

# Wie hoch sind die "externen Kosten" der verschiedenen Energie-Techniken bei der Stromerzeugung?

von [Rainer Friedrich](#)  
 e-mail [Rainer.Friedrich@energie-fakten.de](mailto:Rainer.Friedrich@energie-fakten.de)

## Hier die Fakten - vereinfachte Kurzfassung

Die Stromerzeugung verursacht Risiken für die menschliche Gesundheit und Schäden an Pflanzen, Ökosystemen und Materialien. Diese unerwünschten, sogenannten externen Effekte sollten bei Vergleichen und Entscheidungen auf konsistente Weise mit berücksichtigt werden. Ein Weg hierzu besteht darin, die externen Effekte zu monetarisieren, also in Geldwerte bzw. externe Kosten umzurechnen. Sie können dann untereinander und mit den internen, betriebswirtschaftlich ermittelten Kosten verglichen werden. Die Umrechnung in Geldwerte er-

folgt, indem man die Präferenzen der Bevölkerung erfasst, das heißt die Zahlungsbereitschaft zur Vermeidung von Schäden und Risiken ermittelt. Die neuesten, nach dem derzeitigen Stand des Wissens (2009) berechneten externen Kosten pro erzeugter Kilowattstunde sind in der Tabelle aufgelistet.

Die angegebenen Zahlen gelten für neue, 2010 in Deutschland an festgelegten fiktiven Standorten in Betrieb gehende Anlagen nach dem neuesten Stand der Technik. Vor- und nachgelagerte Prozesse (Energieträgergewinnung und Umwand-

lung, Bau und Abriss, Endlagerung) sind berücksichtigt, bei Kernkraftwerken auch Unfallrisiken. Die größten Beiträge zu den externen Kosten entstehen durch die Beiträge zum Treibhauseffekt und durch Gesundheitsschäden bis hin zu verringerter Lebenserwartung, die durch die Emission von Schadgasen wie Feinstaub, Stickoxiden und Schwefeldioxid entstehen. Bei der Stromerzeugung aus Wind und Sonne entstehen die externen Kosten weniger oder nicht beim Betrieb, sondern vielmehr bei der Herstellung der Anlagen.

Art der elektrischen Energieerzeugung	externe Kosten
Steinkohlekraftwerk mit Staubfeuerung	ca. 3,0 Cent/kWh
Braunkohlekraftwerk mit integrierter Kohlevergasung	ca. 2,6 Cent/kWh
Erdgasbefeueretes Gas- und Dampfkombikraftwerk	ca. 1,3 Cent/kWh
Kernkraftwerk	ca. 0,1 Cent/kWh
Photovoltaikanlage (auf dem Dach, polykristalline Si-Dünnschichtzellen)	ca. 0,5 Cent/kWh
Off-shore Windkraftanlage (5 MW)	ca. 0,1 Cent/kWh
Laufwasserkraftwerk	< 0,1 Cent/kWh

# Wie hoch sind die "externen Kosten" der verschiedenen Energie-Techniken bei der Stromerzeugung?

von [Rainer Friedrich](#)

e-mail [Rainer.Friedrich@energie-fakten.de](mailto:Rainer.Friedrich@energie-fakten.de)

## Hier die Fakten - Langfassung

Jede Bereitstellung von Energie – mit welcher Technik auch immer – ist mit unerwünschten Nebeneffekten, insbesondere mit Risiken für die menschliche Gesundheit, mit Schädigungen von Pflanzen und Tieren und mit Einwirkungen auf Ökosysteme und Materialien verbunden. Weil dabei meist Dritte, die an Energieumwandlung und -verbrauch nicht direkt beteiligt sind, geschädigt werden, ohne dass deren Schäden von den Verursachern kompensiert werden, werden solche Schäden und Risiken als ‚externe‘ Effekte bezeichnet. Vergleicht man nur die internen, betriebswirtschaftlich ermittelten Kosten verschiedener Technikalternativen, so sind die externen Effekte dabei offensichtlich nicht berücksichtigt. Es besteht aber Konsens, dass die verursachten Schäden bei Vergleichen oder Entscheidungen mit betrachtet werden sollten. Will man dies auf transparente, nachvollziehbare und konsistente Weise tun, so müssen die externen Effekte und die Kosten quantifiziert und in eine gemeinsame Maßeinheit

umgerechnet werden, um sie direkt vergleichen zu können. Als Maßeinheit kommt hier insbesondere der Geldwert in Frage, das heißt, die externen Effekte werden in Kosten, die sogenannten externen Kosten, umgerechnet. Nebenbei: man könnte statt dem Geldwert auch Nutzwerte oder Ökopunkte als Maßeinheit wählen, das Ergebnis wäre dasselbe. Der Geldwert hat jedoch den Vorteil, dass er einen unabhängig definierten Wert besitzt und dass jeder sich unter einem EURO etwas vorstellen kann, unter einem Ökopunkt aber nicht. Wie kann man aber Risiken und Schäden, die man ja nicht auf dem Markt kaufen oder verkaufen kann, für die also kein Preis vorhanden ist, in Geldwerte umrechnen? Oder: wie vergleicht man Äpfel mit Birnen? Letztlich tut dies jede Person beim Obsteinkauf im Supermarkt ohne Probleme, indem sie nach ihrer persönlichen Präferenz entscheidet. Folglich kann man externe Effekte bewerten, indem man die Präferenzen der betroffenen Bevölke-

rung misst, das heißt, indem man herausfindet, was die Betroffenen zu zahlen bereit wären, um einem Risiko zu entgehen oder einen Schaden abzuwenden. Dabei geht es für den einzelnen um die Bewertung sehr kleiner Risiken, etwa einen Gesundheitsschaden zu erleiden. Die Zahlungsbereitschaft lässt sich sowohl durch direkte repräsentative Befragungen als auch durch indirekte Methoden, z. B. die Auswertung unterschiedlicher Mietpreise in Gegenden mit unterschiedlicher Umweltbelastung, ermitteln. Es existiert schon eine Vielzahl wissenschaftlicher Untersuchungen, in denen diese Zahlungsbereitschaften ermittelt wurden. Die Verfahren zur Abschätzung der externen Kosten wurden in den letzten Jahren vor allem im Rahmen von Forschungsarbeiten, die von der Europäischen Kommission gefördert wurden, den sogenannten ‚Externe‘-Studien, sehr stark verbessert und verfeinert (siehe auch [www.externe.info](http://www.externe.info)). In früheren Arbeiten wurden z. B. abgeschätzte Gesamtschäden

## LANGFASSUNG

durch Luftschadstoffe auf unterschiedliche Verursacher verteilt, bei der Kernenergie wurden die Schäden des Tschernobyl-Unfalls zur Bewertung herangezogen. Wegen der Komplexität der Zusammenhänge sind solche Ansätze jedoch zu ungenau. In 'ExternE' wurde daher der Wirkungspfadansatz entwickelt. Dieser berechnet, ausgehend von den Emissionen von Schadstoffen, zunächst deren Ausbreitung sowie die chemische Umwandlung und ggf. die Umwandlung durch Strahlung in Luft, Boden und Wasser. Ausgehend von Stoffkonzentrationen werden dann mit Hilfe von Expositions-Wirkungs-Beziehungen Schäden an menschlicher Gesundheit, Ökosystemen, Nutzpflanzen, und Materialien berechnet, die abschließend monetär (als Geldwert) bewertet werden. Bevor die Ergebnisse gezeigt werden, sei noch darauf hingewiesen, dass die Unsicherheiten der Ergebnisse noch recht groß sind, weil bei allen Teilschritten, z. B. der Ausbreitungsrechnung oder den Expositions-Wirkungs-Beziehungen, Unsicherheiten vorhanden sind. Dies spiegelt somit die noch vorhandenen Unsicherheiten

beim Stand des Wissens über die Entstehung von Schäden wider. Beim Klimawandel sind Unsicherheiten über die Folgen noch so groß, dass statt des Wirkungspfad-Ansatzes ein anderer Ansatz, der sogenannte Standard-Preis-Ansatz, verwendet wurde. Bei diesem Ansatz werden allgemein akzeptierte Klimaschutzziele herangezogen und die marginalen Kosten (d. h. die Kosten pro vermiedener Tonne CO<sub>2</sub> der teuersten Maßnahme) zur Erreichung dieser Standards verwendet. Trotz der Unsicherheiten kann das Ergebnis als Orientierung über die Größenordnung der externen Kosten und insbesondere über die Rangfolge von Technikalternativen hinsichtlich ihrer externen Kosten sehr gut genutzt werden. Die verwendete Methode wird zur Entscheidungsunterstützung bei einer Reihe von Entscheidungen auf europäischer und nationaler Ebene eingesetzt, z. B. zum Vergleich von Kosten und Nutzen verschiedener Luftreinhaltdirektiven der EU oder bei der Festlegung des maximal zulässigen Förderung für erneuerbare Energieträger in der EU. Die folgende Aufstellung zeigt die

externen Kosten für ausgewählte Elektrizitätserzeugungsanlagen an festgelegten (fiktiven) Standorten in Deutschland.

Es sind jeweils Techniken gewählt, die dem derzeitigen Stand der Technik (Inbetriebnahme ca. 2010) entsprechen. Die mit Kohle befeuerten Kraftwerke weisen die weitaus höchsten externen Kosten auf; dies liegt zum einen an den hohen Emissionen des Treibhausgases CO<sub>2</sub>, zum anderen an der trotz gut funktionierender Abgasfilter relativ höheren Emission der Schadstoffe Stickoxide, Schwefeldioxid und Feinstaub, die erhebliche Risiken für die menschliche Gesundheit verursachen. Auch die Photovoltaik weist etwas höhere externe Kosten auf. Dies liegt nicht am Betrieb, dabei entstehen praktisch keine externen Kosten, sondern an den Emissionen während des aufwändigen Herstellungsprozesses. Natürlich könnte man die externen Kosten senken, wenn man bei der Herstellung der Anlagen bereits Photovoltaikstrom nutzen würde – dies würde aber die internen Herstellungskosten so in die Höhe treiben, dass die Gesamtkosten noch weitaus ungünstiger

Art der elektrischen Energieerzeugung	externe Kosten
Steinkohlekraftwerk mit Staubfeuerung	ca. 3,0 Cent/kWh
Braunkohlekraftwerk mit integrierter Kohlevergasung	ca. 2,6 Cent/kWh
Erdgasbefeuertes Gas- und Dampfkombikraftwerk	ca. 1,3 Cent/kWh
Kernkraftwerk	ca. 0,1 Cent/kWh
Photovoltaikanlage (auf dem Dach, polykristalline Si-Dünnschichtzellen)	ca. 0,5 Cent/kWh
Off-shore Windkraftanlage (5 MW)	ca. 0,1 Cent/kWh
Laufwasserkraftwerk	< 0,1 Cent/kWh

## LANGFASSUNG

würden. Die geringsten externen Kosten weisen Wind- und Wasserkraft auf, dicht gefolgt von der Kernenergie. Bei der Kernenergie sind die Kosten des Brennstoffkreislaufs, insbesondere die Urangewinnung und die Endlagerung (entsprechend derzeitiger Planung), berücksichtigt. Auch berücksichtigt sind Unfälle – sowohl bei der Endlagerung als auch beim Betrieb des Kernkraftwerks. Dabei werden auch die Schäden von hypothetischen, also mit sehr kleiner Wahrscheinlichkeit versehenen, d. h. ‚praktisch ausgeschlossen‘ Unfällen berechnet. Dabei ergeben sich durchaus hohe Schadenskosten. Für die Bewertung ausschlaggebend ist aber das Risiko, das heißt der Schaden multipliziert mit der Eintrittswahrscheinlichkeit des Schadens, letztere entnommen aus Risikostudien. Da

die Eintrittswahrscheinlichkeit sehr klein ist, ergibt sich insgesamt ein kleiner Wert pro kWh. Zwar wird verschiedentlich argumentiert, dass bei der Bewertung die ‚Risikoaversion‘ berücksichtigt werden müsse, d. h., man geht von der These aus, dass bei gleichem Risiko ein Ereignis mit hohem Schaden und geringer Eintrittswahrscheinlichkeit schlechter bewertet wird als ein Ereignis mit geringerem Schaden und höherer Wahrscheinlichkeit. Allerdings fehlen bisher empirisch abgesicherte quantitative Ansätze hierzu völlig. Zudem würde eine konsequente Umsetzung dieses Prinzips bedeuten, dass keine insgesamt effiziente Risikominderung mehr angestrebt würde, wobei mit effizienter Minderung die bei gegebenem Aufwand größtmögliche Minderung von Risiken

verstanden wird. Nicht berücksichtigt sind allerdings mögliche terroristische Anschläge auf Kernkraftwerke, weil hierzu sowie auch zu den getroffenen Schutzmaßnahmen Informationen aus naheliegenden Gründen nicht veröffentlicht werden. Der größte Beitrag an den externen Kosten der Kernenergie wird übrigens nicht von den Unfällen, sondern von Freisetzungen radioaktiver Stoffe beim Uranbergbau verursacht. Natürlich ist bei allen Anlagen damit zu rechnen, dass sich durch Weiterentwicklungen die externen Kosten weiter senken lassen, zum Beispiel lassen sich die externen Kosten von Kohlekraftwerken vermutlich durch Abtrennung und Speicherung von Kohlendioxid (CCS = carbon capture and storage) erheblich reduzieren. ■

Der Text wurde am 27. Juni 2002 bei den Energie-Fakten.de veröffentlicht und im Juni 2009 aktualisiert.