

Externe Kosten der Atomenergie und Reformvorschläge zum Atomhaftungsrecht

Hintergrundpapier zur Dokumentation von Annahmen, Methoden und Ergebnissen

Bettina Meyer

Dipl.-Volksw., Vorstand Forum Ökologisch-Soziale Marktwirtschaft e.V.



Hintergrundpapier im Rahmen des
Projekts „Was Strom wirklich kostet“
im Auftrag von

KURZZUSAMMENFASSUNG

Dieses Hintergrundpapier entstand im Rahmen des Projekts „Was Strom wirklich kostet - Vergleich der staatlichen Förderungen und gesamtgesellschaftlichen Kosten konventioneller und erneuerbarer Energien“ des FÖS im Auftrag von BWE und Greenpeace Energy. Hier werden Methodik und Ergebnisse der Ermittlung der externen Kosten der Atomenergie dargelegt.

Hinsichtlich der externen Kosten der Atomenergie liegen Schätzungen in der sehr großen Bandbreite von 0,1 Ct/kWh bis hin zu 320 Ct/kWh vor. Die verschiedenen Schätzungen weichen also um den Faktor 3.200 voneinander ab. Aus dieser Bandbreite methodisch fundiert einen „Best Guess“ herauszufiltern, ist nicht möglich. Für die externen Kosten der Atomenergie kann lediglich eine verkleinerte Bandbreite, aber kein Punktwert angegeben werden. Für den unteren Wert der Bandbreite wird auf die Hilfslösung des Umweltbundesamtes in der Methodenkonvention zu externen Kosten zurückgegriffen, Atomenergie den Satz des schlechtesten fossilen Brennstoffs - Braunkohle - zuzuordnen, also 10,7 Ct/kWh. Als oberer Wert der Bandbreite wird auf Basis einer breiten Literaturlauswertung und einer Expertenbefragung eine Neuberechnung des Schadenserwartungswertes für den Fall katastrophaler nuklearer Unfälle vorgelegt. Für den reinen Schadenserwartungswert wird eine Bandbreite von aus heutiger Sicht realistischen Annahmen und Methoden zugrunde gelegt, woraus unter Berücksichtigung eines Risikoaversionsfaktors externe Kosten der Atomenergie von 34 Ct/kWh resultieren.

Zusammenfassend ist also das zentrale Ergebnis eine Best-Guess-Bandbreite der externen Kosten der Atomenergie von 10,7 - 34 Ct/kWh. Es sei ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die externen Kosten sowohl höher als auch geringer sein können. Auch der obere Wert der Bandbreite repräsentiert keine Obergrenze, sondern eine realistische, hinsichtlich mehrerer Einflussfaktoren noch eher vorsichtige Schätzung der externen Kosten der Atomenergie.

INHALTSÜBERSICHT

TABELLENVERZEICHNIS	4
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	5
I. KURZFASSUNG ZU EXTERNEN KOSTEN SOWIE REFORMVORSCHLÄGE ZUM ATOMHAFTUNGSRECHT	6
A. Einleitung	6
B. Zusammenfassung und Fazit zu den externen Kosten der Atomenergie	7
C. Reformvorschläge zur Atomhaftung (mit Schwerpunkt auf national umsetzbare Reformbausteine)	14
0. Welt- oder zumindest EU-weit deutlich erhöhte Haftpflicht und Deckungsvorsorge	14
1. Deutliche Erhöhung von Haftpflichtversicherung und Deckungsvorsorge	15
2. Alternativ oder kombiniert (falls deutlich erhöhte Haftpflichtversicherung bzw. Deckung nicht bereitgestellt werden kann): Erhöhung der Kernbrennstoffsteuer oder Einführung einer Steuer auf produzierten und importierten Atomstrom	16
3. Abschaffung der Haftungsbegrenzung auf 2,5 Mrd. € u.a. bei schweren Naturkatastrophen	17
4. Interne Haftung nach Konzernrecht ersetzen durch Direkthaftung der Muttergesellschaften der KKW-Betreiber	18

II. LANGFASSUNG	19
A. Ansatzpunkte zur Quantifizierung der externen Kosten des Unfallrisikos der Atomenergie	19
0. Zur Wahrscheinlichkeit hoher Freisetzungen durch katastrophale nukleare Unfälle	19
a) Definition katastrophaler nuklearer Unfälle (Super-GAU)	19
b) Methodik und Ergebnisse von Probabilistischen Sicherheitsanalysen	20
c) Grenzen von PSA	27
d) Fazit PSA	28
1. Erwartungswert des Schadens	30
a) Anzahl der tödlichen und nicht tödlichen Krebserkrankungen nach einem nuklearen Unfall mit hohen Freisetzungen	30
b) Wertansätze für Todesfälle bzw. nicht tödliche Krebserkrankungen	31
c) Sachschäden	34
d) Fazit: Erwartungswert (ohne Risikoaversionsfaktor) bei alternativen Schadensschätzungen und Eintrittswahrscheinlichkeiten	35
e) Risikoaversionsfaktor	36
f) Folgekosten des katastrophalen nuklearen Unfalls in Tschernobyl	37
2. Externe Kosten des nächst schlechtesten Energieträgers	38
3. Ermittlung der Versicherungsprämie für eine deutlich erhöhte Haftpflichtversicherungspflicht für KKW	39
a) Bestehendes Haftungsrecht in Deutschland	39
b) Hochrechnung der Prämie der bestehenden Haftpflichtversicherung auf höhere Versicherungssummen	40
4. Kapitalansparung zur Erhöhung von Haftung und Deckung	42
B. Annahmen, Methodik und Ergebnisse von Studien zur Quantifizierung von externen Kosten der Atomenergie	43
1. Ewers/Rennings 1992	43
2. PROGNOSE 1992	44
3. Moths 1992/1994	45
4. CEPN 1995	46
5. Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ 1994	47
6. Energie-Enquete-Kommission 2002	47
7. Diekmann/Horn 2007	48
8. UBA Methodenkonvention zu externen Kosten 2007	49
9. Renewable Energy Costs and Benefits for Society (RECABS) 2007	51
10. Europäische Umweltagentur (EEA) 2008	52
11. New Energy Externalities Development for Sustainability (NEEDS) 2009	53
12. Panorama 2011	54
13. Versicherungsforen Leipzig (VFL) 2011	55
14. ifo (Zimmer / Lippelt) 2011	58
C. Ansatzpunkte zur Quantifizierung der externen Kosten der Prozesskette des Abbaus und der Weiterverarbeitung von Uran	59
Literatur	61

TABELLENVERZEICHNIS

Tab. 1	Übersicht über in der Literatur vorfindbare Ansätze zur Quantifizierung der externen Kosten des atomaren Unfallrisikos	8
Tab. 2	Vergleich und Aktualisierung der Annahmen und Ergebnisse von Ewers/Rennings 1992 und CEPN 1995 in diesem Hintergrundpapier	10
Tab. 3	Ergebnisse bezüglich der externen Kosten der fossilen Energieträger in Studien im Auftrag von BMU und UBA	11
Tab. 4	INES-Skala zu nuklearen Ereignissen	19
Tab. 5	Arten von für deutsche KKW durchgeführten Probabilistischen Sicherheitsanalysen	22
Tab. 6	Ergebnisse zur Wahrscheinlichkeit schwerer nuklearer Unfälle im BMU-Fortschrittsbericht 2011 zu den EU Stresstests	23
Tab. 7	Wahrscheinlichkeit hoher Freisetzungen nach einer Kernschmelze	24
Tab. 8	Übersicht über Angaben zur Wahrscheinlichkeit katastrophaler nuklearer Unfälle pro Reaktorbetriebsjahr	25
Tab. 9	Übersicht über Angaben zur Anzahl tödlicher Krebserkrankungen	30
Tab. 10	Angaben zum Wertansatz für Todesfälle in der ausgewerteten Literatur	33
Tab. 11	Sachvermögen	34
Tab. 12	Vergleich und Aktualisierung der Annahmen und Ergebnisse von Ewers/Rennings 1992 und CEPN 1995 in diesem Hintergrundpapier	35
Tab. 13	Ergebnisse bezüglich der externen Kosten der fossilen Energieträger in Studien im Auftrag von BMU und UBA	38
Tab. 14	Hochrechnung der Versicherungsprämie der bestehenden Haftpflicht im Atombereich auf alternative Deckungssummen	40
Tab. 15	Annahmen bezüglich der Einzelschadenshöhen bei einem nuklearen Katastrophenfall in VFL 2011	55
Tab. 16	Zusammenfassung der Annahmen und Ergebnisse zu den Kosten katastrophaler nukleare Unfälle in VFL 2011	55
Tab. 17	Belastung pro kWh Strom für die Finanzierung der Prämie in den verschiedenen Szenarien der Versicherungsforen Leipzig	56
Tab. 18	Annahmen bezüglich der Eintrittswahrscheinlichkeiten bei einem nuklearen Katastrophenfall bei den Versicherungsforen Leipzig	57
Tab. 19	Annahmen zur Ermittlung der externen Kosten bei ifo (Zimmer / Lippelt) 2011	58
Tab. 20	Lieferländer deutscher Uranimporte (Natururan) 2000-2009	59

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

AMM	Accident-Management-Maßnahmen
AtG	Atomgesetz
BfS	Bundesamt für Strahlenschutz
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie
CDF	Core Damage Frequency (Kernschadens-Häufigkeit)
CEPN	Centre d'étude sur l'évaluation de la protection dans le domaine Nucléaire (Französisches Forschungsinstitut, das die Studie zu externen Kosten der Atomenergie im Rahmen der ExterneE-Studienserie im Auftrag der EU-Kommission erstellt hat)
Ct/kWh	Cent pro Kilowattstunde
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
DRS	Die Deutsche Risiko-Studie Kernkraftwerke
ECU	European Currency Units (Europäische Währungseinheit)
EEA	European Environmental Agency (Europäische Umweltagentur)
EU	Europäische Union
EVU	Energieversorgungsunternehmen
FhG/ISI	Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung
FÖS	Forum Ökologisch-Soziale Marktwirtschaft
GKN	Kernkraftwerk Neckarwestheim
GRS	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit
HSF	Hazard State Frequency (Gefährdungszustands-Häufigkeit)
IAEA	International Atomic Energy Agency (Internationale Atomenergie Organisation)
ICRP	International Commission on Radiological Protection (Internationale Strahlenschutzkommission)
IEA	International Energy Agency / Internationale Energieagentur
IER	Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung
INES	International Nuclear Event Scale
KKI	Kernkraftwerk Isar
KKK	Kernkraftwerk Krümmel
KKP	Kernkraftwerk Philippsburg
KKW	Kernkraftwerk
LERF	Large Early Release Frequency (Wahrscheinlichkeit früher hoher Freisetzungen)
LRF	Large Release Frequency (Wahrscheinlichkeit hoher Freisetzungen)
MPI	Max-Planck-Institut
Pf/kWh	Pfennig pro Kilowattstunde
PSA	Probabilistische Sicherheitsanalyse
TWh	Terawattstunde
UBA	Umweltbundesamt
VFL	Versicherungsforen Leipzig

I. Kurzfassung zu externen Kosten sowie Reformvorschläge zum Atomhaftungsrecht

A. Einleitung

Dieses Hintergrundpapier entstand im Rahmen des Projekts „Was Strom wirklich kostet - Vergleich der staatlichen Förderungen und gesamtgesellschaftlichen Kosten konventioneller und erneuerbarer Energien“ des Forums Sozial-Ökologische Marktwirtschaft (FÖS) im Auftrag des Bundesverbands Windenergie (BWE) und von Greenpeace Energy (FÖS 2012b). Ziel dieses Hintergrundpapiers ist es, die Methodik und Ergebnisse der Schätzung der externen Kosten der Atomenergie ausführlich zu dokumentieren. Dazu wird insbesondere dargestellt, wie das zentrale Ergebnis einer Bandbreite der externen Kosten der Atomenergie von 10,7 - 34 Ct/kWh hergeleitet wurde.

In folgendem Abschnitt I.B. werden die vier Quantifizierungsansätze der externen Kosten der Atomenergie zusammenfassend dargestellt. Zwei Ansätze basieren auf der Ermittlung eines Schadens Erwartungswertes, zwei Ansätze auf der Ermittlung von fiktiven Prämien für eine erhöhte Haftpflicht bzw. Deckungsvorsorge für die potenziell sehr hohen Folgekosten von nuklearen Unfällen.

Um die in diesem Zusammenhang gewonnenen Erkenntnisse zum Reformbedarf der Atomhaftung zu dokumentieren, werden in Abschnitt I.C. vier zentrale Reformbausteine aufgeführt und weiterer Forschungsbedarf aufgezeigt. Mit einer Weiterentwicklung des Atomhaftungsrechts können die externen Kosten der Atomenergie verstärkt internalisiert werden.

In der Langfassung werden in Abschnitt II.A. die vier Ansätze zur Quantifizierung der externen Kosten durch das Unfallrisiko der Atomenergie ausführlich dargestellt. In Abschnitt II.B. werden wesentliche Annahmen und Ergebnisse von Einzelstudien zu den externen Kosten der Atomenergie zusammengefasst.¹ In Abschnitt II.C. werden ergänzend mit der Prozesskette des Uranabbaus verbundene externe Risiken und Folgen dargestellt, allerdings kann in diesem Bereich keine Quantifizierung vorgenommen werden.

Für vielfache hilfreiche Hinweise zum Bereich der Probabilistischen Sicherheits-Analysen danke ich Herrn Dr. Helmut Hirsch (cervus nuclear consulting) und Herrn Dr. Christoph Pistner (Öko-Institut e.V.). Herrn Dr. Pistner und Herrn Dipl.-Ing. Philipp Preiss (Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung der Universität Stuttgart) danke ich weiterhin für hilfreiche Hinweise und Diskussionen zu diversen methodischen Fragen der Ermittlung der externen Kosten der Atomenergie.

¹

Teilweise kommt es durch die Darstellung zum einen nach methodischen Ansätzen in Abschnitt II.A und nach Einzelstudien in Abschnitt II.B. zu Wiederholungen. Dennoch wird an der Gliederung festgehalten, um dieses Hintergrundpapier als „Nachschlagewerk“ zu relevanten Studien für die Fragestellung der externen Kosten nutzen zu können.

B. Zusammenfassung und Fazit zu den externen Kosten der Atomenergie

Atomenergie verursacht spezifische externe Kosten und Risiken, die mit denen der erneuerbaren und der fossilen Energien schon hinsichtlich der Kostenarten nicht vergleichbar sind. Während bei fossilen Energieträgern externe Kosten durch Treibhausgas- und Luftschadstoffemissionen dominieren und die erneuerbaren Energien nur geringe externe Kosten verursachen, sind mit der Atomenergie spezifische Risiken und Kosten verbunden:

- Unfälle mit Freisetzung radioaktiver Strahlung
- Folgekosten der Prozesskette des Abbaus und der Weiterverarbeitung von Uran
- Gefahr terroristischer Anschläge auf Kernkraftwerke
- Gefahr der Proliferation (unkontrollierte Verbreitung spaltbaren, bombenfähigen Materials)
- Folgekosten und -risiken der Endlagerung (soweit nicht durch Betreiber getragen)

Wesentlicher Einflussfaktor der externen Kosten der Atomenergie sind die zu erwartenden Risiken und Kosten eines nuklearen Unfalls. Diese stehen im Mittelpunkt der folgenden Untersuchungen (Abschnitt A und B der Langfassung). Auch die externen Kosten der Prozesskette des Abbaus und der Weiterverarbeitung von Uran werden analysiert, allerdings kann aus der Literaturanalyse keine Quantifizierung abgeleitet werden (Abschnitt C der Langfassung).

Die Quantifizierung externer Kosten ist bei der Atomenergie in besonderem Maße von den Annahmen und der angewandten Methodik geprägt. Es liegen Schätzungen in der Bandbreite von 0,1 Ct/kWh bis hin zu 320 Ct/kWh vor. Diese weichen somit um den Faktor 3.200 voneinander ab.²

Wie im Einzelnen gezeigt wird, ist es nicht möglich, auf fundierter Basis einen Punktwert für die externen Kosten der Atomenergie zu ermitteln. Ziel dieses Hintergrundpapiers ist es jedoch, die Bandbreite deutlich zu reduzieren. Dafür werden Annahmen, Methodik und Ergebnisse in verschiedenen Studien zu den externen Kosten der Energieversorgung bzw. der Atomenergie analysiert. Auf dieser Grundlage werden vier Ansätze (teilweise mit Untervarianten) zur Quantifizierung der externen Kosten der Atomenergie herausgearbeitet.

Es folgt eine tabellarische Übersicht über die in der Literatur vorfindbaren Ansätze zur Quantifizierung der externen Kosten der Atomenergie. Die einzelnen methodischen Ansätze und Studien werden auf den Folgeseiten sowie in den Abschnitten II.A. und II.B näher erläutert.

Grün markiert sind diejenigen Quantifizierungsansätze, die nach den Ergebnissen dieses Hintergrundpapiers dazu verwendet werden können, die Spannweite der Schätzungen der externen Kosten der Atomenergie einzugrenzen. Ergebnis ist eine Spannweite von 10,7 - 34 Ct/kWh.

Gelb markiert sind Quantifizierungsansätze, die zu dem in diesem Hintergrundpapier ermittelten Schadenswert von 340 Mrd. € jährliche Zahlungen von Versicherungsprämien bzw. Kapitalansparungsbeträgen ermitteln. Hier beträgt die Spannweite 12-31 Ct/kWh. Sie liegt innerhalb der Best-Guess-Spannweite, die damit auch durch den alternativen Ansatz der Ermittlung von Versicherungsprämien bzw. Kapitalansparungsbeträgen bestätigt wird.

²

In dieser Bandbreite wurde weder der kleinste noch der größte Wert in Tab. 1 berücksichtigt:

0,01 Ct/kWh ist in den ExternE-Studien im Auftrag der EU-Kommission der Erwartungswert des Schadens durch nukleare Unfälle. Hinzu kommen weitere Schadensarten in der Prozesskette der Atomenergie (insbes. Emissionen im Normalbetrieb und Folgekosten der Prozesskette des Uranabbaus), so dass ExternE insgesamt externe Kosten der Atomenergie von 0,1 Ct/kWh ausweist. Während oben der Gesamtbetrag der externen Kosten angegeben wird, wird in Tab. 1 der Teilbetrag des Schadenserwartungswertes aus Unfallrisiken von 0,01 Ct/kWh aufgeführt.

Wie in Tab. 1 weiterhin ausgewiesen wird, weisen die Versicherungsforen Leipzig (VFL 2011) Prämien für die Finanzierung einer Deckung des maximalen Schadens bis zu 6.730 Ct/kWh aus. VFL stellen ein Modell dar, bei der in der teuersten Variante pro KKW innerhalb von 10 Jahren Kapital zur Deckung einer Schadenssumme von über 6.000 Mrd. € angespart wird. Sie bestätigen eindrucksvoll die Nichtversicherbarkeit des Unfallrisikos der Atomenergie. Der Ansatz über eine Versicherung bzw. das Ansparen von Deckungskapital ist jedoch nicht geeignet, die externen Kosten der Atomenergie zu ermitteln und wurde deshalb in der Bandbreite von 0,1 - 320 Ct/kWh ebenfalls nicht berücksichtigt.

Tab. 1 Übersicht über in der Literatur vorfindbare Ansätze zur Quantifizierung der externen Kosten des atomaren Unfallrisikos

Methodischer Ansatz zur Quantifizierung	Spektrum der Ergebnisse	Anwendung / Vorschlag durch
1.a. Erwartungswert des Schadens	0,01 Ct/kWh 0,34 Ct/kWh 3,2 Ct/kWh	ExternE-Studien im Auftrag der EU-Kommission Aktualisierung in diesem Hintergrundpapier Ewers/Rennings 1992
1.b. Erwartungswert zuzüglich Risikozuschlag von Faktor 100 (Hochrechnung der vorstehenden Ergebnisse)	1 - 320 Ct/kWh Spannbreite 34 Ct/kWh	Methode der Anwendung eines Risikoaversionsfaktors - nicht aber konkrete Zahl - wird von UBA 2007 als Option vorgeschlagen Aktualisierung in diesem Hintergrundpapier
2. Externe Kosten des nächst schlechtesten Energieträgers	10,7 Ct/kWh	FÖS 2010, 2011, 2012 UBA 2007 / 2012 (als Option)
3. Erhöhung Haftpflichtversicherung a. Versicherung der (auf heutige Preise umgerechneten) Schadenssumme von Ewers/ Rennings 1992 von 8.530 Mrd. € b. Versicherung von 25 Mrd. € (Verhundertfachung der bestehenden Haftpflichtversicherung) c. Versicherung von 100 Mrd. € d. Versicherung von 340 Mrd. €	304 Ct/kWh 1 Ct/kWh 3,6 Ct/kWh 2,8 Ct/kWh 12 Ct/kWh	Erläuterungen siehe Tab. 14, S. 40 a. Moths 1992/1994 Kampagne www.atomhaftpflicht.de b. Schwarze, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (siehe Jakat 2011) c. Eigene Hochrechnung der derzeitigen Haftpflichtversicherungsprämie Jäger 2010 / Panorama 2011 d. Versicherung der Schadenssumme lt. Neuberechnung in diesem Hintergrundpapier
4. Bereitstellung einer Deckungssumme innerhalb von 10 Jahren a. Deckungssumme von 6.090 Mrd. € • mit Pooling von neun KKW • bei Bereitstellung durch jedes KKW b. Deckungssumme von 340 Mrd. € • mit Pooling von neun KKW • bei Bereitstellung durch jedes KKW	680 Ct/kWh 6.730 Ct/kWh 31 Ct/kWh 280 Ct/kWh	Versicherungsforen Leipzig 2011 Methodik der Versicherungsforen Leipzig übertragen auf die in diesem Hintergrundpapier ermittelte Schadenssumme von 340 Mrd. €
Alle Angaben in Preisen 2012		

Zu 1. Erwartungswert des Schadens

Der Erwartungswert der Folgekosten eines schweren nuklearen Unfalls ist ermittelbar, indem die Schadenshöhe mit der Eintrittswahrscheinlichkeit multipliziert wird. Für die Schadenshöhe müssen die Anzahl und Bewertungsansätze für Todesfälle und nicht tödliche Krebserkrankungen sowie das entgangene Bruttoinlandsprodukt in den verstrahlten Gebieten geschätzt werden.

Einige besonders bekannte und viel zitierte Studien zu den externen Kosten der Atomenergie basieren auf dem Ansatz der Kalkulation des Schadenserwartungswertes.

- 1992 legten Ewers/Rennings eine Abschätzung der volkswirtschaftlichen Kosten eines Super-GAU vor; die Ergebnisse wurden in der PROGNOS-Studienserie zu den externen Kosten der Energieversorgung im Auftrag des Bundeswirtschaftsministeriums aufgegriffen.
- Auch die EU-Kommission hat eine Studienserie zu den externen Kosten der Energieversorgung beauftragt und veröffentlicht. Die externen Kosten der Atomenergie wurden dabei 1995 von einem französischen Institut berechnet (CEPN 1995).

Im direkten Vergleich dieser beiden frühen - aber auch heute noch zitierten - Studien fällt auf, dass Ewers/Rennings 1992 auf einen erheblich höheren Schadenserwartungswert kommen als CEPN 1995. Dies liegt vor allem daran, dass in der Studie von Ewers/Rennings eine höhere Anzahl der Todesfälle und ein höherer Wertansatz zugrunde gelegt wurden. Dennoch kommen selbst Ewers/Rennings auf den vergleichsweise geringen Schadenserwartungswert von 3,2 Ct₂₀₁₂/kWh. Studien, in denen (wie in den ExterneE-Studien im Auftrag der EU-Kommission) Schadenshöhe und/oder Eintrittswahrscheinlichkeit deutlich geringer angesetzt werden, kommen entsprechend auf noch einmal deutlich geringere Schadenserwartungswerte.

Aus heutiger Sicht ist die Schätzung der Schadenskosten eines Super-GAU von Ewers/Rennings 1992 keine geeignete Grundlage, weil dort auch im Vergleich zu aktuelleren Studien eine sehr hohe Anzahl von Krebstoten, ein hoher Wertansatz für Todesfälle (6 Mio. DM₁₉₈₉, entspricht 4,8 Mio. €₂₀₁₂) sowie eine hohe Eintrittswahrscheinlichkeit angenommen wurde, die die Option von Accident-Management-Maßnahmen nicht berücksichtigt. Ewers/Rennings weisen eine Schadenshöhe von 10.700 Mrd. DM₁₉₈₉ (entsprechend 8.530 Mrd. €₂₀₁₂) aus.

Im vorliegenden Hintergrundpapier wurde nach Auswertung der verfügbaren Literatur eine vorsichtige (eher untertreibende) Alternativrechnung mit geringerer Anzahl und Wertansätzen für Todesfälle und Krebserkrankungen erstellt.

In der folgenden Tab. 2 werden die Annahmen und Ergebnisse von Ewers/Rennings 1992, CEPN 1995 und in diesem Hintergrundpapier zusammenfassend dargestellt. Wie die Übersicht zeigt, wird hier eine Bandbreite bei den zentralen Einflussfaktoren angenommen. Der untere Wert wird an den Annahmen von CEPN 1995 orientiert; allerdings wird eine erheblich geringere Eintrittswahrscheinlichkeit zugrunde gelegt, um das Spektrum der aktuellen Studien vollständig abzubilden. Auch die oberen Werte der hier verwendeten Bandbreite liegen noch deutlich unter den Annahmen bei Ewers/Rennings 1992. Allerdings wurde in dem Szenario für den oberen Wert der Bandbreite mit einer vergleichsweise hohen Eintrittswahrscheinlichkeit von 1 : 10.000 und einer Anzahl von 100.000 Todesfällen gerechnet. Unter den modifizierten Annahmen in diesem Hintergrundpapier resultiert ein Schadenswert von rund 340 Mrd. €₂₀₁₂ und ein Schadenserwartungswert von bis zu 0,34 Ct₂₀₁₂/kWh. Auch der obere Wert der Bandbreite repräsentiert keine Obergrenze, sondern eine realistische, hinsichtlich mehrerer Einflussfaktoren noch eher vorsichtige Schätzung der externen Kosten der Atomenergie.

Tab. 2 Vergleich und Aktualisierung der Annahmen und Ergebnisse von Ewers/Rennings 1992 und CEPN 1995 in diesem Hintergrundpapier

	Ewers/Rennings 1992	CEPN 1995 im Rahmen ExternE	Aktualisierung Meyer 2012 **
Wahrscheinlichkeit von hohen Freisetzungen nach nuklearen Unfällen	1:33.000 (mit Verweis auf GRS 1989; ohne Accident Management)	1 : 105.000	1:10.000 <i>bis 1: 10 Mio.</i>
Anzahl Todesfälle	1,7 Mio.	17.500 *	100.000 - 10.000 *
Wertansatz für Todesfälle	4,8 Mio. € ₂₀₁₂ (6 Mio. DM ₁₉₉₈)	3,4 Mio. € ₂₀₁₂ (2,6 Mio. € ₁₉₉₅)	2,1 Mio. €₂₀₁₂ (auf Basis NEEDS 2009)
Anzahl nicht tödlicher Krebserkrankungen	0,8 Mio.	34.900	300.000 - 30.000
Wertansatz für Krebserkrankungen	0,4 Mio. € ₂₀₁₂ (0,5 Mio. DM ₁₉₉₈)	0,33 Mio. € ₂₀₁₂ (0,25 Mio. € ₁₉₉₅)	0,33 Mio. €₂₀₁₂ (auf Basis CEPN 1995)
Personenschäden	7.900 Mrd. € ₂₀₁₂ (10.500 Mrd. DM ₁₉₉₈)	71,0 Mrd. € ₂₀₁₂ (54,1 Mrd. € ₁₉₉₅)	305 - 30 Mrd. €₂₀₁₂ (Resultierende Berechnung)
Sachschäden	170 Mrd. € ₂₀₁₂ 230 Mrd. DM ₁₉₉₈	38,2 Mrd. € ₂₀₁₂ (29,2 Mrd. € ₁₉₉₅)	38 Mrd. €₂₀₁₂ (auf Basis CEPN 1995)
Summe Personen- und Sachschaden	8.000 Mrd. € ₂₀₁₂ 10.700 Mrd. DM ₁₉₉₈	109 Mrd. € ₂₀₁₂ (83,3 Mrd. € ₁₉₉₅)	343 - 69 Mrd. €₂₀₁₂ (Resultierende Berechnung)
Resultierender Schadenserwartungswert	3,2 Ct ₂₀₁₂ /kWh (4,3 Pf ₁₉₉₈ /kWh)	0,02 Ct ₂₀₁₂ /kWh (0,01 Ct/kWh ₁₉₉₅)	0,34 - 0,001 Ct₂₀₁₂/kWh (Resultierende Berechnung)
* Incl. Genetische Schäden; diese werden von CEPN mit demselben Wertansatz wie Todesfälle bewertet			
** Erstgenannt und gefettet ist jeweils der Wert, der zu dem höheren Schadenserwartungswert führt			

Zu 1.a. Vorstehend wurden die reinen Schadenserwartungswerte dargestellt. Allerdings entspricht nur bei Risikoneutralität der Schadenserwartungswert den externen Kosten der Atomenergie. Risikoneutralität bedeutet, dass die Bewertung des Risikos nur vom Erwartungswert - also dem Produkt aus Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadensausmaß - abhängt, nicht aber davon, ob eine geringe Eintrittswahrscheinlichkeit mit einem hohen Schadensausmaß oder eine hohe Eintrittswahrscheinlichkeit mit einem geringen Schadensausmaß einhergeht. Bei Risikoaversion werden - bei identischem Erwartungswert - Risiken schlechter bewertet, die ein höheres Schadensausmaß aufweisen. (siehe Methodenkonvention externe Kosten des Umweltbundesamtes 2007, S. 23f)

Zu 1.b. Als Schlussfolgerung aus der Kritik schlägt das Umweltbundesamt einen Risikoaversionsfaktor von 100 vor. Die Ergebnisse von Ewers/Rennings 1992 führen dann zu einem Risikoaversions-bereinigten Erwartungswert von 3,20 €₂₀₁₂/kWh. **Die Aktualisierung des Schadenserwartungswertes in diesem Hintergrundpapier unter Verwendung eines Risikoaversionsfaktors von 100 ergibt einen oberen Wert der Bandbreite der externen Kosten des Atomenergie von 34 Ct/kWh.**

Zu 2. Externe Kosten des nächst schlechtesten Energieträgers

Das UBA hat in der Methodenkonvention externe Kosten (UBA 2007 sowie UBA 2012) die Option in die Diskussion gebracht, für die externen Kosten der Atomenergie auf diejenigen des „nächst schlechtesten“ Energieträgers zurückzugreifen. Demnach könnte für Atomenergie derselbe Betrag für die externen Kosten wie für Braunkohle verwendet werden.

Zu den Best-Guess-Sätzen der externen Kosten verschiedener Energieträger lagen bis Mai 2012 zwei leicht abweichende Angaben vor: Zum einen hat das Umweltbundesamt in der Methodenkonvention 2007 Kostensätze empfohlen, zum anderen hat das Bundesumweltministerium auf Basis der Studie des DLR 2006 Angaben zu den externen Kosten gemacht und u.a. auch in der periodisch erscheinenden Veröffentlichung „Erneuerbaren Energien in Zahlen“ verwendet.

Mit der Neuauflage der UBA-Methodenkonvention Externe Kosten 2012 und der Aktualisierung der Kostensätze im Auftrag des Bundesumweltministeriums in FhG/ISI 2012 liegen nunmehr einheitliche Empfehlungen von UBA, BMU und den jeweiligen auftragnehmenden Instituten vor. Diese werden in Spalte (a) von Tab. 3 dargestellt.

Für bestehende Braunkohlekraftwerke werden in der DLR-Studie im Auftrag des BMU durchschnittliche externe Kosten von 7,9 Ct₂₀₀₅/kWh Strom angegeben. In der Methodenkonvention des UBA (UBA 2007) werden als Best-Guess-Wert für externe Kosten der Braunkohle 8,7 Ct/kWh Strom genannt, also ein etwas höherer Wert. In der Aktualisierung 2012 werden nunmehr als externe Kosten der Braunkohle 10,7 Ct/kWh angegeben. Die deutlich höhere Angabe ist maßgeblich darauf zurückzuführen, dass als externe Kosten von Treibhausgasemissionen nunmehr 80 statt bisher 70 €/t zugrunde gelegt werden, was in etwa einer Inflationsbereinigung auf Preise 2012 entspricht.

Tab. 3 Ergebnisse bezüglich der externen Kosten der fossilen Energieträger in Studien im Auftrag von BMU und UBA

	(a) UBA Methodenkonvention 2012 / FhG/ISI 2012 (S. 20)	(b) UBA Methodenkonvention 2007 für 2005 (S. 76)	(c) DLR 2006 für BMU (S. 37)
	Preisstand Mitte der 2000er Jahre		
Braunkohle	10,7 Ct ₂₀₁₂ /kWh	8,7 Ct/kWh	7,9 Ct/kWh
Steinkohle	8,9 Ct ₂₀₁₂ /kWh	6,8 Ct/kWh	6,3 Ct/kWh
Erdgas	4,9 Ct ₂₀₁₂ /kWh	3,9 Ct/kWh	2,9 Ct/kWh
Nachrichtlich: Ansatz für Kosten von CO₂-Emissionen	80 € ₂₀₁₂ /t	70 €/t	70 €/t

Zu 3. Volle oder deutlich erhöhte Haftpflichtversicherung

In einigen Studien wird eine lineare Hochrechnung der tatsächlichen Prämie der bestehenden Haftpflichtversicherung für Atomkraftwerke auf deutlich höhere Deckungssummen vorgenommen. Zwar dürfte in der Versicherungspraxis kein linearer Zusammenhang zwischen versichertem Schaden und Prämie bestehen, dennoch liefert der Ansatz der Hochrechnung der Prämie interessante Erkenntnisse über die mögliche Größenordnung der Mehrbelastung der Atomenergie, wenn die Versicherungspflicht ausgeweitet werden würde.

Erstmals wurde dieser Ansatz von Eberhardt Moths (der seinerzeit im Bundeswirtschaftsministerium u.a. mit den PROGNOSE-Studien zu externen Kosten der Energieversorgung befasst war) 1992 auf einer Konferenz vorgetragen und 1994 veröffentlicht (Moths 1994). Moths legte die von Ewers/Rennings 1992

geschätzte Schadenssumme eines Super-GAU zugrunde und kalkulierte auf dieser Grundlage eine Versicherungsprämie, die umgerechnet auf heutige Preise 287 Ct₂₀₁₂/kWh beträgt.

In Deutschland müssen Kernkraftwerksbetreiber eine Deckungsvorsorge für Kraftwerksunfälle von 2,5 Mrd. € nachweisen. Durch eine Haftpflichtversicherung sind davon 256 Mio. € abgedeckt, die Prämie dafür betrug 2007 für alle 17 Atomkraftwerke 13,3 Mio. € pro Jahr bzw. 0,008 Ct/kWh (Harbrücker 2007a). Die restliche Deckungsvorsorge von 2,244 Mrd. € leisten die deutschen Kernkraftwerksbetreiber durch gegenseitige Garantieerklärungen.

Die Hochrechnung dieser für 2007 bekannten Versicherungsprämie führt zur selben Größenordnung der für eine (fiktive) volle Haftpflichtversicherung erforderlichen Prämie, wie sie Moths bereits 1992/1994 ermittelt hat. Atomstrom würde um etwa 304 Ct₂₀₁₂/kWh teurer, wenn das Risiko eines Super-GAU vollständig versichert werden müsste und man als mögliche Schadenshöhe die Schätzung von Ewers/Rennings 1992 zugrunde legt (bei Inflationsbereinigung zwecks Vergleichbarkeit).

Auch die von der Fernsehsendung Panorama in 2011 veröffentlichten Recherchen des Kapitalmarktanalysten Lars Jäger führen zu einer dazu passenden Größenordnung. Nach Jäger führt die Aufstockung der Haftpflichtversicherung auf 100 Mrd. € zu Mehrkosten von 2,8 Ct/kWh Atomstrom (Panorama 2011, Jäger 2010). In der Größenordnung passt dieses Ergebnis recht gut zu der linearen Hochrechnung der Versicherungsprämie. Würde die für Deutschland bekannte Versicherungsprämie 2007 auf eine Deckungssumme von 100 Mrd. € hochgerechnet, resultiert eine rechnerische Belastung von 3,6 Ct/kWh Atomstrom.

Müsste der in diesem Hintergrundpapier ermittelte potenzielle Schadenswert in der Größenordnung von 340 Mrd. €₂₀₁₂ voll versichert werden, ergäbe sich bei linearer Hochrechnung eine Prämie von 12 Ct₂₀₁₂/kWh.

Diese Hochrechnung verdeutlicht die Nichtversicherbarkeit der Atomenergie. Bestätigt wird diese auch vom Vorstandschef der Münchner Rück, Nikolaus von Bomhard. Zwar gäbe es grundsätzlich für jede Versicherung einen Preis, der bei großer Unsicherheit der Berechnung außerordentlich hoch sei. Wegen der Addition der möglichen Schäden sei es für die Assekuranz jedoch nicht verantwortbar, diese Risiken zu stemmen.³

Zu 4. Ansparung einer Deckungssumme für einen nuklearen Schaden

2011 legten die Versicherungsforen Leipzig eine Studie zur Berechnung einer risikoadäquaten Versicherungsprämie zur Deckung der Haftpflichtrisiken der Atomkraft vor.

Bei dem Ansatz der Versicherungsforen handelt es sich nicht um eine „klassische“ Versicherungsprämie, bei der nach dem „Gesetz der großen Zahl“ eine Verteilung des Schadensrisikos auf vergleichsweise geringe Prämienzahlungen von vielen Versicherten möglich ist. Aufgrund der geringen Fallzahlen (außer bei weltweitem Pooling aller KKW in einer Versicherung) können die deutschen KKW nicht untereinander für den erforderlichen Risikoausgleich sorgen, sondern der mögliche Maximalschaden könnte nur auf dem Wege der Ansparung einer entsprechenden Deckungssumme abgesichert werden. (Praktisch ist allerdings auch das nicht möglich, wie die Größenordnung der von den Versicherungsforen Leipzig ermittelten Prämie pro Kilowattstunde Atomstrom zeigt.)

Bei dem methodischen Ansatz der Versicherungsforen Leipzig resultiert für die Ansparung einer ausreichend hohen Deckungssumme für katastrophale nukleare Unfälle innerhalb von 10 Jahren eine jährliche Zahlung (bei den VFL Versicherungsprämie genannt, obwohl es eher ein Zwangssparen ist), die Atomstrom um 3,96 €/kWh verteuern würde (VFL 2011c, Folie 8). Hierbei ist bereits berücksichtigt, dass 17 KKW gemeinsam versichert werden und dass der Maximalschaden höchstens einmal passiert. Würde jedes KKW einzeln die Deckungssumme aufbringen müssen (weil katastrophale nukleare Schadensfälle

³

Munich Re hält Atomunfälle für nicht versicherbar, 20.03.2011

<http://www.wallstreet-online.de/nachricht/3120256-erdbeben-munich-re-haelt-atomunfaelle-fuer-nicht-versicherbar>

ja auch in mehreren KKW passieren können), würde die hypothetische Belastung pro Kilowattstunde Atomstrom sogar 67,30 € betragen.

Fazit und Vorschlag

Für die 2012 aktualisierte Studie zum Vergleich der staatlichen Förderungen der Atomenergie, Kohle und erneuerbaren Energien verwenden wir seitens des FÖS eine eingegrenzte Bandbreite der externen Kosten der Atomenergie von 10,7 - 34 Ct₂₀₁₂/kWh. Der untere Wert der Bandbreite wird durch Ansatz 2 bestimmt, bei dem der Atomenergie die externen Kosten des nächst schlechtesten Energieträgers (also Braunkohle) zugerechnet werden. Der obere Wert der Bandbreite ist ein mit vorsichtigen Annahmen neu berechneter Erwartungswert der externen Kosten der Atomenergie unter Berücksichtigung eines Risiko-Aversionsfaktors von 100. Ansätze 3 und 4 über eine deutlich erhöhte Haftpflichtversicherung bzw. Ansparung einer ausreichenden Deckungssumme würde je nach Umfang der Aufstockung zu noch erheblich höheren Werten der externen Kosten der Atomenergie führen, insoweit ist der Ansatz des FÖS eher vorsichtig.

C. Reformvorschläge zur Atomhaftung (mit Schwerpunkt auf national umsetzbare Reformbausteine)

Reformvorschläge zur Atomhaftung zu erarbeiten ist nicht Ziel und Aufgabe dieses Hintergrundpapiers. Dennoch werden Kernforderungen zusammengestellt, um aus der Arbeit zu externen Kosten und Haftung im Atombereich auch einige Schlussfolgerungen zu konkretem Handlungs- bzw. weiterem Recherchebedarf abzuleiten. Dabei werden Vorschläge aus der jüngeren Literatur einbezogen.

0. Welt- oder zumindest EU-weit deutlich erhöhte Haftpflicht und Deckungsvorsorge

Deutschland hat weltweit bereits vergleichsweise anspruchsvolle Regelungen im Bereich der Atomhaftung. Neben Deutschland haben nur die Schweiz und Japan eine unbegrenzte Betreiberhaftung.⁴ Auch die in Deutschland bereitzustellende Deckung von 2,5 Mrd. € ist im weltweiten Vergleich eine hohe Absicherung.

Die Internationalen Verträge und Konventionen verlangen nur deutlich geringere Haftung von den KKW-Betreibern. Um die industrielle Nutzung der Kernenergie zu ermöglichen, wurden in internationalen Vereinbarungen (Pariser Konvention und Brüsseler Zusatzkonvention, Wiener Konvention) die von den Unternehmen zu tragenden Risiken auf die durch Versicherungen abdeckbaren Beträge begrenzt. Für Schäden haften nach diesen Konventionen unabhängig vom Verschulden ausschließlich die Anlagenbetreiber (Gefährdungshaftung), Anlagenbauer und Zulieferer werden von Schadensersatzforderungen Dritter freigestellt (Diekmann/Horn 2007).

In der EU gibt es eine Diskussion um eine Harmonisierung des Atomhaftungsrechts, die Situation und den Stand der Diskussion nach einem Workshop im September 2010 schildert Nießen:

„Nukleare Ereignisse können erhebliche grenzüberschreitende Schäden verursachen. Um dieser Gefahr Rechnung zu tragen, ist eine Harmonisierung des Atomhaftungsrechts in Europa von Nöten. Derzeit ist Europa in haftungsrechtlicher Hinsicht gespalten: Die Mehrheit der westeuropäischen Staaten, mit Ausnahme von Österreich, Irland und Luxemburg, unterliegt der Pariser Konvention. Mit Ausnahme von Griechenland und Portugal haben alle Vertragsstaaten der Pariser Konvention das Brüsseler Zusatzübereinkommen unterzeichnet. Die meisten osteuropäischen Staaten sind Vertragsparteien der Wiener Konvention. Die Wiener und die Pariser Konvention sind in vielen Punkten deckungsgleich. Dennoch ergibt sich insgesamt eine uneinheitliche Situation: Aus den verschiedenen Verträgen ergeben sich unterschiedliche Haftungsgrenzen, Haftungszeiträume sowie - in Abhängigkeit davon - unterschiedliche Versicherungsprämien. Dies kann innerhalb des Versicherungsmarktes der Europäischen Union zu Wettbewerbsverzerrungen führen“ (Nießen 2010)

Bei einer zunächst EU-weiten Harmonisierung wäre auch eine deutlich erhöhte Haftungssumme anzustreben. Derzeit sind nach dem Revidierten Pariser Übereinkommen etwa 700 Mio. € Haftungssumme vorgeschrieben (Harbrücker 2010). Deutschland geht mit seinem nationalen Atomhaftungsrecht somit bereits deutlich über die Vorschriften in internationalen Konventionen hinaus.

Wenngleich die Haftungsregelungen in Europa und weltweit noch Besorgnis erregender sind, ist auch in Deutschland die Atomhaftung vollkommen unzureichend. Der Reformbedarf ist EU- und weltweit sogar noch höher als in Deutschland. Die beste Lösung wäre, international Haftungs Pflichten und Deckungsvorsorge sehr deutlich zu erhöhen. Bei internationalem Pooling wären die Möglichkeiten von Versicherungslösungen deutlich größer. Da EU- oder sogar weltweite Reformen jedoch sehr schwierig und langwierig sind, wird im Folgenden vorrangig sondiert, wie die nationalen Regelungen bezüglich der Atomhaftung weiter entwickelt werden sollten.

⁴ Für Übersichten über Regelungen der Atomhaftung EU- und weltweit siehe

1. Deutliche Erhöhung von Haftpflichtversicherung und Deckungsvorsorge

Wie in Abschnitt II.A.3.a) näher dargestellt wird, sind Folgekosten nuklearer Unfälle derzeit in Höhe von 256 Mio. € über eine Haftpflichtversicherung abgesichert. Darüber hinaus gibt es 2,5 Mrd. € gegenseitige Deckungserklärungen der vier KKW-Betreiber. Diese Beträge wurden seit 2002 nicht erhöht. Es erfolgte auch keine Inflationsbereinigung, obwohl § 13 Abs. 3 des Atomgesetzes vorsieht, dass Höchstgrenze und Deckungssumme im Abstand von jeweils fünf Jahren mit dem Ziel der Erhaltung des realen Wertes der Deckungsvorsorge zu überprüfen sind.

Darüber hinaus haften in Deutschland die Muttergesellschaften der KKW-Betreiber unbegrenzt. **Es besteht allerdings Untersuchungsbedarf, was die unbegrenzte Betreiberhaftung ökonomisch tatsächlich wert ist.** Dies sollte mittels einer Analyse der Vermögensverhältnisse der KKW-Betreiber näher untersucht werden.

Eine Erhöhung der Haftpflichtversicherung und/oder der Deckung wird beispielsweise von Umweltverbänden und der Initiative Volle Atomhaftpflicht gefordert. Im politischen Umfeld wurden von Vertretern aus SPD und Bündnis 90/Die Grünen entsprechende Forderungen aufgestellt. Im wissenschaftlichen Bereich hat Professor Reimund Schwarze (Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung) im Rahmen seiner Arbeiten zur Versicherung von Naturkatastrophen die Erhöhung um den Faktor 100 in die Diskussion eingebracht (siehe Jakat 2011). Weiterhin wurde von Professor Peter Marburger anlässlich seines Beitrags zur Tagung zu Hochrisikoplanen mindestens eine Verdoppelung der Deckungsvorsorge von derzeit 2,5 Mrd. € gefordert (Marburger 2012, S. 134).

Die Größenordnung eines Faktors 100 bei der Haftpflichtversicherung bzw. der Deckungsvorsorge und damit eine Absicherung von 250 Mrd. € ist mit Blick auf die Ergebnisse der Schätzungen der möglichen Folgekosten katastrophaler nuklearer Unfälle volkswirtschaftlich mit Blick auf das Verursacherprinzip sinnvoll.

Dabei stellt sich die Frage, wie stark die bestehende Haftpflichtversicherung von 256 Mio. € erhöht werden kann. Der Geschäftsführer der Deutschen Kernreaktor-Versicherungsgemeinschaft, Dirk Harbrücker, hat 2007 in seinem Vortrag die Zahl einer maximalen Versicherbarkeit im bestehenden Regime von 700 Mio. € genannt und dies in einem Beitrag 2009 noch einmal bekräftigt (Harbrücker 2007a, 2009). Diese Angabe wurde auch von Dritten mehrfach aufgegriffen, z.B. von DIW 2007 und Matthes 2010. Es stellt sich jedoch die Frage, inwieweit bzw. unter welchen Bedingungen auch deutlich höhere Versicherungssummen versicherbar sind:

- Bei anderen Versicherungen bzw. Rückversicherungen (z.B. von Naturkatastrophen) werden von der Versicherungswirtschaft deutlich höhere Risiken abgesichert.
- Es besteht die Möglichkeit des landesübergreifenden (z.B. EU-weiten) Pooling. Es gäbe in diesem Fall entsprechend mehr Prämieinzahlungen und damit für Versicherungen eine bessere Möglichkeit, höhere Schadenswerte durch die Haftpflichtversicherung abzudecken.
- Zwei aktuelle Arbeiten (Panorama 2011, VFL 2011, für eine Zusammenfassung siehe Abschnitte II.A.3/4 und II.B.13/14) haben aufgezeigt, dass neben einer klassischen Versicherung auch die Möglichkeit von so genannten „Katastrophen-Bonds“ oder der Ansparung von Haftungskapital besteht. Nach Einschätzung des Schweizer Physikers und Anlagespezialisten Lars Jäger könnte die Versicherungsbranche bis zu 100 Mrd. € Deckungssumme auf den Kapitalmärkten platzieren unter Berücksichtigung von internationalem Pooling von KKW. Dieser Einschätzung wurde allerdings aus der Versicherungswirtschaft widersprochen; die Swiss Re nannte als maximale Versicherbarkeit von Naturkatastrophen 13-14 Mrd. Franken (9,3-10,0 Mrd. € bei Wechselkurs von 1 € = 1,40 SFR).⁵

Die Frage nach der von der Versicherungswirtschaft umsetzbaren Erhöhung der Haftpflichtversicherung sollte näher untersucht werden. Ebenso sollte näher untersucht werden, inwieweit auch die gegenseitige Deckungsvorsorge der KKW-Betreiber erhöht werden kann und sollte.

⁵ Siehe dazu die Beiträge von Jäger 2010, Galli 2011, Metzler 2011, Weiss/Jacquemart 2011.

2. Alternativ oder kombiniert (falls deutlich erhöhte Haftpflichtversicherung bzw. Deckung nicht bereitgestellt werden kann): Erhöhung der Kernbrennstoffsteuer oder Einführung einer Steuer auf produzierten und importierten Atomstrom

Die **Kernbrennstoffsteuer** könnte als Instrument zur Internalisierung der möglichen (über die Deckung von 2,5 Mrd. € hinausgehenden) Folgekosten nuklearer Unfälle interpretiert und angehoben werden. Mit der Kernbrennstoffsteuer könnte somit für das Risiko finanzielle Vorsorge getroffen werden, dass bei einem schweren Atomunfall Haftung und Deckung nicht ausreichen und der Staat für Folgekosten - u.a. Entschädigungsansprüche und Reparationsleistungen - aufkommen muss.

Die zum 1.1.2011 eingeführte Kernbrennstoffsteuer wurde in dem von den Koalitionsfraktionen eingebrachten Gesetzentwurf (BT-Drs. 17/3054) im Kern damit begründet, dass ihre Erträge vor dem Hintergrund der Haushaltskonsolidierung auch dazu beitragen sollen, die aus der notwendigen Sanierung der Schachtanlage Asse II entstehende Haushaltsbelastung des Bundes zu verringern. Im BMF-Referentenentwurf aus August 2010 wurden außerdem die Vorteile angeführt, die sich aus dem Emissionshandel ergeben. Im Wortlaut heißt es in der Begründung:

“Die Stromerzeugung in deutschen Kernkraftwerken führt, wie auch bei anderen Kraftwerken, aufgrund der Einpreisung von Opportunitätskosten konkurrierender fossiler Energieträger aus dem CO₂-Emissionshandel und der daraus resultierenden Preiseffekte zu zusätzlichen Erträgen bei den Betreiberunternehmen. Aufgrund der beabsichtigten Verlängerung der Laufzeiten und ab 2013 anstehender Änderungen in den Rahmenbedingungen des CO₂-Emissionshandels werden diese Effekte insbesondere bei der Stromerzeugung in Kernkraftwerken perpetuiert.“

Schon aus den beiden oben genannten Begründungsansätzen könnte sich eine weitere Erhöhung der Kernbrennstoffsteuer herleiten lassen. Als dritter Aspekt kommt die wahrscheinliche Belastung des Staates mit hohen Folgekosten im Falle eines schweren nuklearen Unfalls hinzu.

Die Kernbrennstoffsteuer wird allerdings nur auf inländisch erzeugten, nicht auf importierten Atomstrom erhoben. Wie auch der ehemalige Staatssekretär im Bundeswirtschafts- und im Bundesverteidigungsministerium, Walther Otremba, schreibt, wäre eine **Besteuerung der mit Atomkraft produzierten oder importierten Strommengen** noch besser. So könnten auch Atomstromimporte aus ausländischen Meilern einbezogen werden (so auch Otremba 2011). Dieser Ansatz sollte weiter verfolgt werden. Dabei wären hinsichtlich Umsetzbarkeit und rechtlicher Zulässigkeit die folgenden Fragen zu prüfen:

- Ist es EU-rechtlich möglich, gezielt importierten Atomstrom zu besteuern?
- Ist die EU-weite Stromkennzeichnung ausreichend entwickelt?
- Ist mit einer Sammelbecken-Problematik zu rechnen, bei der für Stromimporte nach Deutschland Labels ohne Atomstrom erstellt werden? Dann wäre eine nationale Steuer auf Atomstrom zumindest hinsichtlich der Einbeziehung des importierten Atomstroms wirkungslos.
- Welche Abgabeart soll gewählt werden? Soll ein Zuschlag zur bestehenden Stromsteuer erhoben oder eine eigenständige Steuer eingeführt werden?
- Wie würde die Atomstromsteuer den einzelnen Endverbrauchern zugerechnet? Wird sie grundsätzlich gleichmäßig auf alle Endverbraucher verteilt und gelten Ausnahmen nur für diejenigen, die keinen Egalstrom beziehen, sondern z.B. Ökostromkunden sind?
- Wie soll mit den Sonderregelungen der bestehenden Stromsteuer umgegangen werden?

Bündnis 90/Die Grünen haben u.a. mit Blick auf die begrenzte Verfügbarkeit einer höheren Versicherbarkeit von nuklearen Unfällen die Option einer „Versicherung beim Staat“ in die Diskussion gebracht. Attraktiv wäre, dass die Versicherungsprämien in den öffentlichen Haushalt fließen würden. Dennoch ist diese Option aus ordnungspolitischen und grundsätzlichen Erwägungen problematisch - man denke nur an eine Bild-Schlagzeile „Staat versichert Atomkraftwerke“. Zudem müsste näher untersucht werden, ob bzw. wie eine solche Staatsversicherung rechtlich möglich ist. Sie würde ökonomischen ähnlich wirken wie eine Erhöhung der Kernbrennstoffsteuer oder die Einführung einer Steuer auf Atomstrom. Vorbehaltlich näherer Prüfung ist meine Einschätzung, dass der Ansatz über eine Kernbrennstoff- oder Atomstromsteuer geeigneter und aussichtsreicher ist.

3. Abschaffung der Haftungsbegrenzung auf 2,5 Mrd. € u.a. bei schweren Naturkatastrophen

Nach § 25 Abs. 3 AtG wird die Haftung auf 2,5 Mrd. € bei Schäden begrenzt, die auf nuklearen Ereignissen beruhen, die unmittelbar auf Handlungen eines bewaffneten Konfliktes, auf Feindseligkeiten, auf Handlungen eines Bürgerkrieges, eines Aufstandes oder auf eine schwere Naturkatastrophe außergewöhnlicher Art zurückzuführen sind.

Marburger fordert die Abschaffung der Haftungsbegrenzung auf 2,5 Mrd. € in den Fällen des § 25 Abs. 3 AtG (Marburger 2012, S. 134).

Dirk Harbrücker, Geschäftsführer der Deutschen Kernreaktor-Versicherungsgemeinschaft, weist darauf hin, dass im Fall von beispielsweise Naturkatastrophen auch die bestehende geringe Haftpflichtversicherung nicht greift:

Auszug aus dem Interview des Gesamtverbands der Versicherungswirtschaft mit Dirk Harbrücker, Geschäftsführer der Deutschen Kernreaktor-Versicherungsgemeinschaft, vom 18.7.2011

Als DKVG bewerten Sie die Nutzung der Kernenergie nicht, Sie berechnen vielmehr deren Risiken. Hat sich die Rechnung nach Fukushima geändert?

Lassen Sie mich offen sein. So katastrophal Fukushima ist: Aber es gibt keinen Fehler in unserer Beurteilung oder Berechnung, denn Erdbeben sind vom Versicherungsschutz ausgeschlossen. Und unsere Ingenieure überprüfen deshalb auch nicht, wie Anlagen gegen Erdbeben geschützt sind. Schließlich geben ja nicht die Versicherer die grundsätzliche Erlaubnis zum Betrieb einer Anlage, sondern die Aufsichtsbehörden. Wir überprüfen für uns als Versicherung relevante Sachverhalte: etwa die nukleare Sicherheit oder den Feuerschutz des Kraftwerks.

Warum decken Versicherungen Atomschäden nach Erdbeben und Tsunamis nicht ab?

Wir folgen den gesetzlichen Auflagen. In Japan hat der Gesetzgeber definiert, dass er bei Erdbeben und Tsunamis einspringt. In Europa gilt das Pariser Übereinkommen. Das schließt die Haftung für Schäden aus Folgen einer außerordentlichen Naturkatastrophe aus. Das deutsche Atomgesetz ist strenger und bestimmt, dass der Betreiber sehr wohl dafür haftet. Wir als Versicherer haben das mit Zustimmung der Aufsichtsbehörden aus dem Versicherungsschutz genommen, unter anderem weil wir hierfür international keine Rückversicherung erhalten haben, und so haftet der Betreiber in Deutschland allein.

4. Interne Haftung nach Konzernrecht ersetzen durch Direkthaftung der Muttergesellschaften der KKW-Betreiber

Im Falle eines nuklearen Unfalls sind die KKW-Betreibergesellschaften von Insolvenz bedroht. Um auch die Muttergesellschaften in die Pflicht zu nehmen, sind die KKW-Betreibergesellschaften derzeit zum Abschluss von Gewinnabführungs- und Beherrschungsverträgen bzw. harten Patronatserklärungen für die KKW-Betreibergesellschaften verpflichtet. Die Verpflichtung ist auf zweierlei Wegen abgesichert:

Die 2001 zwischen den EVU abgeschlossene **Solidarvereinbarung** verpflichtet die Vertragsparteien während der Laufzeit zum Abschluss von Gewinnabführungs- und Beherrschungsverträgen oder harten Patronatserklärungen (Solidarvereinbarung 2001, § 1 Nr. 7). Die Solidarvereinbarung galt für 10 Jahre. Gemäß der Antwort der Bundesregierung auf eine Kleine Anfrage haben die Unternehmen EnBW, E.ON, Vattenfall und RWE 2011 sich auf die unveränderte Fortgeltung der Solidarvereinbarung zur Erbringung der atomrechtlichen Deckungsvorsorge für weitere zehn Jahre geeinigt. Die neue Vereinbarung gilt ab dem Auslaufen der geltenden Solidarvereinbarung, Enddatum ist somit der 27. April 2022 (Bundesregierung 2011e, Antwort zu Frage 4; für eine Analyse siehe auch FÖS 2012a, S. 70ff).

Es sind also zwei Risiken zu unterscheiden: Zum einen können die Muttergesellschaften (E.ON, RWE, Vattenfall und EnBW) selbst in die Insolvenz gehen, zum anderen könnten sie versuchen, die derzeit noch bestehenden Gewinnabführungs- und Beherrschungsverträge bzw. harten Patronatserklärungen nach dem Auslaufen bestehender Verpflichtungen zu kündigen.

Um zumindest das Risiko der Kündigung bestehender Gewinnabführungs- und Beherrschungsverträge auszuschalten, sollte eine direkte Verpflichtung der Muttergesellschaften geschaffen werden, für alle Zahlungsverpflichtungen ihrer KKW-Töchter einzustehen.

Das würde die Haftung unabhängig von Gewinnabführungs- und Beherrschungsverträgen machen und bei etwaigen Schadensersatzklagen eine doppelte Prozessführung ersparen (Marburger 2012, S. 134).

Eine solche Reform wäre zugleich auch ein äußerst positiver Beitrag zur Absicherung der Verpflichtung der KKW-Betreiber zur Finanzierung von Stilllegung/Rückbau und Entsorgung. Sollten die bei den KKW-Betreibergesellschaften gebildeten Rückstellungen sich als nicht ausreichend erweisen, wäre auch im Zusammenhang mit Stilllegung/Rückbau und Entsorgung eine direkte Verpflichtung der Muttergesellschaften sinnvoll (siehe Studie des FÖS 2012a zu Atomrückstellungen).

Es bleibt dann noch das Risiko, dass die unbegrenzte Haftung für Folgekosten von nuklearen Unfällen sowie die Verpflichtung, für möglicherweise höhere Kosten für Stilllegung, Rückbau und Entsorgung auch über die gebildeten Rückstellungen hinaus aufzukommen, faktisch durch die wirtschaftliche Leistungsfähigkeit der KKW-Muttergesellschaften begrenzt wird. Für Vattenfall ist dieses Risiko nach der angekündigten Umorganisation besonders hoch, da sich der bisherige Mutterkonzern und damit auch der Schwedische Staat aus der Haftung herausziehen und die neu gegründete Vattenfall GmbH mit deutlich geringerem Eigenkapital, Vermögen und Umsätzen wirtschaftlich weniger Lasten schultern kann.

Der Energiekonzern Vattenfall hat im August 2012 angekündigt, seine Rechtsform zu ändern. Aus der Vattenfall Europe AG wird die Vattenfall GmbH mit Eigenkapital von 500 Mio. €. Gleichzeitig kündigt die schwedische Konzernmutter Vattenfall AB den Beherrschungsvertrag mit der Deutschland-Tochter Vattenfall Europe AG. Der schwedische Mutterkonzern entzieht sich so seiner Haftung für die KKW Krümmel, Brunsbüttel und Brokdorf, die Vattenfall betreibt oder an denen das Unternehmen Beteiligungen hält. Vattenfall AB begründet die Umstrukturierung damit, das Unternehmen modernisieren und Steuern sparen zu wollen. Auch in der öffentlichen Diskussion wurde als weiteres starkes Motiv jedoch vermutet, dass sich Vattenfall AB und damit der Schwedische Staat aus den Haftungspflichten für die genannten KKW entziehen möchte.⁶ Inwieweit die Landesregierung Schleswig-Holstein und der Bund Ansatzpunkte sehen, Vattenfall die organisatorische Umwandlung zu versagen, bleibt abzuwarten.

⁶ Siehe Tagesschau vom 24.08.2012; <http://www.tagesschau.de/inland/vattenfall156.html>

II. Langfassung

A. Ansatzpunkte zur Quantifizierung der externen Kosten des Unfallrisikos der Atomenergie

Im Folgenden werden in den Abschnitten 1-4 vier in der Literatur vorzufindende Ansätze zur Quantifizierung der externen Kosten der Atomenergie zusammengefasst. In Abschnitt 0 werden Studien zur Eintrittswahrscheinlichkeit katastrophaler nuklearer Unfälle dargestellt. Die Ergebnisse sind sowohl für die Ansätze über den Schadenserwartungswert (Abschnitte 1 und 2) als auch über Prämien einer erhöhten Haftpflichtversicherung bzw. Ansparung von Deckungskapital (Abschnitte 3 und 4) von Bedeutung und werden daher vorab gesondert behandelt.

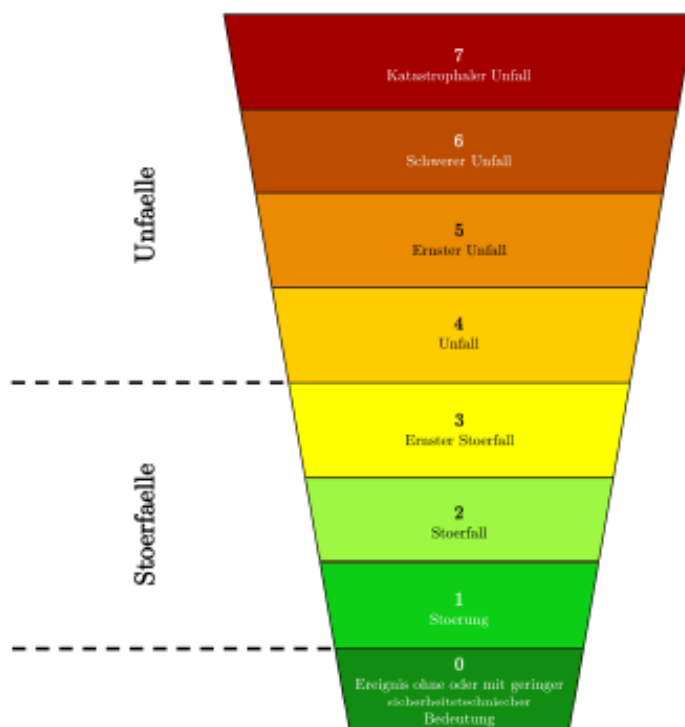
0. Zur Wahrscheinlichkeit hoher Freisetzungen durch katastrophale nukleare Unfälle

Im Folgenden werden bestehende Studien zusammengefasst und bezüglich der Angaben zur Eintrittswahrscheinlichkeit schwerer bzw. katastrophaler nuklearer Unfälle verglichen. Ziel dieses Abschnitts ist die Herleitung einer nach aktuellem Forschungsstand plausiblen Bandbreite für diese Eintrittswahrscheinlichkeit.

a) Definition katastrophaler nuklearer Unfälle (Super-GAU)

Um nukleare Ereignisse bewerten zu können, entwickelten International Atomic Energy Agency (IAEA) und Nuclear Energy Agency of the Organization for Economic Cooperation and Development (OECD/NEA) 1989 die aus sieben Stufen bestehende „International Nuclear Event Scale“ (INES):

Tab. 4 INES-Skala zu nuklearen Ereignissen



Quelle: Darstellung nach VFL 2011, S. 5f.

Zur Erläuterung der Begrifflichkeiten auch im Verhältnis zum umgangssprachlichen Begriff „Super-GAU“ schreiben die Versicherungsforen Leipzig:

„Das KKW muss gegen den größten anzunehmenden Unfall (GAU) sicherheitstechnisch ausgelegt sein, um seine Betriebsgenehmigung zu erhalten.¹² Der Betreiber muss demnach dafür Sorge tragen, geeignete und funktionstüchtige Sicherheitssysteme und -maßnahmen vorzuhalten, die einem GAU standhalten und nukleare Schäden verhindern. Daher wird dies oft auch als Auslegungsstörfall bzw. -unfall bezeichnet. Der aktuelle Stand der Wissenschaft und Technik, verankert in den Sicherheitskriterien und Leitlinien für Kernkraftwerke¹³, gibt dabei Hinweis darauf, welche Unfälle beherrscht werden müssen.¹⁴ Ein nukleares Ereignis, das einen nuklearen Katastrophenfall auslöst, ist ein nuklearer Unfall, der das Maß überschreitet, das ein Kernkraftwerk sicherheitstechnisch und mit geeigneten Notfallmaßnahmen gerade noch beherrschen kann. Ein nuklearer Katastrophenfall ist daher ein auslegungsüberschreitender Unfall und damit gleichsam eine Realisation des verbleibenden Restrisikos. Mit Restrisiko wird das Risiko bezeichnet, das die getroffenen Sicherheitsvorkehrungen übersteigt bzw. das bei deren Aufstellung nicht mit berücksichtigt und bewusst oder unbewusst eingegangen wurde.¹⁵ In der Presse wird der nukleare Katastrophenfall oft mit dem Begriff Super-GAU bezeichnet; der Zusatz „Super“ deutet an, dass dieser Unfall über einen GAU hinausgehende Auswirkungen nach sich zieht.“ (VFL 2011, S. 7; dort sind auch die Fußnoten zu den weiteren Quellenangaben zu finden)

In diesem Hintergrundpapier werden die Begriffe „nuklearer Katastrophenfall“ und „Super-GAU“ synonym verwendet.

b) Methodik und Ergebnisse von Probabilistischen Sicherheitsanalysen

In der Sicherheitsforschung wird die Wahrscheinlichkeit schwerer nuklearer Unfälle mit dem Instrument der Probabilistischen Sicherheitsanalyse (PSA, auch Probabilistische Risikoanalyse - PRA - genannt) ermittelt. Diese ist laut Internationaler Atomenergie-Organisation eine umfassende, strukturierte Vorgehensweise zur Identifizierung von Versagens-Szenarien, die ein konzeptionelles und mathematisches Werkzeug zur Ableitung numerischer Schätzwerte für das Risiko darstellt.⁷

Erstmals wurde eine Risikostudie 1979 vorgelegt, die Deutsche Risikostudie Kernkraftwerke (DRS) Phase A der Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS 1979). Diese Studie umfasste auch ein Unfallfolgenmodell mit einer Abschätzung von Todesfällen, nicht tödlichen Krebserkrankungen und genetischen Schäden. In 1990 wurde ebenfalls von der GRS mit der Deutschen Risikostudie Kernkraftwerke Phase B ebenfalls für den Druckwasserreaktor Biblis B eine Probabilistische Sicherheitsanalyse vorgelegt (GRS 1989). Es folgte in 2001 eine PSA für fortschrittliche Druckwasserreaktoren (GRS 2001). Die jüngsten Ergebnisse für deutsche Kernkraftwerke enthält der Fortschrittsbericht zu den EU Stresstests (BMU 2011). Dabei werden auf Grundlage von Betreiberangaben Ergebnisse von bereits früher durchgeführten PSA wiedergegeben.

Im deutschen Progress Report (BMU 2011) wird in 1.4.2 einleitend festgestellt, dass alle angegebenen Werte von PSA als vorläufig angesehen werden müssen. Die Werte seien nur teilweise von den Aufsichtsbehörden der Länder überprüft worden. Der vorläufige Charakter der Ergebnisse könnte mit ein Grund dafür gewesen sein, dass sie im deutschen National Report zu den EU-Stresstests (BMU 2012) nicht mehr genannt werden. Zudem lagen zwischenzeitlich die endgültigen Vorgaben für die EU-Stresstests vor, nach der keine quantitativen Ergebnisse von PSA erwartet wurden.⁸ Auch die meisten anderen EU-Länder haben keine Ergebnisse von PSA ausgewiesen.

⁷

IAEA 2007, zitiert nach Hirsch 2012, S. 9; dort auch weitere Erläuterungen zur Methodik und Vorgehensweise von PSA.

⁸

Die Durchführung von PSA im Rahmen der EU-Stresstests wäre zeitlich auch gar nicht möglich gewesen. In den nationalen Berichten zum Stresstest sollte lediglich eine qualitative Beschreibung gegeben werden, wie PSA bei der Bewertung der Sicherheit von Kernkraftwerken in dem jeweiligen Land verwendet werden. Die Wiedergabe quantitativer Ergebnisse wurde nicht erwartet. Im deutschen Progress Report vom 15.09.2011 (BMU 2011) sind PSA-Ergebnisse aufgelistet, die von den KKW-Betreibern in deren Berichten mitgeteilt worden waren. Hintergrund könnte sein, dass die EU Stresstests unter sehr hohem Zeitdruck durchgeführt wurden. Die Arbeit begann bereits im Sommer 2011, während gleichzeitig noch an den Vorgaben gefeilt wurde. Die endgültige Fassung der Vorgaben für die nationalen Berichte lag erst Anfang Oktober

Unterschieden werden im Rahmen von Probabilistischen Sicherheitsanalysen die Wahrscheinlichkeit eines nuklearen Unfalls mit Kernschmelze und die Wahrscheinlichkeit von hohen Freisetzung. Die Unterscheidung ist wichtig, da im Falle einer Kernschmelze schadensbegrenzende Maßnahmen (**Accident-Management-Maßnahmen** - AMM) hohe Freisetzungen verhindern können.⁹

In den im Rahmen der EU Stresstests für Kernkraftwerke (BMU 2011) dargestellten Ergebnissen von Probabilistischen Sicherheitsanalysen werden neben internen Einwirkungen (wie z.B. ein durch interne Ereignisse bedingter Stromausfall, Ausfall des Kühlsystems, Feuer) auch externe Einwirkungen (wie z.B. Erdbeben, Überflutung oder unfallbedingter Flugzeugabsturz) berücksichtigt. Folgende Fallkombinationen werden untersucht:

1. Bei der **PSA Level 1** wird die Wahrscheinlichkeit einer Kernschmelze (**Core Damage Frequency, CDF**) aufgrund interner und externer Einwirkungen auf das KKW ermittelt. Die PSA Level 1 gibt noch keine Wahrscheinlichkeit für hohe Freisetzungen an, da mitigative (nach einer Kernschmelze einsetzende) Accident-Management-Maßnahmen hohe Freisetzungen noch verhindern oder begrenzen können.

Bei einer PSA Level 1 werden zwar einige externe, aber nicht alle Einwirkungen berücksichtigt; es fehlen u.a. Terror, Sabotage sowie unbekannte bzw. unerwartete Ereignisse (siehe Hirsch 2012), so dass insoweit noch eine zu geringe Wahrscheinlichkeit angegeben wird.

In BMU 2011 wird bei den PSA Level 1 jeweils zwischen HSF (Hazard State Frequency, Gefährdungszustands-Häufigkeit) und CDF unterschieden.¹⁰ Im Folgenden werden nur die Ergebnisse zur Kernschadens-Häufigkeit näher betrachtet, weil sie für die hier besonders interessierende Freisetzungswahrscheinlichkeit von Bedeutung sind.

2. Bei der **PSA Level 2** wird die Wahrscheinlichkeit hoher Freisetzungen (**Large Release Frequency, LRF**) ermittelt. Dabei werden keine externen Einwirkungen berücksichtigt, sondern lediglich interne Einwirkungen. Es werden mitigative Accident-Management-Maßnahmen berücksichtigt. Die PSA Level 2 gibt also (zu) geringe Wahrscheinlichkeiten an, da keinerlei externe Einwirkungen berücksichtigt werden.

Wichtig ist noch die Unterscheidung, welche **Betriebsphasen** bei den in BMU 2011 aufgeführten PSA berücksichtigt wurden:

1. Bei den PSA Level 1 wird sowohl Power Operation (Leistungsbetrieb) als auch Low Power/Shutdown (Betrieb mit geringer Leistung und Anlagenstillstand) betrachtet. Für Power Operation werden sowohl interne als auch externe auslösende Ereignisse betrachtet, für Low Power/Shutdown nur interne. Die Kombination Low Power/Shutdown und externe Ereignisse ist also bei der Ermittlung der Kernschadenshäufigkeit (CDF) nicht berücksichtigt.
2. Die PSA Level 2 umfassen nur Power Operation (Leistungsbetrieb) und interne Ereignisse.

Die genannten Beschränkungen entsprechen den deutschen Vorschriften im Leitfaden für Probabilistische Sicherheitsanalysen des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS 2005).

Die Ergebnisse der PSA Level 1 zeigen, dass die Betriebsphase Low Power/Shutdown ganz erheblich zu HSF und CDF beiträgt. Es ist also anzunehmen, dass Low Power/Shutdown auch einen nennenswerten

2011 vor. Zum Zeitpunkt der Erstellung der Progress Reports war noch nicht völlig klar, was genau verlangt bzw. nicht verlangt werden würde. (Mitteilung von Dr. Helmut Hirsch, 27.7.2012)

⁹ Dies zeigt auch das Beispiel der Kernschmelze im KKW Three Mile Island in Harrisburg.

¹⁰ Ein Gefährdungszustand ist ein Zustand, in dem die Kühlung der Brennelemente im Kern nicht mehr durch die dafür vorgesehenen Sicherheitssysteme gewährleistet wird. Das bedeutet noch nicht zwangsläufig, dass es zu einem Kernschaden kommt, denn es wird versucht, diesen durch präventives Accident Management zu verhindern.

Beitrag zur Ermittlung der Wahrscheinlichkeit hoher Freisetzungen in PSA Level 2 liefern würde (Hinweis Dr. Helmut Hirsch, 27.7.2012). Auch aus diesem Grund sind die in PSA Level 2 ausgewiesenen Wahrscheinlichkeiten zu gering.

Im Folgenden wird in einer tabellarischen Übersicht gezeigt, welche Einschränkungen hinsichtlich der betrachteten Ereignisse und Betriebsphasen für die im Rahmen der regelmäßigen Periodischen Sicherheitsüberprüfungen durchgeführten PSA für deutsche Kernkraftwerke gelten:

Tab. 5 Arten von für deutsche KKW durchgeführten Probabilistischen Sicherheitsanalysen

	PSA Level 1 Wahrscheinlichkeit einer Kernschmelze (CDF - Core Damage Frequency)		PSA Level 2 Wahrscheinlichkeit hoher Freisetzungen (LRF - Large Release Frequency)
Berücksichtigte Betriebsphasen	Betrieb mit geringer Leistung und Anlagenstillstand (Nichtleistungsbetrieb)	Leistungsbetrieb	Leistungsbetrieb (Nichtleistungsbetrieb wird bei PSA Level 2 nicht untersucht)
Einwirkungen	Nur interne Einwirkungen (d.h. zu <u>geringer Ausweisung der Unfallwahrscheinlichkeit</u>)	Interne Einwirkungen wie z.B. intern verursachter Ausfall der Stromversorgung, Kühlung oder Feuer und PSA in BMU 2011: Auch externe Einwirkungen wie z.B. Erdbeben, Überflutung, Flugzeugabsturz	Nur interne Einwirkungen (d.h. zu <u>geringer Ausweisung der Unfallwahrscheinlichkeit</u>)
Notfallmaßnahmen	Da nur die Ereignisse bis zu einer Kernschmelze betrachtet werden, werden nur präventive Accident-Management-Maßnahmen sowie automatische Notfallmaßnahmen einbezogen		Zusätzlich auch mit mitigativen Accident-Management-Maßnahmen

Die für die Fragestellung dieses Hintergrundpapiers relevante Freisetzungswahrscheinlichkeit wird in Probabilistischen Sicherheitsanalysen Level 2 analysiert. Dort werden aber weder externe Einwirkungen auf das KKW berücksichtigt noch Nichtleistungsbetrieb. Nach Mitteilung von Dr. Helmut Hirsch wäre es nicht unmöglich, eine PSA Level 2 unter Berücksichtigung von externen Ereignissen, beiden Betriebszuständen sowie Accident Management zu erstellen. Dies wäre allerdings sehr aufwändig und mit erheblichen Unsicherheiten bei den Ergebnissen verbunden. Für ein deutsches KKW wurde eine solche PSA bisher nicht vorgelegt.

Trotz der methodischen Begrenztheit der Ergebnisse werden die zahlenmäßigen Ergebnisse aus dem Zwischenbericht des BMU zu den EU-Stresstests 2011 im Folgenden dargestellt:¹¹

¹¹

Es werden nur die sechs deutschen KKW dargestellt, für die der Fortschrittsbericht der Bundesregierung zu den Stresstests (BMU 2011) ein Gesamtergebnis für die PSA Level 1 ausweist. Für die weiteren deutschen KKW wird kein Gesamtergebnis der PSA Level 1 ausgewiesen.

Tab. 6 Ergebnisse zur Wahrscheinlichkeit schwerer nuklearer Unfälle im BMU-Fortschrittsbericht 2011 zu den EU Stresstests

	KKB (Brunsbüttel)	KKK (Krümmel)	GKN I (Neckarwestheim I)	KKP 1 (Philippsburg 1)	GKN II (Neckarwestheim II)	KKP 2 (Philippsburg 2)
Reaktortyp	SWR	SWR	DWR	SWR	DWR	DWR
Inbetriebnahme	1976	1983	1976	1979	1988	1984
(1) PSA Level 1 (bei Leistungsbetrieb werden interne und externe Einwirkungen berücksichtigt; bei Betrieb mit geringer Leistung und Stillstand nur interne Einwirkungen)						
CDF (Core Damage Frequency); incl. automatischer und präventiver Maßnahmen, aber ohne mitigative Accident-Management-Maßnahmen						
Wahrscheinlichkeit pro Betriebsjahr (1/a) *	< 1,0 E-05	< 8,0 E-06	7,3 E-06	6,5 E-06	5,4 E-06	3,3 E-06
Einmal in .. Jahren (a)	> 100.000	> 125.000	136.986	153.846	185.185	303.030
(2) PSA Level 2 (es werden nur interne Einwirkungen betrachtet); LRF (Large Release Frequency); incl. präventiver und mitigativer Accident-Management-Maßnahmen						
Wahrscheinlichkeit pro Betriebsjahr (1/a) *	k.A.	1,3 E-07	5,6 E-08	k.A.	3,2 E-08	2,1 E-09
Einmal in .. Mio. Jahren		7,7	17,9		31,3	476,2
Orange markiert: Außer Betrieb genommene KKW im Rahmen Moratorium / AtG-Novelle 2011						
Für weitere deutsche KKW werden bei der PSA Level 1 im BMU 2011 keine Ergebnisse ausgewiesen, daher wird die Darstellung hier auf die sechs KKW beschränkt						
* Für KKB und KKK werden die Ergebnisse der PSA Level 1 in BMU 2011 mit < Zeichen angegeben; alle Werte werden hier genau so übernommen wie in BMU 2011 ausgewiesen. Eine Erläuterung erfolgt dort nicht.						

Die Angaben zur Wahrscheinlichkeit pro Betriebsjahr sind direkt dem Fortschrittsbericht zu den EU Stresstests entnommen (BMU 2011). Der Kehrwert ist die Zahl der Jahre, in der es im Mittel pro Kernkraftwerk zu einem katastrophalen Unfall kommt. Für GKN I ist nach dem Fortschrittsbericht beispielsweise einmal in 137.000 Jahren eine Kernschmelze (unter Berücksichtigung interner und externer Einwirkungen) und einmal in 17,9 Mio. Jahren eine erhebliche Freisetzung (unter Berücksichtigung nur interner Einwirkungen) zu erwarten.¹²

Maßgeblich ist im Zusammenhang mit externen Kosten und Haftungsfragen die Freisetzung. Dafür bräuchte man eine Angabe für das Risiko der Kernschmelze infolge interner oder externer Einwirkungen und unter Einbeziehung von Accident-Management-Maßnahmen sowie aller Betriebszustände. Diese -

¹²

Es fällt auf, dass GKN II als neueste Anlage signifikant schlechter ist als KKP 2. Hierbei könnten die Fußnoten 1 und 2 in der BMU-Tabelle eine Rolle spielen, wobei es verwundert, dass KKP 2 schon für eine Freisetzung von „nur“ 1% des Kerninventars eine deutlich geringere Wahrscheinlichkeit hat, während die Angaben für die anderen KKW für Freisetzung von 5% des Inventars gelten. Bei LERF und LRF gibt es auch einen deutlichen Unterschied zwischen KKK und KKI-1. Beide gehören zur gleichen Baulinie; KKK hat schlechtere Werte, obwohl es die neuere der beiden Anlagen ist. Solcherart Unterschiede sind ein Hinweis auf die Unsicherheiten und Anfälligkeit von PSA bezüglich der Annahmen und Methodik. PSA sind geeignet, Größenordnungen von Risiken aufzuzeigen, nicht aber als Punktwert oder direkten Vergleich von KKW.

eigentlich relevante - Fallkombination wäre mit Probabilistischen Sicherheitsanalysen nur mit sehr großem Aufwand erstellbar und erheblichen Unsicherheiten behaftet.

Einige Studien weisen sowohl eine Wahrscheinlichkeit von Kernschmelzen als auch eine Wahrscheinlichkeit hoher Freisetzungen aus. Die Differenz zwischen den beiden Wahrscheinlichkeiten kommt im Wesentlichen durch mitigative Accident-Management-Maßnahmen zustande, mit denen im Fall einer Kernschmelze möglicherweise hohe Freisetzungen verhindert werden können. Nach Literaturlage können mitigative Accident-Management-Maßnahmen mit einer vergleichsweise hohen Wahrscheinlichkeit hohe Freisetzungen noch verhindern:

Tab. 7 Wahrscheinlichkeit hoher Freisetzungen nach einer Kernschmelze

Quelle	Ergebnis	Erläuterung
CEPN 1995, S. 199	19%	Mit einer Wahrscheinlichkeit von 19% kommt es nach einer Kernschmelze zu einer massiven Freisetzung
GRS 2001, S. 239f	24%	24% der Kernschäden führen zu größeren Freisetzungen

Die beiden Studien kommen also auf Freisetzungswahrscheinlichkeiten nach einer Kernschmelze durch interne Einwirkungen von 19-24%. Diese Wahrscheinlichkeit gilt allerdings für den jeweils untersuchten KKW-Typ und ist nicht verallgemeinerbar:

- Das Ergebnis von GRS 2011 gilt für das dort untersuchte Referenz-KKW GKN-II und somit in etwa auch für die anderen Konvoi-Anlagen (die Druckwasserreaktoren Isar-2 und Emsland). Auf andere Reaktortypen - insbesondere Siedewasserreaktoren - ist es nicht übertragbar.
- Die Wahrscheinlichkeit, dass nach einem Kernschaden durch ein internes Ereignis durch mitigatives AMM hohe Freisetzungen noch verhindert werden können, ist nicht auf externe Ereignisse übertragbar, weil hier möglicherweise viel mehr bzw. anderes defekt ist als nach internen Ereignissen.

Im Folgenden werden die Ergebnisse im deutschen Zwischenbericht zu den EU Stresstests enthaltenen PSA mit den Ergebnissen von früheren PSA bzw. weiteren Angaben zur Wahrscheinlichkeit nuklearer Unfälle verglichen:

Tab. 8 Übersicht über Angaben zur Wahrscheinlichkeit katastrophaler nuklearer Unfälle pro Reaktorbetriebsjahr

Art der PSA	A. Nur interne Einwirkungen		B. Auch externe Einwirkungen	
	PSA Level 1 CDF	PSA Level 2 LRF	PSA Level 1 CDF	PSA Level 2 LRF
(a) MPI 2012 (vier Kernschmelzen in 14.500 Reaktorbetriebsjahren)	Die Quellen (a) und (b) beruhen nicht auf PSA, sondern beziehen tatsächliche Kernschmelzen mit hohen Freisetzungen auf Reaktorbetriebsjahre und ermitteln so eine weltweite Wahrscheinlichkeit. Während Fukushima auf eine externe Einwirkung (Erdbeben und Tsunami-Überflutung) zurückzuführen ist, ist Tschernobyl eine Verkettung interner Einwirkungen. Die Ergebnisse werden mit Blick auf die Einbeziehung von Fukushima in der letzten Spalte eingetragen.			1 : 3.625
(b) Kauermann / Küchenhoff 2011 (zwei Kernschmelzen in 13.260 Reaktorbetriebsjahren)				1 : 6.667
(c) Deutsche Risiko-Studie Kernkraftwerke, Phase B (GRS 1989); verwendet u.a. von Ewers/Rennings 1992	Ohne AMM: 1 : 33.000 Mit AMM: 1 : 278.000	Ohne AMM: 1 : 36.700 Mit AMM: 1 : 2,7 Mio.	k.A.	k.A.
(d) CEPN 1995 im Rahmen der ExternE-Studien im Auftrag der EU-Kommission	1 : 20.000	1 : 105.000	k.A.	k.A.
(e) GRS 2001 für fortschrittliche Druckwasser-Reaktoren (Konvoi-Anlagen Neckarwestheim 2, Isar 2, Emsland)	1 : 400.000 (= $2,5 \cdot 10^{-6}$)	1 : 1,67 Mio. (= $6 \cdot 10^{-7}$)	k.A.	k.A.
(f) Bundesregierung 2011 (Stresstests; für Zusammenfassung siehe Tab. 6)	k.A.	1 : 8 Mio. bis 1 : 476 Mio.	1 : 100.000 bis 1 : 300.000	k.A.
(g) Vorschlag IAEA-Gremium für akzeptierbare Eintrittswahrscheinlichkeit	1 : 10.000 bis 1 : 100.000			

Erläuterungen zu Tab. 8:

Zeilen (a) und (b) enthalten Angaben zu den weltweiten Wahrscheinlichkeiten für katastrophale nukleare Unfälle. Sie basieren nicht auf Probabilistischen Sicherheitsanalysen, sondern auf der beobachteten Zahl katastrophaler nuklearer Unfälle bezogen auf die Reaktorbetriebsjahre.

- **Zu (a) Kauermann / Küchenhoff** haben wie folgt gerechnet: Mit Tschernobyl und Fukushima sind weltweit zwei nukleare Katastrophenfälle im Zeitraum 1981-2011 bei 442 KKW weltweit mit 13.260

Reaktorbetriebsjahren zu verzeichnen, dies entspricht einem katastrophalen Unfall von einmal in 6.667 Reaktorbetriebsjahren.¹³

- **Zu (b) Das MPI** (Max-Planck-Institut für Chemie) hat ähnlich gerechnet, hat allerdings die drei Kernschmelzen in Fukushima als drei Ereignisse gewertet und kommt mit insgesamt vier katastrophalen Unfällen zu noch höheren Eintrittswahrscheinlichkeiten (MPI 2012).

Zeilen (c) bis (e) enthalten die Ergebnisse der für deutsche bzw. europäische Kernkraftwerke bis 2001 erstellten Probabilistischen Sicherheitsanalysen. Diese früheren Analysen weisen erheblich zu niedrige Wahrscheinlichkeiten aus, weil externe Einwirkungen nicht oder nur teilweise berücksichtigt sind.

- **Zu (c) Die Deutsche Risiko-Studie Kernkraftwerke, Phase B** (GRS 1989) enthält zwei Angaben für die Kernschmelzhäufigkeit (CDF), einmal ohne Accident-Management-Maßnahmen (1 : 33.000) und einmal mit Accident-Management-Maßnahmen: $3,6 \cdot 10^{-6}$ (= 1 : 278.000); siehe GRS 1989, S. 6.

Die hier interessierende Wahrscheinlichkeit hoher Freisetzen (LRF) konnte mit Unterstützung von Dr. Helmut Hirsch aus dem Text abgeleitet werden. In der Studie DRS B wird bei der Kernschmelze zwischen Niederdruckpfad (ND) und Hochdruckpfad (HD) unterschieden. Grob gesagt führt der Hochdruckpfad praktisch immer zu Containmentversagen und hohen Freisetzen; der Niederdruckpfad wird meist so beherrscht werden, dass die Freisetzen deutlich geringer sind. Von der CDF ohne AMM entfallen ca. 97% auf HD, ohne AMM gibt es also eine sehr hohe Wahrscheinlichkeit für große Freisetzen. Von der CDF mit AMM entfallen ca. 10%, also $5 \cdot 10^{-7}$, auf HD.

- **Zu (d) Die Studie des CEPN 1995** wird in Abschnitt II.B.4 ausführlich zusammengefasst. In der Tabelle wird das zentrale Ergebnis dargestellt, dass die Kernschadenswahrscheinlichkeit 1 : 20.000 beträgt (S. 199). Zu 19% kommt es zu einer massiven Freisetzung; zu 81% bleibt die Reaktorhülle intakt (S. 197f). In der Summe beträgt die Wahrscheinlichkeit hoher Freisetzen also etwa 1 : 105.000.

- **Zu (e) Nach der Studie der GRS 2001** für fortschrittliche Druckwasser-Reaktoren kommt es mit einer Wahrscheinlichkeit von 1 : 400.000 zu einer Kernschmelze (S. 153). Die PSA Level 2 ergibt eine Wahrscheinlichkeit hoher Freisetzen von 1 : 1,67 Mio. (S. 239-240). Die Differenz zwischen den beiden o.g. Angaben beträgt 24%; dies ist die Wahrscheinlichkeit, mit der Accident-Management-Maßnahmen hohe Freisetzen noch verhindern können.

In GRS 2001 werden externe Ereignisse wie Erdbeben, extremes Hochwasser und extreme Wettersituationen nicht berücksichtigt (GRS 2001, S. 53f, 307).

In der Antwort der Bundesregierung auf eine Kleine Anfrage (Bundesregierung 2010, Antwort zu Frage 11) sowie den Versicherungsforen Leipzig 2011 (S. 63) wird als Ergebnis von GRS 2001 eine Wahrscheinlichkeit von 1 : 100 Mio. (= 10^{-8}) für sehr hohe Freisetzen (durch großflächiges Sicherheitsbehälterversagen) angegeben. Wie Hirsch 2012 (S. 5f) zeigt, ist dieses Ergebnis der Studie von GRS 2001 nicht entnehmbar, daher werden hier direkt die Ergebnisse von GRS 2001 verwendet.

- **Zeile (f) enthält die zusammengefassten Ergebnisse von Probabilistischen Sicherheitsanalysen für deutsche KKW**, wie sie im Fortschrittsbericht des Bundesumweltministeriums 2011 zu den EU-Stresstests aufgeführt und hier in Tab. 6 (S. 23) dargestellt wurden.

Erstmals wurde dort eine Quantifizierung von einigen externen Einwirkungen wie Erdbeben oder Überschwemmungen vorgenommen. Dennoch weisen auch diese Analysen einerseits noch zu niedrige Wahrscheinlichkeiten aus, weil u.a.

¹³

Kauermann/Küchenhoff 2011; Kauermann ist Vorsitzender der Deutschen AG Statistik

- Terror, Sabotage, Mängel der Sicherheitskultur sowie die Möglichkeit bisher unbekannter physikalischer und chemischer Phänomene und unerwarteter Ereignisse gar nicht berücksichtigt wurden,
- gemeinsam verursachte Ausfälle, menschliches Fehlverhalten und Alterungserscheinungen unzureichend berücksichtigt sind (siehe Hirsch 2012, hier zusammengefasst auf S. 27f) und
- die Betriebsphase Low power / Shutdown nur teilweise berücksichtigt wird.

Andererseits ist das Ergebnis von PSA Level 1 zu hoch für eine Aussage zu großen Freisetzungen, weil Accident-Management-Maßnahmen nicht bzw. nur in Form präventiver Maßnahmen berücksichtigt wurden.

- **Zeile (g) zeigt den von einem IAEA-Beratungsgremium bis 2011 vorgeschlagenen Wert für eine akzeptierbare Eintrittswahrscheinlichkeit** laut Majer 2012 (S. 77). Gemäß Mitteilung Dr. Helmut Hirsch (27.7.2012) stehen sie nicht in den Safety Standards der IAEA (die einen gründlichen Diskussionsprozess u.a. mit den Mitgliedstaaten durchlaufen); sondern wurden lediglich von einem Beratungsgremium der IAEA, der INSAG, vorgeschlagen. Als Richtwerte spielen sie in der internationalen Diskussion allerdings eine Rolle. Der Wert 1:10.000/a wurde als Obergrenze der CDF für bestehende Reaktoren vorgeschlagen, der Wert 1:100.000/a als Obergrenze der CDF für zukünftige Reaktoren.

Zusammenfassend zeigt die Übersicht, dass die vorliegenden Probabilistischen Sicherheitsanalysen zu sehr unterschiedlichen Größenordnungen der Eintrittswahrscheinlichkeit von Kernschäden bzw. hohen Freisetzungen kommen. Ein zentraler Einflussfaktor ist die Frage, ob für die hier interessierende Wahrscheinlichkeit hoher Freisetzungen auch externe Ereignisse berücksichtigt werden. Wie die letzte Spalte zeigt, liegt für diese Fallkombination KEINE PSA vor. Ebenfalls nicht oder nur unvollständig berücksichtigt ist in PSA für deutsche KKW der Nichtleistungsbetrieb. Aus Vereinfachungsgründen wurde die Unterscheidung nach Betriebszuständen in der Tabelle weggelassen.

c) Grenzen von PSA

In einer PSA können Szenarien, die zwar denkbar, aber in ihrer Wahrscheinlichkeit nicht quantifizierbar sind, nicht berücksichtigt werden; ihr Ergebnis bildet insofern das "reale Risiko" nicht vollständig ab (Türschmann / Wielenberg 2011).

Im Folgenden werden Aspekte, die nicht oder nur mit großen Unsicherheiten berücksichtigt werden können, dargestellt. Die Ausführungen basieren auf einer Zusammenfassung von Hirsch 2012:

(1) Faktoren, die in PSA grundsätzlich nicht berücksichtigt werden können

- Neue, bisher unbekannte physikalische und chemische Phänomene sowie unerwartete Ereignisse
- Terror- und Sabotagehandlungen

(2) Faktoren, die nur mit sehr großen Unsicherheiten berücksichtigt werden können

Hier wird in laufenden Arbeiten die Methodik weiter entwickelt.

- Gemeinsam verursachte Ausfälle. Zwar ist die Methodenentwicklung im letzten Jahrzehnt erheblich fortgeschritten, aber sie sind immer noch schwierig zu modellieren.
- Komplexes menschliches Fehlverhalten ist schwer zu erfassen. Insbesondere können menschliche Handlungen, die (unbeabsichtigt) eine Situation verschlimmern, praktisch nicht erfasst werden. Zudem wird die Wahrscheinlichkeit für menschliches Fehlverhalten vom organisatorischen Umfeld bestimmt, besonders von der Sicherheitskultur einer Anlage. Es gibt zurzeit jedoch keine anerkannte Methode, um diese zu berücksichtigen.

- Alterungserscheinungen. Zuverlässigkeitsmodelle für Komponenten beruhen im Allgemeinen auf der Annahme konstanter Ausfallraten, was langfristig u.U. nicht zutrifft. Weiterhin entsprechen Zuverlässigkeitsdaten nicht unbedingt dem aktuellen Stand einer Anlage, da sie meist bereits vor Jahren zusammengestellt wurden. Schließlich kommt es häufig vor, dass Komponenten wie Kabel oder bauliche Strukturen in einer PSA gar nicht behandelt werden, da sie eine sehr niedrige Ausfallrate aufweisen; dies kann sich jedoch im Laufe der Zeit ändern. Methoden zur besseren Berücksichtigung von Alterungserscheinungen in PSA sind in Entwicklung.

(3) Nicht jede PSA berücksichtigt sämtliche Faktoren und Methoden auch tatsächlich nach allen Regeln der Kunst. Eine komplette PSA, die eine Vollständigkeit und geringstmögliche Unsicherheit nach dem aktuellen Stand der Methodik anstrebt, ist ein sehr umfangreiches Projekt, das erhebliche Ressourcen und Zeit benötigt.

d) Fazit PSA

Das wissenschaftliche und politische Interesse an den externen Kosten der Atomenergie ist hoch. U.a. für einen fairen Vergleich der volkswirtschaftlichen Kosten der Energieträger werden Angaben benötigt. Die Eintrittswahrscheinlichkeit katastrophaler nuklearer Unfälle bzw. die Wahrscheinlichkeit hoher Freisetzungen radioaktiven Materials ist ein zentraler Einflussfaktor der externen Kosten der Atomenergie.

Der Vergleich der in der Literatur vorfindbaren Angaben zu Eintrittswahrscheinlichkeiten von schweren nuklearen Unfällen bzw. hohen Freisetzungen ergibt ein sehr großes Spektrum. Die geringste Angabe (BMU 2011 für das KKW Philippsburg 2 mit einmal in 476 Mio. Jahren) ist um den Faktor von bis zu 130.000 niedriger als die von MPI 2012 bzw. Kauermann/Küchenhoff 2011 weltweit ermittelte Eintrittshäufigkeit von nuklearen Katastrophenfällen (pro KKW durchschnittlich einmal alle 3.600 bis 6.700 Jahre).

Sowohl die sehr hohen als auch die sehr geringen Wahrscheinlichkeiten sind zumindest für deutsche KKW unplausibel:

- Die Angaben von Kauermann/Küchenhoff 2011 bzw. MPI 2012 sind ein weltweiter Durchschnittswert. Sie sind auf deutsche KKW nur eingeschränkt übertragbar, denn diese haben durch einen höheren Stand der Sicherheitstechnik und eine weniger für Erdbeben oder Überschwemmungen anfällige geographische Lage unterdurchschnittliche Risiken.
- Maßgeblich für die Fragestellung der externen Kosten ist die Wahrscheinlichkeit hoher Freisetzungen und damit PSA Level 2. Die vorliegenden PSA der Stufe 2 berücksichtigen u.a. keine externen Einwirkungen als Unfallursache und unterschätzen damit Unfall- und Freisetzungsriskien sehr deutlich. Dies gilt für die frühen PSA der 1990er Jahre ebenso wie für GRS 2001 und die in BMU 2011 dargestellten Ergebnisse von PSA.

Für die eigentlich relevante Kombination von Annahmen und Methoden

- Berücksichtigung von internen und externen Einwirkungen einschließlich Terror und Sabotage,
- von auch mitigativen Accident-Management-Maßnahmen sowie
- neben Leistungsbetrieb auch Betrieb mit geringer Leistung und Anlagenstillstand

wurden bisher keine Studien zur Wahrscheinlichkeit von hohen Freisetzungen durch katastrophale nukleare Unfälle vorgelegt.

Das Dilemma ist, dass die tatsächliche Wahrscheinlichkeit von katastrophalen nuklearen Unfällen prinzipiell nicht ermittelbar ist. In der Studie von Hirsch für Greenpeace wird dies wie folgt ausgeführt:

„Die Durchführung von Risikostudien für Kernkraftwerke ist grundsätzlich sinnvoll. Derartige Analysen können u.a. zu einem besseren Verständnis des Anlagenkonzeptes und der Identifizierung von

Schwachstellen beitragen und bei der Bewertung von Nachrüstungen sowie bei Vergleichen zwischen Anlagen hilfreich sein. Das zahlenmäßige Gesamtergebnis einer PRA - die berechnete zu erwartende Häufigkeit von Kernschmelzunfällen, sowie von Unfällen mit sehr hohen und frühzeitigen Freisetzung - darf jedoch lediglich als grober Risiko-Indikator verstanden werden, und nicht als belastbare Angabe für die tatsächliche Wahrscheinlichkeit derartiger Unfälle. Diese tatsächliche Wahrscheinlichkeit ist prinzipiell nicht ermittelbar. Im Rahmen eines vorsichtigen, konservativen Vorgehens muss angenommen werden, dass sie tendenziell deutlich über den von PRA als Ergebnissen gelieferten Zahlenwerten liegt.“ (Hirsch 2012)

Im Ergebnis zeigen die Analysen in diesem Papier und in Hirsch 2012, dass es mit wissenschaftlichen Methoden nicht möglich ist, eine „Beste Schätzung“ oder auch nur eine verkleinerte Bandbreite für die Wahrscheinlichkeit hoher Freisetzungen durch schwere nukleare Unfälle zu bestimmen. In den folgenden Analysen der externen Kosten der Kernenergie wird für die Wahrscheinlichkeit hoher Freisetzungen nach einem katastrophalen nuklearen Unfall in einem deutschen KKW eine Bandbreite von 1 : 10.000 bis 1 : 10 Mio. zugrunde gelegt. Der untere Wert wird dabei auf CEPN 1995¹⁴ sowie die Berechnungen von MPI 2012 und Kauermann/Küchenhoff 2011 (Zeilen a und b in Tab. 8) gestützt, der obere Wert auf GRS 2001 (Zeile e) sowie die Mehrzahl der Ergebnisse von PSA in BMU 2011 (Zeile f). Dabei ist klar, dass der obere Wert das tatsächliche Risiko signifikant untertreibt.

¹⁴

Hinweis Dr. Helmut Hirsch 6.8.2012/30.7.2012: CEPN geht auch auf die Unsicherheit der Probabilistischen Sicherheitsanalysen ein. Im Ergebnis kann man bei Annahme einer Freisetzungswahrscheinlichkeit von 1 : 12.000 einigermaßen sicher sein, den unbekanntem tatsächlichen Wert nicht zu unterschätzen. Hintergrund: Bei der von CEPN 1995 zugrunde gelegten Probabilistischen Sicherheitsanalyse werden auch die Unsicherheiten der CDF betrachtet, soweit sie zahlenmäßig erfasst werden konnten. CEPN gibt die Mittelwerte für die CDF an (4E-05/a für interne Ereignisse, 1E-05/a für Feuer), sowie auch die 95%-Fraktile (4E-04/a für interne Ereignisse, 4E-05/a für Feuer). Für interne Ereignisse plus Feuer folgt somit als 95%-Fraktile der CDF ein Wert von 4,4E-04, oder 1:2.300 (gerundet). Die entspricht bei 19% bedingter Freisetzungswahrscheinlichkeit einer LRF von 8,4E-0, oder 1:12.000.

1. Erwartungswert des Schadens

Der Erwartungswert des Schadens ist ermittelbar durch Multiplikation der Schadenshöhe mit der Eintrittswahrscheinlichkeit. Um diesen zu bestimmen, braucht man Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadenshöhe. Bei nuklearen Unfällen wird zwischen Gesundheitsschäden (tödliche und nicht tödliche Krebserkrankungen sowie genetische Schäden) sowie BIP-Ausfällen in verstrahlten Gebieten unterschieden. Bei den Gesundheitsschäden müssen Annahmen zur Anzahl der Fälle und den jeweiligen Wertansätzen getroffen werden.

a) Anzahl der tödlichen und nicht tödlichen Krebserkrankungen nach einem nuklearen Unfall mit hohen Freisetzung

Die Anzahl der tödlichen und nicht tödlichen Krebserkrankungen nach nuklearen Unfällen ist von diversen Einflussfaktoren abhängig, insbesondere der Menge des freigesetzten radioaktiven Materials, dem Tempo der Freisetzung (bei einer zeitlich verzögerten Freisetzung sind Evakuierungen möglich) sowie Windrichtung, Regenfällen und Besiedlungsdichte. Es hängt damit von den konkreten Umständen des Unfalls ab, wie viele Menschen wie stark von den Folgen betroffen sein werden. Es folgt eine Übersicht über die unterschiedlichen Annahmen in der ausgewerteten Literatur zur Anzahl tödlicher Krebserkrankungen:

Tab. 9 Übersicht über Angaben zur Anzahl tödlicher Krebserkrankungen

Quelle	Anzahl tödlicher Krebserkrankungen
GRS 1979	Im Maximalschaden: ca. 120.000 ¹⁵
PROGNOS 1992, dort werden zitiert:	
• Ewers/Rennings 1992	1,7 Mio.
• Hohmeyer 1989	2,4 Mio.
• Hohmeyer 1990	12 Mio.
• Ottinger et al 1990	140.000
• Öko-Institut (Küppers et al)	112.000 bei Regen 14.000 bei trockenem Wetter
Schwarz 1993	10.000 als Best Guess 100.000 als sehr vorsichtige Annahme (S. 551)
Krewitt 1996	52.000
CEPN 1995	14.400 tödliche Krebserkrankungen 2.900 genetische Schäden
TORCH 2006 für die Folgen der Tschernobyl-Katastrophe (Quelle VFL 2011, S. 53)	30.000 - 60.000 zusätzliche Todesfälle durch Krebs weltweit
ifo (Zimmer / Lippelt) 2011	840.000 Todesfälle
Hier verwendet	10.000 - 100.000 Todesfälle (incl. genetischer Schäden, da sie wie bei CEPN 1995 mit gleich hohem Wertansatz bewertet werden)

¹⁵ 14.400 Todesfälle durch Frühschäden (S. 208); 104.000 Todesfälle durch Krebs (S. 212)

Schwarz kritisiert die Annahme von Millionen von Krankheits- und Todesfällen bei Ewers/Rennings 1992 und verweist darauf, dass diese der Studie von GRS 1979 so nicht zu entnehmen seien (Schwarz 1993, S. 551).

In den Risiko- bzw. Probabilistischen Sicherheitsanalysen der Gesellschaft für Reaktorsicherheit wurde nur in der ersten Studie 1979 eine Abschätzung der Unfallfolgen vorgenommen. Alle späteren Studien beziehen sich nur auf das Risiko einer Kernschmelze und das Risiko hoher Freisetzungen.

„In PSA der Stufe 3 werden in einem weiteren Schritt unterschiedliche Szenarien für die Ausbreitungen freigesetzter radioaktiver Stoffe in die Umwelt berechnet. Erst damit können dann Häufigkeit, Ausmaß und Ausbreitung einer signifikanten radioaktiven Belastung der Umgebung berechnet werden. Unter Berücksichtigung von Strahlenschutzmaßnahmen wie Evakuierungen oder Verzehrverboten kann schließlich auch die unfallbedingte Strahlenbelastung der Bevölkerung in Form konkreter Dosiswerte ermittelt werden. Auch auf dieser Stufe der PSA müssen die dafür benötigten Daten in weitem Umfang durch Simulationsprogramme hergeleitet werden. PSA der Stufe 3 liegen international bislang nur vereinzelt vor. In Deutschland sind sie rechtlich nicht gefordert. Nach der Deutschen Risikostudie Phase A im Jahr 1979 wurde in Deutschland keine durchgehende PSA von der Stufe 1 bis zur Stufe 3 mehr erstellt.“ (GRS 2011)

Somit gibt es nur wenige aktuelle Untersuchungen zu den im Falle katastrophaler nukleare Unfälle zu erwartenden Erkrankungen und Todesfällen. Da fast alle Studien (außer der in dieser Hinsicht stark kritisierten Studie von Ewers/Rennings 1992 und den darauf aufsetzenden Untersuchungen des ifo 2011 und der Versicherungsforen Leipzig 2011) deutlich geringere Erkrankungen und Todesfälle annehmen, wird hier mit einer Bandbreite von 10.000 - 100.000 Todesfällen gearbeitet. Auch der obere Wert der Bandbreite repräsentiert keine Obergrenze für den schlimmsten Fall, sondern den oberen Wert für eine vorsichtig-realistische Best-Guess-Schätzung hinsichtlich der zu erwartenden tödlichen Krebserkrankungen nach einem Super-GAU.

b) Wertansätze für Todesfälle bzw. nicht tödliche Krebserkrankungen

Im Folgenden werden zunächst die in Studien zu externen Kosten verwendeten Wertansätze für Todesfälle dargestellt.

(1) Ewers/Rennings 1992 haben in ihrer Schätzung tödliche Krebsfälle mit 6 Mio. DM pro Fall bewertet. In Preisen 2012 sind dies 4,8 Mio. €.

(2) Methodenkonvention des UBA 2007

„Im Rahmen der ExternE- Projektserie wurde eine Reihe internationaler Studien, welche die Kontingente Bewertungsmethode angewendet haben, analysiert (European Commission 1995). Daraus ergab sich eine Bandbreite von 2,9 bis 4,4 Millionen (Mio) € mit einem Mittelwert von 3,4 Mio. € pro vermiedenen Todesfall. Eine neuere empirische Untersuchung (NewExt, 2004), die die Zahlungsbereitschaft in drei europäischen Ländern analysierte, schätzte den VSL auf 1 Mio. €. Diese Schätzung ist als eher konservativ zu beurteilen. Betrachtet man zum Vergleich staatlich empfohlene Bewertungen für Unfälle, so ergeben sich folgende VSL-Werte. Die Generaldirektion Umwelt der Europäischen Kommission (DG Environment) empfiehlt an derzeit einen Wert von ca. 1,4 Mio. € (Vainio und White 2001). In verschiedenen Ländern gibt es für Kosten-Nutzen-Untersuchungen etwa bei Planungen im Straßen- oder Schienenverkehr Vorgaben, welche Werte heranzuziehen sind. In Großbritannien betragen diese Werte je nach Behörde ca. 0,6 bis 3,9 Mio. €, in Norwegen 1,4 bis 2,2 Mio. €. In Deutschland verwendet die Bundesanstalt für Straßenwesen einen Wert von 1,2 Mio. € je Todesfall zur Ermittlung der volkswirtschaftlichen Kosten durch Straßenverkehrsunfälle. Dieser Wert basiert auf dem Humankapitalansatz und enthält auch Ressourcen- und Opportunitätskosten. Er findet u. a. auch im Rahmen der gesamtwirtschaftlichen Bewertung von Verkehrsinvestitionen (Bundesverkehrswegeplan) Anwendung.“ (UBA 2007, S. 73)

Unter Berücksichtigung dieser und weiterer Überlegungen kommt das UBA zu folgender Empfehlung bezüglich tödlicher Risiken:

„Die Methodenkonvention konzentriert sich in der jetzigen Fassung auf die umweltrelevanten nicht-tödlichen Gesundheitsrisiken und gibt daher derzeit keine Empfehlung für einen besten Schätzwert. Unter Berücksichtigung der Bandbreiten der vorliegenden Studien halten wir Sensitivitätsrechnungen in den Bandbreiten von 1 Mio € bis 3 Mio € pro Todesfall für sinnvoll.“ (UBA 2007, S. 75)

Für nicht-tödliche Risiken empfiehlt das UBA folgenden Ansatz pro verlorenem Lebensjahr:

„Als zentraler Wert zur Schätzung verlorener Lebensjahre wird in europäischen Studien heute der Wert von 50.000 Euro bei akuten Gesundheitseffekten und 75 000 € bei chronischen Erkrankungen aus der Zahlungsbereitschaftsbefragung von NewExt vorgeschlagen.“ (UBA 2007, S. 74)

- (3) Bei den ExternE-Studien im Auftrag der EU-Kommission wurden durchschnittlich pro Todesfall 0,98 - 2 Mio. € angenommen (EEA 2009, S 11).
- (4) Der Ansatz YOLL (Years of Life Lost) mit 40 T€₂₀₀₀ pro verlorenem Lebensjahr wurde u.a. in der Folgestudie NEEDS im Auftrag der EU-Kommission angewendet (siehe IER / Preiss 2009). Dieser Ansatz ist zwar nicht für Todesfälle konzipiert, aber wenn man dennoch den YOLL-Wert für das Durchschnittsalter von 42 Jahren in Deutschland ermittelt, so kommt man auf 1,6 Mio. €; für Neugeborene mit durchschnittlich etwa 80 Jahren Lebenserwartung auf 3,2 Mio. €.
- (5) In einer deutschen Studie zum Wert eines Menschenlebens wird dieser mit durchschnittlich 1,7 Mio. € angegeben (FAZ 2005¹⁶ mit Verweis auf eine Buchpublikation von Hannes Spengler).
- (6) Die Versicherungsforen Leipzig legen fünf aus der Literatur recherchierten Angaben für den anzusetzenden Wert eines Todesfalls zwischen 790 und 4.469 Mio. € zugrunde und ermitteln daraus einen gewichteten Durchschnitt von 3,8 Mio. €₂₀₁₂ (VFL 2011; siehe auch Abschnitt II.B.13).

Dies sind Ansätze zur volkswirtschaftlichen Bewertung von Todesfällen. Ein alternativer Ansatzpunkt wären tatsächliche Ansprüche auf Entschädigungszahlungen für Todesfälle an den Verursacher bzw. seine Versicherung.

- In der Kfz-Haftpflicht müssen die Versicherungen für Unfälle mit Todesfolge nur die Beerdigung und die Kosten für beim Unfall zerstörte Sachwerte (wie z.B. das Fahrrad eines getöteten Radfahrers) zahlen. Für die Angehörigen gibt es Schmerzensgeld nur, wenn diese einen „Schockschaden“ (gesundheitliche Beeinträchtigung durch erhebliche seelische Qual) nachweisen können. Unterhaltspflichten müssen ggf. von den Erben des Opfers gezahlt werden, nicht von der Haftpflicht des Unfallverursachers.
- Nach den §§ 28-30 AtG sind für Todesfälle durch nukleare Unfälle deutlich höhere Leistungen fällig für
 - Kosten einer versuchten Heilung
 - Vermögensnachteil durch aufgehobene oder verminderte Erwerbsfähigkeit
 - Vermögensnachteil durch Vermehrung der Bedürfnisse des Betroffenen oder erschwertem Fortkommen
 - Kosten der Beerdigung
 - Übernahme von Unterhaltsansprüchen von Dritten gegen den Getöteten (auch für gezeugte, aber nicht geborene Kinder)

Der ausgewerteten Literatur und Expertenbefragungen konnten allerdings keine konkreten Hinweise entnommen werden, was ein KKW-Betreiber in Deutschland mit Blick auf die Regelungen in §§ 28-30 AtG pro Krebsfall (mit bzw. ohne Todesfolge) tatsächlich zahlen müsste. Die Bundesregierung hat in ihrer Antwort auf eine Kleine Anfrage auf eine entsprechende Fragen ausweichend geantwortet, dass

¹⁶ <http://www.faz.net/-01r9io>

die Höhe des nach § 28 AtG zu leistenden Schadensersatzes anhand des jeweiligen Einzelfalles zu ermitteln sei und die Bundesregierung keine abstrakten Berechnungen vorgenommen habe (Bundesregierung 2010b, Antwort zu Frage 21).

Die Ermittlung tatsächlicher Entschädigungsansprüche in der Atomhaftung ist eher für Ansätze relevant, die angemessene Versicherungsprämien kalkulieren. Für den Zweck der Ermittlung der externen Kosten ist der Ansatz über die volkswirtschaftlichen Kostenansätze für Todesfälle angemessener.

Fazit: Für die hier angestellte Abschätzung der externen Kosten der Atomenergie wird mit einem Wertansatz für Todesfälle von 1,7 Mio. €₂₀₀₀ (entsprechend 2,1 Mio. €₂₀₁₂) gerechnet. Er liegt in der Spanne der diversen Studien zu externen Kosten im Auftrag der EU-Kommission und in der Spanne der vom Umweltbundesamt in der Methodenkonvention 2007 empfohlenen Werte.

Damit verbunden ist die Einschätzung, dass der von Ewers/Rennings 1992 verwendete Wertansatz von 6 Mio. DM₁₉₈₉ (4,8 Mio. €₂₀₁₂) aus heutiger Sicht nicht angemessen ist.

Tab. 10 Angaben zum Wertansatz für Todesfälle in der ausgewerteten Literatur

Alle Angaben in Mio. €	Todesfall	verlorenes Lebensjahr
(1) Ewers/Rennings 1992	4,8 Mio. € ₂₀₁₂	
(2) UBA 2007	1 - 3 Mio. € ₂₀₀₇	50 T€ YOLL
(3) ExterneE	1 - 2 Mio. € _{ca 2005}	
(4) NEEDS (u.a. IER)		40 T€ ₂₀₀₀ YOLL
für Durchschnittsalter 42 Jahre	1,7 Mio. € ₂₀₀₀	
	2,1 Mio. € ₂₀₁₂	
(5) Spengler 2004	1,7 Mio. € ₂₀₀₅	
(6) Versicherungsforen Leipzig (gewichteter Durchschnitt)	3,8 Mio. € ₂₀₁₁	
Hier verwendet	1,7 Mio. € ₂₀₀₀	50 T€ YOLL
	2,1 Mio. € ₂₀₁₂	

c) Sachschäden

Sachschäden setzen sich zusammen aus den Produktions- und Vermögensverlusten in der Sperrzone und in den umzusiedelnden Gebieten sowie globalen Schäden wie z.B. Verluste an Agrarprodukten bzw. Konsumverboten. Zu den Sachschäden liegen zwei Schätzungen vor, einmal von Ewers/Rennings 1992 und von CEPN 1995 (siehe Tab. 12, S. 35). Die Frage der Sachschäden wird in der Literatur weitaus weniger Aufmerksamkeit gewidmet als der Frage zu erwartender Personenschäden. Eine aktuelle konkrete Schätzung ist mir nicht bekannt und keine Institution in Deutschland erfasst die gesamten Vermögenswerte. In der Literatur sind lediglich zu einzelnen Vermögensbestandteilen Angaben zu finden.

Tab. 11 Sachvermögen in Deutschland

Alle Angaben in Mrd. €	2008
A. Nettoanlagevermögen zu Wiederbeschaffungspreisen	15.396
B. Sachvermögen private Haushalte (2007, ohne Bauten)	1.260
C. Boden und Naturkapital	??
Summe Sachvermögen i.w.S.	> 16.656
Bruttoinlandsprodukt Deutschland	2.481

- A. Das Statistische Bundesamt weist das **Anlagenvermögen** aus. Das Anlagevermögen umfasst alle produzierten Vermögensgüter, die länger als ein Jahr wiederholt oder dauerhaft in der Produktion eingesetzt werden. Einbezogen sind
- Ausrüstungen (Maschinen, Geräte, Fahrzeuge) und
 - sonstige Anlagen (immaterielle Anlagen, Nutztiere und Nutzpflanzen)
 - Bauten (Wohn- und Nichtwohnbauten, sonstige Bauten wie Straßen, Brücken, Flugplätze, Kanäle u. Ä. und die mit Bauten fest verbundenen Einrichtungen wie Aufzüge, Heizungs-, Lüftungs- und Klimaanlage).

Es werden verschiedene Abgrenzungen des Anlagevermögens erfasst: Beim Bruttokonzept werden die Anlagen mit ihrem Neuwert ohne Berücksichtigung der Wertminderung ausgewiesen, während beim Nettokonzept die seit dem Investitionszeitpunkt aufgelaufenen Abschreibungen abgezogen sind. Oben wird das Nettoanlagevermögen zu Wiederbeschaffungspreisen angegeben.

- B. Das DIW ermittelt in unregelmäßigen Abständen das **Nettovermögen der privaten Haushalte** (DIW 2009). Dazu gehören Immobilienbesitz, Geldvermögen, Vermögen aus privaten Versicherungen und Beteiligungen an Unternehmen sowie Sachvermögen in Form wertvoller Sammlungen. Immobilien sind im Anlagevermögen enthalten, Geldvermögen wird für die Frage dieser Studie vollständig ausgeblendet, es wird nur das Sach- und das Humanvermögen betrachtet. Im Sachvermögen der privaten Haushalte sind enthalten Kraftfahrzeuge, Hausrat sowie Münzen und Sammlungen.¹⁷
- C. Das **Naturkapital** ist der ökonomische Wert des Ökosystems. Es steht für Mineralien, Pflanzen und Tiere der Biosphäre, soweit man sie als Produktionsfaktor für die Herstellung von Sauerstoff, als Wasserfilter, Verhüter von Erosion, Träger von Genmaterial oder anderen natürlichen Leistungen betrachtet. Eine Quantifizierung ist mir nicht bekannt.

Vor dem Hintergrund fehlender aktueller wissenschaftlicher Abschätzungen der möglichen Sachschäden nach einem Super-GAU wird in diesem Diskussionspapier für die Best-Guess-Schätzung auf CEPN 1995 zurückgegriffen. Die Sachschäden können aber deutlich höher sein.

¹⁷

Kraftfahrzeuge, Hausrat werden vom DIW nicht erfasst, daher erfolgte eine eigene grobe Zuschätzung

d) Fazit: Erwartungswert (ohne Risikoaversionsfaktor) bei alternativen Schadensschätzungen und Eintrittswahrscheinlichkeiten

Beide noch heute viel zitierte Schätzungen der externen Kosten der Atomenergie (Ewers/Rennings 1992 und CEPN 1995) sind stark aktualisierungsbedürftig. Im Folgenden werden hinsichtlich der zentralen Einflussfaktoren aus heutiger Sicht beste Schätzungen einer vorsichtig-realistischen Bandbreite entwickelt:

Tab. 12 Vergleich und Aktualisierung der Annahmen und Ergebnisse von Ewers/Rennings 1992 und CEPN 1995 in diesem Hintergrundpapier

	Ewers/Rennings 1992	CEPN 1995 im Rahmen ExternE	Aktualisierung Meyer 2012 **
Wahrscheinlichkeit von hohen Freisetzungen nach nuklearen Unfällen	1:33.000 (DRS/B ohne Accident Management)	1 : 105.000	1:10.000 <i>bis 1: 10 Mio.</i>
Anzahl Todesfälle	1,7 Mio.	17.500 *	100.000 - 10.000 *
Wertansatz für Todesfälle	4,8 Mio. € ₂₀₁₂ (6 Mio. DM ₁₉₉₈)	3,4 Mio. € ₂₀₁₂ (2,6 Mio. € ₁₉₉₅)	2,1 Mio. €₂₀₁₂ (auf Basis NEEDS 2009)
Anzahl nicht tödlicher Krebserkrankungen	0,8 Mio.	34.900	300.000 - 30.000
Wertansatz für Krebserkrankungen	0,4 Mio. € ₂₀₁₂ (0,5 Mio. DM ₁₉₉₈)	0,33 Mio. € ₂₀₁₂ (0,25 Mio. € ₁₉₉₅)	0,33 Mio. €₂₀₁₂ (auf Basis CEPN 1995)
Personenschäden	7.900 Mrd. € ₂₀₁₂ (10.500 Mrd. DM ₁₉₉₈)	71,0 Mrd. € ₂₀₁₂ (54,1 Mrd. € ₁₉₉₅)	305 - 30 Mrd. €₂₀₁₂ (Resultierende Berechnung)
Sachschäden	170 Mrd. € ₂₀₁₂ 230 Mrd. DM ₁₉₉₈	38,2 Mrd. € ₂₀₁₂ (29,2 Mrd. € ₁₉₉₅)	38 Mrd. €₂₀₁₂ (auf Basis CEPN 1995)
Summe Personen- und Sachschaden	8.000 Mrd. € ₂₀₁₂ 10.700 Mrd. DM ₁₉₉₈	109 Mrd. € ₂₀₁₂ (83,3 Mrd. € ₁₉₉₅)	343 - 69 Mrd. €₂₀₁₂ (Resultierende Berechnung)
Resultierender Erwartungswert	3,2 Ct ₂₀₁₂ /kWh (4,3 Pf ₁₉₉₈ /kWh)	0,02 Ct ₂₀₁₂ /kWh (0,01 Ct/kWh ₁₉₉₅)	0,34 - 0,001 Ct₂₀₁₂/kWh (Resultierende Berechnung)
* Incl. Genetische Schäden; diese werden von CEPN mit demselben Wertansatz wie Todesfälle bewertet			
** Erstgenannt und gefettet ist jeweils der Wert, der zu dem höheren Schadenserwartungswert führt			

Wie die Übersicht zeigt, wird in diesem Hintergrundpapier eine Bandbreite bei den zentralen Einflussfaktoren angenommen. Der untere Wert wird an den Annahmen von CEPN 1995 orientiert. Auch der obere Wert der hier verwendeten Bandbreite liegt noch deutlich unter den Annahmen bei Ewers/Rennings 1992. In dem Szenario für den oberen Wert der Bandbreite wurde mit einer Eintrittswahrscheinlichkeit von 1 : 10.000 und einer Anzahl von 100.000 Todesfällen gerechnet. Unter den modifizierten Annahmen in diesem Hintergrundpapier resultiert ein oberer Schadenserwartungswert von bis zu 0,34 Ct₂₀₁₂/kWh. Dies ist kein Maximalwert für den schlimmsten Fall, sondern der obere Wert einer vorsichtig-realistischen besten Schätzung.

e) Risikoaversionsfaktor

Kritisiert wird an dem Ansatz des Erwartungswertes, dass dieser bei sehr hohen Schadensbeträgen nicht angemessen ist.

Bereits PROGNOS 1992 weist zu dem Ansatz der Ermittlung der externen Kosten über den Erwartungswert für nukleare Katastrophenfälle darauf hin, dass er das wahre Ausmaß der möglichen Schäden verschleiern und eine rein statistische Größe ist, die nichts darüber aussagt, wann der Schaden eintritt.

„Das Rechnen mit Erwartungswerten ist ein gängiges Verfahren in ökonomischen Bewertungen. Dadurch lässt sich gewährleisten, dass die Abwägung zwischen Kosten und Nutzen gesamtwirtschaftlich zu konsistenten Entscheidungen bezüglich Risikominderungsmaßnahmen führt. Grundlage einer solchen Vorgehensweise ist die Annahme der Risikoneutralität. Risikoneutralität bedeutet, dass die Bewertung des Risikos nur vom Erwartungswert - also dem Produkt aus Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadensausmaß - abhängt, nicht aber davon, ob eine geringe Eintrittswahrscheinlichkeit mit einem hohen Schadensausmaß oder eine hohe Eintrittswahrscheinlichkeit mit einem geringen Schadensausmaß einhergeht. Bei Risikoaversion werden - bei identischem Erwartungswert - Risiken schlechter bewertet, die ein höheres Schadensausmaß aufweisen. (UBA 2007, S. 23f)

Das UBA verweist in seiner Methodenkonvention (2007) weiterhin auf Untersuchungen aus der Schweiz zu Risikoaversionsfaktoren und kommt zu folgender Empfehlung:

„So lange es für Deutschland keine Untersuchungen zur Höhe der Aversionsfaktoren gibt, schlagen wir vor - in Anlehnung an die Ergebnisse aus der Schweiz - den Aversionsfaktor 100 zu verwenden.“ (UBA 2007, S. 29).¹⁸

¹⁸ Rennings 2007 hat demgegenüber einen Risikoaversionsfaktor von 20 vorgeschlagen.

f) Folgekosten des katastrophalen nuklearen Unfalls in Tschernobyl

Die Folgekosten von Tschernobyl wurden in einer Ausarbeitung des Wissenschaftlichen Dienstes des Deutschen Bundestages recherchiert, dort heißt es:

Nach einer Studie der International Atomic Energy Agency (IAEA) kann die Kalkulation der Kosten des Nuklearunfalls von Tschernobyl aufgrund der 1986 und in den Folgejahren herrschenden wirtschaftlichen Situation in der Sowjetunion und den Nachfolgestaaten nur mit einem hohen Maß an Schätzung vorgenommen werden.⁶⁰ Nach dieser Studie belaufen sich die Folgekosten der Katastrophe schätzungsweise auf hunderte Milliarden Dollar. Die Umweltorganisation Greenpeace hat ein Gutachten zu den Folgen des Reaktorunfalls in Tschernobyl erstellen lassen.⁶¹ Nach Schätzungen von Greenpeace werden die wirtschaftlichen Schäden bis zum Jahr 2015 auf insgesamt 201 Milliarden US-Dollar (ca. 154 Milliarden Euro) anwachsen.⁶² Auch aus weiteren Studien ergeben sich ähnliche Zahlen.⁶³ (Schröder 2010, S. 11f)

60 Das Erbe von Tschernobyl: Einflüsse auf Gesundheit, Umwelt sowie die gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Verhältnisse, Das Tschernobyl Forum: 2003-2005, zweite überarbeitete Ausgabe, S. 30, abrufbar unter: http://www.iaea.org/Publications/Booklets/German/chernobyl_ger.pdf [Stand: 28. Juli 2010].

61 Large & Associates, Chernobyl - a nuclear catastrophe 20 years on, Studie v. 26. April 2006, abrufbar unter: http://www.greenpeace.de/fileadmin/gpd/user_upload/themen/atomkraft/chernobyl-anuclear-catastro.pdf [Stand: 28. Juli 2010].

62 Totz, „Die Folgen des Super-Gaus“, Artikel vom 26. März 2006, abrufbar unter: http://www.greenpeace.de/themen/atomkraft/atomunfaelle/artikel/die_folgen_des_super_gaus/ [Stand: 28. Juli 2010].

63 Vgl. Fairlie/Sumner, The other report on Chernobyl (TORCH), <http://www.chernobylreport.org/torch.pdf> [Stand: 28. Juli 2010]; Hirsch/Becker, 17 Jahre nach Tschernobyl, April 2003, S. 4, abrufbar unter: http://www.windenergie.de/fileadmin/dokumente/Themen_AZ/Externe%20Kosten/Studie_Greenpeace_17_Jahre_Tschernobyl.pdf [Stand: 28. Juli 2010].

Nach Recherchen der Fernsehsendung Panorama zahlt die Ukraine noch heute jedes Jahr 5% des Bruttoinlandsprodukts für Schäden durch die Strahlung. Der Reaktorunfall von Tschernobyl verursachte bisher Kosten von rund 200 Mrd. € (Panorama 2011).

Fazit: Die Analyse zeigt, dass bereits für den Super-GAU in Tschernobyl mit einer regional im Vergleich zu Deutschland deutlich geringen Bevölkerungsdichte mehrere Hundert Milliarden Schäden geschätzt werden. Dies bestätigt, dass die Schätzung eines volkswirtschaftlichen Schadens in der Größenordnung von 340 Mrd. € für einen Super-GAU in einem deutschen KKW in diesem Hintergrundpapier eher vorsichtig ist.

2. Externe Kosten des nächst schlechtesten Energieträgers

Das Umweltbundesamt macht in seiner Methodenkonvention zu den externen Kosten (UBA 2007) ebenfalls eine Analyse der vorliegenden Schätzungen der externen Kosten der Atomenergie und kommt angesichts der sehr hohen Unterschiede zu folgender Schlussfolgerung und Empfehlung:

„Die vermuteten Schadenskosten lassen sich daher zwar in ihrer Bandbreite darstellen, bilden aber nach derzeitigem Wissensstand keine ausreichende Grundlage, um damit Entscheidungen zu begründen. Entscheidungen über den Umgang mit solchen Katastrophenrisiken müssen letztlich in einem gesellschaftlichen und politischen Diskurs gefällt werden. ... Will man dennoch Kostensätze vorschlagen, so ist die einzige Möglichkeit einen Kostensatz zu definieren und die dahinter stehenden Annahmen explizit offen zu legen und transparent zu machen. Eine Möglichkeit besteht zum Beispiel darin, dass man die externen Kosten des Stromerzeugungsmix ohne Kernkraft berechnet. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, die externen Kosten des „nächst schlechtesten“ Energieträgers zu nehmen, der aber über den Zeitraum des Ausstiegs aus der Kernenergie hinaus zur Stromerzeugung eingesetzt wird. Diesen Wert - die externen Kosten des nächst schlechteren Energieträgers - kann man nun hilfsweise verwenden, etwa wenn es darum geht, die externen Kosten der Stromerzeugung unter der derzeitigen Entscheidungslage zu ermitteln. Dies bedeutet jedoch keineswegs, dass wir einen Wert für die Schadenskosten der Kernkraft vorschlagen. Die Beispiele sollen lediglich Wege aufzeigen, wie man unter Offenlegung aller Annahmen pragmatisch mit den bestehenden Unwissen und den Unsicherheiten der Bewertung umgehen kann.“ (UBA 2007, S. 29f)

Diese pragmatisch vom UBA angeregte Option verwendet das FÖS im Rahmen seiner Studien zu den staatlichen Förderungen von Kohle (FÖS 2010a), Atomenergie (FÖS 2010b) und dem Vergleich von Kohle, Atom und erneuerbaren Energien (FÖS 2011, 2012b).

Zu den Best-Guess-Sätzen der externen Kosten gab es bis Mai 2012 zwei leicht abweichende Angaben: Zum einen hat das Umweltbundesamt in der Methodenkonvention 2007 Kostensätze empfohlen, zum anderen hat das Bundesumweltministerium auf Basis der Studie des DLR 2006 Angaben zu den externen Kosten gemacht und u.a. auch in der periodisch erscheinenden Veröffentlichung „Erneuerbaren Energien in Zahlen“ verwendet. Mit der Neuauflage der UBA-Methodenkonvention Externe Kosten 2012 und der Aktualisierung der Kostensätze im Auftrag des Bundesumweltministeriums in FhG/ISI 2012 liegen nunmehr einheitliche Empfehlungen von UBA, BMU und den jeweiligen auftragnehmenden Instituten vor. Diese werden in Spalte (a) von Tab. 13 dargestellt.

Für bestehende Braunkohlekraftwerke werden in der DLR-Studie im Auftrag des BMU durchschnittliche externe Kosten von 7,9 Ct₂₀₀₅/kWh Strom angegeben. In der Methodenkonvention des UBA (UBA 2007) werden als Best-Guess-Wert für externe Kosten der Braunkohle 8,7 Ct/kWh Strom genannt, also ein etwas höherer Wert. In der Aktualisierung 2012 werden als externe Kosten der Braunkohle 10,7 Ct/kWh angegeben. Die deutlich höhere Angabe ist maßgeblich darauf zurückzuführen, dass als externe Kosten von Treibhausgasemissionen nunmehr 80 statt bisher 70 €/t zugrunde gelegt werden.

Tab. 13 Ergebnisse bezüglich der externen Kosten der fossilen Energieträger in Studien im Auftrag von BMU und UBA

	(a) UBA Methodenkonvention 2012 / FhG/ISI 2012 (S. 20)	(b) UBA Methodenkonvention 2007 für 2005 (S. 76)	(c) DLR 2006 für BMU (S. 37)
	Preisstand Mitte der 2000er Jahre		
Braunkohle	10,7 Ct ₂₀₁₂ /kWh	8,7 Ct/kWh	7,9 Ct/kWh
Steinkohle	8,9 Ct ₂₀₁₂ /kWh	6,8 Ct/kWh	6,3 Ct/kWh
Erdgas	4,9 Ct ₂₀₁₂ /kWh	3,9 Ct/kWh	2,9 Ct/kWh
Kosten von CO ₂ -Emissionen	80 € ₂₀₁₂ /t	70 €/t	70 €/t

3. Ermittlung der Versicherungsprämie für eine deutlich erhöhte Haftpflichtversicherungspflicht für KKW

Zunächst einmal gelten nukleare Unfälle als nicht versicherbar in dem Sinne, dass keine Versicherung eine volle Haftpflicht anbieten würde, da sie im Schadensfall bankrott wäre und die Ansprüche nicht bedienen könnte. Gleichwohl gibt es in der Literatur verschiedene Abschätzungen, welche jährliche Prämie eine (fiktive) volle oder zumindest deutlich erhöhte Haftpflichtversicherung kosten würde.

a) Bestehendes Haftungsrecht in Deutschland

Deutschland hat die Pariser Konvention ratifiziert, die Haftung der Betreiber aber weit über die in dieser Konvention vorgesehenen Mindestbeträge hinaus erhöht. Wie sonst nur in der Schweiz und in Japan haften die Inhaber von Kernenergieanlagen in Deutschland der Höhe nach unbegrenzt (Diekmann/Horn 2007, Pelzer 2002). Die Deckungsvorsorge für Entschädigungen, die die Unternehmen nachweisen müssen, bleibt allerdings wesentlich hinter der Höhe des denkbaren Schadens zurück. Bis 26.04.2002 war eine Deckungsvorsorge von insgesamt 500 Mio. DM (255,645 Mio. Euro) vorgesehen, wobei 200 Mio. DM durch eine Haftpflichtversicherung und 300 Mio. DM durch so genanntes Fronting (hier streckt die Nuklear Haftpflicht GbR den Anlagenbetreibern im Schadensfall die Entschädigungsleistungen vor) erfolgte. Bei noch höheren Schäden sicherte die Freistellungsverpflichtung des Staates die Ansprüche der Opfer in Höhe von 500 Mio. DM für den Fall, dass die Kraftwerksbetreiber nicht in der Lage sind, ihren Haftpflichten nachzukommen. Im Rahmen der Ausstiegsvereinbarung zwischen der Bundesregierung und den Kernkraftwerksbetreibern vom 11.06.2001 wurde auch eine Erhöhung der Deckungsvorsorge auf 2,5 Mrd. Euro beschlossen.¹⁹ Davon werden 255,6 Mio. Euro durch eine Haftpflichtversicherung, der verbleibende Betrag durch eine gegenseitige Garantiezusage der Betreibergesellschaften gesichert (Harbrücker 2007). Selbst diese aufgestockte Deckungsvorsorge deckt aber möglicherweise nur einen Teil des Schadens ab, der im unwahrscheinlichen, aber nicht völlig auszuschließenden Fall einer Kernschmelze eintreten könnte. (Diekmann/Horn 2007, S. 49f)

Zusammenfassende Darstellung der aktuell geltenden Regelungen zur Atomhaftung:²⁰

- 255,6 Mio. € Haftpflichtversicherung (pro KKW)
- 2.244,4 Mio. € Gegenseitige Garantiezusagen der vier Betreibergesellschaften aufgrund der Solidarvereinbarung für jedes Schadensereignis
- 2,5 Mrd. € Deckung insgesamt für jedes Schadensereignis
- (112,2 Mio. € Schadensabwicklungskosten)
- 300 Mio. € aus öffentlichen Mitteln der EU (Zusatzabkommen)
- D.h. 2,8 Mrd. € Deckung (plus 112,2 Mio. € Abwicklungskosten)
- Danach prinzipiell unbegrenzte Betreiberhaftung mit gesamtem Vermögen incl. Mutterkonzern (gibt es nur in Deutschland, der Schweiz und Japan)
- Haftpflichtprämie alle KKW in Deutschland 2006: 13,4 Mio. €
- Kosten der Versicherung pro KWh = 0,008 Cent/KWh

¹⁹ Vorausgegangen war eine längere Diskussion über die Atomhaftung, beispielsweise legte die SPD-Bundestagsfraktion 1987 einen Gesetzentwurf für ein Kernenergieabwicklungsgesetz vor (BT-Drs. 11/13 vom 19.2.1987). Demnach sollte u.a. die Deckungsvorsorge für nukleare Schäden auf 10 Mrd. DM erhöht werden. Die kostenlose staatliche Freistellung sollte entfallen (S. 2).

Der Bundesrechnungshof mahnte in 2000 eine Aufstockung der damals nach Atomgesetz noch geltenden Haftungssumme von 500 Mio. DM an; eine Überprüfung und Anpassung sei seit 1985 nicht erfolgt.

²⁰ Für aktuelle umfassende Darstellungen des bestehenden internationalen und nationalen Haftungsrechts siehe Versicherungsforen Leipzig 2011, Keich 2011, Diekmann 2011.

b) Hochrechnung der Prämie der bestehenden Haftpflichtversicherung auf höhere Versicherungssummen

In Deutschland müssen Kernkraftwerksbetreiber eine Deckungsvorsorge für Kraftwerksunfälle von 2,5 Mrd. € nachweisen. Durch eine Haftpflichtversicherung sind davon 256 Mio. € abgedeckt, die Prämie dafür beträgt gegenwärtig für alle 17 Atomkraftwerke 13,3 Mio. € pro Jahr bzw. 0,008 Ct/kWh.²¹ Die restliche Deckungsvorsorge von 2,244 Mrd. € leisten die deutschen Kernkraftwerksbetreiber durch gegenseitige Garantieerklärungen.

Die folgende Übersicht zeigt für alternative Haftpflichtsummen die resultierende Belastung pro Kilowattstunde Atomstrom, wenn man die gegenwärtige Atomhaftpflichtversicherung linear hochrechnet. Eine solche Versicherung wäre am Markt nicht zu bekommen, weil kein Versicherer im Schadensfall die Leistung aufbringen könnte. Das Risiko eines GAU ist schlicht unversicherbar, insofern handelt es sich im Folgenden nur um Rechenbeispiele, welche die Größenordnung der Begünstigung von Atomkraftwerksbetreibern durch eine fehlende marktübliche Haftpflichtversicherung darstellen. Auch ist darauf hinzuweisen, dass in der Realität vermutlich keine lineare Hochrechnung der Versicherungsprämie erfolgen würde; mit Blick auf allgemeine risikothoretische Überlegungen ist zu erwarten, dass die Prämie mit der Deckungssumme überproportional steigen würde.

Die von Harbrücker (Deutsche KernreaktorVersicherungsGesellschaft) für 2007 genannte Versicherungssumme von 13,4 Mio. € bezieht sich auf alle KKW. Damit wird pro KKW ein Versicherungsbetrag von 256 Mio. € abgedeckt. 2007 waren 17 KKW in Betrieb, pro KKW waren also durchschnittlich rund 786.000 € Haftpflichtversicherungsprämie zu zahlen. Aus diesen Angaben lässt sich ermitteln, dass die Versicherungsprämie 2007 bei 0,31% der Deckungssumme lag. Darauf basierend lassen sich für höhere Deckungssummen die Größenordnungen der dann fälligen Versicherungsprämien ermitteln:

Tab. 14 Hochrechnung der Versicherungsprämie der bestehenden Haftpflicht im Atombereich auf alternative Deckungssummen

	Preis-stand	Deckungs- summe		Haftpflichtprämie		% Prämie zu Deck- summe	In Ct/ kWh im Bezugs- jahr	In €Ct ₂₀₁₂ / kWh
		pro KKW Mrd. €	alle KKW Mio. €	pro KKW Mio. €	pro KKW %			
a) Haftpflichtversiche- rung 2007	2006	0,256	13,37	0,786	0,31%	0,0084	0,0093	
b) Prämie für Versich. von Mrd. € ...	2006	1	52	3,1	0,31%	0,036	0,040	
	2006	25	1.306	77	0,31%	0,89	0,99	
Vorschlag Jäger 2011	2011	100	5.223	307	0,31%	3,6	3,6	
Schadenssumme in dieser Studie	2012	340	17.757	1.045	0,31%	12	12	
Schadenssumme gemäß Ewers/ Rennings 1992	1989	5.471	285.732	16.808	0,31%	195	304	
	2012	8.530	445.493	26.205	0,31%	304	304	
c) Moths 1992 in	DM 1989	10.700	529.000	31.118	0,29%			
	€ 1989	5.471	270.473	15.910	0,29%	184	287	
	€ 2012	8.530	421.717	24.807	0,29%	287	287	

²¹ Harbrücker 2007a, Diekmann / Horn 2007.

Bei linearer Hochrechnung der tatsächlichen Versicherungsprämien für die nukleare Haftpflicht müsste pro Milliarde Euro Deckungssumme in der Haftpflichtversicherung pro KKW eine Haftpflichtversicherungsprämie von 3,1 Mio. € gezahlt werden. Umgerechnet mit 9,4 TWh durchschnittlicher Atomstromerzeugung pro KKW würde dies eine Preiserhöhung von 0,036 Ct/kWh implizieren. Würde jedes KKW mit dem Faktor 100 höher versichert als derzeit (also rund 25 Mrd. € statt 0,256 Mrd. €), müssten bei linearer Hochrechnung 1,3 Mrd. € Prämien gezahlt werden; die Kosten des Atomstroms würden um 0,99 Ct₂₀₁₂/kWh steigen.

Bei dem Vorschlag von Jäger 2011 einer Haftpflichtversicherung von 100 Mrd. € (die durch Katastrophenanleihen auf dem internationalen Markt finanziert werden sollen) wäre bei linearer Hochrechnung der Prämien für die deutsche Atomhaftpflicht 2007 eine Strompreiserhöhung von 3,6 Ct/kWh verbunden. Jäger selbst nennt in der Panorama-Sendung eine Prämie von 2,8 Ct/kWh, d.h. seine Recherchen und die lineare Hochrechnung der Prämien der deutschen Haftpflichtversicherung passen in der Größenordnung recht gut zusammen (Jäger 2010, Galli 2011, Panorama 2011).

Müsste der in diesem Hintergrundpapier ermittelte Schadenswert eines Super-GAU von 340 Mrd. € versichert werden, so würde eine Prämie von 12 Ct/kWh resultieren.

Für die von Ewers/Rennings 1992 ermittelte Schadenssumme eines Super-GAU von 5.471 Mrd. €₁₉₈₉ (10.700 Mrd. DM₁₉₈₉) müsste pro KKW eine Haftpflichtversicherungsprämie von 16,8 Mrd. € gezahlt werden. Umgerechnet auf Preise 2012 beträgt die Schadenssumme 8.530 Mrd. €. Dafür wäre pro KKW eine Prämie von durchschnittlich 26,2 Mrd. € fällig. Atomstrom würde damit um 304 Ct₂₀₁₂/kWh teurer bei hypothetischer (am Markt nicht möglicher) voller Versicherungspflicht und linearer Hochrechnung der Prämie.

Stellungnahme:

Eine Erhöhung von Haftpflichtversicherung und ggf. auch gegenseitiger Deckungsvorsorge der KKW-Betreiberunternehmen ist notwendig und sinnvoll.

Aus volkswirtschaftlicher Sicht wäre eine Erhöhung auf die Größenordnung der Schadensschätzung sinnvoll. Allerdings ist zu prüfen, welche maximale Haftpflichtversicherung die Versicherungswirtschaft anbieten kann. In der Literatur sind Angaben von 0,7 bis 100 Mrd. € zu finden (siehe Abschnitt I.C.1).

Die Haftpflichtversicherung ist vorrangig ein Instrument zur *Internalisierung* von externen Kosten der Atomenergie. Die (fiktiven) Prämien der erhöhten Haftpflichtversicherung sind zugleich ein Indikator für die externen Kosten, aber sie können aus folgenden Gründen nicht unmittelbar als Berechnungsmethode genutzt werden:

- Die Versicherungsprämie ist systematisch höher als der Schadenserwartungswert, da die Versicherung ihre Kosten und ihr Risiko mit der Prämie ebenfalls abdecken muss.
- Für Versicherungen sind nicht die volkswirtschaftlichen Kosten eines Super-GAU maßgeblich, sondern die tatsächlichen Ansprüche von Geschädigten. Diese wurde meiner Kenntnis nach in Deutschland bisher in keiner einzigen Studie geschätzt, auch die Bundesregierung hat eine umfassende kleine Anfrage ausweichend beantwortet (Bundesregierung 2010a).

In diesem Hintergrundpapier wird daher vorrangig auf die Methodik gesetzt, den Schadenserwartungswert eines Super-GAU zu ermitteln und mit einem Risikoaversionsfaktor zu gewichten.

4. Kapitalansparung zur Erhöhung von Haftung und Deckung

In 2011 haben die Versicherungsforen Leipzig eine Studie zur „risikoadäquaten Versicherungsprämie zur Deckung der Haftpflichtrisiken aus dem Betrieb von Kernkraftwerken“ veröffentlicht (VFL 2011). Wesentliche Annahmen, Methoden und Ergebnisse dieser Studie werden in Abschnitt II.B.13 dargestellt.

Auf Basis einer Literaturoswertung und eigenen Berechnungen ermittelten die Versicherungsforen Leipzig, dass für einen nuklearen Katastrophenfall eine Deckungssumme von 6.090 Mrd. Euro bereitgestellt werden sollte. Diese Deckungssumme wurde anschließend in eine Jahresprämie für jedes Kernkraftwerk umgerechnet. Dabei ist der sonst bei Versicherungen übliche Risikoausgleich im Kollektiv und über die Zeit im Falle der Atomkraft - die durch potenziell sehr hohe Schäden und eine kleine Anzahl der zu versichernden KKW - nicht möglich.

Die Prämie dient beim Ansatz der Versicherungsforen Leipzig vielmehr dem Aufbau der erforderlichen Deckungssumme für den nuklearen Katastrophenfall, ist also eher ein „Kapitalansparmodell“ als eine typische Versicherungslösung. Da unsicher ist, ob und wann ein solcher Katastrophenfall eintritt, hängt die Prämienhöhe davon ab, innerhalb welchen Zeitraums die Deckungssumme aufzubauen ist. Die Versicherungsforen betrachten daher verschiedene Szenarien, bei denen einerseits die Deckungssumme in einem Zeitraum von 10 bis 100 Jahren aufzubauen wäre und andererseits berücksichtigt wird, dass ein Pooling der in Deutschland betriebenen Kernkraftwerke in einem Kollektiv erfolgen kann. In allen Fällen wird eine Realverzinsung von 2% angenommen. Die Versicherungsprämie wird dann in Beziehung zur im Jahr 2010 durch Kernkraftwerke erzeugten Strommenge gesetzt. Mit dieser Vorgehensweise kommen die Versicherungsforen Leipzig auf eine Prämie von 14 Ct/kWh (bei Ansparung der Deckungssumme innerhalb von 100 Jahren und Pooling aller deutschen KKW, d.h. alle KKW zusammen müssen nur einmal die Deckungssumme von 6.090 Mrd. € bereitstellen) bis hin zu 67,30 €/kWh (bei Ansparung der Deckungssumme innerhalb von 10 Jahren durch jedes KKW einzeln).

Stellungnahme:

Der Ansatz über eine Kapitalansparung ist aus folgenden Gründen für die praktische Umsetzung von erhöhter Haftung und Deckung im Atombereich keine Alternative:

- Bei hinreichend kurzen Ansparzeiten resultieren hohe Belastungen, die aus den Stromerlösen von KKW nicht finanzierbar sind. Ebenso wenig wie das Unfallrisiko der Atomenergie versicherbar ist, ist es wirtschaftlich möglich, das erforderliche Kapital für die Folgekosten eines katastrophalen nuklearen Unfalls anzusparen.
- Die Mittel würden erst nach der Ansparphase zur Verfügung stehen. Selbst in dem vergleichsweise kurzen Ansparzeitraum von 10 Jahren wäre in der Zeit bis zum 10. Jahr keine volle Deckung gegeben. Gerade mit Blick auf den Atomausstieg in Deutschland bis 2022 wäre es wenig hilfreich, derzeit noch ein Ansparmodell für erhöhte Haftung und Deckung einzuführen.
- Das Ansparmodell ist bei gleicher Deckungssumme um etwa den Faktor 2,5 teurer als eine Versicherung. Um 340 Mrd. € über eine Haftpflichtversicherung abzusichern, müsste bei linearer Hochrechnung die Haftpflichtversicherungsprämie 12 Ct/kWh betragen, während bei einer Ansparlösung über 10 Jahre (für neun KKW im Pool) 31 Ct/kWh gezahlt werden müssten (siehe Tab. 1, S. 8).

B. Annahmen, Methodik und Ergebnisse von Studien zur Quantifizierung von externen Kosten der Atomenergie

1. Ewers/Rennings 1992

Als Unterauftragnehmer der umfassenden PROGNOSE-Studien zu den externen Kosten der Energieversorgung im Auftrag des Bundeswirtschaftsministeriums haben Ewers/Rennings die Gesamtschäden durch einen so genannten Super-GAU geschätzt und dabei folgende Annahmen und Schätzmethoden zugrunde gelegt (Ewers/Rennings 1992, S. 38ff):

- Die Wahrscheinlichkeit für einen Super-GAU beträgt nach der Biblis-Studie der Deutschen Gesellschaft für Reaktorsicherheit (GRS 1989) 1:33.333 Jahre (ohne Maßnahmen des Accident Management)
- Der durchschnittlich in Deutschland zu erwartende Schaden beträgt 10.700 Mrd. DM; er wird maßgeblich durch die zu erwartenden Todesfälle bestimmt. Es werden 1,7 Mio. Krebstote erwartet, ein Krebstoter wird mit 6 Mio. DM bewertet. Hinzu kommen 0,8 Mio. nicht tödliche Krebserkrankungen, die mit 500 TDM pro Fall bewertet werden (Behandlungskosten und verlorene Lebensjahre). In der Summe macht dies 10.500 Mrd. DM.
- Hinzu kommen 230 Mrd. DM Sachschäden. Sie setzen sich zusammen aus den Produktions- und Vermögensverlusten in der Sperrzone und in den umzusiedelnden Gebieten sowie globalen Schäden wie z.B. Verluste an Agrarprodukten bzw. Konsumverboten.
- Der pro Jahr anzusetzende Erwartungswert des Schadens für die Anfang der 1990er Jahre betriebenen 20 KKW beträgt auf dieser Grundlage 6,4 Mrd. DM ($10.700 \text{ Mrd. DM} \cdot 20 / 33.333$)
- Bezogen auf eine Kilowattstunde Strom betragen die externen Kosten der Atomenergie 4,3 Pf/kWh.

2. PROGNOSE 1992

In PROGNOSE 1992 werden die zum damaligen Zeitpunkt vorliegenden kontroversen Untersuchungen (u.a. Ewers/Rennings 1992, Hohmeyer 1989 und Voß 1990) aufgegriffen und die Ursachen für die sehr unterschiedlichen Ergebnisse analysiert. Drei wesentliche Einflussfaktoren sind

- die Wahrscheinlichkeit eines GAU
- die Freisetzungsraten nuklearen Materials und die dadurch verursachten Krebstoten
- die Monetarisierung eines Menschenlebens.

PROGNOSE 1992 macht sich keine der Studien zu eigen, sondern referiert lediglich die unterschiedlichen Ergebnisse und ihre Ursachen. Die Angaben zu den ersten drei Studien sind den Seiten 109-128 zu entnehmen; die im Folgenden vorgestellte Studie von CEPN 1995 wird zum Vergleich mit eingefügt:

	Anzahl Krebsto- ter	Monetarisierung Menschenleben	Gesamtschaden
Ewers/Rennings 1992	1,68 Mio.	6 Mio. DM	10,7 Bio. DM (5,47 Bio. €) 4,3 Pf/kWh
Hohmeyer 1989 Hohmeyer 1990	2,4 Mio. 12 Mio.		1,2 - 12 Pf/kWh 10,5-21 Pf/kWh
Voß 1990			0,007-0,008 Pf/kWh
CEPN 1995	14.600	2,6 Mio. €	0,01 Ct/kWh

3. Moths 1992/1994

Erstmals wurde in Deutschland der Ansatz einer vollen Versicherungspflicht für Schäden durch nukleare Unfälle von Eberhardt Moths 1992 auf einem Vortrag präsentiert und im Tagungsband 1994 veröffentlicht. Auf diese Berechnung haben sich in der Folgezeit viele weitere Autoren gestützt, daher werden Annahmen, Methodik und Ergebnisse der Ermittlung einer vollen Versicherungspflicht durch Moths 1992/1994 im Folgenden erläutert.

Eine zentrale und vielzitierte Angabe von Moths ist, dass Atomstrom bei voller Versicherungspflicht um 3,60 DM/kWh teurer würde (bei einer Stromerzeugung aus Atomenergie von 147 Mrd. kWh).²² Diese Angabe beruht darauf, dass über 500 Mrd. DM Versicherungsprämie gezahlt werden müssen, um den von Ewers/Rennings ermittelten Schadensbetrag (von Moths nicht genannt, bei Ewers/Rennings auf 10.700 Mio. DM quantifiziert) zu versichern.²³ Da der Schadensbetrag sich auf ein KKW bezieht, ist die gesamte Deckungssumme ermittelbar über die Multiplikation mit der Anzahl der KKW. Unter diesen Annahmen lässt sich aus den Angaben ermitteln, dass Moths eine Prämie von etwa 0,3% der Deckungssumme unterstellt.

Wie Moths zu seinen Annahmen und Ergebnissen kommt, ist in der Veröffentlichung 1994 nicht näher dokumentiert. In einem Beitrag in der Wirtschaftswoche vom 6.11.1992 wird Moths zitiert und zusätzlich darauf hingewiesen, dass die Haftpflichtversicherer je KKW eine Versicherungsprämie von 0,2-0,4% bei einer Schadensobergrenze von 200 Mio. DM kassieren. Das passt zu der hier für 2007 ermittelten Prämienquote von etwa 0,3% (siehe Tab. 14, S. 40).

Diese Berechnung von Moths wurde vielfach aufgegriffen, so u.a. von den Enquete-Kommissionen des Bundestages „Schutz der Erdatmosphäre“ 1994 (S. 1133) und „Nachhaltige Energieversorgung“ 2002. Auch der Bund für Umwelt und Naturschutz sowie die Initiative „volle Haftpflichtversicherung für die deutschen Atomkraftwerke“ haben die Berechnungen von Moths aufgegriffen.²⁴ Der BUND hat angegeben, dass für die Risikoabdeckung aller deutschen Kernkraftwerke 500 Mrd. DM Versicherungsprämien ausgegeben werden müssten, dies impliziere einen Aufschlag von 3,60 DM/kWh (Kötzinger Zeitung 3.3.2001). In einigen weiteren Quellen werden geringere Kosten einer erweiterten Haftpflichtversicherung für Atomenergie ermittelt, allerdings regelmäßig ohne nähere Fundierung.²⁵

²² Moths geht von 147 TWh Atomstromproduktion aus. Anfang der 1990er Jahre waren 20 AKW in Betrieb, allerdings mit geringerer Verfügbarkeit, denn in den 2000er Jahren lag (vor Lastfolgebetrieb wg. EE-Vorrang und Stillstand von Krümmel und Brunsbüttel) die Atomstromerzeugung bei etwa 160 TWh aus nur 17 AKW. Daher wird auch für die 1990er Jahre mit 17 AKW gerechnet, damit für die unterschiedlichen Quellen eine vergleichbare AKW-Anzahl für die verschiedenen Angaben zugrunde gelegt wird.

²³ Wortlaut der Passage zur Haftpflichtversicherung (mehr steht an Erläuterungen nicht in dem Beitrag): “As much as DM 500 billion would have to be paid in terms of annual risk insurance premiums to take care of a nuclear meltdown; this amount would have to be added to the electricity bill (DM 3,60 per kWh multiplied by 147 billion kWh per annum).“

²⁴ Auf der Startseite heißt es: „Der Gesetzgeber verlangt für den Fall einer Katastrophe in einem Atomkraftwerk lediglich eine Schadensdeckung bis zu 2,5 Milliarden Euro. Aber dieser Betrag deckt weniger als 0,1% der möglichen Sach- und Vermögensschäden ab. Die Betreiber sind also gegen einen Großschaden total unterversichert und gehen im Fall einer Atomkatastrophe sofort in Konkurs.“ (Quelle: <http://www.atomhaftpflicht.de/>)

²⁵ Irrek 2002 zitiert Abschätzungen von Lüttke (1996), der zu einer Versicherungsprämie von 0,215 €/kWh kommt sowie Sauer (1991) mit 0,5 €/kWh. Diese Studie wird auch von Beck/May 2003 zitiert; das Risiko von Kernunfällen gelte als nicht versicherbar - sollte sich gleichwohl eine Versicherung finden, würde der Strompreis nach Berechnungen des Wuppertal Instituts um 21,5 - 50 Ct/kWh ansteigen.

4. CEPN 1995

Das französische Institut CEPN hat 1995 im Rahmen der Externe-Studien im Auftrag der EU-Kommission die externen Kosten der Kernenergie geschätzt (CEPN 1995). Annahmen und Ergebnisse **bezüglich Krebserkrankungen** fassen die Versicherungsforen Leipzig 2011 wie folgt zusammen:

„Die Berechnungsmethode für die Gesundheitsschäden entspricht denen, die auch in den hier vorgestellten früheren Studien genutzt wurden. Darüber hinaus werden - ausgehend von einer Kollektivdosis in Höhe von 291.200 Personen-Sievert, die sich an Schätzungen der UNSCEAR von 1988 in Folge der Tschernobyl-Katastrophe orientiert - die Risikofaktoren der ICRP von 1991 von 5 Prozent pro Sievert für tödliche Krebserkrankungen, 12 Prozent pro Sievert für nicht-tödliche Krebserkrankungen und 1 Prozent pro Sievert für genetische Schäden angewendet. Als Bewertungsmethode für tödliche Krebserkrankungen wird ein Value of a statistical Life (VSL) von 2,6 Millionen European Currency Unit (ECU) verwendet, der auf einem Willingness-to-Pay-Ansatz (WTP) beruht, welcher in Band 2 der Externe-Studie zu den verwendeten Methoden näher erläutert wird. Für nicht tödliche Krebserkrankungen wurde auf eine US-amerikanische Studie des Oak Ridge National Laboratory, Tennessee, USA aus dem Jahr 1993 zurückgegriffen, welche die durchschnittlichen Krebsbehandlungskosten für einzelne Krebsarten aufführt. Der Durchschnittswert dieser Kosten pro Krebsfall, welcher 298.000 US-Dollar beträgt, wurde in ECU umgerechnet, gerundet und mit 250.000 ECU für die Bewertung nicht-tödlicher Krebserkrankungen verwendet. Damit ergeben sich in Summe Gesundheitskosten von 54,1 Milliarden ECU.“ (VFL 2011a, S. 50)

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass das CEPN von 14.600 tödlichen und 35.000 nicht tödlichen Krebserkrankungen ausgeht und die gesamten externen Kosten durch Gesundheitsschäden 54,2 Mrd. € betragen.

	Anzahl der Fälle bezogen auf Kollektivdosis von 291.000 Personen-Sievert		Wertansatz pro Fall	Externe Kosten
	in %	Personen	Mio. € ₁₉₉₅	Mrd. € ₁₉₉₅
Tödliche Krebserkrankungen	5%	14.560	2,6	37,9
Nicht tödliche Krebserkrankungen	12%	34.944	0,25	8,7
Genetische Schäden	1%	2.912	2,6	7,6
Summe				54,2
Quelle in CEPN 1995	S. 204		S. 67-69	S. 205, 306

Hinzu kommen noch 27,6 Mrd. €₁₉₉₅ für Konsumverbote kontaminierter Nahrungsmittel und 1,5 Mrd. €₁₉₉₅ für Umsiedlungen. Insgesamt betragen die externen Kosten nach CEPN 83,25 Mrd. €₁₉₉₅ (CEPN 1995, S. 205, 306).

Bezüglich des **Risikos einer Kernschmelze** werden in CEPN 1995 die Ergebnisse von einigen Studien dargestellt. Zusammenfassend stützt sich CEPN auf die für US-Anlagen erstellte Studie NUREG-1150, wobei die zitierten französischen Studien zu ähnlichen Ergebnissen kommen. NUREG-1150 berücksichtigt nur Leistungsbetrieb (Part I, S. 1-3) und im Wesentlichen interne Ereignisse und ist somit unvollständig. NUREG-1150 kommt für interne Ereignisse plus Feuer zu einer Kernschadenswahrscheinlichkeit (CDF) von 5E-05/a, also 1:20.000. Dieser Wert wird von CEPN übernommen (S. 199). Davon kommt es mit einer Wahrscheinlichkeit von 19% zu einer massiven Freisetzung (Conditional Probability of Release after Core Melt); zu 81% bleibt die Reaktorhülle intakt (S. 197f). Die **Wahrscheinlichkeit hoher Freisetzungen** (Large Release Frequency - LRF) beträgt also 9,5E-06/a, oder rund 105.000.²⁶

²⁶

Hinweis Dr. Helmut Hirsch: CEPN gibt die Mittelwerte für die CDF an (4E-05/a für interne Ereignisse, 1E-05/a für Feuer), sowie auch die 95%-Fraktile - 4E-04/a für interne Ereignisse, 4E-05/a für Feuer). Für interne Ereignisse plus Feuer folgt somit als 95%-Fraktile der CDF ein Wert von 4,4E-04, oder 1:2.300 (gerundet). Die entspricht (bei 19% bedingter Wahrscheinlichkeit) einer LRF von 8,4E-05, oder 1:12.000.

Weiterhin unterscheidet das CEPN vier Szenarien für die **Auswirkungen der Freisetzen** (siehe Tabelle 9.8 auf S. 205 in CEPN 1995). Die höchsten von CEPN angenommenen Folgekosten betragen 83,3 Mrd. €₁₉₉₀ (S. 306); dies entspricht rund 127 Mrd. €₂₀₁₂ oder einem jährlichen Schadenserwartungswert von 1,2 Mio. €₂₀₁₂ (127 Mrd. €₂₀₁₂ / 95.000). Das CEPN geht von einem 1.200 MW-Reaktor mit Stromerzeugung von 7,6 TWh aus. Somit liegt selbst der obere Wert der externen Kosten der Unfälle nur bei 0,016 Ct₂₀₁₂/kWh (0,012 Ct₁₉₉₀/kWh).

5. Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ 1994

Im Schlussbericht der Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ werden im Minderheitsvotum für Handlungsempfehlungen die Berechnungen von Ewers/Rennings 1992 aufgegriffen, dass ein Kernschmelzunfall im KKW Biblis Folgekosten von 10.600 Mrd. DM verursachen würde und ein Versicherungsaufschlag Atomstrom um 3,50 DM/kWh verteuern würde.

6. Energie-Enquete-Kommission 2002

Die damalige rot-grüne Mehrheit der Energie-Enquete-Kommission 2002 hat den methodischen Ansatz einer vollen Haftpflichtversicherung erneut aufgegriffen. Sie kommt so zu dem Ergebnis, dass bei Kernkraft der oberste Schätzwert für die Stromgestehungskosten (Erzeugungskosten und externe Kosten) bei über 200 Ct/kWh liegt (S. 261).

„Gravierende Unterschiede in der Einschätzung der externen Kosten zeigen sich dabei insbesondere mit Blick auf die Bewertung der Kernenergie, die von der Kommissionsminderheit um Größenordnungen niedriger als von der Kommissionsmehrheit eingeschätzt werden. Der Wert für die externen Kosten der Kernenergie, den die Kommissionsmehrheit ansetzt, beruht auf versicherungsmathematischen Überlegungen zur Absicherung des Risikos. Zumindest wirtschaftliche Schäden, die für gegenwärtige und zukünftige Generationen aus der Nutzung der Kernenergie entstehen können, sollten sich hier widerspiegeln.“ (S. 389)

Quelle: Enquete-Kommission 2002: Endbericht „Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen der Globalisierung und der Liberalisierung“, BT-Drs. 14/9400 vom 7.7.2002.

7. Diekmann/Horn 2007

Wörtlicher Auszug aus Diekmann/Horn 2007:

Zur Schätzung der Kosten eines Kernschmelzunfalls sind Ewers und Rennings (1992) von einer Wahrscheinlichkeit von 1:33.000 (ohne Accident-Management Maßnahmen) und von 1:250.000 (mit Accident-Management Maßnahmen) ausgegangen. Zur Bestimmung des Unfallsausmaßes sind die doppelten Tschernobyl-Werte und aufgrund der höheren Bevölkerungsdichte die 14fachen Immissionswerte angenommen worden. Auf dieser Grundlage ist mit über 1 Mio. Krebstoten gerechnet worden. Bei Bewertung eines Toten mit 6 Mio. DM sind totale Kosten eines „Super-GAU“ von über 10 000 Mrd. DM ermittelt worden. Bezogen auf die Stromerzeugung haben sich hieraus (ohne Accident-Management Maßnahmen) spezifische Kosten von 4,3 Pf je kWh ergeben (Ewers, Rennings 1992). Darüber hinaus ist eine Bewertung des Risikos im Vergleich zu Erwartungswerten in Rechnung zu stellen (Risikoaversion, Rennings 2007).

Die Ergebnisse dieser frühen Studie sind wegen einiger vereinfachender Annahmen umstritten. Insbesondere im Zusammenhang mit dem europäischen ExternE-Projekt ist versucht worden, mit Hilfe des Wirkungspfad-Ansatzes zu genaueren Schätzungen zu kommen. Dabei sind vor allem wesentliche externe Kosten der Uranbereitstellung ermittelt worden, während sich für schwere Unfälle nur geringe Schadenskosten ergeben. So sind in der nationalen Implementation für Deutschland selbst bei einem Zinssatz von 0 % die Kosten von Großschäden (beyond design accidents) nur mit 0,00034-0,00046 Cent/kWh (0,0034-0,0046 mECU/kWh) beziffert worden (IER 1997).

Nach (Friedrich 2002) belaufen sich die gesamten externen Kosten von Atomstrom auf 0,2 Cent/kWh, wobei der größte Beitrag nicht von den Unfällen, sondern von Freisetzungen radioaktiver Stoffe beim Uranbergbau verursacht wird.

Die Bewertung gerade von Unfallschäden ist allerdings nach wie vor mit großen Unsicherheiten behaftet. Ein wesentliches Problem besteht dabei in der Bewertung von sehr hohen Schäden mit sehr geringer Wahrscheinlichkeit. Zur Berücksichtigung der Risikoaversion könnte nach Rennings (2007) ein Faktor von 20 aufgeschlagen werden. Die Quantifizierung solcher Risikozuschläge erfordert jedoch noch Arbeiten zur empirischen Absicherung.

Zum Ausmaß der Internalisierung externer Kosten der Atomenergie liegen keine quantitativen Schätzungen vor. Eine Internalisierung kann zum Teil durch hohe Sicherheitsstandards erfolgen (die dann bei der Schadens- und Risikoschätzung berücksichtigt werden können).²⁷ Hinsichtlich großer Unfälle ist vor allem von Bedeutung, in welchem Maße Haftpflichten der Betreiber bestehen und wie sie abgesichert sind.

²⁷

Im Zusammenhang mit der Internalisierung externer Kosten ist auch der in Deutschland beschlossene Ausstieg aus der Atomenergie zu betrachten, mit dem die Risiken hier künftig vollständig vermieden werden sollen.

8. UBA Methodenkonvention zu externen Kosten 2007

Mit der „Methodenkonvention externe Kosten“ legt das Umweltbundesamt seine Werturteile und Maßstäbe für die Bewertung der Umweltschäden offen, um einen Beitrag zur Transparenz und Konsistenz der umweltpolitischen Entscheidungsfindung zu leisten (UBA 2007, S. 5). Im Folgenden werden die für die externen Kosten der Atomenergie relevanten Annahmen, Methoden und Ergebnisse dargestellt, dabei werden einige in Abschnitt II.A.2 schon gebrachte Aussagen bzw. Zitate hier wiederholt, um sie im gesamten Kontext einordnen zu können.

U.a. bei der Schätzung der externen Kosten der Stromerzeugung sind erhebliche Bandbreiten der Ergebnisse in der Literatur zu verzeichnen. Das UBA nennt als die wichtigsten Einflussfaktoren:

- Einige Studien weisen nur diejenigen Schadensarten aus, für die es breit akzeptierte Berechnungsmethoden gibt und unterschätzen daher die Höhe der externen Kosten.
- Bei der Wirkungsanalyse (naturwissenschaftliche Bewertung) werden unterschiedliche Annahmen über Dosis-Wirkungsbeziehungen gesetzt, die zu verschiedenen Beurteilungen der Schäden führen.
- Die Bewertung der Umweltschäden wird mit unterschiedlichen Methoden durchgeführt, die hinsichtlich des Umfangs der Schadenserfassung differieren.
- Teilweise bewertet man Schäden, teilweise Kosten zur Minderung der Umwelteinwirkungen (Emissionsvermeidungskosten).
- Es werden unterschiedliche normative Annahmen z.B. über die Diskontierung künftig erwarteter Kosten und Nutzen getroffen.
- Risiken werden in unterschiedlicher Weise bei der Bewertung berücksichtigt.
- Die Systemgrenzen (z.B. räumliche und zeitliche Abgrenzung) werden unterschiedlich gezogen.

Bezüglich der Quantifizierung der **externen Kosten eines Kernschmelzunfalls** heißt es in der UBA-Methodenkonvention:

“Die Bandbreiten, die sich aus einer unterschiedlichen Bewertung von Katastrophenrisiken ergeben, werden eindrücklich deutlich, wenn man verschiedene Ergebnisse zu den externen Kosten der Kernkraft vergleicht. Während in der aktuellen ExternE Studie für die Kernkraft externe Kosten in Höhe von 0,2 Cent pro Kilowattstunde (Cent/kWh) geschätzt werden, geht die Mehrheit der Enquete Kommission Nachhaltige Energieversorgung (2002) von externen Kosten bis zu 200 Cent/kWh aus (vgl. hierzu auch Übersicht 1). Die Varianz der Schätzungen ist auf unterschiedlich gesetzte Annahmen (z.B. zur Diskontierung) und unterschiedliche qualitative Einschätzungen der Schäden und Risiken zurückzuführen. Zur Illustration: Die Schätzung der Schäden eines Kernschmelzunfalls in Deutschland variieren von 500 Mrd. € (Friedrich 1993, Krewitt 1997) bis 5.000 Mrd. € (Ewers/Rennings 1992), die geschätzten Eintrittswahrscheinlichkeiten liegen zwischen 1:33.000 (Ewers/Rennings 1992) bis zu 1: 10.000.000 (Krewitt 1997).“

Die vermuteten Schadenskosten lassen sich daher zwar in ihrer Bandbreite darstellen, bilden aber nach derzeitigem Wissensstand keine ausreichende Grundlage, um damit Entscheidungen zu begründen. Entscheidungen über den Umgang mit solchen Katastrophenrisiken müssen letztlich in einem gesellschaftlichen und politischen Diskurs gefällt werden. [...]

Eine Möglichkeit besteht zum Beispiel darin, dass man die externen Kosten des Stromerzeugungsmix ohne Kernkraft berechnet. Eine weitere Möglichkeit ist, die externen Kosten des „nächst schlechtesten“ Energieträgers zu nehmen, der aber über den Zeitraum des Ausstiegs aus der Kernenergie hinaus zur Stromerzeugung eingesetzt wird.“ (UBA 2007 S. 29f)

Das UBA schlägt in der Methodenkonvention zum **Umgang mit Risikoaversion** Folgendes vor:

„Liegt der Verdacht nahe, dass die Schäden nicht vollständig erfasst sind, dann wird in der Nutzenbewertung häufig ein Risikozuschlag (oder Unsicherheitszuschlag) vorgenommen. Für die „Übersetzung“ der Risikoaversion in ein ökonomisches Bewertungsverfahren kommen folgende Optionen in Betracht:

- *Darstellung der Erwartungswerte und ergänzende verbal-argumentative Beschreibung des Risikos;*
- *Ermittlung eines Aversionsfaktors und Zugrundelegung eines um diesen Faktor modifizierten Erwartungswertes in die Bewertung;*

Hieran schließt sich unmittelbar die Frage an, welche Aversionsfaktoren zu verwenden und wie diese ggf. zu ermitteln sind. ...

Wir legen für die Methodenkonvention folgendes Vorgehen fest:

Bei Vorliegen von Risikoaversion ist der Erwartungswert des Schadens als Untergrenze in die Bewertung einzustellen. Hierbei ist darauf hinzuweisen, dass der Erwartungswert die voraussichtlich vorliegende Risikoaversion nicht berücksichtigt. Das Risiko - sowie die Gründe; die für eine Risikoaversion in der Bevölkerung sprechen - sind qualitativ zu beschreiben. Des Weiteren sind Sensitivitätsrechnungen unter Berücksichtigung eines oder mehrerer Risikoaversionfaktoren durchzuführen. Durch Multiplikation des Erwartungswertes mit dem Aversionsfaktor (>1) erhält man einen um die Risikoaversion korrigierten Wert. Zur Begründung des Risikoaversionfaktors kann man - so lange es für Deutschland keine eigenen Untersuchungen gibt - auf die Empfehlungen aus der Schweiz zurückgreifen. In den Ergebnissen sind die so erhaltenen Bandbreiten der Erwartungswerte darzustellen.“

Für nationale Katastrophen, deren Schäden typischerweise die nationalen Einsatzmittel überfordern und internationale Hilfe erforderlich machen, schlägt das UBA mit Verweis auf ein in der Schweiz angewendetes Verfahren einen **Aversionsfaktor** von 100 vor (UBA 2007, S. 26).

Für die **Bewertung von Todesfällen und verlorenen Lebensjahren** aus Krankheitsgründen schlägt das Umweltbundesamt in der Methodenkonvention folgendes vor:

„Zur Beurteilung tödlicher Risiken (Unfälle) benötigt man in ökonomischen Bewertungen den sogenannten Value of Statistical Life (VSL). Die in verschiedenen Ländern und in verschiedenen Studien verwendeten Kostensätze variieren stark (ca. 400 000 € bis 3,5 Mio €). Die Methodenkonvention konzentriert sich in der jetzigen Fassung auf die umweltrelevanten nicht-tödlichen Gesundheitsrisiken und gibt daher derzeit keine Empfehlung für einen besten Schätzwert. Unter Berücksichtigung der Bandbreiten der vorliegenden Studien halten wir Sensitivitätsrechnungen in den Bandbreiten von 1 Mio € bis 3 Mio € pro Todesfall für sinnvoll.“ (UBA 2007, S. 75)

„Als zentraler Wert zur Schätzung verlorener Lebensjahre wird in europäischen Studien heute der Wert von 50.000 Euro bei akuten Gesundheitseffekten und 75 000 € bei chronischen Erkrankungen aus der Zahlungsbereitschaftsbefragung von NewExt vorgeschlagen. Das Umweltbundesamt schließt sich diesen Empfehlungen an ...“ (UBA 2007, S. 74).

9. Renewable Energy Costs and Benefits for Society (RECABS) 2007

RECABS (Renewable Energy Costs and Benefits for Society) ist ein Projekt der Internationalen Energy Agentur (IEA).²⁸

Wie auch die EEA (2008) in ihrer Übersicht zu externen Kosten zusammenfasst, werden bei RECABS frühere Unfälle zugrunde gelegt (Tschernobyl und Three Mile Island). Im Ergebnis werden die externen Unfallkosten der Atomenergie auf 0,25 Ct/kWh geschätzt, hinzu kommen 0,15 Ct/kWh für Folgekosten des Uranbergbaus.²⁹ Wie die EEA betont, kann diese Vorgehensweise sowohl mit einer Unterschätzung als auch einer Überschätzung der externen Kosten verbunden sein.

Faktoren, aufgrund derer die Berechnung eher eine Überschätzung darstellt:

- Fehlende Sicherheitskultur und Überwachung der Atomkraftwerke in der Sowjetunion
- Reaktortyp mit besonders hohem Risiko

Faktoren, aufgrund derer die Berechnung eher eine Unterschätzung darstellt:

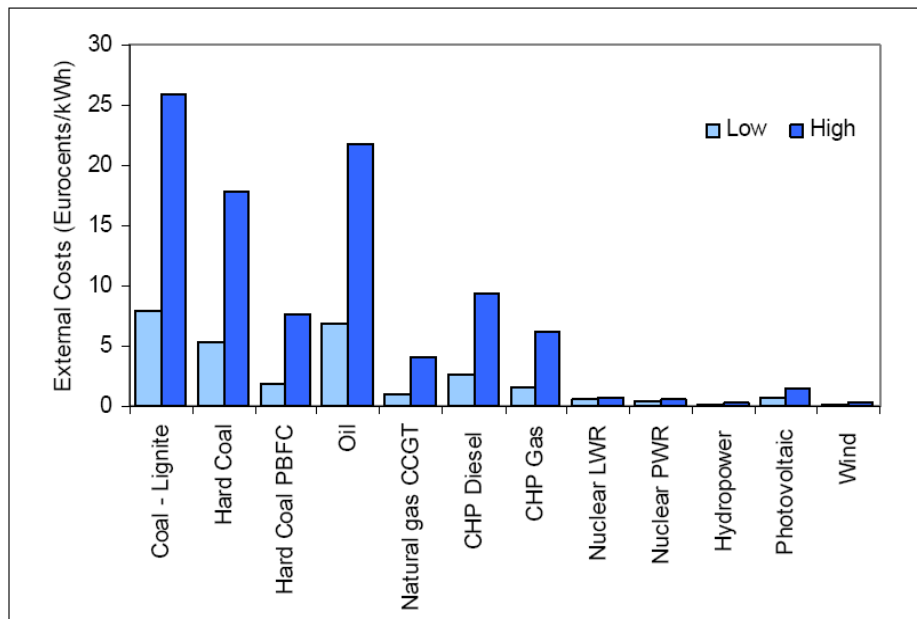
- Höhere Bevölkerungsdichte
- Höheres Bruttoinlandsprodukt
- Höheres Terrorismus-Risiko

²⁸ <http://recabs.iea-retd.org/>
ECONOMIC METHODOLOGY AND DATA 2007

²⁹ EA RECABS 2007, S. 75

10. Europäische Umweltagentur (EEA) 2008

In einem Hintergrundpapier zu dem Umweltindikator „externe Kosten“ erstellte die EEA 2007/2008 eine Literaturübersicht über den Stand der Forschung auf europäischer Ebene.³⁰ Die EU-weit durchschnittlichen externen Kosten der Stromerzeugung für Stromerzeugungstechnologien 2005 werden in der folgenden Abbildung zusammengefasst:



Data source: ExternE-Pol (2005), CAFE, EEA, Eurostat, RECaBS (2007)

Note: PBFC = pressurised fluidised bed combustion, CHP = combined heat and power, CCGT = combined cycle gas turbine, LWR = light water reactor, PWR = pressurised water reactor.

Nach der Zusammenfassung der European Environmental Agency (EEA 2008) betragen die externen Kosten der Stromversorgung in 2005 in der EU durchschnittlich 1,8-5,9 Cent/kWh, wobei die einzelnen Stromerzeugungstechnologien sehr unterschiedlich abschneiden. Für Braunkohle betragen die durchschnittlichen externen Kosten 8-26 Ct/kWh, für Steinkohle (abhängig u.a. vom Kraftwerkstyp) 2-18 Ct/kWh, während sie für Atomenergie und erneuerbare Energien sehr gering sind.

Für Atomenergie gibt die EEA einen Wert von deutlich unter 1 Ct/kWh an, weist aber darauf hin, dass der Schadenserwartungswert für nukleare Unfälle nicht oder nicht vollständig oder kontrovers berücksichtigt wird.

In Deutschland liegen die durchschnittlichen externen Kosten der Stromerzeugung in 2005 laut EEA 2008 bei 2-7 Ct/kWh. Sowohl in der niedrigen als auch in der hohen Schätzung sind im Zeitablauf sinkende externe Kosten durch Anwendung von moderneren Kraftwerken mit höherer Effizienz und besseren Schadstoffvermeidungstechnologien zu verzeichnen.

³⁰

EEA 2008: Indicator: EN35 External costs of electricity production
http://themes.eea.europa.eu/Sectors_and_activities/energy/indicators/EN35%2C2008.11

11. New Energy Externalities Development for Sustainability (NEEDS) 2009

Das Forschungsprogramm NEEDS³¹ wurde von einem überwiegend europäischen Konsortium aus 66 Einrichtungen bearbeitet, die alle Bereiche und Aspekte der Energiewertschöpfungskette abdecken. Aus Deutschland waren unter anderem das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) und das Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER) der Universität Stuttgart beteiligt. Ziel von NEEDS ist es, politischen Entscheidungsträgern eine detaillierte Erörterung der sozialen Kosten (Summe der privaten und der externen Kosten) von zukünftigen Entwicklungen im Energiebereich zu ermöglichen.

Annahmen bezüglich der Schätzung der externen Kosten der Atomenergie sind:

- Reiner Schadens Erwartungswert; ohne Berücksichtigung von Risikoaversion
- Risiken des Terrorismus und Proliferation werden nicht berücksichtigt
- Nach Auskunft von IER Herr Preiss wurde für NEEDS bei Atomenergie auf die Zahlen der Untersuchung des CEPN 1995 im Rahmen von ExternE 1995 zurückgegriffen; es erfolgte keine neue Abschätzung. Für Reaktorunfälle werden somit externe Kosten von 0,01-0,002 Ct/kWh angegeben.³² Die gesamten externen Kosten der Kernenergie betragen nach Folie 30 ca. 0,1 Ct/kWh. Die Differenz erklärt sich daraus, dass für andere Schadenskategorien wie Emissionen im Betrieb sowie Uranabbau höhere externe Kosten als für externe Kosten durch Reaktorunfälle ermittelt wurden.
- Die externen Kosten, die in NEEDS berechnet wurden, beziehen sich auf Umweltauswirkungen durch den Normalbetrieb der Kraftwerke, d.h. der gesamte Lebenszyklus vom Bau der Kraftwerke, der Brennstoffbereitstellung, des Betriebes und der Entsorgung wird berücksichtigt. Die Umwelteinwirkungen beinhalten Emissionen von Luftschadstoffen, CO₂ und andere Treibhausgase sowie Radionuklide.

Ergebnis: "On the other hand, there are other external cost categories that are higher for nuclear than for competing technologies: this is typically the case for up- and down- stream costs, which are mostly negligible for the majority of energy options (at least when compared to the external costs arising from the process itself), while they are significant in the nuclear case. For instance, NEEDS has estimated that external costs arising from the operation of exemplary power plants in 3 Central and Eastern European Member States is about 0.03-0.06 €/kWh (varies with plant, location and year), while they can be as high as 0.12-0.15 €/ kWh across the entire lifecycle." (NEEDS, Workshop, S. 15)

³¹ Projektergebnisse von NEEDS sind veröffentlicht unter <http://www.needs-project.org/>

³² Siehe Folie 29 im Vortrag Preiss / Blesl, dort werden 0,104-0,00235 mECU/kWh für verschiedene Kraftwerksunfälle angegeben. In einer Mail vom 8.7.2009 bestätigte Herr Philipp Preiss (IER) Ergebnis und Methodik, dass auch in neueren Arbeiten auf EU-Ebene zu externen Kosten auf die Arbeit von CEPN 1995 zurückgegriffen wird und keine Neuberechnung erfolgt: „Within the NEEDS project, Research Stream 1b (Development and improvement of a methodology to estimate external costs of energy) no new methodology or data regarding the risk of accident in a nuclear plant has been developed. However, as part of the external costs we refer to the previous results of the ExternE project series which are documented in ExternE Vol 5 (siehe CEPN 2005).“
Die konkreten Angaben stammen aus CEPN 2005, S. 205. Dort wird in Tabelle 9.8 ("Cost of the risk of different accident scenarios considered") eine Bandbreite der externen Kosten von 0.0023 bis 0.104 mEcu per kWh (= 0,00023 - 0,0104 Ct/kWh) angegeben.

12. Panorama 2011

In der Sendung Panorama vom 31.03.2011 wurden Recherchen zum Thema „Atomkraftwerke: Wer zahlt für Katastrophen“ dargestellt. Es folgt ein Auszug aus dem Schriftprotokoll der Sendung:

„Die Versicherung höherer Schäden ist durchaus möglich, aber teuer.

Eine schweizer Anlegerfirma macht für Panorama eine Beispielrechnung: Bei einer Deckungssumme von 100 Milliarden Euro - also bloß der Hälfte von Tschernobyl - um wie viel würde sich dann der Atomstrom verteuern?

O-Ton Lars Jaeger, Finanzmarktanalyst:

„Wenn man die Versicherung so gestaltet, dass man alle Kernkraftwerke Deutschlands in einen Pool nimmt und zusammen versichert auf ein Erstereignis hin, dann würden nach unseren Berechnungen die Strompreiserhöhungen ungefähr knapp 3 Euro Cent pro kWh betragen. Also eine Erhöhung von 25-30% des Strompreises für Atomstrom.“

Bei der momentanen Deckung von nur 2,5 Mrd. Euro ist die Absicherung für die KKW-Betreiber fast gratis. 0,0083 Cent pro kWh. Eine Versicherung für Schäden von 100 Mrd. Euro würde den Strom um 2,77 Cent verteuern. Er wäre dann wohl sogar teurer als Ökostrom.“

13. Versicherungsforen Leipzig (VFL) 2011

Die Versicherungsforen Leipzig haben im Mai 2011 die Studie „Berechnung einer risikoadäquaten Versicherungsprämie zur Deckung der Haftpflichttrisiken, die aus dem Betrieb von Kernkraftwerken resultieren“ im Auftrag des Bundesverbands Erneuerbare Energie vorgelegt.

Im Rahmen der Studie wurden nach einer umfassenden Literaturrecherche und -sichtung die verschiedenen Quantifizierungsansätze bzw. konkret genannten angenommenen Schadeneintrittswahrscheinlichkeiten und Schadenhöhen bereits existierender Expertenstudien zu den Folgekosten eines katastrophalen nuklearen Unfalls verwendet. Dabei wird der jeweils höchste Einzelwert bei den Fallzahlen und Wertansätzen höher gewichtet, um bei der Kalkulation der erforderlichen Deckungssumme das Risiko einer Unterdeckung klein zu halten. Die Methodik wird in der Studie sowie Kurzfassung und Folien ausführlich erläutert (siehe VFL 2011a). Die folgende Tabelle zeigt die Bandbreite der von den Versicherungsforen berücksichtigten Annahmen und Einzelergebnisse:

Tab. 15 Annahmen bezüglich der Einzelschadenhöhen bei einem nuklearen Katastrophenfall in VFL 2011

	Alle Angaben in Mrd. € ₂₀₁₁	Min	Max
1.a	Mögliches Schadenausmaß tödlicher Krebsfälle:	80,5	7.500
1.b	Mögliches Schadenausmaß nicht-tödlicher Krebsfälle:	74,5	1.230
1.c	Mögliches Schadenausmaß genetischer Schäden:	1	136
2.a	Kosten aufgrund von Evakuierung und Umsiedlung:	2	2
2.b	BIP-Verlust aus der Umsiedlungszone:	2,5	1.000
2.c	Wirtschaftlicher Verlust aufgrund von Konsumverboten:	38	38
	Summe	199	9.906
1.a-1.c	Summe Gesundheitsschäden	156	8.866
2.a-2.c	Summe Sachschäden	43	1.040

Quelle: VFL 2011c, Folie 6b

Im Folgenden werden die zentralen Ergebnisse der Studie der Versicherungsforen Leipzig dargestellt, wobei die genannten Durchschnittswerte nicht in der Studie selbst stehen, sondern mit Hilfe des Autorenteams der Versicherungsforen Leipzig ermittelt wurden, dem ich für die Unterstützung bei der Zusammenfassung und Interpretation der Studie herzlich danke.³³

Tab. 16 Zusammenfassung der Annahmen und Ergebnisse zu den Kosten katastrophaler nukleare Unfälle in VFL 2011

	Anzahl	Wert pro Fall	Wert Gesamt
	Mio.	Mio. €	Mrd. €
Todesfälle	1,6	3,8	6.071
Nicht-tödliche Krebserkrankungen	2,5	0,31	756
Genetische Schäden	0,25	0,34	87
BIP-Ausfälle			489
Summe			7.401

Quelle: Eigene Berechnungen auf Basis von VFL 2011a, überprüft vom Team der Versicherungsforen Leipzig

³³

Diverse Mitteilungen des Bearbeiterteams im August 2012. In der Studie werden auf Basis der Literaturanalyse unterschiedliche Annahmen zur Anzahl der tödlichen bzw. nicht tödlichen Krebserkrankungen verwendet. Bei der obigen Annahme handelt es sich um die Durchschnittswerte, die sich bei den von den Versicherungsforen verwendeten Gewichtungsfaktoren ergeben.

Die von den Versicherungsforen verwendeten Angaben aus anderen Studien ergeben im gewichteten Durchschnitt eine Anzahl durchschnittlich 1,6 Mio. Todesfällen und 2,5 Mio. nicht tödlichen Krebserkrankungen. Jeweils gewichtet mit den in der Tabelle aufgeführten Wertansätzen für Todesfälle bzw. Behandlungskosten sowie unter Berücksichtigung auch von genetischen Schäden und BIP-Ausfällen in den verstrahlten Gebieten resultieren durchschnittliche volkswirtschaftliche Kosten von katastrophalen nuklearen Unfälle von rund 7.400 Mrd. €. ³⁴

Die Deckungssumme, die für einen nuklearen Katastrophenfall bereitgestellt werden muss, beträgt nach VFL 2011 6.090 Mrd. Euro.

Diese Deckungssumme wurde anschließend in eine Jahresprämie für jedes Kernkraftwerk umgerechnet. Dabei ist der sonst bei Versicherungen übliche Risikoausgleich im Kollektiv und über die Zeit im Falle der Atomkraft - mit sehr hohen Schäden und einer kleinen Anzahl der zu versichernden KKW - nicht möglich. Die Prämie dient im Ansatz der Versicherungsforen Leipzig vielmehr dem Aufbau der erforderlichen Deckungssumme für den nuklearen Katastrophenfall, ist also eher ein „Kapitalansparmodell“ als eine „echte (typische)“ Versicherungslösung. Da unsicher ist, ob und wann ein solcher Katastrophenfall eintritt, hängt die Prämienhöhe davon ab, innerhalb welchen Zeitraums die Deckungssumme aufzubauen ist. Die Versicherungsforen betrachten daher verschiedene Szenarien, bei denen einerseits die Deckungssumme in einem Zeitraum von 10 bis 100 Jahren aufzubauen wäre und andererseits berücksichtigt wird, dass ein Pooling der in Deutschland betriebenen Kernkraftwerke in einem Kollektiv erfolgen kann. In allen Fällen wird eine Realverzinsung von 2% angenommen. Die Versicherungsprämie wird dann in Beziehung zur im Jahr 2010 durch die betrachteten Kernkraftwerke erzeugten Strommenge gesetzt. Mit dieser Vorgehensweise kommen die Versicherungsforen Leipzig auf eine Prämie von 14 Ct/kWh (bei Ansparung der Deckungssumme innerhalb von 100 Jahren und Pooling aller 17 Anfang 2011 noch betriebenen deutschen KKW, d.h. alle KKW zusammen müssen nur einmal die Deckungssumme von 6.090 Mrd. € bereitstellen) bis hin zu 67,30 €/kWh (bei Ansparung der Deckungssumme innerhalb von 10 Jahren durch jedes KKW einzeln).

In der letzten Spalte wird der Ansatz der Versicherungsforen Leipzig übertragen auf die in diesem Hintergrundpapier ermittelte Schadenssumme von 340 Mrd. €. Müsste jedes KKW einzeln innerhalb von 10 Jahren 340 Mrd. € ansparen, entstünde eine rechnerische Belastung von 2,8 €/kWh; bei Pooling der neun derzeit noch betriebenen KKW von 31 Ct/kWh.

Tab. 17 Belastung pro kWh Strom für die Finanzierung der Prämie in den verschiedenen Szenarien der Versicherungsforen Leipzig

	Ansparung 6.090 Mrd. € über 100 Jahre	Ansparung 6.090 Mrd. € über 10 Jahre	Ansparung 340 Mrd. € über 10 Jahre
Pooling von 17 KKW *	0,14 €/kWh	3,96 €/kWh	0,16 €/kWh
Pooling von 9 KKW	0,26 €/kWh	6,8 €/kWh	0,31 €/kWh
Kein Pooling	2,36 €/kWh	67,3 €/kWh	2,8 €/kWh

Bei Pooling braucht die Deckungssumme nur einmal für alle im Pool befindlichen KKW gezahlt werden; ohne Pooling muss sie für jedes KKW einzeln erbracht werden.
Es wird (wie bei VFL 2011) jeweils eine Realverzinsung von 2% angenommen.

Quellen: VFL 2011a, S. 97ff; VFL 2011 c, Folie 9, eigene Berechnungen

³⁴

Die anhand der Durchschnittswerte ermittelbaren volkswirtschaftlichen Kosten sind nicht identisch mit der von den VFL mittels stochastischer Simulationen ermittelten Werte zum erwarteten Maximalschaden.

Es folgen die von den Versicherungsforen Leipzig ausgewiesenen Annahmen zu den Eintrittswahrscheinlichkeiten. Es zeigt die große Bandbreite der in der Studie berücksichtigten Annahmen. Letztlich ist die Eintrittswahrscheinlichkeit für den methodischen Ansatz der VFL nicht maßgeblich, da es bei Kapitalansparung nicht auf das Risiko ankommt.

Tab. 18 Annahmen bezüglich der Eintrittswahrscheinlichkeiten bei einem nuklearen Katastrophenfall bei den Versicherungsforen Leipzig

„Allgemeine“ Eintrittswahrscheinlichkeit (verschiedene Quellen):	1:10.000.000 bis 1:33.333
Eintrittswahrscheinlichkeit durch die Alterung des KKW:	1:5.000.000 bis 1:1.850
Eintrittswahrscheinlichkeit durch menschliches Versagen:	1:9.090.909 bis 1:30.300
Eintrittswahrscheinlichkeit bedingt durch einen Computervirus:	1:6.666.666 bis 1:22.222
Eintrittswahrscheinlichkeit bedingt durch einen Terrorakt (gezielter Flugzeugabsturz, Angriff mit Panzerlenkwaffen, Sabotage):	1:1.000

Quelle: VFL 2011c, Folie 5

14. ifo (Zimmer / Lippelt) 2011

Zimmer/Lippelt untersuchen die Frage, wie hoch die Schäden eines nuklearen Unfalls mit Freisetzungen in der Größenordnung von Tschernobyl sind. Im Kern wird auf die Methodik von Ewers/Rennings zurückgegriffen unter Aktualisierung der Annahmen. Folgende Daten und Wertansätze sind dem Beitrag von Zimmer/Lippelt 2011 sowie ergänzenden Hinweisen von Herrn Markus Zimmer per Telefon und Mail (am 10.8.2012) zu entnehmen:

Tab. 19 Annahmen zur Ermittlung der externen Kosten bei ifo (Zimmer / Lippelt) 2011

		€	\$
Anzahl tödliche Krebsfälle in D	Mio.	0,766	
Anzahl nicht tödliche Krebsfälle	Mio.	0,352	
Wert eines Menschenlebens	Mio.	4,9	6,3
Wertansatz nicht tödliche Krebsfälle	Mio.	0,41	0,53
Externe Kosten Atom - als Summe	Mrd.	4.090	5.276
1) Tödliche Krebsfälle	Mrd.	3.754	4.842
2) Nicht tödliche Krebsfälle	Mrd.	144	186
3) Sachschäden	Mrd.	193	248
Kurs 2011: 1 € =	1,29	\$	
1 \$ =	0,78	€	

Sowohl die Wertansätze als auch die Anzahl von tödlichen und nicht tödlichen Krebsfällen sind im Vergleich zu anderen aktuellen Studien hoch angesetzt. Für Deutschland kommen Zimmer/Lippelt unter den aufgeführten Annahmen auf eine potenzielle Schadenssumme von 4,09 Bio. € (5,28 Bio. \$).

C. Ansatzpunkte zur Quantifizierung der externen Kosten der Prozesskette des Abbaus und der Weiterverarbeitung von Uran

Einige Studien - wie z.B. ExternE-Studienserie - zu externen Kosten der Atomenergie schließen die externen Kosten der Urangewinnung ein. Da in diesem Hintergrundpapier in den vorstehenden Abschnitten ausschließlich das Unfallrisiko der Atomenergie behandelt wurde, folgt nunmehr eine Zusammenfassung der Methodik und Ergebnisse von Studien den Risiken und Folgekosten der Uran-Prozesskette.

Die Urangewinnung erfolgt häufig unter mangelhaften Sicherheitsvorkehrungen. Betroffen sind die im Uranbergbau arbeitenden Menschen sowie die umliegende Bevölkerung, die mit dem Austritt von strahlendem Material über Boden, Luft oder Grundwasser in Kontakt kommt.

Nach Angaben der Bundesregierung waren die Herkunftsländer deutscher Uranimporte seit 2000 insbesondere Frankreich, Großbritannien, Kanada und die USA; aber auch aus Russland und einigen weiteren Ländern kamen Importe:³⁵

Tab. 20 Lieferländer deutscher Uranimporte (Natururan) 2000-2009

Lieferland	Liefermenge in 1.000 t	Anteil am Gesamtimport
Frankreich	8,3	28,5%
Großbritannien	7,4	25,4%
USA	5,9	20,2%
Kanada	5,9	20,1%
Russland	1,5	5,2%
Sonstige	0,2	0,7%
Gesamt	29,2	100,0%

Diese Länder sind allerdings nur Direktimporteure nach Deutschland, die das Uran teilweise selbst aus anderen Ländern importiert haben. Die „Euratom Supply Agency“ verdeutlicht dies in ihrem Jahresbericht; danach verfügen in Europa nur Tschechien und Rumänien über eigene Natururanvorkommen. Rund 46% des im Jahr 2011 in Europa eingesetzten Urans stammt aus Russland, Niger, Südafrika, Namibia oder Kasachstan.³⁶ In Frankreich beispielsweise wird der Großteil des Natururans über den französischen Konzern AREVA aus Kanada und dem Niger importiert. Wie viel des nach Frankreich exportierten Urans nach Deutschland weitergehandelt wird, ist der mangelhaften Datenlage zufolge nicht eindeutig nachvollziehbar.³⁷ In der Annahme, dass die nach Frankreich exportierten Uranmengen zu gleichen Anteilen an Deutschland weitergegeben werden, würden dem IPPNW zufolge auch Niger, Kasachstan und Usbekistan unter die Hauptherkunftsländer des deutschen Uranimports fallen.³⁸

Im Umkreis der Minenstätten im Niger wurde eine erhöhte Konzentration des Urans im Grund- und Trinkwasser festgestellt, das durch Sickerwasser aus den Halden dort hin gelangen konnte.³⁹ Weiterhin führen radioaktive Zerfallsprodukte, die beim Abbau des Urans freigesetzt werden, zu gefährlichen Krankheiten wie Lungenentzündungen oder Krebs.⁴⁰ Dies zeigen die Ergebnisse einer Gesundheitsstudie über Bergarbeiter/innen und die örtliche Bevölkerung der seit 40 Jahren betriebenen Rössing-Mine in Namibia.

³⁵ Bundesregierung 2011

³⁶ Euratom Supply Agency, S. 30

³⁷ vgl. IPPNW 2010a

³⁸ ebd.

³⁹ Vgl. Greenpeace International 2010

⁴⁰ vgl. IPPNW 2010b

Krankheiten und die Belastung der Umwelt sind nicht nur Folge der prekären Arbeitsbedingungen beim Abbau von Uran, ebenso spielt der anfallende Müll eine Rolle. Beispielsweise lagern im Niger 45 Millionen Tonnen radioaktiver Uranabfälle unter freiem Himmel,⁴¹ wodurch unmittelbar Strahlung freigesetzt wird. Uranrückstände im Boden und Grundwasser beeinträchtigen das Ökosystem in den betreffenden Gebieten. Umfangreiche Flächen sind von Waldschäden, Ernteverlusten und einer Verringerung der Artenvielfalt bedroht; dies kann zu einer entsprechenden Verschlechterung der Lebensqualität der Bevölkerung führen.⁴² Die fortschreitende Übernutzung und Verschmutzung von Wasserkreislaufsystemen betrifft auch Australien,⁴³ das Uran direkt nach Deutschland exportiert.

Der Uranabbau in den Reserveländern birgt neben der Belastung der Gesundheit der Menschen und Umwelt zusätzlich ein soziales Risiko. Die Gesellschaft für bedrohte Völker gibt an, dass sich die weltweiten Uranvorkommen zu 70 Prozent auf dem Gebiet indigener Bevölkerung befinden,⁴⁴ deren Existenzgrundlage durch den Verlust ihres Landes gefährdet ist.

Eine Quantifizierung der skizzierten Folgewirkungen ist jedoch schwierig und wird in den vorliegenden Veröffentlichungen zum Uranbergbau auch nicht vorgenommen. An der Sanierung des deutschen Uranerzbergbaus in Wismut ist beispielhaft ablesbar, wie hoch die Kosten für eine Sanierung mit einem hohen Sanierungsstandard sind. In den Abbauländern fallen Kosten jedoch nicht in Form tatsächlicher Sanierungskosten an, sondern hauptsächlich in Form der Degradierung von Ökosystemen und der Verschlechterung der Gesundheit der Bevölkerung.

⁴¹ Grüne Bundestagsfraktion 2009

⁴² vgl. Masuhr und Oczipka 1994

⁴³ vgl. Bundesverband Bürgerinitiativen Umweltschutz 2008

⁴⁴ GfbV 2011

Literatur

Becker, Peter 2004: Schadensvorsorge aus Sicht der Betroffenen, in: Hans-Joachim Koch / Alexander Roßnagel, 12. Deutsches Atomrechtssymposium, 7./8.10.2003, Nomos Verlagsgesellschaft, Baden-Baden, S. 133-148

Bernau, Patrick 2011: Atomdebatte - Wie wahrscheinlich ist die Katastrophe?, in FAZ.NET, 20.3.2011
<http://www.faz.net/-01q065>

BfS 2005: Bekanntmachung des Leitfadens zur Durchführung der „Sicherheitsüberprüfung gemäß § 19a des Atomgesetzes - Leitfaden Probabilistische Sicherheitsanalyse -“ für Kernkraftwerke in der Bundesrepublik Deutschland vom 30. August 2005 (BAnz. 2005, Nr. 207)
http://www.bfs.de/de/bfs/recht/rsh/volltext/3_BMU/3_74_3.pdf

BfS 2008: Gesetz zu den Pariser Atomhaftungs-Protokollen vom 29. August 2008
http://www.bfs.de/de/bfs/recht/rsh/volltext/1E_Multilateral/1E_5_1_Paris_Con_GesamtUber2008.pdf
oder im BGBI II, Nr. 24, 29. August 2008, S. 902

BfS 2012: RS-Handbuch (06/12) Multilaterale Vereinbarungen über nukleare Sicherheit und Strahlenschutz mit nationalen Ausführungsvorschriften
http://www.bfs.de/de/bfs/recht/rsh/rechtsvorschriften_E35.html

Blobel, Felix 2005: Das Protokoll von 2004 zum Pariser Übereinkommen - wesentliche Verbesserungen im internationalen Atomhaftungsrecht, in: Zeitschrift Natur und Recht, Bd. 27, Nr. 3 / März 2005, S. 137-143

BMU 2010: Übereinkommen über nukleare Sicherheit. Bericht der Regierung der Bundesrepublik Deutschland für die Fünfte Überprüfungstagung im April 2011,
http://www.bfs.de/de/www/kerntechnik/CNS2011_DEU.pdf

BMU 2011: EU Stresstest National Report of Germany, Progress Report of September 15, 2011
http://www.bmu.de/atomenergie_sicherheit/doc/47796.php

BMU 2012: EU Stresstest. National Report of Germany, Implementation of the EU Stress Tests in Germany
http://www.bmu.de/atomenergie_sicherheit/downloads/doc/print/48454.php

Brest Ouvert 2009: Complément d'enquête de France 2 sur le nucléaire
<http://www.brest-ouvert.net/article547.html>

Bundesregierung 2000: Vereinbarung zwischen der Bundesregierung und den Energieversorgungsunternehmen vom 14. Juni 2000
http://www.bmu.de/atomenergie_sicherheit/downloads/doc/4497.php

Bundesregierung 2008: Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Fraktion Bündnis 90/Die Grünen, Störfall im slowenischen Atomkraftwerk Krsko sowie im Atomkraftwerk Philippsburg, BT-Drs. 16/9979 vom 15.07.2008

Bundesregierung 2009a: Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Fraktion Bündnis 90/Die Grünen, Nukleare Sicherheit in Europa, BT-Drs. 16/12421, 25.03.2009

Bundesregierung 2010a: Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Fraktion BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN, Nuklearer Katastrophenfall - „Liquidatoren“ und Dekontamination im Falle eines „Super-GAUSs“, BT-Drs. 17/2662 vom 21.7.2010

Bundesregierung 2010b: Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Fraktion BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN, Nuklearer Katastrophenfall - Ökonomische Folgen, BT-Drs. 17/2682 vom 27.7.2010

Bundesregierung 2010c: Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Fraktion BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN, Nuklearer Katastrophenfall - Katastrophenschutz und Evakuierung, BT-Drs. 17/2871 vom 3.9.2010

Bundesregierung 2011: Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Fraktion Bündnis 90/ Die Grünen, Herkunft des Urans in deutschen Atomkraftwerken, BT-Drs. 17/5858 vom 01.06.2011
<http://dipbt.bundestag.de/dip21/btd/17/060/1706037.pdf>

CDU/CSU- und FDP-Fraktion im Bundestag 2010: Gesetzentwurf der Fraktionen der CDU/CSU und FDP, Entwurf eines Kernbrennstoffsteuergesetzes (KernbrStG), BT-Drs. 17/3054 vom 28.09.2010.

CEPN (Centre d'étude sur l'évaluation de la protection dans le domaine Nucléaire) 1995: Externe Externalities of Energy. Vol. 5 : Nuclear, Studie im Auftrag der EU-Kommission, DG Science, Research and Development
<http://www.externe.info/oldvolumes/vol5.pdf>

CTA (International Center for Technology Assessment) 2005: Gasoline Cost Externalities: Security and Protection Services, 25.1.2005

Desaigues, B., Ami, D., Bartczak, A., Braun-Kohlová, M., Chilton, S., Czajkowski, M., et al 2011: Economic valuation of air pollution mortality: A 9-country contingent valuation survey of value of a life year (VOLY), in: Ecological Indicators, 11(3), S. 902-910

Deutsches Atomforum 2009: Atomhaftung,
<http://www.kernenergie.de/kernenergie/Themen/Sicherheit/Atomhaftung/>

Diekmann, Jochen / Horn, Manfred 2007: Abschlussbericht zum Vorhaben „Fachgespräch zur Bestandsaufnahme und methodischen Bewertung vorliegender Ansätze zur Quantifizierung der Förderung erneuerbarer Energien im Vergleich zur Förderung der Atomenergie in Deutschland, Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung, Berlin, 2007
<http://www.erneuerbare-energien.de/inhalt/39617>

Diekmann, Jochen 2011: Verstärkte Haftung und Deckungsvorsorge für Schäden nuklearer Unfälle - Notwendige Schritte zur Internalisierung externer Effekte, in: ZfU, Nr. 2, S. 119-132

DIW (Joachim R. Frick / Markus M. Grabka) 2007: Gestiegene Vermögensungleichheit in Deutschland, in: Wochenbericht des DIW Berlin Nr. 4/2009, S. 54-67
http://www.diw.de/documents/publikationen/73/diw_01.c.93785.de/09-4-1.pdf

DLR (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt) / Krewitt, Wolfram / ISI (Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung) / Schlomann, B. 2007: Externe Kosten der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien im Vergleich zur Stromerzeugung aus fossilen Energieträgern. Gutachten im Rahmen von Beratungsleistungen für das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
http://www.bmu.de/erneuerbare_energien/downloads/doc/37085.php

EA (Energy Analyses) 2007: RECABS (Renewable Energy Costs and Benefits for Society), Prepared for the IEA's Implementing Agreement on Renewable Energy Technology Deployment
www.iea-ret.d.org

EEA (European Environmental Agency) 2008: Indicator: EN35 External costs of electricity production
http://themes.eea.europa.eu/Sectors_and_activities/energy/indicators/EN35%2C2008.11

Energiebeauftragter des Landes Steiermark (Wolfgang Jilek, Karin Karner, Andrea Rass) o.J.: 2. Zwischenbericht - Literaturrecherche

<http://www.lev.at/Download/ExterneKosten.pdf>

Enquete-Kommission 1994: Schlussbericht der Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“, BT-Drs. 12/8600 vom 31.10.1994

Enquete-Kommission 2002: Endbericht „Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen der Globalisierung und der Liberalisierung“, BT-Drs. 14/9400 vom 7.7.2002

EU-Kommission (editor) 2009: Legal Study for the accession of EURATOM to the Paris Convention on Third Party Liability in the field of nuclear energy, Final Report, TREN/CC/01-2005

http://ec.europa.eu/energy/nuclear/studies/doc/2009_12_accession_euratom.pdf

Stichwort: Klagemöglichkeit von Ländern, die einen EU-Vorstoß für ein einheitliches Haftungsrecht einfordern können.

EU-Kommission 2001: New research reveals the real costs of electricity in Europe, Brussels, Press release, 20 July 2001

<http://ec.europa.eu/research/press/2001/pr2007en.html>

European Supply Agency 2011: Annual Report 2011

<http://ec.europa.eu/euratom/ar/last.pdf>

Ewers, Hans-Jürgen / Rennings, Klaus 1991: Die volkswirtschaftlichen Kosten eines Super-GAU in Biblis, in: ZfU, Jg. 14, Nr. 4, S. 379-396

Ewers, Hans-Jürgen / Rennings, Klaus 1992: Abschätzung der Schäden durch einen sogenannten "Super-GAU", in PROGNOT (1992): Identifizierung und Internalisierung externer Kosten der Energieversorgung, PROGNOT Schriftenreihe, Band 2, Basel, 1992

Ewers, Hans-Jürgen / Rennings, Klaus 1992a: Abschätzung der Schäden durch einen sogenannten Super-GAU, in: Energiewirtschaftliche Tagesfragen, Jg. 42, Nr. 12, S. 863-864

FEEM (Fondazione ENI Enrico Mattei) 2008: Endberichte und Datentabellen zu dem Projekt CASES (Cost Assessment of Sustainable Energy Systems) im Auftrag der EU-Kommission

<http://www.feem-project.net/cases/>

<http://www.feem.it/Feem/Pub/Programmes/International+Energy+Markets/Activities/200604-CASES.htm>

FhG/ISI (Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung)/ Breitschopf, Barbara 2012: Ermittlung vermiedener Umweltschäden - Hintergrundpapier zur Methodik - im Rahmen des Projekts "Wirkungen des Ausbaus erneuerbarer Energien", Untersuchung im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Karlsruhe

http://www.erneuerbare-energien.de/erneuerbare_energien/downloads/doc/48571.php

FÖS (Meyer, Bettina) 2012a: Rückstellungen für Rückbau und Entsorgung im Atombereich - Thesen und Empfehlungen zu Reformoptionen, Studie im Auftrag von Greenpeace, Berlin/Kiel, 11. April 2012. Studie und Folien unter

<http://www.foes.de/publikationen/studien/>

FÖS (Küchler, Swantje / Meyer, Bettina) 2012b: Was Strom wirklich kostet. Vergleich der staatlichen Förderungen und gesamtgesellschaftlichen Kosten von konventionellen und erneuerbaren Energien, überarbeitete und aktualisierte Auflage, August 2012

<http://www.foes.de/publikationen/studien/>

Freitag 2008: Das Geschäft mit dem Uran Atomausstieg hin oder her, die Urananreicherung in Gronau ist lukrativ. Ein Unternehmen geht auf Expansionskurs

<http://www.freitag.de/2008/45/08450603.php>

Friedrich, Rainer 1995: Externe Kosten der Elektrizitätserzeugung - Ist die Kernenergie ein Sonderfall?, in: atw, Jg. 40, Nr. 2, S. 83-88

Galli, Hans 2011: AKW-Betreiber haften mit ihrem ganzen Vermögen. In: Der Bund, Bern, 26.01.2011

<http://www.derbund.ch/bern/AKWbetreiber-haften-mit-ihrem-ganzen-Vermoeegen/story/23882509>

Gesellschaft für bedrohte Völker 2007: Urankreislauf zu Lasten indigener Völker

<http://www.gfbv.it/3dossier/ind-voelker/uran.html>

GfbV (Gesellschaft für bedrohte Völker) 2011: Pressemitteilung vom 05.07.2011. Ethikkommission soll sich für Herkunftsnachweis des Urans einsetzen. Ureinwohner leiden unter Uranabbau für Deutschlands Kernkraftwerke

<http://www.gfbv.de/pressemit.php?id=2774&highlight=uran>

Greenpeace Amsterdam 2006b: Gesundheitsreport 20 Jahre nach der Reaktorkatastrophe von Tschernobyl

Greenpeace Hannover 2006a (Oda Becker und Dr. Helmut Hirsch): Keine Lösung in Sicht - die Lage am Standort Tschernobyl

Greenpeace International 2010: Left in the dust. AREVA's radioactive legacy in the desert towns of Niger

http://www.greenpeace.de/fileadmin/gpd/user_upload/themen/atomkraft/AREVA_Niger_report.pdf

GRS (Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit mbH) 1979: Deutsche Risikostudie Kernkraftwerke - Eine Untersuchung zu dem durch Störfälle in Kernkraftwerken verursachten Risiko

http://www.grs.de/sites/default/files/pdf/Deutsche_Risikostudie_Kernkraftwerke.pdf

GRS (Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit mbH) 1989: Deutsche Risikostudie Kernkraftwerke Phase B. Eine Untersuchung im Auftrag des Bundesministers für Forschung und Technologie

<http://www.grs.de/content/deutsche-risikostudie-kernkraftwerke-phase-b>

GRS 1993: SWR Sicherheitsanalyse, Abschlußbericht, Teil 2, GRS - 102/2

http://www.grs.de/sites/default/files/pdf/GRS-102_Teil2.pdf

GRS 2001: Bewertung des Unfallrisikos fortschrittlicher Druckwasserreaktoren in Deutschland - Methoden und Ergebnisse einer umfassenden Probabilistischen Sicherheitsanalyse (PSA), Entwurf zur Kommentierung, GRS 175

<http://www.grs.de/content/grs-175-bewertung-des-unfallrisikos-fortschrittlicher-druckwasserreaktoren-deutschland>

GRS 2003: Zur Sicherheit des Betriebs der Kernkraftwerke in Deutschland

<http://www.grs.de/sites/default/files/pdf/GRS-S-46.pdf>

GRS 2011: Risikoanalysen in der Kerntechnik

http://www.grs.de/content/risikoanalysen_psa

Grüne Bundestagsfraktion 2009: Antrag der Fraktion Bündnis90 / Die Grünen, Für eine zukunftsfähige Energieaußenpolitik, BT Drs. 16/13611 vom 01.07.2009

<http://dip21.bundestag.de/dip21/btd/16/136/1613611.pdf>

Grüne Bundestagsfraktion 2009: Atom und Uran - die unheilige Allianz - Betroffene wehren sich gegen rücksichtslosen Uranabbau

http://www.gruene-bundestag.de/cms/energie/dok/285/285406.atom_und_uran_die_unheilige_allianz.html

Grüne Fraktion im Europäischen Parlament Brüssel 2006: TORCH: The Other Report on Chernobyl, <http://www.chernobylreport.org/?%20p=downloads>

Harbrücker, Dirk 2007a: Haftungsvorsorge und Versicherung der Atomenergie. Vortrag im Rahmen des Fachgesprächs des Bundesumweltministeriums zur Förderung erneuerbarer Energien im Vergleich zur Atomenergie, Berlin, 27.2.2007

Harbrücker, Dirk 2007b: Wir versichern ausschließlich die friedliche Nutzung der Kernenergie, in: Gesamtverband der Versicherungswirtschaft, Positionen Nr. 55, INTERVIEW GDV mit DKVG Dirk Harbrücker, 15.07.2007

http://www.gdv.de/Publikationen/Periodika/Zeitschrift_Positionen/Positionen_55/inhaltsseite21780.html

Harbrücker, Dirk 2009: Vortrag INLA Konferenz Berlin, Trägt eine EU-weite Haftungsharmonisierung zur Verbesserung der Deckungskapazitäten bei? Überblick über die Versicherungskapazitäten in den EU-Staaten, Veröffentlicht in: Norbert Pelzer (Hrsg.), Europäisches Atomhaftungsrecht im Umbruch, Tagungsbericht der AIDN/INLA-Regionaltagung am 30.06./01.07.2009 in Berlin, 1. Auflage 2010, Nomos Verlag

Harbrücker, Dirk 2011: Zitat in Welt Online 29.3.2011, Japan. Steuerzahler müssen Kosten eines Atomunfalls tragen

<http://www.welt.de/wirtschaft/article12825827/Steuerzahler-muessen-Kosten-eines-Atomunfalls-tragen.html>

Haubner, David 2009: Grenzen der Versicherbarkeit. Anmerkungen zum Katastrophenrecht - Dokumentation der Arbeitsgruppe "Katastrophen und Recht", 2. Gesellschaftswissenschaftliches Kolleg der Studienstiftung des deutschen Volkes

http://fzk.rewi.hu-berlin.de/Sammelband_Katastrophenrecht.pdf

Hirsch, Helmut / Indradiningrat, Adhipati Y. (cervus nuclear consulting) 2012: Schwere Reaktorunfälle - wahrscheinlicher als bisher angenommen, Studie im Auftrag von Greenpeace

Hohmeyer, Olav 2002: Vergleich externer Kosten der Stromerzeugung in Bezug auf das Erneuerbare Energien Gesetz, Gutachten im Auftrag des Umweltbundesamtes, Texte Nr. 06/02, Berlin

IER (Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung) / Bickel, P. / Friedrich, R. 2005: ExternE - Externalities of Energy - Methodology 2005 Update

http://ec.europa.eu/research/energy/pdf/kina_en.pdf

IER (Peter Bickel / Rainer Friedrich et al) 2006: HEATCO. Developing Harmonised European Approaches for Transport Costing and Project Assessment, Deliverable 5 - Proposal for Harmonised Guidelines

<http://heatco.ier.uni-stuttgart.de/>

IER / Friedrich, Rainer 2009: Wie hoch sind die „externen Kosten“ der verschiedenen Energie-Techniken bei der Stromerzeugung? Stuttgart, 6.6.2002, aktualisiert Juni 2009

www.energie-fakten.de

Internationale Urankonferenz 2012: Abschlusserklärung vom 04.02.2012. Uranindustrie stilllegen - Uranabbau, Urananreicherung und Brennelementefertigung stoppen

<http://www.rf-news.de/2012/kw06/AbschlussUrankonferenz-1.pdf>

IPPNW (Deutsche Sektion der Internationalen Ärzte für die Verhütung des Atomkrieges, Ärzte in sozialer Verantwortung e.V.) / NRV (Neue Richtervereinigung) / BUND (Bund für Umwelt und Naturschutz

Deutschland e.V.) et al: Bundesweite Unterschriftenaktion: Sofort volle Haftpflichtversicherung für die deutschen Atomkraftwerke!

<http://www.atomhaftpflicht.de>

IPPNW (Hendrik Paulitz) 2008: Anlage C der Klagebegründung zur Stilllegung des Atomkraftwerkblocks Biblis B in dem Verwaltungsstreitverfahren vor dem Hessischen Verwaltungsgerichtshof Lauerwald u.a. ./ Land Hessen, beigelegt: RWE Power AG, - 6 C 164/08.T -

http://www.ippnw.de/commonFiles/pdfs/Atomenergie/Anlage_C_-_Unzureichende_Deckungsvorsorge.pdf

IPPNW (Internationale Ärzte für die Verhütung des Atomkrieges) 2010a: Die Versorgung Deutschlands mit Uran. Stand: 21.07.2010

http://www.ippnw.de/commonFiles/pdfs/Atomenergie/uran_deutschland_2009.pdf

IPPNW 2010b: Pressemitteilung vom 31.08.2010. IPPNW fordert Ächtung von Uranabbau. 19. Weltkongress der IPPNW in Basel

<http://www.ippnw.de/atomwaffen/gesundheitsliche-folgen/artikel/5afdd83ed4/ippnw-fordert-aechtung-von-uranabbau.html>

Irrek, Wolfgang 2002: Subsidy Reform - moving towards sustainability, Comments and Contribution

<http://www.earthtrack.net/files/WuppertalEurNuclearSubs.pdf>

Jäger, Lars 2011: Versicherungsschutz gegen einen Reaktorunfall, in Neue Zürcher Zeitung, 1.12.2010.

Jakat, Lena 2011: Versicherungsrisiko AKW. Katastrophe mit beschränkter Haftung, Süddeutsche Zeitung 18.03.2011

<http://www.sueddeutsche.de/wirtschaft/versicherung-der-kernkraft-mal-die-betreiber-zahlen-lassen-1.1074008>

Kauermann, Göran / Küchenhoff, Helmut 2011: Reaktorsicherheit. Nach Fukushima stellt sich die Risikofrage neu, in: FAZ, 30.3. 2011

<http://www.faz.net/-01r6ey>

Keich, Thomas 2011: Die Haftung für Risiken aus dem Betrieb einer Kernanlage - Eine Bestandsaufnahme des deutschen Rechts, in: Natur und Recht, Jg. 33, S. 479-487

Kernbrennstoffsteuer Gesetzentwurf BMF (Bundesministerium der Finanzen) 2010: Diskussionsentwurf Kernbrennstoffsteuergesetz, Bearbeitungsstand 12.07.2010

Kernbrennstoffsteuer Gesetzentwurf CDU/CSU und FDP 2010: Gesetzentwurf der Fraktionen der CDU/CSU und FDP, Entwurf eines Kernbrennstoffsteuergesetzes (KernbrStG), BT-Drs. 17/3054, 28.09.2010

Maddison, D. 1999: The Plausibility of the ExternE Estimates of the External Effects of Energy, CSERGE Working Paper, GEC 99-04, London

Majer, Dieter 2012: Zivilrechtliche Folgen von Störfällen bei Hochrisikoanlagen, in: Michael Klöpfer (Hrsg.), Hochrisikoanlagen. Notfallschutz bei Kernkraft-, Chemie- und Sondermüllanlagen, 1. Aufl., 2012, S. 59-78

Marburger, Peter 2012: Zivilrechtliche Folgen von Störfällen bei Hochrisikoanlagen, in: Michael Klöpfer (Hrsg.), Hochrisikoanlagen - Notfallschutz bei Kernkraft-, Chemie- und Sondermüllanlagen, Nomos Verlagsgesellschaft, Baden-Baden, S. 125-144.

Masuhr, Klaus P. / Oczipka, Thomas 1994: Die externen Kosten der Stromerzeugung aus Kernenergie. Teilbericht 2 des Projektes „Externe Kosten und kalkulatorische Energiepreiszuschläge für den Strom-

und Wärmebereich in der Schweiz. Materialien zu PACER. Bundesamt für Konjunkturfragen
http://www.energie.ch/phocadownload/270_2D.pdf

Matthes, Felix 2010: Nuklearhaftung - Subvention eines Energieträgers, Vortrag in einem Seminar der Wiener Umwelthanwaltschaft (WUA) zum Thema Nuklearhaftung im rechtlichen und ökonomischen Kontext

http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/umweltthemen/kernenergie/Haftungstagung_Feb_2010/Liability_Matthes_Vienna_Feb_2010.pdf

Zu den weiteren Tagungsbeiträgen

http://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/kernenergie/kernenergie_termine/haftungstagung/

Moths, Eberhard 1994: Internalization of External Costs During the Crisis of Environmental Policy or as Crisis for Economic Policy, in: O. Hohmeyer, R. L. Ottinger (Eds.) Social Costs of Energy. Present Status und Future Trends, Proceedings of an International Conference, Held at Racine, Wisconsin, 8.-11.9.1992, Berlin et al

MPI (Max-Planck-Institut für Chemie) 2012: Der nukleare GAU ist wahrscheinlicher als gedacht, Kurzbericht in Informationsdienst Wissenschaft (IdW), 22.5.2012

<http://idw-online.de/de/news478966>

NEEDS 2007: New Energy Externalities Developments for Sustainability

<http://www.needs-project.org/docs/results/RS1a/RS1a%20D14.2%20Final%20report%20on%20nuclear.pdf>

NEEDS 2009: Dokumentation des Abschlussberichts und der Abschlusskonferenz

<http://www.needs-project.org/>

Nguyen, Tristan 2009: Versicherbarkeit von Katastrophenrisiken und staatliche Risikoübernahme. WHL Wissenschaftliche Hochschule Lahr, Lahr, Februar 2009

http://www.akad.de/fileadmin/akad.de/assets/PDF/WHL_Diskussionspapiere/WHL_Diskussionspapier_Nr_21.pdf.

Nießen, Daniela 2010: Prospects of a Civil Nuclear Liability Regime in the Framework of the European Union. Bericht über einen Workshop der europäischen Kommission und der Brussels Nuclear Law Association, 17./18.6.2010 in Brüssel, in EuP, Nr. 4, S. 187-191

<http://elisabethkerschbaum.files.wordpress.com/2011/07/atomhaftung-workshop.pdf>

O.V. (ohne Verfasserangabe) 2007: Die wahren Kosten von Atomstrom - Atomkraftwerke sind generell unterversichert;

<http://www.wendezeit.ch/wahre-kosten-atomstrom-versicherung-akw>

OECD NEA (Nuclear Energy Agency) 2012: Nuclear Operator Liability Amounts & Financial Security Limits as of December 2009

http://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/kernenergie/kernenergie_termine/haftungstagung/

Otremba, Walther 2011: Wie man Kernkraft ins Aus befördert. Beitrag von Heike Göbel, in FAZ 23.05.2011

<http://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/wirtschaftspolitik/energiepolitik/rechtlich-saubere-verfahren-wie-man-kernkraft-ins-aus-befoerdert-1639783.html>

Panorama (Tamara Anthony, Johannes Jolmes, Oda Lambrecht) 2011: Atomkraftwerke: Wer zahlt für Katastrophen, Textfassung zur Sendung vom 31.03.2011

<http://daserste.ndr.de/panorama/archiv/2011/atom161.pdf>

Pelzer, Norbert 2003: § 57: Grundlagen und Entwicklung der Europäischen Atomgemeinschaft; § 58 Umweltrecht der Europäischen Atomgemeinschaft; § 59: Atomhaftungsrecht,

in: Hans Werner Rengeling: Handbuch zum europäischen und deutschen Umweltrecht, 2. Auflage, Bd. II, 1. Teilband, Köln

PfIVG 2007

Gesetz über die Pflichtversicherung für Kraftfahrzeughalter (Pflichtversicherungsgesetz), zuletzt geändert 10.12.2007 (Download 26.5.2011)

<http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/pflvg/gesamt.pdf>

Preiss, Philipp / Blesl, Markus 2009: The External and Social Costs of Energy Technologies, Folien im Rahmen des Projekts NEEDS, Sixth Framework Programme[6.1] Sustainable Energy Systems

PROGNOS (Masuhr, K. P./ Wolff, H./ Keppler, J.) 1992: Die externen Kosten der Energieversorgung, Stuttgart

PROGNOS (Masuhr, K. P./ Wolff, H./ Keppler, J.) 1994: Die externen Kosten der Energieversorgung - Internalisieren ohne Staat?, Untersuchung im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft, Basel

PSI (Paul-Scherrer Institute) 2008: Final report on quantification of risk indicators for sustainability assessment of future electricity supply options, NEEDS (New Energy Externalities Developments for Sustainability) Project Nr. 502687, Project co-funded by the European Commission within the Sixth Framework Programme (2002-2006)

Schäfer, Anselm / Werner, K. 1992: Zur Interpretation der Deutschen Risikostudie Kernkraftwerke im Zusammenhang mit der Bewertung von Kosten der Umweltbelastung durch Energieerzeugung, in: Energiewirtschaftliche Tagesfragen, Jg. 42, Nr. 8, S. 563-564.

Schröder, Birgit 2010: Die Versicherungspflicht von Atomkraftwerken, Ausarbeitung Wissenschaftliche Dienste des Deutschen Bundestages, Nr. WD 3 - 3000 -330/10, Juli 2010.

Schwarz, Dietrich 1993: Das Großrisiko Kernenergie und das viel größere Risiko, auf Kernenergie zu verzichten, in: Energiewirtschaftliche Tagesfragen, Jg. 43, Nr. 8, S. 549-555.

SES (Schweizerische Energie-Stiftung) 2009: Tagungsband der Fachtagung „Neue Atomkraftwerke in der Schweiz - Fehlinvestition oder Goldesel“, 12.9.2009

<http://www.energiestiftung.ch/files/textdateien/aktuell/publikationen/tagungsband-2008.pdf>

Stalder, Helmut 2007: AKW sollen für 500 Milliarden haften, in: Tages-Anzeiger, 24.02.2007;

http://www.clima.ch/pdfs/20070224_akw500.pdf

Stalder, Helmut 2007: Die wahren Kosten von Atomstrom. Atomkraftwerke sind generell unterversichert, in: Tages-Anzeiger, 24.2.2007

<http://www.wendezeit.ch/wahre-kosten-atomstrom-versicherung-akw>

Statistisches Bundesamt 2012: Anlagevermögen in den Ländern und Ost-West-Großraumregionen Deutschlands

http://www.statistik-bw.de/Arbeitskreis_VGR/ROB0.asp?R1B4

Sundqvist, Thomas 2004: What causes the disparity of electricity externality estimates? In: Energy Policy 32, 1753-1766.

Türschmann, Michael / Wielenberg, Andreas 2011: Kernkraftwerke. Was ist eigentlich ein Restrisiko? FAZ 28.04.2011

<http://www.faz.net/aktuell/wissen/physik-chemie/kernkraftwerke-was-ist-eigentlich-ein-restrisiko-1627836.html#Drucken>

UBA (Schwermer, Sylvia) **2007**: Ökonomische Bewertung von Umweltschäden - Methodenkonvention zur Schätzung externer Umweltkosten, April 2007, Umweltbundesamt, Dessau;
<http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-presse/2007/pd07-024.htm>

VFL (Versicherungsforen Leipzig) **2011a**: Berechnung einer risikoadäquaten Versicherungsprämie zur Deckung der Haftpflichtrisiken, die aus dem Betrieb von Kernkraftwerken resultieren, Studie im Auftrag des Bundesverband Erneuerbare Energie e.V. (BEE), Leipzig, 01.4.2011
<http://www.bee-ev.de/3:720/Meldungen/2011/AKW-nicht-versicherbar-BEE-verlangt-ehrliche-Kostendebatte.html>

VFL (Versicherungsforen Leipzig) **2011b**: Kurzfassung der Studie (7 Seiten)
<http://www.bee-ev.de/3:720/Meldungen/2011/AKW-nicht-versicherbar-BEE-verlangt-ehrliche-Kostendebatte.html>

VFL (Versicherungsforen Leipzig) **2011c**: KKW-Studie „Berechnung einer risikoadäquaten Versicherungsprämie zur Deckung der Haftpflichtrisiken, die aus dem Betrieb von Kernkraftwerken Resultieren“, Folien von Markus Rosenbaum, 11. Mai 2011
<http://www.bee-ev.de/3:720/Meldungen/2011/AKW-nicht-versicherbar-BEE-verlangt-ehrliche-Kostendebatte.html>

Weiss, Gabriela / Jacquemart, Charlotte 2011: Atomstrom deckt seine Kosten nicht. Für private Investoren ist die Nuklearenergie uninteressant, in: Neue Zürcher Zeitung, 3.4.2011
http://www.oebu.ch/fileadmin/media/3_Themen/2_Klima_und_Energie/1_Klimapolitik-CH/2011-04-03_NZZ_Atomstrom_deckt_seine_Kosten_nicht.pdf

Ziesing, Hans-Jürgen (Hg.) **2003**: Externe Kosten in der Stromerzeugung. Bericht und Ergebnisse des Workshops „Externe Kosten“. Energie im Dialog Band 4. VWEW Energieverlag: Frankfurt/Berlin/Heidelberg

Zimmer, Markus / Lippelt, Jana **2011**: Kurz zum Klima: 25 Jahre nach Tschernobyl, in: ifo Schnelldienst, Jg. 64, Nr. 9, S. 56-59