

Potentiale und Möglichkeiten der Oberflächennahe Geothermie



Jens-Uwe Kühl - H.S.W. Ingenieurbüro Gesellschaft für Energie und Umwelt mbH

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-Untergroundsimulationen

Schwerpunkte heute:

Regenerative Energien, Geotechnik, Altlasten, Hydrogeologie, Umweltschutz

...u.a. komplexe Planungen in der Geothermie, geothermische Messungen,

Sachverständigentätigkeit, Beteiligung an Forschungsprojekten u.s.w.



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)

Ist

Geothermie

regenerativ?

Oberer Mantel
35 – 410 km

Übergangszone
410 – 660 km

Unterer Mantel
660-2900 km

Äußerer Erdkern
2900-5100 km

Innerer Kern
5100-6371 km

Erdkruste
0 – 35 km

Temperaturen

Erdkruste: bis 600 °C

Mantel: bis 2.000 °C

Kern: bis 6.000 °C

99 %

der Erde sind heißer als
1.000 °C

von dem

1 % sind 99 % heißer als
100 °C

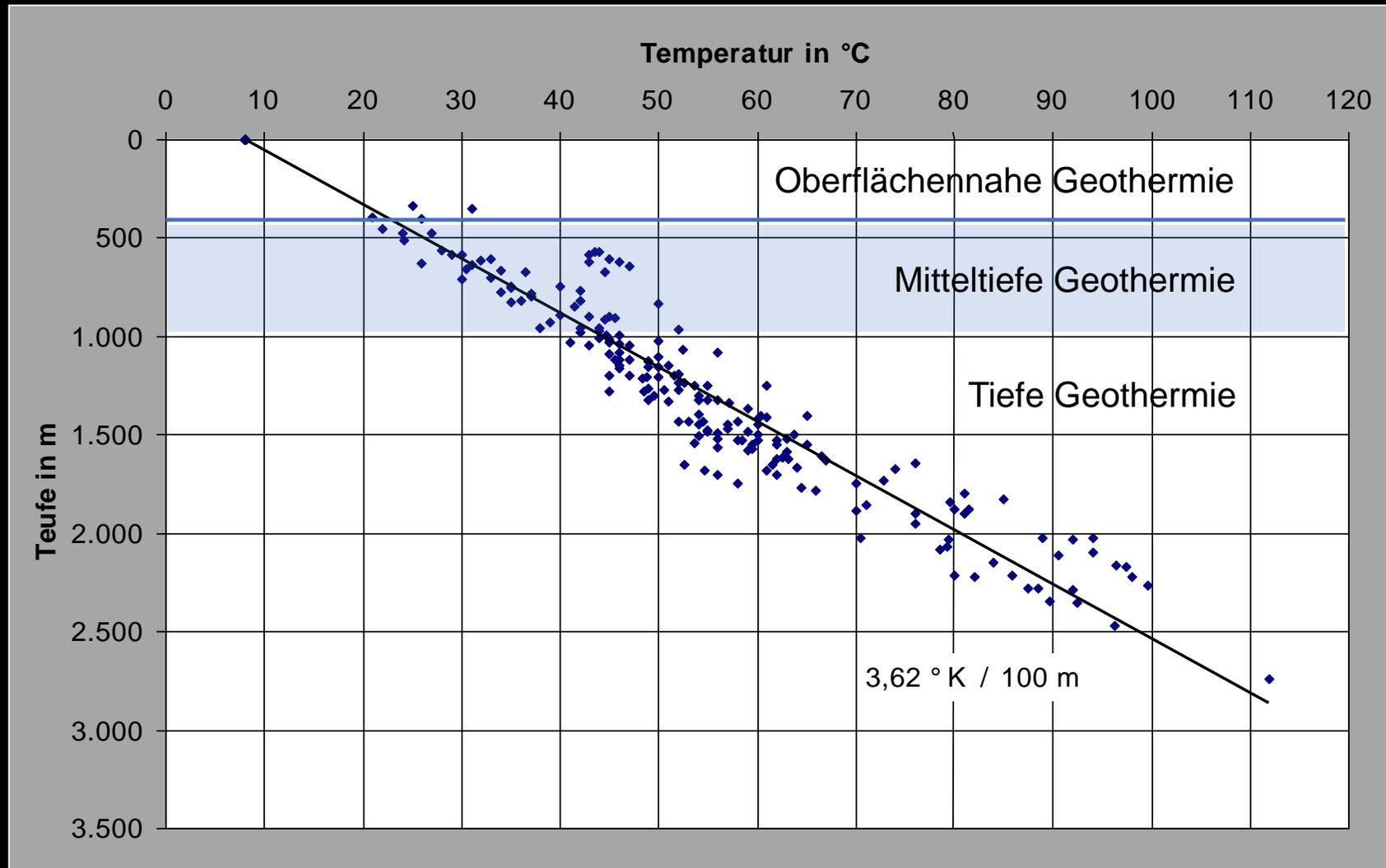
- Aus dem Inneren unseres Planeten steigt ein ständiger Strom von Energie an die Oberfläche.
- Die Erde strahlt täglich etwa viermal mehr Energie in den Weltraum ab, als wir Menschen derzeit an Energie verbrauchen.
- 30 % des an die Erdoberfläche steigenden Energiestroms kommen aus dem heißen Erdkern selbst.
- 70 % entstehen durch den fortwährenden Zerfall natürlicher radioaktiver Elemente im Erdmantel und in der Erdkruste, u.a. durch Spaltung von Uran, Thorium, Kalium.

Diese in der Erde gespeicherte Wärme ist
„nach menschlichen Maßstäben unerschöpflich“

gleichzusetzen mit „nachhaltig verfügbar“ / „regenerativ“ / „erneuerbar“

Nutztemperaturen in der **Geothermie**

Temperatur-Tiefen-Beziehung in Norddeutschland



„Oberflächennahe“ und „Tiefe“ Geothermie

Differenzierung:

allgemein ...

- ... Oberflächennahe Geothermie = Nutzung von Energie bis max. 400 m
- ... Tiefe Geothermie = Nutzung von Erdwärme ab 400 m Tiefe

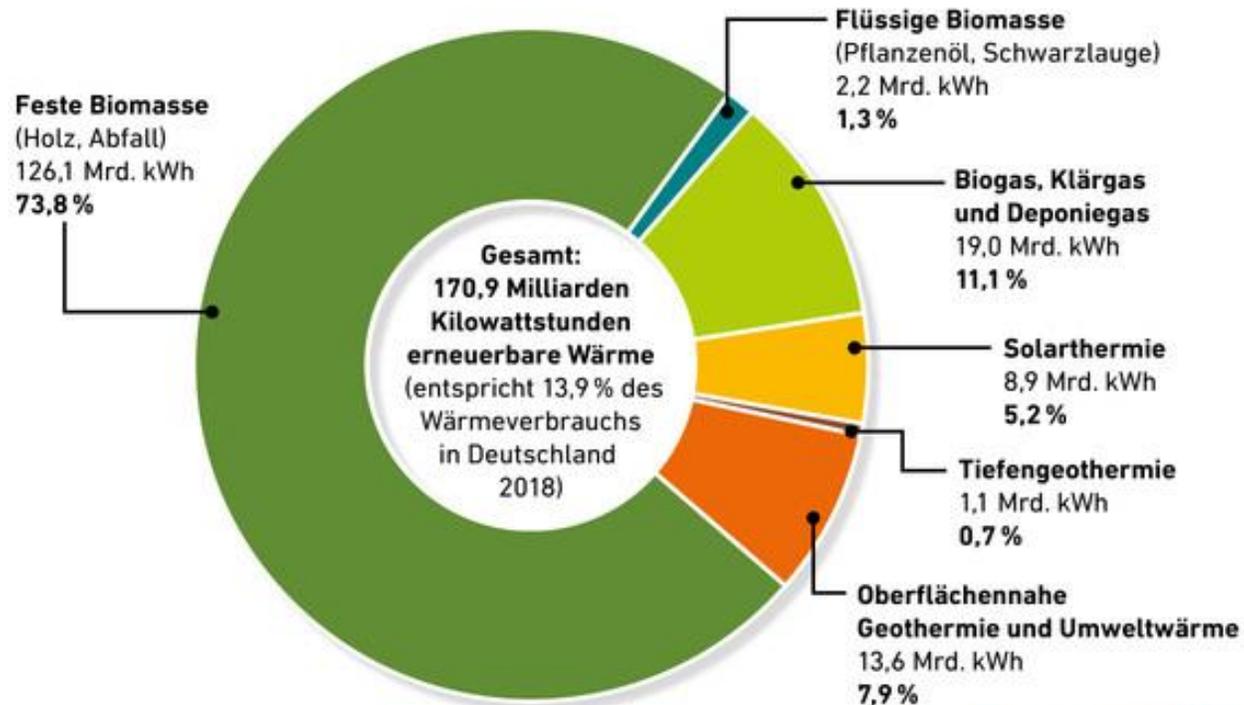
vielmehr ...

- ... Unterschiede der thermischen und geologischen Gegebenheiten
- ... Unterschiede in den Verfahren der Erschließung, Förderung und Nutzung
- ... Unterschiede an die Anforderungen der Planung

„Oberflächennahe“ und „Tiefe“ Geothermie

Wärme aus Erneuerbaren Energien 2018

Bioenergie ist wichtigste Quelle erneuerbarer Wärme. Sie deckte 2018 rund 14 Prozent des deutschen Wärmeverbrauchs.



Quelle: AGEE-Stat
Stand: 3/2019

© 2019 Agentur für Erneuerbare Energien e.V.



Kennzahlen Geothermie
(bundesweit, 2017):

- Anteil Wärmebereitstellung: 0,7 %
- Anteil Stromerzeugung: 0,1 %
- Beschäftigte: 20.300 Personen

Anzahl und Leistung der Anlagen:

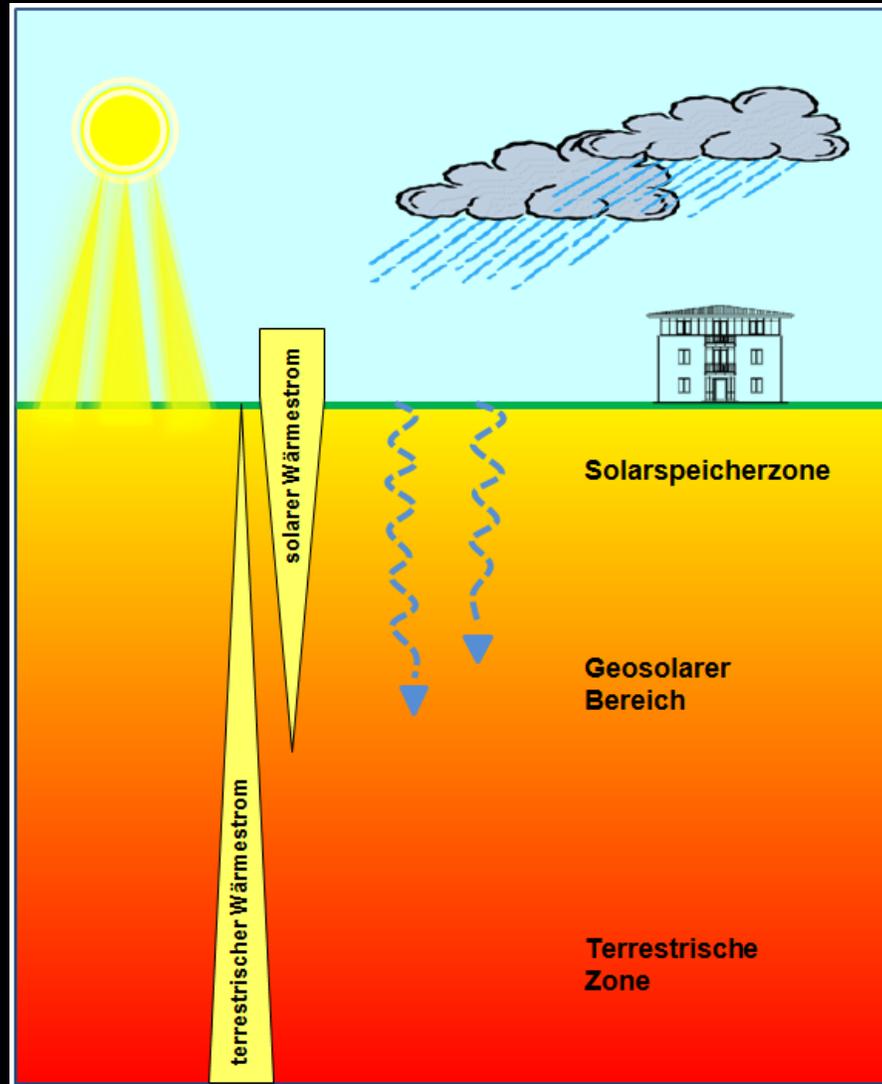
ONG: ca. 390.000 Stk.
ca. 23.400 Stk./Jahr (2018)
ca. 4.290 MW_{th}.

TG: 37 Stk. in Betrieb
ca. 336 MW_{th}. und
ca. 38 MW_{el}.
in Bau 3 Stk.
in Planung 30 Stk.

Nutztemperaturen in der
oberflächennahen

Geothermie

Temperaturen im oberflächennahen Untergrund



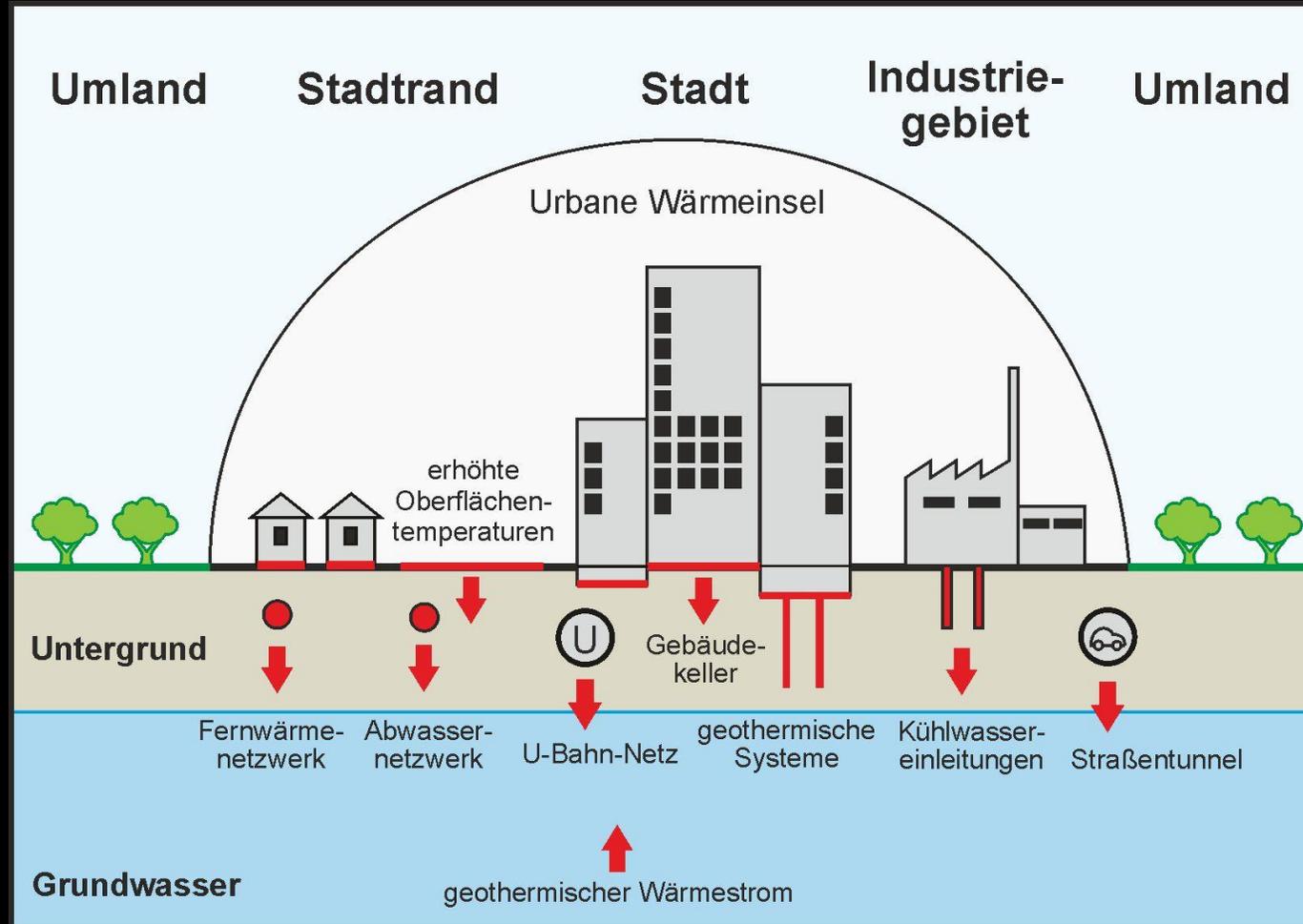
ZONEN:

Solarspeicherzone
(beeinflusst u.a. durch Klima,
Grundwasser, durch den Menschen)

Geosolarer Bereich
(neutrale Zone)

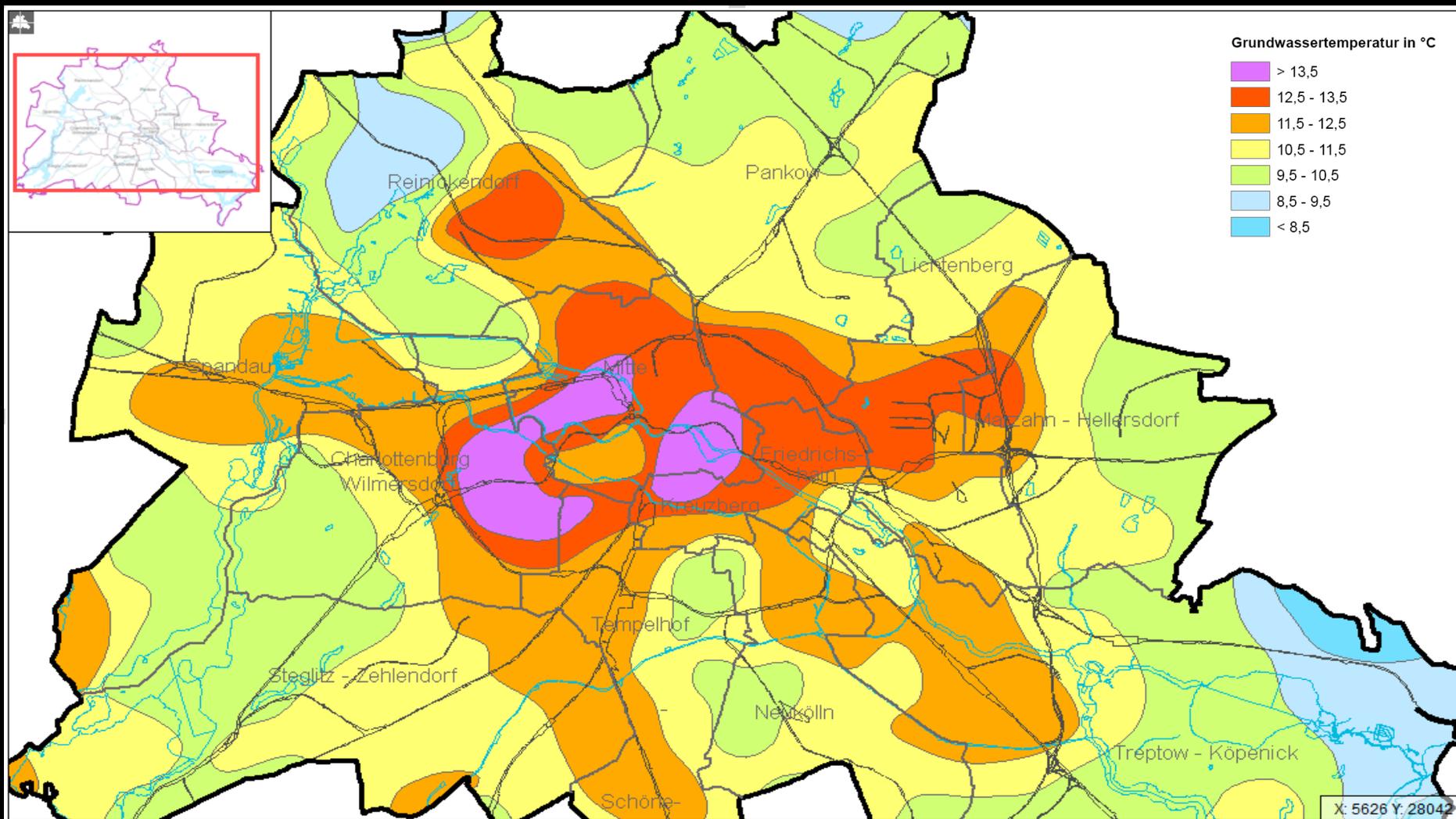
Terrestrische Zone
Geothermischer Gradient \varnothing 3 K/100 m

Temperaturen im oberflächennahen Untergrund



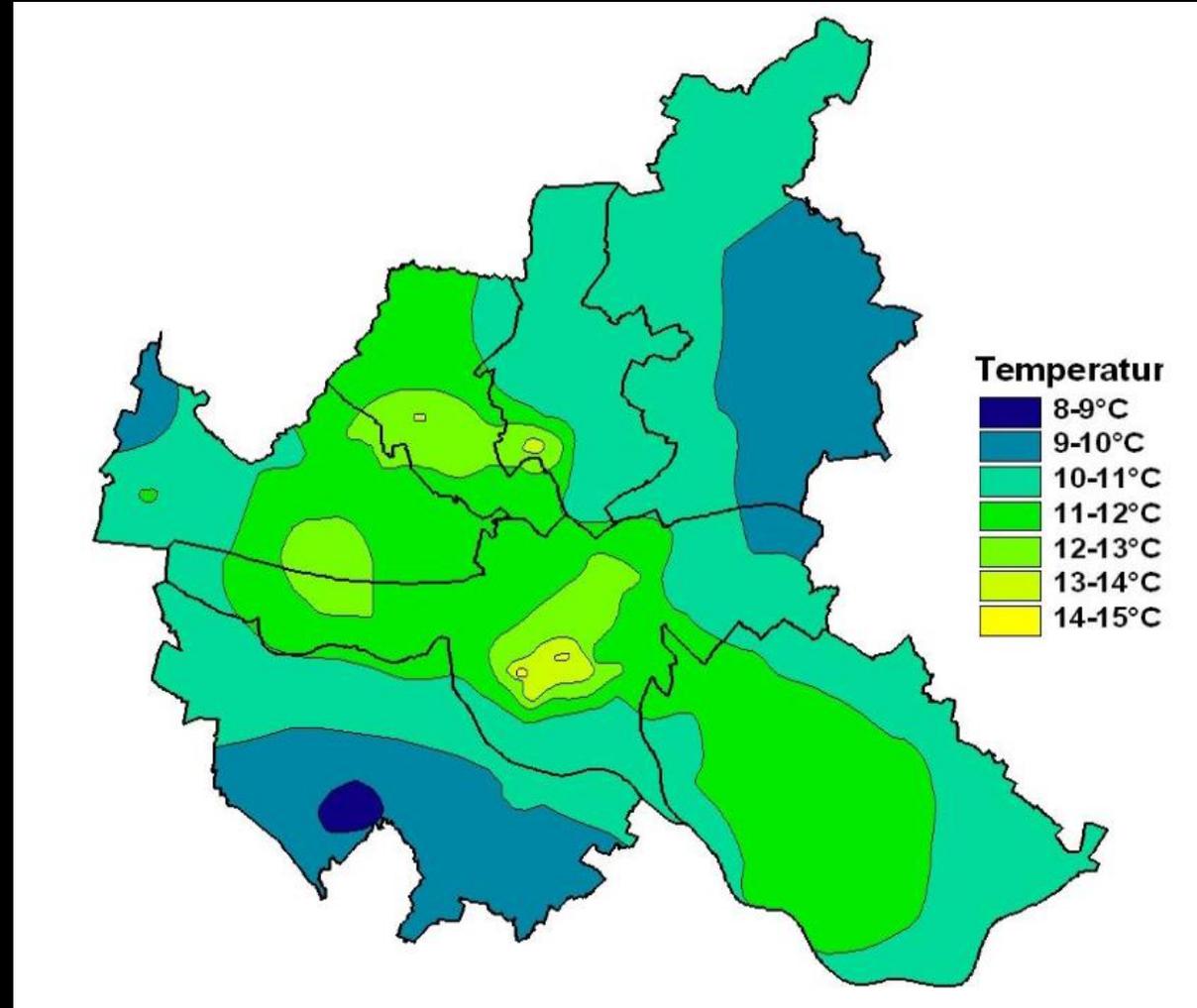
Bildquelle: AGW/KIT

Temperaturen im oberflächennahen Untergrund



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

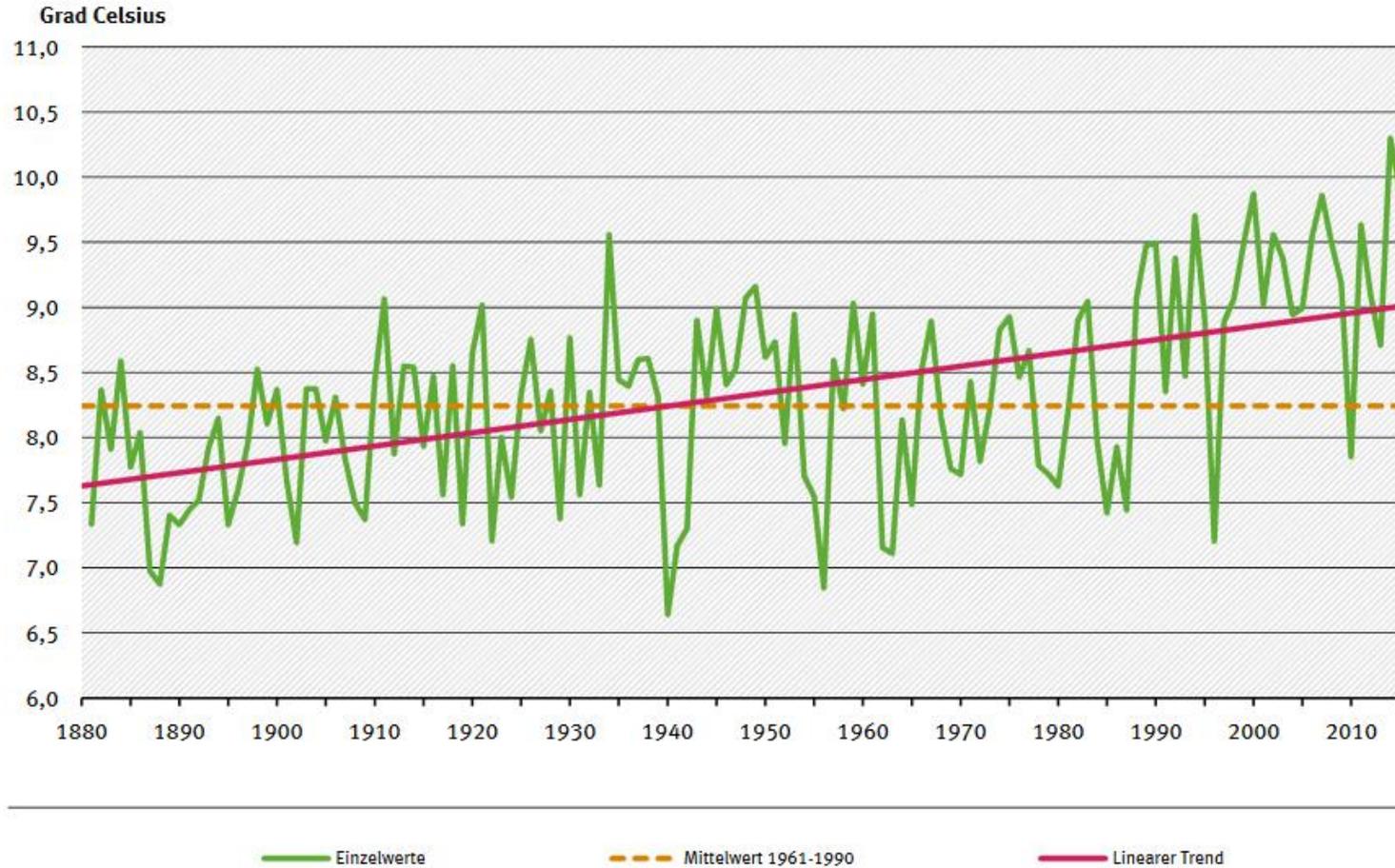
Temperaturen im oberflächennahen Untergrund



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

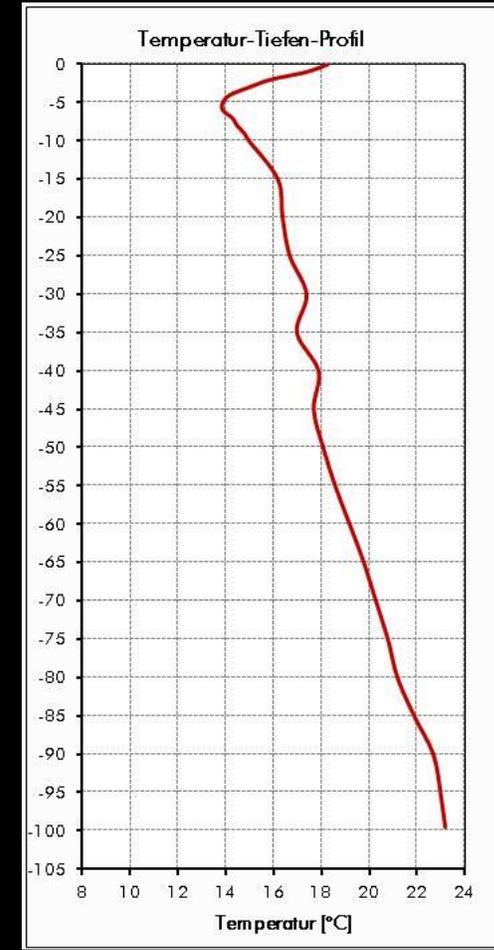
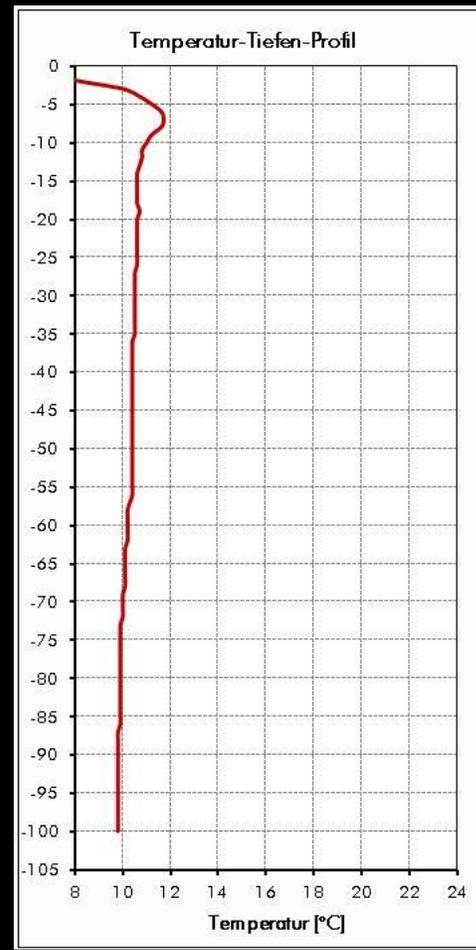
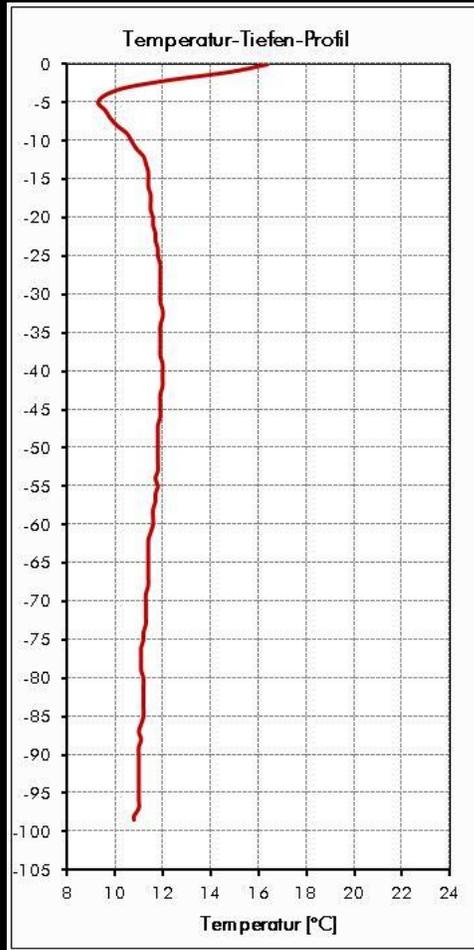
Temperaturen im oberflächennahen Untergrund

Jährliche mittlere Tagesmitteltemperatur in Deutschland 1881 bis 2016



Quelle: Deutscher Wetterdienst (DWD), Mitteilung vom 24.04.2017

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 14,0 °C

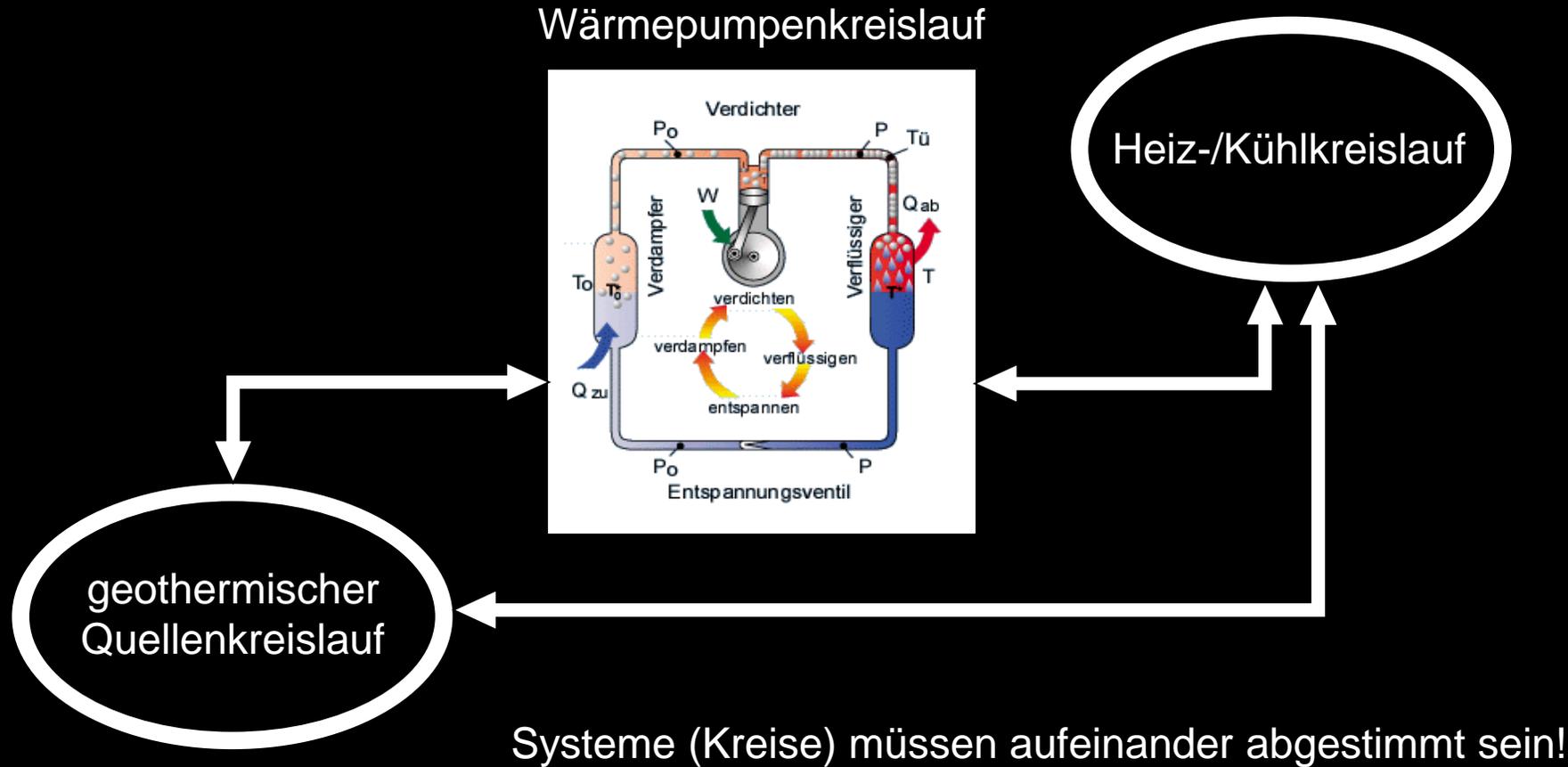
nutzbar für die

Wärmeerzeugung mittels Wärmepumpe

und

Kältegewinnung über freie Kühlung bzw. mit reversibler Wärmepumpe

„erdgekoppelte“ Wärmepumpe (WP)

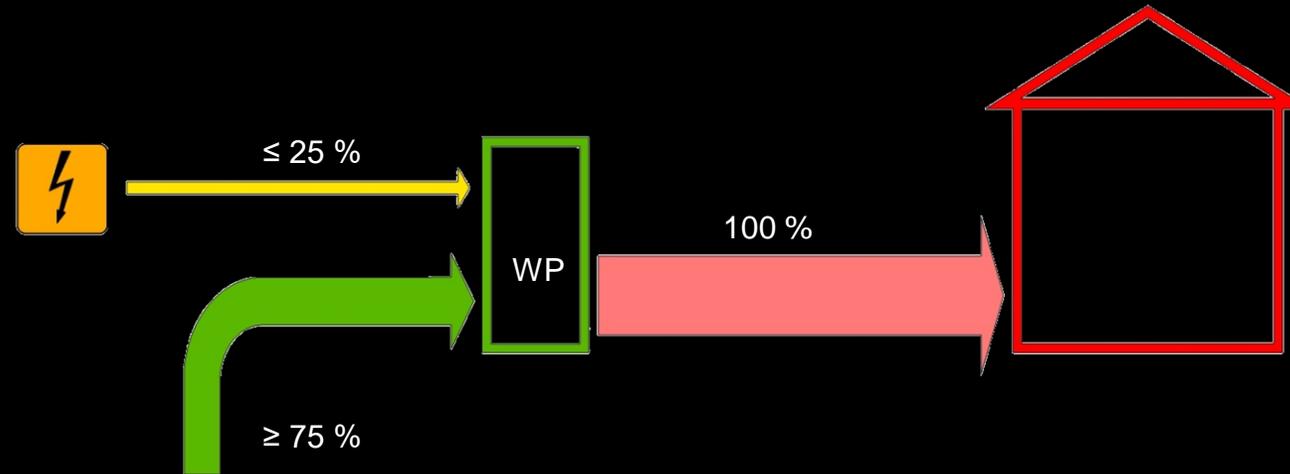


Jahresarbeitszahl JAZ (Effizienz) von WP-Anlagen

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

$$\text{JAZ} = Q_{\text{WP ab}} / W_{\text{el zu}} = [\text{kWh}_{\text{therm}}/\text{a}] / [\text{kWh}_{\text{el}}/\text{a}]^{*1}$$

Anforderungen nach EEWärmeG = $\text{JAZ} \geq 4,0$ ^{*1}



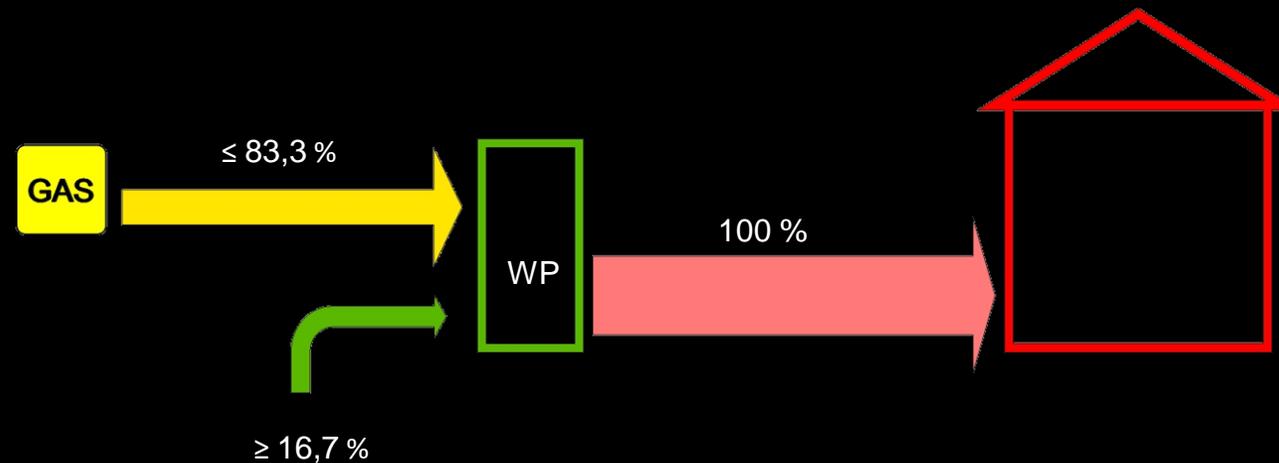
^{*1} bei elektrisch angetriebenen Sole-Wasser-WP/Wasser-Wasser-WP
(mit einer kWh Strom können 4 kWh Wärme bereit gestellt werden)

Jahresarbeitszahl JAZ (Effizienz) von WP-Anlagen

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

$$\text{JAZ} = Q_{\text{WP ab}} / W_{\text{therm zu}} = [\text{kWh}_{\text{therm}}/\text{a}] / [\text{kWh}_{\text{therm}}/\text{a}]^{*1}$$

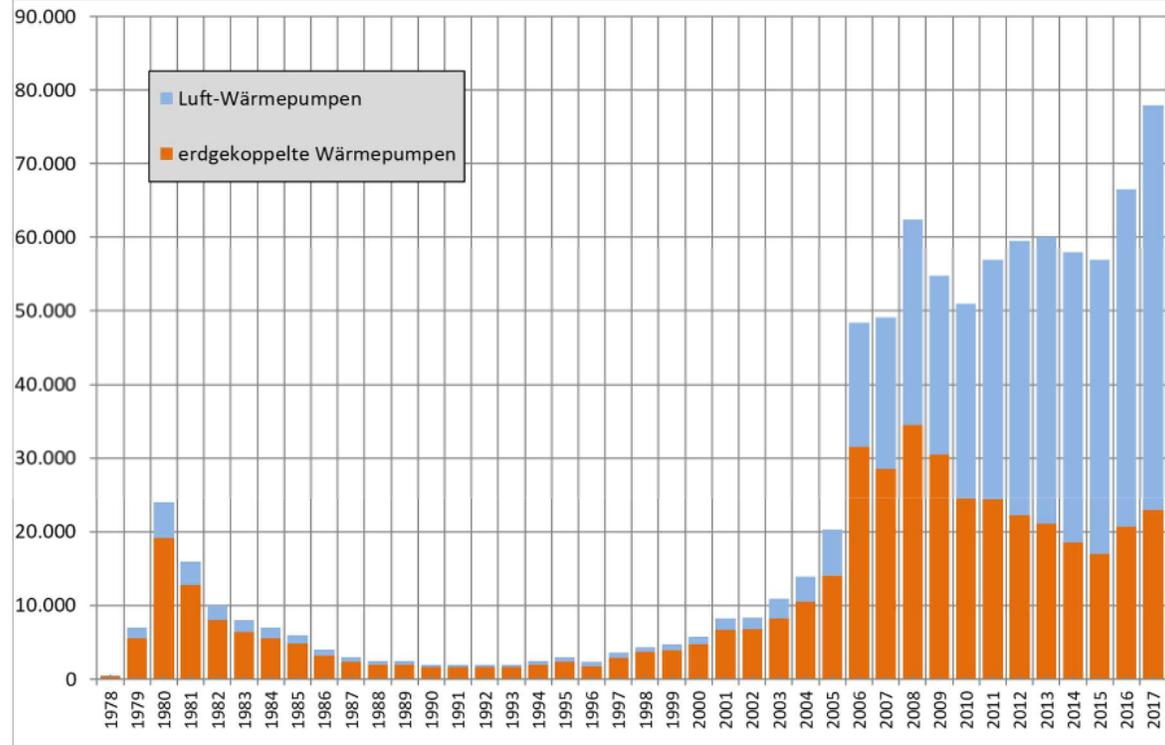
Anforderungen nach EEWärmeG = $\text{JAZ} \geq 1,2^{*1}$



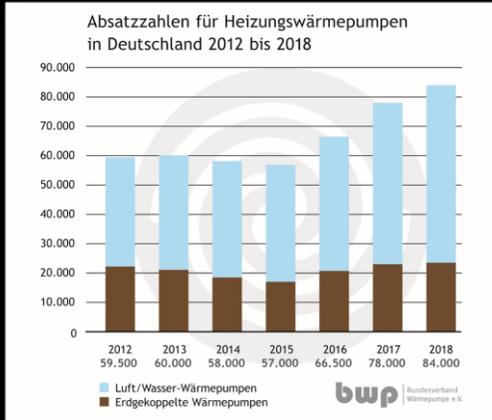
*1 bei Öl/Gas betriebenen Wärmepumpen
(mit der Energie aus einer kWh Gas/Öl können 1,2 kWh Wärme bereit gestellt werden)

Zahlen/Statistiken
oberflächennahe

Geothermie



Quelle: GeoEnergie Konzept GmbH

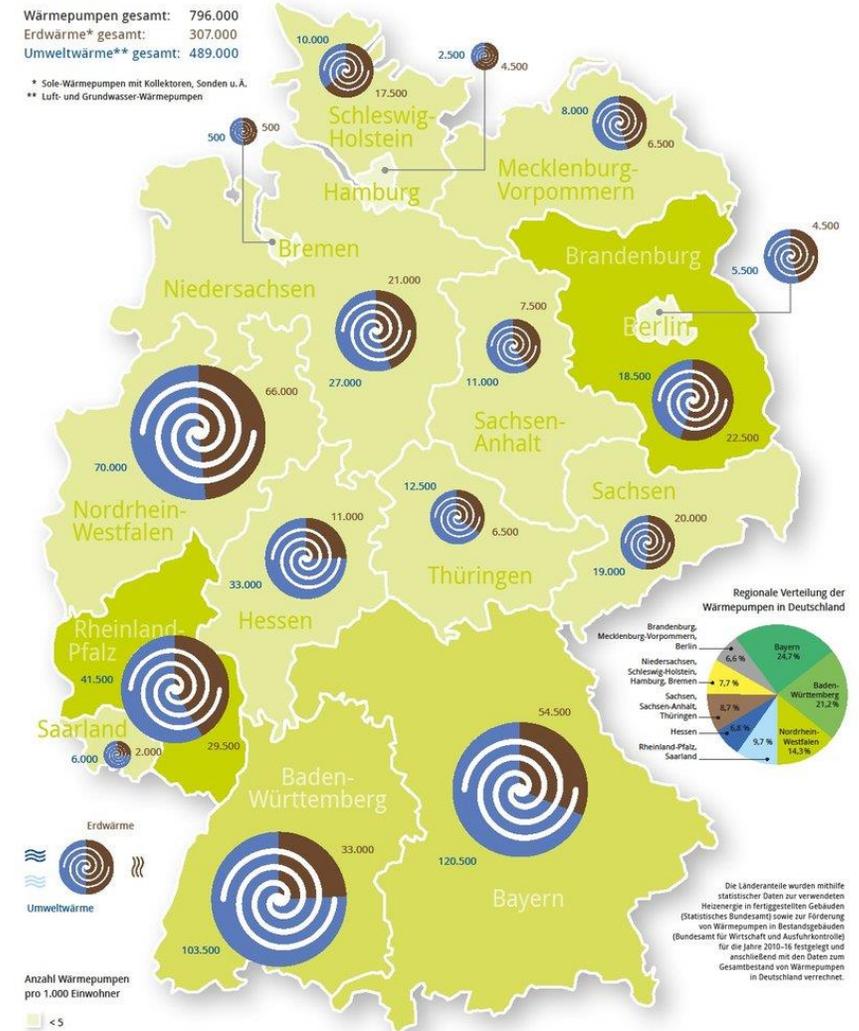


Wärmepumpen in Deutschland

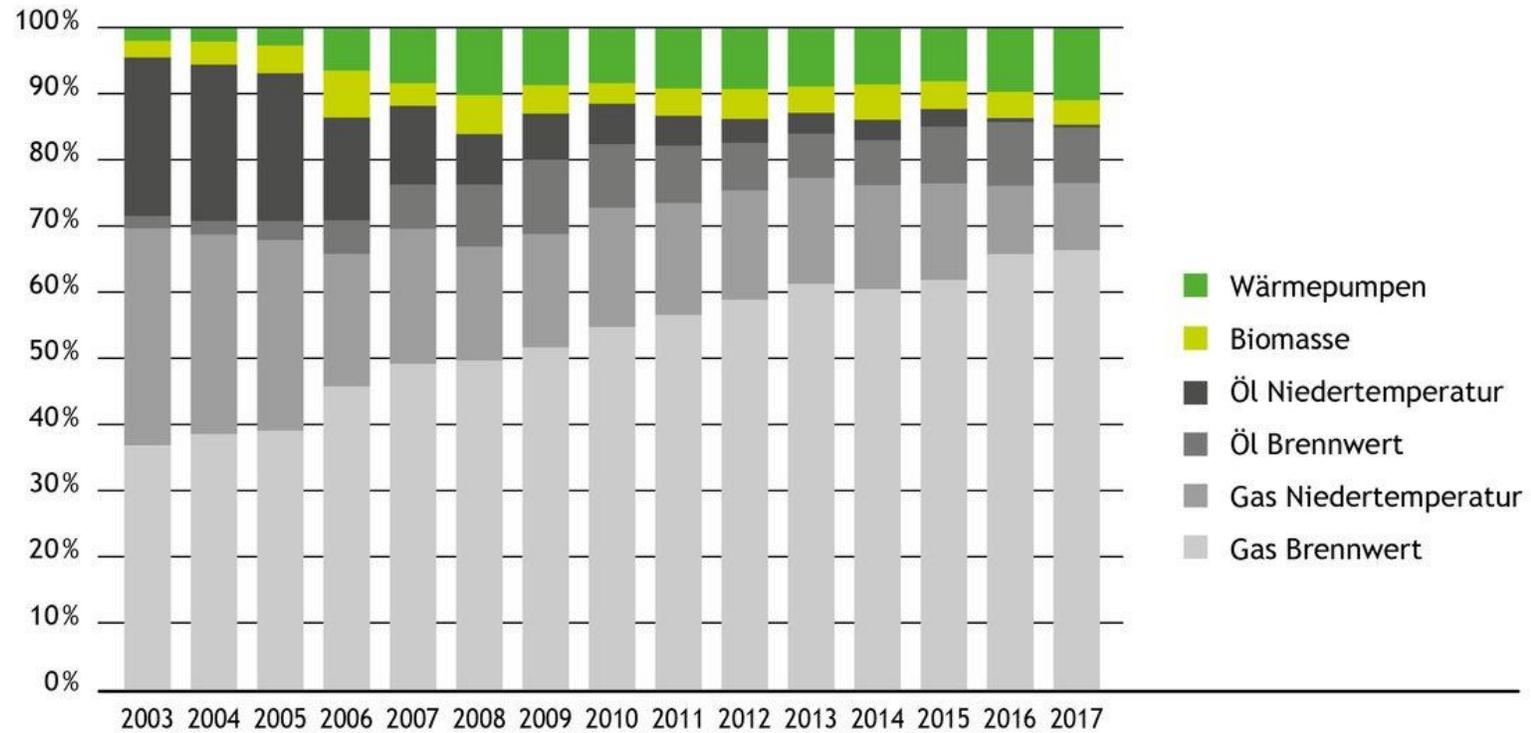
Bestand 2016

Wärmepumpen gesamt: 796.000
 Erdwärme* gesamt: 307.000
 Umweltwärme** gesamt: 489.000

* Sole-Wärmepumpen mit Kollektoren, Sonden u.Ä.
 ** Luft- und Grundwasser-Wärmepumpen

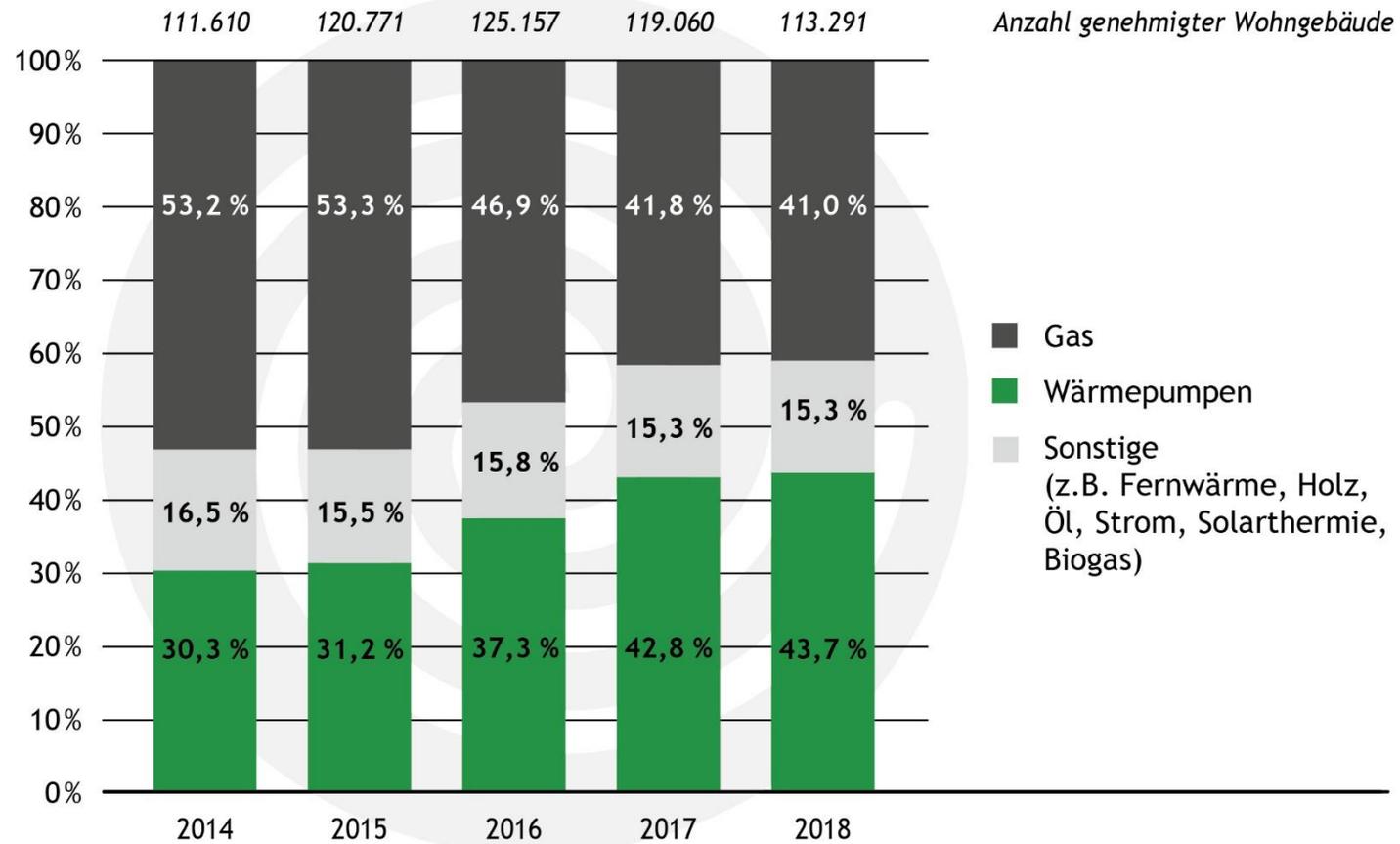


Wärmepumpen-Marktanteile in Deutschland, 2003 bis 2017



Quelle: BDH

Wärmepumpen-Marktanteile in Deutschland Baugenehmigungen neuer Wohngebäude 2014 - 2018



Quelle: Statistisches Bundesamt, Bautätigkeit, Baugenehmigungen für Wohngebäude nach primär verwendeter Energie zur Heizung

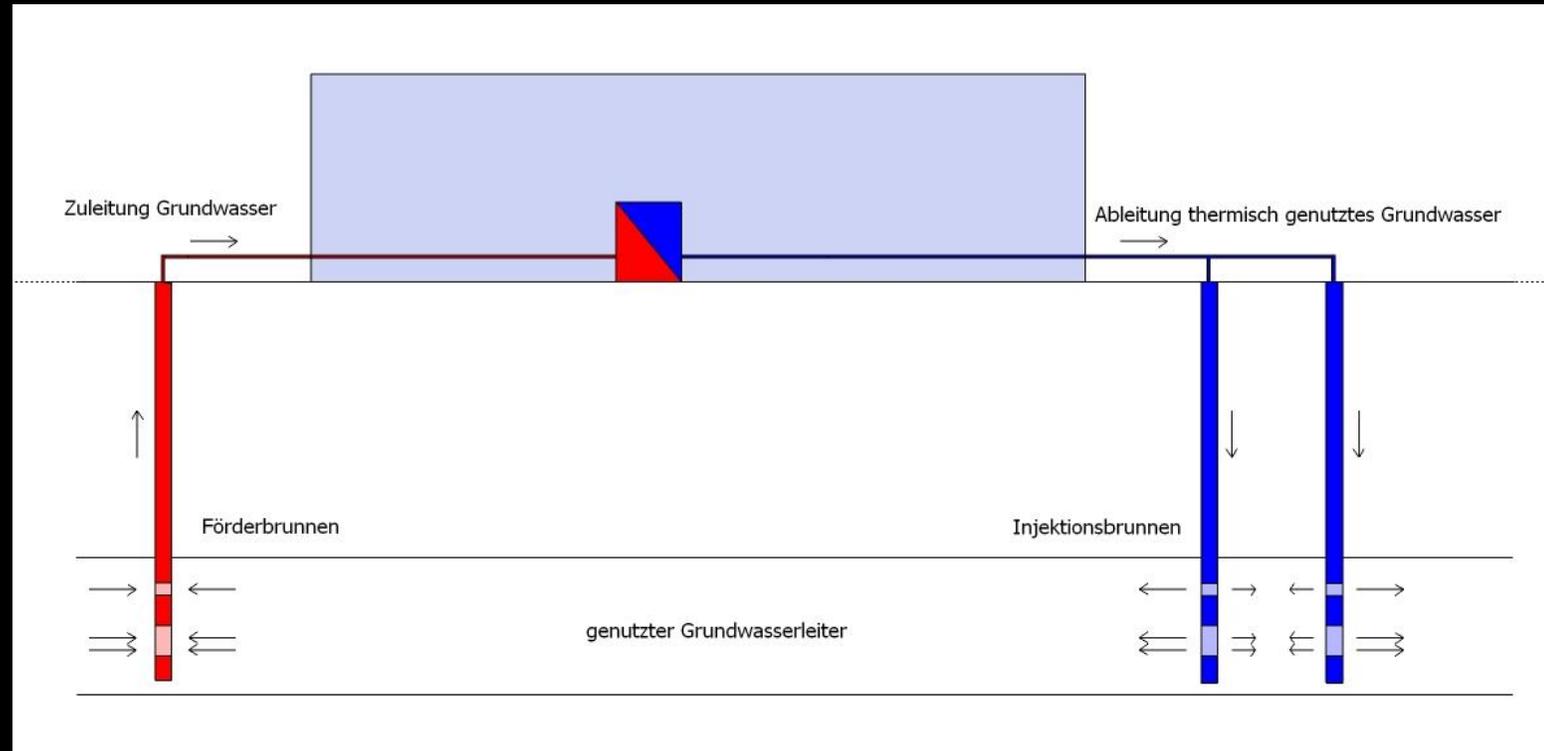
Oberflächennahe

Geothermie

Systeme zur Erschließung
des Untergrundes

Geothermische Quellensysteme

offene Systeme

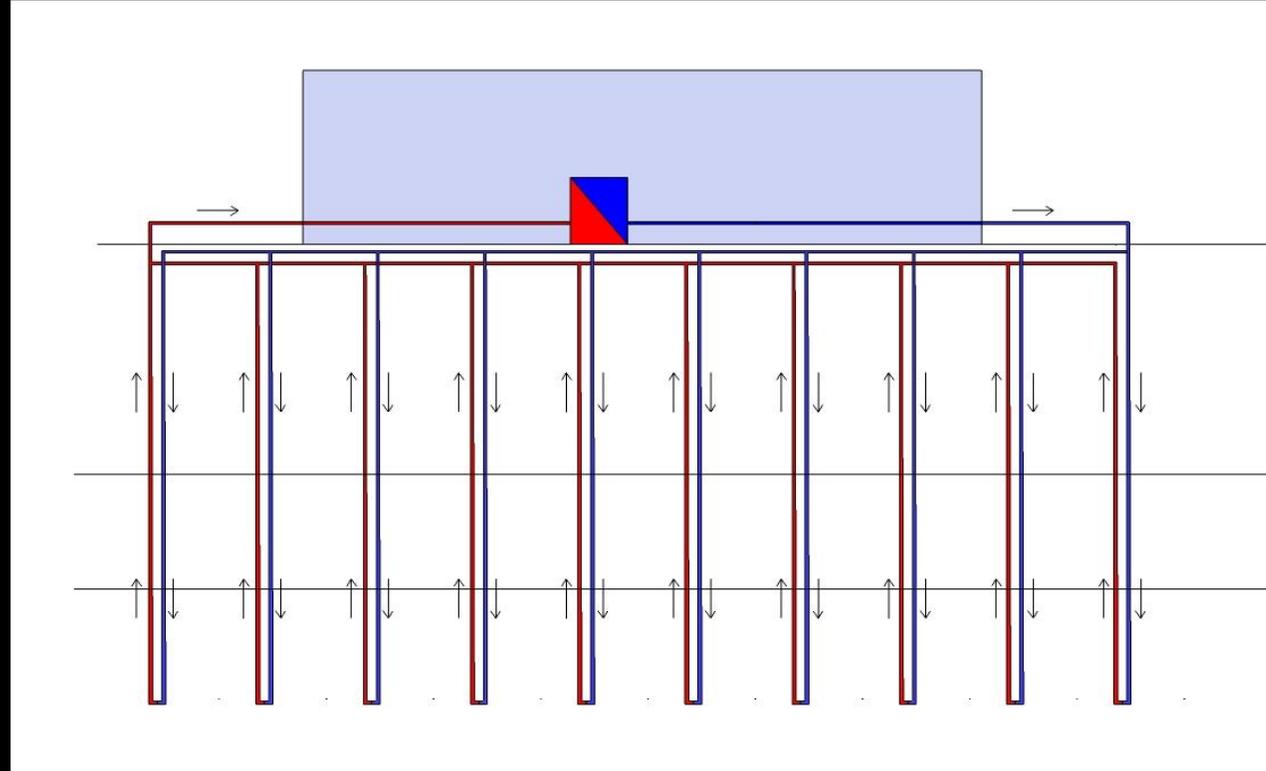


Bildquelle: HSW

Grundwasser fungiert als Wärmeträgermedium und als Wärmequelle

Geothermische Quellensysteme

geschlossene Systeme

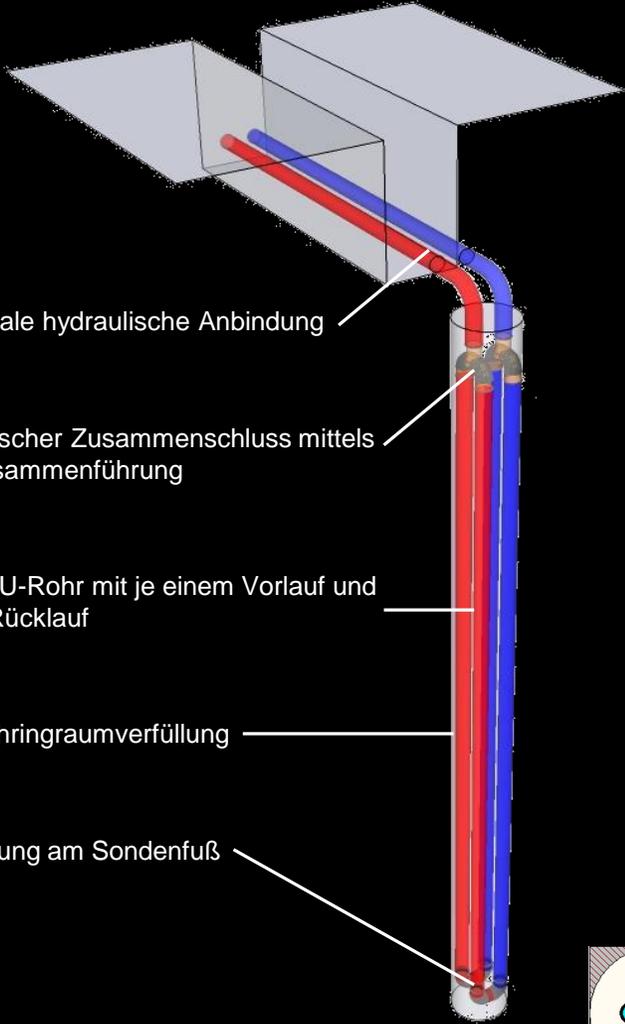


Bildquelle: HSW

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

Geothermische Quellensysteme

geschlossene Systeme: Erdwärmesonden



Bildquellen: HSW

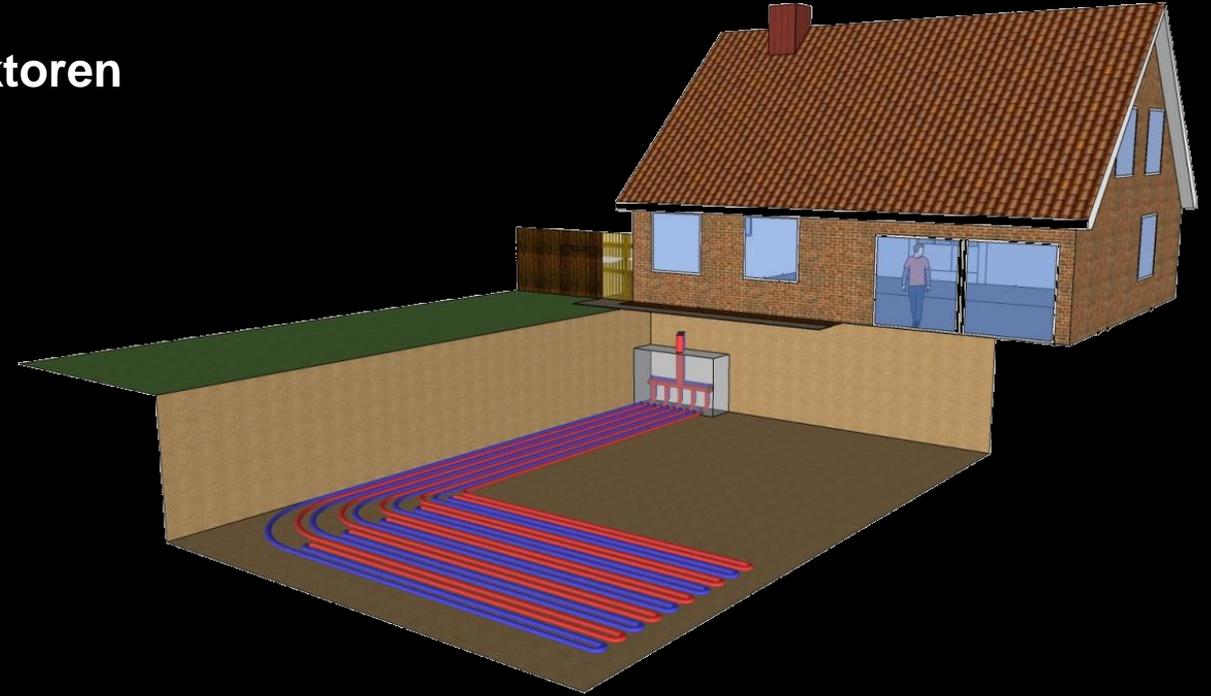
Geothermische Quellensysteme

geschlossene Systeme: Energiepfähle



Geothermische Quellensysteme

geschlossene Systeme: Erdwärmekollektoren



Bildquellen: HSW

Geothermische Quellensysteme

geschlossene Systeme: Sonderbauformen



Bildquelle: Zaugg GmbH



Bildquelle: www.witti.at



Bildquelle: Wikipedia



Bildquelle: PumpenStrebe

Vorteile der Nutzung
Oberflächennaher
Geothermie

Warum den Untergrund thermisch nutzen?

1. Standortunabhängigkeit

Geothermie ist nahezu überall verfüg- und nutzbar

(Ausnahme: wasserwirtschaftlich sensible oder geologisch kritische Bereiche)

Warum den Untergrund thermisch nutzen?

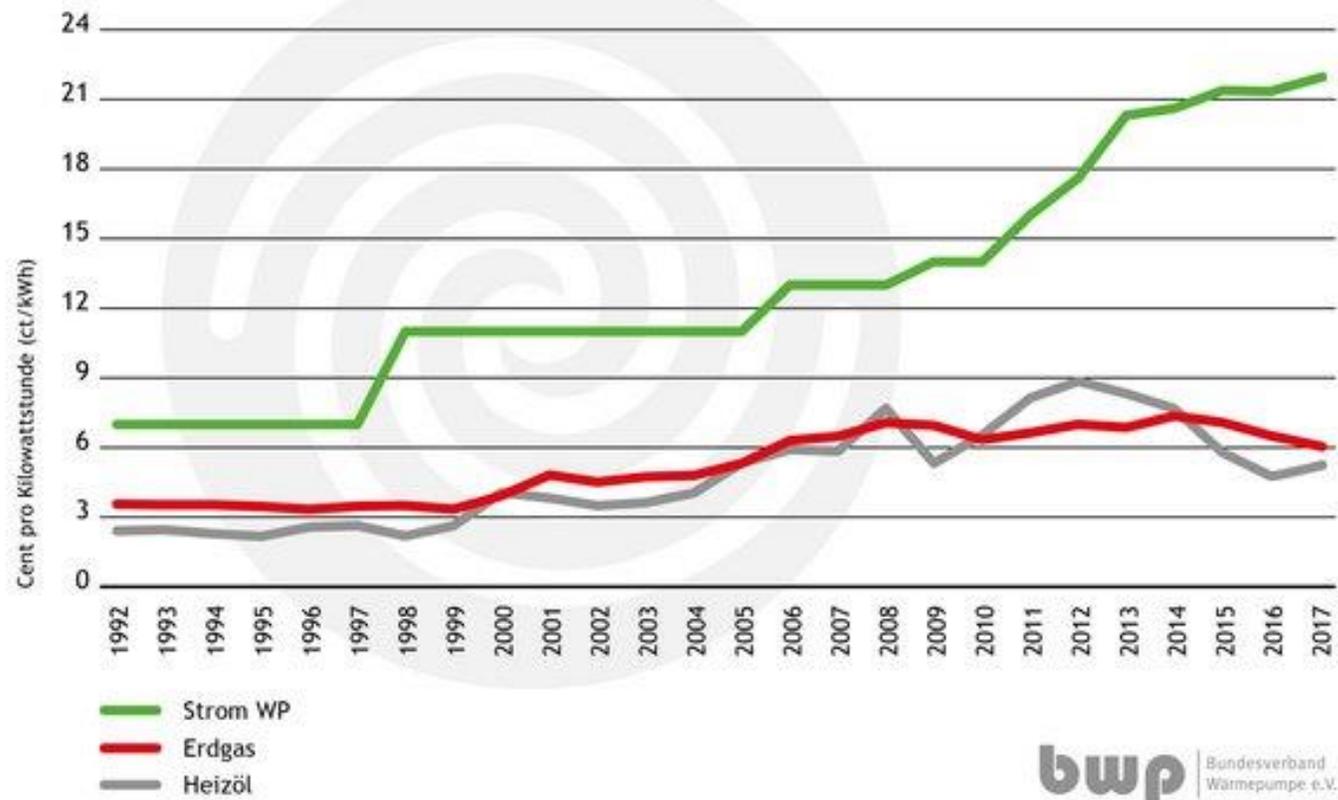
2. Kostensicherheit

Geothermie ermöglicht vergleichsweise stabile Wärmegestehungskosten

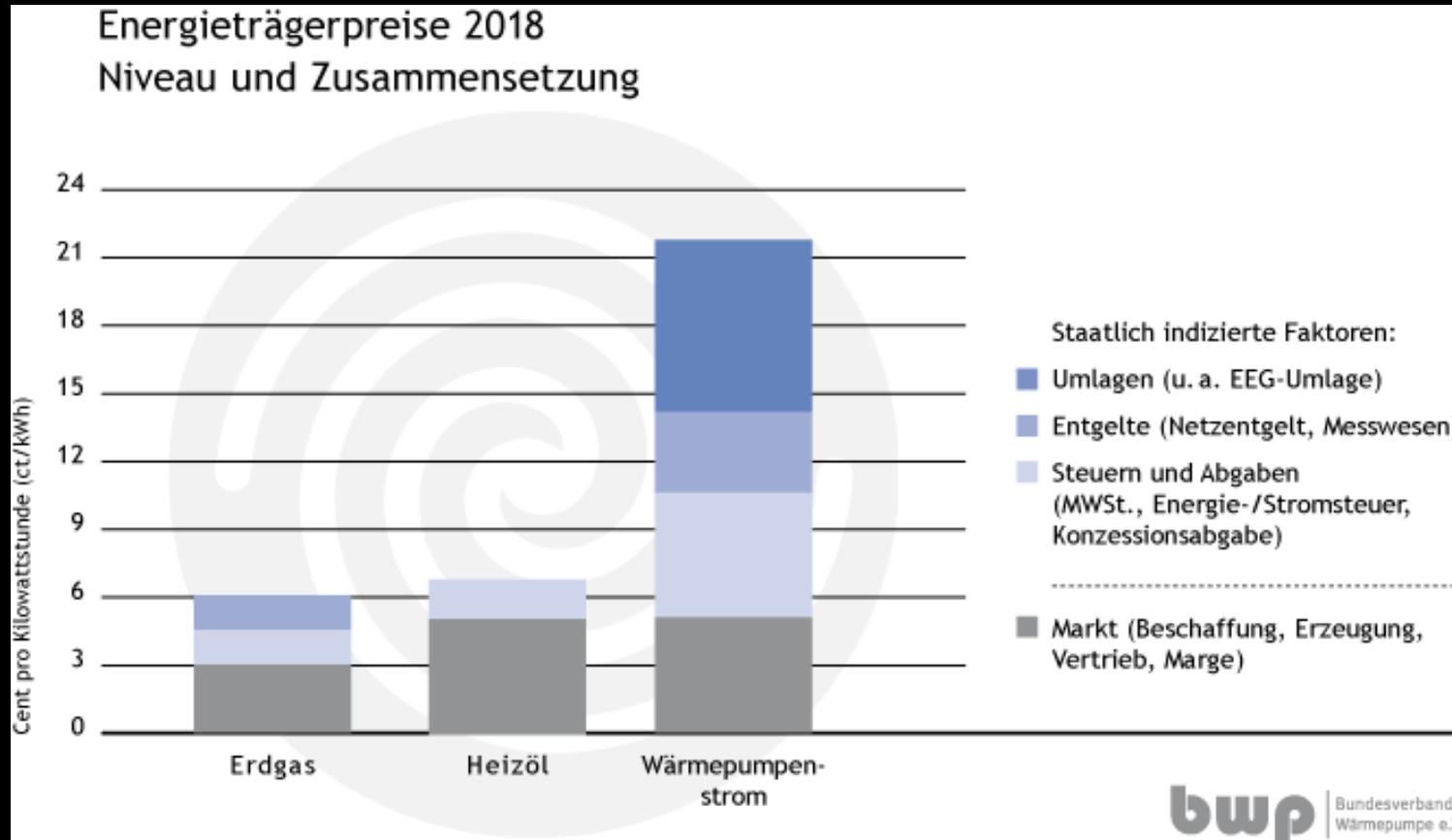
(künftige Preissteigerungen im Strommarkt wirken sich lediglich anteilig/prozentual auf die Betriebskosten aus)

Exkurs Kosten

Energieträger
Entwicklung des Energiepreises je kWh



Exkurs Kosten



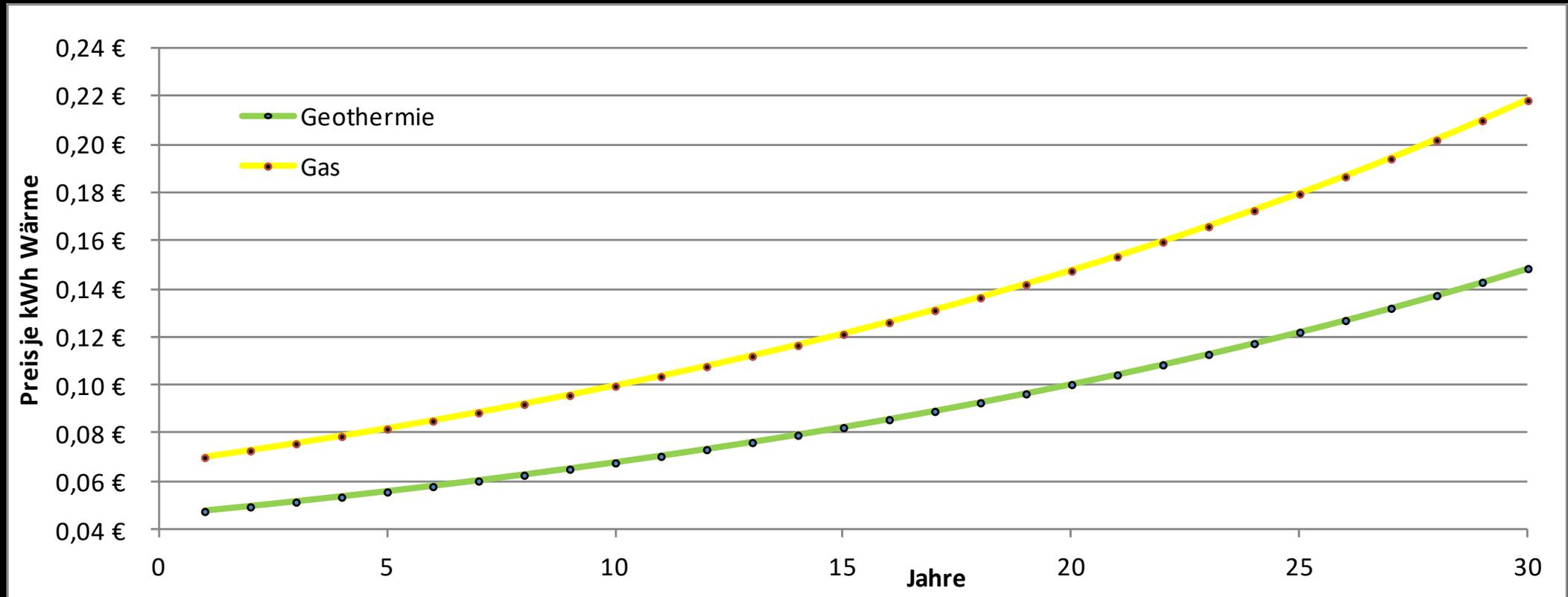
Aktueller Wettbewerbsnachteil für den Betrieb ökologisch sinnvoller Wärmepumpensysteme im Vergleich zum Betrieb von Gas- und Ölfeuerstätten aufgrund höherer prozentualer steuerlicher Belastungen und Abgaben

Exkurs Kosten

prinzipielles Beispiel/Szenario im Vergleich mit Gas:

parallele Preissteigerungen von 4 % je Jahr

Ausgangssituation: WP-Strompreis 0,20 €/kWh, JAZ WP 4,2,
Gaspreis 0,06 €/kWh, 10 % Wärmeverlust über Schornstein,

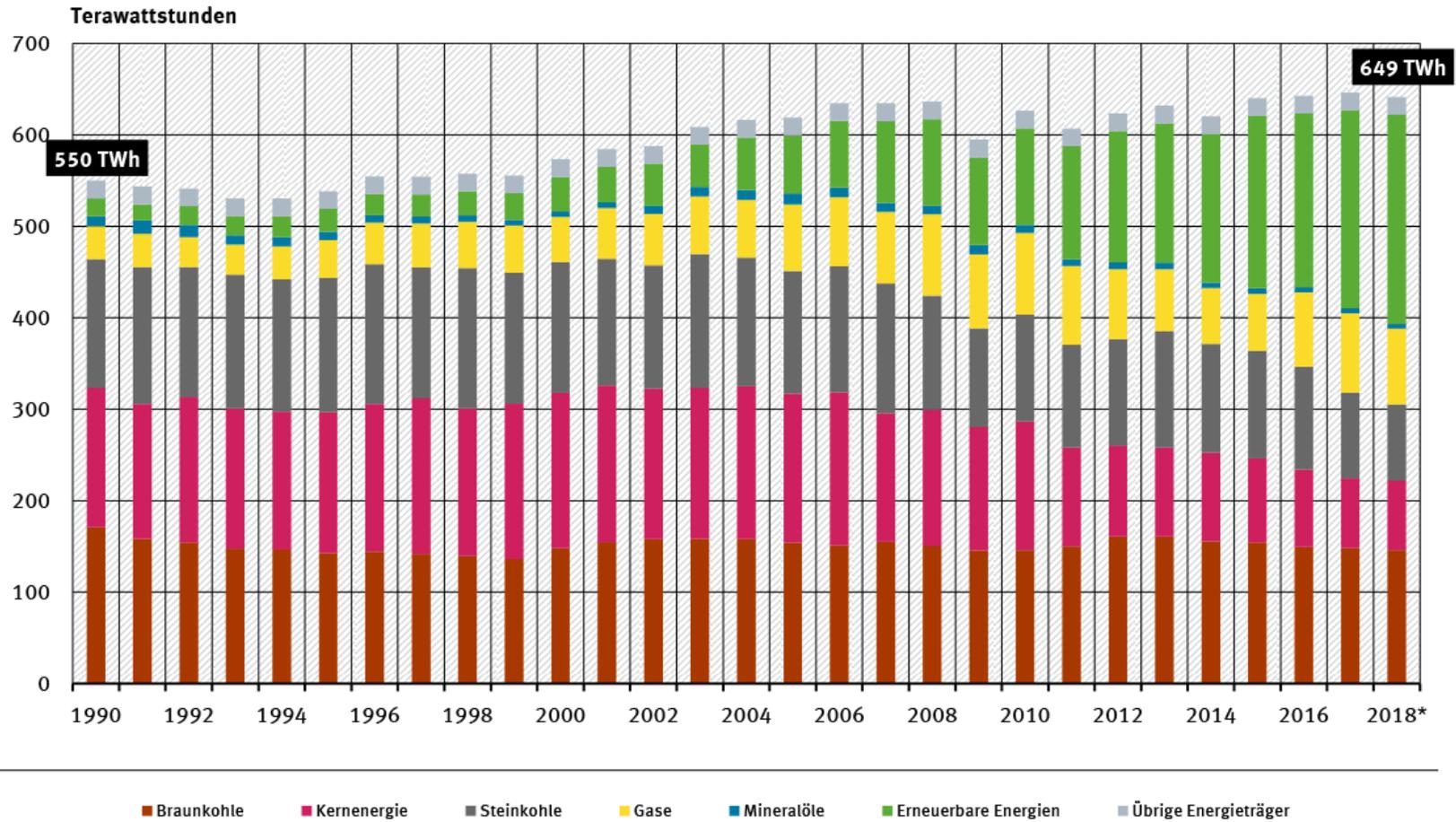


Warum den Untergrund thermisch nutzen?

3. Umweltfreundlichkeit

Der Betrieb geothermischer Anlagen ist CO₂-arm und bei Nutzung von regenerativ erzeugtem Strom sogar CO₂-neutral möglich.

Bruttostromerzeugung in Deutschland nach Energieträgern



* vorläufige Angaben, zum Teil geschätzt

Quelle: Umweltbundesamt auf Basis AG Energiebilanzen, Sondertabelle Bruttostromerzeugung in Deutschland von 1990 bis 2018 nach Energieträgern, Stand 12/2018

Warum den Untergrund thermisch nutzen?

4. Werthaltigkeit

Die Lebensdauer der erdseitig installierten Anlagenkomponenten liegt bei mehr als 70 Jahren, wodurch der Wert des Grundstückes bzw. der Immobilie nachhaltig gesteigert werden kann.

Warum den Untergrund thermisch nutzen?

5. Vereinbarkeit

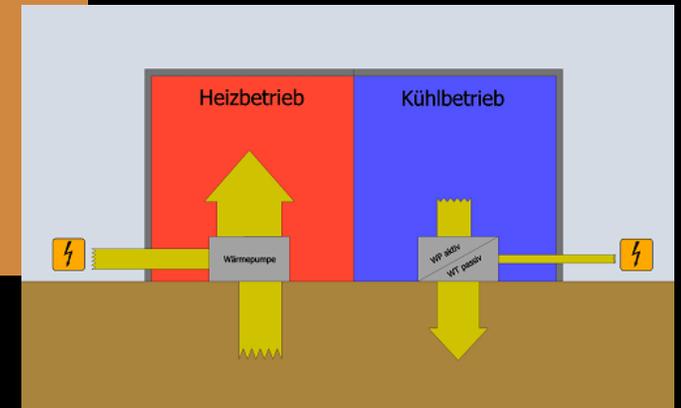
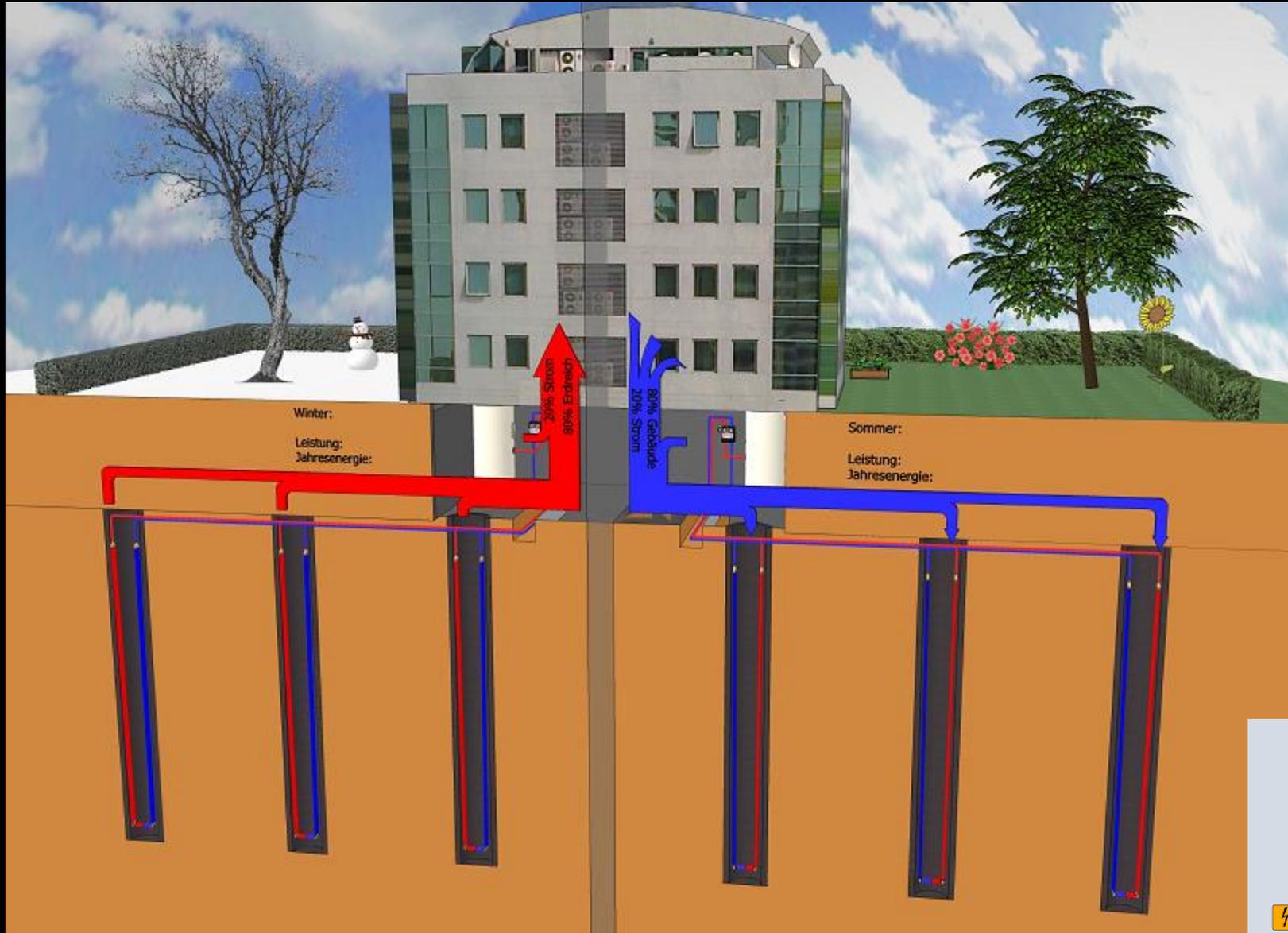
Die gesetzlichen Anforderungen aus der EnEV und aus dem EEWärmeG werden mit der Nutzung von oberflächennaher Geothermie als regenerative Energiequelle erfüllt.

(u.a. Deckungsanteil vom Gesamtwärmebedarf mindestens 50 %)

Warum den Untergrund thermisch nutzen?

6. Vielseitigkeit

Die Temperaturen des oberflächennahen Untergrundes können sowohl zur Wärmeversorgung, als auch für eine Gebäudekühlung genutzt werden. Und dies mit verschiedenen möglichen Gebäudenutzungskonzepten (u.a. Grundlastdeckung, Spitzenlastabdeckung)



Bildquellen: HSW

Warum den Untergrund thermisch nutzen?

Zusammengefasst:

Geothermie ist grundlastfähig, d.h. Erdwärme steht rund um die Uhr, wetterunabhängig und im gesamten Erdkörper zur Verfügung.

Die Energie ist heimisch, lange Transportwege entfallen, sie ist keinem grenzüberschreitenden Handel unterworfen und kann losgelöst von politischen Krisen immer geliefert werden.

„Außergewöhnliche“ Schadensfälle im Bereich der
Oberflächennahen

Geothermie

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.

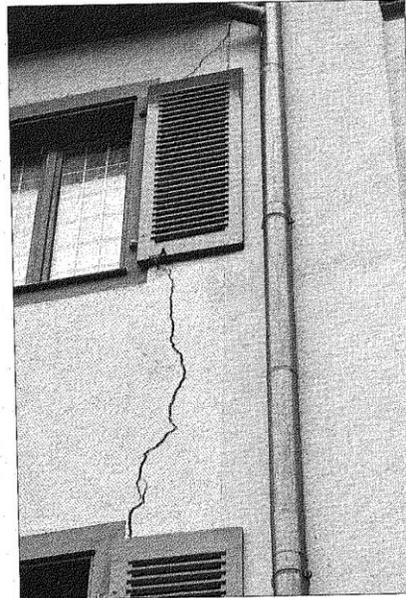
Denn nach einem seit einigen Wochen vorliegenden Gutachten wird die Schuldfrage für die Schäden wohl nie geklärt werden können. „Es können keine eindeutigen Ursachen definiert werden“, erklärt Ralph Watzel,

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 1546. 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-

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 Stadtne Schicht des Mineradrit. Kommt dieses in Berührung, wird es und quillt auf. Die Folge hebt sich „und die Kungen sind geradezu

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

Tage von Experten befragen hat die Region erste Mal zu kämpfen: keine 40 Kilometer entfernt, musste Anfangen Jahres ein Geoprojekt abgebrochen nachdem mehrere ausgelöst worden war



Kamen (NRW)



Wiesbaden (Hessen)



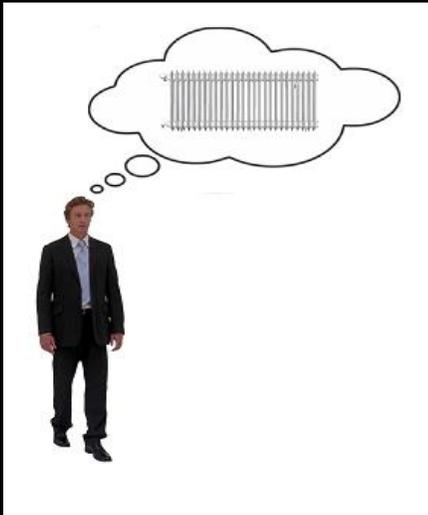
„typische“ Schadensfälle im Bereich der
Oberflächennahen

Geothermie

z.Bsp.

- Fehlfunktion bzw. Ausfall der erdgekoppelten Wärmepumpenanlage
- monetärer Schaden durch Anlagenunwirtschaftlichkeit
- wasserwirtschaftlich (ggf. bergrechtlich) relevante Schäden
- Flur- und Vegetationsschäden
- Bauwerksschäden
- Materialschäden

Wie können Fehler vermieden / minimiert werden?



Fachplanung Geothermie



verantwortlich für:

- geologische Standortbewertung mit Abschätzung geologischer Risiken
- Klärung genehmigungsrechtlicher Aspekte
- Bewertung des geothermischen Standort- und Nutzungspotentials
- Überprüfung des geplanten Nutzungskonzeptes
- geothermische Vorerkundungen/Messungen
- softwarebasierte Dimensionierung der geothermischen Anlage
- Simulationen der Auswirkungen des Anlagenbetriebes auf den Untergrund
- fachkonforme Ausführungsplanung Geothermie
- Projektbegleitung (Kommunikation und Koordination, auch Qualitätssicherung)
- Abnahme / Schlussprüfung

Baustelle / Bauablauf

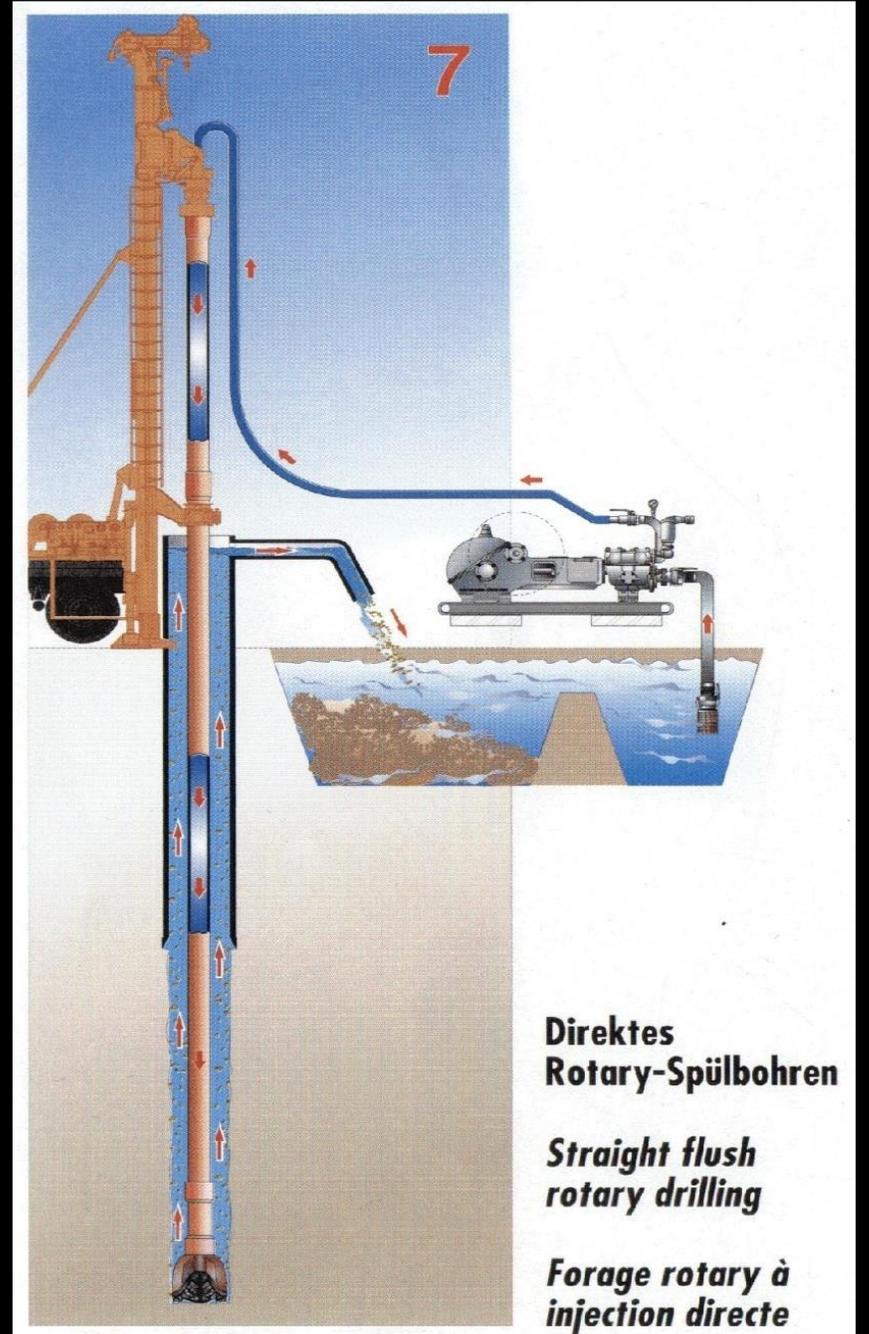
Baustelle



Bildquellen: Wiese BB, GeoHanse GmbH, HSW

Baustelle

Bildquellen: Celler BB, HSW, Nordmeyer

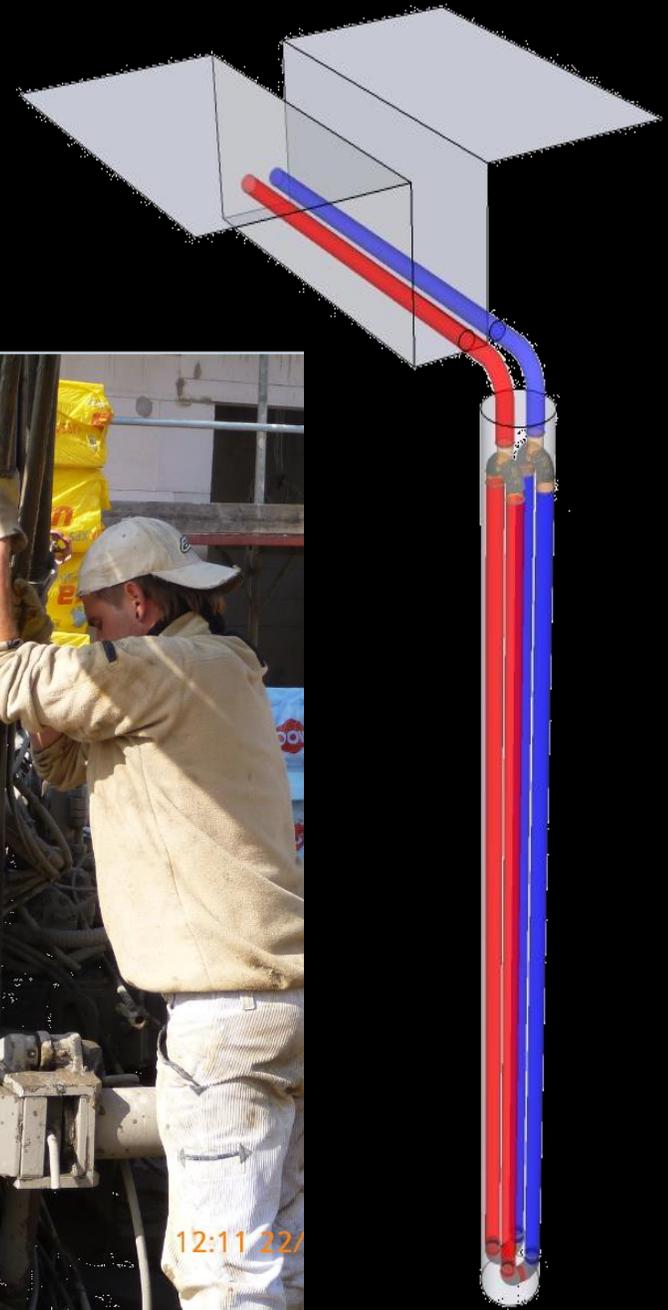


Baustelle

Bildquellen: GeoHanse GmbH



Baustelle



Bildquellen: Wiese BB, HSW

Baustelle



Bildquellen: HSW / Wiese BB

Baustelle



Bildquellen: HSW / Celler BB

Baustelle



Bildquellen: HSW

Baustelle



Bildquellen: HSW

Baustelle



Bildquellen: HSW

Baustelle



Bildquelle: Weishaupt

Baustelle

Bildquelle: Geothermics

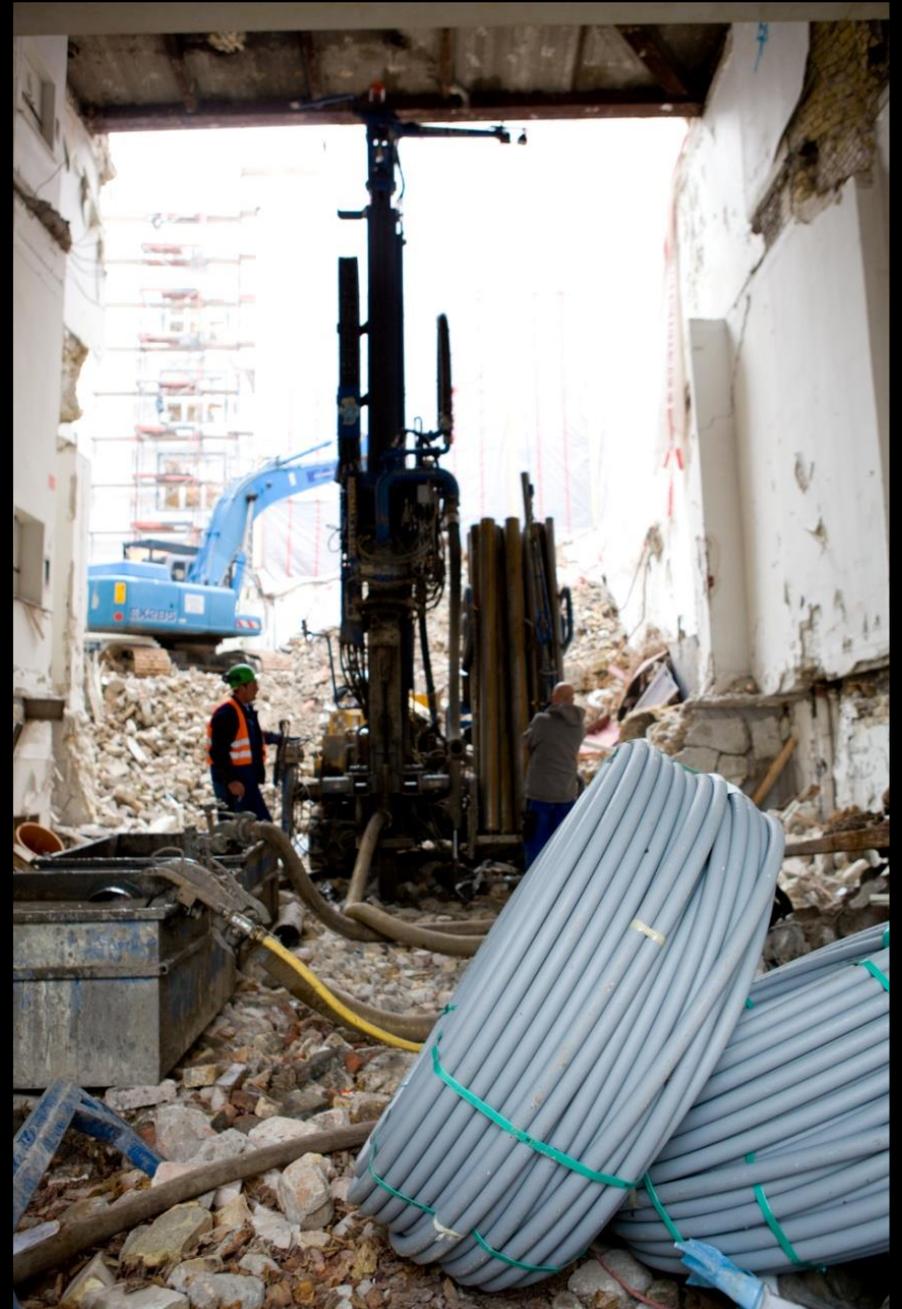


Baustelle



Bildquelle: HSW

Baustelle



Bildquellen: Geothermics / HSW

Baustelle



Praxisbeispiele / Anwendungsmöglichkeiten der Oberflächennahen Geothermie

Biohof Medewege bei Schwerin

Heizen mittels Erdreichkollektor



Oberflächennahe Geothermie in Schwerin



IHK zu Schwerin

218 Energiepfähle a >20 m Tiefe
= 5.016 Gesamtpfahlmeter

Heizwärme: ca. 120 kW

Kühlung: ca. 230 kW



Oberflächennahe Geothermie in Rostock



Silo 4+5

264 Energiepfähle a 19 m Tiefe
= 5.016 Gesamtpfahlmeter

Heizwärme: ca. 120 kW
ca. 300 MWh/a

Kühlung: ca. 100 kW
ca. 250 MWh/a

+ Fernwärme / Kältemaschinen

Oberflächennahe Geothermie in Rostock



AIDA - Home

39 Erdwärmesonden a 100 m Tiefe
3.900 Gesamtbohrmeter

Heizwärme: 200 kW
255 MWh/a

Kühlung: 200 kW
170 MWh/a

+ Fernwärme / Kältemaschinen

Oberflächennahe Geothermie in Rostock



Quelle: BBL M-V

ZMF – Universitätsmedizin Rostock

52 Erdwärmesonden a 110 m Tiefe
5.720 Gesamtbohrmeter

Heizwärme: 300 kW
800 MWh/a

Kühlung: 300 kW
550 MWh/a

+ Fernwärme / Kältemaschinen

Oberflächennahe Geothermie in Rostock



Inselquartier der WIRO

80 Erdwärmesonden a 110 m Tiefe
8.800 Gesamtbohrmeter

Heizwärme: 100 % Geothermie
300 kW
550 MWh/a

Warmwasser: über Fernwärme

Oberflächennahe Geothermie in Berlin



Bundesministerium des Innern

105 Erdwärmesonden mit
100 m Tiefe
= 10.500 Gesamtbohrmeter

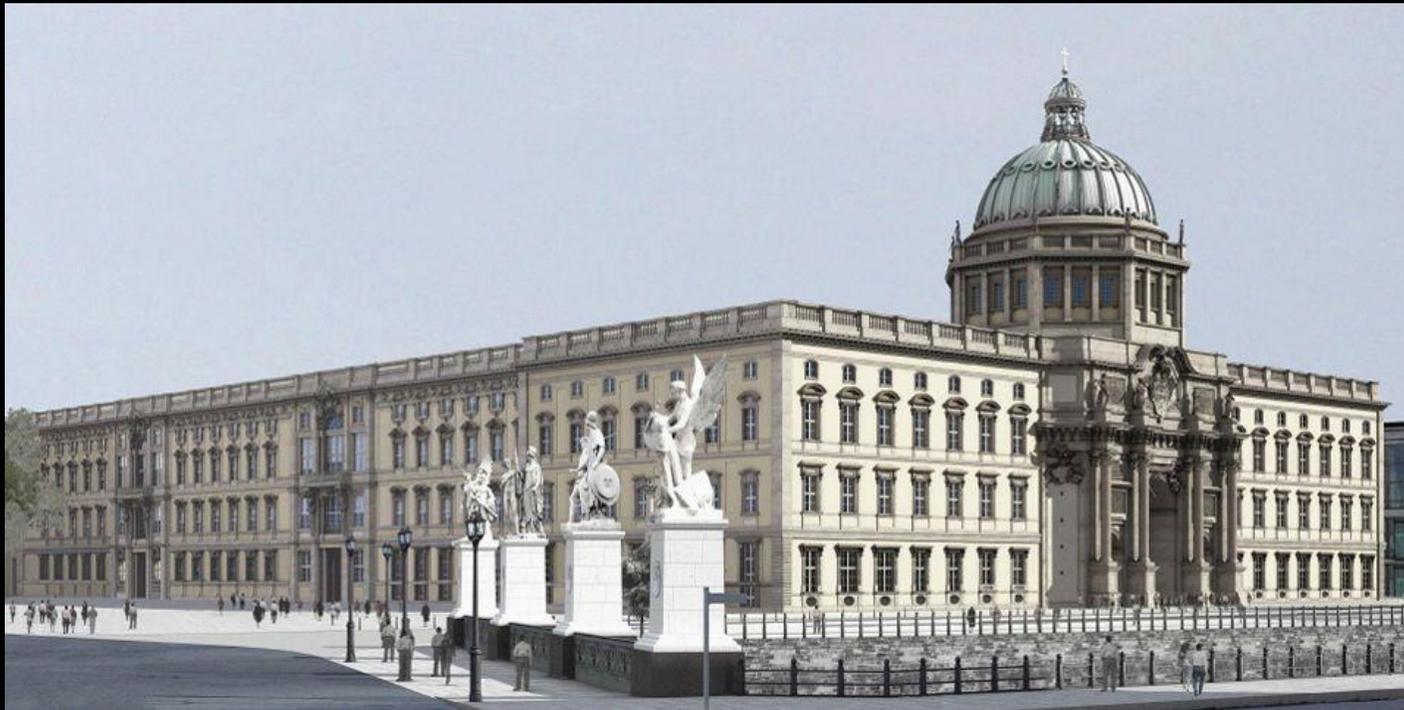
Heizwärme: ca. 800 kW
ca. 515 MWh/a

Kühlung: ca. 380 kW
ca. 375 MWh/a

+ (Fernwärme als Redundanz)
+ Kühlturm

Oberflächennahe Geothermie in Berlin

Stadtschloss Berlin



Quelle: Humboldt Forum

115 Erdwärmesonden mit
100 m Tiefe
= 11.500 Gesamtbohrmeter

91 Energiepfähle
Im Mittel 18,5 m thermisch aktiviert
= 1.690 m

Heizwärme: ca. 500 kW
ca. 2.000 MWh/a

Kühlung: ca. 400 kW
ca. 1.400 MWh/a

+ Fernwärme / Kältemaschinen

Kita Neukloster

Heizen mittels Erdwärmesonden im Bestand



IBA-DOCK Hamburg

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





H.S.W. Ingenieurbüro
Gesellschaft für Energie und Umwelt mbH
Gerhart-Hauptmann-Str. 19
18055 Rostock
www.hsw-rostock.de