

Am 26. April des Jahres 1986 kam es zum ersten Mal zu einem nuklearen Zwischenfall, der in der internationalen Bewertungsskala in der höchsten Stufe eingeordnet wurde. 25 Jahre nach Tschernobyl sehen wir uns den Folgen des zweiten katastrophalen Unfalls ausgesetzt. Vor den Ereignissen in Fukushima hatten die Bestrebungen zur Vermeidung des Klimawandels selbst in Deutschland zu einer teilweisen Rehabilitation der Kernenergie geführt. Doch die Katastrophe am 11. März dieses Jahres hat in der Öffentlichkeit und der Politik zu einer neuerlichen Verschärfung der Debatte über deren Nutzen geführt. Im Kern dreht sich die Diskussion darum, ob die Kernenergie das richtige Mittel zur Vermeidung des Ausstoßes von Treibhausgasen ist und ob nicht eine Neubewertung des Restrisikos eines sogenannten Super-GAUs notwendig ist.

Doch wie groß sind die Schäden, die aus einer solchen Katastrophe resultieren? Was bedeutet das für die zahlreichen Kernkraftwerke, die in der Zukunft weltweit ans Netz gehen werden? Und wie unterscheiden sich Folgen für Standorte in unterschiedlichen Ländern? Zur Klärung dieser Fragen bietet sich die Betrachtung eines nuklearen Ereignisses an, bei dem eine ähnliche Menge Radioaktivität frei würde wie bei der teilweisen Kernschmelze in Tschernobyl vor 25 Jahren. Abbildung 1 zeigt den dadurch zu erwartenden Schaden in Milliarden Dollar für ein neues Kernkraftwerk, welches an einem durchschnittlichen Standort des jeweiligen Landes gebaut würde. Die Methodik für die Bewertung des Schadens orientiert sich dabei an einer Studie von Hans-Jürgen Ewers und Klaus Rennings im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft aus dem Jahr 1992. Die Studie überträgt die Ergebnisse aus anderen, teils internationalen Studien anhand einfacher Kennzahlen auf Deutschland. Für die hier gezeigten Karten wurden die Ergebnisse für Deutschland anhand der gleichen Kennzahlen und mit Hilfe stark vereinfachter Überschlagsrechnungen auf die anderen Länder übertragen.

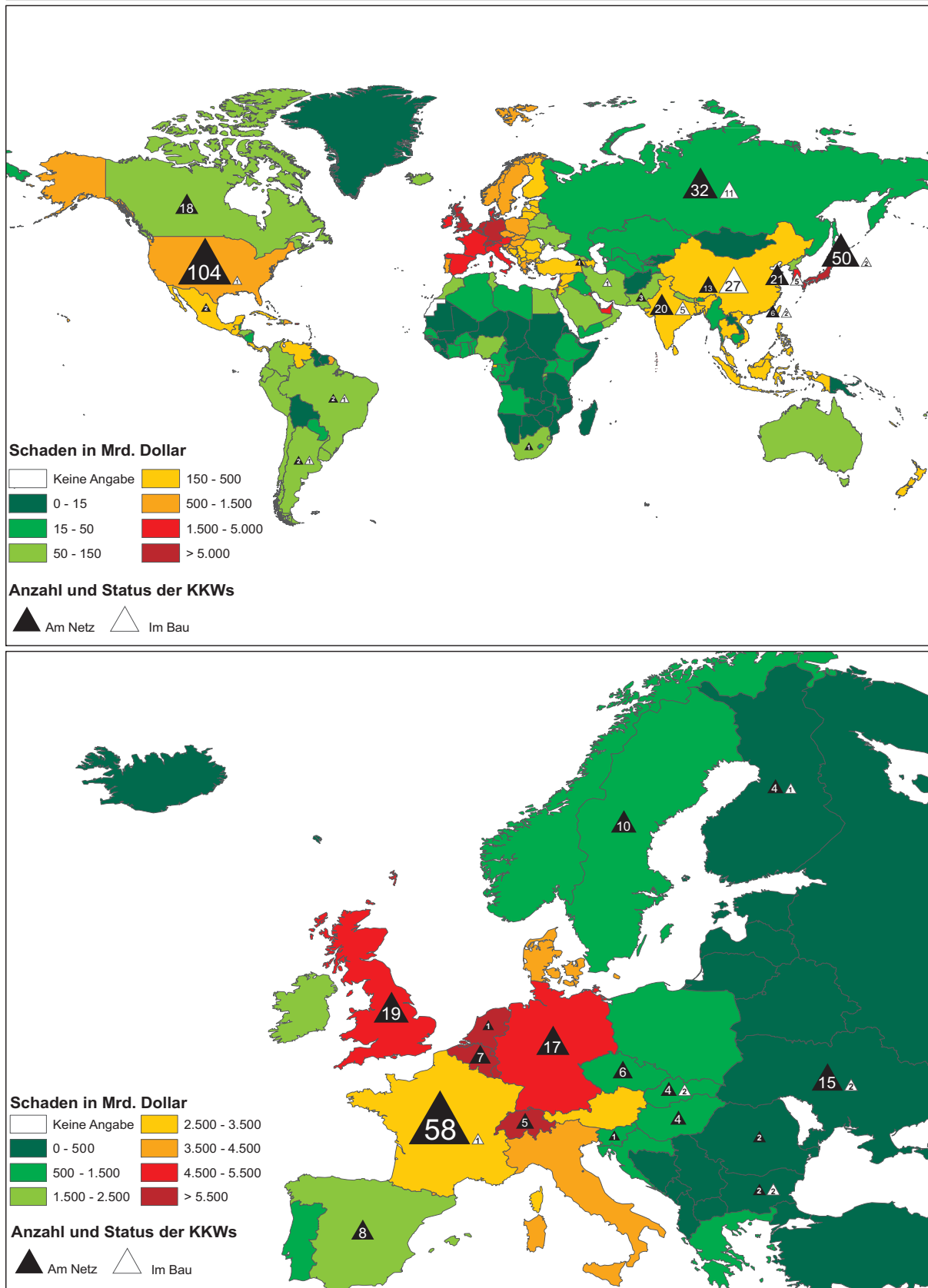
Der überwiegende Teil der Schäden in der Studie entfällt auf die Spätfolgen aus Krebserkrankungen und Erbschäden. An dieser Stelle drängt sich unweigerlich die Frage nach dem Wert eines Menschenlebens auf. Ewers und Rennings diskutieren diese für solche Studien unumgängliche, wenn auch ethisch und moralisch mehr als problematische, monetäre Bewertung. Zur Bewertung des Verlusts eines Menschenlebens legen sie trotz der damit verbundenen Nachteile schlussendlich eine sogenannte Hedonistische Preisanalyse zugrunde. Ausgangspunkt ist dabei die Zahlung, die eine Person als Entschädigung dafür verlangt, dass sie bereit ist, ein gewisses Risiko für ihr eigenes Leben in Kauf zu nehmen (beispielsweise das Risiko einer Verstrahlung). Eine Normierung der Werte aus der Studie auf das Bruttoinlandsprodukt führt dabei zu einem Aufschlag von 15,6% auf das durchschnittliche Pro-Kopf-Einkommen, der für eine Tätigkeit verlangt wird, die mit einem tödlichen Unfallrisiko von 1 : 1 000 pro Jahr behaftet ist. Anders ausgedrückt, würde das bedeuten, dass ein durchschnittlicher

Deutscher den Wert seines eigenen Lebens mit 6,3 Mill. Dollar ansetzt, um zu bestimmen, welche Entschädigung er für die Bereitschaft verlangt, sich einem möglicherweise tödlichen Risiko auszusetzen. Dieser Wert bewegt sich grundsätzlich innerhalb der Spannweite aktueller empirischer Studien. (Die Europäische Kommission setzt im ExternE-Projekt in der Methodologie von 2004 für den Durchschnitt aller Länder den Wert eines Lebens mit ca. einer Million Euro deutlich niedriger an.) Zur Bewertung nicht tödlicher Krebsfälle sowie von Erbschäden wird ein Aufschlag von 1,3% auf das jährliche Pro-Kopf-Einkommen für eine Normierung der Eintrittswahrscheinlichkeit auf 1 : 1 000 festgesetzt.

Zur Übertragung der Ergebnisse auf andere Länder sind jedoch noch weitere Überlegungen notwendig. Beispielsweise wird in der Studie die Zahl der Personen, die einer Strahlenbelastung ausgesetzt sind, als proportional zur Bevölkerungsdichte angenommen. Betrug die Kollektivdosis, mit der die Bevölkerung rund um Tschernobyl belastet wurde, insgesamt etwa 2,4 Millionen Personen-Sievert, so gehen Ewers und Rennings davon aus, dass im siebenmal so dicht besiedelten Deutschland die Strahlenbelastung der Bevölkerung auch siebenmal so hoch sein wird. Die Angabe der Strahlendosis in Personen-Sievert stellt ein Maß der biologisch wirksamen Kollektivdosis dar, und für jede Million Personen-Sievert werden 50 000 tödliche Krebsfälle sowie 23 000 nicht tödliche Krebsfälle bzw. Erbschäden angenommen. Des Weiteren entstehen Sachschäden durch die notwendigen Umsiedlungsmaßnahmen sowie die Entwertung der kontaminierten Landstriche und der darauf befindlichen Infrastruktur. Die Sachschäden werden als proportional zum durchschnittlichen Bruttoinlandsprodukt, welches auf einem Quadratkilometer erzeugt wird, angenommen. So sind die Sachschäden in Deutschland mit 247 Mrd. Dollar doppelt so hoch wie in Frankreich, das nur halb so viel Bruttoinlandsprodukt pro Quadratkilometer erzeugt. Insgesamt spielen die Sachschäden in der gezeigten Analyse nur eine untergeordnete Rolle und machen beispielsweise für Deutschland weniger als 5% des Gesamtschadens aus.

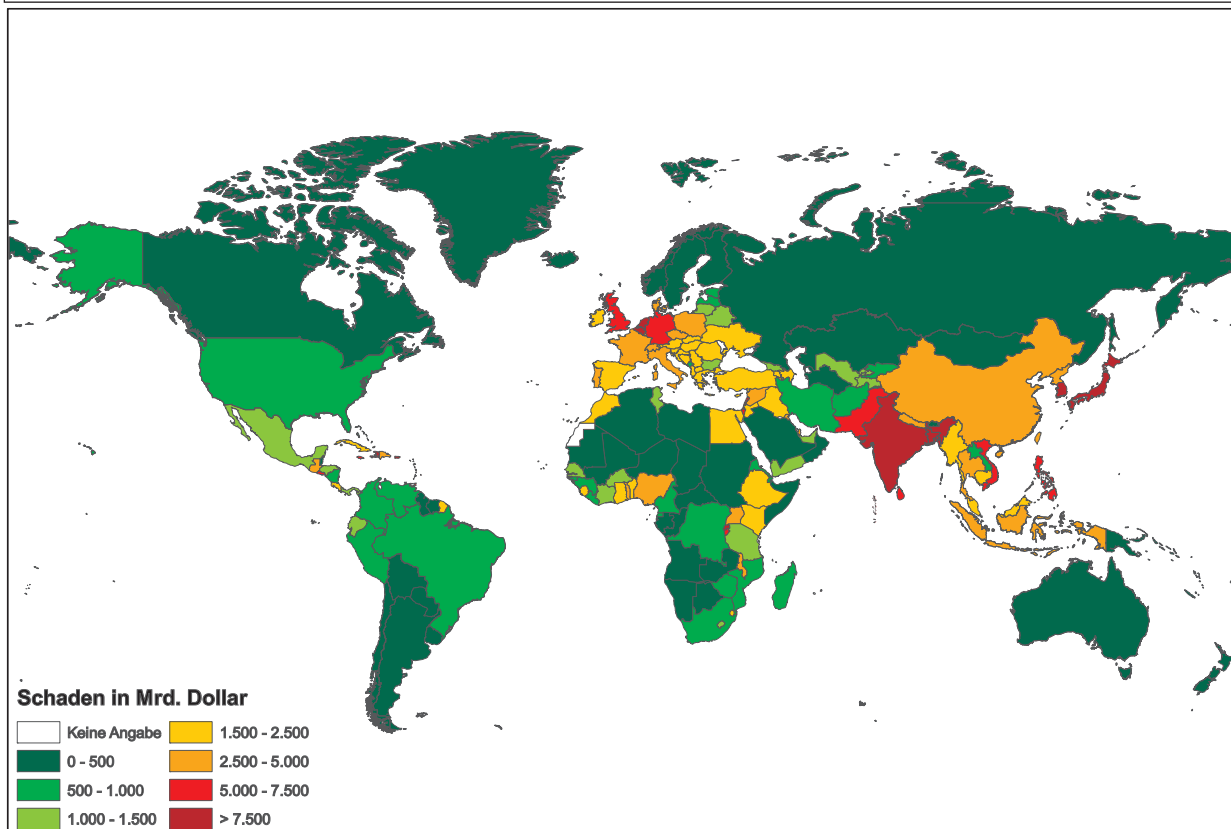
Es sei an dieser Stelle angemerkt, dass es sich bei der Analyse um eine starke Vereinfachung der Auswirkungen und der Zusammenhänge handelt und die Differenzen zwischen den Ländern hauptsächlich aus Unterschieden in der Bevölkerungsdichte und des Pro-Kopf-Einkommens resultieren. Als Basis für belastbare Ergebnisse wäre daher eine tiefgreifende und umfassende Studie notwendig. Dennoch erlauben die Ergebnisse einen vorläufigen Einblick für den Vergleich der Schadensrelationen zwischen den verschiedenen Ländern. Die mit den Kennzahlen berechneten Werte würden den Schaden eines mit Tschernobyl vergleichbaren Unglücks mit etwa 14,36 bzw. 11,71 Billionen Dollar bei den EU-Spitzenreitern Malta und Luxemburg beziffern. Die Schadenssumme in Deutschland würde in etwa 5,28 Billionen Dollar betragen, und Estland und Lettland

Abb. 1  
Kernkraftwerke und Schäden eines Super-GAU



Quelle: International Atomic Energy Agency, Power Reactor Information System, 2011; Berechnungen des ifo Instituts.

Abb. 2  
Alternative Schadensbewertung eines Super-GAU



Quelle: Berechnungen des ifo Instituts.

wären mit 0,24 bzw. 0,23 Billionen Dollar die am wenigsten stark betroffenen Länder der EU.

Die Ewers- und Rennings-Studie bezieht sich lediglich auf Deutschland und ist nicht grundsätzlich für eine Übertragbarkeit auf andere Länder angelegt. Daher wird für die folgende alternative Betrachtung für alle Todesopfer der errechnete bundesdeutsche Wert von 6,3 Mill. Dollar angesetzt. Das Ergebnis dieser alternativen Bewertung ist in der Abbildung 2 zu sehen. Es ist deutlich zu erkennen, wie die Schadenssumme für die Länder zunimmt, in denen die Bevölkerung vorher eine niedrigere Risikokompensation verlangt hat. Dies gilt insbesondere für die afrikanischen Staaten, in denen die Schadenssummen nun in vielen Fällen um mehr als das Hundertfache steigen. Dies verdeutlicht umso mehr die Anfälligkeit der Ergebnisse solcher Analysen bei Änderungen der Annahmen.

Doch ist es überhaupt sinnvoll, sich auf die Höhe des Schadens im Falle einer Katastrophe zu konzentrieren? Die genannten Schadenssummen dringen in Regionen vor, die nicht mehr greifbar scheinen, und ihre pure Größe könnte Zweifel an der Zweckmäßigkeit der Kernkraft aufwerfen. Dabei ist jedoch zu bedenken, dass einerseits Unfälle bei Kernkraftwerken recht selten und andererseits andere Technologien der

Stromerzeugung ebenfalls mit Gefahren für Leib und Leben und weiteren negativen externen Effekten behaftet sind. Grubenunglücke, Abgase aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe und die Folgen des Klimawandels sind nur einige der Ursachen, die die Zahl der Verletzten, Kranken und Toten aufgrund der Energieerzeugung ansteigen lassen. Daher wurde von der Europäischen Kommission bereits im Jahr 1996 das ExternE-Projekt ins Leben gerufen, welches das Ziel hatte, die tatsächlichen Kosten der Energieerzeugung unter Berücksichtigung aller externen Effekte zu bestimmen. Zahlreiche Studien bauen auf den Ergebnissen des Projekts auf.

Wie hoch sind nun die Kosten der Stromerzeugung unter Berücksichtigung aller Effekte? Eine der aktuellsten auf den Ergebnissen des ExternE-Projekts aufbauenden Arbeiten ist eine Gemeinschaftsstudie des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt und des Instituts für System- und Innovationsforschung der Fraunhofer Gesellschaft, die im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit durchgeführt wurde. Tabelle 1 listet die daraus entnommenen Kosten durch externe Effekte auf und kombiniert diese mit den einer Studie des Instituts für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendungen der Universität Stuttgart entnommenen Kosten der Stromerzeugung.

**Tab. 1**  
**Stromerzeugungskosten in Euro-Cent/Kilowattstunde**

	Herstellungskosten der Stromerzeugung	Externe Kosten der Stromerzeugung	Gesamte Kosten der Stromerzeugung
Kernkraft	3,50	0,25 <sup>a)</sup>	3,75
Erdgas	4,20	2,90	7,10
Steinkohle	3,30	6,30	9,60
Wasserkraft	10,20	0,15	10,35
Braunkohle	2,90	7,90	10,80
Wind Onshore	12,00	0,15	12,15
Wind Offshore	15,00	0,09	15,09
Photovoltaik	58,00	1,00	59,00

<sup>a)</sup> Die externen Kosten der Stromerzeugung aus Kernkraft werden bei Krewitt und Schlomann nicht ausgewiesen und wurden der Veröffentlichung der Europäischen Kommission (European Commission 2003) über die externen Kosten der Stromerzeugung entnommen.

Quelle: Wissel et al. (2008); Krewitt und Schlomann (2006).

Das Ergebnis zeigt, dass die Kernenergie – trotz der Berücksichtigung der externen Kosten gemäß des ExternE-Projekts – eine im Erwartungswert günstige Möglichkeit der Stromerzeugung ist. Dies folgt nicht zuletzt aus der in der Betrachtung berücksichtigten Effekte auf den Klimawandel. Allerdings gibt es aus der Wissenschaft auch zahlreiche Bedenken bezüglich der Vergleichbarkeit der externen Kosten der Kernenergie. Insbesondere die vergleichsweise großen Unsicherheiten stellen ein Problem für eine verlässliche Analyse dar. So wiesen erst kürzlich die Statistikprofessoren Göran Kauermann von der Universität Bielefeld und Helmut Küchenhoff von der Ludwig-Maximilians-Universität München darauf hin, dass die bisher beobachtete tatsächliche Unfallwahrscheinlichkeit um den Faktor 40 höher ist, als sie von der Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit angenommen wird. Eine Übersichtsstudie von Thomas Sundqvist zeigt, dass in 16 betrachteten Studien die Werte für die externen Kosten der Kernenergie von 0,003 bis 64,45 US-Cent/Kilowattstunde variieren.

Des Weiteren machen Patrik Söderholm und Thomas Sundqvist sowie Wolfram Krewitt in zwei Artikeln explizit auf die ethischen und moralischen Probleme der Methodik des ExternE-Projekts aufmerksam. So ist beispielsweise die Bewertung des radioaktiven Abfalls schon für die nähere Zukunft völlig unklar. Dabei wird darauf hingewiesen, dass der größte Teil der Belastungen erst in einigen hunderttausend Jahren zu erwarten ist. Die dann herrschenden Bedingungen können heute nicht eingeschätzt werden, und die Schwere der Auswirkungen, die zukünftigen Generationen damit zugemutet wird, ist nicht abschätzbar. So erzeugt eine Windkraftanlage zwar auch negative externe Effekte, aber immerhin enden diese mit ihrer Demontage.

Grundsätzlich weisen die Autoren darauf hin, dass bei der Bestimmung der externen Effekte die Wirkungen auf zukünftige Generationen oftmals ganz außer Betracht gelassen werden und es auch bis dato keine befriedigenden Ansätze zur analytischen Berücksichtigung einer solchen Form

der Nachhaltigkeit gibt. Es wird insbesondere angezweifelt, ob der Erwartungswert der abdiskontierten Schäden bei sehr unwahrscheinlichen, aber mit extremen Auswirkungen behafteten Ereignissen das richtige Maß ist. So kann der gesellschaftliche Schaden kaum linear mit der Anzahl der betroffenen Personen steigen, da bestimmte Ereignisse aus ethischen und moralischen Gesichtspunkten als inakzeptabel und als unbedingt vermeidbar angesehen werden und somit mit einem unendlich hohen Schaden zu bewerten wären. Inwiefern dies für die Kernenergie der Fall sein wird, wird sich daran zeigen, ob es den sich momentan andeutenden gesellschaftlichen Konsens zum Atomausstieg geben wird oder ob die dadurch zu erwartenden Kosten doch noch einmal zu einem Stimmungsumschwung führen werden.

**Literatur**

European Commission (2003), *External Costs – Research results on socio-environmental damages due to electricity and transport*, Directorate-General for Research and Directorate J-Energy, Brüssel.  
 Ewers, H.-J. und K. Rennings (1992), *Abschätzung der Schäden durch einen sogenannten Super-GAU*, Gutachten im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft, Zusammenfassung der Studie veröffentlicht in: K.P. Masuhr, H. Wolff und J. Keppler (1992), *Die Externen Kosten der Energieversorgung*, Schäfer-Poeschel Verlag, Stuttgart.  
 ExternE-Projekt (2004), *New Elements for the Assessment of External Costs from Energy Technologies*. Final Report to the European Commission, www.ExternE.info.  
 Kauermann, G. und H. Küchenhoff (2011), »Nach Fukushima stellt sich die Risikofrage neu«, online zugänglich unter: www.faz.net/-01r6ey, *Frankfurter Allgemeine Zeitung*, Frankfurt.  
 Krewitt, W. (2002), »External costs of Energy – do the answers match the questions? Looking back at 10 years of ExternE«, *Energy Policy* 30, 839–848.  
 Krewitt, W. und B. Schlomann (2006), *Externe Kosten der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien im Vergleich zur Stromerzeugung aus fossilen Energieträgern*, Gutachten für das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt und Institut für System- und Innovationsforschung der Fraunhofer Gesellschaft.  
 Söderholm, P. und T. Sundqvist (2003), »Pricing environmental externalities in the power sector: ethical limits and implications for social choice«, *Economic Journal* 113, 333–350.  
 Sundqvist, T. (2004), »What causes the disparity of electricity externality estimates?«, *Energy Policy* 32, 1753–1766.  
 Wissel, S., S. Rath-Nagel, M. Blesl, U. Fahl und A. Voß (2008), *Stromerzeugungskosten im Vergleich*, Arbeitsbericht, Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendungen der Universität Stuttgart.