

## **Studie**

Berechnung einer risikoadäquaten Versicherungsprämie zur Deckung der Haftpflichtrisiken, die aus dem Betrieb von Kernkraftwerken resultieren

Eine Studie im Auftrag des

**Bundesverband Erneuerbare Energie e.V. (BEE)**

Leipzig, der 01. April 2011

Kontakt:

Benjamin Günther

Fon: 0341/124 55 – 43

E-Mail: [guenther@versicherungsforen.net](mailto:guenther@versicherungsforen.net)

## **Vorstellung der Versicherungsforen Leipzig GmbH**

Die Versicherungsforen Leipzig verstehen sich seit der Gründung im Jahr 2000 als neutraler und unabhängiger Wissenschaftsdienstleister für die Assekuranz und damit als Brückenbauer zwischen Wissenschaft und Versicherungspraxis. So prüfen die Versicherungsforen Leipzig permanent, ob und wo es aktuelles wissenschaftliches Know-how und Methodenkompetenz der Wissenschaft gibt, die es wert sind, in die Versicherungspraxis transferiert zu werden. Der Wissenstransfer findet seine Ausprägung in Form verschiedener Dienstleistungen rund um den Kreislauf des Wissensmanagements.

Alle der rund 40 Mitarbeiter der Versicherungsforen Leipzig verfügen über eine versicherungswissenschaftliche Ausbildung in den Disziplinen Betriebswirtschaft, Recht, Informatik oder Mathematik. Dabei arbeiten sie eng mit den Schwestergesellschaften der Versicherungsforen Leipzig (Energieforen Leipzig, Gesundheitsforen Leipzig, Softwareforen Leipzig) zusammen, um auch Lösungen für übergreifende Fragestellungen zu finden.

Die Autoren der Studie haben ihre Wurzeln in den Disziplinen Versicherungsbetriebslehre und Versicherungsmathematik.

## **Vorstellung der Studie**

*Auftraggeber / Beauftragungszeitpunkt*

Die vorliegende Studie wurde zum Jahreswechsel 2010/2011 – also noch vor der Atomkatastrophe in Fukushima – vom Bundesverband Erneuerbare Energien beauftragt.

*Gegenstand, Ziel und Struktur (Gliederung) der Studie*

Gegenstand der Studie ist die Berechnung einer risikoadäquaten Versicherungsprämie zur Deckung der Haftpflichtrisiken, die aus dem Betrieb von Atomkraftwerken resultieren.

Ziel ist, auf der Grundlage vorhandener Abschätzungen zu Eintrittswahrscheinlichkeiten und Schadenhöhen von nuklearen Katastrophenfällen (Super-GAU, INES-Stufe 7) eine adäquate Versicherungsprämie zur Deckung der daraus resultierenden Schäden zu berechnen.

Gliederung:

1. Begriffsbestimmungen
2. Betrieb eines KKW und sich daraus ergebende Haftungsstrecken
3. Dimensionen des Versicherungsschutzes für einen nuklearen Katastrophenfall
4. Existierende Quantifizierungsmethoden für die Abschätzung der Schadenhöhe
5. Eintrittswahrscheinlichkeit: Bisherige Quantifizierungsmethoden und Einfluss von Szenarien auf einen nuklearen Katastrophenfall
6. Berechnung der Haftpflichtversicherungsprämie für das Risiko „nuklearer Katastrophenfall“
7. Interpretation der Ergebnisse und Fazit

## **Annahmen / Paradigmen für die Studie**

### *Versicherungsart*

Es handelt sich um eine Haftpflichtversicherung als Versicherungszweig der Schadenversicherung zur Absicherung von Schadenersatzansprüchen Dritter, die durch einen nuklearen Katastrophenfall verursacht werden. Im Rahmen der Studie wird eine „unbegrenzte Interessenversicherung“ angenommen, d. h. die Entschädigungshöhe ist deckungsgleich mit der Schadenhöhe und nach oben nicht gedeckelt. Diese Ausgestaltung ist für Haftpflichtversicherungen aller Art eher untypisch.

### *Versichertes Risiko: „Nuklearer Katastrophenfall im KKW“*

Die Studie bezieht sich ausschließlich auf das Haftungsrisiko des KKW-Inhabers für einen nuklearen Katastrophenfall („Super-GAU“, INES-Stufe 7), der einen Höchstschaden auslöst. Dessen Ausmaß bestimmt die Höhe des Schadenersatzes.

### *Versicherte Gefahren*

Versicherte Gefahren sind Auslöser, die zum Eintreten des versicherten Schadens durch einen nuklearen Katastrophenfall an einem KKW führen können. Hierbei wurden grundsätzlich keine Ausschlüsse vorgenommen, was der rechtlichen Situation in Deutschland entspricht:

Die Haftpflicht für den KKW-Betrieb entspricht in Deutschland nämlich generell einer strikten Gefährdungshaftung, d. h. es kommt bei einem Schaden nicht auf dessen Widerrechtlichkeit oder Verschulden des Inhabers an. Vielmehr haftet der Inhaber eines KKW unbegrenzt und unabhängig vom Verschulden gegenüber Schadenersatzansprüchen Dritter.

### *Versicherte Schäden*

Die Studie orientiert sich an Art. 1 Abs. a Ziffer (vii) des Protokolls zur Änderung des Pariser Übereinkommens, das im Wesentlichen auf

- der Tötung und Verletzung von Menschen,
- dem Verlust von oder Schaden an Vermögenswerten,
- die Kosten von Maßnahmen zur Wiederherstellung geschädigter Umwelt sowie
- Einkommensverlusten aus einem unmittelbaren wirtschaftlichen Interesse an der Nutzung oder dem Genuss der Umwelt

abstellt.

Bedingung für die Anerkennung als Schäden in diesem Sinne ist, dass sie durch ionisierende Strahlung verursacht werden, die von einer Strahlenquelle, Kernbrennstoffen oder radioaktiven Erzeugnissen innerhalb eines KKW oder durch eine Kernanlage und deren Betrieb verursacht werden.

### *Versicherungsprämie / Prämienkalkulation*

Im Rahmen seiner Prämienpolitik kalkuliert der Versicherer die Preise für den angebotenen Versicherungsschutz so, dass die Prämien erträge die entstehenden geschätzten Aufwendungen decken können. Im Normalfall fließen in die Kalkulation Erfahrungswerte hinsichtlich tatsächlicher Aufwendungen für in der Vergangenheit bereits eingetretene vergleichbare Schadenfälle und geschätzte Aufwendungen für künftige Schadenfälle ein.

Im Rahmen der Studie wurde der Versuch unternommen, die Brutto-Risikoprämie zur Deckung von Haftpflichtrisiken, die aus dem KKW-Betrieb resultieren, zu kalkulieren. Hierbei haben wir uns ausschließlich auf die Risikoprämie fokussiert, d. h. weitere übliche Prämienbestandteile – etwa zur Deckung der Betriebskosten des Versicherers – wurden aus der Betrachtung ausgeklammert, u.a. deshalb, weil sie für die vorliegende Fragestellung von untergeordneter Bedeutung sind.

In der Prämienkalkulation entspricht die reine Risikoprämie üblicherweise dem Deckungsbeitrag für die erwarteten Schadenkosten des Risikos. Für die Berechnung der Risikoprämie wird üblicherweise der Schadenerwartungswert, der sich aus Multiplikation von potenzieller Schadenhöhe und Schadeneintrittswahrscheinlichkeit ergibt, zugrunde gelegt. Dieser Ansatz ist – wie unten noch gezeigt wird – hier allerdings nur teilweise sinnvoll anwendbar.

Ein weiterer Bestandteil der Risikoprämie ist der Sicherheitszuschlag, der als Deckungsbeitrag für mögliche Überschäden – aufgrund der Streuung der erwarteten Schäden in der Wahrscheinlichkeitsverteilung – dient. Der Sicherheitszuschlag dient daher der Absicherung der Schwankungen der tatsächlichen Schadenzahlungen um den Erwartungswert und stellt einen zusätzlichen Deckungsbeitrag zu Absicherung des Risikos dar.

### *Sekundäranalysen und Primäranalysen für die Bestimmung von Schadeneintrittswahrscheinlichkeit und Schadenhöhe*

Im Rahmen der Studie wurden nach einer umfassenden Literaturrecherche und -sichtung die verschiedenen Quantifizierungsansätze bzw. konkret genannten angenommenen Schadeneintrittswahrscheinlichkeiten und Schadenhöhen bereits existierender Expertstudien verwendet. Darüber hinaus wurden eigene Annahmen getroffen sowie im Rahmen einer Primäranalyse witterungsbedingte Parameter berücksichtigt, d.h. soweit statistisch vorhersagbar wurden die Windrichtung und -geschwindigkeit, der Niederschlag sowie die freigesetzte Menge des radioaktiven Materials in die Berechnungen einbezogen.

Grundsätzlich wurden für die Ermittlung der Schadenhöhe und deren Eintrittswahrscheinlichkeit vorsichtige Annahmen getroffen.

### *Annahmen zur Eintrittswahrscheinlichkeit für einen nuklearen Katastrophenfall im KKW*

Zur Abschätzung der Eintrittswahrscheinlichkeit existiert eine Reihe von Quellen, auf die zurückgegriffen wurde. Diese Studien haben allerdings nur technische Ereignisabläufe zur Grundlage und berücksichtigen darüber hinaus keine externen Gefahren. In der vorliegenden Untersuchung wurde dies nun getan und dabei auf folgende Gefahren abgestellt:

- Alterung der KKW
- Terrorakt (gezielter Flugzeugabsturz, Angriff mit Panzerlenk Waffen, Sabotage durch Innentäter)
- Computervirus
- Menschliches Versagen
- Erdbeben

Für jede dieser Schadenarten wurden nun Eintrittswahrscheinlichkeiten aus den Sekundärstudien entnommen bzw. selbst geschätzt, siehe Folie.

### *Annahmen zur Schadenhöhe für einen nuklearen Katastrophenfall im KKW*

In den untersuchten Studien wurden zu folgenden Schadenarten Aussagen über potenzielle Schadenhöhen getroffen:

- Tödliche und nicht-tödliche Krebserkrankungen
- Genetische Schäden
- Evakuierung und Umsiedlung
- volkswirtschaftliche Verluste aus der Sperrung von Gebieten und Konsumverboten von Nahrungsmitteln

Für diese Schadenarten wurden nun den in der Vergangenheit vorgelegten Studien die jeweiligen Ergebnisse extrahiert. Darüber hinaus wurden die Wetterstatistiken (insbesondere Windrichtungen) für die 17 deutschen KKW aus der Vergangenheit als Basis für die Zukunft angenommen, um Ableitungen für potenzielle Schadenausmaße im Kontext von Umsiedlungsmaßnahmen zu treffen.

## **Ergebnisse**

### *Schätzung der Verteilung der Schadenhöhen / Annahmen:*

Aufgrund der individuellen Ausprägungen der Einflussfaktoren kann für jedes Kernkraftwerk eine spezifische Kombination aus Schadenhöhe und Schadeneintrittswahrscheinlichkeit entstehen, wodurch das Risiko einer nuklearen Katastrophe in Form einer Wahrscheinlichkeitsverteilung von Schäden beschrieben werden kann. Das heißt, jede Schadenhöhe wird durch eine spezifische Schadeneintrittswahrscheinlichkeit beschrieben (s. Folie mit linksschiefer Verteilung).

Basierend auf den Schadenerwartungswerten, die aus eigenen Annahmen stammen bzw. den Expertenschätzungen der untersuchten Studien entnommen wurden, haben wir eine Verteilungsfunktion für die Schadenhöhen eines nuklearen Katastrophenfalls mittels folgender Parameter geschätzt.

Minimale Schadenhöhe:	150 Mrd. EUR
Schadenerwartungswert:	5.756 Mrd. EUR
10-fache Streuung:	607 Mrd. EUR
Maximale Schadenhöhe:	6.363 Mrd. EUR

Mittels dieser Verteilungsfunktion wurden in mehreren Simulationsdurchläufen die Schäden simuliert und jeweils der Höchstschaden ausgewählt. Da sich Schadenereignisse eines nuklearen Katastrophenfalls in einem KKW insbesondere durch extreme Schadenhöhen und sehr geringe Eintrittswahrscheinlichkeiten auszeichnen, wurden auf diese Höchstschäden Methoden der Extremwertstatistik angewandt, um die Verteilungsfunktion der Maximalschäden, ihren Erwartungswert (erwarteter Maximalschaden) und ihre Streuung zu bestimmen. Die Deckungssumme ergibt sich aus diesem erwarteten Maximalschaden sowie dem sechsfachen seiner Streuung als Sicherheitszuschlag.

Erwarteter Maximalschaden: 5.900 Mrd. EUR

6-fache Streuung: 190 Mrd. EUR

Deckungssumme: 6.090 Mrd. EUR

Die errechnete Summe, die somit für einen nuklearen Katastrophenfall bereitgestellt werden muss, beträgt **6,09 Billionen Euro** (6.090 Mrd. Euro).

### *Barwertberechnung*

Diese Deckungssumme wurde in eine Jahresprämie für jedes Kernkraftwerk umgerechnet, wobei ein Rechnungszins von zwei Prozent zugrunde gelegt wurde. Hierbei wurde allerdings von der üblichen Prämienkalkulation abgewichen: Vor dem Hintergrund, dass die höchstmögliche Schadengröße – wie oben gesehen – extreme Dimensionen annimmt und gleichzeitig kein oder nur ein sehr kleiner Bestand an versicherten Risiken vorliegt, funktioniert die übliche Versicherungstechnik, die von einem Risikoausgleich im Kollektiv und über die Zeit ausgeht, nicht.

Die Versicherungsprämie kann daher nicht anhand des einjährigen Schadenerwartungswerts gebildet werden, weil es kein oder ein zu kleines Kollektiv gibt, in dem sich individuelle Über- und Unterschäden (i.S.v. negativen oder positiven Abweichungen vom Schadenerwartungswert) ausgleichen können.

Darüber hinaus wäre keine Institution in der Lage, einen Schaden, der zu jedem Zeitpunkt innerhalb der angenommenen Realisationszeiträume auftreten kann, ohne entsprechend bereitgestellte Deckungssumme zu bezahlen. Dies hätte die unmittelbare Insolvenz zur Folge.

Die Prämie wurde daher als Barwertberechnung für einen Zeitraum vollzogen, in dem die Deckungssumme für den nuklearen Katastrophenfall aufgebaut wird und dann im Folgenden für Entschädigungsleistungen zur Verfügung steht. Da unsicher ist, ob und wann ein solcher Katastrophenfall eintritt, hängt die Prämienhöhe davon ab, innerhalb welchen Zeitraums die Deckungssumme aufzubauen ist.

Wir haben deshalb verschiedene Szenarien betrachtet, bei denen einerseits die Deckungssumme in einem Zeitraum von 100 bis 10 Jahren aufzubauen wäre und andererseits berücksichtigt wird, dass eine tatsächliche Versicherung von Haftpflichtrisiken vermutlich eher mittels eines Versicherungs-Pools erfolgen würde, der mehrere oder alle 17 in Deutschland ansässigen Kernkraftwerke in einem Kollektiv versichert. Die Versicherungsprämie wurde dann in Beziehung zur im Jahr 2010 durch Kernkraftwerke erzeugten Strommenge gesetzt.

Werden diese unterschiedlichen Szenarien betrachtet, ergibt sich eine Haftpflichtversicherungsprämie, welche die Kilowattstunde in einer Spanne von **rund 0,14 Euro bis 67,30 Euro** verteuern würde. Dieser Aufschlag auf den regulären Strompreis müsste über den gesamten Zeitraum des Aufbaus der Deckungssumme gezahlt werden.

Die anschließend zu zahlende reine Risikoprämie wäre hauptsächlich von der angenommenen Eintrittswahrscheinlichkeit, der verbleibenden Restlaufzeit sowie der Anzahl der im Pool befindlichen versicherten Risiken abhängig.

## **Fazit / Bewertung**

Die durchgeführten Berechnungen zeigen, dass die Höhe der Prämie insbesondere von der Dauer, die für den Aufbau der Deckungssumme angenommen wird, sowie von der Größe des Kollektivs (etwa durch Poolbildungen) bestimmt wird. Die Notwendigkeit einer zeitnahen Bereitstellung ergibt sich daraus, dass das Eintreten eines Schadenfalls am ersten Tag genauso wahrscheinlich ist wie ein Eintritt nach eintausend oder 10 Millionen Jahren. Aus der Übersicht der Kosten pro Kilowattstunde für die einzelnen Szenarien wird deutlich, dass im Hinblick auf die Situation in Deutschland keine Möglichkeit besteht, eine vollumfängliche Deckung des Risikos zu gewährleisten. Bereitstellungszeiträume, welche die verbleibenden Restlaufzeiten deutscher Kernkraftwerke und normale Laufzeiten von 25 bis 40 Jahren berücksichtigen, erscheinen nicht finanzierbar. Hier wird die Problematik eines mit Inbetriebnahme sofort vorhandenen Risikos bei gleichzeitigem Fehlen einer genügend großen Deckungssumme für Entschädigungen besonders deutlich.

Praktisch sind nukleare Katastrophenfälle, die im KKW entstehen, nicht versicherbar, was insbesondere in der Kombination aus

- fehlender Größe des Risikokollektivs,
- extremer Höhe des erwarteten Maximalschadens und
- schwer abschätzbarer Schadeneintrittswahrscheinlichkeit und Schadenhöhen (aufgrund der angenommenen Seltenheit des Schadenereignisses)

begründet liegt. Die im Rahmen dieser Studie berechnete Versicherungsprämie stellt daher lediglich eine fiktive Versicherungsprämie als Maßzahl für das gesamte Risiko eines nuklearen Katastrophenfalls dar. In die Berechnung dieser fiktiven Prämie sind Annahmen aus einer Vielzahl bestehender Studien zu den Gefahren und Auswirkungen nuklearer Strahlung auf Umsysteme einbezogen worden; diese Annahmen sind ihrerseits mit Unsicherheiten behaftet.

Die Studie soll daher vor allem einen Beitrag zur aktuellen Debatte über das „Restrisiko“ eines nuklearen Katastrophenfalls liefern und eine Abschätzung für die Höhe und Bereitstellung finanzieller Mittel für diesen Schadenfall geben. An verschiedenen Stellen der Studie wurde auch auf die in der Realität fehlende Versicherbarkeit bzw. Finanzierbarkeit hingewiesen. Damit stellt sich die Nutzung der Kernenergie und die damit verbundenen Risiken weniger als ökonomische Fragestellung denn als Frage der Bereitschaft von Gesellschaft und Volkswirtschaft dar, die im Rahmen der Studie quantifizierten Risiken zu tragen. Dies kann nur durch eine gesellschaftliche Diskussion beantwortet werden.

Darüber hinaus sollen alle Annahmen und die angewandten Methoden offengelegt werden; damit ist die vorliegende Studie freigegeben für weitere Untersuchungen, die dann ggf. unter anderen, verbesserten Annahmen erfolgen können.