

Einsatz großer Wärmepumpen im Industrie- und Gewerbebau

Dipl.-Geol. Rüdiger Grimm

geoENERGIE Konzept GmbH Freiberg



Erdwärme. Planen. Testen. Überwachen.

Erdwärme. Planen. Testen. Überwachen.

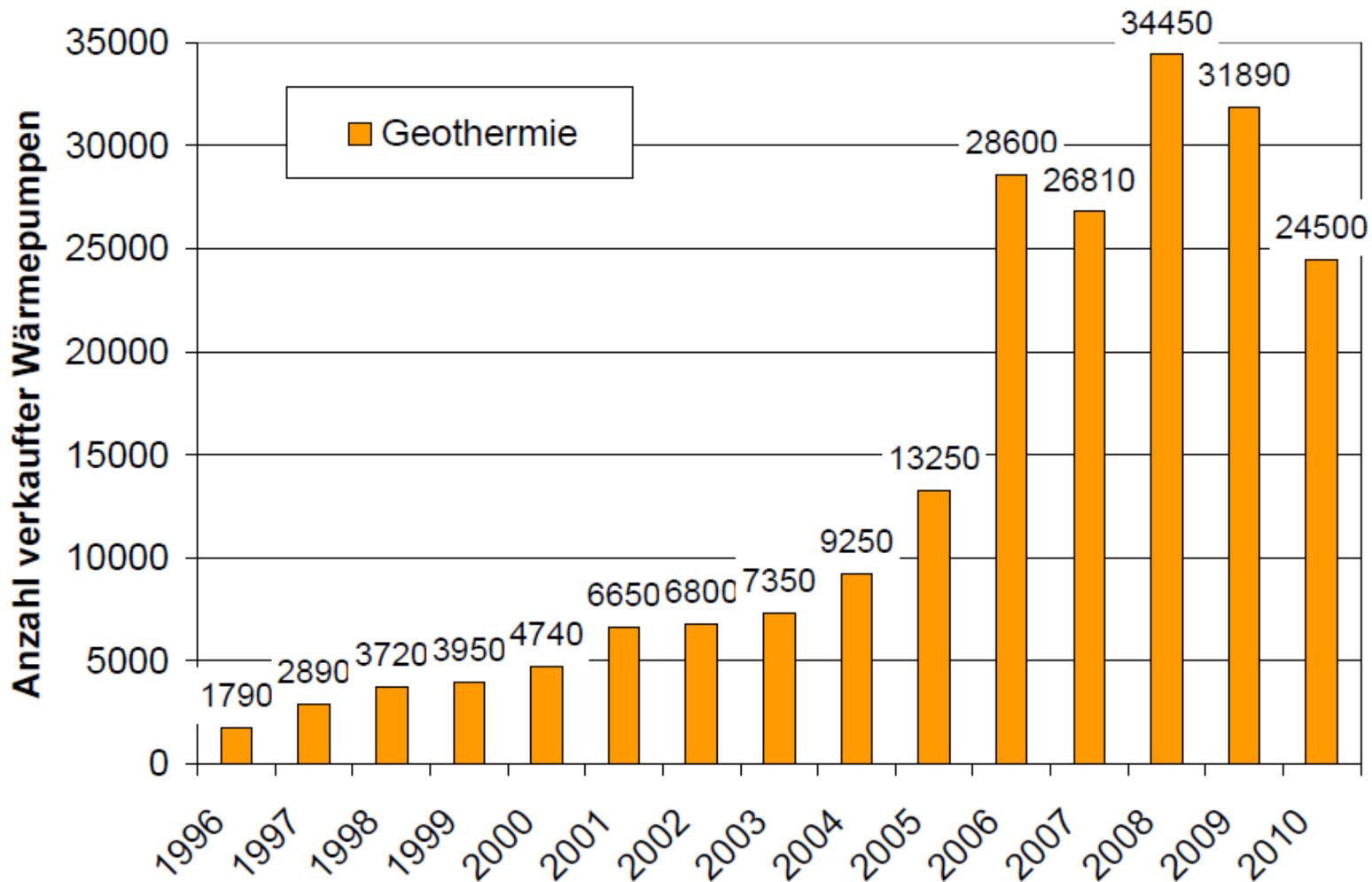
- Fachplaner für Erdwärme
- Dimensionierung Sondenfelder
- Simulation des Untergrundverhaltens
- Geothermische Testarbeiten
- Thermal Response Test, Temperatur-Log
- Bauüberwachung
- Monitoring laufender Anlagen



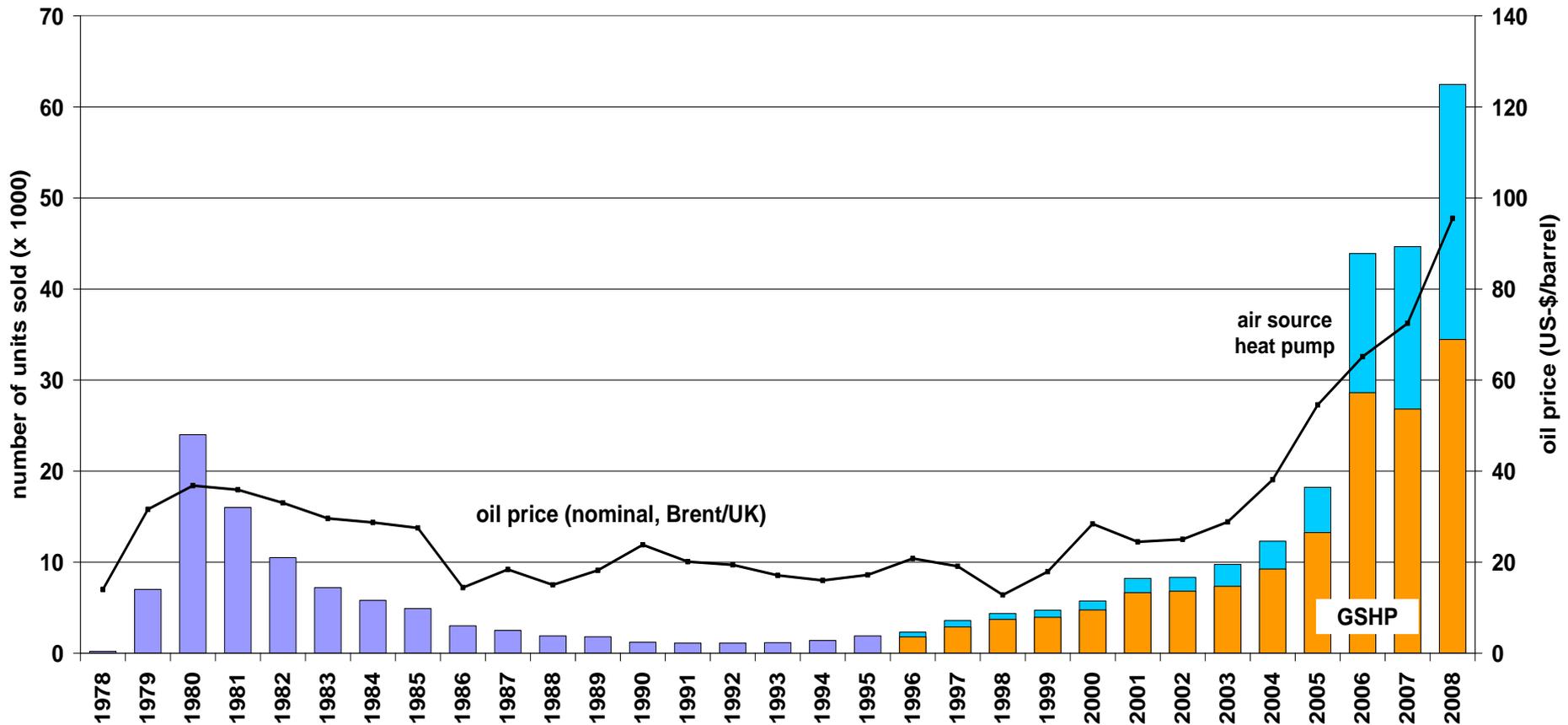
5 Thesen zum Beginn

1. Erdwärme bedeutet gegenüber konventionellen Systemen immer eine zusätzliche Investition.
2. Diese muss durch geringe Betriebskosten in den darauffolgenden Jahren kompensiert werden.
3. Die Amortisationszeit ist einer der wesentlichen Grund für die Entscheidung für oder gegen Erdwärme.
4. Eine fundamentale Rolle zur Erzielung einer hohen Effizienz spielt die Fachplanung.
5. Zur Ermittlung der „Ergiebigkeit“ des Untergrundes müssen entweder Annahmen getroffen oder Testarbeiten durchgeführt werden.

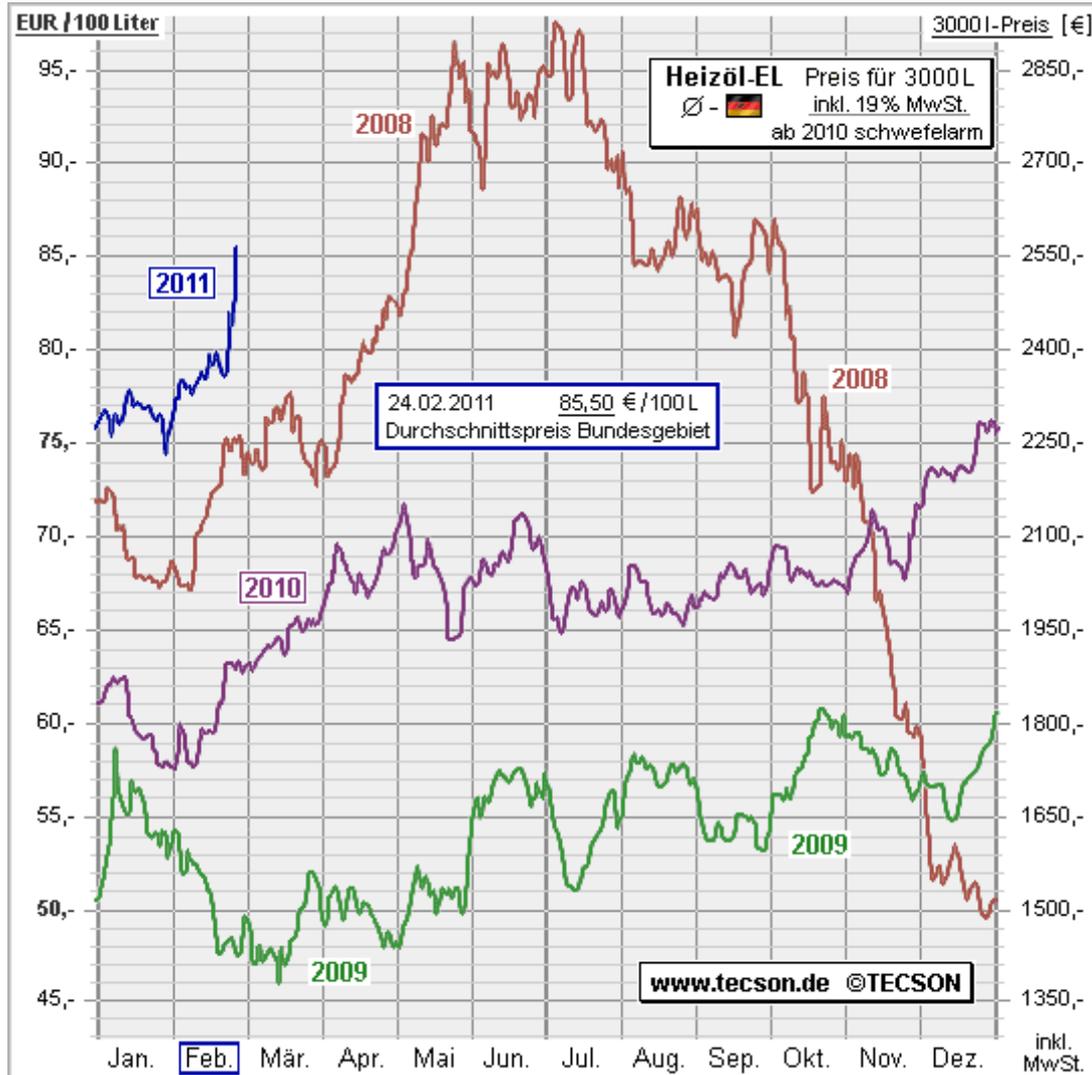
Markt Deutschland



Vergleich mit Rohölpreis



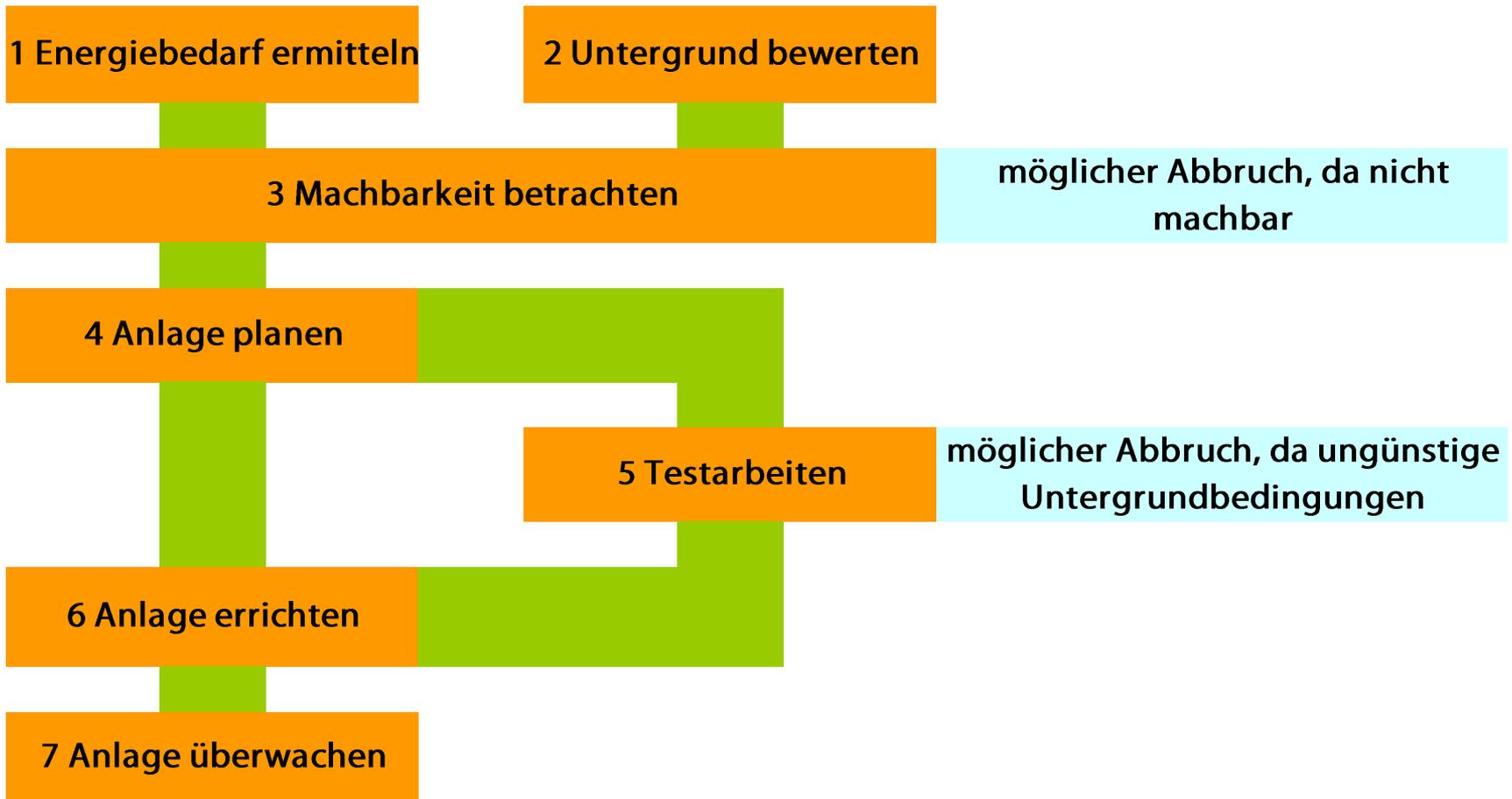
Entwicklung Heizölpreis



Markt seit 2006

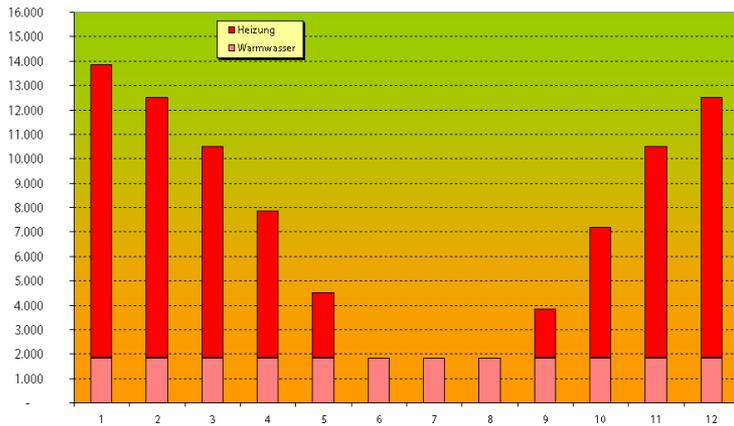
- Anteil großer Wärmepumpen (> 20kW) an der Gesamtzahl erdgekoppelter WP steigt
 - von 9% auf 13% in den letzten 4 Jahren
- Bewusstsein zur Fachplanung ist vorhanden
- Test- und Planungsinstrumente bekannt
- Genehmigungen schwieriger zu erlangen
- Energiepreise stark schwankend
- Preis- und Optimierungsdruck

Projektphasen (7 Schritte zur Erdwärme)

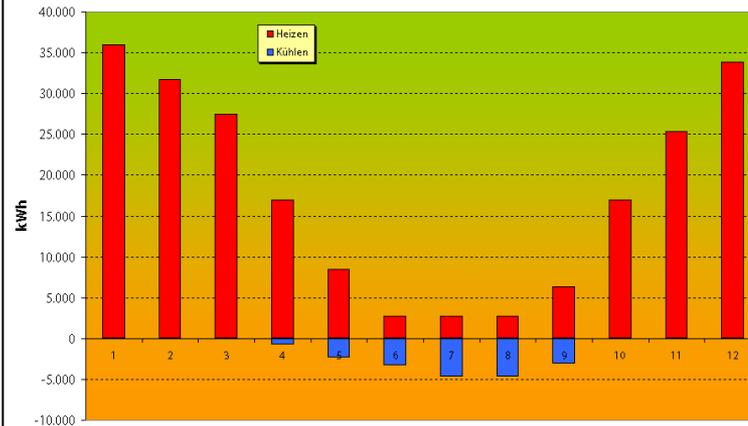


Lastkurven

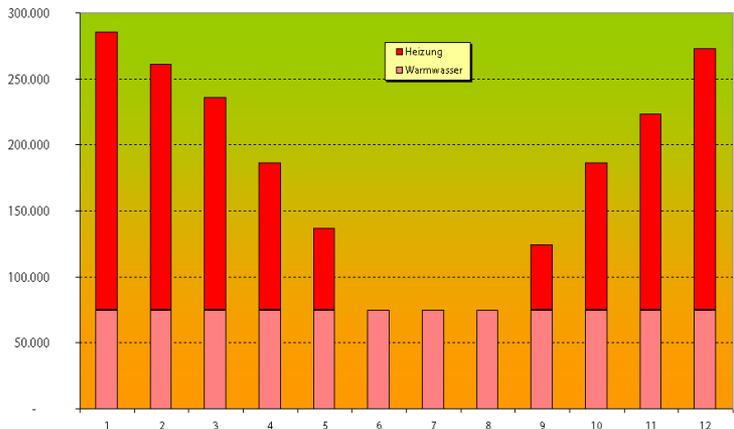
Lastkurve Wohnungsbau [kWh]



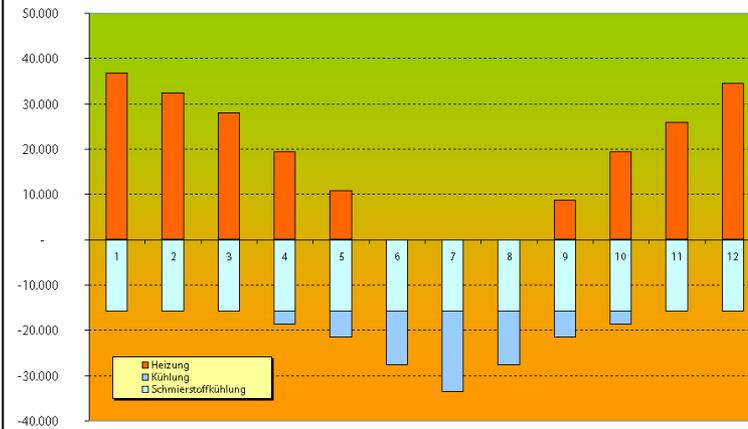
Lastkurve MFH (2 x 58,8 kW)



Lastkurve Hotelkomplex [kWh]



Lastkurve Gießerei [kWh]



Simulation mit Fachsoftware EED

Earth Energy Designer - 886 TALSTRASSE FREIBERG.DAT License for GRIMM, GEOENERGIE KONZEPT GMBH

Earth Energy Designer - EED
Version 3.13
798 configurations (0-797)

Bohrungen und Erdwärmesonden

Erdwärmesonde: DoppelU

Sondentyp: DoppelU

Sondenanzahl: 24

Tiefe: 146.0 m

Sondenabstand: 10.0 m

Bohrdurchmesser: 152.000 mm

Übergangswiderst. Rohr/Verfüllung: 0.0000 (m·K)/W

Wärmeleitfähigkeit der Verfüllung: 2.000 W/(m·K)

Umwälzvolumen pro Bohrung Q: 0.700 l/s

U-Rohr: Außendurchmesser 40.000 mm, Wandstärke 3.700 mm, Wärmeleitfähigkeit 0.420 W/(m·K), U-Rohr-Mittenabstand 82.000 mm

U-Rohr-Mittenabstand: 112 (slider), 56.563 (slider)

Daten- und Ergebnistabelle der letzten Simulation (886 TALSTRASSE FREIBERG.DAT)

DATEN KURZFASSUNG

Kosten	48050 EUR
Anzahl Bohrungen	6
Tiefe der Erdwärmesonde	146.00 m
Erdwärmesondenlänge gesamt	876.00 m

EINGABEDATEN (PLANUNG)

UNTERGRUND

Wärmeleitfähigkeit des Erdreichs	2.900 W/(m·K)
Spez. Wärmekapazität des Erdreichs	2.100 MJ/(m³·K)
Mittl. Temperatur d. Erdoberfläche	7.70 °C
Geothermischer Wärmefluss	0.0600 W/m²

BOHRUNG UND ERDWÄRMESONDE

Sondenanzahl	24 (6 : 2 x 6)
Tiefe der Erdwärmesonde	146.00 m
Abstand der Erdwärmesonden	10.00 m
Sondentyp	DOUBLE-U
Bohrlochdurchmesser	152.00 mm
U-Rohr, Außendurchmesser	40.000 mm
U-Rohr, Wandstärke	3.700 mm
U-Rohr, Wärmeleitfähigkeit	0.420 W/(m·K)
U-Rohr, Mittenabstand d. U-Schenkel	82.000 mm
Wärmeleitfähigkeit der Verfüllung	2.000 W/(m·K)
Übergangswiderst. Rohr/Verfüllung	0.0000 (m·K)/W

THERMISCHE WIDERSTÄNDE

Thermischer Bohrlochwiderstand wird berechnet

Anzahl der Berechnungspunkte: 4

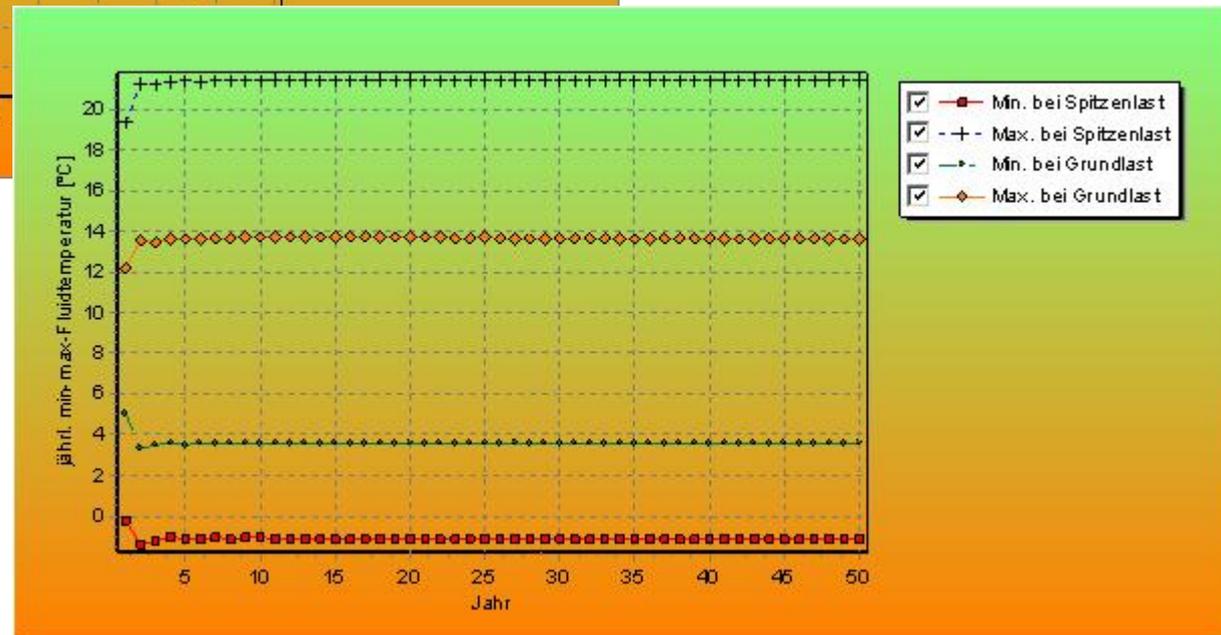
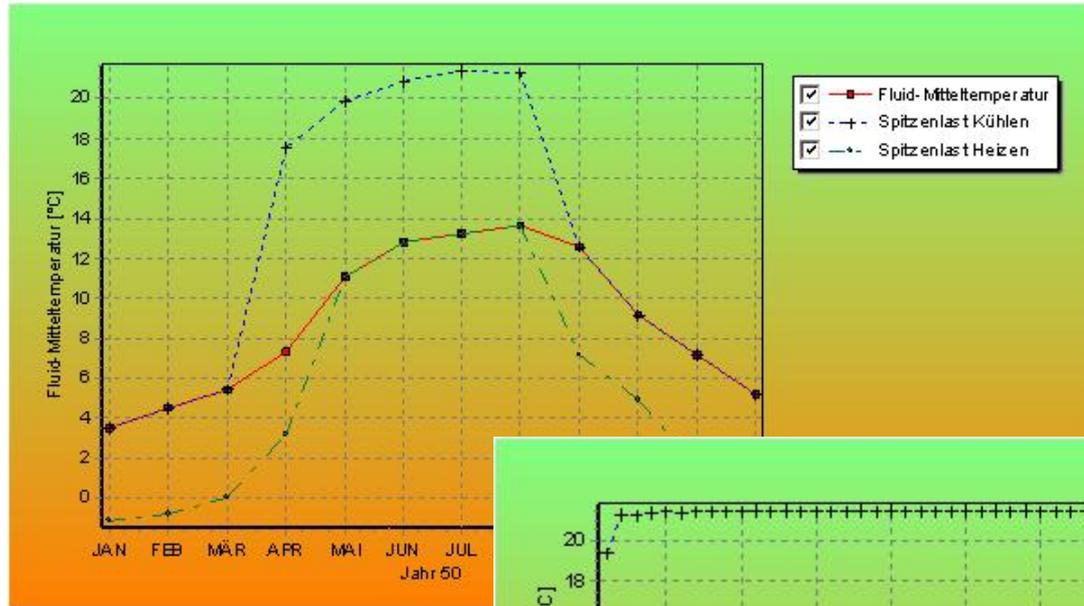
Interner Wärmeübergang zw. auf- und abwärts führenden Ro

Graphik der Fluidtemperaturen

Legend for Fluid Temperature Graphs:

- Min. bei Spitzenlast (dashed line with squares)
- Max. bei Spitzenlast (dashed line with circles)
- Min. bei Grundlast (dashed line with triangles)
- Max. bei Grundlast (dashed line with diamonds)
- Fluid-Mitteltemperatur (solid line with circles)
- Spitzenlast Kühlen (dashed line with squares)
- Spitzenlast Heizen (dashed line with triangles)

Ziel: „ausgeglichener Temperaturhaushalt“



VDI 4640, Blatt 2, Tabelle 2

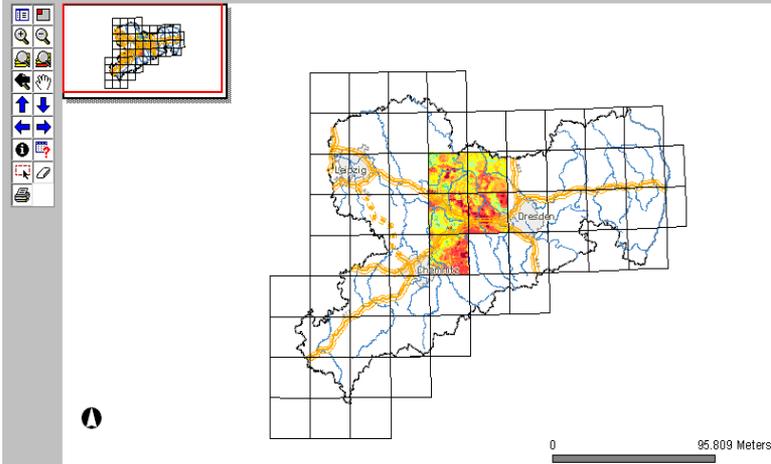
Untergrund	spez. Entzugsleistung	
	für 1800 h	für 2400 h
Allgemeine Richtwerte:		
Schlechter Untergrund ($\lambda < 1,5 \text{ W/m/K}$)	25W/m	20 W/m
Normales Festgestein und wassergesättigtes		
Sedimer		
Festges	<u>NIRGENDWO steht hier 50 W/m!</u> ⁿ _n	
Einzelne Gesteine:		
Kies, Sand trocken	<25 W/m	<20 W/m
Kies, Sand wasserführend	65 – 80 W/m	55 – 65 W/m
Ton, Lehm feucht	35 – 50 W/m	30 – 40 W/m
Kalkstein (massiv)	55 – 70 W/m	45 – 60 W/m
Sandstein	65 – 80 W/m	55 – 65 W/m
Saure Magmatite (z.B. Granit)	65 – 85 W/m	55 – 70 W/m
Basische Magmatite (z.B. Basalt)	40 – 65 W/m	35 – 55 W/m
Gneis	70 – 85 W/m	60 – 70 W/m
Starker Grundwasserfluss in Sand/Kies für Einzelanlagen		80 – 100 W/m

„Mythos“ 50 W/m

- Begriff stammt aus der VDI 4640 und ist international weit verbreitet
- W/m bezeichnet eine „Entzugsleistung“
 - relevant für das Verhalten im Untergrund ist aber die Arbeit (kWh/a)
 - $10 \text{ kW} \times 1.500 \text{ h/a}$ ist nicht gleich $10 \text{ kW} \times 3.000 \text{ h/a}$
- W/m ist ein „Hilfsinstrument“ für den Häuslebauer
 - bezieht sich auf ein „Musterhaus“
 - Lastverteilung über das Jahr kann bei identischen kW verschieden sein
- Gesteine haben (sehr) unterschiedliche physikalische Eigenschaften
 - Wärmeleitfähigkeit (Faktor 4)
 - Bandbreite innerhalb eines Gesteins (Faktor 2)
 - Grundwasser in Lockergesteinen (Faktor 6)

Geothermische Potenzialkarten

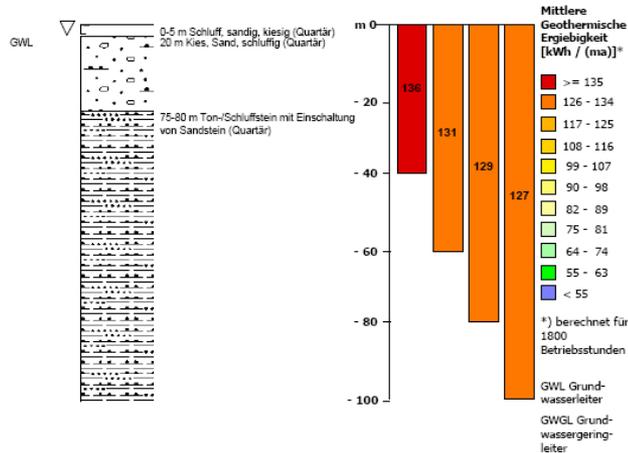
GTK50 Geothermische Potenzialkarte



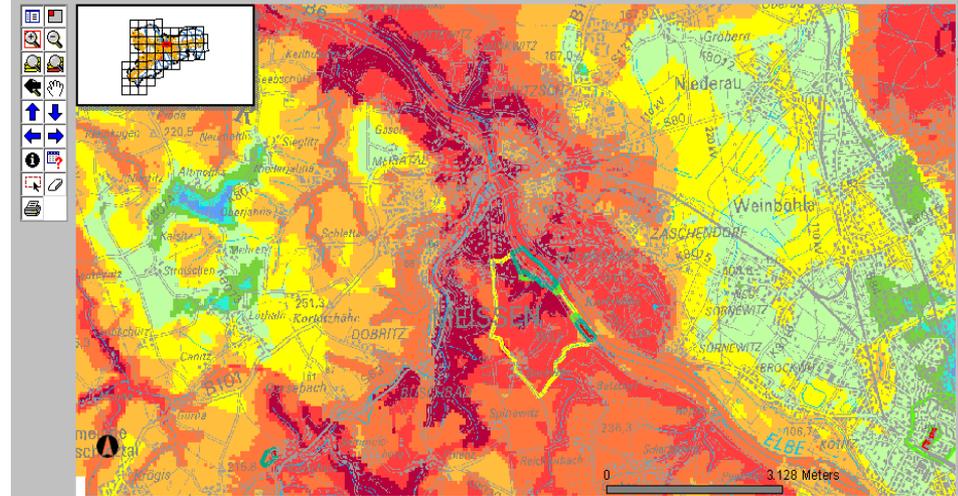
Geothermische Ergiebigkeit für Erdwärmesonden unterschiedlicher Länge



Position: Gauß-Krüger (Rechtswert/Hochwert): 2578504 / 5620988



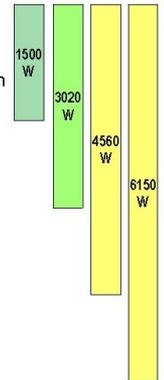
GTK50 Geothermische Potenzialkarte



Interpretationsprofil mit spezifischer Wärmeleitfähigkeit



Spezifische Entzugsleistung pro Teufenintervall für 2.100 Jahresbetriebsstunden



Legende



Quellen: SMUL, GDNRW

Beispiel: MFH Talstraße 5-9 in Freiberg

- 885 m² Wohnfläche
- 12 Wohnungen
- 40 Bewohner
- 90 kWh/m²*a
- Baukosten: 1,36 Mio. €
- Mietpreis: 7,10 €/m²
- NK Wärme: 0,25-0,35 €/m²



Ausgangssituation

- Schätzung des Architekten
 - $75 \text{ kW} = 50 \text{ W/m} \times 1.500 \text{ m} = 15 \times 100 \text{ m}$
 - $89.000 \text{ €} + 10\% \text{ Unsicherheit} = 98.000 \text{ €}$
 - 7,2% der Bausumme
- Heizlastberechnung des Haustechnikplaners
 - 48 kW ohne Warmwasser
 - $39 \text{ Personen} \times 0,3 \text{ kW} = 12 \text{ kW}$
 - incl. Reserve für Abschaltzeiten 5% = 60 kW
 - Jahreswärmebedarf:
 - 65.000 kWh/a Heizung
 - 15.000 kWh/a Warmwasser



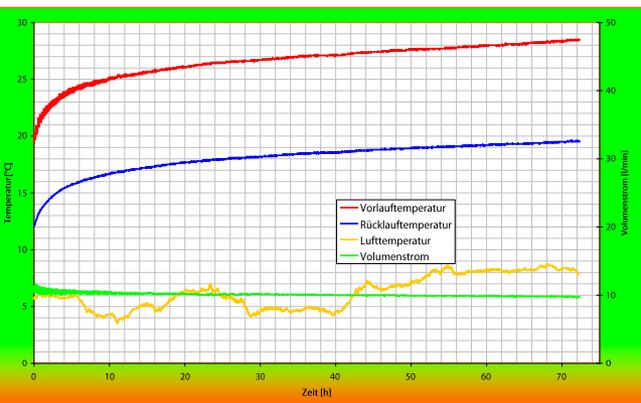
Vorplanung

- Machbarkeitsstudie „Erdwärmennutzung“
 - Untergrund Gneiss
 - Wärmeleitfähigkeit: 2,9 W/m,K
 - Schwankungsbreite laut EED: 1,9 ... 4,0 W/m,K
 - Oberflächenkorrigierte Untergrundtemperatur:
 - Freiberg laut EED: 7,7°C
 - Ergebnis EED: 6 x 140 m = 840 m
 - Kostenschätzung: 55.000 €
 - Vorschlag für Pilotbohrung & Testarbeiten
 - danach Präzisierung EED und Ausschreibung



Thermal Response Test

- Pilotbohrung erforderlich
 - möglichst in der Tiefe des späteren Feldes
- Sonde ist ins spätere Feld problemlos integrierbar
- TRT zur Ermittlung von
 - mittlere Wärmeleitfähigkeit
 - ungestörte Untergrundtemperatur
 - Bohrlochwiderstand
- 72 h Messzeitraum
- wesentliche Planungsgrundlage



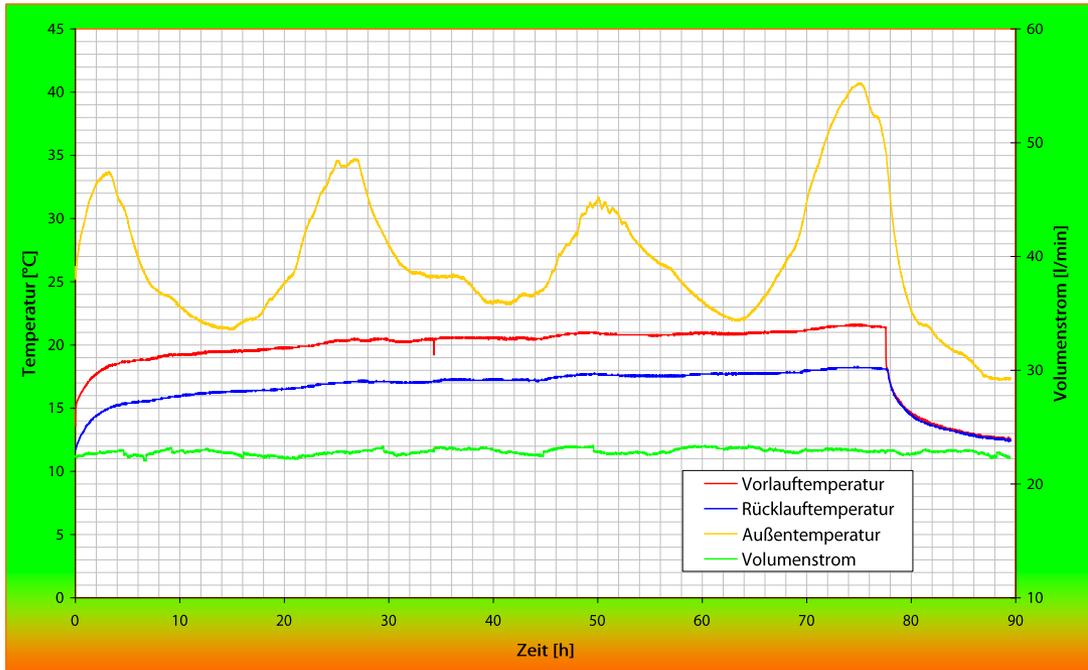
Pilotbohrung & Testarbeiten

bis	Schicht	Wärmeleitfähigkeit λ	
		W/(m*K)	W/Schicht*K
0,2	Mutterboden	0,5	0,00
1,0	Auffüllung, steinig, Ziegel	0,8	0,01
3,0	Gneis, zersetzt	2,6	0,04
6,0	Gneis, verwittert	2,7	0,07
50,0	Gneis, kompakt, trocken	2,8	1,03
120,0	Gneis, kompakt, Kluftwasser	2,9	1,69
mittlere spezifische Wärmeleitfähigkeit λ		2,84	W/(m*K)

Randbedingungen der Messung		
Messzeitraum	14.05.2009 - 18.05.2009	
Gehäuse-Innentemperaturen	17,2 ... 40,7 °C	
Parameter der Bohrung		
Sondnlänge nach Bohrdokumentation	120,0	m
mittlerer Bohrlochdurchmesser	153	mm
Sondentyp	Doppel-U; 32 x 2,9 mm	
Verpressmaterial	Stüwatherm	
Parameter Thermal Response Test		
mittlere Heizleistung	5211,36	W
Heizarbeit	404,59	kWh
Durchsatz	22,86	l/min
Temperaturspreizung	3,27	K
Strömungsregime	turbulent	



Messreihe & Ergebnisse



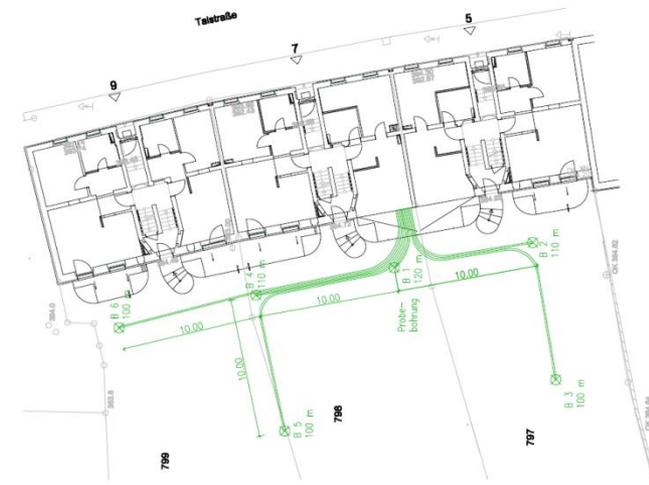
Ergebnisse des Thermal Response Tests

mittlere ungestörte Untergrundtemperatur	T_{mittel}	10,74 °C
ground surface temperature	T_{ground}	9,69 °C
effektive Wärmeleitfähigkeit	λ^*	3,43 W/m,K
thermischer Bohrlochwiderstand	R_b	0,085 K/W/m
Sondenlänge (berechnet aus TRT)	l_{TRT}	120 m



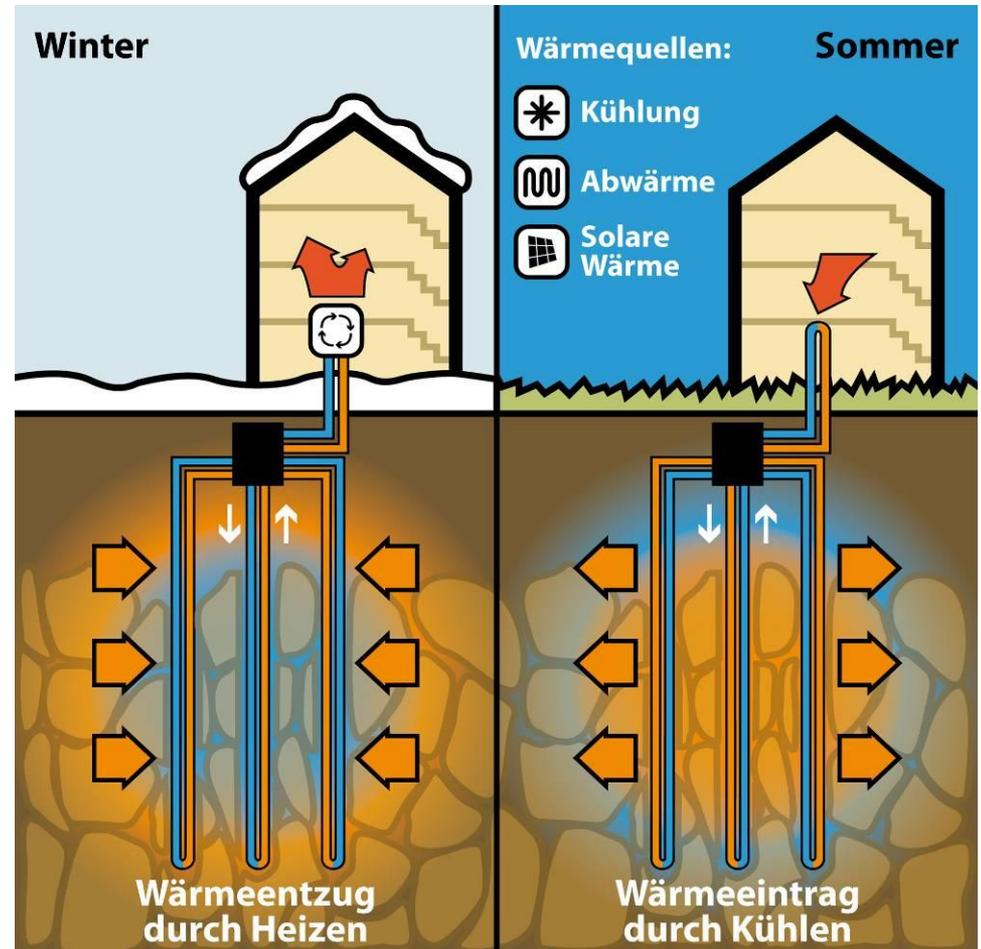
Detailplanung

- Reduzierung der Bohrmeter
 - 6 x 107 m = 640 m
 - Vergleiche:
 - 1.500 m (Architekt)
 - 840 m (Vormodell)
- Optimierung des Sondenfeldes
 - Hydraulik
- Präzisierung Kostenschätzung
 - 42.000 €



Heizen & Kühlen

- Heizen im Winter mit WP
- Direkte Kühlung im Sommer
- Amortisationszeit sinkt deutlich
- hocheffizient
- „Untergrundspeicher“



ACTech GmbH Freiberg - Kühlung Gießerei



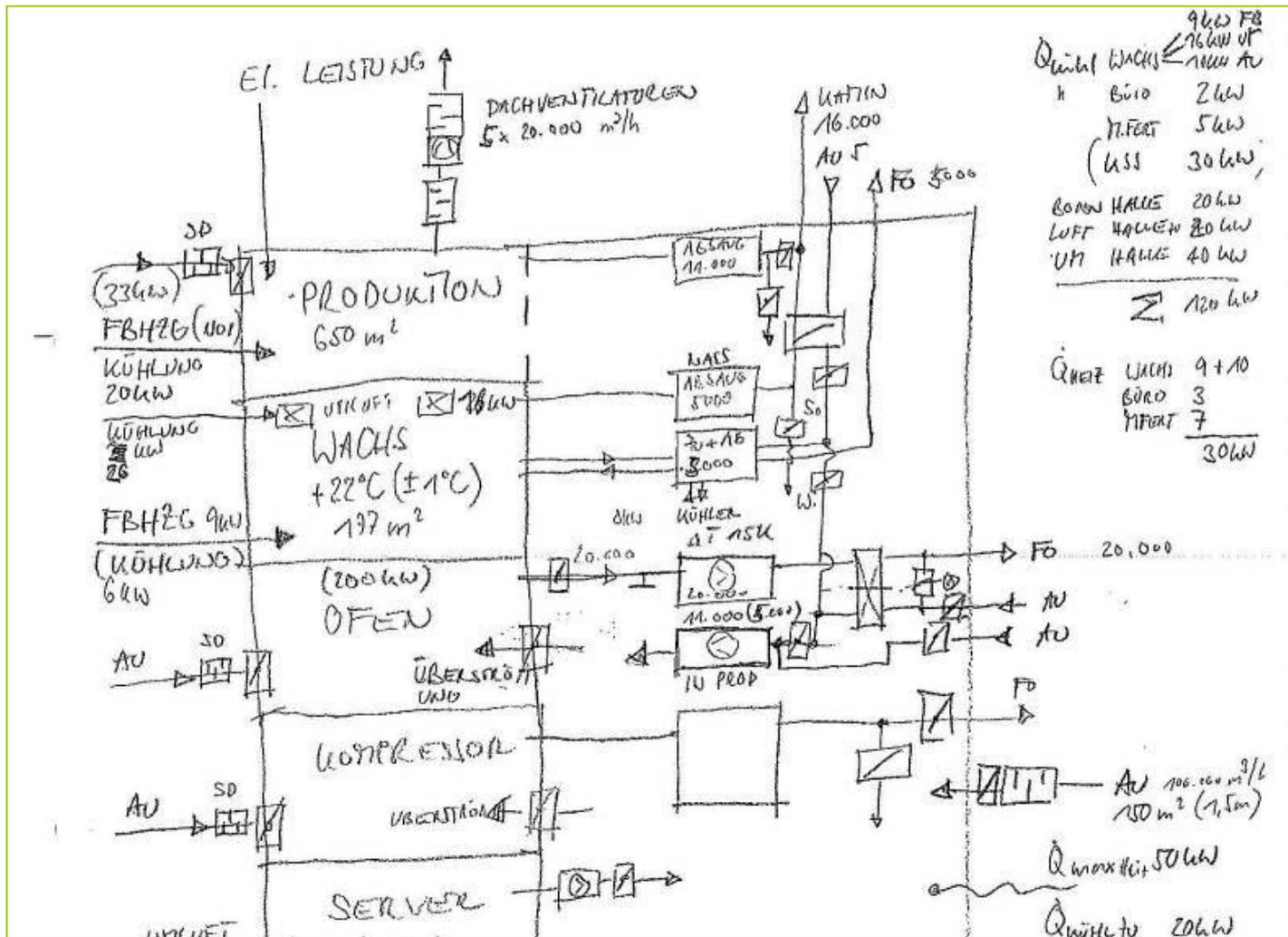
Modul 2008

- Fläche: 1600 m²
- 24 Bohrungen
- 105 bis 145 m

Modul 2007

- Fläche 1100 m²
- 12 Bohrungen
- 125 m

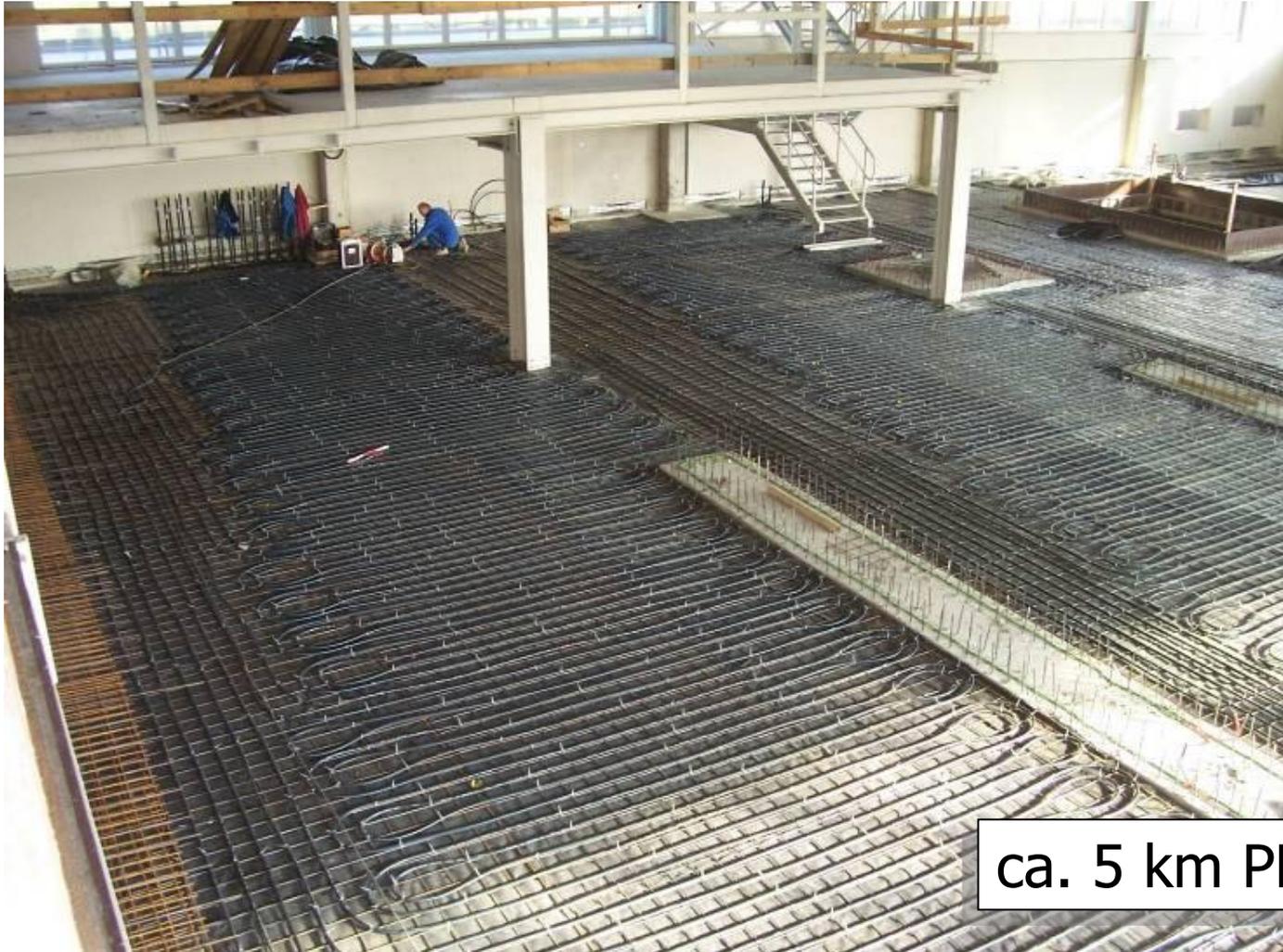
Haustechnikplanung - Schnittstelle



Bau Modul 2007

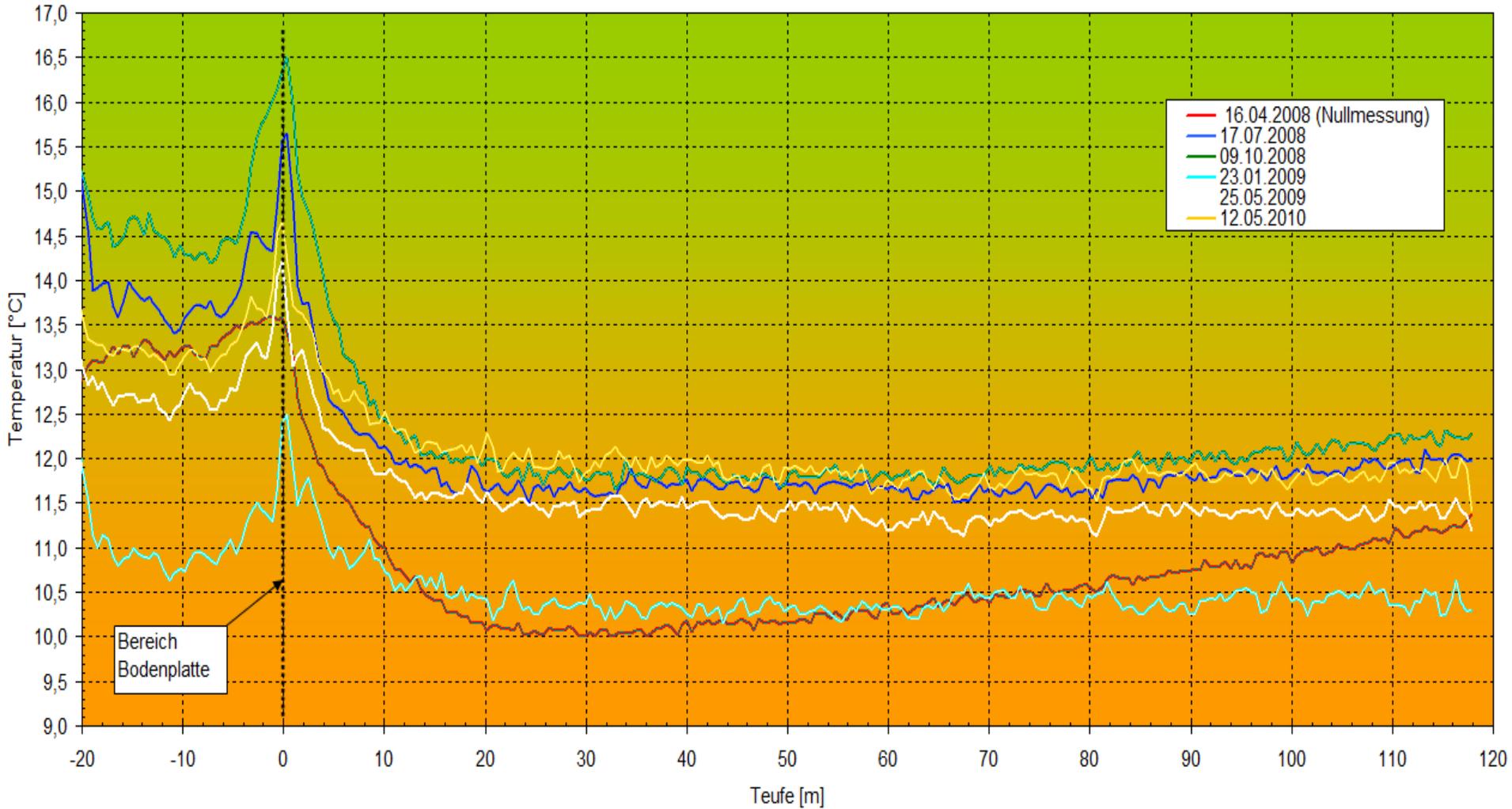


Bauteilaktivierung

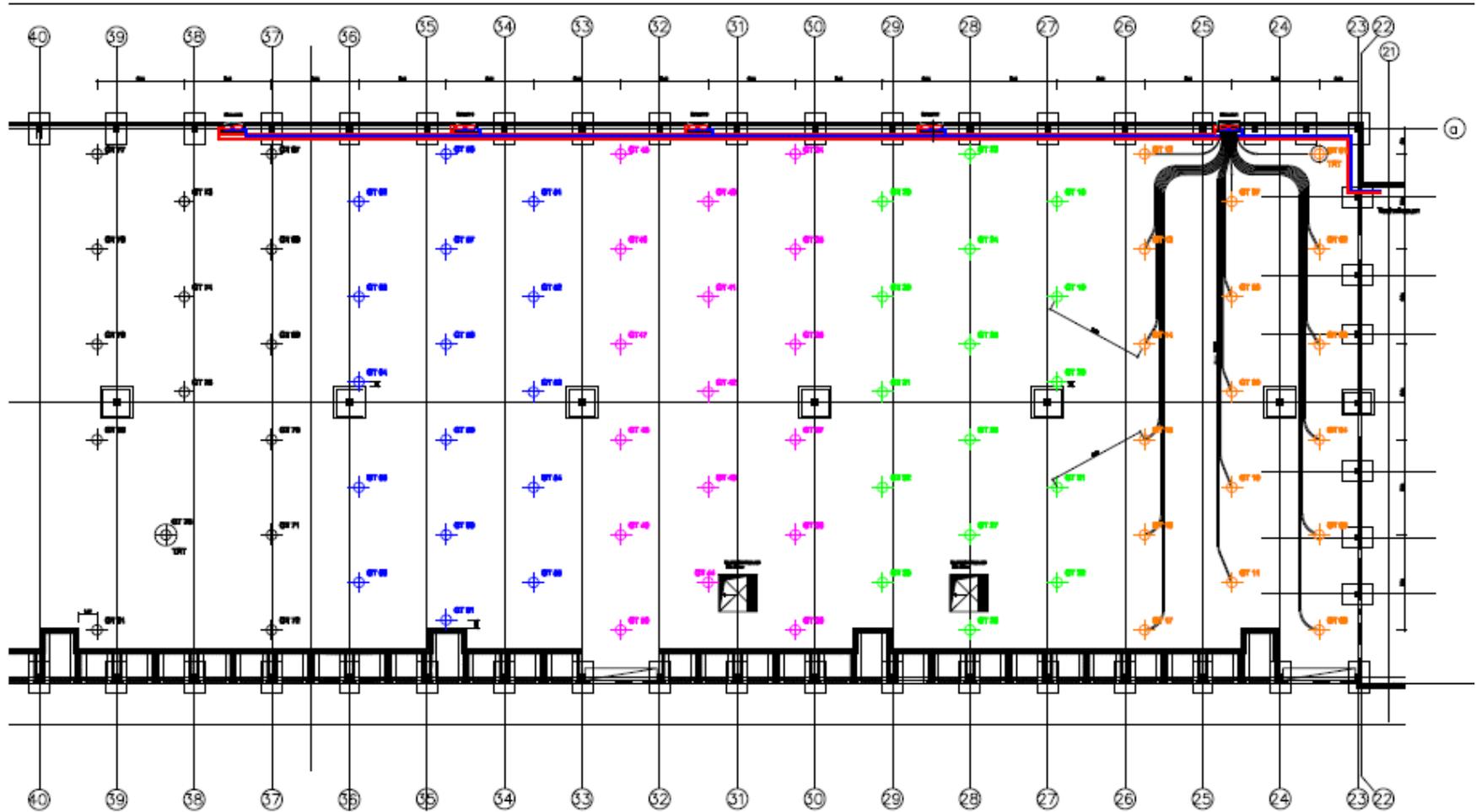


ca. 5 km PE-Rohr verlegt

Messergebnisse Monitoring



Anordnung der Erdwärmesonden

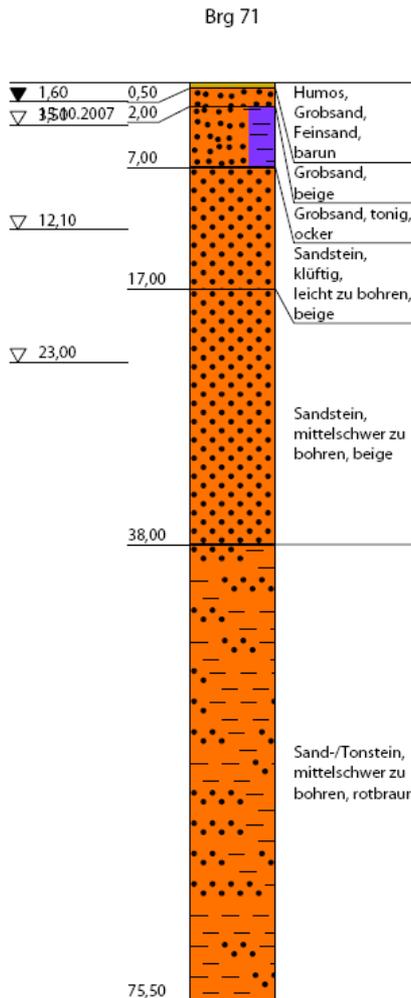


PANALPINA Weltransport (Deutschland) GmbH



- Nürnberg
- Logistikhalle & Bürogebäude
- 6.000 Bohrmeter (81 Bohrungen á 75 m)
- Erdwärmesonden unterhalb der Bodenplatte
- 5 Verteilergruppen á 15-17 Sonden
- 560 kW Heizen & 275 kW Kühlen

Geologisches Profil



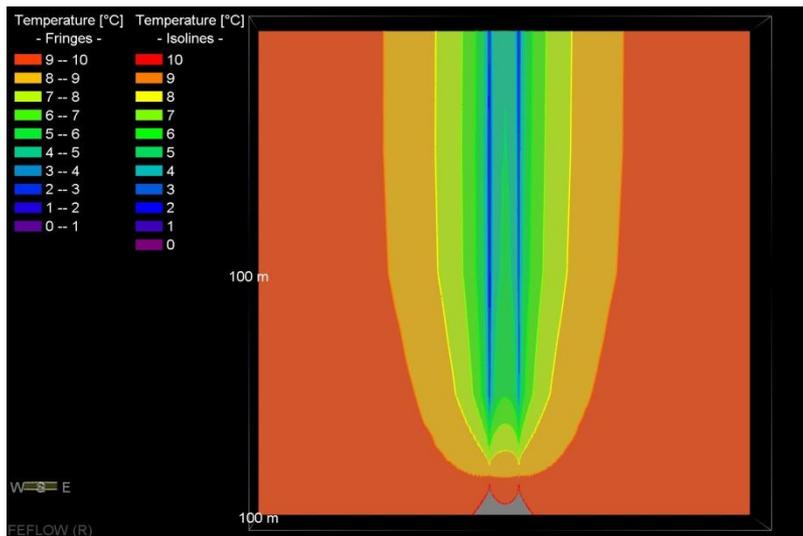
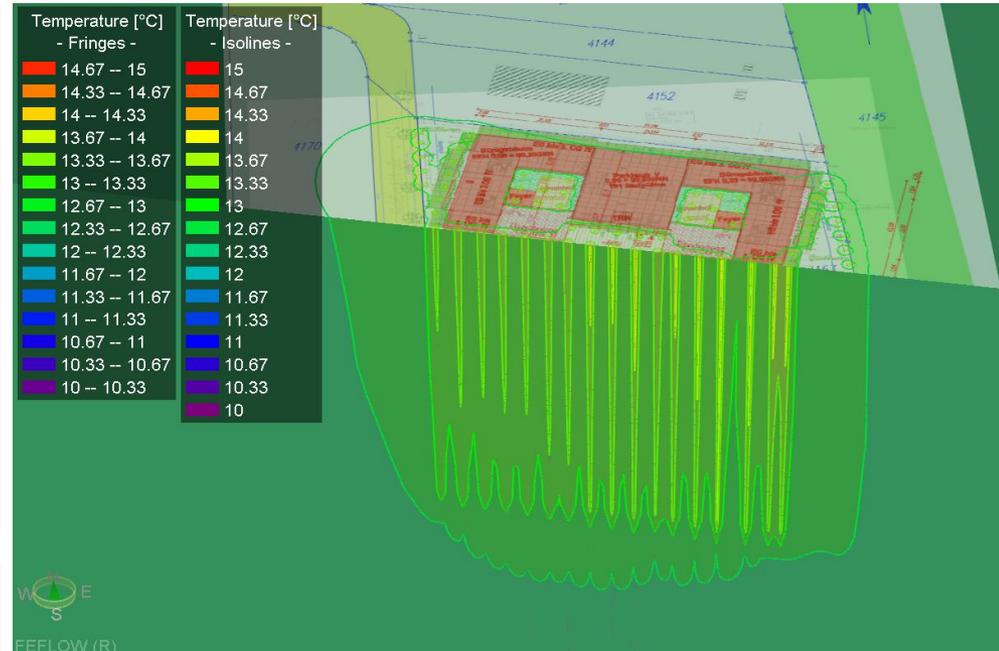
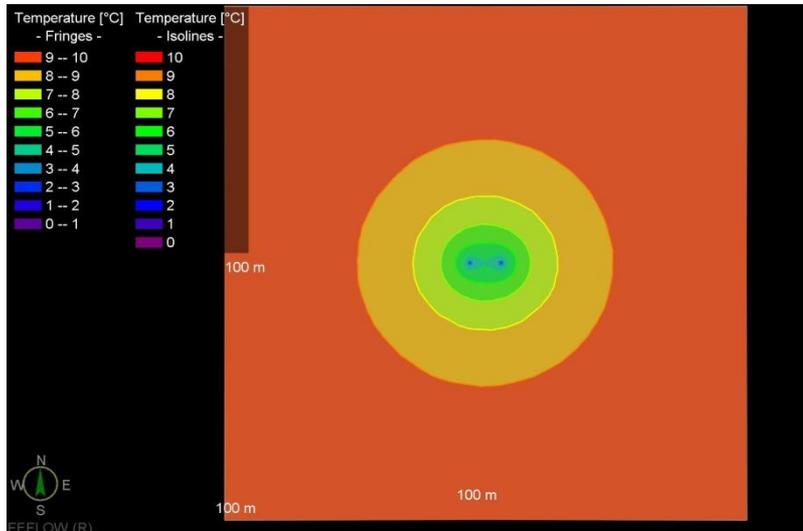
- 0 - 4 quartäre Deckschichten
- ob. GW-Stockwerk
- 4 - 25 Sandsteine mit Toneinschaltungen (Blasensandstein)
- ob. GW-Stockwerk
- 25 - 55 Sandstein/Tonstein-Wechselfolge (Lehrbergsschichten)
- 55 - 60 Sandsteine (Schilfsandstein)
- 60 - 85 Feinsandsteine (Estheriensschichten)
- 85 - Feinsandsteine und Tonsteine (Benker Sandstein)
- unt.-GW-Stockw.

Sicherheitszone über dem unteren Grundwasserstockwerk: 10 m

Thermohydrodynamische Simulation

- Grundlage für
 - den wasserrechtlichen Bescheid oder
 - die bergrechtliche Erlaubnis
- zum Nachweis des thermischen Einflusses auf die Nachbargrundstücke
- Grenzwert: in der Regel 1-2K an der Grundstücksgrenze
- Grundlage für Monitoring (Messstellennetz)
- komplizierte dynamische Modelle mit vielen Annahmen
 - Geologisch-hydrogeologische Modellkörper
 - Grundwasserfließrichtung, -gefälle, -geschwindigkeit
 - ...
- Bundesländer-abhängig
 - bei Großprojekten (was ist „groß“?)
 - Berlin: grundsätzlich ab 30 kW

Thermohydrodynamische Simulation

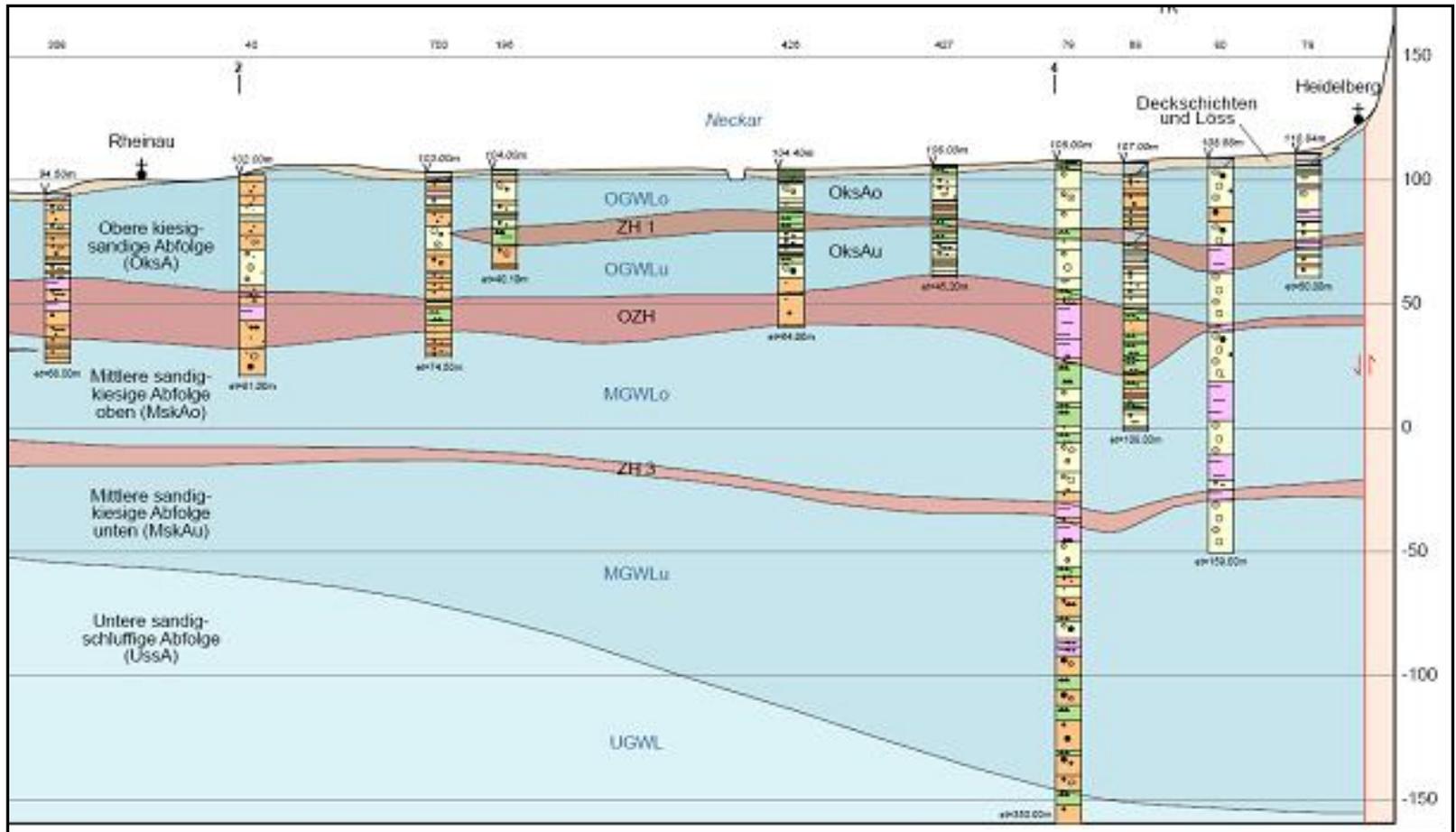


AURUM 05 in Hirschberg (GOLDBECK)

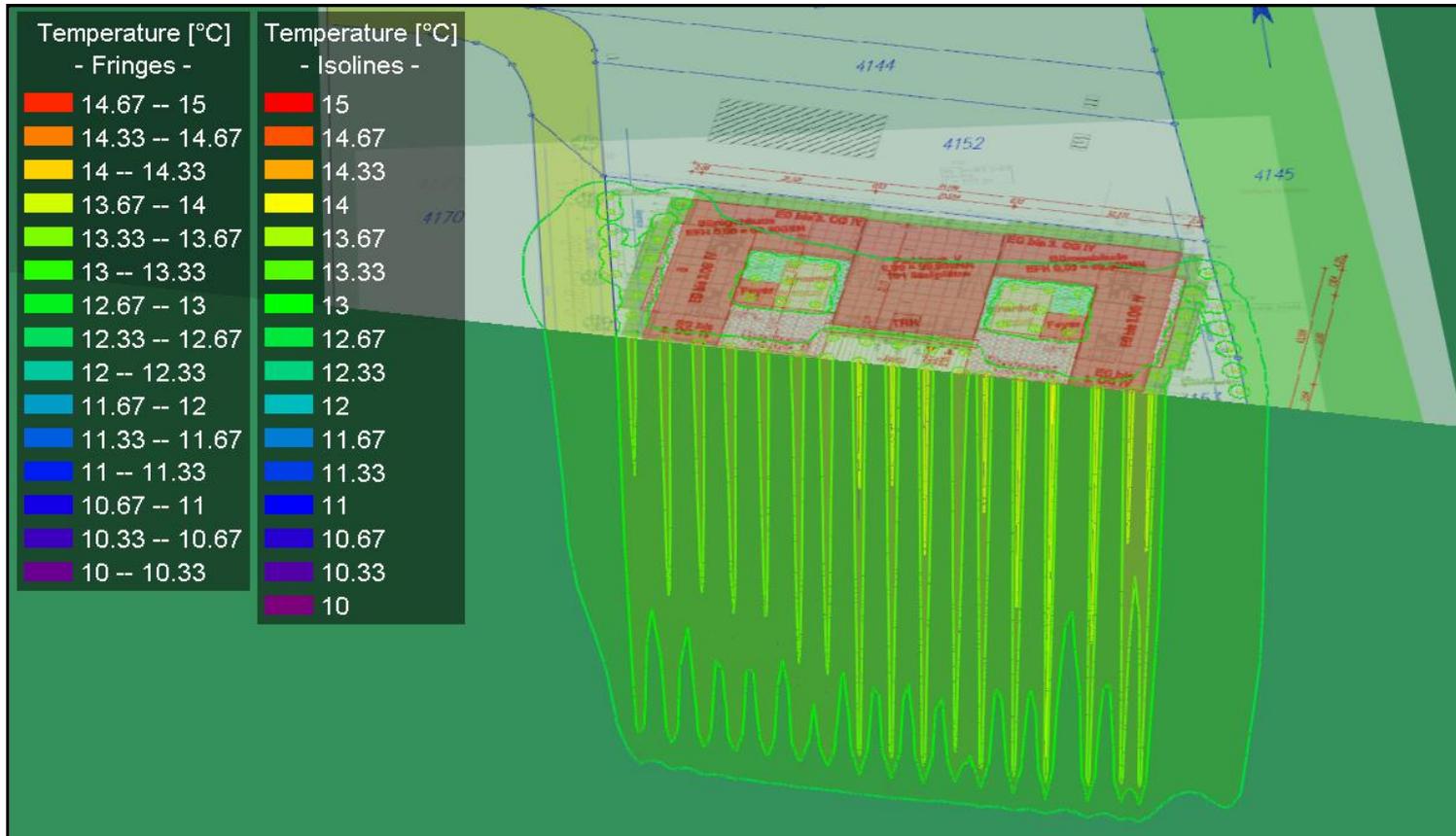


**Invest: 12 mio. €, 3.700 Bohrmeter, 8.000 m² Bürofläche
Parkhaus 193 PKW**

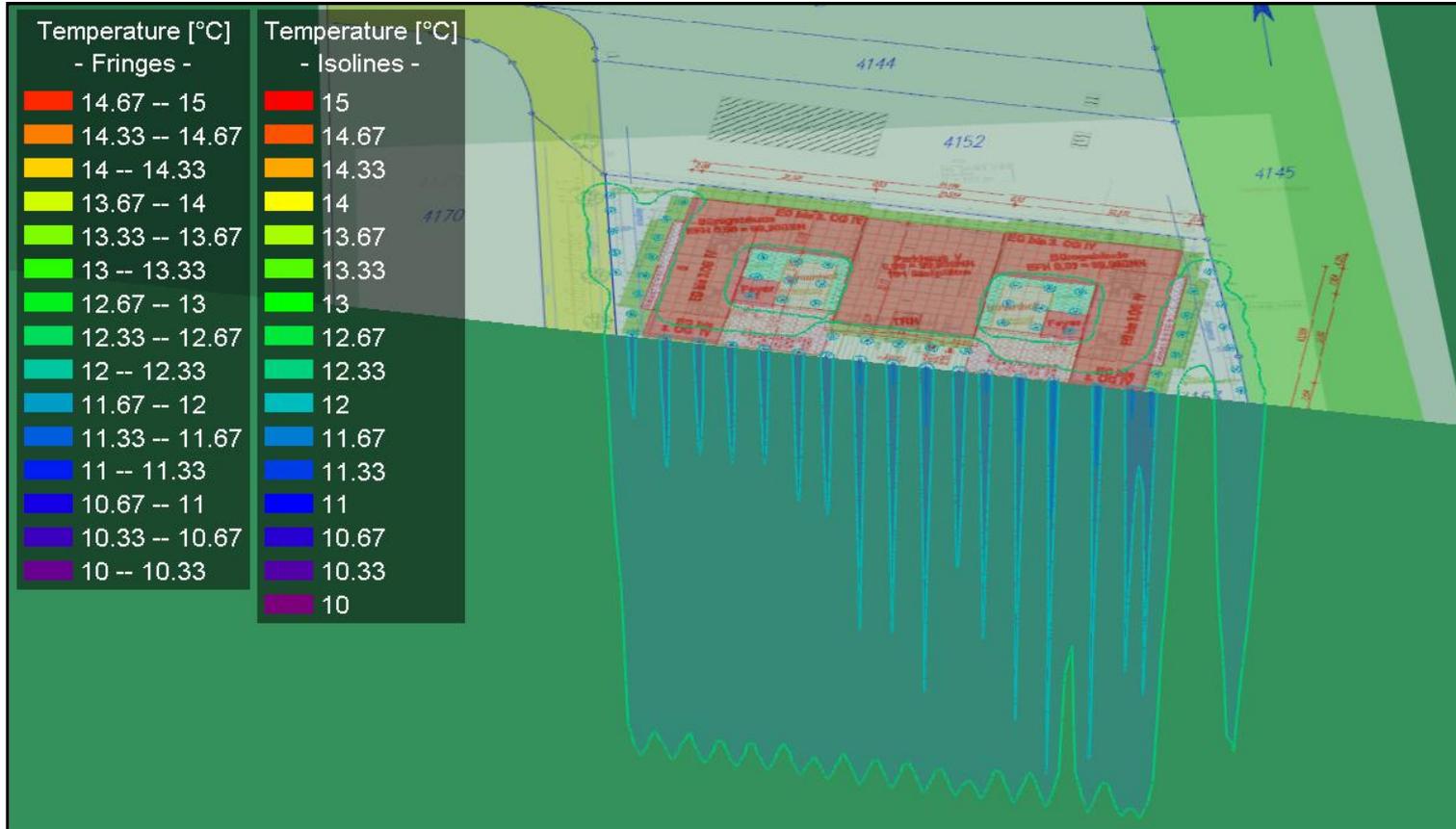
Hydrogeologie: Geothermie nur im 1. GWL



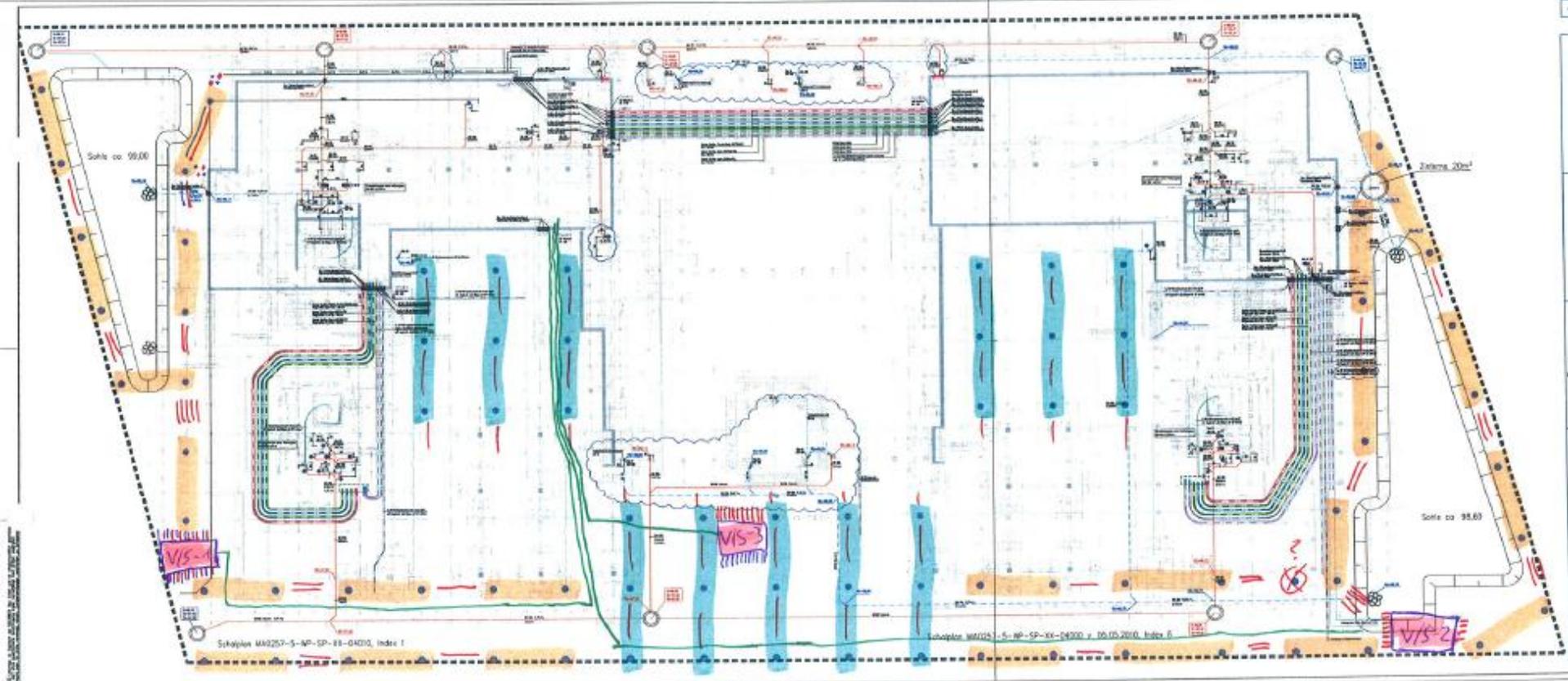
Feflow: Kühlen im Sommer



Feflow: Heizen im Winter



Hydraulik - Reihenschaltung von 2 bzw. 3 Bohrungen

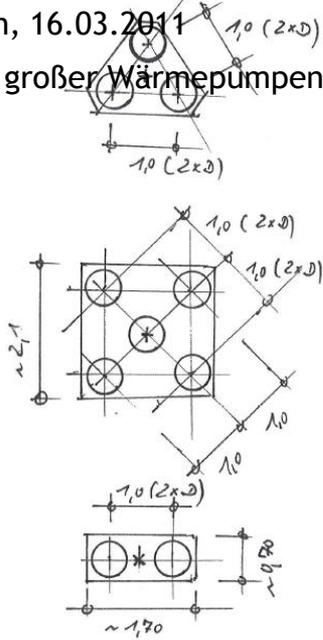


Dresden, 16.03.2011

Einsatz großer Wärmepumpen im Industrie- und Gewerbebau

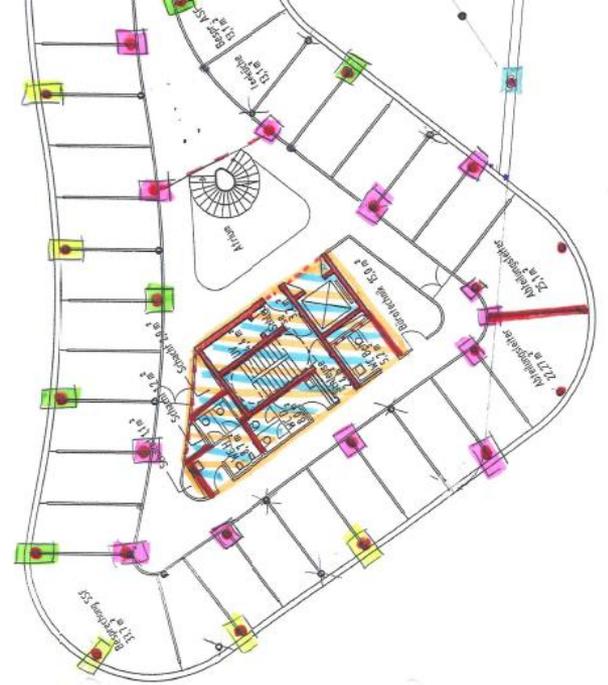
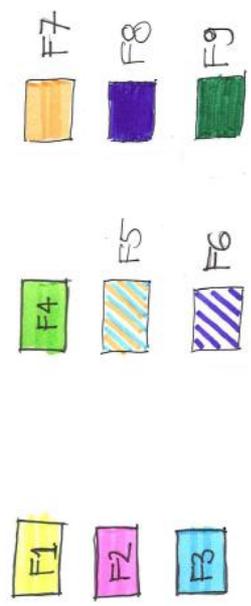
F1

F2



$$\mu \approx 1:75$$

Dicke der
Pfeilkopffundamente:
 $h = 120 \text{ cm}$



Digitaler Atlas Nord

Startseite Impressum Copyright Hilfe

Suche

Themenauswahl
Bitte auswählen...

Legende Themenliste

Digitaler Atlas

BSU Bohrungen:

Bohrungen (>1:10.000)

Geothermie (>1:50.000)

BSU Geothermie:

Geologie Genese

Geologie Zeitalter

Geologie Kaltzeiten

Geologie Petrographie

Geologie Kuerzel

BSU Geothermie:

Geothermie_40

Geothermie_60

Maßstab: 1:5000



Cityliving XXL in Frankfurt a.M.



- 3 Bauabschnitte (2008 → ca. 1000 m / 2010 → ca. 1800 m / 2011 → ???)
- 230 kW für BA 1+2
- kein Glykol, Ökostrom
- Hybridsystem (Erdwärme, Solarwärme, Gastherme)
- Contractinglösung für SW Frankfurt a.M.

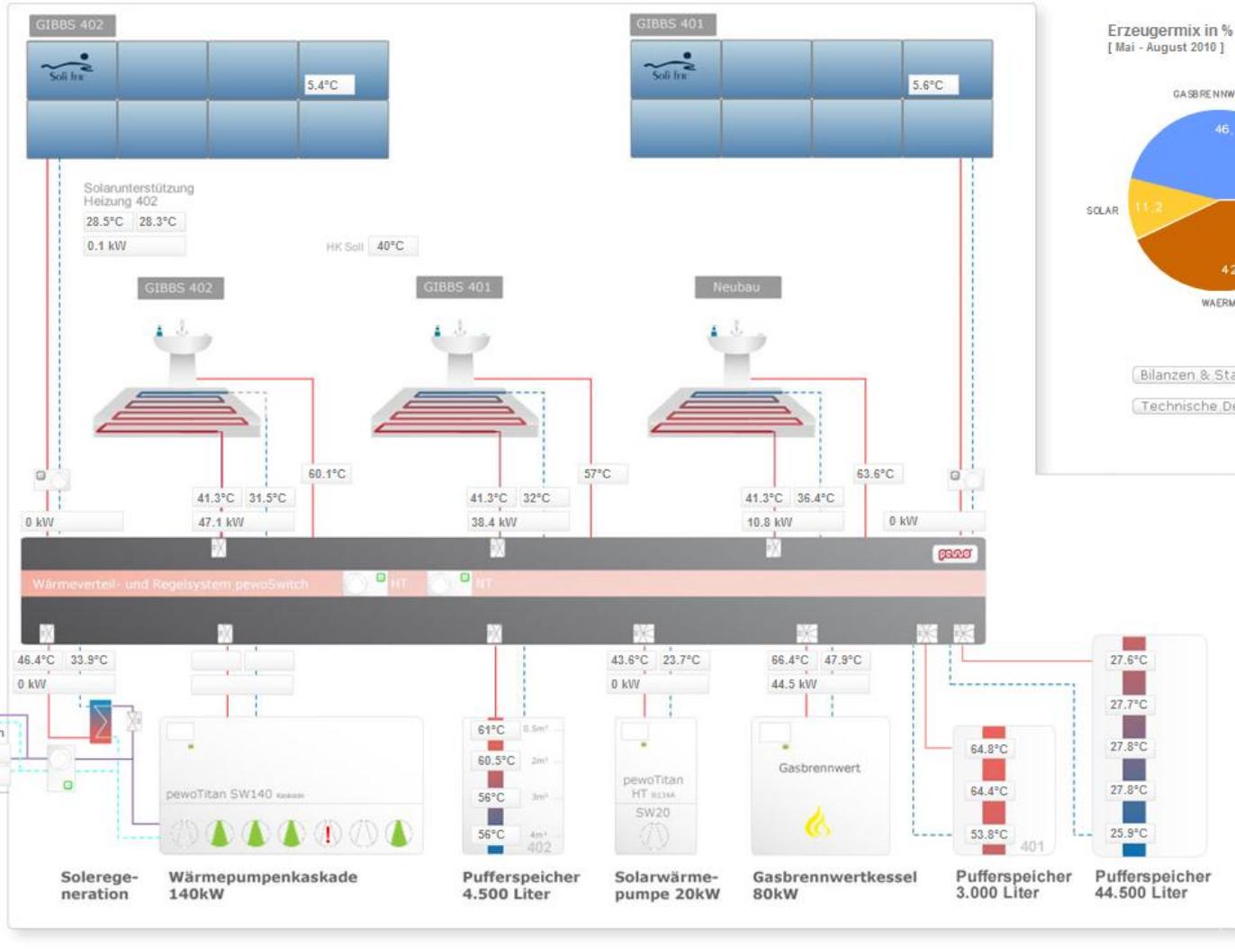
Beispiel Frankfurt a.M. - Bilanz 2009/10

Solarertrag + Ertragserhöhung	137.838 kWh	(27 %)
Wärmepumpen	286.689 kWh	(57 %)
TW-Wärmepumpe	8.919 kWh	(2 %)
Gastherme	68.805 kWh	(14 %)
Summe	502.252 kWh	

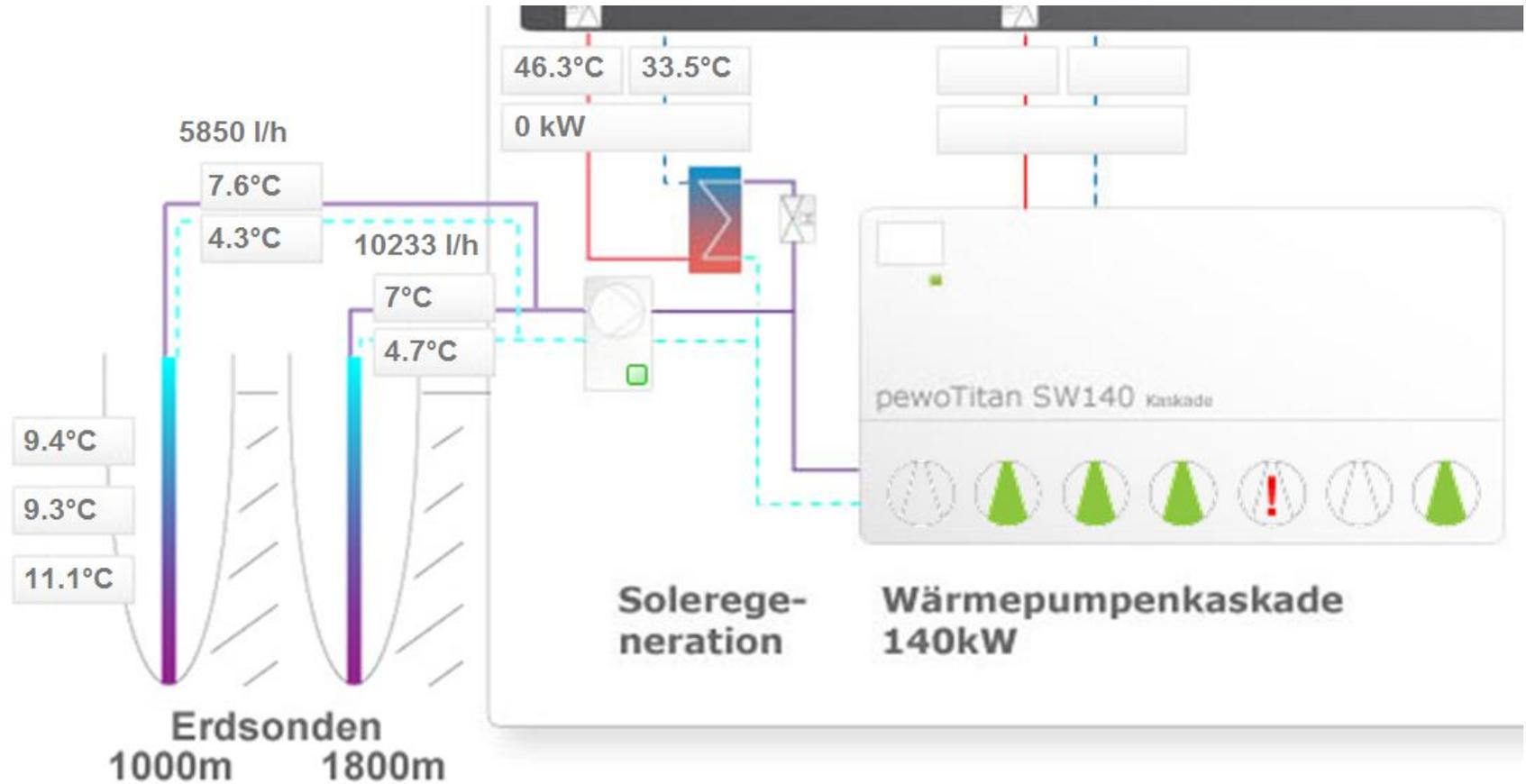


Online-Monitoring

Aussen
3.3°C



Online-Monitoring



Schlussfolgerungen

- Erdwärmennutzung ist am Markt etabliert
- Kombination Heizen & Kühlen besonders wirtschaftlich
- ausreichend Planungs- und Testinstrumente verfügbar
- sensibler Umgang bei Genehmigungen
- „schlafender Riese“



Keine Angst!

Es ist genug

Erdwärme für alle da!

geo**ENERGIE**
(Konzept)

www.geoenergie-konzept.de