

Grundlagen der Oberflächennahen Geothermie sowie Planung auf Basis geothermischer Messungen

Dipl.-Ing. Jens-Uwe Kühl

H.S.W. Ingenieurbüro

Gesellschaft für Energie und Umwelt mbH

www.hsw-rostock.de

Gründung: 1991 in der Hansestadt Rostock
(durch 2 Mitarbeiter der ehemaligen Fachabteilung Geologie
des Rates des Bezirkes Rostock)

Schwerpunkte zunächst:

Geotechnik, Altlasten, Grundwasser,
...seit 1995 erste Projekte Geothermie
...seit 2005 Spezialleistung Geothermal Response Test
und FEM-Untergrundsimulationen

Schwerpunkte heute:

Regenerative Energien, Geotechnik, Geologie, Umweltschutz
...u.a. komplexe Planungen in der Geothermie, geothermische Messungen,
Sachverständigentätigkeit, Beteiligung an Forschungsprojekten u.s.w.



H.S.W. Ingenieurbüro

Gesellschaft für Energie und Umwelt mbH

12 Mitarbeiter, davon

4 Frauen, 8 Männer, davon

2 Diplomingenieure Bauwesen

2 Diplomingenieure Landeskultur und Umweltschutz

4 Geologen

1 Diplom-Meliorationsingenieur

1 Techniker

1 Zeichnerin

1 Sekretärin

+ Teilzeitkräfte und Praktikanten



HOME UNTERNEHMEN NEWS KONTAKT LINKS

HSW Ingenieurbüro
Gesellschaft für Energie und Umwelt mbH



REGENERATIVE ENERGIEN

Geothermie / Erdwärme

Umweltwärme

Photovoltaik

Innovationen



GEOTECHNIK

Baugrunduntersuchungen

geotechnische Feldversuche

Erdstofflabor

Spezialleistungen



GEOLOGIE

Hydrogeologie

Küstenschutz

Lagerstättengeologie

Genehmigungsverfahren



UMWELTSCHUTZ

Altlasten/Asbest

Umweltgeologie

Renaturierung

Bodenmanagement

Was ist Geothermie?

DEFINITION :

„Geothermische Energie (Erdwärme)

Die in Form von Wärme gespeicherte Energie unterhalb der Oberfläche der festen Erde.“

(VDI 4640 Teil 1 „Thermische Nutzung des Untergrundes“)

„Erdwärme ist die im zugänglichen Teil der Erdkruste gespeicherte Wärme. Sie umfasst die in der Erde gespeicherte Energie, soweit sie entzogen und genutzt werden kann, und zählt zu den regenerativen Energien. ...

... Geothermie bezeichnet sowohl die geowissenschaftliche Untersuchung der thermischen Situation als auch die ingenieurtechnische Nutzung der Erdwärme.“

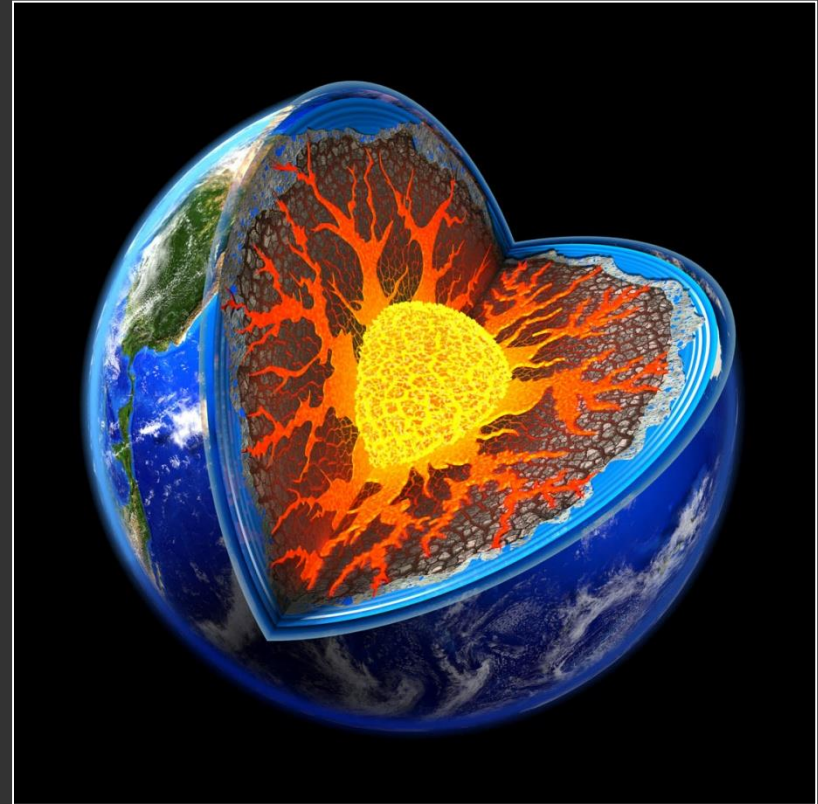
(Wikipedia – Begriff: Geothermie)

Erdwärme

URSPRUNG:

30...50 % Gravitationsenergie /
Ursprungswärme

50...70 % Energie aus dem
radioaktiven Zerfall langlebiger
Nuklide im Erdmantel (u.a. Uran,
Thorium, Kalium)



Bildquelle: www.geothermie-traunstein.de

Erdwärme

TEMPERATUR:

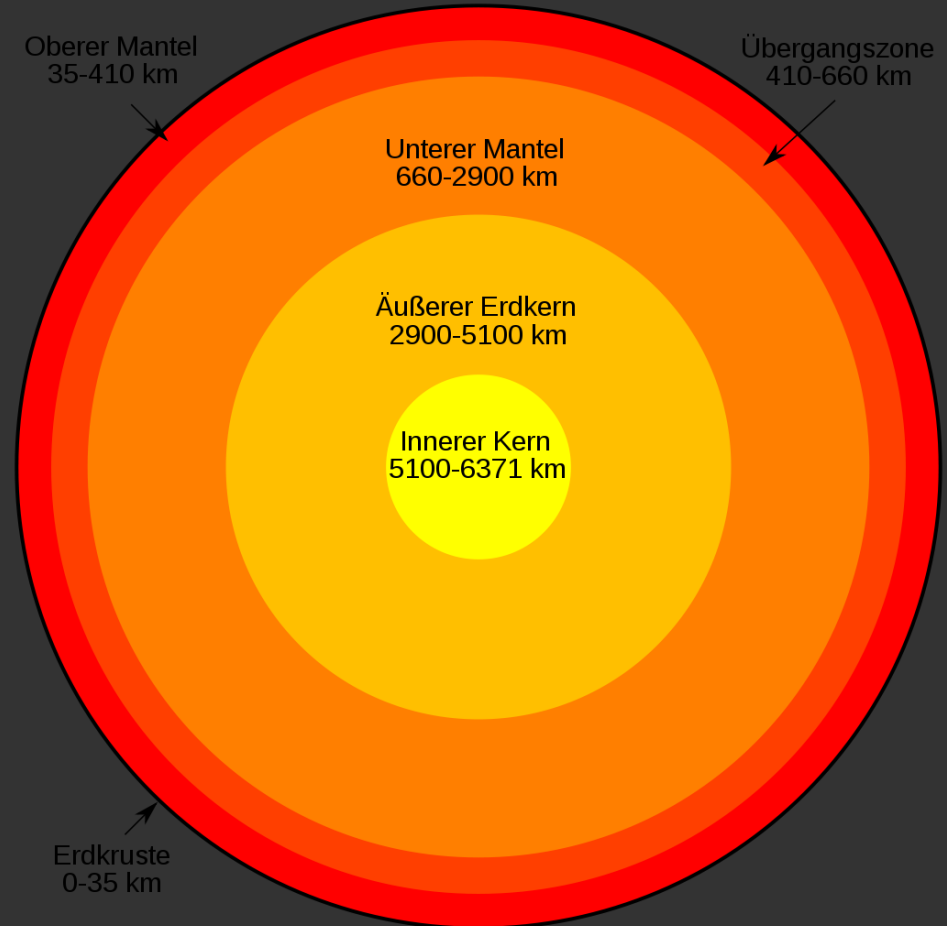
Erdkruste: bis ca. 600 °C

Mantel: bis ca. 2.000 °C

Kern: bis ca. 5.000 °C

99 % der Erde sind heißer als
1.000 °C

von dem 1 % sind 99 % heißer als
100 °C



Bildquelle: www.wikipedia.de/innerer Aufbau der Erde

Oberflächennahe und Tiefe Geothermie

UNTERSCHIED:

allgemein...

...Oberflächennahe Geothermie = Nutzung von Energie bis 400 m

...Tiefe Geothermie = Nutzung von Erdwärme ab 400 m

vielmehr ...

...unterschiedliche thermische und geologische Gegebenheiten in den jeweiligen Tiefenbereichen und den damit verbundenen unterschiedlichen Verfahren der Nutzung

(d.h. auch unterschiedliche Anforderungen an Planung und Ausführung)

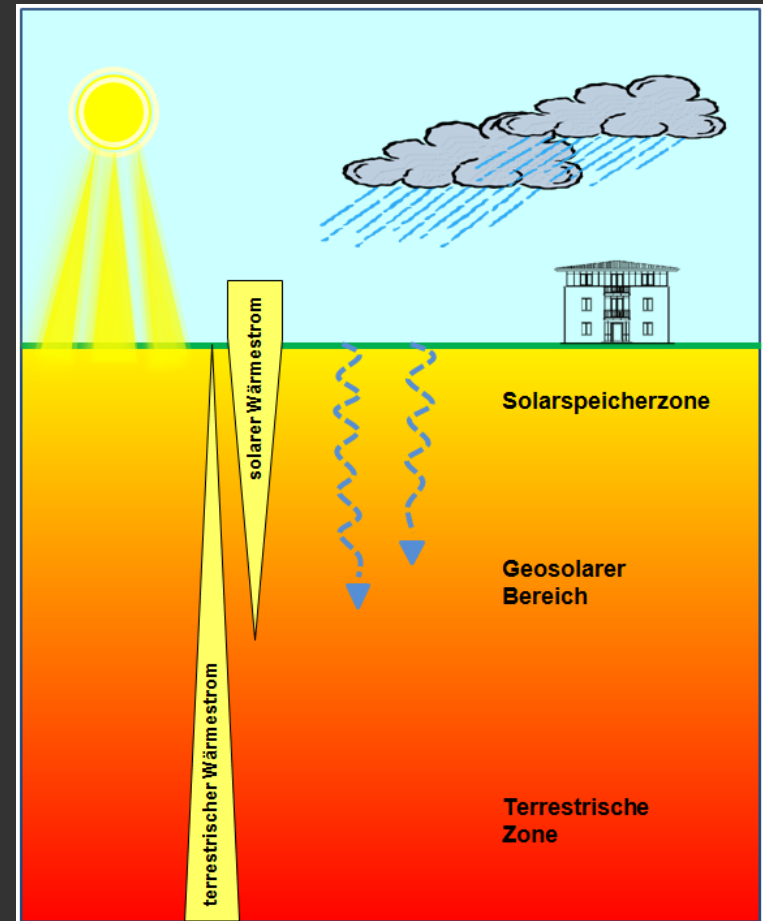
Temperatur im oberflächennahen Untergrund

ZONEN:

Solarspeicherzone
(beeinflusst u.a. durch Klima,
Grundwasser, Bebauung)

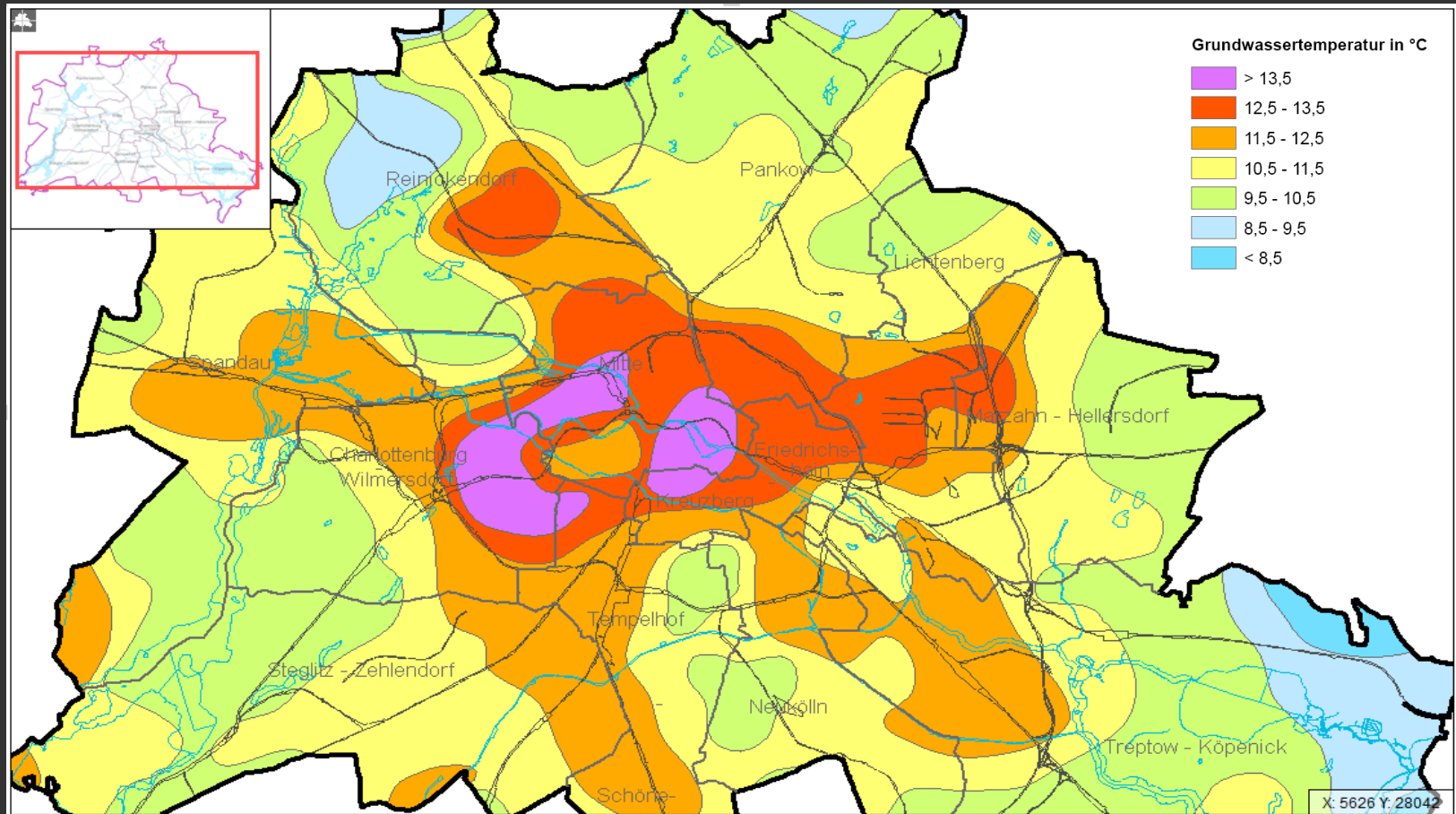
Geosolarer Bereich
(neutrale Zone)

Terrestrische Zone
Geothermischer Gradient $\varnothing$ 3 K/100 m



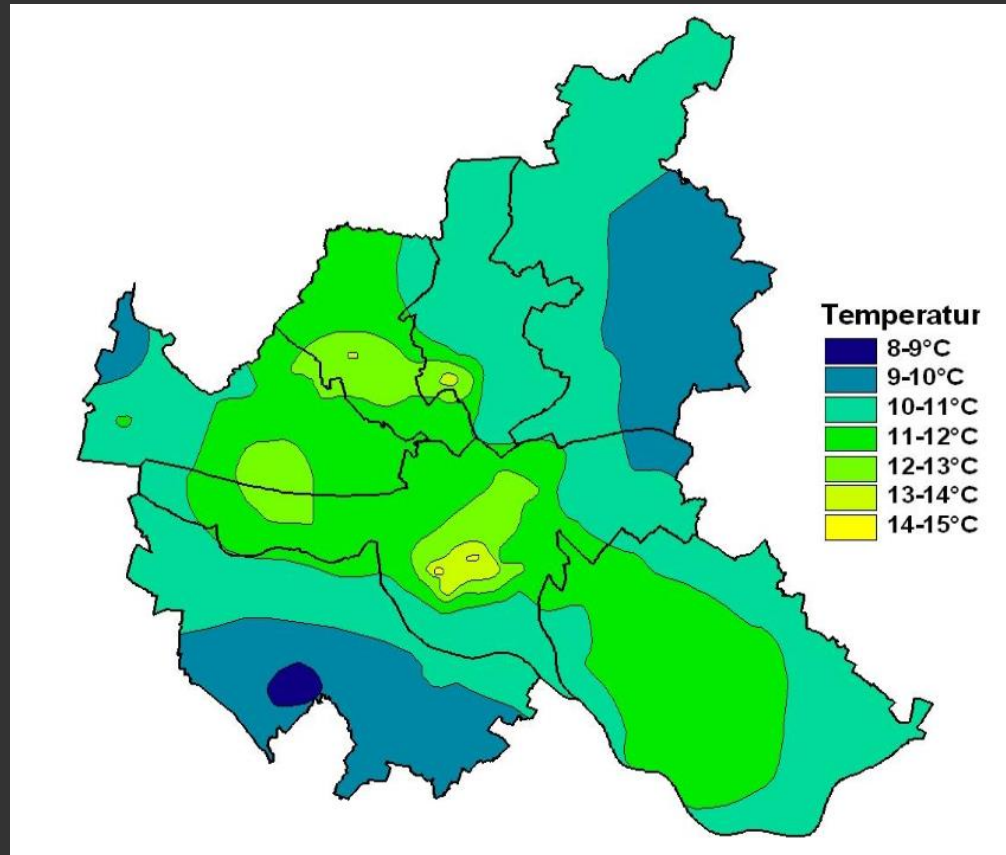
Bildquelle: HSW, frei nach Panteleit & Mielke, 2010

Temperatur im oberflächennahen Untergrund



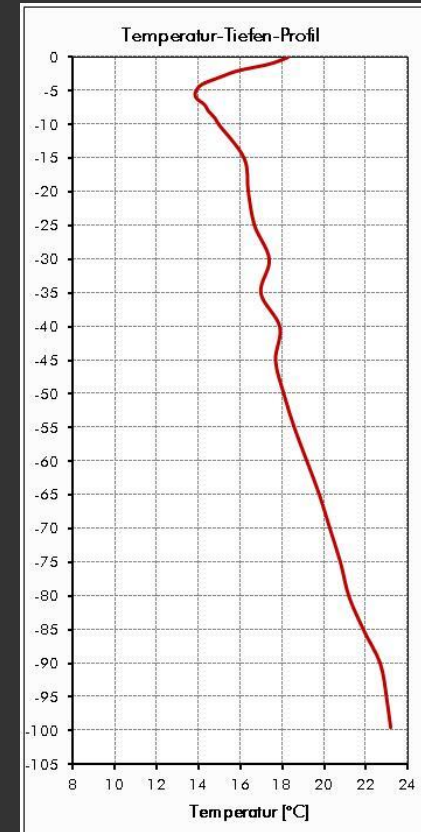
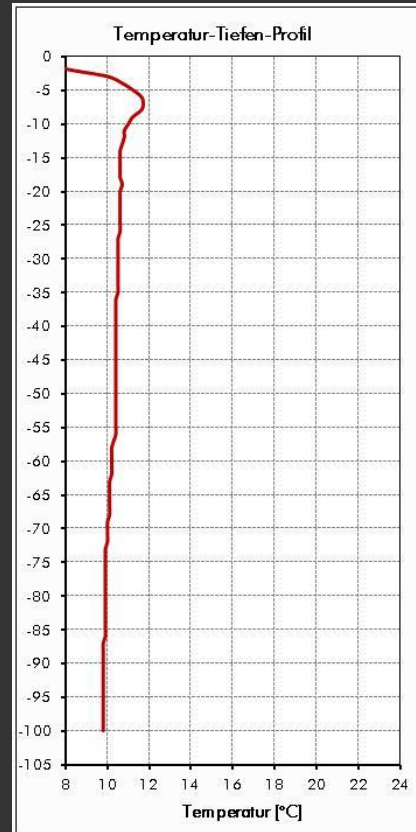
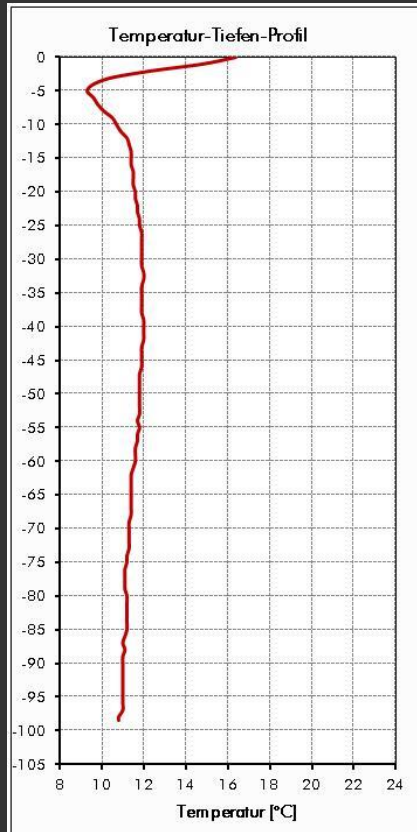
Bildquelle: Umweltatlas Berlin 2012, Grundwassertemperatur 20 m unter der Erdoberfläche

Temperatur im oberflächennahen Untergrund



Bildquelle: Leitfaden zur Erdwärmenutzung in Hamburg, Temperatur in der Tiefe von -100 m NN

Temperatur im oberflächennahen Untergrund



Bildquelle: Archiv H.S.W. GmbH, Temperaturmessungen in Hamburg (11,4 °C), Husum (10,2 °C) und Frankfurt a. Main (18,7 °C)

Die Ressource (oberflächennahe) Erdwärme

= Erdreich- und Grundwassertemperatur zwischen 8,5 und 13 °C

nutzbar für die

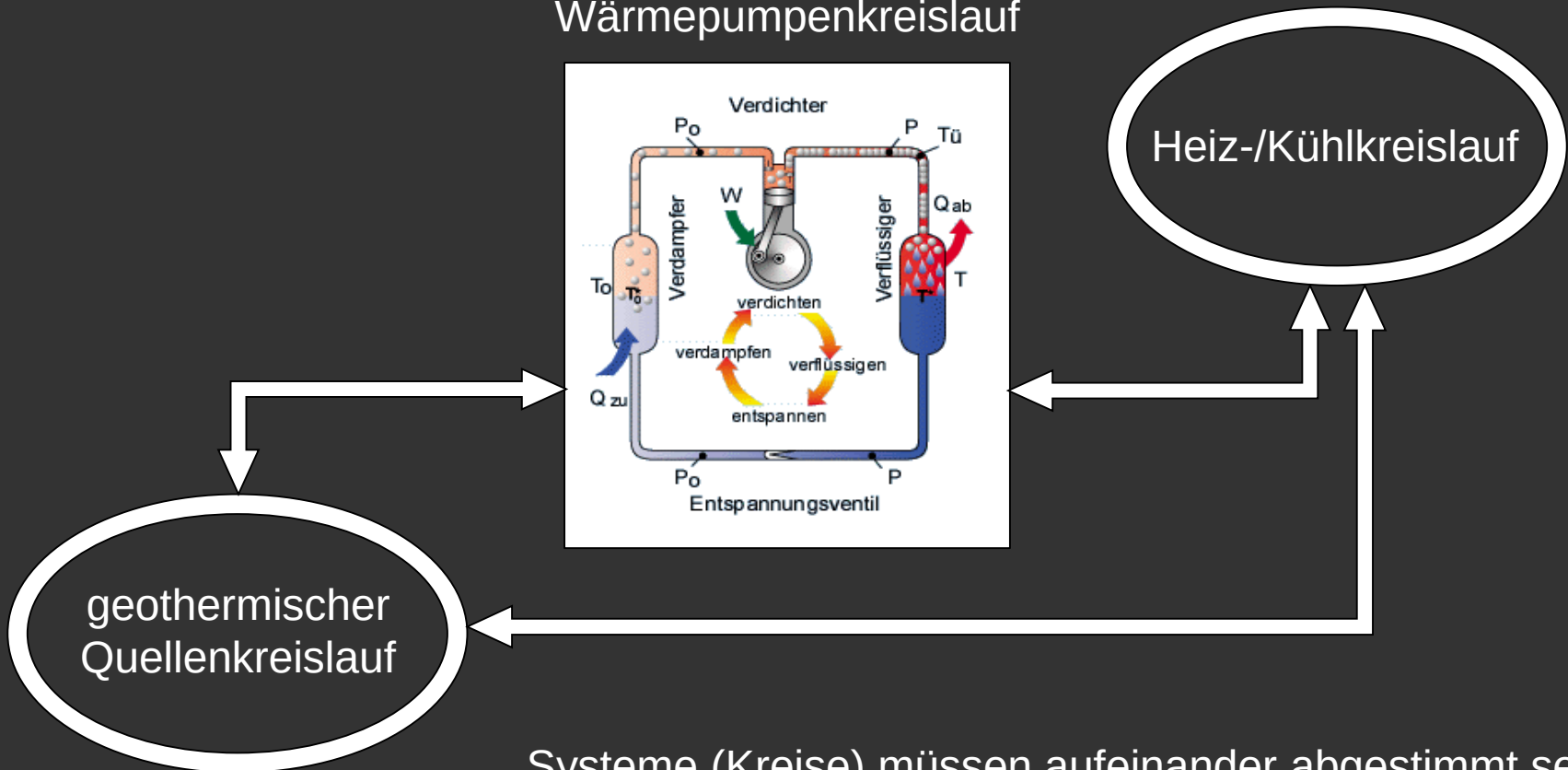
Wärmeerzeugung mittels Wärmepumpe

und

Kältegewinnung über freie Kühlung bzw. mit reversibler Wärmepumpe

„Erdgekoppelte“ Wärmepumpe (WP)

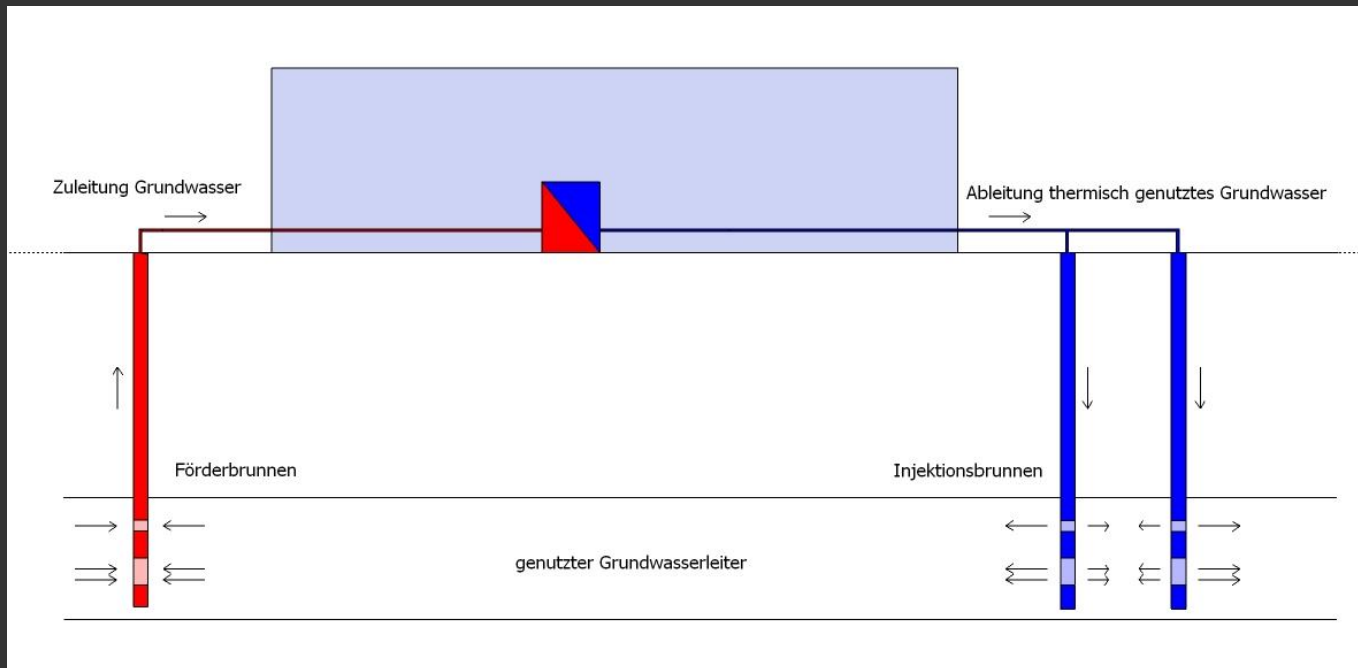
Wärmepumpenkreislauf



Systeme (Kreise) müssen aufeinander abgestimmt sein!

Geothermische Quellenanlagen

offene Systeme

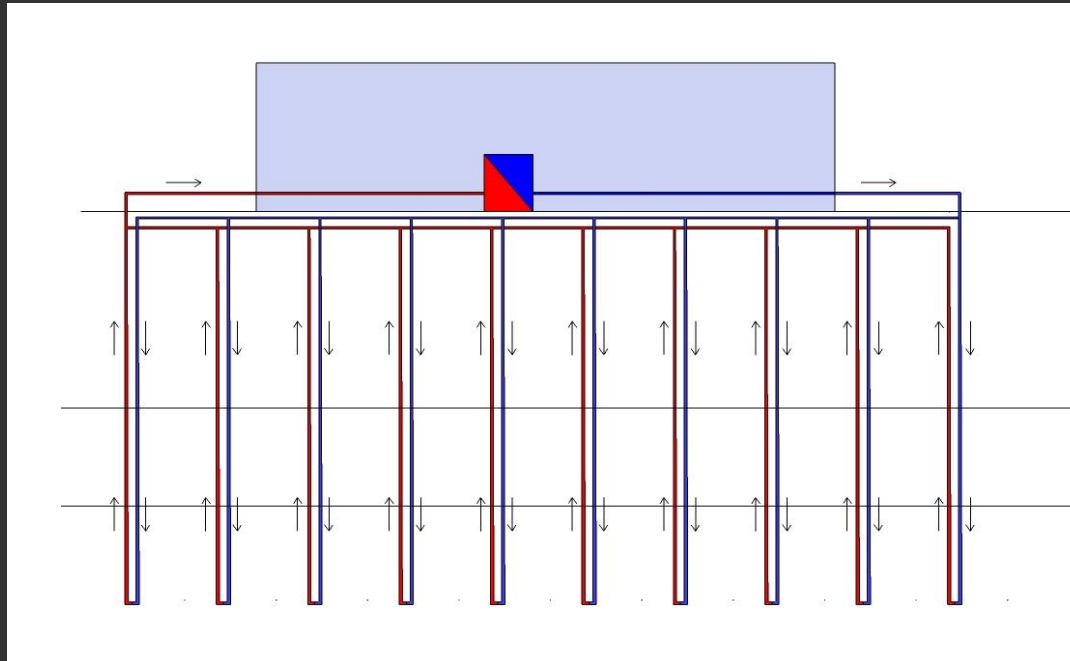


Bildquelle: HSW

Grundwasser fungiert als Wärmeträgermedium und als Wärmequelle

Geothermische Quellenanlagen

geschlossene Systeme



Bildquelle: HSW

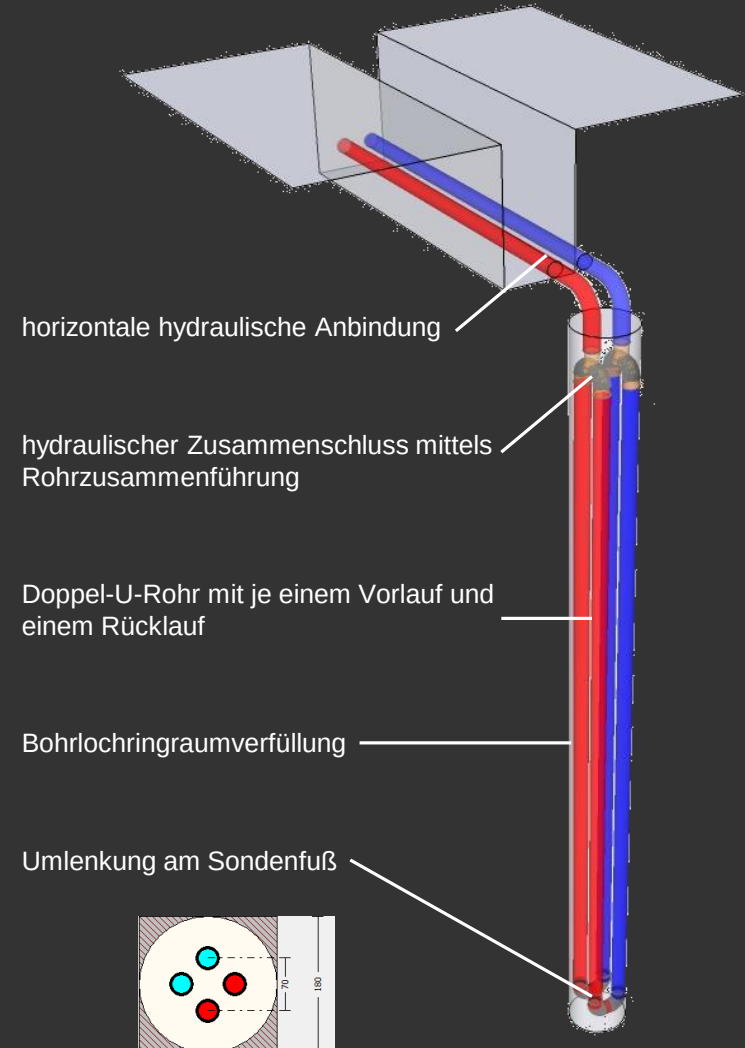
Wärmeträgermedium kommt nicht in den direkten Kontakt mit dem Grundwasser oder dem Erdreich

Geothermische Quellenanlagen

geschlossene Systeme: Erdwärmesonden



Bildquellen: HSW

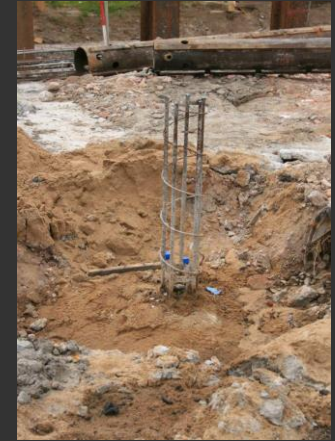


Geothermische Quellenanlagen

geschlossene Systeme: Energiepfähle



Bildquellen: HSW



Geothermische Quellenanlagen

geschlossene Systeme: Erdwärmekollektoren



Bildquellen: HSW



Geothermische Quellenanlagen

geschlossene Systeme: Sonderbauformen



Bildquelle: Zaugg GmbH



Bildquelle: www.witti.at

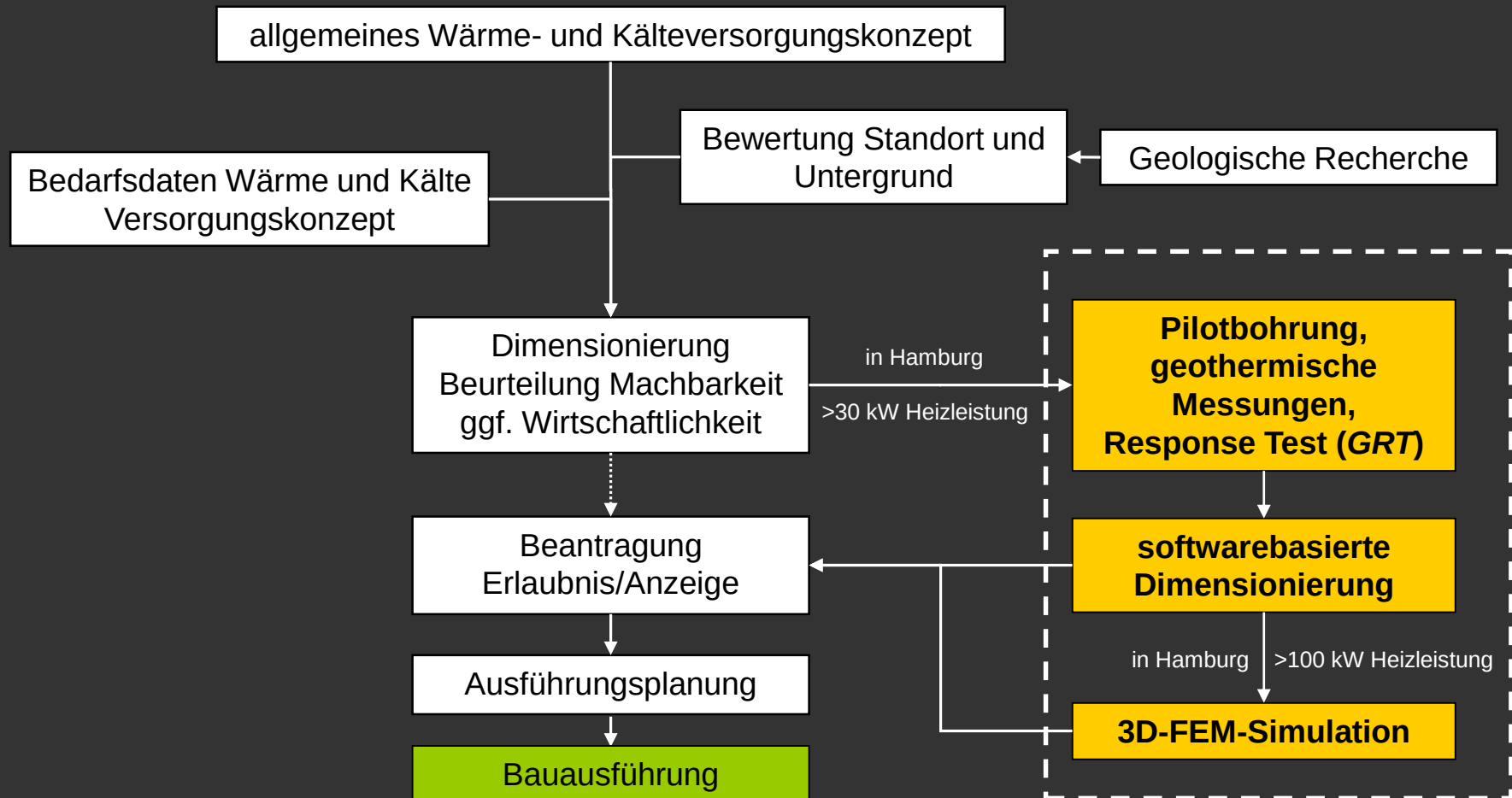


Bildquelle: Wikipedia



Bildquelle: PumpenStrebe

Planungsablauf

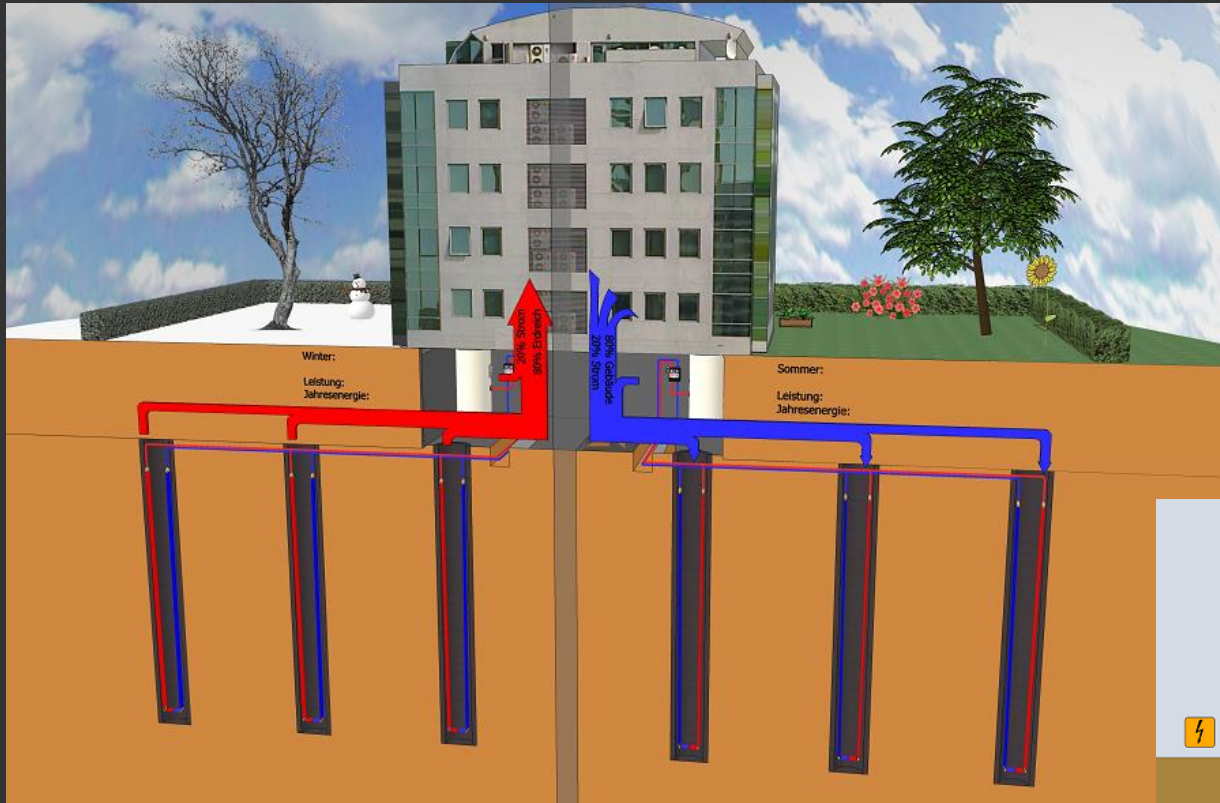


maßgebliche Planungsparameter - Nutzung der geothermischen Anlage -

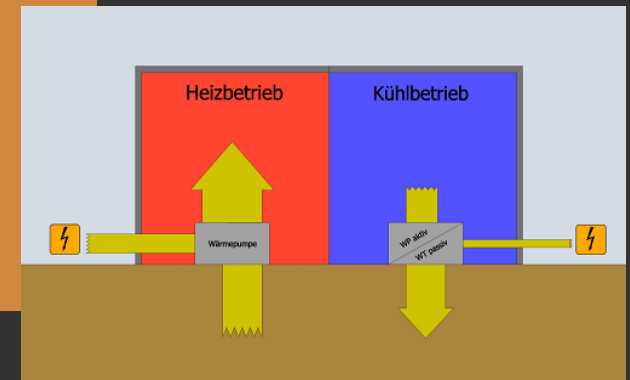
(i.d.R. Zuarbeit durch TGA-Planer/Heizungsfachbetrieb)

- Heizen und/oder Kühlen
- Ermittlung der Norm-Heiz/Kühllast nach DIN EN 12831
→ erforderliche Leistung der (reversiblen) Wärmepumpe(n) in kW
- Ermittlung/Abschätzung des Jahres-Wärme-/Kältebedarfs
→ Bestimmung der Jahresheizarbeit kWh/a
→ ggf. Verbrauchsdaten bei Bestandsgebäuden
- Erarbeitung eines Wärme-/Kälte-Versorgungskonzeptes
- optimal bei größeren Vorhaben: thermische Gebäudesimulation

maßgebliche Planungsparameter - Nutzung der geothermischen Anlage -



Bildquellen: HSW



vereinfachte Methoden der Bemessung nach VDI Richtlinie 4640 (2001)

Untergrund	Spezifische Entzugsleistung [W/m]	
	für 1800 h	für 2400 h
Allgemeine Richtwerte		
schlechter Untergrund (trockenes Sediment)	25	20
normaler Festgesteins-Untergrund und wassergesättigtes Sediment	60	50
Festgestein mit hoher Wärmeleitfähigkeit	84	70
Einzelne Gesteine		
Kies/ Sand trocken	< 25	< 20
Kies/ Sand wasserführend	65 - 80	55 - 65
bei starkem Grundwasserfluss in Kies und Sand, für Einzelanlagen	80 - 100	80 - 100
Ton/ Lehm feucht	35 - 50	30 - 40
Kalkstein (massiv)	55 - 70	45 - 60
Sandstein	65 - 80	55 - 65
saure Magmatite (z.B. Granit)	65 - 85	55 - 70
basische Magmatite (z.B. Basalt)	40 - 65	35 - 55
Gneis	70 - 85	60 - 70

< 30 kW

1.800 bzw. 2.400 Vbh/a

nur Wärmeentzug

Tiefe: 40 - 100 m

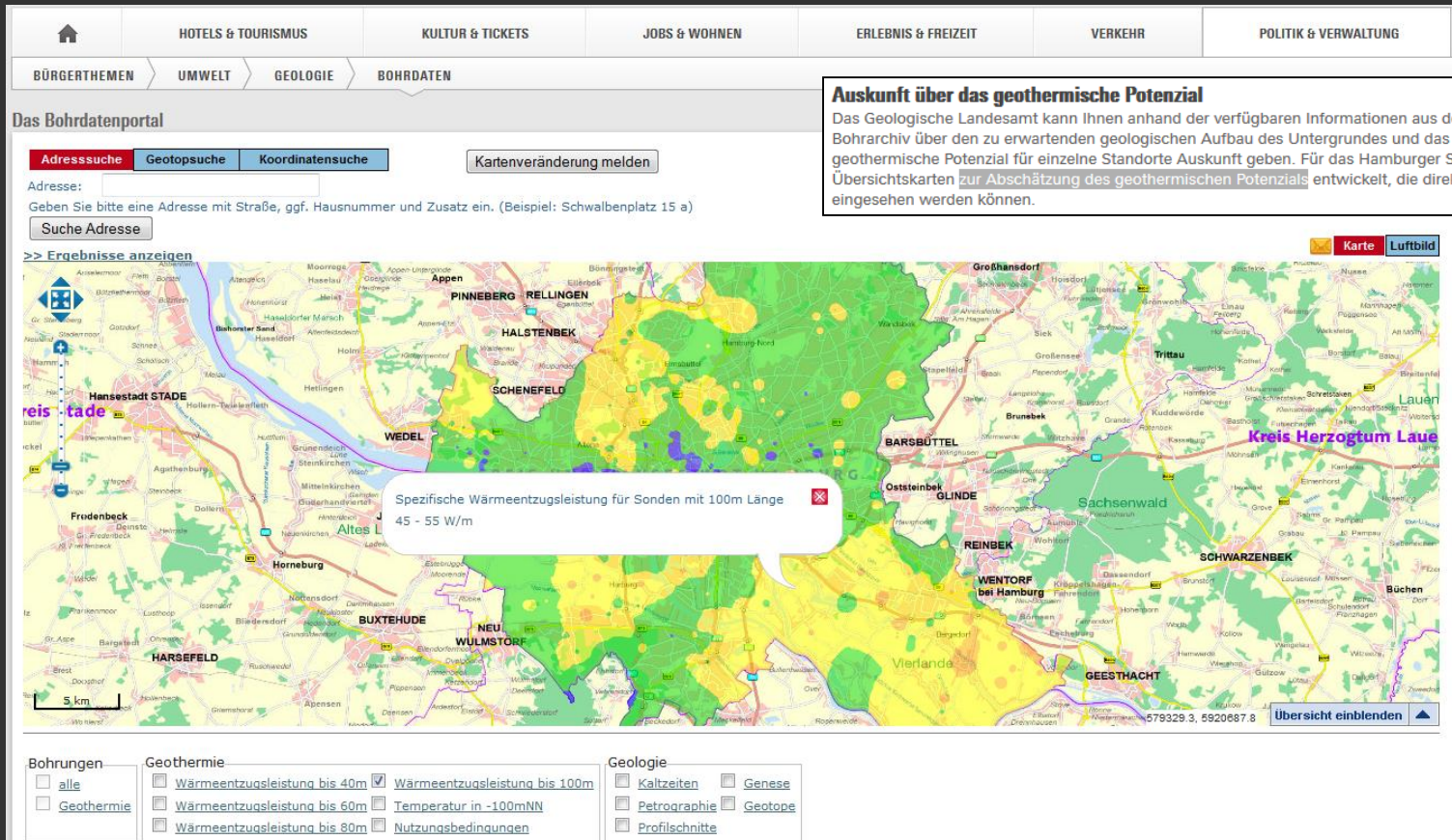
nur Doppel-U- und Koaxial-EWS

nicht mehr aktueller Stand des Wissens

dahingehende Überarbeitung der VDI-Richtlinie 4640 – Blatt 2

Veröffentlichung Blatt 2 - neuer Entwurf Mai 2015 – Entwurf gegenwärtig in der Überarbeitung

vereinfachte Methoden der Vorbemessung



Quelle: <http://www.hamburg.de/bohrdaten-geologie/>

Geothermisches Nutzungspotential von Erdwärmesonden

W/m und kWh/(m·a)

Geothermisches Standortpotential

- lokale geologische Schichten / Substrate mit bzw. ohne Grundwasser(-dynamik),
- effektive Wärmeleitfähigkeit / spezifische Wärmekapazität
- Untergrundtemperatur

Konfigurationen der geothermischen Quellenanlage

- geplante Anzahl der Erdwärmesonden
- Platzdargebot - Anordnung / Abstand untereinander
- Tiefe / Tiefenbeschränkung
- Ausrichtung: vertikal, horizontal, schräg

Ausbauqualität = thermischer Bohrlochwiderstand

- Bohrllochdurchmesser
- Wärmeübertragertyp / -material
- Art und Qualität der Ringraumabdichtung
- verwendetes Wärmeträgermittel

Anforderungen an die Simulation

- Simulationsdauer (25...50 Jahre)
- Monat der Inbetriebnahme
- definierte / genehmigungsrechtlich beschränkte Temperaturlimits im Solekreis

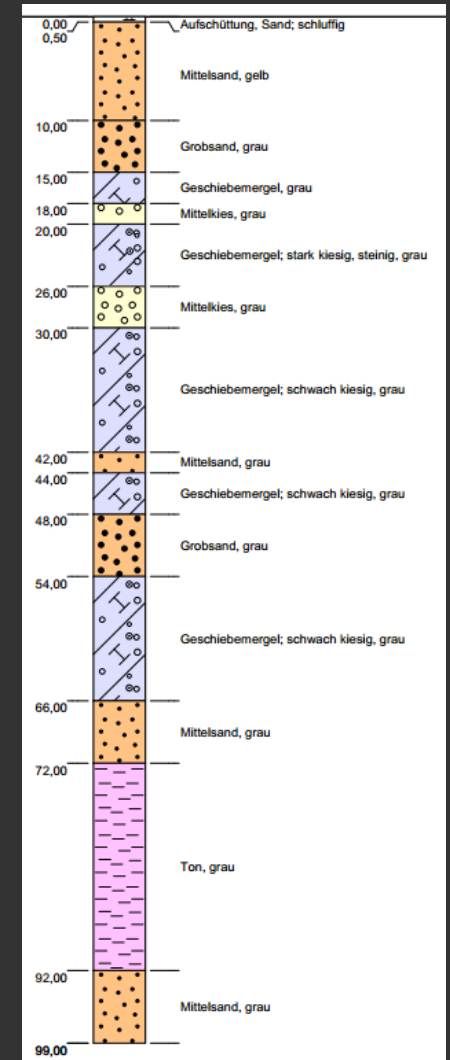
Nutzung der geothermischen Anlage

- Heizen und / oder Kühlen
- Betriebsweise (monoenergetisch, monovalent, bivalent)
- Jahres-Vollbenutzungsstunden (Wärme-, Warmwasser-, Kühlbedarf)
- Solevolumenstrom im Anlagenbetrieb

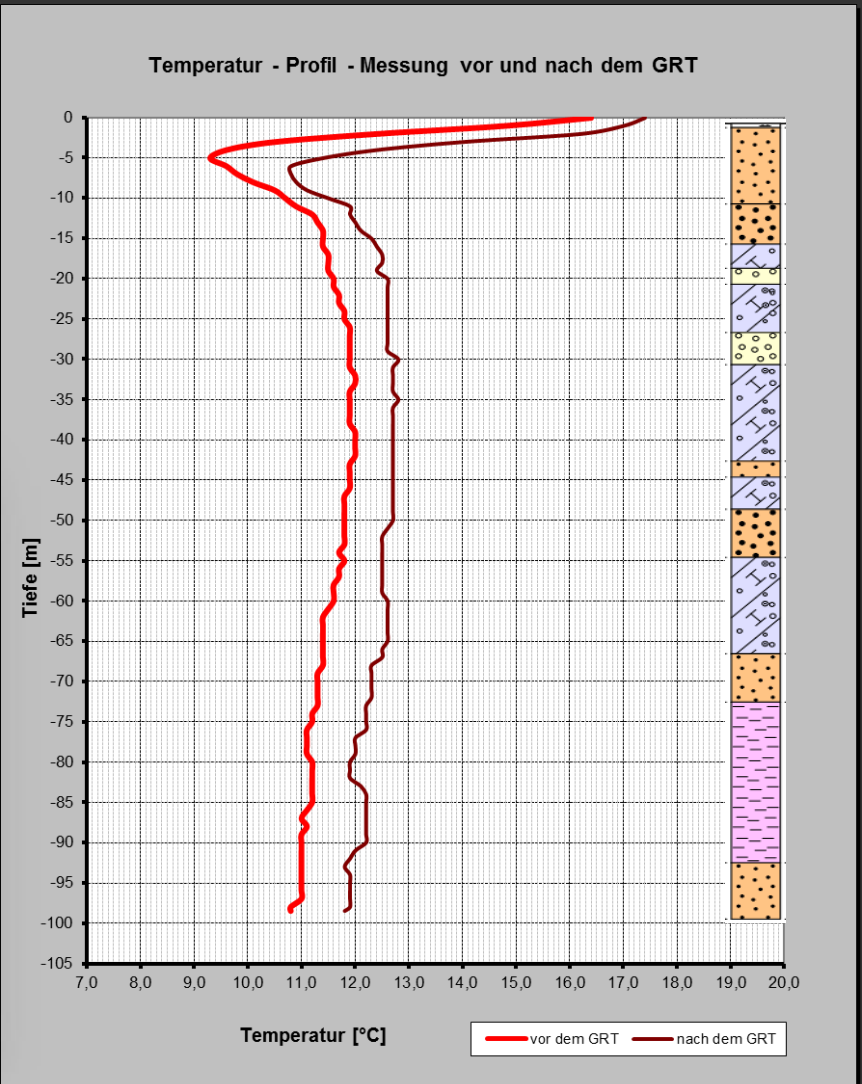
Erkundungsbohrung im Juni 2013



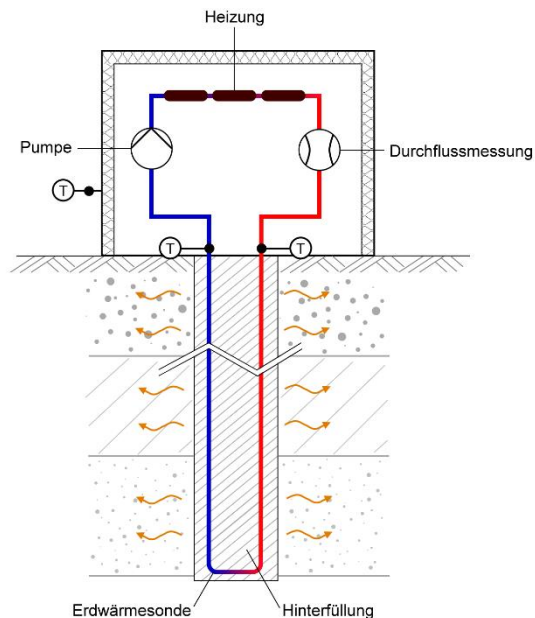
Quelle: Celler Brunnenbau GmbH



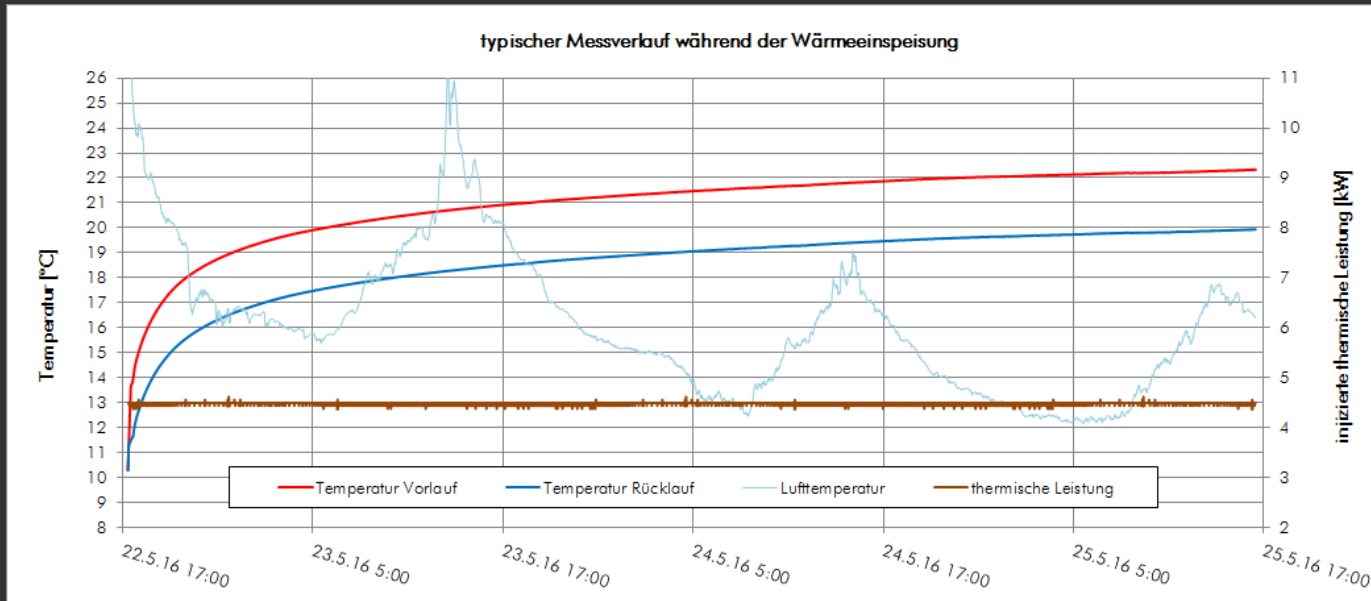
Geothermische Messungen im Juni 2013 (Temperatur-Profil)



Geothermische Messungen im Juni 2013 (Geothermal Response Test)



Auswertung des Geothermal Response Tests



$$\lambda_{\text{eff}} = \frac{Q}{4\pi H \cdot k}$$

$$R_b = \frac{H}{Q} \cdot (T_f - T_0) - \frac{1}{4\pi \lambda} \cdot \left(\ln(t) + \ln\left(\frac{4\alpha}{r_0^2}\right) - 0,5772 \right)$$

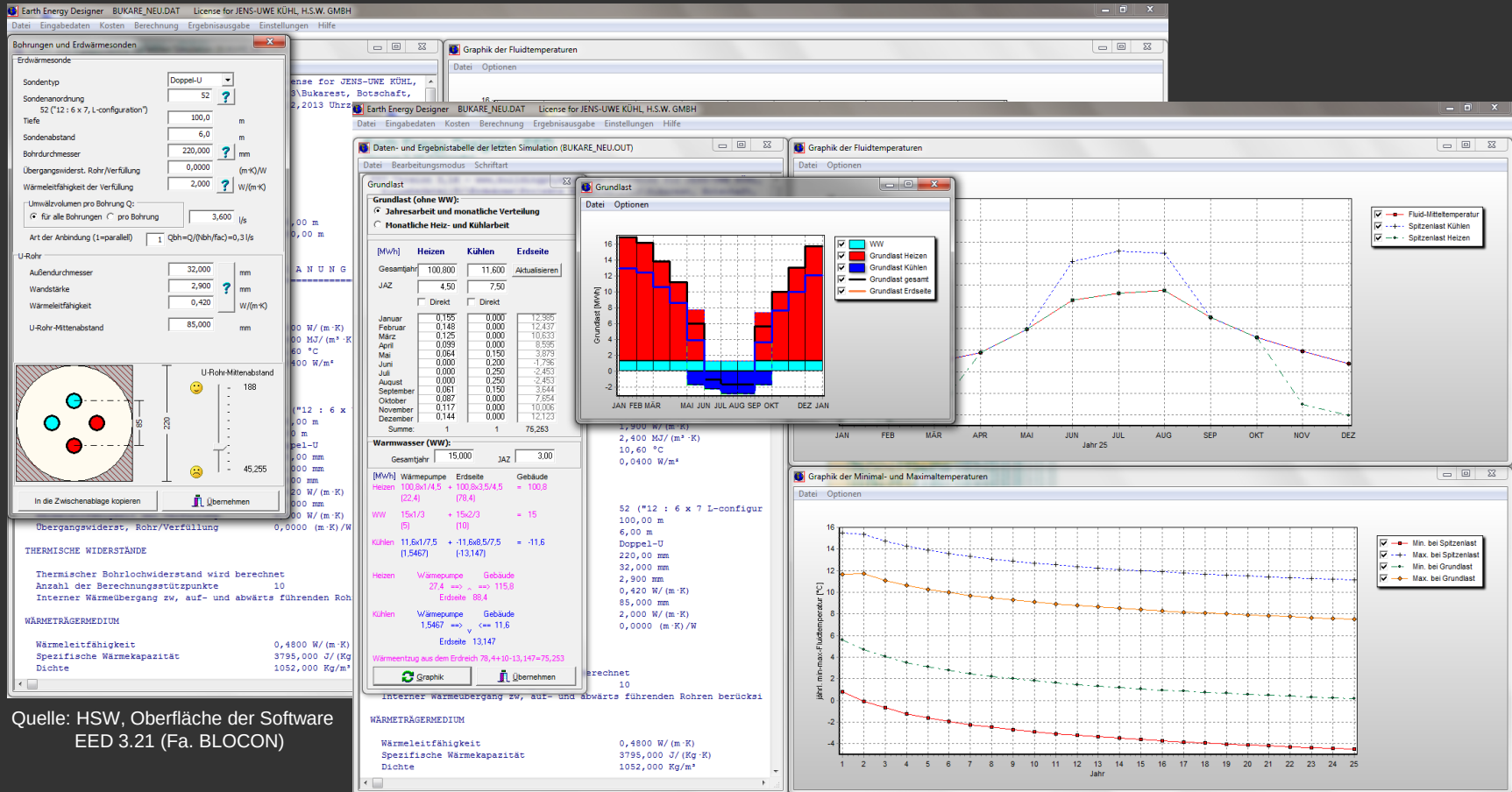
- Nachgewiesene effektive Wärmeleitfähigkeit: 2,6 W/(m·K),
- geschätzte mittlere spezifische Wärmekapazität: 2,5 MJ/(m³·K),
- gemessene mittlere Untergrundtemperatur: 11,5 °C.

analytische bzw. seminumerische Verfahren zur Dimensionierung von Erdwärmesondenfeldern

Beispiele Berechnungsprogramme:

- **Earth Energy Designer, EED 3.16** (Dep. of. Physics Lund University Schweden, BLOCON),
analytische Lösung (mittlere Fluidtemperatur) nach g-functions, integrale thermische Leitfähigkeit,
- **EWS - Erdwärmesonden** (Huber Energietechnik AG Schweiz), analytische bzw. seminumerische Lösung nach g-functions und FDM, differenzierte thermische Leitfähigkeit, Simulation des Anfahrverhaltens von Wärmepumpen (takten).

analytische bzw. seminumerische Verfahren zur Dimensionierung von Erdwärmesondenfeldern



Quelle: HSW, Oberfläche der Software EED 3.21 (Fa. BLOCON)

Ergebnisse der Potentialberechnung für das geplante Erdwärmesondenfeld mit insgesamt 50 Erdwärmesonden (Einheitstiefe 100 m)

- Der Gebäude-Gesamtbedarf (Arbeit und Leistung) an Wärme und Kälte beträgt:

	Arbeit	Leistung
Heizen	910 MWh/a	650 kW
Kühlen	911 MWh/a	750 kW

- Die maximal realisierbaren Deckungsanteile der geothermischen Gesamtanlage wurden im Zuge der Vorplanung wie folgt ausgewiesen (prozentualer Deckungsanteil vom Gesamtbedarf in Klammern):

	Arbeit (MWh/a)		Leistung	
	erdseitig	gebäudeseitig	erdseitig	gebäudeseitig
Heizen	467 MWh/a	600 MWh/a (66 %)	179 kW	230 kW (35 %)
Kühlen	450 MWh/a	438 MWh/a (48 %)	51 kW	50 kW (7 %)

Quelle: Auszug aus dem Antrag auf wasserrechtliche Erlaubnis

Numerische Verfahren – Thermohydrodynamische Simulationen

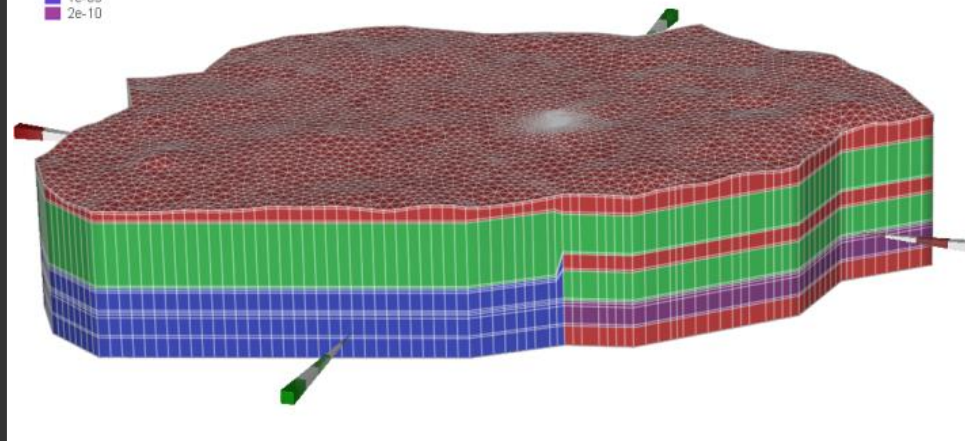
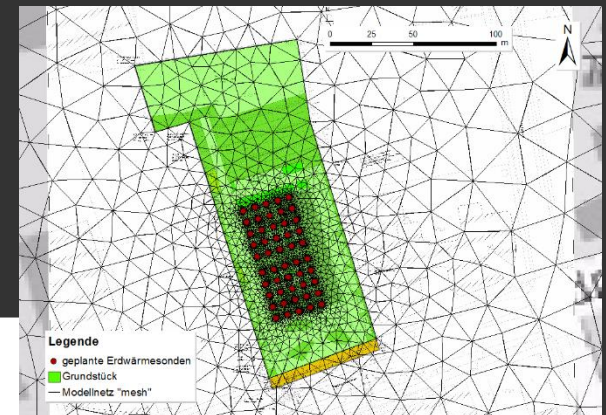
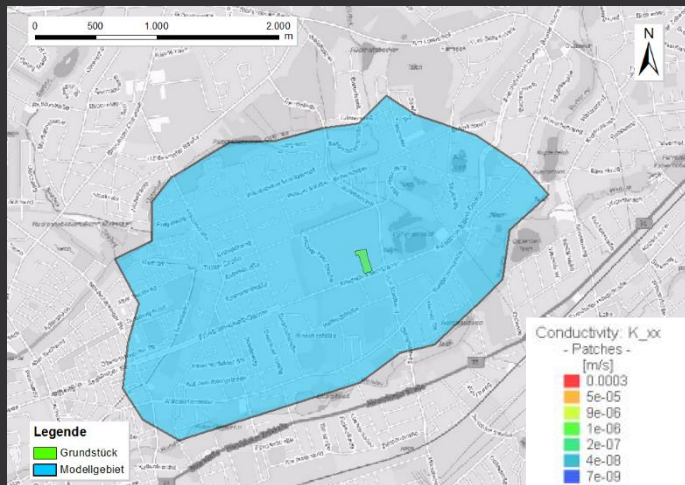
Anwendung:

- für mittlere bis große Erdwärmesondenanlagen ab ca. 30 kW Heizleistung bzw. für komplizierte Bemessungsfälle (u.a. gegenseitige thermische Beeinflussung benachbarter Erdwärmesondenanlagen)
- dreidimensionale Prognose der thermischen Auswirkungen von Erdwärmesondenfeldern auf die Gebirgs- bzw. Grundwassertemperatur
- gekoppelte Grundwasserströmungs- und Wärmetransportmodellierung

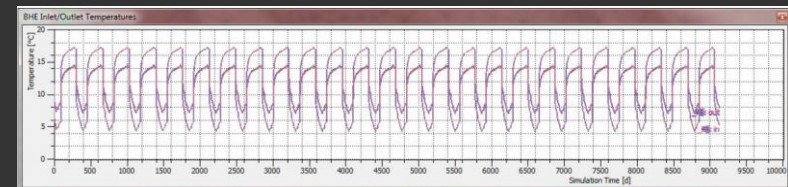
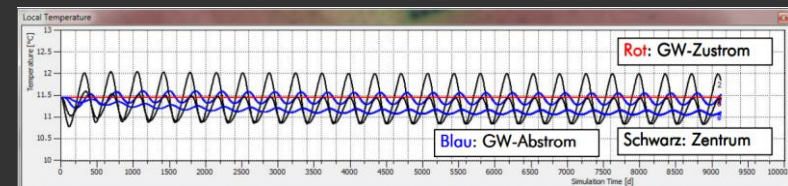
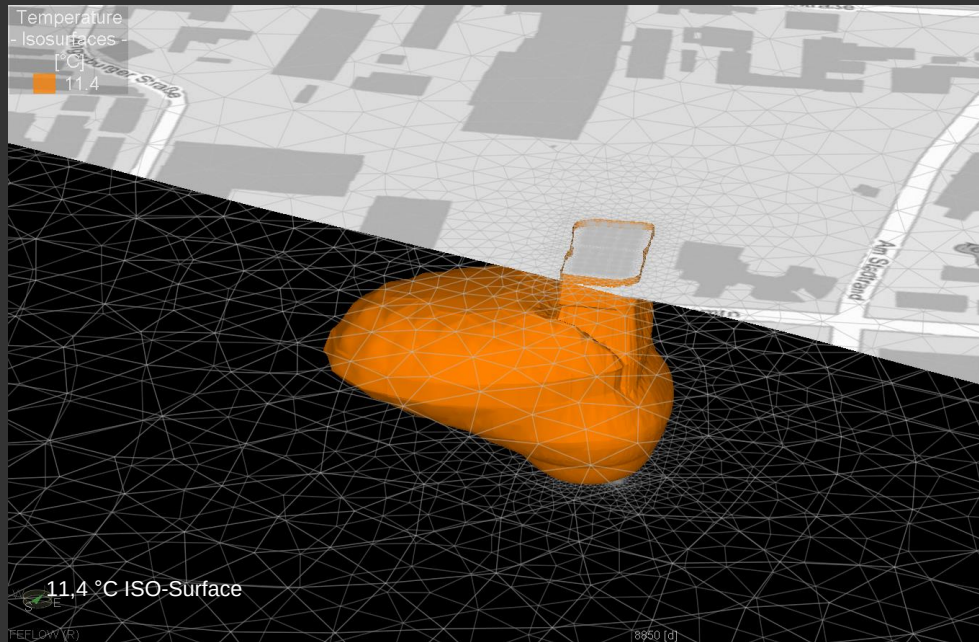
Beispiele Simulationsprogramme:

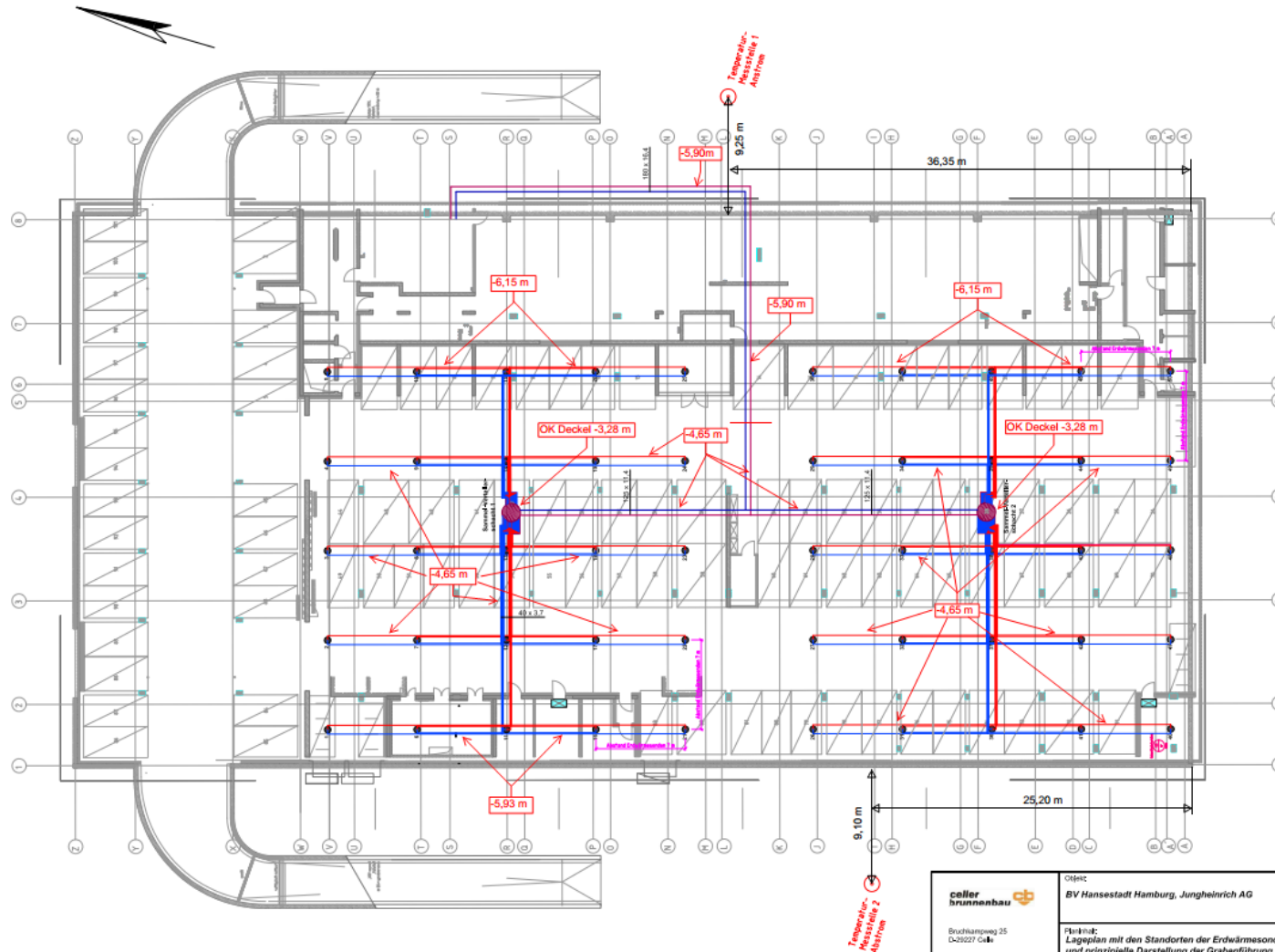
- **FEFLOW** 5.4/6.0 (DHI-WASY GmbH)
FEM-Lösung, spezielles Erdwärmesonden-Modul vorhanden
- **MODFLOW** (Schlumberger Water Services), FDM-Lösung
- **Weitere: HST3D** (U.S. Geological Survey), **SHEMAT** (Clauser, Christoph)

3D-FEM-Simulation



3D-FEM-Simulation

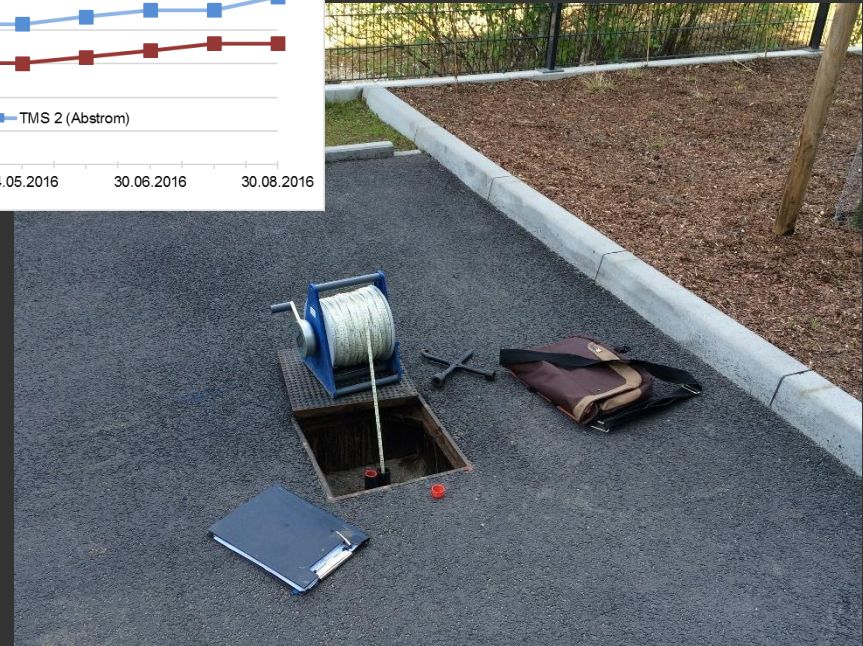
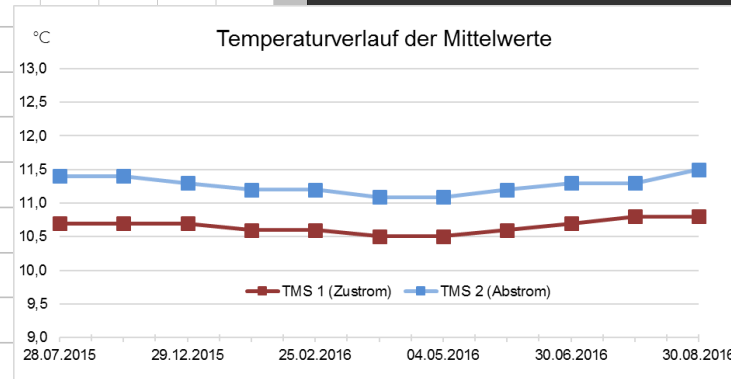
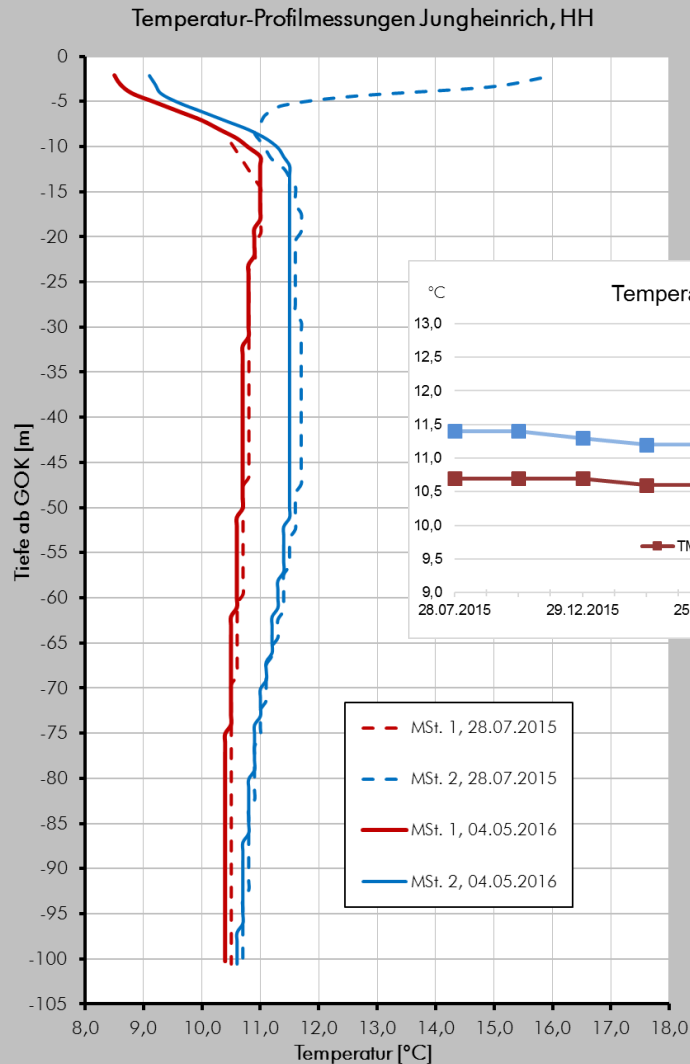




celler brunnentank Bruchkampweg 25 D-29227 Göttingen Telefon +49 (0)5141 88 44 -0 Fax +49 (0)5141 88 44 -10	Objekt: BV Hansestadt Hamburg, Jungheinrich AG	Plan Nr.: f
	Projekt: Lageplan mit den Standorten der Erdwärmesonden und prinzipielle Darstellung der Grabenführung mit hydraulischer Horizontalanbindung	Projekt-Nr.: 1 : 200 (A2)
	Kartengrundlage: architekten prof. Maus MA + assoziierte GmbH	Datum: 20.05.2014
	gezeichnet: Ra	Bearbeiter:

26. Netzwerktreffen Kälteeffizienz Hamburg e.V.
Hamburg, Jungheinrich AG
28.09.2016

Temperaturmonitoring/- überwachung



Vielen Dank!

H.S.W. Ingenieurbüro

Gesellschaft für Energie und Umwelt mbH

Gerhart-Hauptmann-Str. 19

D - 18055 Rostock

Fon: 0049(0)381/252 898 10

Fax: 0049(0)381/252 898 20

Internet: www.hsw-rostock.de

e-mail: info@hsw-rostock.de