

In welchem Umfang sind im Energiebereich während der letzten 30 Jahre schwere Unfälle aufgetreten ?

von Peter Burgherr, Stefan Hirschberg und Joachim Grawe

e-mail Peter.Burgherr@Energie-Fakten.de, Stefan.Hirschberg@Energie-Fakten.de und Joachim.Grawe@Energie-Fakten.de

Hier die Fakten - vereinfachte Kurzfassung

Eines der Kriterien für die Nachhaltigkeit von Energiesystemen ist die Risikoarmut. Sie kann anhand des Auftretens schwerer Unfälle in der Vergangenheit oder, soweit das nicht möglich ist, anhand von Modellrechnungen bemessen werden.

Das Paul Scherrer Institut (PSI) in Villigen/Schweiz besitzt die weltweit umfangreichste Datenbank über schwere Unfälle im Energiesektor. Als „schwere Unfälle“ gelten solche, bei denen mindestens eine der folgenden Konsequenzen zu verzeichnen war: 5 Todesfälle – 10 Verletzte – 200 Evakuierte – umfassendes regionales Verbot zum Verzehr von Lebensmitteln – Freisetzung von mehr als 10.000 t Kohlenwasserstoffen – erforderliche Reinigung einer Land- oder Wasserfläche von mindestens 25 km² – ökonomische Schäden von mindestens 5 Millionen US-Dollar.

Dabei werden nicht nur Unfälle bei der eigentlichen Energieerzeugung berücksichtigt, sondern

die kompletten Energieketten betrachtet, da sich Unfälle in jedem Glied ereignen, von der Exploration, Förderung, Aufarbeitung, Lagerung und Verteilung bis zur Abfallbehandlung und -entsorgung.

Die PSI-Datenbank ENSAD (Energy-Related Severe Accident Database) beinhaltet aktuell 18400 Einträge, wobei der Großteil auf die Periode 1969-2000 entfällt. Vergleiche der verschiedenen fossilen Energieträger, Wasserkraft und Kernenergie für diesen Zeitraum können wie folgt zusammengefasst werden. Schwere Unfälle sind in Schwellen- und Entwicklungsländern weit aus häufiger als in den Industrieländern der OECD mit ausgeprägter Sicherheitskultur. In den letzten 3 Jahrzehnten ereigneten sich in den OECD-Staaten bei Kohle, Erdgas (Naturgas) und Flüssiggas (LPG, Mineralölprodukt) insgesamt 75, 90 und 59 schwere Unfälle mit mindestens 5 Todesfällen, bei Erdöl sogar

165. Wasserkraft und Kernenergie sind mit einem bzw. keinem schweren Unfall mit unmittelbaren Todesfällen deutlich weniger unfallanfällig, die maximal möglichen hypothetischen Konsequenzen können aber sehr gross sein.

Den selteneren schweren Unfällen stehen – vor allem bei regenerativen Energien – zahlreichere kleine Unfälle gegenüber. Daten hierüber werden nur bedingt systematisch und zentral erfasst, weshalb sie oft unvollständig sind. Es gibt aber vergleichende Modellrechnungen, die in Untersuchungen über die Externen Kosten der Energiesysteme eingehen.

Durch Verbesserungen in Technik und Personalschulung sowie Optimierung des Zusammenspiels von Mensch und Maschine lassen sich die Anzahl schwerer Unfälle wie ihre Auswirkungen auf Mensch und Umwelt deutlich verringern.

In welchem Umfang sind im Energiebereich während der letzten 30 Jahre schwere Unfälle aufgetreten ?

von Peter Burgherr, Stefan Hirschberg und Joachim Grawe

e-mail Peter.Burgherr@Energie-Fakten.de, Stefan.Hirschberg@Energie-Fakten.de und Joachim.Grawe@Energie-Fakten.de

Hier die Fakten - Langfassung

1.) Ein wichtiges Kriterium für die Nachhaltigkeit eines Energieversorgungs-Systems ist dessen Risikoarmut. Das Risiko bemisst sich in erster Linie anhand von Schäden für den Menschen in Gestalt des sofortigen Todes, der Verkürzung seiner Lebenszeit durch Schädigungen des Organismus, die zu einem früheren als dem „normalen“ Todeszeitpunkt führen, oder der längerfristigen und gravierenden Beeinträchtigung der Gesundheit, daneben auch anhand von Schäden für die natürliche und kulturelle (Landwirtschaft, Gebäude) Umwelt. Solche Schäden können auftreten beim Normalbetrieb einer Anlage, (z. B. durch den Ausstoß von Schadstoffen wie Schwefeldioxid, Stickoxide und (Fein-)Staub, jeweils in größeren Mengen sowie von Treibhausgasen, bes. Kohlendioxid), bei Störfällen und erst recht bei Unfällen.

2.) Unfälle im Energiesektor bilden nach Transportunfällen die zweitgrößte Gruppe der vom Menschen verursachten (anthropogenen) Unfälle. Da sie übli-

cherweise nicht gesondert analysiert wurden, sondern nur als Teil sämtlicher anthropogener Unfälle, waren ihre Erfassung unvollständig und die gesammelten Informationen oft wenig detailliert. Trotzdem werden insbesondere spektakuläre Unfälle mit schwerwiegenden Konsequenzen sowohl von der Öffentlichkeit als auch in der energiepolitischen Debatte kontrovers wahrgenommen. Dies spiegelt sich auch in der Berichterstattung der Medien wider, die etwa zu folgenden Katastrophen ausführliche Pressemeldungen veröffentlichten:

- Bei Bergwerksunglücken im chinesischen Kohlenbergbau starben im Jahr 2004 mehr als 6.000 Bergleute; und im 1. Halbjahr 2005 waren es bereits wieder rund 2.700 Todesopfer.
- In der Nordsee forderten das Kentern einer Ölplattform im Jahr 1980 und die Explosion auf einer anderen 1988 jeweils mehr als 100 Tote.
- Der Untergang von Öltankern wie z.B. der „Exxon Valdez“

vor Alaska und der „Prestige“ vor dem spanischen Galicien führte zu einer Verschmutzung der betroffenen Meeres- teile und Küsten.

- Die Explosionen einer Flüssiggas-Leitung in Sibirien im Jahr 1989 und eines mit Flüssiggas beladenen Tankfahrzeugs nahe eines Zeltplatzes in Spanien 1978 hatten 600 bzw. 216 Tote zur Folge.
- Beim Reaktor-Unfall von Tschernobyl (Ukraine, damalige Sowjetunion), stehen nicht die 31 unmittelbaren Todesfälle im Vordergrund, sondern die auf Grund von Modell-Rechnungen unter bestimmter Annahmen befürchteten Langzeitfolgen wie Krebserkrankungen. (Siehe auch: [Was wissen wir heute über die Folgen des Reaktorunfalls von Tschernobyl vor 20 Jahren ?](#) von J. Grawe)
- Beim Bruch zweier vorwiegend der Wasserkraft-Nutzung dienenden Staudämme in der chinesischen Provinz Henan im Jahr 1975 kamen 26.000 Menschen ums Leben,

LANGFASSUNG

wobei Details zu diesem Unfall erst Jahre später an die Öffentlichkeit gelangten.

3.) Das Paul Scherrer Institut (PSI) in Villigen/Schweiz hat seit den 1990er Jahren begonnen, Informationen über schwere Unfälle im Energiesektor systematisch zu sammeln, ausführlich zu dokumentieren und auszuwerten. Daraus ist die weltweit umfangreichste Datenbank dieser Art ENSAD (Energy-Related Severe Accident Database) entstanden. Andere vom Menschen verursachte (anthropogene) Unfälle und Naturkatastrophen werden auch berücksichtigt, aber etwas weniger ausführlich. ENSAD umfasst zurzeit 18.400 Einträge, wovon rund 70 % anthropogene Unfälle sind und fast 90 % auf den Zeitraum 1969 bis 2000 entfallen. ENSAD ermöglicht erstmals detaillierte Risikovergleiche auf der Basis tatsächlich eingetretener Ereignisse, also nicht nur auf der Basis von Modell-Rechnungen (Fehlerbaum- und Ereignisbaum-Analysen). Weniger detailliert untersucht werden die häufig auftretenden „kleinen“ Unfälle mit im Einzelfall geringen, aber sich aufsummierenden Schäden, wie sie u. a. bei dezentralen Energie-Systemen auftreten. Daten hierzu werden nur bedingt systematisch und zentral erfasst, weshalb sie oft unvollständig und wenig ausführlich dokumentiert sind. Die ENSAD-Datenbank erlaubt auch interessante Vergleiche mit Schäden durch Natur-Katastrophen, über die die großen Versicherungsgesellschaften umfangreiches Material sammeln.

4.) Im Rahmen von ENSAD wird

ein Unfall als „schwer“ definiert, wenn mindestens eine der folgenden Konsequenzen zu verzeichnen war:

- mindestens 5 Todesfälle
- mindestens 10 Verletzte
- mindestens 200 evakuierte Personen
- umfassendes Verbot zum Verzehr von Lebensmitteln aus der betroffenen Region
- Freisetzung von mindestens 10.000 Tonnen Kohlenwasserstoffen, bes. Rohöl oder Mineralölerzeugnissen
- erforderliche Reinigung einer Land- oder Wasserfläche von mindestens 25 Quadratkilometern
- ökonomische Schäden von mindestens 5 Millionen US-Dollar.

5.) Die Unfälle können nicht nur bei der eigentlichen „Energieerzeugung“ im Kraftwerk auftreten, sondern in jedem Glied der jeweiligen gesamten Energiekette. Diese sog. Lebensweg-Betrachtung schliesst insbesondere ein:

- Prospektion und Exploration von energetischen und nicht-energetischen Rohstoffen
- Die Gewinnung der im wesentlichen nicht-energetischen Rohstoffe für den Bau und der energetischen Rohstoffe für den Betrieb der Anlage
- Lagerung und Aufbereitung der Rohstoffe
- Bau der Anlage
- Betrieb der Anlage
- Transporte zu und von der Anlage
- Abriss der Anlage
- Behandlung und Entsorgung nicht mehr verwertbarer Stoffe (Abfälle).

Es werden also alle Stufen „von der Wiege bis zur Bahre“ betrachtet.

6.) Die jeweiligen Anlagen, Verfahren und Techniken in den Schwellen- und Entwicklungsländern lassen sich hinsichtlich ihres Alters und ihrer Effizienz, vor allem aber auch hinsichtlich des Sicherheits-Standards, nicht vergleichen mit den entsprechenden Anlagen in den Industrieländern der OECD. Dies zeigt sich auch in den Unfallhäufigkeiten und den zugehörigen Schadensausmaßen, die in den Nicht-OECD Ländern deutlich höher sind als in der OECD. Deshalb werden die Ergebnisse für beide Ländergruppen getrennt ausgewiesen. Sowohl die mangelhaften Sicherheitsstandards in den chinesischen Kohleminen wie auch das Beispiel Tschernobyl verdeutlichen, dass es in Nicht-OECD Staaten häufig an der in westlichen Ländern normalerweise selbstverständlichen Sicherheitskultur mangelt.

7.) Zu Vergleichszwecken müssen Anzahl und Folgen von Unfällen „normiert“, d. h. auf eine bestimmte Menge an erzeugter Energie bezogen werden, z. B. auf eine Million Kilowattstunden (= 1 Gigawattstunde - GWh) oder auch ein Gigawattjahr - GWa - (1 GWa entspricht 8,76 Milliarden Kilowattstunden). Andernfalls würden Vergleiche der Risiken verschiedener Energieträger eine sehr begrenzte Aussagekraft haben. Die unmittelbaren Todesfälle einer Energiekette ergeben im Verhältnis zu ihrer äquivalenten Stromproduktion somit ein Maß in »Toten pro Gigawattjahr« (GWa), das direkte

LANGFASSUNG

Schwere Unfälle mit mindestens 5 unmittelbaren Todesfällen in den verschiedenen Energieketten in der Periode 1969- 2000

Energiekette	OECD-Länder			Nicht-OECD-Länder		
	Unfälle	Todesfälle	Anz. Tote bei max. Unfall	Unfälle	Todesfälle	Anz. Tote bei max. Unfall
Kohle	75	2259	272	1146*)	22848	434
Erdöl	165	3789	577	232	16494	4375
Naturgas	90	1043	109	45	1000	100
Flüssiggas	59	1905	498	46	2016	600
Wasserkraft	1	14	14	10	29924	26000***)
Kernenergie	-	-	-	1	31**)	31

*) Davon entfallen 1044 Unfälle mit 18017 Todesfällen nur auf China

**) ohne Langzeitfolgen. Im Fall von Tschernobyl reichen Berechnungen für die latenten Todesfälle durch Krebserkrankungen von etwa 9000 für die Ukraine, Russland und Weissrussland, bis zu 33000 für die gesamte nördliche Hemisphäre in den nächsten 70 Jahren ([Hirschberg et al., 1998](#)). Nach einer neuen Studie im September 2005 ([Chernobyl Forum, 2005](#); Kurzversion), die von einem Forum aus verschiedenen UNO Organisationen (IAEA, WHO, UNDP, FAO, UNEP, UN-OCHA und UNSCEAR) veröffentlicht wurde, könnten in den am meisten kontaminierten Gebieten bis zu 4000 Menschen an den Folgen der Strahlenbelastung sterben. Dieser Wert ist deutlich tiefer als die obere Grenze des Intervalls der PSI-Schätzung, welche jedoch nicht auf die am meisten kontaminierten Gebiete beschränkt war

***) allein 26000 Tote beim Banqiao/Shimantan Staudamm-Bruch in China

Vergleiche zwischen Energieketten und Ländergruppen ermöglicht.

8.) Die verfügbaren ENSAD-Daten sind für den Zeitraum 1969-2000 ausgewertet worden. Daraus ergibt sich folgendes Bild (zunächst ohne „Normierung“).

Rund 75 % der schweren Unfälle ereigneten sich in Schwellen- und Entwicklungsländern. Einen großen Anteil daran hatten Unfälle bei Förderung, Aufarbeitung und Transport von Kohle und Öl sowie bei der Wasserkraft-Nutzung in diesen Ländern. Am wenigsten unfallträchtig waren westliche Kern- und Wasserkraftwerke.

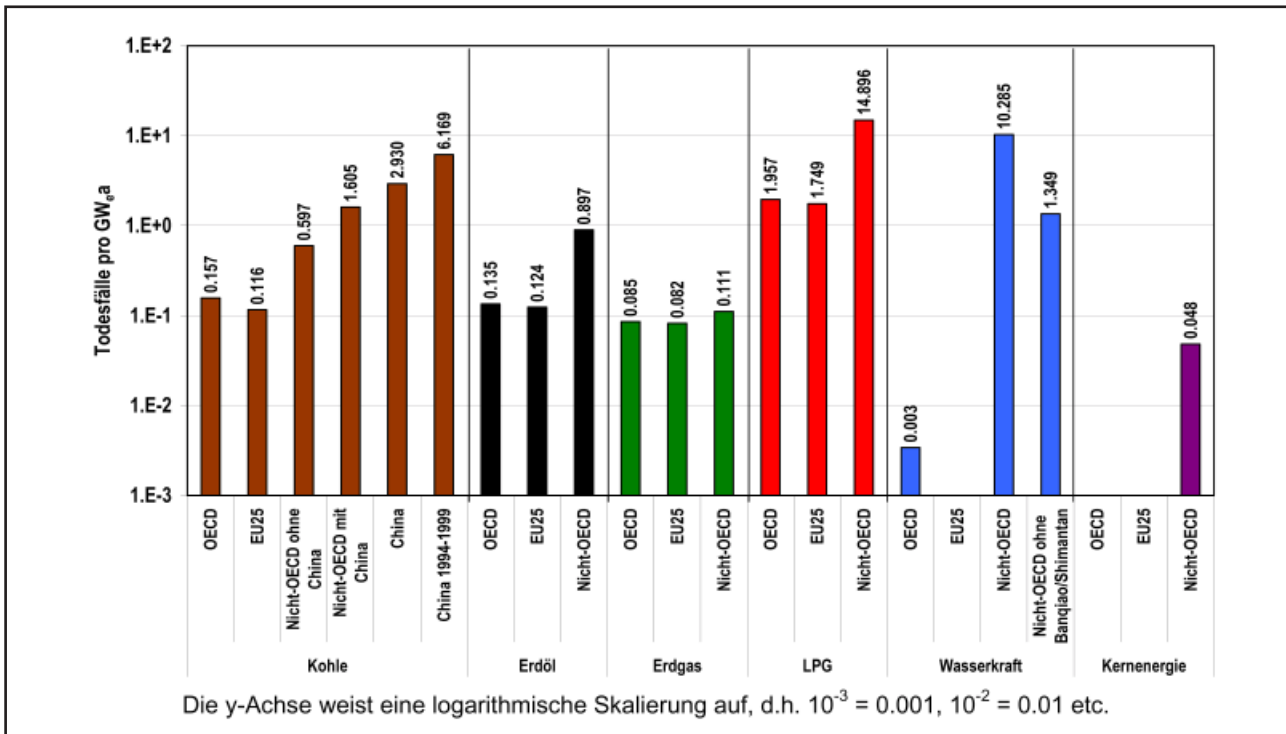
Normiert auf die schweren Unfälle je GWa ergibt sich das auf Seite 5 wiedergegebene Bild.

Es zeigt, dass LPG, Kohle, Erdöl und Erdgas das größte aus schweren Unfällen herrührende Risiko bei der Energieversorgung bergen. Dagegen liegen Wasserkraft- und Kernkraftwerke in den

OECD-Staaten am unteren Ende der Skala. In den westlichen Industrieländern hat es bisher keinen schweren Kernkraft-Unfall mit Todesfällen gegeben. Ableitungen aus dem einzigen schweren Unfall mit Gesundheitsschäden in Tschernobyl für Risiken der Kernenergie in der heutigen OECD sind aber nicht relevant, weil in OECD-Anlagen andere und sicherere Technologien verwendet werden. Das trifft überwiegend auch für die heutige Situation in der Nicht-OECD zu. Deswegen sind insoweit nur Probabilistische Sicherheitsanalysen, wie etwa die deutschen Reaktorsicherheits-Studien A (1979) und B (1990), möglich. Danach muss mit maximal 0,02 Todesfällen je GWa gerechnet werden. Ein GWa entspricht etwa 80 % der Jahresstromerzeugung eines großen Kernkraftwerks. Bei den modernsten Kernkraftwerken mit ihrem nochmals höheren Sicherheits-Standard liegt der oben

genannte Wert um etwa eine Größenordnung niedriger, also bei etwa 0,002 Todesfällen je GWa.

9.) Das reine Gefährdungs-Potential allein, ohne Rücksicht darauf, wie wahrscheinlich es ist, dass es sich in Gestalt eines schweren Unfalls realisiert, ist ungeeignet als Maßstab zur Beurteilung einer Energietechnik. So ereignen sich Unfälle in den chinesischen Kohlegruben zwar sehr häufig, fordern jedoch nur selten mehr als 100 Opfer. Demgegenüber sind die Erdöl- und Erdgaskette deutlich weniger unfallträchtig, können aber in der Nicht-OECD Maximalschäden verursachen, die eine bis zwei Größenordnungen über jenen von Kohle liegen. In der Regel wird eine grosse Katastrophe mit vielen Toten als schlimmer betrachtet, als viele kleinere Unfälle mit der gleichen Summe an Toten. Wie Risiken wahrgenommen und beurteilt werden, ist aber entscheidend für unsere



Bereitschaft, sie zu akzeptieren oder eben nicht. Deshalb sind verschiedene Betrachtungsweisen nötig.

10.) Schwere Unfälle oder jedenfalls ihre schlimmsten Auswirkungen lassen sich vermeiden, vor allem durch technische Maßnahmen. So könnten die hohen Verluste an Menschenleben in den chinesischen Kohlengruben durch Modernisierung und Einführung westlicher Sicherheitstechnik drastisch verringert werden. Doppelwandige Öltanker werden das Risiko von Meeres- und Küstenverschmutzungen bei Havarien weitgehend reduzieren. Bei Kernkraftwerken kommt es

auf die Optimierung des Zusammenspiels von Mensch und Maschine mit wechselseitiger Kontrolle und damit Kompensation ihrer jeweiligen Schwächen an, so einerseits auf automatisches Reagieren des Reaktors bei Abweichungen von Kenndaten (Schnellabschaltung und Verhinderung von Panik-Eingriffen der Betriebsmannschaft) und andererseits sog. Accident-Management-Maßnahmen, das sind Eingriffe der Betriebsmannschaft nach Störfällen zur Verhinderung von Folgewirkungen. Bei den neu entwickelten deutsch-französischen EPR-Reaktoren, von denen der erste derzeit in Finn-

land gebaut wird, kann im extrem unwahrscheinlichen Fall eines Schmelzens des Reaktorkerns die Schmelzmasse in einer Bodenwanne („Core-Catcher“) aufgefangen werden, so dass das Entweichen größerer Radioaktivitäts-Mengen verhindert wird.

Wenn die heutigen Sicherheits-Erkenntnisse in weitere Maßnahmen umgesetzt werden, werden die Unfallzahlen im Energiebereich in den nächsten Jahren und Jahrzehnten deutlich sinken und die Unfallfolgen weit geringer ausfallen. Ein „Null-Risiko“ gibt es allerdings nirgends.