

Episode 4 - "Erneuerbare Energie aus Tiefengeothermie"

Zuvor, bei Energy Transition Crisis: In früheren Folgen wurde das wahre Ausmaß der Herausforderungen erklärt, vor denen wir stehen. Es wurde ein Plan zum Ersatz fossiler Brennstoffe durch saubere Energie vorgestellt und erklärt, warum eine globale Energiekrise Mitte der 2020er Jahre unvermeidlich ist. Jetzt erklärt Erik Townsend die erneuerbare Geothermie-Energie.

Geothermische erneuerbare Energie ist derzeit die am wenigsten praktische und wirtschaftliche der vier wichtigsten erneuerbaren Energiequellen. Aber wir stehen bereits an der Schwelle zu technologischen Fortschritten, die den Ausschlag geben könnten. In dieser Folge von Energy Transition Crisis zeige ich Ihnen, was nötig wäre, damit die Geothermie Wind-, Solar- und Wasserkraft überholt und zur besten Quelle für Grundlaststrom wird, um fossile Brennstoffe zu ersetzen.

Um bis 2050 aus den fossilen Brennstoffen auszusteigen, müssen wir 80.000 TWh an neuen sauberen Stromerzeugungskapazitäten bauen. Das entspricht 160.000 TWh thermischer Energie. Nach meinen Berechnungen können nicht mehr als 35 % davon aus Wind- und Solarenergie stammen, und diese sind ein schwankendes Angebot. Um aus den fossilen Brennstoffen auszusteigen, müssen folglich noch die anderen 65 % der Grundlastversorgung gefunden werden, die erforderlich sind, um die Aufgabe zu erfüllen. Das sind 52.000 TWh Strom oder 104.000 Tsd. TWh thermische Energie, welche für die Erzeugung dieses Stroms benötigt werden.

Unser Ziel sollte nicht nur darin bestehen, das zu ersetzen, was wir bereits haben. Wir sollten uns bemühen, saubere Energie in größerem Umfang zur Verfügung zu stellen, als dies heute bei fossilen Brennstoffen der Fall ist. Aus diesem Grund ziehe ich es vor, mich darauf zu konzentrieren, eine saubere Grundlastquelle für die vollen 160.000 TWh thermischer Energie zu finden, die benötigt werden, um fossile Brennstoffe vollständig zu ersetzen.

Wenn Wind- und Solarenergie mein zugegebenermaßen sehr aggressives Ziel von 35 % bis 2050 nicht erreichen werden, haben wir auf diese Weise immer noch genug Energie. Wenn Wind und Sonne die vollen 35 % oder mehr liefern, dann wird die zusätzliche Energie, die wir erzeugen, das Tüpfelchen auf dem i sein. Dieses trägt dann dazu bei, ein neues Zeitalter des menschlichen Wohlstands einzuleiten, so wie es die Dampfmaschine in den 1770er Jahren tat.

Die geothermische erneuerbare Energie ist nach dem derzeitigen Stand der technologischen Entwicklung die am wenigsten vielversprechende der vier primären erneuerbaren Energiequellen.

Warum widme ich ihr also eine ganze Episode? Weil wir kurz vor technologischen Durchbrüchen in der Geothermie stehen, die leicht zum Wendepunkt werden könnten. Diese könnten die Geothermie von der letzten Position hinter Wind-, Solar- und Wasserkraft in die vorderste Reihe katapultieren und sie zur attraktivsten Quelle erneuerbarer Energie machen, um die benötigten 160.000 TWh thermischer Energie zu liefern, die erforderlich sind, um fossile Brennstoffe bis 2050 vollständig abzulösen.

Die Geothermie ist weniger populär und weniger gut bekannt als andere erneuerbare Energien. Es gibt verschiedene Arten von Geothermie, aber ich werde mich nur auf diejenige konzentrieren, die für die Energiewende von entscheidender Bedeutung sein könnte: Strom, der aus tiefen Geothermie Bohrungen gewonnen wird.

Wenn Sie die meisten Menschen fragen, woraus unser Planet besteht, werden sie wahrscheinlich sagen: aus Erde, Felsen und dem Wasser unserer Ozeane. Aber diese Dinge machen nur die Erdkruste aus, die nur 1 % der Gesamtmasse des Planeten ausmacht. Die Kruste ist nicht sehr dick. An Land ist die Kruste weniger als 100 km dick, und unter den Ozeanen ist sie sogar noch dünner, da ist die Kruste nur 5-7 km dick.

Bis zum Mittelpunkt der Erde sind es noch einmal 6.300 km tiefer. Die nächste Schicht unterhalb der Erdkruste ist der Erdmantel. Dieser besteht aus sehr heißem Gestein, das zum Teil fest und zum Teil Magma oder geschmolzenes Gestein ist, ähnlich wie die Lava, die aus ausbrechenden Vulkanen fließt. Unter dem Erdmantel befinden sich der innere und der äußere Erdkern, deren Zentrum hauptsächlich aus geschmolzenem Eisen und anderen Metallen besteht.

Je tiefer man geht, desto heißer wird es. Der Erdkern hat eine Temperatur von über 5.000 Grad Celsius, also fast 10.000 Grad Fahrenheit. Der tiefste Punkt der Erdkruste hat eine Temperatur von etwa 1.000 Grad. Innerhalb der Erdkruste wird die Temperatur immer heißer, je tiefer man kommt.

Eine Studie der Defense Advanced Research Project Agency (DARPA) kam zu dem Schluss, dass wir, wenn wir nur einen Weg finden könnten, lediglich ein Zehntel von einem Prozent der Wärme im Erdmantel zu nutzen, unseren gesamten Energiebedarf für Millionen von Jahren decken könnten. Anders ausgedrückt, all die Energie, die wir jemals benötigen könnten, befindet sich bereits direkt unter unseren Füßen. Genauer gesagt, nur wenige Kilometer senkrecht unter der Erdoberfläche.

In diesen Tiefen bietet uns die Wärme des Erdmantels – oder sogar nur die tieferen Regionen der Erdkruste – all die Energie, die wir möglicherweise benötigen könnten, wenn wir nur herausfinden könnten, wie man tief genug bohrt, um all diese Wärme zu erschließen, die direkt unter unseren Füßen liegt. Das wirklich heiße Gestein, das genug Energie hat, um all unsere Energieprobleme zu lösen, befindet sich in geringerer Tiefe unter der Erdoberfläche, als unsere Verkehrsflugzeuge über der Erdoberfläche fliegen.

Um die Wärmeenergie unter unseren Füßen zu nutzen, brauchen wir eine Möglichkeit, dorthin zu gelangen und etwas von dieser Wärme an die Oberfläche zu pumpen, wo wir sie nutzen können. Seit Jahrzehnten perfektioniert die Öl- und Gasindustrie Technologien, die genau dafür umfunktioniert werden könnten. Die Technologie für Ölbohrungen wurde entwickelt, um Ölbohrungen in porösen Gesteinsschichten tief unter der Oberfläche zu bohren, die Rohöl in den Poren des Gesteins enthalten, ähnlich einem Schwamm aus Gestein, der Öl enthält.

Eine Öl-Quelle funktioniert so, dass ein Loch tief in das poröse Gestein gebohrt wird, das Öl enthält, so dass das Öl aus dem Gestein austritt. Nicht jedes Gestein enthält Öl. Tatsächlich ist ölhaltiges Gestein ziemlich schwer zu finden.

Stellen wir uns nun vor, wir würden mit demselben Bohrturm nach einer Felsformation bohren, von der wir wissen, dass sie kein Öl enthält. Bei der Geothermie geht es darum, poröses, ölhaltiges Gestein zu vermeiden und stattdessen trockene, heiße Gesteinsformationen anzusteuern.

An einigen Orten wie Island und Indonesien, die eine starke vulkanische Aktivität aufweisen, gibt es reichlich Gesteinsvorkommen, die nicht allzu weit unter der Oberfläche sind, wo sehr heißes, trockenes Gestein zu finden ist. Diese ist ideal, denn je flacher das Loch ist, desto weniger kostet die Bohrung.

In anderen Teilen der Welt, wo es keine Vulkane gibt, die heißes Magma an die Oberfläche bringen, muss man unter Umständen viel tiefer bohren, um die heißen, trockenen Gesteinsformationen zu finden, die für die Gewinnung geothermischer Energie erforderlich sind. Aber wenn man bereit ist, tief genug zu bohren, kann man überall auf der Welt heißes Gestein finden.

Für unser erstes Beispiel nehmen wir an, dass wir eine trockene Gesteinsformation nicht allzu weit unter der Oberfläche gefunden haben, die eine Temperatur von 100 °C hat, der Siedetemperatur von Wasser. Wir beginnen damit, ein Bohrloch senkrecht in diese Gesteinsformation zu bohren, bis wir die Tiefe erreichen, in der sich das 100 °C heiße Gestein befindet. Dann drehen wir den Bohrer zur Seite und bohren ein horizontales Loch von mehreren hundert Metern Länge.

Das Drehen des Bohrers um 90 Grad und das Bohren eines horizontalen Lochs durch festes Gestein mehrere hundert oder sogar einige tausend Meter unter der Oberfläche mag wie ein unmögliches Kunststück klingen. Glücklicherweise wurde die Schieferölrevolution durch die Kommerzialisierung der Horizontalbohrtechnik ermöglicht. Mit der genau das möglich ist: das Bohren lange horizontaler Löcher, so genannter "Laterals", durch festes Gestein tief unter der Oberfläche bohren. So beängstigend es auch klingen mag, wir verfügen bereits über die dafür erforderliche Technologie.

Schließlich bohren wir ein weiteres Loch, ähnlich wie bei einer Ölbohrung, das mit dem anderen Ende des soeben gebohrten Bohrlochs verbunden wird und zurück an die Oberfläche führt. Das Ergebnis ist ein U-förmiger Durchgang, der mehrere hundert bis einige tausend Meter gerade nach unten führt. Dann seitwärts abbiegt und mehrere hundert bis einige tausend Meter horizontal durch heißes, trockenes Gestein verläuft, um dann nach oben abzubiegen und so einen Weg zurück an die Oberfläche schafft.

Jetzt können wir die freie Energie aus dem Erdinneren anzapfen, indem wir einfach kaltes Wasser auf einer Seite dieses U-förmigen Kanals hinunterpumpen. Wenn das Wasser nach unten in heißes Gestein fließt und dann durch den langen seitlichen Gang fließt, wird das Wasser auf Siedetemperatur erhitzt. Das Ergebnis ist, dass wir kaltes Wasser durch ein Loch pumpen und aus dem anderen Loch kochend heißes Wasser herausbekommen, ohne dass wir Energie zum Erhitzen des Wassers verbrauchen. Alles, was wir bezahlen, ist der Strom für den Betrieb der Pumpe, die das Wasser durch den unterirdischen Gang zirkulieren lässt. Die heiße Felsformation erledigt den Rest.

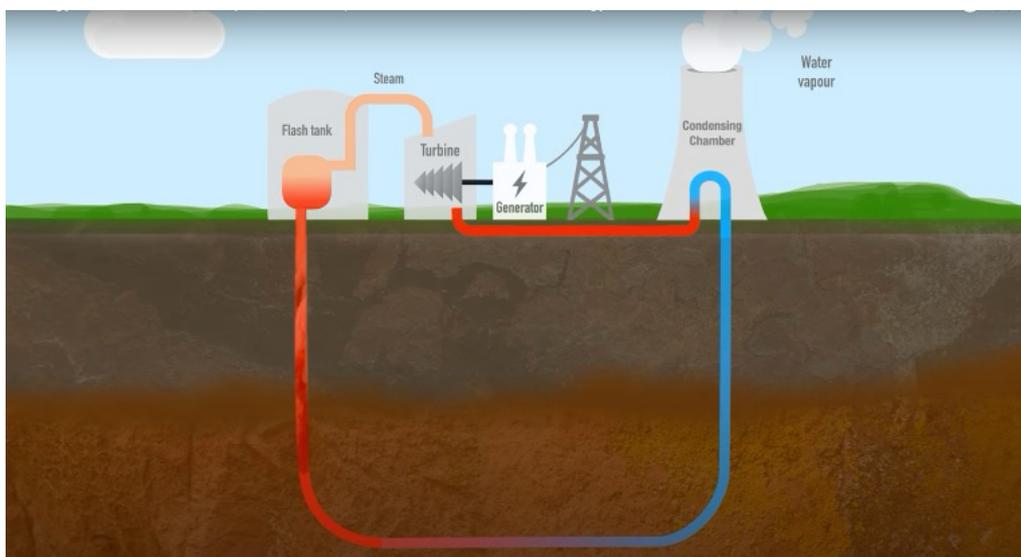
Das kochende Wasser, das auf der anderen Seite austritt, könnte zur Beheizung eines Gebäudes verwendet werden. Oder es könnte durch einen Wärmetauscher geleitet werden, um Trinkwasser zu erwärmen, wodurch ein mit Erdgas oder Strom betriebener Warmwasserbereiter überflüssig würde. Aber so neuartig dieses System auch klingen mag, Tatsache ist, dass wir nicht genug Wärmeenergie aus diesem System gewinnen, um Strom zu erzeugen. Wir können ein großes Industriegebäude auf diese Weise fast kostenlos beheizen, sobald alle Löcher gebohrt sind. Aber wissen Sie was? Das Bohren dieser Löcher durch massives Gestein kostet eine Menge Geld, und es wird einige Jahre dauern, bis wir die Kosten decken können.

Nehmen wir nun an, dass wir eine 150 Grad-Gesteinsformation finden können, indem wir etwas tiefer bohren als im vorherigen Beispiel. Wir bohren also einen weiteren U-förmigen Kreislauf, aber dieses Mal wird das seitliche Segment durch 150 Grad trockenes Gestein gebohrt. Jetzt ist es eine völlig andere Geschichte.

Wir pumpen immer noch kaltes Wasser auf einer Seite hinunter, aber die Temperatur des seitlichen Segments ist viel heißer als die Siedetemperatur des Wassers von 100 °C. Was auf der anderen Seite hochkommt, ist also kein kochendes Wasser, sondern heißer Dampf. Und dieser Dampf steigt unter Druck auf, weil sich Wasser ausdehnt, wenn es zu Dampf kocht.

Jetzt ist es möglich, eine Dampfturbine auf dem Abluftschacht zu installieren und mit dieser Turbine Strom zu erzeugen. Ein Teil dieses Stroms kann verwendet werden, um mehr kaltes Wasser in den Ansaugbrunnen zu pumpen. So wird kein externer Strom für den Betrieb des Systems benötigt. Der Rest des von der Turbine erzeugten Stroms kann in das Stromnetz eingespeist und zur Versorgung von Haushalten und Unternehmen, sowie zum Aufladen von Elektrofahrzeugen verwendet werden.

Das im Dampf aus der Dampfturbine enthaltene Wasser kann in einer Kondensationskammer zurückgewonnen und wiederverwendet werden, indem es wieder in den Ansaugschacht gepumpt wird, um im Auslassschacht mehr Dampf und damit mehr Strom aus der Dampfturbine zu erzeugen.



Wenn das nicht nach einer großartigen, unbegrenzten Quelle für sauberen, umweltfreundlichen Strom klingt, die nach dem Bohren der Brunnen nicht mehr auf fossile Brennstoffe angewiesen ist? Aber leider gibt es immer noch einen Haken. Geothermische Bohrungen sind sehr teuer. Selbst bei Temperaturen von 150 °C reicht die gewonnene Wärmeenergie nur aus, um eine bescheidene Menge Strom zu erzeugen. Die hohen Investitionskosten für die Bohrung und die relativ geringe elektrische Leistung führen zu ziemlich teurem Strom. Vor allem wenn man die Vorlaufkosten für die Bohrung der geothermischen Quelle berücksichtigt.

Aus diesem Grund hat die geothermische Stromerzeugung die Wind- und Solarenergie bei den Kosten pro Megawatt nur da übertroffen, wo es in der Nähe der Oberfläche vulkanische Aktivitäten gibt.

Geothermische Elektrizität ist immer noch eine großartige Sache, wenn man zufällig in Indonesien oder Island lebt. Für den größten Teil der Welt ist die Wirtschaftlichkeit einfach nicht gegeben.

Oder ich sollte sagen, dass die Wirtschaftlichkeit noch nicht ganz gegeben ist. Mit ein paar Fortschritten in der geothermischen Bohrtechnik wäre ein Durchbruch möglich, der die Geothermie weitaus attraktiver macht als Wind und Sonne.

Aus diesem Grund habe ich diese Folge der Erörterung der technologischen Fortschritte gewidmet, die erforderlich sind, um die Geothermie zu einem Durchbruch zu bringen, der eine Schlüsselrolle bei der Energiewende weg von fossilen Brennstoffen spielen könnte.

Die Menge an Strom, die wir aus geothermischen Bohrungen gewinnen können, hängt in erster Linie von der Temperatur des Gesteins ab, in das die Bohrung eindringt. Selbst bei einer Temperatur von 150 °C, reicht die Energiemenge, die entnommen werden kann, gerade noch aus, um Geothermie zu wirtschaftlichen Stromquellen im Vulkanland zu machen, wo 150 °C heißes Gestein in geringer Tiefe gefunden werden kann.

Was aber, wenn wir auf noch heißere Gesteinsformationen konzentrieren? Wenn wir von einer Temperatur von 250°C ausgehen, die weit über dem Siedepunkt von Wasser liegt, könnten wir deutlich mehr Strom erzeugen. Der aus der Abluftbohrung austretende überhitzte Dampf von 250 Grad könnte eine wesentlich größere Dampfturbine antreiben, als dies mit 150-Grad-Dampf je möglich gewesen wäre. Heißeres Gestein macht einen enormen Unterschied in Bezug auf die Menge an Strom, die aus geothermischen Brunnen produziert werden kann.

Aber es ist viel schwieriger, eine geothermische Bohrung durch 250-Grad-Gestein zu bohren als durch 150-Grad-Gestein. Wenn man nicht in einem Vulkanland bohrt, muss man viel tiefer bohren, um an das 250-Grad-Gestein zu gelangen. Je tiefer man bohrt, desto höher sind die Kosten für die Installation des geothermischen Brunnens und damit auch die Kosten für die Stromerzeugung aus diesem Brunnen.

Aber tiefer zu bohren ist eigentlich der einfache Teil. Wenn man heißer bohrt, entstehen die größten Probleme. Denn 250 °C sind verdammt heiß. Zum Vergleich: Aluminium schmilzt bei etwa 660 °C zu geschmolzenem Metall. Die meisten Bohrer

funktionieren, indem sie ein Loch durch das Gestein mahlen. Sie verwenden dabei einen sehr harten, scharfen Bohrkopf (üblicherweise aus industriellen Diamanten gefertigt), der unter hohem Druck gegen das Gestein gepresst wird. Dann wird er gedreht, um das Gestein langsam durch Abrieb abzutragen und so ein Loch durch das Gestein zu bohren.

Dieser Prozess ist unglaublich reibungsintensiv. Die Bohrer die verwendet werden, um oberirdisch durch Granitarbeitsplatten zu bohren, wo die Umgebungstemperatur nur 25 °C beträgt, können den Bohrer und den Granit am Boden des Lochs auf mehr als 100 °C aufheizen. Da die Reibung beim Bohren von so hartem festem Gestein so viel Reibungswärme erzeugt.

Wenn wir denselben Vorgang meilenweit unter der Erdoberfläche in festem Gestein durchführen, das bereits 250 °C heiß ist, steigen die Temperaturen mit der Reibungshitze auf Werte, bei den selbst Werkzeuge aus massivem Metall ihre Festigkeit verlieren. Die technischen Herausforderungen sind plötzlich gewaltig!

Bei 250°C nähern wir uns den Grenzen der aktuellen Technologie. Die technischen Herausforderungen können mit der bereits vorhandenen Technologie überwunden werden, aber dies ist nicht kostengünstig. Die höheren Kosten für das Bohren eines geothermischen Brunnens in 250°C heißes Gestein würden den Vorteil, mehr Strom aus dem heißeren Gestein erzeugen zu können, zunichtemachen. Der heißere geothermische Brunnen wird zwar wesentlich mehr Strom produzieren, aber die Kosten pro Megawattstunde werden nicht niedriger sein, da die Bohrung des heißeren Brunnens so viel teurer ist.

Dieses Dilemma der Wirtschaftlichkeit geothermischer Elektrizität ist der Grund dafür, dass man nicht sehr viel über geothermische Energie hört. Sie ist eine brillante und innovative Möglichkeit, eine buchstäblich unbegrenzte Quelle sauberer Energie zu erschließen, die keine Emissionen erzeugt. Aber im Moment ist sie im Allgemeinen weniger wirtschaftlich als Wind- und Solarenergie. Außer im Land der Vulkane, wo sehr heißes Gestein viel näher an der Oberfläche zu finden ist.

Die Schieferölrevolution in den 20er Jahren wurde durch zwei wesentliche technologische Fortschritte ermöglicht. Der erste war das horizontale Bohren: Die Fähigkeit, eine Ölquelle bis in die Tiefe zu bohren wo Öl im Überfluss vorhanden ist. Dann drehen Sie den Böhler und bohren ein langes, horizontales Loch. In der optimalen Tiefe für die Ölförderung. Dieser horizontale Abschnitt des Bohrlochs tief unter der Oberfläche wird als Seitenbohrung (lateral) bezeichnet.

Der zweite große technologische Durchbruch hinter der Schieferölrevolution der 2010er Jahre war das hydraulische Fracking. Dabei wird Wasser und Sand in das neu gebohrte „Lateral“ gepumpt und dann extremen Druckstößen ausgesetzt, die das Gestein um die Ränder des Laterals buchstäblich aufbrechen (Fracking). Der Zweck des Sands besteht darin, dass er sich in die Risse im Gestein setzt und verhindert, dass sie sich nach Entfernung des Drucks wieder schließen. Dieser Prozess ermöglicht, dass viel mehr im Gestein eingeschlossenes Öl in das Lateral fließen und zur Oberfläche gepumpt werden kann.

Die Schieferrevolution begann im Jahr 2006 mit Erdgas. Bis 2010 wurde auch Schieferöl ein Hit. Ab 2011 begann die Ölproduktion in den USA richtig durchzustarten.

Im Jahr 2017 erreichte die Gesamtproduktion in den USA ein neues Rekordhoch und übertraf den bisherigen Rekord. Dieser war Anfang der 1970er Jahre mit der konventionellen Ölproduktion erreicht worden, genau wie Hubbert es vorausgesagt hatte.

Jetzt habe ich ein Quiz für Sie. Erinnern Sie sich daran, dass der Schieferboom im Jahr 2006 mit Erdgas begann, und dass Schieferöl 2010 die Bühne betrat. In den Medien wurden die "brandneuen" Technologien der Horizontalbohrung und des „Hydraulic Fracturing“, die all das mögliche machte, als technologischer Durchbruch gefeiert.

Raten Sie mal, wann die allererste horizontale Ölbohrung mit dieser bahnbrechenden neuen Technologie der Horizontalbohrung durchgeführt wurde? War es 2005? 2003? 2001? Oder... 1929? Ok, das muss ein Tippfehler sein und es muss 1999 heißen, richtig?

Falsch. Die richtige Antwort lautet 1929. Damals war das horizontale Bohren tatsächlich eine brandneue Technologie, und damals wurde die erste Ölquelle mit Hilfe des horizontalen Bohrens gebohrt.

Hydraulic Fracturing ist eine viel neuere Technologie. Die erste erfolgreiche kommerzielle Anwendung von Hydraulic Fracturing erfolgte erst 1950. Ja, Sie haben richtig gehört: 1950, ganze sechs Jahrzehnte bevor der Schieferöl-Boom richtig losging.

Ok, was zum Teufel ist hier los? Wenn die Technologien, die den Schieferölboom möglich gemacht haben, bereits 1950 nachweislich funktionierten, warum haben wir dann nicht schon viel früher damit begonnen, sie einzusetzen?

Dies ist ein äußerst wichtiger Punkt, den es zu verstehen gilt. In einer Minute werde ich erklären, warum dies alles mit dem Durchbruch der geothermischen Energie zu tun hat.

Die Ölindustrie kannte Horizontalbohrungen und Hydraulic Fracturing schon seit Jahrzehnten, bevor sie in großem Maßstab kommerziell genutzt wurden. Der Grund dafür, dass sie nicht genutzt wurde, ist einfach. Sie war zu teuer, so dass es keine wirtschaftliche Rechtfertigung gab, sie früher einzusetzen.

Kommt Ihnen das bekannt vor? Das sollte es auch. Der Grund, warum Horizontalbohrungen und Hydraulic Fracturing sechs Jahrzehnte lang ungenutzt blieben, nachdem ihre Funktionsfähigkeit bewiesen war, ist genau derselbe Grund, warum die Tiefengeothermie heute nicht beliebt ist: weil die Wirtschaftlichkeit noch nicht ganz stimmt. Die Kosten für tiefe geothermische Bohrungen durch wirklich heißes Gestein sind wirtschaftlich kaum zu rechtfertigen.

Im Jahr 2005, als die konventionelle Ölförderung weltweit ihren Höhepunkt erreichte und Offshore-Bohrungen immer beliebter wurden, wusste die Ölindustrie bereits alles

über Horizontalbohrungen und Hydraulic Fracturing. Sie hatten ihre Hausaufgaben gemacht und herausgefunden, dass der Einsatz dieser Technologien bei einem Rohölpreis von weniger als 85 \$ pro Barrel nicht wirtschaftlich war. Zu diesem Zeitpunkt hatte der Ölpreis nie auch nur annähernd 80 \$/Barrel erreicht, so dass es keinen Sinn machte, diese jahrzehntealten Technologien einzusetzen, die zu teuer waren, um wirtschaftlich zu sein.

Doch dann stiegen die Ölpreise Anfang 2008 dramatisch an. Sie erreichten einen neuen Rekordpreis von 147 \$/Barrel, bevor die große Finanzkrise einsetzte und die Ölpreise wieder auf unter 40 \$/Barrel fielen.

Horizontalbohrungen und Hydraulic Fracturing waren bei 40 \$/Barrel definitiv nicht wirtschaftlich, aber die visionärsten Unternehmer in der Ölbranche erkannten die Zeichen der Zeit und begannen mit ihren Planungen.

Im Jahr 2010 lagen die Ölpreise wieder über 80 \$, horizontale Bohrungen und Hydraulic Fracturing wurden endlich wirtschaftlich, der Rest ist Geschichte. Die US-Ölproduktion nahm Fahrt auf. 2017 übertraf die US-Förderung ihr früheres Rekordniveau aus den frühen 1970er Jahren, was die meisten Experten für unmöglich hielten.

Jetzt kommt der wichtigste Teil dieser Geschichte, den Sie sich wirklich zu Herzen nehmen sollten. Ende 2014 änderte Saudi-Arabien seine Wettbewerbsstrategie und ließ die Ölpreise bis Anfang 2015 auf 27 \$/Barrel abstürzen. Sceptiker erklärten die Schieferölrevolution sofort für tot und sagten voraus, dass Fracking nie wieder wirtschaftlich rentabel sein würde.

Der Grund, warum sie falsch gelegen sind, ist, dass die Industrie inzwischen gelernt hatte, Horizontalbohrungen und Fracking-Technologien so zu optimieren, dass sie viel kosteneffizienter waren als noch einige Jahre zuvor. Plötzlich war es möglich, neue Schieferbohrungen und Fracking bei Rohölpreisen von nur 40 \$/Barrel durchzuführen. Weil die Skaleneffekte die zuvor teure Nischentechnologie in viel erschwinglichere Mainstream-Technologien verwandelt hatte. Im Jahr 2015 konnten Horizontalbohrungen und Fracking ihre Wirtschaftlichkeit bei Ölpreisen erreichen, die nur halb so hoch waren wie die Rentabilitätsschwelle für den Einsatz dieser Technologien vor fünf Jahren!

Kehren wir nun zum Thema der sauberen Elektrizität aus Tiefengeothermie zurück. Wenn wir einen engen Blickwinkel einnehmen und uns nur auf die heutige wirtschaftliche Bilanz konzentrieren, ist die Tiefengeothermie nur sehr schwer zu rechtfertigen.

Geothermische Bohrungen, die tief genug sind, um an wirklich heißes Gestein heranzukommen, sind sehr teuer Denn die Geothermie ist immer noch eine Nischentechnologie. Das Bohren durch heißen Granit bei diesen Temperaturen stößt an die Grenzen der derzeitigen Bohrtechnik.

Aber lassen Sie uns einen Schritt zurücktreten und das große Ganze betrachten. Wir haben bereits eine extrem gut entwickelte Öl- und Gasindustrie, die Experten darin geworden sind, eine Sache unglaublich gut, billig und effizient zu machen.

Diese eine Sache ist das Bohren von Bohrlöchern tief unter der Oberfläche und das anschließende Drehen der Bohrer seitwärts, um laterale Leitungen (Horizontale- oder Schrägbohrungen) zu bilden.

Zwischen 2010 und 2016 konnten die Kosten für diese Arbeiten bei Schieferölbohrungen dank Innovation, harter Arbeit und Größenvorteilen fast halbiert werden. Doch die Investitionen in dieser Branche sind derzeit stark rückläufig, weil sich alle einig sind, dass das Zeitalter der fossilen Brennstoffe beendet werden muss.

Langfristige Investitionen sind in der Öl- und Gasindustrie so gut wie unbekannt. Jeder weiß, dass sich die Regierungen auf der ganzen Welt mit der „Netto-Null-Initiative“ (Null-Emissionen) einig sind und dass Öl und Gas vor dem Ende stehen, sobald wir brauchbaren Ersatz gefunden haben. Das wird Jahrzehnte länger dauern, als die meisten Menschen glauben.

Was wäre, wenn wir aufhören würden, die Öl- und Gasindustrie als öffentlichen Feind Nummer eins im Rahmen der Regierungspolitik zu verteufeln und stattdessen diese Industrie unterstützen würden, während wir ihr einen neuen doppelten Auftrag geben, der ihre Lebensdauer unbegrenzt verlängern könnte? Der erste Teil dieses Auftrags wäre, so lange wie nötig Öl und Gas zu produzieren, damit die Gesellschaft weiterhin "atmen" kann. Der zweite Teil des Auftrags wäre, dass sich die Öl- und Gasindustrie im Laufe der Zeit weiterentwickelt und in die saubere geothermische Elektrizitätsindustrie der Zukunft verwandelt.

Was wäre, wenn den klügsten jungen Ingenieuren bei ihrer Berufswahl, die die Öl- und Gasindustrie derzeit meiden wie die Pest, weil sie sie für eine Zombieindustrie halten, ein ganz anderes Bild vermittelt würde? Was wäre, wenn sie den Einstieg in die Öl- und Gasindustrie als ein Sprungbrett sehen würden, um die Pioniere der geothermischen erneuerbaren Grundlastenergie von morgen zu werden?

Und was wäre, wenn wir tatsächlich eine Führung in der Regierung hätten, die klug genug ist, um zu erkennen, dass der beste Weg zur Erreichung der politischen Netto-Null-Ziele nicht darin besteht, die Öl- und Gasindustrie zum Sündenbock zu machen. Sondern mehr Anreize für sie zu schaffen, damit sie zu Helden des Klimawandels werden. Indem sie ihren Einfallsreichtum und ihren Erfahrungsschatz nutzen, die sie beim Bohren von Löchern durch Gestein haben. Diese Fähigkeiten dann nutzen, um die geothermische Energie zu revolutionieren und in großem Maßstab wirtschaftlich zu machen. So wie sie es bei Schieferöl und -gas getan haben.

Geothermie ist derzeit ein Nischenbereich, der nicht genügend Investitionskapital erhält, um bedeutende Fortschritte im benötigten Tempo zur Lösung der globalen Energiekrise zu machen. Aber was wäre, wenn all das Talent, das den Schieferboom möglich machte, auf Geothermie umgelenkt würde? Wie lange, denken Sie, würde es dauern, bis Geothermie plötzlich wirtschaftlicher als Wind- und Solarenergie würde?

Die US-amerikanische Öl- und Gasindustrie hat weniger als ein Jahrzehnt gebraucht, um Horizontalbohrungen und Fracking zu kommerzialisieren. Die Kosten durch Optimierung von Design und Einsatz zu halbieren und die Vereinigten Staaten bis 2019 zum größten Erdölproduzenten in der Geschichte zu machen - etwas, das 2010 niemand auch nur im Entferntesten für möglich gehalten hat.

Glauben Sie wirklich, dass die Suche nach heißem, trockenem Gestein tief unter der Erde und das anschließende Bohren von Löchern in wirtschaftlicher Weise ihre Fähigkeiten übersteigt? Ich sicher nicht. Aber ich weiß auch, dass diese Industrie nicht diejenigen sein können, die die Energiekrise mit einer geothermischen Energierevolution lösen, wenn wir sie weiterhin öffentlich zum Sündenbock machen, als wären sie unsere Feinde!

Wir müssen aufhören, die Öl- und Gasindustrie als eine Branche zu betrachten, die wir loswerden müssen, und stattdessen als eine Branche ansehen, die in die saubere geothermische Energieindustrie umgewandelt werden muss. Was wir beseitigen müssen, sind die Politiker, die den Fortschritt behindern, indem sie Feinde und Sündenböcke aus denjenigen machen, die am qualifiziertesten sind, um das eigentliche vorliegende Problem zu lösen.

Kehren wir nun zu unserer Diskussion über den aktuellen Stand der Technik im Bereich der geothermischen Energie zurück, denn die Geschichte endet definitiv nicht bei 250 °C. Richtig interessant wird es erst ab 374 °C und heißer. Warum gerade diese Zahl? Weil heißes Wasser durch die Kombination von Temperaturen über 374 °C und einem sehr hohen Druck von mehr als 218 Atmosphären völlig andere Eigenschaften einnimmt als Wasser oder Dampf, wie wir sie kennen. Wissenschaftler nennen es überkritisches Wasser, Es könnte für die Tiefengeothermie von entscheidender Bedeutung sein, da es zehnmal so viel Wärmeenergie an die Oberfläche transportieren kann wie normales Wasser oder Dampf.

Aber jetzt stoßen wir wirklich auf einige technologische Barrieren. 374 °C ist die Mindesttemperatur für die Erzeugung von überkritischem Wasser. Nehmen wir an, dass wir seitliche Bohrungen durch 400 °C heißes Gestein vornehmen müssten, um das Wasser, das wir durch das Gestein pumpen, auf 374 °C zu erhitzen.

Schließlich kühlt das Pumpen von Wasser durch die Laterale das Gestein leicht ab, also müssen wir mit einer Gesteinsformation beginnen, die etwas heißer ist als die Wassertemperatur, die wir letztendlich benötigen.

250 °C stoßen bereits an die Grenzen dessen, was mit der derzeitigen kommerziellen Bohrtechnologie möglich ist. Es ist unmöglich, durch 400°C heißes Gestein mit einem normalen Bohrkopf zu bohren, der Reibung nutzt, um durch das Gestein zu mahlen. Das hinzufügen von Reibungswärme erhöht die Temperatur noch weiter, und fast jeder jemals erfundene Bohrkopf würde bei diesen Temperaturen buchstäblich schmelzen.

Es gibt bereits einige experimentelle Ansätze, um dieses Problem zu lösen. Einer davon ist das so genannte Hammerbohren. Bei dem der Bohrer nicht mit hohem Druck gegen das zu durchbohrende Gestein gedrückt wird, sondern intermittierend (unregelmäßig) in das Bohrloch "gehämmert" wird. Diese Technik wurde bereits in mindestens einem geothermischen Versuchsprojekt eingesetzt, bei dem es darum geht, die Temperaturschwelle für die Erzeugung von überkritischem Wasser zu erreichen.

Eine andere experimentelle Technologie wurde von dem Milliardär und Unternehmer Robert Friedland, dem Gründer des Bergbauimperiums Ivanhoe, erfunden. Bei dieser Technologie wird das Bohren durch eine völlig neue Technik namens „Spalling“

ersetzt. Beim Spalling (Abplatzen) gibt es keinen Druck zwischen dem "Bohrmeißel" und dem Gestein. Das Verfahren funktioniert, indem das Gestein, in das gebohrt wird, mit Impulsen unglaublich hoher Energieelektrizität beschossen wird, die nur wenige Nanosekunden dauern. Man kann sich das so vorstellen, als würde man das Gestein Tasern, anstatt es zu bohren.

Dieses Verfahren verdampft das Gestein buchstäblich für einen winzigen Bruchteil einer Sekunde, so dass die Ablösung ohne zusätzliche Reibungswärme für das Gestein oder die Werkzeuge erfolgen kann. Diese Technologie befindet sich noch im Versuchsstadium, aber sie verspricht, dass es eines Tages möglich sein wird, geothermische Bohrungen in Gesteinen mit einer Temperatur von 400 °C oder noch heißer durchzuführen.

Allerdings handelt es sich hier um experimentelle Bohr- und Spalling-Technologien, die noch nicht ausgereift sind. Zum Zeitpunkt dieser Aufzeichnung sind geothermische Bohrungen, die superkritisches Wasser produzieren können, noch nicht praktikabel oder wirtschaftlich.

Aber ich möchte, dass Sie sich auf das konzentrieren, was möglich ist, nicht nur auf das, was wir heute haben. Vor mehr als fünfzig Jahren haben wir buchstäblich einen Menschen auf den Mond geschickt. Das war eine unglaubliche technologische Errungenschaft. Diese war nur möglich, weil wir eine politische Führung hatten, die sich darauf konzentrierte, das Beste aus unseren Technologieindustrien zu machen, anstatt sie in einem kindischen politischen Theater zum Sündenbock zu machen.

Ich möchte hier die Worte von US-Präsident John F. Kennedy aus seiner berühmten Rede vom Mai 1961 in der er eine Mondlandung vor 1970 forderte, mit eigenen Worten wiedergeben. Ich glaube, dass alle Nationen auf diesem Planeten sich dem Ziel verschreiben sollten, noch in diesem Jahrzehnt herauszufinden, wie man wirtschaftlich Löcher durch heißes Gestein von über 374°C bohren kann.

Wäre ich übrigens der Trainer, der das Dream Team für diese Mission zusammenstellt, würde ich als erstes die Männer und Frauen der US-amerikanischen Öl- und Gasindustrie auswählen. Denn diese haben herausgefunden, wie man horizontale Bohrungen und Hydraulic Fracturing kommerzialisiert, ihren Preis halbiert und haben dann diese Technologien genutzt, um die Vereinigten Staaten zum größten Ölproduzenten der Welt zu machen - und das alles in weniger als einem Jahrzehnt.

Präsident Kennedy wäre stolz, wenn er diese Geschichte kennen würde. Präsident Biden und andere Politiker mit seiner Einstellung zur Öl- und Gasindustrie müssen aufwachen und aufhören, einem geschenkten Gaul ins Maul zu schauen. Diese sind die am besten qualifizierten Personen, um bahnbrechende, tiefe, überkritische Geothermie-Energie zu entwickeln und zu kommerzialisieren, und sie sind nicht unsere Feinde.

Die Dampfmaschine und das Ölzeitalter beendeten die menschliche Sklaverei, befreiten die große Mehrheit von der Notwendigkeit, auf Bauernhöfen zu arbeiten. Sie ermöglichte eine weit verbreitete Universitätsausbildung und ermöglichte die Entwicklung der modernen Welt, in der wir heute leben.

Wir könnten eine weitere Beschleunigung des Fortschritts der Menschheit in diesem Ausmaß erleben, wenn es uns nur gelänge, ein Verfahren zu perfektionieren, um wirtschaftlich geothermische Brunnen überall auf der Erde in ausreichendem Maßstab zu bohren, um jährlich mindestens 160.000 TWh Wärmeenergie bis 2050 global daraus zu pumpen. Und wenn wir herausfinden könnten, wie man Laterale durch 400°C heißes Gestein genauso wirtschaftlich bohrt, wie wir heute Schieferölbohrungen durchführen, könnten wir leicht doppelt so viel Wärme daraus gewinnen.

Um diese Diskussion über die Geothermie zusammenzufassen, gibt es meiner Meinung nach zwei wesentliche Punkte, die die Geothermie von den beiden anderen beliebten erneuerbaren Energiequellen - Wind und Sonne - unterscheiden.

Der erste Punkt ist, dass ich klare und offensichtliche technologische Durchbruchmöglichkeiten für Geothermie sehe, die echte Wendepunkte sein könnten. Mir sind keine ähnlichen Durchbruchmöglichkeiten für Wind- oder Solarenergie bekannt. Der zweite wichtige Punkt ist, dass Geothermie auch die Fähigkeit bietet, eine Grundlaststromversorgung zu produzieren, die 24/7 läuft, nicht nur, wenn die Sonne scheint oder der Wind weht. Das bedeutet, dass Geothermie ein perfekter Kandidat für die 65 % des Energiebedarfs ist, den intermittierende erneuerbare Quellen wie Wind und Sonne nicht decken können.

Für diejenigen, die sich der Idee verpflichtet fühlen, dass sich unsere Energiestrategie ausschließlich auf erneuerbare Energien konzentrieren sollte, ist dies eine himmlische Kombination.

Wenn wir nur herausfinden, wie wir einige der technologische Hürden überwinden, könnten wir eine realistische Energiestrategie entwickeln, in deren Mittelpunkt die Geothermie für die Grundlastversorgung und Wind- und Solarenergie für den Rest der von uns benötigten intermittierenden Energie stehen.

Und wir müssen nicht einmal suprakritische Temperaturen über 374°C erreichen, damit das möglich ist. Eine geothermische Revolution, die es ermöglicht, geothermische Brunnen durch 250°C trockenes Gestein genauso billig und einfach zu bohren, wie wir heute Schieferölbrunnen bohren, wäre genug Fortschritt, um Geothermie wirtschaftlich rentabel für die Grundlaststromerzeugung zu machen.

Und wenn wir dort anfangen würden, wäre es vernünftig zu erwarten, dass die Industrie den Prozess nach einigen Jahren genauso optimiert und verfeinert, wie sie es mit Schieferöl getan hat, und dass wir schließlich suprakritische geothermische Brunnen durch 400°C+ heißes Gestein bohren könnten. Das würde eine bahnbrechende Steigerung des menschlichen Wohlstands mit sich bringen.

Das Wichtigste, was Sie aus dieser Folge mitnehmen sollten, ist die Tatsache, dass wir bereits über eine sehr gut entwickelte Öl- und Gasindustrie verfügen. Diese sind Experten darin, effizient und wirtschaftlich seitliche Bohrungen in Gesteinsschichten tief unter der Oberfläche vorzunehmen.

Diese Industrie weiß, dass ihre Tage gezählt sind und muss sich bereits jetzt neu erfinden. Was könnte besser sein als ein strategischer Plan zur Neuausrichtung der

Öl- und Gasindustrie auf die Kommerzialisierung und Perfektionierung geothermischer Bohrungen, so wie sie die Schieferölförderung perfektioniert hat?

Die Dinge, die ich in dieser Folge beschrieben habe, sind heute nicht möglich. Der einzige Grund, warum sie nicht möglich sind, ist derselbe Grund, warum horizontale Bohrungen und Hydraulic Fracturing vor der Schieferrevolution nicht möglich waren.

Die Technologie und die Industrie mit einer soliden Erfolgsbilanz bei der Verbilligung von Technologien, die in großem Maßstab angewendet werden, stehen uns zur Verfügung. Solange jedoch keine Durchbrüche in der Bohrtechnologie erzielt werden, bleibt die Geothermie überall außer im Vulkanland eine wirtschaftlich unattraktive Energiequelle, zumindest im Moment.

Die tiefe, superkritische Geothermie war die erste der beiden mir bekannten Energiequellen, die realistischerweise die Energie liefern könnte, die wir in dem Umfang benötigen, um die kommende Krise zu lösen und eine saubere Energiewende bis zum Jahr 2050 zu erreichen.

Die verbleibenden Episoden dieser Dokuserie werden sich auf die zweite konzentrieren, die im Gegensatz zur Geothermie nicht von technologischen Durchbrüchen abhängt, die noch nicht stattgefunden haben.