

Die Sterne zähmen

[John Myers](#)

23. Mai 2023

32 Min Lesezeit

Billige und sichere Atomenergie ist möglich, in den meisten westlichen Ländern jedoch so gut wie verboten. Eine regulatorische Sandbox für die Kernspaltung könnte uns aus unserer regulatorischen Sklerose befreien.

Wir und die Welt um uns herum bestehen [hauptsächlich aus dem Staub](#) längst toter Sterne; unsere Nahrung, derselbe Sternenstaub, der durch die Kraft eines anderen Sterns, unserer Sonne, verwandelt wurde. Die Erde wird durch die Strahlung des [zerfallenden Sternenstaubs](#) im Inneren erwärmt. Sterne liefern die Kraft, von der das Leben abhängt.

Sterne bringen nicht nur Leben, sondern auch den Tod. Die Strahlung der Sonne verursacht Krebs und Stürme, die Schiffe versenken und Häuser dem Erdboden gleichmachen. Durch Hitze erzeugte Strömungen in der Erde verursachen Vulkane und Erdbeben. Sonnenstürme könnten unsere [Stromnetze](#) oder [Satelliten](#) zerstören. Kollabierte Sterne, wie das riesige Schwarze Loch im [Zentrum der Milchstraße](#), fressen andere Sterne.

[Sofern wir nicht eines Tages lernen, sie](#) vollständig zu kontrollieren und umzuwandeln, müssen wir so gut wie möglich mit den Sternen leben. In Milliarden von Jahren wird die [steigende Temperatur der Sonne](#) die Erde unfruchtbar machen, bevor es völlig dunkel wird. Ohne radikal bessere Technologie wird jedes Leben, das zu diesem Zeitpunkt noch auf der Erde verbleibt – was, soweit wir wissen, alles Leben im Universum sein könnte – enden. Stasis ist keine Option. Wir müssen Fortschritte machen oder sterben.

Seit den Anfängen der Spezies haben wir gelernt, immer mehr Energie pro Person zu nutzen. Zunächst einmal war die einzige Energie, die wir geerntet haben, diejenige, die durch Photosynthese in Pflanzen fixiert wurde und den Zucker erzeugte, der die Menschheit seit ihren Ursprüngen ernährt hat. Mit der Zeit lernten wir, diese Energie in anderen Formen anzuzapfen. Um uns warm zu halten, verbrannten wir Sonnenlicht, das als Holz gespeichert war, und lernten, damit zu kochen. Wir haben Tiere gezähmt, um uns zu tragen und uns beim Anbau von Nahrung zu helfen. Der Sonnenschein ließ Wasser aus den Ozeanen verdunsten und fiel dann als Regen, den wir zum Antrieb von Mühlen und dann von Generatoren nutzten.

Die immer schnellere Verbesserung unseres Lebens wäre seither [ohne mehr und billigere Energie nicht möglich gewesen](#). Wir haben gelernt, totes Leben, das unter der Erde komprimiert ist, in Form von Kohle, Öl und Erdgas für Wärme und Industrie zu gewinnen. Die Wärme der Sonne erzeugt Wetter, das wir mit Windrädern und dann mit Turbinen angezapft haben. Auch die Gezeitenkraft, die meist vom Mond angetrieben wird, hängt von der Sonne ab – damit das Wasser nicht gefriert.

Wir haben auch gelernt, die geothermische Kraft im Inneren der Erde zu nutzen – zuerst aus heißen Quellen und zunehmend auch durch tiefere Grabungen.

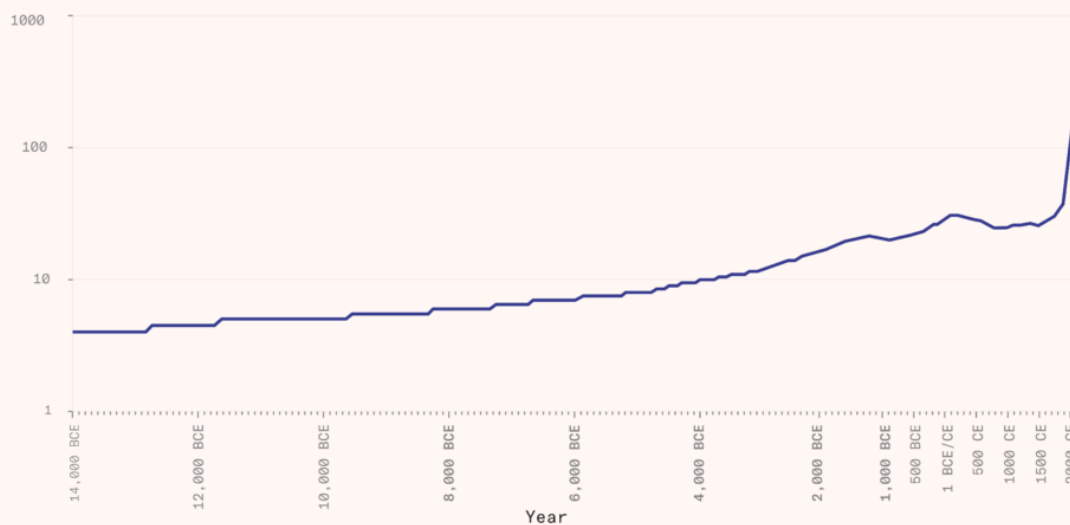
Die Sterne zählen

Wir haben gelernt, diese indirekten Wege der Nutzung der Sonne zu umgehen, indem wir Sonnenkollektoren herstellten, die elektrischen Strom direkt aus dem Sonnenschein selbst erzeugen.

Im vergangenen Jahrhundert haben wir begonnen, gigantische Energiemengen aus den schwersten Teilen längst toter Sterne auf der Erde – Uran – durch Kernspaltung freizusetzen. Am bemerkenswertesten ist, dass die *Kernfusionsenergie*, die sich von der Kernspaltung unterscheidet und technologisch noch in den Kinderschuhen steckt, die Natur von Sternen direkt nachbildet, indem sie Wasserstoffatome zusammenzwingt, bis sie sich zu Heliumatomen verbinden, wobei enorme Energie freigesetzt wird.

Increasing energy capture over history

Total energy consumption per capita at the Western economic frontier
Shown in kcal per capita per day on a log linear scale



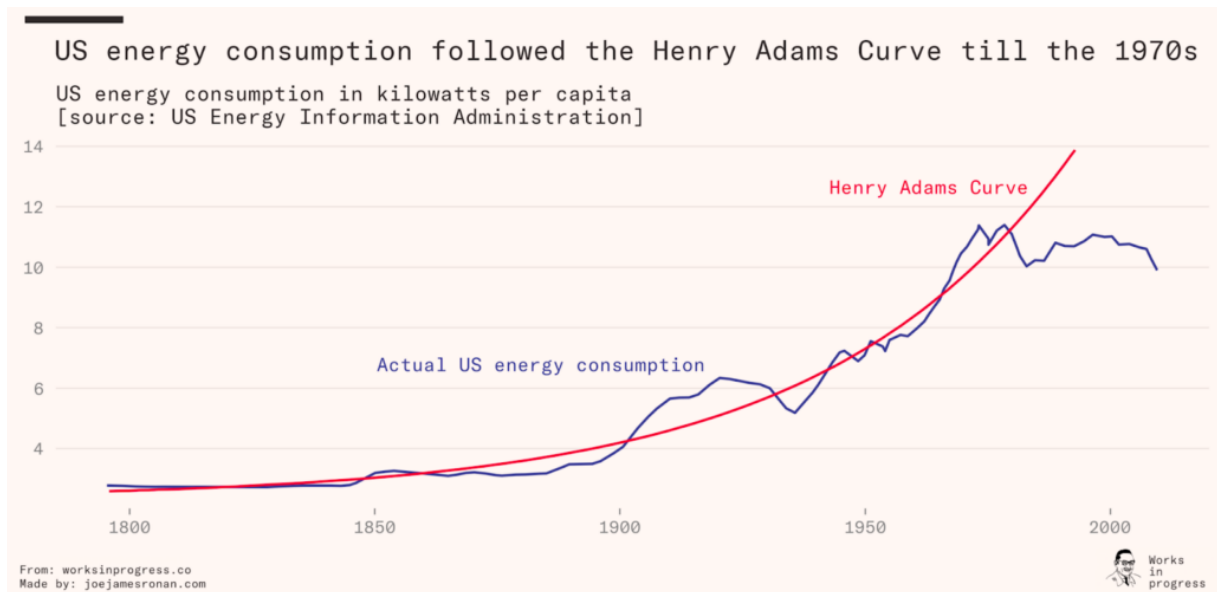
[source: Ian Morris. 2013. The Measure of Civilization: How Social Development Decides the Fate of Nations]

Made by: Francesca Mauri, Sara Ferrini



In Zukunft könnten wir Strom mit Mikrowellen von Sonnenkollektoren im Weltraum zur Erde beamten, wo sie die Energie der Sonne effizienter einfangen können als an Land. In einer Star Trek-Episode kam der Physiker Freeman Dyson auf die Idee, dass wir die gesamte Energie der Sonne einfangen könnten, indem wir sie vollständig mit einer "Dyson-Kugel" umgeben.

Die Sterne zählen



Die "[Henry-Adams-Kurve](#)", benannt in [Wo ist mein fliegendes Auto?](#) nach einer Vorhersage, die der Historiker Henry Adams in seiner Autobiografie aus dem späten neunzehnten und frühen zwanzigsten Jahrhundert gemacht [hatte](#), sagte er voraus, dass der Energieverbrauch pro Kopf auf unbestimmte Zeit um etwa sieben Prozent pro Jahr steigen würde. In den Jahrzehnten zwischen 1907, als Adams diese Behauptung zum ersten Mal aufstellte, und den 1970er Jahren galt seine Vorhersage. Doch seit etwa der Ölkrise in den 1970er Jahren ist das Wachstum ins Stocken geraten.

Ein höherer Energieverbrauch ist eng mit [einem schnelleren](#) Wirtschaftswachstum verbunden und umgekehrt. Viele der heutigen Probleme der Welt werden [durch die hohen Energiekosten verursacht](#), sei es internalisiert durch den Preis, den wir dafür zahlen müssen, oder externalisiert durch Umweltschäden. Diese Energiekosten bestimmen unseren Verbrauch von Dingen wie Transport, Heizung, Klimatisierung und so grundlegenden Aktivitäten wie Fertigung und Landwirtschaft. Die Suche nach sauberer, reichlich vorhandener Energie könnte das menschliche Wohlergehen mehr verbessern als die Lösung irgendeines anderen Problems außer dem [Wohnen](#).

In den USA sterben jedes Jahr [etwa 28.000 Menschen](#) an den Folgen kalter Temperaturen, und der Effekt ist in einkommensschwachen Teilen des Landes größer. Teure Energie hat möglicherweise [mehr Europäer](#) getötet als Covid im letzten Winter. Wie Bill Gates [gesagt hat](#): "Wenn Sie nur eine Sache auswählen könnten, um den Preis zu senken – um die Armut zu verringern – würden Sie sich bei weitem für Energie entscheiden." Weltweit könnte billige Energie die Welt mit reichlich Trinkwasser und reichlich Nahrung versorgen, die unter [künstlichem Licht](#) angebaut wird.

Die Ideen der Science-Fiction wurden [vor allem dort verwirklicht, wo sie nicht viel Energie benötigen](#). Mit Smartphones haben wir fast übertroffen, was die Science-Fiction für möglich gehalten hat, aber sie verbrauchen sehr wenig Strom. Es ist der hohe Energiepreis, der Mondbasen, bemannte interplanetare Reisen und fliegende Autos verhindert hat. Schneller Transport ist ein wichtiger Energieverbrauch.

Die Sterne zählen

Wenn sich die Geschwindigkeitstrends seit den 1970er Jahren fortgesetzt hätten, könnten Flugzeuge Sie in 22 Minuten von New York nach San Francisco bringen. Die Energiekosten sind ein enormes Hindernis für den technologischen Fortschritt.

Atomkraft ist ein Teil der Natur

Uran ist keine Seltenheit. Allein die Ozeane enthalten etwa 4,5 Milliarden Tonnen gelöstes Uran, wobei im Laufe der geologischen Zeit weitere Milliarden Tonnen auf dem Meeresboden kristallisierten. Das ist, bevor man überhaupt zum Uran in der Kruste kommt, das wir heute als unsere Haupturanquelle abbauen. Mit "Brutreaktoren" können wir gebrauchtes Uran sogar selbst in [einen besser nutzbaren Brennstoff umwandeln](#). Uran wird auch weiterhin im Weltraum hergestellt: Atomkraft ist eine funktionell erneuerbare Ressource. Es ist schwer vorstellbar, dass uns der Kernbrennstoff ausgehen könnte, bevor wir die Technologie für weltraumgestützte Solarenergie haben, die die Wetterprobleme mit Solarenergie auf der Erde vermeiden wird.

Uranatome gibt es in verschiedenen Typen oder "Isotopen". Alle haben 92 Protonen in ihrem Kern, aber jedes Isotop hat eine andere Anzahl von Neutronen. Das häufigste Isotop, das über 99 Prozent des Urans auf der Erde ausmacht, hat 146 Neutronen. Es ist als Uran-238 bekannt (238 ist das Molekulargewicht, d. h. 92 Protonen plus 146 Neutronen). Das nächsthäufigste hat 143 Neutronen und ist als Uran-235 oder U-235 bekannt.

Uran-235 reagiert viel stärker auf Neutronenstrahlung als U-238. Es wird sich in zwei kleinere Atome aufspalten oder "zerfallen" in einem Prozess, der als "Spaltung" unter einer Vielzahl von Neutronenstrahlungsarten bekannt ist, auch wenn es von einem Neutron eines anderen zerfallenden Atoms von U-235 getroffen wird. Wenn es wiederum zerfällt, emittiert es wiederum Neutronen und so weiter in einer Kettenreaktion, wodurch Wärme entsteht. Diese besondere Eigenschaft bedeutet, dass Uran, das in einem sogenannten "Reaktor" enthalten ist, Wasser zu Dampf erhitzen und Turbinen zur Stromerzeugung antreiben kann – so wie in einem Kohlekraftwerk ein Kohleofen Wasser erhitzt, um Turbinen anzutreiben. Wir nennen das ein Kernspaltungskraftwerk.

Versionen solcher Reaktoren, bei denen sich Uranatome in einer Kettenspaltungsreaktion in leichtere Elemente aufspalten, gibt es auch in der Natur. Die Franzosen entdeckten, dass ein [natürlicher Kernreaktor](#) in der Oklo-Mine in Gabun seit [Millionen von Jahren mit Unterbrechungen in Betrieb war](#). Wasser war tief unter der Erde in Flöze aus natürlichem Uran eingedrungen. Genau wie in einigen Kernkraftwerken fungierte dieses Wasser damals als natürlicher "Moderator", der die durch den Zerfall von U-235 emittierten Neutronen so weit verlangsamt, dass es wahrscheinlicher war, dass sie ein weiteres Atom von U-235 spalteten. Wenn die Kettenreaktion zu schnell ablief, kochte das Wasser zu Dampf, der Neutronen nicht so gut abbremst, und die Kettenreaktion verlangsamt sich oder stoppte wieder. Im Laufe der Zeit war ein Teil der U-235 aufgebraucht.

Die Sterne zählen

Lange nachdem die Reaktionen beendet waren, wurde das Erz abgebaut, und der geringere Anteil von U-235 im geförderten Erz löste Alarm und Befürchtungen aus, dass Terroristen einen Teil des fehlenden U-235 gestohlen hatten. Als sie nachforschten, entdeckten sie die natürliche Spaltreaktion.

Die unglaubliche Dichte der Atomkraft

Uran hat so viel Potenzial für Gutes und Schlechtes, weil es Energie so dicht speichert. Ein Gramm Uran kann etwa [zwei Millionen Mal](#) mehr Energie liefern als ein Gramm Kohle. Britische Atom-U-Boote werden von einem Kernreaktor von der Größe eines Fasses angetrieben, der 30 Jahre lang genug Strom liefert, um eine kleine Stadt zu betreiben. Die Atombombe, die Hiroshima zerstörte, "Little Boy", war etwa drei Meter lang und hatte einen Durchmesser von weniger als einem Meter. Das hochangereicherte Uran im Inneren nur 64 kg, aber die Bombe erzeugte eine Explosion, die 16.000 Tonnen TNT entsprach.

Prinzipiell könnte die Kernenergie die ideale Stromquelle sein. Uran ist in stabilen, demokratischen Ländern weit verbreitet. Kernkraftwerke verbrauchen weniger Land, Arbeitskräfte und Ressourcen als die Stromerzeugung aus Solar- oder Windenergie – und leiden nicht unter den gleichen Schwankungen und Unzuverlässigkeiten, die bedeuten, dass diese Energieformen durch Speicher oder alternative Energiequellen unterstützt werden müssen. Die Spaltung erzeugt keinen sauren Regen und stößt keine Stickoxide oder Feinstaubpartikel aus, durch die Kohle jedes Jahr Millionen von Menschen tötet. Im Gegensatz zu Kohlenwasserstoffen kann es keine Kohlenstoffemissionen verursachen. Und vor allem ist da diese unglaubliche Energiedichte, was bedeutet, dass es billig ist, es abzubauen, zu transportieren und auszubeuten.

Seine unglaubliche Energiedichte birgt jedoch auch Risiken. Kernkraftwerke können selbst keine Explosionen wie Atombomben verursachen, selbst im schlimmsten Fall einer unkontrollierten Kernschmelze, bei der die Kernreaktion außer Kontrolle gerät und den Brennstoff und andere Teile des Reaktors schmilzt. Aber sie können Schaden anrichten: Austreten von radioaktivem Material durch Kernschmelzen, andere Unfälle oder Sabotage; und das Risiko, dass ihr Brennstoff von einem abtrünnigen Akteur verwendet wird, um eine Atombombe zu bauen.

Das Risiko durch radioaktive Leckagen ist sehr real. Das Kraftwerk in Tschernobyl hatte ein riskantes, im Westen illegales Design, das es ihm ermöglichen sollte, weniger angereichertes Uran zu verwenden, um die Kosten zu senken. Aber selbst diese Katastrophe verursachte wahrscheinlich in [der Größenordnung von 100 Toten](#). Zwei Arbeiter starben bei der Explosion; 28 Arbeiter und Feuerwehrleute in den folgenden Wochen an akutem Strahlensyndrom, auch bekannt als Strahlenvergiftung; bis zu 19 weitere starben später; und etwa 15 Menschen starben an Schilddrüsenkrebs aufgrund von Milchverunreinigungen. 100 Todesopfer sind weniger als bei einem schweren Flugzeugabsturz. Und Flugzeugabstürze, so selten sie auch geworden sind, sind immer noch weitaus häufiger als Reaktorschmelzen.

Die Sterne zählen

Es wird angenommen, dass die andere größte nukleare Katastrophe im viel sichereren Fukushima [keine Todesfälle direkt durch Strahlung verursacht hat](#), obwohl sie wahrscheinlich Todesfälle durch den [Stress der Evakuierung verursachte](#) und einige Krebserkrankungen unter denen, die in der Nähe des Kraftwerks lebten, beschleunigt haben könnte.

Insgesamt ist die Kernenergie zwar real, aber [pro erzeugter Kilowattstunde \(kWh\) Strom hundertmal sicherer als fossile Brennstoffe](#) – sie ist sogar sicherer als die Windkraft, die eine ganze Reihe von Bauunfällen mit sich bringt. Der Unterschied besteht darin, dass gelegentlich ein nuklearer Unfall auf einmal passiert und in den Nachrichten auftaucht, so dass man sich viel leichter daran erinnern kann. Es ist auch einfacher, die Betroffenen zu identifizieren als Menschen, die an der Luftverschmutzung durch Kohle oder Öl sterben. Und wir wurden regelmäßig durch [Filme über die sehr realen Risiken von Atombomben an die](#) schädlichen Auswirkungen übermäßiger Strahlendosen erinnert.

Das andere Risiko ist als "Proliferationsrisiko" bekannt: die Sorge, dass zivile Kernenergie militärische Nuklearprogramme unterstützt. Aber Atomreaktoren können nicht zu Atombomben werden, und zivile Reaktoren verwenden keinen Brennstoff, der ohne massive weitere Anreicherung in einer Bombe verwendet werden könnte.

Natururan besteht zu etwa 0,7 Prozent aus U-235. Die meisten Kernreaktoren auf der ganzen Welt verwenden eine Mischung aus Uran, das durch einen Prozess namens "Anreicherung" konzentriert wurde, um den Anteil von U-235 auf drei bis fünf Prozent zu erhöhen. (Eine Ausnahme bilden die kanadischen CANDU-Reaktoren, die speziell für die Verwendung von natürlichem Uran ausgelegt sind, aber teures "schweres" Wasser als Moderator verwenden müssen.)

Aber selbst dieser höhere Anteil an U-235 ist nicht annähernd stark genug, um eine Atombombe zu bauen. Wenn ein Kernreaktor ausfällt, schmilzt der Kern – der Teil, der den Brennstoff enthält, der die Wärme erzeugt – ein. Eine solche Kernschmelze führte zum ["Elefantenfuß"](#) aus geschmolzenem Kern, der unter dem Reaktor von Tschernobyl gefunden wurde und nach seiner charakteristischen Form benannt ist. Die kleine Explosion in Tschernobyl wurde durch Kühlwasser verursacht, das bei Kontakt mit der Hitze dieses schmelzenden Kerns schnell zu Dampf kochte, und nicht durch ein inhärent nukleares Phänomen. Um aus Uran eine Atombombe zu machen, die in der Lage ist, Gebäude großflächig dem Erdboden gleichzumachen, benötigte Little Boy einen Anteil von 80 Prozent Uran-235. Diese Reinheit erfordert einen langen, technisch schwierigen Prozess der weiteren Anreicherung.

Einige der strengen Vorschriften für die Kernenergie – die, wie ich weiter unten darlegen werde, sie weitaus teurer gemacht haben – sind zweifellos auf die Besorgnis der Öffentlichkeit über Atomwaffen zurückzuführen. Aber das Verbot der Atomkraft in den USA oder Großbritannien, wie wir es getan haben, hindert einen Schurkenstaat nicht daran, natürliches Uran zu gewinnen und es schließlich zu einer Bombe zu veredeln. Unabhängig davon, ob wir Atomkraft haben oder nicht, müssen wir uns vor den Risiken von Anreicherungsanlagen in anderen Ländern schützen.

Die Sterne zählen

Wenn die USA oder Großbritannien billige Anreicherungsdienste anbieten können, können wir das Risiko verringern, dass Länder beschließen, ihre eigenen Anreicherungsanlagen zu bauen, und das Risiko verringern, dass mehr Staaten Atomwaffen erhalten

Brauchen wir Spaltung?

Eine Ansicht ist, dass wir keine Kernenergie brauchen werden, da wir Wind-, Solar- und andere erneuerbare Energietechnologien schnell verbessern. Ja, die Kernenergie sei zu Unrecht verleumdet worden, so die Ansicht, und ja, wir hätten früher mehr davon umsetzen müssen. Aber jetzt sind die politischen Hürden zu groß, und wenn wir es schaffen, eine steinige und schwierige Zeit der Energiewende zu überstehen, müssen wir diese Hindernisse nicht überwinden: Schnelle Verbesserungen der Solarenergie in Kombination mit Energiespeicherung und Fernübertragungsleitungen könnten es wirtschaftlich machen, den gesamten Strom, den wir benötigen, aus dem US-Sonnengürtel oder der Sahara zu erzeugen, ohne dass Atomkraft benötigt wird.

Und wir könnten an der Schwelle zur praktischen Fusionskraft stehen. Privates Kapital tätigt endlich [große Investitionen in](#) das Unternehmen, wie zum Beispiel die [375 Millionen US-Dollar, die Sam Altman in Helion investiert hat](#). Fusionsanlagen sind wahrscheinlich sicherer als herkömmliche Kernspaltungsanlagen, da sie hauptsächlich kein radioaktiv angereichertes Uran oder Plutonium als Brennstoff verwenden und keine langlebigen Radioisotope produzieren, die zu den gefährlichsten Arten von Atommüll gehören. Auch bei Fusionsanlagen besteht bei einem Ausfall keine Kernschmelzgefahr.

Diese Anti-Spaltungs-Sichtweise birgt die Gefahr, dass wir unsere Eier in ein paar unzuverlässige Körbe legen. Selbst wenn diese Durchbrüche zustande kommen, könnten sie ohne mehr Spaltkraft in naher Zukunft zu langsam kommen, als dass wir die Kohlenstoffemissionen in dem Maße reduzieren könnten, wie es erforderlich ist. Die deutsche Energiewende wird bereits durch die vorzeitige Abschaltung der Kernkraftwerke gefährdet, die die Abhängigkeit von den schmutzigsten und gefährlichsten Braunkohlekraftwerken sowie den Verlust von Industrie an Länder mit billigerem Strom erzwingt.

Wir stellen uns auch politischen und geophysikalischen Risiken in den Weg. Was ist, wenn der Widerstand der Bevölkerung gegen eine neue Übertragungsinfrastruktur eine schnelle Anpassung des Netzes verhindert, um genügend erneuerbare Energie zu ermöglichen? Oder was ist, wenn ein Supervulkan wie Toba ausbricht und Staubwolken erzeugt, die jahrelang das Sonnenlicht blockieren und eine Gesellschaft, die stark von Solarenergie abhängig ist, ins neunzehnte Jahrhundert zurückschickt? Kernkraftwerke hätten diese besonderen Risiken nicht.

Und wir setzen auf die Entwicklung verschiedener Technologien, die es einfach noch nicht gibt. Im Jargon der Netzbetreiber sind Solar- und Windenergie nicht "regelbar" – wir können nicht kontrollieren, wann sie Strom produzieren. Wolken blockieren die Sonne; Der Wind hört auf zu wehen.

Die Sterne zähmen

Um eine stetige Stromversorgung zu gewährleisten, müssten wir, wenn wir hauptsächlich auf Wind und Sonne setzen würden, die Energie in irgendeiner Form speichern. Dies könnte durch Verbesserungen bei Pumpspeicherkraftwerken, Lithium-Ionen-Batterien oder durch das Abkühlen von Luft auf flüssige Form und das anschließende Verdampfen zur Stromerzeugung erreicht werden. Weitere Möglichkeiten sind die Speicherung von Energie durch Komprimieren von Luft oder durch das Anheben schwerer Massen. Oder wir könnten überschüssige Energie nutzen, um Wasser in Wasserstoff zu spalten und zu speichern. Aber jede dieser Optionen ist derzeit noch ziemlich teuer, und die Speicherung von Wasserstoff birgt ihre eigenen Risiken.



Bild von Nationaal Archief. Wikimedia-Lizenz.

Heutige Kernkraftwerke sind nicht ganz so regelbar wie Gaskraftwerke: Eine Reduzierung der Leistung kann den Brennstoff ungleichmäßig und ineffizient verbrennen. Aber solange der Treibstoff billig ist, ist das kein großes Problem: Die überschüssige Energie kann einfach als Wärme abgeführt werden, wie es nuklear angetriebene U-Boote bereits tun.

Viele verweisen auf die niedrigen Stromgestehungskosten (LCOE) von Wind- und Solarenergie als Beweis dafür, dass die ausschließliche Nutzung dieser Quellen billiger wäre.

Die Sterne zählen

Aber, wie Michael Cembalest von JP Morgan [betont hat](#), beinhalten die Stromgestehungskosten nicht:

- a) die Notwendigkeit von Notstromversorgung, Speichern und Reservemargen zur Aufrechterhaltung der Systemzuverlässigkeit*
- b) den Wert des Stroms, der zu verschiedenen Tages- oder Jahreszeiten geliefert wird;*
- (c) die Notwendigkeit, Wind- und Solarkapazitäten zu überbauen, um die Nachfrage in stark dekarbonisierten Systemen zu decken;*

Mit anderen Worten, die Stromgestehungskosten messen nur die Kosten einer marginalen MWh Wind- oder Solarenergie und beinhalten in der Regel keine dieser anderen Kapital- oder Betriebskosten.

Die abgestufte Kalkulation ist einfach nicht ausreichend, um die Gesamtsystemkosten für Regierungen und Verbraucher abzuschätzen. Wir haben noch nicht die Technologie entwickelt, um kostengünstig genug Energie zu speichern, um ein Land für die Tage oder Wochen mit Strom zu versorgen, die *eine Dunkelflaute* oder eine ruhige und bewölkte Periode dauern könnte. Wir werden es wahrscheinlich mit der Zeit tun. Aber wir können noch nicht sicher sein, wann.

Das Fusionsdesign ist nicht ohne Risiken, einschließlich des (potenziell viel geringeren) Risikos, radioaktives Material freizusetzen. Und die Kernfusion ist noch weit davon entfernt, kommerziell rentabel zu sein. Das berühmte, kürzlich erfolgreiche Experiment am Lawrence Livermore National Lab in den USA schaffte es nur, die Gewinnschwelle in Bezug auf die erzeugte Energie zu erreichen und nur einen sehr geringen Überschuss zu erzeugen – bei weitem nicht genug, um seine wirtschaftlichen Kosten zu decken. arabische Ziffer

Wenn die Dinge perfekt laufen, brauchen wir vielleicht keine Spaltenergie. Aber wenn die Dinge nicht nach Plan laufen, können wir froh sein, dass es Teil unseres Energiemixes war.

Die Geschichte bisher: Atomkraft in den USA

Einst galt die Kernenergie weithin als große Hoffnung für die Zukunft. Der Traum war, dass es Strom liefern könnte, der "zu billig ist, um gemessen zu werden", so wie es heute an einigen Orten kein Wasser oder keine Datendownloads gibt. In den 1960er Jahren, als Kohle am billigsten war, auch ohne dass Kohlekraftwerke für ihre Kohlenstoffemissionen belastet wurden, und als die Kernkraftwerkstechnologie noch in den Kinderschuhen steckte, konkurrierte die Kernenergie preislich mit der Kohlekraft. Es könnte im [Jahr 2023 Strom für etwa 0,03 US-Dollar pro kWh liefern](#), was weniger als der Hälfte der aktuellen US-Strompreise entspricht.

Das Problem lag in den externen Effekten.

Die Sterne zählen

Neue Technologien können auch mit negativeren externen Effekten wie Staub, Staus, Licht, Gerüchen oder Lärm einhergehen. Und je wohlhabender wir im Laufe der Jahrhunderte werden, desto wählerischer werden wir, was wir uns gefallen lassen. Die Wählerinnen und Wähler wünschen sich mehr Schutz vor externen Effekten.

Wir haben diese größere Bedeutung von externen Effekten im Laufe der Zeit mit den immer strengeren Regeln zur Verhinderung von Bränden gesehen. Nach dem Großen Brand von London verlangten neue Gesetze, dass Häuser aus Ziegeln gebaut werden mussten, wobei alle Holzfenster von der Vorderseite des Hauses zurückgesetzt wurden – daher die eingelassenen Schiebefenster, die heute historische Londoner Häuser charakterisieren. Insgesamt geben allein die Amerikaner [jedes Jahr rund 270 Milliarden US-Dollar](#) aus, um Brände zu verhindern und zu entschärfen.

Wir haben diese Forderung nach Schutz vor externen Effekten auch mit der Zunahme von Gesetzen gegen den Bau von mehr Häusern im Laufe des zwanzigsten Jahrhunderts gesehen, [für die](#) sich bestehende Hausbesitzer eingesetzt haben, die bestimmte Merkmale ihrer lokalen Gebiete erhalten wollen. Und wir haben es mit zunehmenden Gesetzen zum Schutz vor den Spillover-Effekten der Stromerzeugung gesehen: Gesetze gegen den Ausstoß von mehr Rauch, Schwefel, Blei und Kohlendioxid. Und Strahlung.

Regeln über die Landnutzung aufzustellen, ist oft politisch heikel, weil Entscheidungen andere Menschen in großem Umfang und dauerhaft beeinflussen können. In einer Hinsicht ist es einfacher, Regeln für Energie aufzustellen, als Regeln zu erlassen, wo Häuser gebaut werden dürfen. Die meisten Wählerinnen und Wähler verkaufen keinen Strom aus dem eigenen Kraftwerk, und fast alle begrüßen billigeren Strom. Aber viele Wähler machen sich Sorgen über die Umweltverschmutzung und andere Nachteile neuer Kraftwerke.

Nach den optimistischen Anfängen der Kernenergie in den 1950er Jahren wuchs die Besorgnis über die Verbreitung von Atomwaffen. Die U.S. Nuclear Regulatory Commission (NRC) wurde 1974 vom Kongress als unabhängige Behörde gegründet.

Nach der teilweisen Kernschmelze im Kernspaltungskraftwerk Three Mile Island im Jahr 1979 wandte sich die öffentliche Meinung noch stärker gegen die Atomkraft. Die tatsächliche Freisetzung von Strahlung mag winzig gewesen sein – für die 2,2 Millionen Menschen, die in der Nähe des Kraftwerks leben, [ist das ungefähr so viel, wie jemand, der einen einzigen Flug von New York nach Los Angeles nimmt, ausgesetzt wäre](#), aber die Öffentlichkeit war zu Recht wütend, dass sie belogen worden war, und verlor das Vertrauen in das Atomkraft-Establishment.³ Die darauf folgende drastisch verschärfte Regulierung fand in der Öffentlichkeit großen Rückhalt.

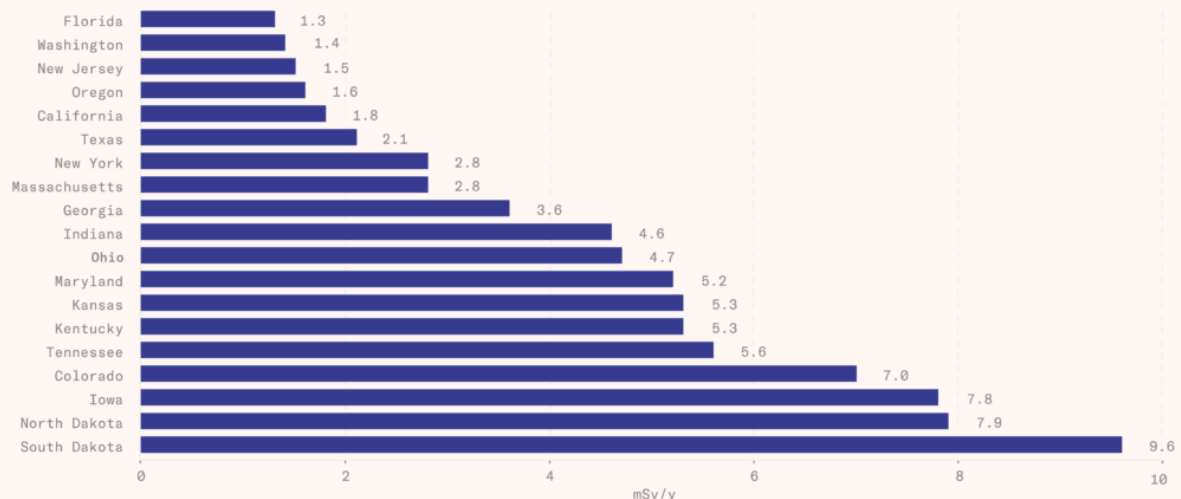
Die daraus resultierenden [Richtlinien der Environmental Protection Agency \(EPA\)](#) zur Kernenergie, die bis heute in Kraft sind, verlangen eine obligatorische Massenevakuierung, wenn die Bürger mehr als ein Jahr nach einem Leck Gefahr laufen, geringen jährlichen Strahlungswerten (fünf Millisievert/Jahr) ausgesetzt zu sein, die weit unter dem liegen, was die Einwohner von Denver – oder Maryland, Kansas, Kentucky, Tennessee, die Dakotas und Iowa – jedes Jahr Erfahrungen aus der natürlichen Hintergrundstrahlung von Mineralvorkommen.

Die Sterne zählen

Die Pro-Kopf-Krebssterblichkeit in Denver liegt genau in der [Mitte](#) der US-Spanne, etwas niedriger als die von [Los Angeles](#), obwohl der Bundesstaat Kalifornien eine weitaus geringere Hintergrundstrahlung aufweist als Colorado. Tatsächlich [implizieren die Richtlinien der EPA](#) zur Umsiedlung aufgrund von Strahlenbelastung, dass weite Teile des US-Bergwestens, einschließlich Denver, entvölkert werden sollten.

Annual background doses in the United States

Average annual background doses in mSv/y by state



[source: J. Mauro and N. Briggs. 2005. Assessment of variations on radiation exposure in the United States. Technical report, US EPA]

Made by: Francesca Mauri, Sara Ferrini



So tun, als gäbe es keine Kompromisse

Die obligatorische Evakuierung großer besiedelter Gebiete ist kostspielig. Aber es ist nur ein Beispiel für eine noch teurere regulatorische Denkweise, die immer teurerer Sicherheit Vorrang einräumt, selbst wenn mehr Leben gerettet werden könnten, wenn diese Ressourcen an anderer Stelle eingesetzt würden. Diese Denkweise ist in einem Regelungsgrundsatz namens "ALARA" (so niedrig wie vernünftigerweise erreichbar) verankert.

ALARA ist definiert als:

alle zumutbaren Anstrengungen zu unternehmen, um die Strahlenexposition *so weit unter den Dosisgrenzwerten in diesem Teil* zu halten, wie es mit dem Zweck, für den die genehmigte Tätigkeit ausgeübt wird, vereinbar ist, unter Berücksichtigung des Stands der Technik, der Wirtschaftlichkeit der Verbesserungen in Bezug auf den Nutzen für die öffentliche Gesundheit und Sicherheit, und andere gesellschaftliche und sozioökonomische Erwägungen sowie in Bezug auf die Nutzung der Kernenergie und der lizenzierten Materialien im öffentlichen Interesse. ⁴

So wie es derzeit auf die Kernenergie angewandt wird, bedeutet ALARA wörtlich, dass alle Ausgaben aufgewendet werden müssen, um alle möglichen Auswirkungen der Kernenergie zu beseitigen, zumindest bis den resultierenden Strom nicht billiger ist als das, was der Markt für Strom aus nicht-nuklearen Quellen zahlt.

Die Sterne zählen

Da die Standards nicht nach unten, sondern nur nach oben steigen können, verfestigen sich Sicherheitsstandards, die an der Spitze der Energiepreisspitzen gerade noch erschwinglich sind, was bedeutet, dass die Kernenergie bis zur nächsten Preiserhöhung unerschwinglich wird – was sie noch teurer macht, da sie das Lernen und die Skaleneffekte verhindert, die eine stetige Pipeline von Projekten ermöglichen kann. ALARA, wie es derzeit in den USA und einem Großteil der übrigen Industrieländer angewandt wird, bedeutet, dass Atomkraft niemals billiger sein darf, egal wie viel sicherer und sauberer sie ist als *andere* Energiequellen. Sie macht bezahlbare, sichere Kernenergie unmöglich und zwingt uns, stattdessen auf viel weniger sichere Energiequellen angewiesen zu sein.

Die US-Atomaufsichtsbehörden unterscheiden zwischen Komponenten, die sicherheitskritisch sind – was für die Kontrolle der Strahlenbelastung unerlässlich ist – und solchen, die es nicht sind. Die Komponenten, die nicht sicherheitskritisch sind, unterliegen jedoch weiterhin einem vergoldeten ALARA-Standard. Das bedeutet, dass die gleiche Komponente unterschiedlich geregelt wird, je nachdem, ob sie sich in einem Kohlekraftwerk oder einem Kernkraftwerk befindet, auch wenn sie weit vom Reaktor entfernt ist und diesen nicht beeinflussen kann.

ALARA, das 1971 eingeführt wurde, und die Denkweise, sich zu weigern, Kosten-Nutzen-Analysen in Betracht zu ziehen, die es veranschaulicht, sind ein Hauptgrund dafür, dass kein kommerzieller US-Reaktor, der zwischen Januar 1978 und [Vogtle Block 3](#) im April 2023 eine Baugenehmigung erhalten hatte, [in Betrieb genommen werden konnte](#). Und da die USA der größte Markt für Elektrizität und eines der wenigen Länder mit leichtem Zugang zu angereichertem Uran sind, hat dies die Innovation in der Kernenergie stark eingeschränkt.

Andere Probleme, wie z. B. häufige Änderungen der Vorschriften, sind [wahrscheinlich ein weiteres großes Problem](#). Wie bei ALARA sind diese häufigen Änderungen der Vorschriften auf das Ziel zurückzuführen, die Risiken auf ein immer geringeres Maß zu reduzieren, unabhängig von den Kosten. Aber die ständigen Veränderungen erhöhen [die Arbeitskosten](#) für den Bau von Kernkraftwerken, sowohl durch die Erhöhung der zu erledigenden Arbeit als auch durch die Notwendigkeit, die Entwürfe wiederholt zu überarbeiten.

Die Kosten des Atomverbots

Alles, was wir im Leben tun, sogar das Aufstehen, beinhaltet eine Abwägung von Risiken und Vorteilen. Das Streben nach Null Strahlenbelastung in unserem täglichen Leben, selbst wenn es möglich wäre, wäre mit absurden Kosten verbunden, die kein vernünftiger Mensch bereit wäre zu tragen. Jedes Mal, wenn wir nach draußen gehen, bekommen wir einen Strahlungsstoß von einem riesigen Kernfusionsreaktor ab. Die Sun hätte unter dem derzeitigen Regime niemals die NRC-Zulassung erhalten, angesichts der Millionen von Fällen von Hautkrebs pro Jahr. Frédéric Bastiat, der eine satirische [Petition](#) von Kerzenmachern gegen die Konkurrenz durch die Sonne verfasste, wäre amüsiert gewesen.

Die Sterne zählen

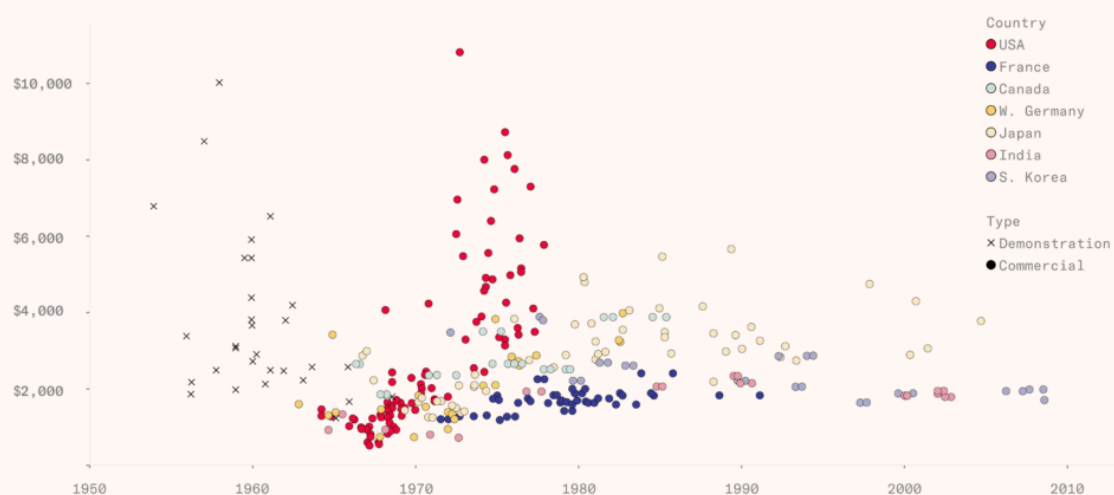
Unter ALARA hätten unsere Vorfahren niemals Feuer für Wärme oder Wärme verwendet. Unbewachtes Feuer kann sich unkontrolliert ausbreiten und in großer Zahl töten. Es ist viel sicherer, sich an Lebensmittel zu halten, die nicht gekocht werden müssen, und längere Eingeweide für die Verdauung zu verwenden, die weniger Stoffwechselüberschuss für ein größeres Gehirn übrig lassen. Wer braucht schon Unterkunft, Kultur, Internet und Schutz vor Infektionskrankheiten?

Die Regulierungsbehörden sind verständlicherweise immer bestrebt, Risiken zu vermeiden, für die sie verantwortlich gemacht werden könnten, erhalten aber selten Anerkennung für neue Innovationen unter ihrer Aufsicht. Ihre Risikobereitschaft ist also asymmetrisch.

Aber die Verhinderung von Investitionen in eine potenziell saubere, grüne und billige Energiequelle hat zu tiefgreifenden Schäden für die menschliche Gesundheit, die Umwelt und die Löhne geführt. Zwei Drittel aller neuen Kraftwerke, die 1966 in den USA in Betrieb genommen wurden, waren Kernkraftwerke. [Einer Schätzung zufolge](#) hätte die Kernenergie in diesem Zeitraum 186.000 zusätzliche TWh erzeugt, wenn der Ausbau der Kernenergie bis 2015 fortgesetzt worden wäre, genug, um Gas- und Kohlekraft zu ersetzen und 174 Gigatonnen CO₂ zu erzeugen, um 9,5 Millionen vorzeitige Todesfälle zu verhindern. In diesem Szenario wäre die Kernenergie für den überwiegenden Teil der Energieerzeugung verantwortlich, und die gesamte Kohlekraftwerksflotte sowie drei Viertel der heutigen Gasflotte wären nie hochgefahren worden. Einige der Milliarden von Menschen, die mit offenem Feuer kochen und heizen und feuerbetriebene Öfen in Innenräumen verschmutzen, hätten auf das Kochen mit Strom umsteigen können, was wiederum Millionen von Todesfällen durch Luftverschmutzung in Innenräumen erspart hätte. Die Zahl der Todesfälle durch verunreinigtes Wasser hätte verringert werden können, wenn mehr Menschen mit sauberem Wasser und sanitären Einrichtungen versorgt worden wären.

Construction costs of nuclear reactors

Overnight construction costs in 2010 US dollars. Costs are adjusted by local GDP deflator



[source: Lovering et al. 2016. Historical Construction Costs of Global Nuclear Power Reactors]
Made by: Francesca Mauri, Sara Ferrini



Stattdessen explodierten die [Kosten für Atomstrom in den USA](#) – im Gegensatz zu allen amerikanischen kommerziellen Reaktoren –, nachdem sich die öffentliche Meinung und die Regulierung gegen die Kernenergie gewandt hatten. Amerika war nicht allein.

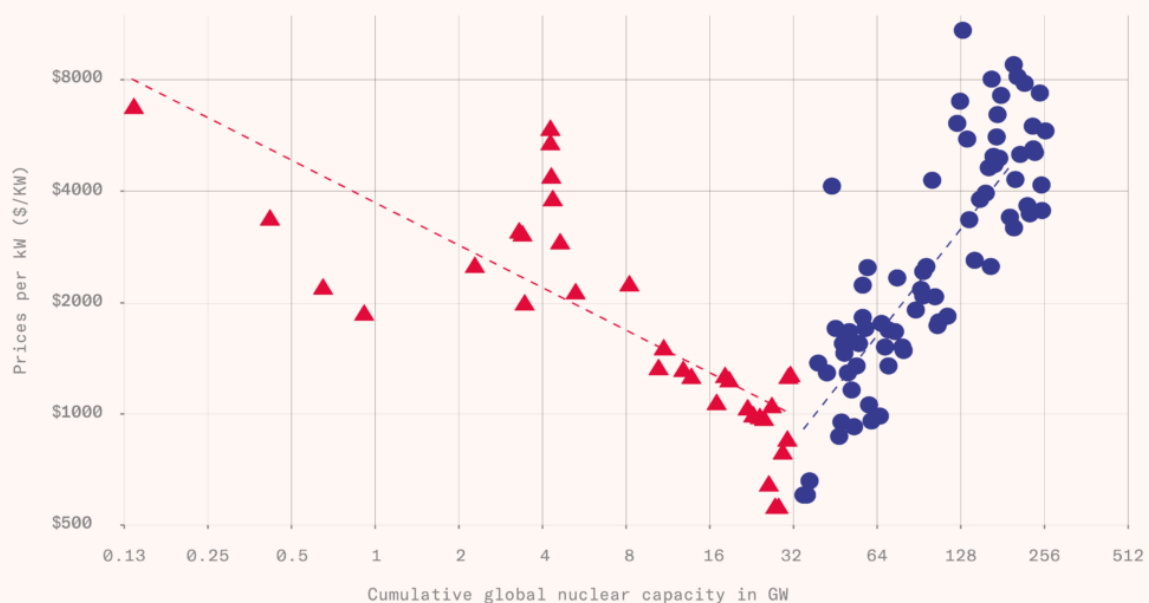
Die Sterne zählen

Aber nicht jedes andere westliche Land hatte die gleichen Probleme. Frankreich, Korea und Japan hielten ihre Kosten etwas niedriger. Obwohl keines von ihnen die Kernspaltung perfekt geregelt hat, hat Korea mit ALARA die Atomkraft nicht aus der Welt geschafft. China investiert nun massiv in die Technologie. Die Regierung plant, bis 2035 fast das Doppelte der derzeit installierten Kernkraftkapazität der USA zu haben, und scheint [zu niedrigeren Kosten als Kohle zu bauen](#). Diese Länder zeigen, dass bezahlbare Atomkraft erreichbar ist, aber die Vereinigten Staaten und der größte Teil Europas bleiben auf der Strecke.

Die USA, Großbritannien und andere Industrieländer könnten Kosten und Sicherheit auf dem Niveau Koreas, Japans und Frankreichs genießen, indem sie die Art und Weise, wie sie die Kernenergie regulieren, verbessern.⁵ Das würde ihnen sichere, saubere Energie auf Abruf geben und ihre Energieprobleme lösen. Es würde sie wesentlich besser stellen.

Es könnte auch einen innovativen Kreislauf in Gang setzen, der die Dinge noch besser machen und die Lernkurve, die in den 1970er Jahren unterbrochen wurde, wieder in Gang setzen würde.

Costs of US nuclear plants before and after trend reversal in the 1970s
Cumulative US nuclear power capacity in GW



[source: Lang et al. 2017. Nuclear Power Learning and Deployment Rates; Disruption and Global Benefits Forgone]
Made by: Francesca Mauri, Sara Ferrini



Können und sollten wir die Lernkurve neu starten? Die Kernenergie birgt Risiken, und wenn man mehr davon zulässt, können sie diese noch erhöhen, auch wenn sie das Gesamtrisiko und den Schaden, der durch die Energieerzeugung im Allgemeinen entsteht, senkt. Es mag Wege geben, bessere Entscheidungen zu treffen, die genauer widerspiegeln, was die Menschen eines bestimmten Staates wollen, ohne andere Staaten zu beeinträchtigen, und die es uns dennoch ermöglichen, den Fortschritt bei der Kernspaltung wieder aufzunehmen.

Die Sterne zählen

Neue Wege in die Zukunft? Staatliche regulatorische Sandkästen

Viele Kampagnen, um den Ruf der Atomkraft aufzupolieren, sind gescheitert. Fast die Hälfte der US-Öffentlichkeit sieht sie negativ, was sie zur unbeliebtesten Energiequelle [neben Kohle macht](#). Obwohl viele andere es wahrscheinlich mit den vollständigen Fakten belegen würden, könnte es schwierig und teuer sein, diese Informationen an sie zu bringen. Aber es ist nicht notwendig, die gesamte Bevölkerung der USA davon zu überzeugen, dass Atomkraft wünschenswert ist. Es sollte ausreichen, dass die Bürger eines bestimmten Staates selbst entscheiden wollen, solange mögliche negative Auswirkungen in diesem Staat enthalten sind. Atomkraftwerke werden oft von der Basis unterstützt, die in der Nähe leben: Das Kraftwerk Diablo Canyon wurde [durch eine Kampagne mit lokaler Unterstützung](#) gerettet.

Bei einem Tauziehen ist es oft überraschend, wie weit man sich bewegen kann, wenn man versucht, [das Seil seitlich zu ziehen](#). Wie bei so vielen anderen kontroversen Themen ist es vielleicht am einfachsten, Fortschritte zu erzielen, wenn wir Reformoptionen finden, die in eine Richtung gehen, die weniger Menschen kontrovers finden. Statt zu versuchen, gegen heftigen Widerstand landesweite Gesetzesänderungen durchzusetzen, gelingt es manchmal, Kompromisse zu finden, mit denen fast alle leben können.

Eine Möglichkeit wäre, jedem Staat die Möglichkeit zu geben, die Führung bei der Kernenergie zu übernehmen, wenn er dies wünscht. Die Stromkosten in den USA betragen etwa [0,15 \\$/kWh](#). Wenn eine bessere Rechtsetzung die Kosten wieder auf die 0,03 \$/kWh senken könnte, die sie in den 1960er Jahren hatten (in heutigem Geld) – aber wenn man alle zwischenzeitlichen Verbesserungen in Bezug auf Effizienz und Sicherheit hinzurechnet, die zu diesem Preis erreichbar sind –, dann könnten die betroffenen Staaten Kosten haben, die weit unter denen des Rests der Union liegen.

Diese Staaten könnten nicht nur billigeren Strom für Wohn- und Industriezwecke nutzen, sondern auch die Heimat einer großen neuen Industrie werden. Die gesamte Stromerzeugung in den USA belief sich im Jahr 2020 auf 4.000 TWh, der Umsatz an die Endverbraucher belief sich auf [391 Milliarden US-Dollar](#). Mit mehr Angebot und niedrigeren Preisen könnte dieser Markt viel größer sein, ebenso wie energieintensive Wirtschaftssektoren, die niedrigere Inputkosten genießen würden. Die siegreichen Staaten könnten letztendlich eine neue Industrie mit Arbeitsplätzen im Wert von Dutzenden oder sogar Hunderten von Milliarden Dollar pro Jahr ernten, die Milliarden von Steuergeldern generieren, die den derzeitigen Einwohnern dieses Staates zugutekommen, sowie viel billigeren Strom für Haushaltskunden.

Dies könnte durch eine Änderung [von 42 USC § 2021 geschehen](#), die es den Staaten ermöglicht, ihre eigenen regulatorischen Sandkästen in Bezug auf alle Fragen im Zusammenhang mit der Kernspaltungsenergie zu schaffen, abgesehen von der Eindämmung von Reaktoren und dem Proliferationsrisiko. Die NRC sollte andere Staaten vor grenzüberschreitenden Auswirkungen schützen, vielleicht indem sie die Aktivitäten im Rahmen dieser Sandbox auf mindestens eine bestimmte Entfernung, vielleicht 100 Meilen, innerhalb der Staatsgrenzen beschränkt. Die Risiken durch schwach- oder mittelaktive Abfälle in einer Entfernung von 100 Meilen sind vernachlässigbar, und selbst das Risiko eines größeren Lecks wird erheblich reduziert.

Die Sterne zählen

Dies würde es den Bürgern in jedem Staat ermöglichen, zu entscheiden, ob sie wollen, dass ihr eigener Staat einige der schlecht geschriebenen Vorschriften zur Kernenergie verbessert, im Austausch für die Vorteile in Form von billigerem Strom und Arbeitsplätzen, die dadurch geschaffen werden, ohne erhebliche Risiken für Menschen in anderen Staaten zu schaffen.

Die Bürger eines Staates könnten zum Beispiel entscheiden, dass die Rettung von Tausenden von Menschenleben – durch erschwinglicheres Heizen und Kühlen, weniger Luftverschmutzung oder einen besseren Lebensstandard – die Kosten für eine bessere medizinische Versorgung möglicherweise das Risiko potenzieller Unfälle überwiegen könnten. Sie könnte beschließen, eine Kosten-Nutzen-Analyse in ihre Verordnung aufzunehmen. Das würde es ermöglichen, Kernkraftwerke auf der Grundlage dessen zu bauen, was in diesem Staat die meisten Leben retten würde, und nicht darauf, jede einzelne Komponente zu vergolden und uns mit mehr Emissionen aus fossilen Brennstoffen zu belassen. Um nicht zu viele Wähler zu verärgern, könnte der Sandkasten auf Gebiete beschränkt werden, in denen sich bereits aktuelle oder ehemalige Atomkraftwerke befinden, in denen die Anwohner die Arbeitsplätze, die die Kernenergie mit sich bringen kann, oft weitaus stärker unterstützen. Um die Reformpolitik noch einfacher zu machen, könnte festgelegt werden, dass die Sandbox nur dort gilt, wo sich [Gebiete durch Referendum oder Petition angemeldet](#) haben, oder nicht gilt, wenn Gebiete sich dagegen [entschieden haben](#). Experimente werden einfacher durchzuführen und erfolgreicher sein, wenn jeder Staat die Wahl hat, sie auszuprobieren, anstatt die gesamten Vereinigten Staaten überzeugen zu müssen.

Die Senkung der Energiekosten – ein wesentliches Gut, von dem [fast alle anderen abhängen](#) – ist ein großes und wichtiges Ziel, nicht nur für die USA und Europa. Zu lernen, wie man die Energiekosten senken kann, würde dem Rest der Welt enorme Vorteile bringen. Eine Ausweitung der Entscheidungen über neue Kernenergie auf weitere 50 Länder würde die Zahl der Bereiche, in denen Innovationen möglich sind, mehr als verdoppeln. Und jeder dieser 50 Bundesstaaten hat Zugang zu den US-Lieferungen an angereichertem Uran und potenziell Zugang zum gesamten US-Strommarkt, dem größten der Welt, was ihnen enorme Anreize gibt, zu versuchen, billig Strom zu erzeugen. Darüber hinaus kann der Atomwaffensperrvertrag es anderen Ländern in der Praxis erschweren, an nukleares Material und Technologie zu gelangen, die für Innovationen benötigt werden.

Der Vorschlag besteht darin, die Nuclear Regulatory Commission nicht daran zu hindern, an ihrem neuen Regulierungssystem für fortschrittliche Kernenergie zu arbeiten, und stattdessen vollständig zu einem staatlich gesteuerten Sandbox-Ansatz überzugehen. Die Idee ist, dass diese beiden parallel vorgehen, damit das beste Regelwerk gewinnen kann.

Selbst innerhalb von Sandkästen sollten Bedenken hinsichtlich der Verbreitung von Waffen weiterhin von der nationalen Atomaufsichtsbehörde ausgeräumt werden. Und die Regulierung des Bundes sollte immer sicherstellen, dass die Atomkraft den Bewohnern anderer Staaten nicht schadet. Die NRC sollte natürlich weiterhin die Risiken der Eindämmung von Reaktoren kontrollieren, um sicherzustellen, dass keine Kernschmelze eine Fallout-Wolke verursachen könnte, die andere Staaten betrifft.

Die Sterne zählen

Vielleicht wird kein Staat die nukleare Chance ergreifen. In diesem Fall wird es uns nicht schlechter gehen. Aber vielleicht werden einige wenige den Weg weisen, indem sie einen neuen Boom von Arbeitsplätzen und sicherem Wachstum schaffen, die Kohlenstoffemissionen ohne zusätzliche Kosten reduzieren und neue Technologien entwickeln, die dem Rest der USA und der Welt zugute kommen werden.

Wenn diese Ideen für eine intelligentere Regulierung funktionieren, können sie sich auch bei anderen Herausforderungen als hilfreich erweisen. Eine monopolistische Regulierungsbehörde ist oft nicht der beste Weg, um Innovationen zu fördern und Fortschritt zu ermöglichen, da sie [von Partikularinteressen oder Trägheit vereinnahmt werden kann](#). Energie ist nur ein Beispiel für die vielen Bereiche, in denen wir die Welt enorm verbessern könnten, indem wir lernen, besser zusammenzuarbeiten. Wir haben uns entwickelt, um in kleinen Gruppen zu leben. Wir kooperieren bei großen Arten besser als bei jeder anderen Spezies, aber [wir müssen noch viel darüber lernen](#), wie man es gut macht.

Wenn wir unsere aktuellen Energieprobleme lösen können, könnten [Hunderte Milliarden Dollar auf dem Boden liegen](#). Um unsere Flügel weiterhin auf diese Galaxie und dann auf andere auszudehnen, ist eine Technologie erforderlich, die das Potenzial hat, immer größeres Gutes und Böses zu bewirken. Wir brauchen eine immer intelligentere Governance, um die Bürger zu schützen, ohne den Fortschritt zu blockieren – einschließlich der Vermeidung regulatorischer Sackgassen wie ALARA. Die Suche nach besseren Energiequellen ist heute ein kleiner Schritt auf unserem Weg, die Sterne zu zählen.

-
-

1

[Das würde uns zur Stufe II der vom russischen Astronomen Nikolai Kardaschew](#) vorgeschlagenen dreistufigen Skala führen. Eine Zivilisation vom Typ I könnte die gesamte auf ihrem Planeten verfügbare Energie kontrollieren. Eine Zivilisation vom Typ III würde die Energie der Sterne einer ganzen Galaxie kontrollieren.

2

Wir könnten schneller voranschreiten, zum Teil einfach dadurch, dass wir die Atomaufsichtsbehörde zwingen, dies zuzulassen. Im Nuclear Energy Improvement and Modernization Act von 2019 forderte der Kongress die NRC auf, bessere Vorschriften zu erlassen, um die rechtlichen Hürden abzubauen, die die Entwicklung besserer Reaktordesigns blockieren. Die Mitarbeiter des NRC wollten ursprünglich bis 2027 brauchen, um diese neuen Regeln zu schreiben, das absolute Maximum, das der Kongress erlaubt. Die Kommissare forderten sie auf, dies bis 2024 zu tun – was eine Reihe von Anträgen, die bereits eingereicht werden, noch verzögern wird.

Die Sterne zählen

3

"Die beste Schätzung der durchschnittlichen zusätzlichen Dosis für die 2,2 Millionen Menschen, die in der Nähe des Kraftwerks leben, liegt bei 0,015 mSv. [12] Das ist etwas weniger als ein One-Way-Flug von New York nach Los Angeles." Devanney, Jack. Warum die Atomkraft ein Flop war. Die CTX-Presse, 2020. S.171.

4

10 CFR 20.1003. Hervorhebung hinzugefügt.

5

Tatsächlich könnten neue Anlagen weitaus sicherer sein als bestehende Anlagen, die auf Technologien aus den 1960er Jahren basieren. Moderne Konstruktionen können passive Sicherheit haben, bei der ein Anstieg der Reaktortemperatur aufgrund der Reaktorphysik automatisch die Leistung verringert – so dass ein ausreichend großer Temperaturanstieg den Spaltungsprozess einfach abschalten würde, wie der natürliche Reaktor in der Mine in Gabun. Bessere Konstruktionen könnten die Wärme auch mit einem passiven Prozess abführen, der keine Stromversorgung, keine Aktion des Steuerungssystems und keinen Bedienereingriff erfordert. Tatsächlich kann die Steuerung oder der Bediener genau das Falsche tun, und die Abklingwärme wird immer noch sicher gehandhabt. Aber wir haben nicht versucht, diese Anlagen zu bauen.

6

Derzeit erlaubt 42 USC 2021 eine stark eingeschränkte und teilweise Form solcher Sandkästen, aber jede unterliegt der Zustimmung der NRC.

7

Wenn jedoch ein Eindämmungskonzept für eine bestimmte Reihe von Risiken von der NRC in einem Staat als akzeptabel erachtet wird, muss es in allen Staaten akzeptabel sein. Die NRC darf ALARA nicht als Ausrede dafür verwenden, dass die Anforderungen an die Vergoldung in Staaten gelten, die fortschrittlichere, effizientere und billigere Designs zugelassen haben, da sie sonst diese Einsparungen auffressen und verhindern könnte, dass die Vorteile die Verbraucher erreichen.

John Myers ist Mitbegründer der Kampagnen London YIMBY und YIMBY [Alliance](#) in Großbritannien. Folgen Sie ihm auf [Twitter](#).

Weitere Artikel aus dieser Ausgabe

Wie Gleichstrom verdichtet wurde

Text von [Emily Hamilton](#)

Washington, DC, hat die schlimmsten Preissteigerungen vermieden, die viele andere wachsende amerikanische Städte geplagt haben. Die transitorientierte Entwicklung von Arlington könnte der Grund dafür sein.

[Lesen Sie mehr →](#)

Dichte

Jedes Reiskorn

Text von [Niko McCarty](#)

Da der Klimawandel die Ernteerträge bedroht, brauchen wir eine zweite Grüne Revolution – eine, die diesmal durch Gentechnik vorangetrieben wird.

[Lesen Sie mehr →](#)