



- Das globale Potential
- Die Arten von geothermischer Energie
 - Wärme (kleine und mittlere Tiefen)
 - Elektrizität und Wärme (grosse Tiefen)
- Eigenschaften der Geothermie
- Zusammenfassung

Energiewende in der Schweiz

Liebe Teilnehmerinnen und Teilnehmer, nachdem wir nun verschiedene erneuerbare Energieformen gesehen haben, die vom lokalen Wetter abhängen und daher stochastischen Schwankungen ausgesetzt sind, sehen wir uns in dieser Lektion nun eine erneuerbare Energieform an, die weder an atmosphärischen noch saisonalen Schwankungen leidet und die in rauen Mengen zur Verfügung steht. Es geht, wie Sie sicher schon erraten haben, um die Geothermie. Wir schauen zuerst das globale Potential an, führen dann die verschiedenen Arten der Nutzung der Geothermie und deren Eigenschaften ein.

Notes

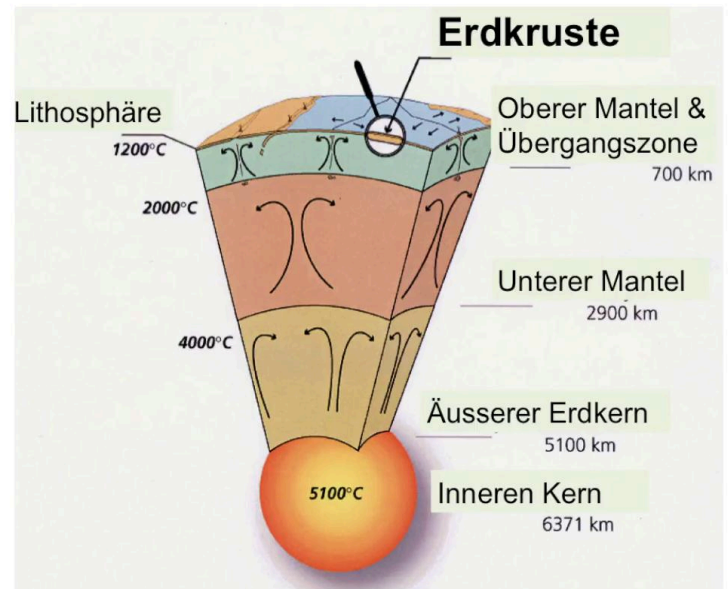
Summary



0m 03s

Der Ursprung der geothermischen Energie

- Die Temperatur von 99% der Erdmasse ist höher als 1'000°C
- Der Hauptanteil (62%) der geothermischen Wärme stammt aus dem Zerfall von radioaktiven Elementen
- Der Rest der Wärme stammt aus der Abkühlung des Mantels und des Kernes



Energiewende in der Schweiz

Auf diesem Schnitt durch die Erde können wir sehen, dass etwa 99 Prozent der Erde eine Temperatur von mehr als 1000 Grad aufweist.

Notes

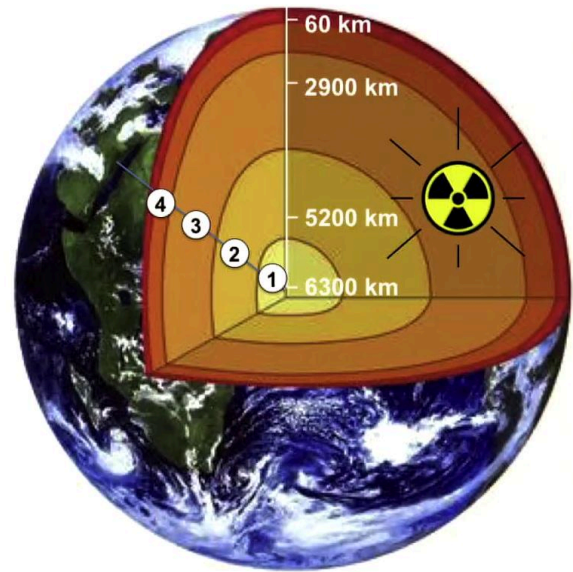
Summary



0m 40s

Der Ursprung der geothermischen Energie

- Die Temperatur von 99% der Erdmasse ist höher als 1'000°C
- Der Hauptanteil (62%) der geothermischen Wärme stammt aus dem Zerfall von radioaktiven Elementen
- Der Rest der Wärme stammt aus der Abkühlung des Mantels und des Kernes



Energiewende in der Schweiz

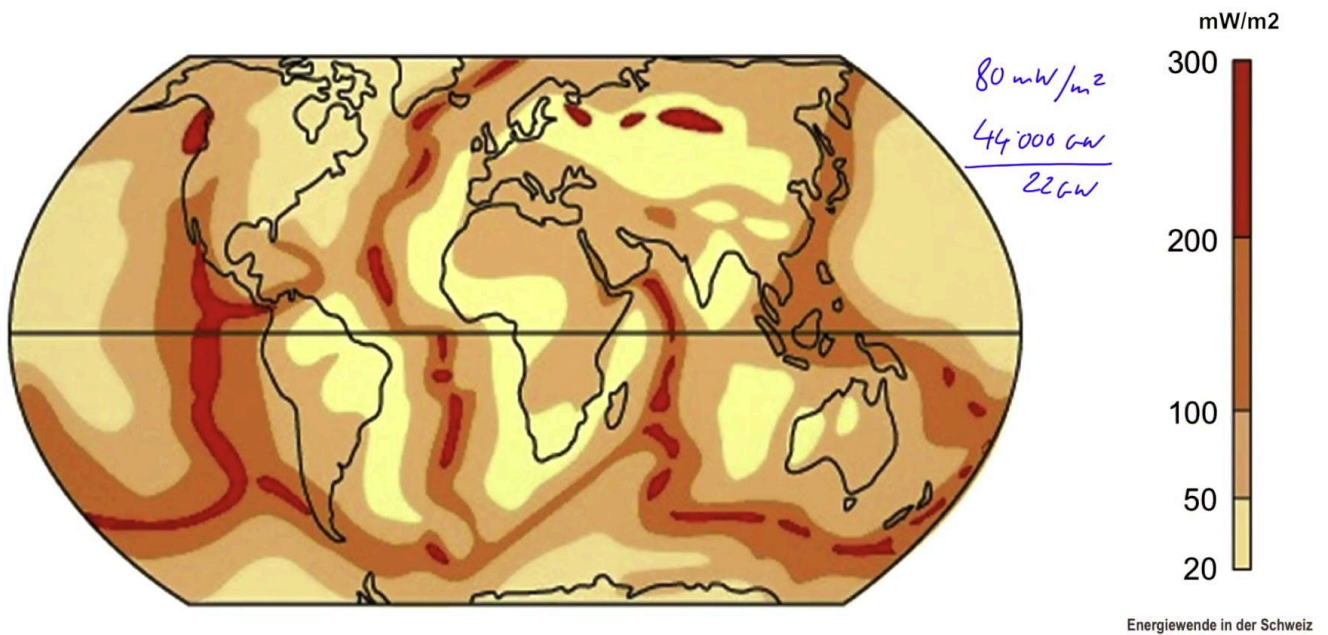
Etwa 60 Prozent von dieser geothermischen Wärme stammen aus dem Zerfall von radioaktiven Elementen. Die restlichen 40 Prozent stammen von der Abkühlung des Erdinneren. Die Erdkruste, in welcher wir diese Wärme nutzen können, ist nur etwa 30 Kilometer dick. Bis heute sind wir etwa bis 5000 Meter in die Tiefe vorgedrungen, was etwa 1 Promille des Erdradius ausmacht.

Notes

Summary



Das weltweite Potential von Geothermie



Der geothermische Wärmefluss auf der Erdoberfläche ist nicht konstant, wie wir es dieser Weltkarte entnehmen können. In den roten Regionen, wo übrigens auch die vulkanischen Aktivitäten am höchsten sind, ist der Wärmefluss am interessantesten. Im Mittel beträgt der geothermische Wärmefluss etwa 80 Milliwatt pro Quadratmeter Erdoberfläche, was einen Gesamtwärmefluss von 44 000 Gigawatt darstellt. In der Schweiz alleine liegt der momentane Leistungsverbrauch im Mittel bei gerade mal 22 Gigawatt. Diese 44 000 Gigawatt sind also eine große Leistung. Trotzdem ist dieser Energiefluss etwa 4000 mal tiefer, als die auf der Erde eintreffende Sonnenleistung.

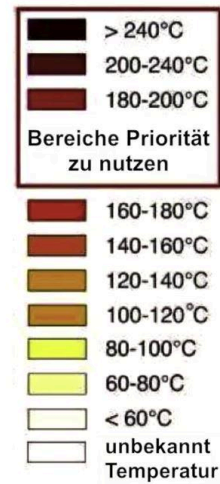
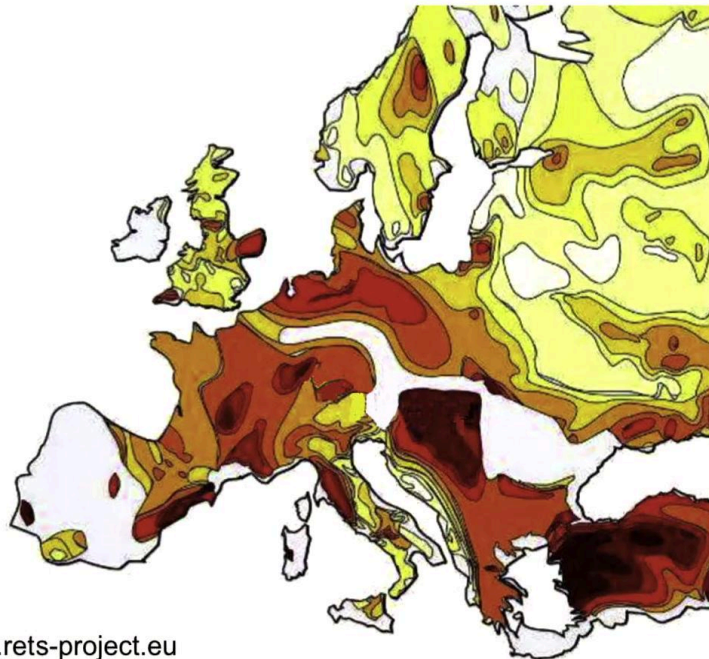
Notes

Summary



1m 18s

Europa: Steintemperaturen in 5'000 m Tiefe



www.rets-project.eu

Energiewende in der Schweiz

Diese Karte Europas, zeigt die Temperatur in 5000 Metern Tiefe. Am wärmsten und daher auch die höchsten Potentiale, liegen in der Türkei, auf dem Balkan, im Elsass, in den Vogesen in Frankreich und an der Costa Brava in Spanien.

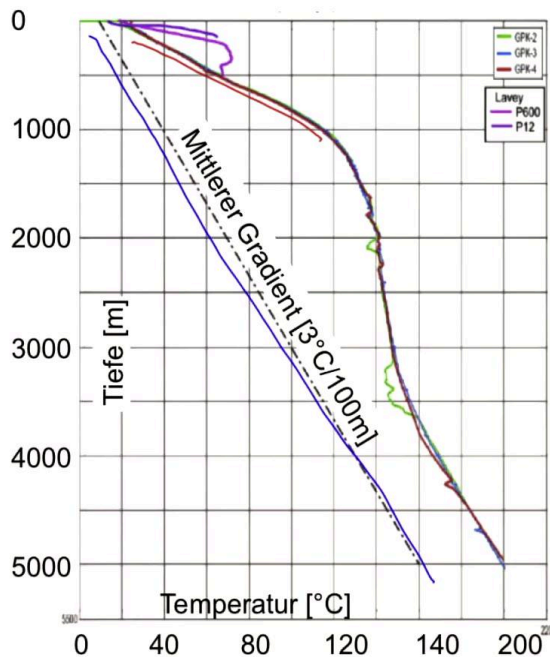
Notes

Summary



2m 14s

Der Zusammenhang zwischen Temperatur und Tiefe



- Die Temperatur nimmt im Mittel um $3^{\circ}\text{C} / 100 \text{ m}$ zu
- In geeigneten Zonen ist diese Differenz ausgeprägter, allerdings oft nicht-linear und daher schwer voraussehbar (z.B. die 3 Bohrlöcher in Soultz und die 2 von Lavey)

Energiewende in der Schweiz

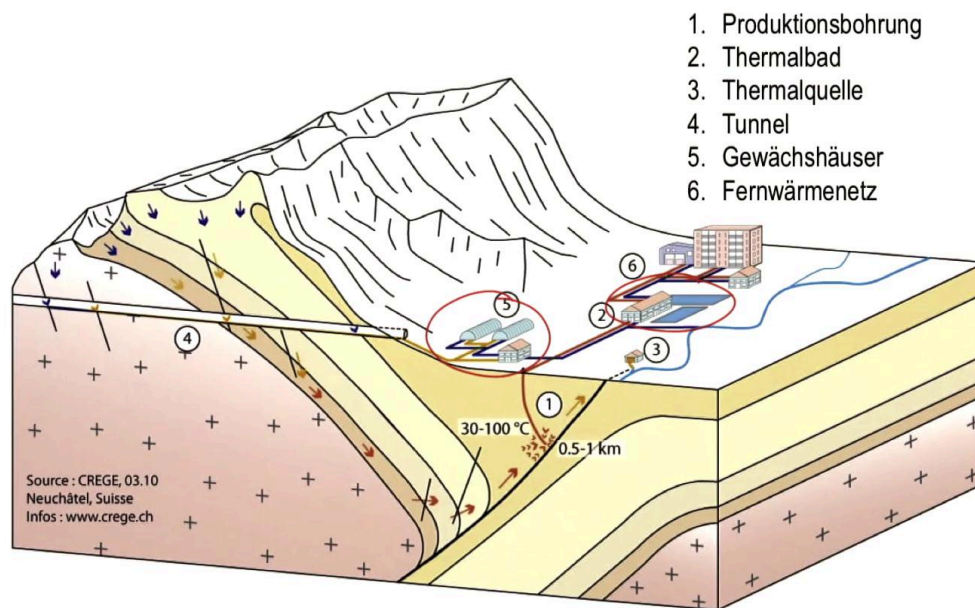
Wie wir vorhin gesehen haben, nimmt die Temperatur von Erdoberfläche zum Erdinneren stark zu. Je tiefer desto besser also. Wie Sie sicher aber auch schon erwarten, auch sehr viel teurer. Die Tiefe, bei welcher wir die geothermische Wärme gewinnen können, ist daher ein sehr wichtiger Aspekt bezüglich, Kosten, Wirkungsgrad und natürlich Rentabilität. Im Schnitt nimmt die Temperatur in der Erdkruste um 3 Grad Celsius pro 100 Meter Tiefe zu. In interessanten Regionen, mit hohem geothermischen Wärmefluss, kann diese Temperaturzunahme auch wesentlich höher ausfallen, wie hier im Beispiel von den Bohrungen in Soultz im Elsass. Oft sind die Temperaturprofile nicht linear und daher auch schwer voraussehbar. Was den Entscheid, ob man bohren will oder nicht und wenn ja wie tief, sehr schwierig macht.

Notes

Summary



Die geothermalen Quellen



Energiewende in der Schweiz

Die Geothermie ist vor allem durch Thermalquellen bekannt. Solche Quellen entstehen durch die Infiltration von Wasser in warmes Gestein. In gewissen Fällen sprudelt dann warmes Wasser direkt aus einer Quelle oder es kann in relativ geringer Tiefe mit Hilfe von Bohrlöchern gewonnen werden. Manchmal kann warmes Wasser auch aus Straßen oder Eisenbahntunneln gewonnen werden. Das warme Wasser kann dann benutzt werden, um Gewächshäuser zu heizen, um Thermalbäder oder Fernwärmenetze zu speisen.

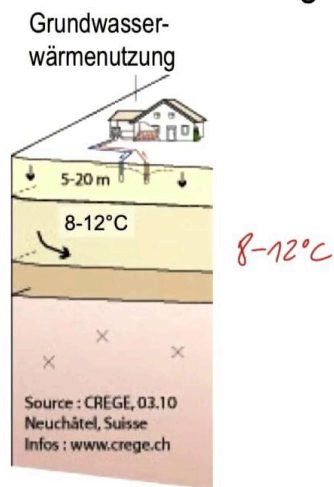
Notes

Summary



3m 31s

- Grundwasserwärmenutzung



Energiewende in der Schweiz

Das Grundwasser wird natürlich ebenfalls durch den geothermischen Wärmefluss erwärmt und zwar auf 8-12 Grad Celsius und kann daher als sehr gute Wärmequelle für Wärmepumpen eingesetzt werden.

Notes

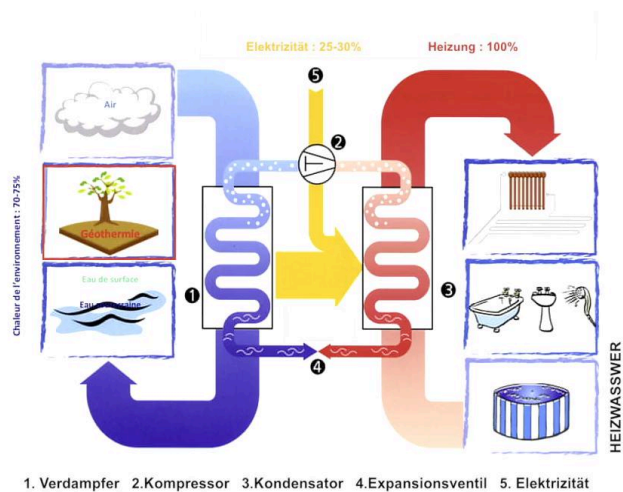
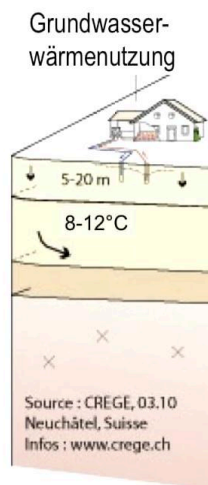
Summary



4m 09s

Niedertemperatur-Geothermiequellen

- Grundwasserwärmenutzung mittels Wärmepumpe



Energiewende in der Schweiz

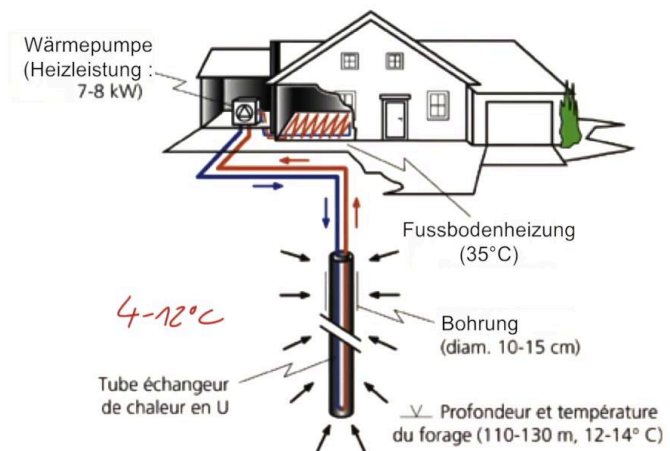
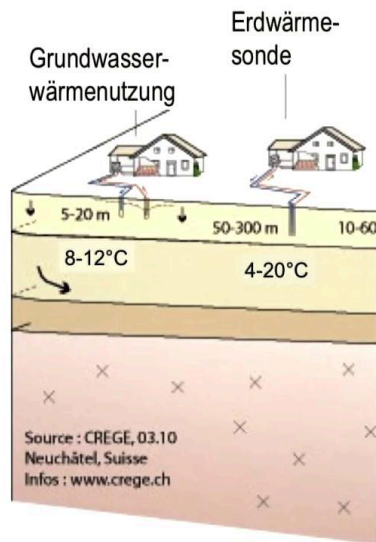
Wärmepumpen erlauben es die Temperatur der gewonnenen Energie zu erhöhen, um sie so für das Heizen nutzen zu können. Eine Wärmepumpe funktioniert wie ein Kühlschrank. Anstatt aber Wärme aus den Esswaren zu entnehmen, wird bei einer Grundwasserwärmepumpe die Wärme aus dem Grundwasser entnommen und bei höherer Temperatur in die zu heizenden Räume abgegeben. Um eine Verschmutzung des Grundwassers zu verhindern, werden solche Wärmepumpen oftmals nicht erlaubt.

Notes

Summary



Niedertemperatur-Geothermiequellen



Energiewende in der Schweiz

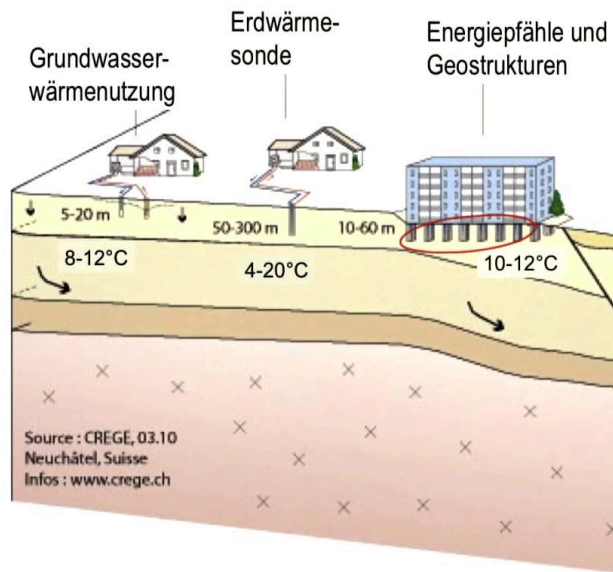
Aus diesem Grund werden sehr oft senkrechte Erdsonden in den Boden verlegt, die einen geschlossenen Kreislauf bilden und die daher, wie ein Wärmetauscher mit dem Erdreich funktionieren. In diesem Fall gibt es keinen direkten Kontakt zwischen dem Erdreich und dem Wasser im Erdsonden-Kreislauf. Je nach Tiefe der Erdsonde, Saison und Region, kann die Temperatur zwischen 4 und 12 Grad Celsius schwanken. Diese Installationen sind sehr ruhig und erreichen mit einer Wärmepumpe sehr hohe COP's, vor allem, wenn die Wärme über eine Fußbodenheizung in die Räume abgegeben wird.

Notes

Summary



Niedertemperatur-Geothermiequellen



Energiewende in der Schweiz

Eine relativ neue Technologie, die bei größeren Gebäuden eingesetzt werden kann, sind sogenannte Energiepfähle. Es handelt sich dabei um große Pfeiler, die in die Erde gerammt werden und die gleichzeitig auch als Fundament für das Gebäude dienen. Die Pfeiler und die darum liegende Erde kann dann je nach Saison als Wärme-oder als Kältespeicher genutzt werden.

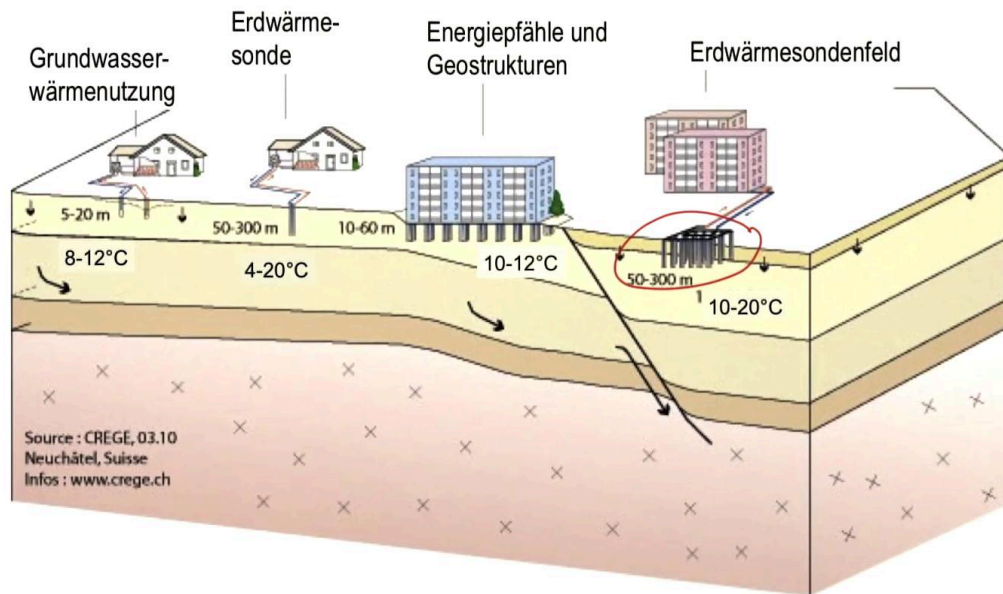
Notes

Summary



5m 44s

Niedertemperatur-Geothermiequellen



Energiewende in der Schweiz

Für ähnliche Gebäude kann man eine Wärmepumpe mit einem saisonalen Speicher verbinden, die aus einem Feld von senkrechten Erdsonden besteht. Das ist die Lösung, die für den neuen Campus der ETH Zürich auf dem Höggerberg eingesetzt wurde.

Notes

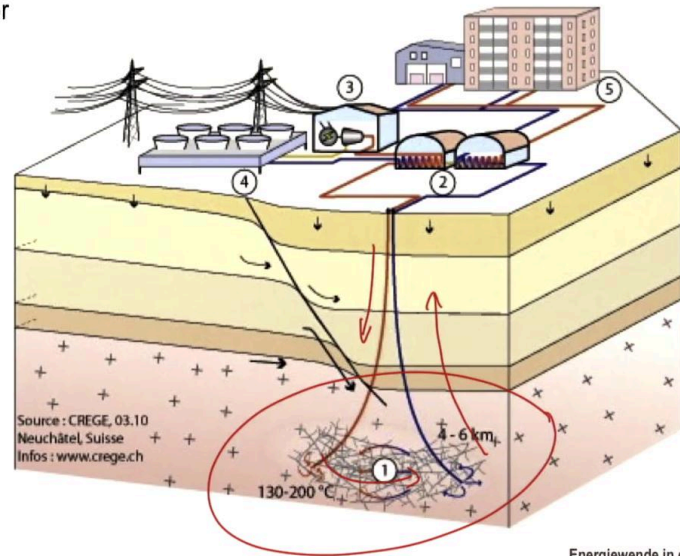
Summary



6m 11s

Stimulierte geothermische Systeme (SGS)

1. Produktions- und Einspritzbohrung
2. Wärmetauscher
3. Thermisches Kraftwerk mit Turbine und Generator
4. Luftgekühlter Kondensator
5. Fernwärmenetz



Eine junge Form von der Nutzung geothermaler Energie besteht darin, sehr tief gelegenes Grundwasser anzuzapfen, was es erlaubt Wasser oder Wasserdampf um die 120 Grad Celsius, an die Oberfläche zu befördern. Mit dieser Energie, bei 120 Grad, kann man bereits ein thermisches Kraftwerk antreiben, um Elektrizität zu generieren. Bei einer solchen Anwendung braucht es zwei Bohrungen. Eine, um das heiße Wasser an die Erdoberfläche zu befördern und eine zweite, um das genutzte, kühlere Wasser wieder in das Grundwasserreservoir zurück zu fördern. Der Kreislauf muss geschlossen werden, da sonst das Wasser im Reservoir ausgehen könnte und die Quelle so nicht nachhaltig betrieben werden würde. Leider ist die Schweiz, für solche Anwendungen, nicht sehr vorteilhaft gelegen. Eine weitere Form der geothermischen Wärme-Extraktion besteht darin, bereits gespaltenes, trockenes und heißes Gestein, in einen riesigen Wärmetauscher zu verwandeln. Das besteht darin, Wasser von der Oberfläche aus in die Tiefe hinunter zu pressen, es durch den steinigen Wärmetauscher in der Tiefe durchzudrücken, so dass es Wärme vom heißen Gestein aufnehmen kann, um es schließlich in einer zweiten Bohrung wieder an die Oberfläche zu befördern.

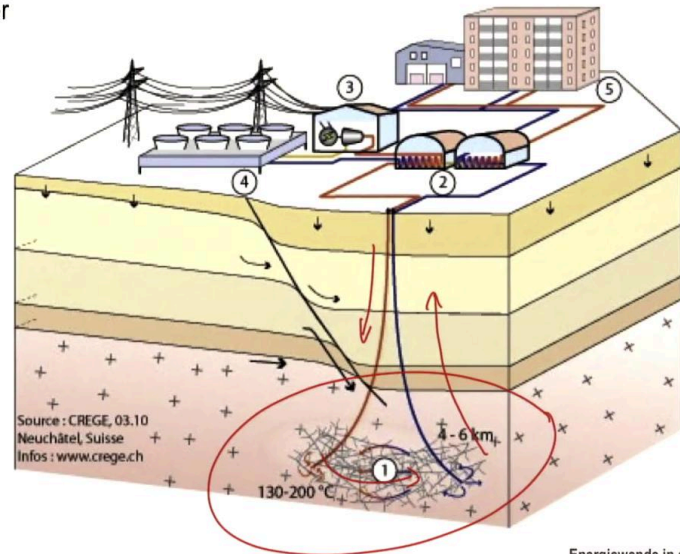
Notes

Summary



Stimulierte geothermische Systeme (SGS)

1. Produktions- und Einspritzbohrung
2. Wärmetauscher
3. Thermisches Kraftwerk mit Turbine und Generator
4. Luftgekühlter Kondensator
5. Fernwärmenetz



Energiewende in der Schweiz

Das Problem besteht darin, dass oftmals zwischen den beiden Bohrungen eine ungenügend große Anzahl Spalten vorhanden sind und das Wasser nur schlecht zirkulieren kann. Das kann aber durch sehr hohe Wasserdrücke behoben werden. Der hohe Druck generiert im Gestein weitere Spalten, so dass das Wasser besser fließen kann. Diese Stimulation der Spalten, tief unter der Erdoberfläche, durch sehr hohe Wasserdrücke, kann leider kleine Erdbeben auslösen. Ein solches Projekt in Basel, Sie erinnern sich sicher daran, musste deswegen gestoppt werden.

Notes

Summary



8m 00s

Geothermisches Kraftwerk in Soultz



• Geothermisches Kraftwerk in Soultz

- 3 Bohrlöcher
- Wassertemperatur bei 200°C in der Tiefe, erreicht aber nur 160° am Kraftwerk
- Wiedereinspreitzung bei 50°C
- 80M€ für eine elektrische Leistung von 1.5 MW (ca. 60'000 CHF / kW)

Energiewende in der Schweiz

Für die Produktion von Elektrizität ist es vorteilhaft, wenn die aus dem geothermischen Wärmefluss gewonnene Energie eine möglichst hohe Temperatur aufweist. Je höher die Temperatur, desto höher wird auch der Wirkungsgrad der Gesamtanlage. Mehr Wirkungsgrad heißt mehr Elektrizitätsproduktion und daher auch eine bessere Rentabilität. Eine solche Anlage liegt bei Soultz im Elsass. Das geothermische Kraftwerk bezieht Wärme bei 200 Grad aus 5000 Metern tiefen Bohrlöchern. Das gewonnene Wasser erreicht die Erdoberfläche mit einer Temperatur von 160 Grad und wird nach Nutzung mit 50 Grad Celsius wieder in den Grund hineingepumpt. Die Kosten dieser Anlage inklusive Bohrungen liegen bei 80 Millionen Euro für eine elektrische Leistung von 1,5 Megawatt. Das sind also 60 000 Franken pro Kilowatt elektrisch.

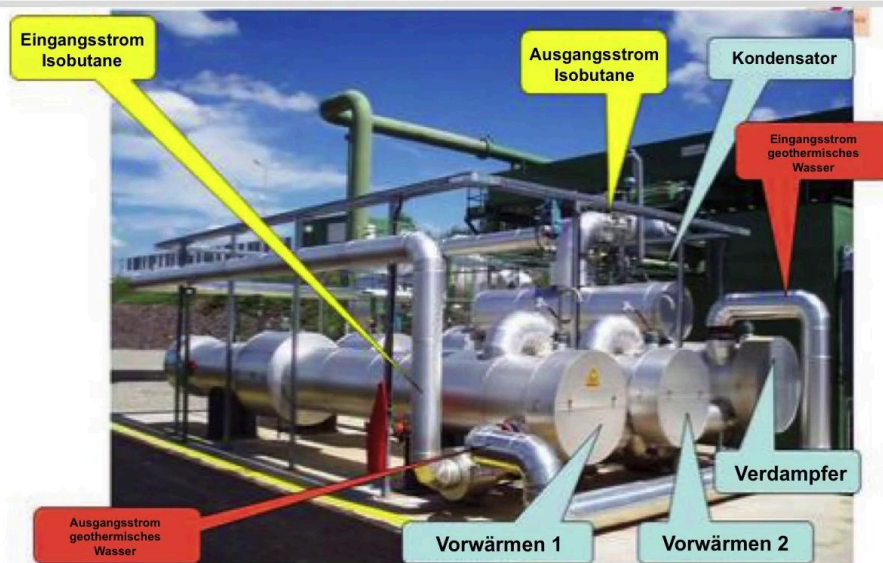
Notes

Summary



8m 38s

Geothermisches Kraftwerk in Soultz



<http://labex-geothermie.unistra.fr/article200.html?lang=fr>

Energiewende in der Schweiz

Dieses Bild hier zeigt die Komponenten des thermischen Kraftwerks in Soultz im Elsass. Das heiße Wasser wird benutzt, um einen thermodynamischen Kreislauf mit Isobutan anzutreiben. Isobutan ist wie Wasser, ein Element das verdampft und in einer Turbine entspannt werden kann. Das aber den vorherrschenden Verdampfungs- und Kondensationstemperaturen dieser Anwendung besser angepasst ist, als Wasser.

Notes

Summary



9m 40s

Geothermie in der Schweiz von heute

Anzahl Einrichtungen

6 tiefe Aquifere

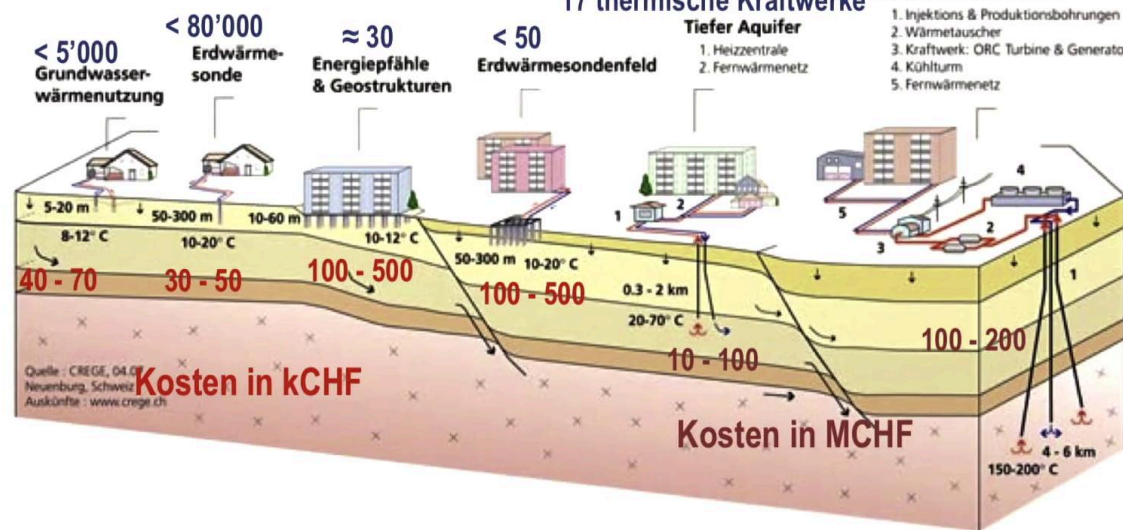
7 Tunnels

17 thermische Kraftwerke

in projektierung

Sehr tiefe Geothermie

1. Injektions & Produktionsbohrungen
2. Wärmetauscher
3. Kraftwerk: ORC Turbine & Generator
4. Kühlturm
5. Fernwärmenetz



Energiewende in der Schweiz

Dieses Bild fasst die verschiedenen technologischen Möglichkeiten und deren Kosten zusammen, um geothermale Energie zu nutzen. Den größten Anteil der Kosten machen jeweils die Bohrungen aus. Eine Nutzung durch Wärmepumpen, wo nur wenig tiefe Bohrungen nötig sind, kosten den Nutzer ein paar zehntausend Franken. Eine Nutzung, bei der auch Elektrizität generiert werden soll, braucht wesentlich tiefere Bohrungen, damit die Temperatur hoch genug ist, um das Kraftwerk überhaupt antreiben zu können. Die Kosten gehen bei solchen Anwendungen in mehrere Hundertmillionen Franken.

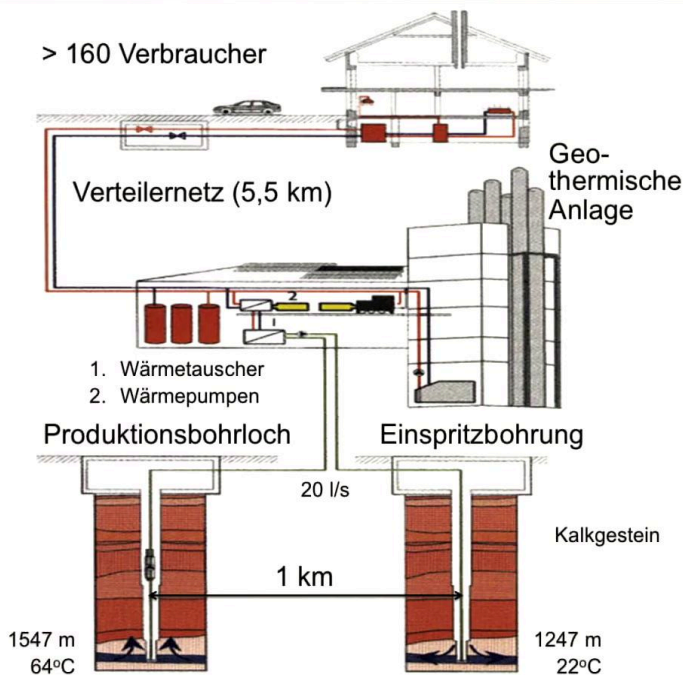
Notes

Summary



10m 05s

Fernwärme in Riehen



- Grösste geothermische Anlage in der Schweiz
- Die Geothermie liefert 50% der verteilten Energie als Wärme (20 GWh)
- Der Rest wird als Elektrizität für Wärmepumpen, als Erdgas für Wärmekraftkoppelungsanlagen und als Erdöl um mit Brennern die Spitzen zu decken

Energiewende in der Schweiz

Die größte Fernwärmanlage in der Schweiz, die über geothermische Wärme gespeisen wird, liegt in Riehen in der Nähe von Basel. Über eine zweite 1 Kilometer entfernte Bohrung wird das benutzte Wasser wieder in das Reservoir gespeisen. Die Geothermie liefert in diesem System etwa 20 Gigawattstunden Wärme pro Jahr, was etwa 50 Prozent der benötigten Energie entspricht. Der Rest wird über die Elektrizität für Wärmepumpen oder über Erdgas und Erdöl, Öl-Blockheizkraftwerke und Brennern geliefert.

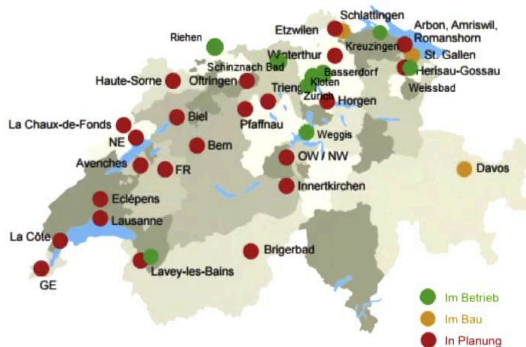
Notes

Summary



Entwicklung der Kosten von Geothermie

In der Schweiz...



(1) Heute gibt es in der Schweiz noch keine Elektrizitätsproduktion durch Geothermie

Die Technologie für die Produktion von Elektrizität aus Geothermiequellen ist in der Schweiz noch unreif. Daher sind die Investitionskosten ungewiss.

Die Kosten heute...

St. Gallen (2)

- Vorgesehene Investitionen : 160 MCHF
 - Bohrungen → 50 MCHF
 - ORC → 25 MCHF
 - FW → 85 MCHF
- Elektrische Leistung: 4.5 MW
- 16'700 CHF/kW_{el} (ohne FW)

Lavey-les-Bains (3)

- Vorgesehene Investitionen : 30 MCHF
- Elektrische Leistung: 0.5 MW
- 60'000 CHF/kW_{el} (mit FW)

Die Kosten morgen...

Investitionskosten(CHF/kW_{el})

	2035	2050
MIN	5'300 (4)	4'500 (2)
MAX	16'700 (2)	10'000 (2)

Quellen: (1) geothermie.ch; (2) Electricité géothermique, AES (2010); (3) Géothermie profonde: La Suisse romande au cœur de la stratégie nationale, sol-E Suisse; (4) Energy Roadmap 2050, European Commission (2011)

Energiewende in der Schweiz

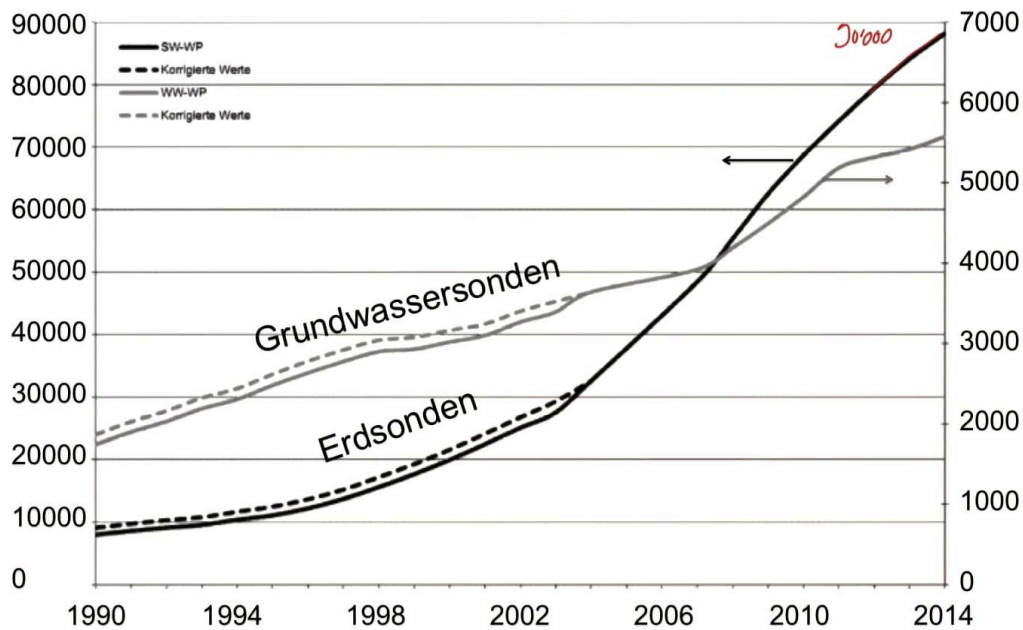
Wie wird denn Geothermie in der Schweiz genutzt? Auf dieser Karte hier links, stellen wir die geothermischen Installationen in der Schweiz dar. Die grünen Punkte zeigen Systeme in Betrieb, die gelben Systeme im Bau und die roten Punkte, System in Planung. Das Investitionsbudget für die Bohrungen von 2015 in St. Gallen betrug 16.700 Franken pro Kilowatt elektrisch. Leider konnte aber der geplante Wasserdurchfluss nicht erreicht werden. Die geplanten Investitionskosten in Lavey-les-Bains im Rhône-Tal fallen mit 60.000 Franken pro Kilowattstunden elektrisch noch deutlich höher aus. Die Höhe dieser Kosten ist bedenklich. Es gilt jedoch zu beachten, dass Geothermie heute noch eine sehr junge Technologie ist. Die spezifischen Investitions-Kosten werden mit zunehmender Erfahrung fallen und sich vermutlich bis 2050, bei zwischen 4500 bis 10 000 Franken pro Kilowatt elektrisch einpendeln.

Notes

Summary



Die Entwicklung der Wärmepumpen in der Schweiz



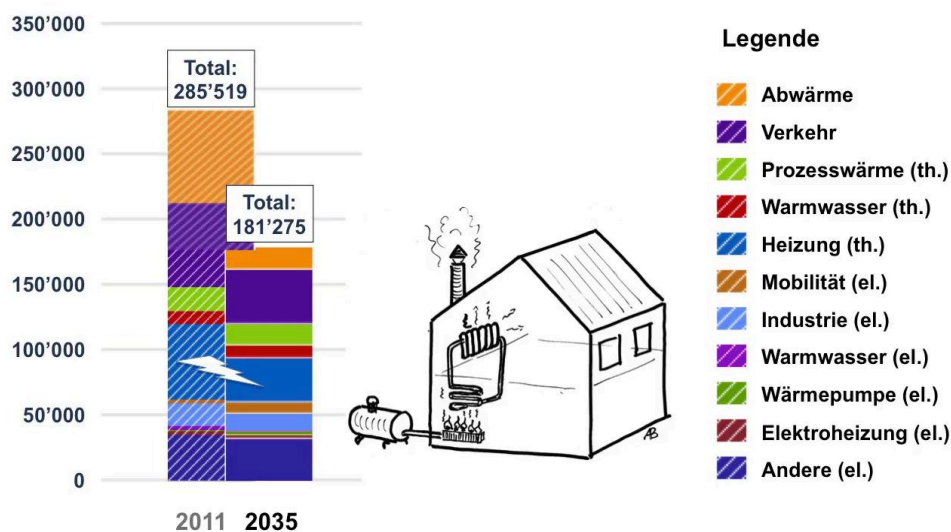
Zeigen wir die Entwicklung der installierten Wärmepumpen in der Schweiz. Heute gibt es etwa 90.000 Wärmepumpen, die über Erdsonden geothermische Wärme nutzen. Das ist eine Zunahme um eine Größenordnung über die letzten zwanzig Jahre.

Notes

Summary



Vergleich vom Endenergieverbrauch 2011 und 2035 [GWh]



Energiewende in der Schweiz

Hier erinnern wir Sie an unseren EnergyScope Rechner, der Ihnen wie in diesem Fall, aufzeigen kann, welche Rolle die Geothermie in den verschiedenen Energie-Szenarien einnehmen kann. In diesem Szenario erlaubt es der Einsatz von Geothermie, in Verbindung mit Wärmepumpen, den Energieverbrauch für das Heizen, um etwa ein Drittel zu reduzieren.

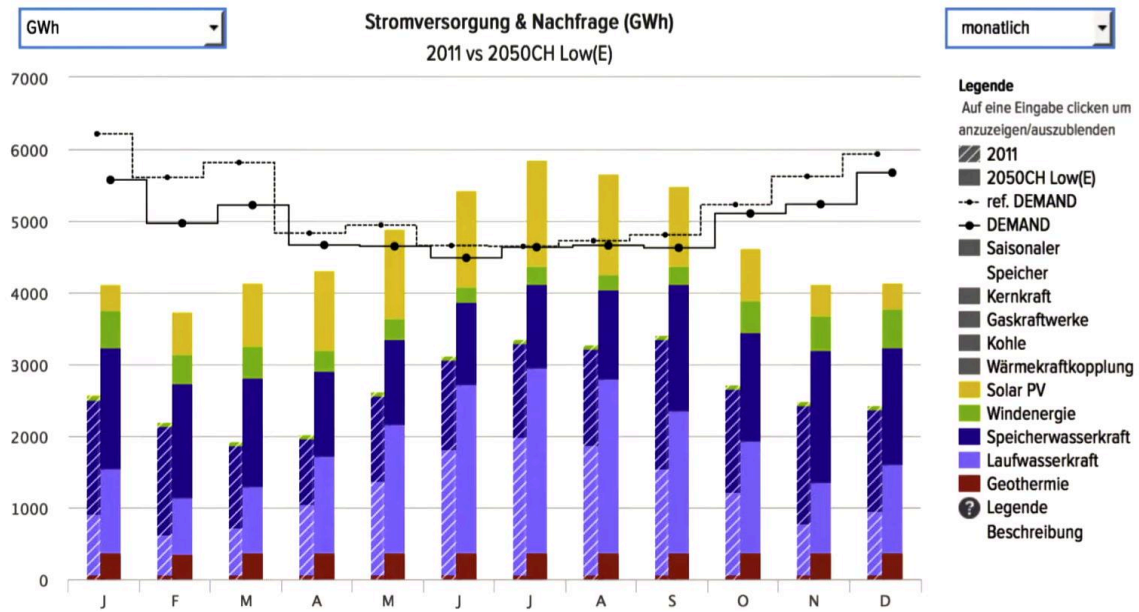
Notes

Summary



12m 45s

Einen Beitrag an die Elektrizitätsversorgung



Energiewende in der Schweiz

Die roten Balken in dieser saisonalen Darstellung des EnergyScope Rechners zeigen auf, wie Geothermie über Kraftwerke zur Elektrizitätsproduktion beiträgt. Interessant ist geothermische Elektrizitäts-Produktion, weil sie unabhängig von Wetter und Saison immer konstant produzieren kann und daher sehr gut vorausschaubar ist. Eine solche konstante Quelle eignet sich bestens, um sogenannte Bandenergie zu liefern. Wie bereits erwähnt, bleibt dieser Weg in der Schweiz noch relativ unsicher.

Notes

Summary





- Wenn nachhaltig genutzt ist die geotherische Energie erneuerbar
- Das grösste Potential von Geothermie in der Schweiz liegt in der Wärme zum direkten Heizen oder als Wärmequelle für Wärmepumpen
- Erdsonden können auch zum Kühlen eingesetzt werden
- Die Zukunft von Elektrizitätsproduktion durch Geothermie ist unsicher
 - Die Investitionskosten pro Leistungseinheit sind sehr hoch und die Aussichten sehr unsicher
 - Die paar wenigen Kraftwerke haben mit beträchtlichen Schwierigkeiten zu kämpfen
- Der grosse Vorteil von Geothermie ist die saisonale Unabhängigkeit

Energiewende in der Schweiz

Zusammenfassend haben wir gesehen, dass die geothermale Energie erneuerbar ist, insofern sie nachhaltig genutzt wird. Je nach Tiefe und Wassertemperaturen die erreicht werden können, ergeben sich unterschiedliche Anwendungen. Bei sehr hohen Temperaturen kann ein thermisches Kraftwerk zur Elektrizitätsproduktion angetrieben werden. Bei eher tieferen Temperaturen, wie in der Schweiz, kann die Geothermie als Quelle zum direkten Heizen oder aber als Wärmequelle für Wärmepumpen eingesetzt werden. Diese Art von Nutzung ist in der Schweiz schon sehr weit verbreitet. Die Zukunft der Elektrizitäts-Produktion über Geothermie ist jedoch noch sehr unsicher. Da die Investitionskosten noch sehr hoch sind und weil die heutigen Kraftwerke mit beträchtlichen technischen Schwierigkeiten zu kämpfen haben. Der grösste Vorteil von Geothermie ist aber deren Unabhängigkeit vom Wetter und von saisonalen Schwankungen.

Notes

Summary



13m 44s