

# Energieversorgung

## Regenerative Energien



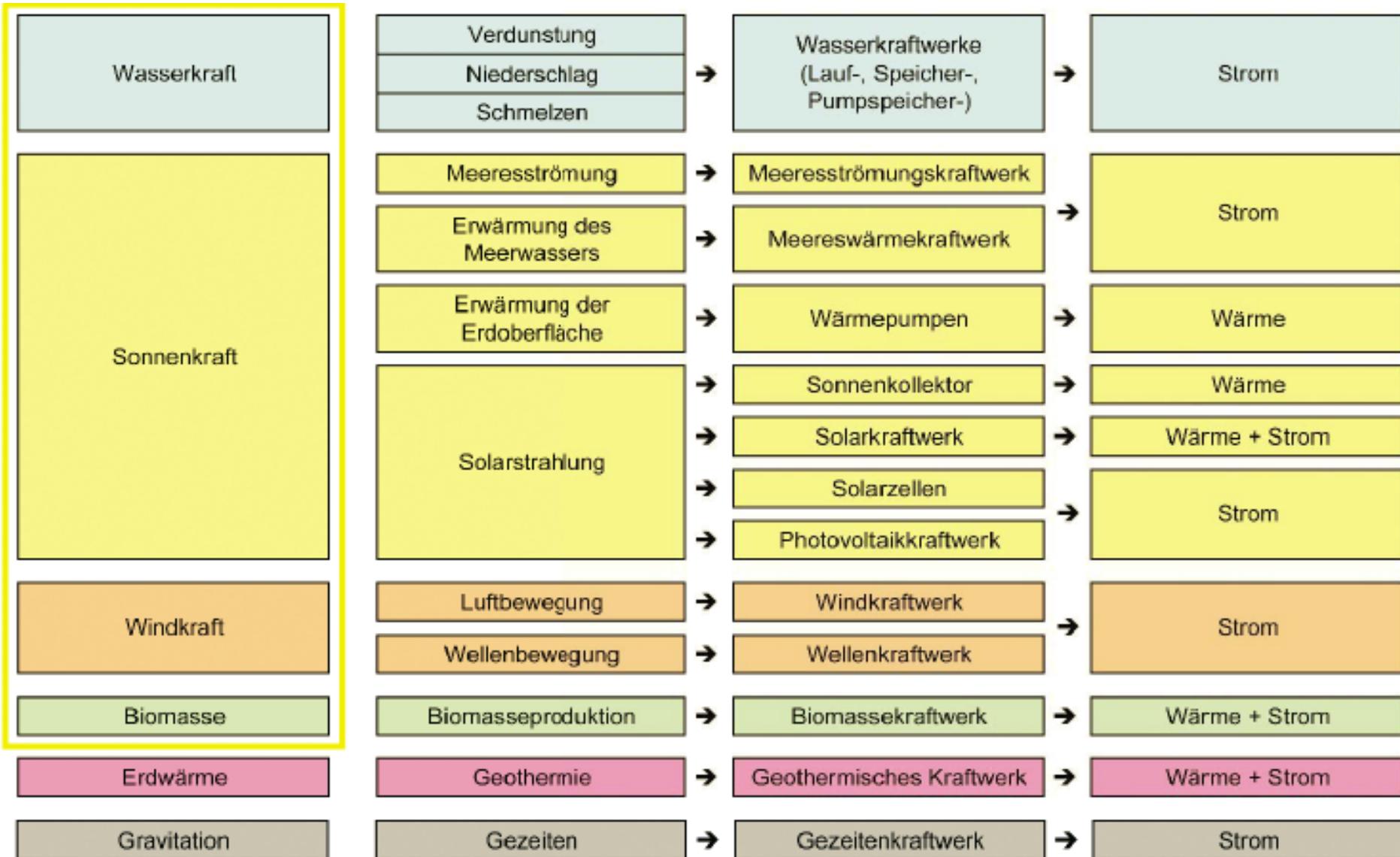
# Regenerative Energien

Energieart

Prozess

Kraftwerkstyp

Energieform



# Regenerative Energien

erneuerbaren Energien und deren technische Nutzungsarten treten immer stärker in den Vordergrund (Energiewende)

erneuerbaren Energien (Wasser, Sonne, Wind, Biomasse) leiten sich direkt aus der Sonnenstrahlung ab (erst durch Sonneneinstrahlung wird der hydrologische Kreislauf in Gang gehalten)

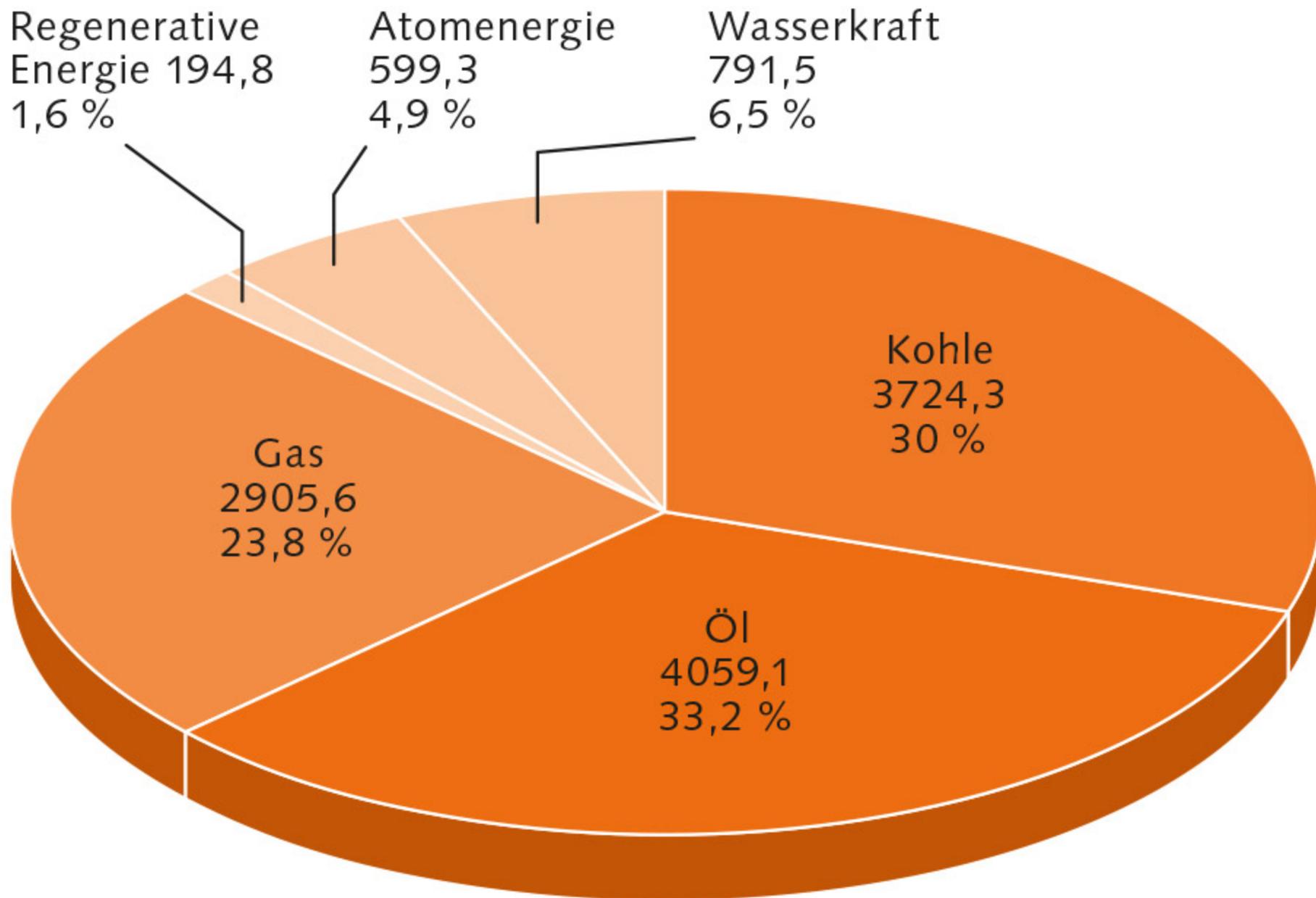
# Energieversorgung

## Geothermie

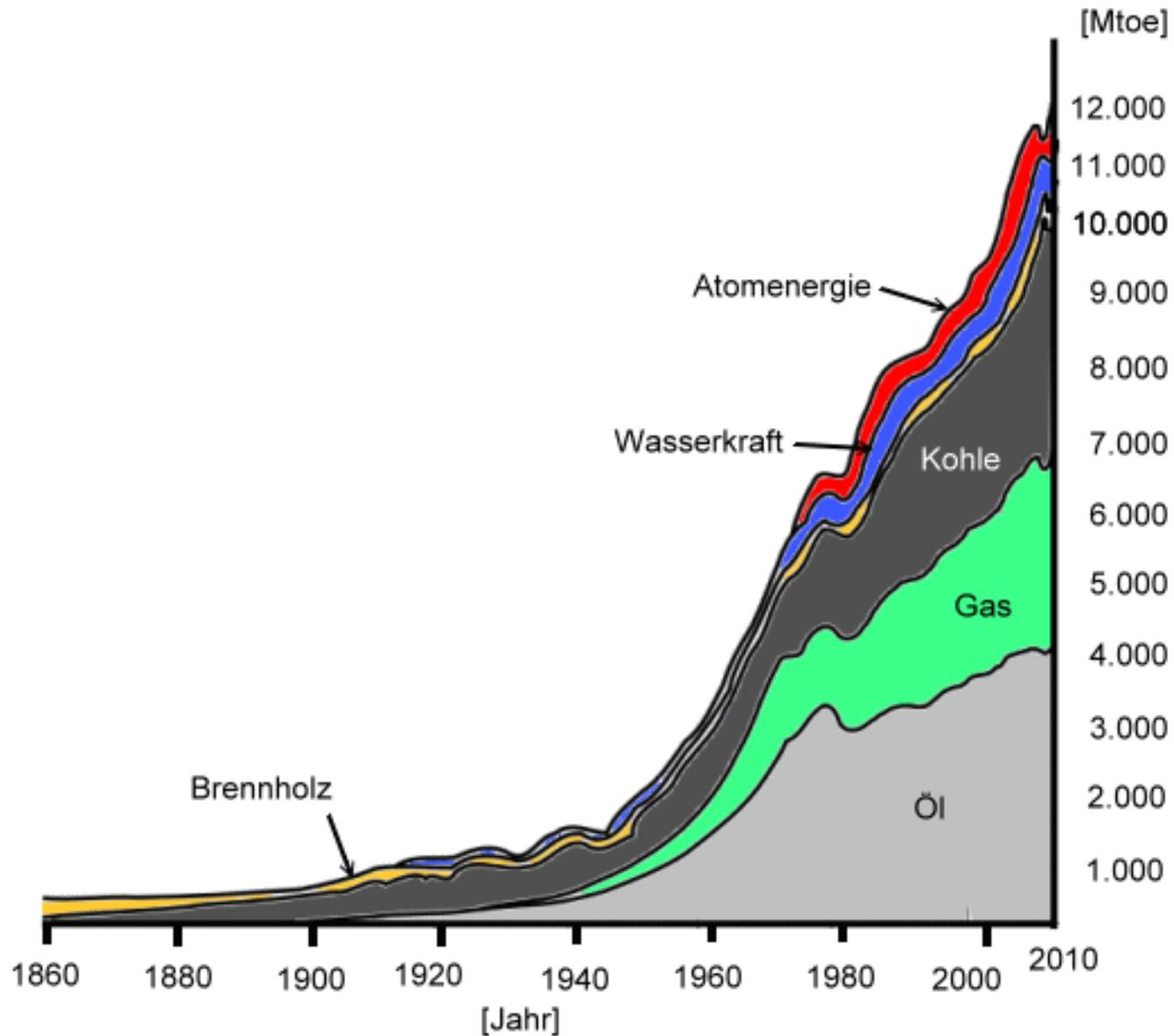
Island: 60 % der **Primärenergie** kommt aus Erdwärme (2009)  
100 % des Strombedarfs aus Erdwärme & Wasserkraft



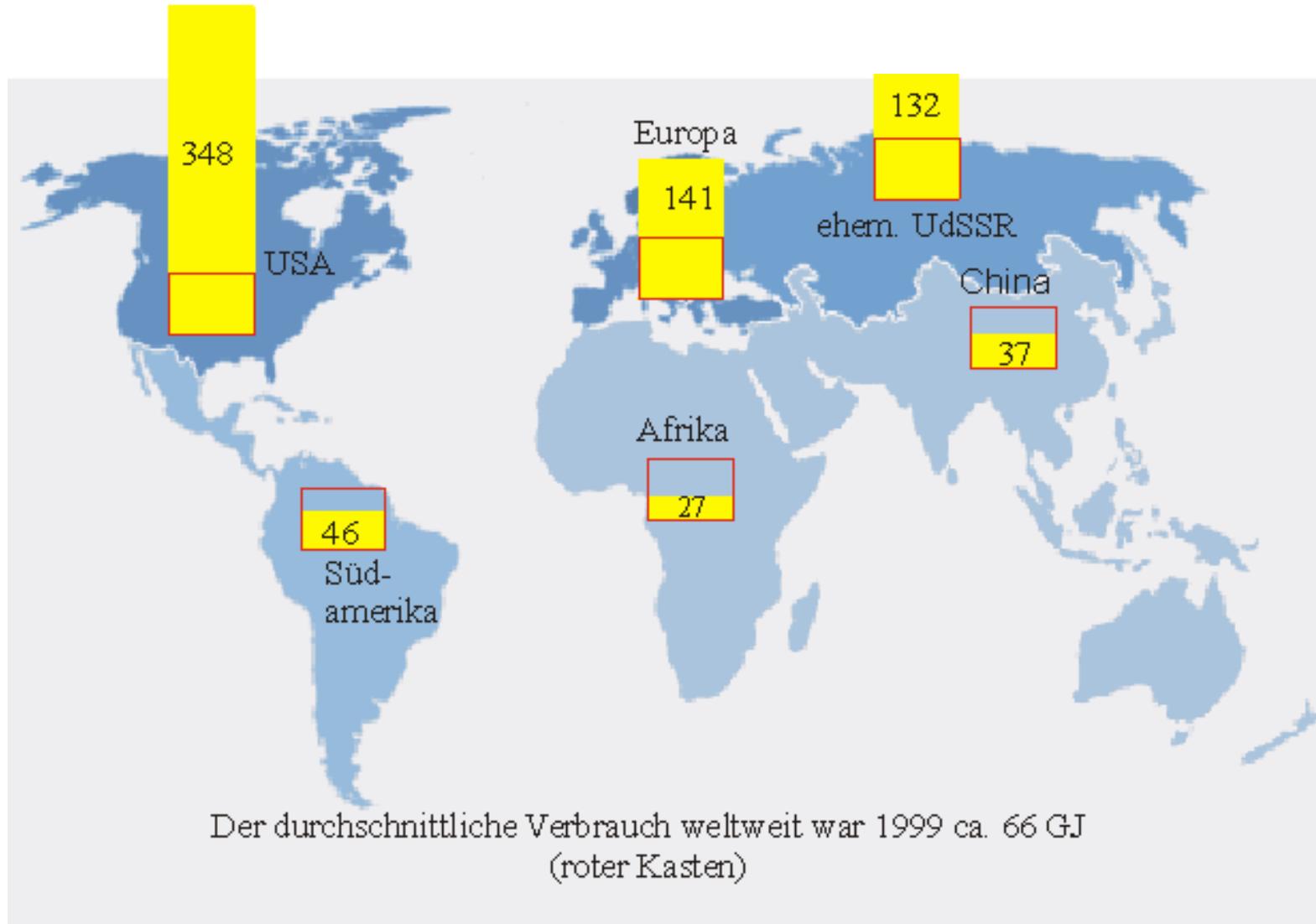
# Weltweiter Primärenergieverbrauch aufgeteilt nach Energiequellen



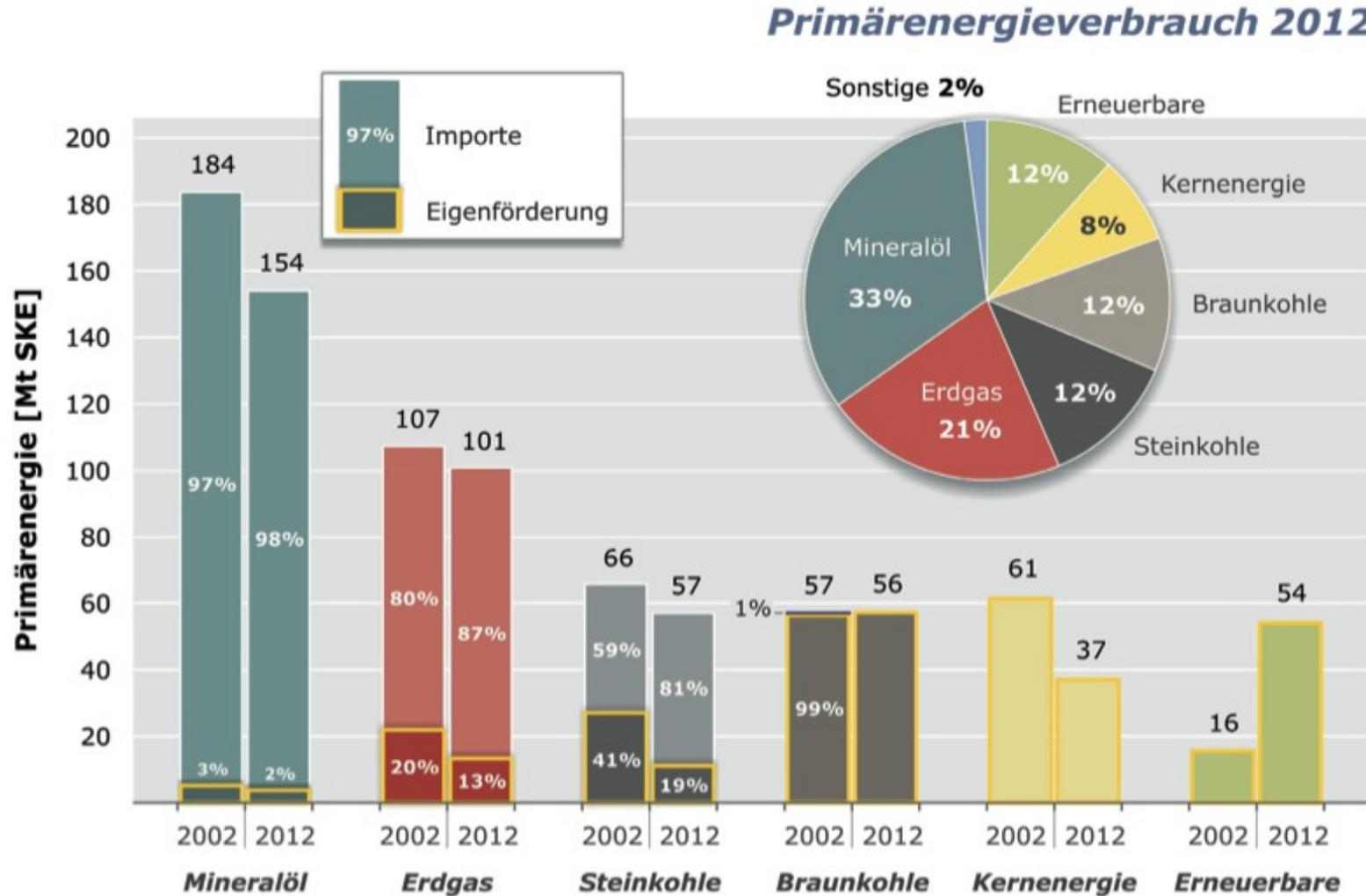
# Entwicklung des weltweiten Primärenergieverbrauchs



# Primärenergieverbrauch pro Kopf in GJoule



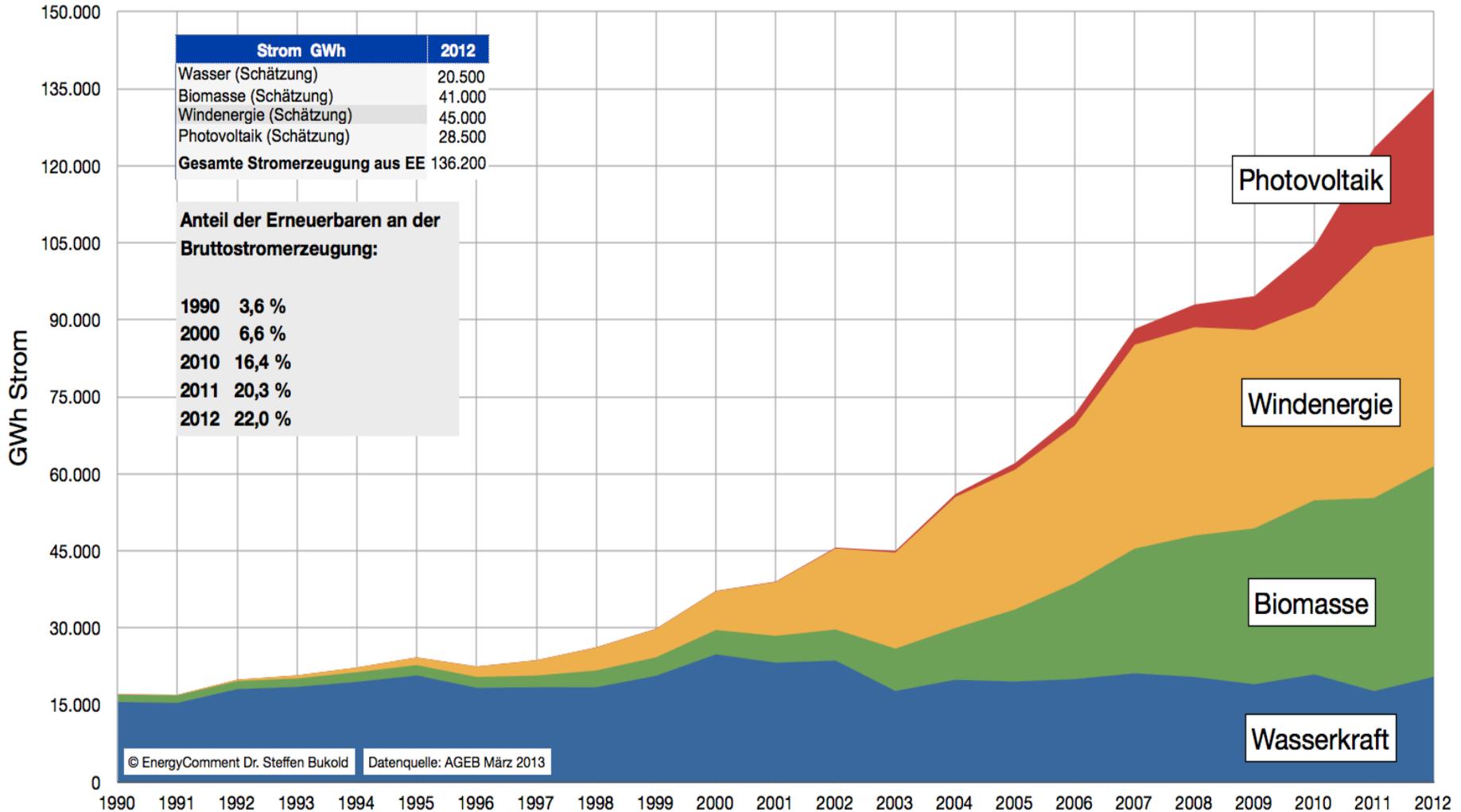
# Primärenergieverbrauch Deutschland 2002 & 2012



**Abb. 3:** Vergleich des Einsatzes der Primärenergieträger und des Verhältnisses der Eigenversorgung und des Importanteils 2002 und 2012 für Deutschland sowie relative Anteile für 2012 (nach AGE B 2013, LBEG 2013).

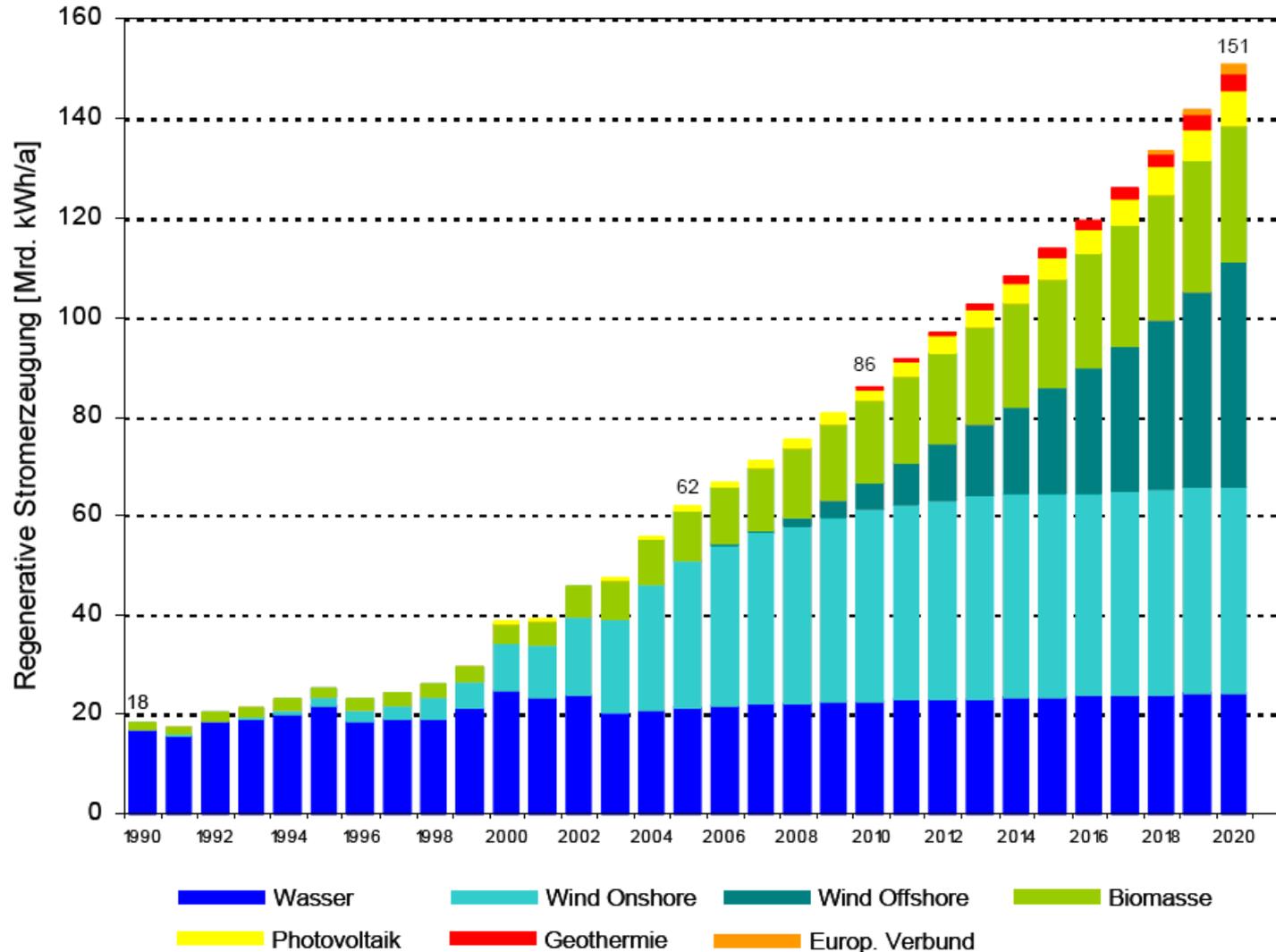
# Erneuerbare Energien

## Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien 1990-2012



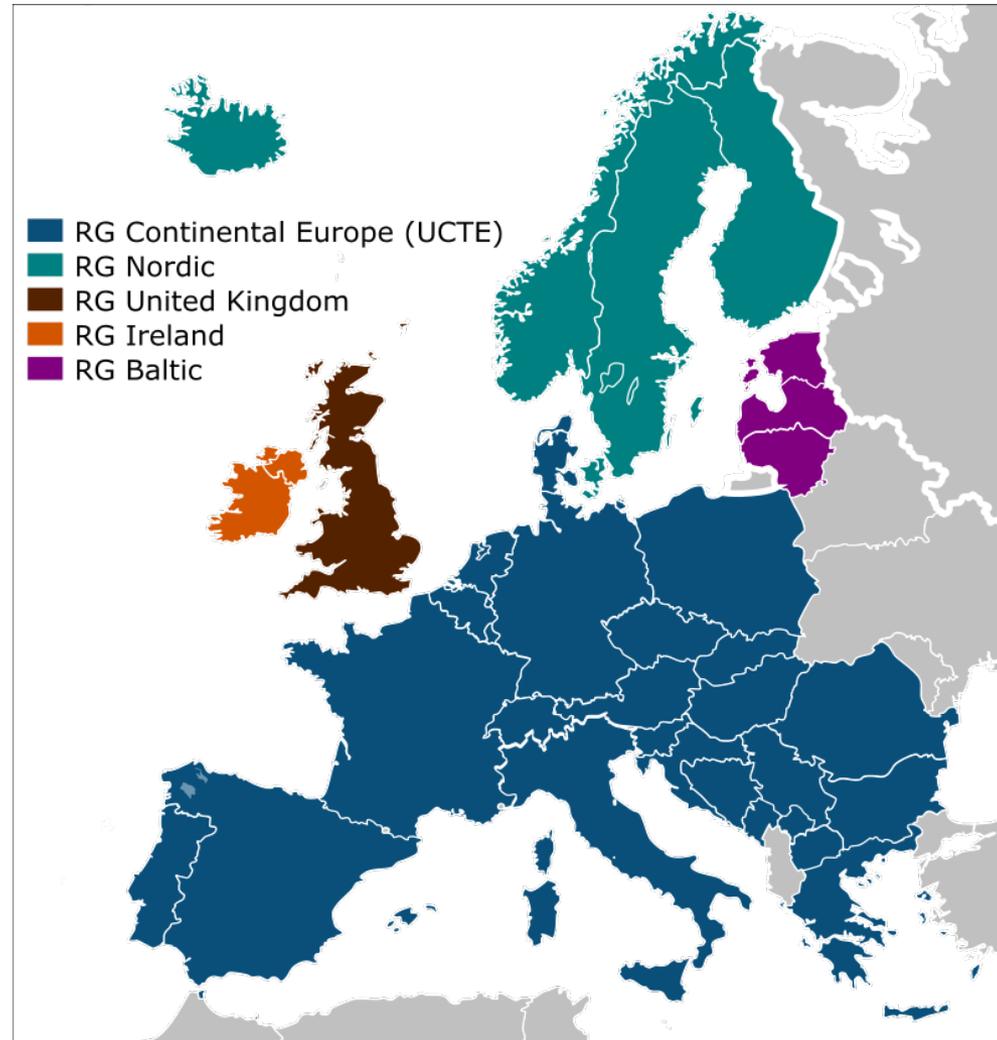
# Erneuerbare Energien

## Entwicklung Erneuerbarer Energien in Deutschland



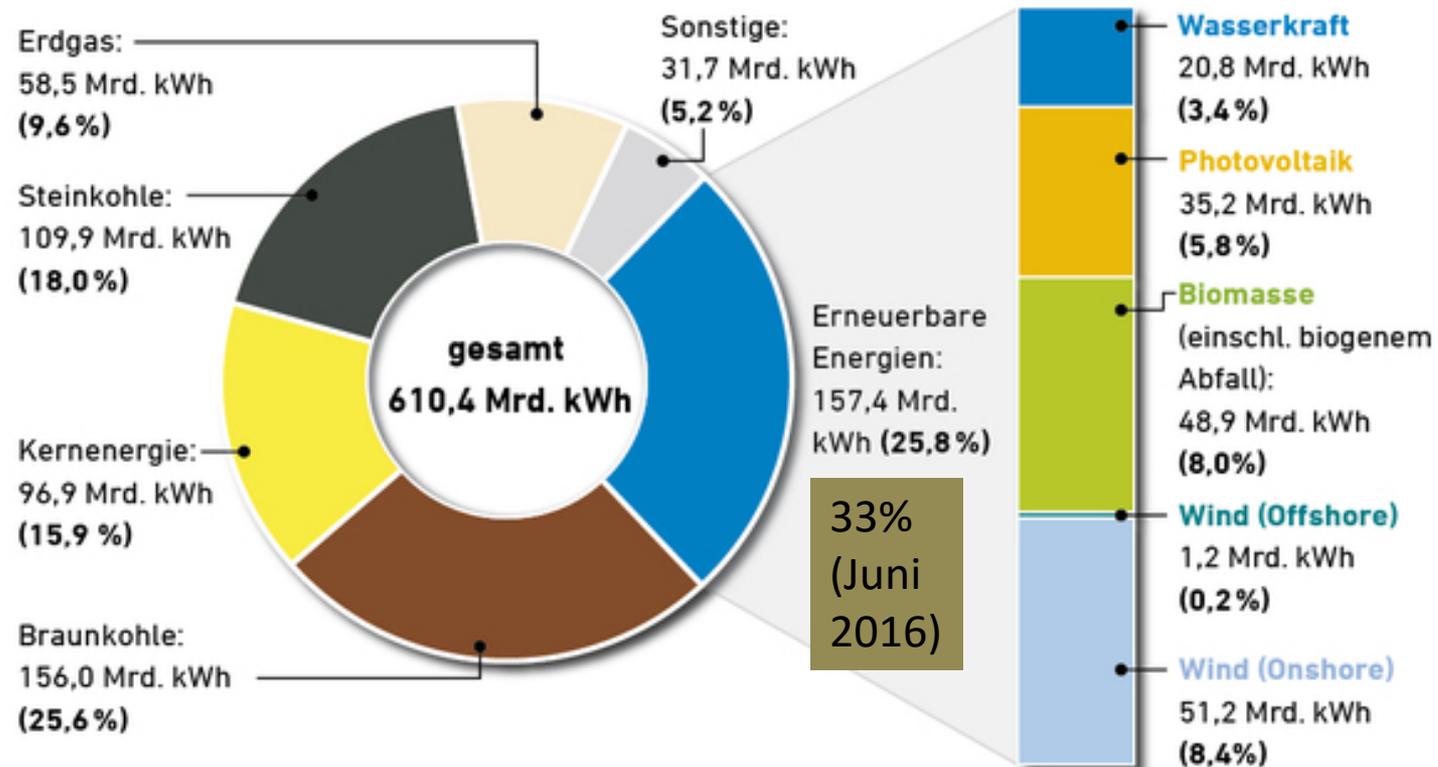
# Das europäische Verbundsystem (EV)

Im EV arbeiten alle Stromerzeuger synchron, also mit identischer Netzfrequenz und entsprechender Phasenlage. Dadurch können sie über Umspannwerke direkt elektrisch zusammengeschaltet werden



# Der Strommix in Deutschland im Jahr 2014

Mit 157 Milliarden Kilowattstunden lieferten Erneuerbare Energien mehr als ein Viertel der deutschen Bruttostromerzeugung. Zusammen hatten sie damit erstmals den größten Anteil im Vergleich zu den einzelnen anderen Energieträgern. Ihr Anteil am Bruttostromverbrauch betrug 27,3%.



33%  
(Juni 2016)

# Wasserkraft

## vom Wasserrad zur Turbine

....es klappert die Mühle.....



Urform der  
Wasserkraftmaschine

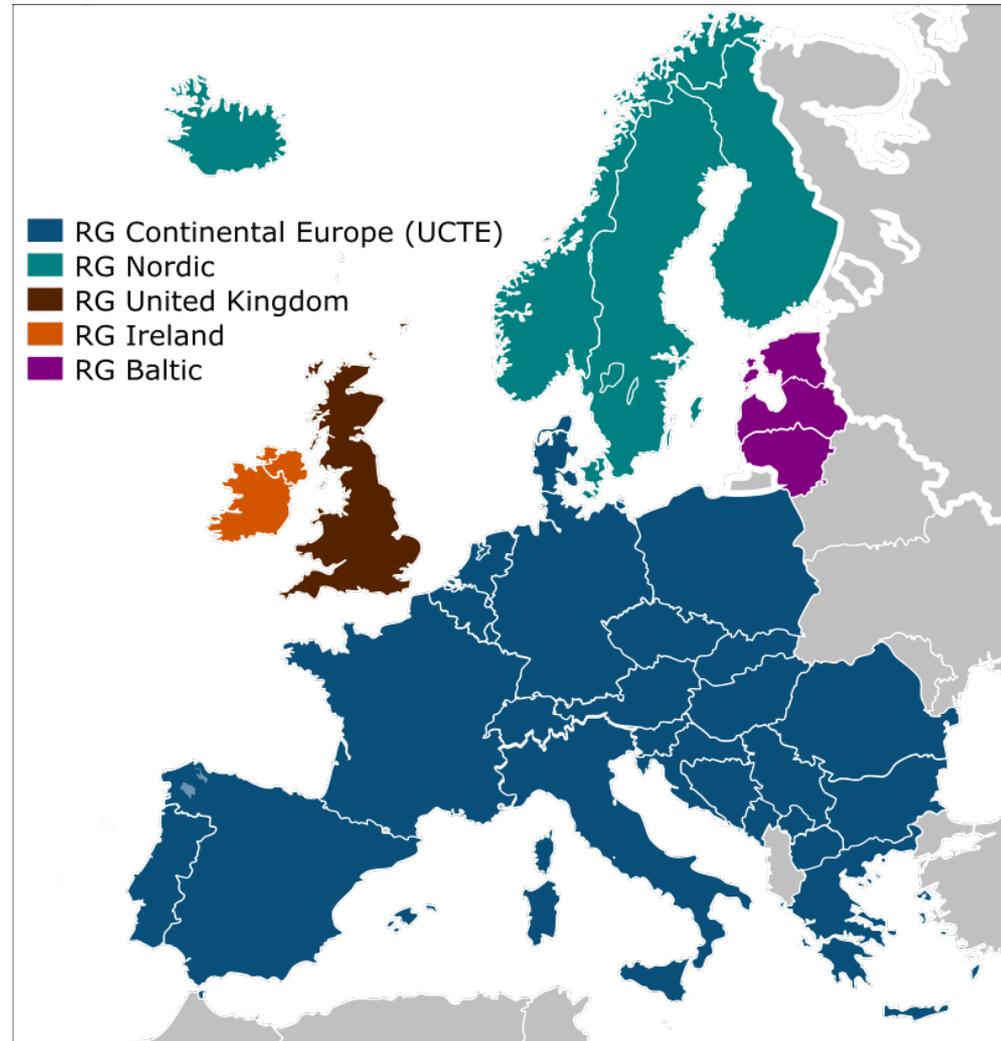
Pelton Wasserturbine

.... wurde erst 1890 erfunden



# Das europäische Verbundsystem (EV)

Im EV arbeiten alle Stromerzeuger synchron, also mit identischer Netzfrequenz und entsprechender Phasenlage. Dadurch können sie über Umspannwerke direkt elektrisch zusammengeschaltet werden



# Wasserkraft

## Energieleistung

### Leistungsformel:

$$P = g \times p \times \eta \times Q \times h \text{ [kW]}$$

P = Leistung in kW

g = Gravitationskonstante in  $\text{m/s}^2$

p = Dichte Wasser in  $\text{kg/m}^3$

$\eta$  = Wirkungsgrad in %

Q = Durchfluss in  $\text{m}^3/\text{s}$

H = Nettofallhöhe in m

$$g \times p \times \eta \approx 7 \text{ kN / m}^3$$

Für die Leistung P gilt:

$$\text{Formel: } P = Q \times h \times 7 \text{ kN / m}^3$$

### Rechenbeispiel:

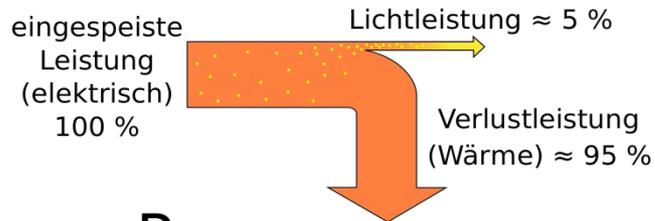
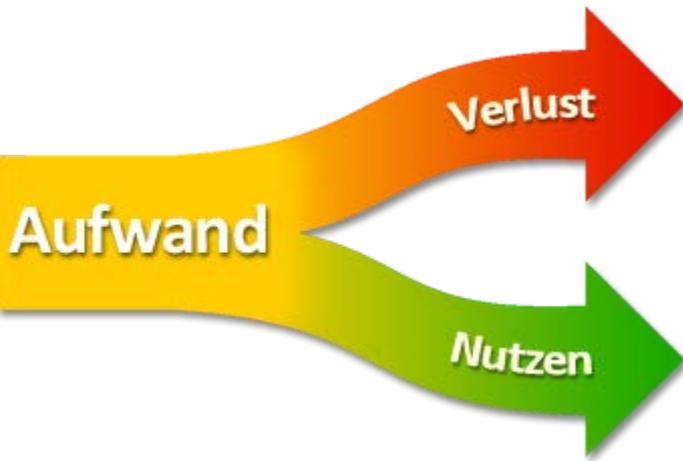
Über die Turbine eines Speicherkraftwerks mit einer Fallhöhe von 100 m strömen pro Sekunde  $3 \text{ m}^3$  Wasser.

Damit ergibt sich eine Leistung von:

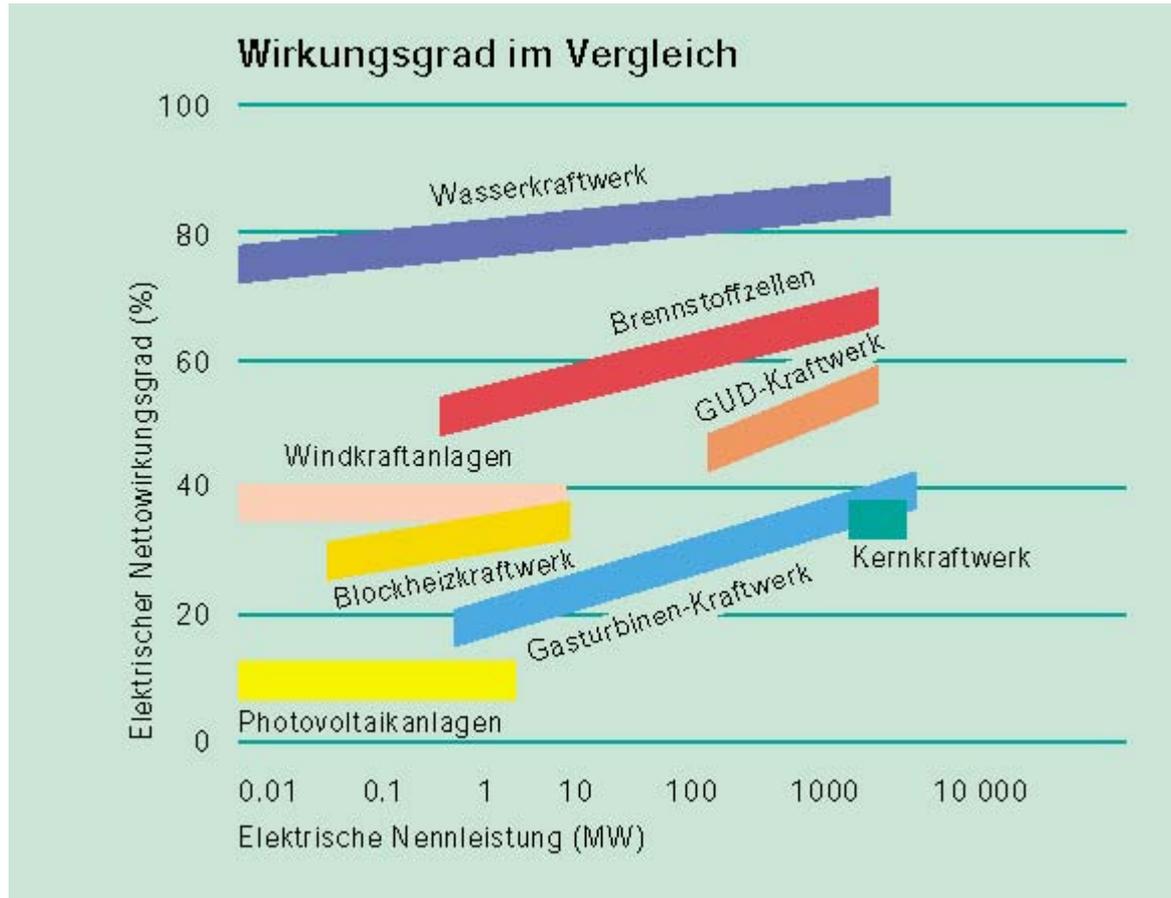
$$P = 3 \text{ m}^3/\text{s} \times 100 \text{ m} \times 7 \text{ kN/m}^3$$

$$\rightarrow 2.100 \text{ kW (2,1 MW)}$$

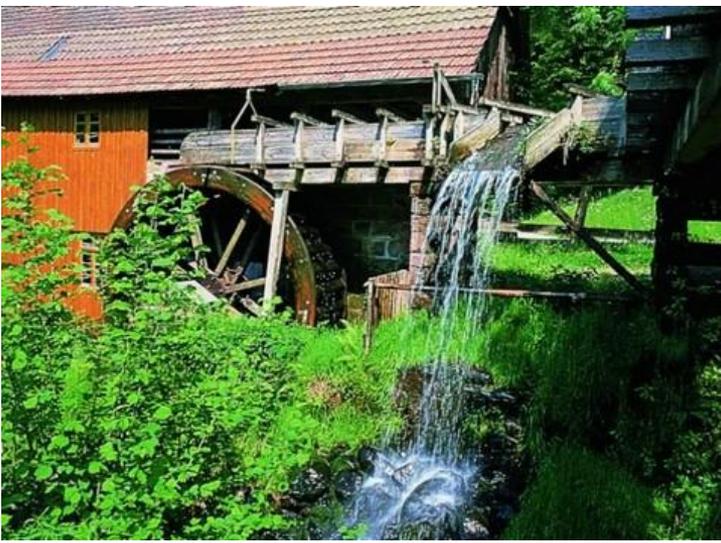
# Wasserkraft - Wirkungsgrad



$$\eta = \frac{P_{\text{Nutzen}}}{P_{\text{Aufwand}}} \approx 5 \%$$



# Wasserkraft



**Gallus-Säge,  
Oberharmersbach, Schwarzwald**



## Itaipu

deckte c. 78% des Strombedarfs Paraguays und 25% des Bedarfs in Brasilien (Stand 1995)

**12 600 MW**

# Wasserkraft

Drei-Schluchten-Staudamm am Jangtse in China

22 500 MW



# Wasserkraft

Niederdruckanlagen bzw. Laufwasserkraftwerke

Hochdruckanlagen

Pumpspeicherkraftwerke

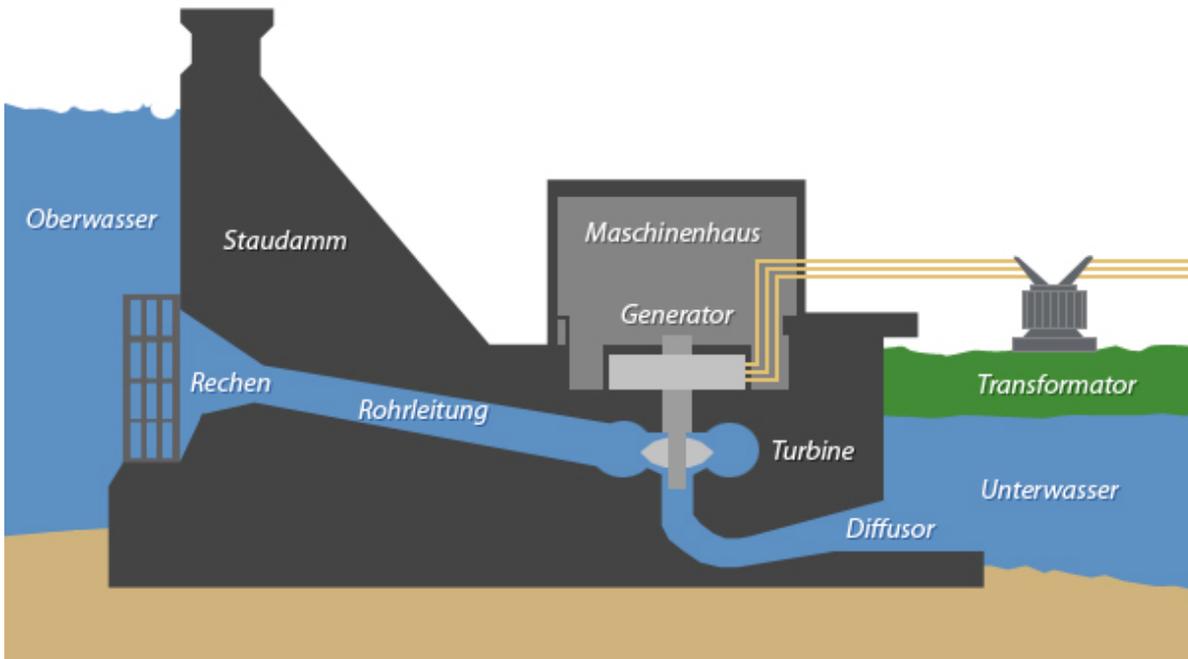
Gezeitenkraftwerke

Wellenkraftwerke

Gletscherkraftwerke

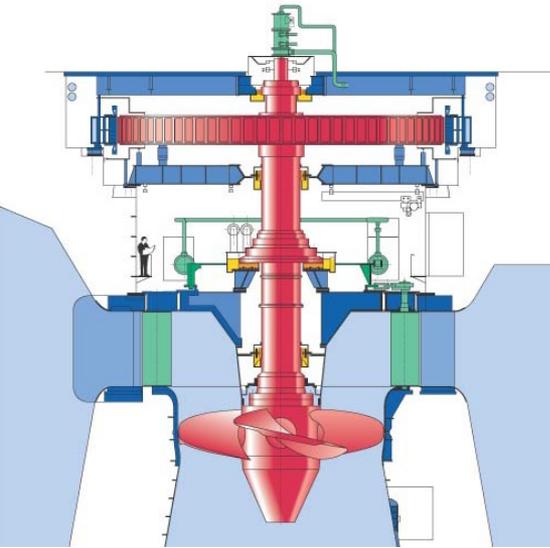
# Wasserkraft

Funktionsweise eines Wasserkraftwerks



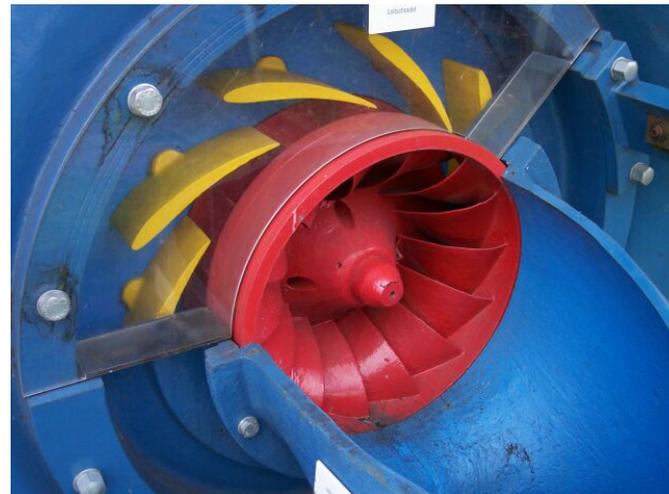
# Wasserkraft

## Turbinentypen



axial angeströmte  
Turbine mit  
verstellbarem  
Laufwerk;  
gleich einem  
Schiffspropeller

Kaplan-Turbine

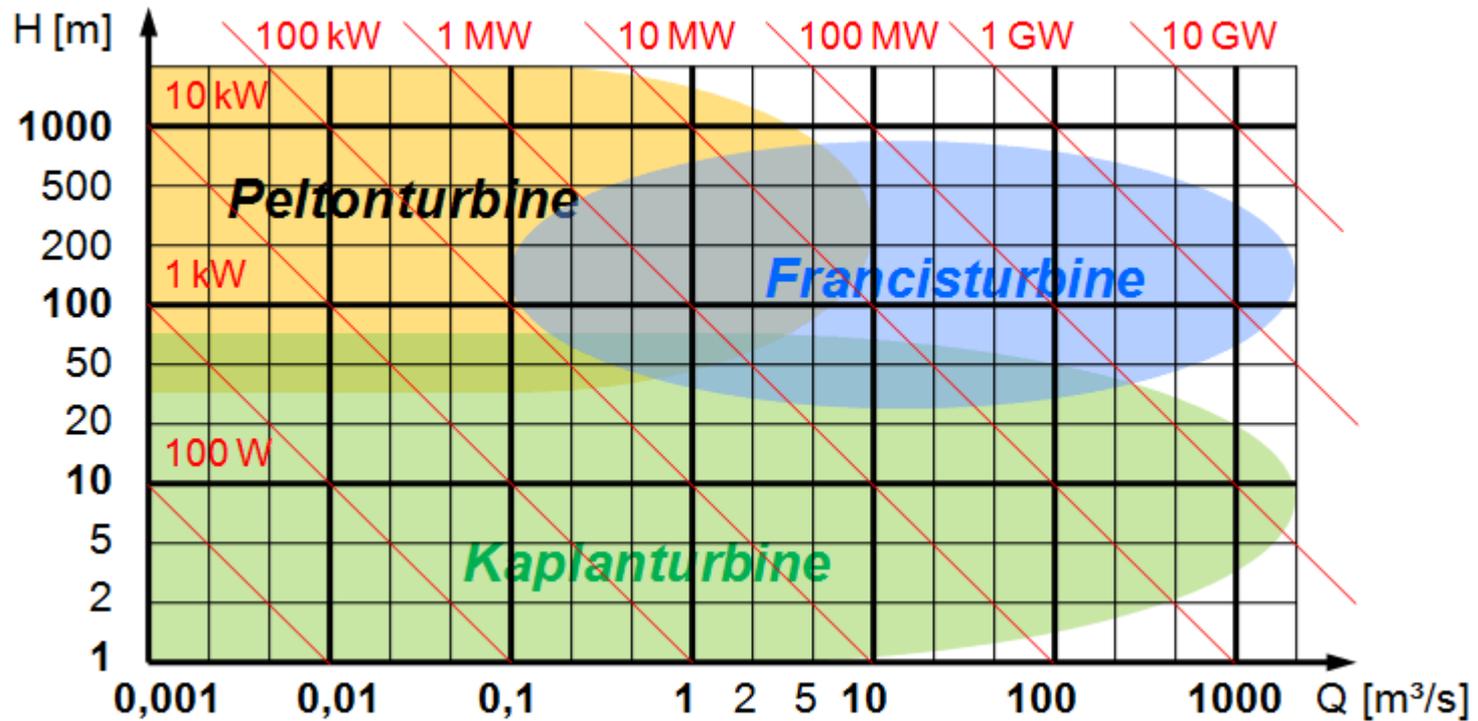


Francis-Turbine

bei mittleren bis hohen  
Fallhöhen des Wassers

# Wasserkraft

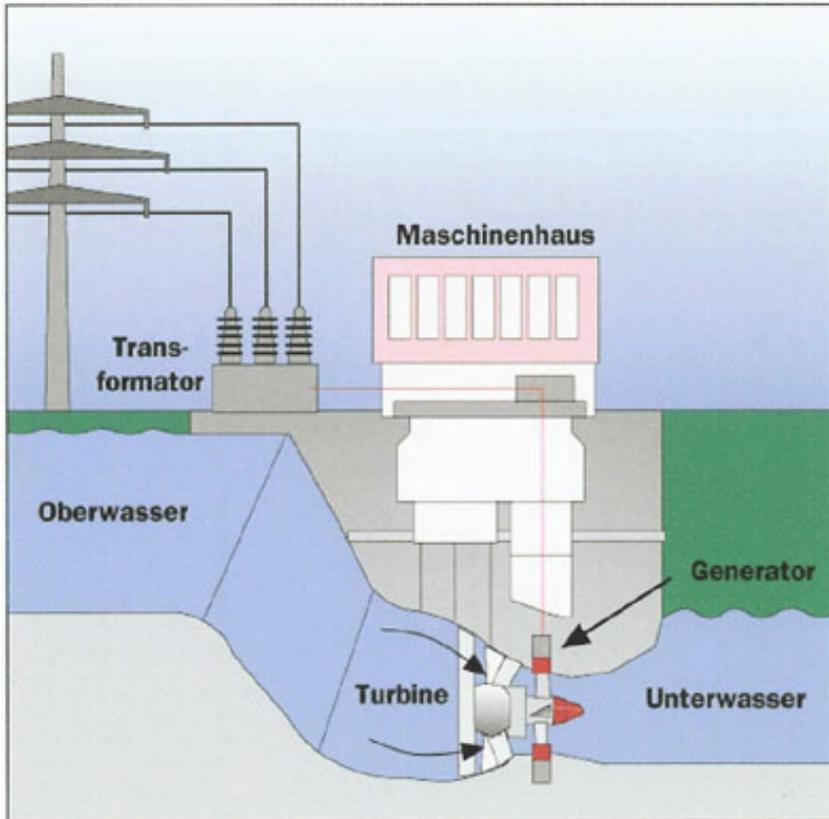
## Turbinentypen



# Wasserkraft

## Niederdruckanlagen, Laufkraftwerke

Standorte: langsame Fließgewässer



Niederdruckkraftwerk Bremgarten-Zufikon, Schweiz

# Wasserkraft

## Laufkraftwerke – Sedimenthaushalt



# Wasserkraft

## Laufkraftwerke – Sedimenthaushalt



### **Kali Gandaki Kraftwerk, Nepal**

Kali Gandaki führt sehr viele Sedimente mit sich

Entsandung mittels eines Absetzbeckens

Die Einlaufvorrichtungen zu den Absetzbecken funktionieren aber nicht so wie geplant

erhöhten Verschleiß an den Turbinen

# Wasserkraft

## Laufkraftwerke – Kolmation

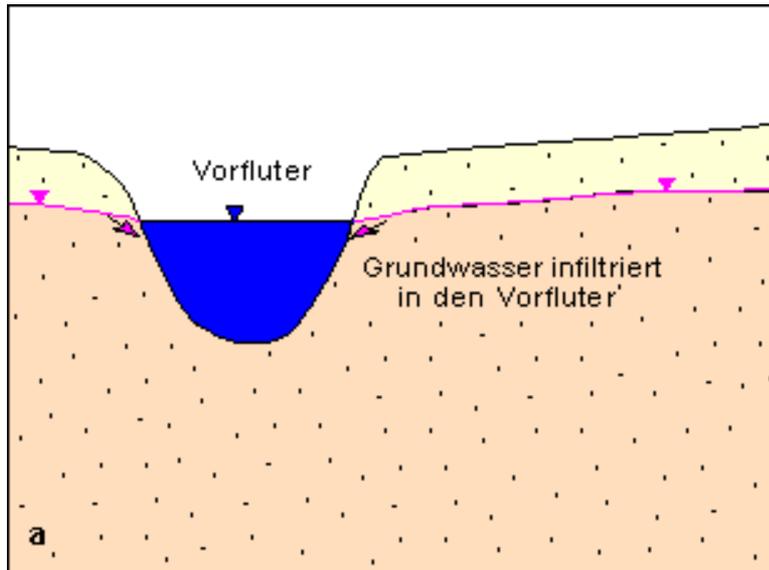
Verringerung der Durchlässigkeit des Flussbetts durch den Aufstau  
Entkoppelung vom Grundwasserkörper



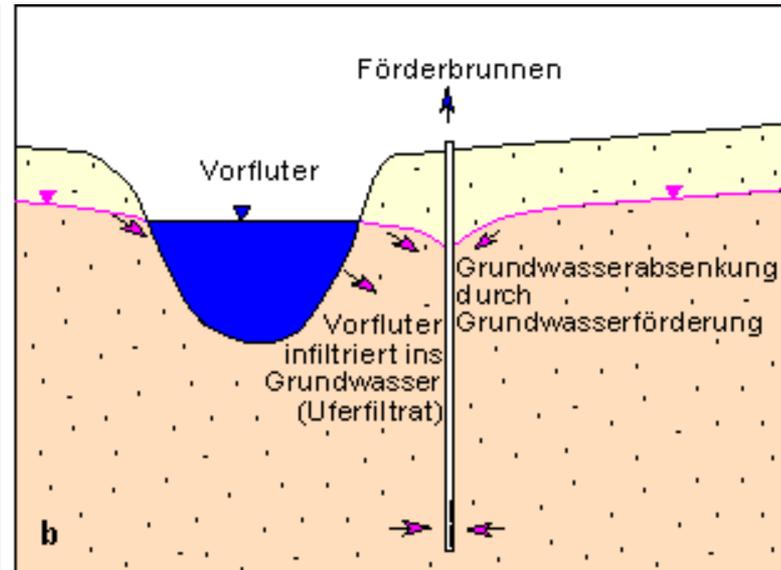
# Wasserkraft

## Laufkraftwerke – Beeinflussung des Grundwasserregimes

Effluenz



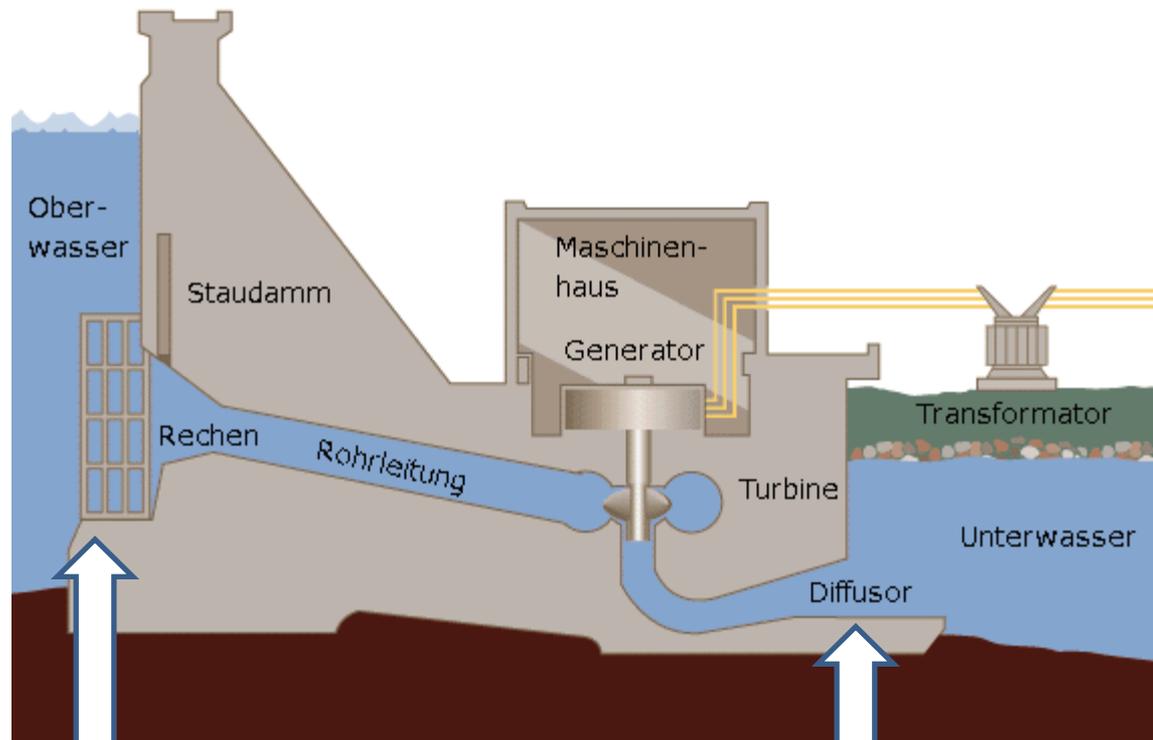
Influenz



# Wasserkraft

Mitteldruckanlagen (Fallhöhe < 50 m)

Hochdruckanlagen (Fallhöhe > 50 m)

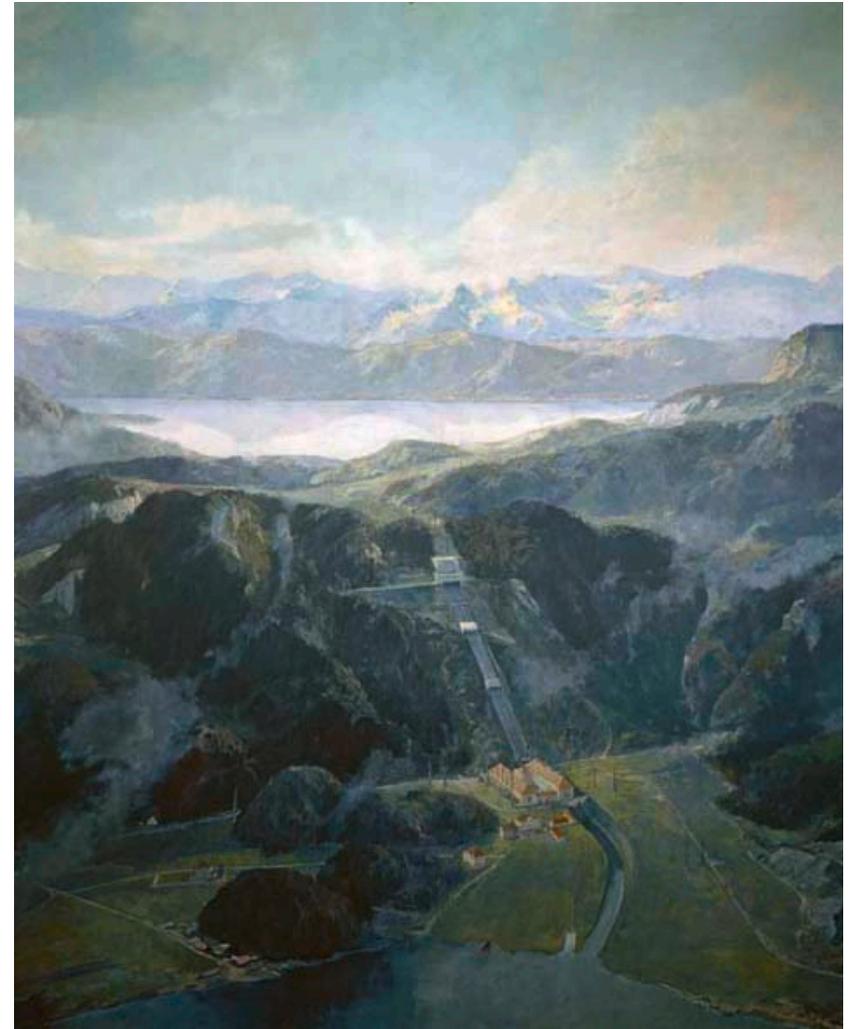


Geschiebefang, eventuell Sandfang  
(Turbinenverschleiß)

das abströmende Wasser wird  
reibungssarm abgebremst

# Wasserkraft

## Hochdruckspeicherkraftwerk Walchensee/Kochelsee

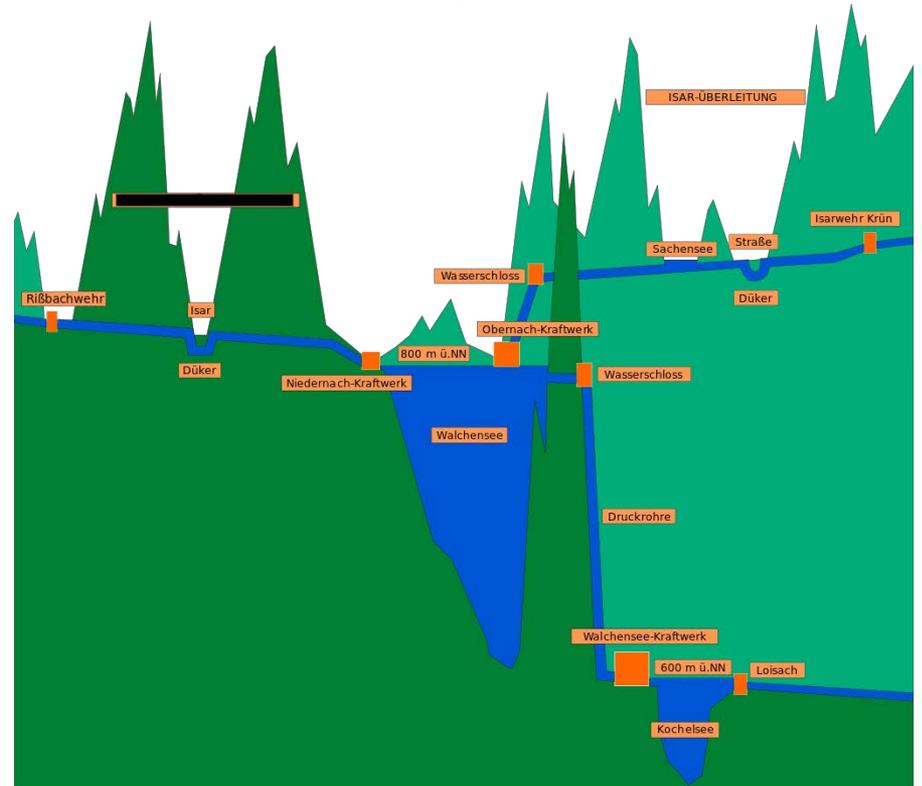


# Wasserkraft

## Hochdruckspeicherwerk Walchensee/Kochelsee



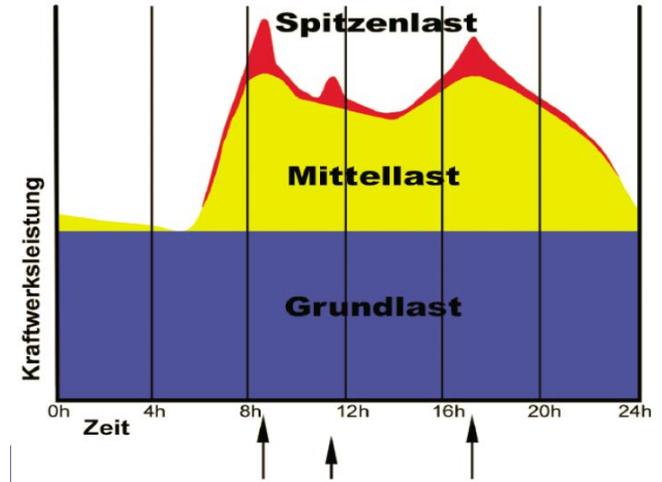
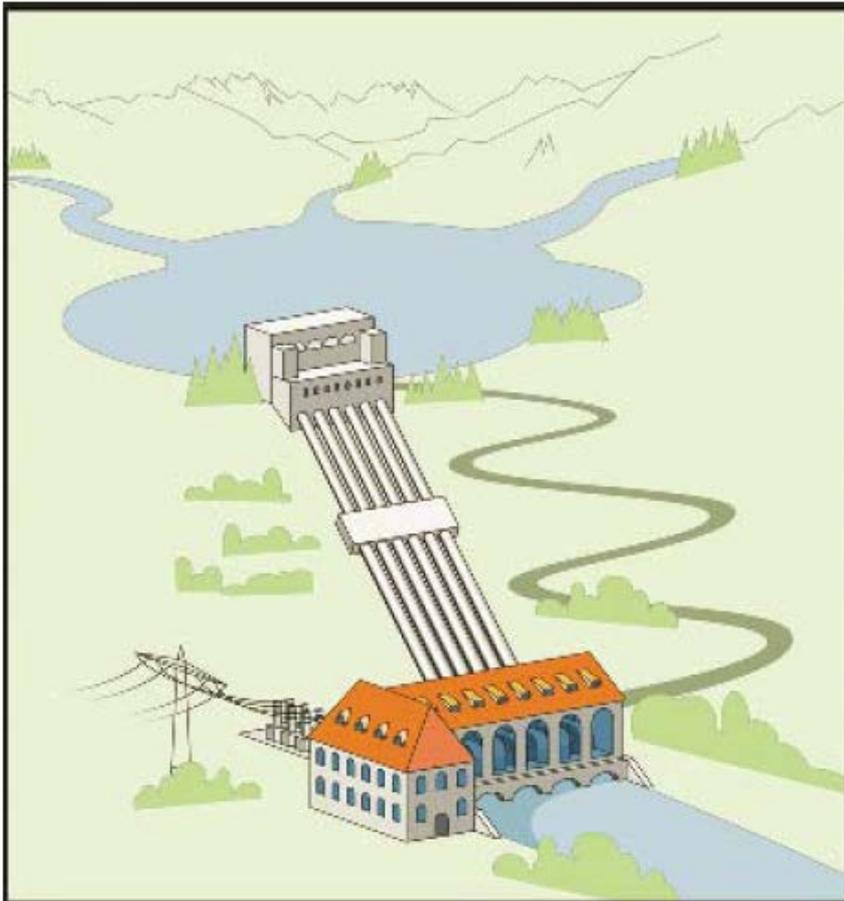
## Rißbach Überleitung



# Wasserkraft

## Pumpspeicherkraftwerke

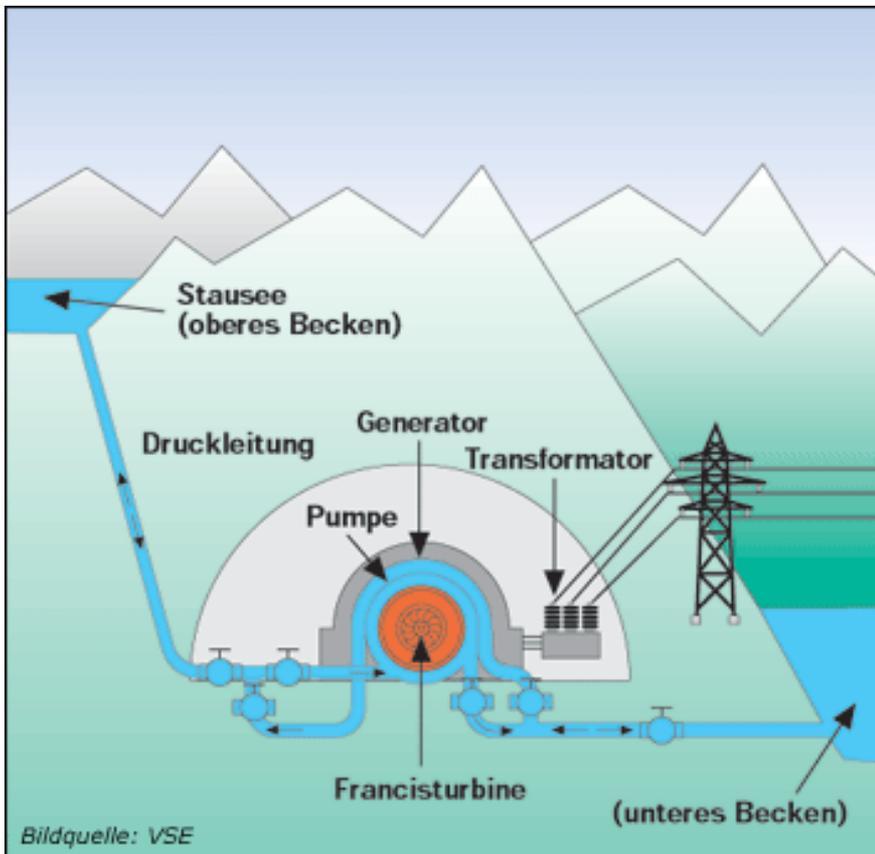
Strom lässt sich im Gegensatz zu Wasser nicht speichern aber „zwischenlagern“



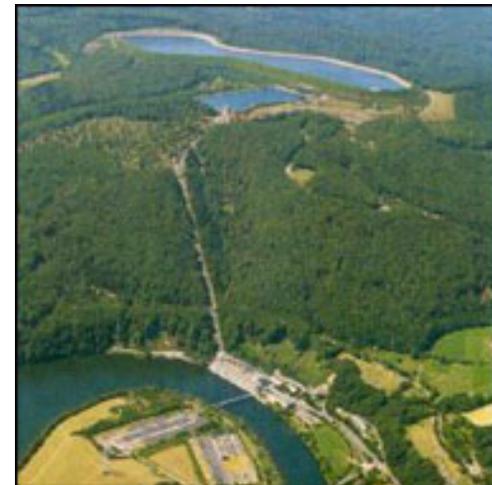
Wasser – und damit Energie – kann in einem höher gelegenen Becken gespeichert werden. Wenn zu viel Strom da ist (nachts), befördern elektrisch betriebene Pumpen See- oder Flusswasser in das Speicherbecken. Ist zu wenig Strom da, werden die Schleusen des Speicherbeckens geöffnet und Strom erzeugt

# Wasserkraft

## Pumpspeicherkraftwerke

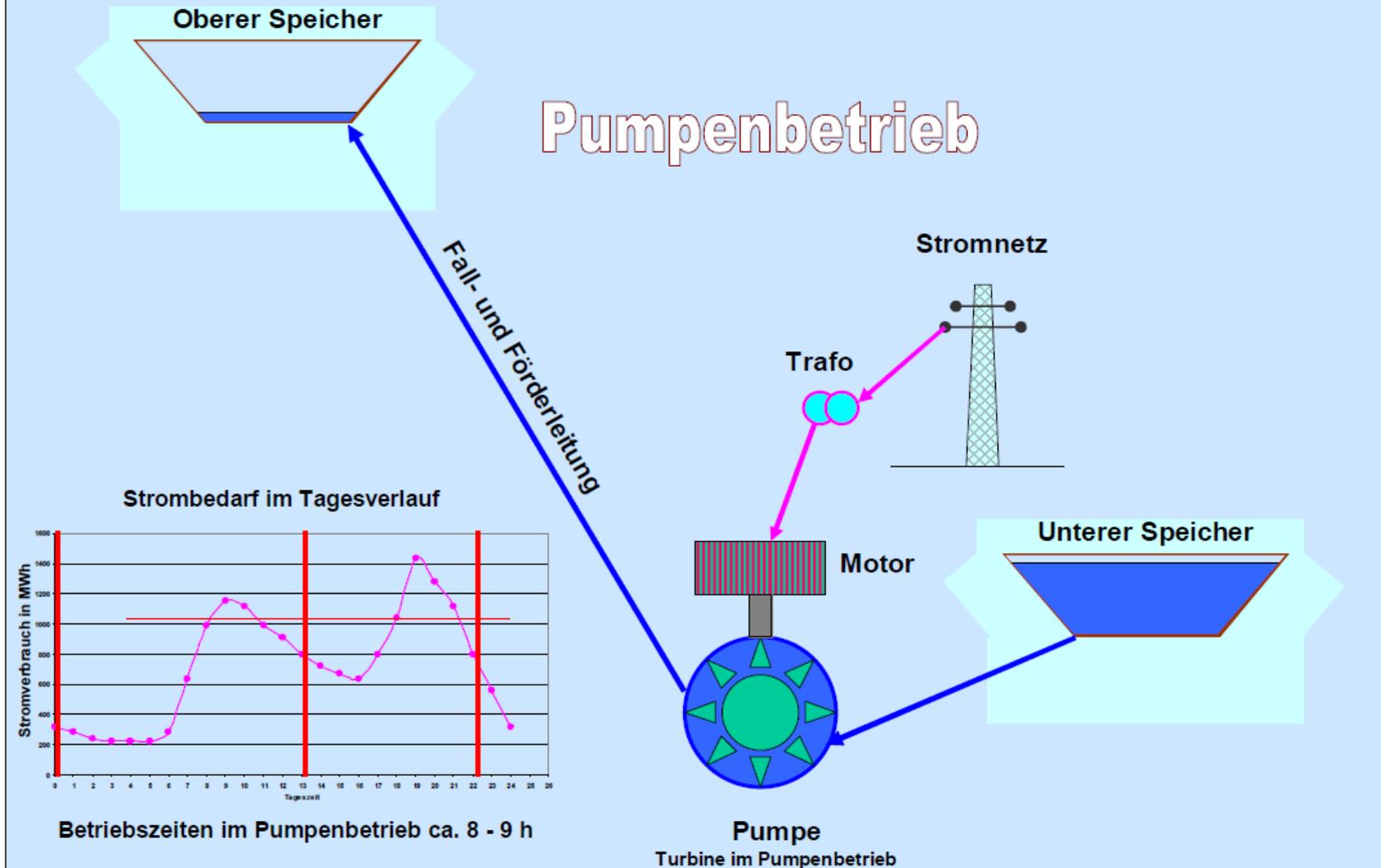


Pumpspeicherwerk  
Waldeck



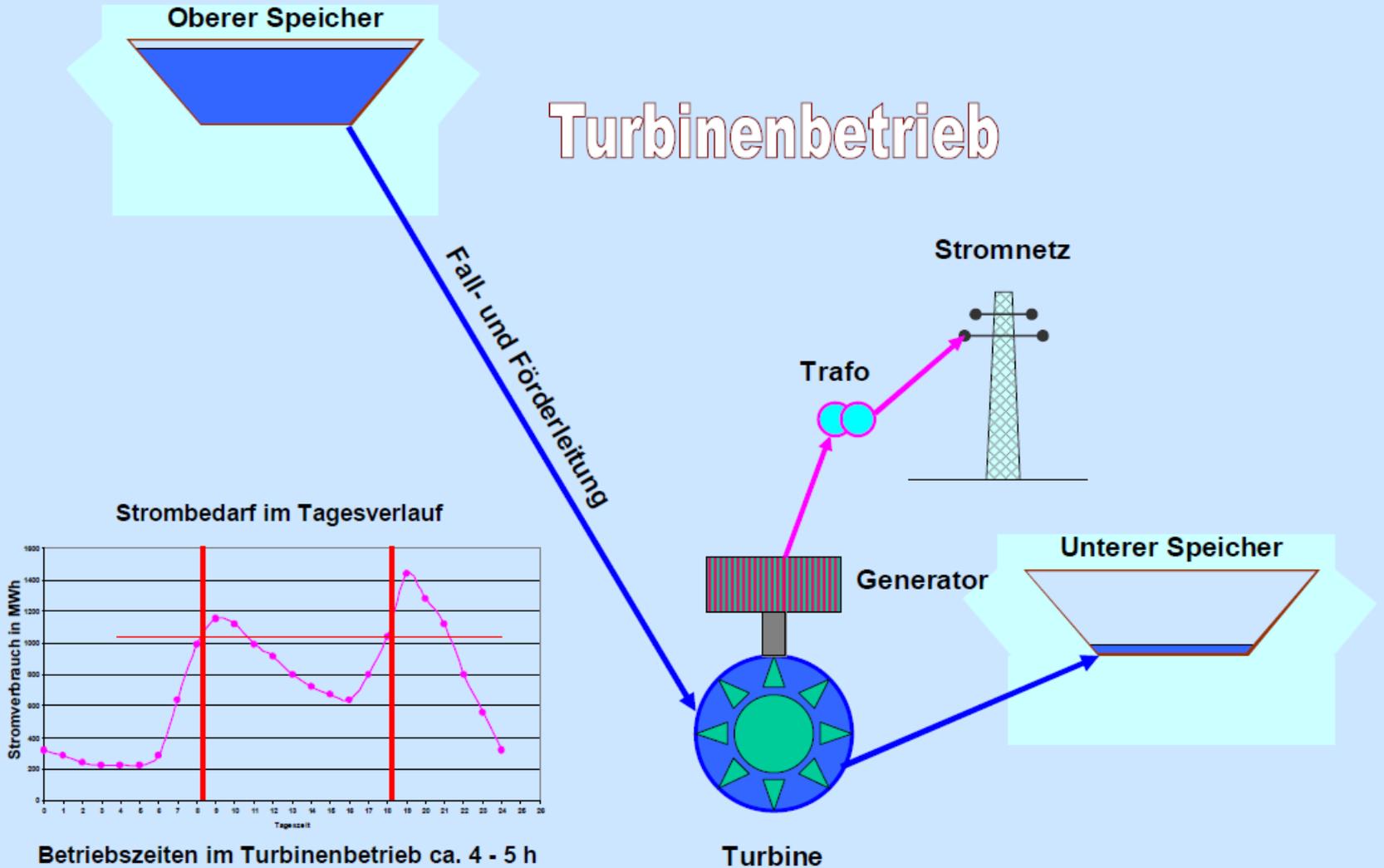
# Pumpspeicherkraftwerke

## Funktionsprinzip Pumpspeicherwerk



# Pumpspeicherkraftwerke

## Funktionsprinzip Pumpspeicherwerk



# Talsperren, Staudämme



# Vajont-Stausee



Unterer Hangbereich  
stabil, oberer instabil.  
Quellende Tonschicht  
wurde zum Gleit-  
horizont

abgestürzte Bergflanke  
rechts vom Stausee



# Wasserkraft

## Gezeitenkraftwerke – Vorläufer: Gezeitenmühlen

Gezeitenmühle Birlot, Île de Bréhat

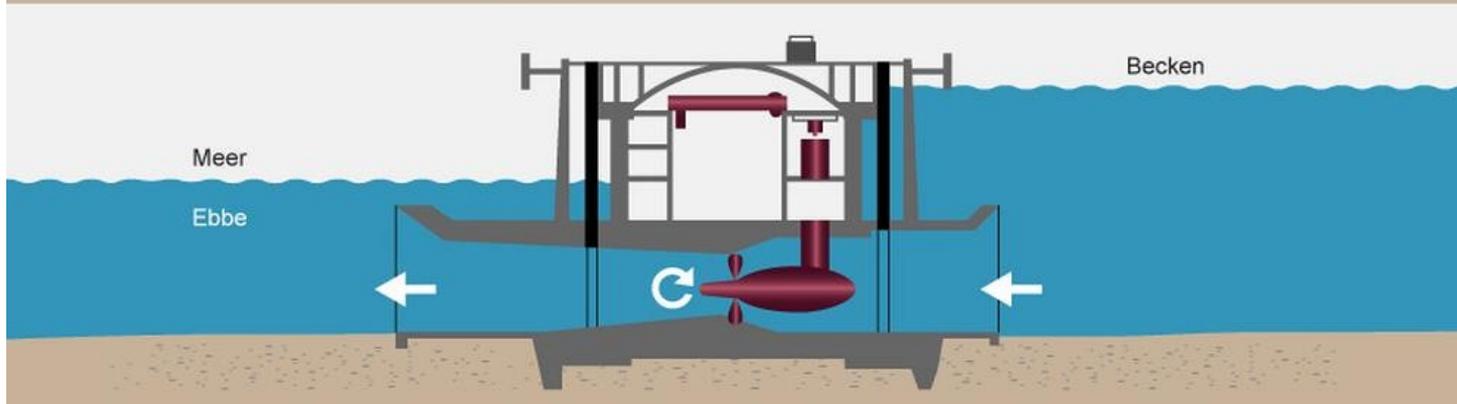
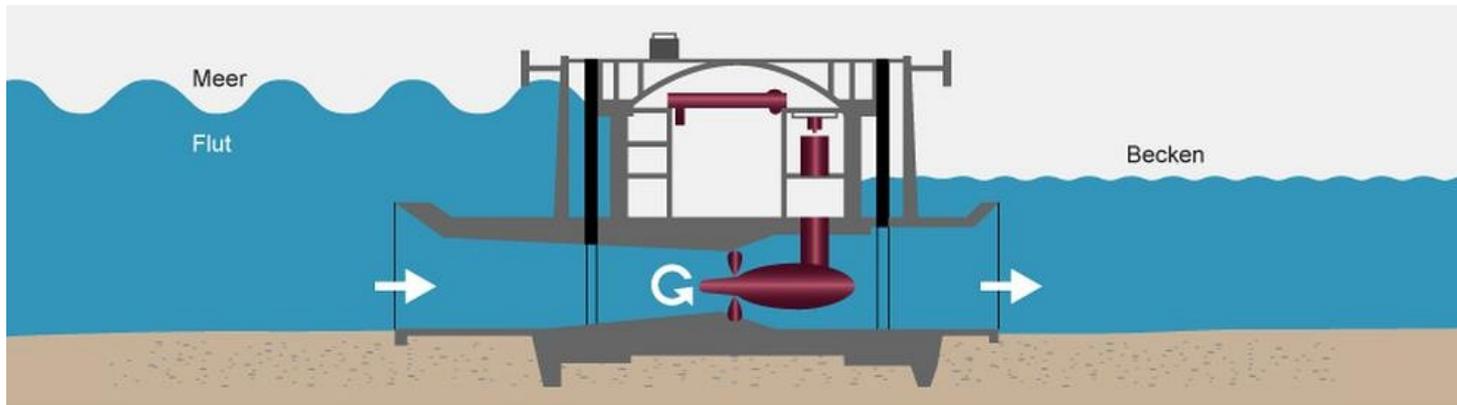


# Wasserkraft

## Gezeitenkraftwerke

Funktionsweise nach dem Staudammprinzip

Bei Flut läuft das Staubecken des Kraftwerks voll und die Turbine wird vom einströmenden Wasser angetrieben



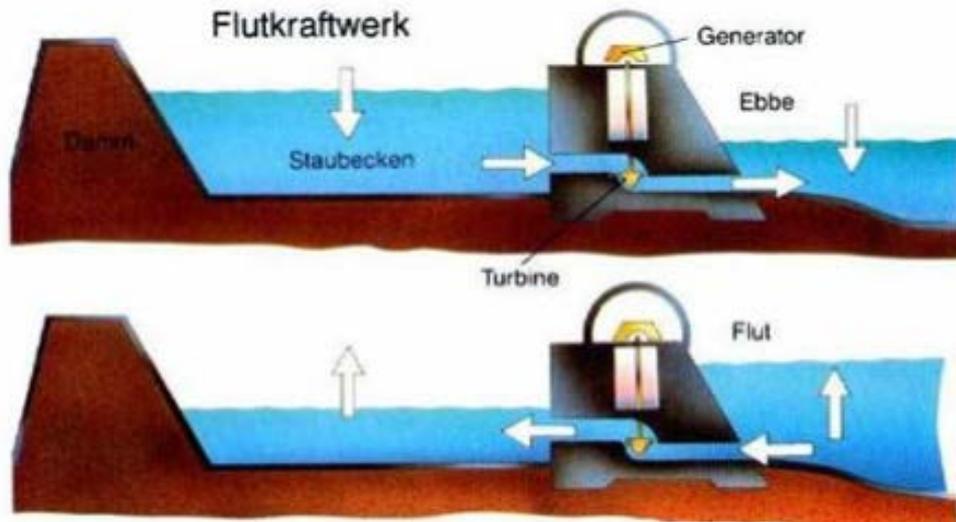
Wenn das Wasser wieder rückläufig ist (Ebbe), dann wird das gestaute Wasser wieder abgelassen und die Turbinen werden erneut angetrieben

# Wasserkraft

## Gezeitenkraftwerke

Voraussetzung:  
ausreichender Tidenhub

Gezeitenkraftwerk bei **St. Malo**  
Mündungstrichter der Rance



In St. Malo liegt der  
Unterschied zwischen  
niedrigstem und höchstem  
Wasserstand bei 12-13  
Metern

Leistung : 600 Mio kWh

# Wasserkraft

## Wellenkraftwerk

Energieleistung unberechenbar

gigantisches Potenzial

mehrere Systeme werden erforscht und getestet:

- a) Pneumatische Kammer
- b) Schwimmkörper



# Wellenkraftwerke

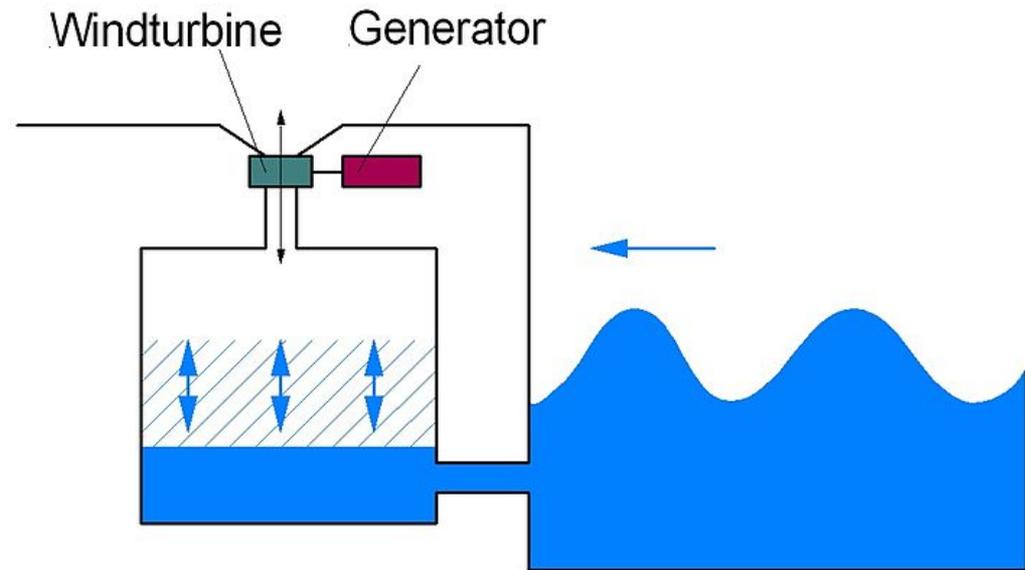
Typ - Pneumatische Kammer

OWC Kraftwerke

OWC = Oscillating Water Column (schwingende Wassersäule)

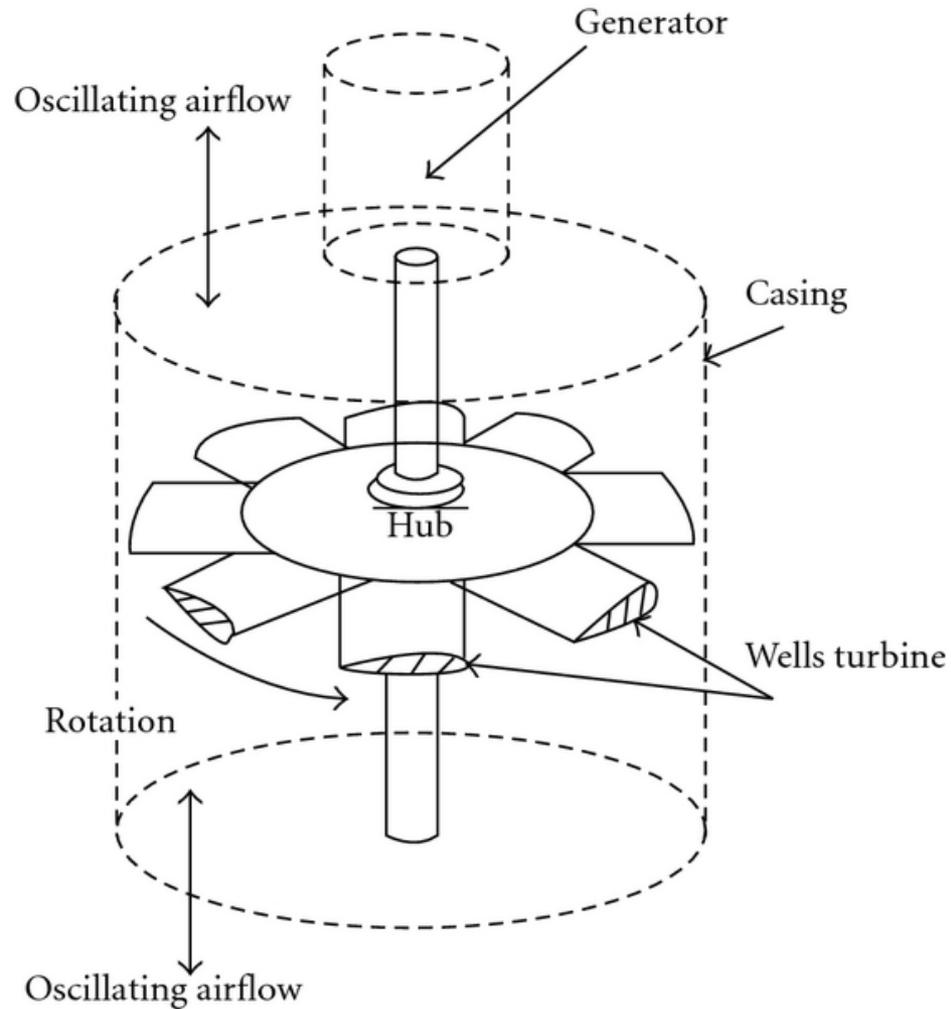
Prinzip: Kaminschacht,  
untere Öffnung im  
Meerwasser obere  
Öffnung in der Luft

pulsierende Luftstrom  
treibt Turbine (Wells-  
Turbine) an  
(gleichbleibende  
Drehrichtung)



# Wellenkraftwerke

## Wells Turbine



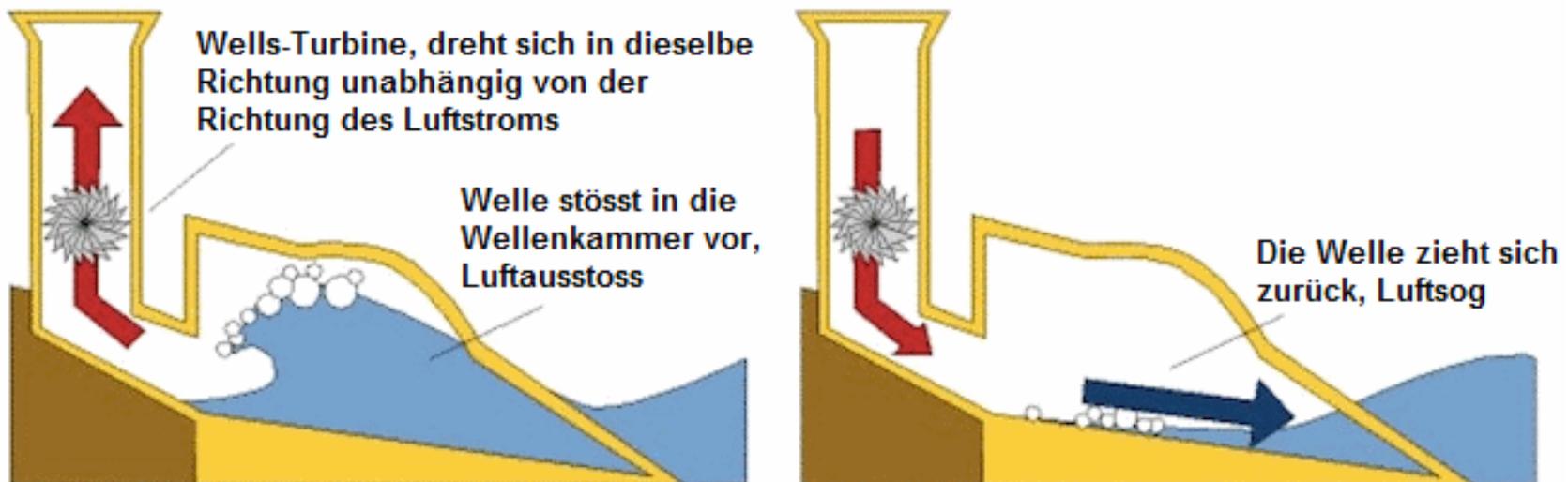
# Wellenkraftwerke

## Pneumatische Kammer

Prinzip der oszillierenden Wassersäule

Luftstrombildung durch Wechsel des Wasserstands in Wasserkammer

Wenn eine Welle die Luftkammer erreicht, steigt der Wasserspiegel an und drückt die Luft nach oben durch die Turbine. Geht die Welle zurück, zieht der fallende Wasserspiegel die Luft nach unten und bewegt ebenfalls die Turbine



# Wellenkraftwerke

## Wellenkraftwerk Isle of Islay

Schottland (seit 2001)

Turbinenantrieb durch Luftstrom, der entsteht, wenn die Welle Wasser in Röhren drückt und wieder herausdrückt. Luftsäule wird abwechselnd komprimiert und angesaugt (Funktionsprinzip **Luftpumpe**).

Leistung: 212 kWh (mager)

2002 wurde nur eine Durchschnittsleistung von 21 kW erreicht



Typ **pneumatische Kammer**

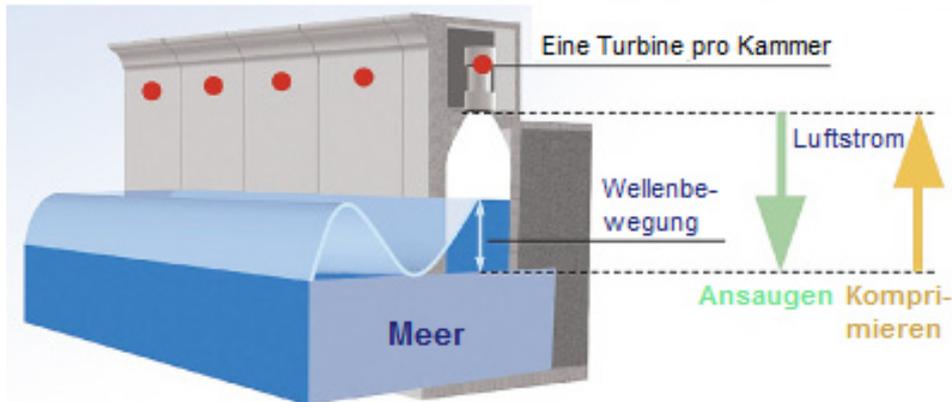
# Wellenkraftwerke

## Wellenkraftwerk Motriku

erstes kommerzielles Wellenkraftwerk (seit 2011)

Turbinenantrieb durch Luftstrom, der entsteht, wenn die Welle Wasser in Röhren drückt und wieder herausdrückt. Luftsäule wird abwechselnd komprimiert und angesaugt (Funktionsprinzip **Luftpumpe**).

Wellenkraftwerk von Mutriku (Motrico), Spanien, Schema



Leistung: 300 kWh (mager)

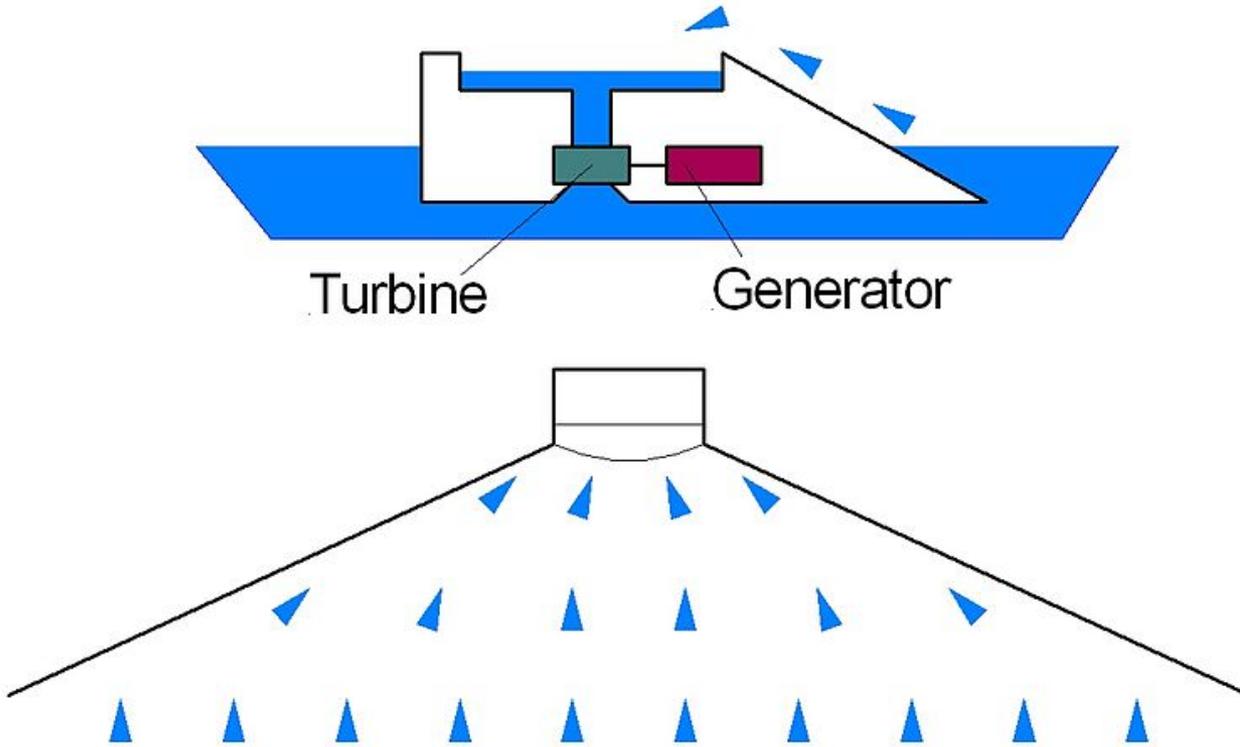
Energieerzeuger und Wellenbrecher



Wellenkraftwerk von Mutriku (Spanien)  
Turbinenhalle im Schutzdeich integriert

# Wellenkraftwerke

## Wellenkonzentrator



Wellen laufen durch v-förmige Barrieren zur Mitte. Die so verstärkten Wellen laufen eine Rampe hinauf. Von dort aus fließt das Wasser über Turbinen, die einen Generator antreiben, zurück ins Meer

als schwimmendes Offshore-Kraftwerk ausgelegt und nicht an die Küste gebunden

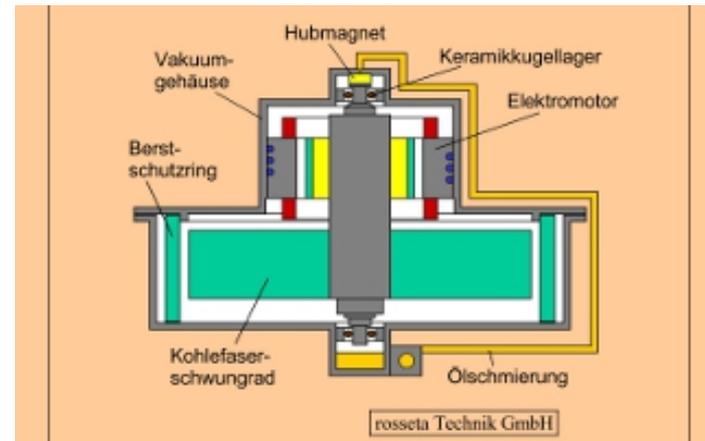
# Wellenkraftwerke

Problem: unstetige Energieabgabe  
Entwicklung von Kurzzeitspeichern

**Schwungrad:** Stabilisierung von Schwankungen im Stromnetz und als effizienter Pufferspeicher

**Schwungradspeicherung:**

Speicherung der mechanischen Energie, bei der ein Rotor (Schwungrad) auf hohe Drehzahl beschleunigt und Energie als Rotationsenergie gespeichert wird



# “The Floating Piers”



# Wellenkraftwerke

## Typ Seeschlange bzw. Schwimmkörper



### **Schwimmkörper**

Pelamis „Seeschlange“

Wellenbewegung wird über hydraulische Systeme aufgenommen

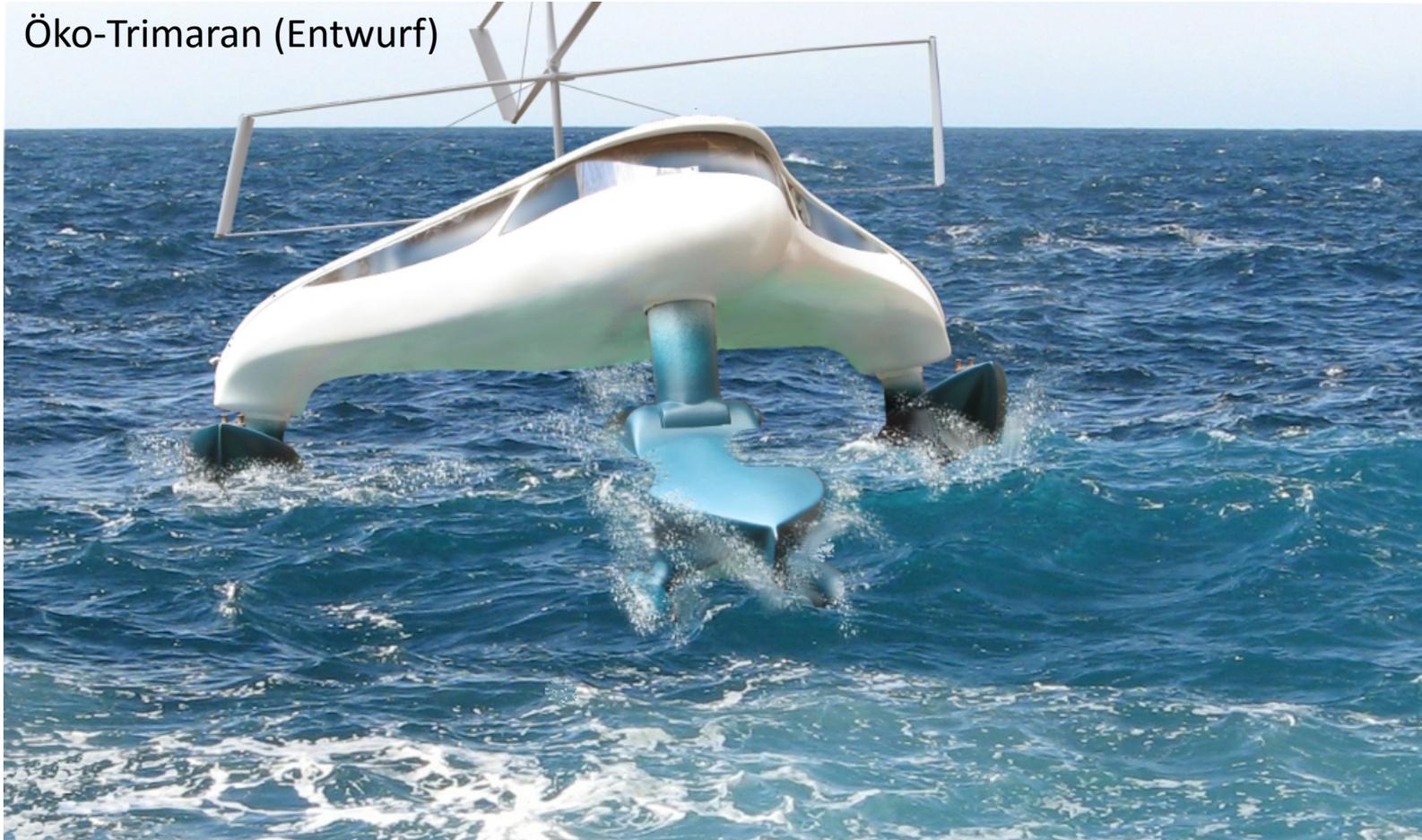
schwimmen mehrere Stahlrohre auf der Wasseroberfläche, deren Gelenke (Hydraulikzylinder) Bewegungsenergie in Strom umwandeln

Drei Pelamis-Anlagen wurden 2008 in Portugal in Betrieb genommen. 2009 wegen technischer und finanzieller Probleme stillgelegt

# Wellenkraftwerke

## Mobiles Wellenkraftwerk

Öko-Trimaran (Entwurf)

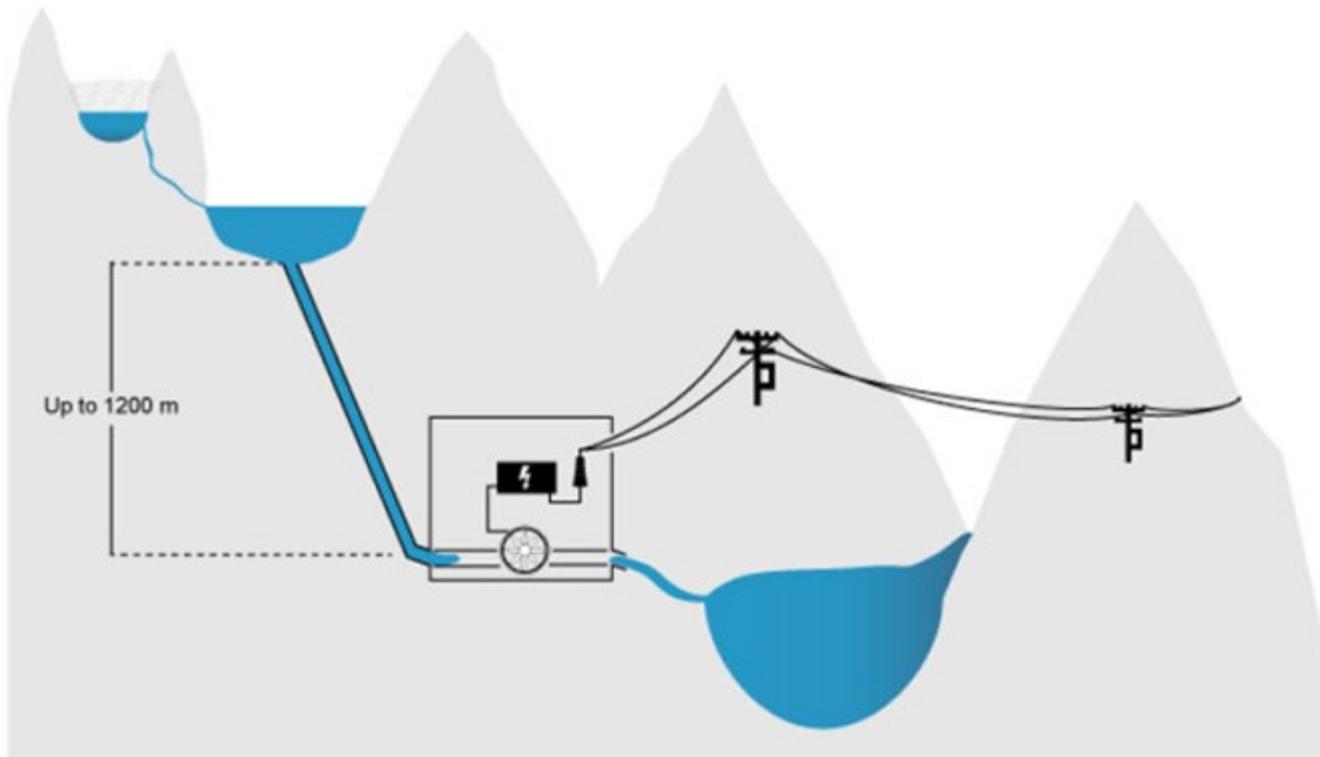


# Wasserkraft

## Gletscherkraftwerk (Hochdruckanlage)

Schmelzwasser eines Gletschers  
zur Stromerzeugung benutzt

kann nur in  
Polargebieten  
durchgeführt  
werden



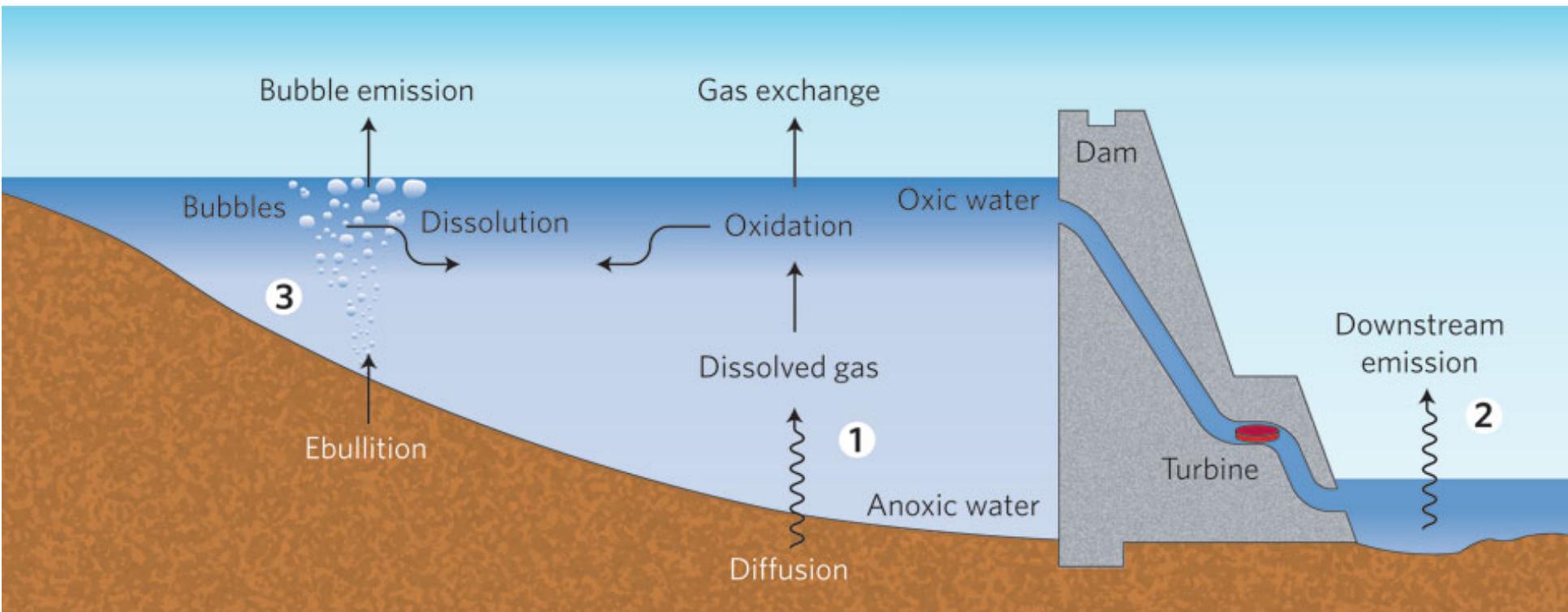
Nutzfallhöhen  
zwischen 1.000  
und 3.000 m

# Jostedalbreen Gletscher, Norwegen

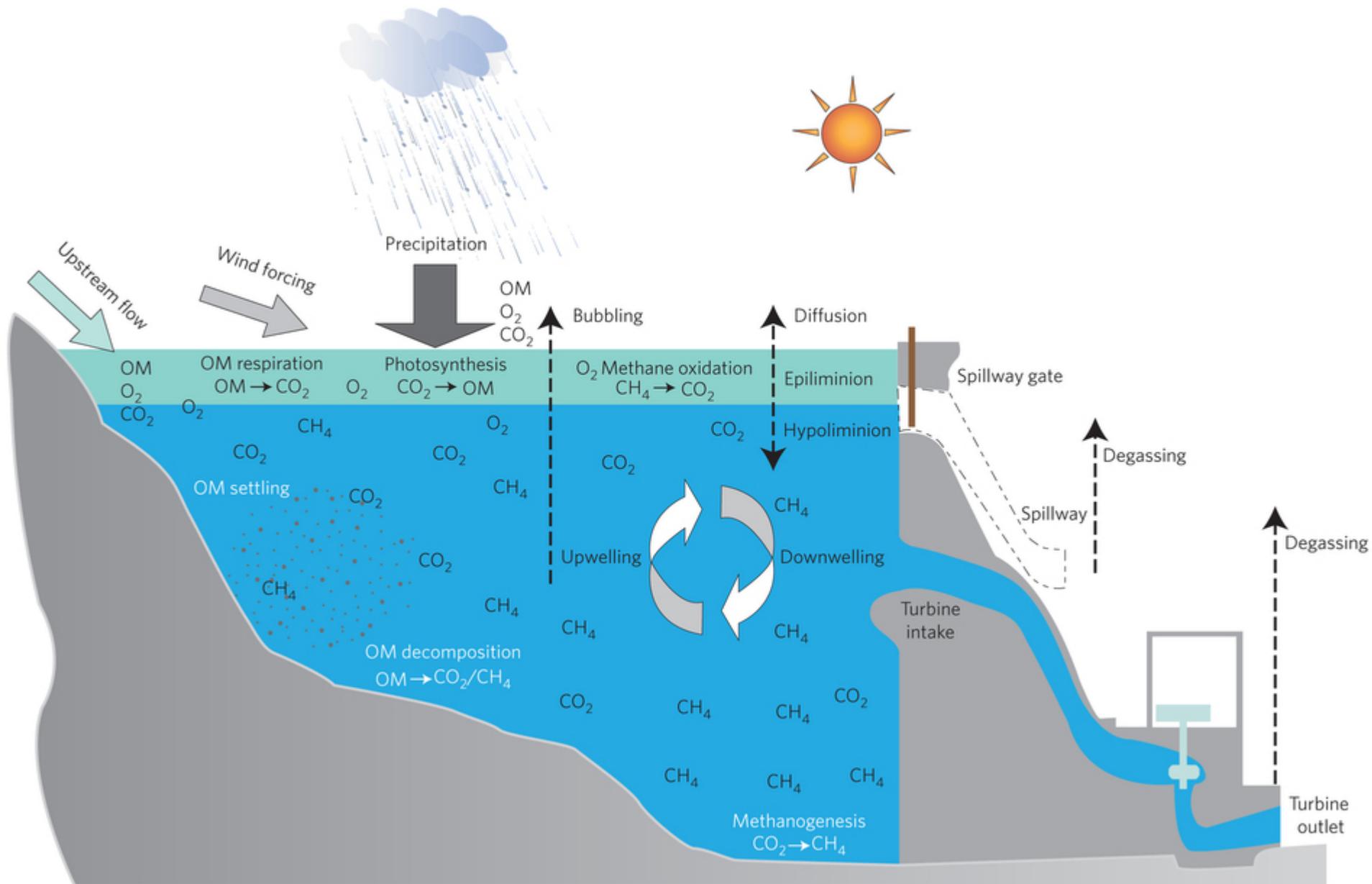


# Wasserkraft

Hydroelectric energy is renewable, but reservoirs contribute to climate change by releasing CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> to the atmosphere



# Assessment of greenhouse gas budgets of hydroelectric reservoirs



# Geothermie

# Geothermie - Anfänge



TA-Grafik san

# Geothermie

## Anlagen: Larderello (Toskana)

- Von Graf Piero Ginori Conti gegruendet
- Erstmalig in Europa geothermischer Strom in Larderello erzeugt 1913 erste Erdwärmekraftwerk
- wasserdampfbetriebene Turbinen mit 220 kW el.
- nordafrikanische und eurasische Platte treffen hier aufeinander
- Magma relativ dicht unter der Oberfläche
- Heute werden 400 MW Strom in Italiens Energienetz eingespeist

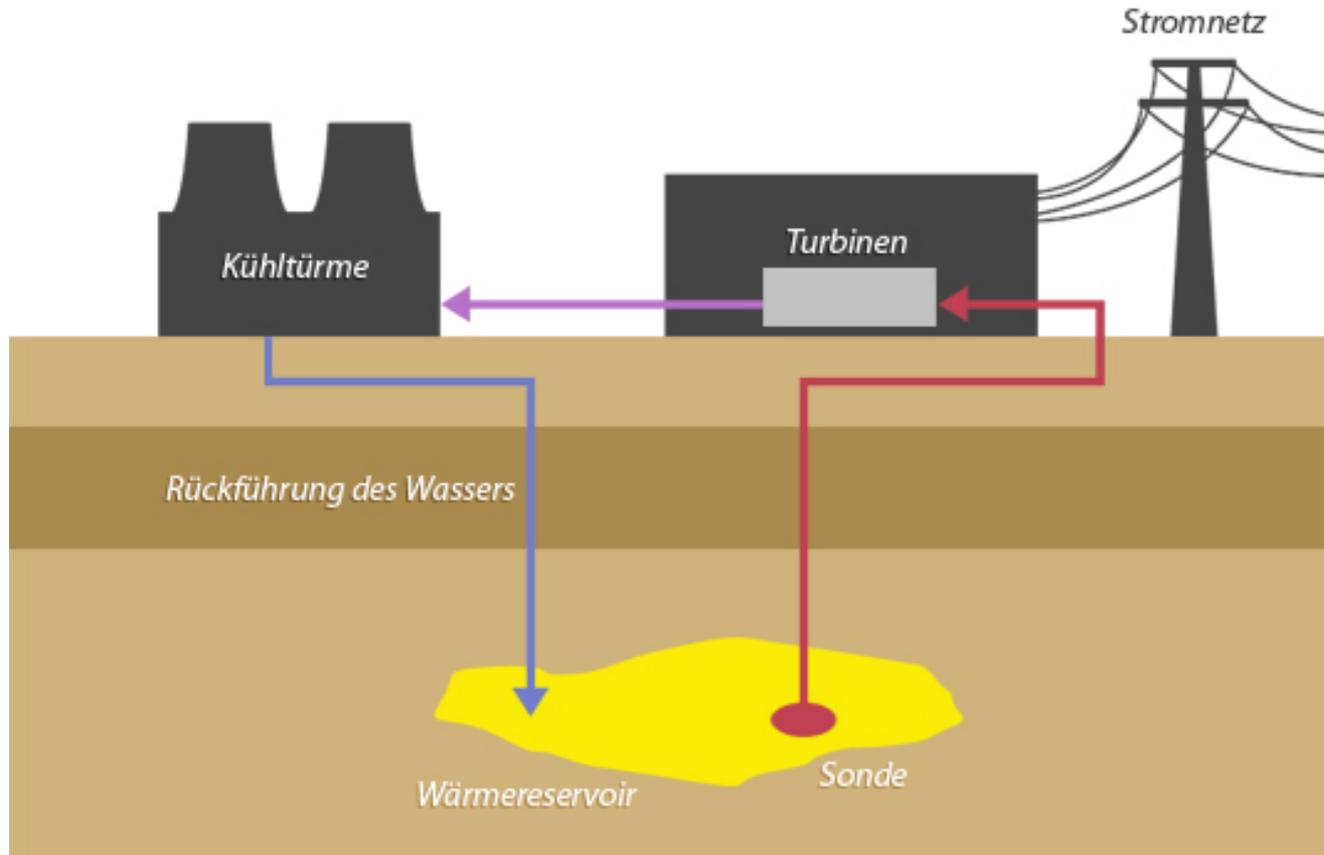


# California – The geysers



# Funktionsweise Geothermie

## Funktionsweise Geothermie



# Geothermie

Oberflächennahe  
Geothermie

Tiefe Geothermie



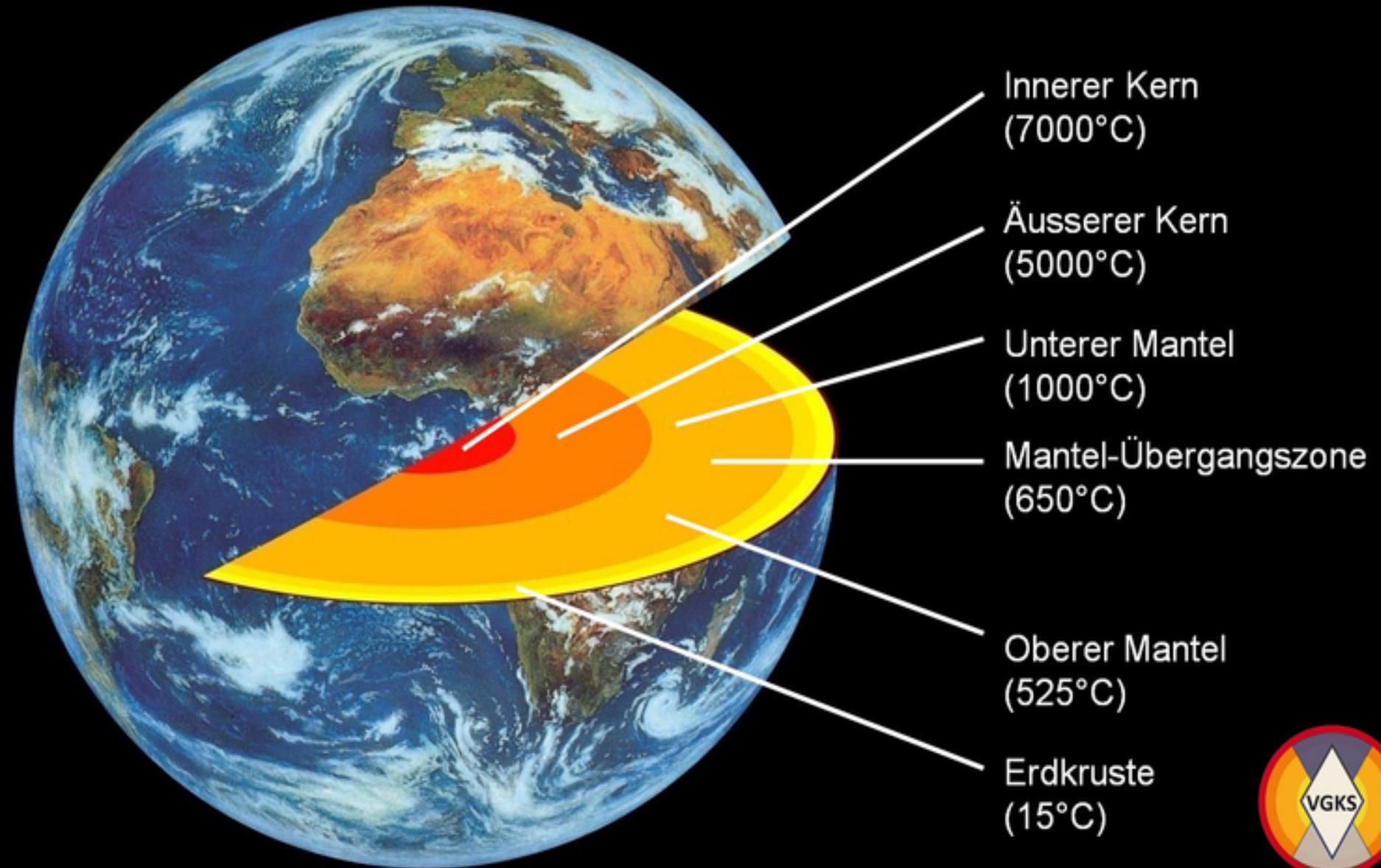
# Geothermie

Hochenthalpie-

Niedrigenthalpie-  
Lagerstätten



# Der Schalenbau der Erde - Wärmepotential - Wärmeproduktion



# Wärmetransport

konvektiv  $\leftrightarrow$  konduktiv

Gesteinseigenschaften:

Wärmeleitfähigkeit

Wärmekapazität

Wärmeproduktion

Porosität

Permeabilität

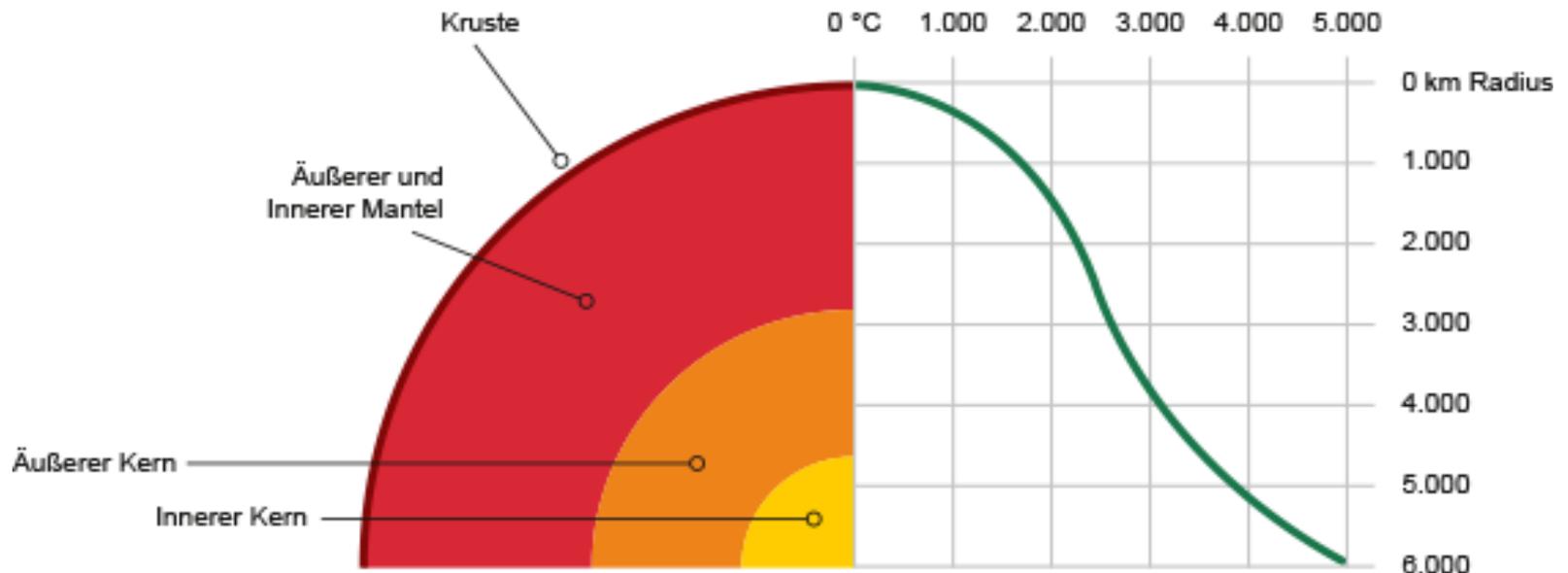
# Wärmetransport

Temperatur Erdoberfläche: 14°C

Geothermischer Gradient 30°/km

Entfernung zur Kern/Mantelgrenze 2900 km

$30^{\circ}/\text{km} \times 2900 \text{ km} = 87000^{\circ}\text{C} ??$



# Wärmestromdichte

$$q = \frac{Q}{A \times \Delta t} [Wm^{-2}]$$

q = Wärmestromdichte

Q = Änderung der Wärmemenge

A = Fläche

T = Zeit

Wärmestromdichte und Temperaturgradient  
sind proportional

globaler Wärmestromdichte der Erdkruste:  
60-90  $mWm^{-2}$

# Wärmefluss aus der Erde

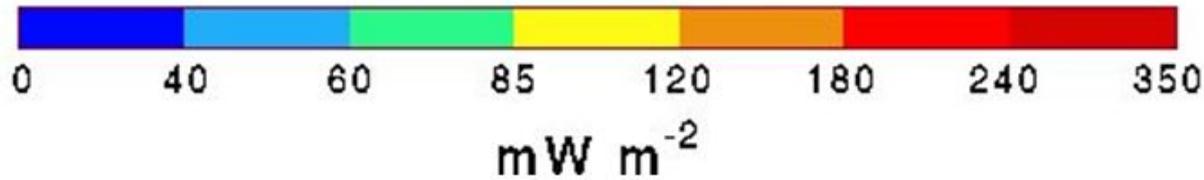
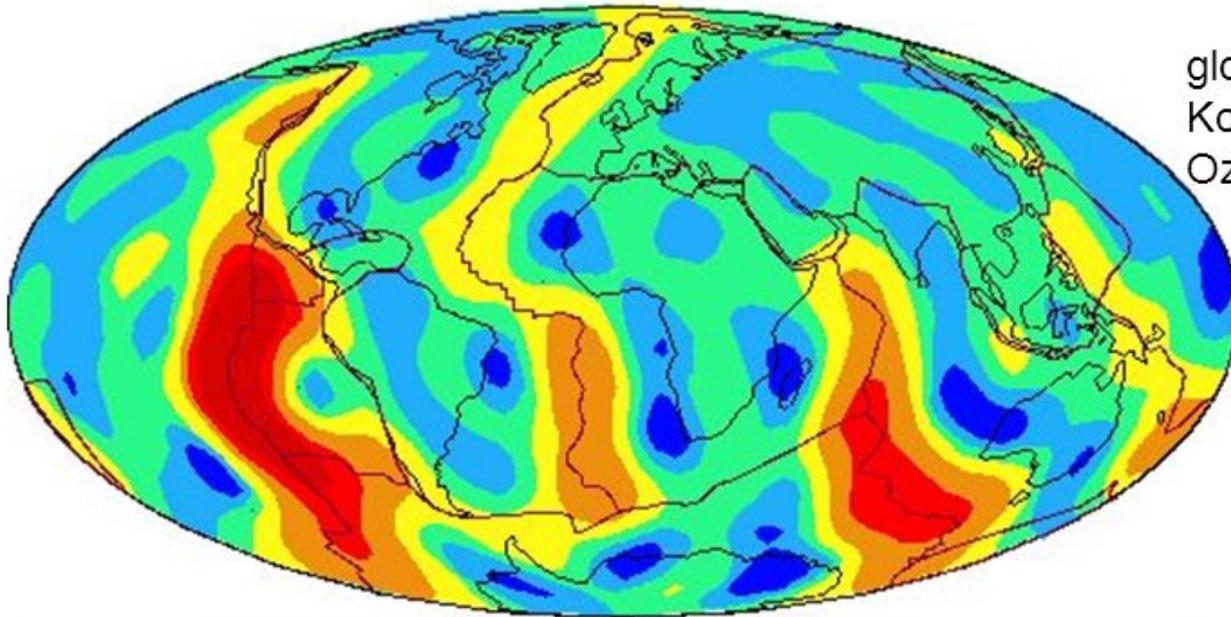
## Heat Flow

Mittlerer Wärmefluss:

global:  $87 \text{ mW/m}^2$

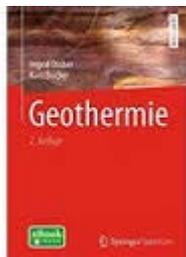
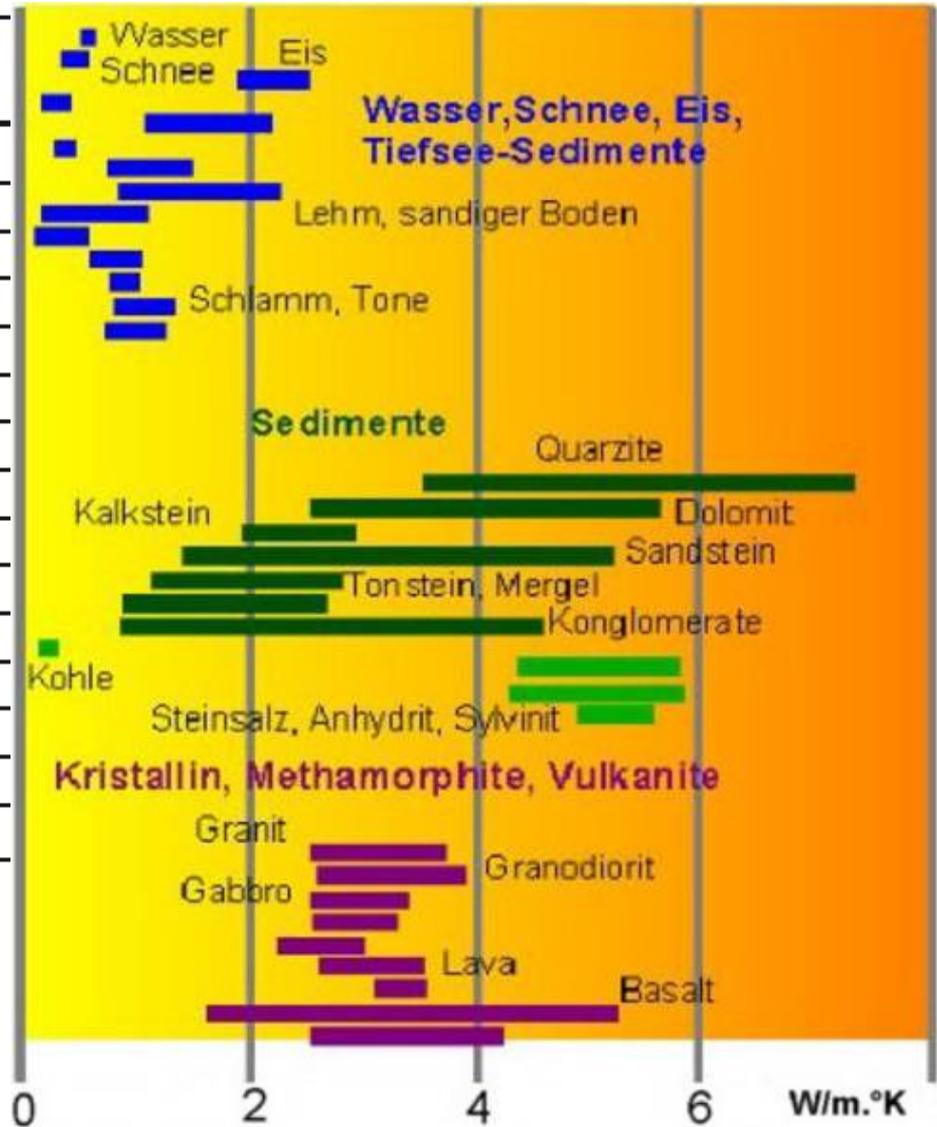
Kontinente:  $65 \text{ mW/m}^2$

Ozeane:  $101 \text{ mW/m}^2$



# Wärmeleitfähigkeit

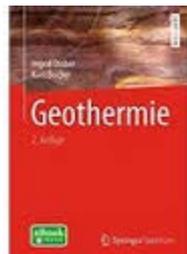
Gestein/Fluide	Wärmeleitfähigkeit $\lambda$ ( $\text{J s}^{-1} \text{ m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ )
Kies, Sand, trocken	0,3–0,8
Kies, Sand, nass	1,7–5,0
Ton, Lehm, feucht	0,9–2,3
Kalkstein	2,5–4,0
Dolomit	1,6–5,5
Marmor	1,6–4,0
Sandstein	1,3–5,1
Tonstein	0,6–4,0
Granit	2,1–4,1
Gneis	1,9–4,0
Basalt	1,3–2,3
Quarzit	3,6–6,6
Steinsalz	5,4
Luft	0,02
Wasser	0,59



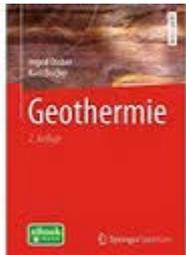
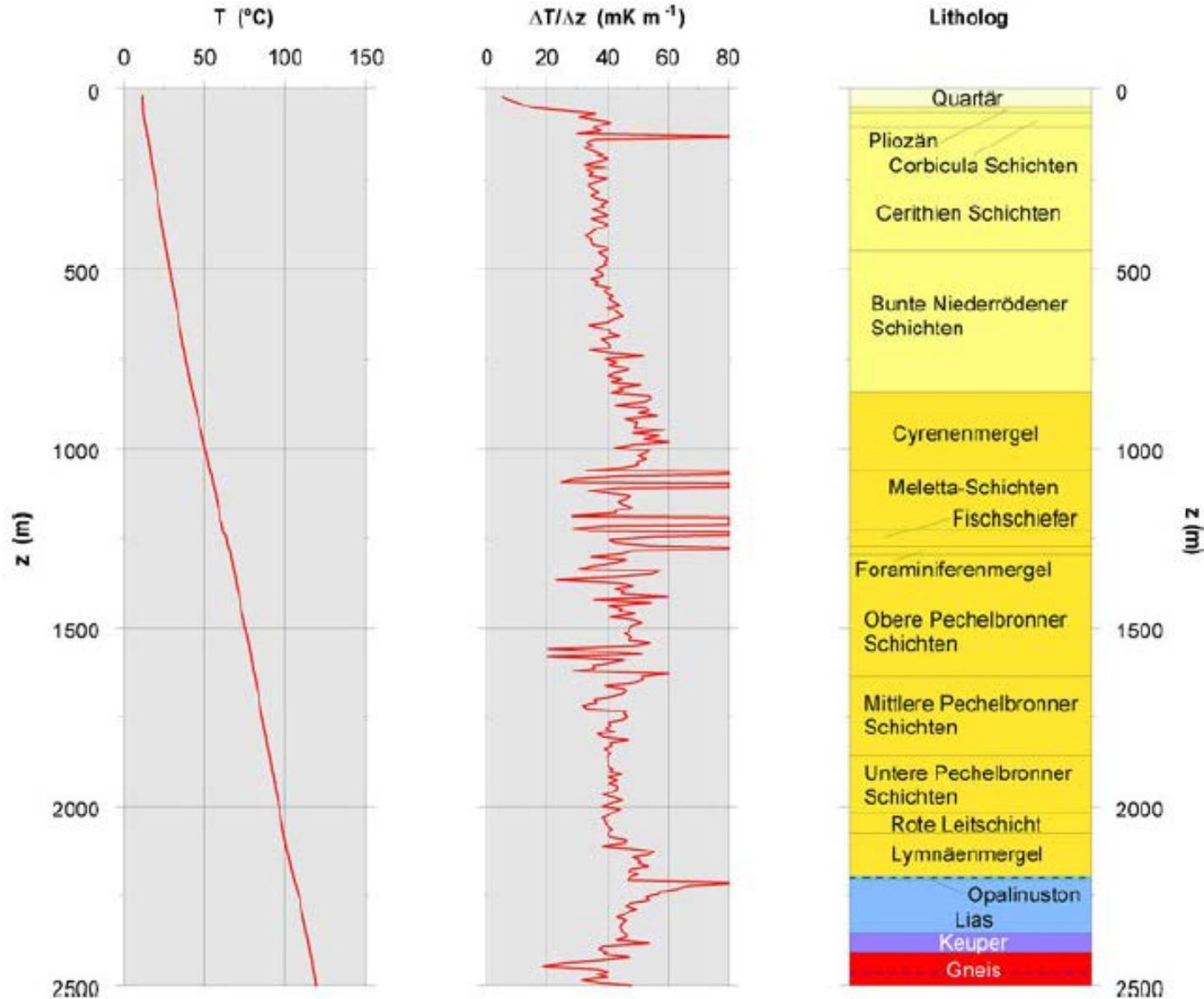
# Wärmeproduktion

**Tab. 1.2** Typische radiogene Wärmeproduktion ausgewählter Gesteine (nach Kappelmeyer und Haenel 1974; Rybach 1976)

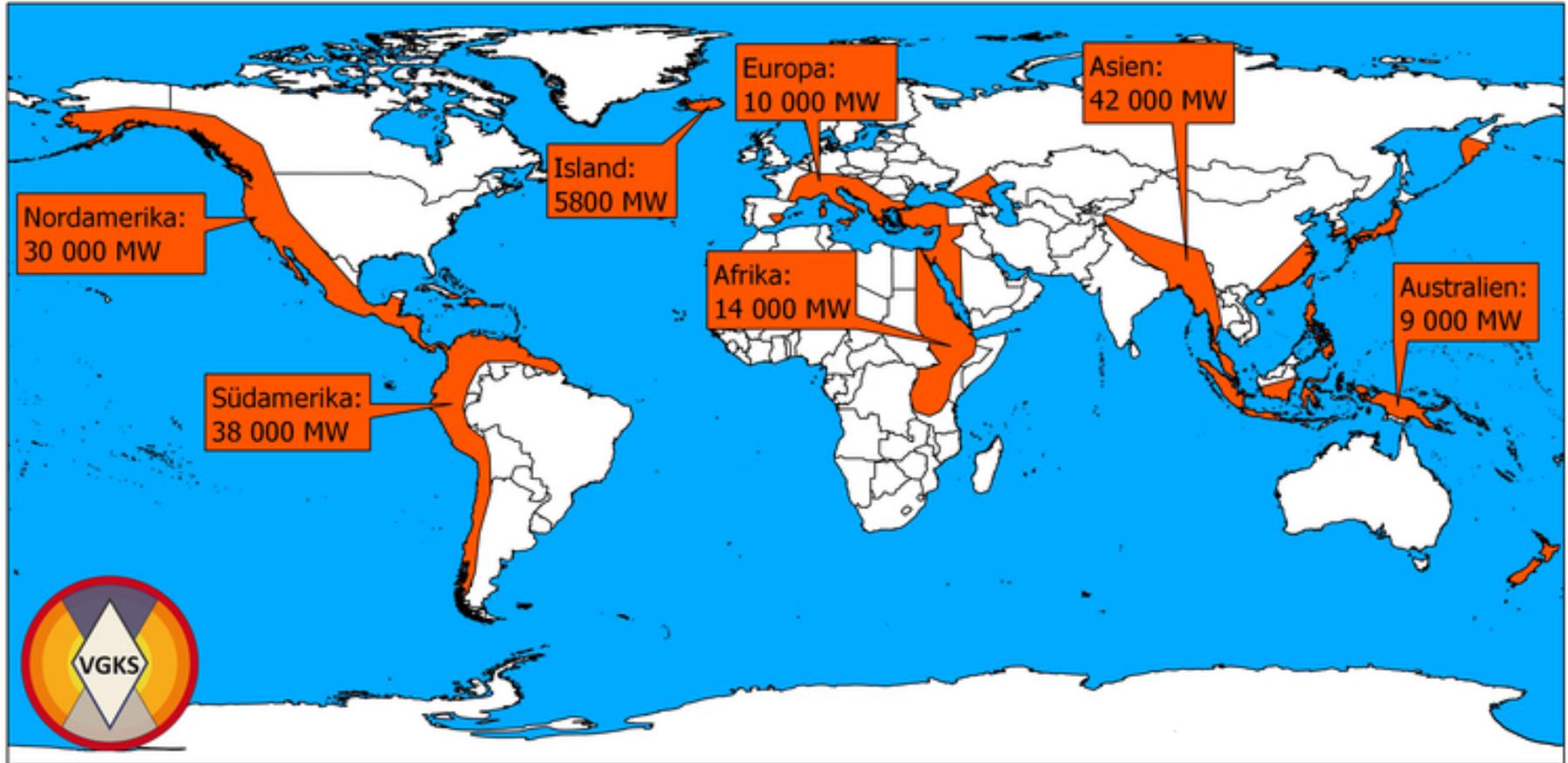
Gestein	Wärmeproduktion A ( $\mu\text{J s}^{-1} \text{m}^{-3}$ )
Granit	3,0
Gabbro	0,46
Diorit	1,1
Gneis	2,4
Sandstein	0,34–1,0
Tonschiefer	1,8



# Tiefbohrung Bühl



# Geschätzte geothermische Kapazität in 20 Jahren

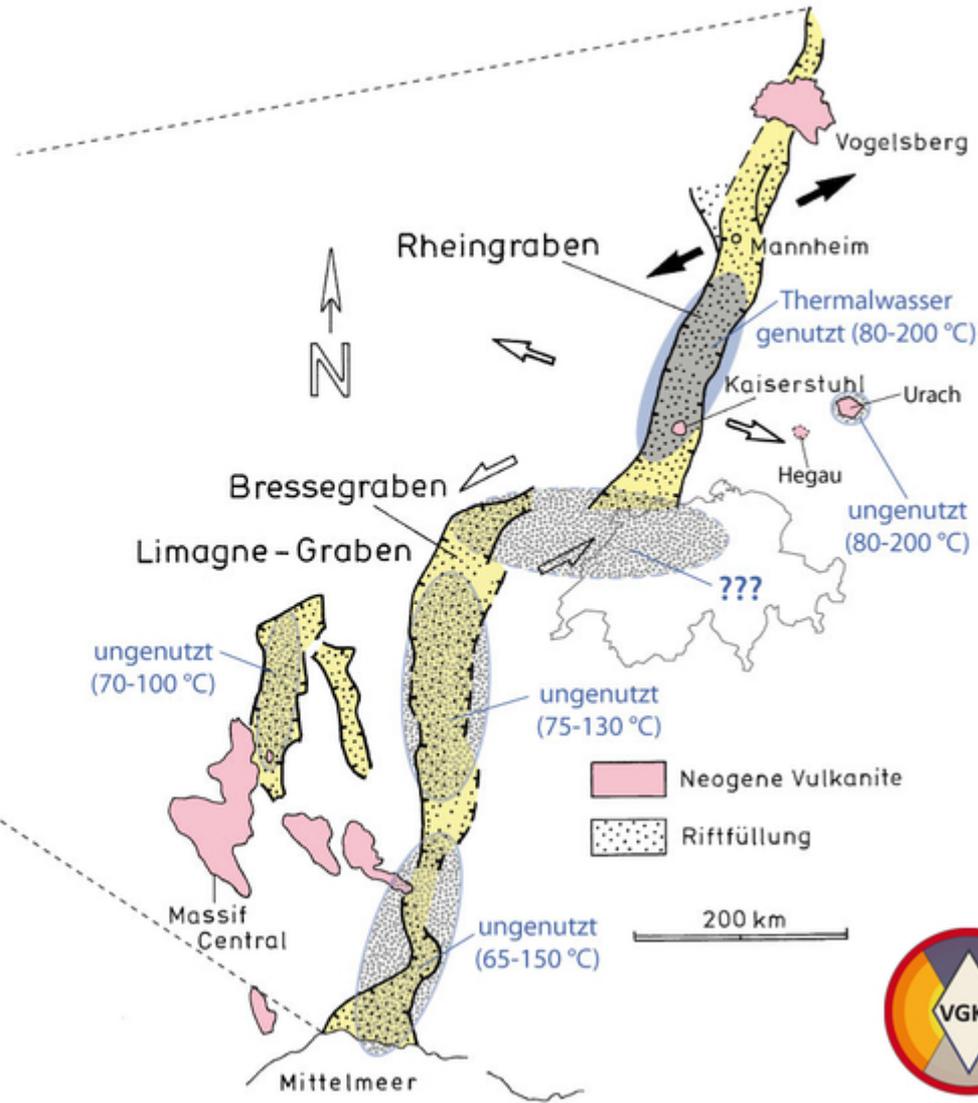


nach: Finanz und Wirtschaft Nr. 39, vom 20. Mai. 2009

# Geothermisches Potential in Deutschland



# Beispiel Mitteleuropa - Riftsystem

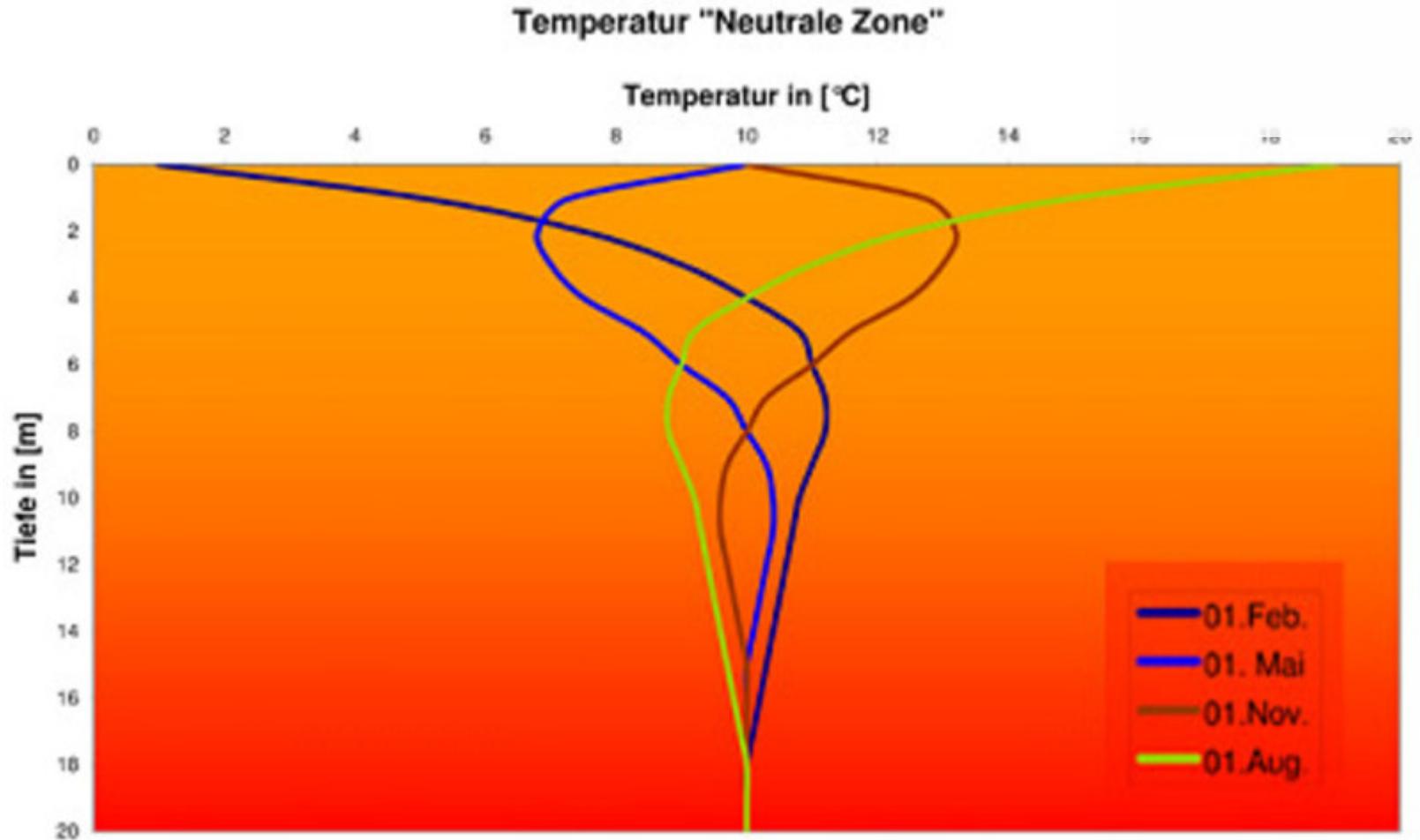


## Stromproduktion

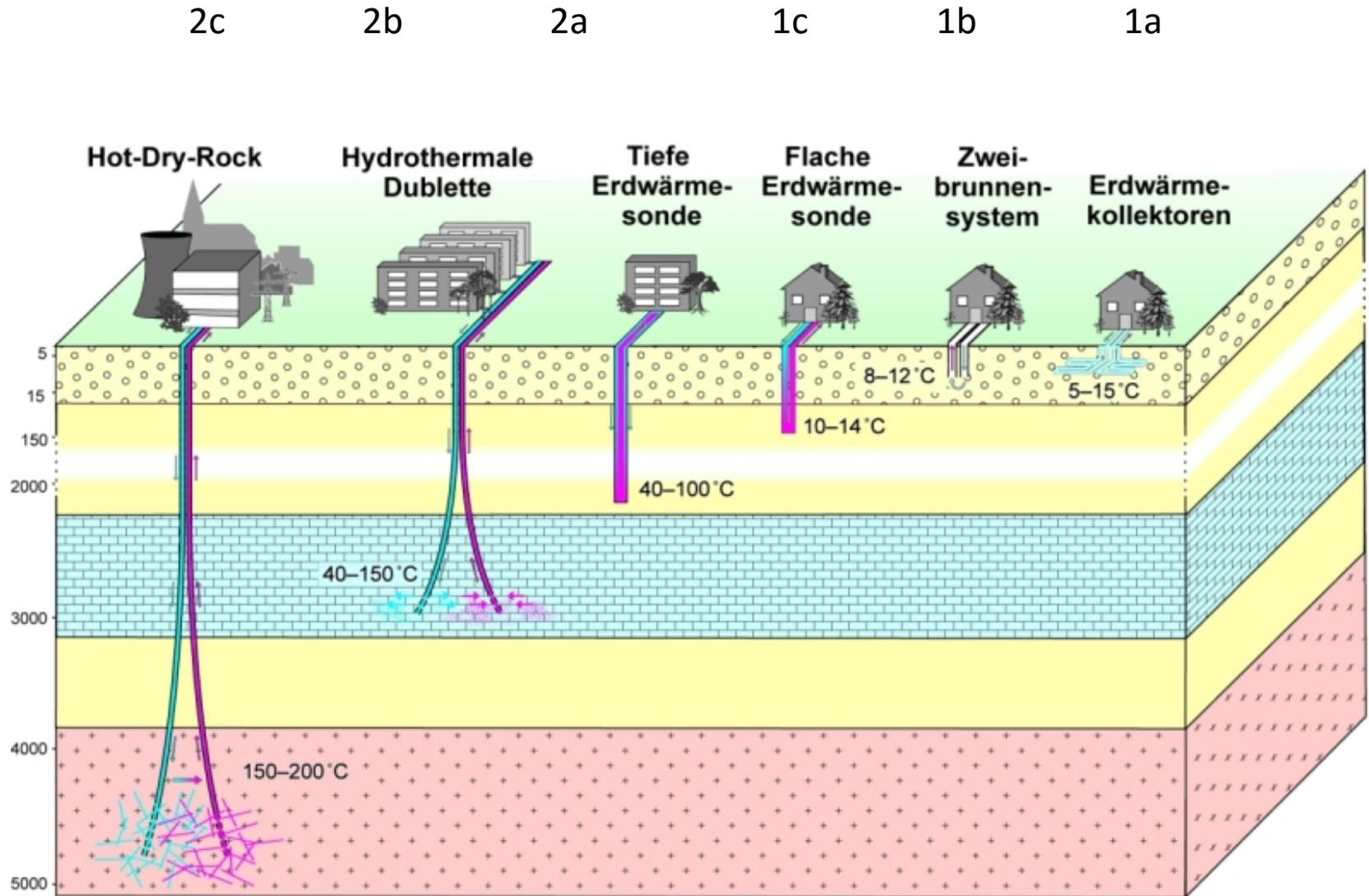
-  geothermisch erschlossen
-  geothermisch ungenutzt



# Klimaeinfluß



# Geothermische Nutzungsmöglichkeiten

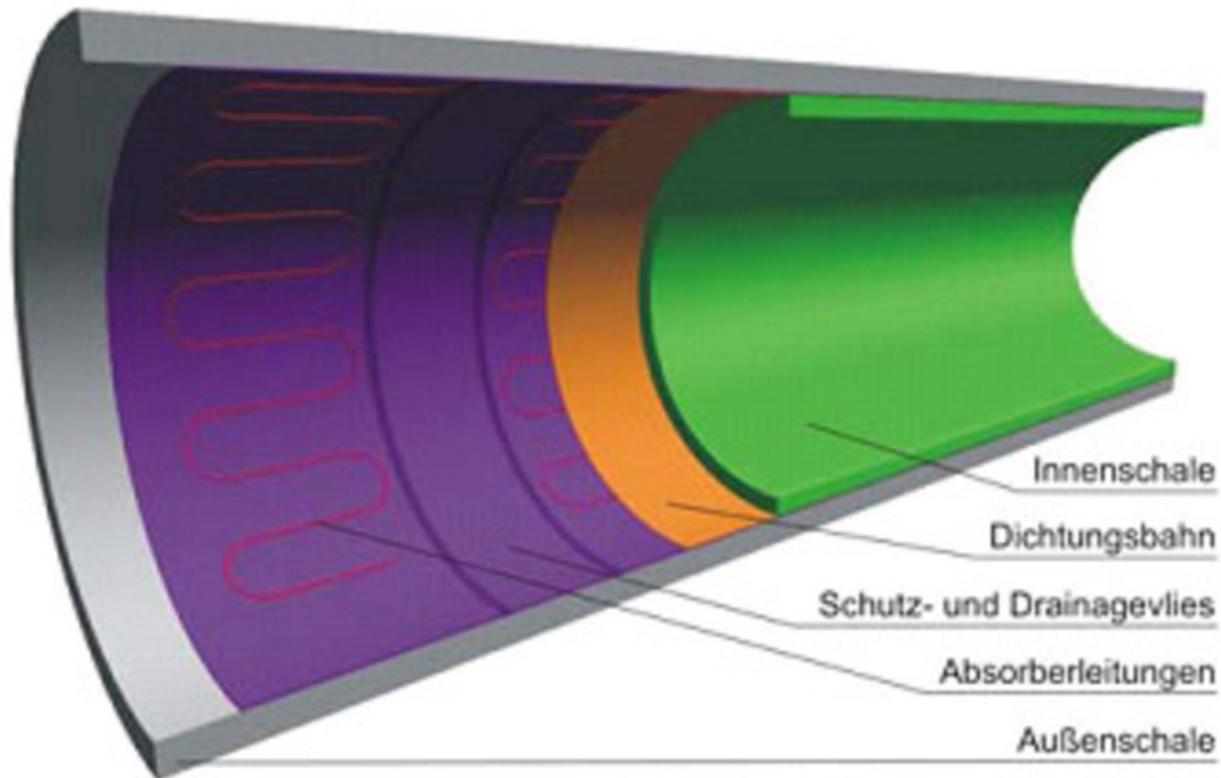


# Oberflächennahe Geothermie

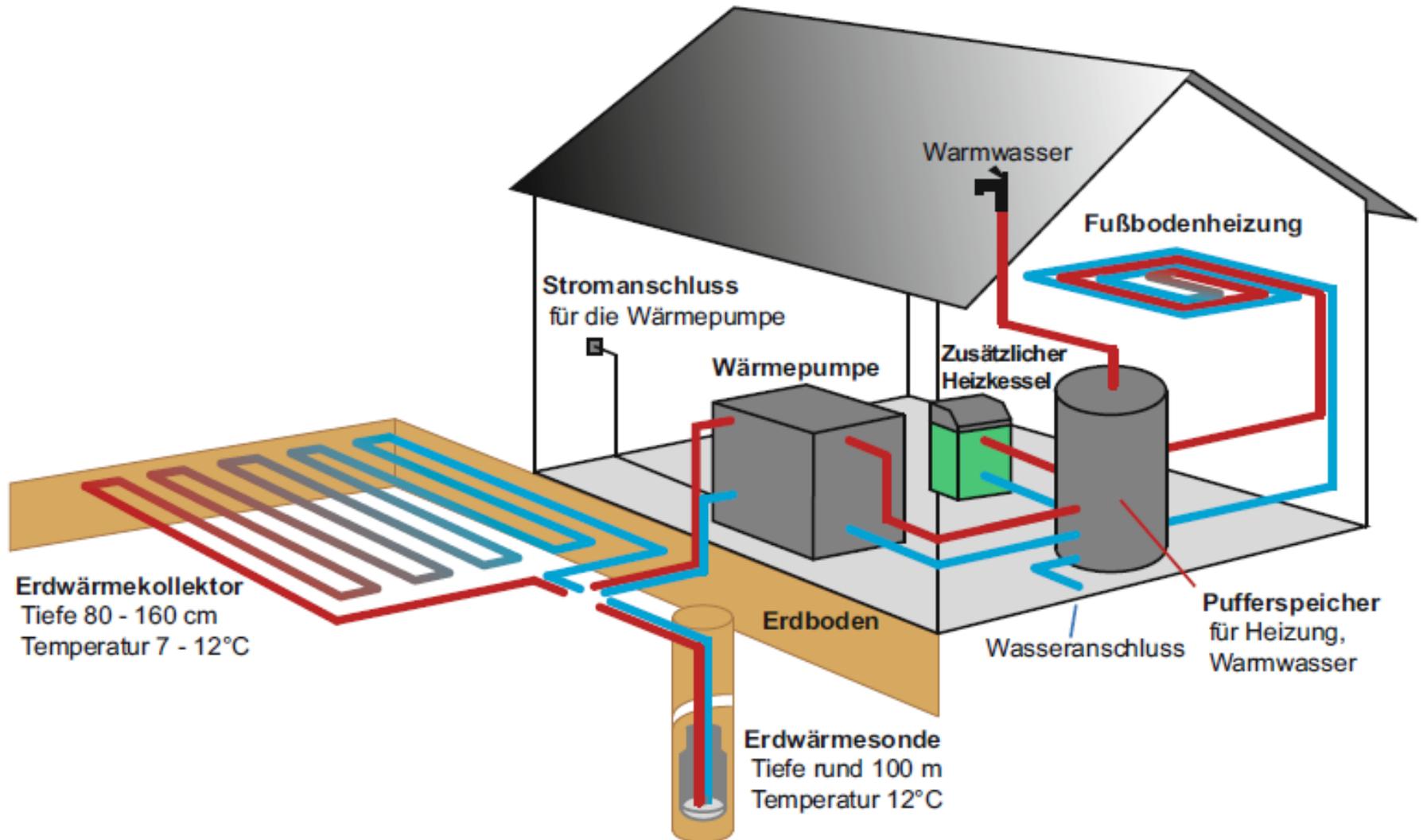
# Oberflächennahe Geothermie

Straßen- und U-Bahntunnelwänden – Wärme aus der Erde und dem Gestein

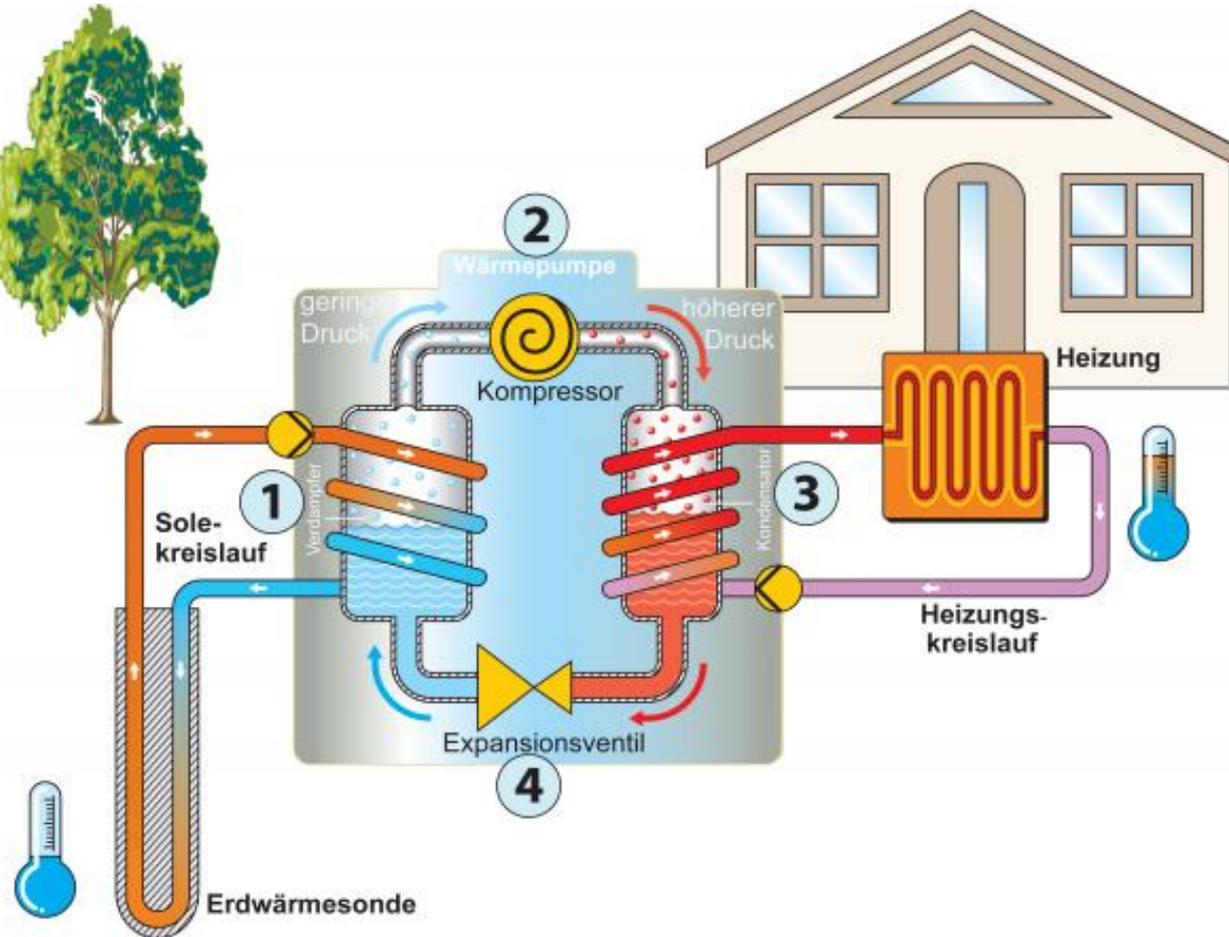
Abwasserkanälen – Wärme aus Abwässern



# 1a - Erdwärmekollektor



# Wärmepumpe

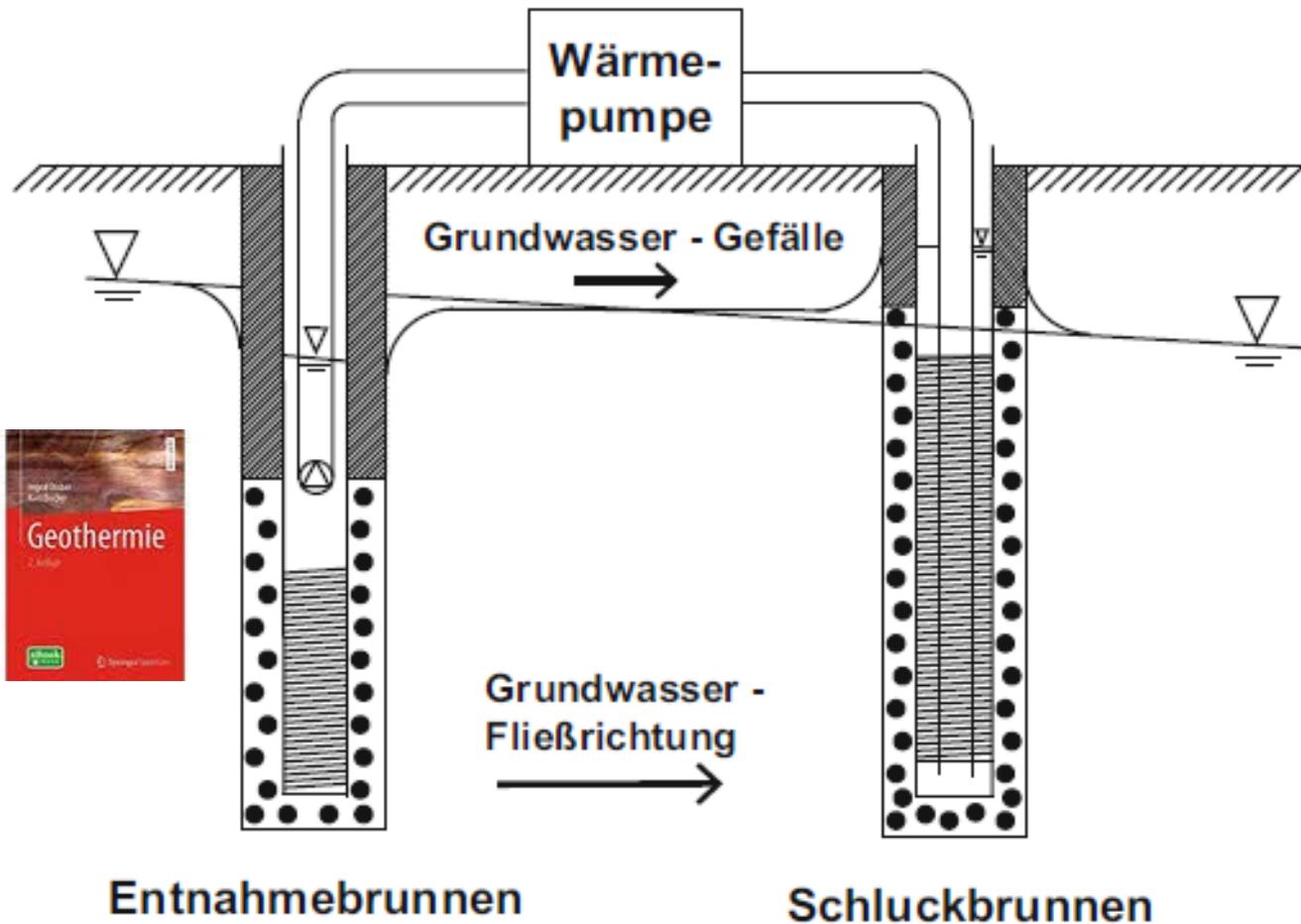


Die Wärmepumpe entzieht der Erdwärmesonde oder dem Wasser die Wärme und gibt sie an den Heiz- und den Warmwasserkreislauf ab

Durch Übertragung der Energie auf ein Kältemittel hebt man das Temperaturniveau an

# 1b - Zweibrunnensystem

Grundwasserwärmepumpe (GWP)



Förderung von Grundwasser. Dem Grundwasser wird Wärme entzogen; das abgekühlte Wasser wird in einer zweiten Bohrung wieder in den Grundwasserleiter zurückgegeben

# 1c Erdwärmesonde

Durch die Sonden fließt eine Wärmeträgerflüssigkeit (Wasser-Glycol oder reines Wasser)

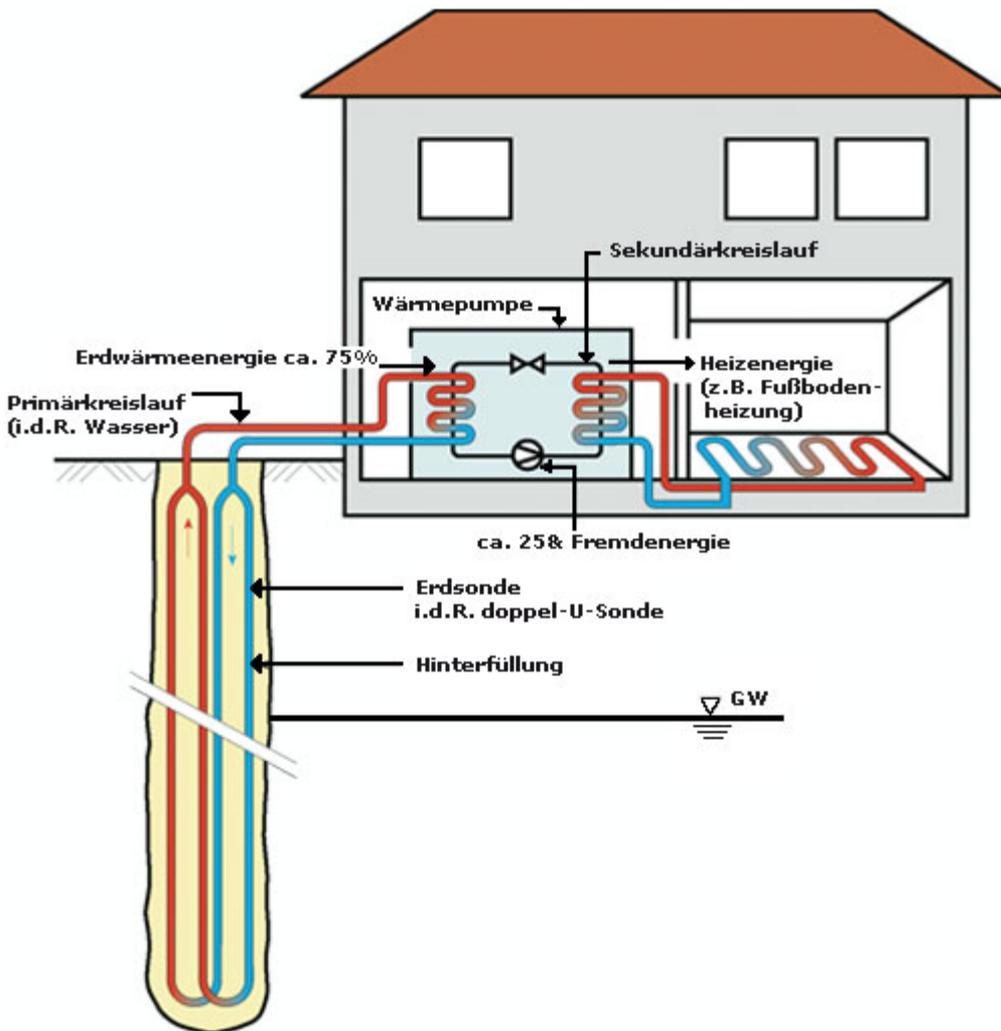


# 1c Erdwärmesonde

U-Sonden oder Doppel-U-Sonden, wenn zwei Rohrpaare pro Bohrloch



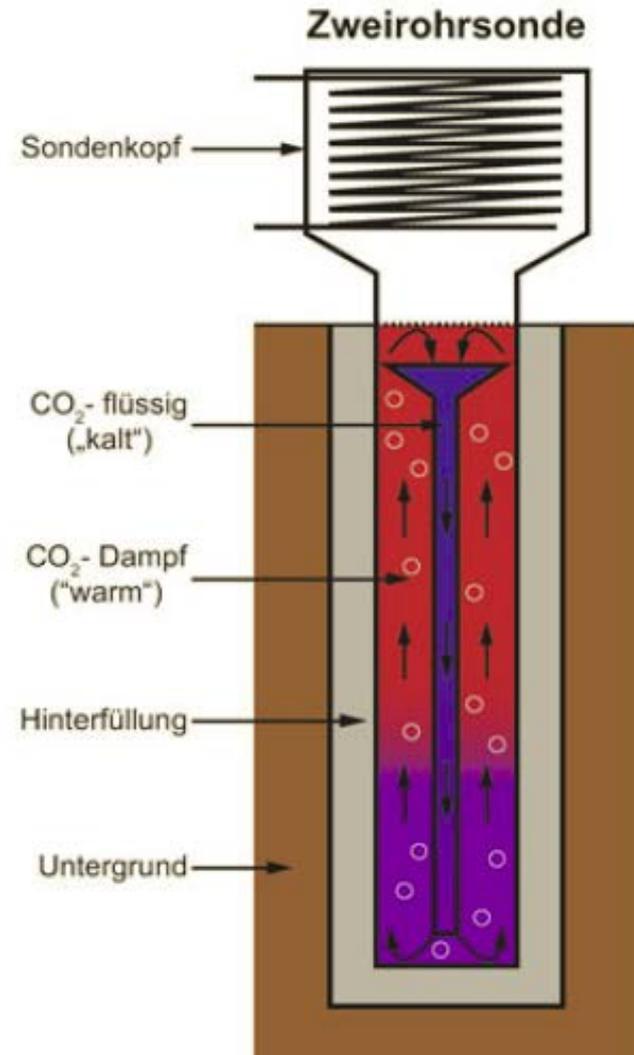
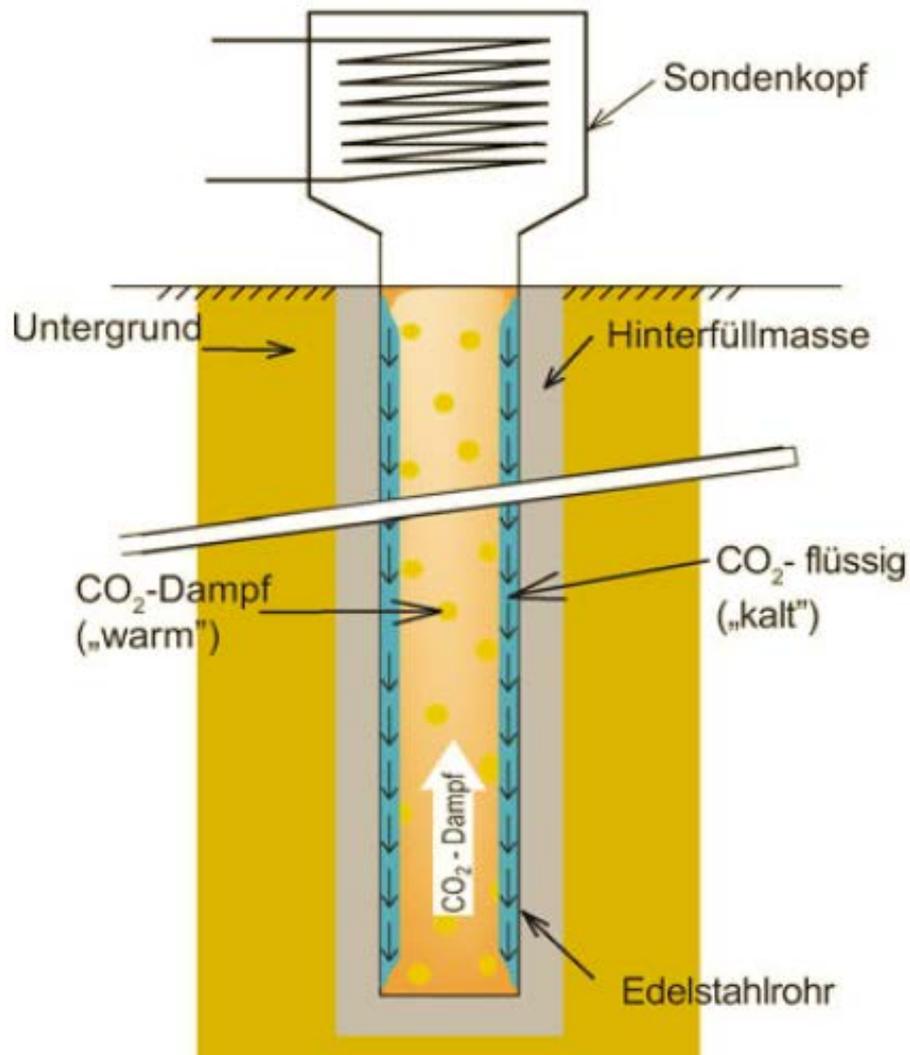
# 1c - Erdwärmesonde



geschlossenes, mit zirkulierender Trägerflüssigkeit befülltes U-förmiges Rohrsystem

Entzieht dem Erdreich Wärme, die meist an den Wärmetauscher (Verdampfer) einer Erdwärmepumpe weitergegeben wird.

# Phasenwechselsonde



# Phasenwechselsonde



**Tab. 6.3** Eigenschaften verschiedener Arbeitsmittel von Phasenwechselsonden

	Ammoniak	Kohlendioxid	Propan
Siedetemperatur (°C) bei Normaldruck (1 bar)	-33	-78	-42
Dichte ( $10^{-3}$ kg/m <sup>3</sup> ) bei Siedetemperatur	0,682	1,032	0,58
Dampfdruck (bar) bei 0 °C	4,82	34,91	4,76
Verdampfungsenthalpie (kJ/mol)	21,4	23,2	19,0





# Wärmenutzung

Wärmetauscher/Wärmepumpe

Wärme-Kraft Kopplung  
(zur Stromgewinnung oder zur  
Fernwärmeversorgung)



# Probleme und Auswirkungen

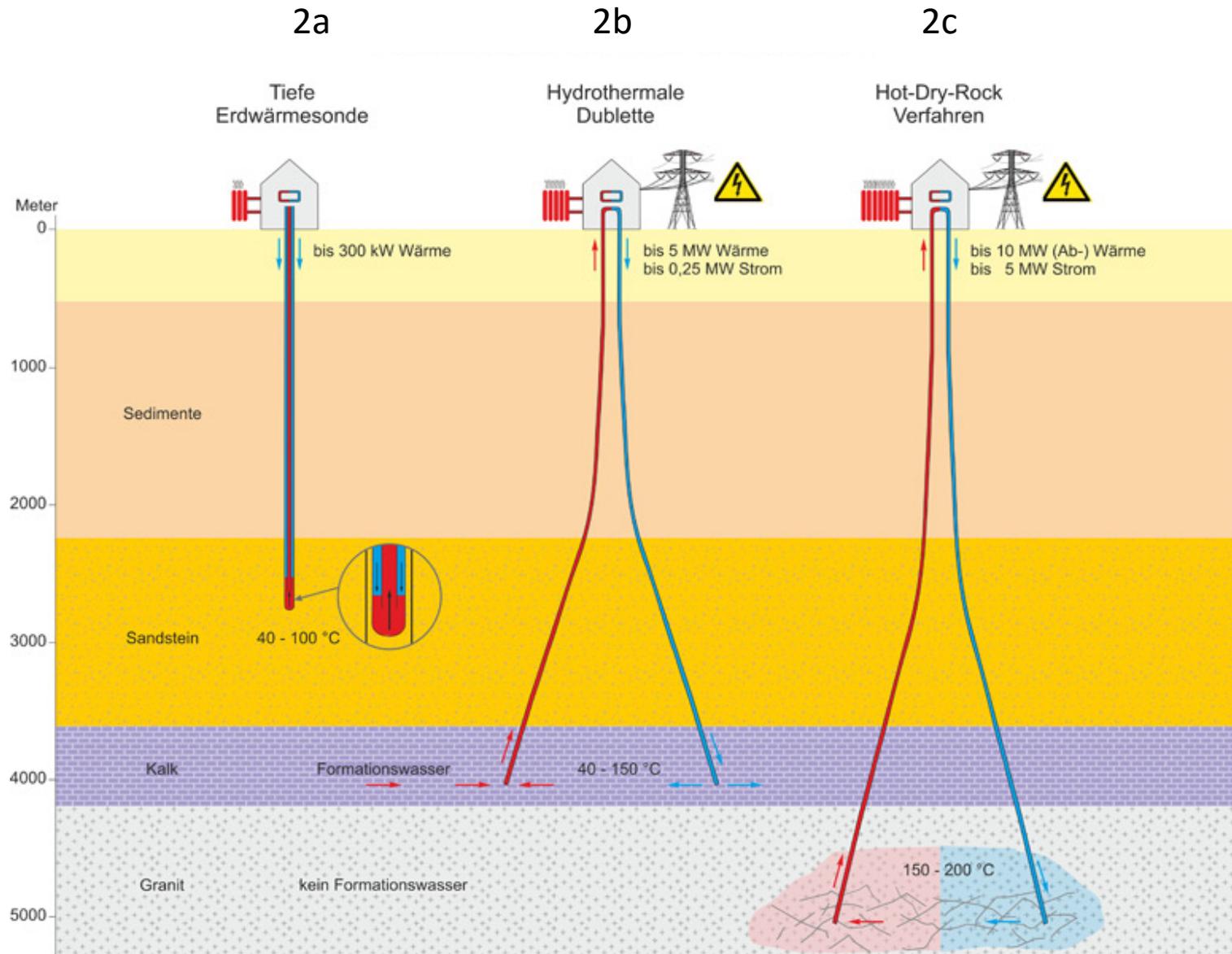
Nicht ausreichend abgedichteter Ringraum

Erhöhung der Durchlässigkeit des Aquifers

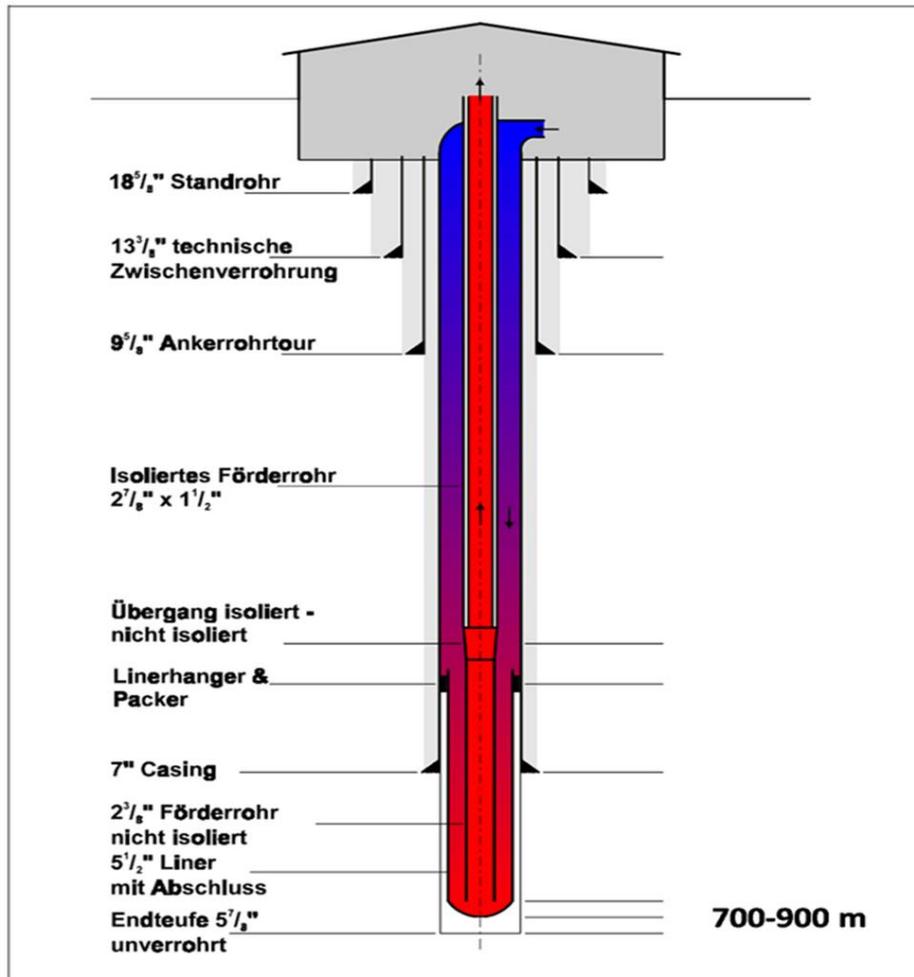
Temperaturveränderungen

Auswirkungen auf Grundwasserfauna

# Tiefe Geothermie



# 2a – Tiefe Erdwärmesonde



höhere Temperaturen,  
meist keine Wärmepumpe  
notwendig

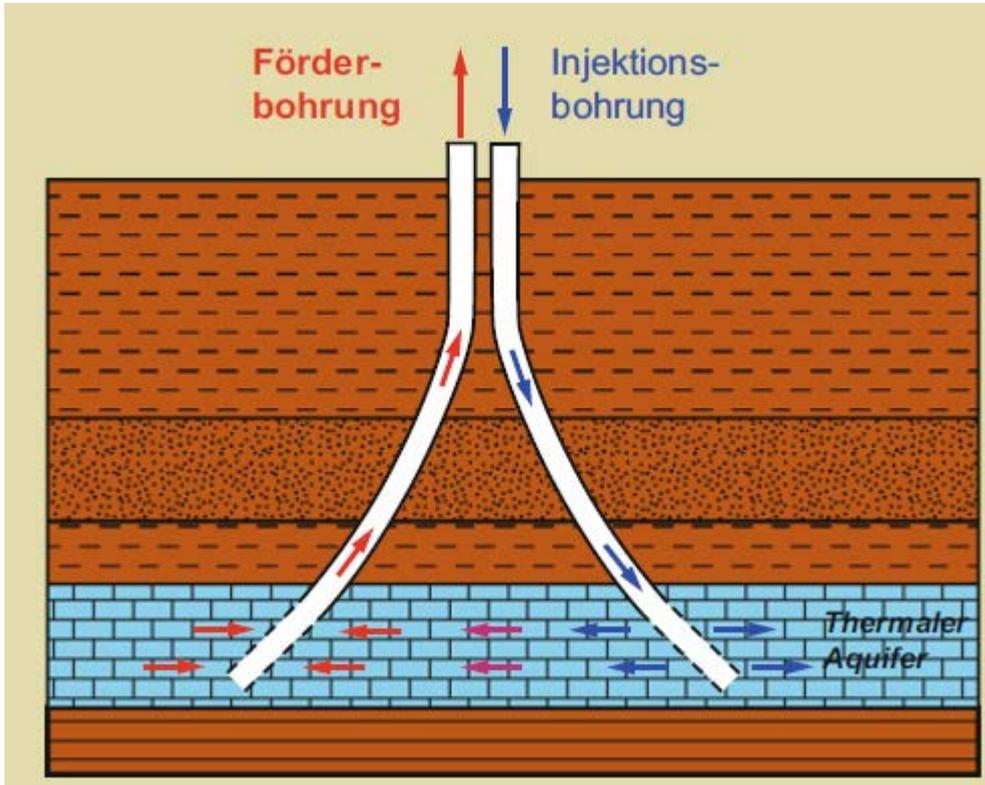
Wärmeübertragungsfläche  
entspricht Mantelfläche der  
Bohrung.

Entzugsleistung: 150 bis 250 W/m

→ Bei 2000 bis 3000m Bohrtiefe  
nur einige hundert kW

→ Stromerzeugung nicht  
wirtschaftlich.

# 2b – Hydrothermale Dublette

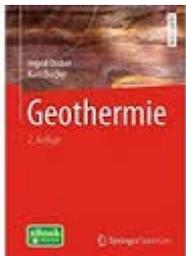


gängigste Nutzungsart von hydrothermalen Systemen

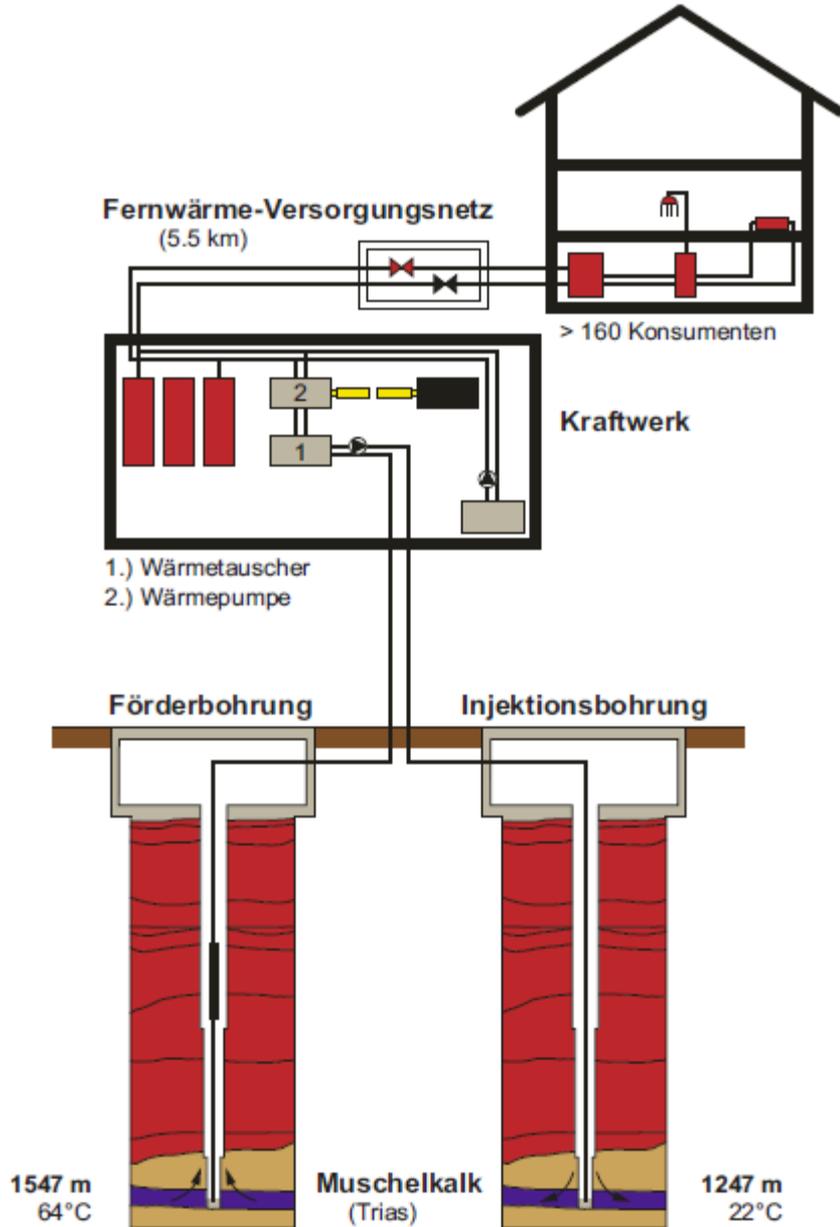
Heißes Wasser wird aus einem tiefen Grundwasserleiter gefördert

An der Erdoberfläche wird ihm durch einen Wärmetauscher die Wärme entzogen

Der nicht mehr nutzbare Restwärmestrom wird in definierter Entfernung demselben Aquifer, dem Grundwasserleiter, wieder zurückgegeben (injiziert)



# 2b – Hydrothermale Dublette



Beispiel für hydrothermale  
Dublette

Riehen bei Basel



# Förderpumpen



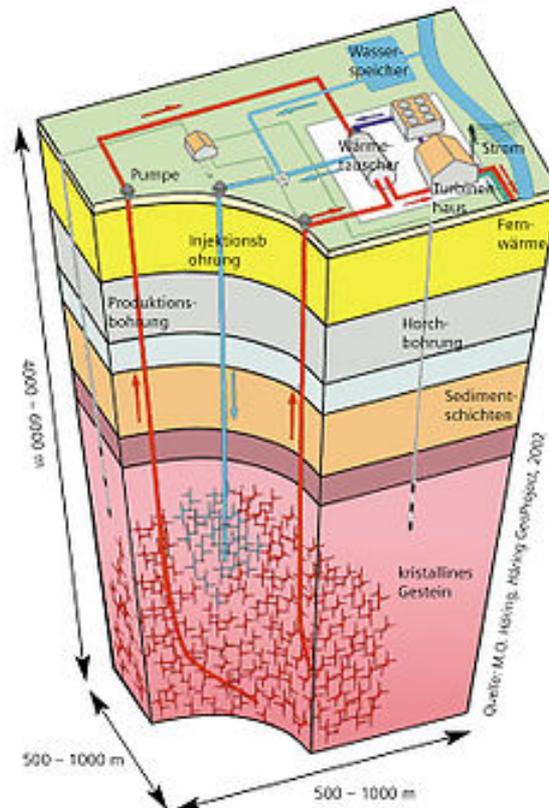
*Abb. 1 Pumpenprototypen für unterschiedliche Förderraten  
(links: bis 100 l/s, rechts: bis 200 l/s)*

# 2c - Petrothermale Systeme

Enhanced Geothermal Systems (EGS)

Hot-Dry-Rock (HDR)

Deep heat mining (DHM)



tiefer Aquifer muß  
nicht vorhanden  
sein

# 2c - Petrothermale Systeme

## Ertüchtigungsmaßnahmen

Schocken der Bohrung (ruckartiges Pumpen)

Säurestimulation (z.B. bei karbonatischen Gesteinen)

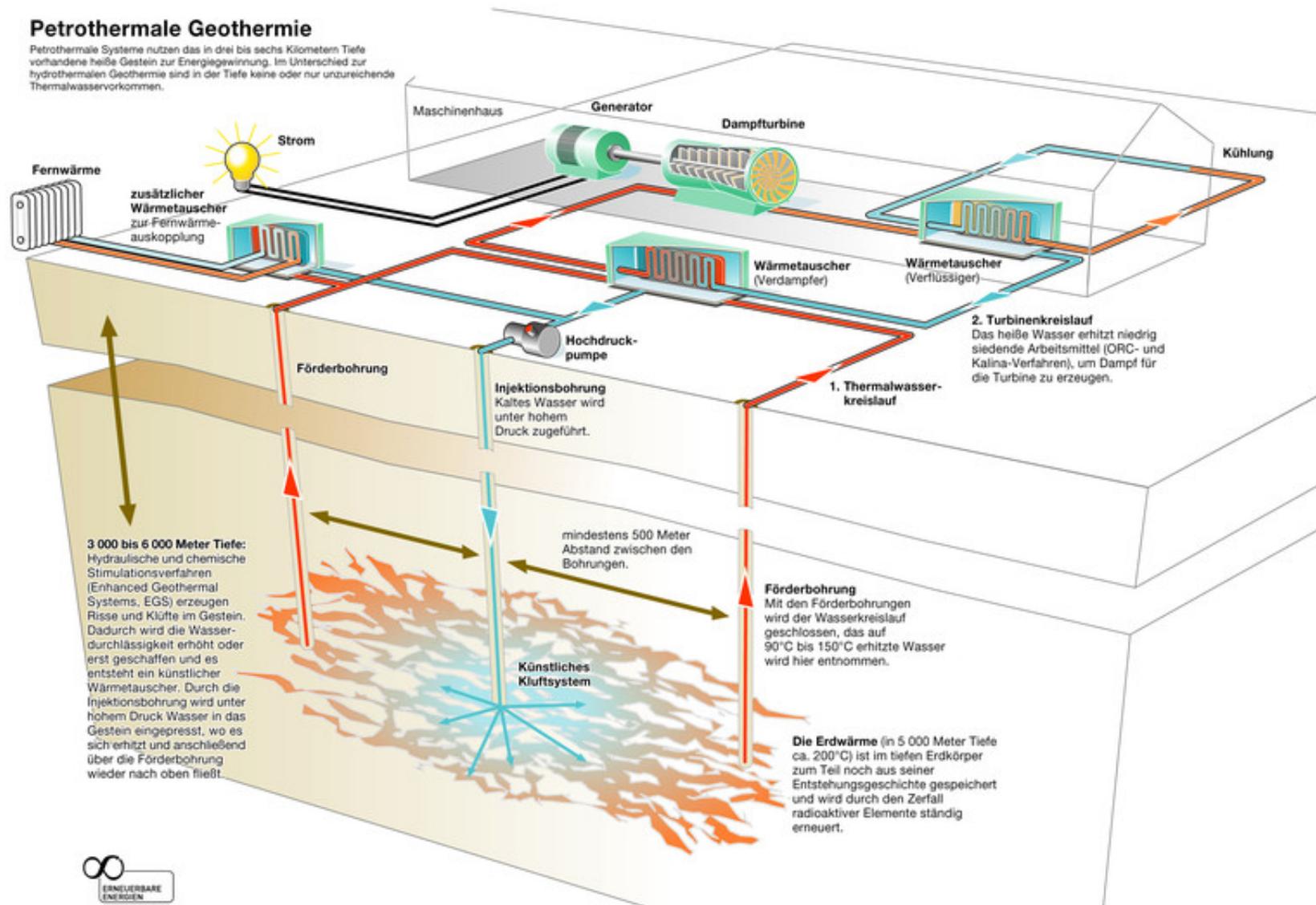
Hydraulische Rissbildung (Fracen)

Gefahr der induzierten Seismizität

# 2c - Petrothermale Systeme

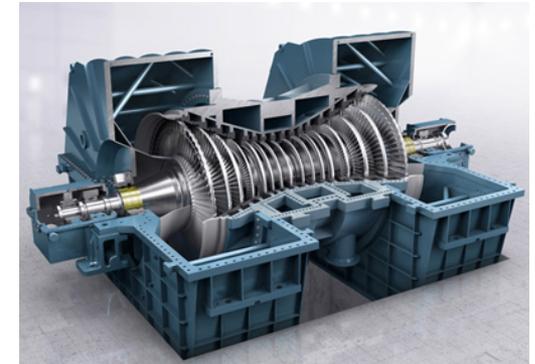
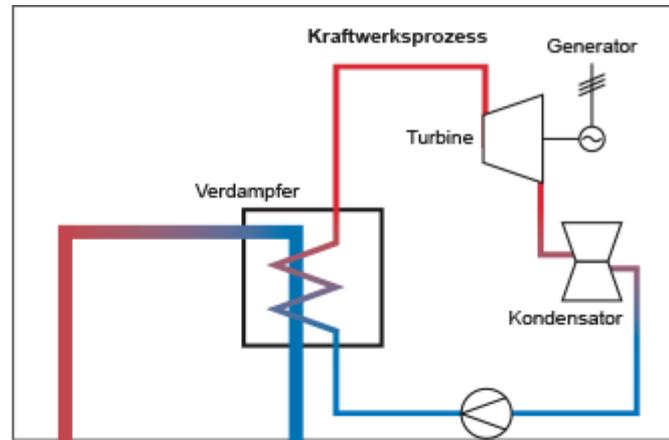
## Petrothermale Geothermie

Petrothermale Systeme nutzen das in drei bis sechs Kilometern Tiefe vorhandene heiße Gestein zur Energiegewinnung. Im Unterschied zur hydrothermalen Geothermie sind in der Tiefe keine oder nur unzureichende Thermalwasservorkommen.

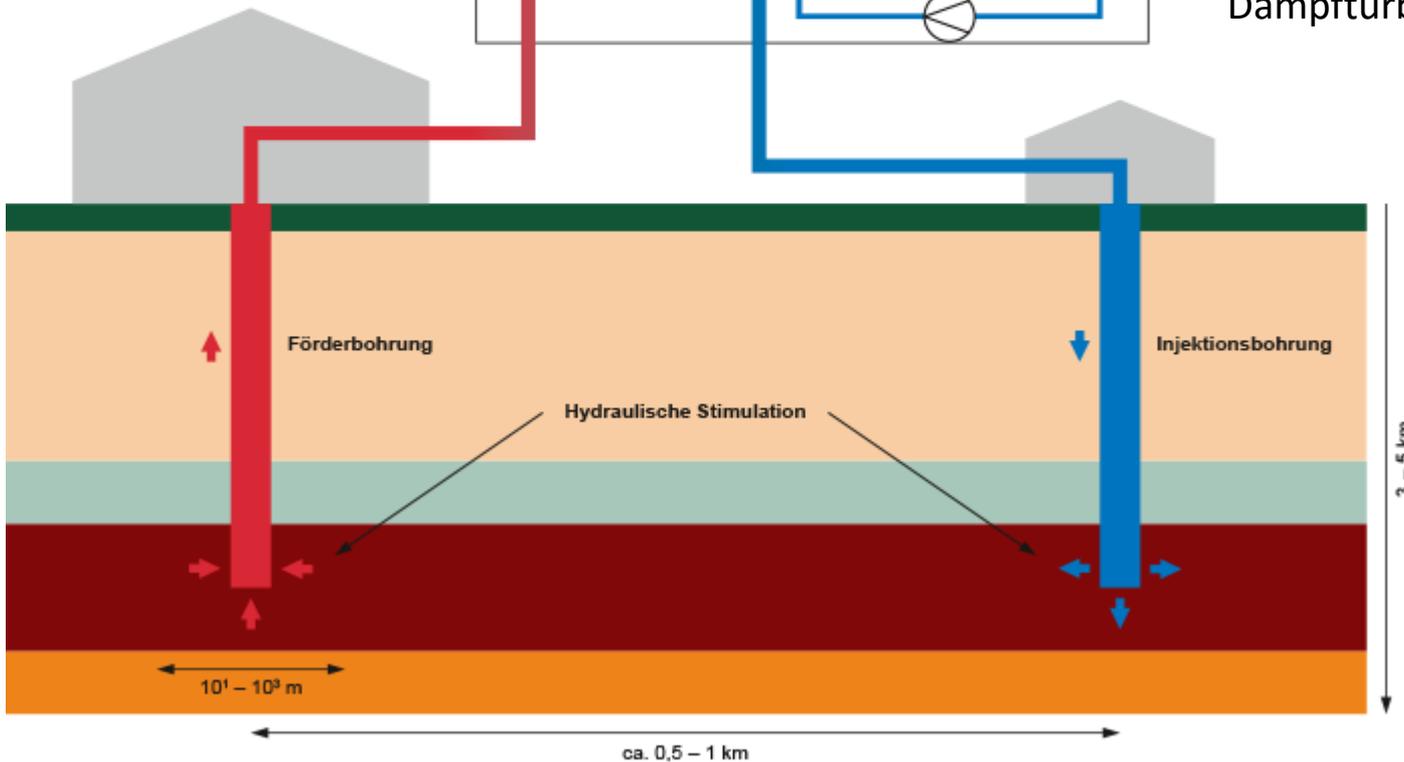


# Prinzip der Stromerzeugung über einen Wärmetauscher

Königsdisziplin der Geothermie: Über Wärmetauscher Wasserdampf erzeugen, mit dem mittels Dampfturbine ein Stromgenerator angetrieben werden kann

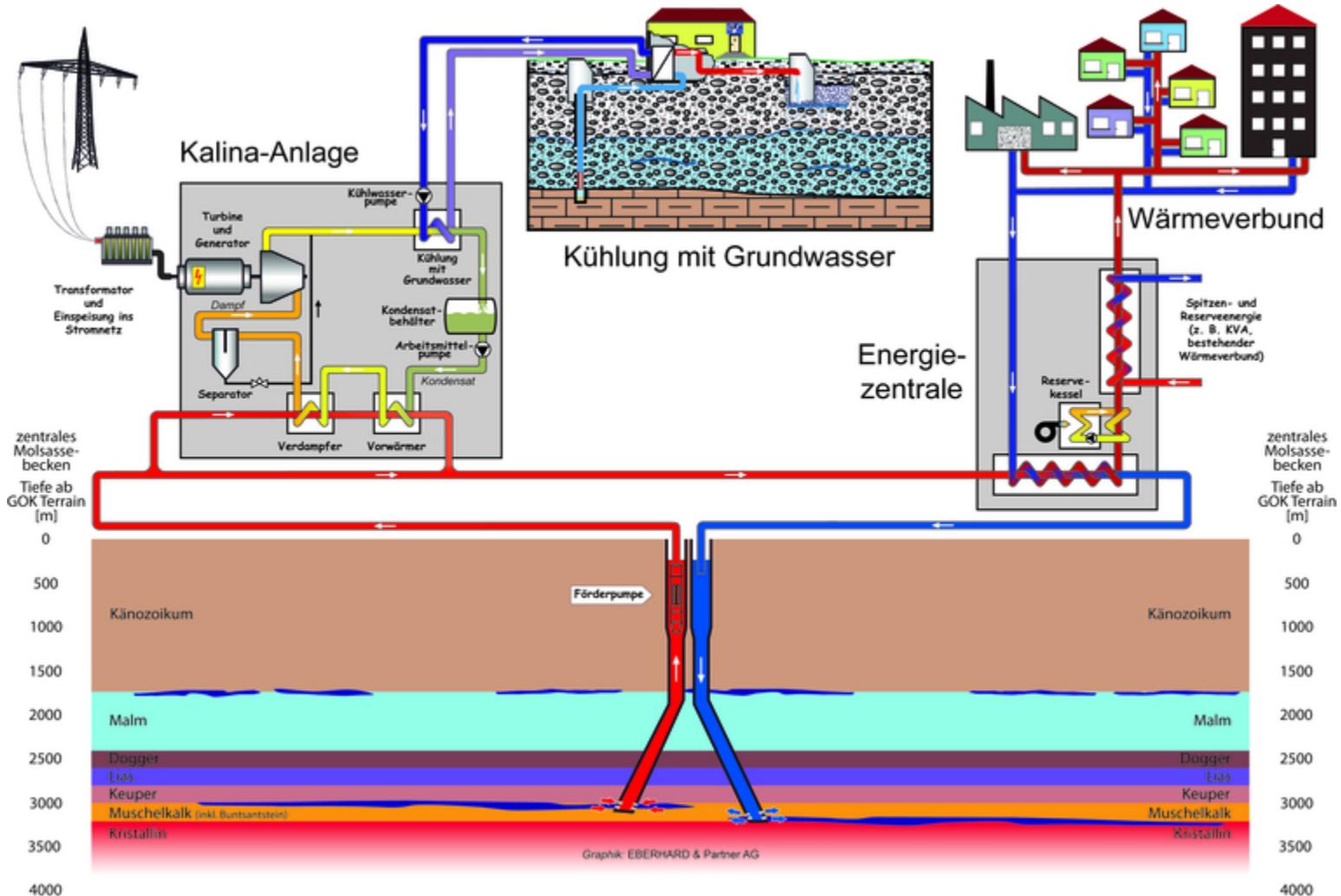


Dampfturbine (Siemens)

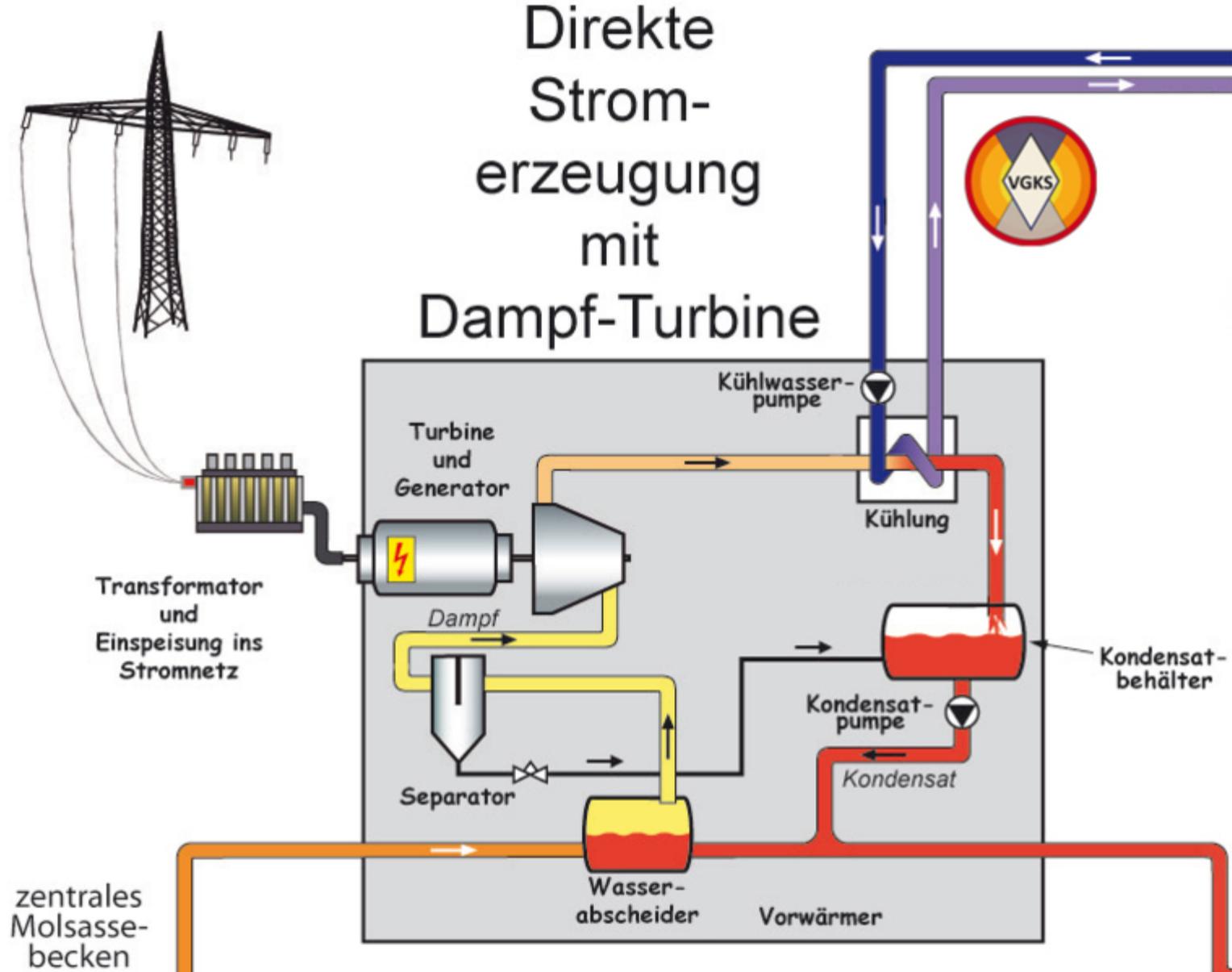


# Anlagentypen

Temperaturgefälle zwischen Wärmequelle und Wärmesenke ausschlaggebend

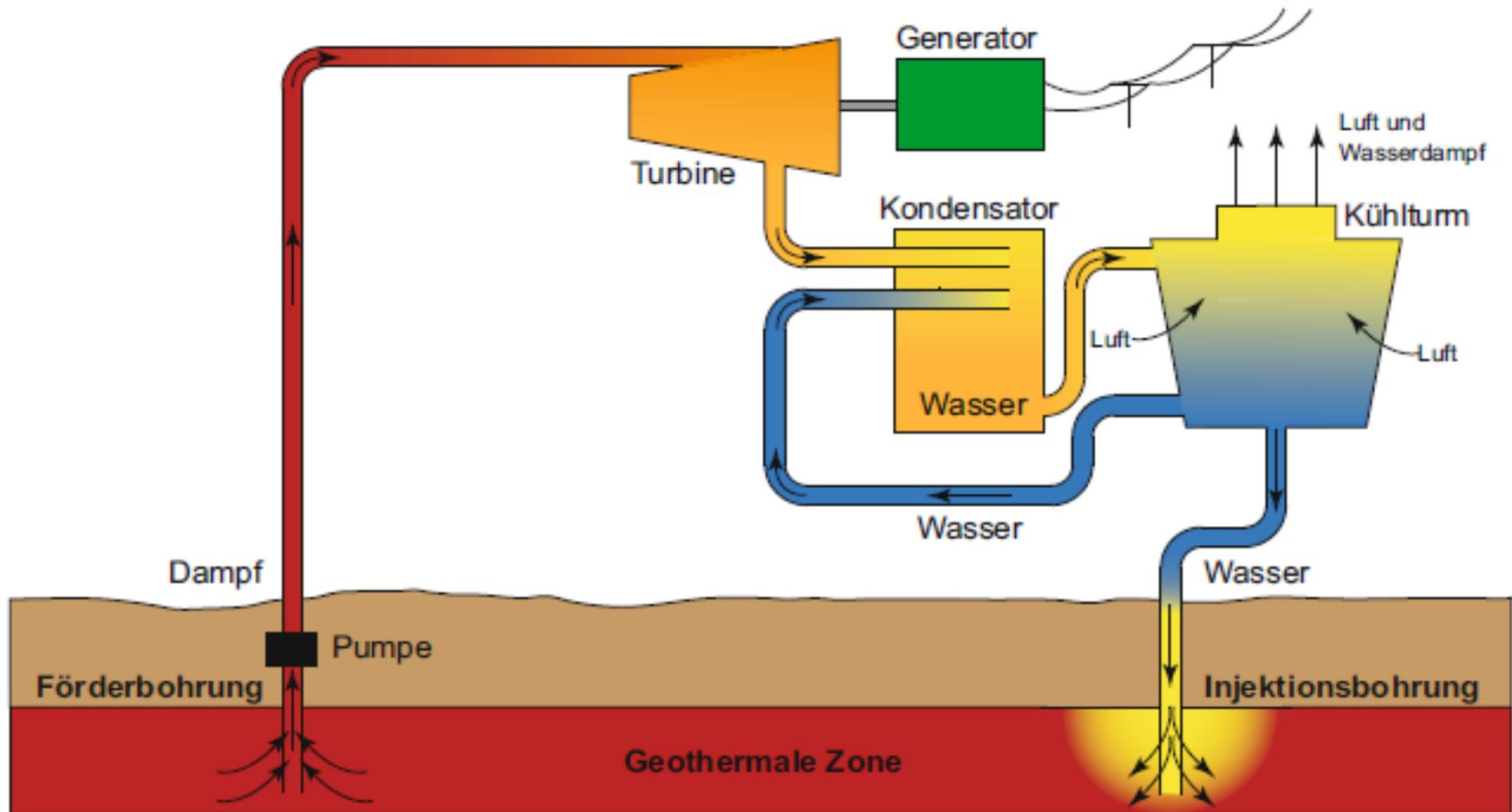


# Trocken- und Nassdampf Kraftwerkanlagen



# Trocken- und Nassdampf Kraftwerkanlagen

## Dry-Steam-Kraftwerk



# Anlagentypen

zur geothermischen Stromerzeugung in geschlossenen Systemen aus Niedertemperatur-Lagerstätten

Organic Rankine Cycle-Anlagen (ORC)

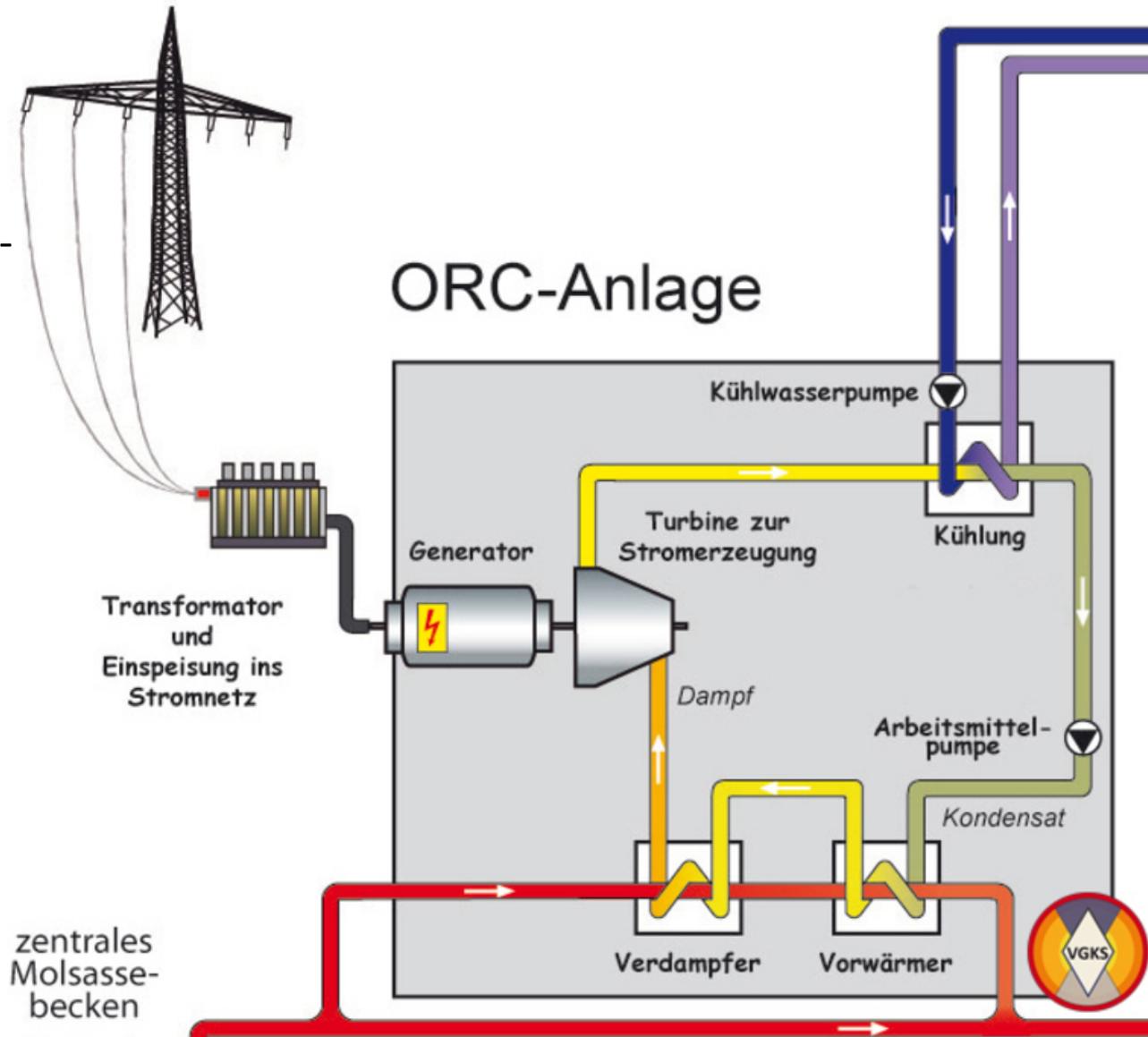
Kalina-Anlagen

Wärmetauscher zwischen den  
geförderten Wasserdampf und der  
Turbine

# Organic Rankine Cycle-Anlagen (ORC)

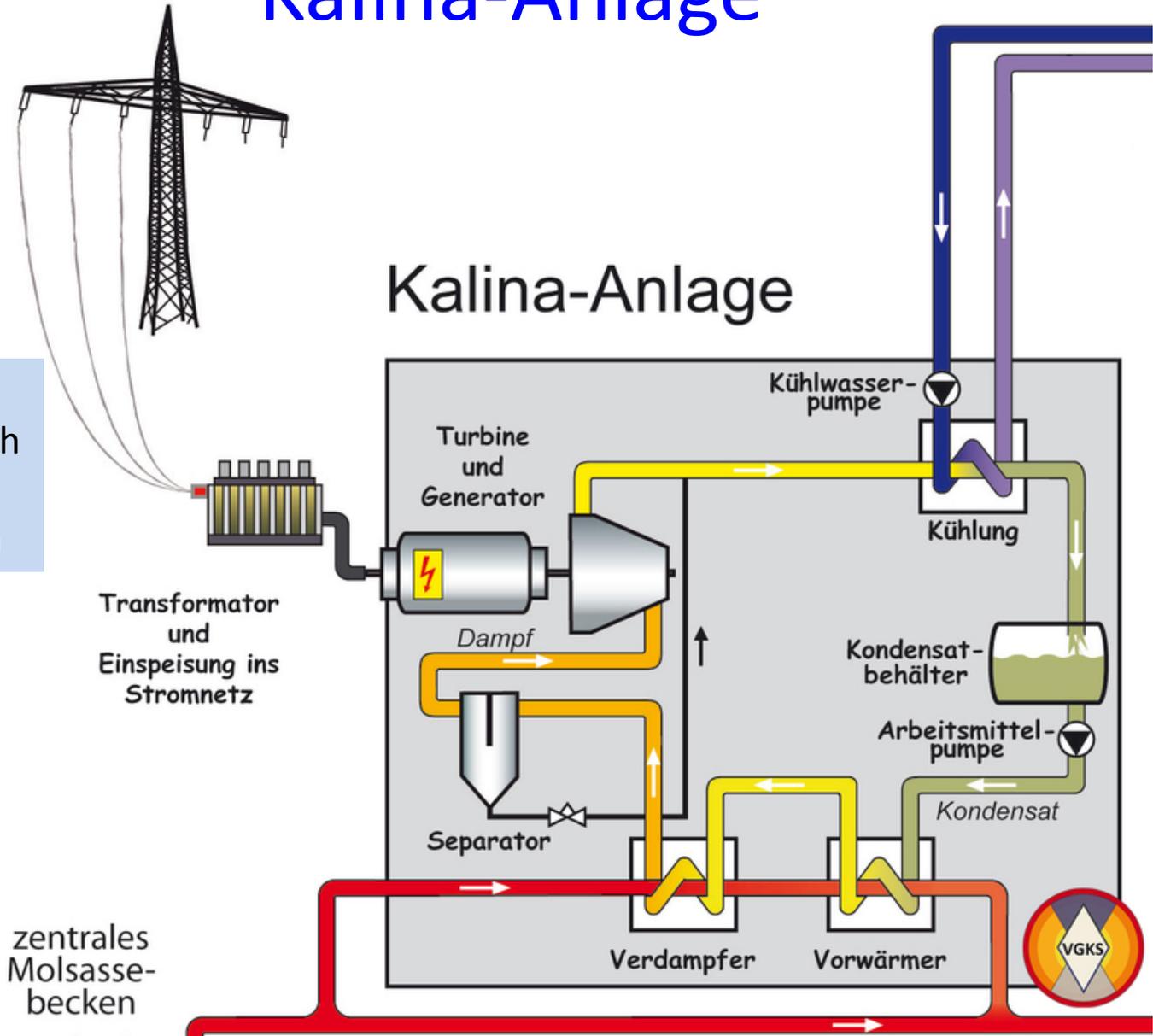
Isopentan oder Isobutan als Wärmeträgermedium

Nachteil:  
Wärmeübertragung erfolgt bei einer bestimmten Temperatur  
Anpassung an veränderte Temperaturen nicht mehr möglich



# Kalina-Anlage

Ammoniak-Wassergemisch als Wärmeträgermedium



Transformator und  
Einspeisung ins  
Stromnetz

zentrales  
Molsasse-  
becken

Kalina-Anlage

Kühlwasser-  
pumpe

Turbine  
und  
Generator

Kühlung

Dampf

Kondensat-  
behälter

Arbeitsmittel-  
pumpe

Separator

Kondensat

Verdampfer

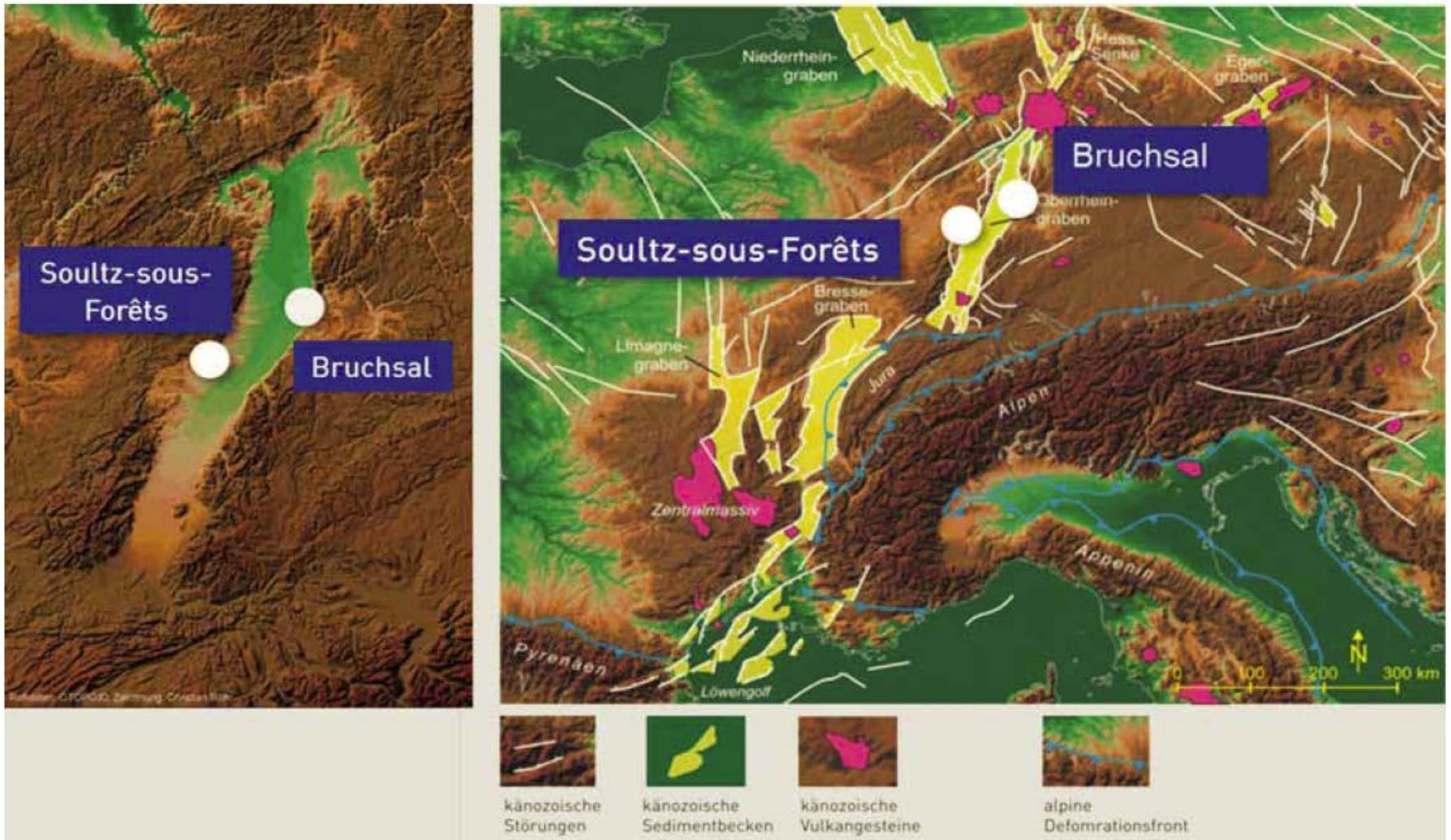
Vorwärmer



# Tiefe Geothermie in Deutschland

# Geothermische Stromerzeugung: Bruchsal & Sultz-sous-Forêts

<http://www.dggt.de/images/PDF-Dokumente/22%20mergner%20-%20energiewende.pdf>





# Anlage Soultz-sous-Forêts

Geothermiekraftwerk seit 2008

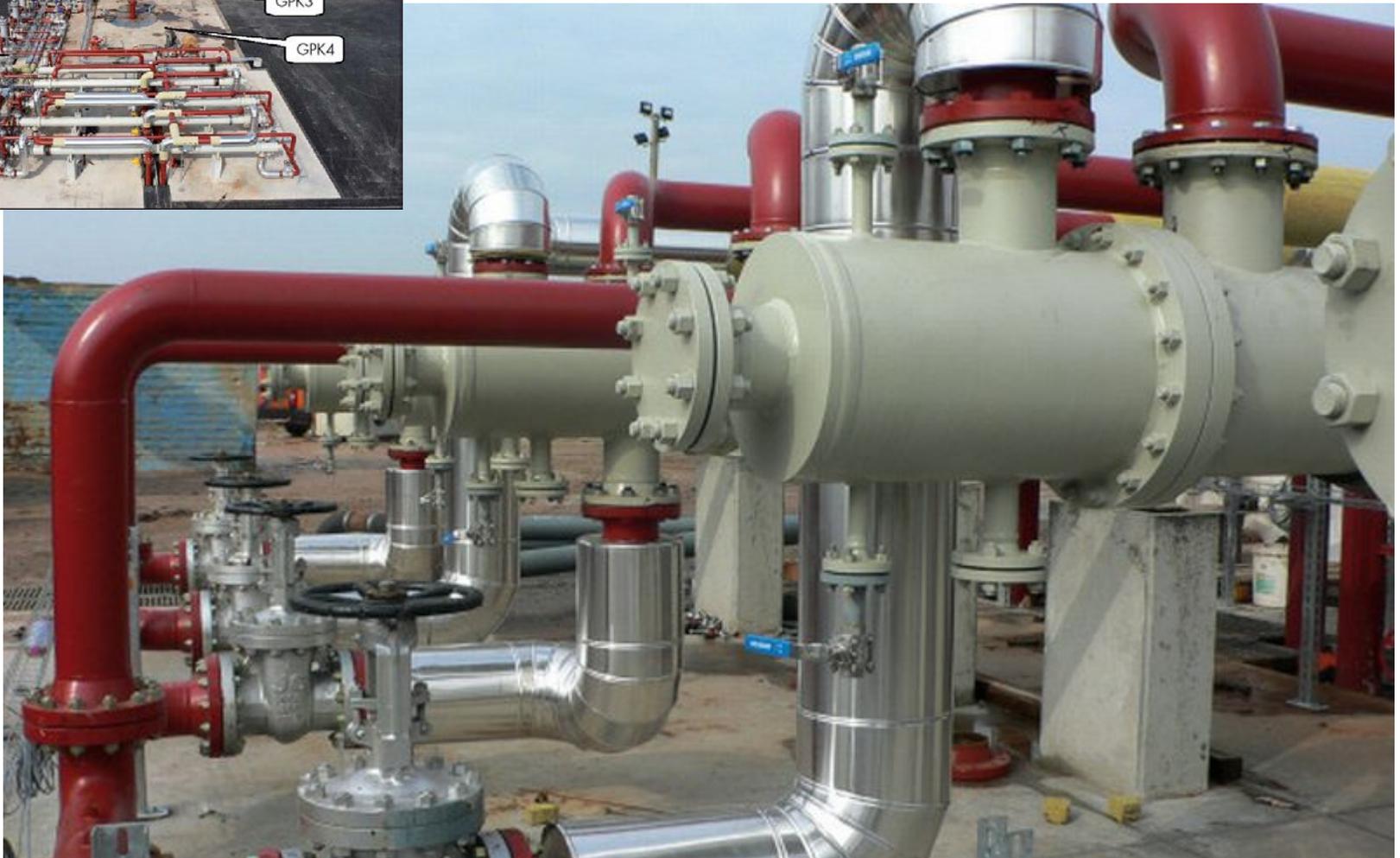
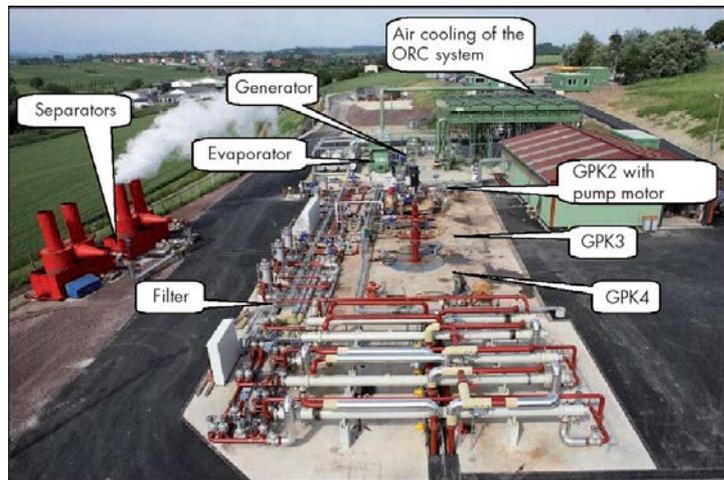
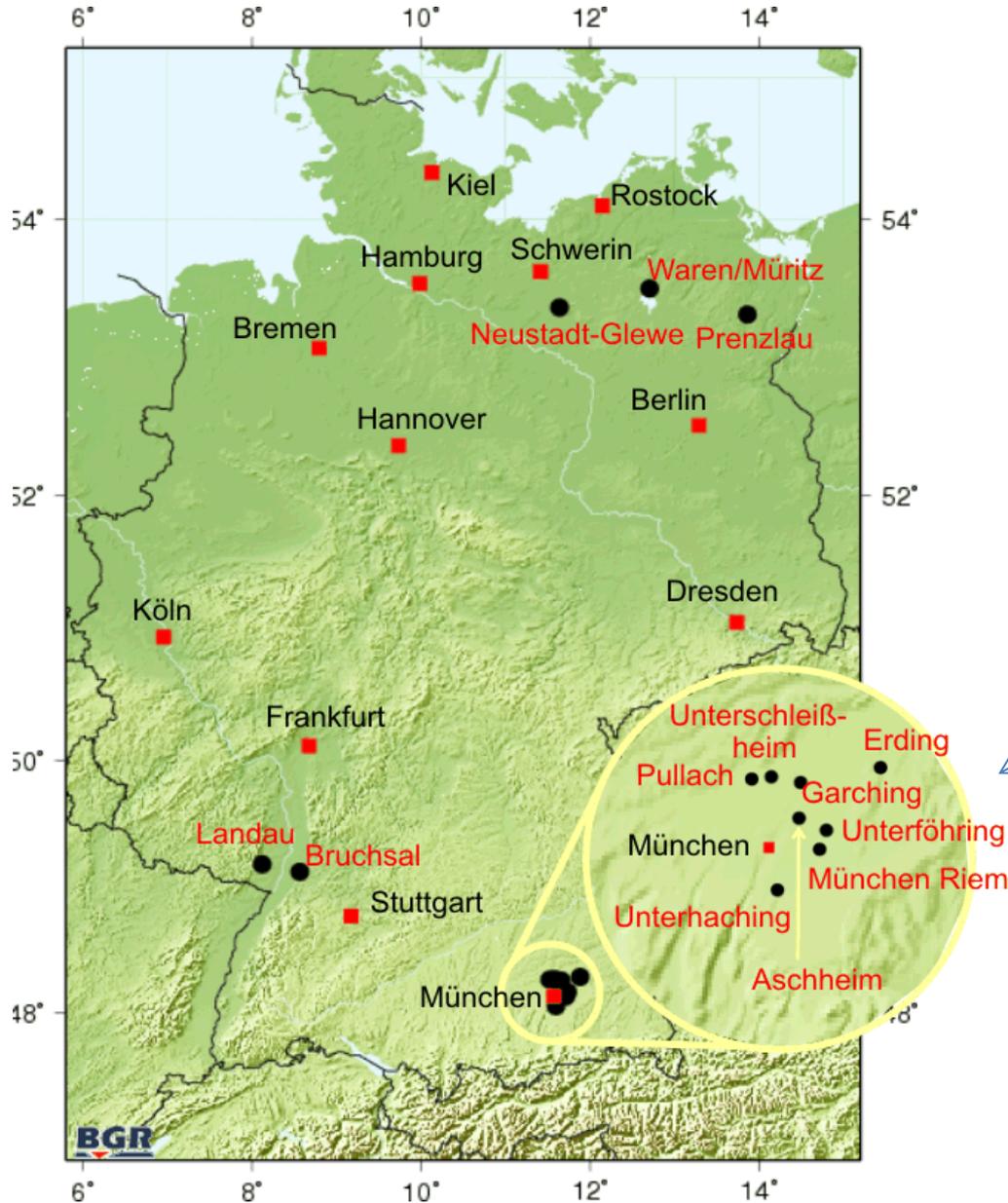




Tabelle 1. Vergleich der Eckdaten der ORC-Anlage in Soultz mit der KALINA-Anlage in Bruchsal.

	ORC in Soultz	Kalina in Bruchsal
<b>Thermalwasser</b>		
Vorlauftemperatur [°C]	ca. 175	ca. 123
Rücklauftemperatur [°C]	ca. 70	ca. 60
Förderrate [l/s]	ca. 25-35	ca. 24
Thermische Leistung [MW]	ca. 21	ca. 5,5
<b>Stromerzeugungsanlage</b>		
Arbeitsmedium	Butan	Ammoniak-Wasser-Gemisch
Kühlturm	Luftkühlung	Nasskühlturm
Wärmetauscher	Rohrbündelwärmetauscher	Plattenwärmetauscher
Turbine	Einstufige Radialturbine	Einstufige Radialturbine
Druck am Turbineneinlass [bar]	ca. 19	ca. 20
Elektrische Leistung [MW]	ca. 2,1	ca. 0,55

# Tiefe Geothermie in Deutschland



Geothermischer  
Hotspot Bayern (36  
MW Strom aus Tiefer  
Geothermie)

# Tiefe Geothermie in Deutschland

www.geothermie.de

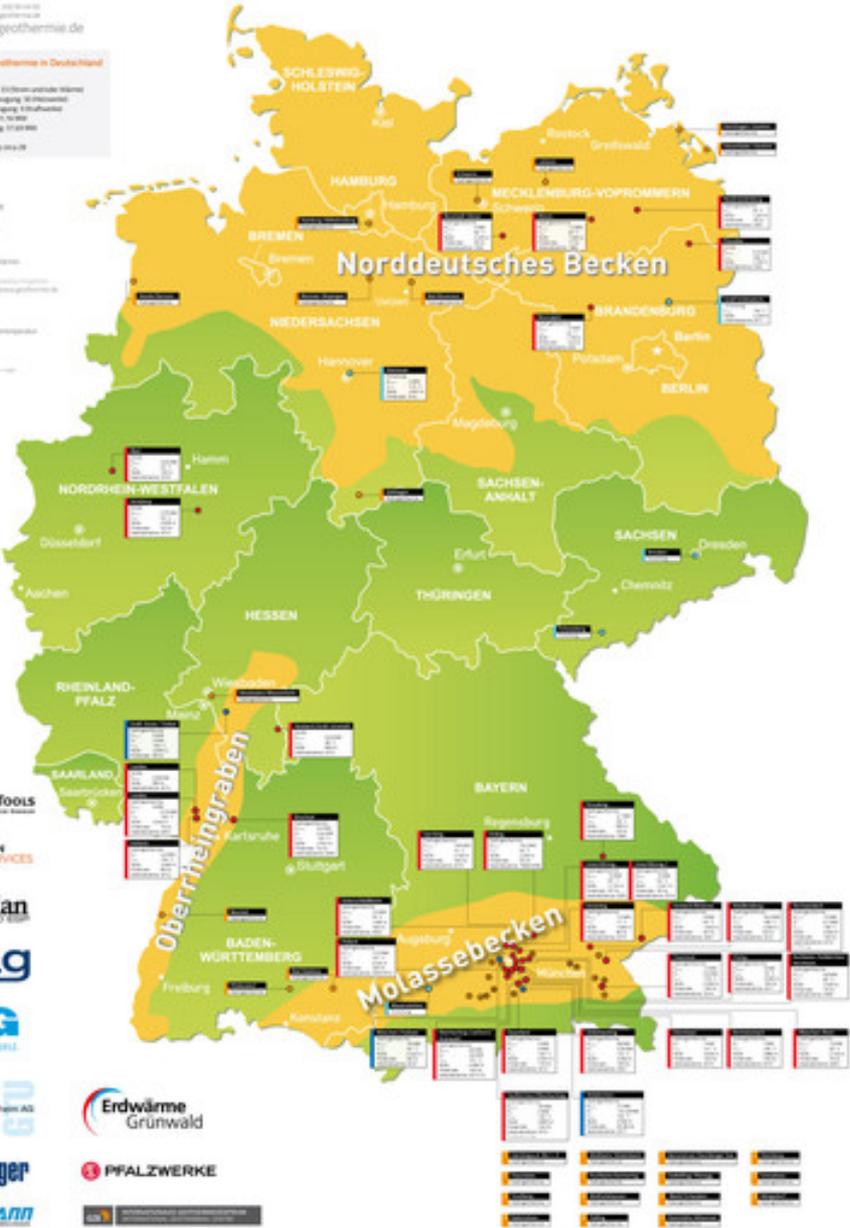
**Nutzung der Tiefen Geothermie in Deutschland**

**Anzahl der Anlagen in Betrieb:** 11 (Strom und/oder Wärme)  
**Anzahl der Anlagen in Planung:** 10 (Strom und/oder Wärme)  
**Anzahl der Anlagen in Planung:** 10 (Strom und/oder Wärme)  
**Anzahl der Anlagen in Planung:** 10 (Strom und/oder Wärme)

**Legende**

- in Betrieb
- in Planung
- in Planung (Strom und/oder Wärme)

Quelle: Bundesverband Geothermie  
 Stand: 31.12.2017  
 © Bundesverband Geothermie



# Geothermie in Deutschland

## HDR-Projekt in Bad Urach vor dem Aus

Erprobung des HDR Verfahrens in Deutschland seit den 70er Jahren

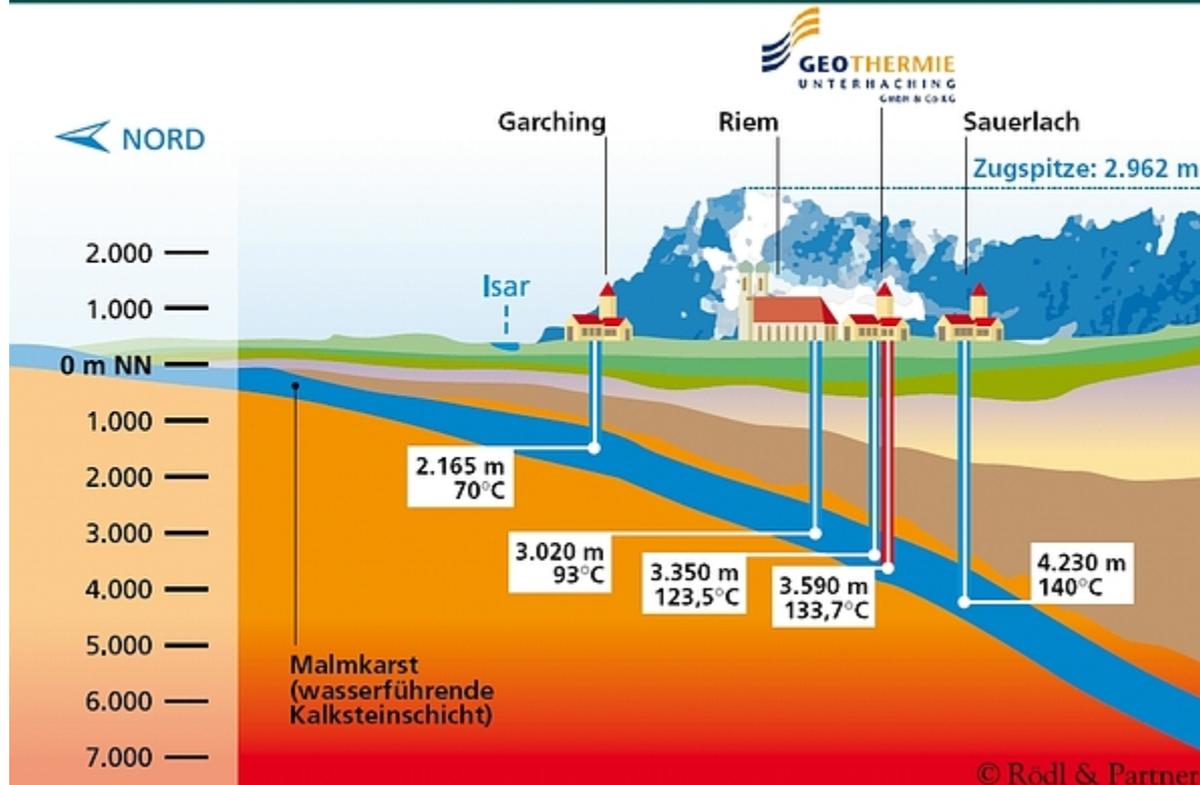
Zwei tiefe Bohrlöcher (Urach 3, Urach 4 vorhanden (liegen aber nur 100 m weit auseinander); enthalten abgerissene Bohrgestänge und vergelte Spülungen.

Lt. Machbarkeitsstudie (hydraulische Stimulation) geothermische Wärmeversorgung nicht wirtschaftlich

Mögliche Alternative für Urach: tiefe Sonde

# Geothermie in Deutschland

## Nord-Süd-Schnitt durch das Voralpenland



# Geothermie in Deutschland



# Geothermie in Deutschland

