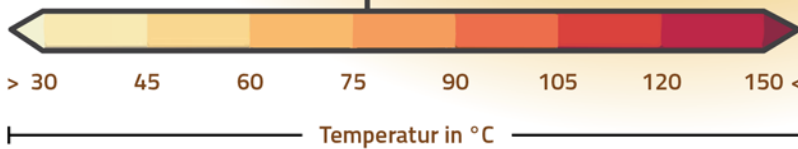
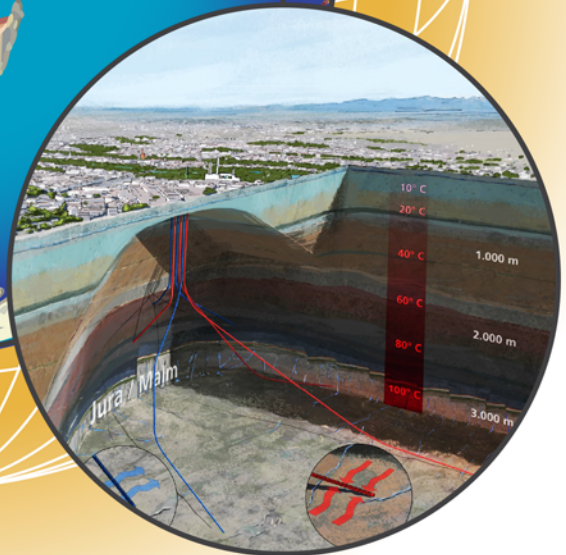
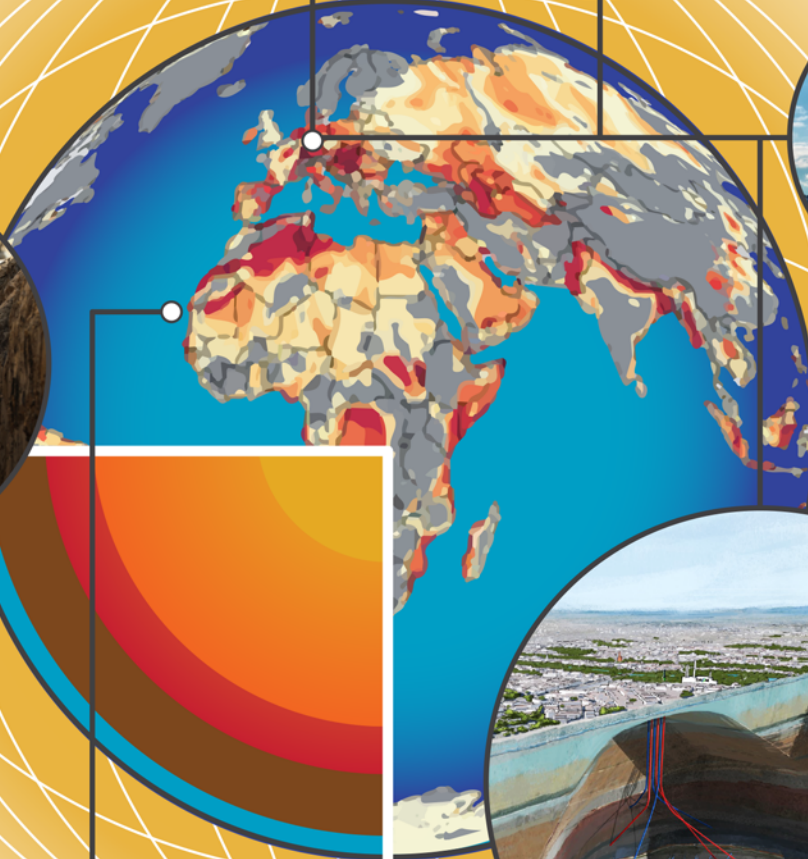




Bundesverband  
**Geothermie**



# Geothermie

Erneuerbare Energie aus der Tiefe der Erde  
Ein Lernheft für die Klassenstufen 7 und 8

## Förderhinweis (Stand 14.12.2021)

Dieses Projekt wurde gefördert durch das Umweltbundesamt und das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz. Die Mittelbereitstellung erfolgt auf Beschluss des Deutschen Bundestages.

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit  
und Verbraucherschutz

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

## Förderkennzeichen (FKZ) 372123V252

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung trägt der Herausgeber Bundesverband Geothermie e.V.



## Tipps zur Arbeit mit diesem Arbeitsheft

Auf den Arbeitsblättern erklären dir diese Symbole schnell, um welche Art Aufgabe es sich handelt :



### Rätselaufgabe

Hier sind schriftliche Antworten gefragt.



### Webquest

Suche am Computer oder Handy nach Antworten.



### Schau dir ein Video an.

Pass dabei gut auf, denn zu den Videos gehören oft Aufgaben.

Die Aufgaben sind in verschiedene Schwierigkeitsstufen unterteilt:



### Stufe 1

Gelerntes wiedergeben



### Stufe 2

Zusammenhänge herstellen



### Stufe 3

Reflektieren und Beurteilen



Die Lösungen zu den Aufgaben findest du auf Seite 24.



### Lexikon

Eine Erklärung zu den Fachwörtern findest du auf:

[Geothermie Lexikon des Bundesverbandes Geothermie](#)

# Inhalt

Tipps zur Arbeit mit diesem Arbeitsheft	2
<b>Einleitung</b>	<b>4</b>
1. Energiewende bedeutet auch Wärmewende	6
2. Die erneuerbare Energie der Geothermie	8
2.1 Geothermie in Deutschland	8
3. Ursprung der Erdwärme – der Energieschatz aus der Tiefe	11
4. Oberflächennahe Geothermie	12
5. Tiefe Geothermie – kochendes Wasser aus der Tiefe	14
6. Geologische und geophysikalische Grundlagen der Geothermie	16
6.1 Geothermischer Gradient	16
6.2 Wie die Geologie das geothermische Potenzial beeinflusst	17
6.3 Wärmeleitfähigkeit und Wärmekapazität	17
6.4 Porosität und Permeabilität	19
7. Ausblick: Geothermie als wichtiger Baustein der Wärmewende	20
<b>Anhang</b>	<b>24</b>
Weiterführende Informationen	24
Lösungen der Aufgaben	24
Lexikon	24
Impressum	25
Notizen	26

# Einleitung

In diesem Lernheft erfährst du, was Geothermie ist und welchen Beitrag sie zur Energie- und Wärmewende in Deutschland leisten kann. Du lernst die vielfältigen Formen und Einsatzgebiete der Geothermie kennen und kannst dir anhand einiger Beispiele ein Bild davon machen, wie der Einsatz der Geothermie in der Praxis aussieht. Der Themenschwerpunkt dieses Heftes ist die Wärmewende als Teil der Energiewende und die geologischen Voraussetzungen der Geothermie.

Mit Hilfe von Karten findest du heraus, für welche Arten der Geothermie dein Heimatort geeignet ist und welche Geothermieprojekte es in deiner Region bereits gibt.

Geothermie hat viele Anwendungsmöglichkeiten, wie du auf Seite 5 sehen kannst.

Platz für dein Wissen



## ○ Aufgabe 1: Endenergieverbrauch in Deutschland

Man bezeichnet als Endenergie die Energie, die beim Verbraucher ankommt, etwa in Form von Brennstoffen und Kraftstoffen oder elektrischer Energie. Man kann so den Endenergieverbrauch eines Landes beziffern.

Wieviel Prozent des Endenergieverbrauchs in Deutschland im Jahr 2020 ist je im Sektor Strom, Wärme und Kälte (ohne Strom) und Verkehr (ohne Strom und Luftverkehr) angefallen? Was schätzt du?

Strom:

---

Wärme und Kälte:

---

Verkehr:

---



## Webquest 1: Geothermie in deiner Region



Welche Geothermieprojekte mit Wärmepumpen gibt es in deiner Region? Finde es auf [www.waermepumpe-regional.de](http://www.waermepumpe-regional.de) heraus. Gib deinen Heimatort oder eine nahegelegene Stadt ein und suche nach Wärmepumpen mit Erdwärme. Welches Projekt gefällt dir am besten?



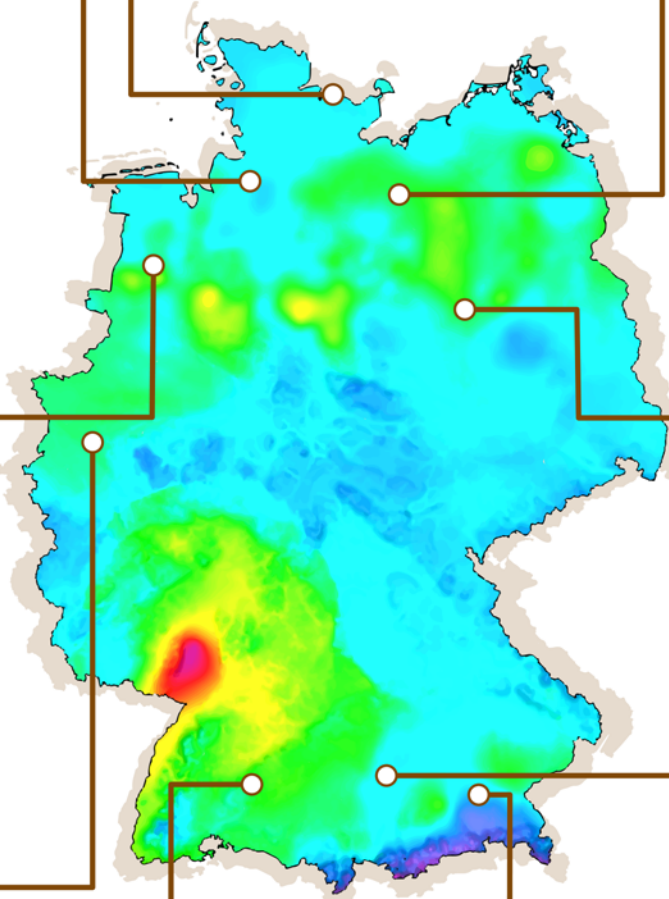
▲ Im Projekt Integrierte WärmeWende Wilhelmsburg (IW3) wird bis 2024 ein Geothermieheizwerk gebaut, da hier im tiefen Untergrund heiße Thermalwasser mit Temperaturen von etwa 130 °C vermutet werden.



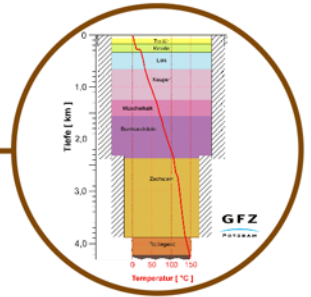
▲ Der Plenarsaal des schleswig-holsteinischen Landtags in Kiel wird klimafreundlich mit Erdwärme gekühlt.



▲ In Schwerin wurde vor dem Bau des Geothermieheizwerks der Untergrund mit sogenannten „Vibrotrucks“ untersucht. So fand man die 45 Meter mächtige Sandsteinschicht, die 56 °C heißes Wasser führt.



▲ In Köln versorgt eine Grundwasser-Wärmepumpe ein CO<sub>2</sub>-neutrales ICE-Instandhaltungswerk. So können die Werkshallen klimaneutral geheizt und gekühlt werden.



▲ In Potsdam wird an der Geothermie geforscht. Weitere Forschungsinstitute sind in Oberhausen, Bochum, Göttingen, Horstberg, Karlsruhe, Aachen, Hannover, München, Freiberg und Berlin.



▲ In Hagen soll zukünftig in einer Papierfabrik Geothermie die Wärme für die Trocknung des Papiers liefern, um einer klimaneutralen Produktion näher zu kommen.



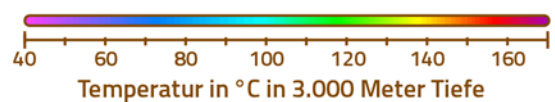
▲ In Insheim werden 80 Liter pro Sekunde mit einer Temperatur von 165 °C heißem Wasser aus 3600 Metern Tiefe gefördert. Das ist so heiß, dass hier sogar Strom produziert wird.



▲ In Kirchweidach gibt es ein Geothermieheizwerk, das die benachbarten Gewächshäuser beheizt. Hier können sogar im Winter Erdbeeren angebaut und geerntet werden.



▲ In Garching fließt seit 2010 mit einer Fließrate von 100 Litern pro Sekunde aus 2226 Metern Tiefe 75 °C heißes Thermalwasser. Damit kann eine ganze Gemeinde mit Wärme versorgt werden.



# 1. Energiewende bedeutet auch Wärmewende

Als das größte Energie- und Industrieland Europas hat Deutschland eine Vorbildfunktion für das Gelingen der Energiewende. Mit circa 45 Prozent haben wir in Deutschland schon einen bedeutenden Anteil an erneuerbarem Strom erreicht. Um das wichtige politische Ziel der Energiewende und damit der Klimagerechtigkeit und Versorgungssicherheit Deutschlands vollständig umzusetzen braucht es einen neuen Schwerpunkt auf die Wärmewende, denn fast die Hälfte des Verbrauchs von Endenergie in Deutschland entsteht durch den Wärme- und Kältebedarf (siehe Abbildung 1).

Wenn es um die Energiewende geht, stand bisher oft das Thema Stromversorgung im Vordergrund, doch vom gesamten Endenergieverbrauch in Deutschland entstehen circa 51 Prozent durch den Wärme- und Kältebedarf. Im Sektor Wärme beträgt der Anteil der erneuerbaren Wärme jedoch erst 13 Prozent. Etwa dreiviertel (circa 75 Prozent) der Wohnhäuser in Deutschland heizen noch mit Heizöl oder Erdgas. Doch nicht nur im Bereich Wohnen, sondern auch in der Industrie, der Landwirtschaft, im Handel und im Gewerbe ist der Bedarf an Wärme und Kälte groß.

Platz für dein Wissen



## ○ Aufgabe 2: Und wie heizt du?

Finde heraus, wie dein Wohnhaus und dein Schulgebäude geheizt werden. Frage dazu zum Beispiel deine Eltern, Pflegeberechtigte, Lehrer\*innen oder den\*die Hausmeister\*in.

**Hier ist Platz für deine Notizen:**



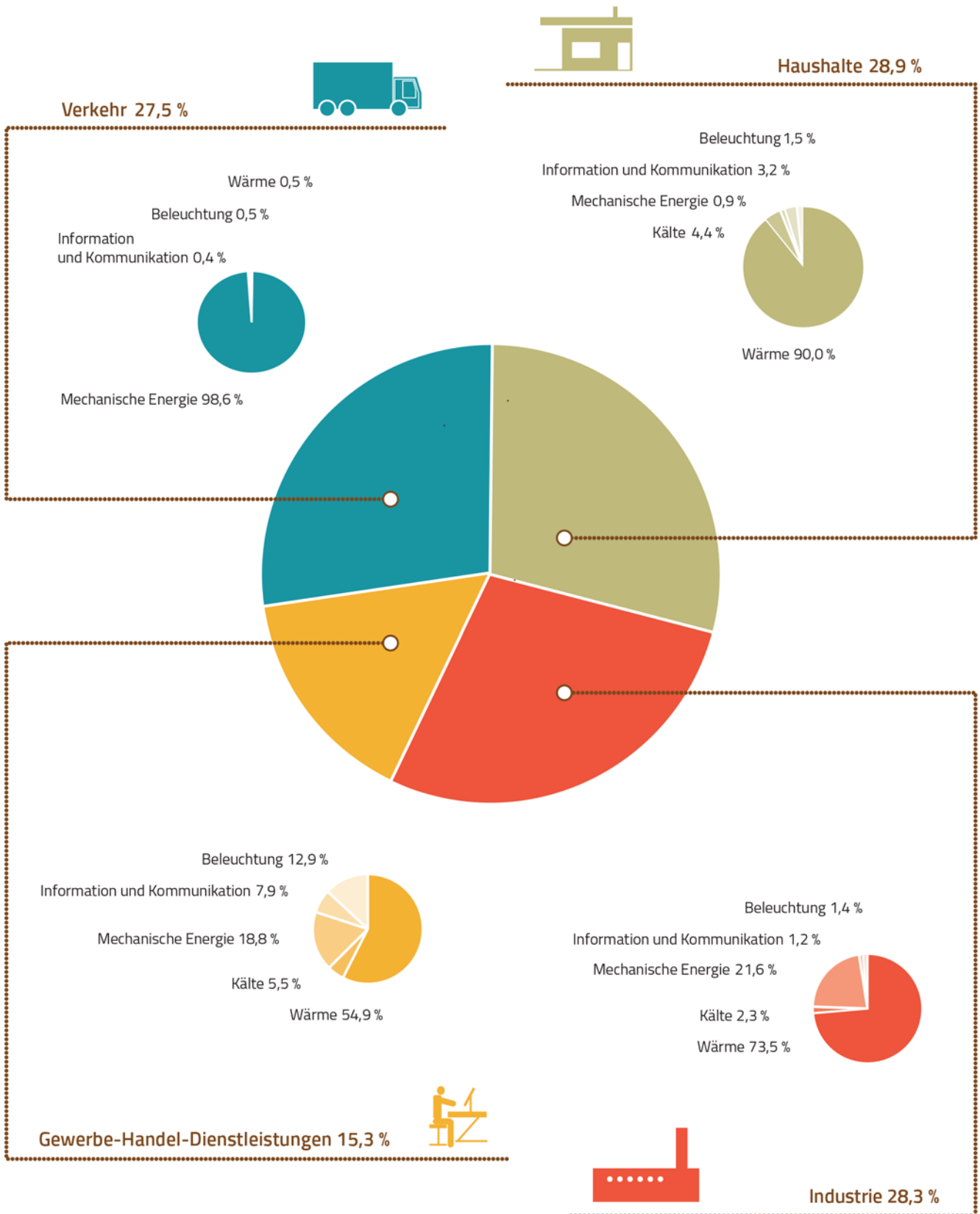
## Webquest 2:

Finde heraus, wie nachhaltig die Stadt- oder Gemeindewerke deines Heimatortes in Bezug auf Wärme sind. Suche in der untenstehenden Liste auf Wikipedia deinen kommunalen Wärmeversorger und besuche seine Webseite. Was findest du darüber, wie das Wärmeangebot gestaltet ist? Gibt es ein Fernwärmenetz oder Gasleitungen? Wie wird die Wärme produziert? Planen die Stadtwerke den Ausbau für grüne Wärme?



[Link zu der Liste von Stadt- und Gemeindewerken](#)

# Endenergieverbrauch in Deutschland (Stand 2020)



▲ Abbildung 1

Endenergieverbrauch in Deutschland nach Sektoren – Anteile in Prozent 2020 – gesamt 8341 Petajoule (PJ).

## 2. Die erneuerbare Energie der Geothermie

Geothermie wird auch Erdwärme genannt. Sie bezeichnet die in der Erdkruste gespeicherte Wärmeenergie und die Nutzung zur Energiegewinnung. Geothermie kann zum Heizen, Kühlen und zur Stromerzeugung eingesetzt werden. Sie ist eine nach menschlichen Maßstäben unerschöpfliche Energiequelle und gehört zu den Erneuerbaren Energien.



▲ Abbildung 2:

Wir leben auf einem blauen Planeten, dessen innere Hitze sich aus der Restwärme der Entstehungszeit unseres Planeten und von den radioaktiven Zerfallsprozessen speist.



### Video ab!



In der Folge „Energie aus der Erde“ der Sendung Planet Schule (SWR/WDR) kannst du dir einen Eindruck der vielfältigen Geothermie in Deutschland machen und wie der Mensch von ihr profitieren kann. (Länge: ca. 15 Minuten, Film online verfügbar bis 16. August 2027)

[Videolink zum Folge „Energie aus der Erde“ der Sendung Planet Schule](#)

### 2.1 Geothermie in Deutschland

Geothermieanlagen sind im Vergleich zu Solaranlagen und Windrädern sehr unauffällig, weil die Energiegewinnung unter der Erde stattfindet. Man unterscheidet die Tiefe Geothermie und die Oberflächennahe Geothermie.<sup>1</sup>

Die Oberflächennahe Geothermie nutzt den Untergrund für das Beheizen und Kühlen von einzelnen Gebäuden (mit Wärmepumpen) oder ganzen Wohnvierteln oder Gebäudekomplexen (Großwärmepumpen/Nahwärmenetzen). Hierzu wird die Wärme aus dem oberflächennahen

Untergrund oder dem Grundwasser gewonnen. Das hier geothermisch geheizt wird, sieht man nur an Rohren, die aus dem Boden ragen, einem kleinen Häuschen, das „Heizzentrale“ genannt wird, oder an der Wärmepumpe im Keller.



▲ Abbildung 3:

Diese Großwärmepumpe heizt seit 2009 das Ordnungsamt in Frankfurt.

<sup>1</sup> Weitere Sondernutzungen, wie die geothermische Energiegewinnung in Tunneln und Bergbauanlagen, sowie die Nutzung des Untergrunds als geothermische Wärmespeicher (z. B.: „Aquiferspeicher“) werden in diesem Lernheft nicht besprochen.



Die Tiefe Geothermie nutzt die Wärme in tiefen Gesteinsschichten und das darin eingeschlossene Wasser, die über Hightech-Bohrtechnik erschlossen werden. Mit der so gewonnenen Energie können über Fernwärmenetze ganze Gemeinden oder Stadtquartiere beheizt oder

industrielle Anlagen mit Energie versorgt werden. Große Anlagen der Tiefen Geothermie sehen aus wie eine typische Produktionshalle im Industriegebiet. Von außen lässt sich kaum erahnen wie viel Energie hier aus der Tiefe gewonnen wird.



▲ Abbildung 4:

Wenn es draußen eisig kalt ist, kann dank diesem Geothermieheizwerk mit der natürlichen Erdwärme geheizt werden.



### Video ab!



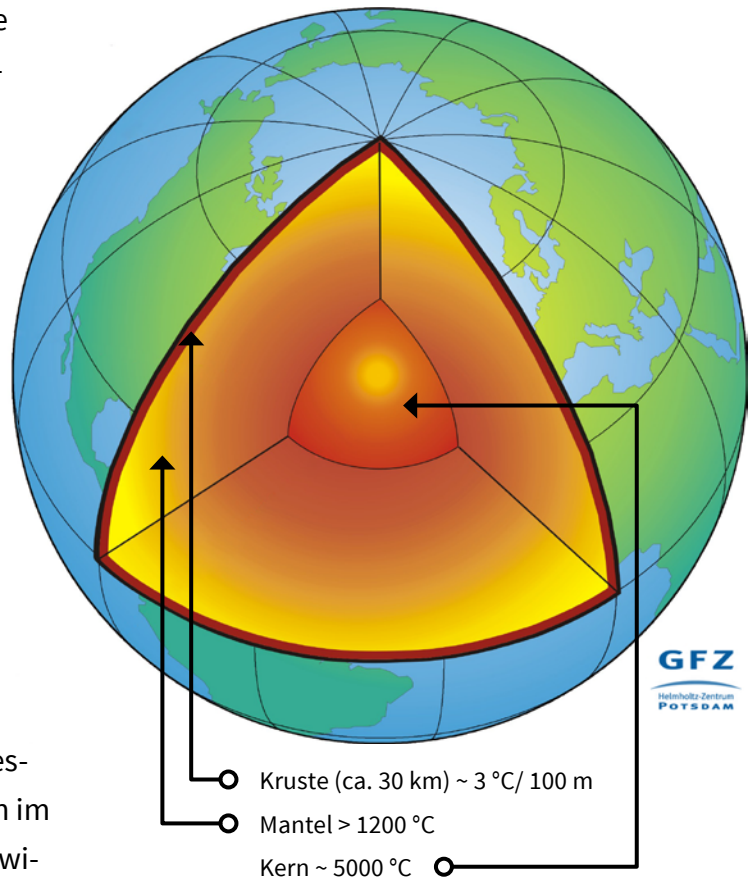
Lass dir vom Landesforschungszentrum Geothermie (KIT) im Video „Wie und wozu können wir Erdwärme nutzen?“ die zwei Arten der Geothermie veranschaulichen (Länge: 1:13 min.): [Videolink des Landesforschungszentrum Geothermie \(KIT\) zum Thema „Wie und wozu können wir Erdwärme nutzen?“](#)

Wesentliche Unterschiede der Oberflächennahen und Tiefen Geothermie in Deutschland zeigt die folgende Tabelle:

Kategorie	Oberflächennahe Geothermie	Tiefe Geothermie
<b>Aussehen</b>	 <p>▲ <b>Abbildung 5:</b> Der Bagger hat in Bad Nauheim (Hessen) einen Graben für den Erdwärmekollektor eines Neubaugebiets in einem Dorf gegraben.</p>	 <p>▲ <b>Abbildung 6:</b> Heizzentrale eines Geothermieheizwerks in Garching (Bayern)</p>
	Grundwasserbrunnen, Erdwärmesonden oder -kollektoren	Tiefbohrungen
<b>Tiefe der Energiegewinnung</b>	1 m – 400 m	400 m – 5000 m
<b>Durchschnittliche Tiefe</b>	ca. 180 m	ca. 2500 m
<b>Nutzen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wärme- und / oder Kältebereitstellung</li> <li>• Heizen von einzelnen Gebäuden</li> <li>• Heizen von Stadtvierteln und Dörfern mit Nahwärmenetzen</li> <li>• Wärme- und Kältespeicherung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Je nach Standort Wärme und / oder Strombereitstellung</li> <li>• Heizen von Stadtvierteln oder Städten mit Fernwärmenetzen</li> <li>• Wärme für die Industrie</li> <li>• Rohstoffgewinnung (Bsp: Lithium)</li> </ul>
<b>Höhe des Bohrgeräts</b>	ca. 4 m	ca. 50 m
<b>Erreichte Temperatur</b>	5 °C – 60 °C	60 °C – 160 °C

### 3. Ursprung der Erdwärme – der Energieschatz aus der Tiefe

In der Geothermie wird die in der Erdkruste gespeicherte Wärmeenergie zur Energiegewinnung genutzt. Im etwa 4800 bis 7700 Grad heißen Erdkern verbirgt sich ein fast unvorstellbar großes Energiepotenzial. Die gespeicherte Energie in den ersten 10 Kilometern der äußeren Erdkruste entspricht etwa dem 2,5-fachen des weltweiten Verbrauchs an Primärenergie im Jahre 2004. Fast überall herrscht bereits in einem Kilometer Tiefe eine Temperatur von 30 bis 40 Grad. Bereits in einer Tiefe von etwa 10 bis 15 Metern ist die Temperatur des Bodens stabil und nicht mehr von witterungsbedingten, jahreszeitlichen Schwankungen beeinflusst. Auch im Winter beträgt hier die Bodentemperatur zwischen 10 °C und 15 °C. Noch mehr zum Thema Temperaturanstieg in der Tiefe erfährst du im Kapitel „Geothermischer Gradient“.



▲ **Abbildung 7:**

99 Prozent der Erdmasse sind heißer als 1000 Grad Celsius. Täglich strahlt 2,5 mal so viel Energie aus dem Erdinneren ungenutzt in den Weltraum, wie weltweit an Energie benötigt wird.



#### Video ab!



Schau dir gerne dieses Erklärvideo „Woher kommt die Erdwärme?“ (Länge: 1:34 min.) an: „Woher kommt die Erdwärme“ des Landesforschungszentrums Geothermie (KIT)  
[Videolink des Landesforschungszentrum Geothermie \(KIT\) zum Thema „Woher kommt die Erdwärme?“](#)



Noch genauer erklärt es der Simple Club (Länge: 10:44 min.):  
Simple Club – Geographie | Schalenbau der Erde | Aufbau Erdschichten - Plattentektonik & Vulkane 4  
[Videolink des Simple Club zum Thema Schalenaufbau der Erde](#)

## 4. Oberflächennahe Geothermie

Oberflächennahe Geothermie kann überall eingesetzt werden. Es gibt in Deutschland rund 440 000 Erdwärmehheizungen (Stand 2022) und es wurden bisher jährlich etwa 24 500 weitere Erdwärmehheizungen installiert. Der Vorteil einer Erdwärmehheizung ist, dass keine fossilen

Brennstoffe benötigt werden und die vorhandene Wärmeenergie vor Ort genutzt werden kann. Wird für den Betrieb der benötigten Wärmepumpe Ökostrom genutzt, ist diese Wärmetechnik klimaneutral nutzbar.



### Video ab!



Lass dir von Prof. Dr.-Ing. Matthias Reich aus der Serie „Spaß mit Tiefbohrtechnik“ zeigen „Wie funktioniert eine Wärmepumpe?“ (Länge: 3:48 min.)

[Videolink zu Professor Dr.-Ing. Matthias Reich zum Thema Tiefbohrtechnik](#)



▲ **Abbildung 8:**

Links: Dieser Bohrkopf gehört zu einem Bohrgerät für Oberflächennahe Geothermie. Rechts: Auch in einem kleinen Garten oder Hinterhof kann eine Geothermiebohrung durchgeführt werden. Auf der Wiese lagert das Bohrgestänge.

Neben Wohngebäuden können auch große Einkaufszentren oder Gewerbehallen beheizt werden. Um an die oberflächennahe Wärme im Boden zu gelangen, gibt es drei Möglichkeiten.

Die folgende Zeichnung auf der nächsten Seite zeigt die Unterschiede der drei häufigsten Typen der Oberflächennahen Geothermie:

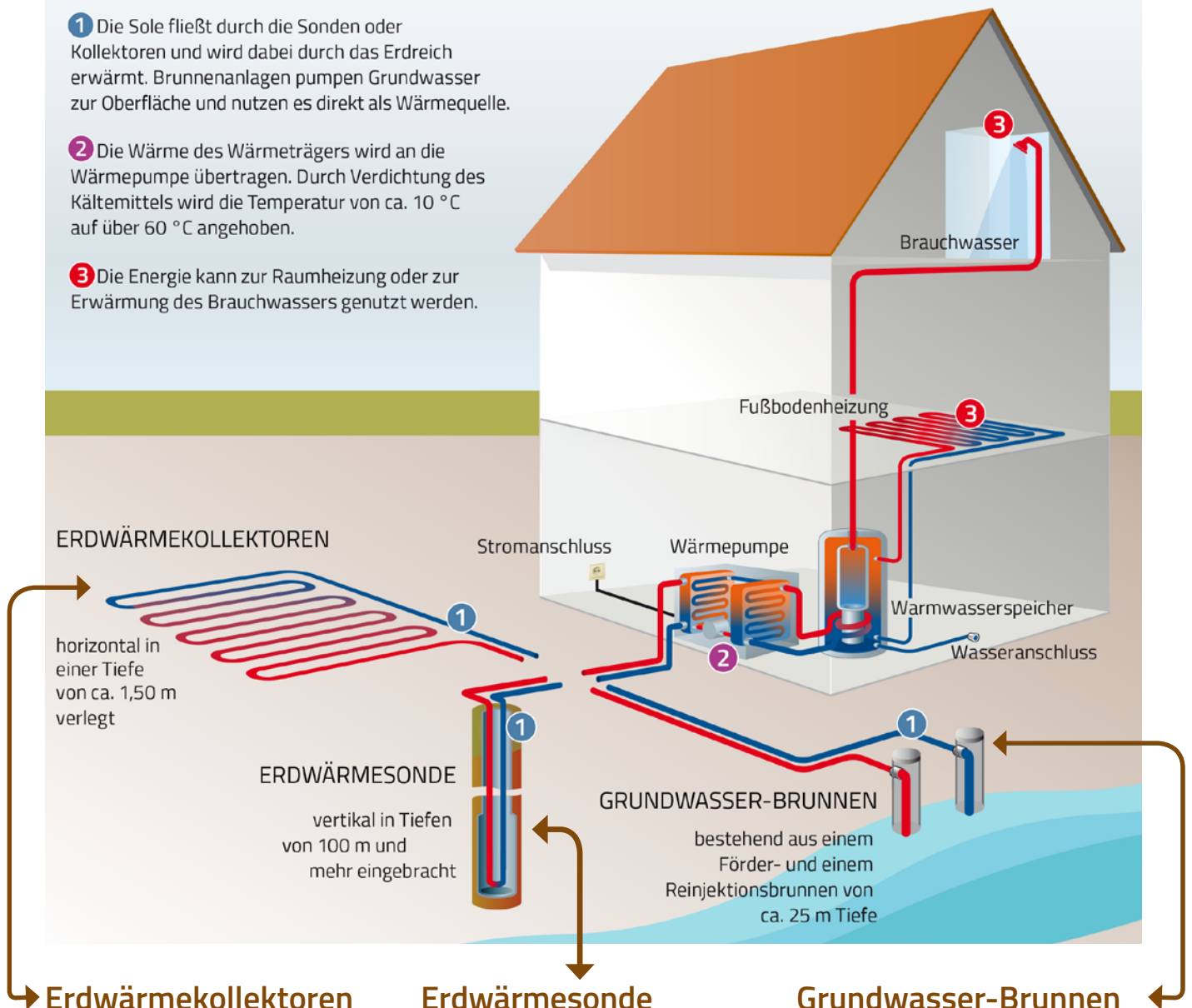
▼ Abbildung 9:

Die verschiedenen Typen der Oberflächennahen Geothermie

1 Die Sole fließt durch die Sonden oder Kollektoren und wird dabei durch das Erdreich erwärmt. Brunnenanlagen pumpen Grundwasser zur Oberfläche und nutzen es direkt als Wärmequelle.

2 Die Wärme des Wärmeträgers wird an die Wärmepumpe übertragen. Durch Verdichtung des Kältemittels wird die Temperatur von ca. 10 °C auf über 60 °C angehoben.

3 Die Energie kann zur Raumheizung oder zur Erwärmung des Brauchwassers genutzt werden.



### Erdwärmekollektoren

Sie liegen nur wenige Meter unter der Erdoberfläche und bestehen aus einem Rohrsystem, in dem eine Mischung aus Wasser und Frostschutzmittel kreist. Es gibt horizontale Kollektoren, die parallel zur Erdoberfläche verlaufen („Ringgrabenkollektoren“ und „Flächenkollektoren“) oder senkrechte Kollektoren, die spiralförmig wenige Meter in den Boden führen („Korbkollektoren“).

### Erdwärmesonde

Sie ist eine U-förmige Sonde, in der eine Mischung aus Wasser und Frostschutzmittel kreist, die Sole genannt wird. Deshalb heißt dieser Typ auch Sole-Wasser-Wärmepumpe und ist der häufigste Typ in der Oberflächennahen Geothermie.

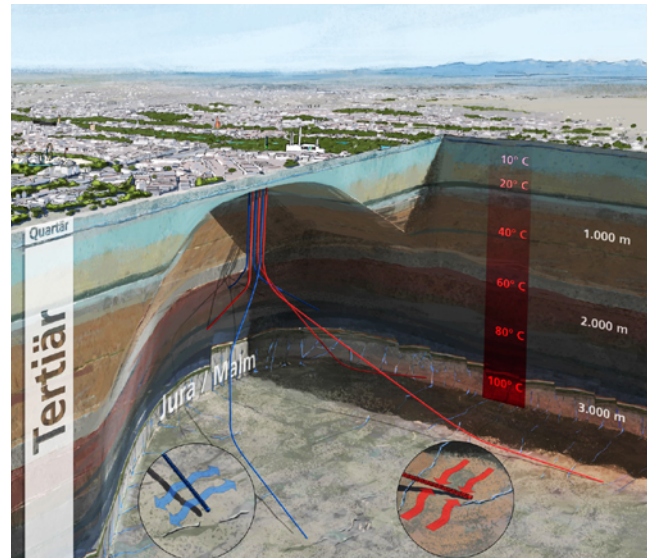
### Grundwasser-Brunnen

Hier wird direkt das warme Grundwasser genutzt. Es braucht zwei Bohrungen. Durch die erste Bohrung wird das warme Grundwasser nach oben gepumpt (= „Förderbrunnen“), durch die zweite fließt das kalte Wasser wieder zurück zum Grundwasser (= „Reinjektionsbrunnen“).

## 5. Tiefe Geothermie – kochendes Wasser aus der Tiefe

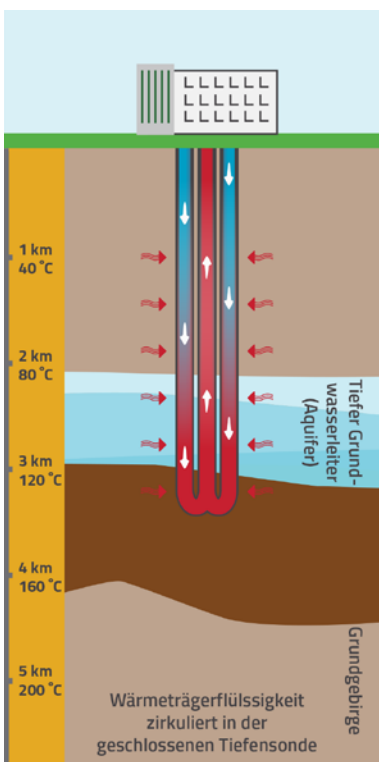
Als Tiefe Geothermie bezeichnet man die Nutzung der Erdwärme aus Tiefen zwischen 400 bis 5000 Metern. Im Vergleich zur oberflächennahen Geothermie sind dort die nutzbaren Temperaturen weitaus höher. Die geförderte Wärmeenergie hat in Deutschland eine Temperatur von etwa 60 °C bis etwa 160 °C. Es gibt inzwischen 42 Geothermieprojekte in Deutschland, die hauptsächlich zur Wärmeversorgung über Fernwärmenetze dienen. An wenigen Standorten mit Thermalwassertemperaturen von über 120 °C kann auch Strom produziert werden.

Hydrothermale Geothermie ist die häufigste Art der Tiefen Geothermie in Deutschland. Insgesamt werden drei Methoden unterschieden, mit denen die Energie aus der Tiefe an die Erdoberfläche transportiert wird. Die folgende Übersicht zeigt die wesentlichen Unterschiede:



▲ **Abbildung 10:**

Mitten in der Stadt München steht das größte Geothermieheizwerk Deutschlands. Hier wird Wärme für das lokale Fernwärmenetz gewonnen. Die roten Rohre sind Produktionsbohrungen. Hier wird heißes Wasser an die Oberfläche gepumpt. Die blauen Rohre zeigen Injektionsbohrungen, in denen das abgekühlte Wasser aus dem Heizkraftwerk zurück in den Untergrund gepumpt wird.

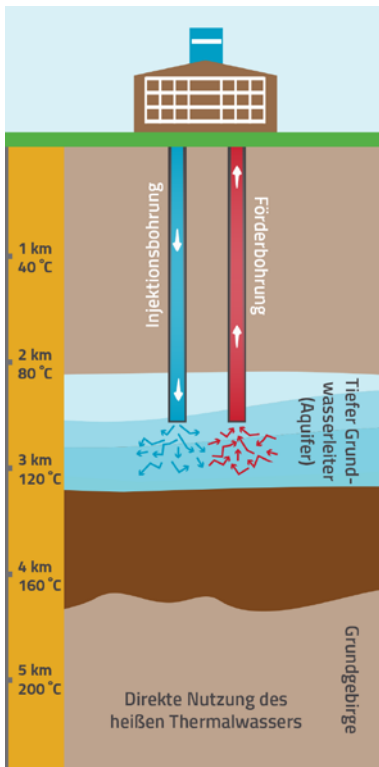


### Tiefe Erdwärmesonde

In einer tiefen Erdwärmesonde zirkuliert eine Wärmeträgerflüssigkeit in einem geschlossenen Rohrsystem. Die Erdwärme dringt durch die Hülle der Sonde und erhitzt das Wasser im Inneren. Vom Boden der Sonde wird es durch das innere Rohr wieder an die Oberfläche gefördert. Tiefe Erdwärmesonden sind nicht auf gut durchlässige Grundwasserleiter angewiesen und können daher theoretisch nahezu überall installiert werden.

◀ **Abbildung 11:**

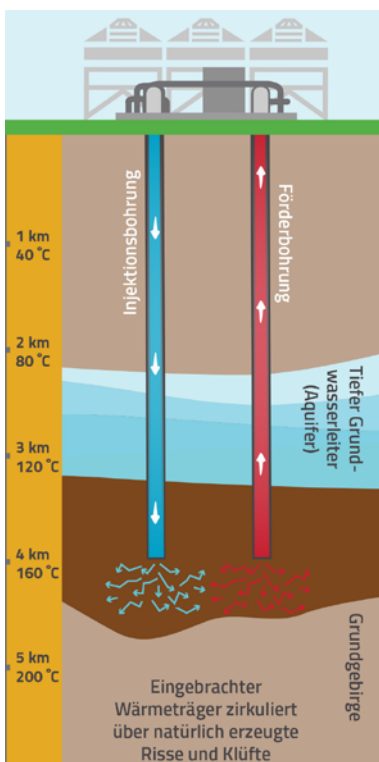
Als geschlossenes System kann eine Tiefe Erdwärmesonde fast überall angewendet werden.



## Hydrothermale Geothermie

Fast alle Geothermieranlagen in Deutschland nutzen die Hydrothermale Geothermie. Voraussetzung ist das Vorhandensein einer sehr tiefen, wasserführenden Gesteinsschicht. Diese als Nutzhorizont bezeichnete Gesteinsschicht mit heißem Thermalwasser ist oft in einer Tiefe von etwa 1500 Metern bis 3500 Metern zu finden. Je mehr und je heißeres Thermalwasser hier frei fließt, desto besser lässt sich die Energie gewinnen. Es werden mindestens zwei Bohrungen benötigt. In der ersten sogenannten Förderbohrung wird das heiße Wasser zur Geothermieranlage gepumpt. In der zweiten Bohrung, der sogenannten Injektionsbohrung, wird das in der Geothermieranlage genutzte und dadurch abgekühlte Thermalwasser wieder in den sehr tiefen Grundwasserleiter geleitet. Beide Bohrungen gehören zusammen und werden als Dublette bezeichnet.

◀Abbildung 12:  
Hydrothermale Geothermie ist der häufigste Typ in Deutschland.



## Petrothermale Geothermie

Unter Petrothermalen Geothermie versteht man die geothermale Nutzung von Tiefengestein ohne frei fließendes Thermalwasser in einer Tiefe von 3000 Metern bis 6000 Metern. Man sagt dazu auch EGS (Abkürzung für Enhanced Geothermal System). Hier muss ein Wärmeträger erst hineingepumpt werden. Unter Umständen werden durch verschiedene Maßnahmen bestehende Klüfte und Risse erweitert oder geschaffen. Es entsteht ein künstlicher Kreislauf aus weniger als einen Millimeter großen Zwischenräumen im heißen Gestein. Während des Betriebs wird dem System durch die eine Bohrung kaltes Wasser zugeführt und an einer anderen Bohrung erwärmt wieder zur Erdoberfläche gepumpt. Derzeit gibt es in Deutschland ausschließlich Forschungsprojekte zu dieser Methode.

◀Abbildung 13:  
Vor allem für eine zukünftige Stromerzeugung wird an der Petrothermalen Geothermie geforscht.



### Webquest 3: Ein Geothermieheizwerk entsteht

In Hamburg wird bis 2024 ein Geothermieheizwerk direkt an der Elbe gebaut. Die Stadtwerke Energie Hamburg zeigt in ihrem Projekttagbuch, wie die Anlage entsteht. Gewinne spannende Eindrücke aus einem der größten Geothermieprojekte Deutschlands!



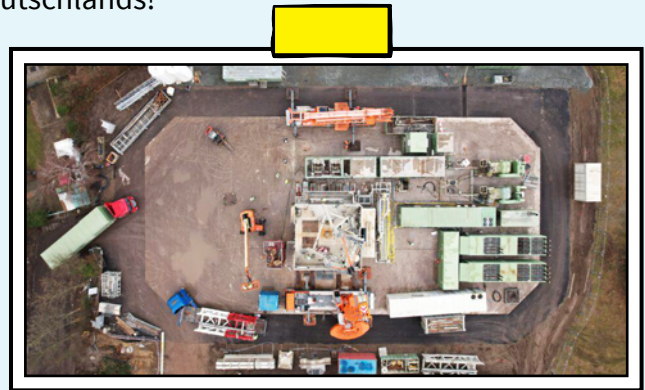
Projekttagbuch:

[Link zum Projekttagbuchs zum Bau des Geothermieheizwerks in Hamburg](#)



Vlog:

[Link zur Playlist des Vlogs zum Bau des Geothermieheizwerks in Hamburg](#)



▲ Abbildung 14: Luftbild der Baustelle des Geothermieheizwerks Hamburg Wilhelmshurg (Januar 2022).

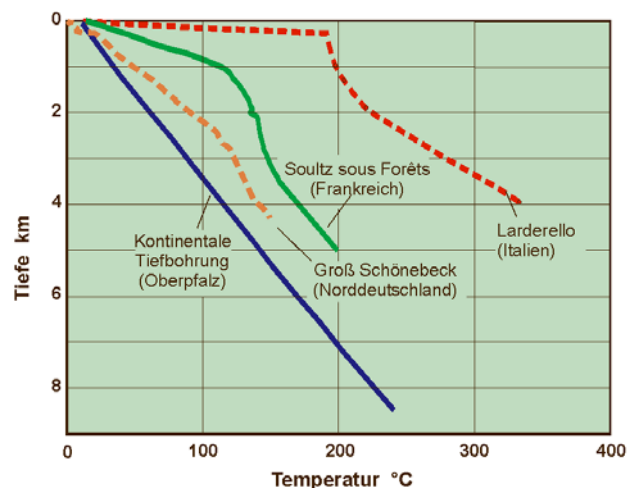
## 6. Geologische und geophysikalische Grundlagen der Geothermie

### 6.1 Geothermischer Gradient

In Deutschland steigt mit zunehmender Tiefe die durchschnittliche Temperatur um 3 °C pro 100 Meter bzw. 30 °C pro Kilometer. Diesen Temperaturanstieg nennt man den geothermischen Gradienten. Je nach vorliegender geologischer Situation kann der geothermische Gradient jedoch sehr unterschiedlich ausfallen.

Hohe geothermische Gradienten finden sich in der Nähe aktiver Grenzen von Kontinentalplatten oder anderer Regionen, die vulkanisch aktiv sind oder waren. Auch aufsteigende, heiße Thermalwässer in geologischen Graben- oder Beckenstrukturen (z. B. Oberrheingaben, Thüringer Becken, Norddeutsches Becken) können zu hohen geothermischen Gradienten führen. So beträgt der geothermische Gradient im bayrischen Voralpenland

(Molassebecken) etwa 3,5 – 4,5 °C/100 m. Im Oberrheingraben können sogar Maximalwerte von 7-9 °C/100 m erreicht werden. Weltweit sind in vulkanisch aktiven Zonen auch geothermische Gradienten über 10 – 20 °C/100 m keine Seltenheit.



▲ Abbildung 15: Geothermische Gradienten verschiedener Bohrungen in Europa





### ● Aufgabe 3: Wo würdest du bohren?

Schau dir die geothermischen Gradienten verschiedener Standorte in Europa in Abbildung 15 an. Stell dir vor, du musst entscheiden, wo eine Geothermieanlage gebaut werden soll. Welchen der vier gezeigten Orte würdest du als Standort wählen? Begründe deine Antwort.

**Hier ist Platz für deine Antwort:**



## 6.2 Wie die Geologie das geothermische Potenzial beeinflusst

Die physikalischen Eigenschaften der Gesteine bilden eine wichtige Grundlage für den Bau von Geothermieanlagen. Das gilt sowohl für Anlagen der Oberflächennahen Geothermie, wie auch für Anlagen der Tiefen Geothermie mit einer durchschnittlichen Bohrtiefe von 2500 Metern.

Unterschiedliche Gesteine haben unterschiedliche Fähigkeiten, thermische Energie (Wärme) zu transportieren und zu speichern, die durch die chemische Zusammensetzung des Gesteins, den Anteil der Hohlräume im Gestein (Porosität) und die Wasserdurchlässigkeit (Permeabilität) beeinflusst werden. Das Gestein gilt als

wasserdurchlässig, wenn die Poren untereinander verbunden sind.

## 6.3 Wärmeleitfähigkeit und Wärmekapazität

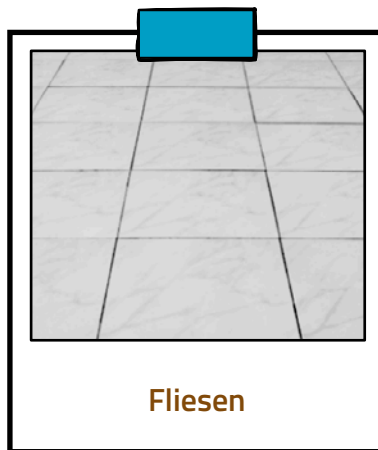
Die Wärmeleitfähigkeit wird in  $W/m\ K$  (Watt pro Meter mal Kelvin) angegeben. Je höher sie ist, desto besser kann das Gestein Wärme transportieren und für Nachschub sorgen, wenn die Wärme durch eine geothermische Nutzung entzogen wird. Die Wärmekapazität (angegeben in  $J/kg\ K$ , Joule pro Kilogramm mal Kelvin) bezeichnet die Menge an Wärmeenergie, die ein Kilogramm eines Stoffes speichern kann.



### **☉ Aufgabe 4: Experiment zur Wärmeleitfähigkeit**

Finde in deiner Schule oder bei dir zu Hause die unten abgebildeten Oberflächen und berühre sie eine Weile mit deinen Händen. Wie empfindest du die Wärme der Oberflächen nach etwa 30 bis 60 Sekunden? Lass die Oberfläche 30 bis 60 Sekunden abkühlen und berühre die Stelle mit deinen Händen erneut. Kannst du fühlen, wie gut das Material die Wärme deiner Hände gespeichert hat?

Die unterschiedlichen Materialien fühlen sich wahrscheinlich zunächst unterschiedlich warm an (was an der Wärmeleitfähigkeit liegt). Wenn diese Materialien erwärmt wurden, halten sie unterschiedlich lange die Wärme (Wärmekapazität).



Hier ist Platz für deine Notizen:

Schätze, basierend auf den Ergebnissen deines Experiments in Aufgabe 4 die Wärmeleitfähigkeit und Wärmekapazität der untersuchten Flächen und trage deine Vermutungen in der Tabelle ein.

Art	Gute Wärmeleitfähigkeit	Schlechte Wärmeleitfähigkeit	Gute Wärmekapazität	Schlechte Wärmekapazität
Münzen				
Fliesen				
Holz				



## Webquest 4: Geothermiefotenzial unter deinen Füßen

Die Wärmeleitfähigkeit ist fast flächendeckend für Deutschland kartiert und oft in den bundeslandspezifischen Online-Diensten der Geologischen Dienste einsehbar. Ab einer Wärmeleitfähigkeit von 2,5 gilt der Untergrund als gut geeignet für oberflächennahe Geothermie. Auf der Webseite des Bundesverbandes Geothermie findest du eine Liste mit allen verfügbaren Kartendiensten. Findest du das Grundstück deiner Schule? Kannst du herausfinden, wie gut das Grundstück deiner Schule



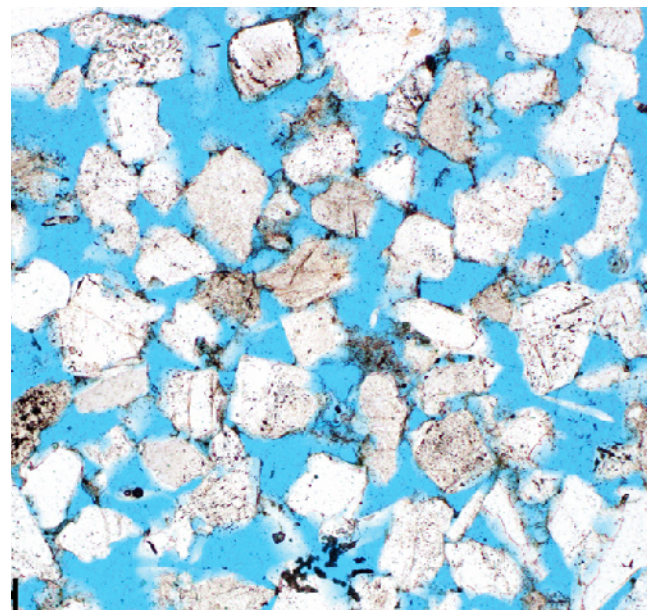
für eine Erdwärmeheizung mit einer Erdwärmesonde geeignet wäre?

[Link zu der Übersicht Geologischer Dienste und Recherche zur Wärmeleitfähigkeit](#)

### 6.4 Porosität und Permeabilität

Zu den Eigenschaften, die den Transport und die Speicherung von Thermalwasser beeinflussen zählen Porosität und Permeabilität. Je nachdem, aus welchen Substanzen das Gestein aufgebaut ist und welche Struktur es besitzt, unterscheidet sich, wie gut das Gestein selbst die Wärme transportieren kann (konduktiver Transport).

Die Porosität (Maß für den Anteil von Hohlräumen innerhalb eines Gesteins) trägt maßgeblich dazu bei, ob es gut für Geothermie geeignet ist. Bei der Permeabilität wird die Wärme durch das flüssige oder gasförmige Wasser mittransportiert (konvektiver Transport). Wasser transportiert Wärme hervorragend, Luft hingegen wirkt isolierend. Ein nasser Sandstein hat deshalb eine wesentlich höhere Wärmeleitfähigkeit als ein trockener Sandstein.



▲ Abbildung 16:

Sandstein sieht zwar wie massives, festes Gestein (links) aus, aber unter dem Mikroskop (rechts) sieht man, dass es aus vielen kleinen Hohlräumen (blau) und verfestigten Sandkörnchen (weiß) besteht. Durch die hier blau dargestellten Hohlräume kann das Thermalwasser oder Grundwasser fließen.

## 7. Ausblick: Geothermie als wichtiger Baustein der Wärmewende



▲ Abbildung 17:

Deutschland will bis spätestens 2045 klimaneutral werden, daher muss die Wärmeversorgung zügig umgebaut werden. Mit einem Mix aus grüner Wärme ist es zu schaffen.

Über die Hälfte des gesamten Energieverbrauchs in Deutschland wird für Heizen, Kühlen und Warmwasser benötigt. Rund 70 Prozent des Energieverbrauches wird durch Importe diverser Energieträger (Kohle, Heizöl, Gas usw.) gedeckt. Im Privathaushalt macht die

Wärmeversorgung etwa 90 Prozent des Energieverbrauchs aus. Um bei der Energiewende erfolgreich zu sein, ist daher auch eine Wärmewende nötig: Nicht nur unser Strom muss aus erneuerbaren Energien gewonnen werden, sondern vor allem auch die Wärme.

Für manche industrielle Zweige werden sehr hohe Temperaturen benötigt, die durch die Geothermie nicht abgedeckt werden können, z. B. Teile der Chemie-, Glas- und Metallindustrie. Hier kann die Geothermie beispielsweise nur zum Anwärmen der Materialien bis maximal 200 °C eingesetzt werden. Geothermie eignet sich hingegen hervorragend für die Beheizung von Gebäuden, die Bereitstellung von Warmwasser und die Nutzung in der Industrie für niedriges bis mittleres Temperaturniveau, beispielsweise bei der Papierherstellung oder dem Beheizen von Gewächshäusern.

Wärmewende in der Stadt hat also eine große Auswirkung. Die Zukunft der Wärmeversorgung liegt wahrscheinlich in einer dezentralen Wärmeversorgung. Dezentral bedeutet hier, dass statt einem großen, fossilen Heizwerk viele Wärmetechnologien kombiniert werden (mehr dazu in Lernheft 3). Am Beispiel der Stadt Berlin kannst du sehen, wie eine Wärmeversorgung ohne fossile Brennstoffe in einer Großstadt zukünftig gelingen könnte.

Je mehr Gebäude saniert und somit gut gedämmt sind, desto geringer wird zukünftig unser Wärmebedarf sein. Auch sehr alte Gebäude, die nicht gut gedämmt werden können, können ihre Klimabilanz durch den Einbau einer Erdwärmepumpe verbessern. Im Jahr 2020 lebten 77,5 Prozent der Menschen in Deutschland in Städten. Eine nachhaltige

Platz für dein Wissen



### Aufgabe 5: Wärmewende in der Stadt

Betrachte die Infografik „Wärmewende in der Stadt“. Welche acht verschiedene Wärmequellen kannst du in der Infografik finden?

1 _____	5 _____
2 _____	6 _____
3 _____	7 _____
4 _____	8 _____

Wovon werden wir in der Zukunft zur Wärmeversorgung mehr brauchen? Bitte kreuze an.

Erdgas

Strom

Wasser

# Wärmewende in der Stadt

Damit Klimaneutralität bis 2050 Realität wird, muss die Wärmeversorgung in der Stadt nachhaltig gestaltet werden. Die Wärmewende kann gelingen, wenn lokale Wärmequellen genutzt, Sanierungsrate und -tiefe erhöht und die Fernwärme transformiert werden.



## Erdgas durch synthetisches Gas ersetzen, aber die Menge begrenzen

Erneuerbarer Strom leistet einen Beitrag zur klimaschonenden Wärmeversorgung, über den Einsatz von Wärmepumpen, Power-to-Heat und zukünftig auch als synthetisches Gas. Es ist dabei wichtig, die Strommengen zu begrenzen, denn es besteht das Risiko, dass der Ausbau an räumliche Grenzen stößt. Dafür ist ein hoher Anteil an energetisch sanierten Gebäuden wichtig sowie die Nutzung von lokalen Wärmequellen bei der Wärmeversorgung.

## Fernwärmewende fordern und gestalten

In der Fernwärme können durch den Kohleausstieg recht schnell CO<sub>2</sub>-Emissionen vermieden werden. Eine klimaneutrale Fernwärmeversorgung braucht aber mehr: Eine auch langfristig nachhaltige Fernwärmeversorgung weist ein niedrigeres Temperaturniveau auf und integriert lokale, erneuerbare Wärme und Abwärme. Dafür müssen schon heute Maßnahmen mit langfristiger Wirkung auf den Weg gebracht werden.

## Sanierungsrate und -tiefe steigern und Sanierung sozialverträglich gestalten

Höhere Sanierungsraten und -tiefen in Städten sind notwendig, um die Klimaschutzziele zu erreichen. Für Mieter/innen zahlen sich energetische Sanierungen bei der gesetzlich möglichen Modernisierungumlage kurzfristig nicht immer aus. Für eine sozialverträgliche Wärmewende in urbanen Räumen müssen politische Instrumente eine gerechte Verteilung der Kosten gewährleisten und dafür sorgen, dass energetische Sanierungen trotz Hemmnissen erfolgen.

## Kommunale Wärmeplanung entwickeln

Eine Wärmewende in der Stadt braucht eine strategische Wärmeplanung. Die Möglichkeiten im Rahmen der kommunalen Steuerungsinstrumente wie Bauleitplanung, städtebauliche Verträge und Klimaschutzvereinbarungen müssen genutzt werden. Über ein Landeswärmegesetz etwa lassen sich Anforderungen an Heizungen und den Wärmeverbrauch stellen.

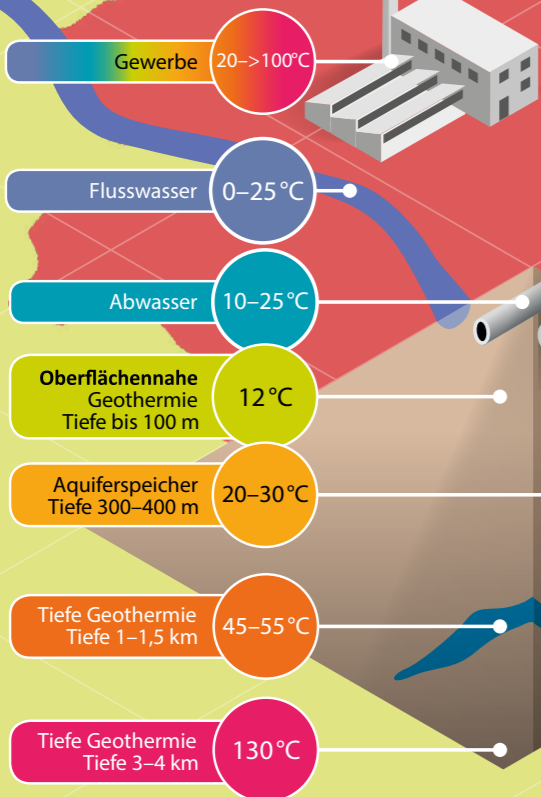


## „Keimzellen“ finden und erschließen

Eine gebäudeübergreifende Wärmeversorgung im Quartier ermöglicht es, erneuerbare Energien und Abwärme effizienter und in größerem Umfang zu nutzen als bei der Versorgung eines Einzelgebäudes. Öffentliche Gebäude, Neubauvorhaben, gewerbliche Gebäude oder die Wohngebäude der Wohnungsbaugesellschaften können als „Keimzellen“ die Umsetzung von Quartierskonzepten erleichtern. Ein Wärmekataster unterstützt bei der Frage, wo hierfür geeignete Quartiere mit entsprechenden Potenzialen an erneuerbarer Wärme und Abwärme zu finden sind.

## Biomasseressourcen schonen

Biomasse aus dem Stadtgebiet kann für die Energieversorgung genutzt, der Einsatz externer Biomasse muss aber minimiert werden. Denn die Biomaspotenziale sind begrenzt und eine stoffliche Nutzung hat Vorrang vor der energetischen Nutzung. Der Einsatz von Biomasse lässt sich reduzieren, indem die lokalen Wärmequellen umfassend genutzt werden und der Wärmeverbrauch durch energetische Sanierung sinkt.



## Die Vielzahl an lokalen Wärmequellen umfassend nutzen

Abwasserwärme, Flusswasserwärme, gewerbliche Abwärme und Geothermie lassen sich in der Wärmeversorgung dann effizient einsetzen, wenn Gebäude als Folge der energetischen Sanierung weniger und mit geringeren Temperaturen beheizt werden müssen. Um die lokalen Wärmequellen erschließen zu können, sind öffentlich verfügbare Daten zu den Potenzialen notwendig und unterstützende Instrumente wie etwa Förderungen und Risikoabsicherungen.

**IMPRESSUM**  
Dieses Poster wurde im Projekt „Urbane Wärmewende“ erarbeitet.  
1. Auflage, November 2019  
Herausgeber: Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW)  
Autorinnen: Dr. Elisa Dunkelberg, Nina Prehm  
Gestaltung: Volker Haese  
Druck: Druckhaus Berlin-Mitte  
Förderer: Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Förderschwerpunkt Sozial-ökologische Forschung (SÖF)  
www.urbane-waermewende.de

Abbildung 18: Infografik Wärmewende in der Stadt.



# Anhang

## Weiterführende Informationen

[Bundesverbandes Geothermie](#)

[Bundesverband Wärmepumpe](#)

[Bundesverband der Erneuerbaren Energien](#)

[Suchmaschine für Gebäude mit Wärmepumpen](#)

L

## Lösungen der Aufgaben

### Aufgabe 1: Endenergieverbrauch in Deutschland

**Strom:** 21,7 Prozent, Wärme und Kälte (ohne Strom): 50,9 Prozent, Verkehr (ohne Strom und int. Luftverkehr): 27,5 Prozent

(Quelle: [Link zur Mediathek der Agentur Erneuerbare Energien](#))

### Aufgabe 3: Wo würdest du bohren?

Larderello hat den höchsten geothermischen Gradienten. Daher muss man nur wenige Meter in die Tiefe bohren, um auf sehr hohe Temperaturen zu stoßen. Hier eine Geothermieanlage zu bauen ist daher besonders günstig. In Larderello wurde 1904 die erste Geothermieanlage Europas gebaut.

### Aufgabe 4: Experiment zur Wärmeleitfähigkeit

- **Münze:** Gute Wärmeleitfähigkeit, Schlechte Wärmekapazität
- **Fliesen:** Gute Wärmeleitfähigkeit, Schlechte Wärmekapazität
- **Holz:** Schlechte Wärmeleitfähigkeit, Gute Wärmekapazität

### Aufgabe 5: Wärmewende in der Stadt

1. **Strom**
2. **Biomasse**
3. **Gewerbe (Industrielle Abwärme)**
4. **Flusswasser**
5. **Abwasser**
6. **Oberflächennahe Geothermie**
7. **Aquiferspeicher**
8. **Tiefe Geothermie**

Wovon werden wir in der Zukunft zur Wärmeversorgung mehr brauchen?

- **Strom**

## Lexikon



Eine Erklärung zu den Fachwörtern findest du auf:

[Geothermie Lexikon des Bundesverbandes Geothermie](#)

# Impressum

<b>Herausgeber:</b>	Bundesverband Geothermie e.V. E-Mail: <a href="mailto:info@geothermie.de">info@geothermie.de</a> Internet: <a href="http://www.geothermie.de">www.geothermie.de</a>
<b>Text:</b>	M.Sc. Kathrin Schwarz
<b>Fachliche Begleitung:</b>	Stephan Hänsch (Schule im Ostseekarree, Berlin)
<b>Wissenschaftliche Beratung:</b>	Dr. Andreas Bertram (Umweltbundesamt), Michael Gauß (Karlsruher Institut für Technologie, Fachbereich ZML - Zentrum für Mediales Lernen), M. Sc. Valentin Goldberg (KIT, Abteilung für Geothermie und Reservoir-Technologie), Dipl. Geol. Bernhard Potthoff, Prof. Dr. Horst Rüter (Ruhr-Universität Bochum), Dr. André Stechern (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe)
<b>Gestaltung:</b>	Susanne Kasper
<b>Abbildungen:</b>	Sofern nicht anders gekennzeichnet: Susanne Kasper  Titel: Stadtwerke Bad Nauheim, Michael Bartels (Bayernwerk), Energiewende Garching, Stadtwerke München S.5: Wikimedia / Energie Hamburg / Wärmepumpe-Regional / DMT / LIAG / EWG Garching / Gemüse Steiner / Pfalzwerke geofuture GmbH / Kabel Zero S. 7: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V. / Hans Georg Buttermann S. 8: pixabay/ Bundesverband Wärmepumpe S. 9: Energiewende Garching S. 10: Stadtwerke Bad Nauheim / Energiewende Garching S. 11: Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ S. 12: Knüsting Brunnenbau Erdwärme GmbH & Co. KG S. 13: Bundesverband Geothermie e.V. / Interreg S. 14: Stadtwerke München S. 16: Hamburg Energie/ Prof. Dr. Ernst Huenges (GeoForschungsZentrum GFZ) S. 18: unsplash S. 19: LGRBwissen S. 20: Energiewende Oberland – Bürgerstiftung für Erneuerbare Energien und Energieeinsparung
<b>Stand:</b>	August 2022



## Notizen

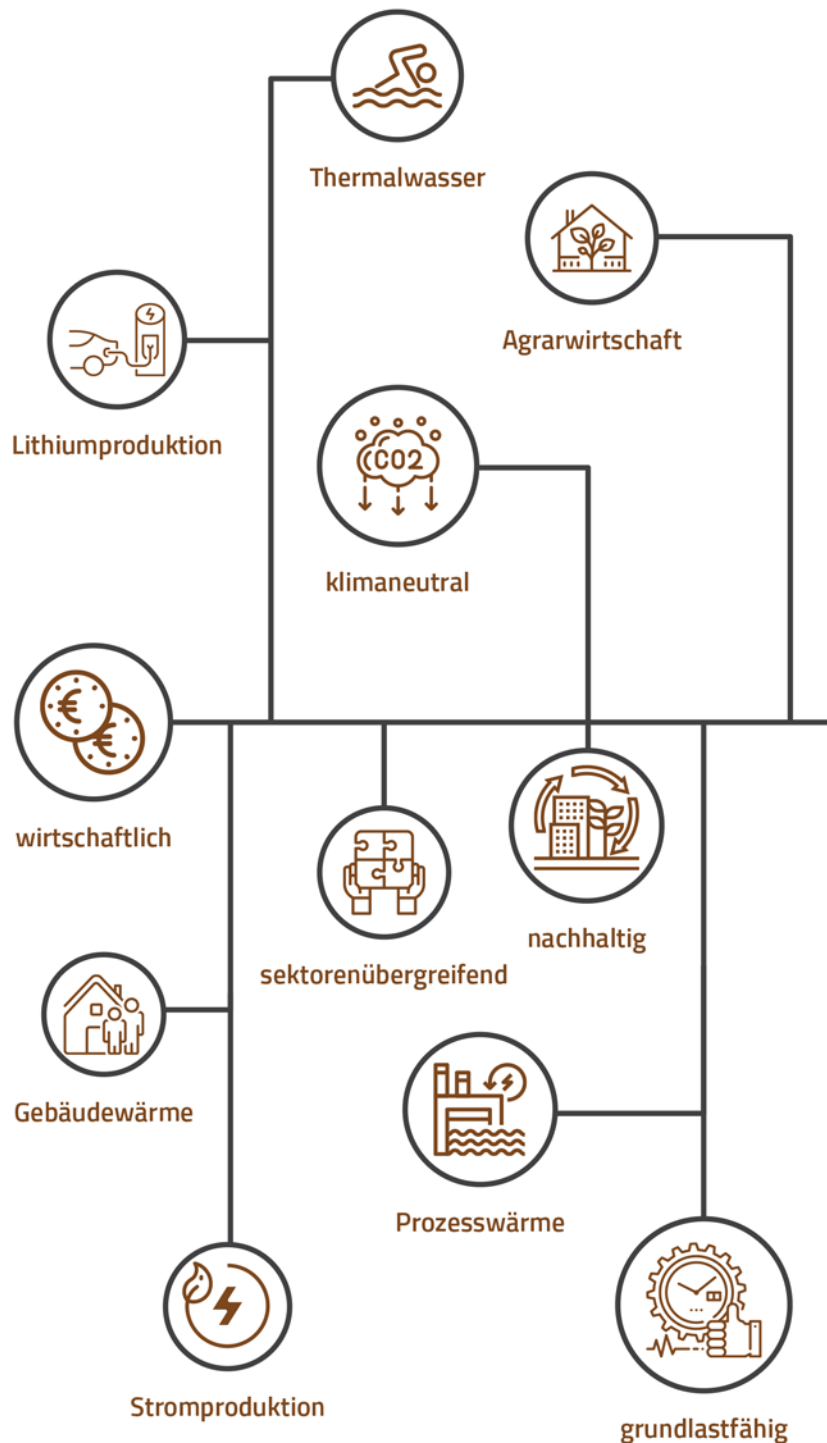
## Notizen



## Alles Gute kommt von unten!

Der Effizienzmeister Geothermie ist ein wichtiger Baustein für die Energie- und Wärmewende. Sie ist nicht nur landschaftsschonend, klimafreundlich und nach menschlichem Ermessen unerschöpflich, sondern ermöglicht eine zuverlässige, preisstabile und sichere Energieversorgung. Geothermie ist immer verfügbar und wetterunabhängig.

Mit den bereits entwickelten Technologien ist es fast überall möglich, das Potenzial der Erdwärme zu nutzen. Mit ihren vielen Anwendungsmöglichkeiten wird die Abhängigkeit von fossilen Energieträgern weiter reduziert und Versorgungssicherheit ermöglicht.



**Bundesverband Geothermie e.V.**

Albrechtstraße 22 (Quergebäude)

10117 Berlin

Tel.: +49.(0)30.200 954 950

Fax: +49.(0)30.200 954 959

[info@geothermie.de](mailto:info@geothermie.de)

[www.geothermie.de](http://www.geothermie.de)