

Techniken der Oberflächennahen Geothermie

Dipl. Phys. Manfred Reuß

**Bayerisches Zentrum für Angewandte
Energieforschung**

Abteilung: Solarthermie und Biomasse

Walther-Meißner-Str. 6, D-85748 Garching

www.zae-bayern.de

reuss@muc.zae-bayern.de

Übersicht

- Grundlagen und Begriffe
 - Wärmequellen für erdgekoppelte Wärmepumpen
 - Grundwasser
 - Erdwärmekollektoren
 - Erdwärmesonden
 - Wärmespeicherung im Untergrund
 - Aquiferspeicher
 - Erdwärmesonden-Speicher
- und viele praktische Beispiele

Was ist Geothermie?

Definition:

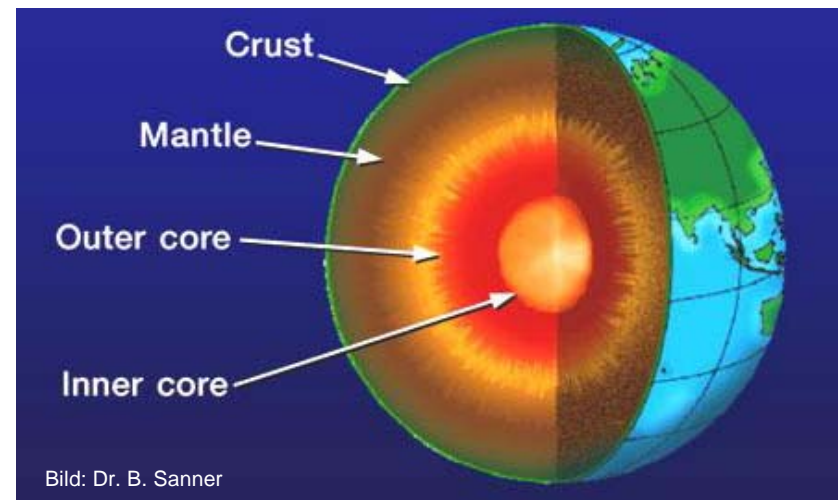
Geothermische Energie ist die in Form von Wärme gespeicherte Energie unterhalb der Oberfläche der festen Erde (Syn.: Erdwärme).

VDI 4640

Der begriffliche Übergang von der **Oberflächennahen Geothermie** auf die **Tiefe Geothermie** wurde auf eine Tiefe von etwa **400 m** festgelegt.

Woher kommt Geothermie?

- Erdwärme stammt zu $\sim 1/3$ aus der Bildungszeit der Erde
- $\sim 2/3$ entstehen durch natürlichen radioaktiven Zerfall in der Unterkruste



Die Erde gibt ständig eine thermische Leistung von ~ 35 TW ab.

Der Untergrund

Untergrund bedeutet das gesamte Material unterhalb der Oberfläche:

- Bodenmineralien und Gestein sowie
- Inhalt der Poren (Gase und Flüssigkeiten)
- organische Materie

Der **Untergrund** besteht aus

- **lockerem Material** wie Erdreich, Sand, Kies, etc.
- **Festgestein**

Poren können unterschiedliche **Wassermengen** enthalten

- **ungesättigt** - nicht vollständig gefüllte Poren
- **gesättigt** - Poren sind vollst. mit Wasser gefüllt

Thermisches Regime des Untergrunds

Die mittlere Temperatur der Erdoberfläche ist ungefähr 13°C und ergibt sich aus dem Gleichgewicht von:

- einfallender Solarstrahlung ($\sim 1000 \text{ W/m}^2$)
- emittierter Wärmestrahlung
- geothermischer Wärmefluss ($0.05 - 0.12 \text{ W/m}^2$)

Thermisches Regime des Untergrunds

Unter der neutralen Zone (<10 – 20 m) ist die **Temperatur**

- zeitlich konstant,
- sie nimmt mit der Tiefe zu (0,03 K/m = 3 K/100m)

Der Energietransport im Untergrund geschieht durch

- **Wärmeleitung** ($\lambda \sim 1 - 5 \text{ W/mK}$)
- **Konvektion** (d.h. Fluidtransport - Grundwasser)

Systeme zur Nutzung des Untergrunds

Erdgekoppelte Wärmepumpen

- **Wärmeentzug** mit Wärmepumpen zum Heizen
- **Entzug und Einleitung** von Wärme mit Wärmepumpen, kombiniert zum Heizen und Kühlen
- **Wärmeeinleitung** mit Wärmepumpen zur Kühlung

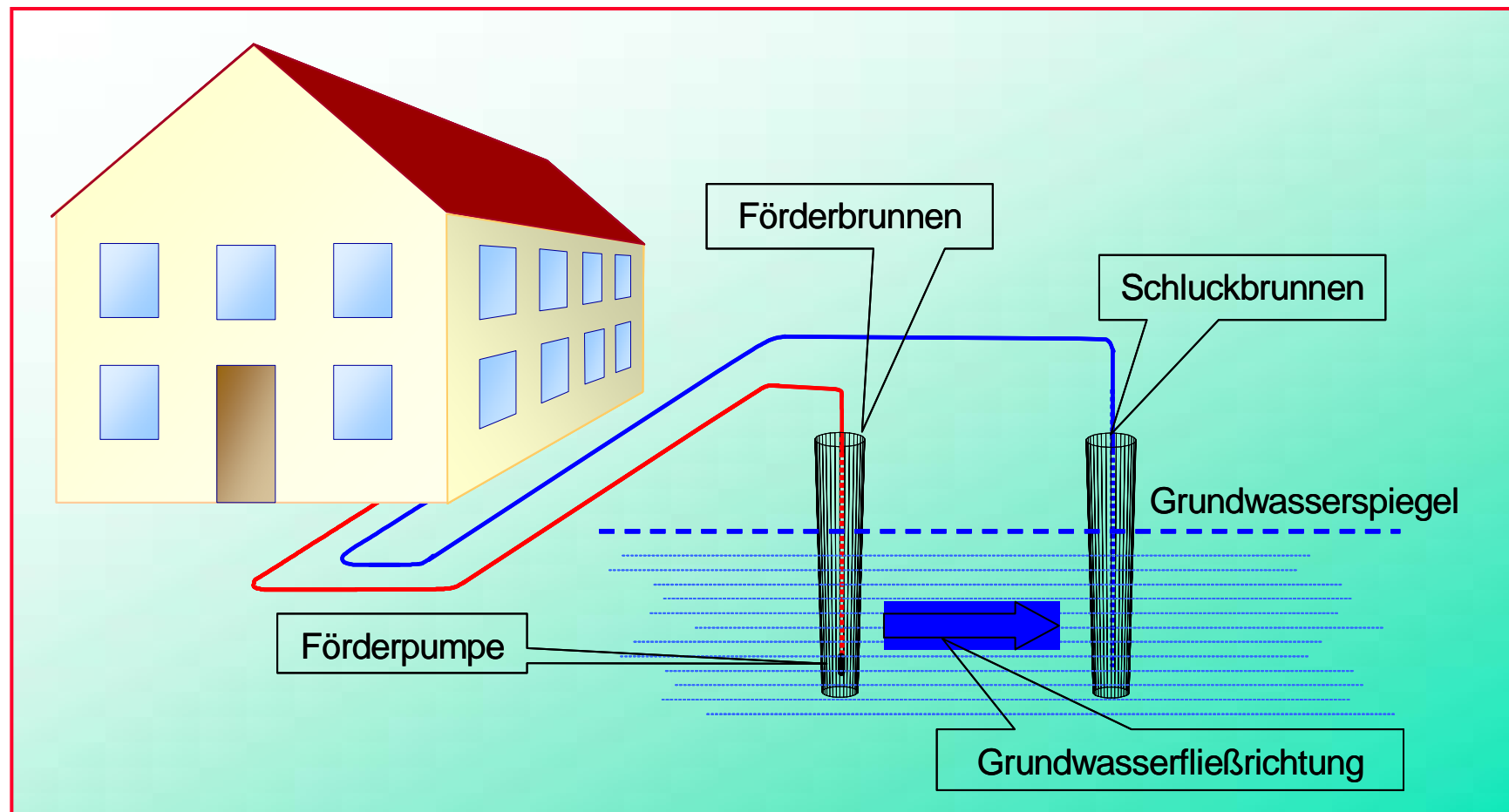
Wärmespeicherung

- **Aquiferspeicher**
- **Erdwärmesonden-Speicher**

Direkte Nutzung

- **Heizen und Kühlen** mit Grundwasser
- **Luft/Erdreich-Wärmetauscher**

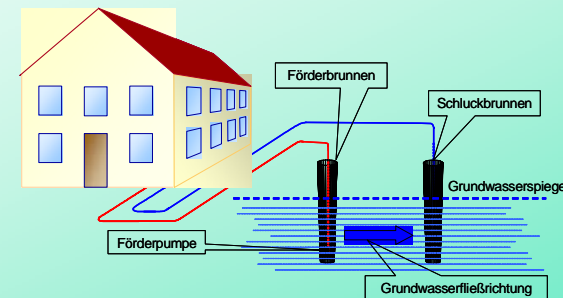
Wärmequelle - Grundwasser



Wärmequelle - Grundwasser

Grundwasser wird

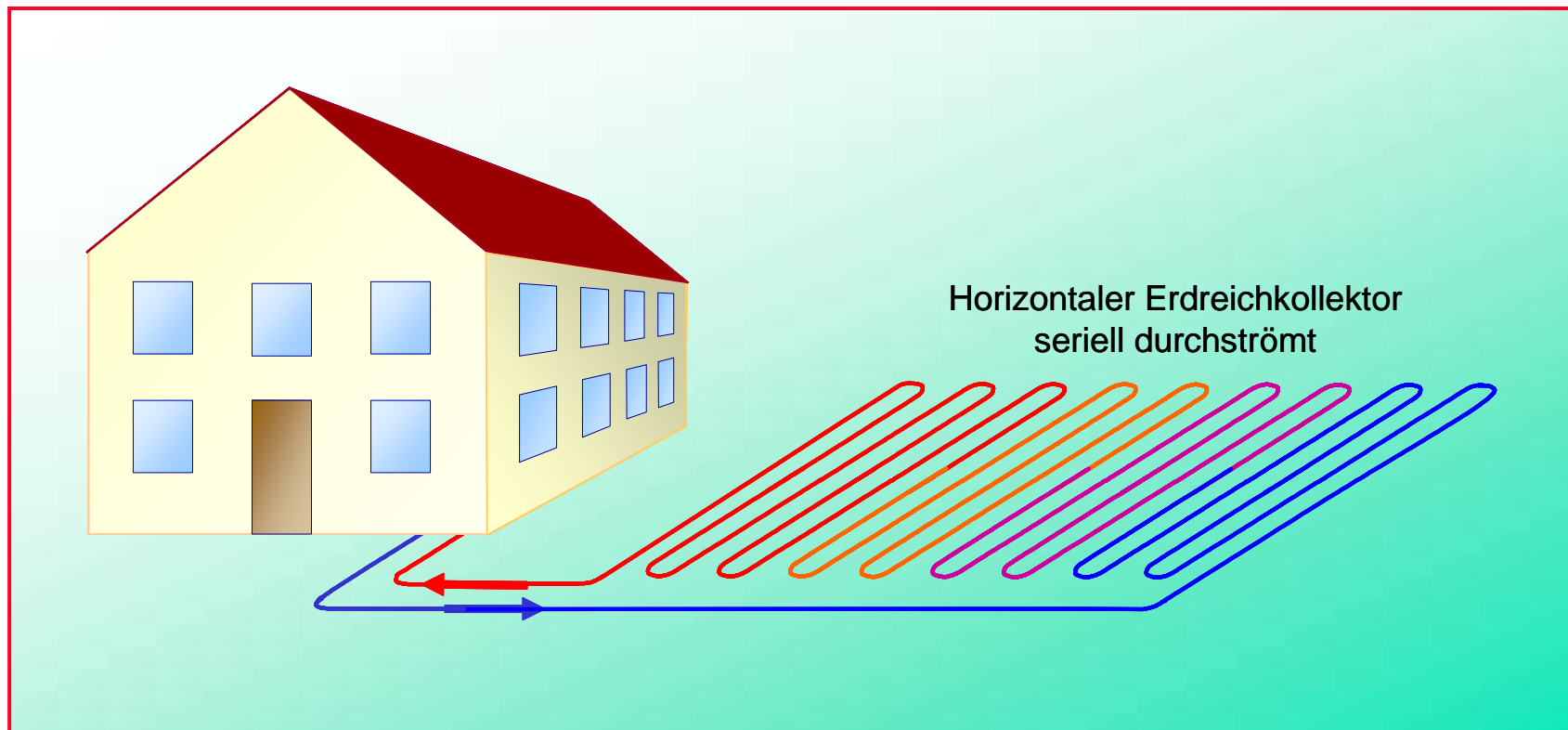
- über Brunnen gefördert,
- Wärme entzogen oder
- Wärme zugeführt und über
- Schluckbrunnen wieder im Untergrund verpresst



die Leistung des Förderbrunnens muss Dauerentnahme bei Nenndurchfluss gewährleisten:

ca. 0.25 - 0.30 m³/h je 1 kW Verdampferleistung ($\Delta T \sim 3K$)

Wärmequelle - Erdreichkollektoren



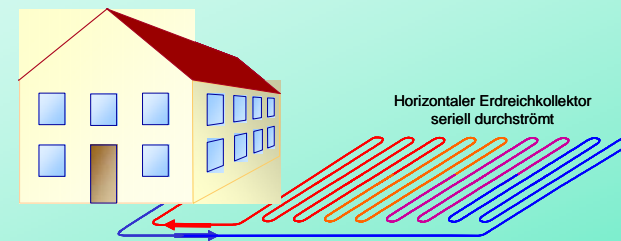
Wärmequelle - Erdreichkollektoren

Erdreich- und Grabenkollektoren

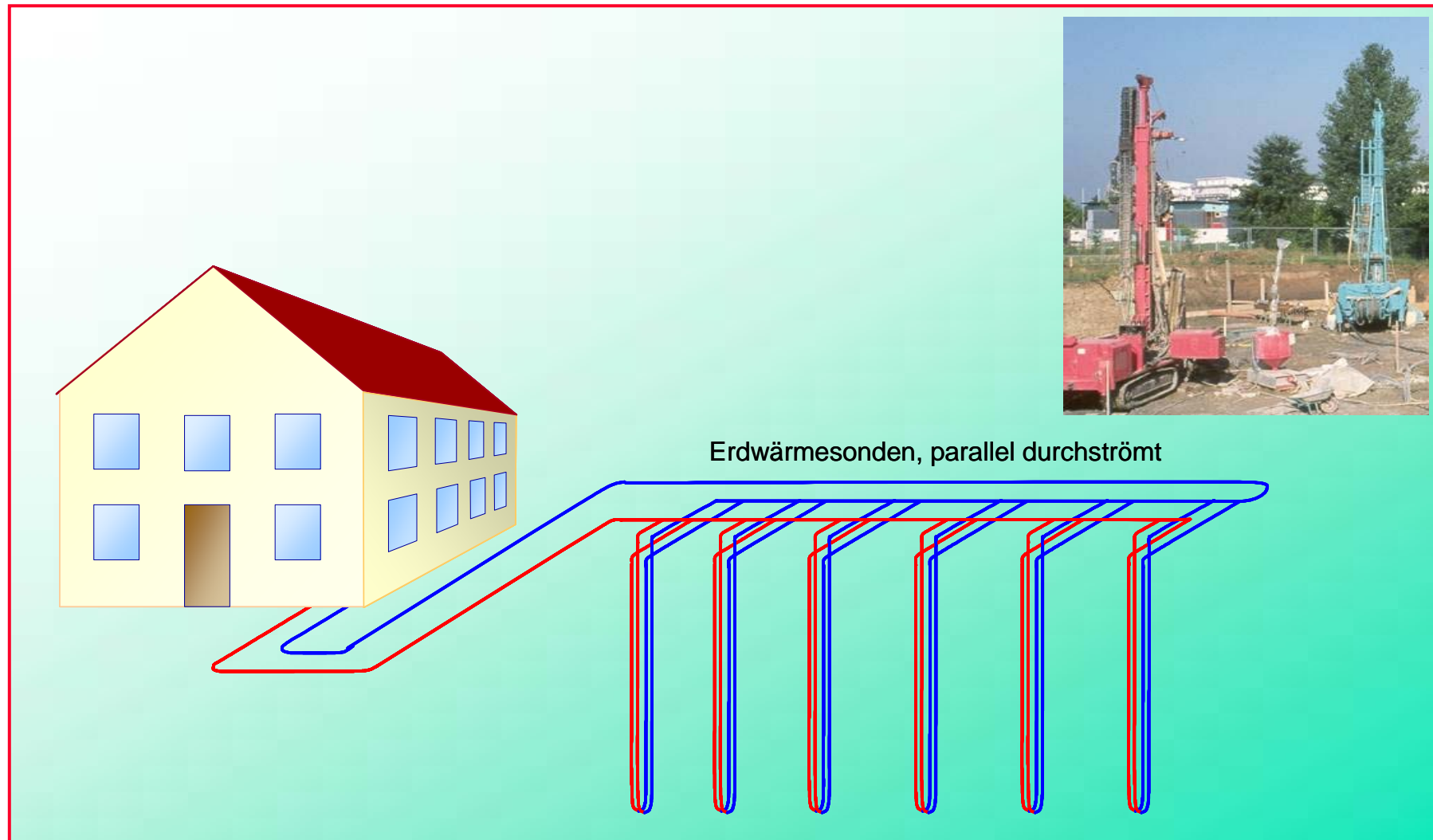
(Rohrregister in ca. 1.2 - 1.5 m Tiefe)

Es ist folgendes zu berücksichtigen:

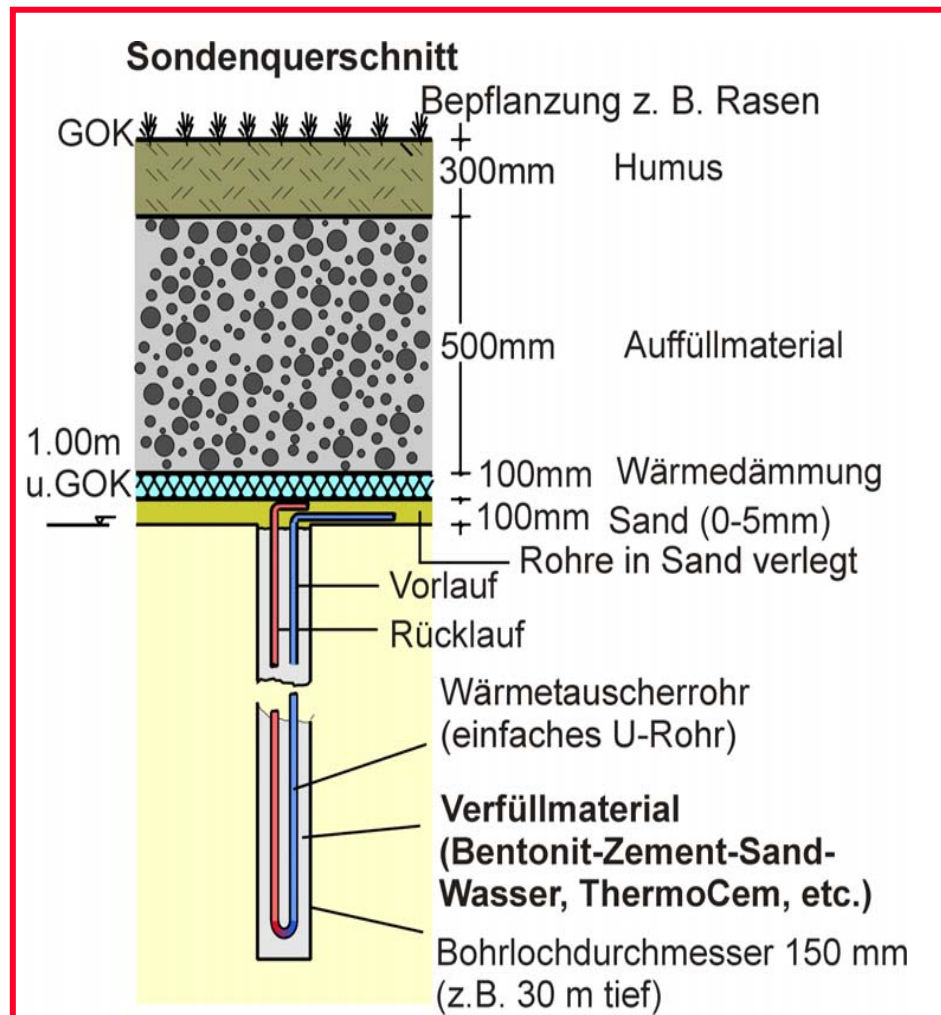
- geothermischer Wärmefluss ($0,1 \text{ W/m}^2$) kann vernachlässigt werden
- es wird direkte und indirekte Sonnenenergie von der darüberliegenden Bodenschicht aufgenommen und über den Erdreichkollektor genutzt
- um die Kollektorrohre kann bei hohem Wärmeentzug im Winter ein Frostmantel auftreten
- bei großem Wärmeentzug kann das Pflanzenwachstum verzögert werden



Wärmequelle - Erdwärmesonden



Querschnitt einer Erdwärmesonde



Beispiele für Erdwärmesonden Polyethylen (PE-HD) und PEX



Sondenkopf mit Gewicht und Abstandshalter; Quelle: Haka Gerodur

PE – HD „Niedertemperatur“



Sondenkopf für Einfach- und Doppel-U-Sonde; Quelle: Rehau

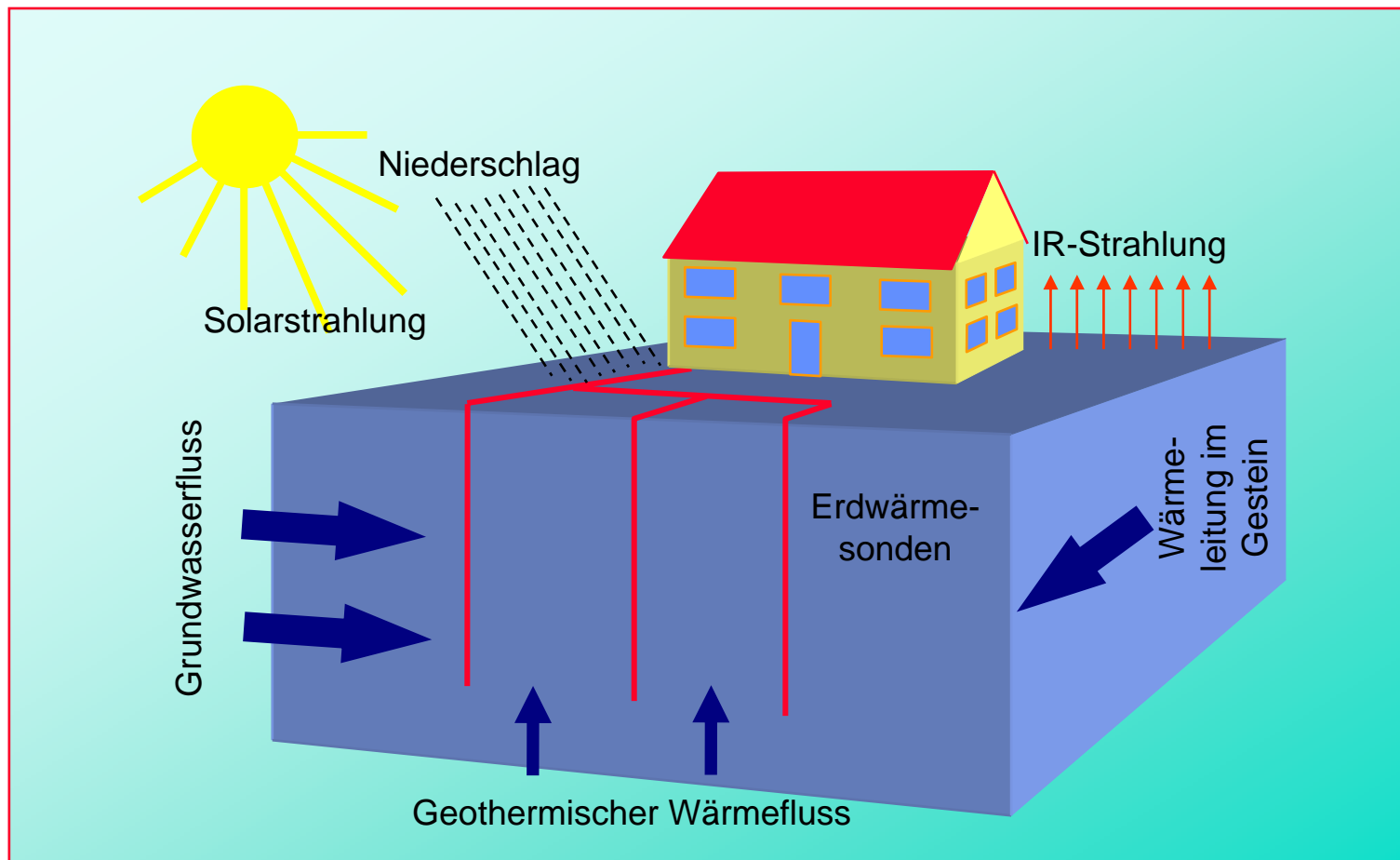
PEX „Hochtemperatur“



Sondenkopf für Doppel-U-Sonde der Fa. Frank

PE – HD „Niedertemperatur“

Thermisches Regime des Untergrunds



Wärmequelle - Erdwärmesonden



Bild: E. Rohner

Erdwärmesonden zum Heizen von Wohngebäuden



Bild: E. Rohner



Erdwärmesonden zum Heizen und Kühlen von öffentlichen Gebäuden, Hotels und Gewerbebauten



Bild: E. Rohner

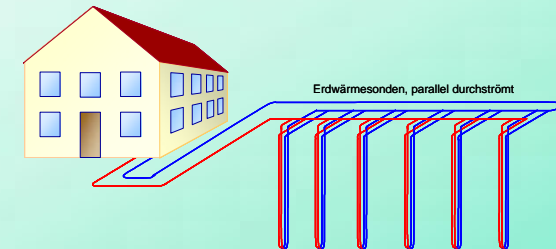


Bild: E. Rohner

Wärmequelle – Energiepfähle, erdberührte Betonbauteile

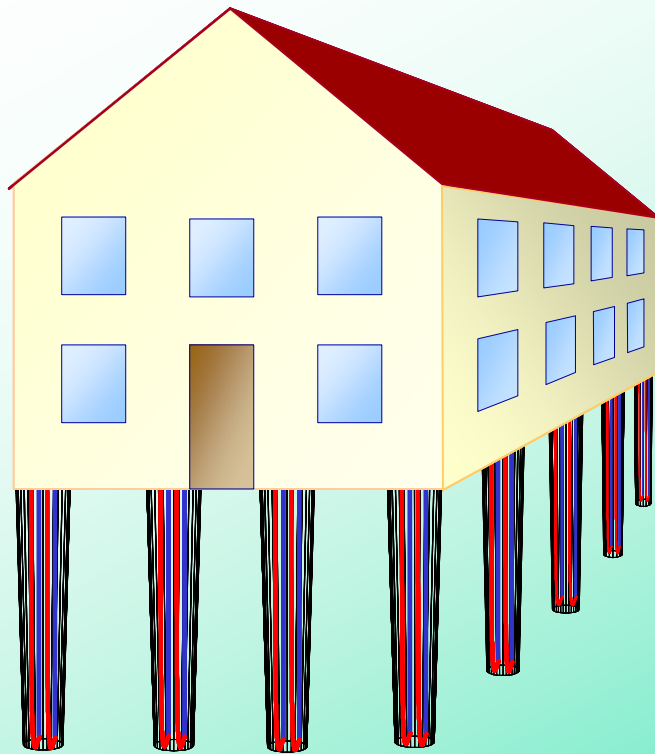
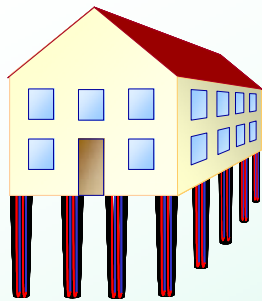


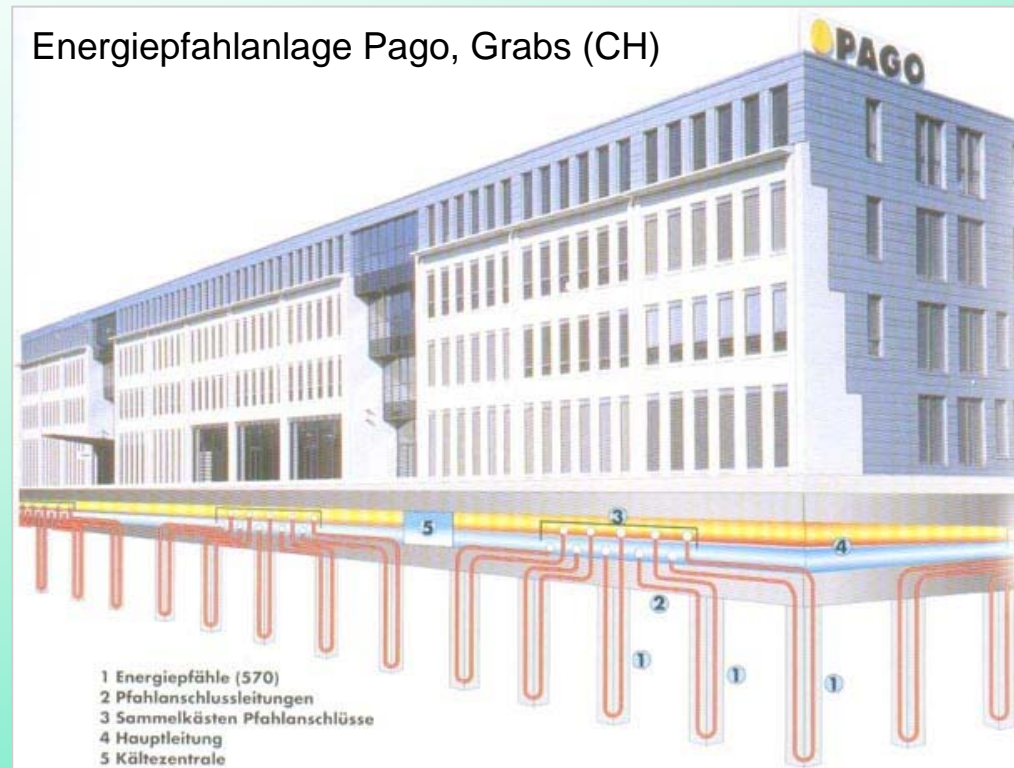
Bild: Dr. B. Sanner

Wärmequelle – Energiepfähle



Energiepfähle zum
Heizen und Kühlen
von Gewerbebauten

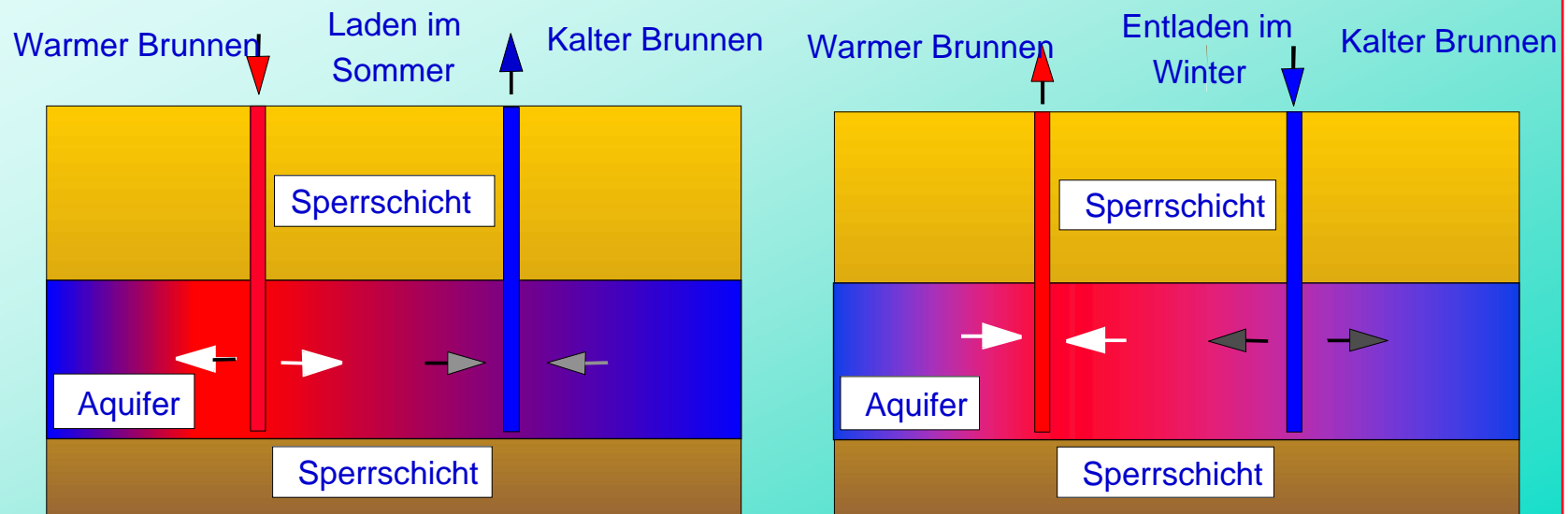
Energiepfahlanlage Pago, Grabs (CH)



Graphik Lippuner + Partner AG

Aquifer-Wärmespeicher

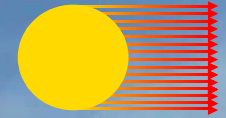
Speichermedium ist Wasser und Gestein in einem Grundwasserleiter, der von zwei Sperrschichten begrenzt wird. Geeignet für Wärme- und / oder "Kältespeicherung"



Typische Größe: $\cdot 10^4 - 10^6 \text{ m}^3$

Reichstag in Berlin

Aquifer Wärme- und Kältespeicher als integraler
Bestandteil des Energieversorgungskonzeptes des
Parlamentsgebäudes



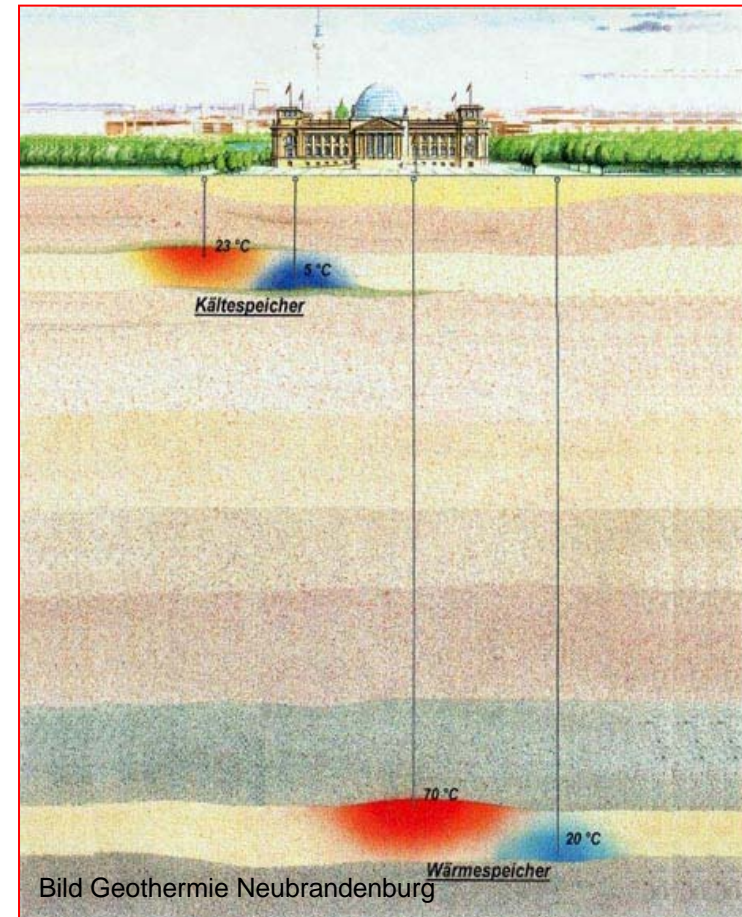
ZAE BAYERN



Aquiferspeicher im Reichstag

Wärme- und Kältespeicher

- Kraft-/Wärme-/Kältekopplung
- BHKW-Abwärme im Sommer als Antrieb für Absorptionskältemaschinen zur Kühlung der Gebäude.
- Überschüsse werden im **300 m tiefen Aquifer** bis zum Winter gespeichert.
- Entladung im Winter zur Beheizung der Bundestagsbauten.
- **Aquifer in 60 m Tiefe** zur Kältespeicherung. Kühle des Winters wird für den Sommer gespeichert.



The Reichstag Building in Berlin

Aquifer heat and cold storage
as integral part of energy
supply of the Parliament



Groene Hart Hospital, Niederlande

Aquifer-Kältespeicher

- Kühlung des Krankenhauses seit 1993
- Im Winter wird der Speicher mit Umgebungsluft ausgekühlt
- Speichervolumen 40.000 m³
- 2 Brunnen, 90 m tief, 0,80 m Durchmesser, 140 m Abstand
- Kälteleistung 650 kW, Energie 480 MWh/a
- Amortisation der Zusatzkosten (konvent. Kälteanlage) 4,5 Jahre

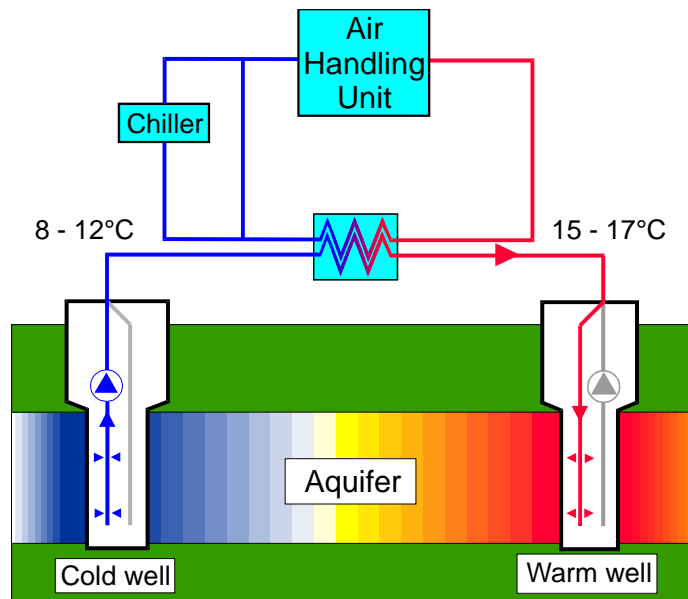


Bild: IF Technology

Groene Hart Hospital, The Netherlands

Aquifer Cold Storage –
Cooling of a Hospital



ZAE BAYERN

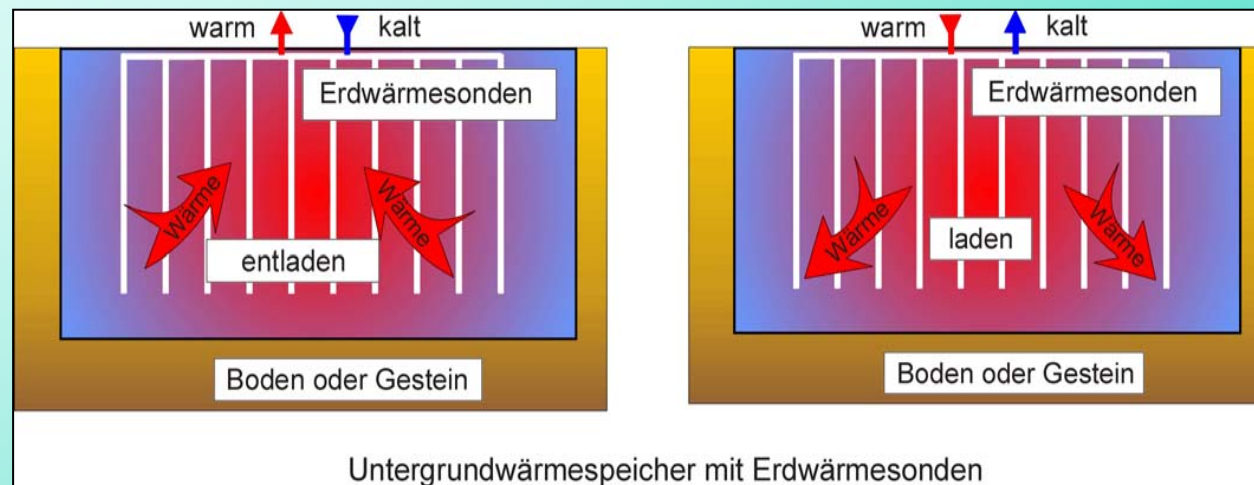


Erdwärmesonden-Speicher

Das Speichermedium ist Erdreich und/oder Gestein (gesättigt oder ungesättigt)

- kein bzw. kein fließendes Grundwasser
- Wärmetauschersonden in senkrechten Bohrlöchern
- geeignet für Wärme- und/oder "Kältespeicherung,,

Typische Größe: $\cdot 10^3 - 10^6 \text{ m}^3$



Richard Stockton College

NJ, USA

Projekt:

Erdwärmesonden-Speicher zum Heizen und Kühlen

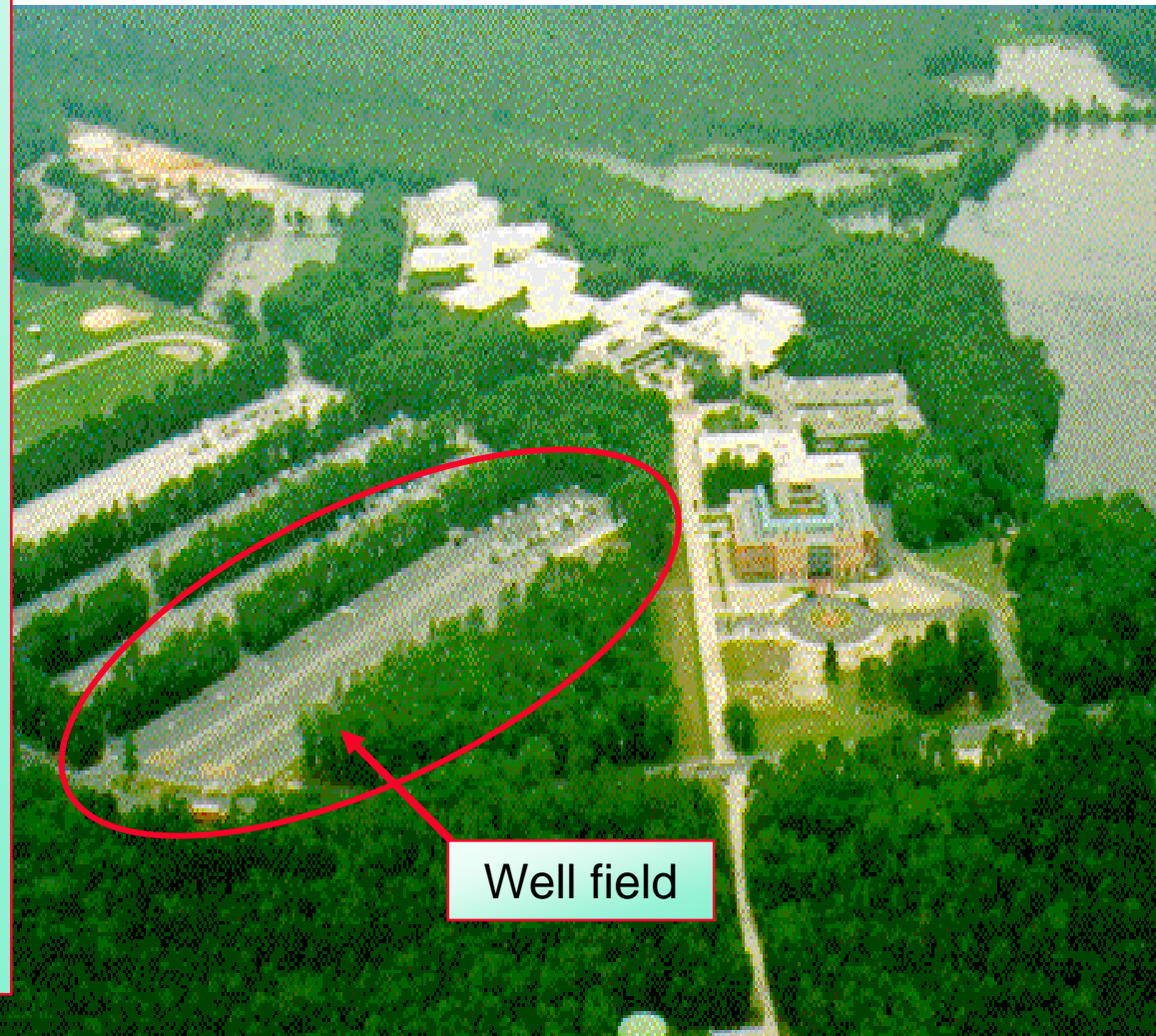
- Vierjähriges College in Pomona, NJ für ca. 5600 Studenten
- "largest single well field anywhere"
- Heizung: 7,4 MW
12,2 GWh/a
- Kühlung: 5,6 MW
9,2 GWh/a

Erdwärmesonden-Speicher:

- Speichervolumen: 1.100.000 m³
- 400 vertikale EWS, 5m Abstand
- 135 m tief
- Temperaturbereich 8 -30 °C

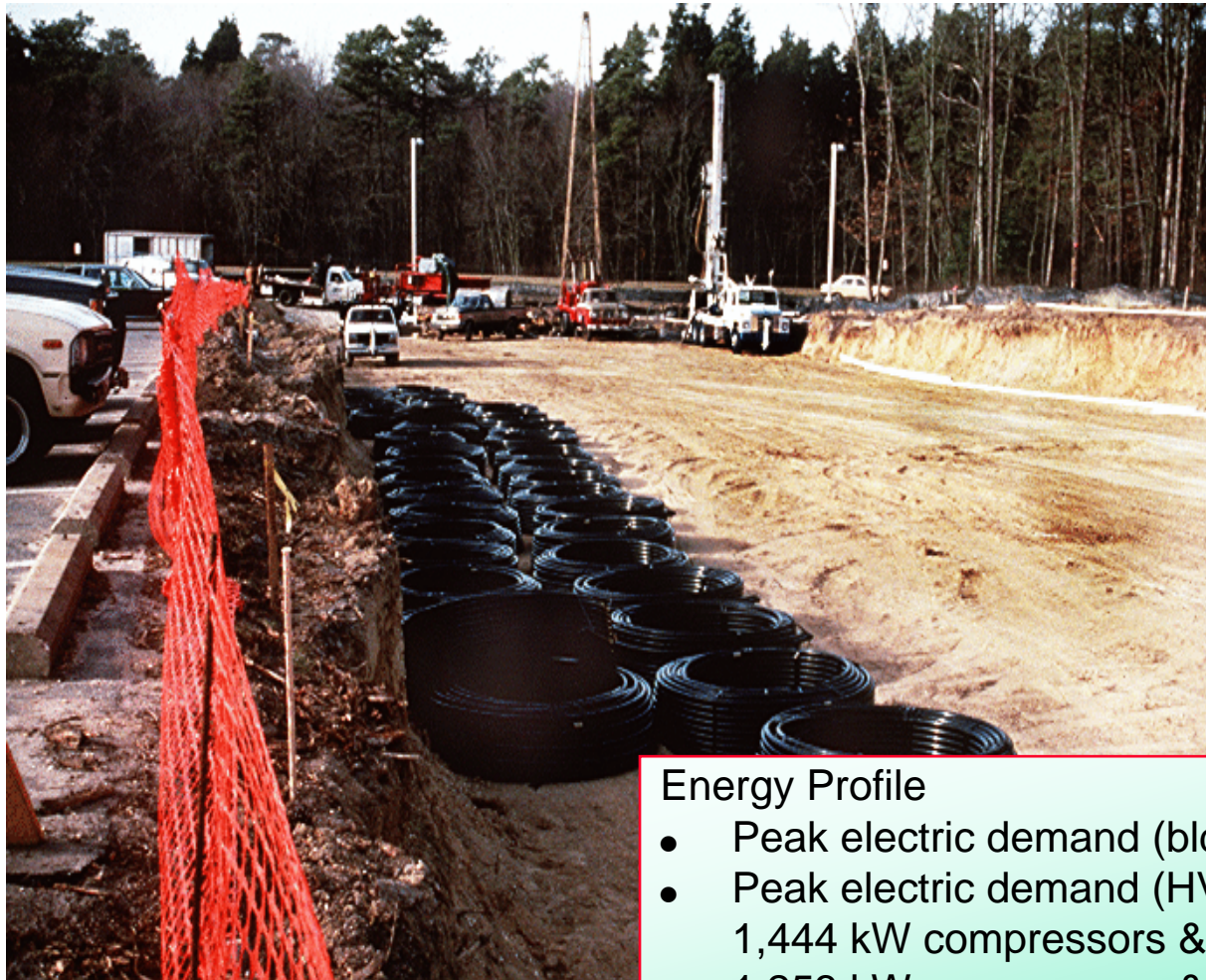
Erdwärmesonden-Speicher:

- Investition: 1.000.000 \$
- Einsparung: 300.000 \$/a



Richard Stockton College

NJ, USA



Energy Profile

- Peak electric demand (bldg.): 3,300 kW
- Peak electric demand (HVAC):
1,444 kW compressors & all fans (summer)
1,253 kW compressors & all fans (winter)

Richard Stockton College



SERSO

SERSO, Sonnenenergierückgewinnung aus Strassenoberflächen

Eisfreihaltung einer exponierten Autobahnbrücke mit Sonnenenergie und saisonaler Wärmespeicherung

- 91 Sonden, 66 m tief, 3 m Abstand
- 1'300 m² Straße als Solarkollektor
- nur Umwälzpumpe keine Wärmepumpe
- Speichervolumen beträgt rund 55'000 m³
- Laden des Speichers im Sommer mit Abwärme aus dem „Straßenkollektor“
- im Winter Entladen des Speichers und Beheizen der Straße
- Inbetriebnahme der Pilotanlage 1994

SERSO



Bilder: Polydynamics Engineering Zürich

Das Projekt TESSAS

- “High Temperature **T**hermal **E**nergy **S**torage System in **sa**turated **s**and layers with vertical heat exchangers”
- **Konzept:** Integration eines Erdwärmesondenspeichers in die Wärmeversorgung eines Institutsgebäudes. Im Sommer Ladebetrieb, im Winter Entladebetrieb

Standortuntersuchung

- Thermal Response Test (3 EWS mit verschied. Verfüllmaterialien)
- Ergebnis: $\lambda_{\text{-Untergrund}} = 2.45 \text{ W/mK}$, Mol-Sand für diesen Standort das beste Verfüllmaterial

Realisierung:

- 144 EWS, 30 m tief, Einfach-U, 2m Abstand, je 3 Sonden in Serie
- Auslegung: 969 MWh
- Speichernutzungsgrad 70%

TESSAS Erdwärmesonden-Speicher



Bilder: H. Hoes, Vito, Mol

Erdwärmesonden-Speicher
von BHKW-Abwärme zum
Beheizen eines Bürogebäudes

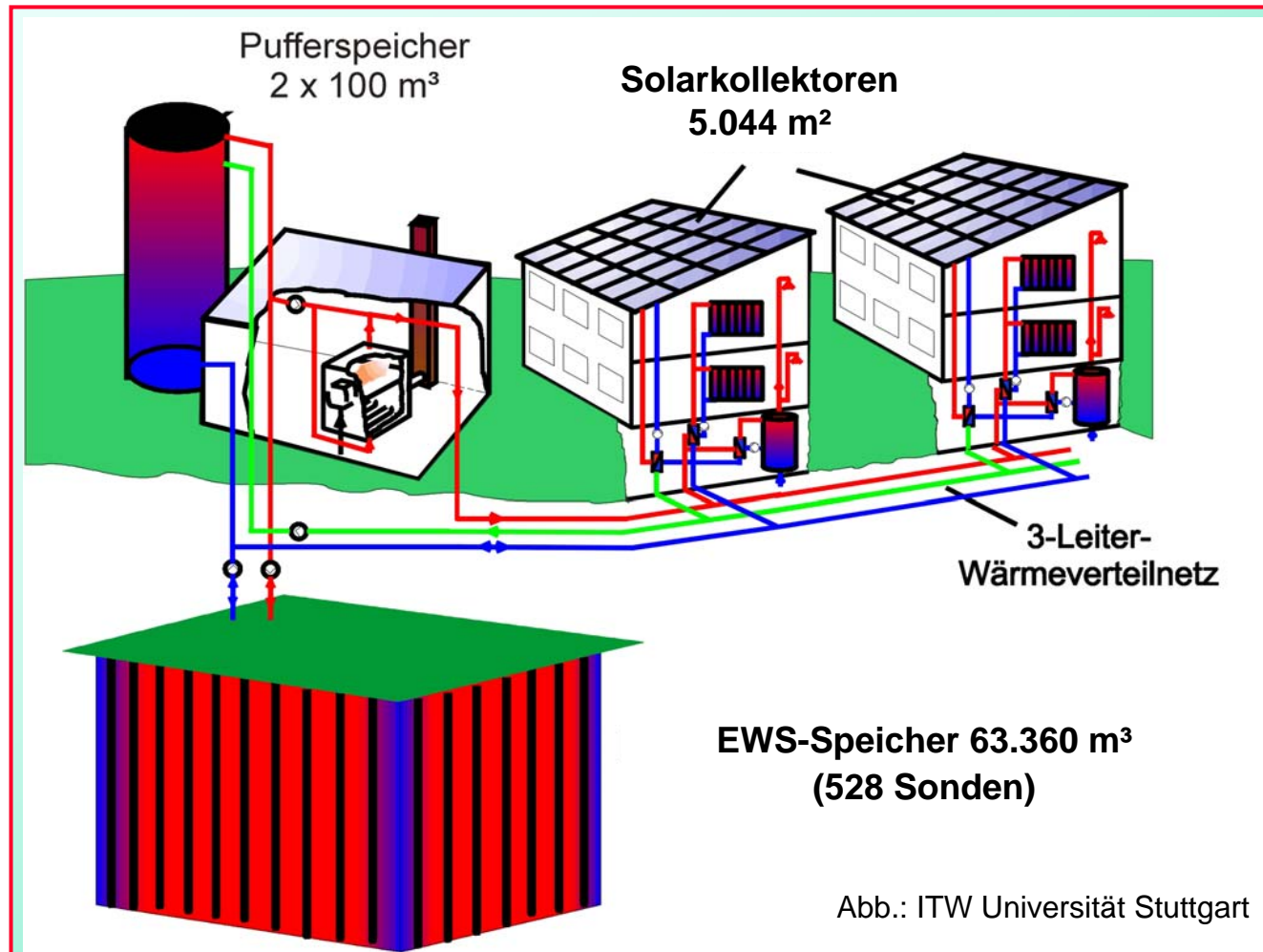
Solare Nahwärme Neckarsulm

- ca. 1300 Wohneinheiten in der Endausbaustufe
- 5044 m² Kollektoren auf Schule, Turnhalle, Altenheim, Ladenzentrum, Kindergarten, Parkplatz, Schallschutzwall
- Erdwärmesonden-Speicher; Tonstein bis ca. 35 m
- 528 Sonden, 30 m tief, Sondenabstand 2 m
- Betriebstemperaturen des Speichers 40 – 80 °C
- Doppel-U-Sonden aus Polybuten
- quadratische Geometrie wegen Erweiterbarkeit

	Pilotspeicher	1	2	3	Endausbau
Jahr	1997	1997/98	2001	offen	offen
Kollektorfläche m ²	2.600	2.600	5.044	8.000	15.000
Speichervolumen m ³	4.320	20.160	63.360	77.760	15.000
Anzahl Sonden	36	168	528	648	1.152

Solare Nahwärmeversorgung

Neckarsulm



Solare Nahwärme Neckarsulm



Solare Nahwärme Neckarsulm



Solare Nahwärme Attenkirchen

Zielsetzung des Vorhabens:

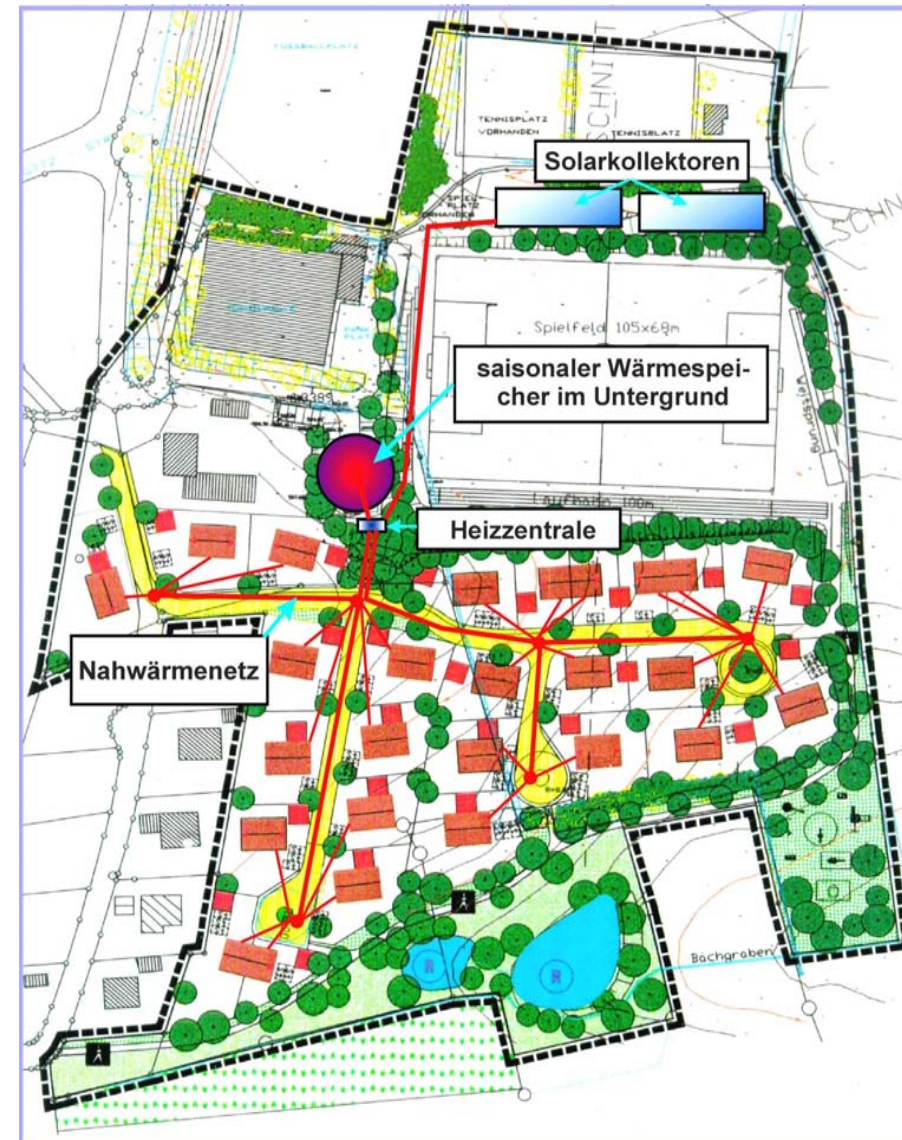
- Primärenergieeinsparung durch verbesserten Wärmeschutz,
- Einsatz von Solarenergie
- Einsatz von Wärmepumpen
- Kostenneutral für Verbraucher

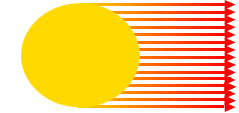
Art der Bebauung:

- 20 Einfamilien- und
5 Doppelhäuser

Wärmebedarf:

- Niedrigenergiehausstandard
- Heizwärme 385 MWh/a
- Brauchwasser: 102 MWh/a
- **Summe: 487 MWh/a**





Solare Nahwärme Attenkirchen

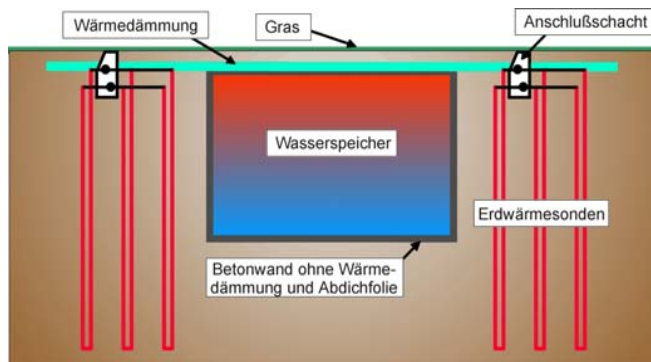
Solare Nahwärme Attenkirchen:

- Zentrale Wärmeversorgung für das Baugebiet
- 800 m² große Solaranlage
- 500 m³ Erdbeckenspeicher
- 9350 m³ Erdwärmesonden-Speicher (4000 m³ H₂O – Äquiv.)
- Anlage seit Februar 2002 in Betrieb
- Primärenergieeinsparung von 50 % angestrebt
- die CO₂-Einsparung soll bei 60 % - 117 t-CO₂/a liegen

Förderung

- **Investition:** Bayerischen Staatsministerium für Wirtschaft, Verkehr und Technologie
- **Begleitforschung:** Bundesministerium für Umwelt

Erdwärmesonden-/Erdbecken-Speicher



- Zentrales Erdbecken aus Beton, ringförmig von Erdwärmesonden umgeben
- Speicherdeckfläche wärmegedämmt, mit Erde überdeckt



Vorteile Hybridspeicher

- thermische Kopplung beider Speicher
- Erdbecken erlaubt einfache Anpassung an Leistungsschwankungen der Solaranlage
- Erdbeckenspeicher dient als Kurzzeitspeicher
- Horizontaler Temperaturgradient

Zusammenfassung

Oberflächennahe Geothermie ist die thermische Nutzung des Untergrundes z.B. durch:

- Grundwasserbrunnen
- Erdreichkollektoren
- Erdwärmesonden

Die thermische Nutzung besteht aus

- Wärmeentzug
- Wärmeeinleitung
- Wärmespeicherung

Die Anwendungsmöglichkeiten sind vielfältig

- Erdgekoppelte Wärmepumpen erleben momentan einen ungeheuren Boom und sind eine echte Alternative zu anderen Heizsystemen
- Der Untergrund eignet sich auch hervorragend zur Speicherung - Wärme- und/oder Kältespeicherung im Aquifer oder über Erdwärmesonden
- International wurden viele Projekte durchgeführt USA, NL, S, B, D, CA ...
- In Deutschland wurden Untergrundspeicher in solaren Nahwärmever-sorgungen in Neckarsulm, Attenkirchen, Rostock und Crailsheim realisiert
- Weitere Projekte in Skandinavien, den Niederlanden und Kanada

**Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit**