

Episode 5 - "Argumente für und gegen die Kernenergie"

Zuvor, bei Energy Transition Crisis: In früheren Folgen wurde die Bedeutung der Energiewende erläutert und ein Plan zum Ersatz fossiler Brennstoffe durch saubere Energie vorgestellt. Warum eine globale Energiekrise Mitte der 2020er Jahre unvermeidlich ist, und wie die geothermische erneuerbare Energie funktionieren. Erik Townsend hier, um Ihnen nun die ganze Geschichte der Argumente für und gegen Kernenergie zu liefern.

Ohne einen großen Durchbruch bei der Tiefengeothermie ist die Kernkraft die einzige Grundlast-Energiequelle, die realistischereweise ausgebaut werden könnte, um bis zum Jahr 2050, 80.000 TWh sauberen Strom zu liefern. Die gesamte dafür erforderliche Technologie ist bereits bekannt und hat sich bewährt. Aber die öffentliche Stimmung gegen die Kernenergie könnte kaum stärker sein.

Was die meisten Menschen nicht wissen, ist, dass der technologische Fortschritt alle gängigen Einwände gegen die Kernenergie schon vor Jahren ausgeräumt hat, aber die Regierungsbürokratie hat die Übernahme dieser technologischen Fortschritte verhindert. In dieser Folge von Energy Transition Crisis zeige ich Ihnen die Argumente für und gegen die Kernenergie.

Die drei großen Einwände gegen die Kernenergie sind betriebliche Sicherheitsrisiken wie Kernschmelzen, die Weiterverbreitung von Waffen und die Abfallentsorgung. In der ersten Folge habe ich versprochen, die Herausforderungen, mit denen wir konfrontiert sind, nicht zu beschönigen. Deshalb werde ich Ihnen in dieser Folge die Argumente für und gegen die Kernenergie in allen Einzelheiten darlegen. In den nächsten beiden Folgen werde ich zeigen, wie fortschrittliche Nukleartechnologien und kleine modulare Kernreaktoren die meisten der Argumente gegen die Kernenergie vollständig ausräumen.

Entgegen der landläufigen Meinung ist Kernenergie bereits die sicherste Form der Grundlaststromerzeugung. Die Zahl der Todesfälle und Erkrankungen, einschließlich Krebs, ist in Kernkraftwerken weit niedriger als in Kohlebergwerken und Ölfeldern. Aber ähnlich wie in der Luftfahrt, obwohl Unfälle selten sind, sind sie, wenn sie doch passieren, immer auf der Titelseite der Nachrichten. Die Öffentlichkeit vergisst sie nie, obwohl Kohle weit mehr Todesfälle und Krankheiten verursacht als Kernenergie.

Das Argument für die Kernenergie ist einfach: Abgesehen von einem großen Durchbruch in der Geothermie, der noch nicht stattgefunden hat, ist die Kernenergie die EINZIGE Option, mit der sich die 80.000 TWh Grundlastenerzeugung rund um die Uhr, die wir bis 2050 benötigen, realistisch aufbauen lassen.

Es gibt einfach keine andere Option, die realistischereweise die gesamte saubere Energie liefern kann, die für den Ausstieg aus den fossilen Brennstoffen benötigt wird. Daher kann es keine erfolgreiche Energiewende ohne Kernenergie geben.

Die Kernenergie bietet die niedrigsten Betriebskosten für die Grundlaststromerzeugung, die es gibt. Das ist extrem wichtig, denn um eine ganz neue Ära des menschlichen Wohlstands einzuläuten, besteht unsere Herausforderung nicht nur darin, fossile Brennstoffe zu ersetzen.

Wir brauchen eine Alternative, die billigere und reichhaltigere Energie ermöglicht, als wir sie je zuvor hatten. Die Kernenergie ist für diese Aufgabe ideal geeignet.

In den vorherigen Folgen habe ich argumentiert, dass Wind- und Solarenergie zusammengenommen nach zwei Jahrzehnten aggressiver Entwicklung immer noch weniger als 2 % unseres Energiebedarfs decken. Ich habe dies als Grund angeführt, um in Frage zu stellen, ob es realistisch ist, in den nächsten 25 Jahren 50-mal mehr Wind- und Solarenergie zu bauen, als wir in den letzten 25 Jahren gebaut haben.

Ich fühle mich daher verpflichtet, anzuerkennen, dass die Kernenergie, genau wie Wind- und Solarenergie, heute weniger als 2 % unserer Energie liefert und dass bis 2050 die 50-fache Menge gebaut werden muss, um die fossilen Brennstoffe vollständig abzuschaffen. Man kann sich also fragen, ob ich heuchlerisch bin, wenn ich sage, dass es absolut sinnvoll ist, die Kernenergie als primäre Strategie für die Grundlaststromerzeugung zu nutzen.

Der große Unterschied besteht darin, dass wir alles daransetzen, so viel Wind- und Sonnenenergie wie möglich zu erzeugen. Doch nach zwei vollen Jahrzehnten staatlicher Subventionen liefern Wind und Sonne zusammen weniger als 2 % unserer heutigen Energie. Wir haben auch nicht versucht, neue Atomkraftwerke zu bauen.

Der große Trend in der öffentlichen Meinung und in der Regierungspolitik ist vielmehr die Stilllegung einwandfreier Kernkraftwerke. Trotzdem liefern nur eine Handvoll Kernkraftwerke alter Technologie, die größtenteils in den 1960ern und 70er Jahren gebaut wurden, bereits so viel Energie wie Wind und Sonne zusammen.

Um bis 2050 eine Stromerzeugungskapazität von 80.000 TWh mit Hilfe der Kernenergie aufzubauen, wird nur ein Bruchteil der Flächen und sonstigen Ressourcen benötigt, die für die gleiche Leistung mit Wind- und Sonnenenergie erforderlich wären. Außerdem ist die Kernenergie nicht auf seltene Erden angewiesen, deren Knappheit die Herstellung von Windturbinen in großem Maßstab erschweren dürfte.

Die Kernenergie bietet rund um die Uhr die Grundlast, die wir brauchen, um die unregelmäßigen Energiequellen Wind und Sonne zu ergänzen, ohne dass Batterien für die Energiespeicherung erforderlich sind. Das bedeutet, dass bei einer Energiewende, die auf Kernenergie als Grundlast-Energiequelle basiert, alle verfügbaren Batteriemetalle dort eingesetzt werden können, wo sie gebraucht werden: für Fahrzeugbatterien.

Die Argumente für die Kernenergie sind also ziemlich überzeugend. Aber die drei großen Einwände - Kernschmelzrisiko, Waffenverbreitung und Abfallentsorgung - können nicht ignoriert werden. Der Rest dieser Folge ist daher den Argumenten gegen die Kernenergie gewidmet. In den nächsten beiden Folgen werden wir uns dann mit den technologischen Fortschritten befassen, die diese Bedenken ausräumen.

Es gibt viele verschiedene Arten von Kernreaktoren. Der Kürze halbe werde ich mich auf die Bauart konzentrieren, die bei den heute in Betrieb und im Bau befindlichen Kernkraftwerken am häufigsten verwendet wird: Der Druckwasserreaktor.

Ein Kernreaktor funktioniert, indem er die durch eine Kernspaltungskettenreaktion freigesetzte Wärmeenergie nutzt. Der Reaktorkern enthält Brennstäbe aus schwach angereichertem Uran. Der Kern ist mit Wasser gefüllt, das die durch die Kernspaltungskettenreaktion erzeugte Wärme aufnimmt.

Das bedeutet, dass das Wasser sehr schnell sehr heiß wird. Deshalb muss es ständig aus dem Kern in einen Wärmetauscher geleitet werden, wo die Wärme abgeführt und zur Erzeugung von Dampf genutzt werden kann, der eine Turbine antreibt und Strom erzeugt. Kernreaktoren sind so effizient im schnellen Erhitzen von Wasser, dass die meisten Probleme nur dann auftreten, wenn diese Wärme nicht schnell genug abgeführt werden kann.

Um die Kernspaltungsreaktion abzuschalten, werden Steuerstäbe in den Kern eingesetzt. Der Zweck der Steuerstäbe besteht darin, die im Kern umherfliegenden Neutronen zu absorbieren, die für die Aufrechterhaltung der Kernspaltungsreaktion unerlässlich sind. Wenn die Steuerstäbe vollständig eingeführt sind, wird die Kernspaltungsreaktion vollständig gestoppt.

94 % der in den Brennstäben erzeugten Wärme wird sofort gestoppt, wenn die Steuerstäbe ausgefahren werden und die Kettenreaktion der Kernspaltung aufhört. Die verbleibenden 6 % der von den Brennstäben erzeugten Wärme sind die so genannte Nachzerfallswärme, die sich nicht sofort wie ein Lichtschalter ausschalten lässt. Nach dem Einsetzen der Steuerstäbe dauert es eine ganze Weile, bis die Brennstäbe keine Nachzerfallswärme mehr erzeugen, so dass es von entscheidender Bedeutung ist, dem Kühlwasser weiterhin Wärme zu entziehen, um eine Überhitzung des Kerns zu verhindern.

Deshalb sind die Kühlmittelumwälzpumpen für die Reaktorsicherheit so wichtig. Wenn die Umwälzpumpen nicht mehr funktionieren, kann das Wasser im Kern überhitzen und verdampfen. In diesem Fall erzeugen die Brennstäbe, auch wenn die Kettenreaktion der Kernspaltung bereits zum Stillstand gekommen ist, immer noch so viel Nachzerfallswärme, dass sie schmelzen und den Boden der Kernkammer durchbrennen. Das ist das so genannte Kernschmelzszenario, von dem man in Hollywood-Filmen so oft hört.

Genau das geschah im Kernkraftwerk Fukushima Daiichi. Als das Erdbeben eintraf, wurden seismische Sensoren ausgelöst und die Reaktoren schalteten sich automatisch ab. Um eine Katastrophe zu verhindern, war es nur notwendig, die Umwälzpumpen in Betrieb zu halten, um die Brennstäbe im Kern zu kühlen, und alles wäre in Ordnung gewesen.

Nachdem die Reaktoren abgeschaltet wurden, war der von dem Kernkraftwerk erzeugte Strom offline, aber die Pumpen konnten mit Strom aus dem Stromnetz betrieben werden. Und für den Fall, dass das Stromnetz ausfallen würde, was es auch tat, waren Diesel-Notstromaggregate installiert, die speziell für dieses Szenario vorgesehen waren.

Diese Notstromaggregate sollten Strom liefern, um die Umwälzpumpen auch nach dem Ausfall des Stromnetzes weiter zu betreiben. Aber als der Tsunami eintraf, wurde alles, einschließlich der elektrischen Schaltanlagen für die Anbindung der

Notstromaggregate, überflutet. Die Umwälzpumpen schalteten sich ab, die Reaktorkerne überhitzten und schmolzen letztendlich, und der Rest ist Geschichte.

Ich möchte, dass Sie sich ein sehr wichtiges Detail darüber merken, wie diese Art von Kernreaktor funktioniert: Das Kühlmittel, das verwendet wird, um die Wärme aus dem Kern zu entfernen, ist gewöhnliches Wasser. Und wie wir sehen werden, führt das zu einer ganzen Reihe von Problemen.

Das Wasser im Kern zirkuliert durch einen Wärmetauscher, sodass die durch die Kernspaltungskettenreaktion erzeugte Wärme genutzt werden kann, um eine separate Wasserquelle in Dampf zu verwandeln, der eine Turbine antreibt, um Strom zu erzeugen. Die Menge an Energie, die der Reaktor produzieren kann, und somit die Menge an Strom, die er erzeugen kann, hängt hauptsächlich davon ab, wie heiß das Wasser im Kern werden kann.

Wasser kocht bei 100 °C. Theoretisch könnte man einen Kernreaktor mit Wasser betreiben, das nie heißer als 100 °C wird. Aber wenn man ein Elektrizitätskraftwerk betreiben will, ist das nicht annähernd heiß genug. Um die Kernspaltungsreaktion optimal zu nutzen und genügend Strom für das Stromnetz zu erzeugen, muss das Wasser auf mehrere hundert Grad Celsius erhitzt werden.

Bei normalem atmosphärischem Druck kann Wasser nicht so heiß werden. Es verwandelt sich bei 100°C in Dampf. Die Lösung, die von den meisten Reaktordesigns genutzt wird, ist, das Wasser im Reaktorkern unter Druck zu setzen. Genau wie ein Schnellkochtopf es ermöglicht, Lebensmittel in flüssiger Form auf über 100°C zu erhitzen, ohne dass sie kochen, erlaubt ein unter Druck stehender Kern, das Kühlmittelwasser auf mehrere hundert Grad Celsius zu erhitzen.

Dadurch kann viel mehr Energie aus der Kernspaltungsreaktion genutzt werden, um Strom zu erzeugen. Dies erfordert eine Druckbeaufschlagung des Kerns auf etwa das 150-fache des atmosphärischen Drucks oder etwa 2.200psi in einem typischen Druckwasserreaktor.

Aber wie Ihnen jeder Ingenieur in fast jedem Bereich bestätigen wird, besteht beim Bau von Maschinen, die unter so hohem Druck arbeiten, immer die Gefahr, dass ein Fehler auftritt und der gesamte Druck plötzlich entweicht. Wenn das mit Wasser passiert, das auf mehrere hundert Grad Celsius erhitzt wurde, verwandelt sich das Wasser sofort in Dampf.

Das ist der Grund dafür, dass für relativ kleine Reaktorkerne so große Sicherheitsbehälter benötigt werden. Wenn etwas bricht und das Wasser im Kern den Druck verliert, verwandelt es sich sofort in radioaktiven Dampf. Einer der Hauptzwecke des „Containment-Gebäudes“ (Sicherheitsbehälters) ist es, zu verhindern, dass der radioaktive Dampf in die Atmosphäre entweicht.

Ich weiß, das klingt ziemlich beängstigend, oder? Moment, es kommt noch schlimmer. Das Risiko, dass sich das Wasser im Kern in radioaktiven Dampf verwandelt, wenn der Druck im Kern abfällt, ist nur einer der Nachteile, die mit der Verwendung von Wasser als Kühlmittel verbunden sind. Um den nächsten Punkt zu verstehen, müssen wir uns die chemische Formel für Wasser ins Gedächtnis rufen, die jeder kennt: H₂O.

Mit anderen Worten: Jedes Wassermolekül besteht aus zwei Wasserstoffatomen und einem Sauerstoffatom.

Wasserstoff ist das extrem brennbare Gas, mit dem die Hindenburg gefüllt war, und Sauerstoff ist das Zeug, das alles schneller und heißer brennen lässt. Die Kombination aus reinem Wasserstoff und reinem Sauerstoff ist eine explosive Mischung, mit der man buchstäblich eine Bombe bauen könnte. Dennoch ist Wasser, das aus Wasserstoff- und Sauerstoffatomen besteht, womit wir Brände löschen! Bitte fragen Sie sich, wie das überhaupt möglich ist.

Die Antwort liegt darin, dass die Wasserstoff- und Sauerstoffatome in jedem Wassermolekül so stark miteinander verbunden sind, dass sie nicht ohne den Verbrauch einer riesigen Menge Energie getrennt werden können. Wissenschaftler nennen dies eine kovalente Bindung, und sie hält die Wasserstoff- und Sauerstoffatome auf eine Weise zusammen, die sie absolut sicher macht.

In fast jeder normalen, alltäglichen Situation besteht keinerlei Risiko, dass Wasser sich in die unglaublich gefährliche Kombination aus reinem Wasserstoffgas und reinem Sauerstoffgas trennen könnte. Denn es ist so viel Energie erforderlich, um die kovalenten Bindungen, die die Wassermoleküle zusammenhalten, zu brechen, dass außergewöhnlich hohe Energiemengen und genau die richtigen chemischen Bedingungen erforderlich sind, um sie zu trennen.

EILMELDUNG! Raten Sie mal, was bei einem Kernschmelzunfall im Inneren eines Kernreaktors vor sich geht? Sie haben es erraten: extrem hohe Temperaturen, Strahlung und das Vorhandensein eines anderen Elements namens Zirkonium, das als Katalysator wirkt und es noch wahrscheinlicher macht, dass die kovalenten Bindungen in den Wassermolekülen brechen. Wodurch es sich in unglaublich gefährliches reines Wasserstoffgas aufspaltet, das Explodieren und das Dach wegpusten könnte!

Um das klarzustellen, ich verwende den Ausdruck "das Dach wegpusten" nicht im übertragenen Sinne. Das ist genau das, was in Fukushima Daiichi passiert ist. Hier ist das Video einer Wasserstoffexplosion, die buchstäblich das Dach des Reaktorgebäudes wegsprengt, nachdem die Umwälzpumpen ausgefallen sind und der Reaktorkern geschmolzen ist, wodurch ein Teil des Kühlwassers austrat und explosives Wasserstoffgas freigesetzt wurde.

<https://youtu.be/WuDCQngEGG8?si=yiFRa6ACAoKJADQq&t=911>

Wasserstoffexplosionen spielten auch bei der Nuklearkatastrophe von Tschernobyl eine wichtige Rolle. Im Fall von Three Mile Island (Harrisburg, USA) führte die Abtrennung von Wasserstoff während der teilweisen Kernschmelze zur Bildung einer Wasserstoffblase in der Kernkammer. Es bestand die ernste Gefahr, dass diese Blase detonieren und den Reaktorkern zur Explosion bringen könnte, wobei genügend Strahlung freigesetzt würde, um Massen von Opfern zu verursachen.

Verstehen Sie jetzt, warum ich nicht der größte Fan von Wasser als Kühlmittel für den Kern eines Kernreaktors bin, obwohl es seit Jahrzehnten bessere Alternativen gibt? Die alternativen Kühlmittel zerfallen nicht in explosive Gase, wenn der Kern schmilzt,

und sie haben auch andere Vorteile. Aber alle unsere Kernkraftwerke verwenden wassergekühlte Reaktoren. Mehr dazu gibt es in der nächsten Folge.

Der Gedanke, dass Atomwaffen in die Hände von Terroristen oder Schurkenstaaten fallen könnten, ist so erschreckend, dass selbst die kleinste Möglichkeit, dass die Atomkraft dieses Risiko erhöhen könnte, ernst genommen werden muss!

Entgegen der landläufigen Meinung ist es nicht möglich, eine Atombombe aus schwach angereichertem Uran herzustellen, das als Brennstoff für zivile Kernreaktoren verwendet wird. Für die Herstellung einer Atomwaffe ist waffenfähiges angereichertes Uran oder Plutonium erforderlich, die beide nicht in zivilen Kernkraftwerken verwendet oder hergestellt werden.

Natürliches Uran, das aus der Erdkruste abgebaut werden kann, enthält weniger als 1% U-235, das spaltbare Isotop von Uran. Der Rest ist U-238, das für den Bau von Bomben oder die Brennstoffversorgung der meisten Kernreaktoren nicht geeignet ist. Natürliches Uran muss mit ausgeklügelten Zentrifugen auf einen Gehalt von 3% bis 5% U-235 angereichert werden, damit es als Kernreaktorbrennstoff verwendet werden kann. Dies wird als schwach angereichertes Uran bezeichnet. Für den Bau einer Atombombe ist jedoch eine Anreicherung auf mindestens 90% U-235.

Der Besitz von schwach angereichertem Uran oder der Betrieb eines damit betriebenen Kernreaktors birgt keinerlei Risiko. Das jemand in den Besitz von waffenfähigem Uran gelangt, ist einfach ein Mythos.

Der Besitz der speziellen Zentrifugen, die für die Anreicherung von Natururan zu schwach angereichertem Uran als Reaktorbrennstoff erforderlich sind, stellt jedoch ein sehr reales Risiko dar. Denn böswillige Akteure könnten diese Ausrüstung nutzen, um Uran weiter bis auf 90 % U- 235 anzureichern und damit waffenfähiges Uran herzustellen.

Der Punkt, den ich Ihnen ans Herz legen möchte, ist, dass das Risiko der Verbreitung von waffenfähigem Uran nichts mit dem Betrieb von Kernreaktoren oder dem Besitz des für den Betrieb erforderlichen Brennstoffs zu tun hat.

Es hat damit zu tun, wer die Ausrüstung besitzt, die zur Herstellung der Brennstäbe für diese Reaktoren benötigt wird. Es geht darum, wer die Ressourcen in seinem Besitz missbrauchen könnte, um waffenfähiges Uran herzustellen. Anders ausgedrückt: Die Beherrschung des Risikos der Verbreitung von waffenfähigem Uran hat nichts damit zu tun, wer einen Kernreaktor betreiben darf, sondern damit, wer den Brennstoff für Kernreaktoren herstellen darf.

Waffenfähiges Plutonium ist eine andere Geschichte. Plutonium ist ein Nebenprodukt einer Uran-Kernspaltungskettenreaktion. Das bedeutet, dass die Brennstäbe, die nur schwach angereichertes Uran enthalten und in den Reaktor eingebracht werden, sich während des Gebrauchs so verändern, dass sie auch etwas Plutonium enthalten.

Das auf diese Weise erzeugte Reaktor-Plutonium kann nicht zur Herstellung einer Atombombe verwendet werden, sodass kein direktes oder unmittelbares Risiko besteht, dass jemand in den Besitz von waffenfähigem Plutonium gelangt. Die einzige

Möglichkeit, waffenfähiges Plutonium zu erhalten, besteht darin, einen speziellen Plutonium-Produktionsreaktor zu haben, der zum Zweck der Herstellung von waffenfähigem Plutonium ausgelegt wurde.

Das heißt aber nicht, dass es kein Risiko gibt. Im Mai 1974 zündete Indien eine Atombombe, die durch die Umwidmung eines zivilen Kraftwerksreaktors, der in Kanada entworfen wurde, hergestellt wurde, indem sein Design geändert wurde, um waffenfähiges Plutonium als Nebenprodukt der Uran-Kernspaltungskettenreaktion zu erzeugen.

Dies war keine leichte Aufgabe und erforderte die vollen technischen Fähigkeiten von Indiens besten Kernphysikern. Es bewies jedoch, dass es mit genügend Anstrengung und Know-how tatsächlich möglich ist, einen zivilen Kraftwerksreaktor so umzufunktionieren, dass er waffenfähiges Plutonium produziert.

Fast eine Viertelmillion Tonnen hochradioaktiven Atommülls, der die nächsten 100.000 Jahre radioaktiv bleiben wird, befinden sich derzeit in Lagern. Jedes Jahr kommen weitere hinzu, da wir weiterhin Atomkraftwerke betreiben. Allein diese Aussage sollte Ihnen einen Schauer über den Rücken laufen lassen!

Aber um es klar zu sagen: Aber seien wir klar: Der Grund, warum diese Aussage fast jedem vernünftigen Menschen einen Schauer über den Rücken jagt, ist, dass sie sorgfältig von Atomkraftgegnern formuliert wurde, um die tatsächlichen Fakten zu verzerren und sie aus dem Kontext gerissen darzustellen, mit dem absichtlichen Ziel, eine anti-atomare öffentliche Stimmung zu schüren.

Ich habe versprochen, die Herausforderungen, denen wir gegenüberstehen, nicht zu beschönigen, und das werde ich auch nicht tun. Aber ich werde auch Propaganda wie diese als solche benennen und Ihnen die Geschichte erzählen, wobei ich mein Bestes gebe, unvoreingenommen zu sein und beide Seiten der Geschichte objektiv darzustellen.

Zunächst einmal ist die Zahl einer Viertelmillion Tonnen richtig. Für mich ist es inakzeptabel, dass wir zugelassen haben, dass sich so viel Atommüll ansammelt, und dies auch weiterhin tun. Die Aussage, dass diese Abfälle, wenn man sie in Ruhe lässt, 100.000 Jahre lang radioaktiv bleiben würden, ist ebenfalls richtig. Aber sie ist schrecklich irreführend. Die Aussage wurde so formuliert, dass sie impliziert, dass wir 100.000 Jahre lang mit diesem Müll leben müssen und nichts getan werden kann, um den Müll loszuwerden, was völliger Unsinn ist. Schauen wir uns also die wahre Geschichte etwas genauer an.

Hochradioaktiver Atommüll besteht in erster Linie aus abgebrannten Brennstäben, die aus Kernreaktoren am Ende ihrer Lebensdauer entfernt werden. Es ist eine wahre Behauptung und offen gesagt eine Anklage gegen die Atomindustrie, dass mit wenigen Ausnahmen, wie z. B. in Frankreich, so gut wie kein Versuch unternommen wurde, diese Abfälle zu recyceln.

Die weit verbreitete Praxis besteht darin, ausgebrannte Brennstäbe nach ihrer Entfernung aus dem Reaktorkern mehrere Jahre lang in einem Wasserbecken abkühlen zu lassen. Danach werden sie in Lagerbehältern, sogenannten

Trockenkapseln, aufbewahrt, die normalerweise auf unbestimmte Zeit am Kernkraftwerk, wo der Brennstoff verbraucht wurde, gelagert werden.

Stellen Sie sich vor, Ihre Abfallmanagementstrategie für Ihr Zuhause wäre, einfach Säcke mit Müll auf unbestimmte Zeit in Ihrem Hinterhof zu stapeln, ohne jeglichen Versuch zu unternehmen, etwas zu recyceln oder zu entsorgen. Lassen Sie einfach den Müllhaufen ewig wachsen und den Haufen Müllsäcke in Ihrem Hinterhof jedes Jahr größer werden. Wären die Menschen in Ihrer Nachbarschaft so unvernünftig, hätte Ihre Gemeinde bald eine Viertelmillion Tonnen Abfall angehäuft, genau wie die Kernenergieindustrie.

95 % der abgebrannten Brennelemente bestehen aus einwandfreiem Uran, das zur Herstellung neuer Brennstäbe recycelt werden kann und sollte. Frankreich recycelt seine abgebrannten Brennelemente schon seit Jahren, aber die meisten Länder kümmern sich nicht darum.

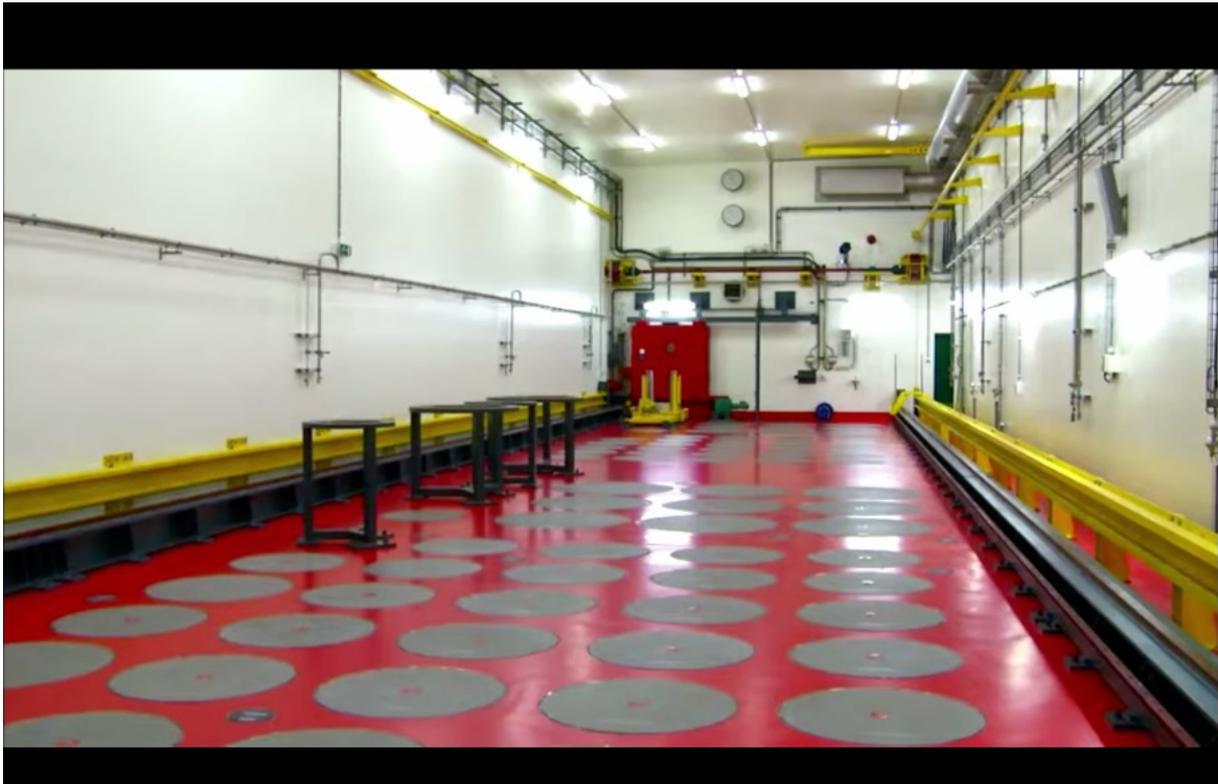
Die verbleibenden 5 % sind ein fieses Zeug, das Transurane genannt wird und tatsächlich bis zu 100.000 Jahre lang radioaktiv bleibt. Aber diese Aussage ist stark irreführend. 99 % des radioaktiven Zerfalls, der für den Menschen gefährlich ist, findet in den ersten 50 Jahren statt. Danach ist das Material immer noch radioaktiv, aber die Strahlung, die es abgibt, liegt nur geringfügig über dem sicheren Hintergrundniveau.

Daher ist die die Auffassung, dass dieser furchtbar gefährliche Atommüll 100.000 Jahre lang furchtbar gefährlich bleibt, eine Verzerrung der Tatsachen. Diese wurde absichtlich von Atomkraftgegnern aus dem Zusammenhang gerissen wurde, um die Gefühle der Öffentlichkeit zu manipulieren.

Verstehen Sie mich nicht falsch: Ich persönlich bin nicht damit einverstanden, dass eine Viertelmillion Tonnen Atommüll gelagert werden, auch wenn er nur ein bisschen radioaktiv ist. Aber ich weiß auch, dass es keinen Grund gibt, diese Ungerechtigkeit fortzusetzen. Denn die Technologie, mit der das Problem vollständig gelöst werden kann, wurde schon vor Jahrzehnten erfunden, bleibt aber bis heute weitgehend ungenutzt. Mehr dazu in der nächsten Folge.

Es ist wichtig zu verstehen, dass Atommüll bei weitem nicht so gefährlich ist, wie die meisten Menschen ihn wahrnehmen. Um dies zu verdeutlichen, hat die niederländische Regierung ein Gebäude gebaut, das die Doppelfunktion eines Atommülllagers und eines Kindermuseums erfüllt.

Sehen Sie sich die großen Kreise auf dem Boden des Kindermuseums an.



Das sind die Oberseiten der Trockenbehälter, die mit abgebrannten Kernbrennstoffen gefüllt sind. Die Kinder sind eingeladen, direkt auf den riesigen Kanistern mit Atommüll zu spielen, nur um ihren Eltern und der Welt zu beweisen, dass Atommüll nicht wirklich der Stoff ist, aus dem Horrorfilme sind, wie sie von Atomkraftgegnern dargestellt werden.

Das eigentliche Problem ist jedoch die unsinnige Strategie, die Abfälle einfach im Hinterhof anzusammeln, wo doch schon seit Jahrzehnten viel bessere Lösungen bekannt sind. Mehr dazu in der nächsten Folge.

Es gibt eine weitere Kategorie von Atommüll, über die niemand spricht. Für den Bau eines konventionellen Kernkraftwerks werden große Mengen an Beton und anderen Baumaterialien verwendet, die jahrzehntelang Kernstrahlung absorbieren und dadurch leicht radioaktiv sind.

Das macht die Stilllegung und den Abriss eines Atomkraftwerks unglaublich teuer. Der Schutt, der beim Abriss eines Kernkraftwerks zurückbleibt, ist nicht annähernd so radioaktiv wie abgebrannte Brennelemente, muss aber trotzdem als schwach radioaktiver Abfall entsorgt werden, und weil er so massiv ist, kostet das ein Vermögen.

In dieser Folge habe ich Ihnen gesagt, dass die Kernenergie die billigste Stromquelle ist, die es gibt. Jetzt ist es also an der Zeit, mich selbst Lügen zu strafen! Diese Aussage war absolut wahr, und sie ist wirklich so wichtig, wie ich sie vorhin dargestellt habe. Aber um diesem Thema gerecht zu werden, müssen wir diese Aussage genauer untersuchen und sie in einen Kontext stellen.

Die wahre Aussage, die ich vorhin gemacht habe, ist, dass die Betriebskosten der Stromerzeugung in einem Kernkraftwerk niedriger sind als bei jeder anderen

Stromquelle. Aber um dies im Zusammenhang zu verstehen, müssen wir uns auf den Ausdruck Betriebskosten konzentrieren. Damit sind die Kosten für den Betrieb des Kernkraftwerks gemeint, nicht die Kosten für den Bau des Kernkraftwerks selbst. Das ist das "Kleingedruckte", auf das wir uns konzentrieren müssen, denn hier hat die Kernkraftindustrie in ihrer gesamten Geschichte kläglich versagt.

Der Preis, den die Verbraucher für Strom aus einer beliebigen Quelle zahlen, wird durch die Addition von drei Hauptkostenkomponenten bestimmt. Die erste sind die Betriebskosten für den Betrieb des Kraftwerks. Dazu gehört der verbrauchte Brennstoff, bei dem es sich um Kohle, Erdgas oder eben Uran im Falle eines Kernkraftwerks.

Dazu gehören auch die Lohnkosten für die Mitarbeiter des Kraftwerks und verschiedene Gemeinkosten. Da ist der Punkt, an dem die Kernenergie wirklich glänzt. Es gibt keine andere bekannte Grundlaststromquelle, die mit der Kernenergie in Bezug auf die Betriebskosten der Energieerzeugung konkurrieren kann.

Die Betriebskosten sind jedoch nicht der einzige Faktor, der den Preis bestimmt, den die Verbraucher für Strom zahlen. Die Kosten für den Bau des Kraftwerks und die eventuellen Kosten für die Stilllegung und den Abriss des Kraftwerks am Ende seiner Lebensdauer müssen auf die erwartete Betriebsdauer des Kraftwerks verteilt werden. Diese Kosten werden an die Verbraucher weitergegeben.

Hier hat die Kernkraftindustrie durchweg versagt, und zwar kläglich. Als in den 1960er und 70er Jahren die ersten Kernkraftwerke gebaut wurden, wurde der Öffentlichkeit versprochen, dass der Strom billiger sein würde als je zuvor. In Wirklichkeit war der Strom aus den ersten Kernkraftwerken teurer als jede andere Stromquelle. Der Grund dafür, dass dieses Versprechen gebrochen wurde, ist, dass es bei jedem Kernkraftwerksprojekt zu massiven Kostenüberschreitungen kam. Die Bauprojekte waren berüchtigt für die Korruption und die Gier der Bauunternehmer, die Vorschriften zum Schutz der öffentlichen Sicherheit ausnutzten, um riesige Gewinne zu erzielen.

Darin spiegelt sich ein größeres Gesamtproblem wider: Wir sind einfach nicht mehr so gut wie früher, wenn es um große, maßgeschneiderte öffentliche Bauvorhaben geht. Als die Golden Gate Bridge 1937 fertiggestellt wurde, blieb sie mit 35 Mio. \$ knapp unter dem Budget, was inflationsbereinigt etwa 700 Mio. \$ in heutigen Dollar entspricht. Die Fertigstellung dauerte von Anfang bis Ende nur vier Jahre.

Derzeit läuft ein Projekt, bei dem ein Netz zur Selbstmordprävention unter der Brücke angebracht wird. Dieses Projekt hat bereits mehr Zeit in Anspruch genommen als die vier Jahre, die der Bau der gesamten Brücke gedauert hat. Es liegt mit mehr als 400 Mio. Dollar über dem Budget - das ist mehr als die Hälfte dessen, was der Bau der gesamten Brücke gekostet hat - selbst wenn man die Inflation berücksichtigt. Nur um ein Netz unter der Brücke anzubringen, um Selbstmordspringer aufzufangen. Und 400 Millionen Dollar später ist die Brücke noch nicht einmal fertig!

In der Kernkraftindustrie bestehen diese Probleme bis heute fort. Die Kostenüberschreitungen beim Bau des Kernkraftwerks Vogtle in Georgia (USA) haben Westinghouse (ein Unternehmen) im Jahr 2018 buchstäblich in den Bankrott

getrieben. Westinghouse ist das Unternehmen, das die meisten der heute betriebenen Kernkraftwerke entworfen und gebaut hat.

Ein weiteres, eng damit zusammenhängendes Problem ist die Zeit, die für den Bau eines neuen Kernkraftwerks gebraucht wird. Selbst nachdem die öffentliche Debatte über den Bau eines Kernkraftwerks beendet ist und alle Genehmigungen erteilt wurden, dauert es immer noch mindestens sieben Jahre, bis ein konventionelles Kernkraftwerk gebaut und in Betrieb genommen ist.

Wir bräuchten bis 2050 deutlich mehr Kernkraftwerke, um das Problem der Energiewende vollständig zu lösen. Diese Zeitverzögerung wurde häufig von Politikern als Argument gegen den Bau von Kernkraftwerken angeführt, die erst lange nachdem sie ihr Amt verlassen haben und nicht mehr da sind, um die Entscheidung zu ihrem Bau zu würdigen, in Betrieb genommen werden und der Öffentlichkeit zugutekommen.

Wir müssen dieses Problem lösen, damit die Kernenergie ein wichtiger Bestandteil der Energiewende-Strategie werden kann. Ich bin davon überzeugt, dass die Lösung des Problems darin besteht, Kernreaktoren am Fließband in Fabriken zu bauen. Dieser wichtige Trend zu kleinen modularen Kernreaktoren ist so wichtig, dass er später in dieser Dokuserie eine eigene Folge erhält. Bleiben Sie also dran und erfahren Sie mehr darüber, wie kleine modulare Reaktoren (SMRs) die Kernkraft revolutionieren werden.

In der gesamten Geschichte der Kernenergie hat es nie einen schweren Unfall gegeben, abgesehen von solchen, die von Menschen verursacht wurden, die wirklich dumme Dinge getan haben, von denen sie es besser hätten wissen müssen.

Ich weiß, es klingt wahrscheinlich verrückt, wenn ich behaupte, dass es keine schweren Unfälle gegeben hat, denn jeder weiß, dass die schweren Unfälle von Tschernobyl, Three Mile Island und Fukushima die öffentliche Psyche in Bezug auf die Kernenergie geprägt haben. Lassen Sie uns also untersuchen, was bei jedem dieser Unfälle wirklich passiert ist.

Im Fall von Tschernobyl wäre diese Reaktorkonstruktion im Westen von vornherein nicht zugelassen worden. Die Betreiber der Anlage in Tschernobyl versuchten, einen Sicherheitstest durchzuführen, den sie zuvor dreimal verpfuscht hatten. Sie haben sich nicht die Mühe gemacht, ihren Testplan mit den Konstrukteuren des Reaktors oder der Atomaufsichtsbehörde abzustimmen.

Der Test war für die Tagschicht geplant, verlief aber völlig schief, was zu einem ungeplanten, nahezu vollständigen Abschalten des Reaktors führte. Als sie den Reaktor schließlich mit nur teilweiser Leistung in Betrieb nahmen, weit unterhalb des Schwellenwerts, den ihr eigener schriftlicher Testplan vorsah, waren sie sich immer noch nicht sicher, warum der Reaktor beinahe vollständig heruntergefahren war.

Aber trotz der Unsicherheit darüber, warum der Reaktor sich nicht wie erwartet verhielt, entschieden sie sich, mit dem Test fortzufahren, anstatt ihn abubrechen. Sie deaktivierten absichtlich das Notkernkühlsystem im Rahmen ihrer Bemühungen, den Reaktor wieder auf volle Leistung zu bringen. Dieses System ist dazu konzipiert, den

Kern im Falle eines Kühlmittelverlustunfalls vor einem Schmelzen zu schützen, daher war dessen Deaktivierung gelinde gesagt rücksichtslos.

Wegen all der unvorhergesehenen Komplikationen dauerte der ursprünglich für die Tagesschicht geplante Test bis spät in die Nacht, aber die Betreiber machten weiter, anstatt den Test abubrechen. Kurz nach Mitternacht wurde der Reaktor von einem 25-jährigen Nachtschichttechniker bedient, der erst drei Monate Erfahrung in seiner Position hatte. Er machte mehrere schwerwiegende Fehler, die schließlich zu einem katastrophalen Versagen des Reaktors führten.

Der Unfall war zu 100 % das Ergebnis menschlichen Versagens. Mit dem Reaktor war alles in Ordnung, und es gab keine nennenswerte Fehlfunktion. Das Problem lag bei den Menschen, die den Reaktor betrieben, deren rücksichtslose Testpläne und ungeheuerliche Betriebsfehler die Katastrophe unmittelbar verursachten.

Im Fall von Three Mile Island schalteten die automatischen Sicherheitssysteme bei einem Kühlmittelverlust die Notkühlpumpen ein, um den Reaktorkern vor einer Kernschmelze zu schützen. Das menschliche Bedienpersonal reagierte, indem es die automatischen Sicherheitssysteme außer Kraft setzte und die Notkühlpumpen wieder abschaltete!

Er schaltete die Kühlmittelpumpe ab, weil er aufgrund seiner unzureichenden Ausbildung keine Ahnung hatte, was passierte und wie er die komplexe und sich schnell entwickelnde Situation interpretieren sollte. Er und die anderen Betreiber hatten sich bereits davon überzeugt, dass es keinen Kühlmittelverlust gab.

Sie beschlossen, dass das Notkühlsystem, das sich automatisch aktiviert hatte, um eine Kernschmelze zu verhindern, nicht benötigt wurde. Doch da lagen sie völlig falsch. In Wirklichkeit war es dringend erforderlich, um eine Kernschmelze zu verhindern. Aber sie schalteten es trotzdem ab.

Die daraus resultierende partielle Kernschmelze hätte verhindert werden können, wenn die Bediener nicht eingegriffen hätten, um die automatisierten Sicherheitssysteme daran zu hindern, ihre Aufgabe zu erfüllen, für die sie konzipiert waren.

Im Fall von Fukushima Daiichi wurden Sicherheitsempfehlungen zum Schutz vor Tsunamis nicht nur einmal, sondern zweimal ignoriert, zuerst im Jahr 2000 und dann erneut im Jahr 2008. Sicherheitsinspektoren hatten den Betreiber darauf hingewiesen, dass der Deich nicht hoch genug war, und empfahlen, ihn zum Schutz vor einem Tsunami zu erhöhen, doch es wurde nichts unternommen.

Die Diesel-Notstromaggregate für das Kühlsystem waren ursprünglich im Keller des Turbinengebäudes untergebracht. Ingenieure von GE informierten den Betreiber der Anlage, dass dieser Standort anfällig für Überschwemmungen sei und dass die Generatoren auf höheres Gelände verlegt werden sollten. Der Betreiber reagierte, indem er die Generatoren auf höheres Gelände verlegte, während er die gesamte elektrische Schaltanlage für die Verbindung der Generatoren mit den Kühlpumpen im Keller ließ, wo sie vom Tsunami überflutet wurde und die Generatoren auf höherem Gelände völlig nutzlos machte.

Regulierungsbehörden kamen zu dem Schluss, dass selbst mit dem Ausmaß der Schäden durch den Tsunami die gesamte Nuklearkatastrophe leicht hätte verhindert werden können, wenn Sicherheitsempfehlungen beachtet worden wären. Es gab keinen unvorhersehbaren Launen der Natur.

Das genaue Szenario eines Tsunamis, der auf das Kraftwerk trifft und durch die resultierende Flut die Notstromversorgung für die Kühlmittelpumpen lahmlegt, wurde vollständig verstanden und von Sicherheitsinspektoren vorausgesehen, die den Betreiber der Anlage schriftlich genau darüber informierten, was getan werden musste, um genau diese Risiken abzumildern, Jahre bevor der Unfall eintrat. Diese schriftlichen Anweisungen wurden nicht nur einmal, sondern zweimal ignoriert.

Die Geschichte ist also eindeutig: Das Problem ist nicht, dass die Kernenergie von Natur aus unsicher ist. Das Problem ist, dass Menschen, die dazu neigen, Dummheiten zu begehen, keine Kernreaktoren betreiben dürfen. Die Lösung heißt Automatisierung, und diese Lösung liegt durchaus im Rahmen unserer derzeitigen technologischen Möglichkeiten. Die neuesten Leichtwasserdruckreaktoren der Generation III verfügen über weitaus ausgefeiltere Automatisierungs- und passive Sicherheitssysteme als die Reaktoren, die in Three Mile Island und Fukushima zusammengebrochen sind.

Der Stand der Technik im Bereich der Kernenergiesicherheit könnte noch sehr viel mehr verbessert werden, wie ich in dieser Folge ausführlich erläutert habe. Aber sie ist bereits die sicherste Form der Stromerzeugung, die es gibt.

In Zukunft müssen wir vollautomatische Reaktoren entwerfen, die überhaupt nicht auf menschliches Bedienpersonal angewiesen sind und die keine großen Kontrollräume voller verwirrender Instrumente haben. Die Lehre, die wir daraus ziehen sollten, ist, künftige Reaktoren so zu konzipieren, dass nicht einmal Homer Simpson eine Katastrophe auslösen könnte, indem er versucht, in automatisierte Systeme einzugreifen. Denn diese sind besser für einen Notfall gerüstet, als menschliche Entscheidungsträger, die wiederholt unter Druck versagt haben.

Ich habe versprochen, unvoreingenommen zu sein und die sehr realen Herausforderungen, mit denen wir konfrontiert sind, einschließlich der mit der Kernenergie verbundenen Risiken, nicht schönzureden. Ich hoffe, Sie stimmen mir zu, dass ich in dieser Folge beide Seiten der Geschichte gut dargestellt habe.

Trotz der verschiedenen Probleme ist die Kernenergie die sicherste Energiequelle, die es gibt. In Kohlebergwerken und auf Ölfeldern gab es weit mehr Todesfälle und Krankheiten als in Kernkraftwerken, selbst wenn man Tschernobyl, Three Mile Island und Fukushima mit einbezieht. Dies ist die längste Folge der gesamten Doku-Serie, und der Grund dafür ist, dass es so lange gedauert hat, um all die großen Probleme aufzuzählen, mit denen die Kernenergie immer noch konfrontiert ist. Dazu gehören Kernschmelzen, Wasserstoffexplosionen, Unfälle mit Druckabfall im Kern, Risiken der Waffenverbreitung und die Entsorgung von Atommüll.

Ich weiß, dass diese lange Liste beängstigender Probleme viele von Ihnen verärgern wird, obwohl die Kernenergie insgesamt die beste Sicherheitsbilanz aller Energiequellen aufweist. Also schnallen Sie sich an, denn jetzt werde ich Sie noch

wütender machen! Was wäre, wenn ich Ihnen sagen würde, dass wir nicht nur bereits über die Technologie verfügen, die zur Lösung all dieser Probleme erforderlich ist, sondern dass wir diese Technologie schon seit Jahrzehnten haben! Wir haben sie nie eingesetzt, weil die Bürokratie der Regierung, Korruption und politische Günstlingswirtschaft der öffentlichen Sicherheit im Wege stehen!

Nun, das ist genau das, was ich Ihnen jetzt sage. Es gibt gute Lösungen für all diese Probleme, und die meisten von ihnen sind alles andere als neu. Doch die Regierungen haben bei der Regulierung dieser Branche so miserable Arbeit geleistet, dass die meisten dieser Lösungen ungenutzt geblieben sind. Dieses Versagen der Regierung, dem öffentlichen Interesse zu dienen, ist so ungeheuerlich, dass es noch zwei weitere Folgen dieser Doku-Serie brauchen wird, um die Aussagen, die ich gerade gemacht habe, zu belegen.

Bleiben Sie also dran für die nächste Folge von Energy Transition Crisis, in der es um die fortschrittlichen Nukleartechnologien geht, die wir schon vor Jahrzehnten hätten einsetzen sollen, um die Sicherheit der Kernenergie zu verbessern.