

Klimagefahren – Wie viel kann uns die Kernenergie helfen ?

von Eike Roth
e-mail Eike.Roth@energie-fakten.de

Hier die Fakten - vereinfachte Kurzfassung

Auch wenn der Mensch als Klimaverursacher noch nicht zweifelsfrei fest steht, besteht doch ein weitgehender Konsens dahingehend, dass wir dringend vorbeugende Maßnahmen ergreifen müssen (siehe hierzu meinen Beitrag „[Klimaänderungen – ist der Mensch Schuld daran ?](#)“). Kernenergie wird vielfach als hierfür geeignet angesehen: Sie kann wirtschaftlich und im großen Maßstab eingesetzt werden. Zugleich schont sie die Rohstoffreserven und verringert die Importabhängigkeit im Energiebereich. Andere halten die Kernenergie aus den verschiedensten Gründen für ungeeignet. Was davon stimmt, soll in diesem Beitrag untersucht werden.

Unbestritten ist, dass Kernkraftwerke (KKW) im Betrieb kein CO₂ (und auch keine anderen Treibhausgase) frei setzen. Beim Bau der KKW, bei der Urangewinnung und bei dessen Anreicherung (der Anteil des spaltbaren Isotops U235 muss für die Nutzung in einem gängigen Kernreaktor von natürlicherweise 0,7 auf etwa 2 bis 5 %

angereichert werden) gibt es aber sehr wohl CO₂-Freisetzungen. Heben die den Vorteil der Kernenergie wieder auf ? Haben wir überhaupt genug Uran für einen größeren Beitrag der Kernenergie und können wir uns einen solchen überhaupt wirtschaftlich leisten ? Außerdem, wie steht es mit der Sicherheit von KKW, und treiben wir mit der Kernenergie zum Klimaschutz nicht nur „den Teufel mit dem Belzebuben“ aus, indem wir die ungelöste Entsorgung des CO₂ durch die ungelöste Entsorgung der radioaktiven Abfälle ersetzen ?

Das Besondere an der Kernenergie ist ihre große Energiedichte. Bei der Spaltung von 1 kg Uran wird etwa so viel Energie frei, wie bei der Verbrennung von 1 Million kg Kohle. Ein KKW benötigt daher nur sehr wenig Kernbrennstoff (eigentlich eine falsche Bezeichnung, denn in einem KKW bzw. dessen Reaktor brennt nichts). Natürlich braucht man zur Gewinnung des Urans und zu seiner Anreicherung etc. Energie und dieser Energie-

verbrauch ist im Allgemeinen mit CO₂-Freisetzungen verbunden. Aber infolge des geringen Brennstoffbedarfes von KKW bleibt der große Vorteil der CO₂-freien Stromerzeugung in den KKW weitgehend erhalten, und auch der Energieverbrauch bei Bau und Abriss der KKW fällt, gemessen an den großen Strommengen, die in ihnen erzeugt werden können, nicht ins Gewicht. KKW schonen ganz eindeutig und sehr effektiv das Klima.

Nach Uran haben wir auf der Erde noch relativ wenig gesucht. Die zur Zeit bekannten Vorräte decken den Bedarf auf Basis der heute üblichen KKW-Typen (mit Leichtwasserreaktoren) 65 Jahre lang. Zusätzliche Uranlagerstätten gibt es mit Sicherheit, doch besteht angesichts der großen bekannten Vorräte kein Anreiz, jetzt viel Geld in deren Suche zu investieren. Da außerdem bei einem Übergang auf fortschrittlichere Reaktortypen (Schnelle Brüter) aus der gleichen Uranmenge etwa 60 Mal so viel Energie gewonnen werden kann und schließlich auch Thorium ein

geeigneter Kernbrennstoff ist, reichen die Kernenergievorräte sicher für Jahrtausende (siehe im Übrigen den Beitrag von Grawe „[Wie lange reichen die Uranvorräte ?](#)“).

Auch die Sicherheit spricht eindeutig für die KKW. Mit keiner anderen Technik sind bisher so viele kWh Strom mit so wenig negativen Gesundheitsauswirkungen erzeugt worden wie mit Kernkraftwerken. Das gilt selbst einschließlich des Unfalls in Tschernobyl, obwohl der infolge

der Besonderheiten dieses Kraftwerkes atypisch ist und nicht auf die ganz anders konstruierten KKW mit westlichen Standards übertragen werden kann. (siehe auch Bereich „[Kernenergie - Sicherheit](#)“)

Bei der Entsorgung schließlich kommt der Kernenergie wieder ihre hohe Energiedichte zugute. Die anfallenden Mengen radioaktiver Abfälle sind vergleichsweise sehr klein. Sie lassen sich daher zuverlässig einschließen und von der Biosphäre fern halten.

Wenn die Politik ihre Widerstände aufgibt, wird die Entsorgungslücke relativ rasch geschlossen werden können. Auch hier gilt, dass der Beweis des Könnens im Tun liegt. Wer das Tun nicht zulässt, fürchtet den Beweis. (Link zu Bereich „[Kernenergie - Entsorgung](#)“)

Kernenergie ist daher sehr wohl ein geeignetes Mittel im Kampf gegen drohende Klimaänderungen.

Für detailliertere Ausführungen siehe die [Langfassung](#).

Klimagefahren – Wie viel kann uns die Kernenergie helfen ?

von Eike Roth

e-mail Eike.Roth@energie-fakten.de

Hier die Fakten - Langfassung

Wie viel Kohlendioxid (CO₂) setzen Kernkraftwerke (KKW) frei ?

Moderne Steinkohlekraftwerke setzen im Betrieb pro erzeugter kWh Strom knapp 800 g CO₂ frei. Für den Abbau der Kohle, Aufbereitung und Transport zum Kraftwerk sowie für den Bau und schließlich Abriss des Kraftwerkes selbst fallen nochmals etwa 50 bis 100 g CO₂ pro kWh an. In Summe sind das ca. 800 bis 900 g CO₂/kWh.

KKW setzen im Betrieb gar kein CO₂ frei. Für alle Schritte der Brennstoffkette (Uranerzeugung, Anreicherung, Brennelementherstellung und Entsorgung) sowie für den Bau und Abriss der KKW fallen insgesamt nicht ganz 20 g CO₂/kWh an, das sind rund 2 % des CO₂-Anfalls bei Steinkohlekraftwerken. Diese Reduktion ist viel größer, als sie bei Einsatz der meisten regenerativen Energieformen erreicht werden kann. Windkraftanlagen z. B. sind zwar auch sehr effektiv zur CO₂-Reduktion, aber mit insgesamt fast 40 g CO₂/kWh (im Wesentlichen für den Bau)

setzen sie etwa doppelt so viel CO₂ in die Atmosphäre frei wie Kernkraftwerke. Fotovoltaik-Solaranlagen auf der Basis von multikristallinem Silizium, des am häufigsten für die Solarzellen verwendeten Materials, setzen bei heutiger Technik fast 300 g CO₂/kWh frei. Damit erreichen sie nur eine Reduktion auf ca. 30 % eines Steinkohlekraftwerkes. Die wichtigsten Ursachen für die relativ großen CO₂-Freisetzungen der meisten regenerativen Energien sind deren sehr viel geringere Energiedichte und die zeitlich nur begrenzte Verfügbarkeit (z. B. bei den genannten Wind- und Fotovoltaikanlagen).

KKW sind also ein ganz hervorragendes Mittel zur Reduktion von CO₂-Freisetzungen. Da ihr Produkt „Strom“ fast überall eingesetzt werden kann (und zusätzlich auch Wärmeauskopplung aus Kernkraftwerken für Heizzwecke und zur Prozesswärmeversorgung der Industrie möglich ist), können KKW einen sehr großen Beitrag zur Lösung des Klimaproblems leisten.

Wie lange reicht das Uran ?

Manchmal wird allerdings behauptet, Kernenergie könne deshalb keinen entscheidenden Beitrag zur Abwehr der Klimagefahren leisten, weil die Uranvorräte begrenzt seien. Begrenzt stimmt als abstrakte Feststellung, die daraus gezogene Schlussfolgerung stimmt nicht. Infolge seiner hohen Energiedichte (eine Million Mal größer als bei Kohle!) ist Uran ein sehr ergiebiger Energieträger. Die heute durch Exploration gesicherten, wirtschaftlich abbaubaren Vorräte reichen bei Verwendung in Leichtwasserreaktoren für etwa 65 Jahre. Weitere abbauwürdige Vorkommen sind mit Sicherheit zu erwarten. Bei Verwendung in Schnellen Brütern ergeben die gleichen Vorräte etwa 60 Mal mehr Energie. Dadurch sind auch viel teurere Erzlagerstätten wirtschaftlich nutzbar, was die Vorräte nochmals drastisch erhöht. Außerdem ist auch Thorium ein geeigneter Kernbrennstoff. Es kommt auf der Erde etwa 3 Mal häufiger vor als Uran. Die Kernbrennstoffvorräte reichen in

LANGFASSUNG

Spaltungsreaktoren für Jahrtausende, in Fusionsreaktoren sind sie praktisch unerschöpflich. Eine Grenze für den Einsatz von Kernkraftwerken zur Klimabekämpfung existiert nicht. Siehe hierzu auch den Beitrag von Grawe „[Wie lange reichen die Uranvorräte ?](#)“.

Wirtschaftlichkeit

KKW können Strom bedarfsgerecht und weitgehend konkurrenzlos billig erzeugen. Unter deutschen Verhältnissen kann nur Braunkohle halbwegs mithalten. Von den im großen Stil verfügbaren CO₂-freien Energieformen ist Kernenergie mit Abstand am billigsten. Kernenergie verbindet in hervorragender Weise klimaunschädliche und wirtschaftliche Energieerzeugung. Je weitergehend das CO₂-Reduktionsziel gesteckt ist, umso stärker kommen die wirtschaftlichen Vorteile der Kernenergie zum Tragen. Infolge der großen Energiedichte der KKW kann ihr Ausbau auch verhältnismäßig rasch erfolgen.

Sicherheit

Das Risiko einer jeden Technik – es gibt keine, die keines hätte – wird durch die Wahrscheinlichkeit, dass ein Schaden eintritt und durch das Schadensausmaß im Eintrittsfalle bestimmt. Das Produkt dieser beiden Größen quantifiziert ganz allgemein das Risiko. Dabei ist dieses Risiko keine zeitliche Konstante, sondern wird durch technischen Fortschritt laufend weiter reduziert. Bei einer relativ jungen Technik wie der Kerntechnik ist dieser Effekt besonders stark ausgeprägt.

Das Risiko der KKW lässt sich nach zwei Methoden bewerten: Rechnerisch und empirisch. Rechnerisch geschieht das in umfangreichen „probabilistischen Sicherheitsanalysen“, das sind Analysen der Wahrscheinlichkeit von potentiell störfallauslösenden Ereignissen, deren möglicher Weiterentwicklung zu Störfällen oder Unfällen und der dann (eventuell) eintretenden Folgen. Sie zeigen, dass bei modernen westlichen KKW die Wahrscheinlichkeit für ein Ereignis mit Kernschmelze (nur bei einer solchen können größere Mengen radioaktiver Stoffe in die Umgebung gelangen) in einem Bereich liegt, für den wir normalerweise das Wort „unmöglich“ verwenden und den wir deshalb in anderen Gebieten nicht weiter betrachten. Aber bei der Kernenergie wird auch dieser Bereich untersucht. Und die Auswirkungen, wenn so ein Ereignis doch eintreten sollte, sind in ihrem Ausmaß vergleichbar mit den Auswirkungen anderer, großer denkbarer Industrieunfälle. Das sich ergebende Risiko ist sehr viel kleiner als das zahlreicher anderer Techniken, einschließlich solcher zur Stromerzeugung.

Empirisch kann man untersuchen, welche negativen Gesundheitsfolgen bisher tatsächlich aufgetreten sind. Betrachtet man alle Folgen (einschließlich solcher von Unglücken in Bergwerken, bei Staudämmen etc.) so gibt es keine andere Technik, mit der vergleichbar viel Strom mit so geringen negativen Gesundheitsauswirkungen erzeugt worden ist, wie mit der Kerntechnik.

Dies gilt trotz Tschernobyl. Bei westlichen Reaktoren kann man infolge ihrer völlig anderen Konzeption Unfallabläufe wie in Tschernobyl ausschließen. Bei ihnen ist der Vorteil kleiner negativer Gesundheitsfolgen noch viel ausgeprägter. An tatsächlich eingetretenen gesundheitlichen Folgen gemessen ist Kernenergie eine klare Erfolgsstory. Das haben vergleichende Studien wiederholt gezeigt, etwa an der Universität Stuttgart. Siehe hierzu auch den Beitrag von Burgherr/Hirschberg/Grawe „[In welchem Umfang sind im Energiebereich während der letzten 30 Jahre schwere Unfälle aufgetreten ?](#)“.

Von Anbeginn an lag der Schwerpunkt der sicherheitstechnischen Bemühungen bei KKW auf einer Reduktion der Wahrscheinlichkeit von schweren Unfällen. Bei den neu entwickelten KKW der „Dritten Generation“ wird dieser Weg konsequent fortgesetzt, doch werden hier zusätzlich auch Maßnahmen vorgesehen, mit denen selbst schwerste Störfälle sich so beherrschen lassen, dass keine gravierenden Auswirkungen auf die Umgebung eintreten. Das erste solche KKW ist seit gut einem Jahr in Finnland in Bau und in Frankreich ist ein weiteres fest beschlossen. Außerhalb Europas werden weitere Projekte verfolgt, z. B. in China. Diese KKW der „Dritten Generation“ werden voraussichtlich für zwei bis drei Jahrzehnte internationaler Standard sein. Dann dürften auch KKW der „Vierten Generation“ zur Verfügung stehen, deren Entwicklung (mit Milliardenaufwand, vor allem in den USA

LANGFASSUNG

und in Japan) gerade begonnen hat und die – neben einer verbesserten Wirtschaftlichkeit und erhöhten Uranausnutzung – nochmals eine erhöhte Sicherheit erwarten lassen. Der Fortschritt wird auch bei der Kernenergie nicht so bald aufhören.

Entsorgung

Jede Technik hat ihre Abfälle. Die der Kerntechnik weisen zwei Besonderheiten auf: Sie sind radioaktiv, und ihre Menge ist infolge der großen Energiedichte der Kernenergie sehr klein.

Radioaktiv heißt, dass die Abfälle vor allem durch ihre Strahlung gefährlich sind. Schirmt man diese ab, sind die Abfälle gesundheitlich unbedenklich. Radioaktiv heißt aber auch, dass die „Giftigkeit“ (Strahlungsstärke) der Abfälle naturgesetzlich mit der Zeit immer kleiner wird. Irgendwann einmal geht von den Abfällen keine besondere Gefahr mehr aus. Je nach vorgesehenem Konzept – insbesondere mit oder ohne Wiederaufarbeitung – wird dieser Zeitpunkt nach größenordnungsgemäß etwa ein Tausend oder einer Million Jahren erreicht. Demgegenüber bleibt etwa die Giftigkeit chemischer Abfälle immer gleich (chemische Abfälle haben unendlich lange Halbwertszeiten).

Die kleine Menge der Abfälle erlaubt die konsequente Umsetzung eines Entsorgungskonzeptes, das bei chemischen Abfällen schon aufgrund deren Menge undurchführbar ist: Die vollständige Trennung der Abfälle von der Biosphäre durch Tief Lagerung in einer stabilen geologischen Formation (z. B. Salzstock). Die Tief-

lagerung übernimmt die Strahlenabschirmung und solange das Endlager dicht ist, geht vom radioaktiven Abfall da drinnen tatsächlich keine Gefahr aus.

Die Dichtigkeit des Abschlusses von der Biosphäre wird erreicht durch eine Kombination ingenieurtechnischer und geologischer Barrieren: Die radioaktiven Abfälle werden in eine Matrix von auslaugebeständigem Glas eingebettet (Beimischen zur Glasschmelze und Erstarren dieser in großen Blöcken). Diese Glasblöcke kommen in korrosionsfeste Behälter, die in Bohrlöcher oder Stollen der geologischen Endlagerformation eingebracht werden. Anschließend werden die Bohrlöcher oder Stollen verfüllt und versiegelt. Die geologische Formation gewährleistet die Langzeitsicherheit. Dabei sind die Zeiten, innerhalb derer tatsächlich eine „besondere Gefahr“ durch den radioaktiven Abfall besteht, d. h. die Radiotoxizität (Giftigkeit infolge Strahlung) des Endlagers höher ist als diejenige einer noch unberührten Uranerz-Lagerstätte, in geologischem Sinne nur sehr kurze Zeiten. Man sagt: Ein Jahr des Historikers entspricht einer halben Million Jahren des Geologen.

Noch eines ist wichtig: Tschernobyl hat gezeigt, wie ein großer radiologischer Unfall abläuft: Durch irgend einen Prozess müssen große Mengen radioaktiven Materials so fein zerstäubt („fragmentiert“) werden, dass sie in die Luft aufgewirbelt und dann mit dem Wind über große Entfernungen verteilt werden können. Und Tschernobyl hat auch gezeigt, dass ein in Betrieb

befindliches KKW die Energie zum Ablaufen eines solchen Prozesses aufbringen kann. In einem Endlager liegen aber ganz andere Verhältnisse vor. Der radioaktive Abfall strahlt zwar, aber seine Energiedichte ist für so einen umfangreichen Fragmentierungsprozess ganz einfach nicht ausreichend. Ein großer radiologischer Unfall kann bei einem ordnungsgemäßen Endlager radioaktiver Stoffe naturgesetzlich ausgeschlossen werden.

Auch kleinere Störfälle sollen möglichst vermieden werden, deshalb sollen wir Endlager sorgfältig planen und errichten. Aber große Unfälle kann es tatsächlich nicht geben. Das Risiko der Kernkraftnutzung wird durch das Unfallrisiko in Betrieb befindlicher KKW bestimmt. Dieses ist sehr klein. Deswegen sind KKW aus Risikogesichtspunkten akzeptabel. Das Risiko eines Endlagers ist nochmals sehr viel kleiner. Deswegen ist die angeblich ungelöste Entsorgung nicht die Achillesferse der Kernenergienutzung. Sie ist vielmehr ein politisch hochgespieltes Problem, für das es bei nüchterner Betrachtung keine physikalische Basis gibt. Wer sich gegen die Erkundung von Endlagerstandorten wendet, tut das vielleicht nur deswegen, weil er sonst fürchtet, sein vermeintlich bestes Argument gegen die Kernenergie sehr schnell zu verlieren.

Setzt man KKW zur Abwehr drohender Klimaänderungen ein, so tauscht man die völlig ungelöste CO₂-Entsorgung gegen die grundsätzlich gelöste nukleare Entsorgung. Die Forderung nach einer lösbaren Entsorgung ist ein

LANGFASSUNG

Argument für die Kernenergie, keines dagegen.

Derzeitiger Beitrag

KKW erzeugen heute weltweit jährlich über 2500 Milliarden kWh Strom und ersparen der Atmosphäre damit jährlich über 2 Milliarden t CO₂. Das entspricht etwa dem Doppelten der durch das Kyoto-Protokoll angestrebten – und in der Realität wohl nicht erreichbaren – Einsparungen (siehe meinen Beitrag „[Abwehr drohender Klimagefahren – Was bedeutet das ?](#)“).

In Deutschland erzeugen die KKW jährlich ca. 160 Millionen kWh Strom, etwa drei Mal so

viel, wie alle regenerativen Energien zusammen. Im Falle eines Ausstieges könnte diese Erzeugung praktisch nur durch Kohle- oder Gaskraftwerke ersetzt werden. Die Abschaltung des KKW Obrigheim hat das klar gezeigt. Durch Abschalten aller KKW würde etwa so viel CO₂ zusätzlich freigesetzt, wie der gesamte deutsche Straßenverkehr verursacht. Ausstieg und Klimaschutz passen nicht zusammen.

Zusammenfassung

Kernenergie ist praktisch CO₂-frei, sie ist in sehr großem Umfang verfügbar, ihr Risiko ist vergleichsweise klein, und ihre

Entsorgung ist wissenschaftlich ausreichend gelöst. Sie trägt heute schon spürbar zur Reduzierung der CO₂-Freisetzungen bei und sie kann einen noch viel größeren Beitrag leisten. Genau so wichtig ist auch, dass sie dieses weitgehend ohne Mehrkosten und damit ohne Gefährdung unseres Lebensstandards tun kann. Nur mit ihr ist effektiver Klimaschutz ausreichend bezahlbar. Ihr Problem liegt nicht in der Sache, sondern im falschen Bild, das von ihr immer wieder in der Öffentlichkeit gemalt wird. ■