Geothermie - Energie aus dem heißen Planeten

Entdeckungsreise durch eine unerschöpfliche Energiequelle

Materialien und Informationen für Schüler und Lehrer

Geothermische Vereinigung
Bundesverband Geothermie e.V.

Geothermie - Energie aus dem heißen Planeten

Entdeckungsreise durch eine unerschöpfliche Energiequelle

Materialien und Informationen für Schüler und Lehrer

Geothermische Vereinigung
Bundesverband Geothermie e.V.

Herausgeber:
Geothermische Vereinigung – Bundesverband Geothermie e.V., Berlin

fachliche Begleitung:
Christiane Lohse, Umweltbundesamt
Prof. Dr. Horst Rüter, Geothermische Vereinigung - Bundesverband Geothermie e.V.
Oliver Kohlsch, Geothermische Vereinigung - Bundesverband Geothermie e.V.

Autor:
Werner Bußmann

Redaktion:
Medienbüro Werner Bußmann, Gartenstr. 36, 49744 Geeste
Tel.: +49 5907 545, Fax: +49 5907 7379, email: wb@geothermie.de

Christiane Lohse, Umweltbundesamt

Gestaltung:
Medienbüro Werner Bußmann
Oliver Joswig, Gartenstr. 36, 49744 Geeste
Tel.: +49 5907 545, Fax: +49 5907 7379, email: olli@geothermie.de

Druck:
Umweltbundesamt

Verlag und Bezug:
Geothermische Vereinigung – Bundesverband Geothermie e.V.
Gartenstr. 36, 49744 Geeste, Tel.: +49 5907 545, Fax: +49 5907 7379
e-mail: info@geothermie.de

1. Auflage August 2008
2. Auflage September 2008
Gesamtauflage: 6500 Exemplare

Hergestellt auf umweltfreundlichem Recycling-Papier.
ISBN 978-3-932570-60-5

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der Grenzen des Urheberrechtsgesetz ohne Zustimmung der Herausgeber und des Verlages ist unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Fotokopien, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Bearbeitung in elektronischen Systemen.

Förderhinweis:

DIESES PROJEKT WURDE MIT MITTELN DES 7. SONDERPOSTWERTZEICHENS „ERNEUERBARE ENERGIEN IM AUFWIND“ GEFÖRDERT VON:

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

Umwelt Bundes Amt
Für Mensch und Umwelt

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den AutorInnen.

Keine leichte Aufgabe

Wir wissen, die Vorräte von Erdöl, Erdgas und Kohle auf unserer Erde sind nicht unendlich. Aber immer mehr Menschen möchten Autos fahren, elektrische Geräte nutzen, mit dem Flugzeug verreisen, oder je nach Bedarf in gut geheizten oder ordentlich klimatisierten Gebäuden arbeiten und leben. Überall wird Energie benötigt, für die Stromversorgung, für die Heizung, im Verkehr.

Jede Kilowattstunde Strom oder Wärme, die wir für Beleuchtung, für den Computer, für den Elektroherd oder die Gasheizung verbrauchen, jeder Liter Kraftstoff, der uns in unseren Fahrzeugen ans Ziel bringt, hat Nachwirkungen, die wir immer stärker spüren. Für Strom, Wärme und im Verkehr werden die Rohstoffe Erdöl, Erdgas und Kohle verbrannt. Bei jeder Verbrennung entsteht Kohlendioxid, chemische Formel CO_2. Seit langem wissen wir aber, dass CO_2 unser Klima beeinflusst. Je mehr Kohlendioxid wir in die Atmosphäre gelangen lassen, umso mehr heizt sich unser Planet auf. Die katastrophalen Auswirkungen bekommen wir immer stärker zu spüren.

Was aber tun, wenn unsere Rohstoffvorräte immer knapper – und damit immer teurer werden? Wie können wir verhindern, dass unser Klima immer mehr aus den Fugen gerät? Schließlich soll der Strom weiter fließen, die Wohnung im Winter warm bleiben und um von einen Ort zum anderen zu kommen, reichen auch in Zukunft Füße und Fahrrad nicht unbedingt immer aus.

Es wäre ja schön, könnte man Energiequellen anzapfen, die nie zu Ende gehen und die auch das Klima nicht durcheinander bringen oder andere große Probleme machen, wenn wir sie nutzen. Wieso wäre? Es gibt sie ja, die eine ist die Sonne, die andere unsere Erde.

Sonnenstrahlen heizen Duschwasser auf oder produzieren Strom. Sie sind auch der Motor, der den Wind antreibt und dieser lässt die Flügel der Windkraftwerke drehen. Sonnenstrahlen verdunsten Wasser, es regnet, Regen lässt Pflanzen wachsen. Aus ihnen stellen wir feste Brennstoffe her oder Biogas oder Kraftstoffe zum Antrieb von Fahrzeugen. Regen versickert im Boden, tritt aus Quellen wieder an die Erdoberfläche, aus Quellen werden Flüsse. Aufgestaut oder fließend erzeugen sie Strom in Wasserkraftwerken.

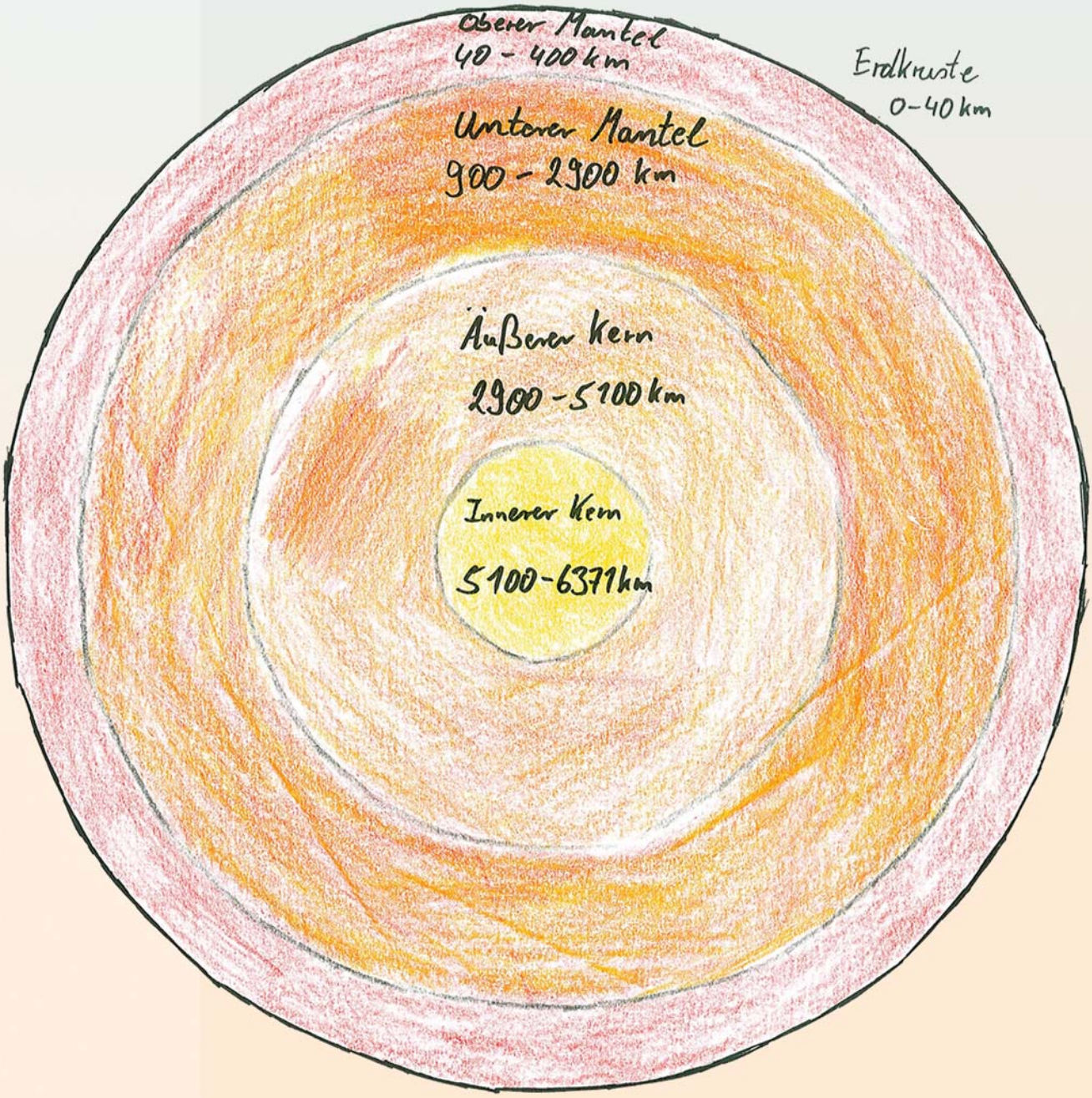
Und die Erde? Was alles an Energie in der Erde steckt und was man damit anfangen kann, auf diese Fährte haben sich Theresia, Marcel und Jonas gemacht.

Die 9. Klasse hatte die Aufgabe bekommen, unsere Energieversorgung zu erkunden. Eines der Themen war die Geothermie. Und dieses ging an unsere Drei.

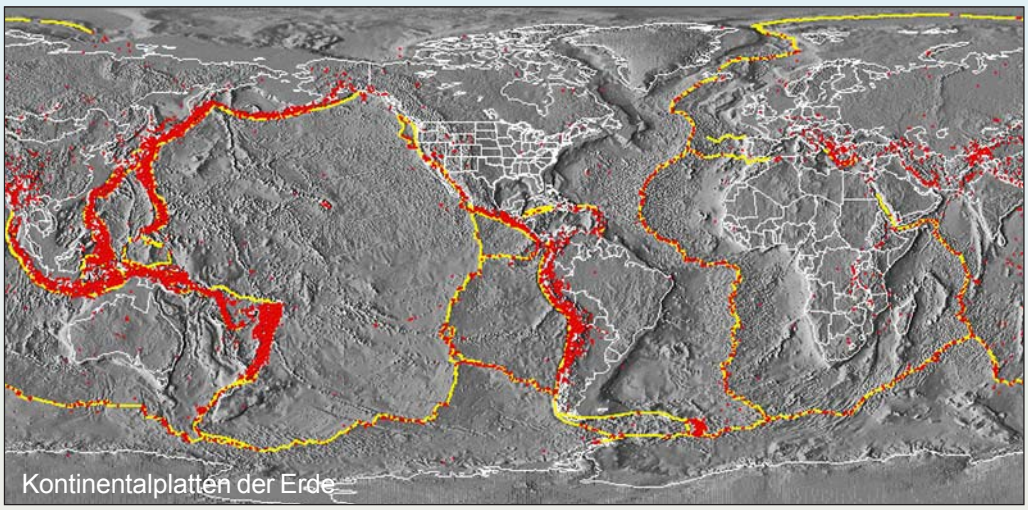
Damit standen Theresia, Jonas und Marcel erst einmal vor der grundsätzlichen Frage:

Geothermie? Was ist denn das? Unser heißer Planet

Marcel hat die Erde gezeichnet. Oder besser gesagt, einen Schnitt, wie mit einem Messer hindurch. Die Zahlen und weiteren Angaben hat er im Internet gefunden und in den Broschüren, die sich die Drei besorgt haben.



„Oha!" Jonas wundert sich, „Wir leben ja auf einer Eierschale."


Kontinentalplatten der Erde

„Aber wie auf einer angebrochenen." Theresia hat aus dem Material die Karte mit den Kontinentalplatten hervorgezogen.

So ist es. Die feste Kruste unseres Planeten, ist nicht einmal 100 km dick. Verglichen mit den 12756 km Durchmesser der Erde stellt sie kaum mehr als eine dünne Haut dar. Außerdem ist sie in sechs große und viele kleine Platten zerbrochen. Diese sind von unzähligen größeren und kleineren Rissen und Klüften durchzogen. Die Platten bewegen sich aufeinander zu oder voneinander weg. Das geht ganz langsam, manchmal nur wenige Millimeter im Jahr. Aber im Laufe der Zeit können sie regelrecht verkanten. Wenn dann z. B. der Druck so groß wird, dass sie gleich ein ganzes Stück weiterrucken, gibt es Erdbeben. In den tiefen Rissen zwischen den Platten kann geschmolzenes Gestein, das Magma bis an die Oberfläche gelangen. Wenn es dann aus Vulkanen ins Freie gelangt, nennen wir es Lava.

Unter der Kruste schließt sich der Erdmantel an. Er ist 3000 km dick und zähflüssig. Mitten drin, im Zentrum unseres Planeten, steckt mit rund 6000 km Durchmesser der Erdkern, der, außen flüssig, innen fest ist und vor allem aus Eisen und Nickel besteht.

Flüssiges Gestein? „Ganz schön heiß da drinnen", meint Marcel. Aber das war den anderen auch schon aufgefallen.

Je tiefer man von der Oberfläche in das Innere unseres Planeten vordringt, umso wärmer wird es. Bei uns in Mitteleuropa nimmt die Temperatur im oberen Bereich der Erdkruste pro 100 Meter fast überall um etwa 3 °C zu.

„In fünf Kilometern hätten wir dann ja schon..." Jonas rechnet

„Und unten in der Kruste, sagen wir mal in 100 km Tiefe, wären das..." Theresia kommt ins Schwitzen

Das könnt ihr auch selbst ausrechnen. Dazu braucht ihr das Trio nicht.

Hätten wir ein Fahrzeug, mit dem wir bis in den Mittelpunkt der Erde vorstoßen könnten, bekämen wir es schließlich mit rund 6000 °C zu tun.

Kaum zu fassen:

99% unseres Planeten sind heißer als 1000 °C, von dem verbleibenden "Rest" sind 99% heißer als 100 °C. Die Sonne bräuchte etliche Millionen Jahre, um uns die gleiche Menge Wärme zu schicken. Mit soviel Energie sollte sich was anfangen lassen.

Innen heiß, vergleichsweise kühl an der Oberfläche und nur durch die Atmosphäre von der tödlichen Kälte des Weltraums geschützt, das ist unsere Erde. Der Platz, der dem Leben und damit auch uns Menschen bleibt, ist eigentlich ziemlich schmal. Es empfiehlt sich also, sorgsam damit umzugehen. Ausweichmöglichkeiten gibt es keine.

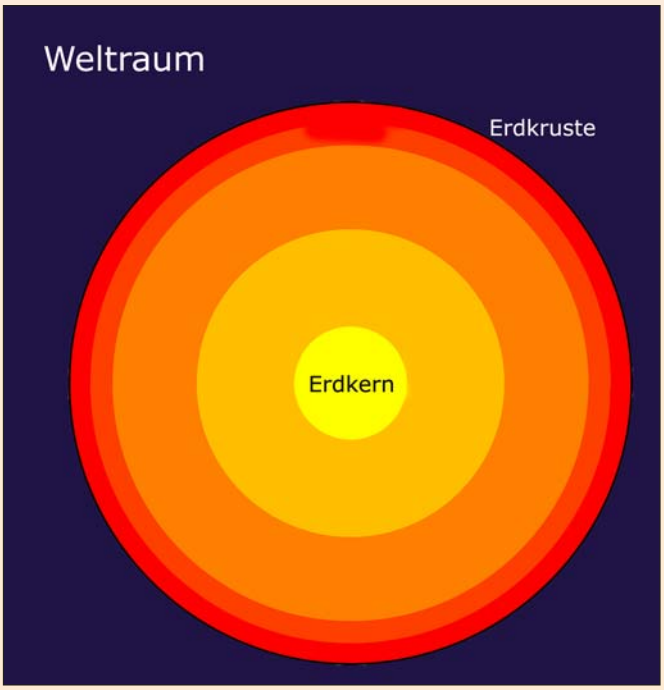
Von oben her heizt uns die Sonne ein. Aber wer merkt schon, wie viel Energie unter unseren Füßen steckt?

Manche Leute merken das schon, weiß Marcel, z.B. Bergleute.

Die Sonne wärmt unseren Planeten. Aber nicht immer und überall gleichmäßig. Es gibt heiße Gebiete und kalte. Bei uns ändern sich die Temperaturen im Laufe der Tage und Jahre ständig. Wärme fließt immer dahin, wo es kälter ist. Das merken wir praktisch jeden Tag. Und manchmal auch ziemlich heftig.

Z.B. wenn warme Luft in Richtung kalter Luft fließt, entsteht Wind.

Für das Referat zeichnet Theresia eine andere Grafik. In ihr spielt die Erde und nicht die Luft die Hauptrolle.



Wie „fließt" die Wärme im Inneren der Erde ?

Für Marcel ist nun: "Alles klar. Wärme ist genug drin in der Erde. Sie kommt uns sogar entgegen. Und wenn wir sie nicht zwischendurch nutzen, haut sie uns einfach so in den Weltraum ab."

Marcel hat Recht. Er hat auch eine Zahl dazu gefunden: Die Wärme, die ständig an die Oberfläche steigt, ist etwa so groß wie das 2,5fache der Energie, die alle Menschen benötigen. Was man mit diesem riesigen Wärmefluss alles anfangen kann, das werden die Drei jetzt gemeinsam herausfinden. Ein bisschen haben sie ja schon im Internet gewühlt und auch in den Broschüren und anderen Materialien geschnuppert, die sie sich besorgt haben. Wo sie gesucht, wohin sie geschrieben haben und wo man noch mehr herausfinden kann, das findet ihr zum Schluss im Kapitel „Mehr gucken, mehr lesen". Was die beiden Jungs aber noch nicht wussten, das weiß Theresia.

"Unser Nachbar heizt damit sein Haus."

Den Nachbarn kennen sie natürlich. Aber dass er die Wärme nutzt, die aus dem Erdinneren kommt, das sieht man nicht, wenn man an dem Haus vorbeifährt.

„Sieht man doch", behauptet Theresia.

Erkennt ihr, was Theresia meint ?

Jonas: „Das Haus müssen wir uns unbedingt mal von Innen ansehen."

Theresia: „Ich mach uns mal einen Termin"

„In zehn Tagen", hat der Nachbar gesagt, „denn erst einmal fahren wir ins Thermalbad." Wenn die Kinder noch nicht zur Schule gehen, muss man nicht in den Ferien Urlaub machen. Bis zur Rückkehr abwarten und nichts tun? Kann man natürlich machen. Aber dann wird das Referat nicht rechtzeitig fertig. Außerdem kann Theresia sich einen Stapel Prospekte und Informationen bei ihm abholen. „Damit könnt ihr schon mal anfangen."

Also einen Schluck getrunken, und weiter geht 's

Wie ist die Wärmeenergie eigentlich in die Erde hineingekommen?

Dass sie nach und nach wieder an die Oberfläche kommt, das wissen wir ja nun.

Um herauszufinden, woher all die Wärme stammt, mussten die Drei zunächst einmal ganz weit zurück an den Anfang gehen. Das haben sie dazu aufgeschrieben:

Die Wissenschaftler sagen, dass die Wärme in der Erde aus verschiedenen Quellen gespeist wird. Eine davon gibt es seit der Zeit, in der unsere Erde entstanden ist. Das war vor etwa 4,5 Milliarden Jahren. Damals backten Gas, Staub, Gestein und Eis durch ihre Anziehungskräfte untereinander nach und nach zusammen. Diese Anziehungskraft wird Gravitation genannt. Beim Zusammenprall all dieser Massen verlangsamten sich diese. Es entstand Wärme wie beim Bremsen eines Autos. Der größte Teil wurde bald wieder in den Weltraum abgegeben. Was übrig blieb, steckt heute noch größtenteils in der Erde drin. Rund 200 Millionen Jahre dauerte es, bis daraus der Himmelskörper entstanden war, auf dem wir heute leben. Wenn man bedenkt, wie alt die Erde inzwischen geworden ist, hat das eigentlich nicht lange gedauert.

Zu den Stoffen, aus denen sich unser Planet zusammensetzt, gehören auch große Mengen Mineralien, die langlebige radioaktive Teilchen enthalten. Solche Teilchen nennt man Isotope. Nach und nach zerfallen sie in andere Stoffe. Dabei entsteht viel Wärme. Der größte Teil von ihnen befindet sich zum Glück weit unten in der Erdkruste, sonst könnten wir wegen der radioaktiven Strahlung gar nicht an der Oberfläche leben.

Zwei Drittel der Wärme, die in der Erde steckt, stammt aus diesem Zerfall der Isotope. Den Rest haben wir von der Erdentstehung geerbt.

Energie ist also genug da und kommt ständig nach: Geothermie ist eine erneuerbare Energie.

Wie die anderen, die wir ebenfalls nutzen:

die Sonnenstrahlen

die Kraft des Windes

und des Wasser

Energie aus Biomasse

Theresa hat den beiden zugehört. Und dabei ist ihr etwas aufgefallen, was die Wärme betrifft, die aus dem Erdinneren an die Oberfläche fließt. Gegenüber den anderen hat diese nämlich einen Vorteil.

Kommt ihr auch dahinter ? Marcel und Jonas mussten zunächst ein bisschen überlegen.

Und Marcel hatte dann gleich die nächste Frage:

Was passiert eigentlich, wenn wir unsere Energie aus der Tiefe nutzen? Machen wir die Erde nicht auf Dauer kalt?

Das war ein kniffliges Problem. Sie haben es gelöst. Dabei hat sie wieder einmal die Sonne auf die richtige Spur gebracht. Na ja, und ein Anruf beim Nachbarn von Theresia hat auch geholfen.

Dann überlegt mal schön. Was die Drei können, solltet ihr auch schaffen. Bei wem aber alles Kopfzerbrechen nichts hilft, wer keinen passenden Nachbarn hat oder wissen möchte, ob man selbst richtig liegt, kann hinten im Heft nachschauen. Da findet ihr die Stelle aus dem Referat.

Halt! Jetzt gleich doch noch nicht!

"Eigentlich ist das ja alles Sonnenenergie", stellt Theresia fest

"Schon richtig", überlegt Marcel. "Aber die Sonne scheint nicht dauernd. Im Winter weniger als im Sommer, bei uns nicht so stark wie am Äquator und nachts schon gar nicht."

"Na und?" antwortet Jonas. "Auch wenn sie nicht scheint, weht der Wind, fließt das Wasser. Na schön, Pflanzen brauchen Licht zum Wachsen. Aber Holz kann man stapeln und aufbewahren und Biodiesel auch nachts in den Tank tun."

Na also. Einige grundlegende Dinge konnten schon mal geklärt werden. Nun geht es an die entscheidende Frage:

Was fangen wir jetzt damit an?

Dazu haben Theresia, Jonas und Marcel eine Menge Informationen gesammelt. In die mussten sie erst einmal eine grobe Ordnung bringen. Die sieht nun so aus:

Zuerst haben sie sich um die Gegenden gekümmert, in denen es Vulkane gibt und heißer Dampf oder heiße Quellen aus dem Boden kommen.

Vulkane gibt es bei uns in Deutschland nicht. Trotzdem haben sie sich gefragt, ob es nicht auch bei uns möglich ist, so tief zu bohren, bis es unten fast so heiß ist, wie um die Feuer und Lava spuckenden Berge herum. Dazu haben sie eine Menge Antworten gefunden.

Und dann waren sie natürlich neugierig, was genau Theresias Nachbar mit der Erdwärme macht.

An, unter und in der Nähe von Vulkanen

Dass an, unter oder in der Nähe von Vulkanen der Untergrund heißer sein dürfte, als anderswo, das konnten sich unsere Drei schon denken. Gar nicht soweit weg, in Italien, gibt es gleich mehrere Vulkane.

Die Namen von mindestens zweien werdet ihr kennen:

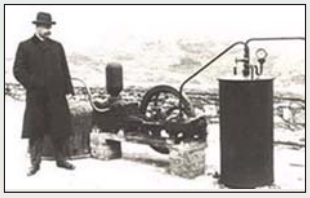
Ä_____

V_____

Wenn man vom **V_____** Richtung Norden fährt, kommt man in eine Gegend, die Toskana heißt. Man kann dort nicht nur gut Urlaub machen.

An manchen Stellen stinkt es kräftig. Das liegt an den heißen, schwefelhaltigen Quellen. Schon seit 2000 Jahren und länger haben Menschen gern darin gebadet. Das Wasser ist gesund, hilft gegen Muskel-, Gelenk-, Knochen- oder Hautkrankheiten. Um den heutigen Ort Larderello herum entstand im 19. Jahrhundert ein Chemiewerk, das heißen Dampf nutzte, der aus dem Boden zischte.

1904 kam der Leiter des Chemiewerks auf die Idee, mit dem Dampf einen Dynamo anzutreiben, um Glühlampen leuchten zu lassen. Davon hat Marcel ein altes Fotos entdeckt.



Einige Jahre später hat man dann richtig große Kraftwerke gebaut. Deren Nachfolger stehen noch heute dort und produzieren Strom.

Geothermiekraftwerk Larderello

Über die ganze Welt verteilt gibt es heute viele geothermische Kraftwerke. Einige davon gehören auch zu europäischen Staaten.

	Installierte Leistung (MW)	Anzahl der Kraftwerke
Deutschland	7.5	3
Frankreich[1]	15	2
Island	202	19
Italien	810.5	32
Österreich	1.2	2
Portugal[2]	16	5
Russland[3]	79	11
Türkei	30	2
Total	1161.2	76

[1] Karibik, [2] Azoren, [3] Kamtchatka

Die "Leistung" in Spalte zwei bedeutet, wie viel Strom die Kraftwerke erzeugen können.

Ihr könnt ja mal versuchen, die Länder auf einer Europakarte wiederzufinden.

Wo liegen eigentlich die Karibik, die Azoren und Kamtchatka ?

Die Abkürzung MW steht für "Megawatt".

Damit er es nicht vergisst, hat Jonas notiert:
1 Kilowatt (kW) = 1000 Watt

1 MW = 1000 kW

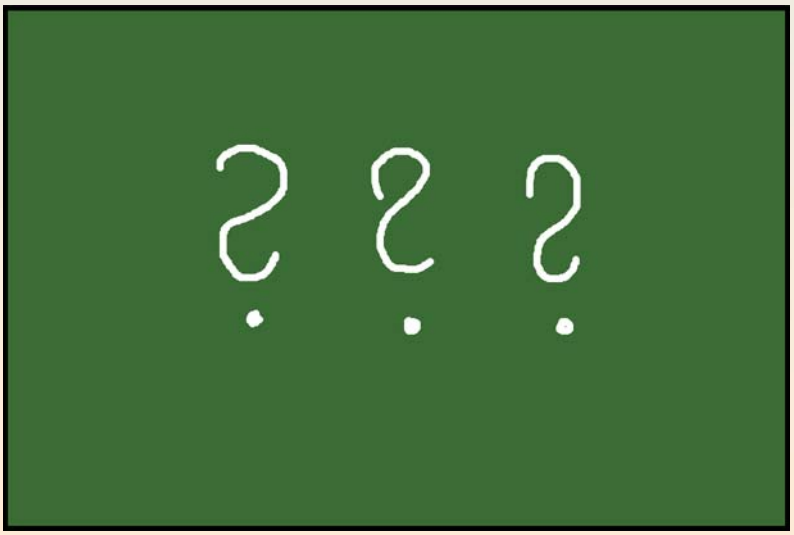
Weltweit sind in 23 Ländern über 9.000 Megawatt in geothermischen Kraftwerken installiert.

Ich hätte nicht gedacht, dass es so viele Länder mit geothermischen Kraftwerken gibt", meint Theresia

Die Glühlampe an der Decke von Theresias Zimmer ist leider keine Energiesparlampe und braucht 100 Watt.

Da haben die Drei es genau wissen wollen und auch herausgefunden, wie viel Zimmer man mit all den geothermischen Kraftwerken beleuchten könnte. Beim Referat haben sie dann die Klasse rechnen lassen.

Das könnt ihr auch, oder? Welche Zahl hat zum Schluss an der Tafel gestanden?



Energiesparlampen zu nutzen wäre natürlich sinnvoller. Die Helligkeit einer 100 Watt Glühlampe wird erreicht, wenn eine 20-Watt-Energiesparlampe eingesetzt wird.

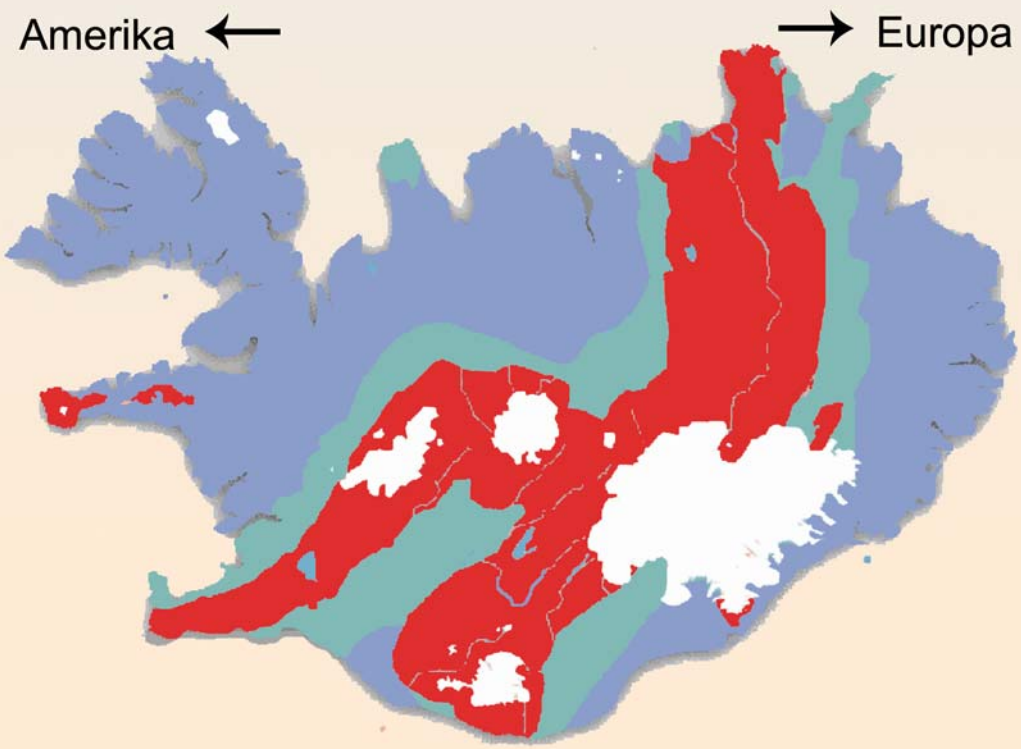
Wieviel Zimmer wären es also, wenn man all diese 100 Watt Glühlampen durch 20-Watt-Energiespar-lampen ersetzen würde ?

Mit allen Ländern können sie sich gar nicht befassen. Darum suchen sie sich eines aus.

Leseecke: Island

Besonders interessiert haben sich Theresia, Marcel und Jonas für Island. Von den Vulkanen dort hatten sie schon gehört. Sie haben aber noch eine Menge mehr herausgefunden. Inzwischen wussten sie ja, dass die Erdkruste aus verschiedenen Platten bestehen, die sich aufeinander zu oder voneinander weg bewegen. Island ist eine der wenigen Stellen auf der Welt, wo man das an der Erdoberfläche regelrecht sieht. Mitten durch die Insel hindurch geht die Trennungslinie zwischen der Erdplatte, auf der Nordamerika liegt und derjenigen zu der der größte Teil von Europa und Asien gehören. Der westliche Teil gehört also nach Amerika, der östliche zu unserem Kontinent. Die Spalte zwischen beiden Platten geht jedes Jahr ein bis zwei Zentimeter auseinander.

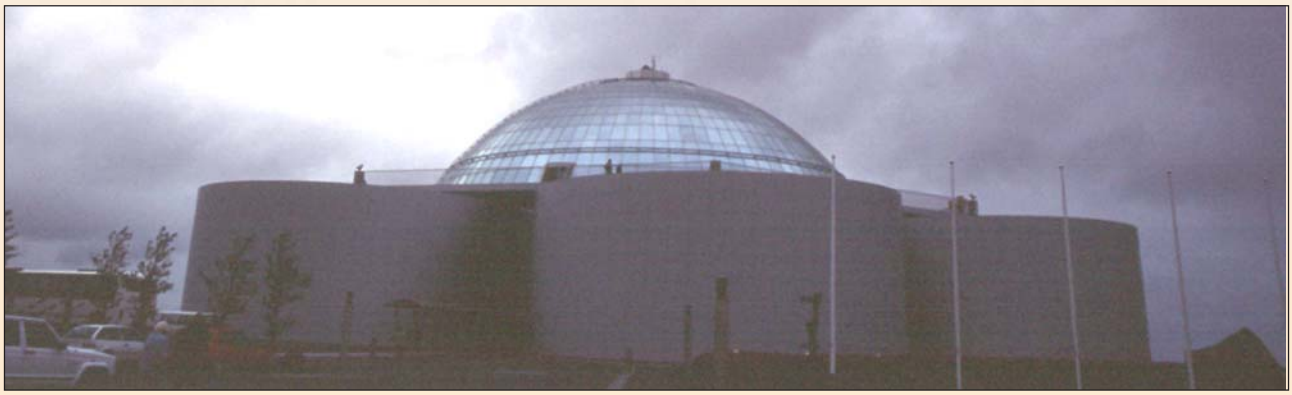
Nur ein bis zwei Zentimeter? "Viel ist das ja nicht gerade"



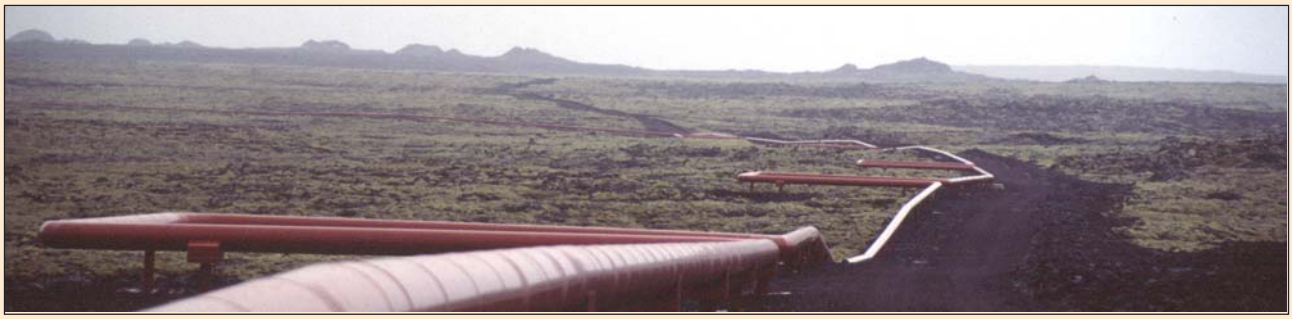
Klar. Aber immerhin genug, dass im Laufe der Zeit, die ganze Insel, etwa so groß wie Bayern und Brandenburg zusammen, daraus entstanden ist. Mit Erdbeben, Vulkanausbrüchen, Vulkanen, die auf einmal neu entstehen und Erdspalten, aus denen plötzlich Lava kommt, kennen die Isländer sich aus. An vielen Stellen gibt es heiße Quellen und einige, an denen kochendes Wasser mehr oder weniger regelmäßig in hohen Fontänen aus dem Boden schießt. Das Wort Geysir, das heute überall auf der Welt für solche “Springbrunnen” verwendet wird, stammt aus Island.

Lavafeld

Überall auf der Insel kann man also sehen, dass Energie in der Erde steckt. Die Leute zapfen ihren heißen Untergrund an. Die meisten Häuser werden mit Wärme aus heißem Wasser beheizt, das man mit Bohrungen aus dem Boden holt. Von den 300 000 Einwohnern leben fast zwei Drittel in der Hauptstadt Reykjavík oder der Umgebung. Hoch über der Stadt gibt es drei gewaltige Tanks.



In ihnen wird heißes Wasser gespeichert, das über ein Netz von Rohrleitungen an alle Gebäude verteilt wird. Das Wasser in diesem Netz stammt aus vielen heißen Quellen in der Stadt und wird auch aus fast dreißig Kilometern Entfernung über eine dicke Pipeline herangeschafft.



Dort gibt es am Vulkan Hengill ein großes Heizkraftwerk. Man hat in den Untergrund gebohrt, bis man eine Schicht erreicht hatte, in der der heiße Vulkan Wasser so aufheizt, bis es sogar zu rund 200 °C heißem Dampf geworden ist. Diesen Dampf holt man, gemischt mit heißem Wasser, heraus und treibt damit Turbinen an, um Strom zu erzeugen.

Das heiße Wasser wird dann weiter auf die dreißig Kilometer lange Reise nach Reykjavík geschickt, um dort die Wohnungen warm zu machen. Das ist sehr praktisch. Denn man kann die Energie aus einer einzigen Quelle, nämlich aus dem Gemisch von Dampf und Wasser aus dem Boden, gleich zweimal verkaufen.

Ein Heizkraftwerk ist also eine Anlage in der man Strom erzeugt und aus dem man Wärme liefert, die z. B. Häuser heizt. Eine solche Verbindung von Strom und Wärme aus einem einzigen Werk nennt man Kraft-Wärme-Kopplung. (Diesen langen Begriff kürzt man meistens mit KWK ab).

"Toll für die Isländer, dass sie eine solche Energiequelle haben", findet Jonas. Aber so ganz geheuer sind ihm die Vulkane und Erdbeben natürlich auch nicht.

Das gilt auch für Theresia und Marcel. Sie wissen aber, dass es überall in der Erdkruste heiß genug ist. Also fragen sie sich:

Könnte man geothermische Kraftwerke auch in Gegenden bauen, in denen es keine Vulkane gibt?

Daraufhin haben sie noch mal genau in die Tabelle geguckt. Zwei Länder sind ihnen dann gleich aufgefallen.

Um welche beiden Länder es sich handelt, ist ganz einfach, nicht wahr?

"Kraftwerke gibt es da auch, wenn auch nicht so große, wie in Island", stellt Marcel fest.

Jetzt wollten Sie es genauer wissen und haben darum ein bisschen recherchiert. Das hat sie dann zu Herrn Koch von der Erdwärmekraft in Berlin geführt. Natürlich sind sie nicht hingefahren, sie haben ihn angerufen und interviewt. Die Fragen hat Theresia gestellt:

Theresia: Wir haben gehört, Sie haben ein geothermisches Kraftwerk.

Herr Koch: Nicht ich selbst, sondern unser Unternehmen, die Erdwärmekraft. Unser Kraftwerk ist das erste in Deutschland

Theresia: An der Telefonnummer, die ich jetzt anrufe, sehe ich, dass Sie sich in Berlin befinden.

Herr Koch: Ich schon, unser Unternehmen auch. Das Kraftwerk steht aber in Neustadt-Glewe. Das ist eine kleine Stadt in der Nähe von Schwerin, in Mecklenburg Vorpommern.

Theresia: Und warum gerade da?

Herr Koch: Dort gibt es seit 1994 ein geothermisches Heizwerk, das einen Aquifer in 2500 m Tiefe nutzt, aus dem fast 100 °C heißes Thermalwasser an die Oberfläche gefördert wird.

Theresia: Ein Aquifer? Was ist das denn?

Herr Koch: Das ist eine Wasser führende Schicht im Untergrund

Theresia: Ah ja. Eigentlich ist 100 °C ja schon ziemlich heiß. Aber von Island haben wir gelesen, dass die dort doppelt so hohe Temperaturen für ihre Kraftwerke haben.

Herr Koch: Richtig. Wenn wir hier bei uns Turbinen einsetzen würden, die mit Wasserdampf angetrieben werden, würde das mit den Temperaturen, die wir in Mitteleuropa im Thermalwasser vorfinden nicht funktionieren. Um Wasser unter ausreichendem Druck und damit für uns wirtschaftlich verdampfen zu lassen, braucht man nämlich Temperaturen von über 175 °C.

Theresia: Und wie funktioniert es dann?

Herr Koch: Wir haben eine spezielle Turbine eingebaut. Darin befindet sich statt Wasser ein anderer Stoff, nämlich Perfluorpentan. Das ist eigentlich nichts anderes als Feuerzeugbenzin und verdampft bereits bei 30 °C. Wenn man nun....

Theresia: Ha, ich glaub, das hab ich kapiert. Das Wasser hat 100 °C. Die sollten reichen.

Herr Koch: Ganz genau. Eine solche Maschine nennt man ORC-Turbine. Die drei Buchstaben kürzen einen englischen Begriff ab, nämlich Organic Rankine Cycle.

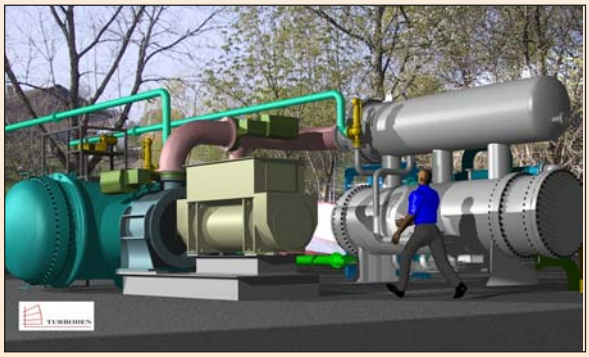
Theresia: Huch! Klingt kompliziert.

Herr Koch: Ja und nein. Eine solche Turbine zu entwickeln braucht schon gute Ingenieure mit etwas Köpfchen. Organic bedeutet “organisch”, in der Chemie meint man damit Kohlenwasserstoffe, also Verbindungen, in denen Kohlenstoff und Wasserstoff enthalten ist. Dazu gehören zum Beispiel Erdöl und Erdgas. Pentan eben auch. Namensgeber für den Rankine-Kreislauf ist der schottische Ingenieur William Rankine, der das Prinzip, wie eine Turbine überhaupt funktioniert, vor über 150 Jahren herausfand.

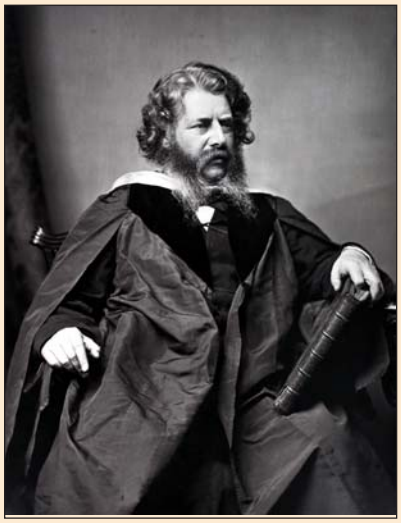
Theresia: Woher haben Sie eigentlich Ihre Maschine?

Herr Koch: Die wurde in Deutschland gebaut.

Theresia: Und was bringt die so? Ich meine wie viel leistet die? Und wie lange schon?


Modell einer ORC-Turbine

William Rankine



Herr Koch: Wir haben sie im November 2003 in Betrieb genommen. Verglichen mit den Kraftwerken auf Island nur sehr wenig. Sie hat eine installierte Leistung von 210 kW. Das reicht aus, um etwa 500 Haushalte mit Strom zu versorgen. Das ist in der Tat nicht viel. Wir fangen alle mal klein an. Es gibt inzwischen 2 weitere Kraftwerke, die über 3 bis 5 Megawatt Leistung verfügen. Aber in einer Hinsicht sind wir in Neustadt-Glewe doch Deutscher Meister.

Theresia: Echt? Nämlich?

Herr Koch: Wir betreiben das Kraftwerk mit den niedrigsten Thermalwassertemperaturen in Deutschland. Wir zeigen damit, dass es technisch möglich ist, auch dann geothermischen Strom zu machen, wenn man keinen Vulkan vor der Haustür hat.

Theresia: Vielen Dank Herr Koch.

“Es gibt weitere Kraftwerke”, hatte Herr Koch gesagt.

Die Karte zeigt, in welchen Gebieten in Deutschland im Untergrund Thermalwasser vorhanden ist.

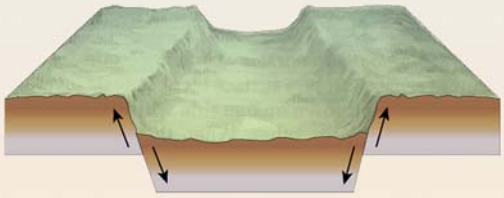
Marcel und Jonas haben versucht, mehr herauszufinden. Im Internet sind sie auf eine Karte gestoßen.

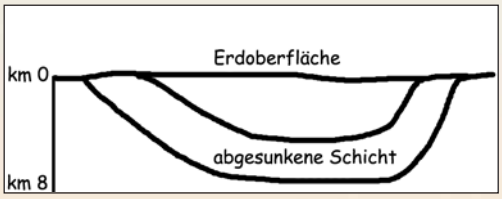
Gebiete mit heißem Thermalwasser im Untergrund

Becken:
In einem Becken haben sich unterirdische Gesteinsschichten über ein großes Gebiet abgesenkt, so dass eine Art Schüssel entstanden ist. Meistens merkt man das an der Oberfläche aber nicht, weil die Senke wieder mit Ablagerungen (Sedimente sagen die Geologen dazu) aufgefüllt wird.

Becken? Graben? Molasse? Was bedeutet das nun wieder? "Mensch, Jungs, Wikipedia weiß das ganz bestimmt", schlägt Theresia vor. Dank des Internet-Lexikons sind sie bald schlauer. Was Jonas notiert hat, seht ihr nebenan.

Graben:
Ein Graben ist ein Gebiet, das im Vergleich zu seiner Umgebung der Länge nach abgesunken ist, weil sich die Erdkruste an dieser Stelle ausdehnt. Das sieht dann wie ein riesiger Graben aus, der sich wieder mit Sedimenten auffüllt. Es geschieht aber auch, dass sich ein Graben schneller bildet, als Sedimente hinzu kommen können. Dann kann man ihn auch an der Oberfläche mehr oder weniger deutlich erkennen.





Dazu haben sie zwei Grafiken gefunden. Welche stellt nun das Becken dar, welche den Graben?

Der Oberrheingraben wird im Westen und Osten durch je ein Gebirge begrenzt. Schaut mal im Atlas nach.

Molasse
ist Material, das von den Gebirgen abgetragen und durch Flüsse in die Ebenen davor transportiert und dort abgelagert wird.
Das Süddeutsche Molassebecken endet etwa an der Donau. Die Ablagerungen (Sedimente), mit denen das Becken aufgefüllt wurde, stammen von den Alpen.

"Na dann ist ja ein Teil der Zugspitze bereits unten angekommen" stellt Marcel fest.

Sie haben herausgefunden, dass es im Molassebecken bereits eine Reihe Orte gibt, in denen das heiße Wasser aus der Tiefe genutzt wird. An einem ist sogar ein Kraftwerk entstanden.

Sie haben dem Bürgermeister Dr. Knapek eine Email geschrieben. Geantwortet hat er ihnen unter anderem:

Unterhaching

Die Lage des Ortes hat Jonas in die Karte eingetragen (s. Seite 20). Den Namen der Großstadt daneben nicht. Das kriegt ihr sicherlich auch selbst hin.

... “Wir wussten, dass wir einen wertvollen Schatz tief unter dem Boden unserer Gemeinde besitzen. Um ihn für uns heben zu können, haben wir eine eigene Firma gegründet, die Geothermie Unterhaching GmbH und Co. KG. Sie gehört unserer Gemeinde mit ihren 21.000 Einwohnern ganz allein. Ende 2004 sind wir bei den Bohrarbeiten nach 3.300 Metern im Karst, in einer mit Rissen durchzogenen Kalksteinschicht also, auf 122 °C heißes Wasser gestoßen. Auf so viel Wasser, dass wir 150 Liter pro Sekunde fördern können. Wir brauchen nur die Wärme, nicht das Wasser. Deshalb schicken wir das Wasser mit einer zweiten Bohrung wieder in den Untergrund zurück, sobald wir einen großen Teil der Energie, die in ihm steckt, für uns herausgeholt haben. Die brauchen wir dann u. a. für ein Fernwärmenetz, mit dem wir z. B. unser Rathaus oder Schulen beheizen. Das meiste ist jedoch für ein kleines Kraftwerk mit einer elektrischen Leistung von knapp 3.5 MW reserviert. Dafür setzen wir eine Kalina-Turbine ein, die mit einem Gemisch aus Wasser und Ammoniak betrieben wird. Ammoniak verdampft bereits bei etwa 30 °C. Wir haben uns für diese ziemlich junge Technologie entschieden, weil wir davon ausgehen, dass diese Maschinen eine bessere Stromausbeute liefern, als die ORC-Turbinen, nach denen ihr gefragt habt. Entwickelt hat das Verfahren der in Russland geborene Ingenieur Kalina, der jetzt in den USA lebt. Solche Anlagen werden in Deutschland, gar nicht weit von uns entfernt, hergestellt. Weil an unserem System noch vieles neu und im täglichen Betrieb noch nicht erprobt ist und wir damit ein höheres Risiko eingegangen sind, hat uns die Bundesregierung mit einem Zuschuss unterstützt...”

Ing. Alexander Kalina neben seiner Turbine

"Hm, jede Sekunde 150 Liter", überlegt Marcel. "Ist das viel oder wenig?"

Kalina Kraftwerk Husavik, Island

Alle drei haben fleißig gerechnet. Wie viel Liter heißes Wasser holt man in Unterhaching in jeder Minute aus der Bohrung und schickt es um einige zehn Grad kälter wieder nach unten zurück? Wie viel in jeder Stunde? Am Tag? Im Monat? Jedes Jahr? Wie viel Straßentankwagen mit einem Fassungsvermögen von 30.000 l ließen sich damit füllen? Ein solches Fahrzeug ist z. B. 14,25 Meter lang. Wie viel Kilometer Stau ergäbe die Lkw-Schlange, würde man die im Laufe eines Jahres vollgetankten Wagen hintereinander aufstellen? Und bis in welche Gegend oder Stadt reichte sie dann von eurem Heimatort aus?

Dann haben die drei recherchiert, ob nicht vielleicht auch in der dritten wichtigen Region, dem Oberrheingraben, ein Kraftwerk gebaut wurde und sind fündig geworden.

Landau in der Pfalz

Die Lage des Ortes hat wieder Jonas in die Karte eingetragen. Die Namen der beiden Städte in der Nähe hat er wieder ausgelassen. Versucht, sie herauszufinden.

Projektleiter Dr. Heiner Menzel war gerade in Eile, als Marcel anrief. Aber soviel verriet er doch:

Bei den Bohrarbeiten für das Kraftwerk hatte man auf dem Gelände der ehemaligen Panzerwerkstätten in Landau Ende 2005 in rund 3000 Meter Tiefe ca. 150 °C heißes Wasser gefunden. Bis März 2006 konnte auch das zweite Loch erfolgreich nach unten gebracht werden. “Da waren wir froh, denn die Arbeiten haben uns einige Millionen Euro gekostet. Weil es so gut weiter lief, konnten wir Ende 2007 den ersten Strom ins Netz speisen. Zukünftig wollen wir jedes Jahr rund 20 Millionen Kilowattstunden Strom produzieren. Unser Unternehmen, die geo x, hat die Anlage gebaut und betreibt sie. Wir gehören zwei Energieversorgern aus der Region, den Pfalzwerken und der Energie SüdWest an. Überall in der Gegend gibt es Gesellschaften, die sich Gebiete gesichert haben, um ebenfalls Erdwärme für Kraftwerke zu erschließen und nur darauf gewartet haben, ob wir Erfolg haben, oder nicht. Bei unserem spannenden Vorhaben werden wir vom Bundesumweltminister, von unserem Bundesland, der Stadt und von Banken unterstützt. Wir haben uns übrigens für eine bewährte ORC-Turbine entschieden.”

Als Marcel dann erwähnte, dass man sich auch in Unterhaching schlau gemacht habe, meinte Dr. Menzel: “In Bayern ist es nicht ganz so schwierig, das Thermalwasser zu finden. Bei uns müssen wir einen größeren Aufwand treiben. Dafür haben wir einen wichtigen Vorteil gegenüber den Projekten in der Molasse.”

Leider ist er nicht mehr dazu gekommen, seinen letzten Satz näher zu erklären. Unser Trio hat dann aber nach einigem Nachdenken das Rätsel auch allein gelöst. Und wie ist das mit euch?

Und wenn es nun gar kein Wasser im Untergrund gibt?

Diese Frage hatte Marcel noch schnell an Dr. Menzel loswerden wollen.

“Erkundigt euch doch mal bei den Kollegen in Soultz”, hatte Dr. Menzel gemeint und rasch buchstabiert, wie man den Namen des Ortes schreibt.

Inzwischen fast schon Profis bei der Suche nach geothermischen Informationen im Internet, fanden sie schnell heraus, wie der komplette Name lautet.

Soultz-sous-Forêts

Der kleine Ort liegt im Elsass, also in einem unserer Nachbarländer und in einer der drei geothermischen Regionen, mit denen sich Theresia, Marcel und Jonas schon beschäftigt hatten.

Dort forschen Wissenschaftler aus mehreren Europäischen Ländern seit vielen Jahren an neuen Methoden, wie man tief im festen Gestein der Erdkruste die geothermische Energie z. B. auch dort nutzen kann, wo es kein oder nicht genügend heißes Wasser in der Tiefe gibt. Das Geld dafür kommt von der Europäischen Union und einigen europäischen Staaten, darunter Deutschland. Auch große Stromversorger sind beteiligt. “Enhanced Geothermal Systems” (EGS) nennen die Forscher ihre Verfahren.

“Das ist auf Deutsch gar nicht so einfach zu übersetzen”, Wörterbücher haben da so nicht zufrieden stellend weitergeholfen. Also haben sie einen Fachmann gefragt.

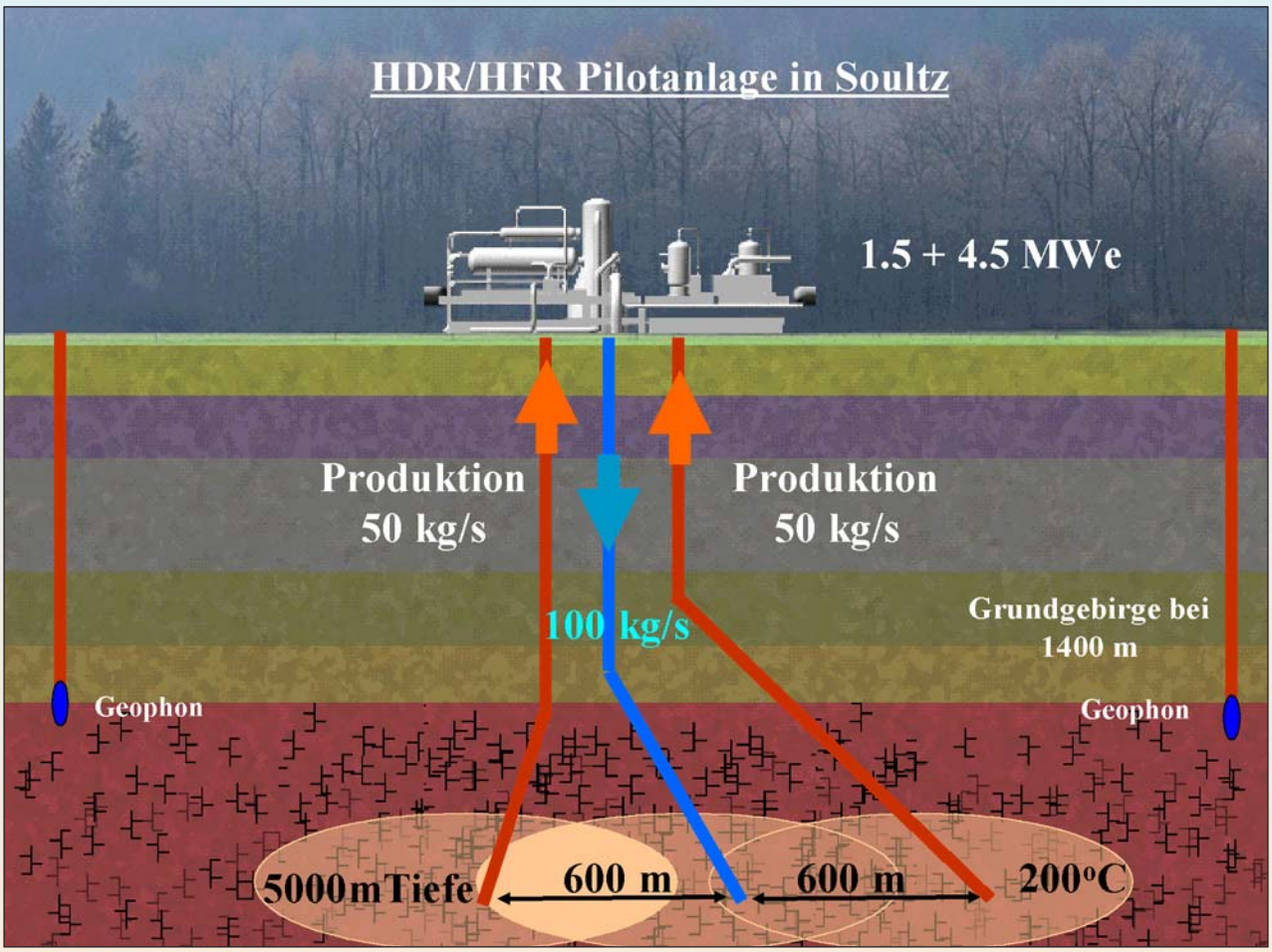
Gemeint sind damit die vielfältigen, erweiterten Möglichkeiten z. B. für die Stromproduktion, die sich daraus ergeben, dass man nicht auf natürlich im Untergrund vorhandene Lagerstätten angewiesen ist, die Dampf oder heißes Wasser enthalten.

Der Trick: Was es unten nicht gibt, schickt man von oben runter, also Wasser. Eine dieser Möglichkeiten wird Hot-Dry-Rock-Verfahren (HDR) genannt.

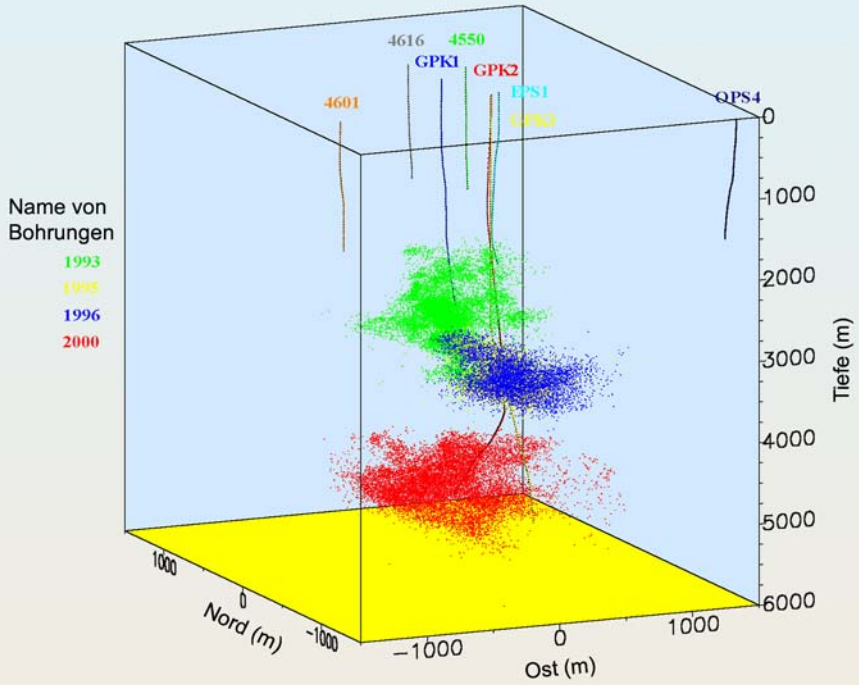
So etwa hatte es ihnen Dr. Jörg Baumgärtner, der deutsche Projektleiter in Soultz erklärt.

Marcel ist zufrieden. “Die Übersetzung für Hot-Dry-Rock ist nach dieser Erklärung ja jetzt ganz einfach.”

Oder etwa nicht ?



“Früher hat man angenommen”, sagt Dr. Baumgärtner, “das feste Gestein in der Erdkruste wäre eher wie ein kompakter Block. Wir mussten lernen, dass es überall Risse und Klüfte gibt. Da haben wir in Soultz gedacht, das sollten wir ausnutzen. Wenn Wasser durch all die Spalten läuft, dann heizt es sich so stark auf, dass es schließlich genügend Energie enthält, um damit Strom zu produzieren. Wir schicken Wasser durch eine Bohrung nach unten, und holen es in einigen hundert Metern Entfernung wieder durch ein oder zwei andere Bohrlöcher nach oben. Auf dem Weg dorthin ist es heiß genug geworden. Nachdem wir uns die aufgenommene Energie herausgeholt haben, schicken wir das kalte Wasser wieder nach unten zurück. Das gibt also einen ständigen Kreislauf. Leider sind die Risse und Spalten erst einmal verstopft. Wenn wir also die erste Bohrung unten haben, pumpen wir Wasser in das Loch, dass wir dann mit hohem Druck in das Gestein hinein verpressen. Dadurch machen wir die Wege frei und weiten sie sogar noch ein bisschen auf. Einen solchen Vorgang nennen wir einen Frac. Dabei achten wir genau darauf, in welche Richtung wir die Klüfte öffnen. Das geschieht nämlich nicht gleichmäßig um die Bohrung herum, sondern nach dorthin, wo das Gestein am wenigsten Widerstand leistet. Diese Richtung wird notiert. Natürlich können wir keinen Menschen nach unten schicken. Nicht weit von einer solchen Bohrung entfernt haben wir noch eine andere, die längst nicht so tief ist. In der hängt nur ein Lauschgerät, ein Geophon. Wenn das Wasser, das wir runterschicken, sich seinen Weg durch das Gestein sucht, entstehen Knackgeräusche. Unser Geophon ortet die und gibt die Position, an der das Geräusch entstanden ist, an einen Computer weiter, der jeden Knack in ein dreidimensionales Modell des Untergrunds einträgt. So sehen wir genau, wohin das Wasser fließt und wissen dann, wo wir unsere weiteren Bohrungen an das unterirdische Wasserwegenetz anschließen können.”



“Das soll funktionieren?” Theresia staunt.

“Ja, das tut es. In den 90er Jahren haben wir das HDR-Verfahren in etwa 3000 Meter tiefen Bohrungen ausprobiert. Wir wollten jedoch höhere Temperaturen bis zu 200 °C erreichen. Dafür sind wir bis auf 5500 Meter Tiefe gegangen und verfügen jetzt über ein Netz von drei Bohrungen. Auch hier sind unsere Tests erfolgreich gewesen.”

“Und nun wird ein Kraftwerk gebaut?” will Jonas wissen.

“Das geschieht in der Tat. Allerdings geht es uns in erster Linie nicht um den Strom, sondern um die Forschung.”

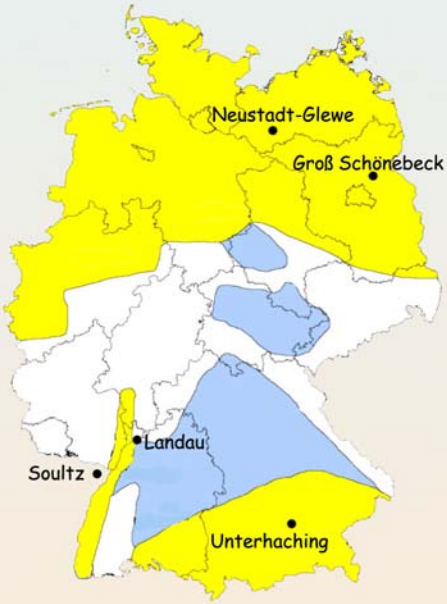
Marcel hat da eine Idee: “Kann man so eine HDR-Anlage auch bei uns bauen?”

“Bei euch in Norddeutschland? Was Sedimente sind, wisst ihr?” Wussten sie. “Gut. Beim Frac verhalten sich Sedimente anders als unser Festgestein. Dafür braucht man spezielle Verfahren, die wir bei uns nicht vernünftig testen können. Daran arbeiten die Leute vom GeoForschungsZentrum in Potsdam und beim Geo-Zentrum in Hannover. Die können euch dazu mehr erzählen.”

Von beiden Einrichtungen hatten die drei bisher noch nie gehört. Marcel schaut also erst einmal im Internet nach.

Potsdam

Im GeoForschungsZentrum (GFZ) in Potsdam arbeiten Wissenschaftler aus verschiedenen Bereichen zusammen. Ihre Aufgabe ist es, mehr darüber herauszufinden, wie unser Planet aufgebaut ist und was in ihm vorgeht. Dazu gehört z. B. die Erdbeben- oder Vulkanforschung. Aber auch die Geothermie ist ein wichtiges Thema. Das Team, das sich damit beschäftigt, wird von Dr. Ernst Huenges geleitet. Von ihm erfahren sie, dass die Hauptarbeit gar nicht in Potsdam selbst stattfindet.



"Wir haben in Brandenburg, nordöstlich von Berlin, bei dem kleinen Ort Groß-Schönebeck um eine 4300 Meter tiefe, ehemalige Gasbohrung herum, ein Forschungslabor eingerichtet. In dem tiefen Loch testen wir seit einigen Jahren, wie man unter den geologischen Verhältnissen, wie sie bei uns im Norddeutschen Becken vorherrschen, geothermische Energie gewinnen kann, um damit Strom zu produzieren. Die Norddeutsche Tiefebene ist nämlich bis zu 8 Kilometern mit Sedimenten, z. B. mit Sandstein zugedeckt."

"Krass!" Nun staunt auch Jonas. "Bis zum Festgestein müsste man ja noch viel tiefer bohren als in Soultz."

"Gut erkannt. Bohren ist teuer. Das wisst ihr sicher inzwischen. Also wird man vermeiden, so tief hinunter zu müssen. Genügend hohe Temperaturen sind ja bereits weiter oben zu haben. In unserem Loch in Groß-Schönebeck sind es rund 150 °C. Der Unterschied zu Soultz ist allerdings, dass unser Sandstein sich ein wenig anders verhält, als das Festgestein dort. Wir versuchen auch bei uns Wege für das Wasser im Gestein zu schaffen."

Theresia kannte den Fachausdruck dafür.

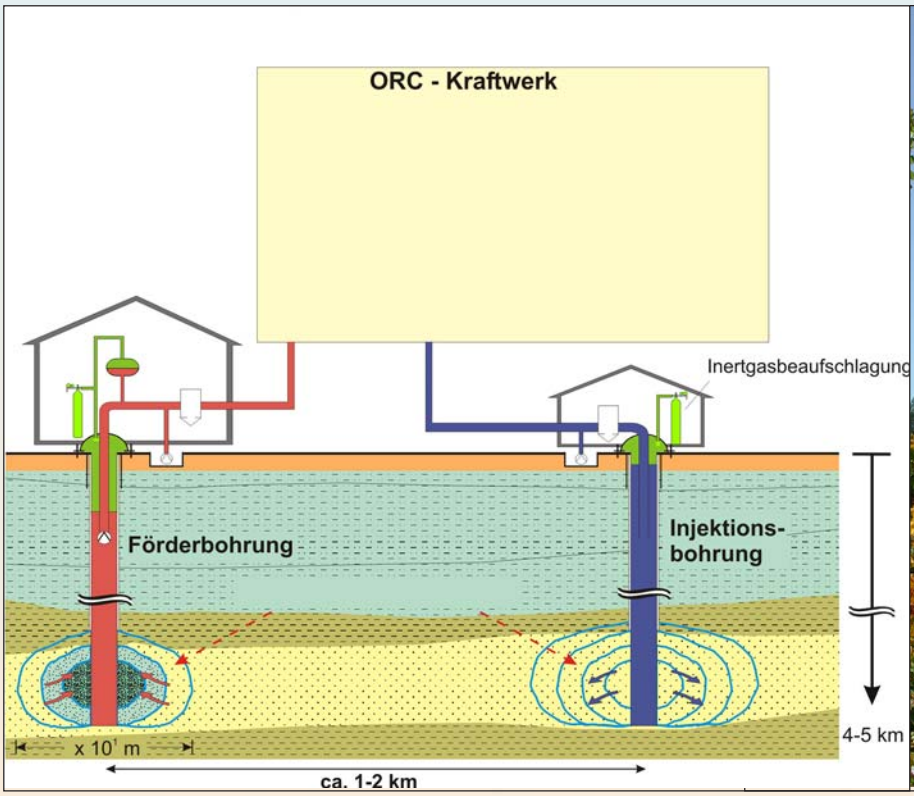
Und wie ist das mit euch?

"Sieh mal einer an, was ihr schon alles wisst", staunt Dr. Huenges. "Im Sandstein bleiben diese Wege aber nicht lange offen. Sie setzen sich immer wieder zu."

"Und an der zweiten Bohrung kommt dann auf Dauer oben zu wenig Wasser an", stellt Marcel fest.

"Genau. Wir haben in unserer ersten Bohrung spezielle Verfahren entwickelt und getestet, mit denen wir einen ständigen Durchfluss durch das Gestein sicherstellen wollen. Jetzt bohren wir ein zweites Loch. Aus dem einen fördern wir dann Wasser, in das andere schicken wir es zurück. Da beide Bohrungen an der Oberfläche durch eine Leitung und im Untergrund durch Wege

im Gestein miteinander verbunden sind, entsteht ein Kreislauf. Mit dem Experiment wollen wir untersuchen, ob sich dieser Kreislauf dauerhaft aufrechterhalten lässt. Nur dann kann man daran denken, auch an solchen Orten geothermische Kraftwerke zu bauen."



Quelle: GFZ

Wer das alles bezahlt, wollten die drei noch wissen.

"Das Verfahren, das wir hier entwickeln, kann man an vielen Orten nicht nur bei uns in Deutschland anwenden. Deswegen erhalten wir den größten Teil unserer Forschungsgelder auch vom Bundesumweltministerium. Unsere Firmen sollen ja später einmal damit Geld verdienen können. Und das bringt wiederum Arbeitsplätze. Das Land Brandenburg unterstützt uns daher auch und ein Energieversorger ist ebenfalls dabei."

Wir heizen unsere Stadt

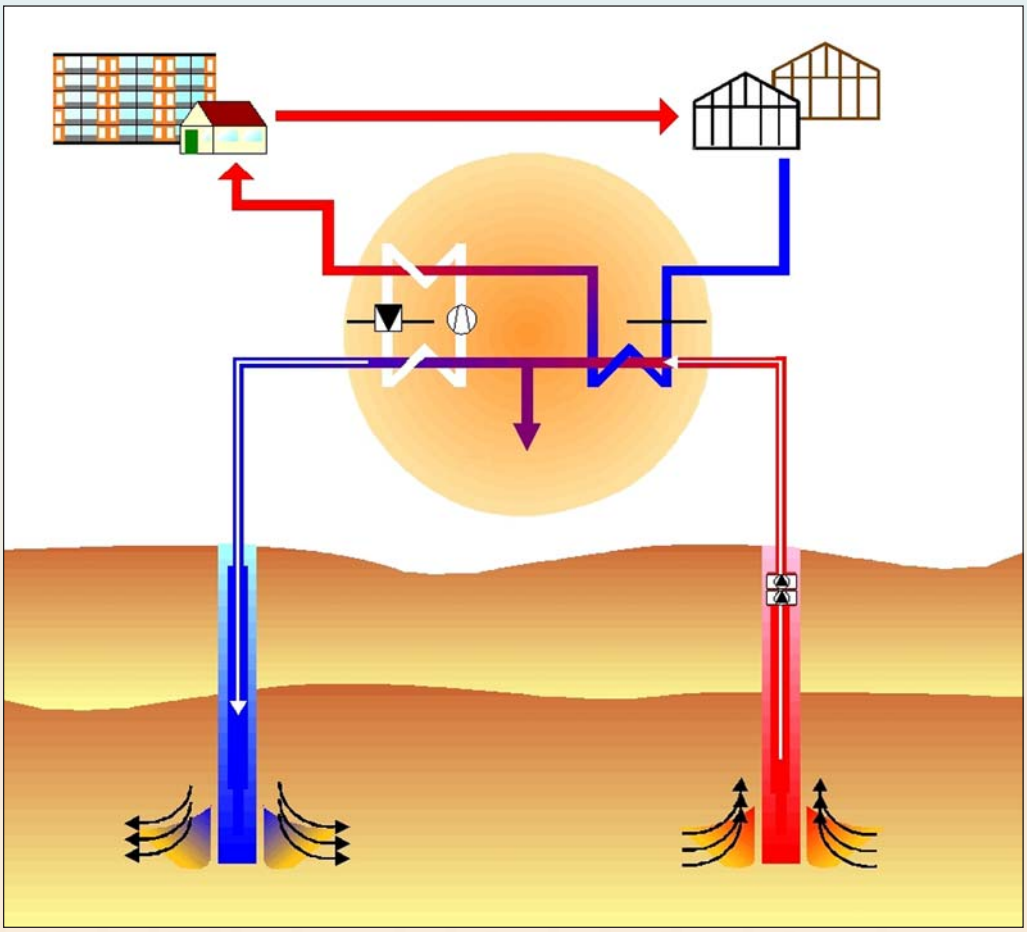
Aus zwei Städten wussten die Drei bereits, dass man dort die Geothermie auch zum Heizen benutzt. Sie entdeckten noch eine Reihe weiterer.

Auf der nächsten Seite findet ihr die von Theresia, Marcel und Jonas gesammelten Fotos dieser Erdwärme-Heizwerke und eine Karte, die ihr schon kennt. Die Punkte zeigen, wo sich die Heizwerke befinden. Die Namen fehlen. Unsere Drei haben sich so viel damit beschäftigt, dass sie längst auswendig wissen, welcher Name zu welchem Punkt gehört. Das findet ihr auch heraus und könnt die Karte vervollständigen.

Z. B. an diesen Orten wird geothermisch geheizt:

Welches Foto passt zu welchem Ort?

In diesem Schema sieht man, wie ein Geothermisches Heizwerk funktioniert:



Man sucht heißes Wasser im Untergrund, (1)

Bringt es über eine Förderbohrung an die Oberfläche (2)

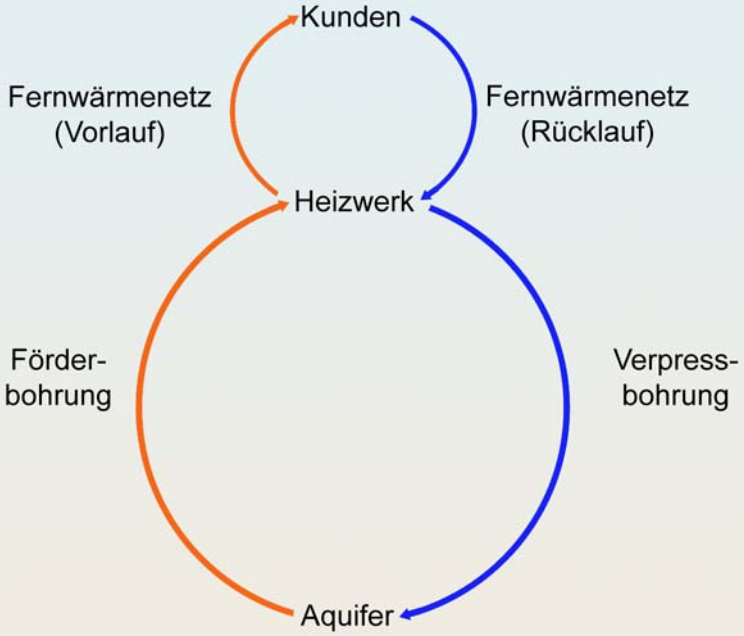
Entnimmt im Geothermie-Heizwerk die Wärme (3)

schickt die aus dem heißen Wasser gewonnene Wärme zu den Kunden (4)

...und das ausgekühlte Wasser wieder über eine Verpressbohrung in den Aquifer zurück (5)

In der Grafik fehlen noch die Zahlen von (1) bis (5). Die könnt ihr selbst an die richtigen Stellen setzen.

"Na ja," meint Theresa, "das kann man auch gleich in einem Kreis zeichnen."



"Einer reicht nicht", wendet Jonas ein. "Wir brauchen zwei."

Mit der Energie aus dem Thermalwasser können Hunderte oder Tausende von Wohnungen beheizt werden, Geschäfte, Schulen, Rathäuser, eben alle Gebäude, in denen Wärme gebraucht wird. Wie viel Wärme man zu den Kunden (Verbrauchern) schicken kann, hängt davon ab,

wie hoch die Temperatur des Thermalwassers ist und

wie viel Thermalwasser man aus der Bohrung herausholen kann.

Damit die Wärme auch bei den Verbrauchern ankommt, müssen Leitungen verlegt werden: Alle zusammen ergeben sie das Fernwärmenetz.

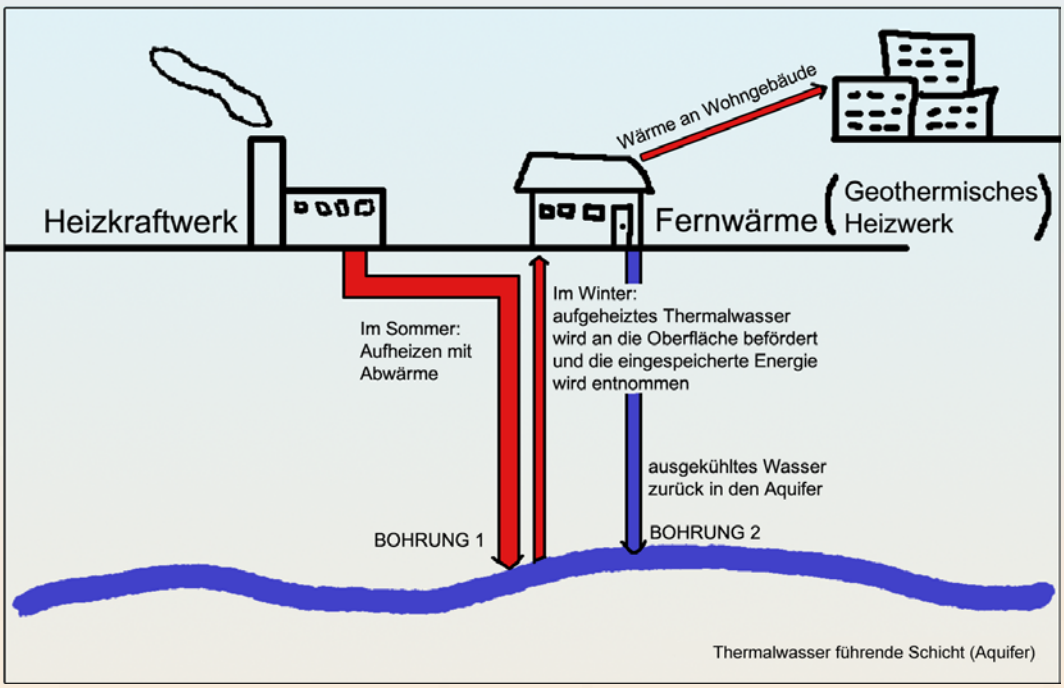
In ihnen fließt aber nicht das Thermalwasser selbst. Aus dem holt man nur die Wärme heraus und schickt es gleich wieder nach unten zurück. In dem Thermalwasser aus dem Untergrund sind nämlich normalerweise Stoffe enthalten (z. B. Salz), die Fernwärmeleitungen beschädigen oder zerstören könnten. Das heiße Wasser in den Fernwärmeleitungen sorgt bei Verbrauchern für beheizte Räume und warme Duschen und kommt dann ausgekühlt wieder im Geothermie-Heizwerk an.

Es gibt also zwei Kreisläufe. Der eine spielt sich über die Bohrungen zwischen dem Aquifer und dem Heizwerk ab, der andere zwischen dem Heizwerk und den Verbrauchern. An einer Stelle sind beide verlinkt. Und zwar am

Wärmetauscher
Wärmetauscher haben doppelte Wände eingebaut. Auf der einen Seite fließt das heiße Thermalwasser vorbei, auf der anderen das kühlere Wasser, das von den Verbrauchern über das Fernwärmenetz zurück zum Heizwerk gelang. Im Wärmetauscher heizt das Thermalwasser das Fernwärmewasser wieder auf.

„So, dann können wir uns ja mal um die Extras kümmern."

Neubrandenburg: Auf die intelligente Tour

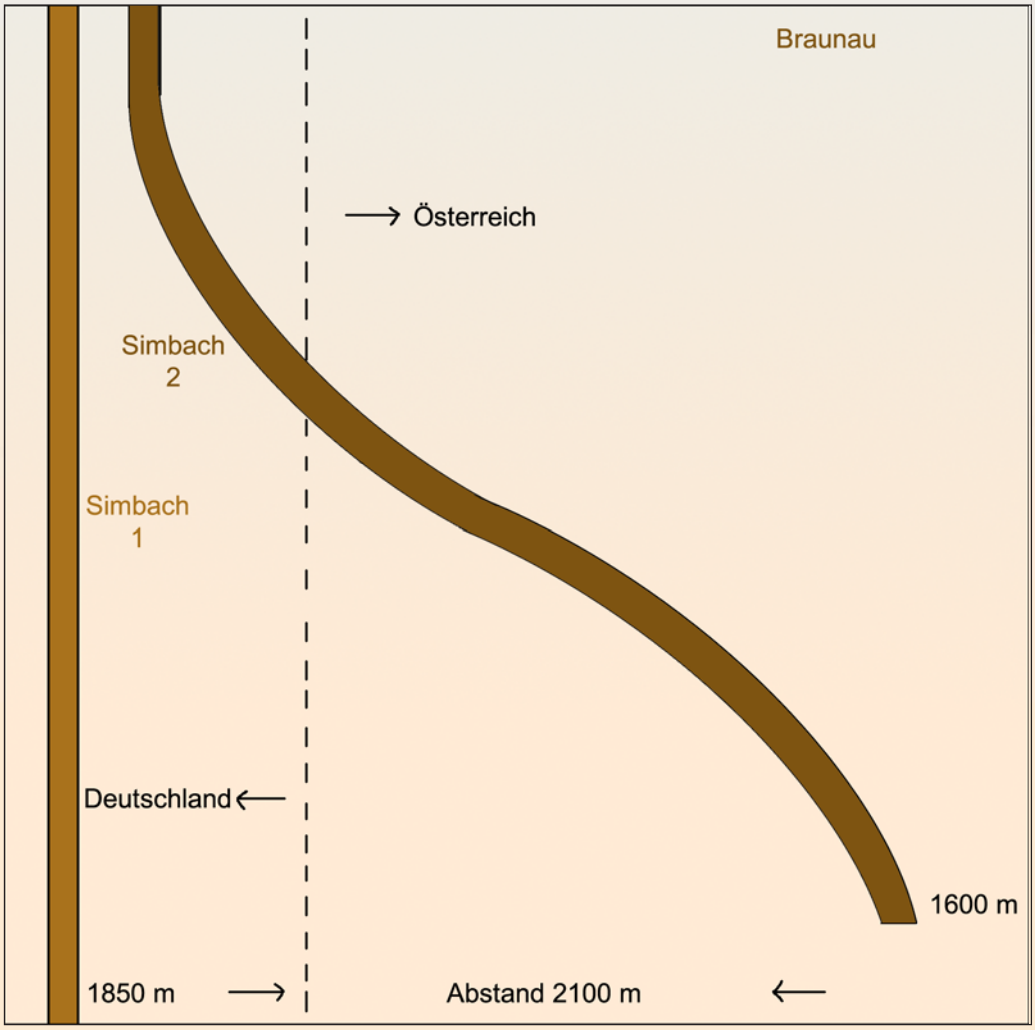


Die Stadtwerke in Neubrandenburg, hat Theresia herausgefunden, besitzen ein modernes Gas- und Dampfkraftwerk, mit dem sie besonders effizient Strom produzieren und Abwärme für ein Fernwärmenetz nutzen. Nun gibt es dabei ein Problem: Strom wird immer gebraucht, Wärme zum Heizen im Sommer eher nicht. Wegen der Nachfrage nach Strom muss aber das Kraftwerk das ganze Jahr laufen. Wohin aber mit der Abwärme im Sommer? Gute Frage, intelligente Lösung: Wir haben doch die Dublette. Das Wasser in 1300 m Tiefe ist 55 °C warm. Schickt man im Sommer die Abwärme nach unten, heizt man damit das Wasser weiter auf. Bis zum Winter ist die Temperatur dort unten dann auf 80 °C gestiegen. Mit höheren Temperaturen lässt sich preiswerter heizen. Da haben jetzt alle was davon: Die Stadtwerke, die ihre Abwärme über den Sommer gerettet haben und die Kunden des geothermischen Fernwärmenetzes, denen man günstigere Wärmepreise anbieten kann.

"Mein Heizwerk liegt eigentlich auf der Grenze", behauptet er.

Simbach und Braunau: Heißer Grenzverkehr

So ist es. Simbach liegt in Bayern an einem Fluss. Die Stadt am gegenüberliegenden Ufer heißt Braunau und gehört zu Oberösterreich. Das geothermische Heizwerk steht in Simbach. Eine Bohrung der Dublette geht senkrecht nach unten, die andere führt tief unter dem Fluss hindurch ein gutes Stück nach Österreich hinein. Auch oberirdisch ist man verbunden. Ein Teil der Wärme, die man aus der Tiefe holt, nutzen die Simbacher, der andere wird rüber nach Braunau in Österreich geschickt und versorgt dort ebenfalls ein Fernwärmenetz.



Wie heißt jetzt noch gleich der Fluss, der zwischen beiden Städten fließt?

"Na ja", stellt Jonas fest, "der Erdwärme sind die Staatsgrenzen egal. Ich hab hier einen ähnlichen Fall"

Von Riehen nach Lörrach – Wärmeausfuhr zu den Nachbarn nach Deutschland

In der Schweizer Gemeinde Riehen bei Basel sorgt ein geothermisches Heizwerk für saubere Wärme. Einige Minuten zu Fuß und man ist in Baden-Württemberg, in Stetten, einem Stadtteil von Lörrach mit vielen Neubauten. Auch in Stetten gibt es ein Fernwärmenetz. Ein Teil der Wärme, die man dafür benötigt, verkaufen die Schweizer ihren Nachbarn über die Grenze. Die Dublette in Riehen liefert genug davon.

„Prima. Unser Nachbar ist inzwischen auch seinem Urlaub aus Bayern zurück." Ein paar Fotos von seinem Besuch um Thermalbad hat er mitgebracht.

„Er erwartet uns gleich zu unserem angemeldeten Besuch."

Und mit diesem Besuch wird eine neues Kapitel aufgemacht.

Erdwärme gibt es überall

Zimmertemperatur 22 °C

In den ersten Hundert Metern der Erdkruste liegen bei uns die Temperaturen bei kühlen 7-12 °C. Ganz nah an der Erdoberfläche merkt man noch deutlich den Einfluss der Witterungsverhältnisse. Der Boden gefriert, kühlt aus oder erwärmt sich. Nach 25 Metern kann man davon aber praktisch nichts mehr feststellen.

7-12 °C

Salzwasser gefriert - 23 °C

Steigt die Temperatur an, nimmt, ist ja logisch, auch die Wärmeenergie zu. Der Unterschied zwischen -273.15 °C und +12 °C bedeutet auch, dass darin eine Menge Energie enthalten ist.

Trockeneis - 73 °C

Mit soviel Energie lässt sich einiges anfangen. Jedenfalls, wenn es um die Erdwärme geht, genauer um die

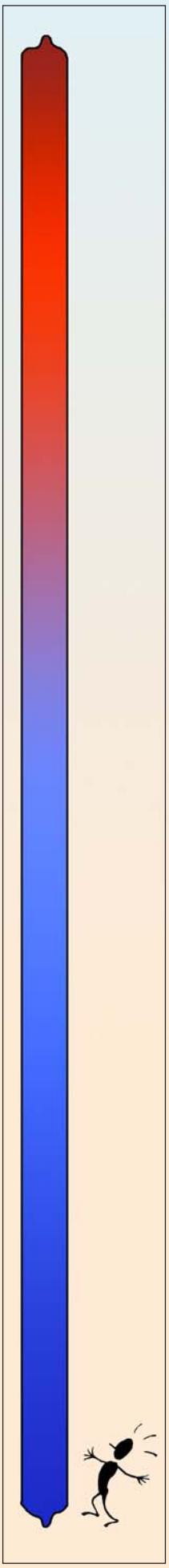
Oberflächennahe Geothermie.

Nur so zur Kontrolle: Wie groß ist der Temperaturunterschied zwischen dem absoluten Nullpunkt und unserer Zimmertemperatur eigentlich?

Luft wird flüssig - 173 °C

„-273,15 °C, tiefer geht's nicht mit den Temperaturen", weiß Jonas aus dem Physikunterricht. "Dann steckt keine Energie mehr drin. Das ist der absolute Nullpunkt"

"Bis 12 °C steckt von hier unten aus gesehen aber schon eine Menge Energie drin, die man da nutzen kann", überlegt Marcel.



absoluter Nullpunkt - 273,15 °C

Oberflächennahe Geothermie

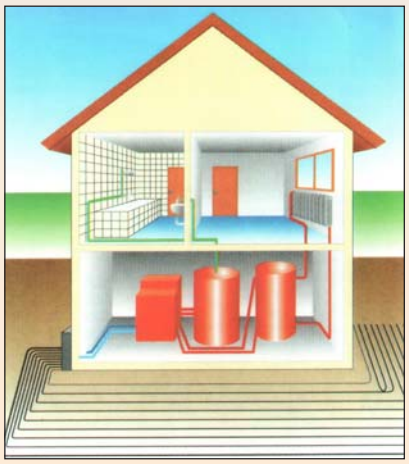
Was ist denn nahe an der Oberfläche? Darüber kann man verschiedener Meinung sein. Für Menschen, die sich mit der Erdwärme befassen, liegt diese Grenze bei 400 Meter.

"Die Erdwärmebohrung bei Theresias Nachbarn hat aber nicht mal Hundert Meter", wundert sich Marcel immer noch, obwohl er in der Zwischenzeit ja einiges dazu gelernt hat. "Mehr als 12 °C kriegt der also nicht raus. Schon verrückt, dass er trotzdem im Winter nicht friert."

Nun kommen endlich die Materialien ins Spiel, die der Nachbar ihnen vor seiner Abreise gegeben hat. Die drei merken schnell: "Die Luise und der Bernd haben sich aber gründlich informiert", wie Theresia feststellt.

Bei Sortieren der Unterlagen kommt dann heraus, dass drei Möglichkeiten, die Erdwärme für das Einfamilienhaus zu nutzen, geprüft wurden.

Der Erdwärmekollektor



Erdwärmekollektoren sind Kunststoffrohre, die mit Wasser und einem Frostschutzmittel gefüllt sind. Sie werden flach im Boden verlegt, normalerweise in einer Tiefe von 80 - 160 cm, tief genug, damit der Frost im Winter die Rohre nicht erreicht. Das Wasser bringt die Energie aus dem Boden zum Haus, an eine Wärmepumpe. Diese erhöht die Temperatur aus dem Boden soweit, dass sie ausreicht, das Haus zu beheizen und wenn man möchte, auch das Duschwasser aufzuwärmen.

Da die Wärme aus dem Boden entnommen wird, kann das Erdreich um die Rohre und damit das Wasser in den Rohren am Ende des Winters schon mal bis auf 0 °C abkühlen.

Damit das System richtig funktioniert braucht man:

- eine genügend große, zusammenhängende Fläche (bei Neubauten etwa anderthalb bis zweimal soviel Fläche im Garten zum Verlegen wie man im Haus beheizen muss),
- einen Boden, der Feuchtigkeit aufnehmen und halten kann.

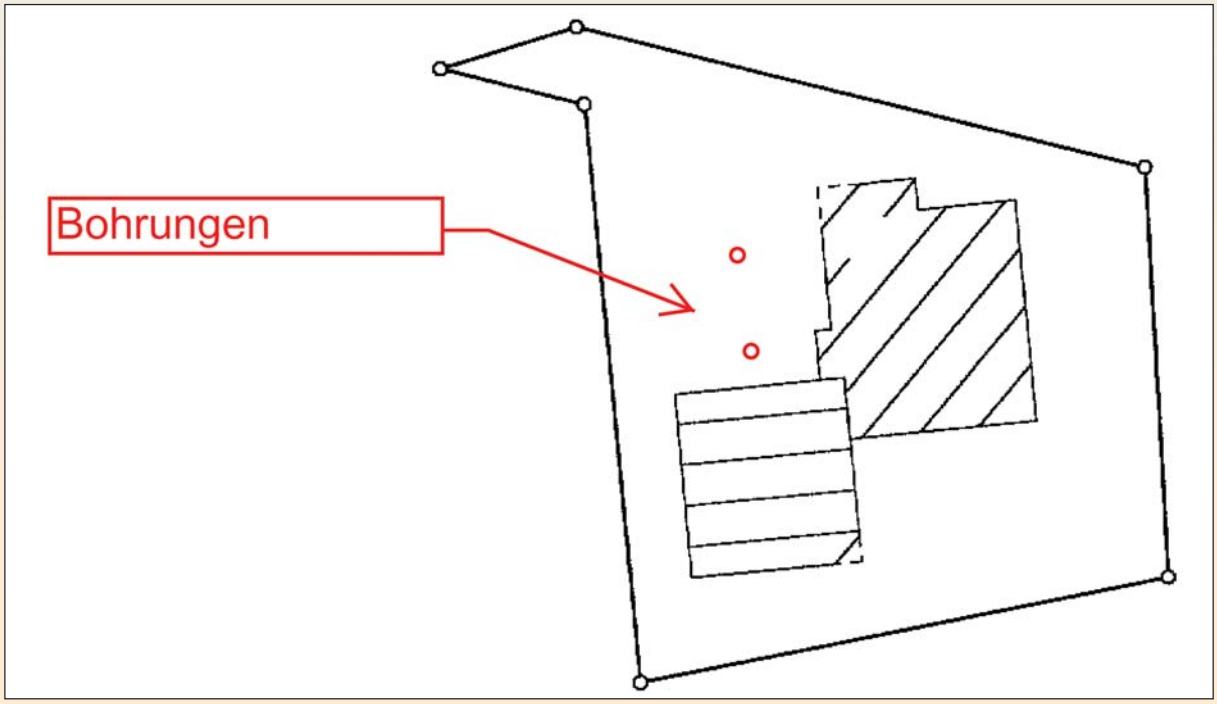
Vorteil: Man braucht nicht zu bohren, spart also Geld und kann selbst mithelfen.

Nachteil: Häufig ist das Grundstück gar nicht groß genug, um die Rohre zu verlegen. Mit Bäumen und Büschen bepflanzen, sollte man dann den Teil des Gartens auch nicht.

Wie viel m² hat das Haus, in dem du wohnst? Wäre auf dem Grundstück genug Platz, um einen Kollektor zu verlegen? Bitte hier eintragen (auch wenn es sich um ein Mehrfamilienhaus handelt):

Fläche die beheizt wird:	**_____ m²**
Fläche die man für den Kollektor braucht:	**_____ m²**

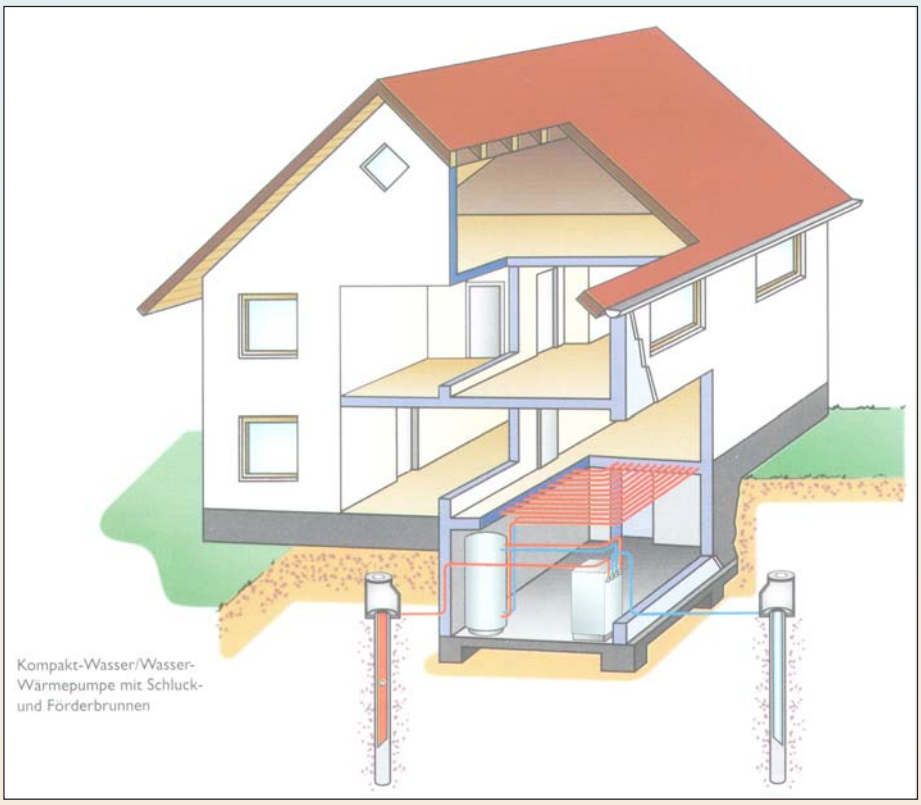
Hier seht ihr einen Plan des Grundstücks vom Nachbarn, so wie ihn Theresia gezeichnet hat.



Grundstücksfläche: ca 680 m²
Im Haus zu beheizende Fläche: 200 m²

Hätte der Nachbar einen Erdwärmekollektor für sein Haus verlegen können?

Die Grundwasserwärmepumpe



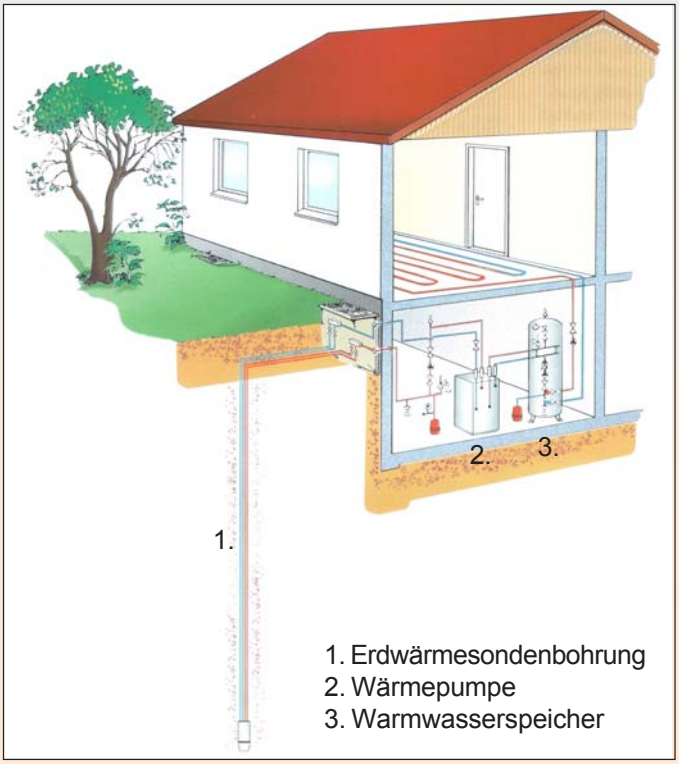
Wenn Du noch nicht weißt, wie es bei dir zu Hause mit dem Grundwasser aussieht, versuch es einmal herauszufinden. Nachfragen kann man z.B. bei der Wasserbehörde der Stadt- oder Gemeindeverwaltung.

Auch im Grundwasser nahe der Oberfläche steckt Energie. Um an sie heranzukommen, bohrt man einen Förderbrunnen, holt das begehrte Nass nach oben, entnimmt Wärme, und bringt das Wasser über eine zweite Bohrung, den Schluckbrunnen wieder in den Boden zurück. Das weitere Aufwärmen übernimmt wieder die Wärmepumpe. Das war dann schon (fast) alles. Einen kleinen Haken hat die Angelegenheit aber dennoch: Mit dem Wasser kommen normalerweise Bestandteile nach oben, die z.B. nach und nach den Schluckbrunnen verstopfen können. Durch eine Filteranlage kann man das verhindern. Diese sind allerdings teuer. Für ein Einfamilienhaus würde sich daher die Anschaffung einer solchen Anlage nicht rechnen, für größere Gebäude schon.

Die Erdwärmesonde

Bei Erdwärmesonden handelt es sich um Bohrungen, in die Kunststoffrohre eingebaut werden. In die Rohre wird Wasser mit einem Frostschutzmittel gefüllt. Bei uns kommen normalerweise immer zwei Rohre in eine Bohrung. Es wird unten umgelenkt und guckt dann oben wieder raus.

Wenn die Arbeiter damit fertig sind: In wie viel Rohrlöcher guckt man dann von oben?



Bohrarbeiten

Erdwärmesondenrohre werden von der Fabrik auf Trommeln geliefert, an der Baustelle abgerollt und in die Bohrung eingeführt.

Die drei haben sich beim Nachbarn umgesehen. Wobei es, was die Erdwärmeanlage selbst anging, eigentlich nichts zu sehen gab.

Bei Theresias Nachbarn ist das Loch 110 m tief. "Nach einem Tag war alles gelaufen", hat er gesagt.

In die Zwischenräume im Bohrloch wird ein Spezialzement gefüllt. Damit ist das gesamte System stabil. Das war's dann auch schon. Das Wasser in den Rohren nimmt die Wärme aus dem Boden auf und befördert sie zur Wärmepumpe. Damit immer genügend Wärme zur Heizung des Hauses zur Verfügung steht, muss man tief genug bohren oder eventuell auch mehrere Bohrungen erstellen. Wie viel Wärme man aus dem Boden entnehmen kann, hängt von seiner Zusammensetzung und von den Bodenschichten ab. Für ein Einfamilienhaus benötigt man normalerweise Bohrungen zwischen 80 – 150 m. Von der Bohrung ist hinterher nichts mehr zu sehen.

Wenn man viele Erdwärmesonden bohrt, kann man auch große Gebäude oder ganze Siedlungen mit Erdwärme beheizen.

Bürogebäude Aachen

Bundesamt für Naturschutz in Bonn

Hotel in Todtmoos im Schwarzwald

Für jede Bohrung braucht man eine Genehmigung. Die erhält man bei der Stadtverwaltung oder dem Landkreis. In einem Gebiet, in dem Trinkwasser entnommen wird, erhält man normalerweise keine Genehmigung.

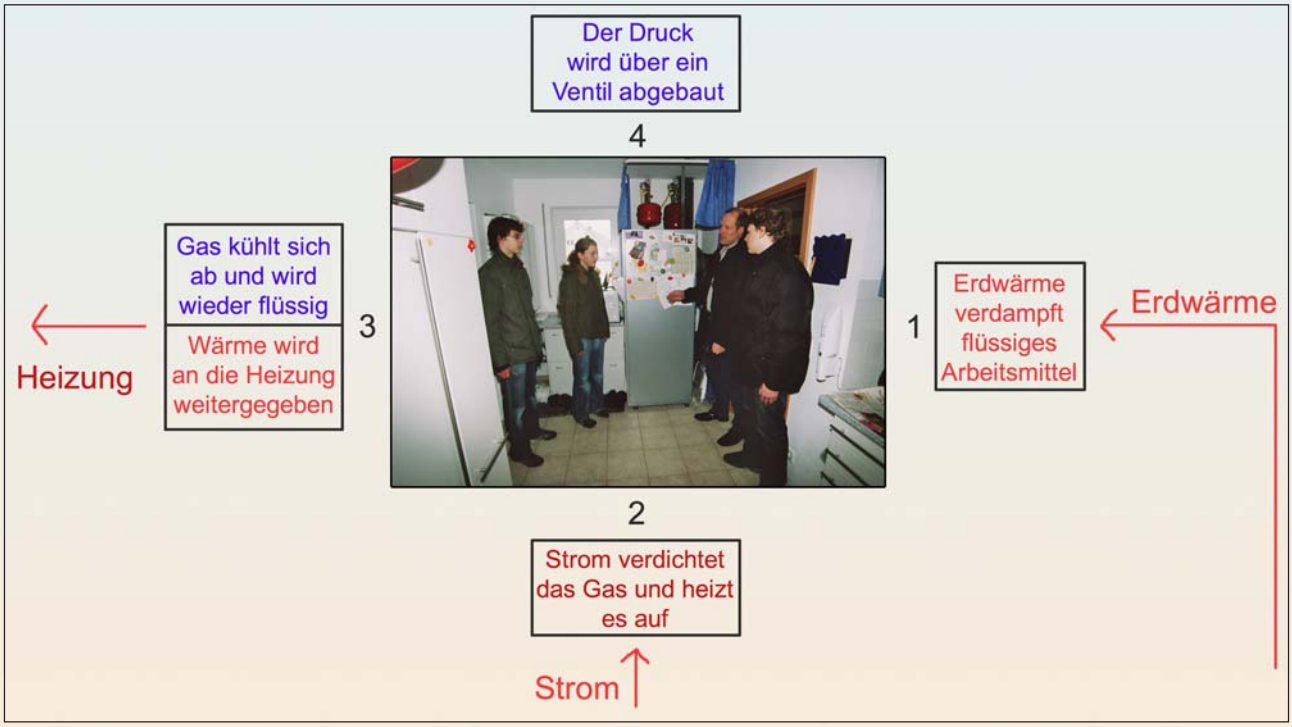
Hier seht ihr, wer alles beteiligt ist, damit aus einer Idee eine funktionierende Erdwärmequelle für die Heizung wird.

Der Energiepfahl

Manche Häuser stehen auf Stelzen, ohne dass man es sieht. Wenn der Baugrund für das Haus das Gebäude alleine nicht trägt, stellt man es im Boden auf Betonpfähle. Manche Gebäude haben auch einen tiefen Keller oder mehrere Stockwerke sind unter der Erde verborgen. Man kann die Erdwärmerohre in praktisch alle unterirdischen Betonteile einbauen, die man sowieso in den Boden einbringen muss. Ob man sie die Rohre nun in einer Bohrung mit Spezialzement verpackt oder gleich in den Beton verlegt, ist fast egal. Die Bohrungen aber kann man sich in diesem Fall sparen. In vielen Fällen ist das besonders günstig.

Die Wärmepumpe

Jetzt war so oft von der Wärmepumpe die Rede, jetzt sollten wir sie auch endlich einmal vorstellen. Ihre Aufgabe ist es, die aus dem Boden gewonnene Energie auf eine Temperatur anzuheben, die das Haus und das Duschwasser angenehm warm macht.



Um zu verstehen, wie sie funktioniert, unternehmen wir einen kleinen Abstecher zur Fahrradpumpe. Wenn man einen Reifen aufpumpt, wird es um die Öffnung herum, an der die Luft herauskommt, warm. Das glaubt wer nicht? Da hat wohl wer lange keinen Platten mehr gehabt, was?

Einfach mal ausprobieren: Daumen auf die Öffnung und pumpen.

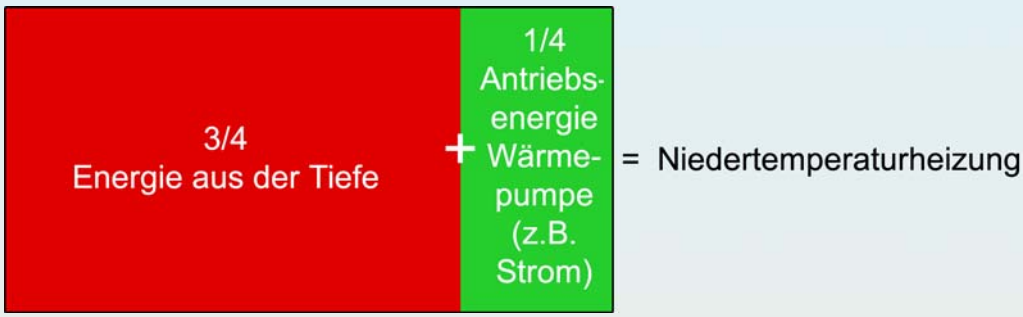
Was ist passiert? Die Bewegungsenergie des Arms presst die Luft zusammen. Sie wird verdichtet. Ein Teil der Energie entweicht mit der Luft durch die Öffnung in den Reifen. Ein anderer Teil wird in Wärme umgewandelt. Mit Druck kann man also Wärme erzeugen. Nichts anderes macht die Wärmepumpe auch. Dabei wird der Druck allerdings nicht mit der Arm- und Handbewegung aufgebaut, sondern z.B. mit elektrischem Strom.

In der Wärmepumpe gibt es eine Flüssigkeit, die bereits bei sehr niedrigen Temperaturen verdampft, also zu einem Gas wird. Schon Temperaturen unter 0 °C reichen dafür aus.

Das Gas wird durch einen elektrisch angetriebenen Kompressor verdichtet: Dadurch erhöht sich der Druck und die Temperatur steigt.

Nun nimmt ein Wärmetauscher die Wärme auf und gibt sie an die Heizung weiter. Das Gas kühlt ab und wird wieder flüssig. Auch der Druck, den wir erzeugt haben, muss wieder abgebaut werden. Dafür gibt es ein spezielles Ventil, das Expansionsventil.

Mit drei Viertel der Energie aus der Erde und einem Viertel aus dem Strom heizen wir das ganze Haus.



„Nun sind wir fast durch", seufzt Jonas

Im Übrigen hatte der Nachbar auch nach einer Wärmepumpe gesucht, die nicht mit Strom angetrieben wird, aber nichts gefunden, was er für sein Einfamilienhaus zu einem bezahlbaren Preis hätte kaufen können. Wärmepumpen, die mit Gas betrieben werden, gibt es nur für größere Gebäude.

Damit man für den Antrieb nicht zuviel Strom verbraucht, heizt man das Heizungswasser nur bis auf etwa 45 °C auf. In den Heizkörpern einer mit Öl oder Gas betriebenen Heizung dagegen bringt man es schnell auf 55 – 65°C. Weil man hier niedrigere Temperaturen hat, braucht man größere Heizungsflächen, z. B. eine Fußbodenheizung.

"Das ist ja schon kein Referat mehr, das ist ja beinahe ein Buch geworden", stöhnt Marcel.

Fußbodenheizung srohre

In Gebäuden, die bereits stehen und in die man nachträglich keine Fußbodenheizung einbauen kann oder möchte, kann man z.B. auch Niedertemperaturheizkörper einsetzen. Sie sind sehr flach und haben eine große Oberfläche.

"Einen Moment, nicht so hastig die Herren", mahnt Theresia. "Euch ist doch nicht zu heiß? Kleine Abkühlung gefällig?"

Heißer Sommer – Kühle Erde

Wenn es im Sommer immer heißer wird, laufen die Klimaanlagen auf Hochtouren. Sie sind teure Stromfresser. Dabei kann man seinen kühlen Kopf auch (fast) komplett ohne den Anschluss an die Steckdose bekommen. Sind 7 oder 12 °C kühl genug? Die Temperaturen haben wir im Boden. Die holen wir uns raus, z. B. über die Erdwärmesonde und verteilen sie im Gebäude. Umgekehrt wird die Wärme aus dem Haus in den Untergrund transportiert. Für all das haben wir schon Leitungen und Anschlüsse verlegt, nur um die Wärmepumpe machen wir einen Umweg. Was das Kühlen angeht, hat die Wärmepumpe Pause.

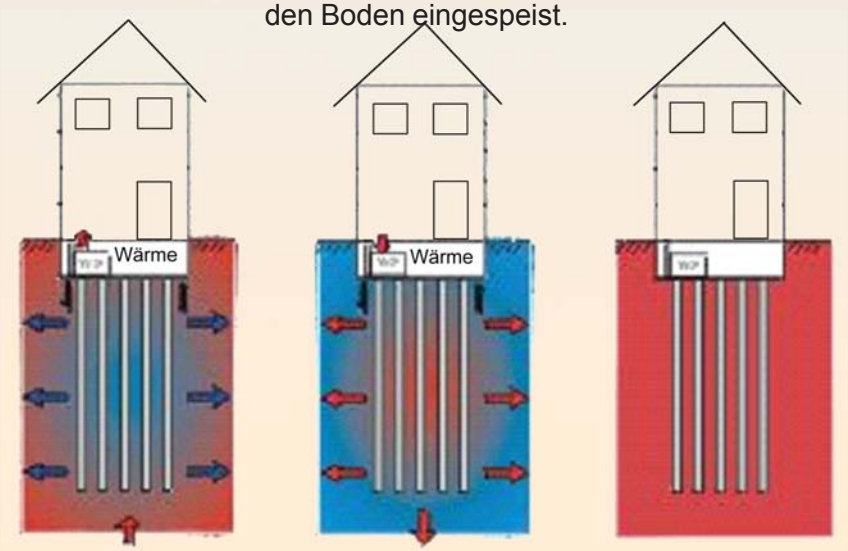
Ein kleiner Effekt am Rande: Wenn im Untergrund kein Grundwasser fließen sollte, wärmt sich im Laufe des Sommers auch das Erdreich um die Erdwärmesonde nach und nach auf. Im Winter ist es um das Bohrloch herum also wärmer. Die so “gerettete” Sonnenenergie kann man dann gemeinsam mit der Erdwärme zum Heizen nutzen, wenn man sie tatsächlich braucht.

So funktioniert die „Klimaanlage“ im Untergrund

Winter: Im Winter wird die Wärme aus dem Boden zum Heizen benutzt. Der Untergrund wird kühler.

Sommer: Die Kühle aus dem Boden kühlt auch das Haus. Die Wärme aus dem Haus wird in den Boden eingespeist.

Herbst: Der Untergrund ist wieder aufgewärmt. Der Winter kann kommen.



Es wird mehr Wärme entnommen, als der Untergrund liefert.

Erdwärme und Sonnenwärme heizen den Boden nach & nach wieder auf..

Hier wird z.B. mit Erdwärme gekühlt:

Bürogebäude in Ettlingen

Bundesamt für Naturschutz

... Und noch viel mehr:

Wenn auf den Bahnsteig von Barbis, einem Stadtteil von Bad Lauterberg die Sonne scheint, leitet man die Wärme über Bohrungen in den Boden. Das Gestein speichert sie und für den Winter steht genügend Energie zur Verfügung, dass sich im Fall des Falles kein Glatteis bilden kann oder der Bahnsteig schneefrei bleibt.

"Bahnsteigheizung?", staunt Marcel, "Das ist ja fast wie Fußbodenheizung für draußen."

Wenn man kein Thermalwasser unter sich hat, bohrt man ein Loch bis auf mehrere Kilometer Tiefe, baut eine lange Erdwärmesonde ein und kann damit z. B. ein Freizeitbad beheizen

"Das ist noch längst nicht alles" weiß Jonas.

Überall auf der Welt werden Gewächshäuser mit Erdwärme beheizt

Man trocknet Holz oder Tomaten, züchtet Fisch oder Shrimps, heizt Spargelbeete in Griechenland oder U-Bahnstationen in Wien

oder man nutzt es einfach als Badewanne

"Da geht bestimmt noch mehr," meint Theresia und:

"Alles nur eine Frage von Köpfchen - Mal gucken, was die Zukunft noch so alles bringt."

Letzte Frage:

Was passiert eigentlich, wenn wir unsere Energie aus der Tiefe nutzen?

Machen wir die Erde nicht auf Dauer kalt?

Bei der Sonne ist das klar: Ihre Energie steckt in den Strahlen, die uns über den Weltraum erreichen. Jonas Onkel hat auf dem Dach seines Hauses einen Sonnenkollektor. Mit dem macht ihm die Sonne das Duschwasser warm. Dadurch wird die Sonne aber nicht kälter, und ums Haus sinken deswegen auch nicht die Temperaturen. Jonas Onkel nimmt ja nur die sowieso vorhandene, auf die Erdoberfläche auftreffende Sonnenenergie für einen ganz bestimmten Zweck. Das macht jede Pflanze z. B. genauso. Selbst wenn die Menschen auf allen Häusern auf der Welt Solarkollektoren hätten, würde das die Sonne nicht kümmern. Der ist es nämlich total egal, ob sie die Dachpfannen aufheizt oder den Kollektor. Und mehr oder weniger Energie schickt sie uns deswegen auch nicht.

Mit der Wärme aus dem Innern der Erde ist das so ähnlich. Wenn sie nach oben strömt, heizt sie das Gestein auf; so heftig, dass in großer Tiefe selbst der harte Fels schmilzt. Theresias Nachbar hat eine Bohrung, die ist rund 100 m tief. Mit der holt er Wärme aus der Erde. Wie er das genau macht, wollen wir uns noch ansehen. Weil er im Winter viel Wärme braucht, wird der Boden um die Bohrung herum nach und nach immer kühler. Im Sommer braucht er fast gar nichts. Weil es aber im Winter um die Bohrung herum kälter geworden ist, fließt jetzt die Wärme, die von unten kommt, erst einmal dort hin und nicht gleich an die Oberfläche. Dadurch wärmt sich der Boden wieder auf. Und im nächsten Winter hat der Nachbar wieder genug Energie für die Heizung. Sagt er. Kalt geworden sei ihm bisher jedenfalls noch nicht.

Einige wichtige Stichwörter

Aquifer: Ein Aquifer ist eine Wasser führende Schicht im Untergrund

Dublette: Eine geothermische Dublette ist ein System aus zwei Bohrungen. Aus der Förderbohrung wird heißes Wasser an die Oberfläche geholt und ausgekühlt, in der Verpressbohrung (auch Injektionsbohrung genannt) wird es wieder in den Untergrund zurückgeschickt.

Erdwärmekollektor: Der Erdwärmekollektor ist eine Möglichkeit, die Wärmeenergie aus dem oberflächennahen Untergrund zu nutzen. Mehr dazu auf S. 38

Erdwärmesonde: Die Erdwärmesonde ist eine Möglichkeit, die Wärmeenergie aus dem oberflächennahen Untergrund zu nutzen. Mehr dazu auf S. 38

Frac: Bei einem Frac werden die Risse und Klüfte im Gestein mit Wasserdruck aufgeweitet. Er wird z. B. bei einer Hot-Dry-Rock-Anlage dafür eingesetzt, im Untergrund Fließwege für Wasser zu schaffen. Mehr dazu findet sich auf S. 26.

Grundwasserwärmepumpe: Die Grundwasserwärmepumpe ist eine Möglichkeit, die Wärmeenergie aus dem oberflächennahen Untergrund zu nutzen. Mehr dazu auf S. 38

HDR: ist die Abkürzung von -> Hot-Dry-Rock

Heizkraftwerk: Ein Heizkraftwerk liefert Strom und Wärme

Heizwerk: Ein Heizwerk liefert Wärme

Hydrothermale Geothermie: Wenn man warmes oder heißes Wasser (Thermalwasser), dass sich im Untergrund befindet, nutzt um Fernwärmenetze zu beheizen oder Strom zu liefern, spricht man von hydrothermaler Geothermie.

Hot-Dry-Rock-Verfahren: nennt man eine der Möglichkeiten, die Wärme aus tiefen, heißen Gesteinen auch dort zu nutzen, wo kein oder nur wenig Wasser im Untergrund vorhanden ist. Mehr dazu findet sich auf S. 26.

Kalina-Turbine: Eine Kalina-Turbine ist eine sogenannte Niedertemperaturturbine. Sie ist in der Lage, bereits bei relativ niedrigen Temperaturen ab ca. 100 °C Strom zu liefern. Übliche Dampfturbinen benötigen Dampftemperaturen von mehr als 175 °C. Wasser verdampft bei 100 °C. In einer Kalina-Turbine befindet sich Wasser und Ammoniak. Ammoniak ist ein Stoff, der bereits bei 30 °C verdampft.

Kraftwerk: Ein Kraftwerk liefert Strom

Kraft-Wärme-Kopplung: geschieht in einem Heizkraftwerk. Die Energiequelle, z. B. Öl. Gas, Biomasse oder Geothermie wird nicht nur dafür eingesetzt, Strom zu liefern. Auch die Wärme wird genutzt.

KWK: ist die Abkürzung für -> Kraft-Wärme-Kopplung

Oberflächennahe Geothermie: Die geothermischen Anlagen, die Ihre Wärmenergie aus einer Tiefe bis zu 400 Meter beziehen, gehören zur Oberflächennahen Geothermie

ORC-Turbine: Eine ORC-Turbine ist eine sogenannte Niedertemperaturturbine. Sie ist in der Lage, bereits bei relativ niedrigen Temperaturen ab ca. 100 °C Strom zu liefern. Übliche Dampfturbinen benötigen Dampftemperaturen von mehr als 175 °C. Wasser verdampft bei 100 °C. In einer ORC-Turbine befindet sich eine Flüssigkeit, die bereits bei 30 °C verdampft.

Organic-Rankine-Cycle-Turbine: s. ORC-Turbine

Tiefe Geothermie: Alle geothermischen Anlagen, deren Bohrungen tiefer als 400 Meter reichen werden zur Tiefen Geothermie gerechnet

Inhaltsverzeichnis

Keine leichte Aufgabe 5
Geothermie? Was ist denn das? Unser heißer Planet 6
Wie ist die Wärmeenergie eigentlich in die Erde hineingekommen? 10
Geothermie ist eine erneuerbare Energie 11
Was fangen wir jetzt damit an? 12
An, unter und in der Nähe von Vulkanen 12
Leseecke Island 15
Könnte man geothermische Kraftwerke auch in Gegenden bauen, in denen es keine Vulkane gibt? 17
„Es gibt weitere Kraftwerke“ 20
Unterhaching 22
Landau in der Pfalz 24
Soultz-sous-Forêts 25
Potsdam 28
Wir heizen unsere Stadt 29
Wärmetauscher 33
Neubrandenburg: Auf die intelligente Tour 34
Simbach und Braunau: Heißer Grenzverkehr 35
Von Riehen nach Lörrach 36
Erdwärme gibt es überall 37
Oberflächennahe Geothermie 38
Der Erdwärmekollektor 38
Die Grundwasserwärmepumpe 40
Die Erdwärmesonde 41
Der Energiepfahl 43
Die Wärmepumpe 44
Heißer Sommer – Kühle Erde 46
… Und noch viel mehr 47
Letzte Frage 48
Einige wichtige Stichwörter 49
Inhaltsverzeichnis 51
Bildnachweis 52

Hinweis für Schulen und Lehrkräfte:
Zur Schülerbroschüre gibt es eine CD mit ergänzenden Materialien. Sie kann von Schulen bzw. Lehrkräften angefordert werden.

Kontakt:
Geothermische Vereinigung - Bundesverband Geothermie e.V.
Gartenstr. 36, 49744 Geeste
Tel.: 05907-545, Fax: 05907-7379
e-mail: info@geothermie.de, Internet: www.geothermie.de

Bildnachweis:

Arcadis Consult GmbH (Seite 47)
Bartl Wärmepumpen (Seite 38)
Behringer, Bernd (Seite 21)
Bestec GmbH (Seite 25, 26, 27)
Bundesamt für Naturschutz (Seite 42, 46)
Bundesanstalt für Geowissneschaften und Rohstoffe (Seite 7)
Bußmann, Werner (Seite 30)
ENEL S.A. (Seite 13)
enercret (Seite 43)
Frey, Martin (Seite 22, 30)
Gemeinde Unteraching (Seite 22)
GeoForschungsZentrum Potsdam (Seite 29)
Geothermie Neubrandenburg GmbH (Seite 31)
geox GmbH (Seite 24)
GTU Geothermie Unterschleißheim AG (Seite 33)
Gursch, Andreas (Seite 47)
http://www.pixelio.de (Seite 12, 16)
http://de.wikipedia.org (Seite 19, 21)
Ing. Buero Mueller Arnsberg (Seite 47)
Joswig, Oliver (Seite 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 28, 30, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 41, 42, 43, 44, 45, 47)
Koch, Marc, Erdwärmekraft GbR (Seite 18)
Kohlsch, Oliver (Seite 42)
Rehau AG (Seite 45)
Stadtwerke München (Seite 30)
Stiebel Eltron GmbH & Co. KG (Seite 40, 41)
systherma Planungsbüro für Erdwärmesysteme GmbH (Seite 42)
Turboden S.A. (Seite 19)
Zeller, Anton (Seite 11)
Zent-Frenger GmbH & Co. KG (seite 46)