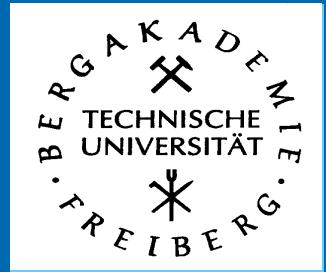




Das geothermische Ressourcenpotenzial - System Erde -



Geothermie : Stand / Bedarf und Innovationspotenzial

Prof. Dr. rer. nat. habil. Steffen Wagner

Institut für Bohrtechnik und Fluidbergbau, TU Bergakademie Freiberg,

Quellen: M. Wagner, BLZ Geotechnik GmbH Gommern

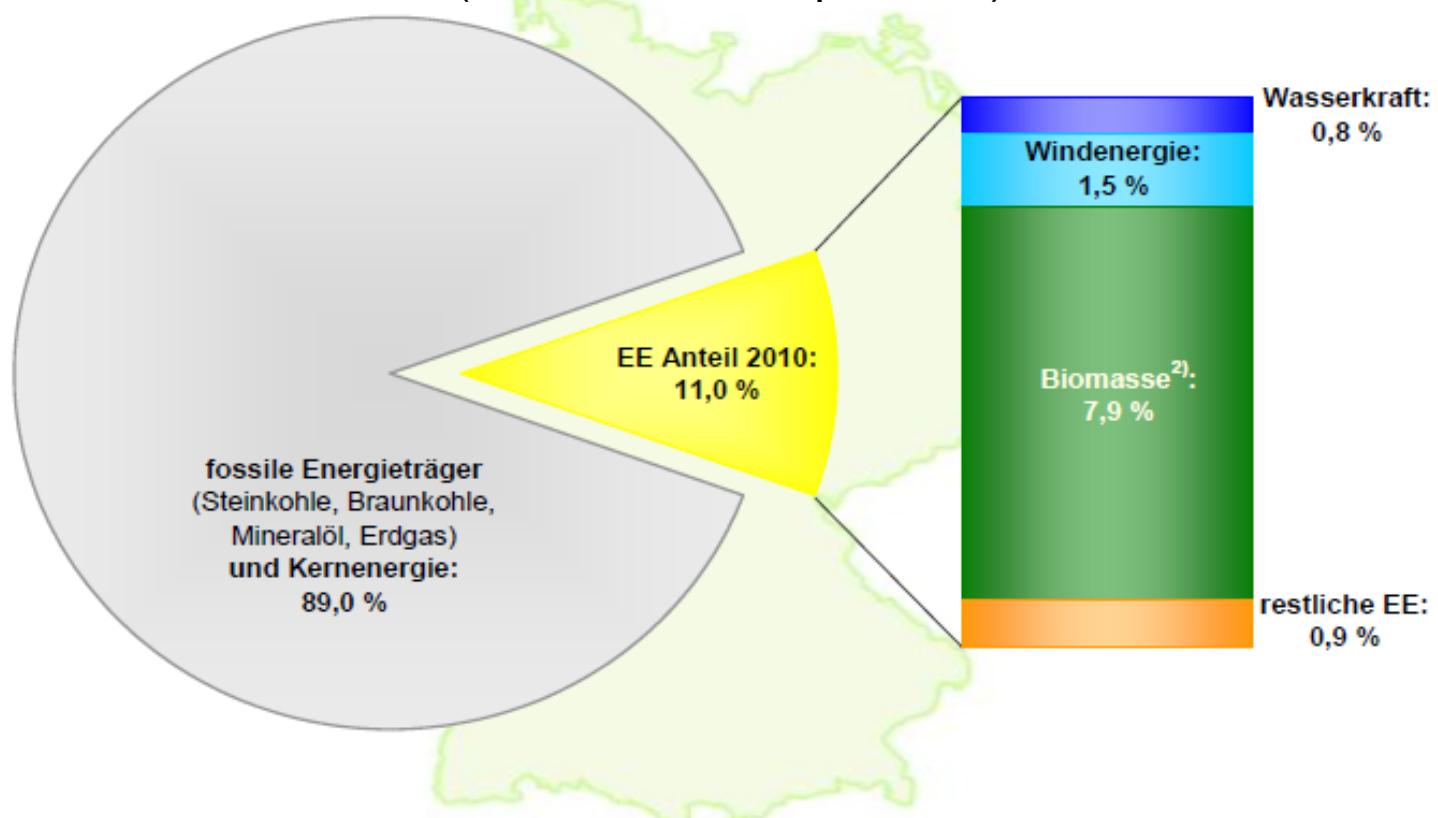
F. Häfner, TU Bergakademie Freiberg

J. Hamann, Ingenieurbüro, R. Grimm geoENERGIE Konzept
www.geothermie.de

Anteil erneuerbarer Energie am Endenergieverbrauch Deutschland - 2010

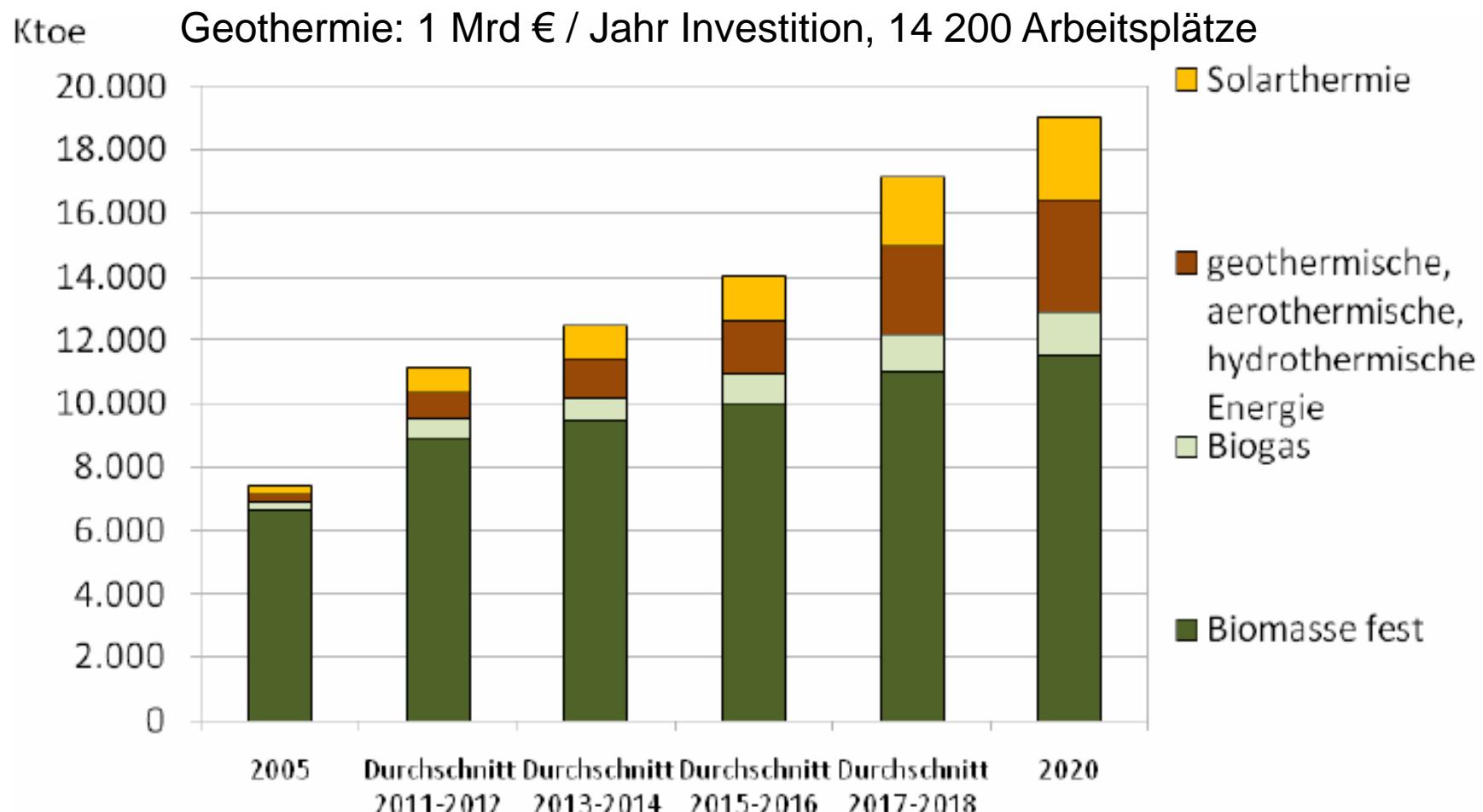
EEV gesamt: 8.984 PJ¹⁾

Geothermie : weltweit 3% Strom und 7,5% Wärme
(Wachstumsrate pro Jahr)



1) Quelle: Energy Environment Forecast Analysis GmbH & Co KG (EEFA); 2) Feste und flüssige Biomasse, Biogas, Deponie- und Klärgas, biogener Anteil des Abfalls, Biokraftstoffe;
Quelle: BMU-KI III 1 nach Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat) und ZSW, unter Verwendung von Angaben der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V. (AGEB);
EE: Erneuerbare Energien; 1 PJ = 10^{15} Joule; Abweichungen in den Summen durch Rundungen; Stand: März 2011; Angaben vorläufig

Prognose „Wärme“ aus regenerativen Energien (BBE) bis 2020



Geothermie – Stand / Bedarf / Ausblick

- Rahmenbedingungen: Neubau + Altbausanierung unter **Einbeziehung regenerativer Energieträger**
- Entwicklung im Marktsegment „Systemlösung“
- Ausbildung, Bildung und Weiterbildung
- Einbindung von Architekten / Bauträgern für **effiziente Gesamtlösungen**
- Qualitätskontrolle durch „Zertifizierung“
- Institution für Fo + E zur Geothermie
- Geo- + Ingenieurwesen = **Zukunftstechnologie**

Geothermie

Stand / Bedarf / Ausblick

- **Imagekampagne Erdwärme – Nutzung in öffentlichen Gebäuden (Investitions- und Betriebskosten)**
- **Qualitätsmanagement und Genehmigungsverfahren (Zusammenarbeit mit Behörden)**
- **Geothermische Potenzialkarten**
- **Förderung von Altbausanierung (Heizung + Klimatisierung) – Evaluierungsprogramm / Nutzer**
- **Demonstrationszentren Geothermie**

Prinzipielle Vorteile Geothermie



- Grundlastfähigkeit
- bedarfsgerecht verfügbar - kontinuierlich
- potentiell überall nutzbar, geringer Flächenbedarf
- kein Einfluß auf Fauna und Flora
- Gestehungskosten Wärme/Kälte \approx fossil
- emissionsarm bis emissionsfrei
- hohes Entwicklungspotential

Erdwärme – radioaktiver Zerfall (60 – 70%) + Restwärme

- über Erdregister
- über Bohrungen
- aus natürlichen Quellen

In der Erdkruste gespeicherte Energie

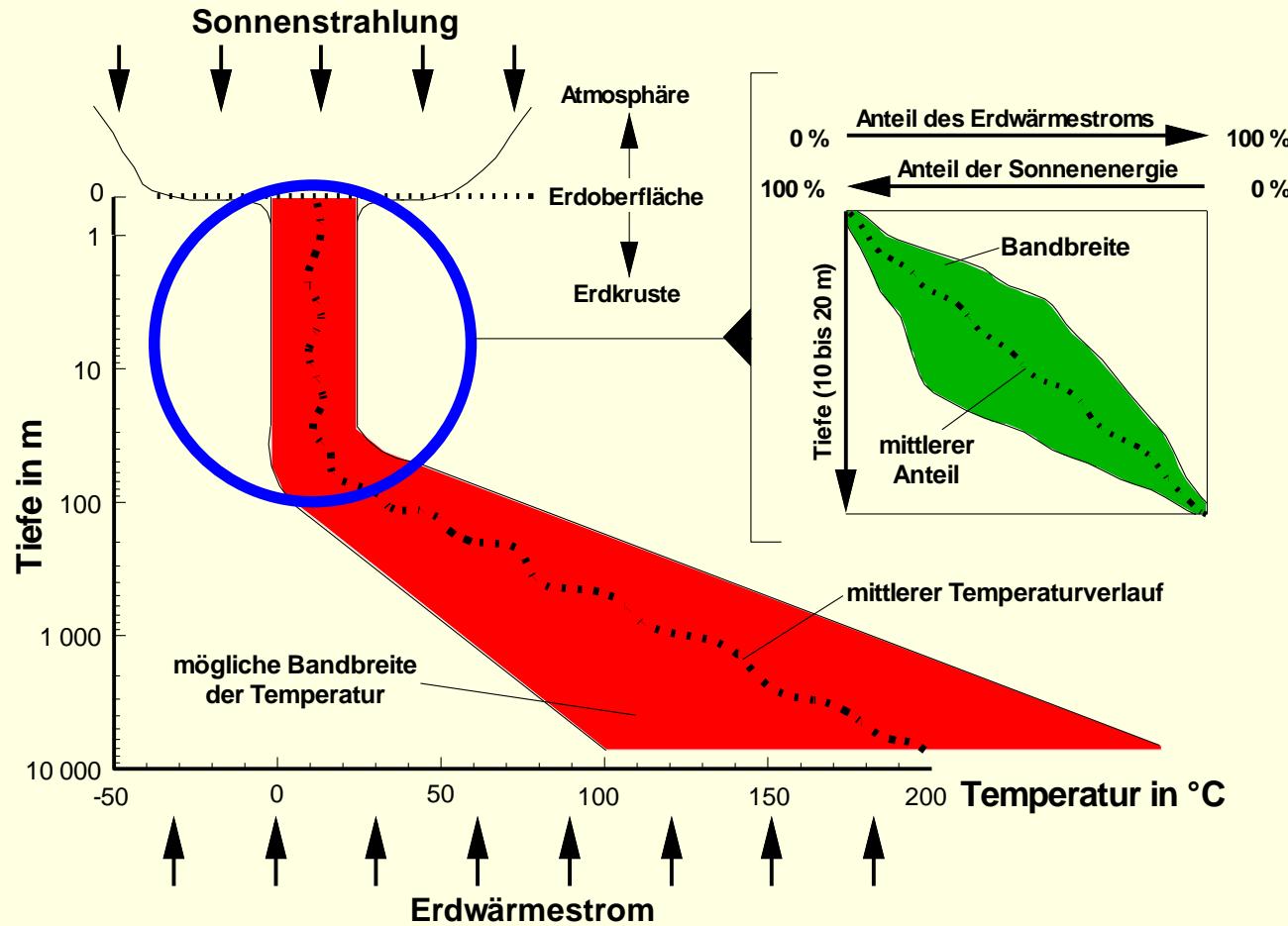
Vergleicht man die bis in 3000 m gespeicherte geothermische Energie mit dem Weltenergieverbrauch, so scheinen wir uns um Energieprobleme keine Sorgen mehr machen zu müssen.

Das, was in diesem, auf die heutigen Möglichkeiten der Bohrtechnik bezogen doch eher oberflächennahen Bereich gespeichert ist, reicht aus, den Bedarf der Menschheit für die nächsten 100 000 Jahre zu decken.

Unter den erneuerbaren Energien nimmt die Geothermie wegen ihrer Eigenschaften eine besondere Stellung ein:

Sie steht unabhängig von Witterung, Tag- und Nachtzeiten immer bedarfsgerecht zur Verfügung. Geothermische Energie ist Grundlastenergie

Temperaturzunahme mit der Tiefe



1. Reservoirtypen

Petrothermales System
EGS - Enhanced Geothermal
System

Hydrothermales System

Hot-Dry-Rock

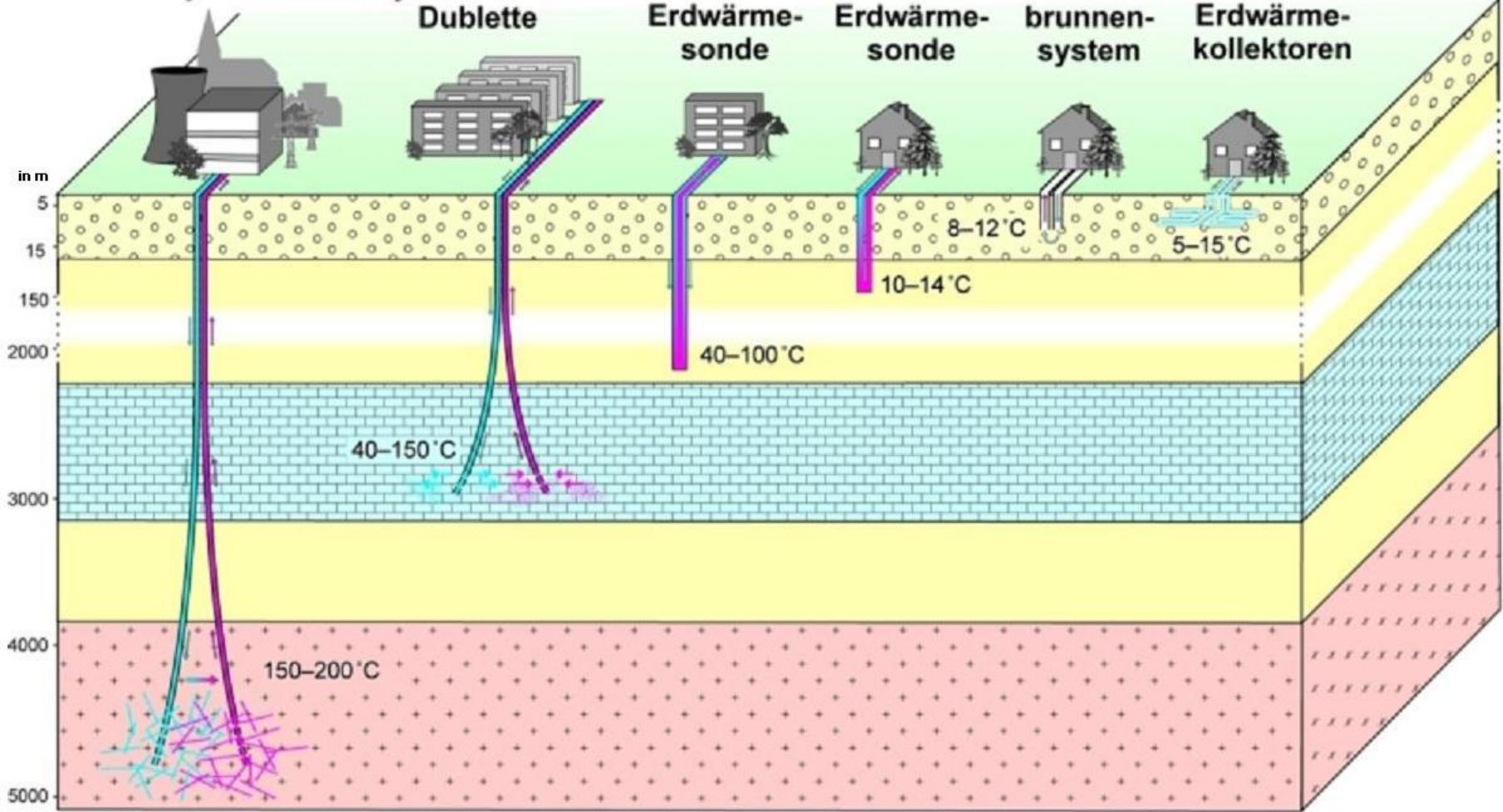
Hydrothermale Dublette

Tiefe Erdwärmesonde

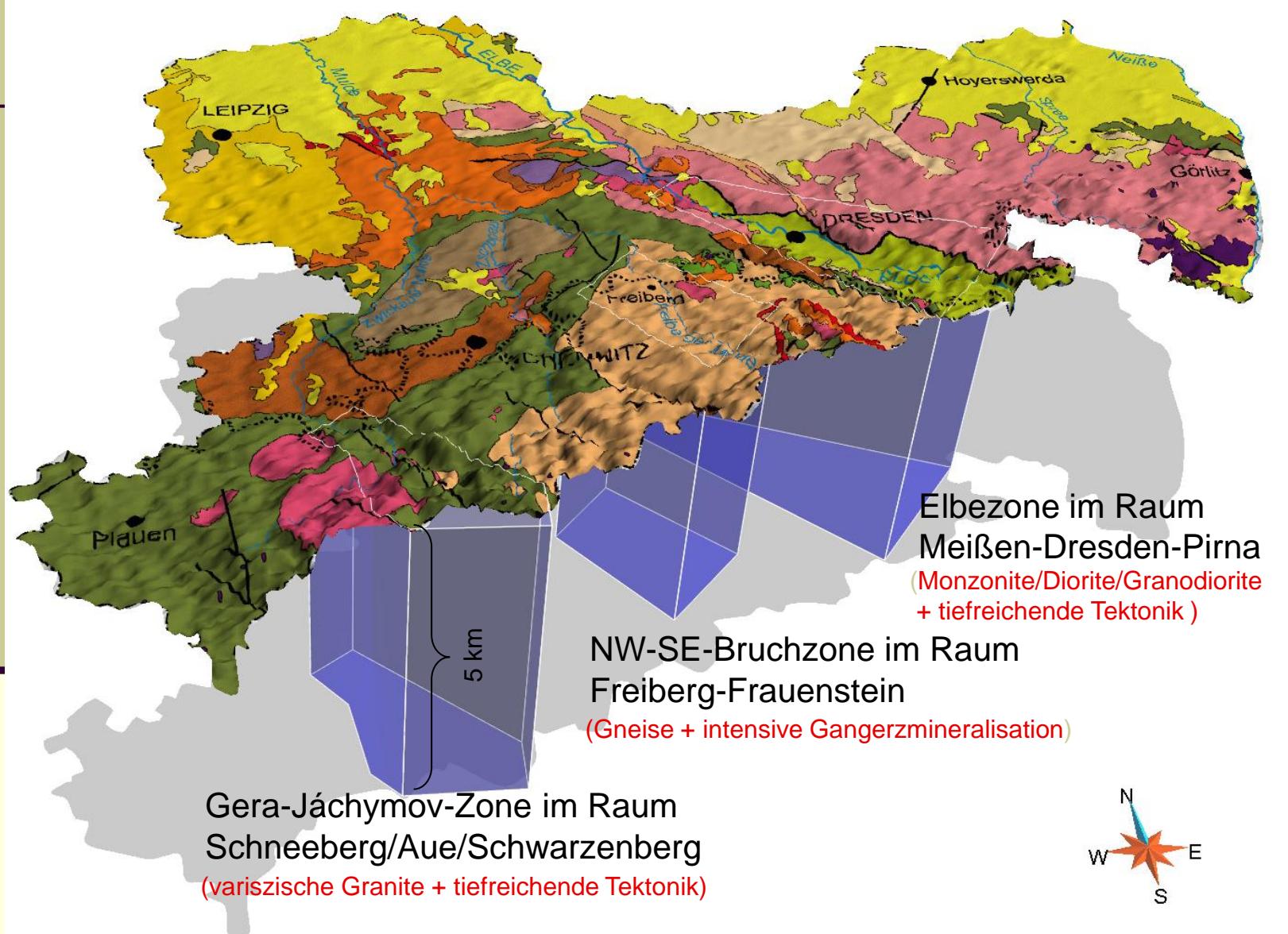
Flache Erdwärmesonde

Zwei-brunnen-system

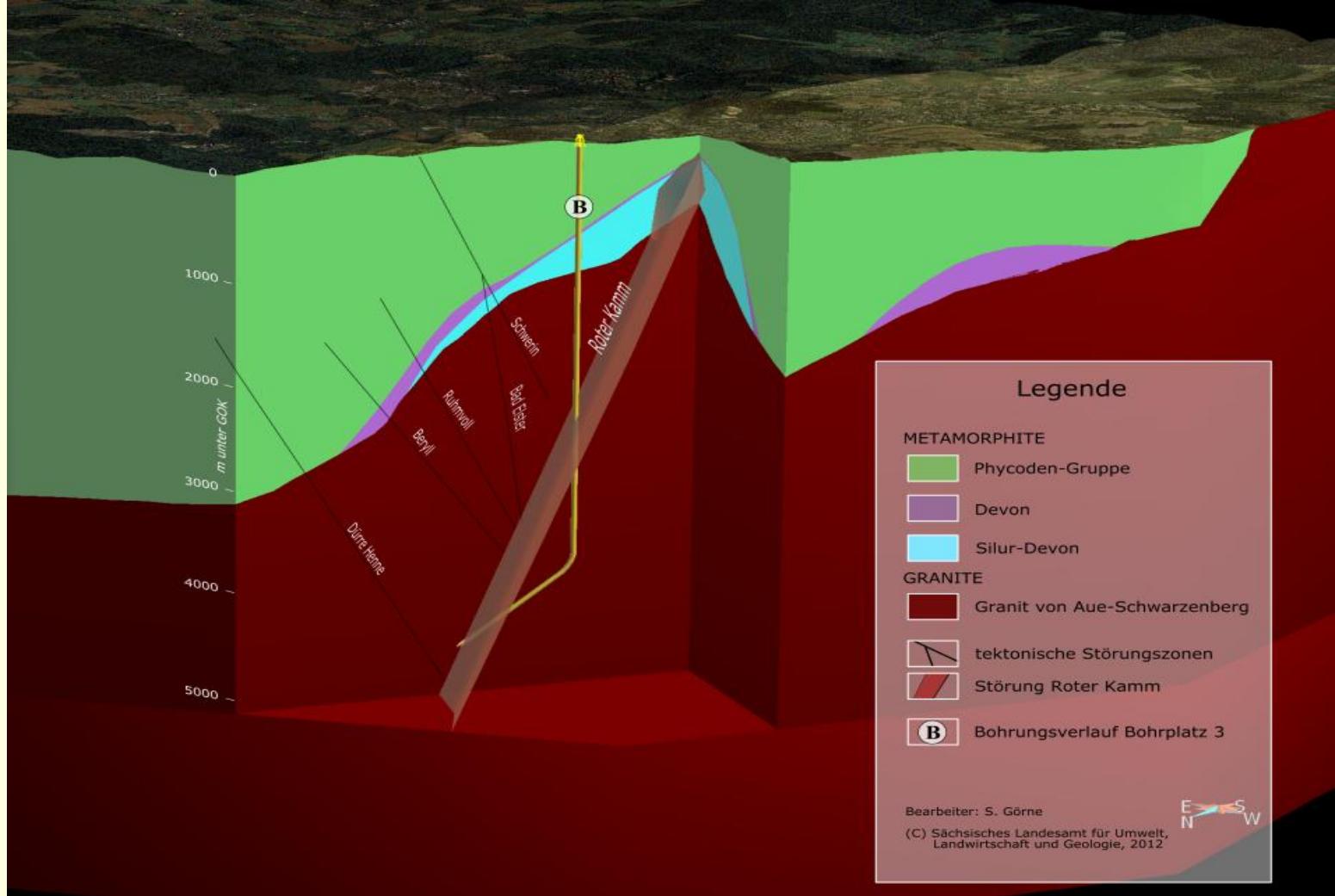
Erdwärmekollektoren



Tiefengeothermie Sachsen: 3 Vorzugsgebiete

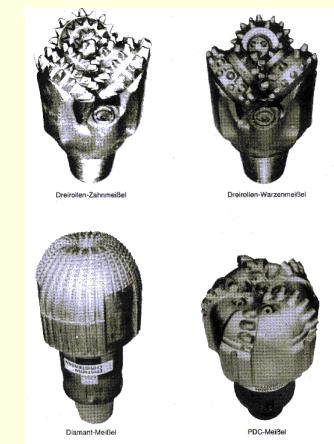
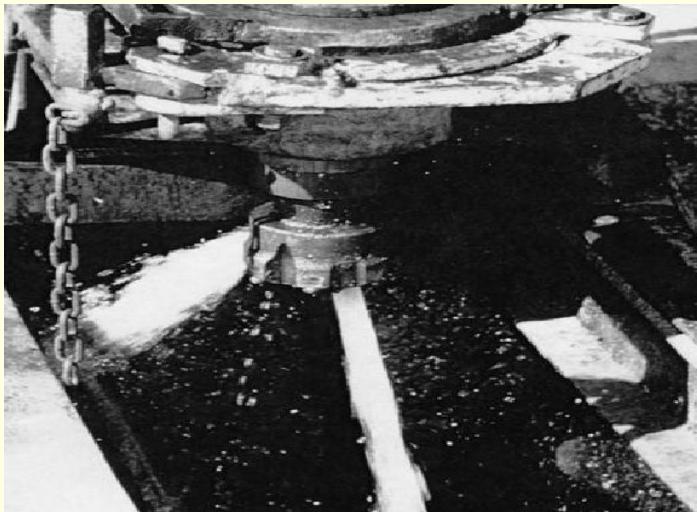


Tiefengeothermie Sachsen: Bohrung „Schneeberg“



Einflussfaktoren für Erdwärmesonden

- Geologische Bedingungen
 - Lockergestein
 - Festgestein
 - Grundwasserleiter
 - Bohrhindernisse



Grundaufgaben zur wirtschaftlichen Nutzung geothermischer Sonden

- Reduzierung des Bohrrisikos
- Hohe Wärmeentzugsleistungen
- Optimale Ankopplung und Auslastung der Gebirgseigenschaften
- Wärme- und Kältenutzung
- dynamische Betriebsführung und Leistungsreserve

Leitfaden zur Nutzung oberflächen-naher Erdwärme mit Erdwärmesonden des Freistaates Sachsen

1. Überblick über die Nutzungsbereiche von Erdwärme
2. Technologien der Erdwärmesondierung
3. Bau und Funktionsweise von Erdwärmesondenanlagen
4. Rechtliche Beurteilung von Erdwärmesonden
5. Tipps und Hinweise zur Planung, Bauausführung und Anlagenbetrieb



**Sächsischer
Geothermietag**

Freistaat  Sachsen

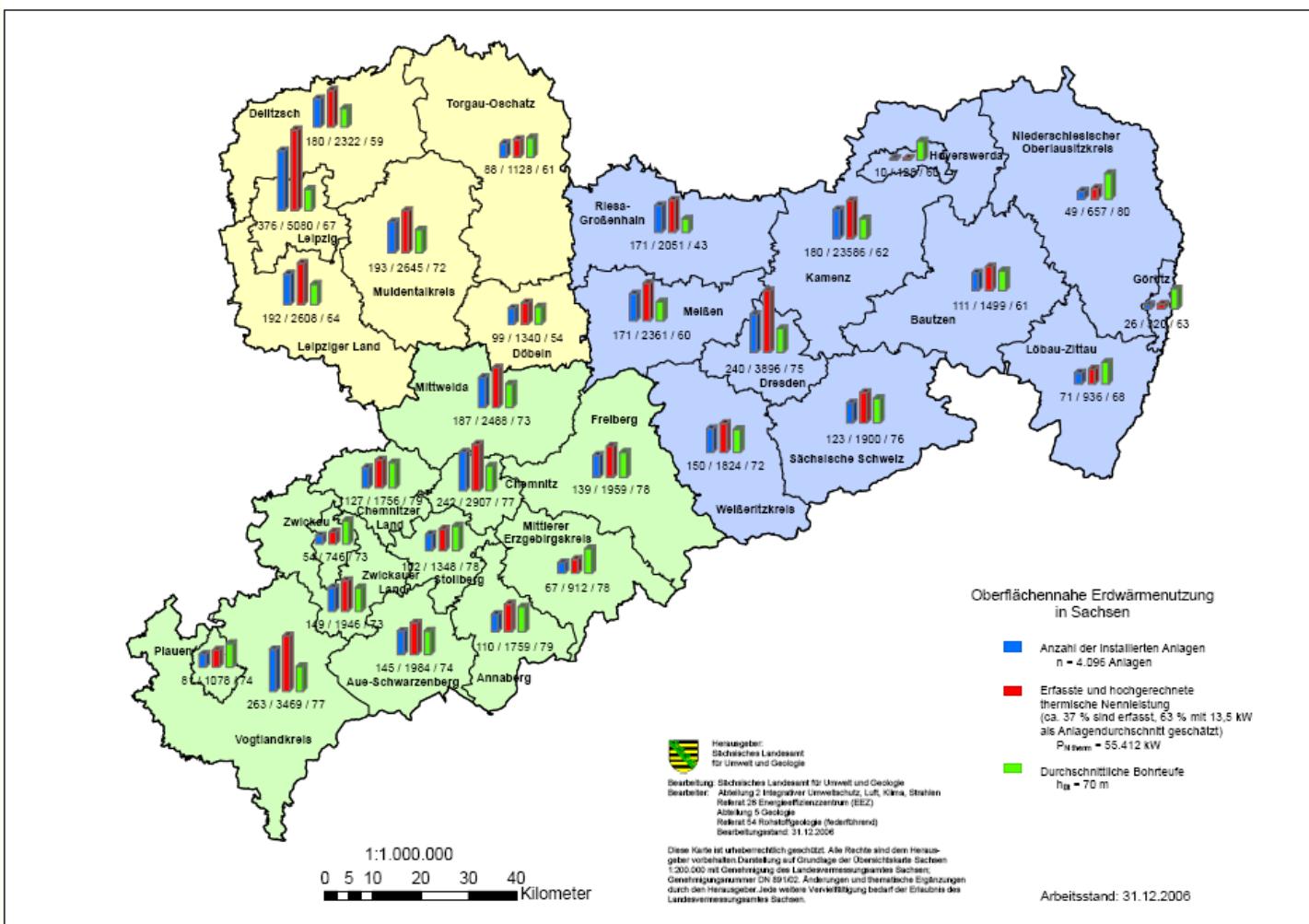


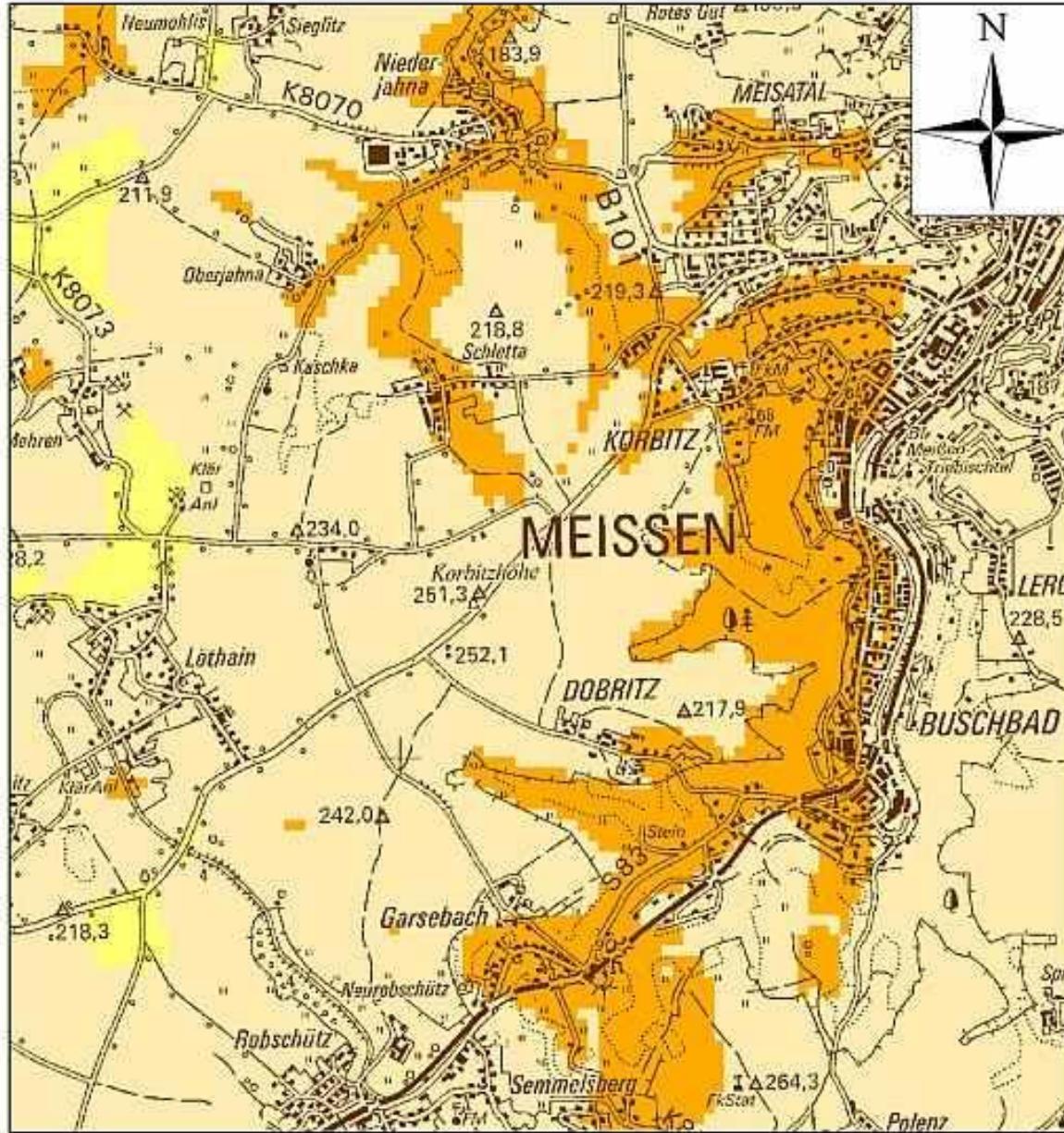
Sächsisches
Landesamt
für Umwelt
und Geologie



**Freiberg 2005, Mittweida 2006.
Chemnitz 2007, Marienberg 2007
Plauen 2008, Dresden 2009
Torgau 2010, Zwickau 2011,
Freiberg 2011 / 2012**

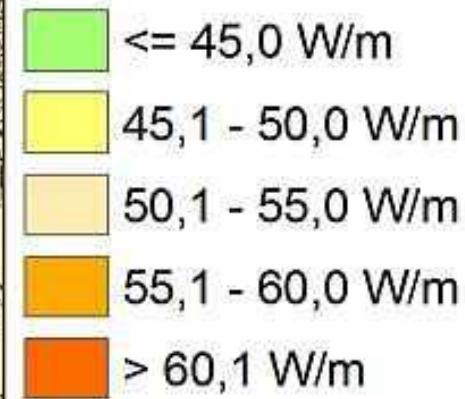
Internetportal des Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie





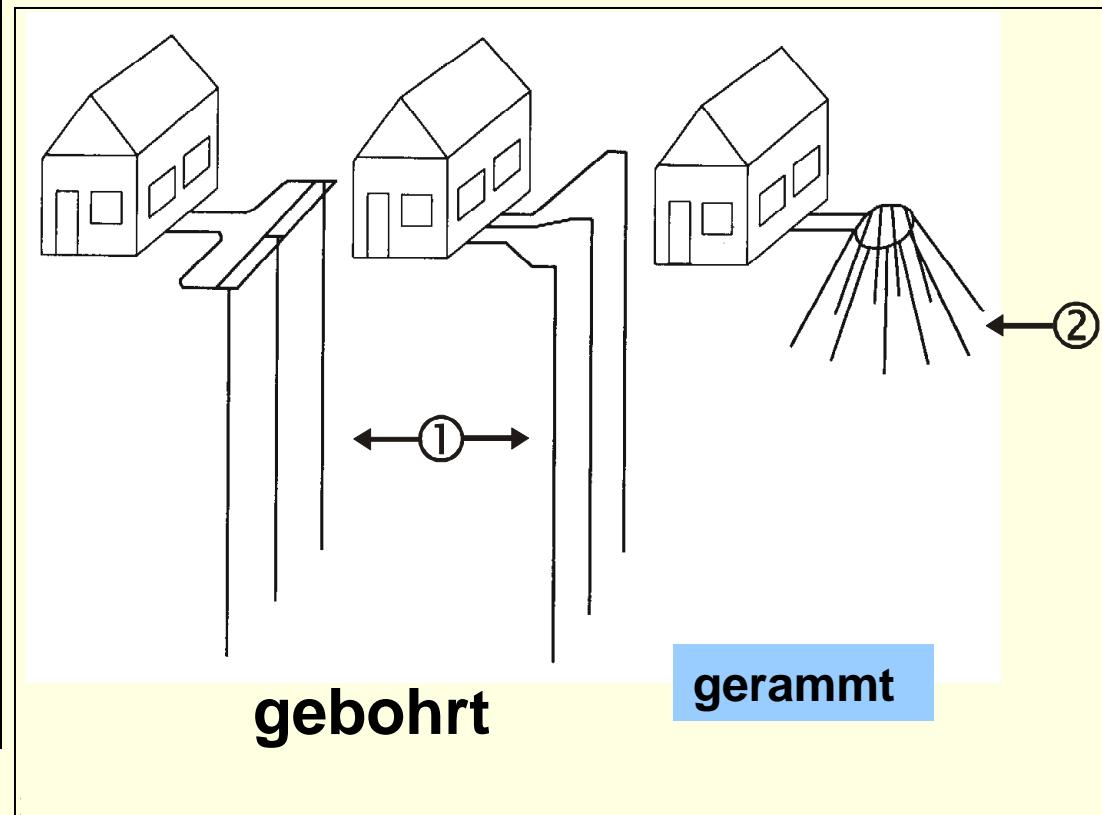
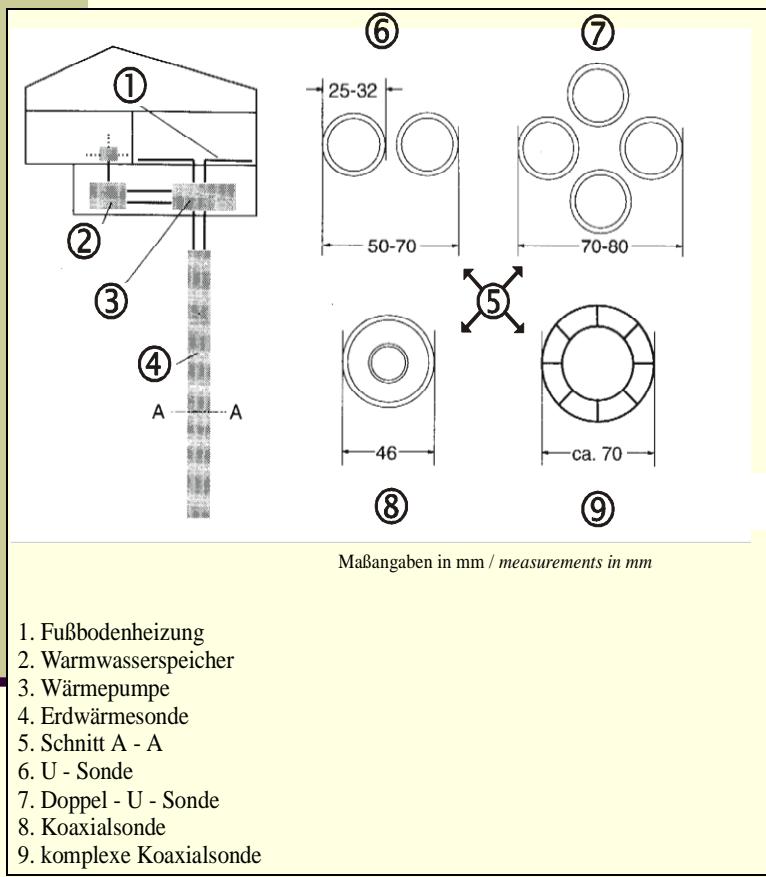
Legende Blatt Meißen

**Entzugsleistung
bis 100 m bei 2100 h/a**

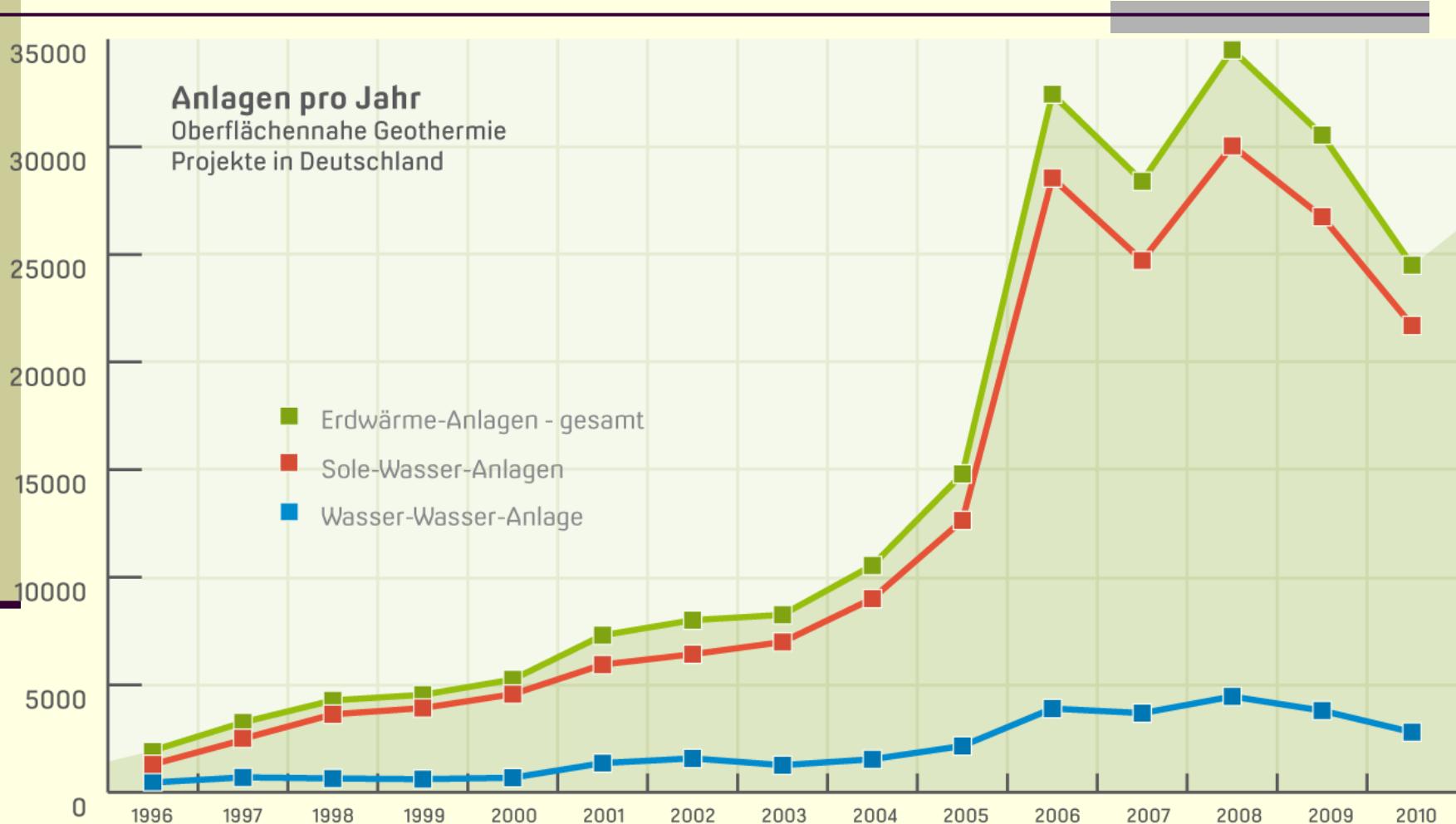


Maßstab:
0 0,5 1 Kilometer

Anordnungsschemata oberflächennaher Systeme



Wärmepumpenabsatz ca. 30.000 / Jahr, 500 Mill €/Jahr

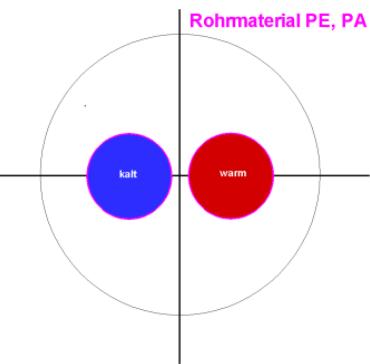


Technologien zur Erdwärmegewinnung

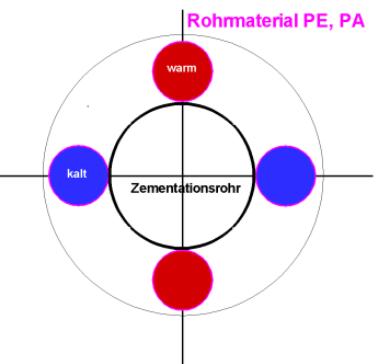
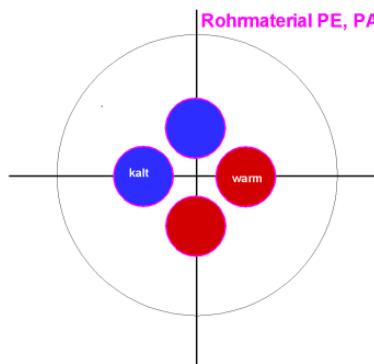
- Wasser/Sole-Zirkulation – U/UU-Rohr + Koaxialsonde
Wärmetransport in Form erwärmter Flüssigkeit
Antrieb: Umwälzpumpe
- Phasenwechselsonden (Direktverdampfer)
Wärmetransport in Form der Verdampfungsenthalpie von kaltem Dampf (Propan, CO₂, andere Kältemittel)
- * Verdampfung eines Rieselfilmes (Koaxialbauweise)
Antrieb: Dichteunterschied Flüssig-Gas
- * Zwangsumlauf des Mediums (Mehrrohrbauweise)
Antrieb: Druckunterschied Druckseite – Saugseite der Wärmepumpe

Installationsformen (nur für Wasserzirkulation)

U-Rohr



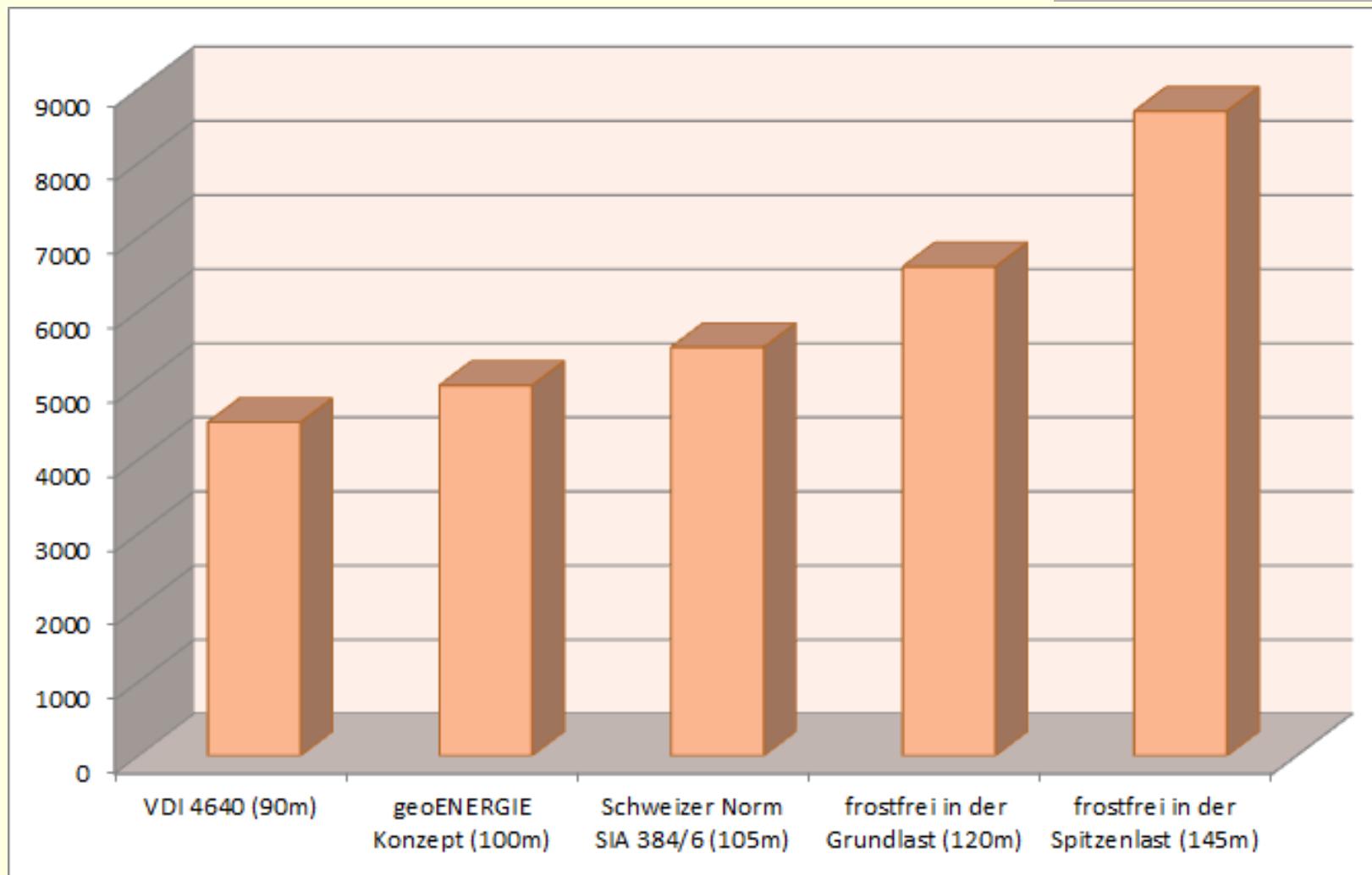
Doppel-U-Rohr



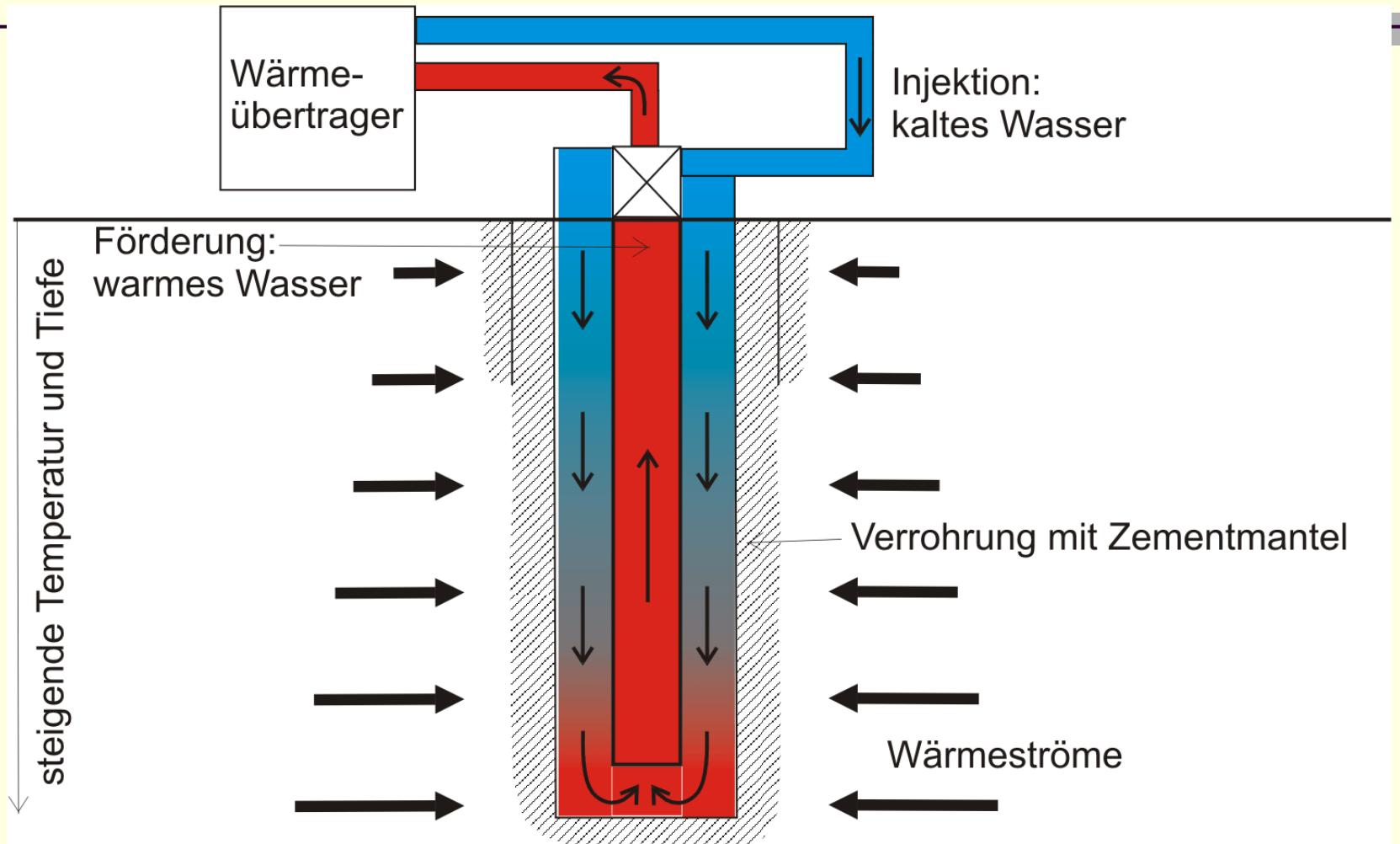
Optimierungsmöglichkeiten:

- Spreizung der U-Schenkel
- Zement anstatt Bentonit-Zement-Gemisch als Verfüllbaustoff
- Thermo-Zement anstatt Zement

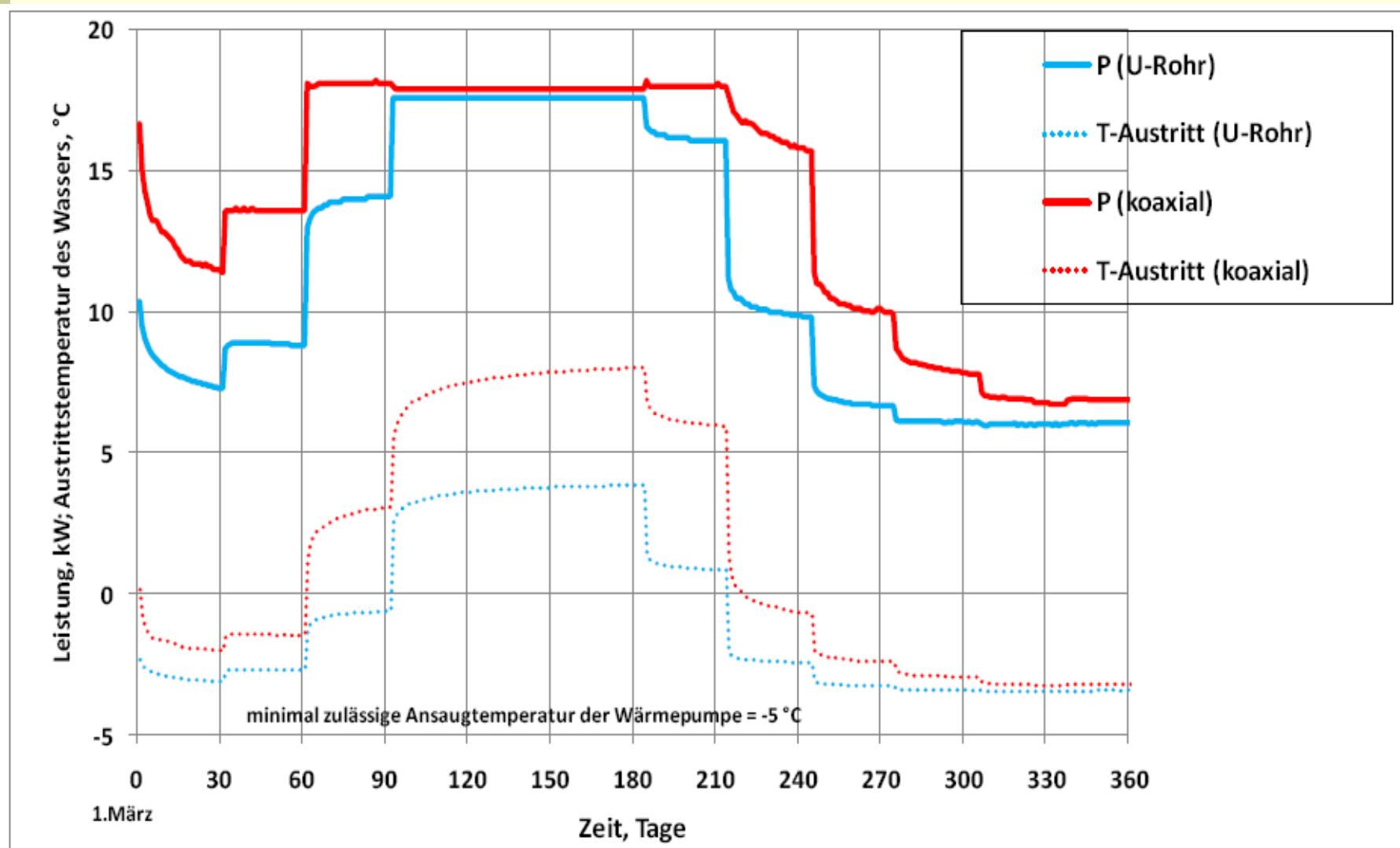
Kosten für „frostfreie“ Bohrlochinstallation



Tiefe Erdwärmesonde mit Wasser als Fluid



Vergleich U-Rohr und Koaxialinstallation, Spülrate 1 l / s



Erdwärmesonden

- Thermische Verfügbarkeit standortunabhängig
 - Einfluss von geologische Bedingungen
 - Bohrtechnische Möglichkeiten
- Erprobte Technologie
 - geringes Risiko bei der Planung
 - Langzeitsicherheit bei der Nutzung
 - Anpassung an die Gegebenheiten
- Genehmigung

Bohrtechnische Entwicklung für Erdwärmesonden

- **Erhöhung der Planungssicherheit**
 - Entzugsleistungsbestimmung
 - Geologische Begleitung – BLM
- **Optimierung der Bohrtechnologie**
 - Werkzeuge
 - Materialentwicklung - Lebensdauer
 - Bohranlagen
 - Bohrtechnologie
 - Einbautechnologie
 - Teufensteinsteigerung
- **Kombination mit der Hausinstallation**
 - Modulbauweise
 - Planungsabstimmung
 - Heizsysteme
 - Bauablauf
- **Finanzierungssicherheit**
 - für den Kunden
 - für das Bohrunternehmen

Stand der Erdwärm 技术ologien heute

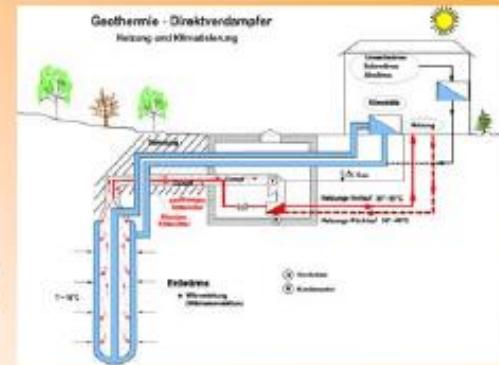
- **Heißwasser aus tiefen Bohrungen > 2000 m:**
 - * wenn mit hoher Leistung fündig – sehr vorteilhaft
 - * ABER: hohes Fündigkeitsrisiko, hohe Bohrmeterkosten
nur an geologisch ausgewählten Standorten
- **Tiefe Erdwärmesonde (geschlossenes System)**
 - * spezifische Wärmeleistung von > 100 W/m möglich bei Temperaturen < 100 °C (keine Stromgewinnung)
 - * ABER: hohe Bohrmeterkosten
- **Flache Erdwärmesonden (Tiefe < 400 m)**
 - * herkömmliche Wasserzirkulation nur spezifische Leistung < 60 W/m
 - * Direktverdampfer-Technologie ist effektivste unter allen
 - * spezifische Wärmeleistung von > 70 W/m möglich bei Temperaturen < 10 °C (keine Stromgewinnung)



Fortschritte

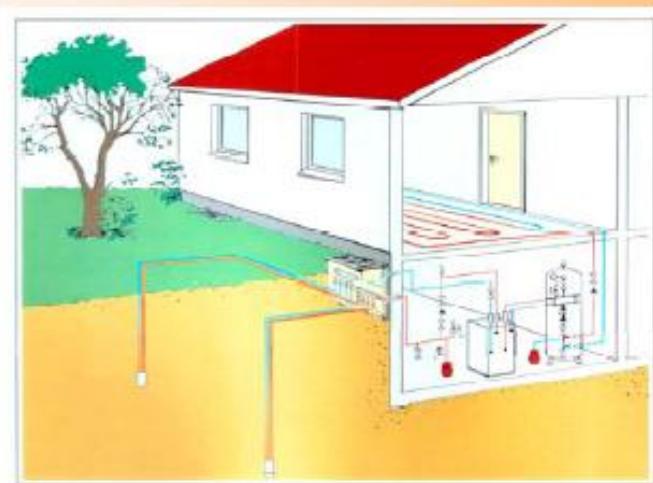


- In der Planung und Genehmigung
- Erdwärme-Karten (Nordrhein-Westfalen)
- Leitfaden für Nutzung von Erdwärme
- Entwicklung von Verfahren zur Messung der thermischen Untergrundeigenschaften
- Entwicklung geeigneter Rechenprogramme zur Auslegung von Erdwärmesonden
- Technologie (WP, Absorbertechnik, Wärmetauscher)



Fehler und Probleme bei der Erschließung und Nutzung von Erdwärme

- Falsche Dimensionierung
- Falsche Auslegung des Kollektorsystems
- Fehlende Konstanz der Wärmeleistung
- Geringe Wärmeleistung pro Bohrmeter
- Falsche Abstimmung der Energiequelle auf die Leistungsdaten der Wärmepumpe



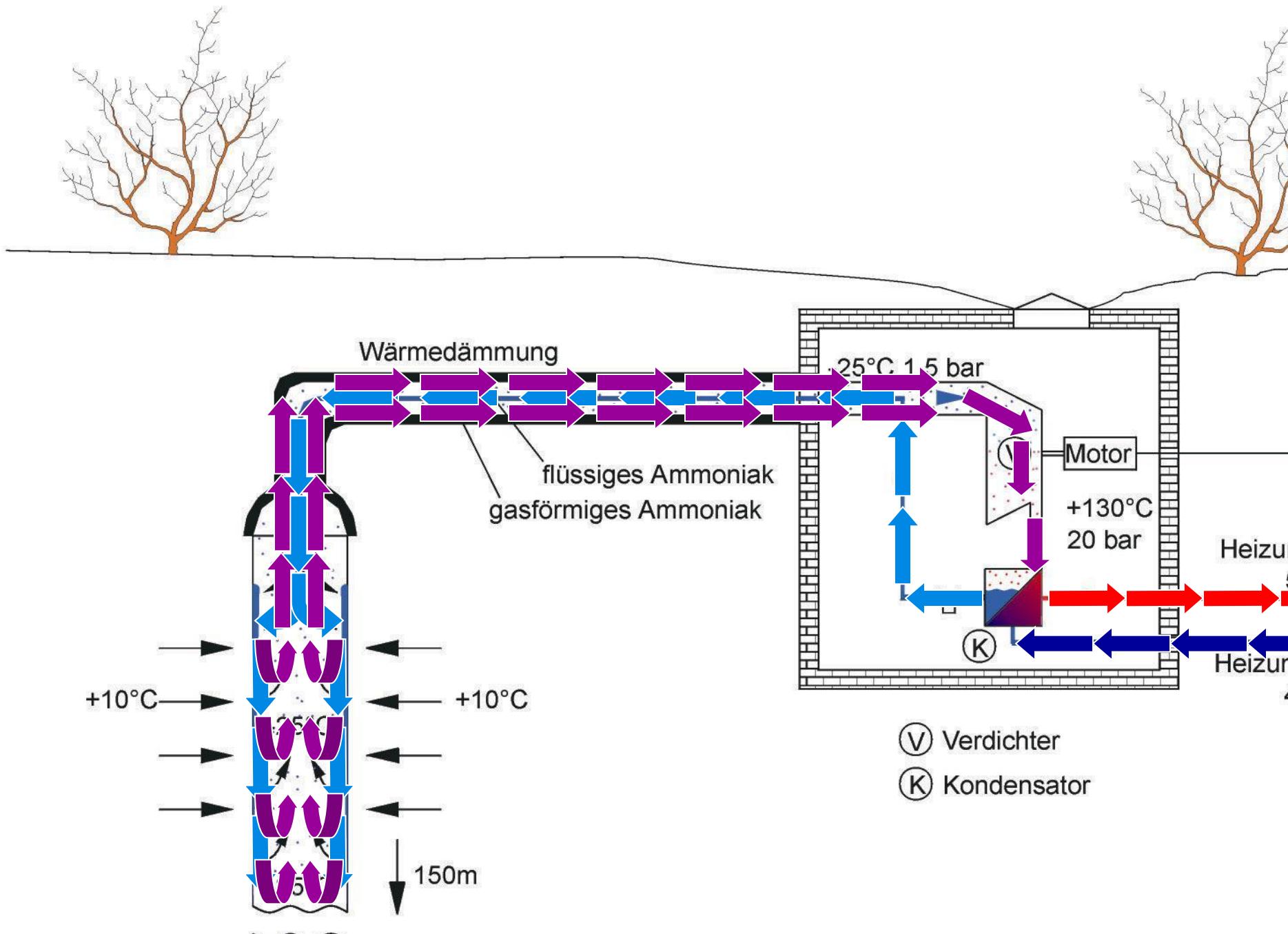
Die möglichen spezifischen Entzugsleistungen aus der Erde sind abhängig von den Betriebsstunden und der am Bohrpunkt zu erwartenden Geologie. Es gibt keine bundesweit gültigen spezifischen Entzugsleistungen aus der Erde. Der Bereich bis zu einer Tiefe von ca. 20 m wird maßgeblich von der im Winter nicht stetigen Sonneneinstrahlung beeinflusst. Ab 20 m ist der jahreszeitlich unabhängige, stetige geothermische Wärmefluss entscheidend. Aus diesem Grund sollten statt vieler kleiner Bohrungen sinnvoller Weise eine oder mehrere tiefe Bohrungen abgeteuft werden.

Effektive Nutzung der Geothermie

- Direktverdampfer-Verfahren nutzt Energiequellen optimal aus - standortunabhängige, wirtschaftliche Nutzung :
- Hohe Wärmeentzugsleistungen bei minimalem Bohrrisiko, 70 - 90 W/m
- Nutzung der Phasenumwandlungswärme + verbesserter Wärmetransport
- Lastanpassung durch Selbstregelungseffekt - p/T, Massenstrom
- Gleichzeitiges Heizen und Kühlen / Spitzenkühlung
- kombinierbar mit anderen Energiequellen
- CO2-Einsparung im Heizbetrieb > 50%
- Spezifische Kosten von 5 bis 7 Cent/kWh

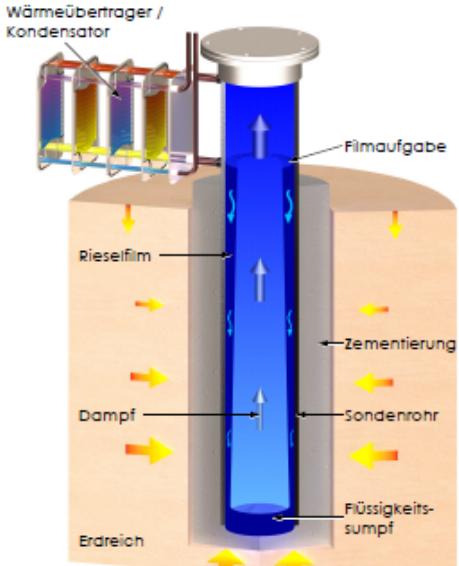
Pilotprojekt Coswig (2001)



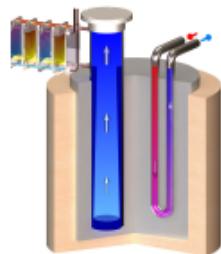


Geothermie-Sondenfeld „Reiche Zeche“

Phasenwechselsonde



Phasenwechselsonde (Heizen) & U-Rohr-Sonde (Kühlen)



Phasenwechselsonde (Heizen) & Koaxialrohr-Sonde (Kühlen)



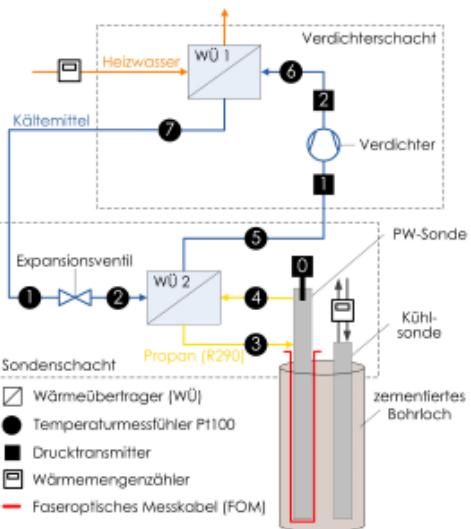
Anlage

- 7 Bohrungen mit 84 - 98 m Tiefe
- + 1 Forschungssonde
- Bohrdurchmesser 140 mm
- Bohrabstand ca. 6 m
- Phasenwechselsonden
 - Arbeitsmittel: Propan (R290)
 - Glatt- oder Wellrohr
- je Bohrloch eine Kühlsonde
 - Flüssigkeitszirkulationssonden
 - Arbeitsmittel: Wasser-Glykol-Gemisch
 - Koaxialglattrohr (Stahl) oder U-Rohr (HDPE: High Density Polyethylen)

Leistungsdaten

- Heizleistung (Gesamtanlage) max. 70 kW
- Verdichterleistung insgesamt ca. 23 kW (4 Verdichter)
- Pufferspeichervolumen 1.100 l (Wasser)
- Heiztemperatur 48 °C
- Kühlleistung max. 35 kW

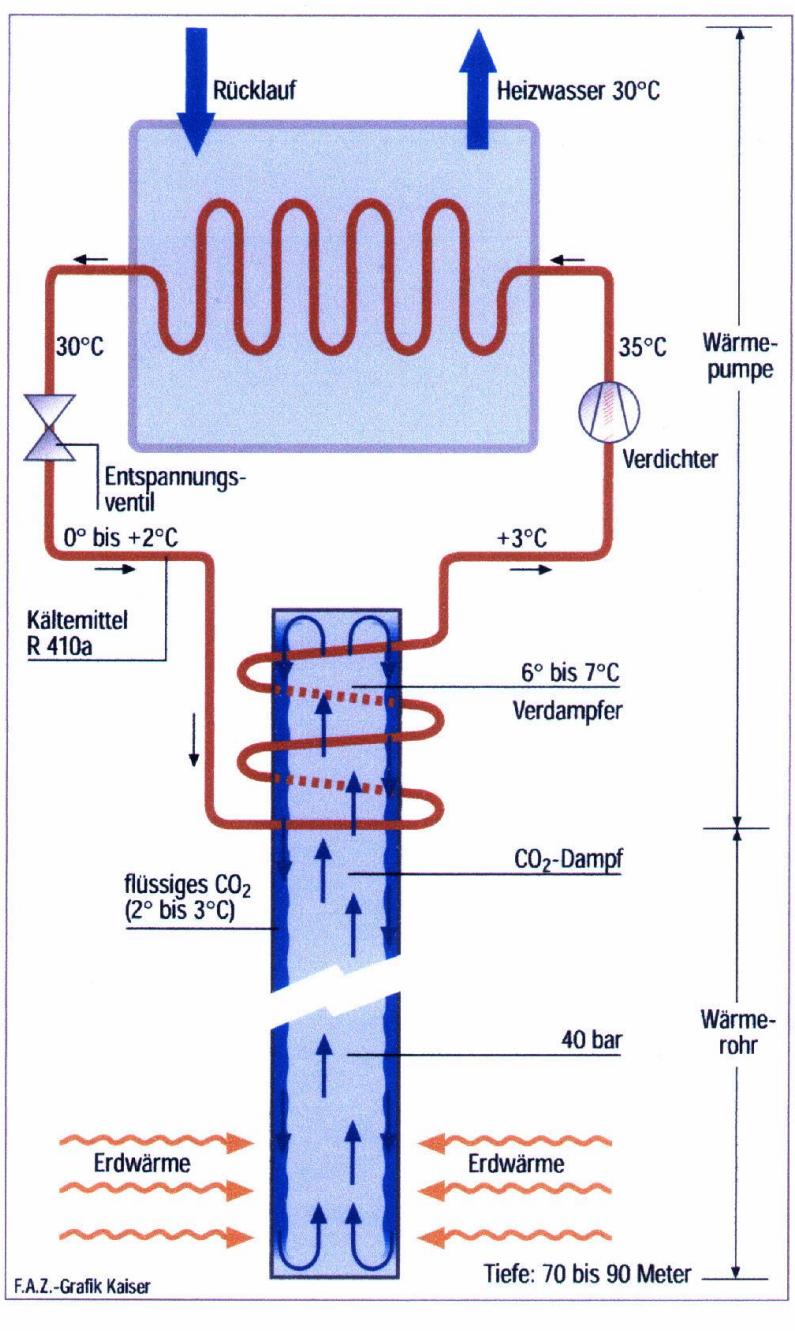
Kreisläufe und Messstellen



CO₂ – Sonde

„Heat Pipe“

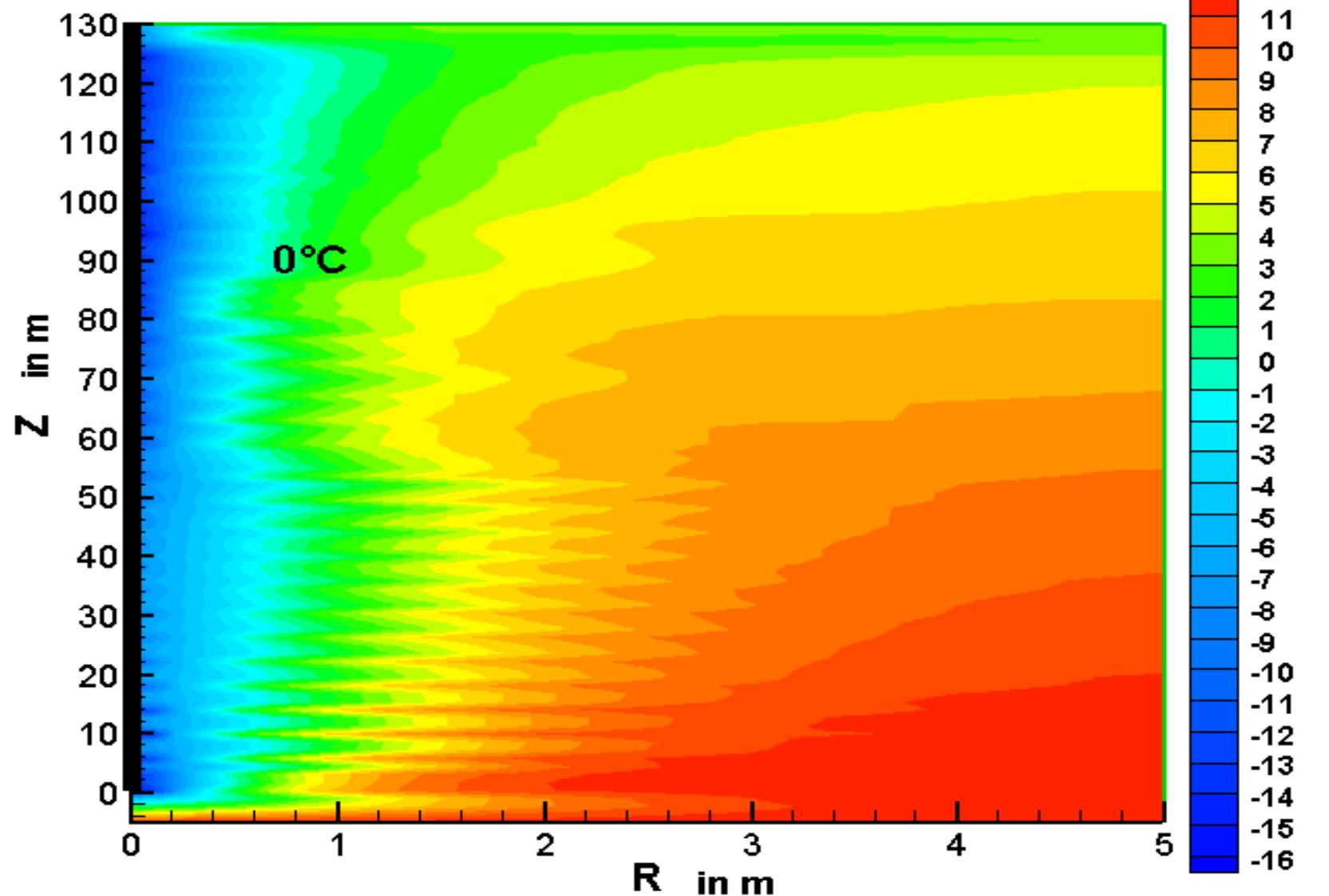
M-TEC, Mittermayr, 2006



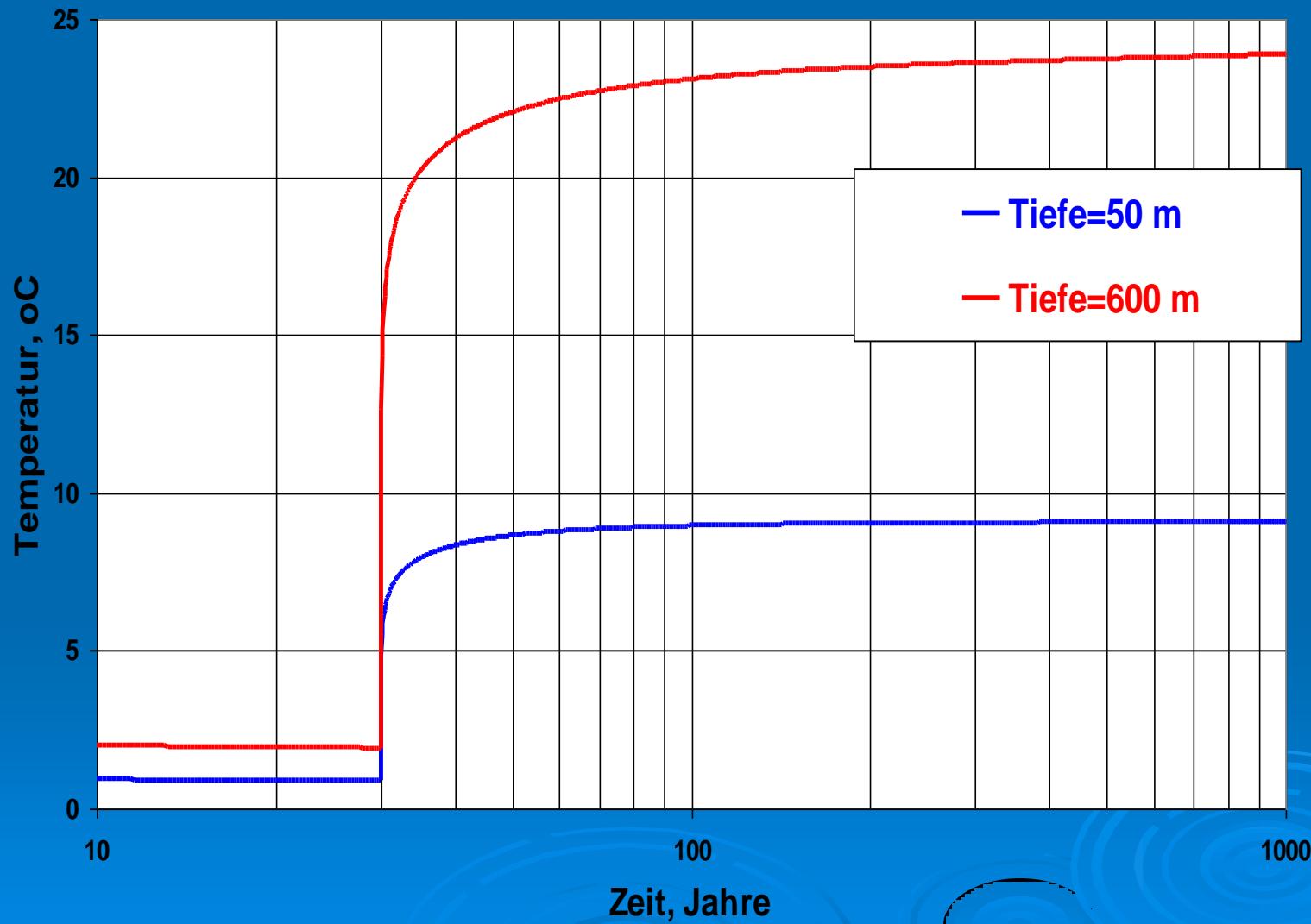
Einbau eines Temperaturkabels



**Temperaturfeld der Bohrung 1 (130m) im Objekt Coswig2 Temperatur,
14 Tage zyklischer Betrieb (56, 28, 14 und 0 kW / Tag)**



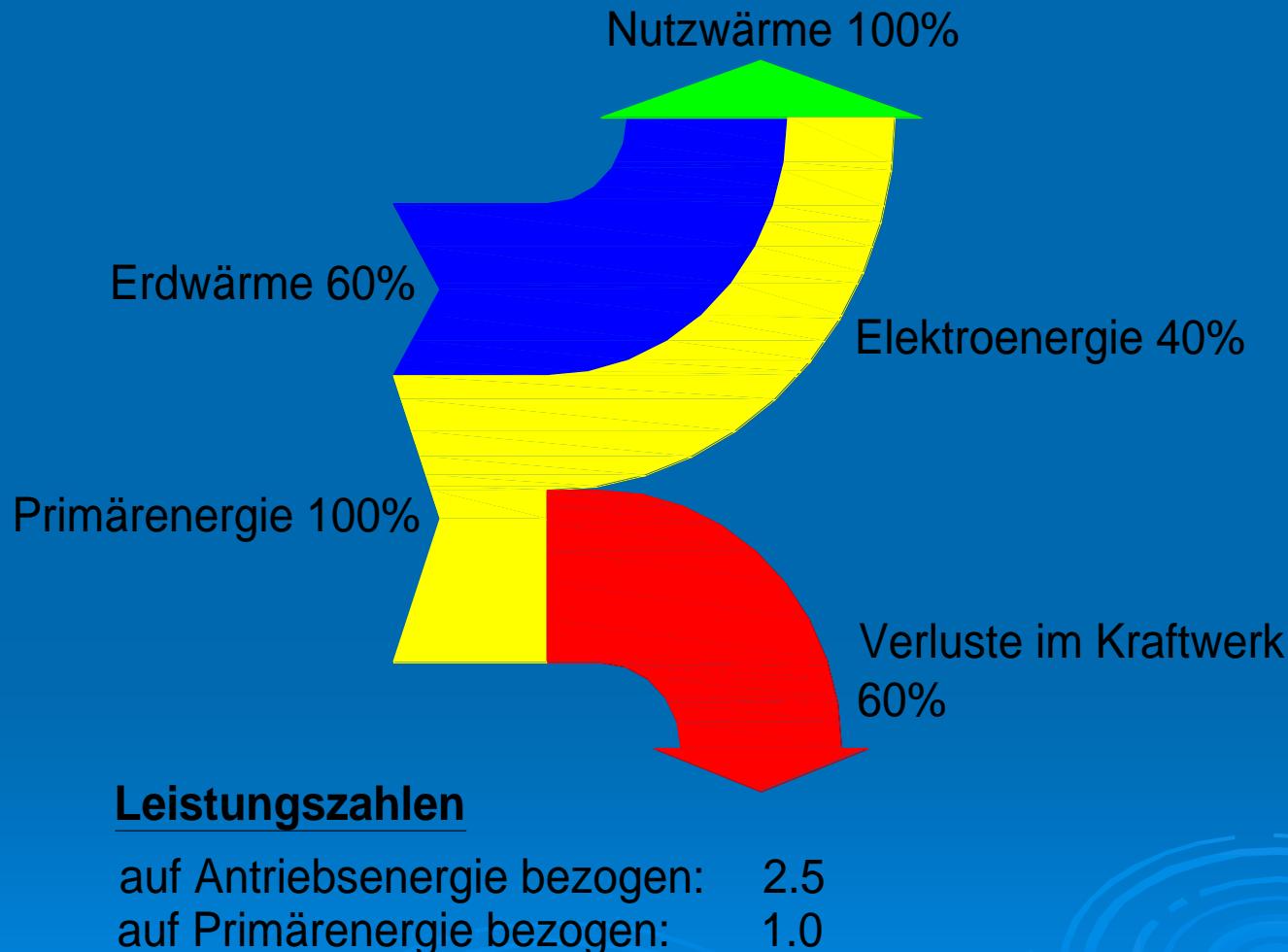
Regeneration des Erdwärmefeldes nach 30 Jahren Wärmeentzug



Wie verbrauchen wir Primärenergie ?

- Fast 50% aller Primärenergie für Heizung/Klimatisierung, davon ist die Hälfte Erdgas.
- Moderne Brennwertkessel und BHKW setzen mehr als 95% der chemisch gespeicherten Energie des Gases in Nutzwärme/Strom um.
- Elektroenergie ist – gemessen an den Primärenergieverlusten - ausgesprochen teuer (30-40 % Wirkungsgrad), ihr direkter oder indirekter Einsatz (Wärmepumpe) zu Heizung /Klimatisierung sollte stets letzte Möglichkeit sein.

Erdwärme und elektrogetriebene Wärmepumpe



Entwicklung - Innovation:

Dezentrale Anlage für jedes Gebäude mit

- * **Erdwärmesonde - Adsorptionswärmepumpe**
- * **Gasmotor-betriebene Wärmepumpe**
- * **Einkopplungsmöglichkeiten für solare Wärme**
- * **Klimakälte aus gespeicherter „Erdkälte“**

BHKW – Gasmotor / Generator

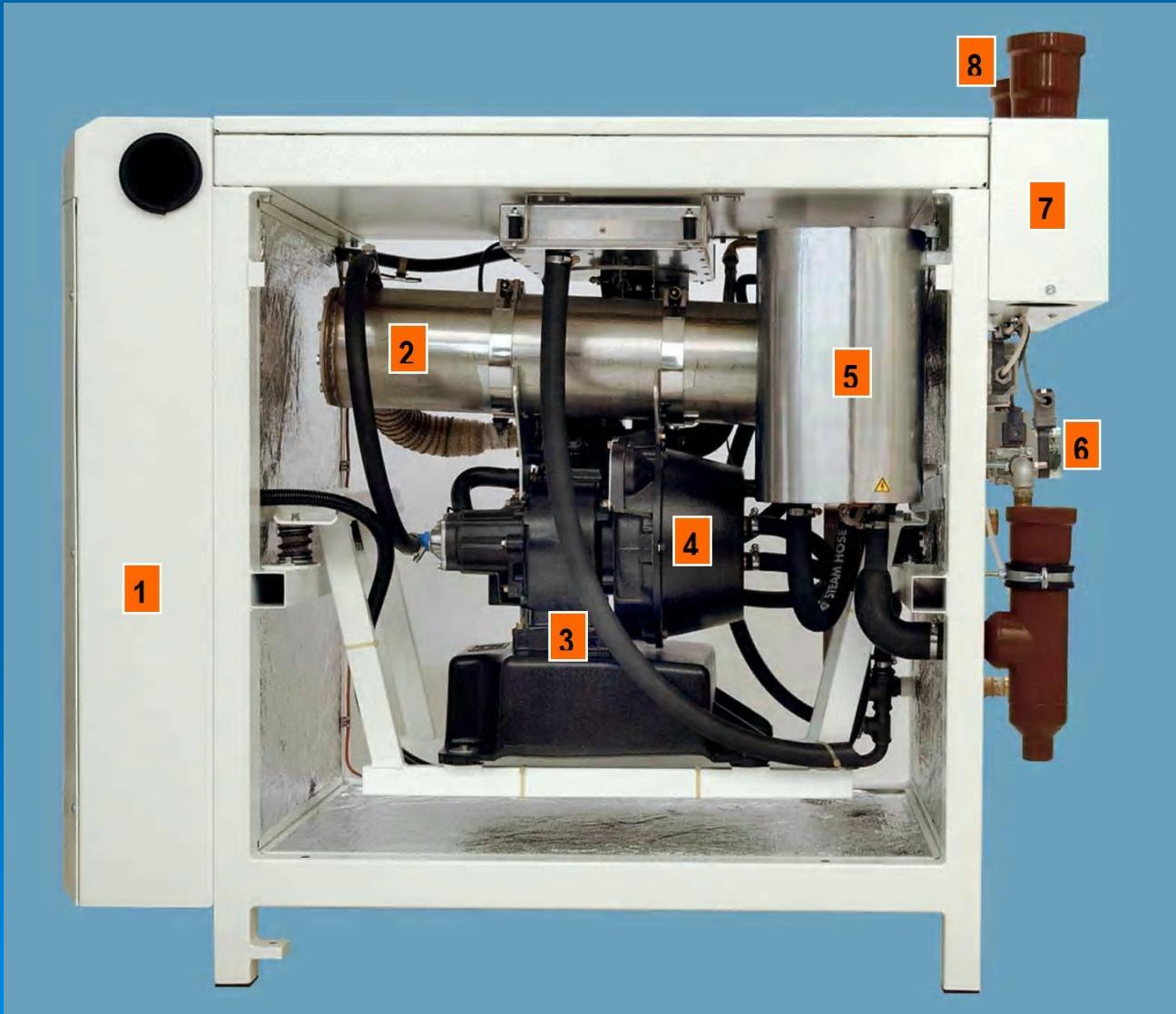
Systemkonzepte – Systemkonfiguration

Einzelhauslösung – Nahwärmesysteme

Förderung - Marktanreizprogramme

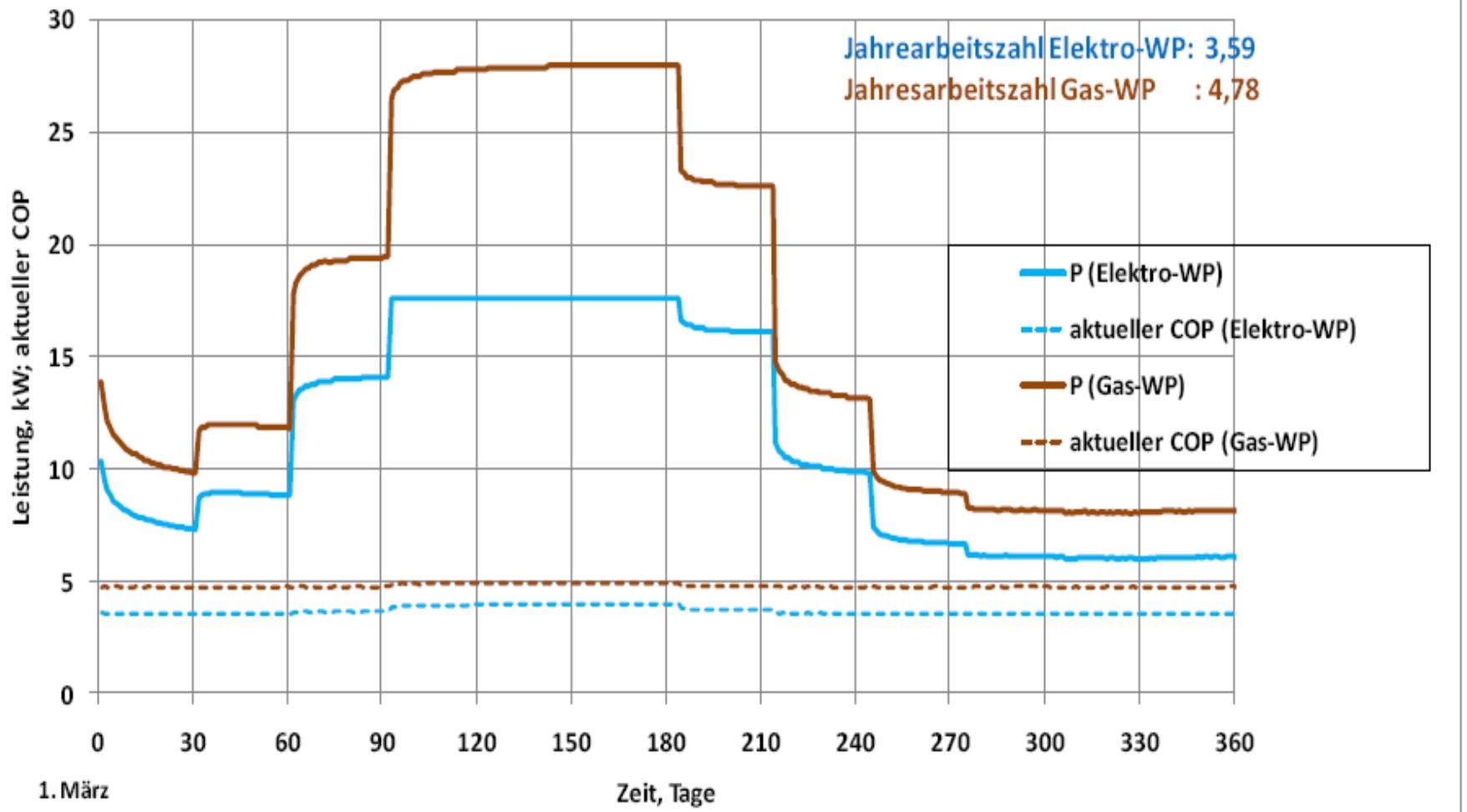
Ecopower BHKW von Vaillant

(Quelle: Vaillant, nach S.Meusel, Gr.Beleg 2006, TU Bergakademie, Fak.4)

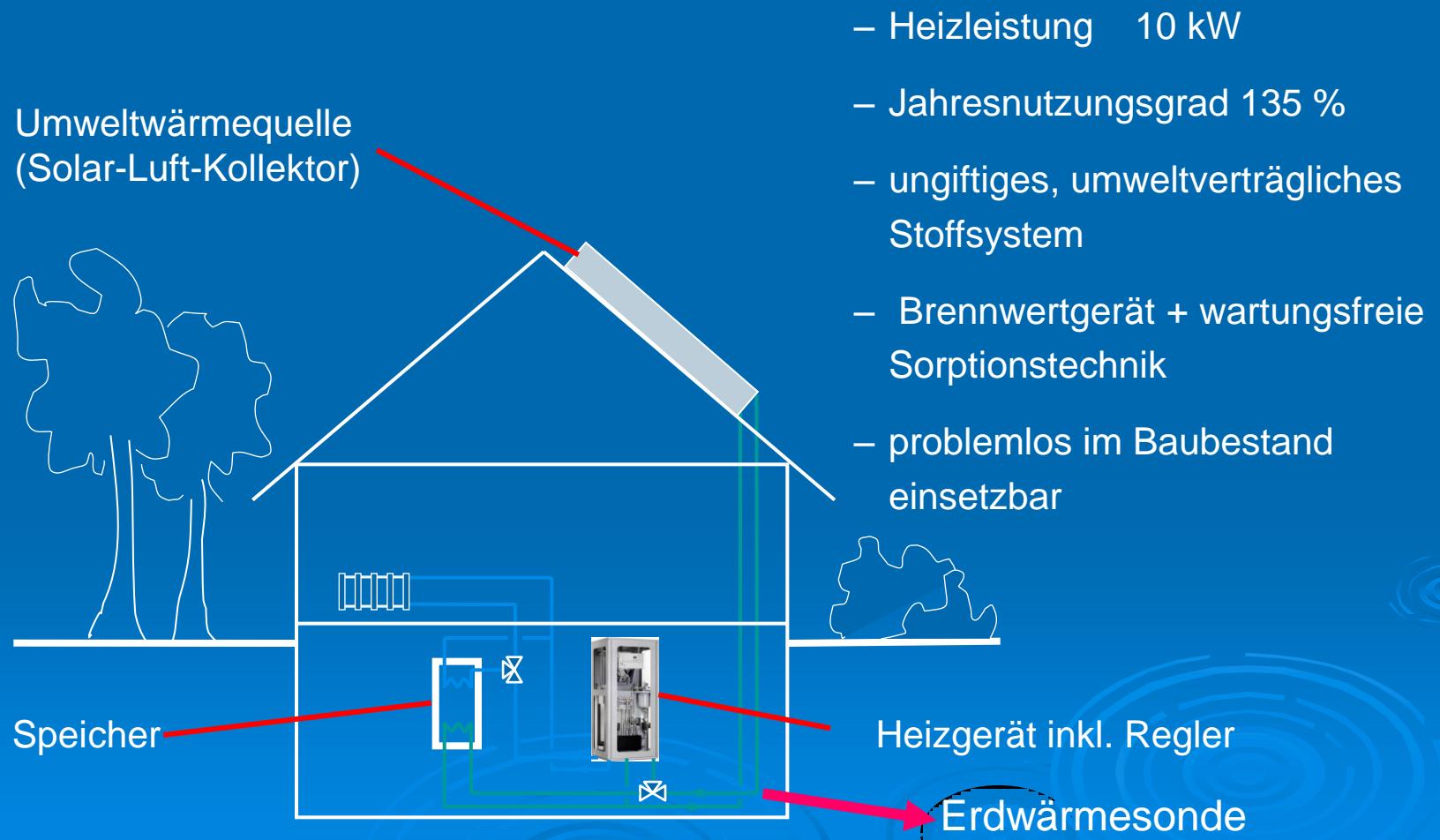


- 1 Steuerschrank
- 2 Abgaswärmetauscher & Katalysator
- 3 Motorblock
- 4 Generator
- 5 Schalldämpfer
- 6 Gaszufuhr
- 7 Elektroanschlüsse
- 8 Zuluft/Abgas

Leistungsvergleich E- und G-WP, Systemtemperatur -5°C



Das Gesamtsystem Heizgerät - Umweltwärmequelle - Speicher





Universitätsstadt Freiberg
Hochbau- und Liegenschaftsamt
Herr H. Radeck

Ingenieurbüro Zammit
Herr S. Schmidt

Technisches Konzept:
Andreas Benthin
Dr. Jochen Hamann

Koordination:
Prof. Dr. Steffen Wagner

Präsentation:
Desmond Tsui
Kathrin Kranz

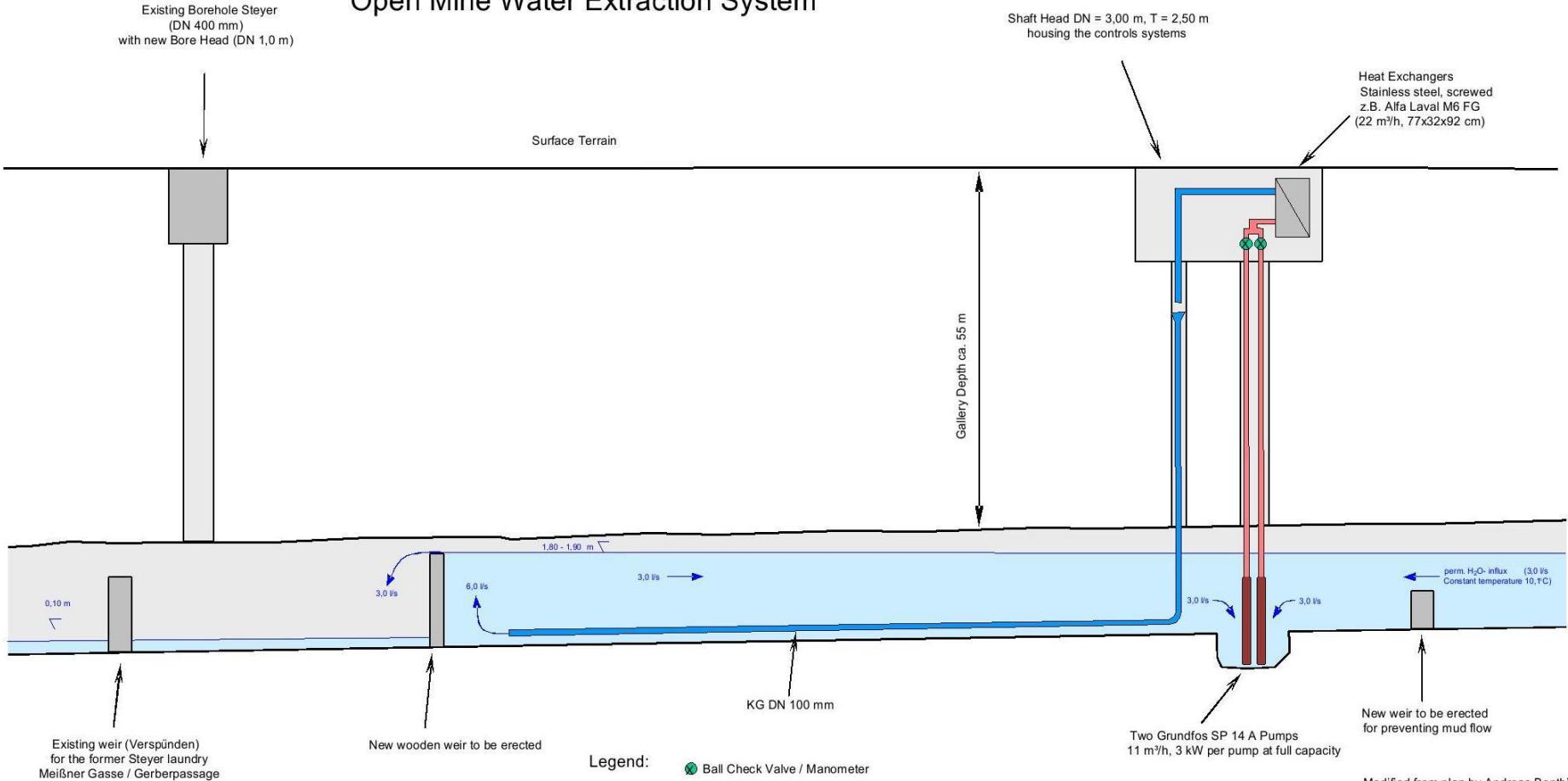
Schloss Freudenstein Geothermal Project

2008

Geothermisches Konzept II (2008)

(offenes System)

Schematic Representation of the Underground Open Mine Water Extraction System



Modified from plan by Andreas Benthin

Sonderanwendung - Direktverdampfer

- **Direktverdampfer bieten effiziente Nutzungskonzepte für geoth. Anwendungen:**
 - (1) Eisfreihaltung von Weichen der Eisenbahn,
 - (2) Auffahrrampen zu Parkhäusern und Zufahrten,
 - (3) Haltestellen der Straßen- und S-Bahnen, Bushaltestellen,
 - (4) Brückenfahrbahnen, (5) Rasenheizungen für Sportstätten u. a.
- **Im Einsatzbereich für Temperaturen zwischen +10°C und -10°C ist der Einsatz eines Verdichters nicht zwingend erforderlich (Thermosiphon)**
 - Verdampfung / Kondensation
- **Keine Hilfsenergie notwendig – keine Betriebskosten, wortungsfrei, selbstregulierend**



Bahnsteig- und Weichenheizung – Dresden / Riegelplatz (BLZ-Gommern)



Bahnsteig- und Weichenheizung – Dresden / Riegelplatz (BLZ-Gommern)



Bahnsteig- und Weichenheizung – Dresden / Riegelplatz (BLZ-Gommern)

