



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

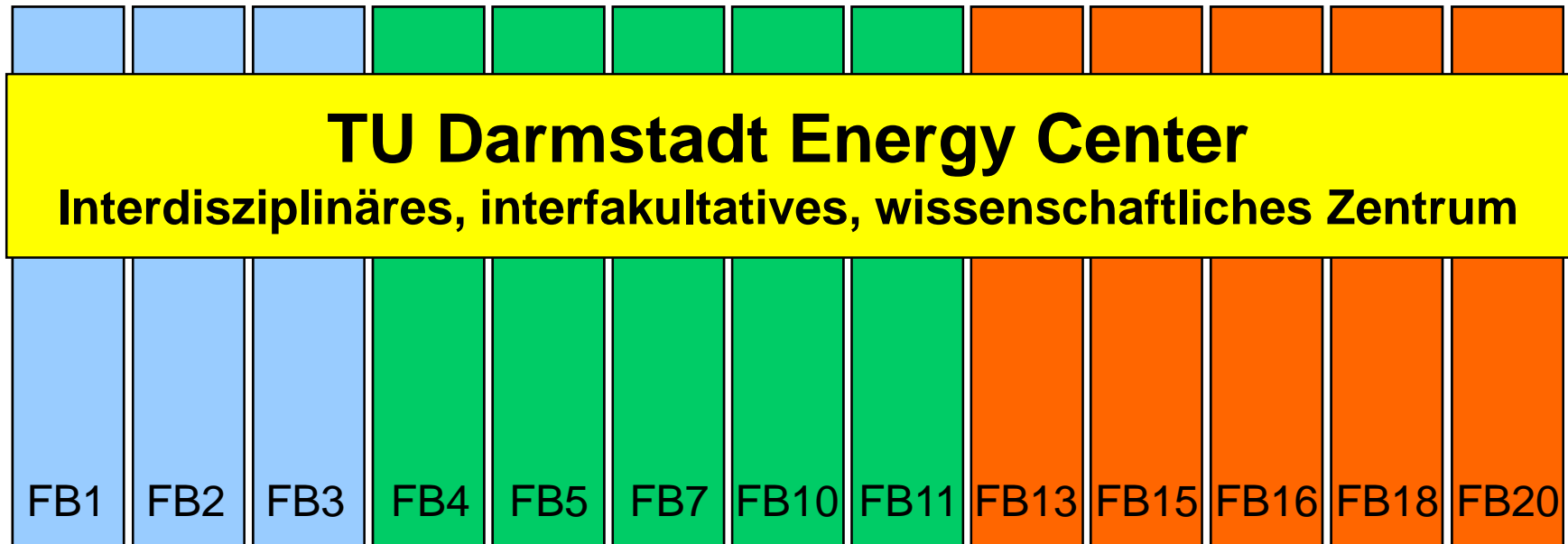
Sprecher: Prof. Dr. Wolfram Jaegermann (Materialwissenschaft)
Prof. Dr.-Ing. Johannes Janicka (Maschinenbau)
Prof. Dr.-Ing. Volker Hinrichsen (Elektrotechnik)
Prof. Dr.-Ing. Rolf Katzenbach (Bauwesen)



Geistes-
wissenschaften

Natur-
wissenschaften

Ingenieur-
wissenschaften



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

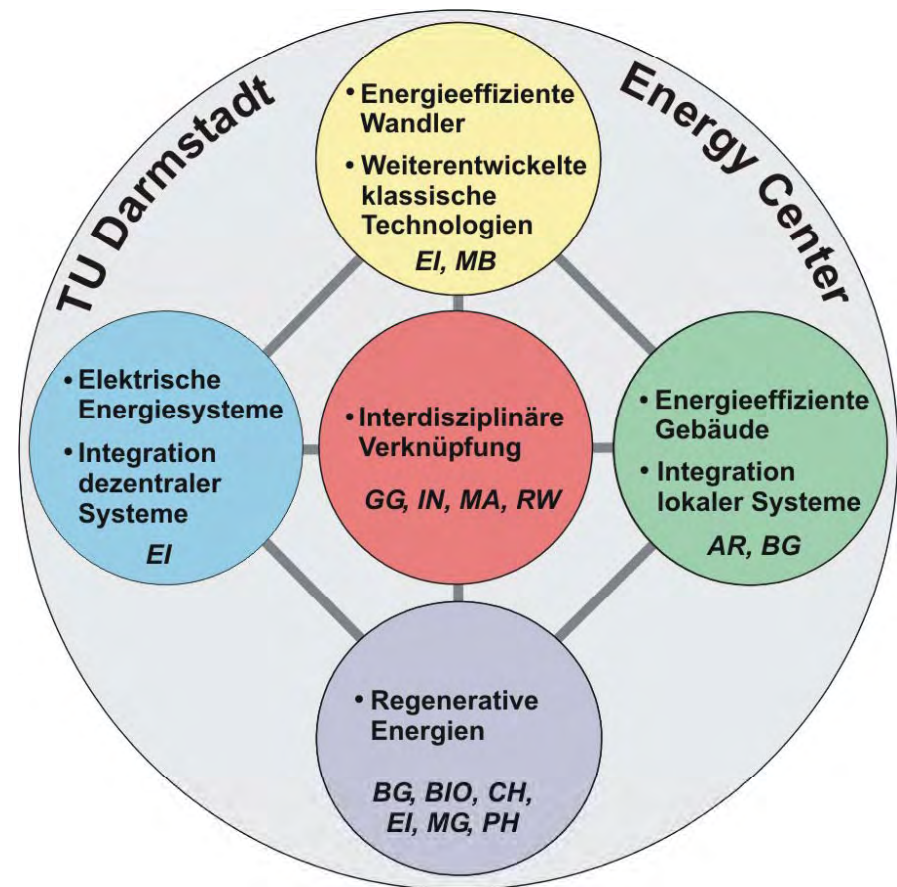
FB18: Elektrotechnik und
Informationstechnik

FB20: Informatik

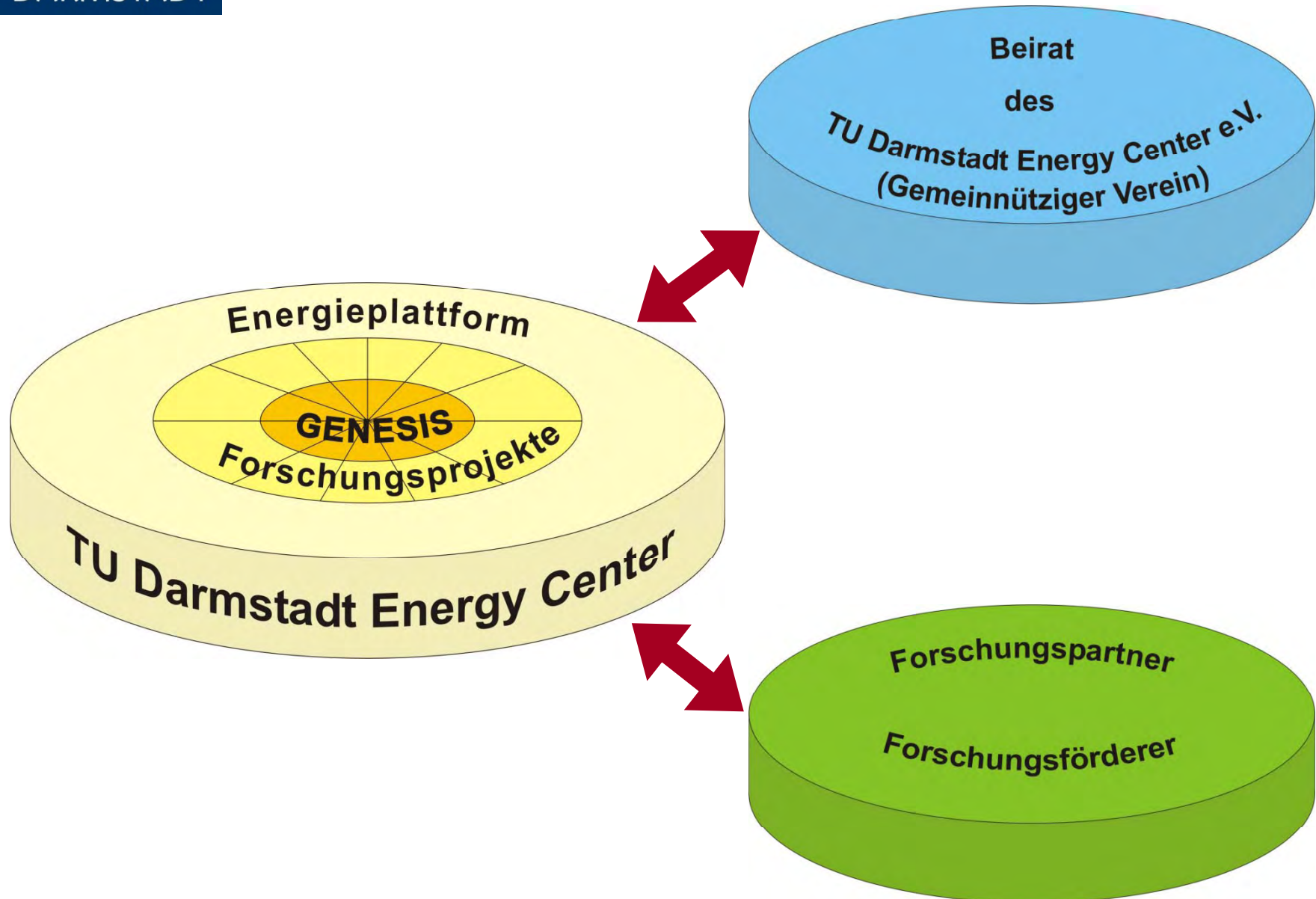


TU Darmstadt Energy Center

- 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.

Jahresbeitrag

Mitglieder:	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 _____
Name KATZENBACH Anschrift _____
Anschrift PETERSENSTR. 13 _____
64287 DARMSTADT Ansprechpartner _____
Tel. / Fax 06151-162149/06151-166683 Tel. / Fax _____
E-Mail katzenbach@geotechnik.tu-darmstadt.de E-Mail _____

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

Katzenbach
Unterschrift(en)



Erneuerbare Energien

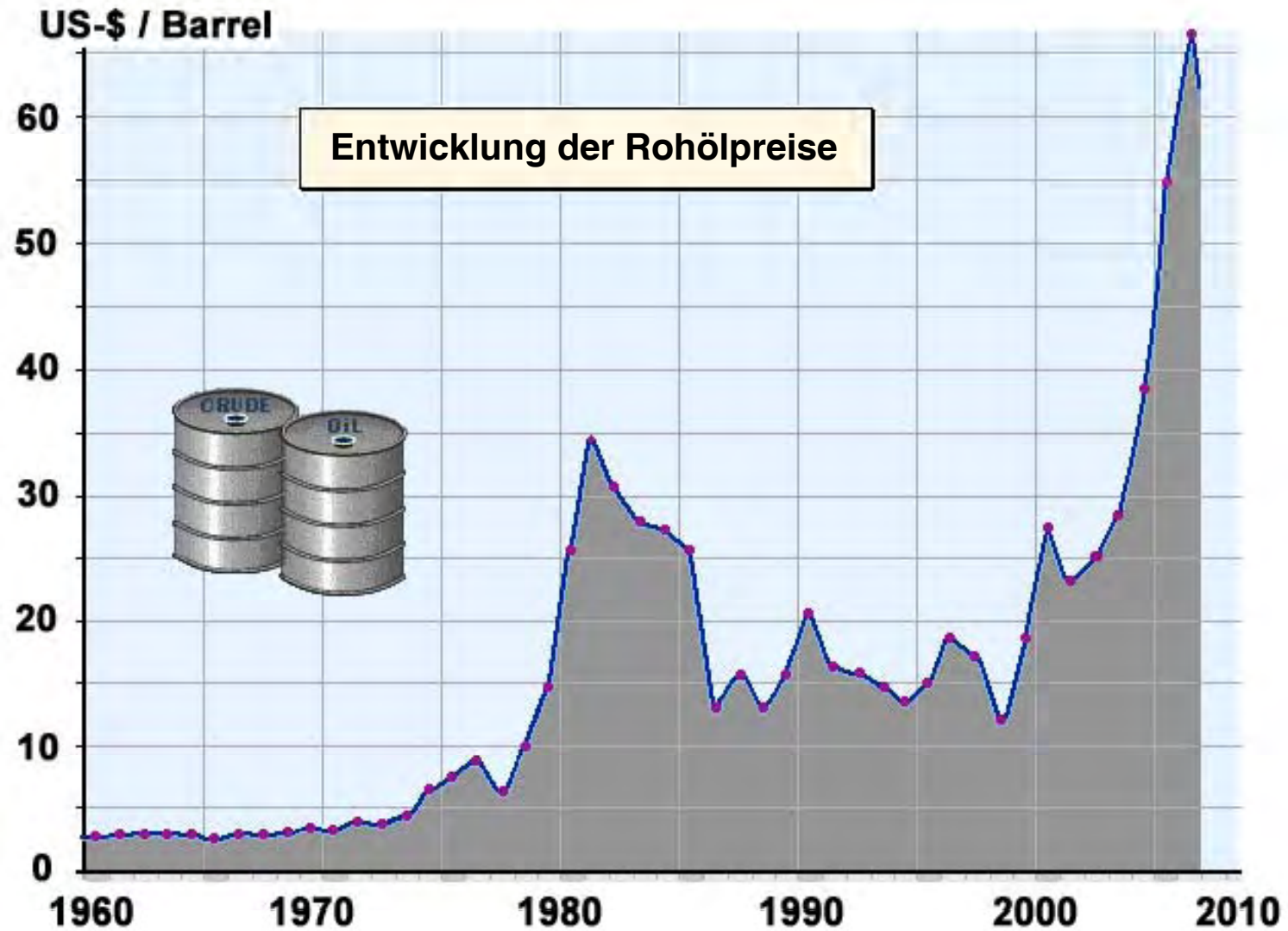
**Energie aus Öl und Gas wird zunehmend knapp
Verbrennungsprodukt CO₂ schädigt unsere Atmosphäre**



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



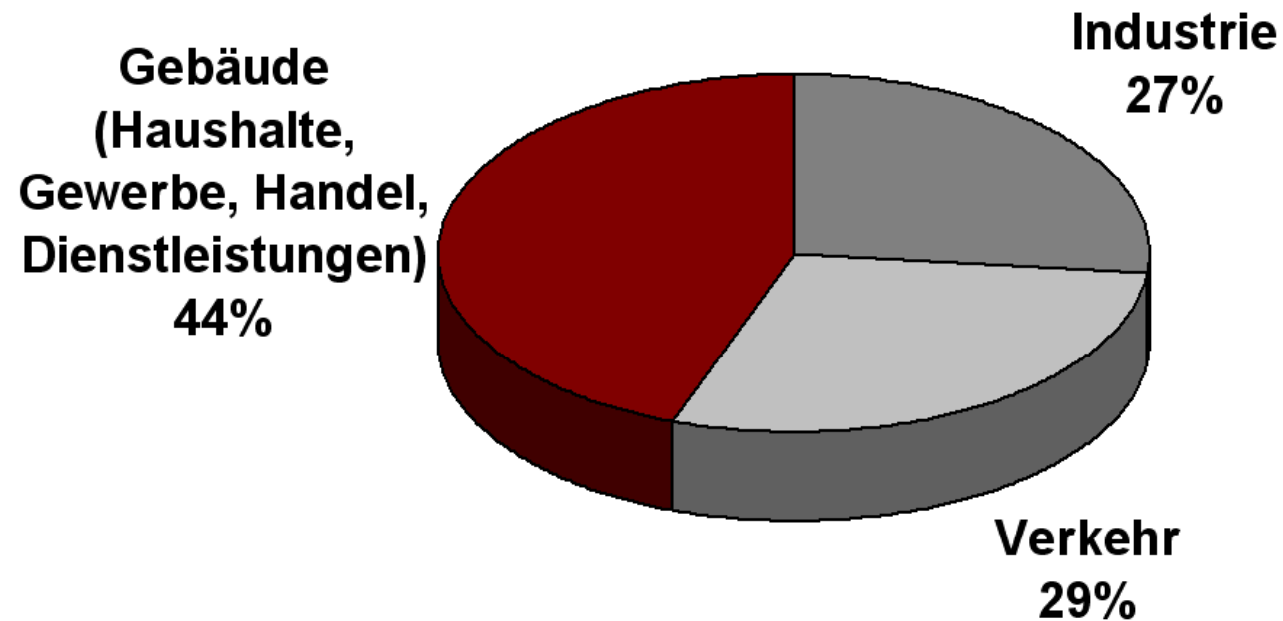
**Öl ist ein unersetzbarer Rohstoff
der Grundstoffindustrie und viel
zu wertvoll um es "nur" zu
verbrennen.**



Quelle: Tecson

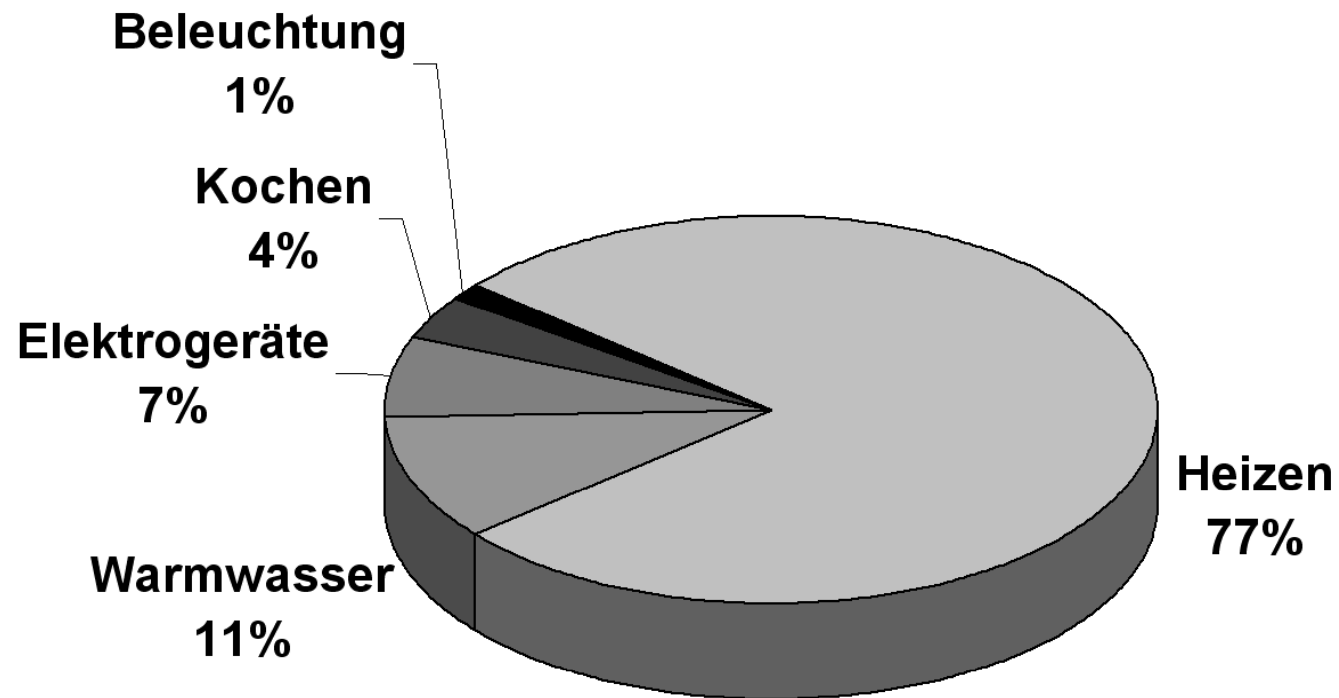


Endenergieverbrauch in Deutschland 2006 nach Nutzern



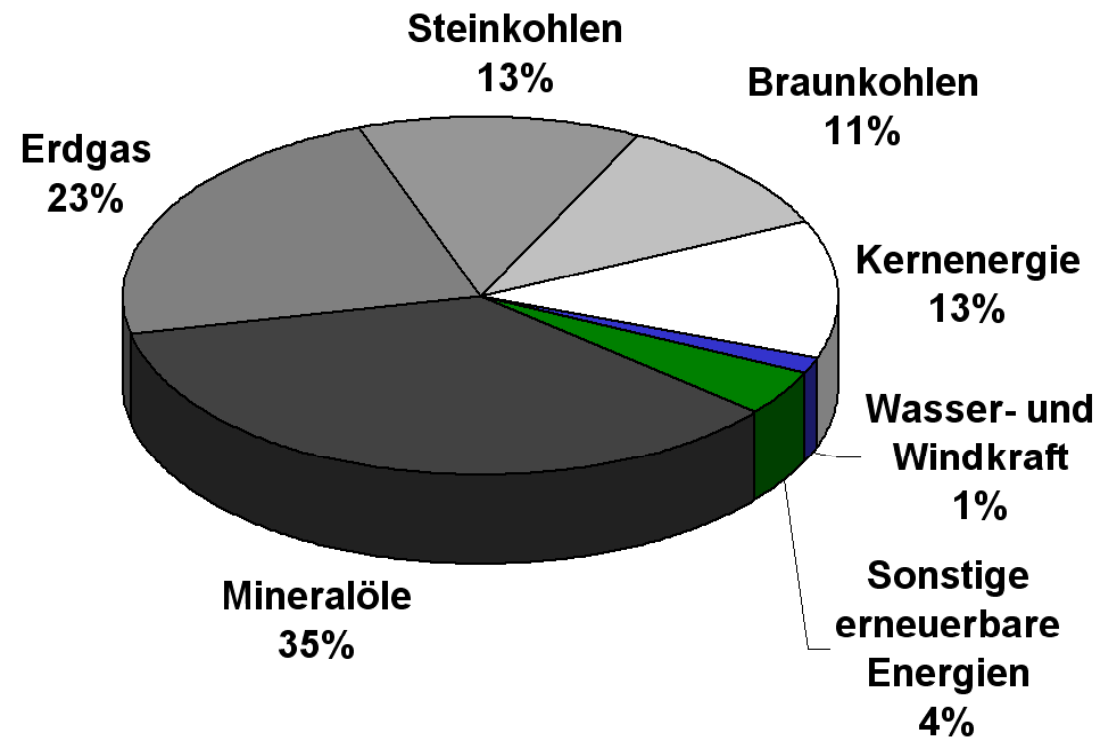


Verteilung des Endenergieverbrauchs in Haushalten



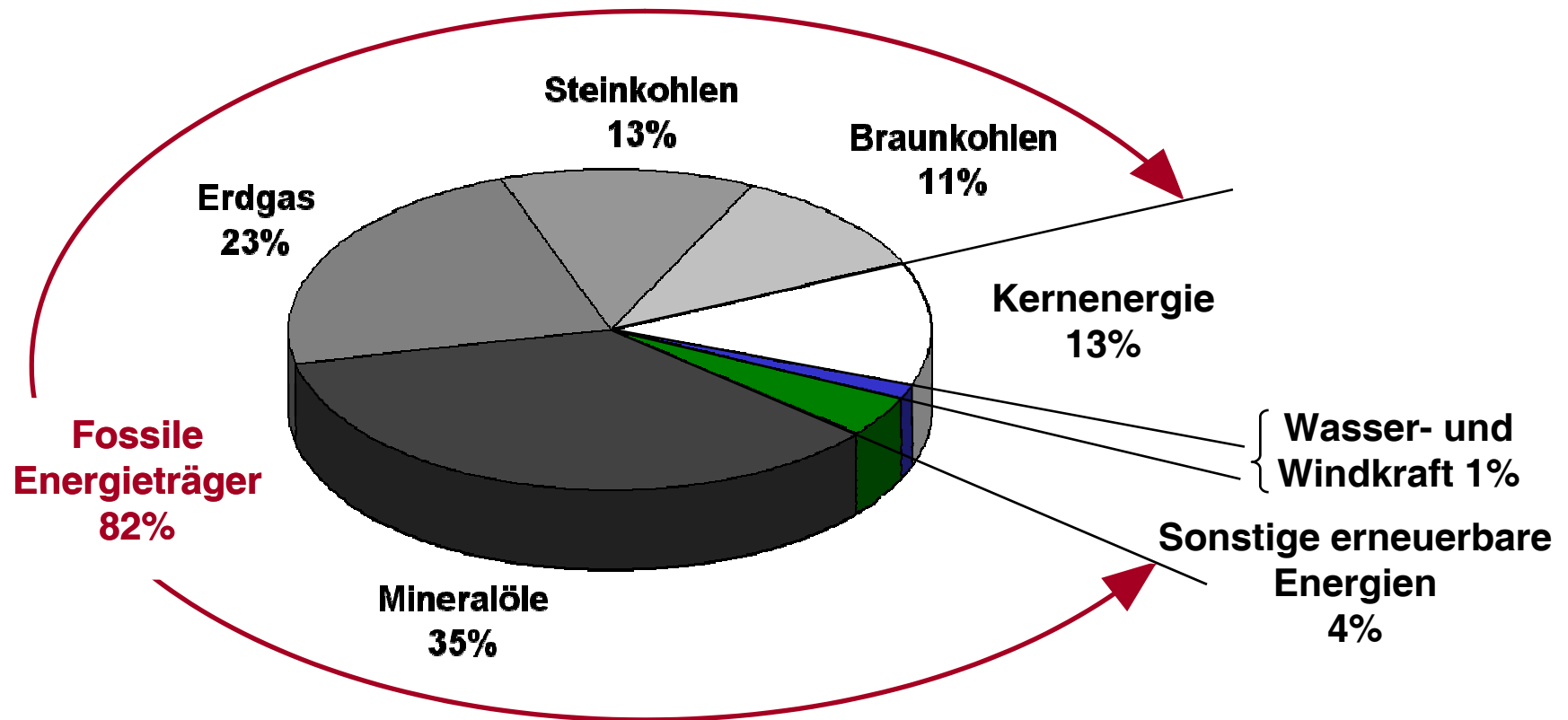


Primärenergieverbrauch in Deutschland 2006 nach Energieträgern





Primärenergieverbrauch in Deutschland 2006 nach Energieträgern



Erneuerbare Energien

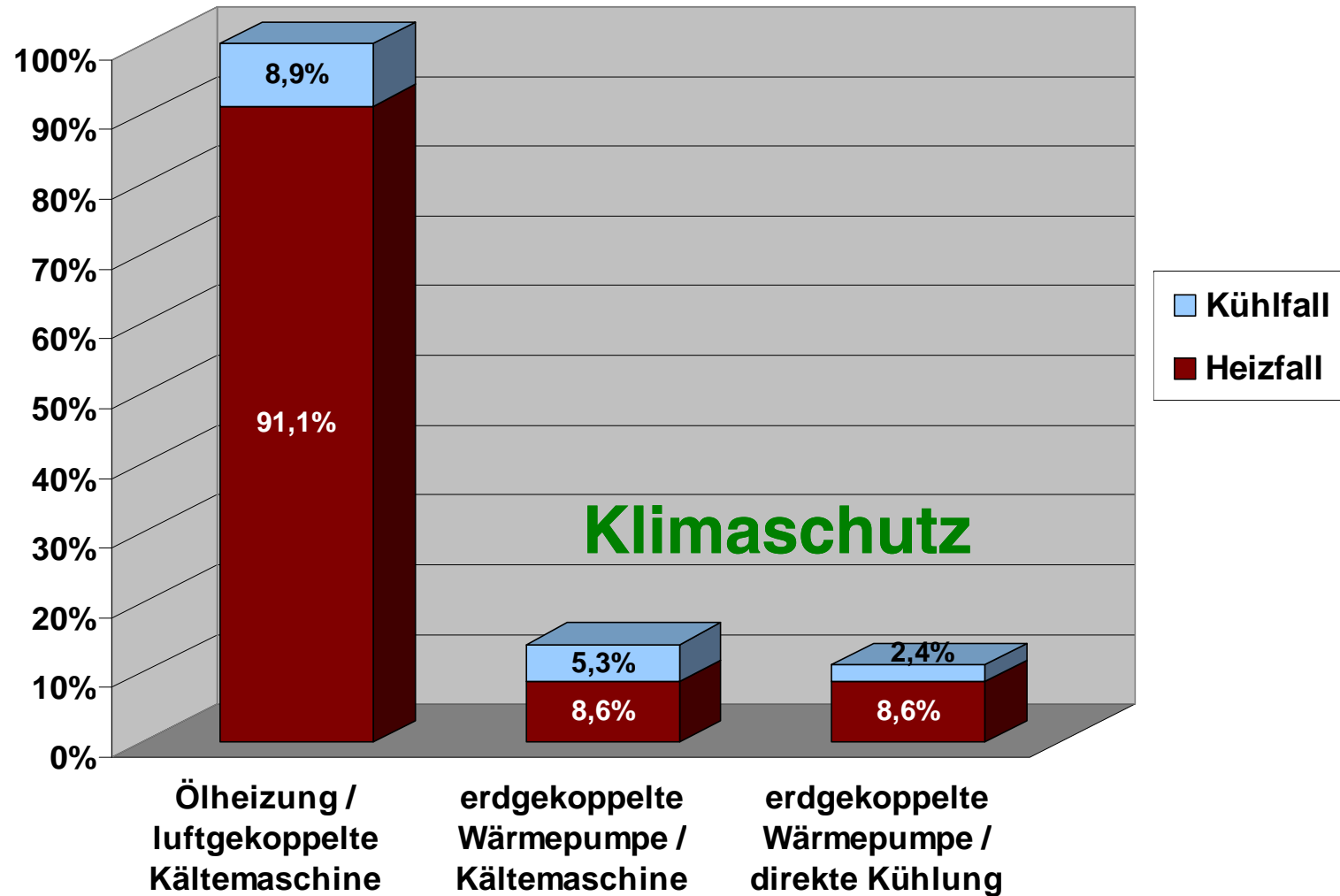
Quellen Erneuerbarer Energien, die heute technisch als Energieträger zur Verfügung stehen, sind:

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





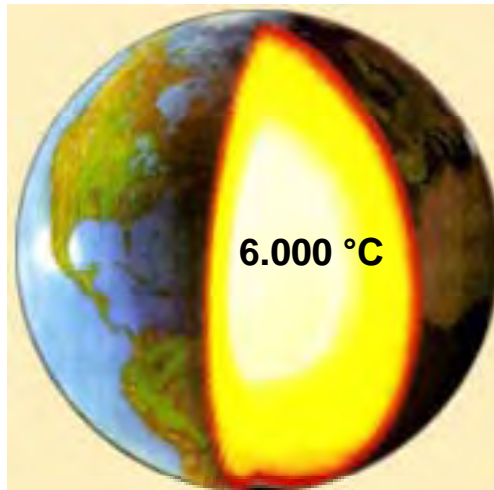
CO₂-Emissionen / Jahr



Was ist Geothermie ?

Das Wort Geothermie leitet sich von den griechischen Worten 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 läge 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:** $130 \text{ [EJ/a]} = 130 \cdot 10^{18} \text{ [J/a]} = 130 \text{ Trillionen [J/a]}$
 - Bei einem maximal gewinnbaren Energieaufkommen von $360 \text{ MJ/(m}^2\text{a)}$ auf der gesamten Oberfläche Deutschlands
- **Angebotspotential:** $940 \text{ [PJ/a]} = 940 \cdot 10^{15} \text{ [J/a]} = 940 \text{ Billiarden [J/a]}$
 - Bei einem maximal gewinnbaren Energieaufkommen von $360 \text{ MJ/(m}^2\text{a)}$ auf zur oberflächennahen Erdwärmenutzung geeigneten Flächen
- **Nachfragepotential:** $1316 \text{ [PJ/a]} = 1316 \cdot 10^{15} \text{ [J/a]} = 1316 \text{ Billiarden [J/a]}$
 - Wärmenachfrage im Niedertemperaturbereich von Haushalten, Kleingewerbe und Industrie bei einer durchschnittlichen Wärmepumpenarbeitszahl von 3,5

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



Wärmetransportmechanismen

Stoffgebundener Transport

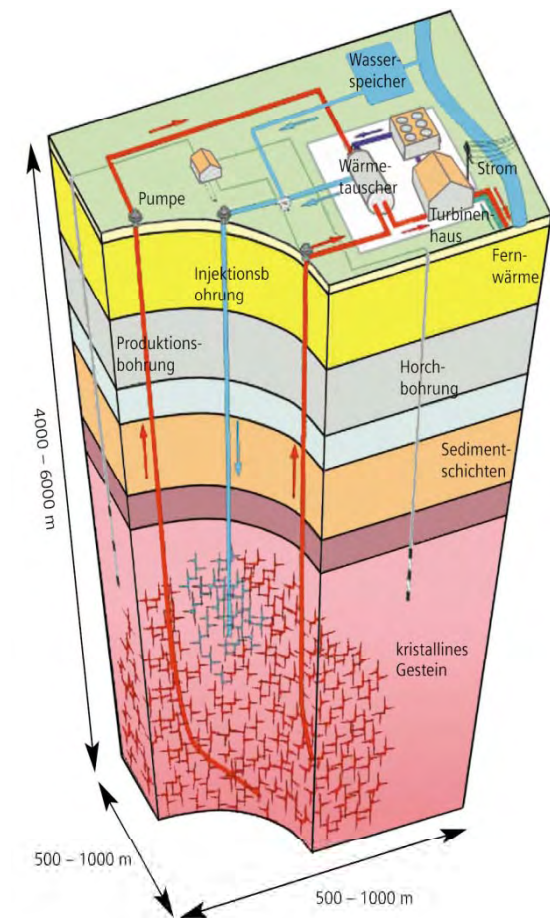
- **Konduktion**
(Wärmeleitung)
- **Konvektion**
- **Dispersion**
- Verdunstungs- /
Kondensationsprozesse
und Diffusion

Nichtstoffgebundener Transport

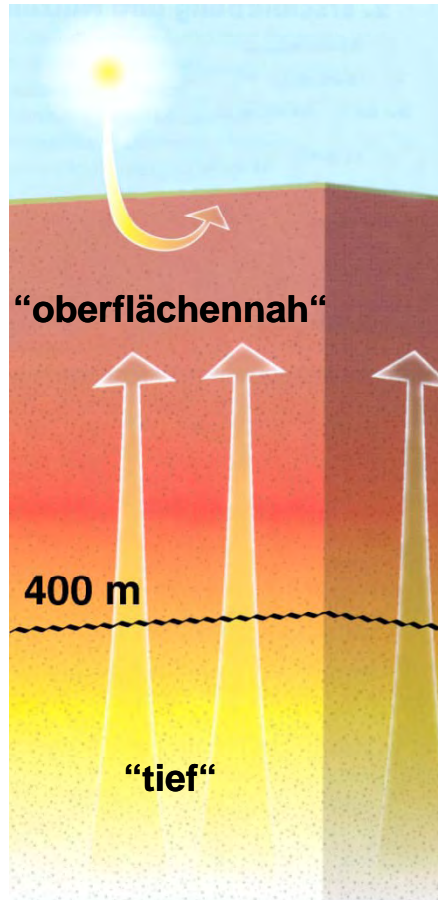
- **Wärmestrahlung**

Tiefe Geothermie – Hot Dry Rock (HDI)

- im Gegensatz zur Nutzung hydrothormaler 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)

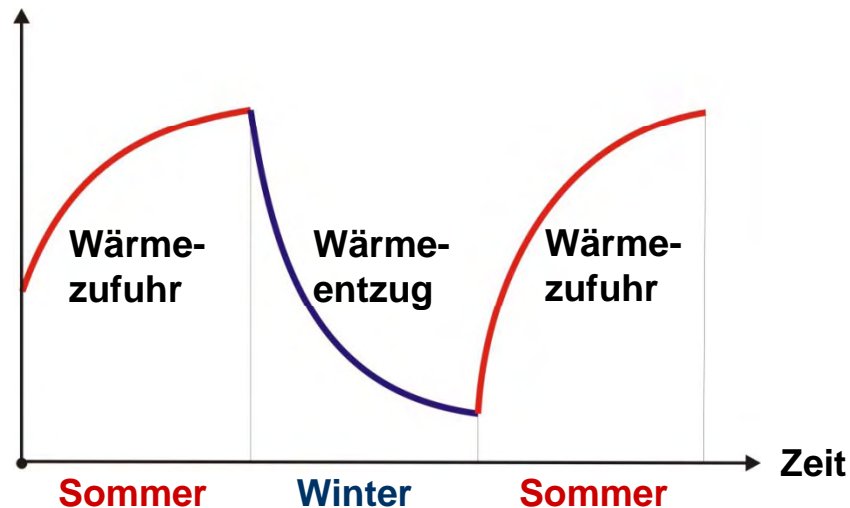
Voraussetzung: ausreichende thermische
Regeneration des Bodens

- ➡ **Saisonaler Thermospeicher**

Thermische Nutzung des Bodens

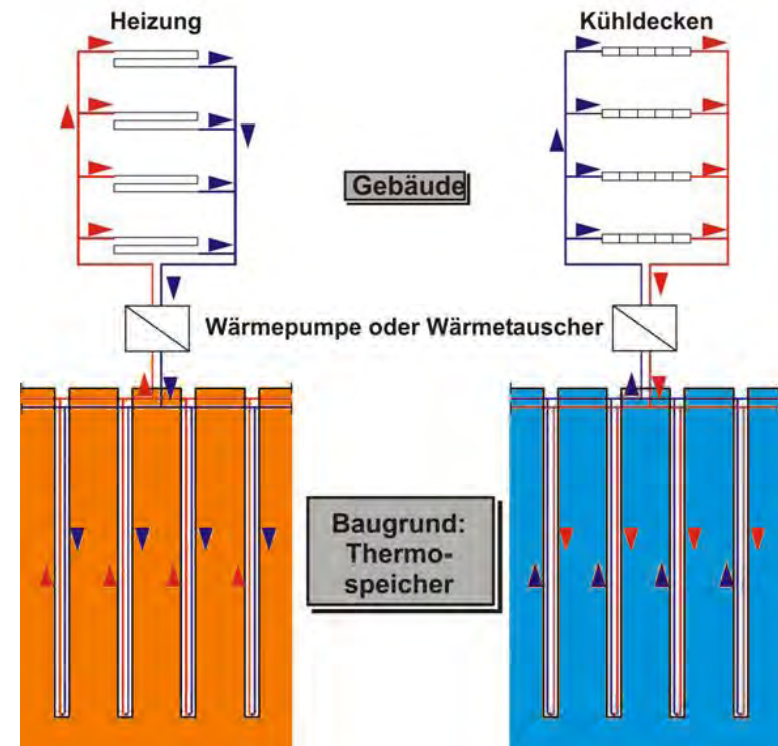
Def.: **Der Saisonale Thermospeicher** ist ein mit Wärmeaustauschern ausgerüsteter Bodenkörper, der thermische Energie für Heiz- bzw. Kühlzwecke speichert, wobei von der thermodynamischen Trägheit des Bodens Gebrauch gemacht wird.

Temperatur des
Thermospeichers

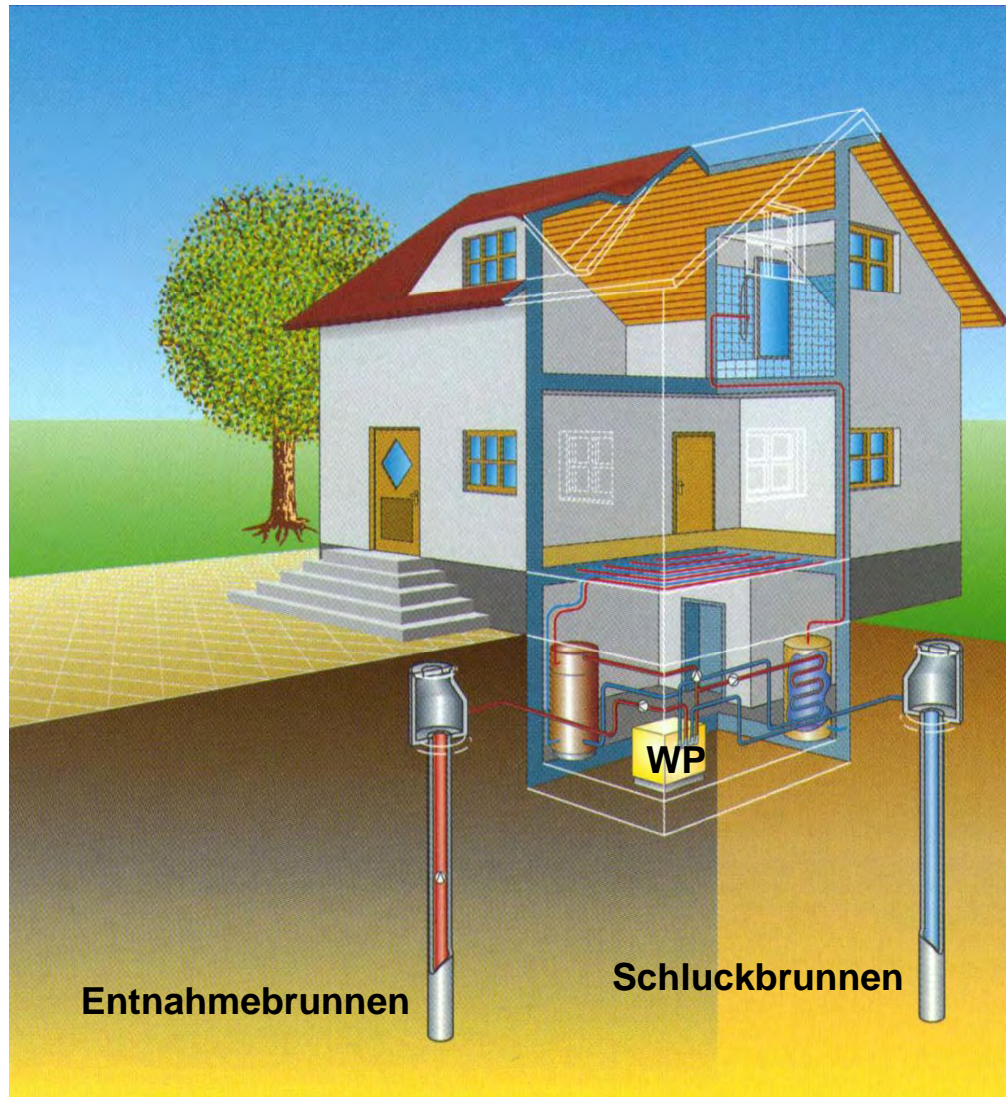


Winterbetrieb

Sommerbetrieb



Thermische Nutzung des Grundwassers



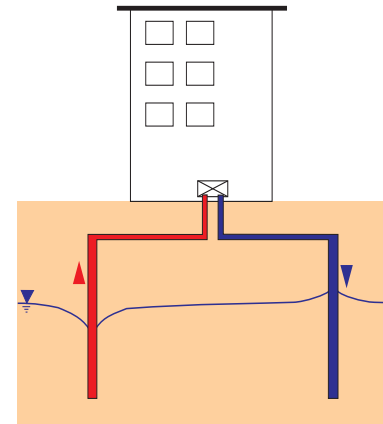
- Verdampferleistung
rd. 1 kW je 0,25 m³/h
Grundwasser
- Ergiebigkeit des Entnahme-
und des Schluckbrunnens
anhand von Pump- bzw.
Schluckversuchen
nachweisen
- hydrochemische Parameter
sind zu untersuchen und
ggf. sind Maßnahmen
gegen Ausfällungen und
Korrosion vorzusehen
- Temperaturänderung des
reinfiltrierten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

Thermische Nutzung des Grundwassers

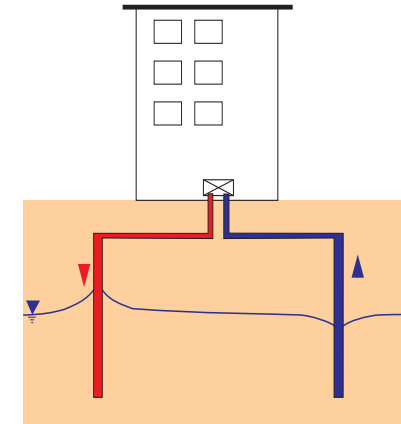
Nutzung von natürlichen
oder künstlichen Aquiferen
zur Energiespeicherung



Winterbetrieb



Sommerbetrieb



Voraussetzungen:

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



Erdwärmeaustauscher

**Horizontal installierte
Wärmeaustauscher
(Erdwärmekollektoren)**

- Flächenkollektoren
- Grabenkollektoren

**Vertikal installierte
Wärmeaustauscher**

- Erdwärmesonden
- Erdwärmekörbe

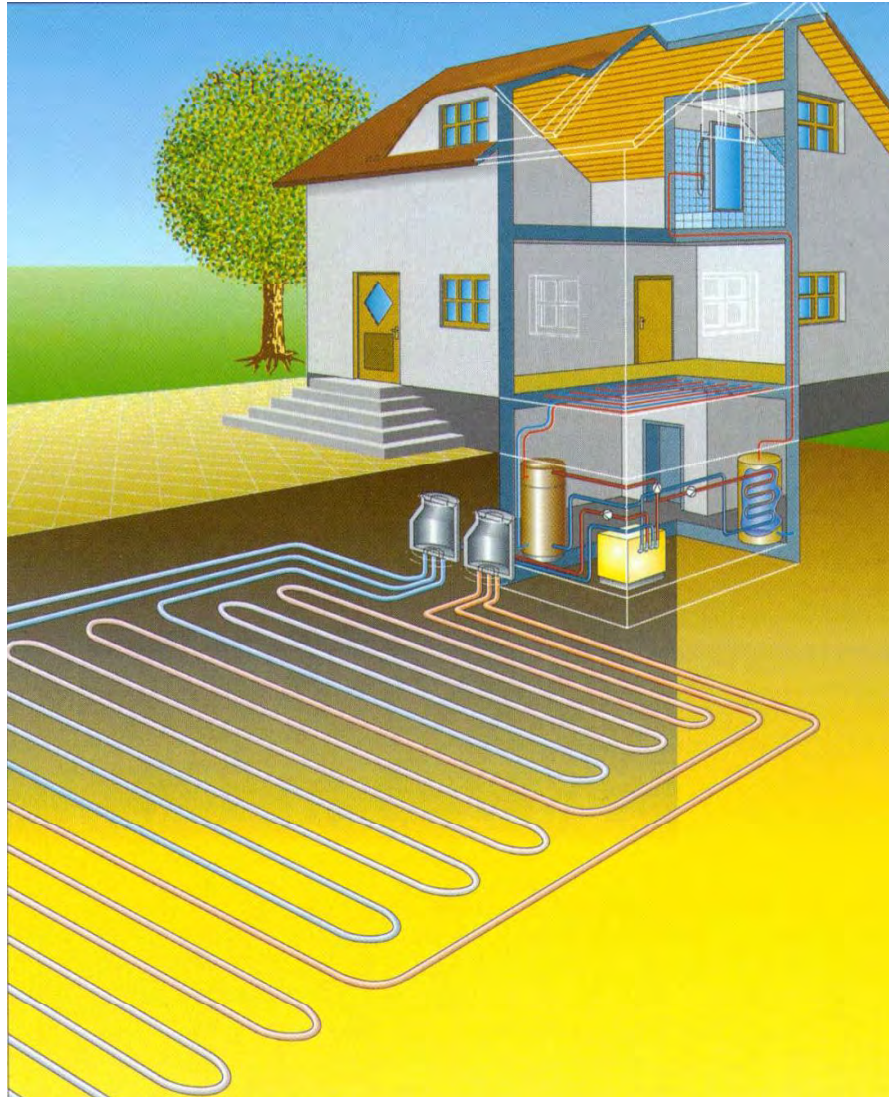
**Erdberührte
Betonbauteile
(Massivabsorber)**

- Energiepfähle
- Energieschlitzwände
- Energiefundamentplatten

Sonderformen

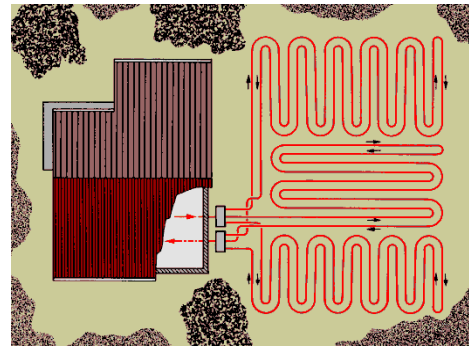
- CO₂-Sonden (Direktverdampfer)
- u.a.

Erdwärmekollektoren · Flächenkollektoren



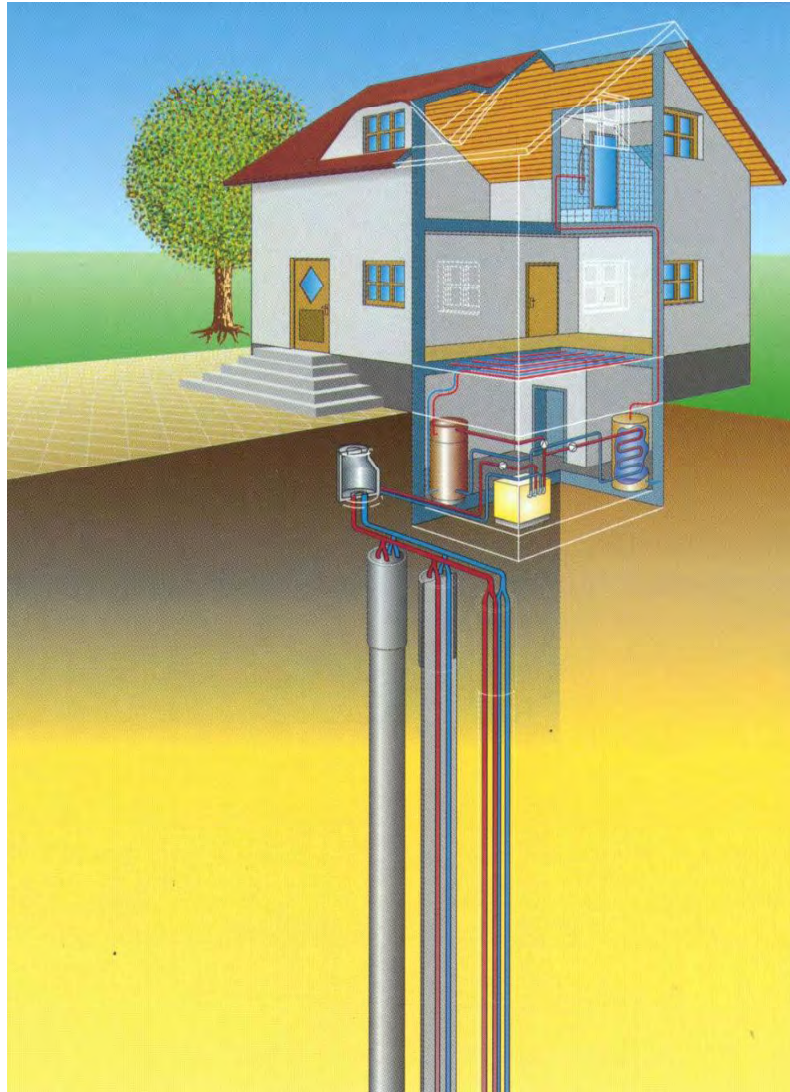
- Wärmeaustauscherrohre horizontal verlegt
- Verlegetiefe mindestens 1,2 m maximal 1,5 m
- Verlegeabstand i.d.R. zwischen 0,3 und 0,8 m
- Erdwärmekollektoren dürfen nicht überbaut werden, Oberflächen nicht versiegelt werden
- Temperatur des zum Erdwärmekollektor zurückfließenden Wärmeträgermediums sollte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

Erdwärmekollektoren - Flächenkollektoren



Untergrund	spezifische Entzugsleistung	
	bei 1800 h	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

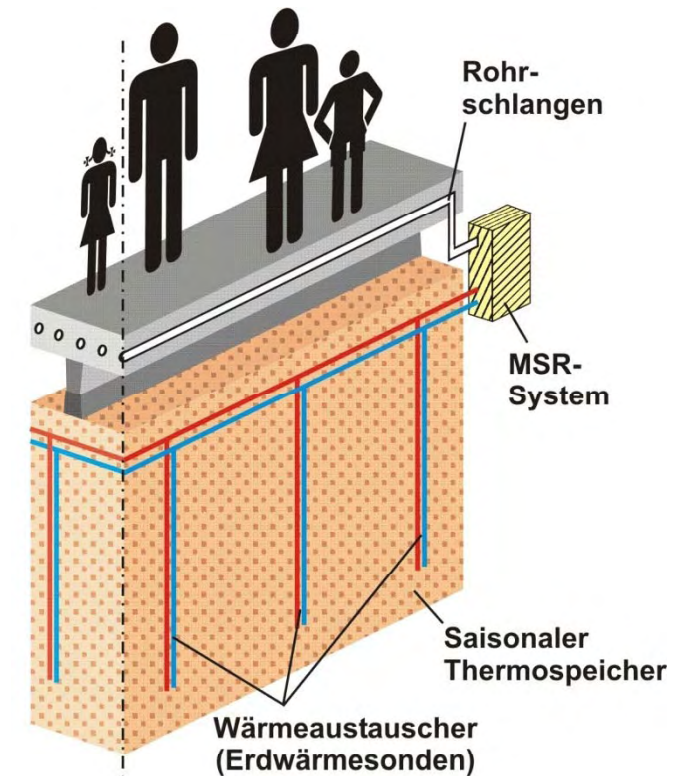
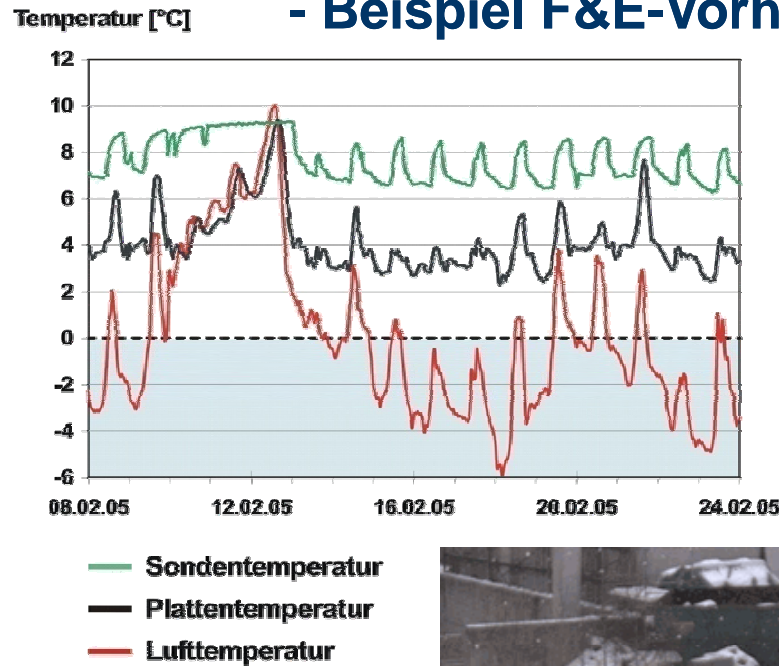
Erdwärmesonden



- vertikal oder geneigt in den Boden eingebracht
- Wärmeaustauscherrohre 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. $\pm 17 \text{ K}$

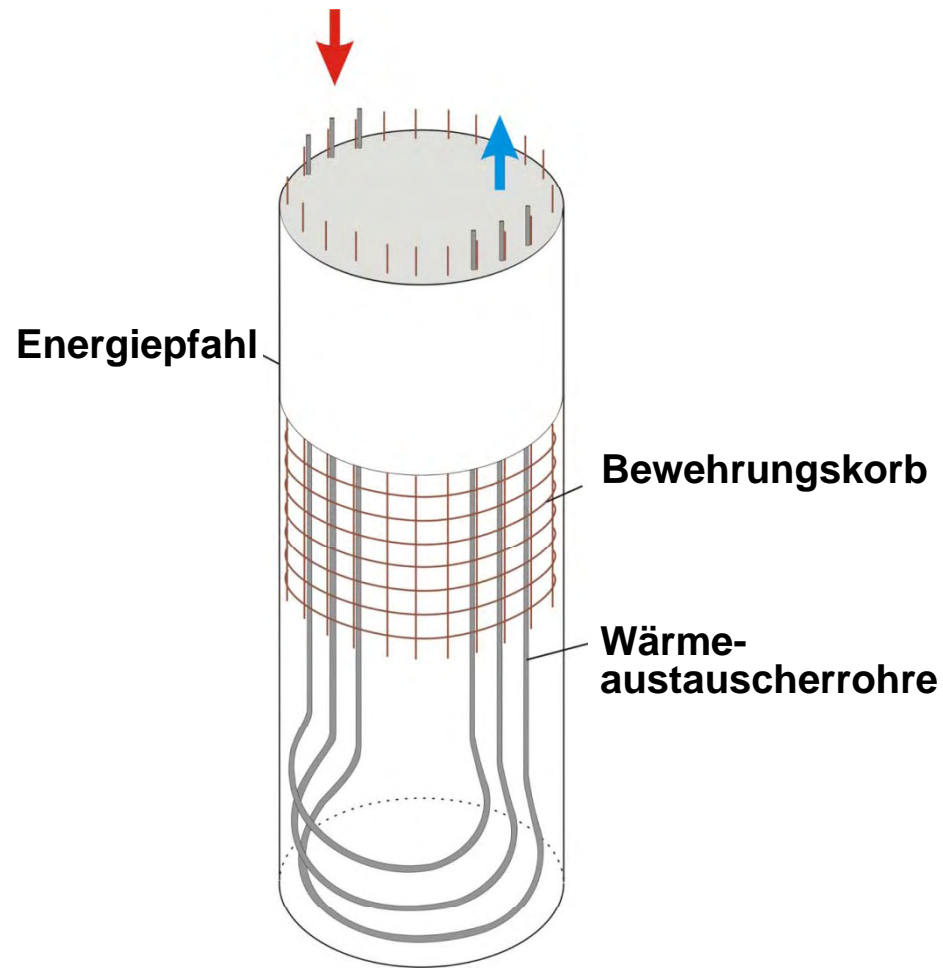
Erdwärmesonden

- Beispiel F&E-Vorhaben QuaWiDiS -



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

Erdberührte Betonbauteile

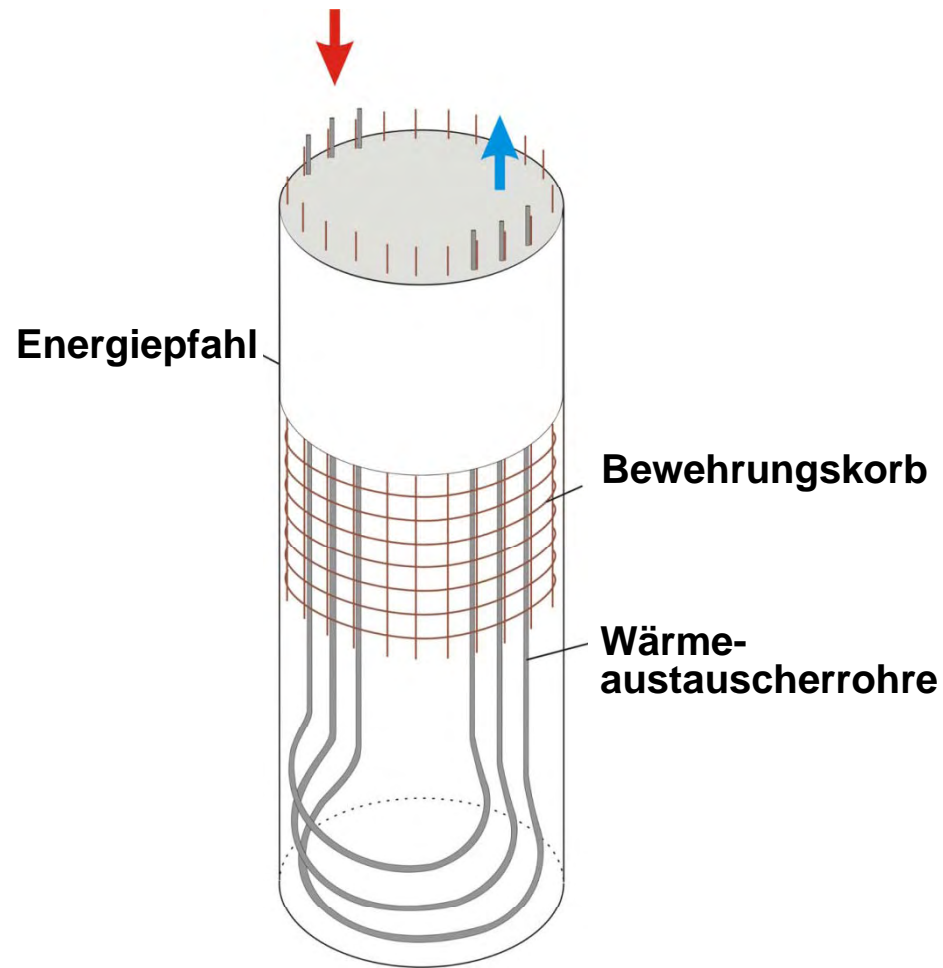


**Erdberührte Betonbauteile
(Massivabsorber)**

**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

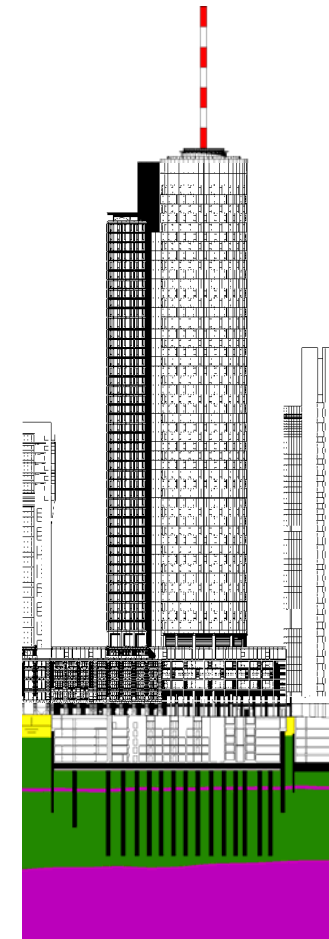
Bewehrte Verbauwandpfähle:

101 Stück, $D = 0,9$ m, $L = 34$ m

80.000 lfm Wärmeaustauscherrohre

150.000 m³ Speichervolumen

Leistung 500 kW





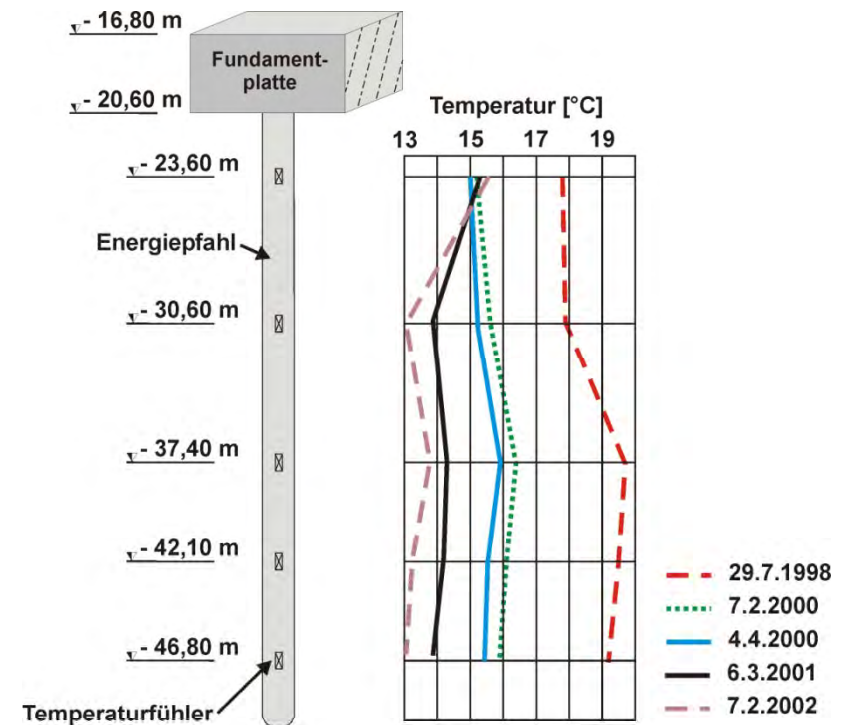
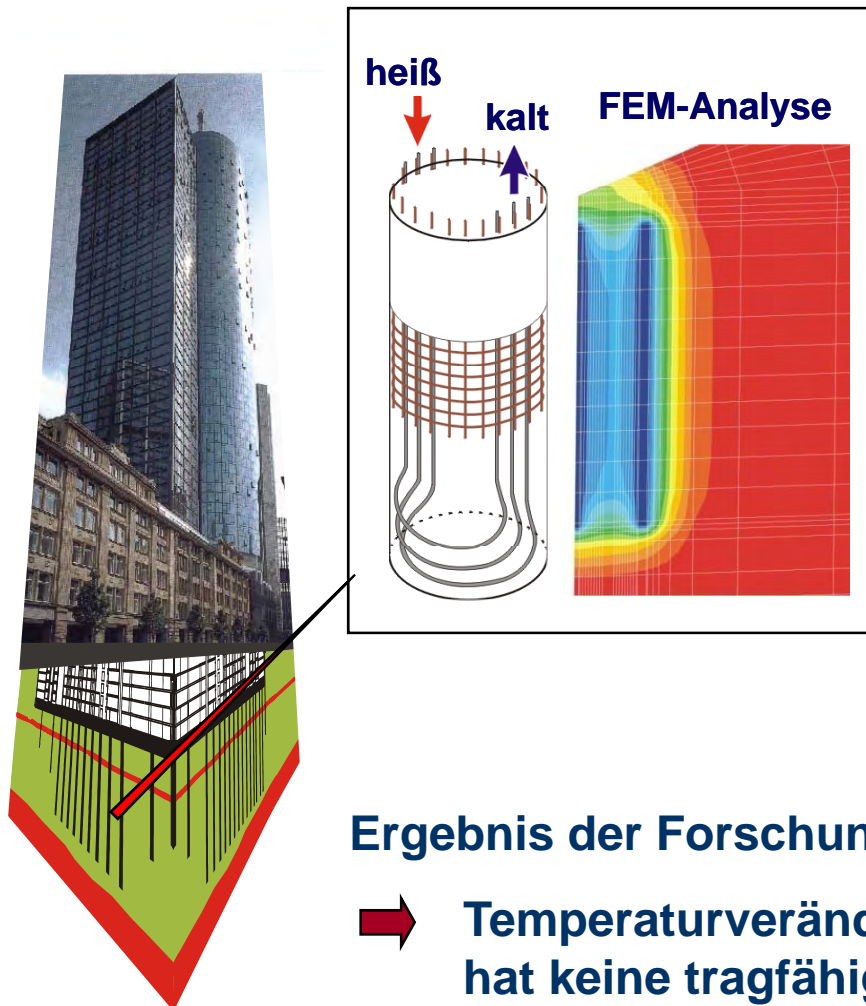
Erdberührte Betonbauteile - Beispiel MainTower, Frankfurt am Main -



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

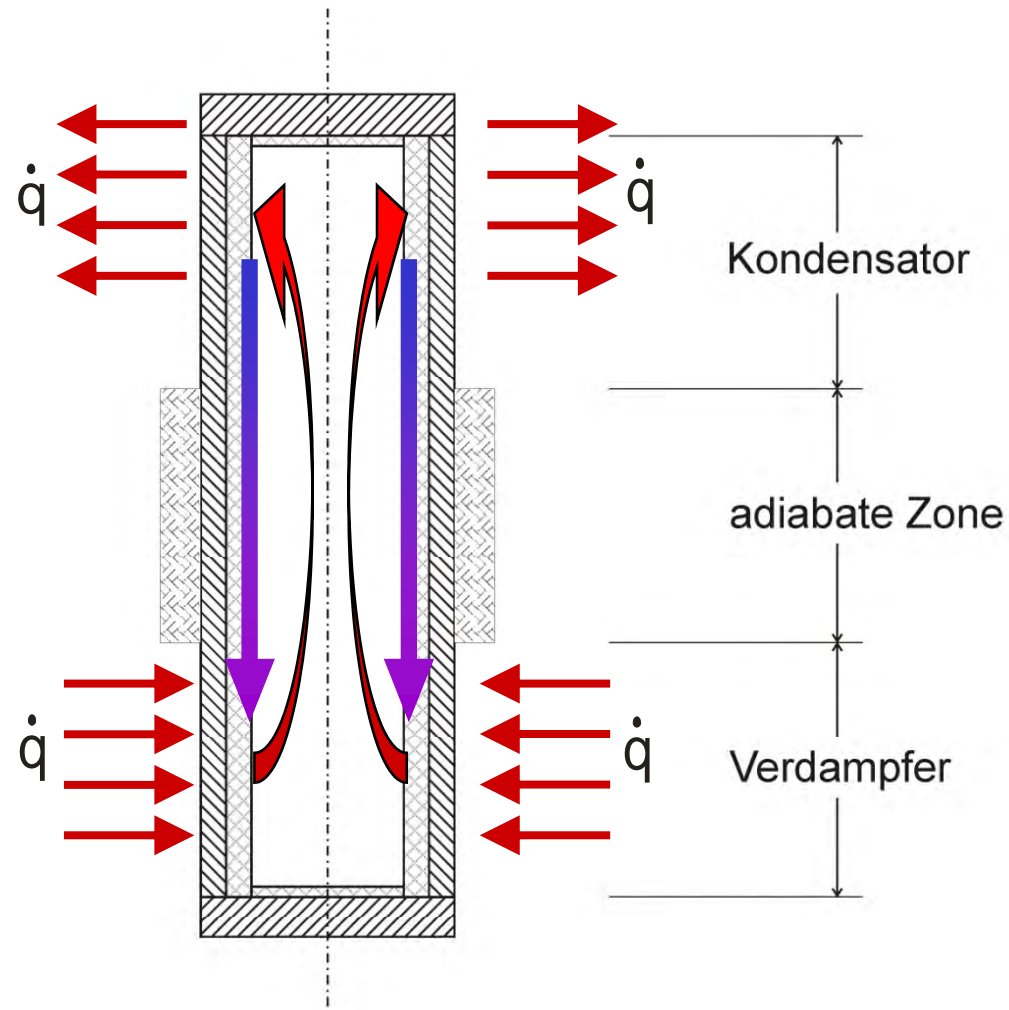
Sonderformen - CO₂-Sonde -



- 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 Bönningheim 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

BÖNNINGHEIM (isd). 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 Erdwärme-sonden-Anlage beheizt werden.



Geothermie ist als Energiequelle bis jetzt noch längst nicht ausgeschöpft
Die Wärme, die aus der Tiefe kommt

Wie sehr tägliche Erfahrung das Bewusstsein prägt, zeigt sich auch bei der Suche nach alternativen Energiequellen. Sonne und Wind, die täglich erlebt oder zumindest vermist werden, sind hier zu sehen.

men, diese auf höhere Temperaturen zu bringen und dann an den Verbrauchern abzugeben. Die zum Heizen benötigte elektrische Energie wird aus der Sonne oder aus Windkraft gewonnen.

Heizen mit Erdwärme

Unlinger Rathaus nutzt innovative Technologie

Unlingen Wärme ist lebenswichtig und unverzichtbar. Aber sind Öl- und Gasheizungen heute noch die beste Wahl?

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

Südleasing begrenzt mit Neubau den Pariser Platz

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

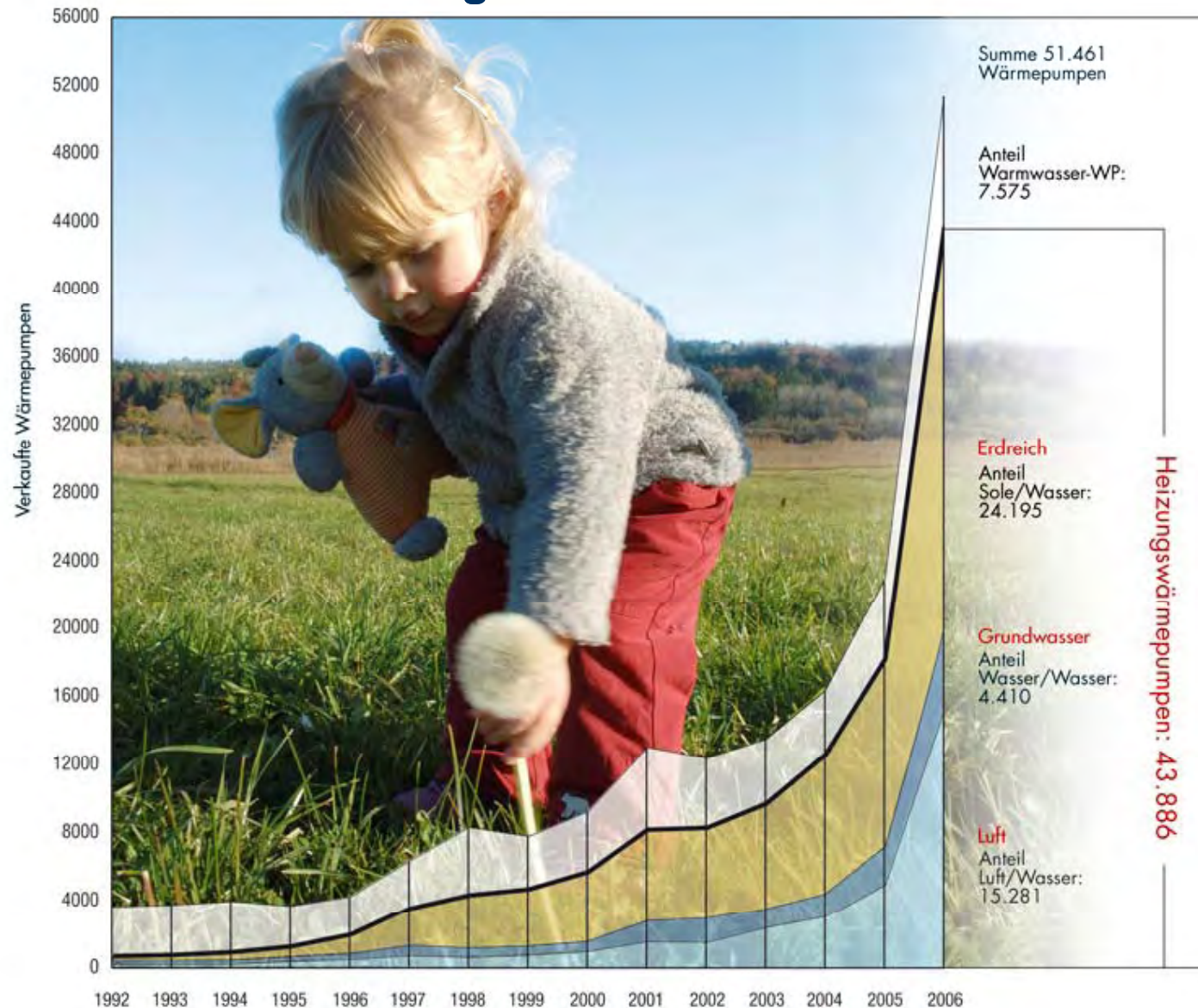
Die Südleasing, drittgrößte von Herstellern unabhängige Leasinggesellschaft in Deutschland, hat am Mittwoch den Grundstein für ihr neues Bürohaus am Pariser Platz in Berlin gelegt. Der Neubau wird mit einer innovativen Erdwärmepumpe temperiert.

zugänglichen Innenhof entwarfen die Architekten Wöhr 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“, erklärte OB Wolfgang Schuster in die Zugen. Der Pariser Platz, der von den Bankhäusern umgeben ist, wird die Dimensionen des alten Platzes wiederhergestellt.





Entwicklung der Geothermie



Quelle:
Bundesverband
WärmePumpe e.V.



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

