



Vortragsabend “Aktiver Klimaschutz und Erdwärme”

20. April 2007 · Bensheim · Naturschutzzentrum Bergstraße

Prof. Dr.-Ing. Rolf Katzenbach

Direktor des Institutes und der Versuchsanstalt für Geotechnik
Technische Universität Darmstadt

Dipl.-Ing. Frithjof Clauß, Dipl.-Ing. Thomas Waberseck, Dipl.-Ing. Isabel Wagner

Wissenschaftliche Mitarbeiter am Institut für Geotechnik
Technische Universität Darmstadt

Institut und Versuchsanstalt für Geotechnik

Technische Universität Darmstadt

Petersenstrasse 13

D-64287 Darmstadt

Telefon: 0 61 51 – 16 21 49

Telefax: 0 61 51 – 16 66 83

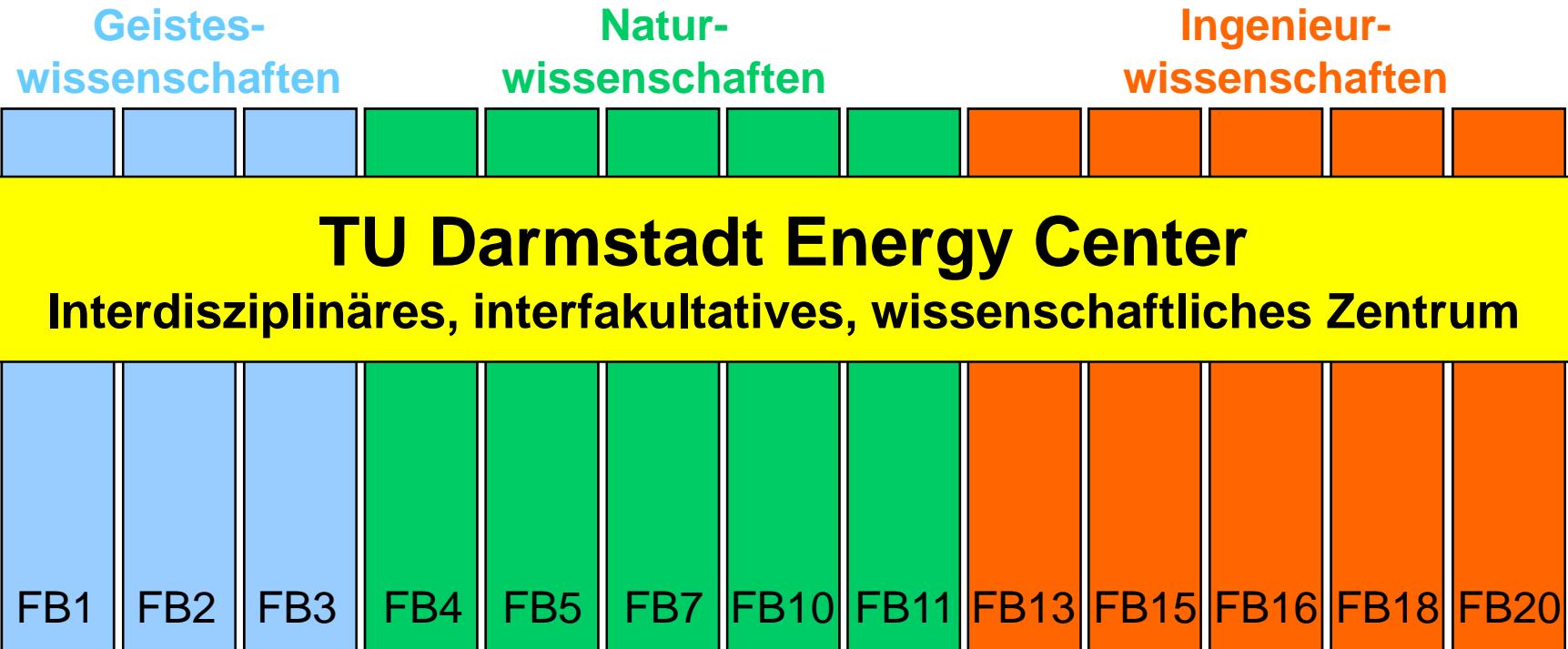
E-Mail: katzenbach@geotechnik.tu-darmstadt.de

Web: www.geotechnik.tu-darmstadt.de



TU Darmstadt Energy Center

Sprecher: Prof. Dr. Wolfram Jaegermann (Materialwissenschaft)
Prof. Dr.-Ing. Johannes Janicka (Maschinenbau)
Prof. Dr.-Ing. Volker Hinrichsen (Elektrotechnik)
Prof. Dr.-Ing. Rolf Katzenbach (Bauwesen)



FB1: Rechts- und Wirtschaftswissenschaften

FB2: Gesellschafts- und
Geschichtswissenschaften

FB3: Humanwissenschaften

FB4: Mathematik

FB5: Physik

FB7: Chemie

FB10: Biologie

FB11: Material- und Geowissenschaften

FB13: Bauingenieurwesen und
Geodäsie

FB15: Architektur

FB16: Maschinenbau

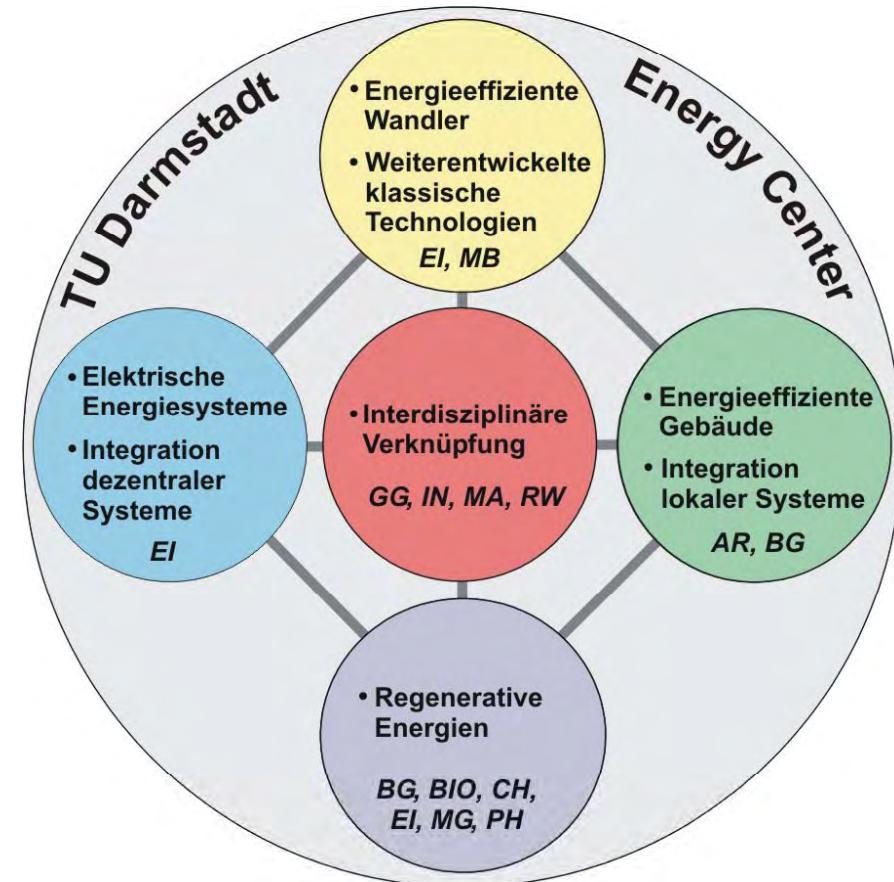
FB18: Elektrotechnik und
Informationstechnik

FB20: Informatik

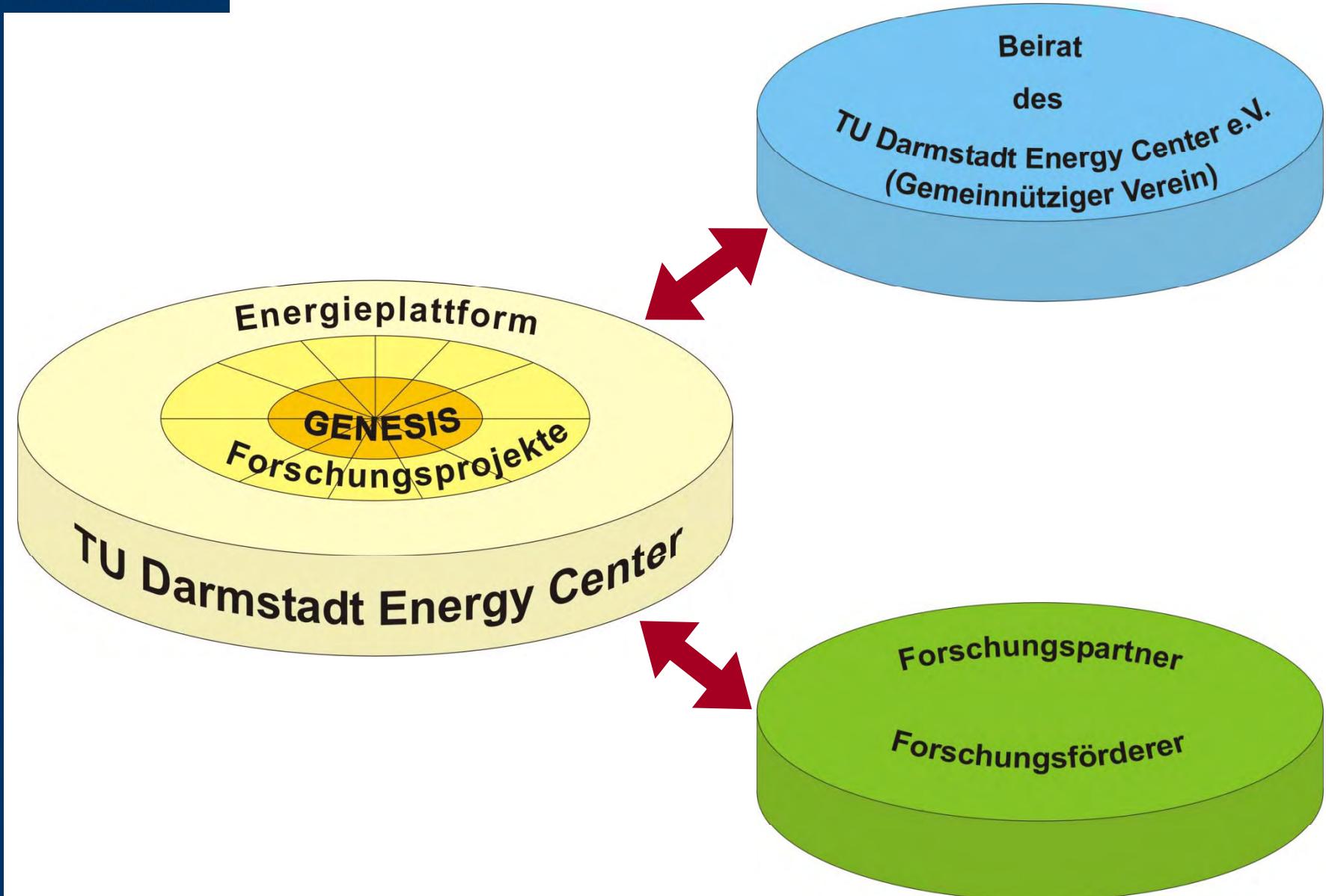


TU Darmstadt Energy Center

- Interdisziplinärer Studien- und Forschungsschwerpunkt
- Studiengang Energy Engineering an der Technischen Universität Darmstadt
- Graduiertenschule GENESIS@TUD (25 Fachgebiete)



www.energycenter.tu-darmstadt.de





Beirat des TU Darmstadt Energy Center e.V.

Mitglieder:	Jahresbeitrag
a) Persönliche Mitglieder Studierende	EUR 50,-- beitragsfrei
b) Firmen	EUR 800,--
c) Verwaltungsorgane	beitragsfrei
d) Ehrenmitglieder	beitragsfrei



Beirat des TU Darmstadt Energy Center e.V.



Beitrittserklärung

Persönliches Mitglied
 Studentin / Student

Firmen
 Verwaltungsorgane

Titel PROF. DR.-ING.

Organname _____

Vorname ROLF

Anschrift _____

Name KATZENBACH

Ansprechpartner _____

Anschrift PETERSENSTR. 13
64287 DARMSTADT

Tel. / Fax _____

Tel. / Fax 06151-162149/06151-166683

E-Mail _____

E-Mail katzenbach@geotechnik.tu-darmstadt.de

Ich/wir erkläre(n) – vorbehaltlich der Zustimmung des Vereinsvorstandes – den Beitritt zum
Beirat des TU Darmstadt Energy Center e.V.

Darmstadt, 05.03.2007

Ort, Datum

Ulf Katzenbach

Unterschrift(en)



Erneuerbare Energien

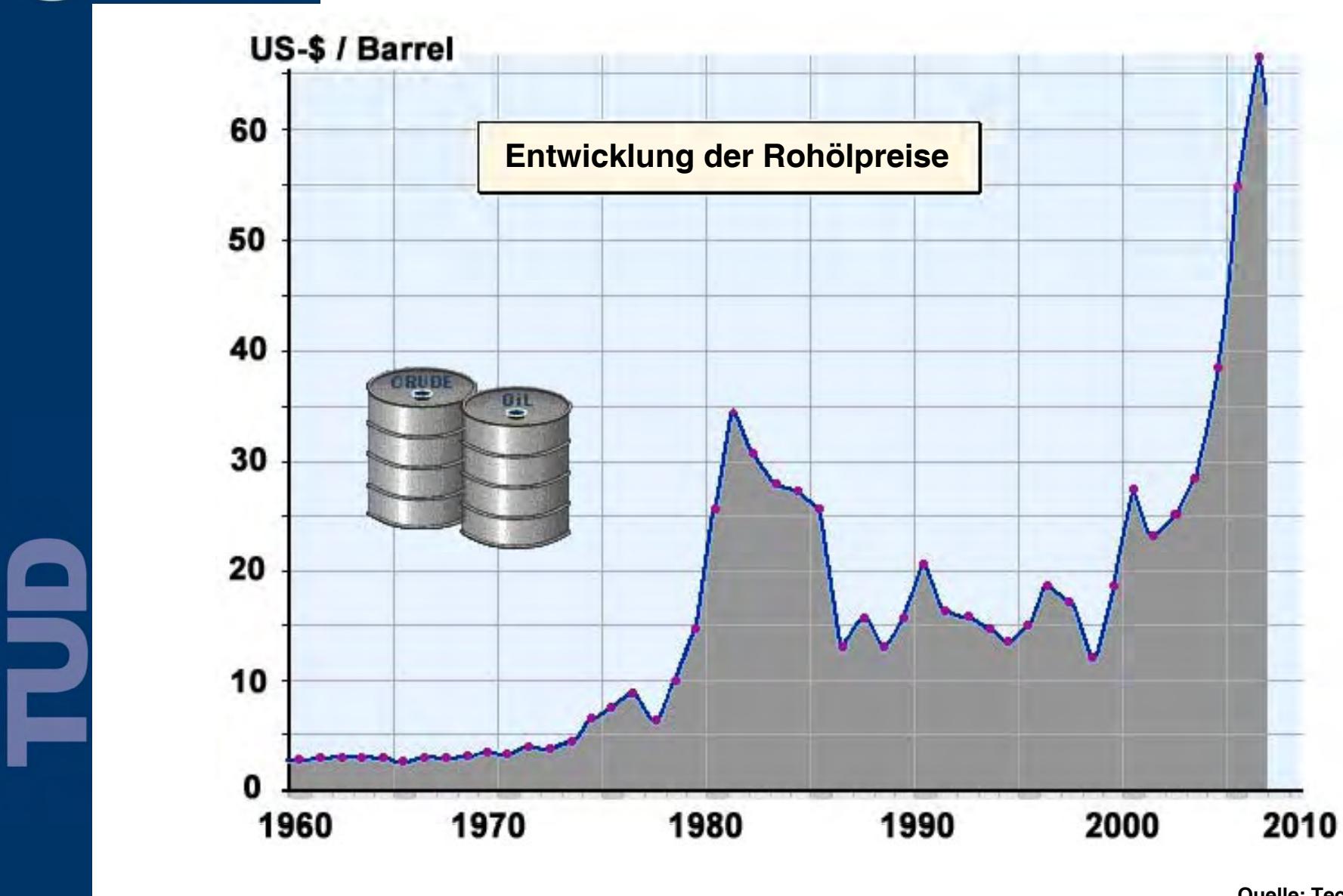
Energie aus Öl und Gas wird zunehmend knapp
Verbrennungsprodukt CO₂ schädigt unsere Atmosphäre



In Zukunft werden importierte fossile Energieträger für die Gebäudeklimatisierung zu teuer.



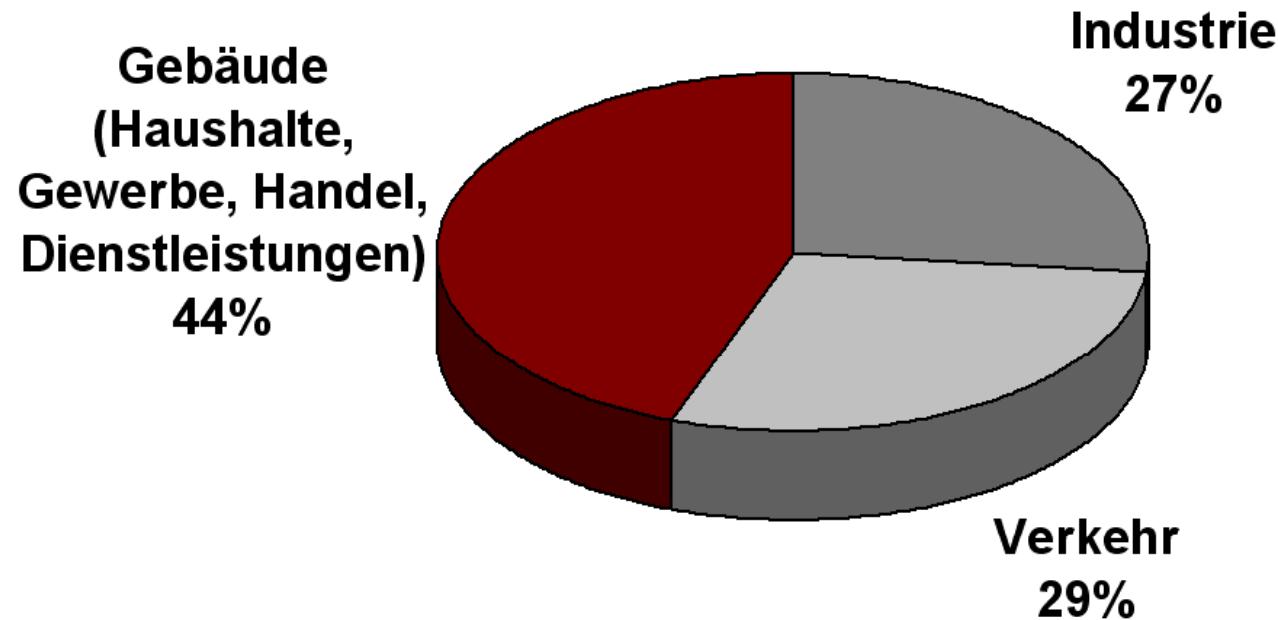
Öl ist ein unersetzbarer Rohstoff der Grundstoffindustrie und viel zu wertvoll um es "nur" zu verbrennen.



Quelle: Tecson

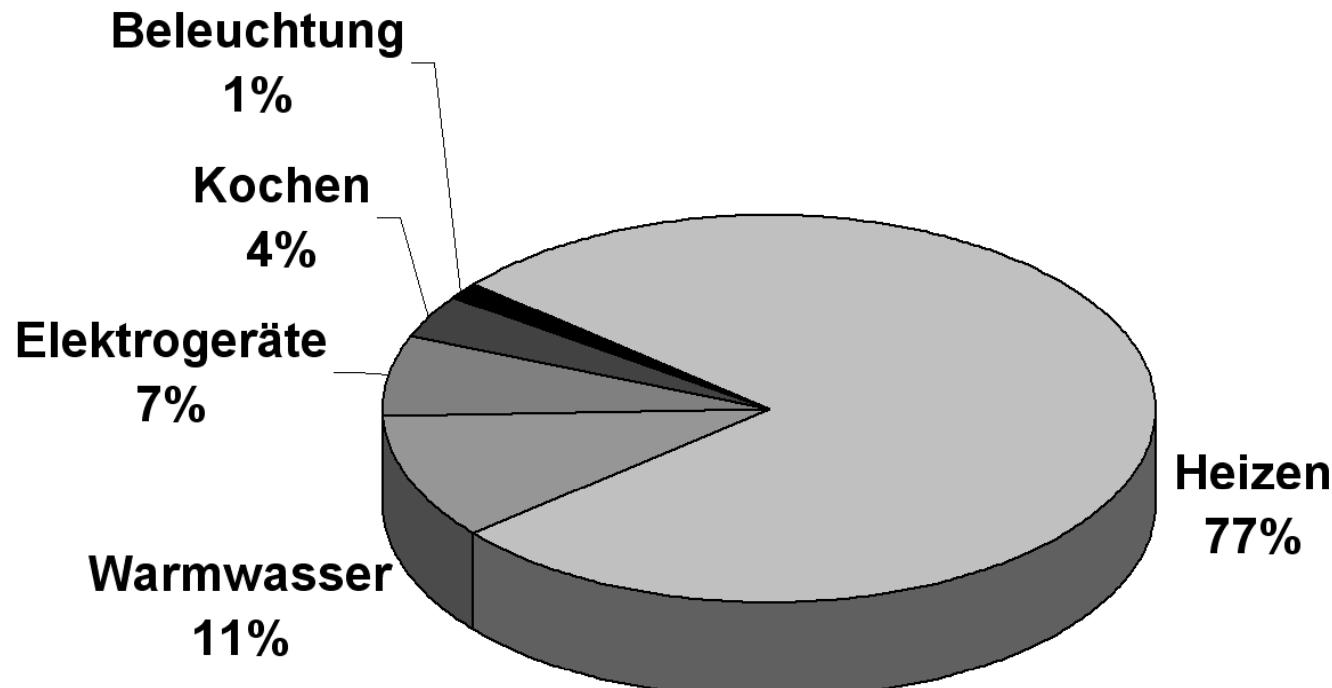


Endenergieverbrauch in Deutschland 2006 nach Nutzern

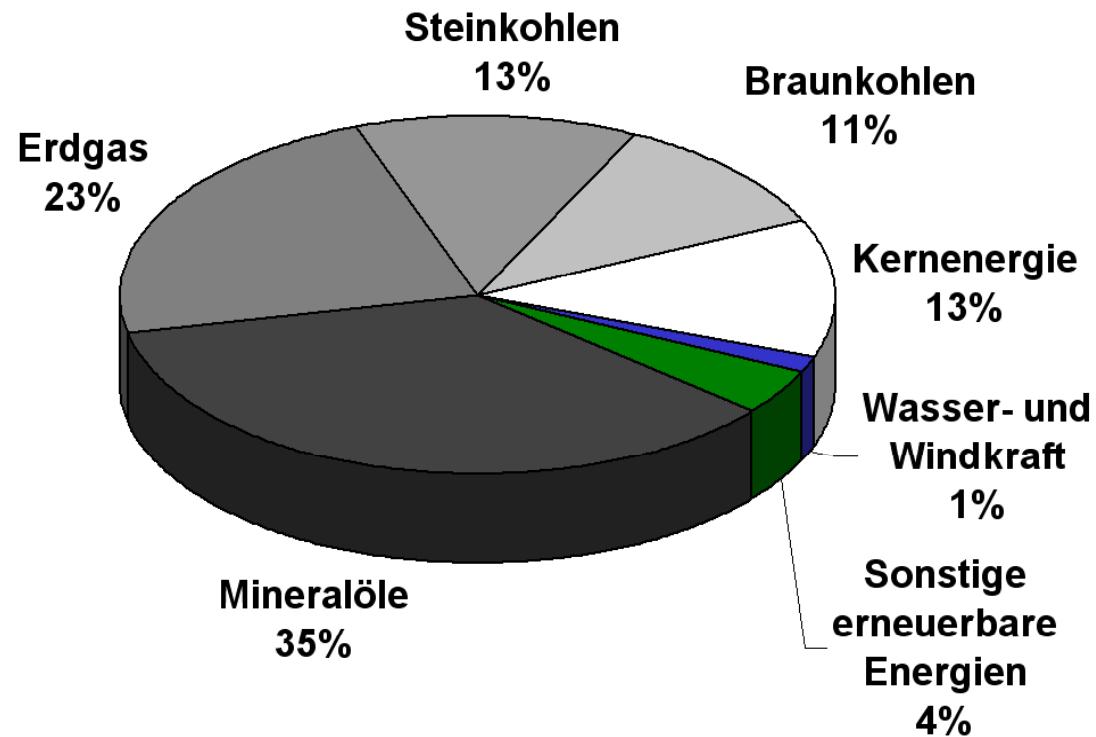




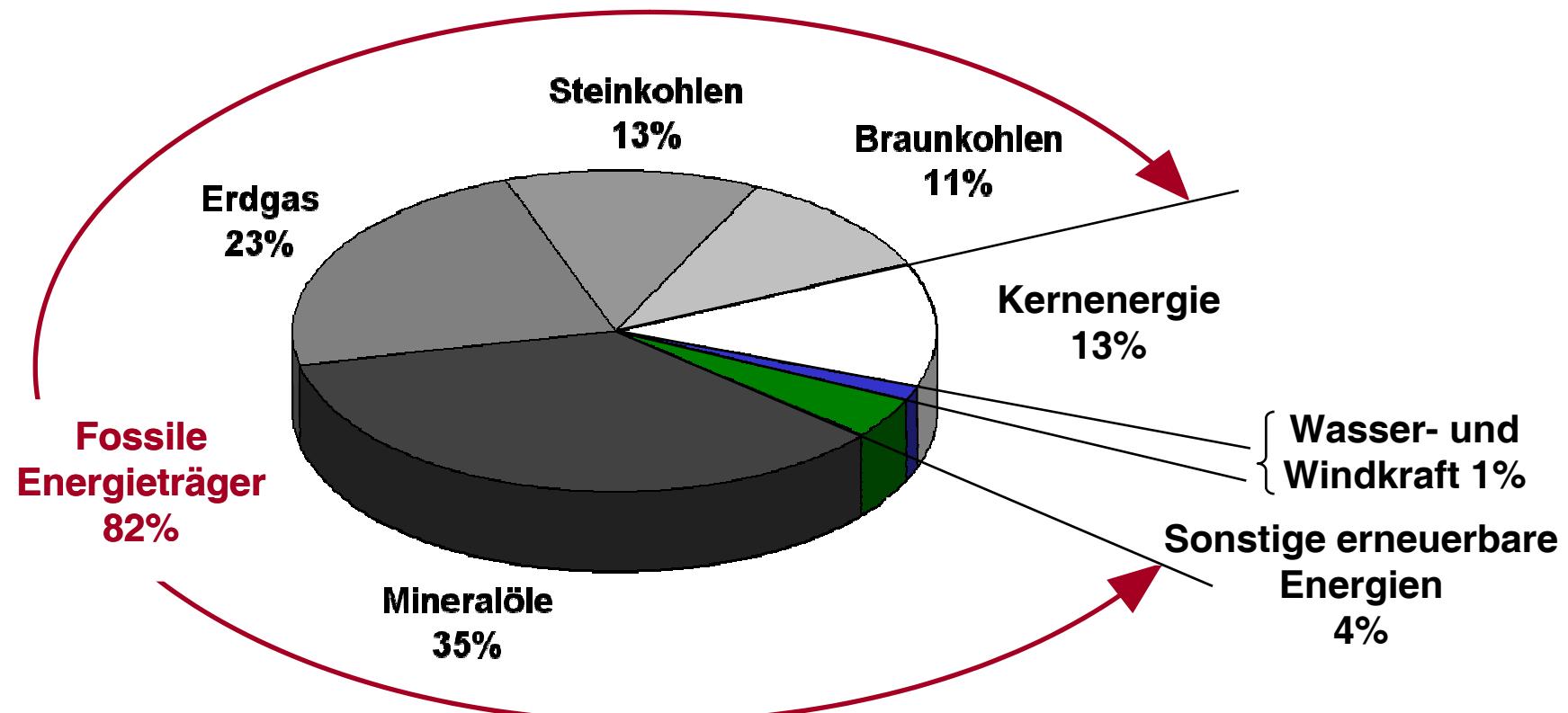
Verteilung des Endenergieverbrauchs in Haushalten



Primärenergieverbrauch in Deutschland 2006 nach Energieträgern



Primärenergieverbrauch in Deutschland 2006 nach Energieträgern





Erneuerbare Energien

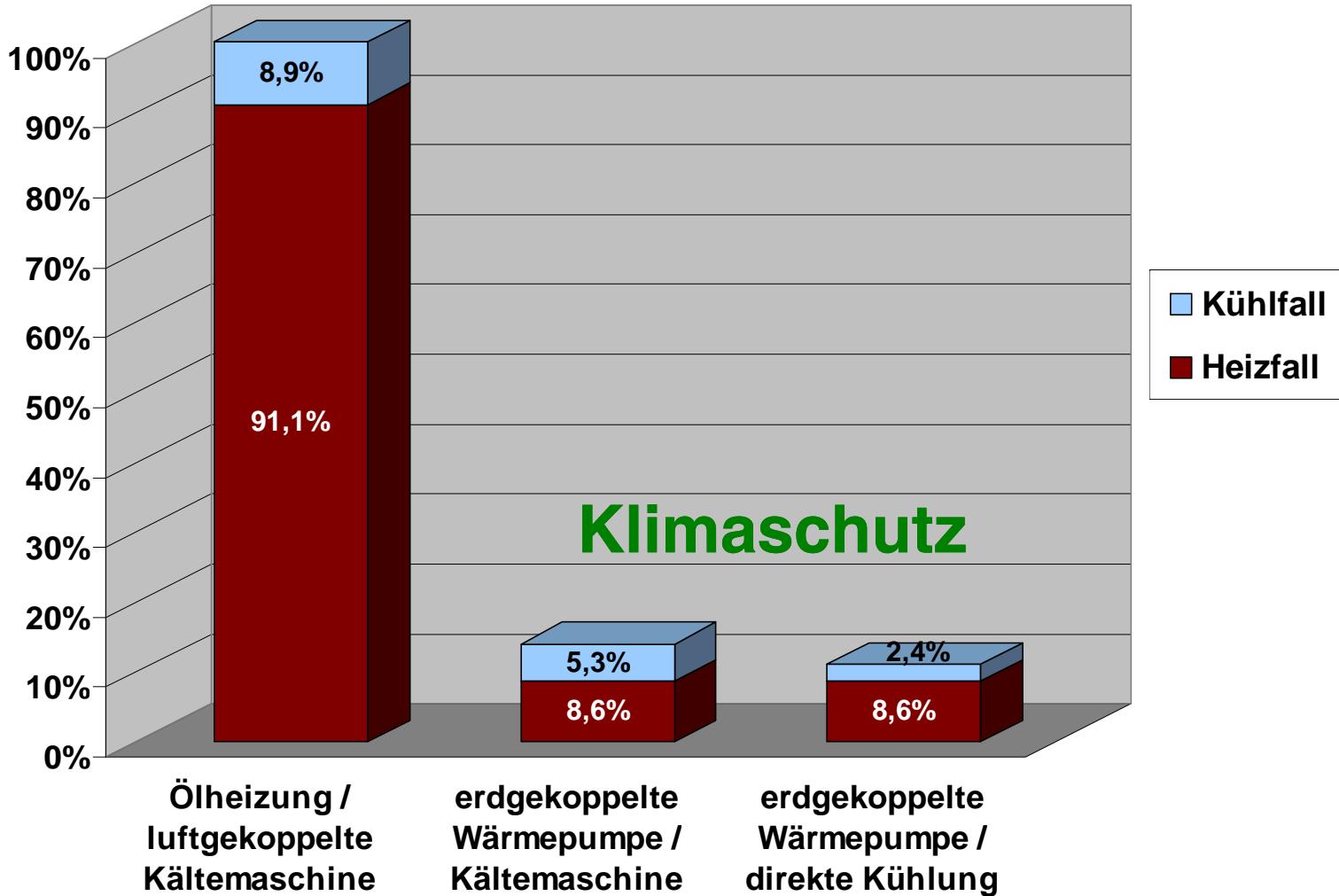
Quellen Erneuerbarer Energien, die heute technisch als Energieträger zur Verfügung stehen, sind:

- Geothermie
- Wasserkraft
- Wind
- Solarthermie
- Photovoltaik
- Solarthermie
- Biomasse





CO₂-Emissionen / Jahr

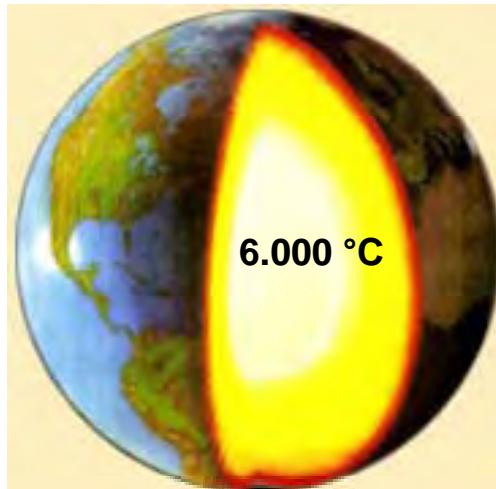




Was ist Geothermie ?

Das Wort Geothermie leitet sich von den griechischen Wörtern Geos (= Erde) und Thermos (= Wärme) ab (Synonym: Erdwärme).

Geothermie ist der Oberbegriff für die energetische Nutzung des Bodens und des Grundwassers.



Unsere Erde:

- mehr als 99 % sind **heißer als 1.000 °C**
- weniger als 0,1 % sind **kühler als 100 °C**

Die Untergrundtemperatur nimmt im Mittel um 3°/ 100 m Tiefe zu (geothermischer Gradient).

Ohne Wärmefluss aus dem Erdinneren wäre die mittlere Oberflächentemperatur bei 0 °C, statt bei derzeit 11 - 12 °C.



Historie

Geothermische Energie ist eine dem Menschen seit mehr als 3.500 Jahren bekannte Energiequelle.

- 1500 v. Chr. erstes gemauertes Thermalbad auf der Insel Lipari bei Sizilien
- 1828 Erdwärme als Prozesswärme in Larderello, Italien angewendet
- 1904 erster geothermisch erzeugter Strom in Larderello
- 1945 erste erdgekoppelte Wärmepumpe geht in Indianapolis, USA in Betrieb
- 2003 erstes Geothermiekraftwerk in Deutschland, Neustadt-Glewe



Geothermisches Potential

- **Theoretisches Potential: $130 \text{ [EJ/a]} = 130 * 10^{18} \text{ [J/a]} = 130 \text{ Trillionen [J/a]}$**
 - Bei einem maximal gewinnbaren Energieaufkommen von 360 MJ/(m²a) auf der gesamten Oberfläche Deutschlands
- **Angebotspotential: $940 \text{ [PJ/a]} = 940 * 10^{15} \text{ [J/a]} = 940 \text{ Billiarden [J/a]}$**
 - Bei einem maximal gewinnbaren Energieaufkommen von 360 MJ/(m²a) auf zur oberflächennahen Erdwärmennutzung geeigneten Flächen
- **Nachfragepotential: $1316 \text{ [PJ/a]} = 1316 * 10^{15} \text{ [J/a]} = 1316 \text{ Billiarden [J/a]}$**
 - Wärmenachfrage im Niedertemperaturbereich von Haushalten, Kleingewerbe und Industrie bei einer durchschnittlichen Wärmepumpenarbeitszahl von 3,5

$940 \text{ [PJ/a]} / 1316 \text{ [PJ/a]} = 0,71 \Rightarrow 71\% \text{ des Heizwärmebedarfs in Deutschland lassen sich geothermisch abdecken !!!}$

Quelle: Geothermie – Energie der Zukunft, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit



Wärmetransportmechanismen

Stoffgebundener Transport

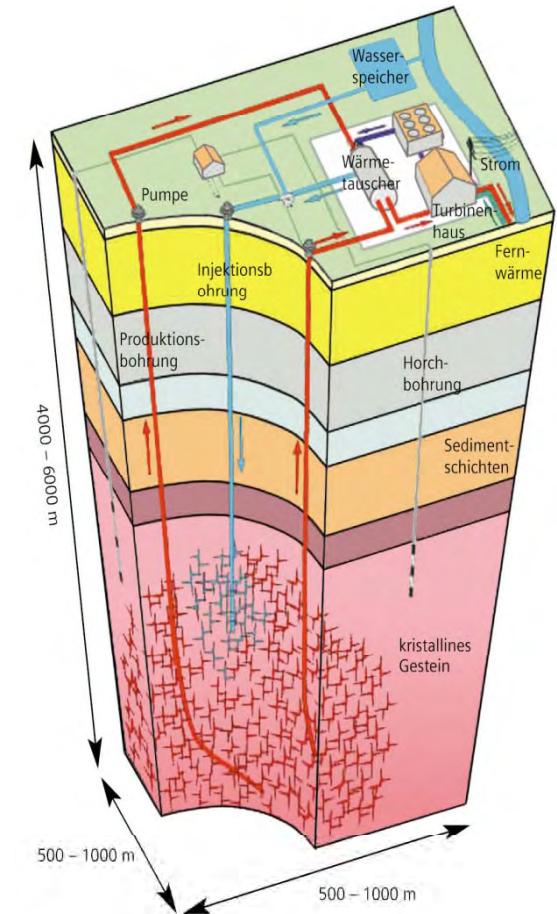
- Konduktion
(Wärmeleitung)
- Konvektion
- Dispersion
- Verdunstungs- /
Kondensationsprozesse
und Diffusion

Nichtstoffgebundener Transport

- Wärmestrahlung

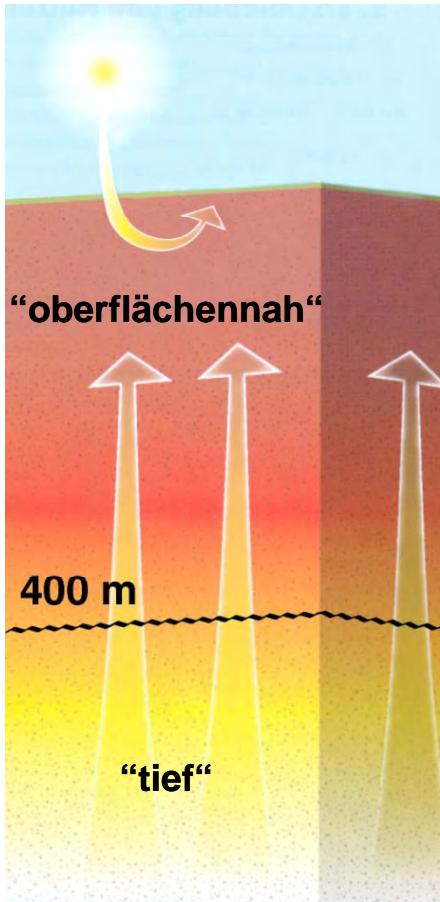
Tiefe Geothermie – Hot Dry Rock (HDI)

- im Gegensatz zur Nutzung hydrothermaler Lagerstätten beim Hot Dry Rock-Verfahren keine ergiebigen wasserführenden Gesteinsschicht erforderlich
- zwischen Injektions- und Produktionsbohrung wird ein Zirkulationssystem künstlich hergestellt
- im Untergrund werden Klüfte durch das Einpressen großer Wassermengen unter hohem Druck erzeugt (hydraulische Stimulation)
- Erreichen der für den wirtschaftlichen Betrieb notwendigen Temperaturen in entsprechenden Tiefen ist primär ein finanzielles und weniger ein technisches Problem





Oberflächennahe Geothermie



Energiegewinnung / -speicherung mit Hilfe von z.B.:

- Erdwärmesonden und -kollektoren
- Grundwasserbrunnen
- Erdberührten Betonbauteilen
- Sonderformen (CO₂-Sonde u.a.)



Nutzungsarten

Die thermische Nutzung des Bodens kann auf zwei Arten erfolgen:

→ **Wärme- u. Kältequelle**

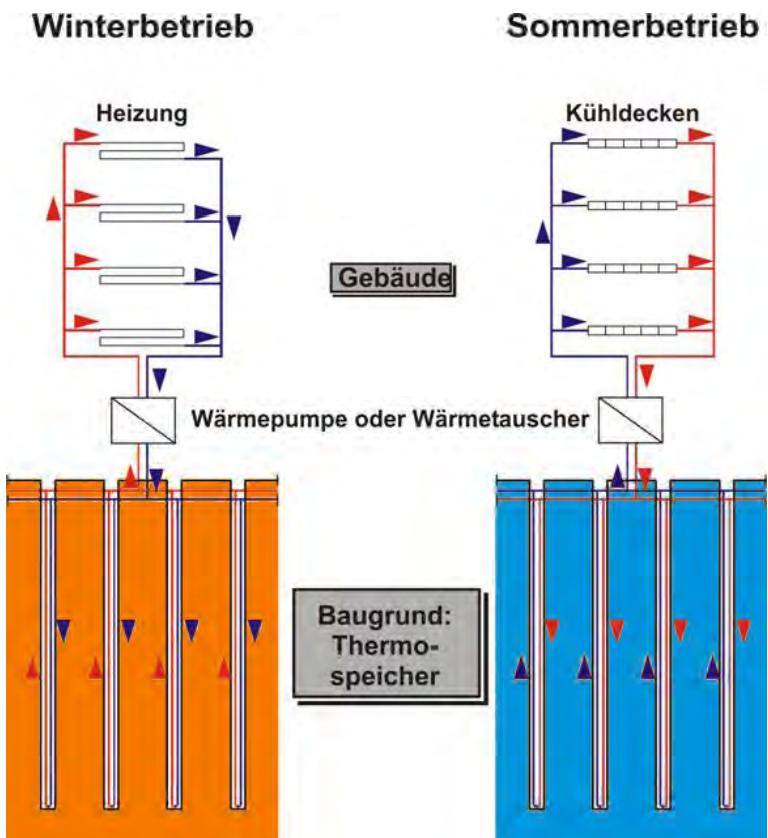
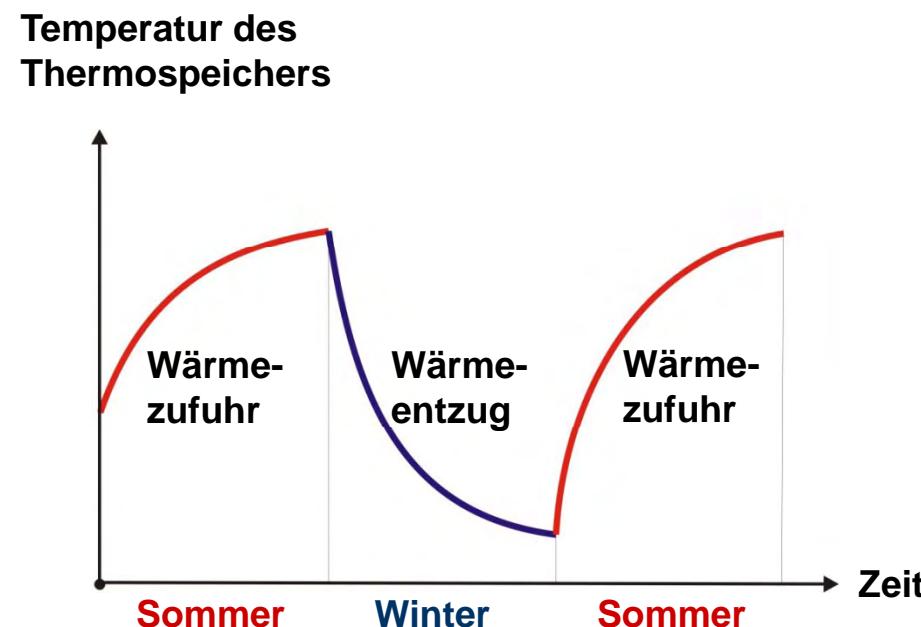
- Wärmeentzug (Heizen)
- Wärmeeintrag (Kühlen)

Voraussetzung: ausreichende thermische Regeneration des Bodens

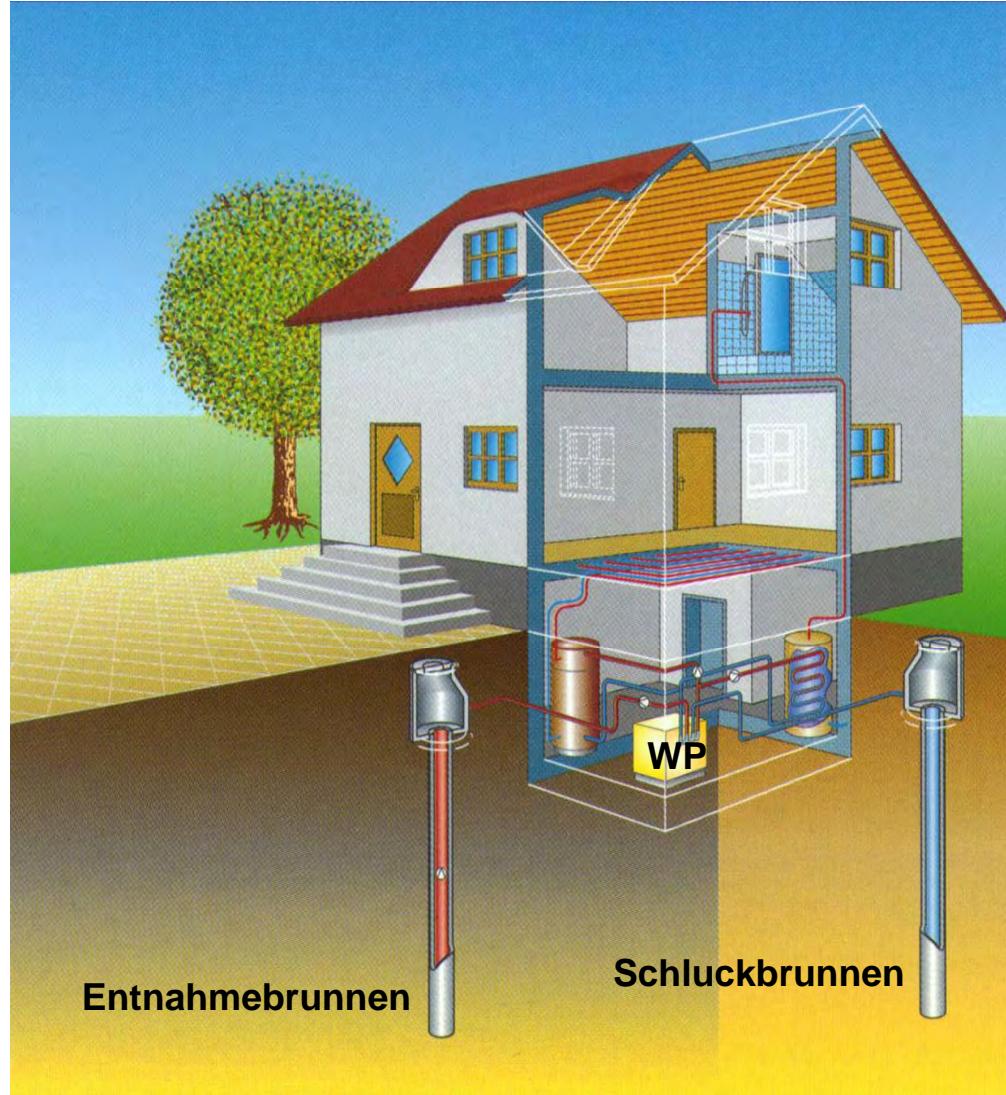
→ **Saisonaler Thermospeicher**

Thermische Nutzung des Bodens

Def.: Der Saisonale Thermospeicher ist ein mit Wärmeaustauschern ausgerüsteter Bodenkorpus, der thermische Energie für Heiz- bzw. Kühlzwecke speichert, wobei von der thermodynamischen Trägheit des Bodens Gebrauch gemacht wird.



Thermische Nutzung des Grundwassers



- Verdampferleistung rd. 1 kW je 0,25 m³/h Grundwasser
- Ergiebigkeit des Entnahme- und des Schluckbrunnens anhand von Pump- bzw. Schluckversuchen nachweisen
- hydrochemische Parameter sind zu untersuchen und ggf. sind Maßnahmen gegen Ausfällungen und Korrosion vorzusehen
- Temperaturänderung des reinfiltrierten Wassers sollte $\pm 6\text{ K}$ nicht überschreiten

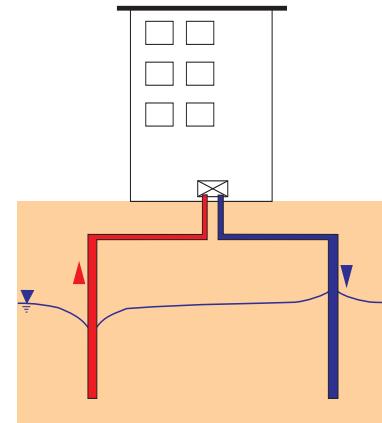


Thermische Nutzung des Grundwassers

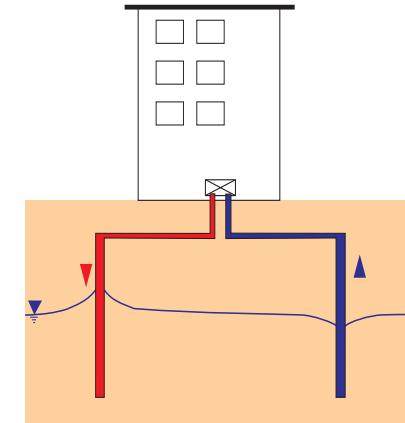
Nutzung von natürlichen
oder künstlichen Aquiferen
zur Energiespeicherung



Winterbetrieb



Sommerbetrieb



Voraussetzungen:

- Nach oben und unten dichtes Aquifer
- Geringer Grundwasserfluss
- Hohe hydraulische Durchlässigkeit ($k > 10^{-4}$ m/s)



Erdwärmearauschern

Horizontal installierte
Wärmeaustauscher
(Erdwärmekollektoren)

- Flächenkollektoren
- Grabenkollektoren

Vertikal installierte
Wärmeaustauscher

- Erdwärmesonden
- Erdwärmekörbe

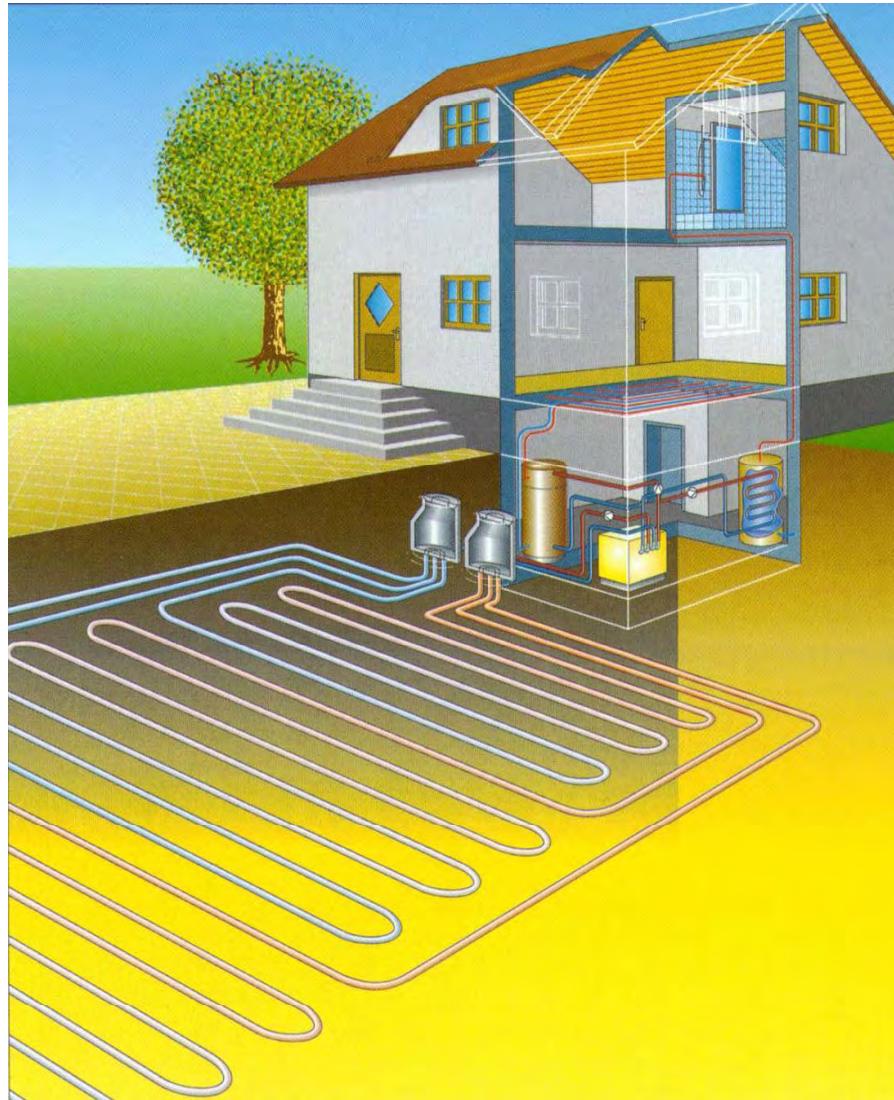
Erdberührte
Betonbauteile
(Massivabsorber)

- Energiepfähle
- Energieschlitzwände
- Energiefundamentplatten

Sonderformen

- CO₂-Sonden (Direktverdampfer)
- u.a.

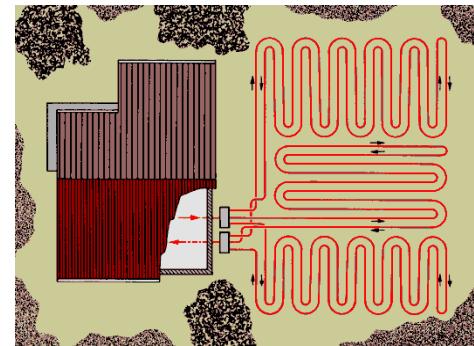
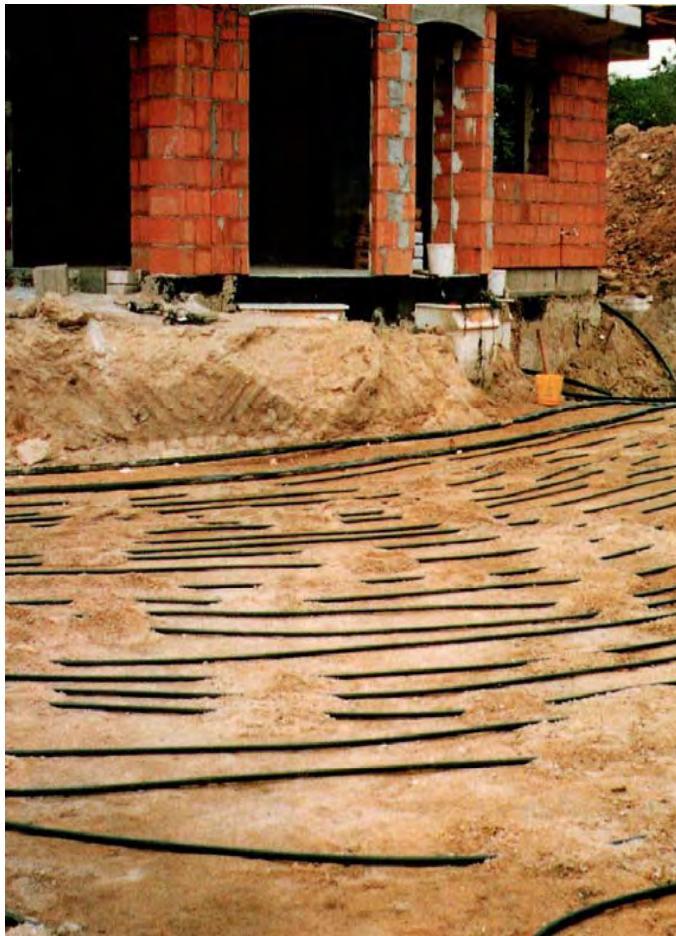
Erdwärmekollektoren - Flächenkollektoren



- Wärmeaustauscherohre horizontal verlegt
- Verlegetiefe mindestens 1,2 m maximal 1,5 m
- Verlegeabstand i.d.R. zwischen 0,3 und 0,8 m
- Erdwärmekollektoren dürfen nicht überbaut werden, Oberflächen nicht versiegelt werden
- Temperatur des zum Erdwärmekollektor zurückfließenden Wärmeträgermediums sollte im Dauerbetrieb max. ± 12 K von ungestörter Bodentemperatur abweichen, bei Spitzenlast max. ± 18 K



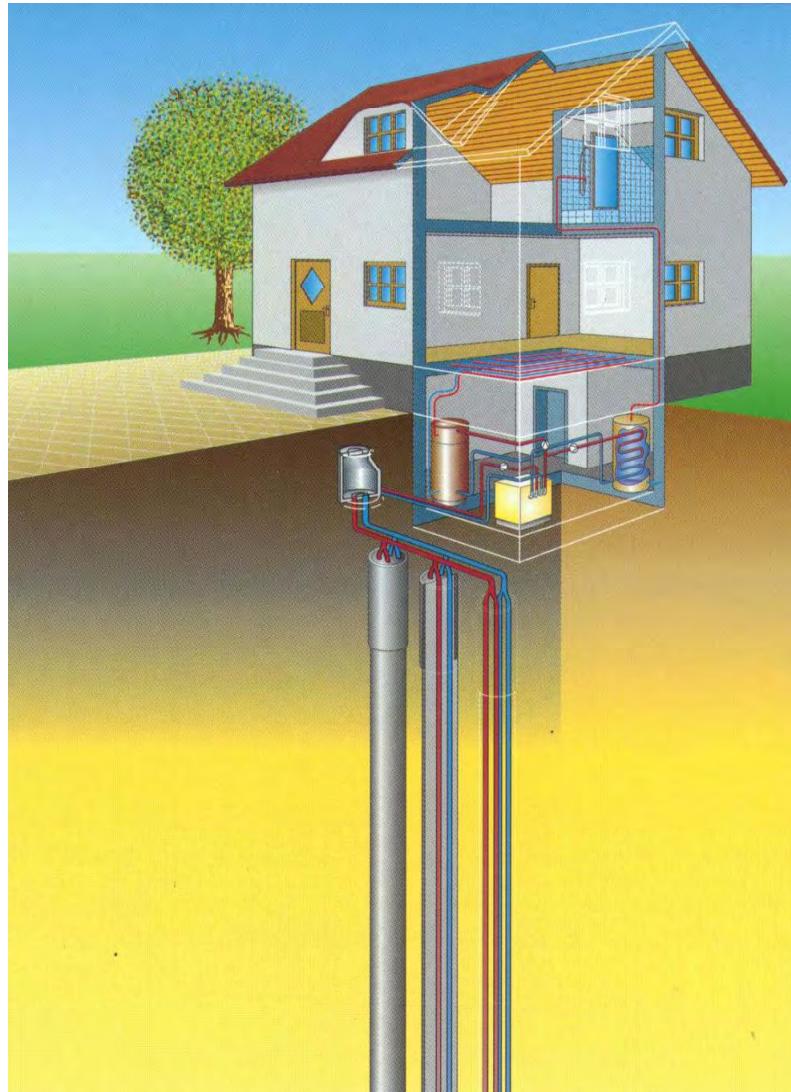
Erdwärmekollektoren - Flächenkollektoren



Untergrund	spezifische Entzugsleistung bei 1800 h	spezifische Entzugsleistung bei 2400 h
Trockener, nichtbindiger Boden	10 W/m ²	8 W/m ²
Bindiger Boden, feucht	20-30 W/m ²	16-24 W/m ²
Wassergesättigter Sand/Kies	40 W/m ²	32 W/m ²



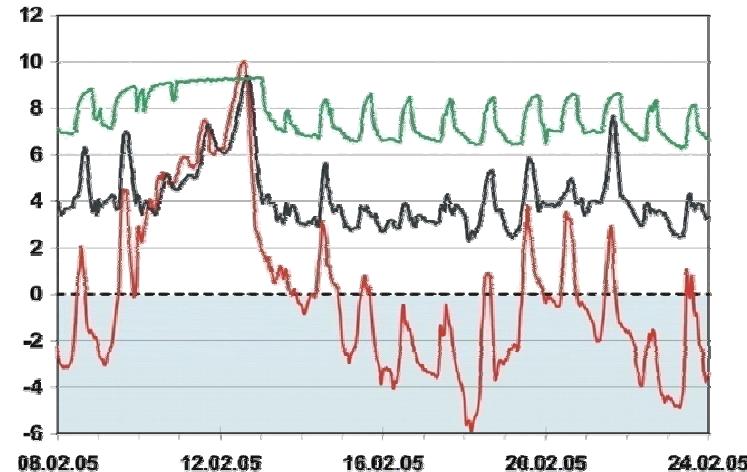
Erdwärmesonden



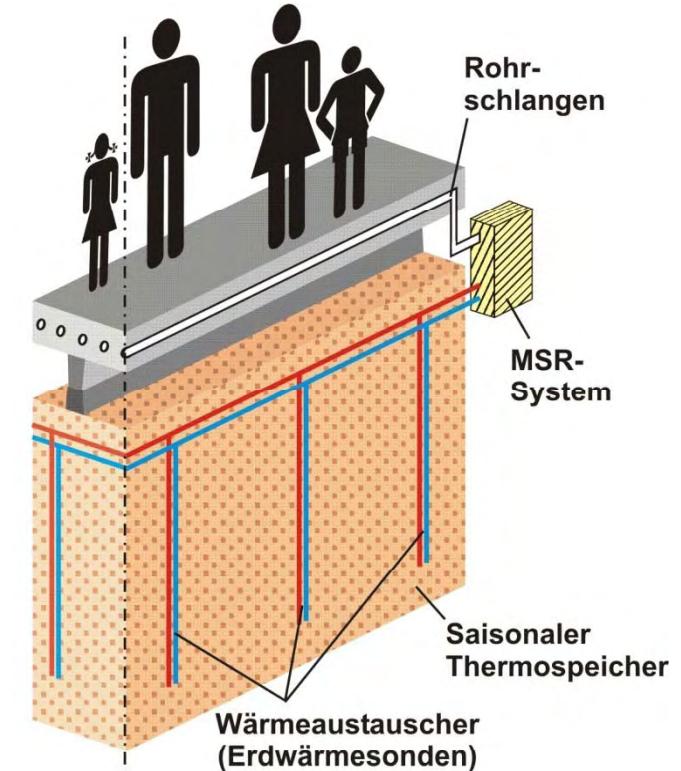
- vertikal oder geneigt in den Boden eingebracht
- Wärmeaustauscherohre einzeln oder gebündelt, als U- oder Koaxialrohr
- i.d.R. bis in Tiefen von 50 bis 200 m, tiefe Sonden bis 400 m
- verbleibender Ringraum mit gut wärmeleitendem Material verpresst (z.B.: Bentonit-Zement-Suspension)
- für guten Wärmeübergang in der Sonde turbulente Strömung der Wärmeträgermediums wichtig
- Temperatur des zur Sonde zurückfließenden Wärmeträgermediums sollte im Dauerbetrieb max. $\pm 11\text{ K}$ von ungestörter Bodentemperatur abweichen, bei Spitzenlast max. $\pm 17\text{ K}$

Erdwärmesonden - Beispiel F&E-Vorhaben QuaWiDiS -

Temperatur [°C]



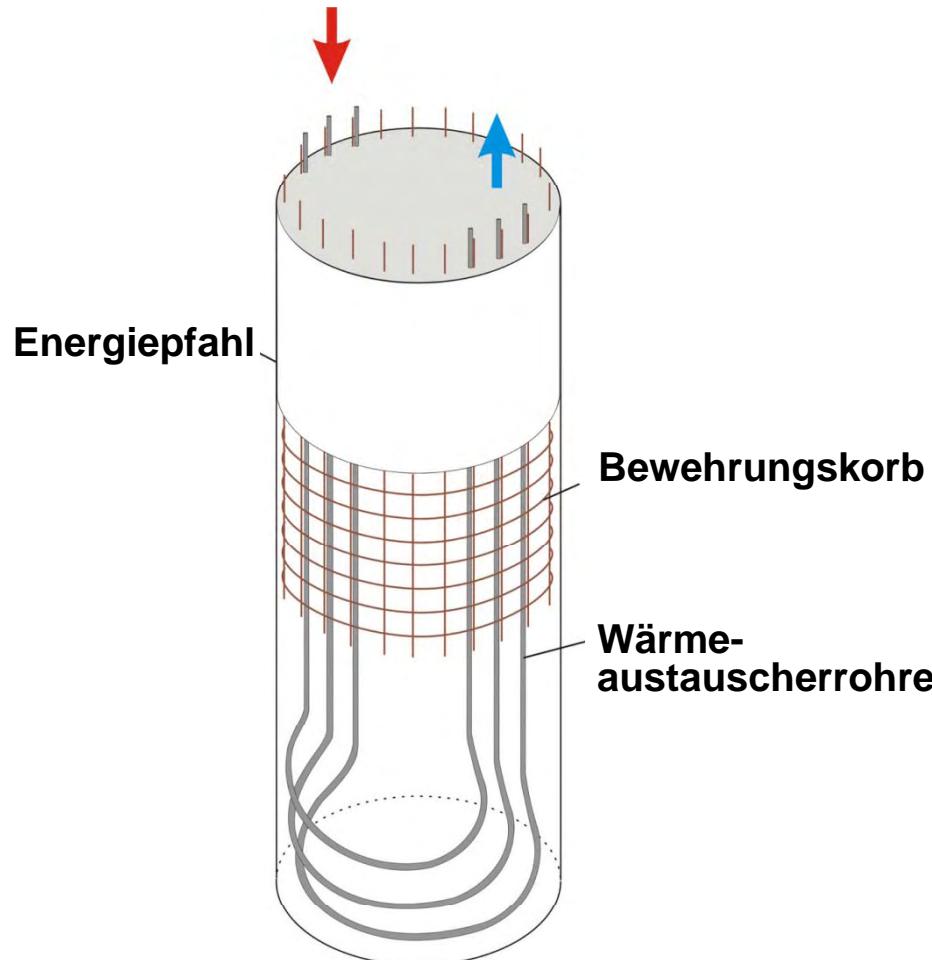
- Sondentemperatur
- Plattentemperatur
- Lufttemperatur



Entwicklung des neuen, qualifizierten Winterdienstsystems QuaWiDiS
für Personenverkehrsflächen durch die Nutzung regenerativer Energien



Erdberührte Betonbauteile

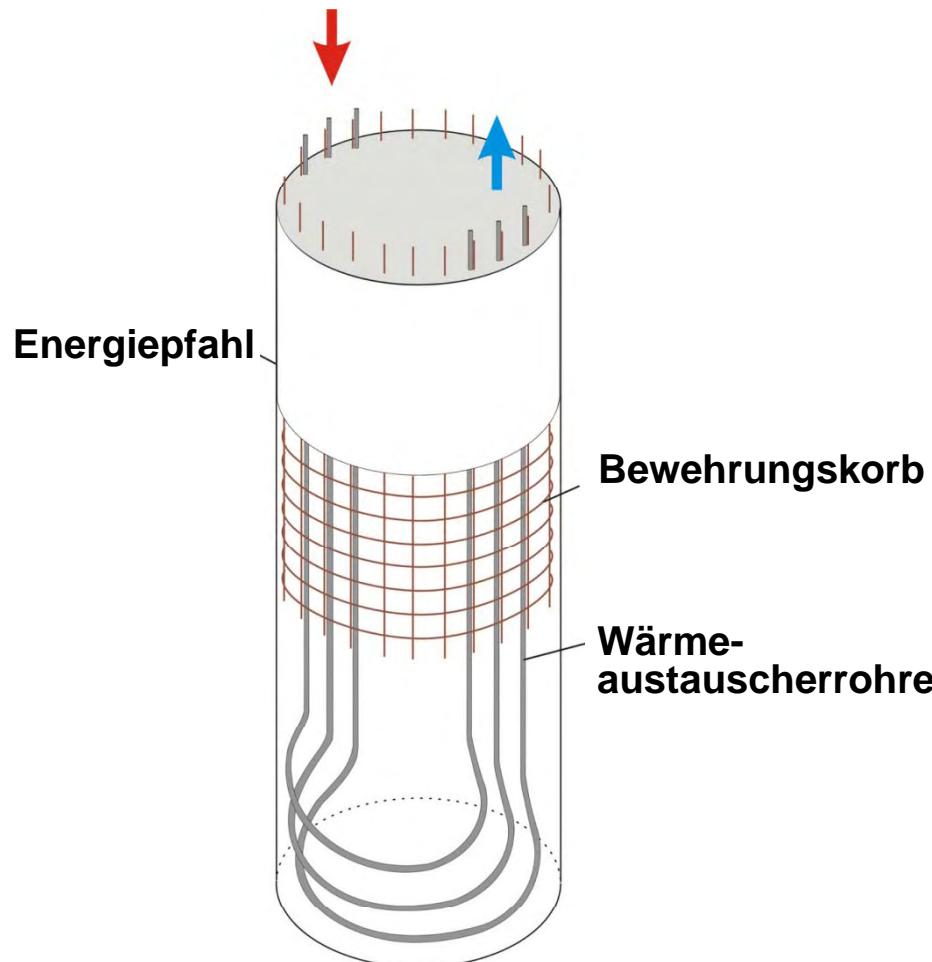


**Erdberührte Betonbauteile
(Massivabsorber)**

Statische
Funktion

Thermische
Funktion

Erdberührte Betonbauteile



Erdberührte Betonbauteile (Massivabsorber)

- Wärmeaustauscherrohre werden in den Betonkörper eingebaut
- Energietransfer über zirkulierendes Wärmeaustauscherfluid

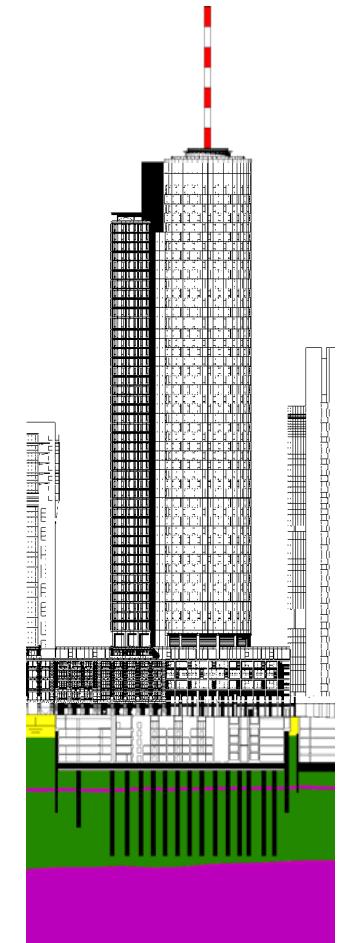


Erdberührte Betonbauteile - Beispiel MainTower, Frankfurt am Main -

Gründungspfähle:
112 Stück, D = 1,5 m, L = 30 m

Bewehrte Verbauwandpfähle:
101 Stück, D = 0,9 m, L = 34 m

80.000 Ifm Wärmeaustauscherrohre
150.000 m³ Speichervolumen
Leistung 500 kW





Erdberührte Betonbauteile - Beispiel MainTower, Frankfurt am Main -

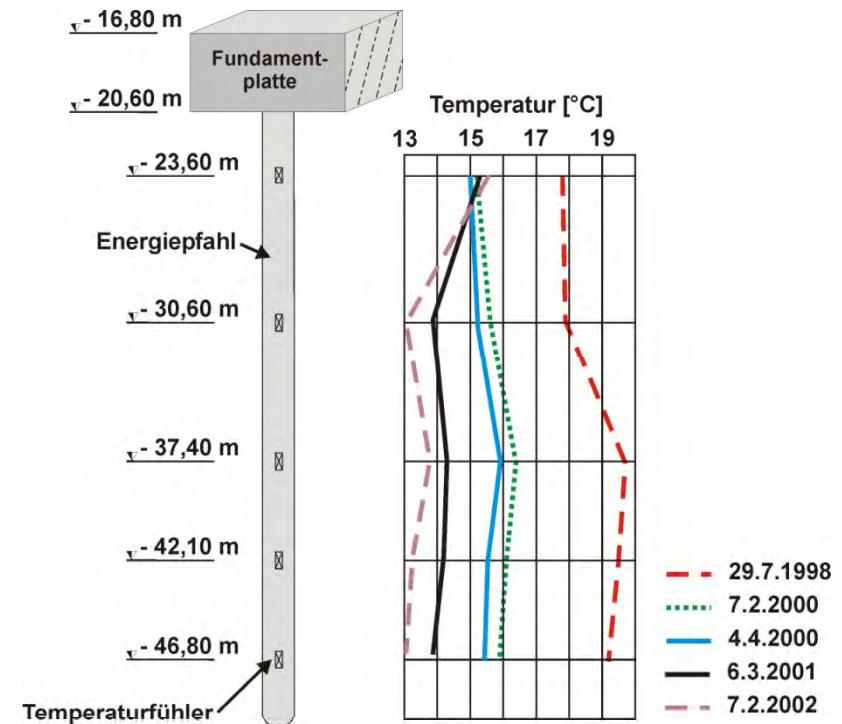
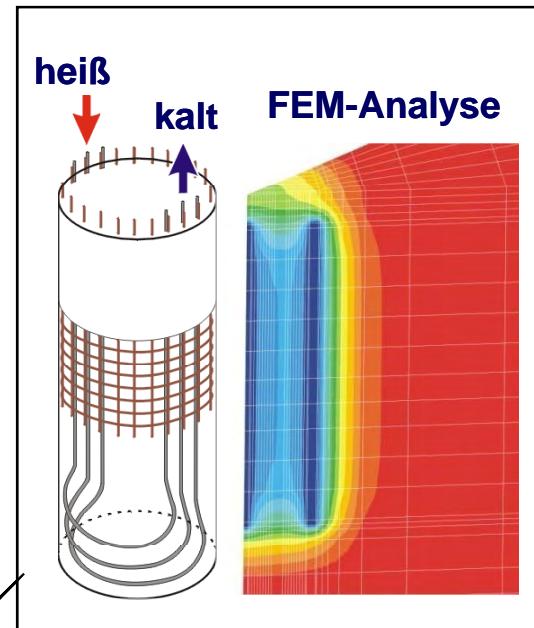


Energiepfahlherstellung





Erdberührte Betonbauteile - Beispiel MainTower, Frankfurt am Main -



Ergebnis der Forschung am MainTower:

→ Temperaturveränderung an den Gründungspfählen
hat keine tragfähigkeitsminimierenden Folgen



Erdberührte Betonbauteile - Anwendungsbeispiele, Frankfurt am Main -



- Geothermische Gebäudetemperierung



Sonderformen - CO₂-Sonde -

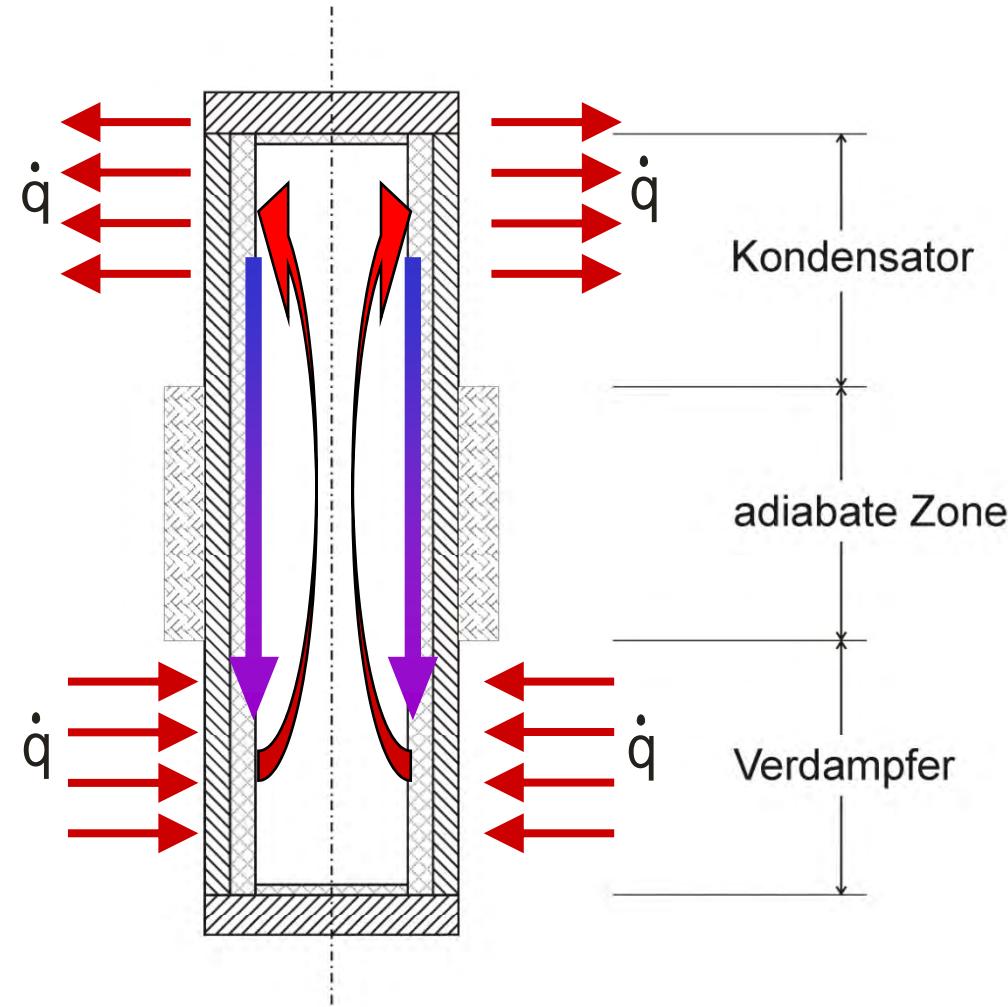


- Direktverdampfersystem
- CO₂ als Wärmeträgermedium
- ein geschlossenes, unter Druck stehendes System
- Einsatz von Kupferrohren mit Kunststoffbeschichtung (Korrosionsschutz)





Prinzip der CO₂-Sonde - Wärmerohr (Direktverdampfer) -





Chancen

- Klimaschutz, Reduktion von CO₂-Emissionen
- Fortschreiben der Qualität (Grundwasserschutz, Kostensenkung, Effizienz) der Herstellung geothermischer Anlagen

Potentiale

- unerschöpfliche Energiequelle
- nahezu überall verfügbar
- grundlastfähig
- dezentral
- geopolitische Unabhängigkeit

Risiken

- Baugrundrisiken:
 - Fündigkeitsrisiko (Kosten)
 - seismische Risiken
- Ausführungsrisiken:
 - unbeabsichtigte Grundwasserbeeinflussung
 - unsachgemäße Sondenherstellung



Akzeptanz Geothermie

BAU / Unter die Amann-Villa in Bönnigheim werden Erdwärme-Sonden 250 Meter tief in den Boden getrieben.

Energie aus dem Untergrund

Mit der Anlage soll das Gebäude beheizt werden – Vier Bohrlöcher dazu sind nötig.

BÖNNIGHEIM (id). Unter der Amann-Villa, die seit einigen Monaten renoviert wird, werden momentan vier 250 Meter tiefe Löcher gebohrt. Der Grund dafür: das Gebäude soll zukünftig mit einer modernen Erdwärmesonden-Anlage beheizt werden.



Geothermie ist als Energiequelle bis jetzt noch längst nicht ausgeschöpft

Die Wärme, die aus der Tiefe kommt

Wie sehr täglich Erfahrung das Bevusstsein prägt, zeigt sich auch bei der Suche nach alternativen Energiequellen. Sonne und Wind, die täglich eintreten oder mindestens vermisst werden, sind hier zu

men, diese auf höhere Temperaturen zu bringen und dann an den Verteilern abzugeben.

Die zum Beispiel elektrische

der nach oben, wo eine Turbine angetrieben wird. Das Soulzer Projekt konnte nach derartiges unterirdisches

Heizen mit Erdwärme

Unlinger Rathaus nutzt innovative Technologie

Unlingen Wärme ist lebenswichtig und unverzichtbar. Aber sind Öl- und Gasheizungen heutzutage nicht schon ausgemacht?

Die Gemeinde hat richtig investiert und setzt auf die regenerative Energie aus Erdwärme. Dies wurde durch sechs Sonden

Südleasing begrenzt mit Neubau den Pariser Platz

LBBW-Tochter konzentriert 520 Mitarbeiter – Investition von 60 Millionen Euro – Kühlung über Erdsonden

Die Südleasing, drittgrößte von Herstellern unabhängige Leasinggesellschaft in Deutschland, hat am Mittwoch den Grundstein für ihr neues Bürohaus am Pariser Platz im Hauptbahnhof gelegt. Der Bau temporiert.

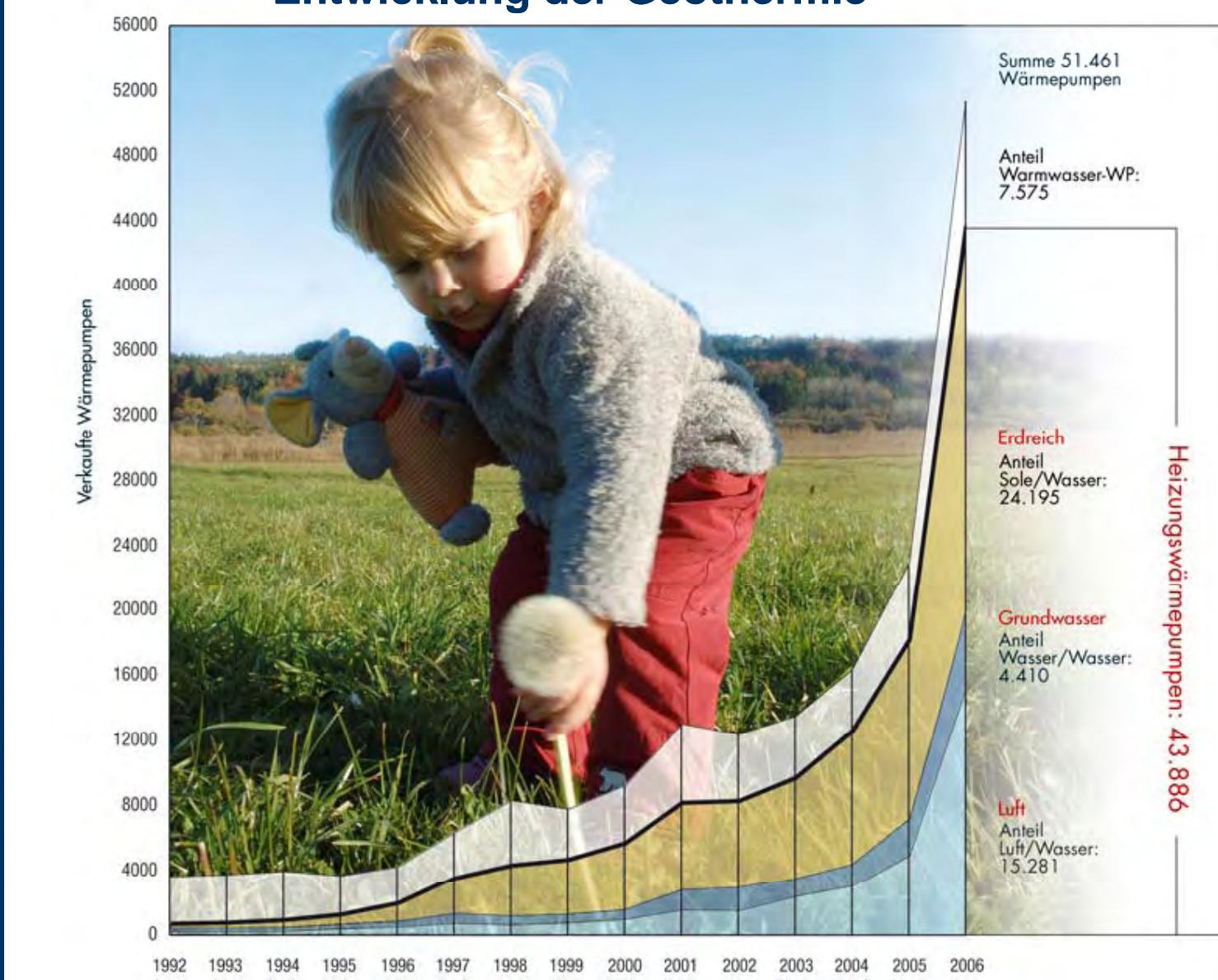
zugänglichen Innenhof entwarfen die Architekten Wühr und Mieslinger, die auch für die im Bau stehende LBBW-Erweiterung verantwortlich zeichnen.

„Dieser Platz wird Teil der Innenstadt, aber nur dann, wenn wir Kultur, Kommerz, Dienstleistung und Wohnen zusammenbringen, blickte OB Wolfgang Schuster in die Zukunft.“ Der Pariser Platz, der von den Banken





Entwicklung der Geothermie





Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

