

Grundlagen, Potentiale und Möglichkeiten der oberflächennahen Geothermie

Dipl.-Ing. Jens-Uwe Kühl

Ges

www.hsw-rostock

Gründung: 199

(durch 2 Mitarbeiter d
des Rates des Bezirk

Schwerpunkte

...seit 1995 ers

...heute: Planu
Gebäude-Er

...seit 2005 Sp

Kunden: nation
privat

HOME UNTERNEHMEN NEWS KONTAKT LINKS

H.S.W. Ingenieurbüro
Gesellschaft für Energie und Umwelt mbH

REGENERATIVE ENERGIEN	GEOTECHNIK	GEOLOGIE	UMWELTSCHUTZ
Geothermie / Erdwärme	Baugrunduntersuchungen	Hydrogeologie	Altlasten/Asbest
Umwelwärme	geotechnische Feldversuche	Küstenschutz	Umweltgeologie
Photovoltaik	Erdstofflabor	Lagerstättegeologie	Renaturierung
Innovationen	Spezialleistungen	Genehmigungsverfahren	Bodenmanagement

Sie suchen ein qualifiziertes, kompetentes, zuverlässiges, flexibles und innovatives Ingenieurbüro???
... Ihre Suche hat ein Ende ...

Herzlich Willkommen beim Team der H.S.W. Ingenieurbüro Gesellschaft für Energie und Umwelt mbH

Unsere Geologen und Ingenieure beraten und planen in den weitgefächerten Bereichen der Energie und Umwelt.

Was gibt es Neues:

8 / 2012

Die H.S.W. GmbH übernimmt Planungsleistungen für den Neubau "AIDA-HOME" der AIDA Cruises im Rostocker Stadthafen. Die Fachbereiche Geotechnik, Altlasten und Geothermie sind bei dem Bauvorhaben involviert ...
[mehr lesen](#)

6 / 2012

Für die Erweiterung des Seehafens in Rostock ist die Baufreimachung verschiedener Flächen erforderlich. Die H.S.W. GmbH ist hier mit der geotechnischen Begleitung sowie mit dem Bodenmanagement beauftragt ...
[mehr lesen](#)

so erreichen Sie uns:

per Telefon: 0049(0)381 / 252898-0
per Fax: 0049(0)381 / 252898-20
per e-mail: info(at)hsw-rostock.de

unser Standort: Gerhart-Hauptmann-Str. 19
D-18055 Rostock

mbH



l-Simulationen
haften,

15. Netzwerktreffen „Kälteeffizienz“
Hansestadt Hamburg
15.05.2013

Warum den „oberflächennahen“ Untergrund thermisch nutzen?

1. Stabile + niedrige Betriebskosten
2. Hohe Lebensdauer und nachhaltige Werterhöhung der Immobilien
3. Doppelnutzung zum **Heizen** + **Kühlen**
4. Gegenwärtige und zukünftige Anforderungen aus Gesetzen und Verordnungen (EnEV, EEWärmeG) zur Primärenergiereduzierung
5. Politischer Konsens zur Nutzung der Geothermie
6. Förderinstrumente und Investitionsprogramme (KfW, BAFA, spezifische Länderprogramme)

Was ist Geothermie?

DEFINITION :

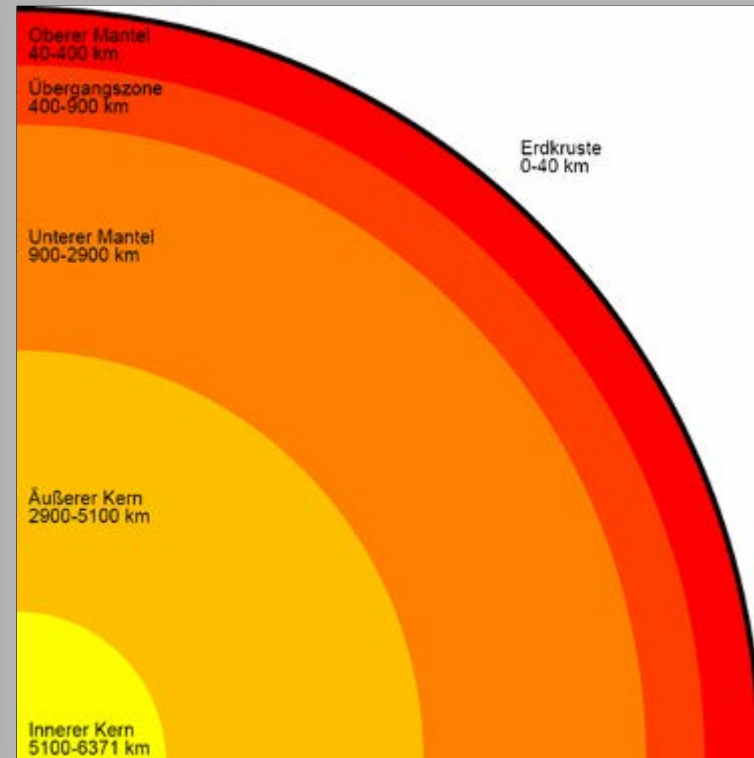
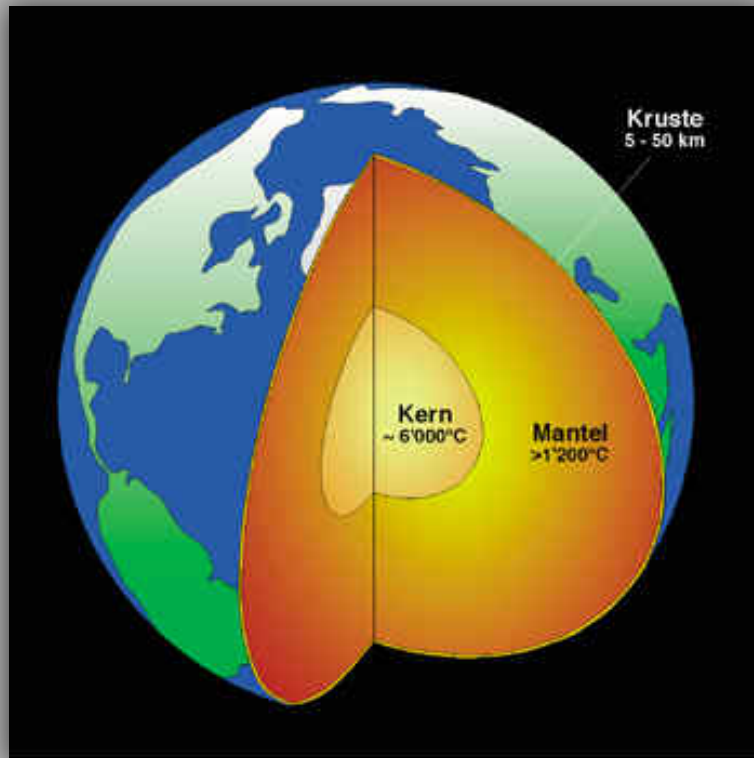
Geothermische Energie ist die in Form von Wärme gespeicherte Energie unterhalb der Oberfläche der festen Erde.

(VDI 4640 Teil 1 „Thermische Nutzung des Untergrundes“+ Stand der Technik)

Herkunft der Erdwärme

Gravitationsenergie / Ursprungswärme

Energie aus dem Zerfall radioaktiver Isotope (u.a. Uran, Thorium, Kalium)



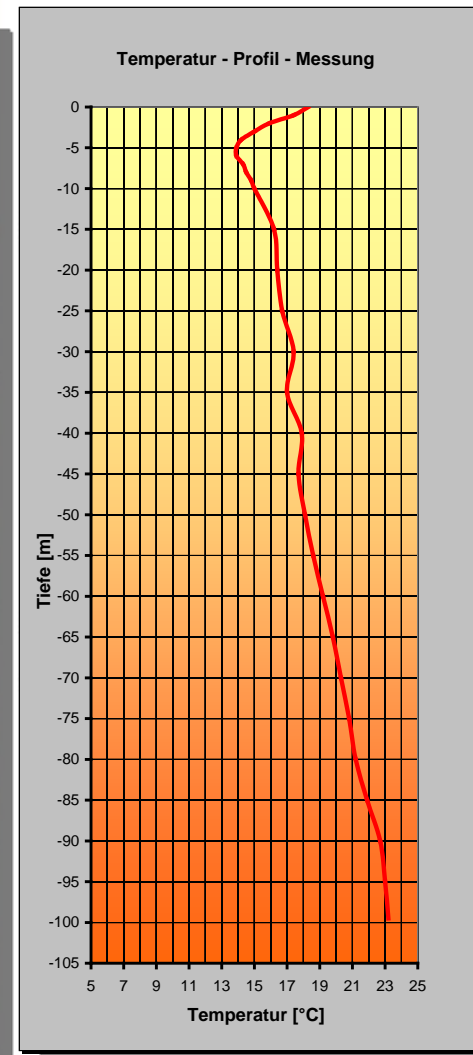
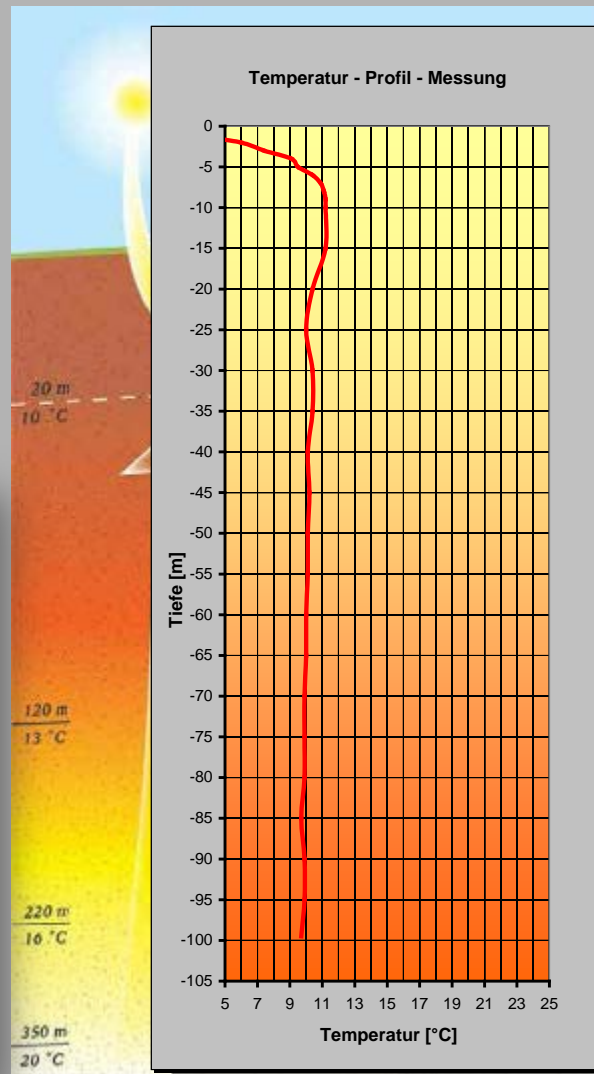
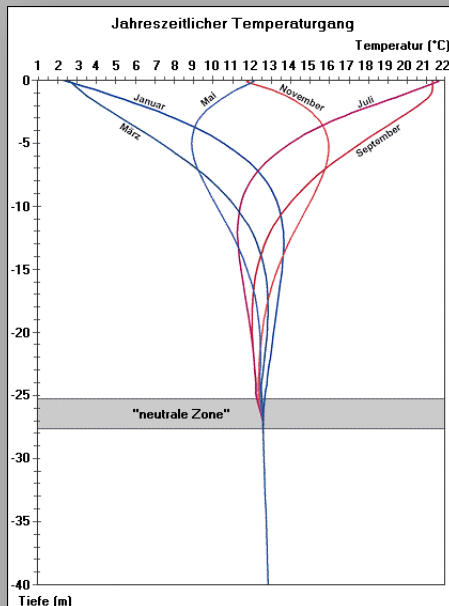
Wärmequellen:

Sonneneinstrahlung

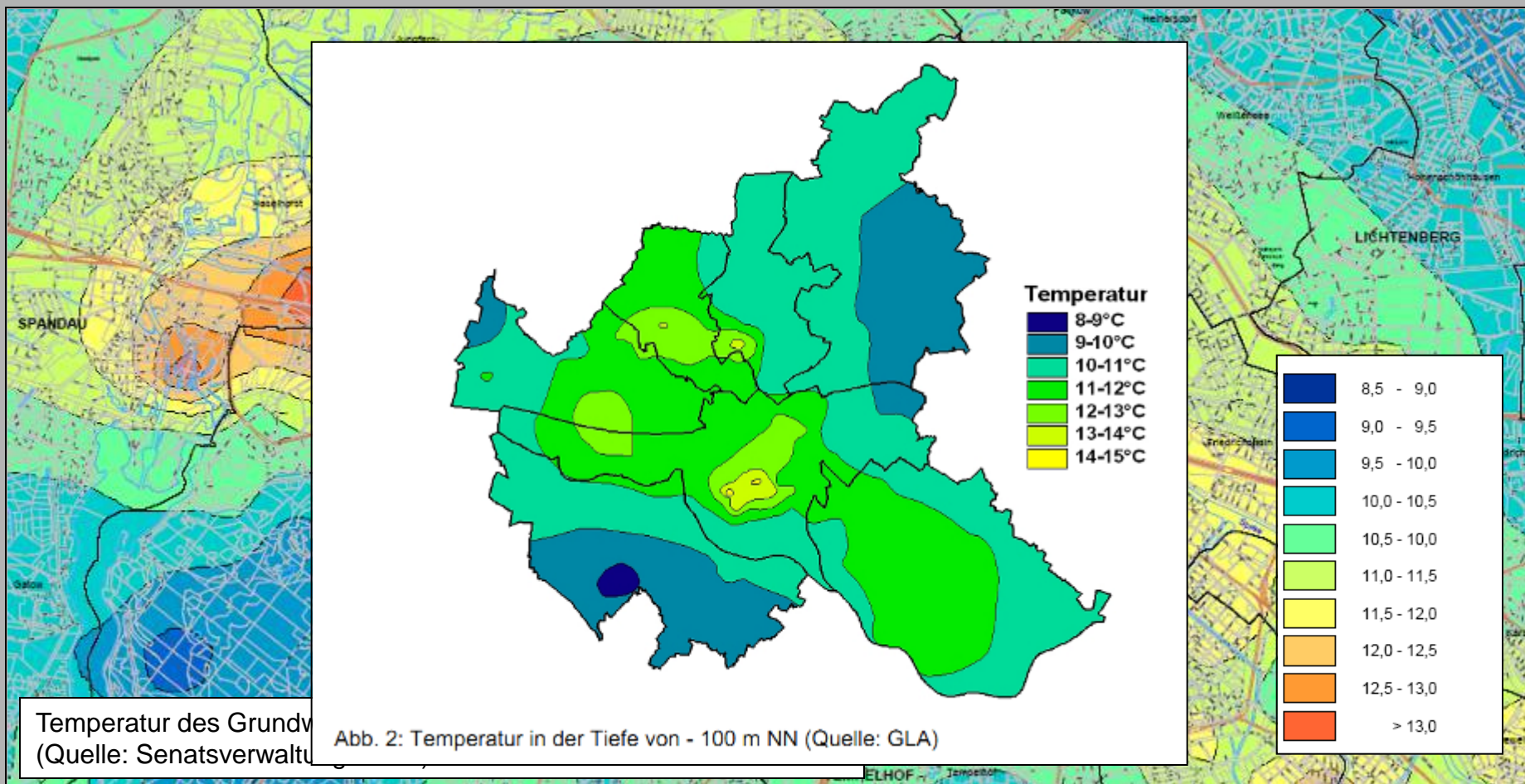
Niederschläge

geothermischer
Wärmefluss

Zerfallsenergie radioaktiver
Isotope



Thermisches Regime im oberflächennahen Untergrund



Die Ressource (oberflächennahe) Erdwärme

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

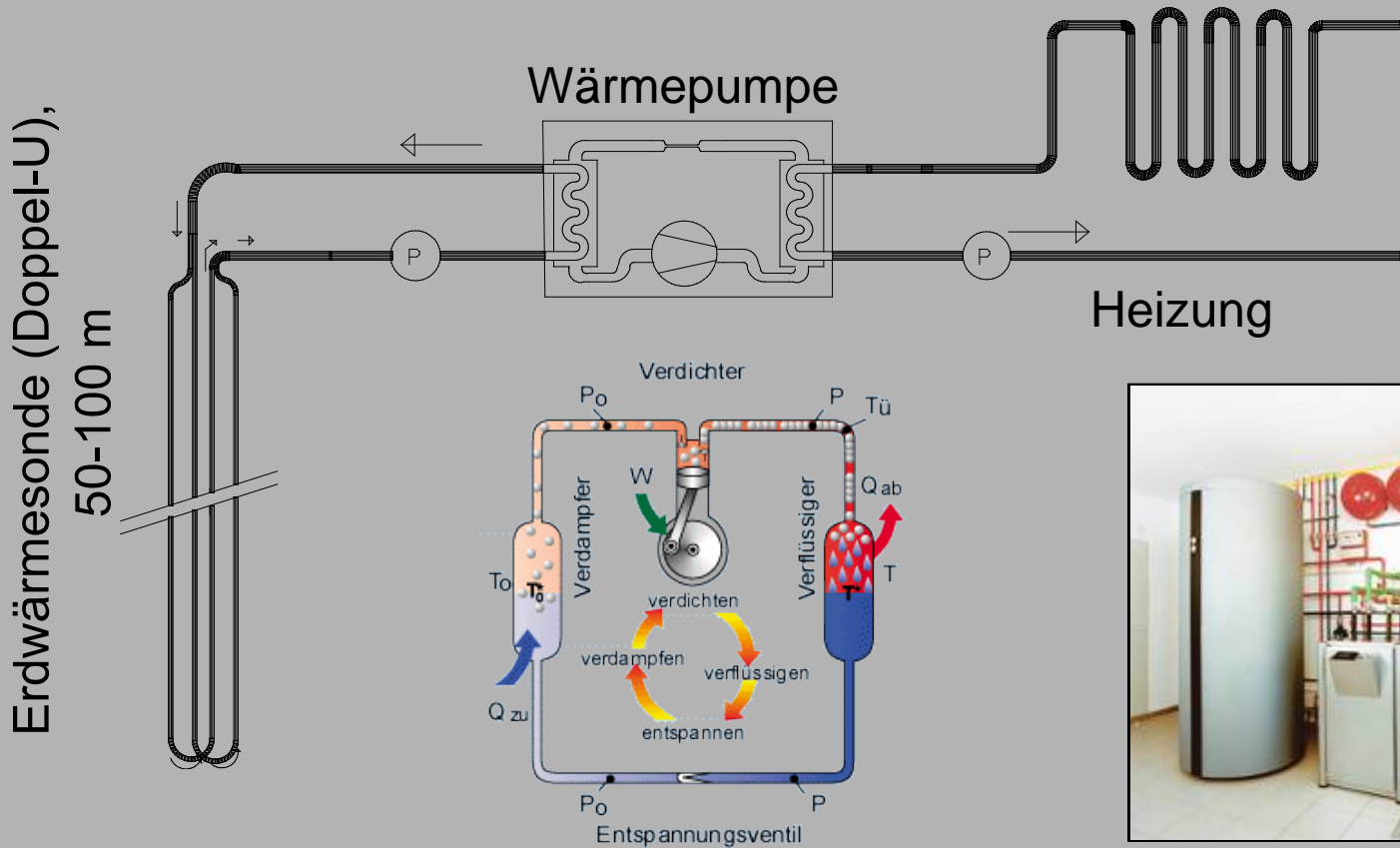
nutzbar für die

Wärmeerzeugung mittels Wärmepumpe

und

Kältegewinnung über freie Kühlung bzw. mit reversibler
Wärmepumpe

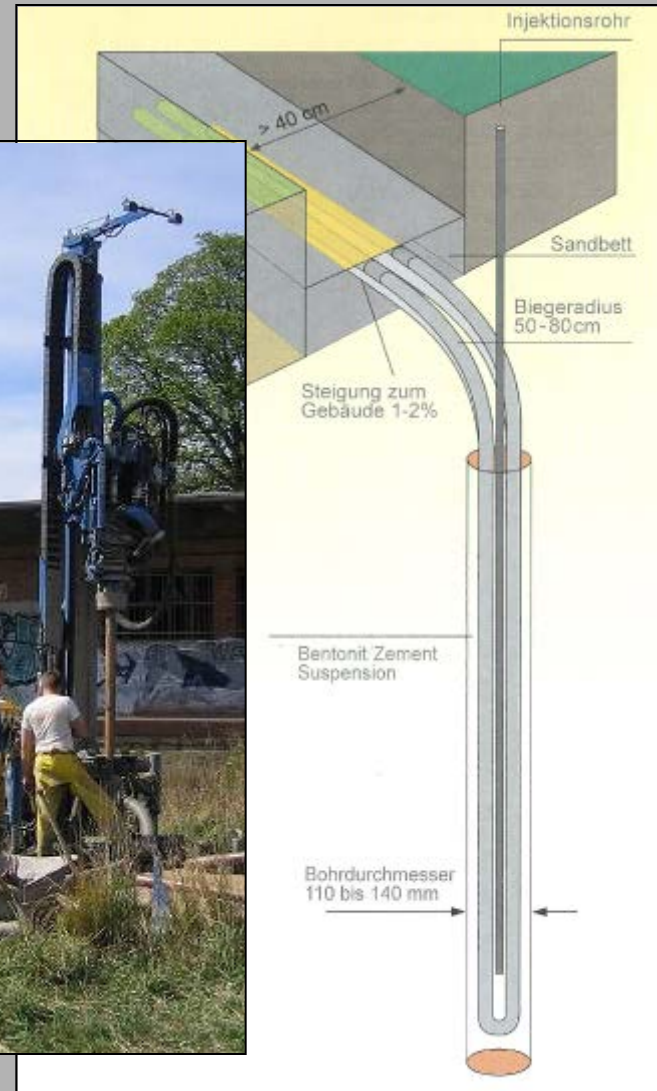
„erdgekoppelte“ Wärmepumpe



Systeme zur Nutzung der oberflächennaher Geothermie

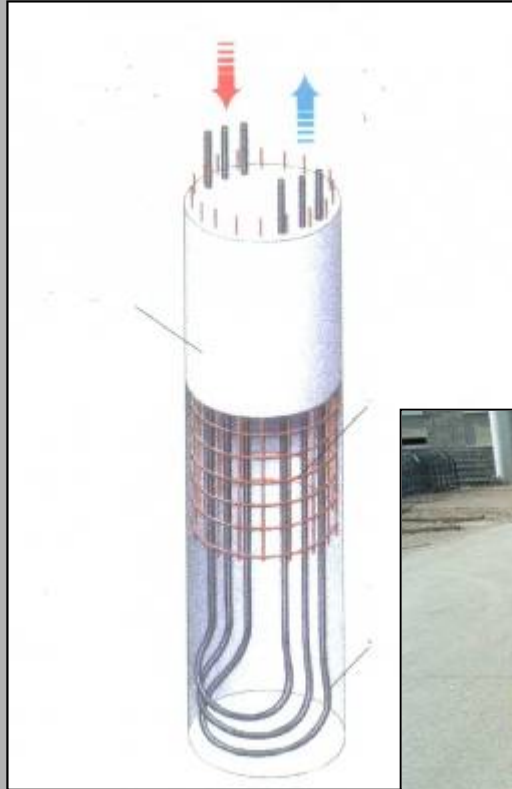


Erdwärmesonden



Quelle: Archiv

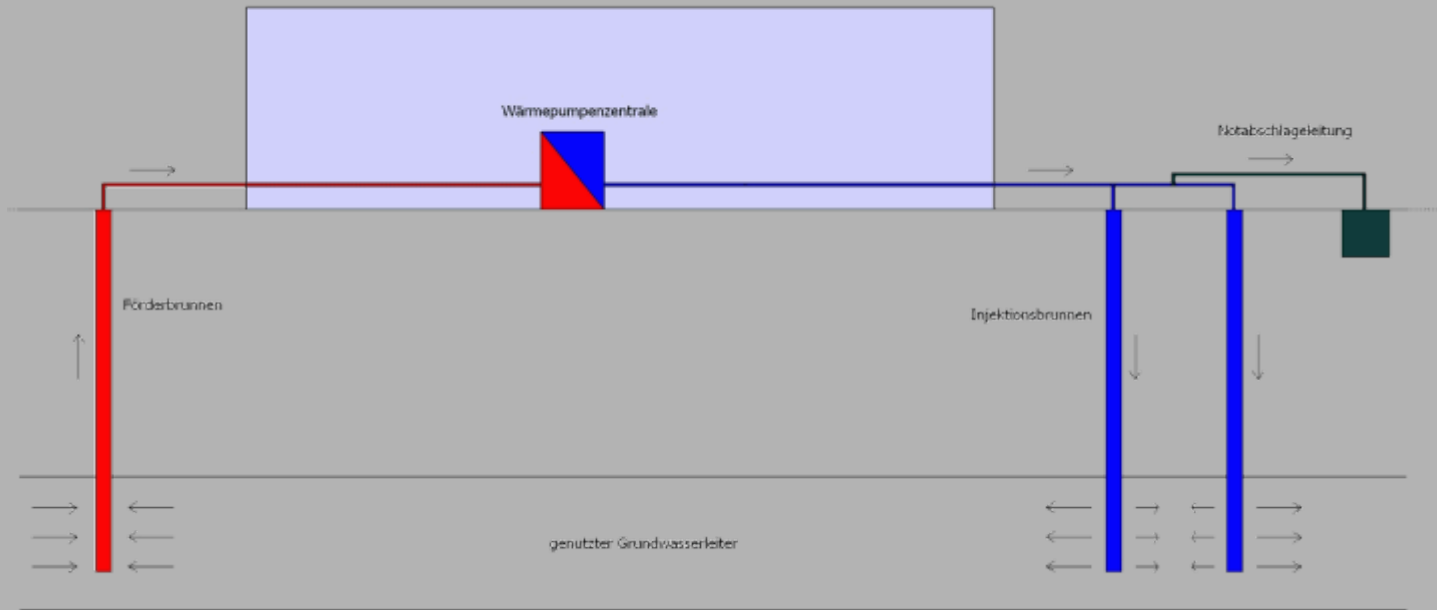
Energiepfähle



Erdreichkolektoren



offene Systeme, geothermische Dublette



Staufen (Baden-Württemberg)

PANORAMA

Donnerstag, 13. November 2008

Eine Stadt gerät aus den Fugen

In Staufen hebt sich die Erde – und niemand will daran schuld sein

Die südbadische Stadt Staufen gerät immer mehr in Schiefelage – und das im wortwörtlichen Sinne. Nach Erdwärmebohrungen hinter dem Rathaus bis in 140 Meter Tiefe hebt sich die Erde um das denkmalgeschützte Zentrum der 8000-Einwohner-Kommune Woche für Woche, in der Altstadt sind es bereits fast ein Dutzend Zentimeter.

Staufen

Martin Oversohl, dpa

Schon mehr als 120 Häuser sind durch zentimeterdicke Risse bedroht, für die nach Expertenmeinung die Erdwärmebohrungen verantwortlich sein könnten. „Die Besitzer der Häuser haben Angst. Und sie fühlen sich alleine gelassen“, meint der Sprecher der Stadt, Gernar Seeliger. Die Auswirkungen für den historischen Stadtkern südlich von Freiburg sind dramatisch. Und Hilfe ist so schnell nicht zu erwarten.

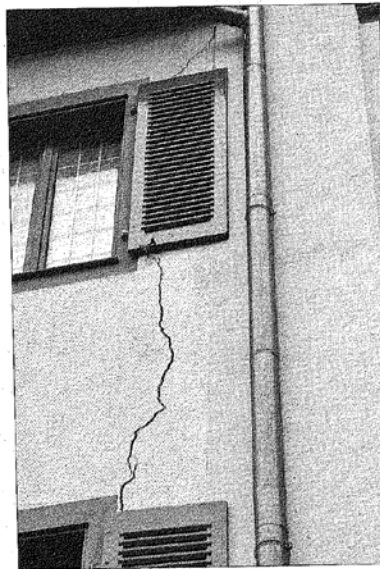
Denn nach einem seit einigen Wochen vorliegenden Gutachten wird die Schuldfrage für die Schäden wohl nie geklärt werden können. „Es können keine eindeutigen Ursachen definiert werden“, erklärt Ralph Watzel,

Leiter des Landesamtes für Geologie, Rohstoffe und Bergbau in Freiburg. „Es kann am menschlichen Eingriff gelegen haben, es kann aber auch naturgemachte Gründe haben“ – etwa natürliche Beben oder tektonische Verschiebungen.

Wo kein Schuldiger ist, da kann auch niemand belangt werden. Staufen könne weder gegen die Bohrfirma klagen, die für das Geothermie-Projekt verantwortlich ist, noch gegen das Land. Und auch die Stadt selbst treffe keine Schuld, sagt Sprecher Seeliger. Mit einem Fonds will Staufens Bürgermeister Michael Benitz versuchen, die betroffenen Hausbesitzer zumindest ansatzweise zu entschädigen. Nach seinen Vorstellungen sollten sich die Kommune, die Versicherungen und das Land freiwillig daran beteiligen.

Betroffen ist in Staufen vor allem das erst vor einem Jahr sanierte Rathaus am Markt, ein dreigeschossiger Bau aus dem Jahr 1346. Ein Expertenteam aus Karlsruhe hat einen Plan entwickelt, mit dem Betonplatten unter das Haus gezogen werden könnten, um das Fundament zu stabilisieren. Die geschätzten Kosten für die Sanierungen aller betroffenen Häuser liegen in zweistelliger Millionenhöhe.

Die Bohrer hatten sich im September 2007 ins Erdreich gefressen, nachdem der Gemeinderat



Eins der mehr als 120 Staufener Häuser, deren Wände von zentimeterdicken Rissen durchzogen werden. Foto: dpa

beschlossen hatte, das Rathaus mit Erdwärme zu heizen. Damals waren sieben Erdwärmesonden von einer österreichi-

sehen Firma in 140 Meter Tiefe versenkt worden. Wenige Wochen danach traten die ersten Risse in etlichen Häusern auf

und vergrößerten sich seither. „Es gibt eine zeitliche und räumliche Koinzidenz zwischen den Bohrungen und den Erdhebungen“, sagt Experte Watzel. Staufen liege allerdings auch in einem tektonisch aktiven Bereich, da könnten natürliche Gründe nicht ausgeschlossen werden. „wenngleich der Eingriff durch den Menschen als Ursache wahrscheinlicher ist“.

Watzel ist überzeugt: Die Folgen der Bohrungen waren für niemanden abzusehen. Seine Theorie: Unter der Stadt liegt eine Schicht des Mineralgips. „Kommt dieses in Berührung, wird es und quillt auf. Die Folge hebt sich, und die Künge sind geradezu

„Die Risse sind gigantisch“, sagt auch Seeliger. „Man greift teilweise mit einem Arm rein.“ Vorerproben würden provisorisch spritzt, im Rathaus sieht man eine Spur „quer durch den Schankraum“. Derzeit sind die betroffenen Häuser

Tage von Experten besichtigt. Mit den Folgen vor Augen hat die Region erste Mal zu kämpfen. Keine 40 Kilometer von Staufen entfernt, musste Anfang des Jahres ein Geothermie-Projekt abgebrochen werden, nachdem mehrere

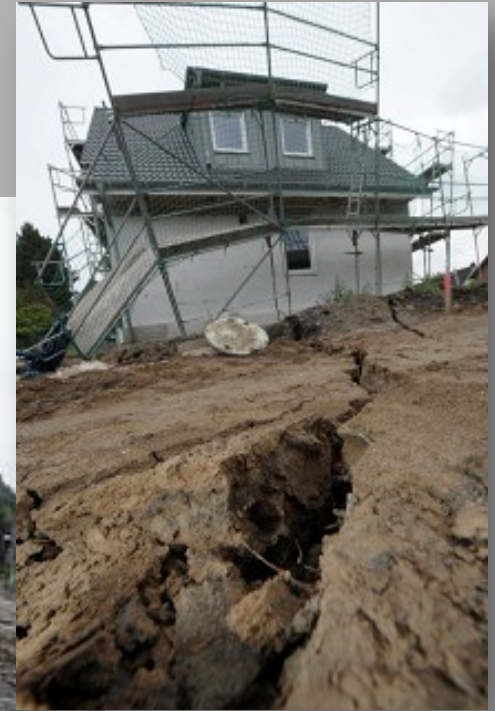


Quelle: dpa Internet

Kamen (NRW)



Quelle: dpa Internet



Wiesbaden (Hessen)



Quelle: dpa Internet

Naturgefahren

- Hochwasser
- Schlammstrom
- Steinschlag
- Felssturz
- Rutschungen
- Lawinen

Altlasten

- Ablagerungsstandorte (z.B. Deponien)
- Betriebsstandorte (z.B. Fabriken)
- Unfallstandorte

Quellfähiges Gebirge

- Tone
- Anhydrite

Erdgas

- aus Altlasten
- natürliche Erdgasvorkommen

Arteser

- unter Druck stehende Grundwasservorkommen anbohren

Hohlräume im Untergrund

- verkarstete Kalke
- grobblockiges Bergsturzmaterial
- zerklüftete Gesteinsserien
- aufgelöste Salz- oder Gipslagerstätten
- Bergbau / Stollen (künstlich)

Zerrüttete Zonen

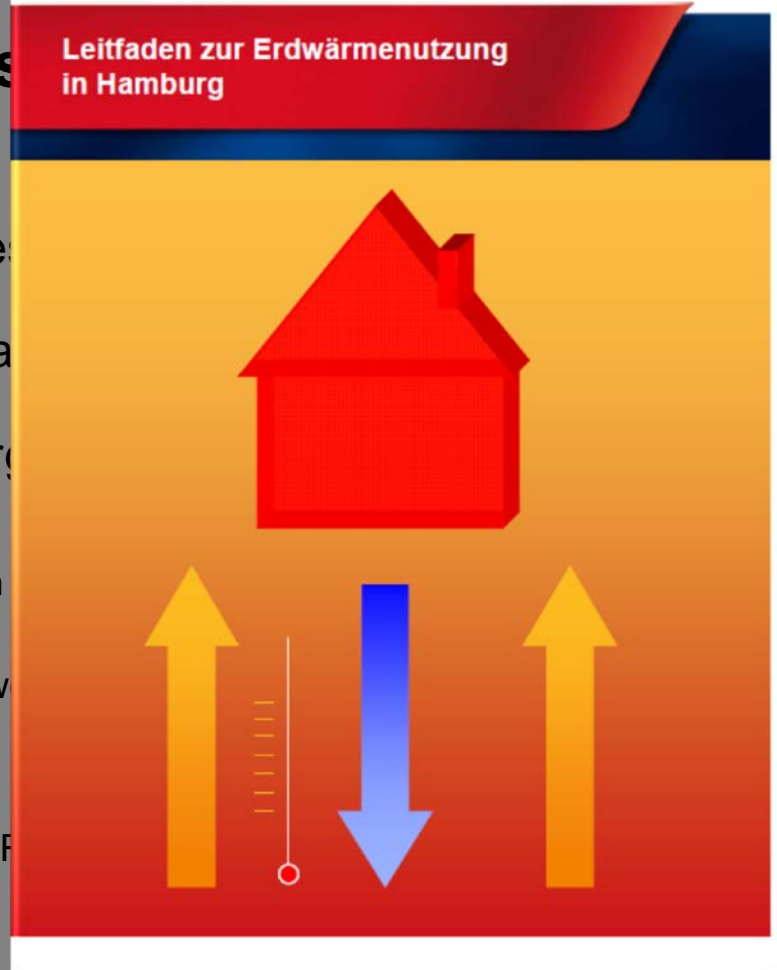
- Bewegung im Gebirge, meist nicht mehr aktiv
- (Hang-) Entlastungsbewegungen
- nicht standfeste Verwitterungszonen

**Ursachen
für geologische
Risiken**

Zu berücksichtigen, Verwaltungs

Leitfaden zur Erdwärmennutzung in Hamburg

- Bundesberggesetz
- Wasserhaushaltsgesetz
- Landeswassergesetz
- Verordnungen zum
- Technische Regelwerke
anerkannte Regeln
- Länderspezifische F

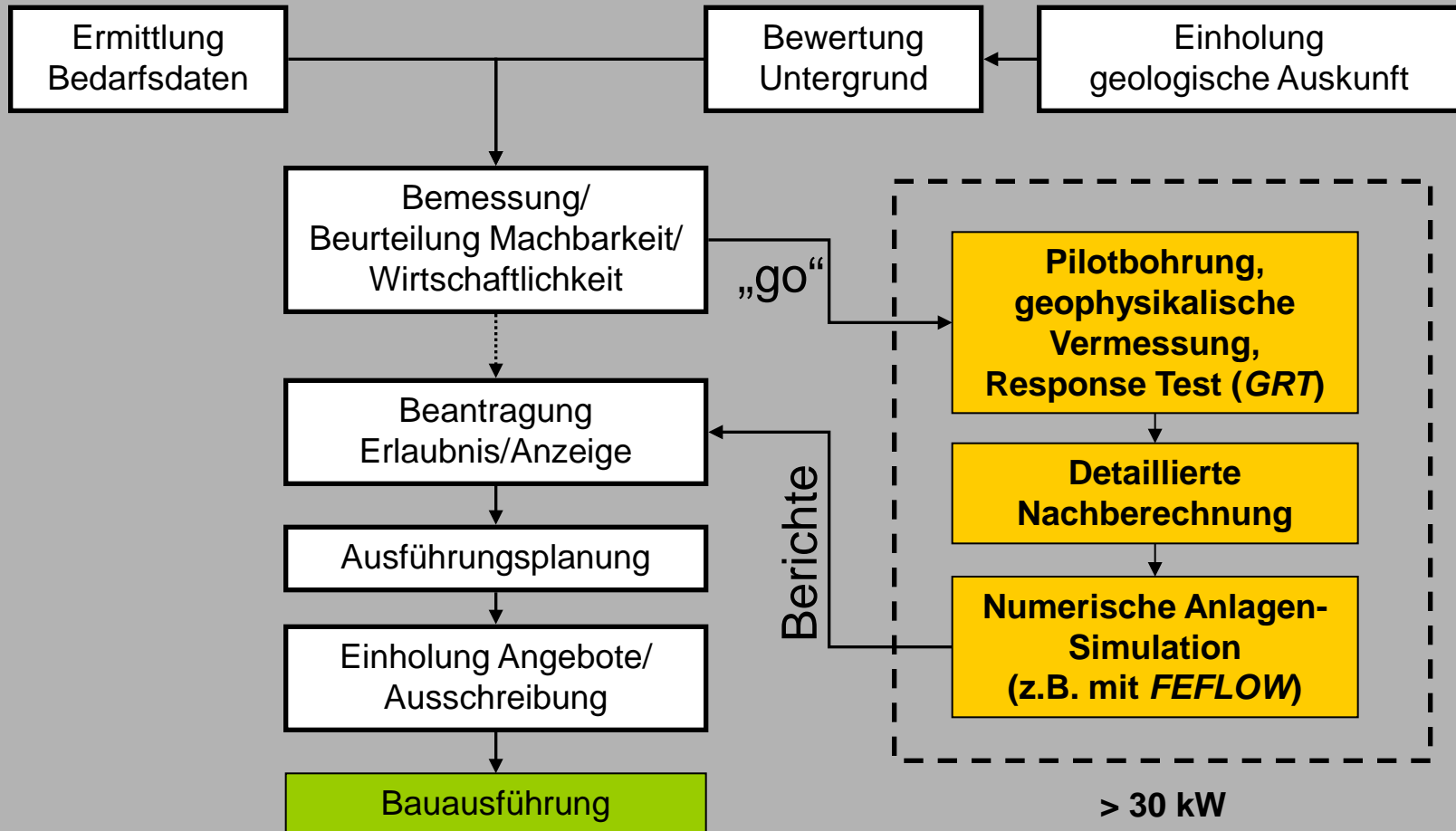


nungen,

und Heilwasser

richtlinien, „allgemein

Planungsschritte für Erdwärmeanlagen

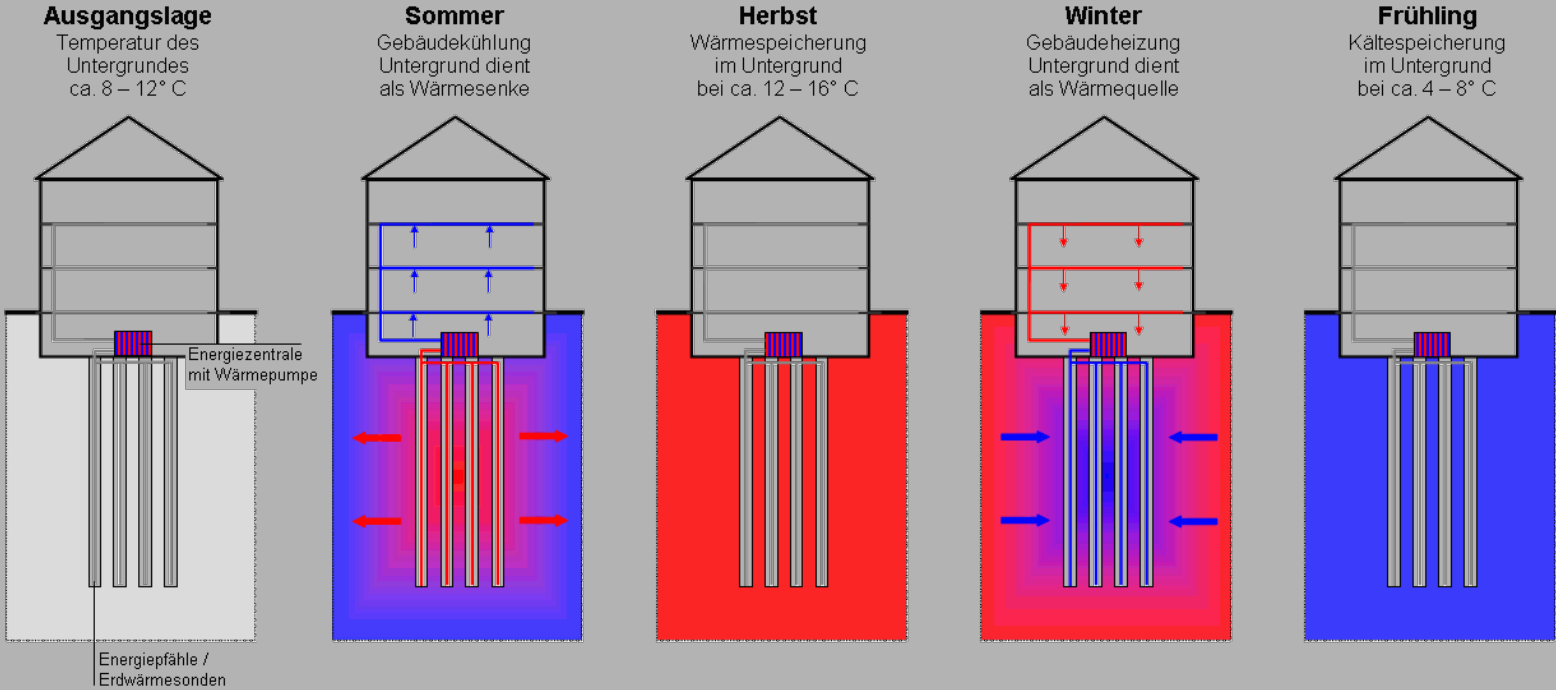


Bedarfsdaten Heizen und Kühlen (i.d.R. Zuarbeit HLS-Planer)

- Ermittlung der Norm-Heizlast nach DIN EN 12831
=> erforderliche Leistung der Wärmepumpe in kW
- Ermittlung/Abschätzung des Jahres-Wärmebedarfs
=> Bestimmung der Jahresheizarbeit kWh/a
=> ggf. Verbrauchsdaten bei Bestandsgebäuden
- Berücksichtigung einer Gebäudekühlung?
- optimal: Gebäudesimulation

Ermittlung
Bedarfsdaten

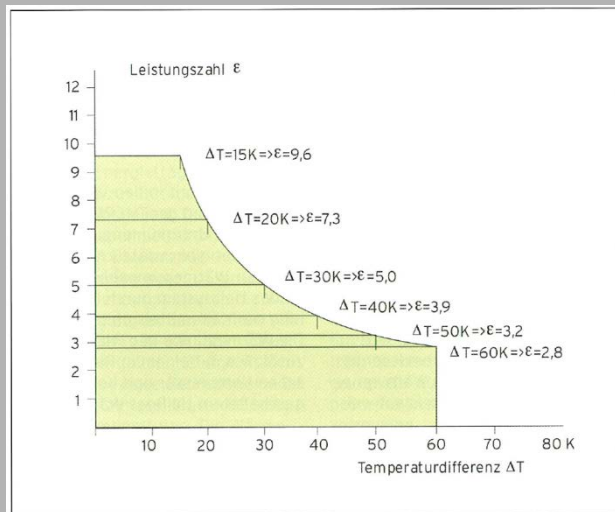
Saisonaler Speicherzyklus



Ermittlung
Bedarfsdaten

Gebäudeseitige Voraussetzung für eine wirtschaftliche Wärme- und Kältenutzung mittels oberflächennaher Geothermie

Die Jahresarbeitszahl (der Wirkungsgrad) von Wärmepumpen hängt im Wesentlichen von der Temperaturdifferenz zwischen der Wärmequelle und dem gebäudeinternen Wärmenutzungssystem ab.

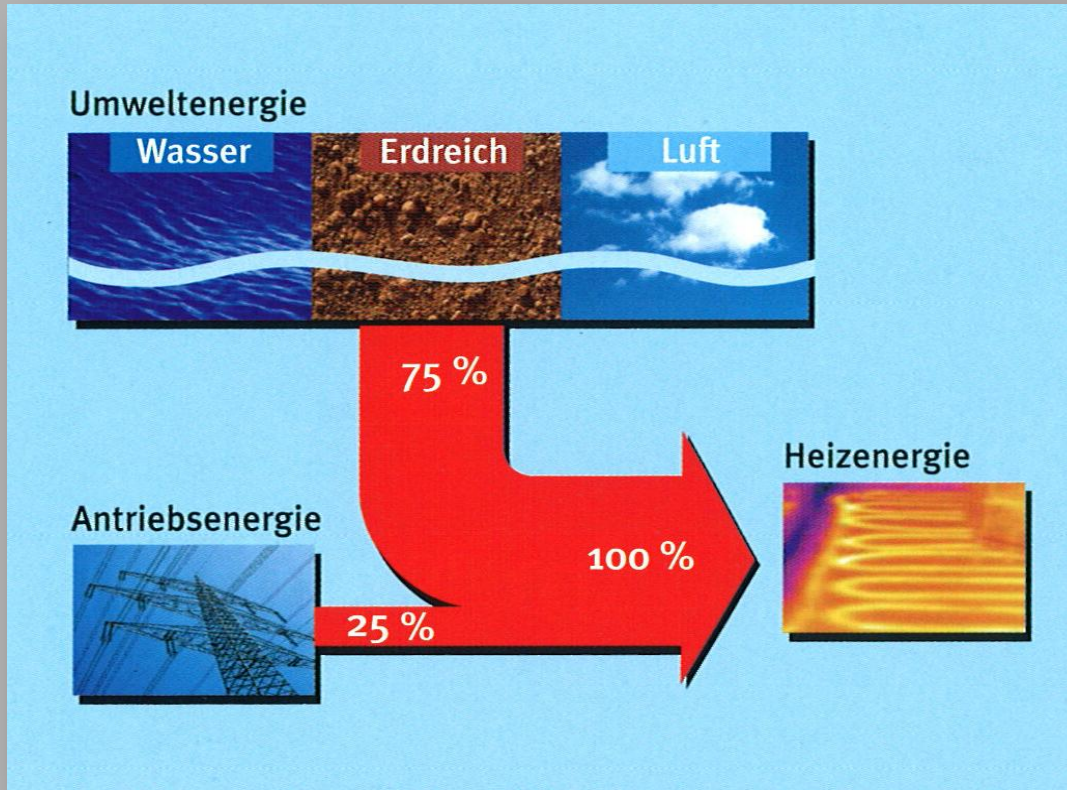


Ermittlung der Leistungszahl in Abhängigkeit von der Temperaturdifferenz

	Kühlen	Heizen
Klimaanlage/Heizkörper	6°/ 12°C	55°/ 45°C
Heiz- u. Kühldecken	16°/ 19°C	35°/ 32°C
Betonkerntemperierung	19°/ 21°C	25°/ 23°C

Ermittlung
Bedarfsdaten

Jahresarbeitszahl von Wärmepumpen



Jahresarbeitszahl

Verhältnis von abgegebener
Wärmemenge (Heizwärme)
zur zugeführten Energie
(Antriebsenergie):

$$\beta = Q_{WP} / W_{el}$$

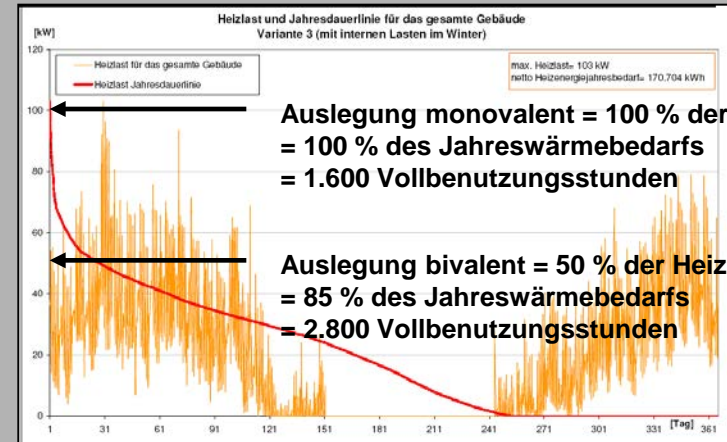
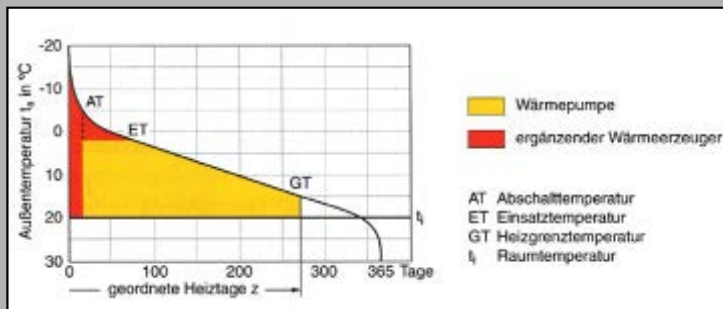
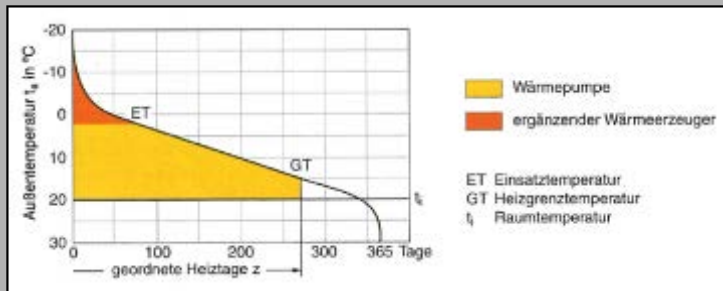
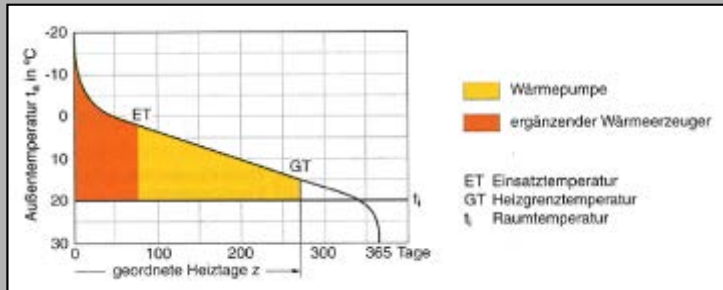
$$\beta > 4$$

Betriebsweisen erdgekoppelter Wärmepumpenanlagen

- monovalent: die Sole-Wasser-Wärmepumpe ist der alleinige Wärmeerzeuger
- bivalent: mind. ein zusätzlicher Energieträger steht zur Bereitstellung von Heizwärme bereit
- monoenergetisch: wie bivalent, nur der zusätzliche Energieträger nutzt die gleiche Energiequelle wie der Kompressor der Wärmepumpe (i.d.R. dient ein Elektroheizstab zur Abdeckung von Spitzenlasten)

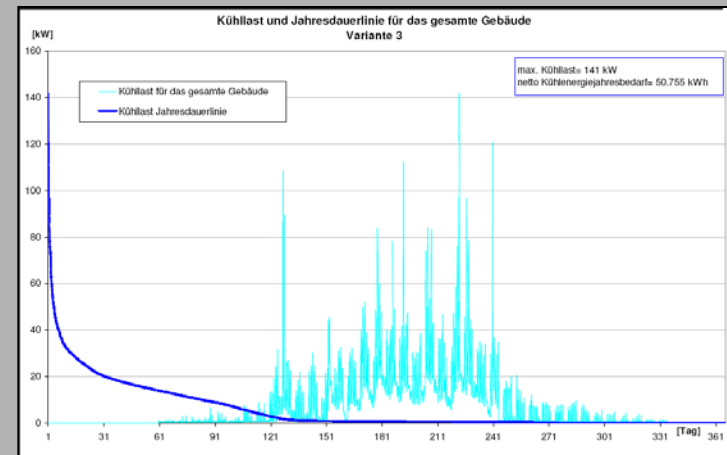
Bedarfsdaten/ Versorgungskonzept

maßgebliche Planungsparameter - Nutzung der geothermischen Anlage -



Auslegung monovalent = 100 % der Heizlast
= 100 % des Jahreswärmebedarfs
= 1.600 Vollbenutzungsstunden

Auslegung bivalent = 50 % der Heizlast
= 85 % des Jahreswärmebedarfs
= 2.800 Vollbenutzungsstunden



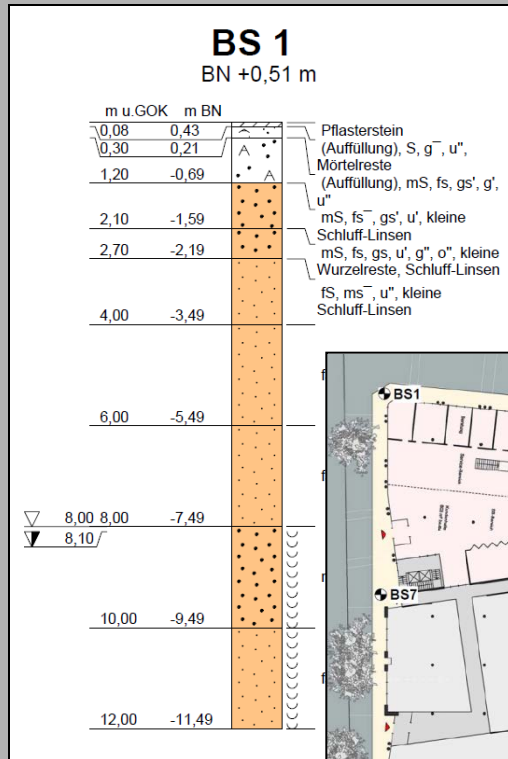
Bewertungsgrundlage:

Einholung der geologischen Auskunft (mit Angaben zum Grundwasserstand) i.d.R. bei den geologischen Landesämtern im Rahmen der geologischen Recherche und Leistungsprognose

- Erstellung eines geologischen Erwartungsprofils
- thermophysikalische Bewertung der erwarteten geologischen Schichten
- Abschätzung der integrierten effektiven Wärmeleitfähigkeit
- Abschätzung der spezifischen Wärmekapazität
- Abschätzung der mittleren Untergrundtemperatur

Bewertung Untergrund

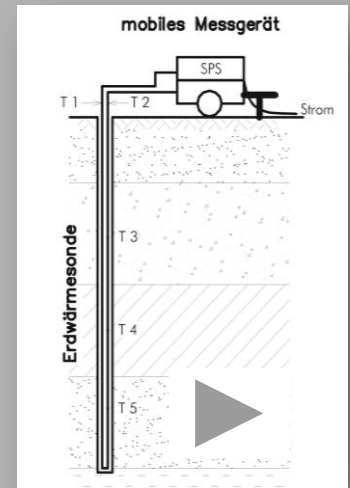
Geologische Recherche / Erwartungsprofil / thermophysikalische Bewertung



Teufenbereich / Mächtigkeit [m]	vorrangig ausgebildete Bodensubstrate	abgeschätzte Wärmeleitfähigkeit [W/(m·K)]
00 - 08 / 08	Aufschüttungen/nicht wassergesättigte Feinsande	1,20
08 - 25 / 17	wassergesättigte Feinsande	2,20
25 - 50 / 25	Ton/Schluff	1,40
50 - 90 / 40	Fein- bis Grobsande/Schlufflagen	2,00
90 - > 100	Schluff/Sandlagen/Tonlagen	1,50

Pilotbohrung,
geophysikalische
Vermessung,
Response Test (*GRT*)

Erkundungsbohrung und Geothermal Response Test



Bemessung/
Beurteilung Machbarkeit/
Wirtschaftlichkeit

Bemessung der geothermischen Anlage

in Abstimmung mit allen beteiligten Fachplanern,
z.B. Festlegung und Optimierung von Anzahl, Tiefe und Ausbau der Bohrungen, Flächen, Lage und Abstände der Erdwärmesonden, Horizontalanbindungen.

Gemäß VDI 4640 für Wärmepumpen-Anlagen **bis** 30 kW Heizleistung:

- Vereinfachte Verfahren (Tabellen, Nomogramme, „Handrechenmethode“ nach Linienquellentheorie)

Gemäß VDI 4640 für Wärmepumpen-Anlagen **ab** 30 kW Heizleistung:

- Analytische bzw. seminumerische Verfahren (Berechnungsprogramme z.B. EED, EWS, PILESIM)
- Numerische Verfahren (Simulationsprogramme z.B. FEFLOW, MODFLOW)

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

Entzugsleistung
50 W/m ?
eher 5 bis 100 W/m

Eigenschaften des Untergrundes

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

Konfigurationen der geothermischen Quellenanlage

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

Ausbauqualität = thermischer Bohrlochwiderstand

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

Anforderungen an die Simulation

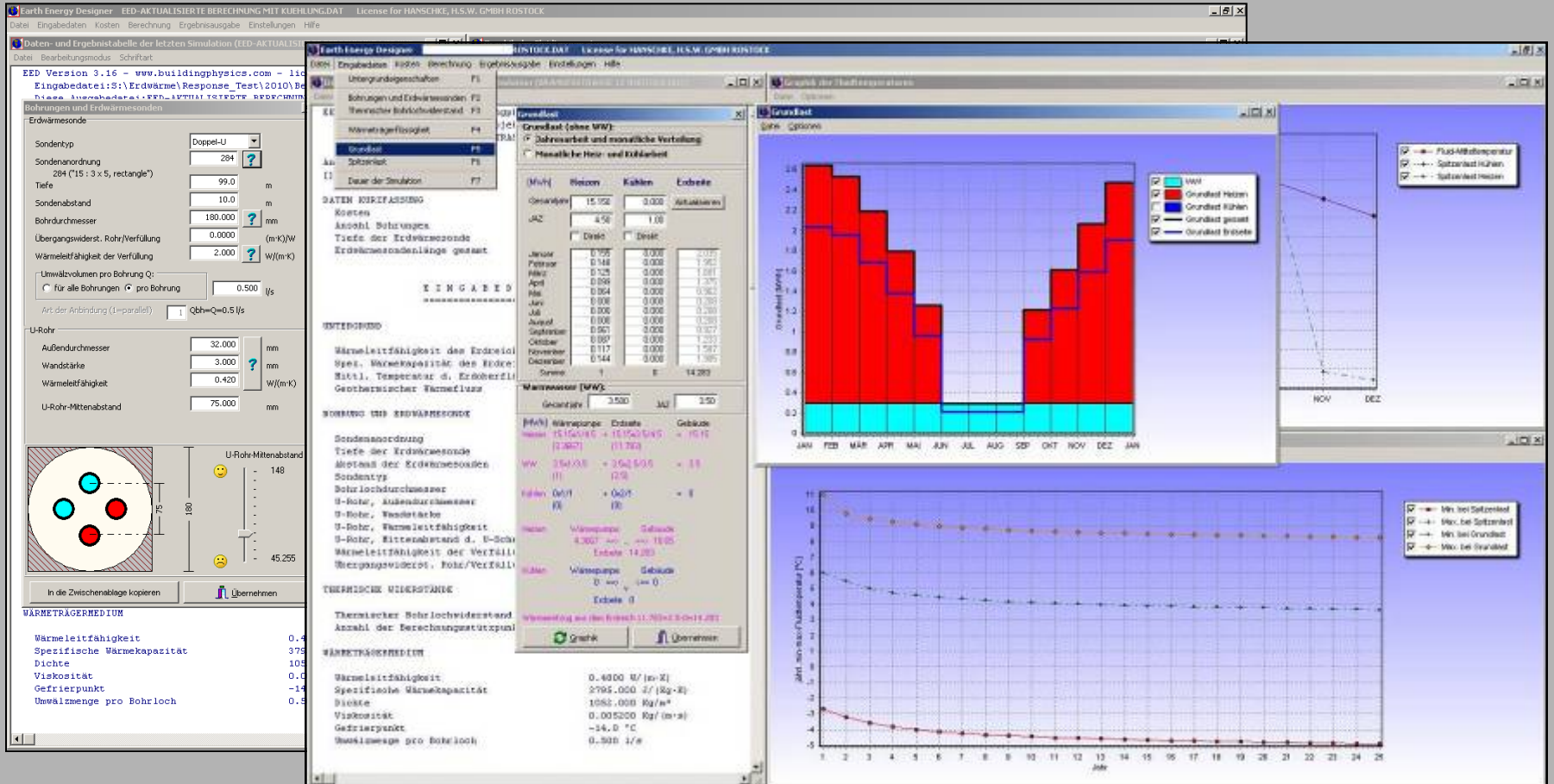
- Simulationsdauer (25...50 Jahre)
- Monat der Inbetriebnahme
- definierte / genehmigungsrechtlich beschränkte Temperaturlimits im Solekreis

Nutzung der geothermischen Anlage

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

Bemessung

analytische bzw. seminumerische Verfahren



Bemessung/
Beurteilung Machbarkeit/
Wirtschaftlichkeit

Die Wirtschaftlichkeit einer Wärmepumpenanlage hängt u.a. maßgeblich ab von:

- Untergrundbedingungen (u.a. Geologie, thermophysikalische Eigenschaften)
- richtige Wahl und Dimensionierung der geothermischen Quellenanlage
- richtige Wahl und Dimensionierung der Sole-Wasser-Wärmepumpe
- gebäudeseitige Voraussetzungen (Heiz- und Kühlsysteme)
- Wärme- und/oder Kältebedarf
- gewählte Betriebsweise der Sole-Wasser-Wärmepumpe
- ortsspezifische Energiepreise (Gas, Öl, Fernwärme, Wärmepumpenstrom)
- Ausführungsqualität der hergestellten geothermischen Quellenanlage

Bemessung/
Beurteilung Machbarkeit/
Wirtschaftlichkeit

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung erdgekoppelter Wärmepumpenanlagen

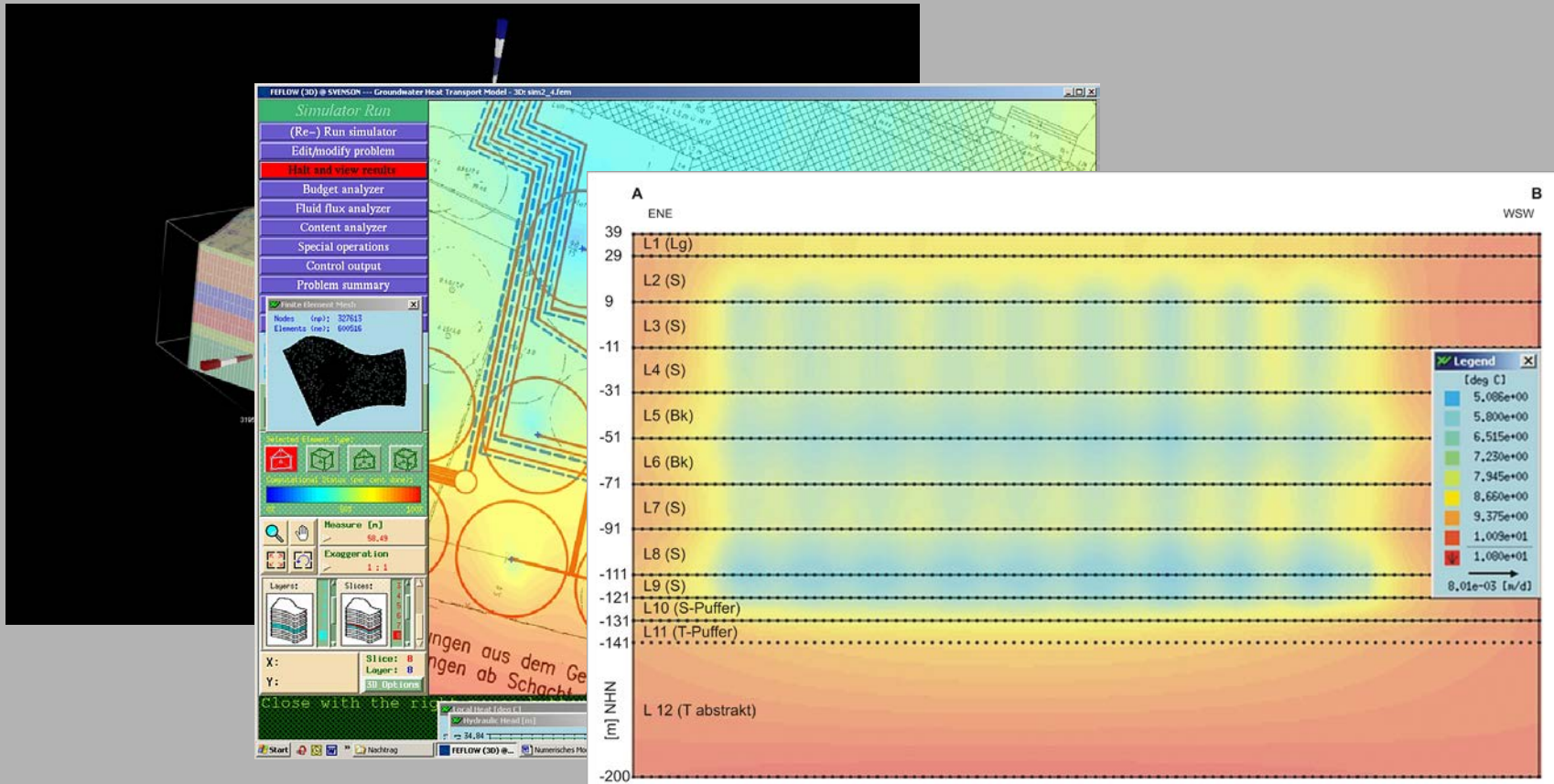
Berücksichtigung von:

- kapitalgebundene Kosten: Investitions-, Instandsetzungs- und Erneuerungskosten (Zins, Tilgung, Nutzungsdauer)
- verbrauchsgebundene Kosten: Energiekosten
- betriebsgebundene Kosten: Wartung, Überwachung, Reinigung
- sonstige Kosten: Nebenkosten, Versicherung etc
- ggf. Preissteigerungen bei den Energiebezugspreise

Numerische Anlagen-
Simulation
(z.B. mit *FEFLOW*)

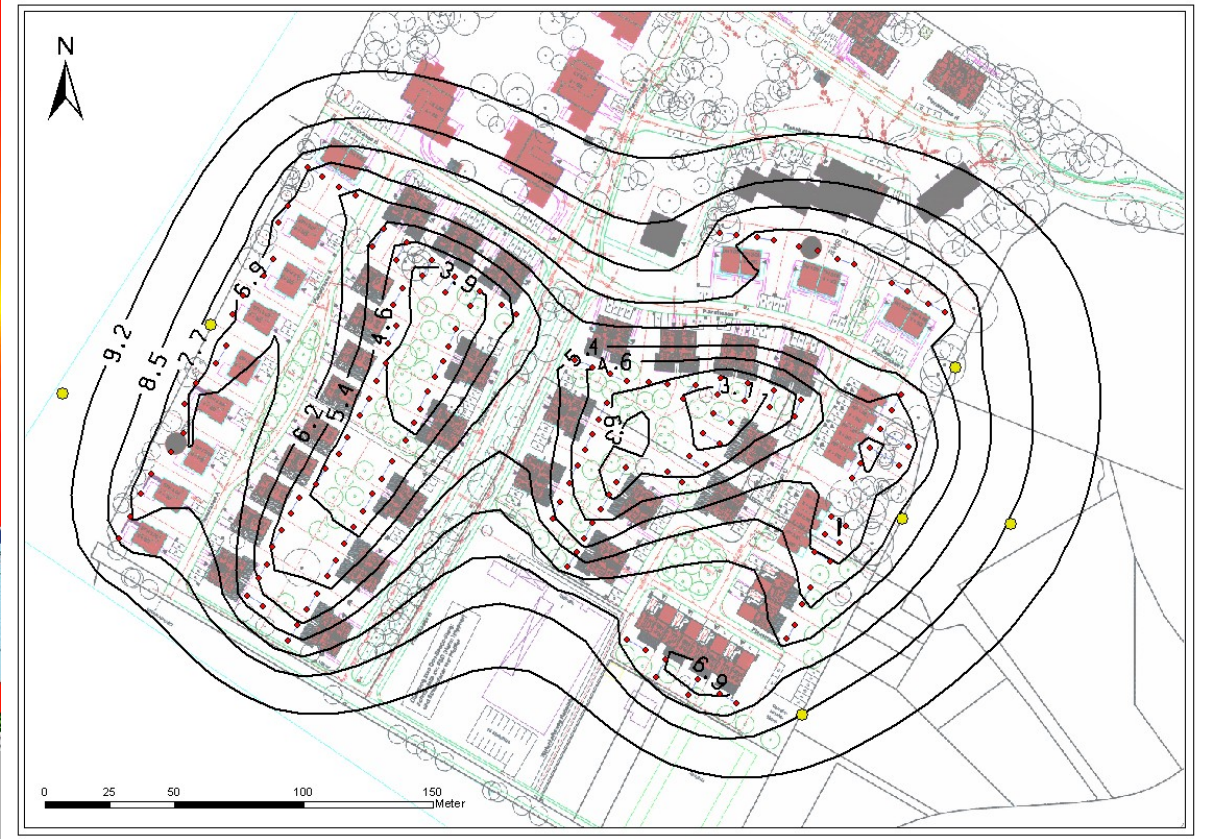
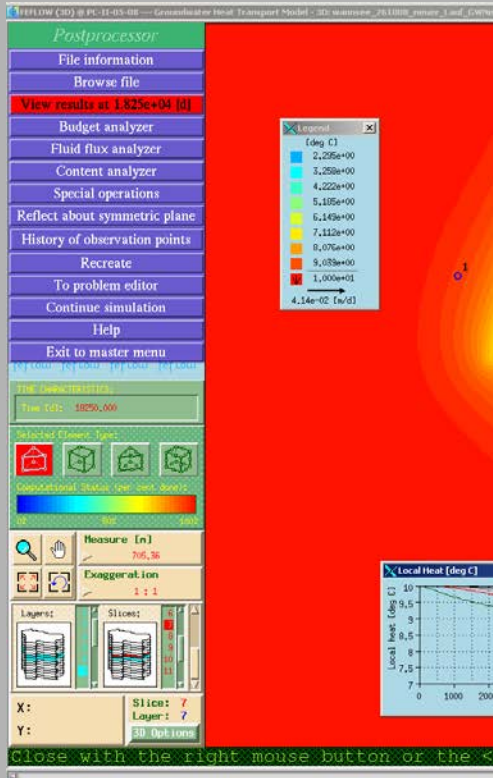
Feflowsimulation am Beispiel Villa Inselstraße , Schwanenwerder

(20 Wohnhäuser, 85 kW summierte Heizleistung, 110 kW Kühlleistung)



**Numerische Anlagen-Simulation
(z.B. mit FEFLOW)**

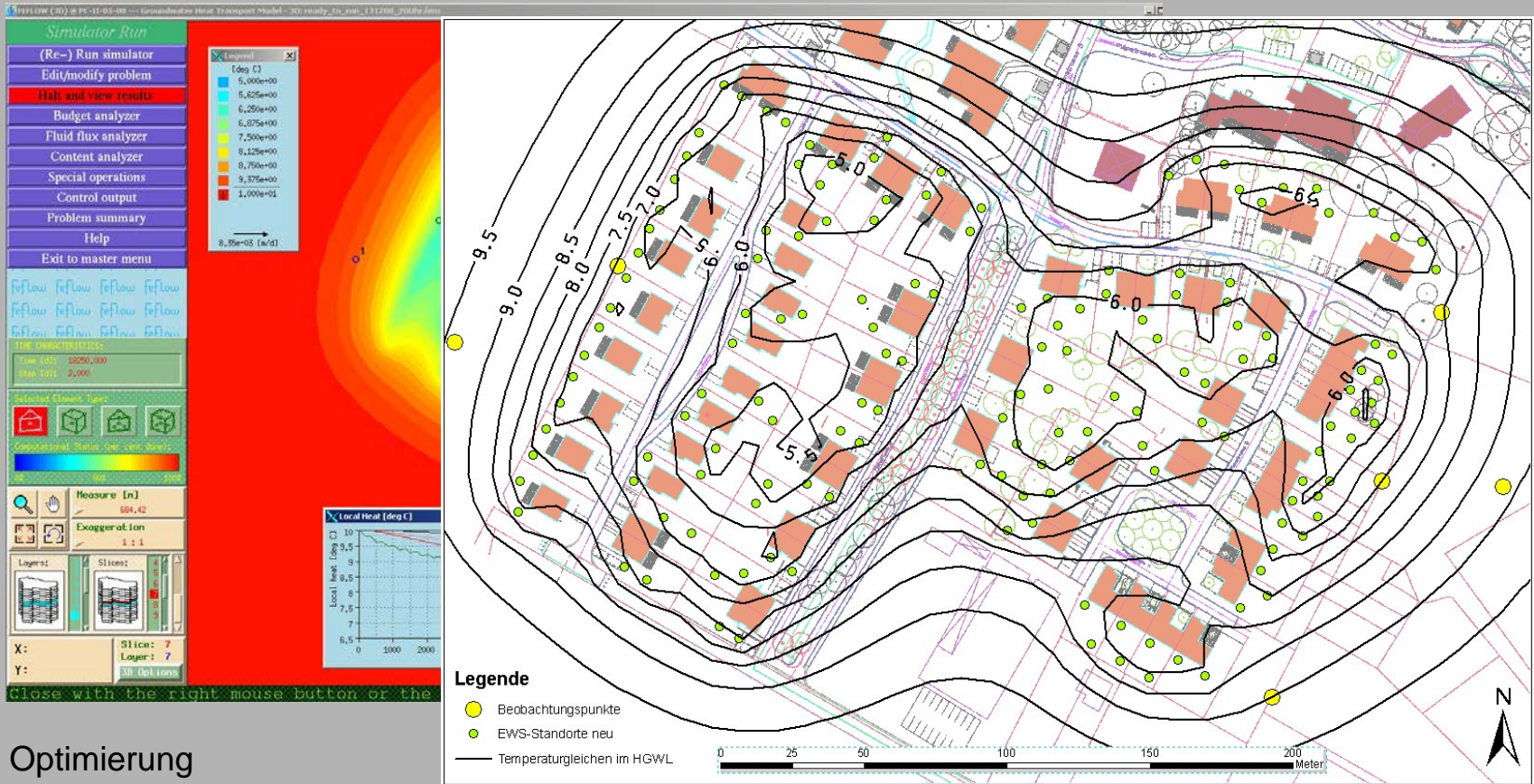
Feflowsimulation am Beispiel „Wohnen in den Wannseegärten“ (77 Wohnhäuser, 154 EWS, 500 kW summierte Heizleistung)



Ausgangssituation

**Numerische Anlagen-Simulation
(z.B. mit *FEFLOW*)**

Feflowsimulation am Beispiel „Wohnen in den Wannseegärten“ (77 Wohnhäuser, 154 EWS, 500 kW summierte Heizleistung)



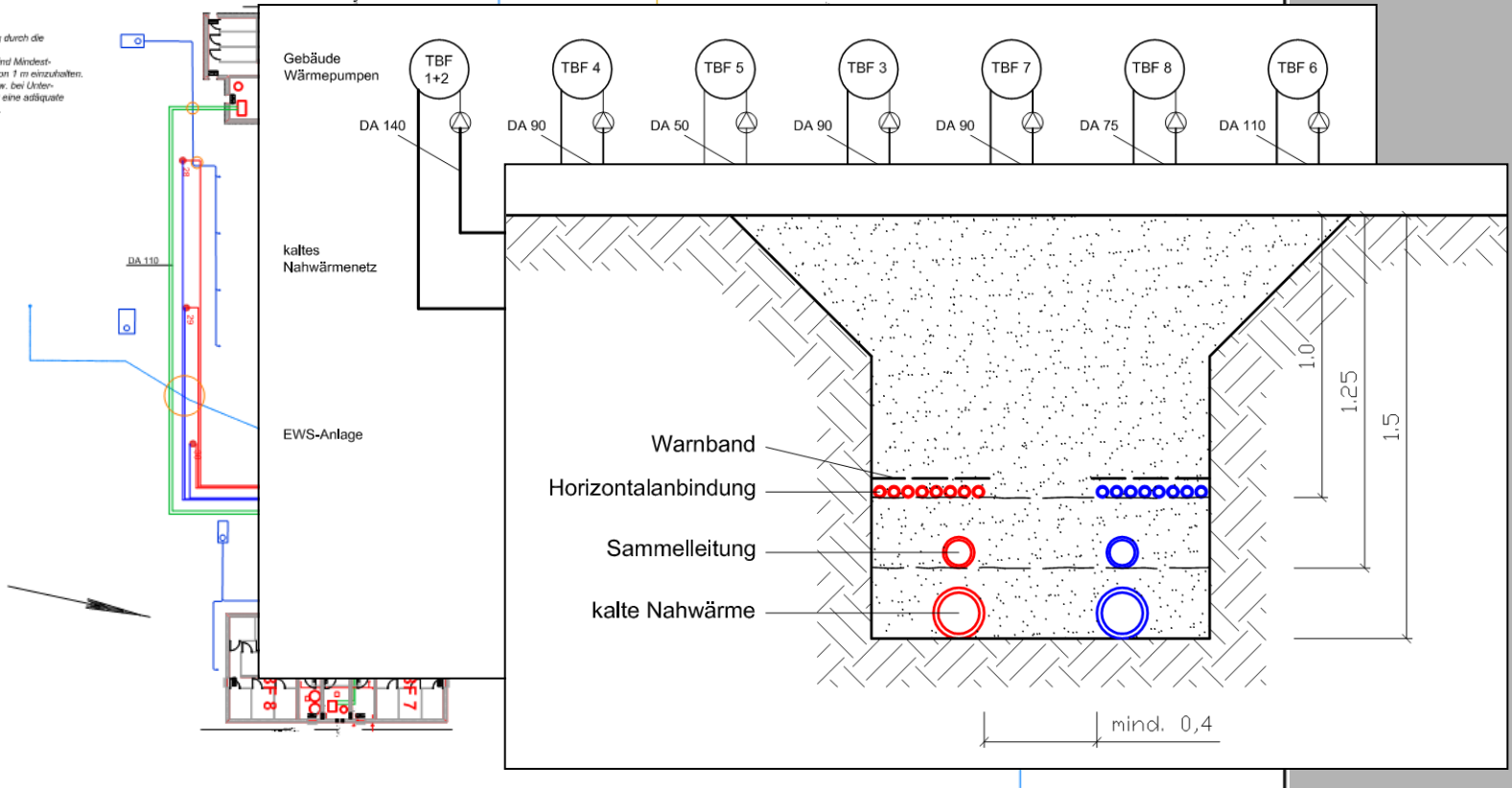
Optimierung

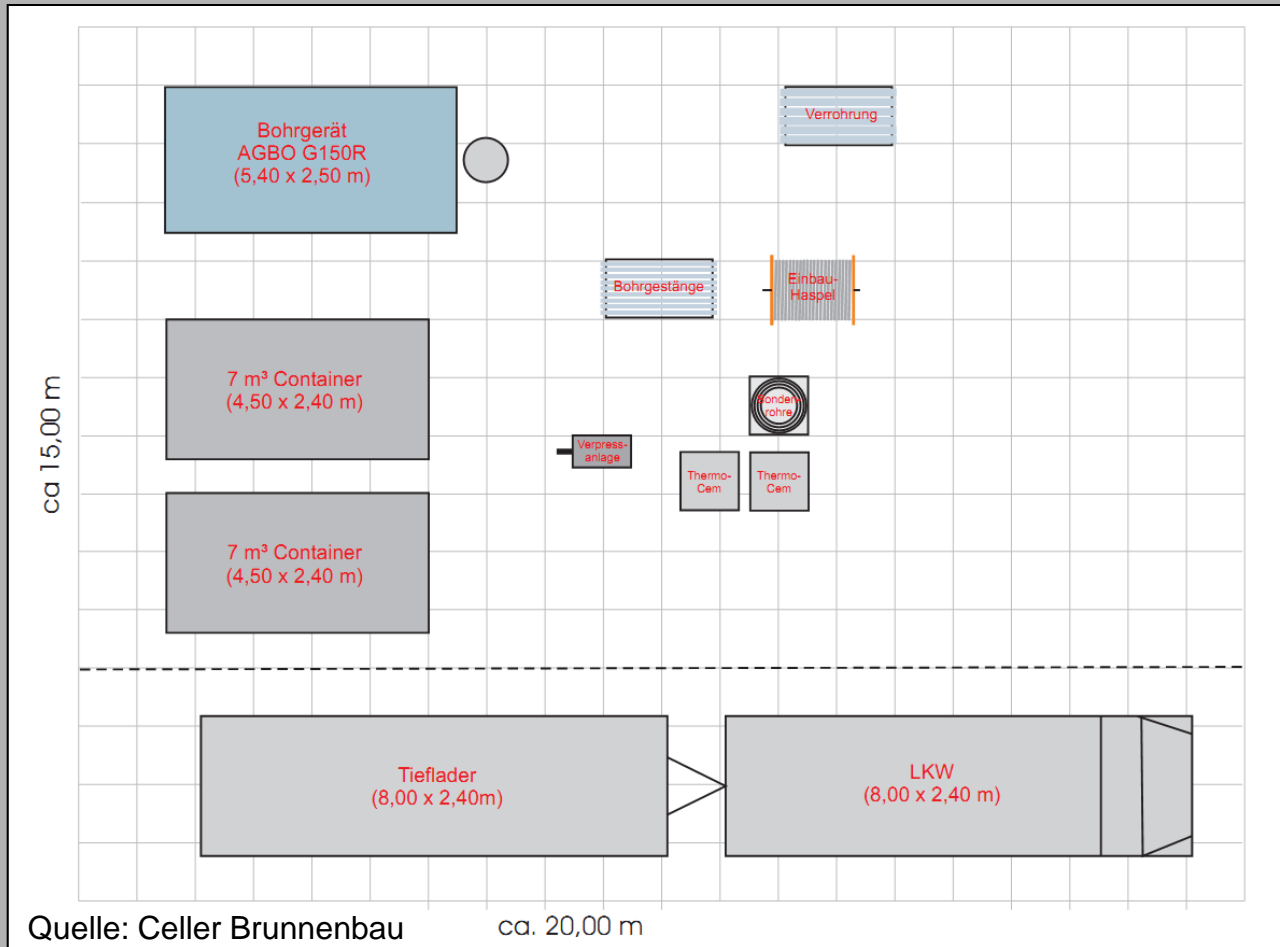
Ausführungsplanung am Beispiel „Neue Gartenstadt“ (30 EWS, 166 kW Σ Heizleistung, 115 kW Σ Kühlleistung)

Sämtliche Maße sind vor Ausführung durch die Verantwortlichen am Bau zu prüfen.
Zu Ven- und Entlassungsleitungen sind Mindestabstände der Horizontalanbindung von 1 m einzuhalten.
Im Falle von Leitungskreuzungen bzw. bei Unterschreitung des Mindestabstandes ist eine adäquate thermische Entkopplung vorzusehen.

Leitungslängen	
Hauptleitung VI - V2	
DA 110	36 m
DA 125	100 m
Hauptleitung „kaltes“ Nahwärmenetz	
DA 150	1.124 m
„kaltes“ Nahwärmenetz	
DA 50	16 m
DA 75	23 m
DA 90	135 m
DA 110	113 m
DA 140	156 m

EWS	Leitungslängen Horizontalanbindung
1	79 m
2	57 m
3	35 m
4	53 m
5	75 m
6	57 m
7	24 m
8	25 m
9	54 m
10	34 m
11	47 m
12	91 m
13	62 m
14	48 m
15	43 m
16	71 m
17	43 m
18	48 m
19	68 m
20	41 m
21	14 m
22	28 m
23	41 m
24	28 m
25	16 m
26	27 m
27	43 m
28	108 m
29	79 m
30	50 m
Summe	1.955 m









Bauausführung

Tatort: Baustelle



Bauausführung

Tatort: Baustelle



einige Projektbeispiele

Einfamilienhaus Rostock-Gehlsdorf

Heizen und Warmwasserbereitung mit Erdwärmesonden



Biohof Medewege bei Schwerin

Heizen mittels Erdreichkollektor



Neubau IHK zu Schwerin

Heizen und Kühlen mittels Energiepfählen



Silo 4 + 5 Stadthafen Rostock

Heizen und Kühlen mittels Energiepfählen



IBA-DOCK

Heizen und Kühlen mittels thermischer Nutzung des Oberflächenwassers



Appartementhaus „Strandläufer“ Warnemünde

Heizen und Kühlen mittels thermischer Nutzung des Oberflächen-/Grundwassers



„1. Geothermische Brücke Deutschlands“ in Berkenthin

Heizen und Kühlen mittels Grundwasser





Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

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