

Wie kann man Unfallrisiken bei der Energieerzeugung quantifizieren?*

Was sind die dabei auftretenden Probleme?

von Rolf Krieg

e-mail Rolf.Krieg@energie-fakten.de

Hier die Fakten - vereinfachte Kurzfassung

All unser Handeln – auch unser Nichthandeln – ist mit Risiken verbunden. Wir können diese Risiken durch Sicherheitsvorkehrungen zwar reduzieren, aber niemals ganz eliminieren. Deshalb sind die trotz aller Bemühungen noch verbleibenden Restrisiken etwas ganz Selbstverständliches. Viele von uns haben diese grundlegende Erkenntnis verdrängt. Nur gelegentlich, wenn sich beispielsweise ein schlimmer Unfall ereignet, wird uns die Unvermeidbarkeit von Restrisiken wieder bewusst. Oft wollen wir dann eine Technik, die einen solchen Unfall nicht absolut auszuschließen vermag, sofort einstellen und übersehen dabei, dass ähnlich Schlimmes auch bei anderen Techniken denkbar ist. Sinnvoller ist die Frage: Wie häufig ereignen sich schwere Unfälle und wie realistisch sind erdachte Unfälle?

Erfahrungen hierzu liefern beispielsweise die vom schweizer Paul-Scherrer-Institut gesammelten Daten über schwere Unfälle

im Energiebereich in den letzten 30 Jahren. Erfasst werden nachfolgend nur Unfälle mit mindestens 5 Todesopfern. Bei der Nutzung fossiler Energien waren in den OECD-Ländern fast 400 Unfälle mit etwa 9000 Toten, in den übrigen Ländern dagegen fast 1500 Unfälle mit mehr als 40000 Toten zu beklagen. Bei der Wasserkraft entfiel auf die OECD-Länder nur ein Unfall mit 14 Toten, auf die anderen Länder entfielen 10 Unfälle mit nicht weniger als 30000 Toten, darunter zwei Staudammbrüche in China mit 26000 Toten. Dies bedeutet zum einen, dass Risiken sehr stark von der Qualität und der Wartung einer Anlage abhängen und zum anderen, dass einzelne Katastrophen offenbar hingenommen werden, wenn wir selbst nicht betroffen sind und wenn die in Rede stehende Technik ein positives Image hat. Nach derselben Quelle waren bei der Nutzung der Kernenergie in den OECD-Ländern keine Todesopfer und in den übrigen Ländern als

unmittelbare Folge des schweren Unfalls in Tschernobyl 31 Todesopfer zu beklagen. Hier müssen aber unbedingt noch die enormen ökologischen und ökonomischen Schäden erwähnt werden und die große Zahl der befürchteten Spätfolgen-Todesopfer. Dies bedeutet, dass die Lebenserwartung der dortigen Bevölkerung abnehmen wird. Wegen der großen Zahl der betroffenen Menschen wird dies aber an den statistischen Daten kaum erkennbar sein. Das Hinzuzählen der Spätfolgen-Todesopfer ist deswegen problematisch. Bei den anderen Energien wird das in der Regel unterlassen.

Wahrscheinlichkeitsmodelle werden eingesetzt bei Risiken infolge seltener schwerer Unfälle, wo Erfahrungen zwangsläufig noch fehlen. Die Ergebnisse liefern sehr detaillierte Zahlen, die es gestatten, Schwachstellen zu identifizieren. Nachteilig sind der große Aufwand bei der Beschaffung der erforderlichen Ausfalldaten für die einzelnen

* Genau genommen handelt es sich nicht um „Energieerzeugung“ sondern um die „Umwandlung von Energie in eine für den Menschen nutzbare Form“.

Bauelemente, die schwer abzuschätzende Genauigkeit der berechneten Zahlen und die mangelnde Transparenz des Berechnungsweges. Da der Einsatz von Wahrscheinlichkeitsmodellen für Sicherheitsnachweise unüblich ist, macht auch die Interpretation der Ergebnisse Schwierigkeiten.

Deterministische Modelle verzichten auf Ergebnisse mit detaillierten Zahlen und vermeiden so die oben erwähnten Probleme. Das Versagen einzelner Bauteile wird ausgeschlossen, wenn ihr einwandfreier Zustand und ihre Beanspruchungen zuverlässig kontrolliert werden können, wenn ein ausreichender Abstand zur Versagensbeanspruchung eingehalten wird und wenn der physikalische Versagensprozess

sehr gut bekannt ist. Im günstigen Fall lautet dann das Ergebnis: Ein bestimmter Unfall ist *nach menschlichem Ermessen ausgeschlossen*.

Gelegentlich wird eingewandt, dass Restrisiken ja niemals ausgeschlossen werden können und deswegen genau genommen nur Wahrscheinlichkeitsmodelle, die dies zu berücksichtigen gestatten, zulässig seien. Deterministische Modelle wären danach nur Näherungen. Dem ist entgegenzuhalten, dass genau genommen Wahrscheinlichkeitsmodelle nur für Zufallsprozesse gelten, während die Ausfälle von Bauteilen eigentlich nicht dem Zufall unterliegen, sondern ganz bestimmte physikalische Ursachen

haben. Wahrscheinlichkeitsmodelle sind deswegen auch nur Näherungen.

Die Ausführungen belegen, dass quantitative Beschreibungen von Unfallrisiken, zumindest aber wohlfundierte Ja/Nein-Aussagen durchaus möglich sind, dass aber die sachgerechte Durchführung umfangreiche Fachkenntnisse und Augenmaß erfordert. Insbesondere die Ergebnisse von Wahrscheinlichkeitsmodellen sind für den besorgten Bürger schwer nachvollziehbar. Wohlfundierte Ja/Nein-Aussagen auf der Basis von deterministischen Modellen kommen den legitimen Bedürfnissen der Bürger mehr entgegen. Sie lassen sich besser verstehen.

Wie kann man Unfallrisiken bei der Energieerzeugung quantifizieren?

Was sind die dabei auftretenden Probleme?

Rolf Krieg

e-mail Rolf.Krieg@energie-fakten.de

Hier die Fakten - Langfassung

Zunächst eine grundlegende Erkenntnis: All unser Handeln ist mit Risiken verbunden. Wir können diese Risiken durch Sicherheitsvorkehrungen reduzieren, wir können Risiken aber niemals ganz eliminieren. Beim Kohlebergbau konnten die früher recht hohen Unfallgefahren durch moderne Technik erheblich herabgesetzt werden, aber Unfälle können niemals ganz ausgeschlossen werden. Sogar Nichthandeln hat indirekt Risiken zur Folge. So hat beim Kohlebergbau auch das geringere Abbauvolumen die Zahl der Unfälle herabgesetzt. Zur Kompensation mussten jedoch andere Energiequellen genutzt werden, die ebenfalls Unfälle verursachen können. Deshalb sind die trotz aller Bemühungen immer noch verbleibenden Risiken – die so genannten Restrisiken – etwas ganz Selbstverständliches.

Viele von uns haben diese grundlegende Erkenntnis über die Folgen unserer menschlichen Unzulänglichkeit verdrängt. Sie passt nicht in unsere moderne

Hochglanzwelt. Nur gelegentlich werden uns die Risiken jäh bewusst; wenn sich ein schlimmer Unfall ereignet hat und dramatische Bilder Angst und Schrecken verbreiten; oder wenn eine politisch motivierte Gruppe Besorgnis und Engagement demonstrieren will und erdachte Unfall-Szenarien in grellen Farben ausmalt. Viele fordern dann entsetzt, dass eine Technik, die derartiges nicht absolut auszuschließen vermag, sofort einzustellen sei. Sie übersehen dabei, dass ähnlich schlimme Unfälle mit einiger Phantasie auch bei anderen Techniken erdacht werden können. Voreilige Urteile sind deshalb unredlich und eröffnen Manipulationen durch Interessengruppen Tür und Tor.

Die entscheidende Frage ist vielmehr: Wie häufig ereignen sich die bisher aufgetretenen Unfälle und wie realistisch sind erdachte (hypothetische) Unfälle?

Es ist nahe liegend, zuerst nach den vorliegenden **Erfahrungen** zu fragen. Hierbei sind die beispielsweise vom schweizer

Paul-Scherrer Institut gesammelten Daten über schwere Unfälle im Energiebereich während der letzten 30 Jahre sehr hilfreich. Beachtet wurden nicht nur Kraftwerke und ähnliche Einrichtungen, sondern auch damit zusammenhängende Aktivitäten wie etwa der Abbau und Transport von Energie-Rohstoffen und die Beseitigung von Abfällen. Erfasst wurden nur Unfälle mit mindestens 5 Todesopfern oder 10 Verletzten oder 200 Evakuierten oder besonders hohen ökologischen und ökonomischen Schäden. Näheres hierzu wurde in Energie-Fakten.de an anderer Stelle veröffentlicht: [In welchem Umfang sind im Energiebereich während der letzten 30 Jahre schwere Unfälle aufgetreten?](#)

Nachfolgend aus dieser Veröffentlichung einige Daten:

- Bei der Nutzung fossiler Energieträger (Kohle, Erdöl, usw.) waren in den OECD-Ländern (im Wesentlichen die Industrieländer ohne Russland und China) fast 400 Unfälle mit etwa 9000

LANGFASSUNG

Todesopfern, in allen übrigen Ländern dagegen fast 1500 Unfälle mit mehr als 40000 Todesopfern zu beklagen.

- Bei der Wasserkraft ist der Unterschied noch dramatischer. Auf die OECD-Länder entfällt ein Unfall mit 14 Todesopfern, auf alle übrigen Länder 10 Unfälle mit etwa 30000 Todesopfern, darunter zwei Staudammbrüche in China mit 26000 Toten. (Es sei allerdings angemerkt, dass sich vor mehr als 30 Jahren auch in dem einen oder anderen OECD-Land schwere Staudammunfälle ereigneten, so zum Beispiel 1959 in Frejus in Frankreich, wo mehr als 400 Todesopfer zu beklagen waren.)
- Für andere erneuerbare Energien (Windkraft, etc) werden wegen der noch geringen Anzahl der Betriebsjahre keine Zahlen genannt.

Schlussfolgerungen

- 1) Die Risiken in den OECD-Ländern sind deutlich geringer als in den übrigen Ländern, d. h. die Risiken moderner, sorgfältig gewarteter Anlagen sind wesentlich geringer als bei alten weniger gut gewarteten Anlagen. Risikodaten sind also nur mit Einschränkung von einer Anlage auf eine andere übertragbar!
- 2) Einzelne Katastrophen mit Tausenden Toten werden in manchen Fällen offenbar hingenommen – wahrscheinlich wenn wir selbst und unsere unmittelbare Nachbarschaft nicht betroffen sind, vielleicht auch wenn der in Rede

stehenden Technik, nämlich der Wasserkraft, ein positives Image anhaftet – beides keine sehr honorigen Motive! (Tatsächlich sind mehrere Staudammbrüche mit einer so großen Zahl von Toten ein Skandal; denn das müsste nicht sein, wie die OECD-Daten zeigen. Die sonst sehr positiv zu beurteilende Wasserkraft müsste diesen hässlichen Makel nicht tragen.)

Aus obiger Veröffentlichung noch die folgende Aussage:

- Bei der Nutzung der Kernenergie waren in den OECD-Ländern keine Todesopfer und in den übrigen Ländern 31 Todesopfer zu beklagen. Es handelt sich hier um die zu Tode gekommenen Einsatzkräfte beim schweren Reaktorunfall in Tschernobyl.

Dies muss erläutert und ergänzt werden. Der Verlust von Menschenleben ist selbstverständlich das Schlimmste, was bei einem Unfall passieren kann. Deshalb konzentrieren sich die obigen (gekürzten) Daten auf diesen Aspekt. Die besonders herausragenden Folgen des Unfalls in Tschernobyl waren aber die enormen ökologischen und ökonomischen Schäden. Sie haben die Lebensbedingungen in den betroffenen Ländern sehr beeinträchtigt. (In den detaillierten Daten des Paul-Scherrer Instituts wird dies selbstverständlich erfasst.)

Neben den genannten 31 Todesopfern wurden mit Hilfe verschiedener Rechenmodelle sehr unterschiedliche, aber doch weit größere Zahlen für die Spätfolgen-Todesopfer vorhergesagt. Das klingt zunächst erschreckend.

Tatsächlich bedeutet es aber nichts anderes, als dass die statistische Lebenserwartung der Menschen herabgesetzt wird. Da es aber sehr viele betroffene Menschen gibt, wird dieser Effekt gegenüber den Schwankungen der Lebenserwartung aufgrund anderer Einflüsse kaum erkennbar sein.

Detaillierte Informationen hierzu finden sich ebenfalls in Energie-Fakten.de: [Was wissen wir heute über die Folgen des Reaktorunfalls in Tschernobyl vor 20 Jahren?](#)

Schlussfolgerung

- 3) Das Einbeziehen gesundheitlicher Spätfolgen ist problematisch. Einmal sind die unmittelbaren Todesopfer eines Unfalls mit den statistischen Spätfolgen-Todesopfern kaum vergleichbar. Zum andere sind die Prognosen für die letzteren sehr ungenau. Ganz besondere Probleme ergeben sich bei den fossilen Energien. Soll auch die Verkürzung der statistischen Lebenserwartung infolge der freigesetzten Verbrennungsgase einschließlich des befürchteten Klimawandels berücksichtigt werden? Dies würde eine sehr große Zahl von Spätfolgen - Todesopfern bedeuten. Probleme ergeben sich auch bei den erneuerbaren Energien. Der hohe Preis für die erzeugte Kilowattstunde kommt ja durch die erforderlichen riesigen Bauvolumina zustande, und diese sind ebenfalls mit beachtlichen Unfallrisiken verbunden. Soll auch dies berücksichtigt werden?

LANGFASSUNG

Die Daten über bisher aufgetretene Unfälle sagen selbstverständlich wenig aus über die Risiken seltener, bisher nicht aufgetretener Unfälle mit großen zu erwartenden Schäden. So kann bei der Wasserkraft in den OECD-Ländern aus den wenigen Todesopfern der letzten 30 Jahre nicht geschlossen werden, dass bei uns ein großer Dammbbruch mit sehr vielen Todesopfern unmöglich ist. In einigen Nicht-OECD-Ländern ist das ja passiert (und früher sah es bei uns ja auch nicht so gut aus).

Genau genommen kann auch bei den fossilen Energien ein besonders schwerer Unfall nicht ausgeschlossen werden, obwohl so etwas bisher noch nicht passiert ist. Man denke nur an ein schweres Erdbeben ausgelöst durch Kohleabbau oder Erdölförderung oder an die Explosion eines Gastankers im Hafen.

Auch die erneuerbaren Energien sind längst nicht so harmlos, wie es zunächst scheinen mag. Da Wind- und Sonnenenergie sehr stark fluktuieren, sind bei ihrem weiteren Ausbau große Energiespeicher notwendig. Das sind Pumpspeicher-Kraftwerke, deren Staudämme bekanntlich brechen können.

Auch bei der Kernenergie kann aus den bisherigen sehr guten Erfahrungen in den OECD-Ländern nicht geschlossen werden, dass bei uns ein so genannter Kernschmelzenunfall mit sehr großen Schäden unmöglich ist. Aufgrund der bisher aufgelaufenen Betriebsjahre kann nur vermutet werden, dass sich die Häufigkeit von Kernschmelzenunfällen bei einer Anlage *mindestens* nach

Jahrtausenden bemisst, d. h. es *könnten* auch Jahrmillionen sein. Dies wird aber als nicht ausreichend angesehen.

Deshalb wurde in der Kerntechnik versucht, die zu erwartenden Häufigkeiten von Unfällen mit Hilfe von **Wahrscheinlichkeitsmodellen** zu berechnen. Basis sind Daten über die zufälligen Ausfälle wichtiger Bauelemente einer Anlage. Sie müssen aufgrund ausreichender Erfahrungen bekannt sein oder in umfangreichen Experimentreihen ermittelt werden.

Die erzielten Ergebnisse mit sehr detaillierten Aussagen zur Wahrscheinlichkeit verschiedener Unfallszenarien sind beeindruckend. Aber der Aufwand ist erheblich. Zuverlässige Daten über sehr seltene Ausfälle von Bauelementen sind schwer zu beschaffen. Häufig verwendete Prognosen mit Hilfe der „gaußschen Glockenkurve“ führen mitunter zu irrelevant hohen Ausfallzahlen. Kleine Änderungen an den Bauelementen oder ihren Herstellungsprozessen haben oft gravierenden Einfluss auf die Ergebnisse. Die sachgerechte Anwendung der Wahrscheinlichkeitstheorie ist sehr anspruchsvoll. Es ist Sorge zu tragen, dass keine wichtigen Ereignisketten vergessen werden.

Schlussfolgerungen

4) Die Wahrscheinlichkeitsmodelle gestatten interessante quantitative Aussagen über die unterschiedlichen Sicherheitsniveaus verschiedener Anlagen. Schwachstellen können so besser erkannt und eliminiert werden. Die Größenord-

nung für einen Kernschmelzenunfall ergibt sich bei uns zu 1/100000 pro Anlage und Jahr. Bei modernen Anlagen sind jedoch Vorkehrungen getroffen, dass sehr gravierende Auswirkungen in der Umgebung nicht zu erwarten sind. Schwere Unfälle bei der Endlagerung von radioaktiven Abfällen sind im Vergleich hierzu wenig relevant.

5) Bei sehr seltenen Unfällen ist es jedoch sehr schwierig, die Wege zur Ermittlung der kleinen Wahrscheinlichkeitszahlen gedanklich nachzuvollziehen, die Genauigkeit der Zahlen abzuschätzen und schließlich diese Zahlen zu bewerten. Was heißt es schon, wenn ein schwerer Unfall mit einer Wahrscheinlichkeit von 1/100000 pro Jahr zu erwarten ist?

Tatsächlich ist es in der Technik und auch darüber hinaus nicht üblich, Sicherheitsnachweise mit Hilfe von Wahrscheinlichkeitsmodellen durchzuführen. Kein Statiker sagt, die von ihm ausgelegte Brücke habe eine Einsturzwahrscheinlichkeit von 1/100000 pro Jahr. Kein Richter sagt, die Wahrscheinlichkeit, dass ein von ihm Verurteilter unschuldig im Gefängnis sitzt, sei 1/10000. Für Sicherheitsnachweise werden vielmehr so genannte **deterministische Modelle** eingesetzt. Das Versagen eines Bauteils wird hierbei ausgeschlossen, wenn der einwandfreie Zustand des Bauteils und seine Beanspruchung zuverlässig kontrolliert werden können, wenn ein ausreichender Abstand zur Versagensbeanspruchung eingehalten wird und

LANGFASSUNG

wenn die physikalischen Prozesse, die zum Versagen führen, sehr gut bekannt sind. Das Ergebnis heißt dann: ***Nach menschlichem Ermessen ausgeschlossen***.

Hier gibt es gelegentlich Kritik. Es wird eingewandt, dass - wie anfangs ausgeführt - Restrisiken niemals ganz ausgeschlossen werden können und dass auch diese der Wahrscheinlichkeitstheorie unterliegen würden. Alles andere sei eine fragwürdige Vereinfachung. Dem ist entgegenzuhalten, dass die hier in Rede stehenden Ausfälle von Bauelementen genau genommen keine Zufallsprozesse sind. In der Technik wird nicht gewürfelt! Ausfälle haben ganz bestimmte physikalische Ursachen. Dagegen ist die Wahrscheinlichkeitstheorie genau genommen nur auf Zufallsprozesse anwendbar.

Schlussfolgerungen

- 6) Wahrscheinlichkeitsmodelle sind genau genommen nur Näherungen oder Hilfskonstruktionen. In vielen Fällen wie beispielsweise bei der Suche nach Schwachstellen sind sie sehr hilfreich. Bei sehr seltenen Unfällen mit sehr großen Schäden sind sie dagegen wenig aussagekräftig.
- 7) Deterministische Modelle sind ebenfalls Hilfskonstruktionen. Sie gestatten keine detaillierten Einblicke in die Zusammenhänge, aber bei sehr selten zu erwartenden Unfällen mit sehr großen Schäden liefern sie brauchbare Ergebnisse.

Die Ausführungen belegen, dass quantitative Beschreibungen von Unfallrisiken, zumindest aber wohlfundierte Ja/Nein-Aussagen durchaus möglich sind, dass aber die sachgerechte Durchführung umfangreiche Fachkenntnisse und Augenmaß erfordern. Es ist deswegen nicht verwunderlich, wenn kritische Bürger Einwände haben: Ist es nicht am besten, auf Techniken mit schwer zu durchschauenden Unfallrisiken ganz zu verzichten? In Deutschland sprangen bekanntlich zwei politische Parteien auf diesen Zug auf und legten den Ausstieg aus der Kernenergie gesetzlich fest.

Wichtige Sachprobleme lassen sich mit solchen „Patentrezepten“ aber ganz bestimmt nicht lösen. Auch Diskussionen über die Zumutbarkeit von Unfallrisiken wird man so nicht erstickt können. Wie ausführlich dargelegt, sind auch die anderen Techniken der Energieerzeugung mit Unfallrisiken behaftet. Auch hier sind schwere Unfälle mit vielen Todesopfern nicht nur denkbar, sondern haben sich schon ereignet. Zudem muss ja die Nutzung fossiler Energien wegen der abnehmenden Energierohstoffe und wegen der zunehmenden Treibhausgase (Klimaprobleme) zurückgefahren werden. Die dadurch immer drohender werdende Energieknappheit wird dann bestimmt die Diskussion über den Wiedereinstieg in die Kernenergie anheizen. Auch das ganz andere Verhalten unserer Nachbarländer wird uns nachdenklich machen.

Wie kann man mit dem Problem schwer zu durchschauender Unfallrisiken sachgerecht umgehen? Schlimme Unfallszenarien mit Angst einflößenden dramatischen Bildern haben sich tief in das Unterbewusstsein vieler Bürger eingegraben. Solche irrationalen Argumente lassen sich durch aufklärende Informationen kaum erschüttern.

Auch die Abschätzungen zur Häufigkeit schwerer Unfälle werden von kritischen Bürgern angezweifelt. Manche Sicherheitsfachleute sehen auch hierin irrationale Einwände. Aber damit schütten sie das Kind mit dem Bade aus; denn dass kritische Bürger bei Existenz bedrohenden Fragen die Entscheidungen nachvollziehen wollen, ist ein durchaus rationales Verhalten. Wie oben dargelegt, haben gerade hier die schwer durchschaubaren Wahrscheinlichkeitsmodelle (und Sicherheitstechniken, die solche Modelle favorisieren) entscheidende Defizite. Die stärkere Abstützung auf deterministische Modelle (und die Bevorzugung von Sicherheitstechniken, die solche Modelle begünstigen) kommt dagegen den legitimen Bedürfnissen der Bürger entgegen. Sorgfältige Sicherheitsnachweise, bei denen schwere Unfälle ***nach menschlichem Ermessen ausgeschlossen*** werden können, sind überzeugender! ■