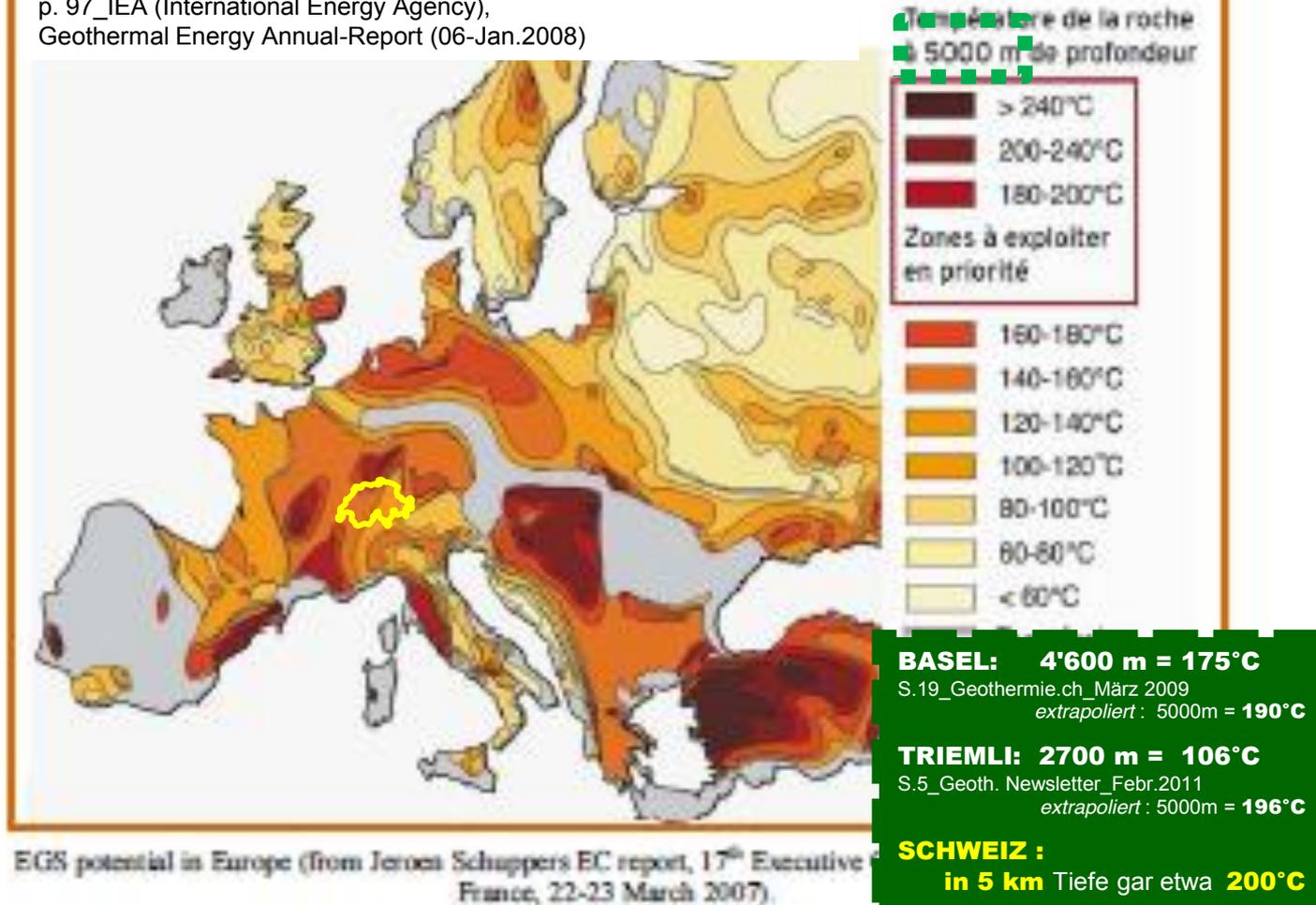


Europa eher **vergleichbar** mit **Westen** als mit Osten der **USA**

Ist also auch die **Wärmeverteilung** entsprechend höher in grosser Tiefe in **EUROPA** ?

EUROPA : 100 – 150 °C schon in 5 km

p. 97_IEA (International Energy Agency),
Geothermal Energy Annual-Report (06-Jan.2008)



Wieviel ENERGIE-INHALT bedeuten diese Temperaturen ?

ENERGIE – INHALT der Erde (Wärmespeicherzahl)

Die **Erdkruste** besteht aus **Granit**.

Wärmespeicherzahl von **Granit** = **2.1** (bis 2.8) **Joule (J) / cm³ pro °C**,
weil $1 \text{ J} = 2.78 \cdot 10^{-4} \text{ Wh}_{\text{therm}}$ = $5.84 \cdot 10^{-4} \text{ Wh}_{\text{therm}} / \text{cm}^3 \text{ pro } ^\circ\text{C}$,

Granit enthält also = $5.84 \cdot 10^5 \text{ MWh}_{\text{therm}} / \text{km}^3 \text{ pro } ^\circ\text{C}$
resp. (gem. Petry-Diagramm für Double Flash) = $5.84 \cdot 10^4 \text{ MWh}_{\text{elektr}} / \text{km}^3 \text{ pro } ^\circ\text{C}$
und bei **200°C** (für CH in 5 km) = **$1.2 \cdot 10^7 \text{ MWh}_{\text{elektr}}$ (Strom) / km³**

Abkühlung eines **1km³ - Granit-Blocks**
um **20°C** setzt $1.2 \cdot 10^6 \text{ MWh}_e$ frei. Bei gleich-
mässigem Bezug über **20 Jahre** (=175'200 h),
resultiert **Bandenergie** von **6.8 MW_e**

Mit $3 \text{ J} / \text{cm}^3 \text{ pro } ^\circ\text{C}$ die oft zitierte Aussage :
" **1km³-Granit-Würfel liefert 10 MW Strom**
über 20 Jahre durch Abkühlung um 20 °C "



SGP-VISION "50 • 50 • 50" :

50 MW_e

Bandenergie über 20 Jahre **bedingt** die **Abkühlung**
eines **(2 km)³ -Würfels** über **20 Jahre** um **20°C**

Nachweis : $2^3 \cdot 6.7 \text{ MW}_{\text{elektr}} = 54 \text{ MW}_{\text{elektr}}$.

Ist solche Energie-Gewinnung **RAUBBAU ?**

Nutzung des Energie-Inhalts der Erde ist **KEIN Raubbau**

Der **Welt-Energieverbrauch** pro Jahr

a) beträgt

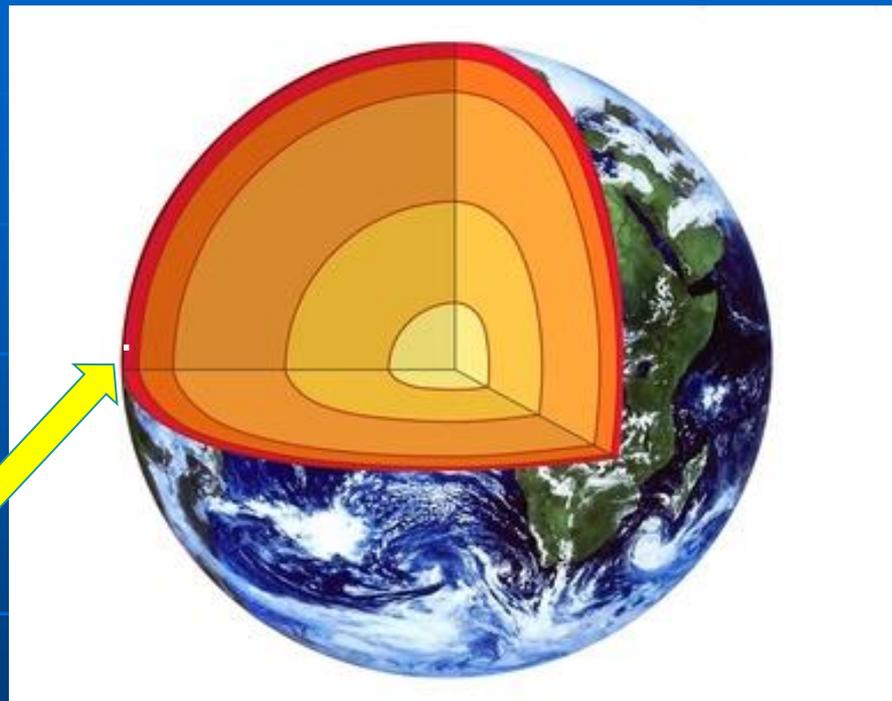
= 500 ExaJoule ($500 \cdot 10^{18} \text{ J}$), mit $1 \text{ J} = 2.78 \cdot 10^{-4} \text{ Wh}$
= **$1.4 \cdot 10^{11} \text{ MWh}$** = $1.4 \cdot 10^5 \text{ TWh}$

b) ist enthalten in einem **Granit-Würfel**
mit **10 km** Seitenlänge und **240°C**

Nachweis : $(10 \text{ km})^3 \cdot 5.84 \cdot 10^5 \text{ MWh} / \text{km}^3 \text{ pro } ^\circ\text{C} \cdot 240^\circ\text{C}$
= **$1.4 \cdot 10^{11} \text{ MWh}$**

Ein **10km-Granit-Würfel** ist **zu klein**, um
sichtbar zu sein bei vorliegendem Masstab.

Das weisse **Würfelchen** enthält den heutigen
Welt-Energieverbrauch für **1500 Jahre**.



Schlussfolgerung :

Geothermische Nutzung ist **niemals Raubbau**,

bei welchem Entzug auch immer, weil das Wärme-Vorkommen so unerschöpflich gross ist

Zentrale HERAUSFORDERUNG : **WIE** kann die **vorhandene Wärme gefördert** werden ?

NUTZUNGS - ARTEN der Geothermie

UNTIEFE Geothermie - 0 bis 400 m (gelb) , bis 20 °C

TIEFE Geothermie > 400 m, > 20 °C

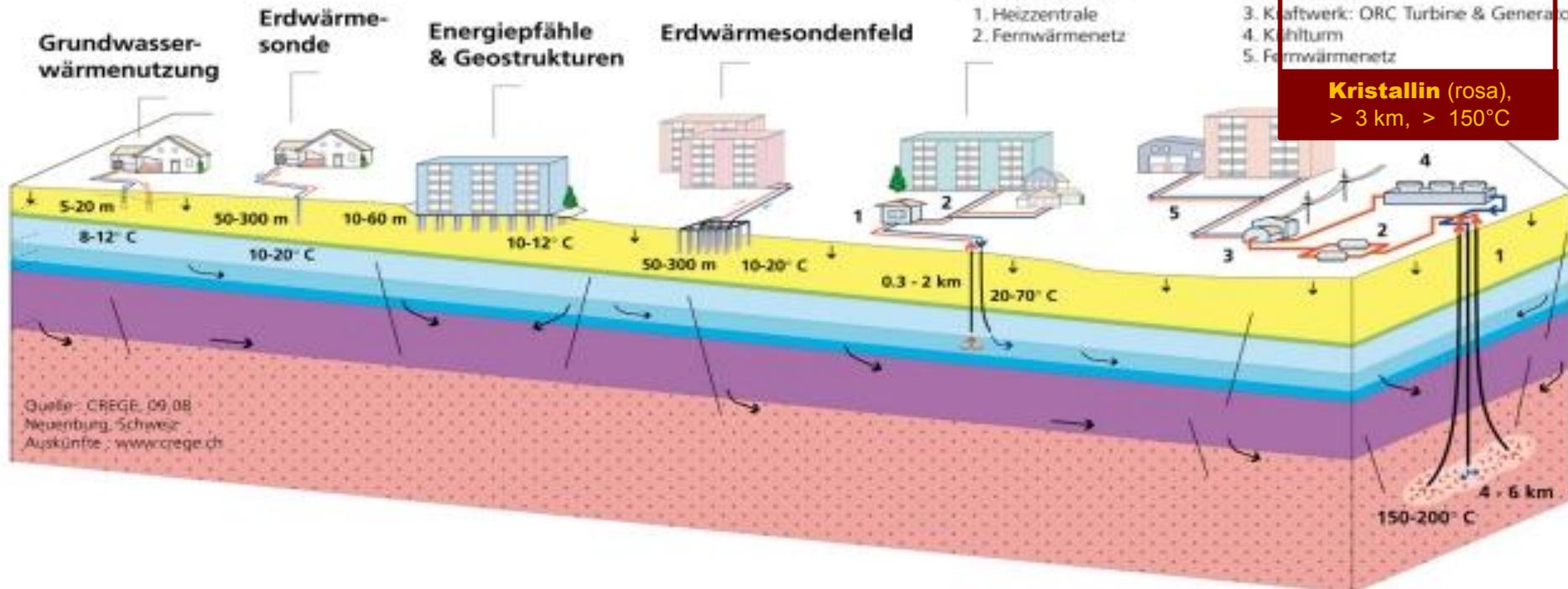
HYDRO- Geothermie
Sedimente (blau)
 400 m – 3 km, bis 150°C

PETRO- Geothermie

Sehr tiefe Geothermie

1. Injektions & Produktionsbohrungen
2. Wärmetauscher
3. Kraftwerk: ORC Turbine & Generator
4. Kühlturm
5. Fernwärmenetz

Kristallin (rosa),
 > 3 km, > 150°C



Vollkswirtschaftliche **BEDEUTUNG** der **verschiedenen Nutzungsarten ?**

Anteile der verschiedenen Nutzungsarten der Geothermie (SCHWEIZ)

Geothermische Wärmeproduktion und installierte Leistung in der Schweiz 2005 (Quelle: Rybach & Gorhan, 2005)

	Technologie und Nutzung	Leistung (MWth)	Anteil (%)	Energieproduktion (GWh/a)	Anteil (%)
UNTIEFE	<i>Erdwärmesonden und Erdregister</i>	450	77.0	666,3	56
	<i>Grundwasser-Nutzung</i>	75,4	12,9	114,4	9,6
	<i>Thermalwasser</i>	40,8	7,0	341,4	28,7
	<i>Geostrukturen (Heizung und Kühlung)</i>	7	1,2	15,2	1,3
TIEFE	<i>Tiefe Aquifere</i>	6,1	1,0	37,2	3,1
	<i>Tunnel</i>	5,2	0,9	13,7	1,2
	<i>Tiefe Erdwärmesonden</i>	0,2	0,03	0,9	0,1
	Total	584,7	100	1189,2	100

= 1.2 TWh/a

deckt also **0.5 %** von Gesamt-Energie-Verbrauch (Schweiz)

SEHR TIEFE

Petro-Geothermie (noch) = **0**

pro Kopf
mal 8 Mio.
gem. bfe

31 MWh/a
250 TWh/a
890'000 TJ/a

(Welt-Energieverbrauch
= $1.4 \cdot 10^5$ TWh)

und wie steht die **Schweiz** im **weltweiten** Vergleich ?

STROM-Produktion 2005 (Quelle: Bertani 2006)

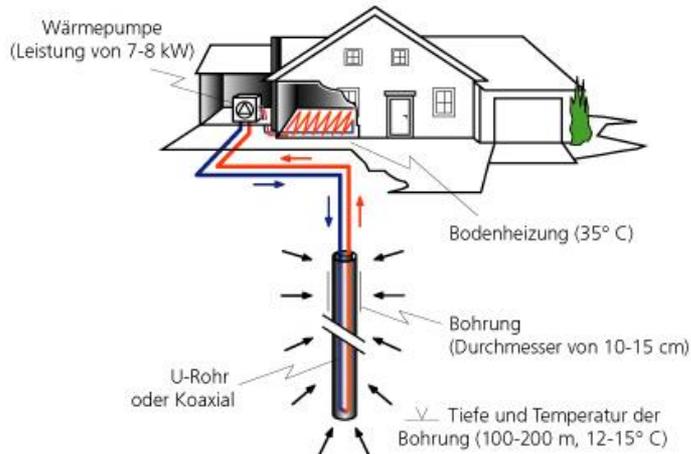
Länder	Installierte Leistung (MWel)	STROM- produktion (TWh/a)
USA	2'564	18
Philippinen	1'930	9
Mexiko	953	6
Indonesien	797	6
Italien	791	5
Japan	535	4
Neuseeland	435	3
Island	202	2
Costa Rica	163	1
El Salvador	151	1
Kenia	129	1
Weitere	283	1
Total	8'933	57

WÄRMETrom-Produktion 2005 (Quelle: Lund et al. 2005)

Länder	Installierte Leistung (MWth)	WÄRME- produktion (TWh/a)
USA	7'817	9
Schweden	3'840	10
China	3'687	13
Island	1'791	7
Türkei	1'177	5
Dänemark	821	1
Ungarn	694	2
Italien	607	2
Schweiz	582	1
Deutschland	505	1
Kanada	461	1
Norwegen	450	1
Weitere	5'393	20
Total	27'825	73

Einzel-Sonde

EWS für ein typisches Einfamilienhaus



Sonden-Feld, Dolder Grand in Zürich



- **70 Erd-Wärme-Sonden**, je mind. **150 m**, total : **10.6 km**
- **halbierter** Verbrauch bei **doppelter** Hotel-Grösse
- **Reduktion** : Heizbedarf **75 %**, Strom **25 %**
- Winter : Wärmeentnahme (Wärmepumpen) für **Heizung**
- Sommer : **Kühlen** der 178 Zimmer

weitere Beispiele für **UNTIEFE Geothermie**

1.2) Energie-Pfähle resp. Geo-Strukturen

Konstruktionen im Boden

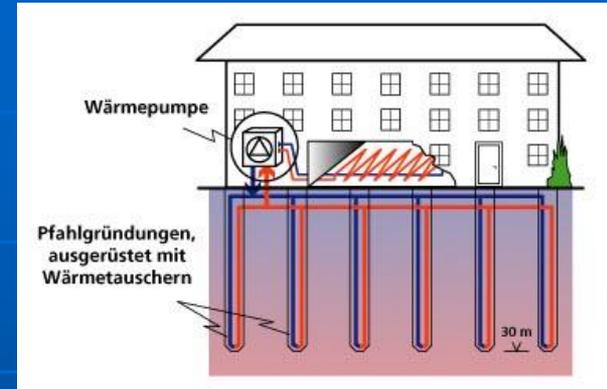
primär : für **Tragfähigkeit** und **Stabilität** des Untergrundes

sekundär : zum Austausch von **Wärme** resp. **Kälte** mit dem Untergrund (Jahreszyklus)

Heizperiode : Wärmeentzug, resp. Kälteeintrag

Kühlperiode : Kälteentzug, resp. Wärmeeintrag

Wärmeleistung zwischen **einigen kW** bis gegen **1 MW**.



Beispiel :
Terminal E, Flughafen Zürich



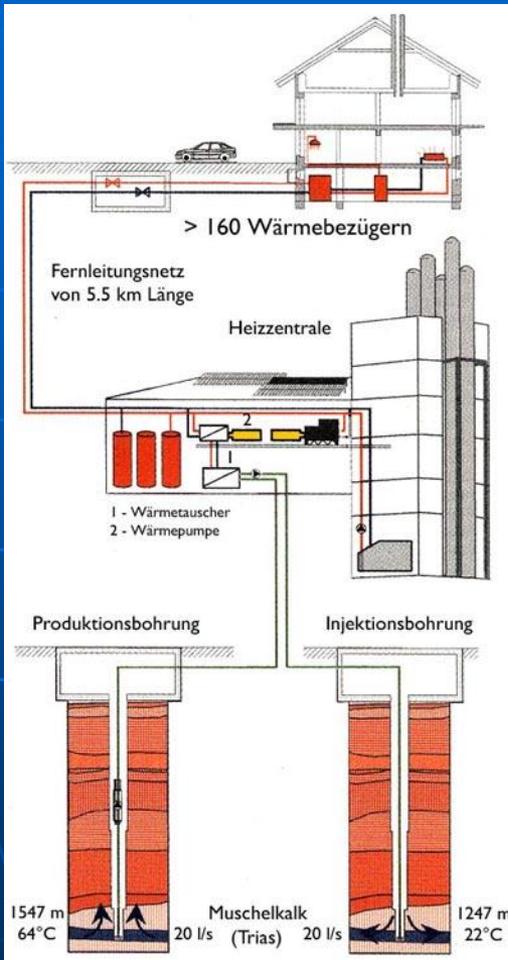
Sommer :
Entzug von 470 MWh zur **Kühlung** des Terminals

Winter :
Rückgewinnung von **Wärme** (1100 MWh).
75 % der Energie zum Heizen und Kühlen stammen aus den Energiepfählen

Beispiele für TIEFE Geothermie (> 400 m, > 20 °C)

2) TIEFE Geothermie - Beispiele :

2.1) HYDRO- Geothermie



2.1.1 RIEHEN (BS)

- seit 1994
- Fernwärmenetz
- 180 Liegenschaften
- für 50% des Wärmebedarfs

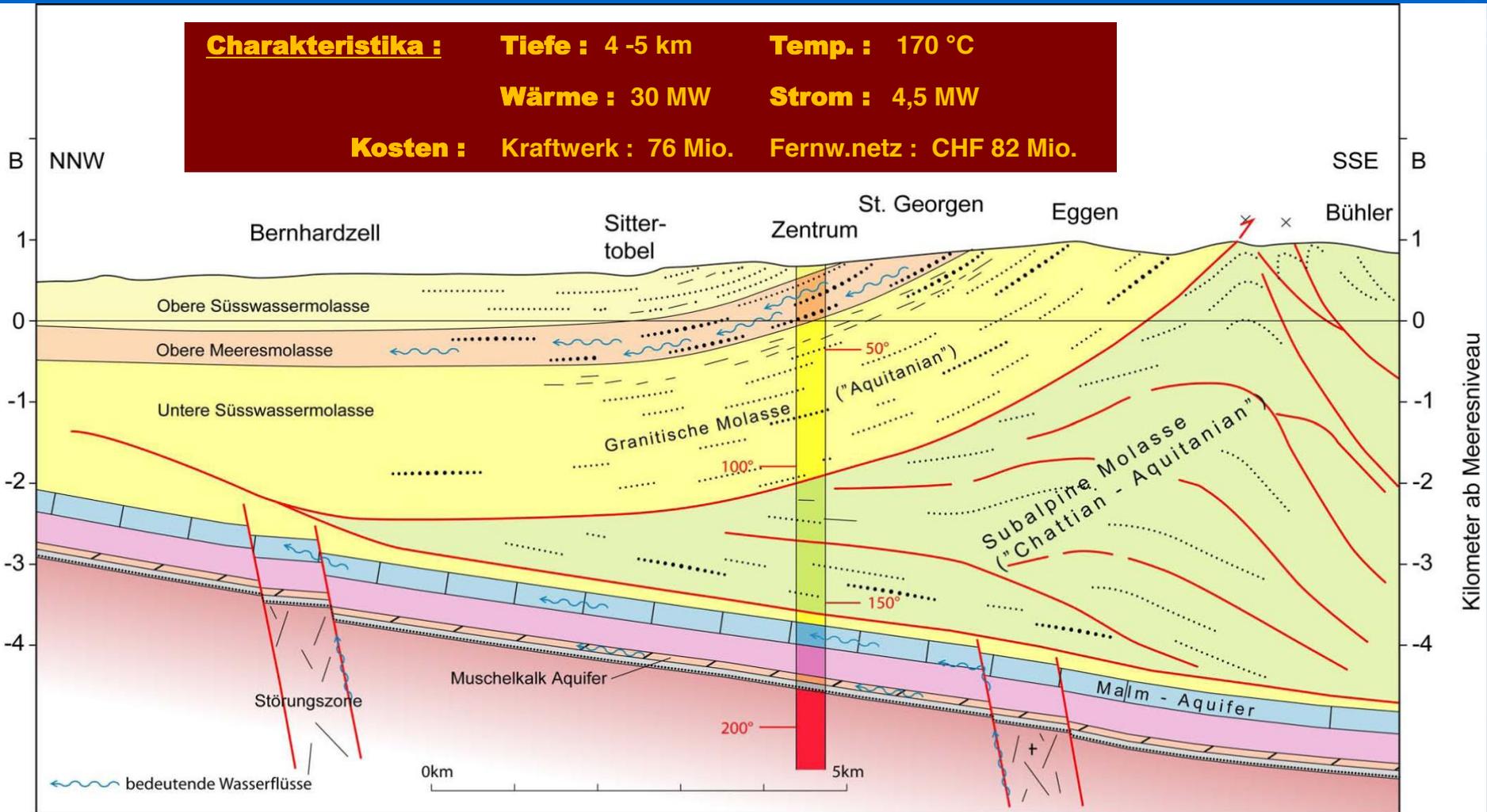
2.1.2 Gärtnereien, Thermalbäder, wie auch Tropenhäuser (Frutigen, durch NEAT- Entwässerung)



aktuelles (geplantes) Beispiel für HYDRO- Geothermie

2.1.3) Projekt der **STADT ST.GALLEN**

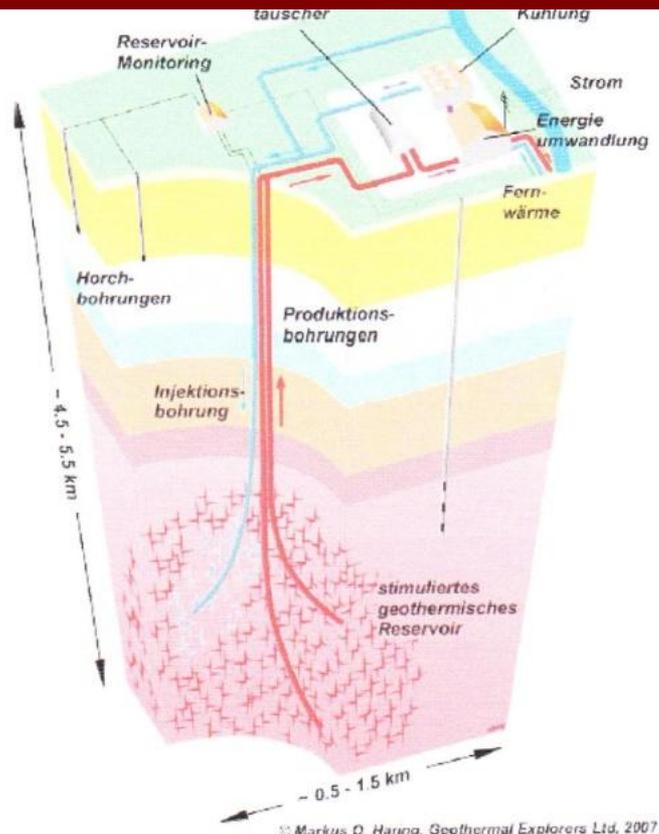
Charakteristika : **Tiefe :** 4 -5 km **Temp. :** 170 °C
Wärme : 30 MW **Strom :** 4,5 MW
Kosten : Kraftwerk : 76 Mio. Fernw.netz : CHF 82 Mio.



PETRO- Geothermie

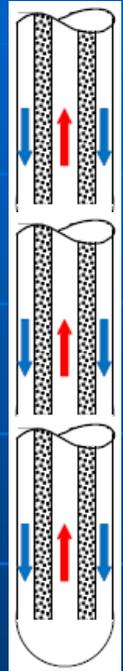
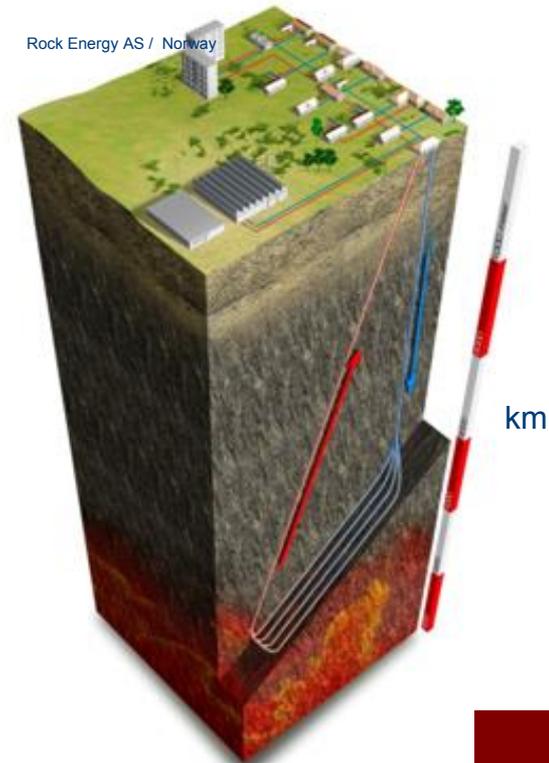
2.2) PETRO- Geothermie

2.2.1 OFFENE Petro-Geothermie



Enhanced Geothermal System (EGS)

2.2.2 GESCHLOSSENE Petro-Geothermie



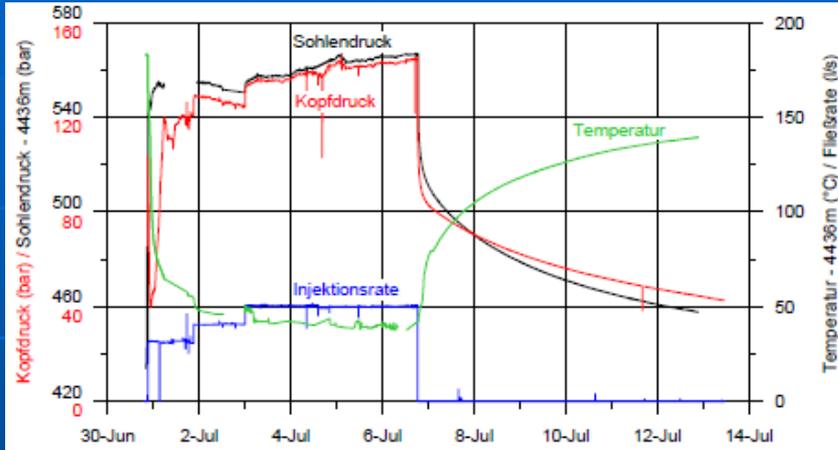
RUND - Lauf
EINFACH- Rohre
Tiefen-Register

RÜCK - Lauf
DOPPEL- Rohre
(koaxial, geschlossen)
Tiefe Erd-Wärme-
Sonde (TEWS)

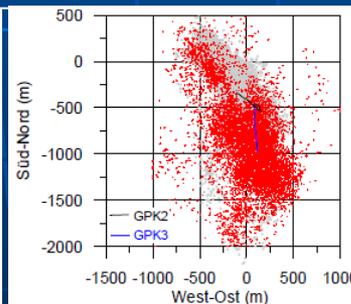
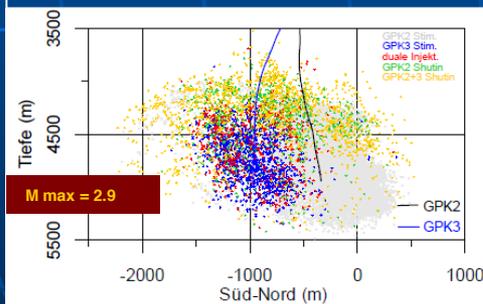
EGS – Beispiel : SOULTZ

Vergleich : SOULTZ

Hot Dry Rock Projekt Soultz // Abschlussbericht // Januar 2006

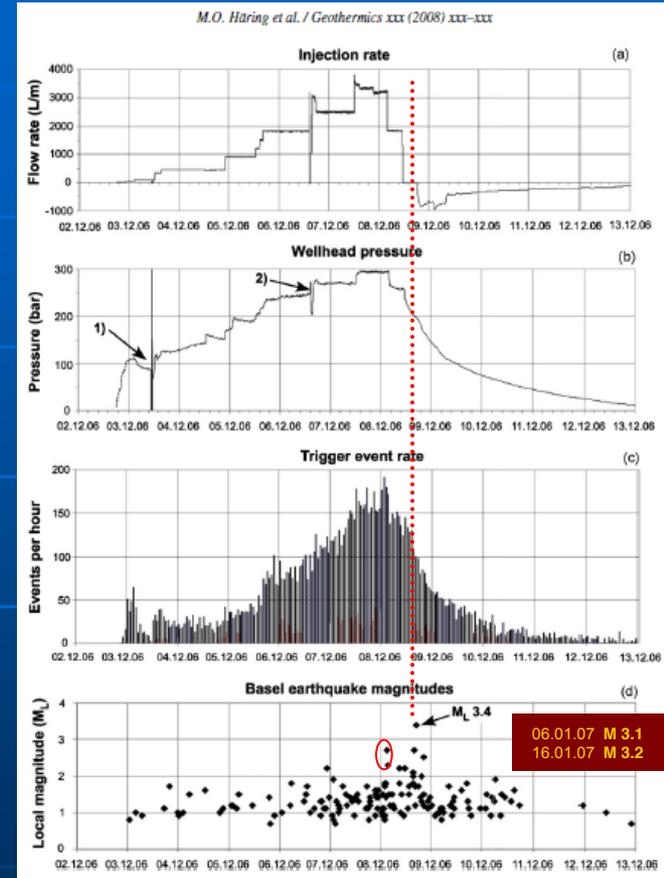


Seismische Ereignisse - Hydraulic Fracturing in GPK 2 & GPK 3 AUFRISS GRUNDRISS



BASEL

Häring, M.O., et al., Characterisation of the Basel 1 enhanced geothermal system. Geothermics (2008), doi:10.1016/j.geothermics.2008.06.002



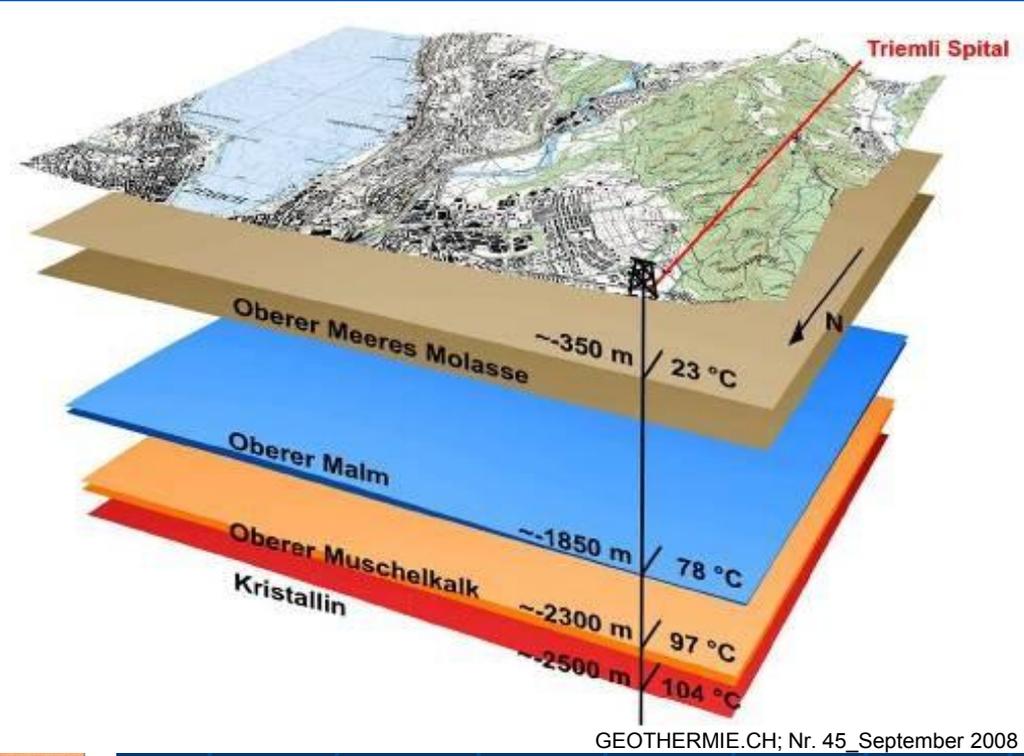
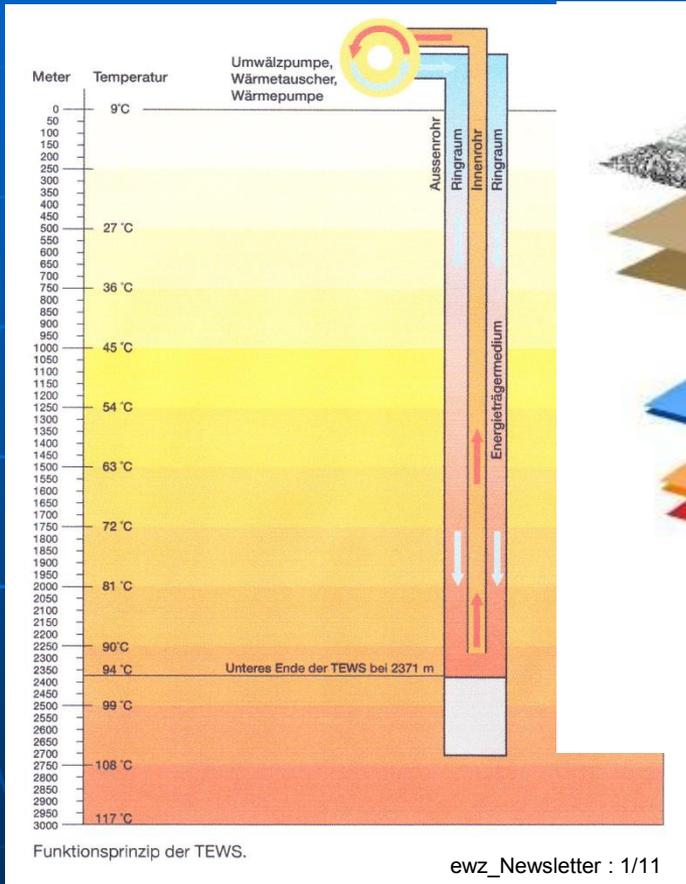
Damit **KEINE** induzierte Seismizität (Erdbeben) : **GESCHLOSSENE** Petro- Geothermie

2.2.2 GESCHLOSSENE Petro-Geothermie

a) LOKAL

Beispiel TRIEMLI

ewz



ENERGIE-Produktion

0.05 MW_{th}



VISION

SwissGeoPower



STROM-Produktion (Bandenergie)

Unterhalb 6000m produzieren **3 km Wärmelanze**
 mit $\varnothing = 51 \text{ cm}$ (effekt. Durchfl. querschnitt = 1500 cm^2)
 bei 40° -Abkühlung über 20 Jahre
je 1 MW_e (gemäss GEOWATT-Studie, August 2011)

Bei **18** ausgelenkten **Wärmelanzen** à 4 km

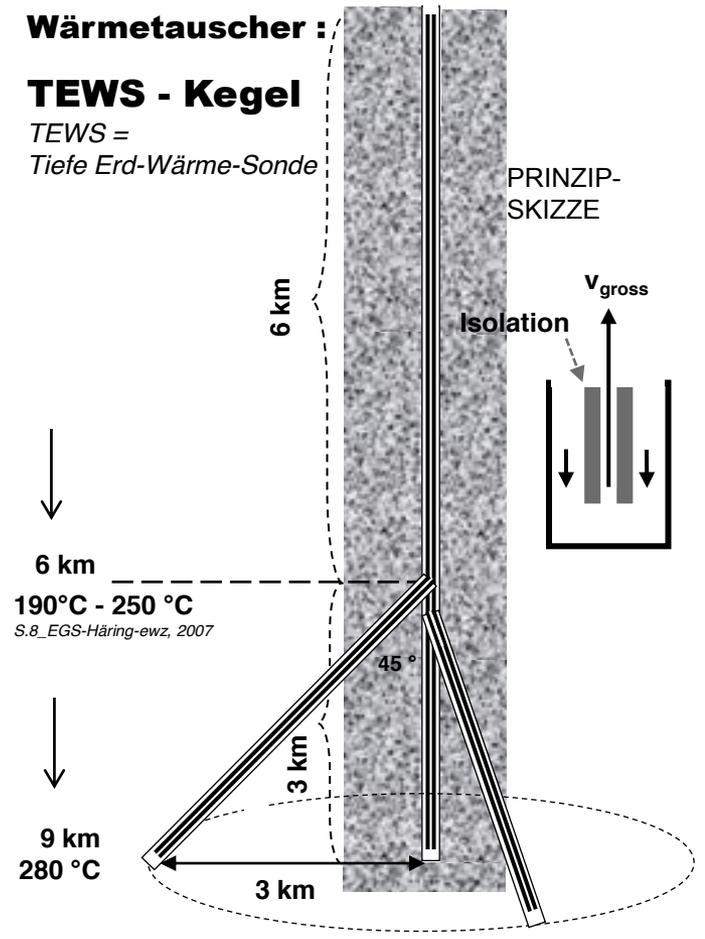
- resultieren = 3km + 18 • 4km
 = 75 km
 $75 \text{ km} \cdot 1 \text{ MW}_e / 3 \text{ km} = \mathbf{25 \text{ MW}_e \text{ (Strom)}}$
- ist die erforderliche
 - a) **Fliessrate** in
 - ausgelenkten **Wärmelanzen** = **12.1 l/s**
 (gemäss GEOWATT-Studie)
 - vertikaler **Steigleitung** (6km) = **230 l/s**
 - b) **Fließgeschwindigkeit**
 - vertikaler **Steigleitung** (6km)
 mit $v_1 (750 \text{ cm}^2) = v_2 (1500 \text{ cm}^2) = v_{\text{gross}}$
 $\Rightarrow 230'000 \text{ cm}^3 / (1500/2) \text{ cm}^2 = \mathbf{3 \text{ m/s}}$
 (Genfer-Jet d'eau ;
 500l/s ; 2 km/h = 56 m/s ; 1MW)
 - **Wärmelanzen**
 - $v_{\text{up}} = v_{\text{gross}} = \mathbf{3 \text{ m/s}}$
 - $v_{\text{down}} = 1/19 v_{\text{gross}} = \mathbf{16 \text{ cm/s}}$
- ist die **Reichweite** (GEOWATT) = **150 m**

Wärmetauscher :

TEWS - Kegel

TEWS =
 Tiefe Erd-Wärme-Sonde

PRINZIP-
 SKIZZE



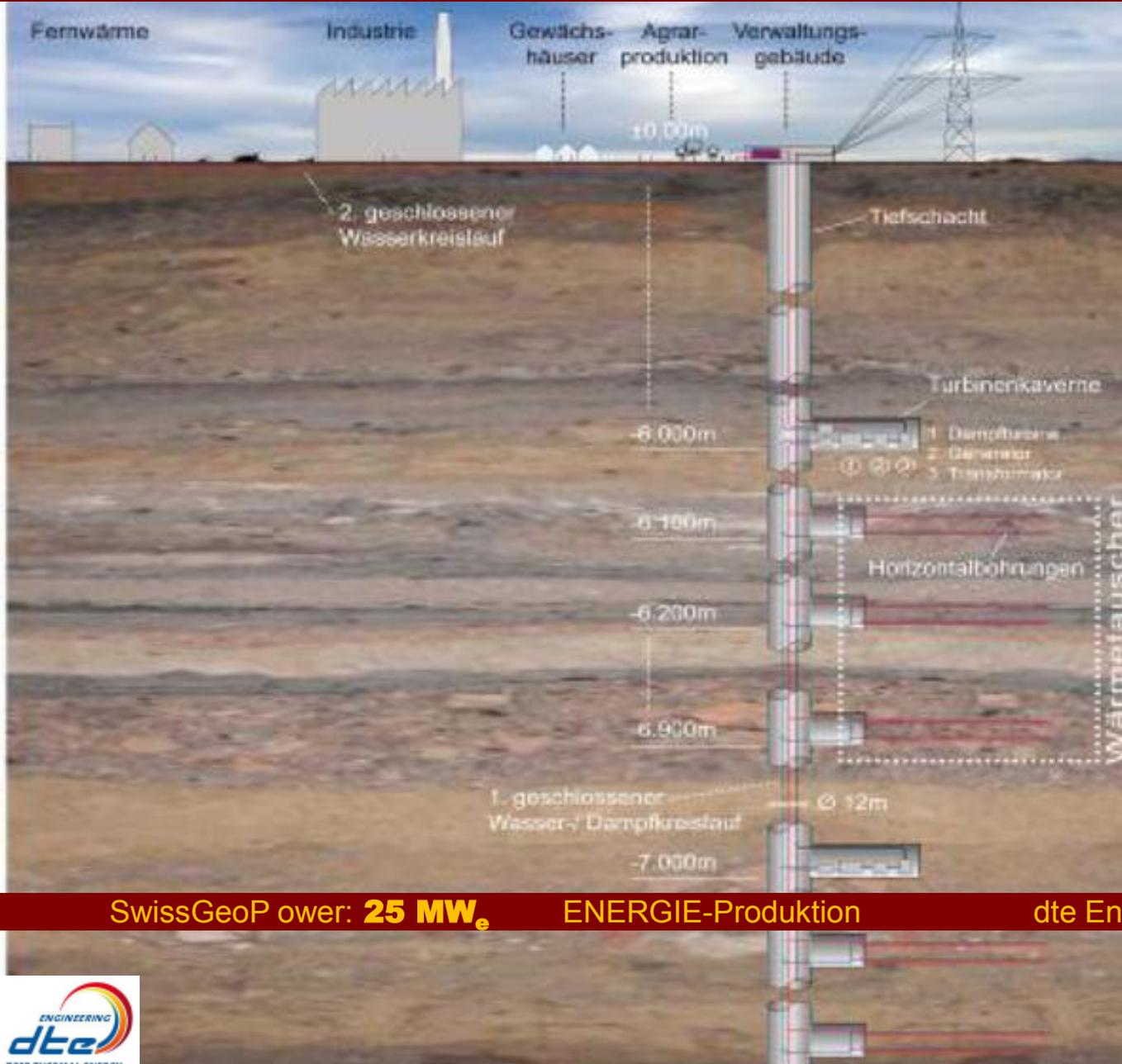
Triemli : **0.05 MW_{th}** (0.005 MW_e)

ENERGIE-Produktion

SwissGeoPower: **25 MW_e**

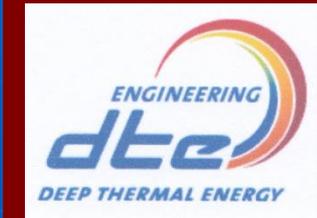
2.2.2 GESCHLOSSENE Petro-Geothermie

c) NATIONAL



VISION

dte Engineering AG



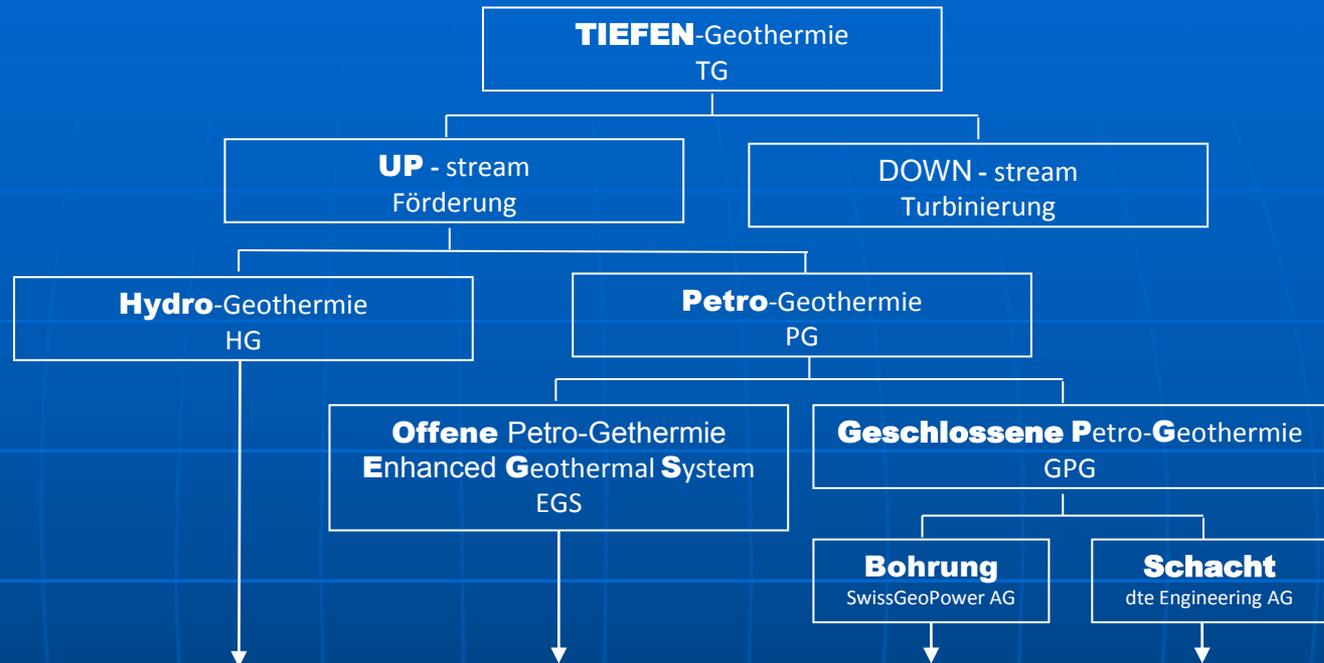
1000 MW_{elektr.}

SwissGeoPower: **25 MW_e**

ENERGIE-Produktion

dte Engineering : **1000 MW_e**

HIERARCHIE und CHARAKTERISTIKA der TIEFEN - Geothermie



CHARAKTERISTIKA :

1) Leistung (Mw_e , d.h. Strom) :	1 - 10	1 - 100	10 - 100	100 - 1000
2) Voraussetzung (Fündigkeits-Risiko) :	Perm.tät & Ergieb.keit	Brüche	keine	keine
3) Ortsunabhängig (ubiquitär) :	nein	nein	ja	ja
4) Machbarkeit (proof of concept) :	erbracht	erbracht	erbracht	noch nicht erbracht
5) Potential zur massgeblichen Kompensation der nicht erneuerbaren Primärenergien (nuklear & fossil) :	nein	(ja)	ja	ja

scheitert die so optimale **GPG Bohrung** nicht an der **Wirtschaftlichkeit ?**

WIRTSCHAFTLICHKEIT der SGP-Vision bedingt : BILLIGERES Bohren



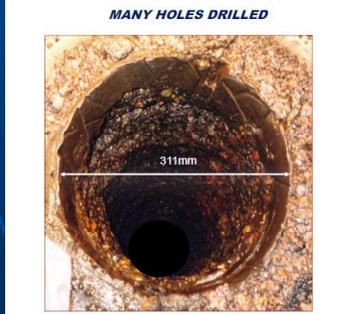
Spallation Drilling for Deep Heat Mining
 rothenfluh @ipe.mavt.ethz.ch, ETH Zurich
 July 2, 2007



2 FLAME-Jet-Spallation

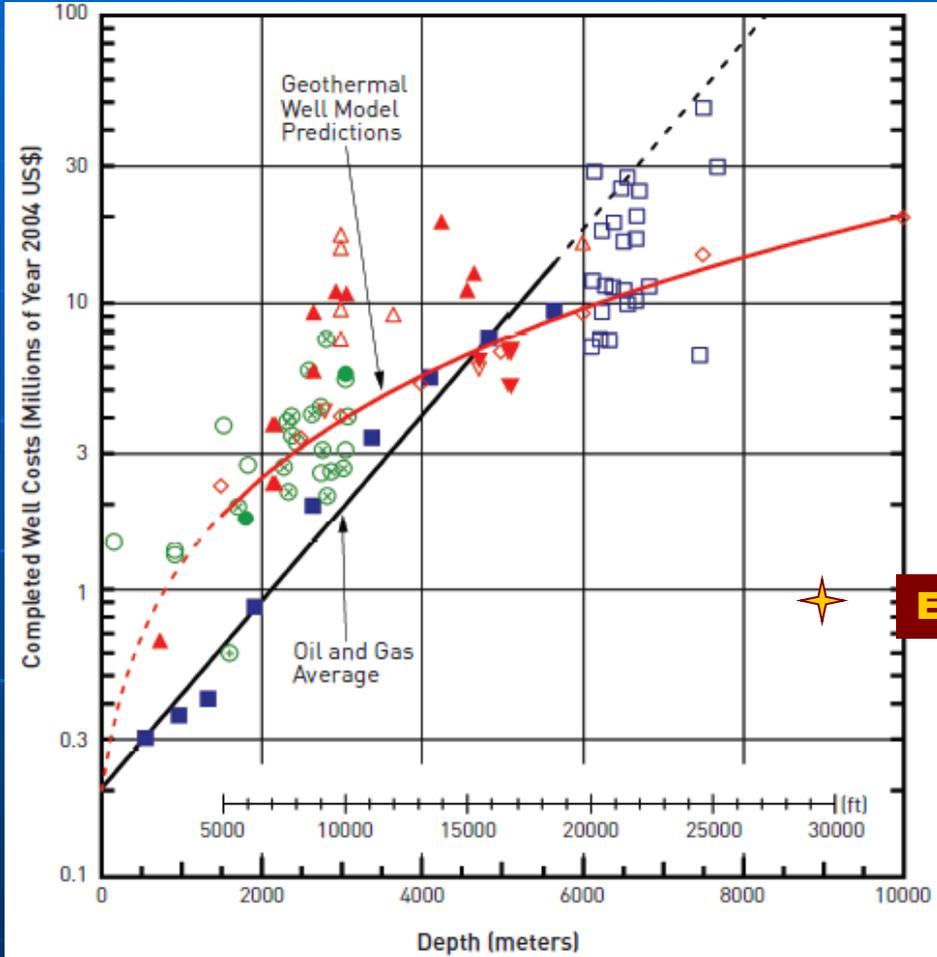
1 ROTARY - Conventional Drilling (Oil, Gas)

mind. € 2000 / m



3 ELECTRO-Puls-Boring (EPB)

gemäss
 Entwicklergruppe :
 € 100 / m



The Future of Geothermal Energy, Tester /MIT et al, 2006

Nachhaltigkeit : neben ökonomischer auch ökologische und soziale Verträglichkeit

ZUSAMMENFASSUNG

VISION 50•50•50 der SwissGeoPower AG (Folie 3) nutzt die **Tatsachen** :

- dass die **Erdkruste** ein **DAUERHAFT UNERSCHÖPFLICHES Energie - Vorkommen** unter **EIGENEM Grund und Boden, ubiquitär**, also **OHNE Fündigkeits-Risiko, weltweit**, zum **NULL - Tarif**, d.h. Ressourcen sind kostenlos, als **BAND - Energie**, denn die Energie steht jederzeit zur Verfügung , Tag und Nacht, das ganze Jahr .
- dass **VERSORGUNGS - SICHERHEIT**, weil **Unabhängigkeit**, d.h. Autarkie und Autonomie
- dass **ERNEUERBARKEIT**, wie auch **UMWELT – VERTRÄGLICHKEIT** (keine CO2- & Klima-Problematik)
- dass **KEINE SCHADSTOFFE**, also weder Verunreinigung noch Deponien oder Endlager
- dass **KEINE RISIKEN von Bedeutung**, weder ökonomische, noch ökologische oder soziale
- dass **GAU** (künstl. Geysir) **vernachlässigbar**, also auch versicherbar (im Gegensatz zu AKWs)
- dass **NIEDRIGSTE Produktionskosten**, vor allem, wenn Vollkosten-Rechnung
- dass **KEIN Devisen – Export** und **KEINE Netz – Ausbau - Notwendigkeit**
- dass **MASSGEBLICHER Beitrag** im **Mix** einer **nachhaltigen Energie-Versorgung** der Schweiz
- dass **MEHRHEITSFÄHIGKEIT**, weil gesellschaftliche Akzeptanz

nun noch die **Schlussfolgerung** bezüglich **ENERGIEWENDE**

ENERGIE hat die Menschheit im **Überfluss** :

seit **150 Jahren** als **OEL** in **2 km** Tiefe

heute als **ERDWÄRME** in **10 km** Tiefe
mit dem enormen Vorteil, einer **nachhaltigen Energieform**

Wir müssen nur lernen,
diese Energie nachhaltig zu fördern
durch

BILLIGERE Bohr-Verfahren

Dann aber gilt :

ENERGIEWENDE ist mittels Technik UMSETZBAR

Yes, we can

Let's do it