

Die wahren Kosten der Kernenergie



Imprint

AutorInnen

Österreichisches Ökologie-Institut

Mag.^a Andrea Wallner (Projektleitung)

Mag.^a Gabriele Mraz

Übersetzung

Mag.^a Patricia Lorenz

Auftraggeberin

Wiener Umweltschutzgesellschaft

Wien, Juli 2013

Vorwort

Die Gefahren der Kernenergie durch Unfälle, auch die schwerwiegenden Probleme die sich aus den radioaktiven Abfällen ergeben und die Gefahren der Proliferation sind allgemein bekannt. Das letzte verbleibende Argument, das im Zusammenhang mit Kernenergie übrig geblieben ist, nachdem die Realität gezeigt hat, dass „sicher“ und „sauber“ nicht zutreffend sind, ist „billig“. In der europäischen Debatte über eine Renaissance, oder besser über lebensverlängernde Maßnahmen für die Kernenergie, geht es, neben der, sich bei fundierter Betrachtung als falsch herausstellenden CO₂-Freiheit, immer mehr um die Kostenfrage.

Betrachtet man die Träume der Frühzeit der Kernenergienutzung, in denen von praktisch kostenloser elektrischer Energie die Rede war, so zeigt die Realität, dass in den wenigen Ländern mit Kernenergienutzung die Elektrizitätspreise weit von diesen Versprechungen weg sind. Richtet man den Blick auf die aktuelle Debatte in Europa, zeigt sich, dass trotz der zahlreichen bestehenden direkten und indirekten Bevorzungen kein einziges Kernkraftwerk auf Grund wirtschaftlicher Überlegungen errichtet wird. Zusätzlich zu den bestehenden finanziellen Vorteilen der Kernenergie, wie massive Haftungsbeschränkungen, staatlichen Kreditgarantien und desgleichen mehr, wollen Errichter staatliche Garantien für die Stromabnahme zu Preisen die jenseits des doppelten Marktpreises liegen und das, inflationsangepasst über mehrere Jahrzehnte.

Die vorliegende Betrachtung widmet sich dem Thema Kosten der Kernenergie, um eine erste fachlich fundierte Grundlage für die Diskussion über dieses Thema zu bieten. Die Ergebnisse zeigen, dass die Vorbehalte gegen die Nutzung der Kernenergie aus legitimen Sicherheitsinteressen um den Vorbehalt der Unwirtschaftlichkeit der Kernenergie erweitert werden können. Die Gewinne die Einzelne aus dem Betrieb von KKW ziehen können, dürfen nicht darüber hinwegtäuschen, dass diese und die restlichen nicht durch den Strompreis bezahlten Kosten auf Grund rechtlicher Rahmenbedingungen von der Gesellschaft indirekt getragen werden.

Die Unterstützung einer Technologie, die nicht nur potentiell die Lebengrundlagen von vielen Menschen massiv gefährdet, sondern auch eine volkswirtschaftlich größere Belastung als ihre Alternativen darstellt, muss jedenfalls so schnell wie möglich eingestellt werden.



Mag.^a Dr.ⁱⁿ Andrea Schnattinger

Wiener Umweltschlichterin

Inhalt

ZUSAMMENFASSUNG	4
SUMMARY	6
1 EINLEITUNG	8
2 ÜBERBLICK ÜBER DIE KOSTEN DER KERNENERGIE.....	9
2.1 WICHTIGSTE KOSTENBESTANDTEILE.....	9
2.1.1 <i>Im Preis berücksichtigte Kosten.....</i>	9
2.1.2 <i>Nicht im Preis berücksichtigte Kosten.....</i>	10
2.2 GESAMTKOSTEN: STROMGESTEHUNGSKOSTEN, LCOE.....	12
3 WIE VIEL KOSTET ES, EIN KERNKRAFTWERK ZU BAUEN?.....	13
3.1 ALLGEMEINES	13
3.1.1 <i>Definitionen.....</i>	13
3.1.2 <i>Anteil der Gesamtkosten.....</i>	14
3.1.3 <i>Neubausituation.....</i>	14
3.2 HÖHE UND ENTWICKLUNG DER NEUBAUKOSTEN	15
3.2.1 <i>Höhe der Neubaukosten.....</i>	15
3.2.2 <i>Bauzeit.....</i>	16
3.2.3 <i>Entwicklung der Neubaukosten.....</i>	17
3.3 BEGÜNSTIGUNGEN DES KKW-NEUBAUS	18
3.3.1 <i>Garantierter Abnahmepreis: Beispiel England.....</i>	19
3.3.2 <i>Staatliche Kreditgarantien (Kreditbürgschaften).....</i>	21
3.3.3 <i>Steuererleichterungen.....</i>	21
4 DIE KOSTEN EINES SUPER-GAUS UND IHRE DECKUNG DURCH DIE NUKLEARHAFTUNG	22
4.1 KOSTEN VON SUPER-GAUS	22
4.1.1 <i>Tschernobyl.....</i>	22
4.1.2 <i>Fukushima-Dai-ichi.....</i>	23
4.1.3 <i>Frankreich.....</i>	24
4.1.4 <i>Schlussfolgerungen.....</i>	26
4.2 HAFTUNG FÜR NUKLEARE UNFÄLLE – WELCHE KOSTEN SIND GEDECKT UND WER ZAHLT SIE?	27
4.2.1 <i>Aktuelle Haftungsregelungen.....</i>	27
4.2.2 <i>Aktuelle Haftungssummen laut verschiedener Haftungsregelungen.....</i>	30
4.2.3 <i>Aktuelle Haftungssummen in Europa.....</i>	32
4.2.4 <i>Schlussfolgerung 1: Massive Unterversicherung.....</i>	33
4.2.5 <i>Schlussfolgerung 2: Auswirkung einer Vollversicherung auf den Strompreis.....</i>	34
5 WEITERE KOSTENBESTANDTEILE/EXTERNALISIERTE KOSTEN.....	35
5.1 EXTERNE KOSTEN DER NUKLEAREN BRENNSTOFFKETTE	35
5.2 BRENNSTOFFKOSTEN.....	37
5.2.1 <i>Brennstoffpreisentwicklung.....</i>	37
5.2.2 <i>Kosten für die Brennstoffentsorgung.....</i>	37
5.3 DEKOMMISSIONIERUNGSKOSTEN	39
6 GESAMTKOSTEN DER KERNENERGIE	41
6.1 HÖHE DER AKTUELLEN STROMGESTEHUNGSKOSTEN	41
6.2 SCHLUSSFOLGERUNGEN: DIE WAHREN KOSTEN DER KERNENERGIE.....	42

6.2.1	<i>Einfluss der Baukosten</i>	42
6.2.2	<i>Einfluss einer nuklearen Vollhaftung</i>	43
6.2.3	<i>Einfluss weiterer Faktoren</i>	44
6.2.4	<i>Vergleich mit Strompreisen/Anstieg der Strompreise</i>	45
6.2.5	<i>Fazit</i>	45
7	GLOSSAR	46
8	VERZEICHNISSE	48
8.1	TABELLENVERZEICHNIS	48
8.2	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	49
8.3	LITERATURVERZEICHNIS	50

Zusammenfassung

Die Laufzeiten von vielen Kernkraftwerken weltweit neigen sich in den nächsten Jahren ihrem Ende zu. Staaten müssen deshalb jetzt entscheiden, in welche Richtung sie ihre Energiepolitik lenken wollen – mögliche Optionen sind der Neubau von Kernkraftwerken, die Lebensdauerverlängerung bestehender Reaktoren oder ein Kurswechsel in eine nachhaltige Energiezukunft.

Argumente, die die Kernenergielobby für den KKW-Neubau in Anspruch nimmt, sind vor allem die vermeintlich niedrigen CO₂-Emissionen¹ und die günstigen Kosten der Kernenergie. Die vorliegende Studie widmet sich dem zweiten Thema und geht der Frage nach wie hoch die „wahren Kosten der Kernenergie“ sind.

In der vorliegenden Studie soll der Leserin/dem Leser ein allgemein verständlicher Überblick über die wichtigsten Aspekte des Themenfeldes „Kosten der Kernenergie“ geboten werden, um Hintergründe für eine fundierte Argumentation zu diesem komplexen Thema zu bieten.

Als **erstes Fokusthema** der vorliegenden Studie wurden die **Kosten des Neubaus von KKW** gewählt: Etwa zwei Drittel der Stromgestehungskosten entfallen auf Fixkosten – davon geht der Großteil in den Bau des Kernkraftwerkes inklusive Zinszahlungen (Kapitalkosten) – die Höhe der Baukosten sind also wesentlich für die Gesamtkosten der Kernenergie. Das Thema „nuklearer Neubau“ betrifft zurzeit viele europäische Staaten, die ihren veralteten Kernkraftwerkspark erneuern wollen, z.B. England (Hinkley Point und weitere Neubaupläne), Finnland (Olkiluoto 3), Frankreich (Flamanville 3), Tschechien (Temelin 3/4), Slowakei (Mochovce 3/4) und Rumänien (Cernavoda 3/4). Die Projekte verbindet ein entscheidender Punkt: Probleme mit Kosten oder Finanzierung. Das *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) errechnete zwischen 2003 und 2009 einen jährlichen Anstieg der Baukosten von 15%. Die Baukosten haben sich in diesem Zeitraum von US\$ 2.000 auf 4.000 erhöht, was Gesamtbaukosten von US\$ 4 Mrd. für ein 1.000 MW KKW entspricht. Ein extremes Beispiel für Kosten- und Bauzeitüberschreitungen ist der finnische Reaktor Olkiluoto 3, dessen Fertigstellungsdatum sich mittlerweile von 2009 auf 2014 verschoben hat und dessen Baukosten sich mit € 8,5 Mrd. bereits mehr als verdoppelt haben. Dieser Preis deckt sich mit dem von der Confederation of British Industry im Juli 2013 angekündigten Preis für Hinkley Point von € 16,3 Mrd. für 2 EPR à 1.600 MW - € 5 Mrd. für 1.000 MW.

Potentielle Investoren sind sich der hohen Baukosten und dem damit für sie verbundenem Risiko wohl bewusst: Ohne staatliche Beihilfen wie Kreditgarantien, Steuererleichterungen oder garantierte Abnahmepreise scheint z.Z. in Europa kein Neubau möglich zu sein. In England finden dazu gerade hitzige Diskussionen über einen über Jahrzehnte zugesicherten „Strike Price“ (ein staatlich garantierter Abnahmepreis) als staatliche Förderung von Kernenergie als CO₂-arme Technologie statt, deren Ausgang europäische KKW-Neubauprojekte wesentlich beeinflussen wird.

Das zweite Fokusthema beschäftigt sich mit möglichen **Kosten eines Super-GAU** und der **Einfluss einer nuklearen Vollhaftung auf die Kosten** der Kernenergie. Dieser Fokus bringt folgende Erkenntnisse: Verschiedene Studien ergeben Gesamtkosten für einen Super-GAU mit Summen zwischen 71 und 5.800 Milliarden US-Dollar. Die große Bandbreite zeigt auf, wie unklar die eigentlichen Kosten eines solchen Unfalls sind. Aktuelle Haftungssummen bleiben weit hinter diesen Beträgen zurück und decken nur einen Prozentbruchteil möglicher Schäden. Eine Vollversicherung würde die Stromgestehungskosten in eklatante Höhen treiben – sogar bei einer Ansparzeit von 100 Jahren würden

¹ Die Studie Wallner et al. (2011) „Energiebilanz der Nuklearindustrie“ widmet sich ausführlich dem Thema CO₂-Emissionen der Kernenergie

die Kosten um das 3-50-fache steigen – wenn ein Unfall noch innerhalb der Lebensdauer eines Kernkraftwerkes abgedeckt werden soll wäre eine Kostenerhöhung um das 80-1.300 fache die Konsequenz – ein nuklearer Unfall ist also de facto nicht versicherbar.

Weitere betrachtete Kostenbestandteile sind:

- **Externe Kosten der nuklearen Brennstoffkette:** Umwelt- und Gesundheitsschäden durch Emissionen der nuklearen Brennstoffkette wie dem Uranabbau oder der Endlagerung hochradioaktiver Abfälle werden nur zu einem geringen Teil im Atomstrompreis berücksichtigt. Diese Schäden muss die Allgemeinheit tragen.
- **Kosten für Dekommissionierung und Endlagerung von radioaktiven Abfällen** sollen durch jährliche Rückstellungen in einen Fonds gedeckt werden. Die eingezahlten Beträge werden jedoch über Jahrzehnte abgezinst – sind also viel niedriger als der schlussendlich aufzuwendende Betrag - die spätere Kostendeckung ist ungewiss.
- Weitere Begünstigungen der Kernenergie, die nicht in den Preis einfließen, sind die staatlich finanzierte Forschung zu Kernenergie und der nötige institutionelle Rahmen.

Würden all diese Faktoren berücksichtigt, wäre die Kernenergie unwirtschaftlich. In der folgenden Tabelle wird dargestellt, wie die Steigerung der Baukosten und die theoretischen Kosten einer nuklearen Versicherung die **Stromgestehungskosten** erhöhen würden:

	Stromgestehungskosten [€/kWh]	Quelle
Spanne bisheriger Baukosten	0,018 – 0,079	Thomas et al. (2007)
inkl. gestiegenen Neubaukosten	0,118	MIT (2009)
Zusatzkosten durch Versicherung – unterester Wert der Ergebnisbandbreite bei 100 Jahren Ansparzeitraum: + 0,139 €/kWh	0,26	Günther et al. (2011)
Zusatzkosten durch Versicherung – oberster Wert der Ergebnisbandbreite bei 100 Jahren Ansparzeitraum: + 2,36 €/kWh	2,48	Günther et al. (2011)
Zusatzkosten durch Versicherung – unterster Wert der Ergebnisbandbreite bei 10 Jahren Ansparzeitraum: +3,96 €/kWh	4,08	Günther et al. (2011)
Zusatzkosten durch Versicherung – oberster Wert der Ergebnisbandbreite bei 10 Jahren Ansparzeitraum: + 67,3 €/kWh	67,4	Günther et al. (2011)

Die Ergebnisse zeigen, dass auch wenn nur die erhöhten Baukosten berücksichtigt würden, die Stromgestehungskosten bereits höher wären als der aktuelle Stromverkaufspreis an die österreichische Industrie von ca. 9 €-Cent/kWh.

Die Kernenergie kann nur mit staatlichen Begünstigungen nukleare Neubaubestrebungen umsetzen – zusätzlich zu den vielen Begünstigungen und Sonderregelungen, die sie bereits genießt. Die Kosten der Begünstigungen wie auch Schäden der nuklearen Brennstoffkette an Umwelt und Gesundheit müssen von der Allgemeinheit getragen werden. Investitionen in nuklearen Neubau sind deshalb wirtschaftlich und gesellschaftlich untragbar. Investitionen in eine nachhaltige Energiezukunft sind volkswirtschaftlich besser investiert.

Summary

Worldwide the life times of nuclear power plants are reaching their end in the next few years. States therefore need to decide now, in which direction they intend to stir their country's energy policy; possible options being the construction of new nuclear power plants, life time extension of existing ones or changing the direction towards a sustainable energy future.

Arguments the nuclear power lobby puts forward in favor of new build is on the one hand the claim of nuclear power being low on CO₂ emissions² and secondly being low cost. This paper is looking into the second issue and examines the "real costs of nuclear power".

This paper provides an overview having the general reader on mind to present the most important aspects of "costs of nuclear power" and sound information to feed into the discussion of this complex issue.

The **first part** of this paper focuses on the **costs of nuclear new-build**. Approximately two thirds of electricity generation costs consist of fixed costs, the largest part of which covers the construction of the nuclear power plant including the interest rates (capital costs); the amount of construction costs therefore being crucial for overall costs of nuclear power. The issue of nuclear new-build is currently under discussion in many states in Europe where replacing their aged nuclear power plant fleet is under consideration, e.g. UK (Hinkley Point and further plans for new-builds), Finland (Olkiluoto 3), France (Flamanville 3), Czech Republic (Temelin 3/4), Slovakia (Mochovce 3/4) and Romania (Cernavoda 3/4). Those projects have one crucial point in common: problems with costs or financing. The *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) calculated the annual rise of construction cost having reached 15% between 2003 and 2009. Construction costs rose from 2,000 to 4,000 USD, amounting to total construction costs of US\$ 4 billion for 1,000 MW NPP. A current example of cost and construction time overrun is the Finnish reactor Olkiluoto 3: completion date is postponed from 2009 to 2014 and the construction costs already more than doubled to reach current € 8.5 billion. This price is the very same one announced by the Confederation of British Industry in July 2013 for Hinkley Point: € 16.3 billion for 2 EPR á 1,600 MW - € 5 billion for 1,000 MW.

Potential investors are aware of high construction costs and the high risks connected to those: new-build in Europe seems to be impossible without state aid like credit guarantees, tax relief or guaranteed feed-in tariffs. The UK is currently in the midst of a heated debate about the strike price, a guaranteed minimum price for electricity delivered into the grid for decades ahead as state aid for nuclear energy being a low-carbon technology; the outcome of this will have significant impacts on European new-build projects.

The **second part** of the paper focuses on the possible **costs** of a MCA, the **Maximum Credible Accident** and the **impact of full insurance for nuclear power on the costs** of nuclear energy. This focus delivered the following results: Several studies showed total cost of the MCA to reach the sum between 71 and 5,800 billion USD. This wide range illustrates how unclear the actual costs of such an accident are. Currently used liability sums are way below this value and cover only a fraction of the possible damage. A full insurance would cause the electricity generation costs to skyrocket – even if the accumulation period was 100 years the costs would increase 3 – 50 fold. If an accident would have to be covered

² The paper Wallner et al. (2011) „Energiebilanz der Nuklearindustrie“ in detail researched the issue of nuclear power's CO₂ emissions and contains an English summary.

during the life-time of a nuclear power plant costs would increase 80-1,300 fold however, in reality a nuclear accident can never be covered by insurance.

Further cost components this paper took into consideration:

- **External costs of the nuclear fuel chain:** Damages to the environment and health caused by the emissions of the nuclear fuel chain like the uranium mining or final repository for highly active nuclear waste are reflected only to a very small extent in the price of nuclear electricity. Those damages have to be covered by the general public.
- **Costs for decommissioning and the final repository** for nuclear waste should be covered by the annual provisions made into a fund. The amounts paid into the funds however are discounted over decades and therefore much lower than the sum required in the end – how the costs will be covered at this later point in the future lies in the dark.
- Further benefits for nuclear energy, which the price does not reflect are the state-financed nuclear research and the necessary institutional framework.

If all those factors were taken into account, nuclear power would be uneconomic. The following table explains how the increase in construction costs and theoretical costs for nuclear insurance would raise the **electricity generation costs**:

	Electricity generation costs [€/kWh]	Source
Range of construction costs of NPP already built	0.018 – 0.079	Thomas et al. (2007)
incl. increased costs for new build	0.118	MIT (2009)
Additional costs caused by insurance – lowest value of the range for 100 years accumulation period: + 0.139 €/kWh	0.26	Günther et al. (2011)
Additional costs caused by insurance – highest value of the range for 100 years accumulation period: + 2.36 €/kWh	2.48	Günther et al. (2011)
Additional costs caused by insurance – lowest value of the range for 10 years accumulation period: +3.96 €/kWh	4.08	Günther et al. (2011)
Additional costs caused by insurance – highest value of the range for 10 years accumulation period: + 67.3 €/kWh	67.4	Günther et al. (2011)

Those results show that taking into account the increased construction only, the electricity generation costs would already be higher than the current electricity price of app. € 0.9/kWh for industrial consumers in Austria.

A precondition for any nuclear new-build is state aid – introduced in addition to the wide range of already existing preferential treatments and special regulations in support of nuclear energy. Costs of those subsidies as well as the damages inflicted by the nuclear fuel change on the environment and health, however, the general public has to pay for. Therefore investing in nuclear new-build is not justifiable under the aspects of economics or interest of the society. Investments made into sustainable energy future yield higher benefits to national economy.

1 Einleitung

Die Laufzeiten von vielen Kernkraftwerken weltweit neigen sich in den nächsten Jahren ihrem Ende zu. Staaten müssen deshalb jetzt entscheiden, in welche Richtung sie ihre Energiepolitik lenken wollen – mögliche Optionen sind der Neubau von Kernkraftwerken, die Lebensdauerverlängerung bestehender Reaktoren oder ein Kurswechsel in eine nachhaltige Energiezukunft.

Argumente, die die Kernenergielobby für den KKW-Neubau in Anspruch nimmt sind vor allem die vermeintlich niedrigen CO₂-Emissionen und die günstigen Kosten der Kernenergie. Die vorliegende Studie widmet sich dem zweiten Thema und geht der Frage nach wie hoch die „wahren Kosten der Kernenergie“ sind.³

In der vorliegenden Studie soll der Leserin/dem Leser ein allgemein verständlicher Überblick über die wesentlichen Aspekte des Themenfeldes „Kosten der Kernenergie“ geboten werden, um Hintergründe für eine fundierte Argumentation zu diesem komplexen Thema zu bieten. Dafür wird auf Ergebnisse vorhandener Literatur zurückgegriffen – bei Bedarf wurden außerdem ExpertInnenbefragungen durchgeführt.

Zunächst erfolgt ein Überblick über die Kosten der Kernenergie über den gesamten Lebenszyklus eines Kernkraftwerks bis hin zum Atommülllager (Kapitel 2). Wesentliche Kostenbestandteile – sowohl im Preis inbegriffene als auch nicht inbegriffene - werden identifiziert. Daraus werden zwei Fokusthemen abgeleitet:

Auf die Baukosten als wichtigster inkludierter Kostenbestandteil wird in Kapitel 3 eingegangen. Außerdem wird erklärt, was das Thema Baukosten aktuell zum Gegenstand internationalen Interesses von hoher Brisanz macht.

Nicht in den Kosten berücksichtigt werden üblicherweise schwere Unfälle und ihre Folgen für Mensch und Umwelt. Mit welchen Kosten hier gerechnet werden und in welchem Ausmaß die Haftung der KKW-Betreiber diese deckt, wird in Kapitel 4 untersucht.

Kapitel 5 gibt einen Überblick über andere Kostenbestandteile. In Kapitel 6 werden Schlussfolgerungen aus den Ergebnissen gezogen und die Auswirkungen von wesentlichen Kostenbestandteilen auf Stromkosten und Strompreis abgeschätzt.

³ Die Studie Wallner et al. (2011) „Energiebilanz der Nuklearindustrie“ widmet sich ausführlich dem Thema CO₂-Emissionen der Kernenergie

2 Überblick über die Kosten der Kernenergie

2.1 Wichtigste Kostenbestandteile

In diesem Kapitel werden die einzelnen Kostenbestandteile der Kernenergie betrachtet und jene, die für den Gesamtpreis bestimmend sind, ermittelt. Auf die so identifizierten **wichtigsten Kostenbestandteile** und ihren Einfluss auf die „wahren Kosten der Kernenergie“ soll der **Fokus der vorliegenden Studie** gelegt werden. Andere Kostenbestandteile werden überblickshaft in Kapitel 5 erläutert.

Bei der Gewinnung von Atomstrom fallen unterschiedliche Kosten an: Fixkosten für z.B. den Bau und die Dekommissionierung des KKW und variable Kosten für Betrieb und Brennstoff. Diese Kosten sind im Endpreis des Atomstroms berücksichtigt – andere sind es allerdings nicht. Aus diesem Grund wird im vorliegenden Kapitel zwischen „Im Preis berücksichtigte Kosten“ und „Nicht im Preis berücksichtigte Kosten“ unterschieden.

2.1.1 Im Preis berücksichtigte Kosten

Der Gesamtkosten der Kernenergie setzen sich aus verschiedenen Bestandteilen zusammen, die unterschiedlich stark in den Gesamtpreis einfließen.

Im Folgenden wird eine Übersicht über diese Kosten gegeben und dargestellt, welche preisbestimmend sind:

- Investitionskosten für den Bau inkl. Zinszahlungen während der Bauzeit
- Betriebs- und Instandhaltungskosten (während des Betriebs anfallende Kosten exkl. Brennstoffkosten)
 - fixe Kostenbestandteile (unabhängig von produzierter Strommenge):
 - Instandhaltungs- und Wartungskosten: erhebliche Kostensteigerungen über die Betriebszeit wahrscheinlich
 - Personalkosten
 - Versicherungen, Steuern
 - Variable Kostenbestandteile (ausschließlich abhängig von produzierter Strommenge)
 - z.B. Anschaffungskosten für Betriebsstoffe, variable Wartungskosten
- Brennstoffkosten inklusive Abfallmanagement und -endlagerung
- Dekommissionierungskosten (Abbau KKW = Investitionskosten, die in der Zukunft anfallen)

Tabelle 1: Kostenbestandteile der Kernenergie

Kostenart	Gesamtkostenanteil [%]	
	Lt. Abbildung 1 (Rogner 2012)	Lt. Abbildung 4 (Rogner 2012)
Investitionskosten	~ 56-72%	60%
Brennstoffkosten inkl. Kosten für die Endlagerung	~ 17-26%	20%
Betriebs- und Wartungskosten	~ 10-17%	20%
Stilllegungskosten des KKW	~ < 1%	1-5%

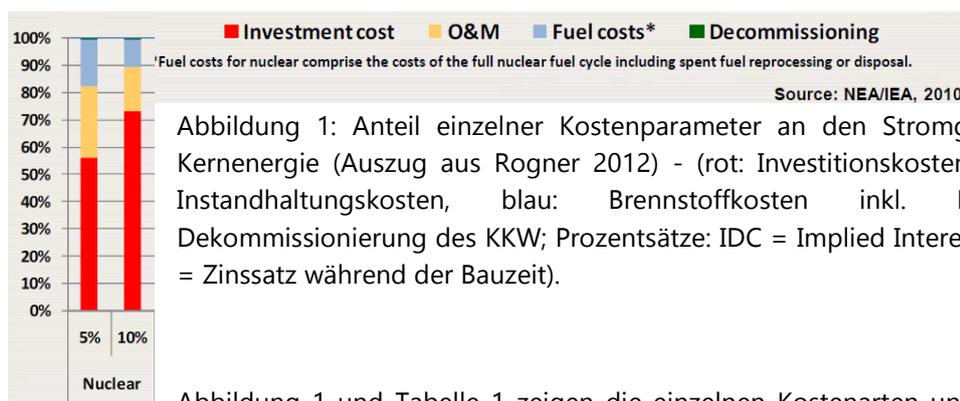


Abbildung 1: Anteil einzelner Kostenparameter an den Stromgestehungskosten der Kernenergie (Auszug aus Rogner 2012) - (rot: Investitionskosten, gelb: Betriebs- und Instandhaltungskosten, blau: Brennstoffkosten inkl. Endlagerung, grün: Dekommissionierung des KKW; Prozentsätze: IDC = Implied Interest during construction = Zinssatz während der Bauzeit).

Abbildung 1 und Tabelle 1 zeigen die einzelnen Kostenarten und ihren Anteil an den Gesamtkosten lt. verschiedener Studien. Aus den Daten geht klar hervor, dass die variablen Kosten von Kernkraftwerken relativ gering im Verhältnis zu den Gesamtkosten sind. Als Faustregel kann man davon ausgehen, dass die **Fixkosten ca. 2/3 der Stromgestehungskosten** ausmachen (Thomas 2005). Wesentlich sind die Investitionskosten des KKW, welche wiederum stark vom verwendeten Zinssatz abhängen (was Abbildung 1 verdeutlicht).

Die Frage der Baukosten ist aktuell ein viel diskutiertes brisantes Thema – es ist deshalb auf die internationale Agenda zurückgekehrt, weil der bestehende weltweite Kernkraftwerkspark stark veraltet ist. Das aktuelle Durchschnittsalter der weltweit in Betrieb befindlichen Reaktoren lag im Mai 2012 bei 27 Jahren. Zum Vergleich: das Durchschnittsalter der 145 abgeschalteten Reaktoren lag bei 24 Jahren – dies verdeutlicht den Neubaubedarf aus Sicht der Nuklearindustrie. Diese Situation ist auf eine große Neubauwelle in den 1970er und 1980er Jahren zurückzuführen, die danach stark abflachte und in den letzten Jahren von der Anzahl an Stilllegungen überschritten wurde (siehe Abbildung 5). (Schneider et al. 2012)

Die **Kosten des Neubaus** wurden aus diesen Gründen als **erstes Fokusthema der vorliegenden Studie** gewählt (siehe Kapitel 3).

2.1.2 Nicht im Preis berücksichtigte Kosten

Seit Beginn der kommerziellen Nutzung der **Kernenergie** nahm diese Energieerzeugungsform eine **Sonderstellung** ein: Als Teil des Manhattan Projektes wurde Kernspaltung zur Erzeugung von Kernwaffen erforscht – mit Staatsgeldern. Nach der „Atoms for Peace“-Rede von US-Präsident Eisenhower 1954 wurden die Ergebnisse dieser Forschung für die nicht-militärische Nutzung weltweit verbreitet. In Folge wurde 1957 die IAEA (International Atomic Energy Agency) gegründet mit dem Ziel den Beitrag der Kernenergie zu Frieden, Gesundheit und Wohlstand weltweit zu beschleunigen und zu vergrößern – in anderen Worten sollte die Verbreitung der kommerziellen (nicht militärischen) Nutzung der Kernenergie vorangetrieben werden. Die IAEA beschäftigt ca. 2.300 Personen und hatte 2012 ein Budget von über 400 Millionen Euro⁴.

Auch die rechtliche Lage der Kernenergie ist außergewöhnlich: Der seit 1957 existierende EURATOM-Vertrag nimmt eine einzigartige rechtliche Stellung in Europa ein und wurde gegründet um zur Entwicklung der Kernenergie in Europa u.a. durch Forschung beizutragen. Forschung und Ausbau der Kernenergie wurden also seit 1957 mit Staatsmitteln vorangetrieben – eine Sonderstellung die keiner

⁴ <http://www.iaea.org/About/budget.html>, Zugriff: 20 Juni 2013

anderen Energieerzeugungsform in diesem Maße eingeräumt wurde. Diese Sonderstellung ermöglicht eine Auslagerung eines Teils der Kosten an den Steuerzahler.

Im Folgenden wird ein Überblick über nicht im Preis berücksichtigten Kosten gegeben:

- **Kosten einer Vollversicherung**
Aktuell müssen Kernkraftwerke nicht für eine Versicherung zahlen, die die Schäden eines auslegungsüberschreitenden Unfalls (Super-GAU) zur Gänze deckt. Im Unglücksfall müssen diese Kosten von den möglichen Geschädigten oder durch den Staat – also ebenfalls durch den Steuerzahler getragen werden.
- **Externe Kosten der nuklearen Brennstoffkette**
Externe Kosten sind Kosten, die nicht vom Verursacher getragen werden – in der Regel muss die Gesellschaft für diese Kosten aufkommen. Bei der Bewertung von Prozessen und Produkten ist die Betrachtung ihrer Umweltauswirkungen über den gesamten Lebenszyklus von zentraler Bedeutung. Im Falle der Nuklearenergie müssen Aspekte wie Umwelt- und Gesundheitsschäden deshalb nicht nur während des KKW-Betriebes, sondern über die gesamte nukleare Brennstoffkette berücksichtigt werden, angefangen vom Uranabbau, über die Anreicherung des Brennstoffes bis hin zur Dekommissionierung des Kraftwerkes und zur Endlagerung der Brennstoffe. Negative Umwelt- und Gesundheitsauswirkungen der nuklearen Brennstoffkette werden nicht in den Stromgestehungskosten berücksichtigt und gehören damit zu den externen Kosten.
- **Abdeckung zu geringer Rücklagen für Dekommissionierung und Endlagerung**
- **Forschung über Kernenergie (EURATOM)**
- **Institutioneller Rahmen der Kernenergie (IAEA, staatliche Aufsichtsbehörden, ...)**
- **Staatliche Förderungen für den Neubau (Kreditgarantien, Steuererleichterungen)**

Den theoretischen Beitrag all dieser ausgelagerten Kosten an den Gesamtkosten der Kernenergie zu berechnen ist teilweise aufgrund der Datenlage, teilweise aufgrund der Vielfalt der Einflussfaktoren äußerst schwierig und würde den Umfang der vorliegenden Studie bei weitem sprengen. Aus diesem Grund soll nur auf jene Kostenbestandteile näher eingegangen werden, die einen wesentlichen Einfluss auf die Gesamtkosten haben und zu denen Daten verfügbar sind.

Hiesl (2012) gibt in diesem Zusammenhang an, dass eine Vollversicherung, die einen auslegungsüberschreitenden Unfall abdeckt (Super-GAU), eine hohe potentielle Auswirkungen auf die Stromkosten habe. Mögliche **Kosten** eines **Super-GAUs** und der **Einfluss einer nuklearen Vollhaftung auf die Kosten** der Kernenergie wurde deshalb als **zweites Fokusthema** der vorliegenden Studie gewählt (siehe Kapitel 4).

Ein Überblick über weitere externe Kosten (z.B. zu geringe Kosten für Dekommissionierung und Endlagerung und externe Kosten der nuklearen Brennstoffkette) wird in Kapitel 5 gegeben.

2.2 Gesamtkosten: Stromgestehungskosten, LCOE

Die einzelnen Kostenbestandteile fließen unterschiedlich stark in die Gesamtkosten der Kernenergie, auch Stromgestehungskosten genannt, ein. Kapitel 6 widmet sich den Gesamtkosten der Kernenergie und dem Einfluss steigender Kostenbestandteile und nicht berücksichtigter Kosten – im Vorfeld sollen hier aber einige für das allgemeine Verständnis nötige Definitionen angeführt werden:

Stromgestehungskosten (engl. generating costs)

Stromgestehungskosten sind jene Kosten, welche für die Energieumwandlung in elektrischen Strom notwendig sind. Sie werden in der Regel in Euro je Megawattstunde [**€/MWh**] angegeben. Mögliche Berechnungsmethode: Jährliche Gesamtkosten für den Betreiber in einem Betriebsjahr bezogen auf die jährlich produzierte Strommenge (z.B. in MW)

Durchschnittliche Stromgestehungskosten (engl. Levelized Energy Costs, Levelized Cost of Electricity, LCOE)

Um die Stromgestehungskosten verschiedener Kraftwerke vergleichbar zu machen, ist es sinnvoll durchschnittliche Stromgestehungskosten über die Lebensdauer eines Kraftwerkes zu errechnen: ÖkoInstitut (1998) beschreibt folgende Berechnungsmethode für die drs. Stromgestehungskosten, die zu einem besseren Verständnis des Begriffs beiträgt:

„Die durchschnittlichen Stromgestehungskosten werden in zwei Schritten bestimmt: Durch Abdiskontierung der Kosten aus den verschiedenen Betriebsjahren auf den Zeitpunkt der Inbetriebnahme des Kraftwerks wird ein Barwert aller Kosten bestimmt. Dieser Barwert wird in einem zweiten Schritt nivelliert, d.h. in eine jährlich konstante Zahlung über den Betrachtungszeitraum umgewandelt. Hierdurch werden finanzmathematisch durchschnittliche jährliche Kosten während des Betriebs ermittelt. Die Stromgestehungskosten ergeben sich aus dem Bezug dieser jährlichen durchschnittlichen Kosten auf die jährlich produzierte Strommenge.“

Man kann die durchschnittlichen Stromgestehungskosten mit folgender Formel berechnen:

$$LCOE = \frac{I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{A_t}{(1+i)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{M_{el}}{(1+i)^t}}$$

LCOE Stromgestehungskosten in Euro/kWh

I_0 Investitionsausgaben in Euro

A_t Jährliche Gesamtkosten in Euro im Jahr t

M_{el} Produzierte Strommenge im jeweiligen Jahr in kWh

i realer kalkulatorischer Zinssatz in %

n wirtschaftliche Nutzungsdauer in Jahren

t Jahr der Nutzungsperiode (1, 2, ...n)

Abbildung 2: Formel für die Berechnung der Stromgestehungskosten (Fraunhofer 2012)⁵

⁵ Anmerkung: Auch die produzierte Strommenge wird in diesem Modell auf den Anfangszeitpunkt abgezinst, weil man ähnlich wie bei der Abzinsung von monetären Werten davon ausgeht, dass zukünftig produzierter Strom weniger Wert ist als aktuell produzierter

3 Wie viel kostet es, ein Kernkraftwerk zu bauen?

3.1 Allgemeines

3.1.1 Definitionen

Üblicherweise werden die Baukosten für ein KKW als sogenannte „**Overnight Costs**“ angegeben: Dies sind jene Kosten, die anfallen würden, wenn das Kernkraftwerk „über Nacht“ gebaut werden würde – also wenn alle Kosten auf einmal bezogen auf das heutige Preisniveau anfallen. In den Overnight Costs sind meistens die Kosten für die erste Bestückung mit Brennelementen enthalten, allerdings nicht die während der Bauzeit anfallenden Zinsen (Bauzeitzinsen) und reale Preissteigerungen. Die Overnight Costs werden meist als Kosten pro kW an installierter Leistung angegeben (Böll 2010). Es gibt keine standardisierte Berechnung der Overnight Costs – manchmal enthalten die Overnight Costs nur die EPC-Kosten (engineering, procurement, construction), in anderen Berechnungen werden auch Kosten wie Grundkosten, Projektmanagement und Lizenzkosten hinzugerechnet (Radovic 2009).

Investitionskosten inkludieren die Overnight Costs und die Bauzeitzinsen (IDC = Implied interest during construction) (IEA/NEA/OECD 2010). Wenn man auch während der Bauzeit anfallenden Zinsen (Kapitalkosten) und Preissteigerungen miteinrechnet, steigen die Baukosten wesentlich – eine Erhöhung des angenommenen Zinssatzes von z.B. 5% auf 10% ergibt eine erhebliche Kostenänderung (siehe Abbildung 1 und siehe Abbildung 3):

Großprojekte wie der Bau eines Kernkraftwerkes werden üblicherweise durch Fremdkapital (Kredite) und Eigenkapital finanziert. Die dafür anfallenden **Zinsen** und sonstigen Kosten bilden die **Kapitalkosten** (Eigen- und Fremdkapitalkosten). Die Kapitalkosten fallen je nach Einstufung der Kreditwürdigkeit des Unternehmens, dem Risiko des Projektes und dem länderspezifischem Risiko sehr unterschiedlich aus. Wenn das Risiko von Zahlungsausfällen als gering eingestuft wird, z.B. durch staatliche Garantien, sinken die Kapitalkosten. (Böll 2010, S. 81-82) Die Risikoeinstufung ist bei Kernkraftwerken von besonderer Bedeutung, da bei hohen Risikozinsen der Bau für Investoren schnell wirtschaftlich nicht lohnenswert wird (siehe Kapitel 3.3.2).

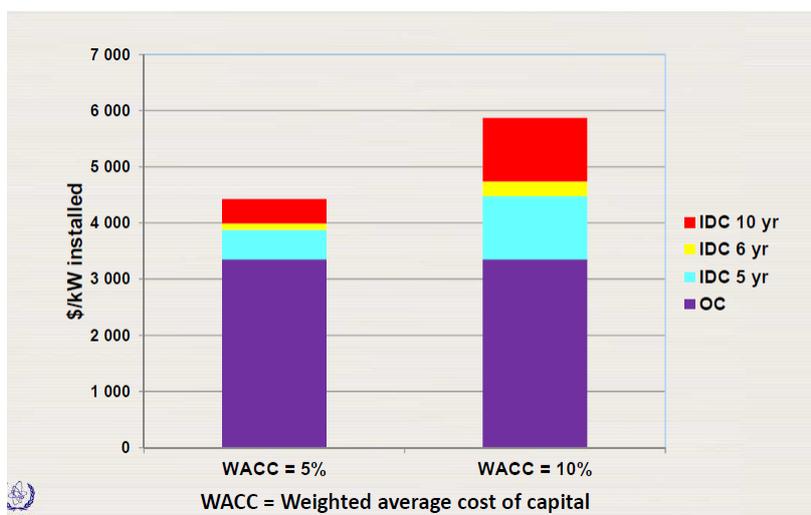


Abbildung 3: Abhängigkeit der Baukosten von Zinsrate und Bauzeit – OC = Overnight Costs, IDC = Interest during Construction (Bauzinsen) (Rogner 2012)

3.1.2 Anteil der Gesamtkosten

Die Investitionskosten sind wesentlich für die Gesamtkosten des KKW: Je nach gewählten Annahmen und Berechnungsmethoden machen sie zwischen der Hälfte und zwei Drittel der Gesamtkosten aus (siehe Abbildung 1, Abbildung 4 und Abbildung 10). Die Angaben verschiedener Studien gehen allerdings weit auseinander.

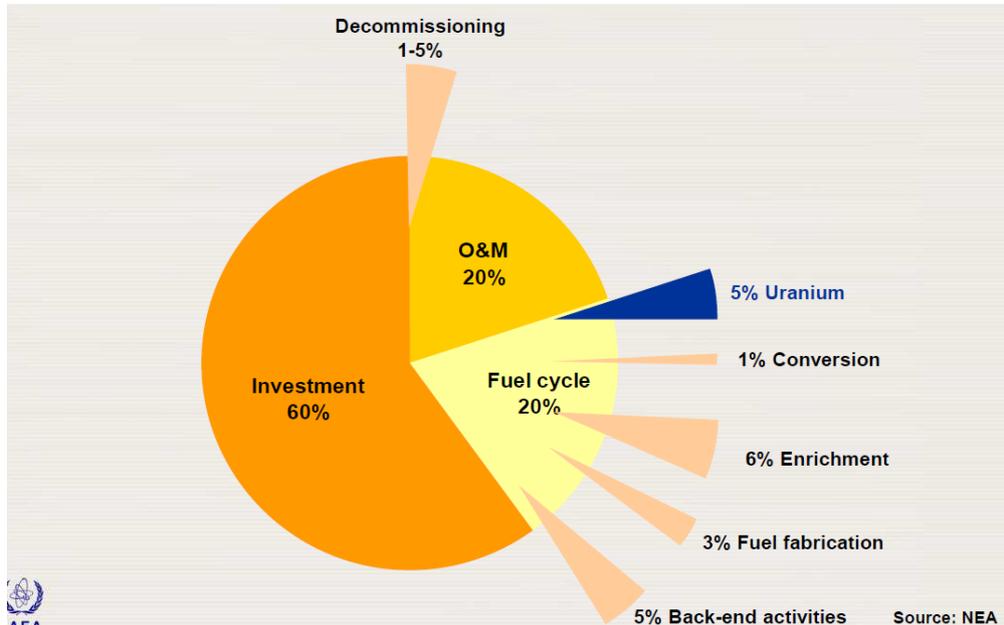


Abbildung 4: Verteilung der Gesamtkosten der nuklearen Energieerzeugung (Rogner 2012)

Als Faustregel kann man annehmen, dass *etwa zwei Drittel* der Gesamtkosten auf **Fixkosten** entfallen. Davon geht der **Großteil** in den **Bau** des Kernkraftwerkes – beziehungsweise die entsprechenden Raten- und Zinszahlungen – ein kleinerer Teil geht – zumindest rechnerisch – in die Dekommissionierung des Kernkraftwerkes (siehe dazu Erläuterungen in Kapitel 5). Die Betriebs- und Treibstoffkosten von Kernkraftwerken sind also relativ gering im Verhältnis zu den Fixkosten. (Thomas 2010)

Dadurch entsteht die **paradoxe Situation**, dass sobald ein Kernkraftwerk fertig gebaut wurde es ökonomisch mehr Sinn macht das KKW weiterzubetreiben um die Baukosten zu amortisieren – auch wenn preisgünstigere alternative Energiegewinnungsformen zur Verfügung stehen. (Thomas 2010)

3.1.3 Neubausituation

Abbildung 5 zeigt warum das Thema „Nuklearer Neubau“ zurzeit topaktuell ist: Seit Beginn der kommerziellen Nutzung der Kernenergie gab es zwei nukleare Hauptbauwellen: eine Mitte der 1970er und eine Mitte der 80er Jahre. Bis 2002 wurden beinahe jedes Jahr mehr Reaktoren in Betrieb genommen als vom Netz genommen. Nach 2002 kehrte sich dieser Trend um: Die **Reaktoren** der zwei Hauptbauwellen erreichen nun nach und nach das **Ende ihrer Lebensdauer**. Die betroffenen Staaten haben folgende Optionen um die installierte Kapazität aufrechtzuerhalten: der Neubau von Reaktoren, die Lebensdauererlängerung von Kernkraftwerken und die Lenkung ihrer Energiepolitik in eine alternative, kernenergiefreie Richtung.

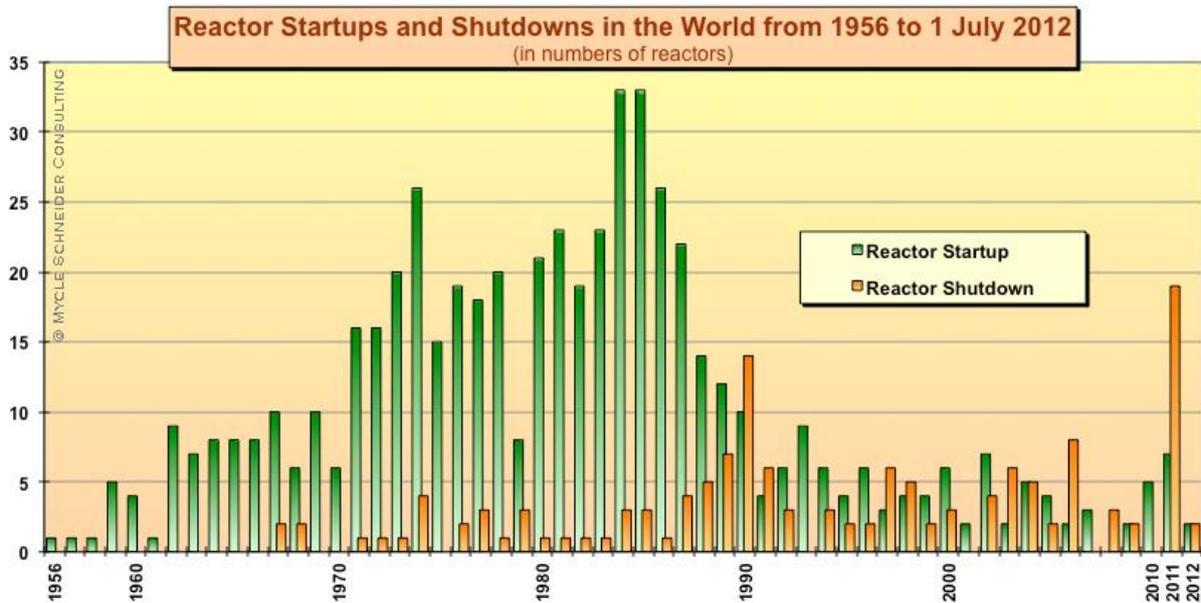


Abbildung 5: Reaktor-Inbetriebnahmen vs. Reaktor-Stilllegungen weltweit 1956-2012 (Schneider et al. 2012 basierend auf Daten von IAEA-PRIS)

Die Kernenergielobby wittert in diesem möglichen Neubauboom ihre Chance auf lukrative Aufträge – der Neubau ist aber wesentlich teurer und schwieriger geworden als dies in den 1970er Jahren der Fall war. Im folgenden Kapitel wird die Entwicklung der Neubaukosten dargestellt – darauf aufbauend werden Versuche von Staaten und der Kernenergielobby erläutert trotz hoher, riskanter Investitionskosten einen Neubau zu ermöglichen.

3.2 Höhe und Entwicklung der Neubaukosten

3.2.1 Höhe der Neubaukosten

Verschiedene Angaben zu Kosten von Kernkraftwerken sind **nur schwer vergleichbar**, da Kostenschätzungen meist auf verschiedenen Kostendefinitionen, Annahmen und Zielsetzungen beruhen. Zum Beispiel werden in den Overnight Costs im Gegensatz zu den Investitionskosten Kostenüberschreitungen nicht berücksichtigt. Außerdem sind die unterschiedlichen Kostendefinitionen nicht standardisiert. Auch der angenommene **Zinssatz** hat großen Einfluss auf die errechneten Kosten (siehe Abbildung 1). Die Höhe des Zinssatzes wird u.a. durch die Einschätzung des Investmentrisikos bestimmt – langfristig festgelegte Abnahmegarantien können die Risikowahrnehmung und dadurch den Zinssatz niedrig halten.

Für Außenstehende ist es aufgrund dieser **intransparenten Schätzungen** fast unmöglich verschiedene Kosten vergleichen zu können. Betreiber können die Zahlen manipulieren um ihren Bedürfnissen zu entsprechen.

Ein anschauliches Beispiel hierfür wurde in einer Studie des MIT⁶ aus 2009 berechnet: Die Studie vergleicht zwei Kostenangebote für US-Kernreaktoren – die sich in ihrer Ursprungsform um den Faktor 3

⁶ Massachusetts Institute of Technology

unterscheiden. Wenn man die Kostenschätzungen allerdings auf dieselbe Berechnungsmethode hinunterbricht stellt sich erstaunlicherweise heraus, dass die Kosten der angebotenen Reaktoren beinahe gleich hoch sind (\$ 3.480/kW vs. \$ 3.530 kW). (Du/Parsons 2009)

Trotz den großen Unterschieden in den Kostenschätzungen ist eines klar – Kernkraftwerke sind teuer. Hierzu einige Zahlen:

- Du/Parsons (2009) geben die Overnight Costs 2007 für einige angebotene US Kernkraftwerke zwischen **2.930 und 7.745 US\$/kW** an. Die Overnight Costs aus tatsächlich gebauten KKW in Japan und Korea zwischen 2004-2006 werden mit 2.759 bis 3.357 \$/kW angegeben.
- Die Overnightcosts werden für 2007 mit 4.000 US\$/kW im MIT-Basiszenario angegeben (Du/Parsons 2009, S. 41) – für **2013** werden Overnight Costs von **4.776 US\$/kWh errechnet** für ein 1000 MW KKW ergibt das also Overnight Costs von **4,8 Milliarden US\$ (ca. € 3,6 Mrd)**⁷.
- Die OECD gibt folgende Zahlen zu Neubaukosten an – der große Unterschied zwischen Overnight Costs und Investment Costs (Investitionskosten) wird deutlich:

Country	Technology	Net capacity	Overnight costs ¹	Investment costs ²	
				5%	10%
		MWe	USD/kWe	USD/kWe	
Belgium	EPR-1600	1 600	5 383	6 185	7 117
Czech Rep.	PWR	1 150	5 858	6 392	6 971
France*	EPR	1 630	3 860	4 483	5 219
Germany	PWR	1 600	4 102	4 599	5 022
Hungary	PWR	1 120	5 198	5 632	6 113
Japan	ABWR	1 330	3 009	3 430	3 940
Korea	OPR-1000	954	1 876	2 098	2 340
	APR-1400	1 343	1 556	1 751	1 964
Netherlands	PWR	1 650	5 105	5 709	6 383
Slovak Rep.	VVER 440/ V213	954	4 261	4 874	5 580
Switzerland	PWR	1 600	5 863	6 988	8 334
	PWR	1 530	3 681	4 327	5 098
United States	Advanced Gen III+	1 350	3 382	3 814	4 296
NON-OECD MEMBERS					
Brazil	PWR	1 405	3 798	4 703	5 813
China	CPR-1000	1 000	1 763	1 946	2 145
	CPR-1000	1 000	1 748	1 931	2 128
	AP-1000	1 250	2 302	2 542	2 802
Russia	VVER-1150	1 070	2 933	3 238	3 574
INDUSTRY CONTRIBUTION					
EPRI	APWR, ABWR	1 400	2 970	3 319	3 714
Eurelectric	EPR-1600	1 600	4 724	5 575	6 592

Abbildung 6: Übersicht über Neubaukosten (IEA/NEA/OECD 2010, S. 59)⁸

3.2.2 Bauzeit

Radovic (2009) hat die Bauzeit aller bisher kommerziell betriebenen Reaktoren untersucht und kommt zum Schluss, dass die durchschnittliche Bauzeit **6,9 Jahre** beträgt (mit einer Standardabweichung von 3,34 Jahren). Besonders aktuelle Projekte überschreiten diese durchschnittliche Bauzeit jedoch erheblich.

⁷ Anmerkung aus xls der Studie Du/Parsons (2009) = Basis für MIT (2009): „Example assumes a total EPC overnight cost of \$3,333, an inflation rate of 3%, a 20% factor for owner's cost and an allowed capital recovery charge of 11.5%.“

⁸ Overnight costs include pre-construction (owner's), construction (engineering, procurement and construction) and contingency costs, but not interest during construction (IDC).

Investment costs include overnight costs as well as the implied interest during construction (IDC).

Diese durchschnittliche Bauzeit ist allerdings erheblichen Schwankungen unterworfen: Abbildung 7 zeigt ein stetes Ansteigen der Bauzeit seit den 1950er Jahren. Während in den ersten Jahrzehnten der kommerziellen Kernenergienutzung Bauzeiten untereinander noch sehr homogen waren, werden die Schwankungen zwischen unterschiedlichen Ländern seit den 1990ern immer größer. Während Japan, Südkorea und China in den letzten zwei Jahrzehnten Bauzeiten von 4,4 – 4,6 bzw. 5,8 Jahren nachweisen können, eskalieren Bauzeiten in anderen Teilen der Welt mit Dauern **über 10 Jahren**. (Schneider et al. 2012)

Überschreitungen in der Bauzeit führen durch die nötigen Zinszahlungen notgedrungen auch zu einer Überschreitung der geplanten Kosten.

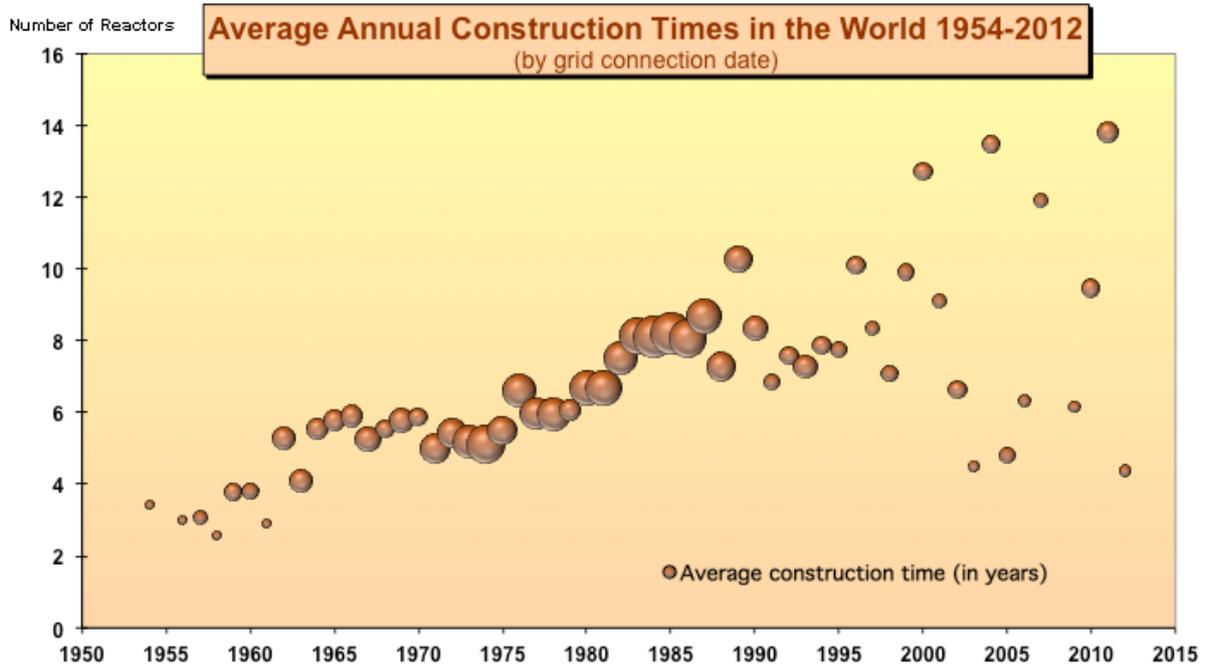


Abbildung 7: Entwicklung der durchschnittlichen Bauzeit 1954-2012 (Schneider et al. 2012)

3.2.3 Entwicklung der Neubaukosten

Nur wenige nukleare Bauprojekte werden innerhalb der geplanten Kosten- und Zeitlimits fertiggestellt – viele überschreiten ihre geplanten Kosten und Bauzeit um ein Vielfaches (Greenpeace 2013). Im letzten Jahrzehnt sind die Baukosten für KKW um ein Vielfaches, teilweise sogar um mehr als den Faktor fünf gestiegen (Böll 2010).

Das Massachusetts Institute of Technology errechnete einen **Anstieg der Baukosten von 15 % pro Jahr (MIT 2009 als Update von MIT 2003)**. Die im Basisszenario errechneten Overnight Costs haben sich in diesem Vergleich von **2.000 auf 4.000 US\$/kW** erhöht. (MIT 2009)

Die Nuklearindustrie hat in der Vergangenheit immer wieder in Zukunft günstigere Preise durch **Lerneffekte** angekündigt, diese sind in der Praxis jedoch **nicht eingetreten**. Gründe hierfür sind z.B. eine sukzessive Verschärfung der Sicherheitsvorschriften und stark abnehmende Stückzahlen an in Auftrag gegebenen Kernkraftwerken (siehe Abbildung 5 und dazugehörige Erklärung) (Biermayr/Haas 2008). Es trifft also voraussichtlich nicht zu, dass eine Massenproduktion große ökonomische Vorteile mit sich bringt (Böll 2010, S. 77/7). Ganz im Gegenteil – die Kernenergie zeigt eine negative Lernkurve: Im letzten Jahrzehnt haben sich die Kostenschätzungen für den Neubau von KKW verfünffacht (Thomas 2010, S. 8).

3.2.3.1 Olkiluoto

Kostenüberschreitungen gelten besonders für Reaktoren der sogenannten Generation III+⁹: Zur Jahrtausendwende, als diese neue Reaktorgeneration erstmals beworben wurde, wurden die Kosten **ursprünglich auf** US\$ 1.000/MW **geschätzt**, also **einer Milliarde US-Dollar** für ein 1.000 MW KKW.

Ein Beispiel für die **extreme Kosten- und Bauzeitüberschreitungen** ist Areva's EPR-Reaktor-Bauprojekt in Olkiluoto, Finnland. Der EPR (European Pressurized Reactor) war eines der ersten Bauprojekte der Generation III+. Bereits seit Projektbeginn im Jahr 2004 gibt es Probleme wie zum Beispiel die Stärke des Betons, Schweißnahtqualität, mangelnde Erfahrung des Lieferanten und eine schlechte Kontrolle über Werkvertragsnehmer. Und die Probleme scheinen kein Ende zu nehmen – das erwartete **Fertigstellungsdatum** wurde mittlerweile **von 2009 auf 2016¹⁰ verschoben**. Die Baukosten haben sich von der Originalschätzung von 3,2 Mrd. Euro auf 8,5 Mrd. Euro bereits mehr als verdoppelt. (Status: Dez. 2012¹¹)

Dieser Preis deckt sich mit dem von der Confederation of British Industry im Juli 2013 angekündigten Preis für Hinkley Point von € 16,3 Mrd. für 2 EPR à 1.600 MW - € 5 Mrd. für 1.000 MW.¹²

Finnlands KKW Olkiluoto wurde 2003 unter einem so genannten "Turnkey" Vertrag abgeschlossen, das heißt der Anbieter das heißt, Areva hat sich bereit erklärt zu einem zu Beginn festgesetzten Preis alle (inklusive noch nicht absehbarer) Arbeiten bis zu schlüsselfertigen Übergabe auszuführen bzw. auf eigene Kosten ausführen zu lassen. Das Unterfertigen eines solchen Vertrages wird von Investoren in den meisten Fällen als zu riskant eingestuft, da sie sich möglicher erheblicher Kostenüberschreitungen sehr wohl bewusst sind. (Schneider et al. 2011) TVO und Areva weisen sich gegenseitig Schuld an den Verzögerungen zu und streiten sich mittlerweile seit 2008 vor einem Schlichtungsgericht: Areva hatte im Mai 2011 1,9 Mrd. Euro von TVO gefordert, TVO forderte im Gegenzug im Oktober 2012 1,8 Mrd. Euro Schadensersatz von Areva.¹³

Das französische EPR-Gegenstück zu Olkiluoto wird in Flamanville errichtet. Die Lage dort sieht nicht besser aus – der Bau begann 2007 und hätte ursprünglich 2012 abgeschlossen werden sollen, ist aber mittlerweile um Jahre verzögert.

3.3 Begünstigungen des KKW-Neubaus

Wie Kapitel 3.2 gezeigt hat, braucht es enorme Geldmengen um ein Kernkraftwerk zu bauen, die noch dazu stetig ansteigen. Das Argument, dass Kernenergie wirtschaftlicher sei als Erneuerbare ist nur schwer aufrecht zu halten. (Schneider et al. 2011)

Wesentlich zu den hohen Kosten trägt der Umstand bei, dass Finanzinstitute Kernenergie mittlerweile als riskantes Investment einstufen – dadurch steigen Kreditzinsen und die Gesamtkosten. Aktuelle Neubaubestrebungen sind europaweit von Kostenproblemen geprägt – verschiedene Begünstigungen

⁹ Generation III+-Reaktoren werben mit gegenüber Generation III Reaktoren (bestehende moderne Reaktoren) verbesserter Sicherheit

¹⁰ http://www.world-nuclear-news.org/NN-TVO_prepares_for_further_Olkiluoto_3_delay-1102134.html, Zugriff: 1. Juli 2013

¹¹ <http://www.reuters.com/article/2012/12/03/us-edf-nuclear-flamanville-idUSBRE8B214620121203>, Zugriff: 1. Juli 2013

¹² <http://www.euractiv.com/energy/uk-cbi-tells-brussels-us-nuclear-news-529006>, Zugriff: 5. Juli 2013

¹³ <http://www.handelsblatt.com/unternehmen/industrie/finnischer-versorger-tvo-fordert-1-8-milliarden-euro-von-areva/7204410.html>, Zugriff: 1. Juli 2013

für den Neubau von Kernkraftwerken sind ein Versuch der Nuklearlobby dieses Finanzproblem auf andere abzuwälzen. Das folgende Kapitel gibt einen Überblick über solche Begünstigungen.

3.3.1 Garantierter Abnahmepreis: Beispiel England

In Großbritannien sind zurzeit Entwicklungen im Gange, die europäische Neubauprojekte wesentlich beeinflussen werden. Die Rede ist vom sogenannten „Contract for Difference“ (CfD, Differenzkontrakt). Hinter diesem finanzwirtschaftlichen Term versteckt sich der Versuch einen garantierten Stromabnahmepreis (Strike Price) unter einem langfristigen Vertrag für nukleare Investoren zu ermöglichen um den Neubau von KKW für sie rentabel zu machen.

Zuerst ein kurzer historischer Abriss, um die Hintergründe verständlich zu machen, die zu dieser Entwicklung geführt haben:

- **2006** gab die britische Regierung in Anbetracht ihres stark alternden Kernkraftwerksparks bekannt ein **nukleares Neubauprogramm** starten zu wollen. Dieses Programm sollte durch Marktkräfte bestimmt werden – **staatliche Beihilfen** wurden dezidiert **ausgeschlossen**.
- **2007** initiierte die Regierung ein „**Generic Design Assessment**“ (GDA) in der eine umfassende Analyse bestimmter Reaktordesigns durchgeführt werden sollte um nicht standortspezifische Merkmale potentieller Reaktoren für den Neubau im Vorfeld zu prüfen. Ins Rennen gingen Arevas EPR, der AP1000 von Toshiba/Westinghouse, der ESBWR von Hitachi-GE und der ACR1000 von AECL. Der Bau der Reaktoren sollte an bereits bestehenden KKW-Standorten stattfinden.
- **2010** gab die britische Regierung bekannt, dass eine Reform des Elektrizitätsmarktes nötig sein wird, um die Versorgungssicherheit weiterhin gewährleisten zu können. Die Möglichkeit von **Subventionen** für Kernenergie wurde ab diesem Zeitpunkt **nicht mehr** völlig **ausgeschlossen**.
- **2011** veröffentlichte die Regierung ein White Paper über die Reform des Elektrizitätsmarktes – unter anderem wurde festgelegt a) einen **CO₂-Mindestpreis** (Carbon Floor Price) festzulegen und b) **langfristige Verträge** abzuschließen (**Einspeisetarife mit Differenzkontrakt**) um Investoren für CO₂-arme Technologien anzulocken. Im White Paper wird davon ausgegangen, dass der CO₂-Mindestpreis bis 2020 auf € 36 pro Tonne angestiegen sein wird – was einerseits genau dem Wert entspricht, der als Schwelle für die Wirtschaftlichkeit der Kernenergie kalkuliert wurde - andererseits ist 2020 das Jahr in dem das erste neue britische KKW online gehen sollten. Die Bedingungen waren also für eine Förderung der Kernenergie maßgeschneidert.
- Ende **2011** verblieb **nur mehr einer der** vier potentiellen **Anbieter**. EDF (Areva's EPR Reaktor). Die Reaktoren ACR1000 und ESBWR wurden zurückgezogen. Westinghouse-Toshibas Reaktor AP 1000 bekam zwar Ende 2011 von der britischen Aufsichtsbehörde ONR (Office for Nuclear Regulation) die Interim Design Acceptance Confirmation (IDAC), wollte aber nur am Projekt weiterarbeiten, wenn sie als bevorzugter Anbieter ausgewählt würden. Das Ziel einer Bestimmung durch Marktkräfte ist in einer solchen Situation nicht möglich.
- **2013** wurde die Umweltverträglichkeitsprüfung über das erste britische Neubauprojekt, die Errichtung von zwei EPR-Reaktoren durch EDF am Standort Hinkley Point, abgeschlossen. Der britische Staatssekretär für Energie und Klimawandel hat im März 2013 eine **positive Entscheidung über den Genehmigungsantrag** betreffend das KKW Hinkley Point C getroffen.

Diesem Entschluss folgten **intensive Verhandlungen zwischen EDF und der britischen Regierung** über die Höhe des **Strike Price**. Unter dem **Contract for Difference** (CfD) Mechanismus werden staatliche Zahlungen verwendet, um das Einkommen des nuklearen Energielieferanten zu sichern, wenn der Strompreis unter einen bestimmten im Vorfeld festgelegten Preis fällt (Strike Price). Der Staat zahlt

bei einem Fallen des Strommarktpreises unter den vereinbarten Strike Price also die Differenz an den Stromerzeuger. Wenn der Strommarktpreis hingegen über den Strike Price ansteigt muss der Stromerzeuger den Überschuss an den Staat abgeben. EDF besteht auf diesen Strike Price um das hohe Investment in das Projekt von ca. 14 Mrd. Pfund abzusichern. Durch den CfD garantiert der Staat dem Stromerzeuger also einen fixen Strompreis.

Thema der harten Verhandlungen zwischen EDF und der britischen Regierung ist vor allem die Höhe des Strike Price, dem entscheidende Bedeutung zukommt. Da die Kernkraftwerke frühestens 2020 in Betrieb gehen sollen muss heute entschieden werden, welcher Preis 2020 vom Staat garantiert werden soll. Eine solche Abschätzung ist bei sich ständig ändernden wirtschaftlichen Bedingungen (siehe Wirtschaftskrise) nur äußerst schwer möglich auch wenn Preisgleitklauseln bestimmte Änderungen wie z.B. Inflation abdecken sollen (die Details der Preisgleitklauseln sind der zweite Hauptdiskussionspunkt). Es ist unwahrscheinlich, dass die Regierung auf die immensen Forderungen von EDF eingeht: ein beinahe 40 Jahre geltender Vertrag und ein Strike Price von fast £ 100/MWh¹⁴.

Sollten die Forderungen von EDF, die voraussichtlich über dem Marktpreis liegen werden, durchgehen, würde EDF staatliche Förderungen über viele Jahrzehnte zugesichert bekommen, die höchstwahrscheinlich über jene von Erneuerbaren liegen werden. Es wird davon ausgegangen, dass EDF einen Strike Price von mindestens 95 Pfund pro MWh fordert.¹⁵

Ende **Juni 2013** gab die britische Regierung bekannt, eine **staatliche Kreditgarantie** von bis zu **10 Milliarden Pfund** für das Projekt Hinkley Point bereitstellen zu wollen.¹⁶ Diese Kreditgarantie ermöglicht wesentlich geringer Bauzinsen des Projektes und senkt die Baukosten bedeutend. Eine Einigung über den Strike Price scheint vor dem Hintergrund bereits reduzierter Baukosten wahrscheinlicher (siehe Kapitel 3.3.2). Diese Entscheidung bestätigt den starken Fokus der britischen Regierung auf Kernenergie. Andere Länder warten die Entwicklungen in England ab um bei einem positiven Ausgang das Feld für ein Einführen desselben Systems im eigenen Land bereitet zu haben. So hat z.B. der tschechische Industrieminister im April 2013 verkündet, dass sich der Plan die neuen Temelin-Blöcke 2025 in Betrieb zu nehmen wahrscheinlich verzögern wird, da man die zusätzliche Kapazität erst 2030 brauche. Der aktuelle Strompreis ist zu niedrig als dass sich die Baukosten für CEZ rechnen würden – deshalb wird abgewartet.

Die Europäische Kommission steht den Plänen europäischer Länder wie Großbritannien, Bulgarien, Tschechien und Finnland die Energiegewinnung aus KKW durch staatliche Beihilfen zu unterstützen durchaus positiv gegenüber:

Die EC veröffentlichte in diesem Zusammenhang im März 2013 ein Konsultationspapier unter dem Titel „Environmental and Energy Aid Guidelines 2014-2020“, in dem u.a. angeregt wird Kernenergie als CO₂-arme Technologie für staatliche Beihilfen zuzulassen.¹⁷

Dieses Papier stieß in der Konsultationsphase auf großen Widerstand – da eventuellen CO₂-Einsparungen wesentliche Probleme der Kernenergie gegenüberstehen wie z.B. die ungelöste

¹⁴ <http://realfeed-intariffs.blogspot.co.uk/2013/06/will-edf-get-inflation-proofed-deal.html>, Zugriff: 21. Juni 2013

¹⁵ <http://www.bloomberg.com/news/2013-06-27/u-k-s-nuclear-plan-advances-with-15-billion-treasury-backing.html>, Zugriff: 2. Juli 2013

¹⁶ <http://www.bloomberg.com/news/2013-06-27/u-k-s-nuclear-plan-advances-with-15-billion-treasury-backing.html>, Zugriff: 2. Juli 2013

¹⁷ In Paragraph 48 des Konsultationspapiers wird angeführt, dass einige Mitgliedsstaaten die Förderung von Nuklearenergie vor dem Hintergrund von Versorgungssicherheit und möglicher CO₂-Einsparungen in Erwägung ziehen. In Paragraph 51 wird ergänzt, dass dieser Wunsch einiger Mitgliedsstaaten staatliche Unterstützung auch auf andere Energieerzeugungsformen mit niedrigem CO₂-Ausstoß auszuweiten eine vertiefte Diskussion rechtfertigt.

Endlagerung hochradioaktiver Abfälle und das nach wie vor nicht auszuschließendes Restrisiko schwerer nuklearer Unfälle. Prinzipiell sollten staatliche Beihilfen für Kernenergie nicht möglich sein, da der Vertrag über die Arbeitsweise der Europäischen Union in Artikel 107 Abs. 1 festlegt, dass staatliche oder aus staatlichen Mitteln gewährte Beihilfen gleich welcher Art, die durch die Begünstigung bestimmter Unternehmen oder Produktionszweige den Wettbewerb verfälschen oder zu verfälschen drohen, mit dem Binnenmarkt unvereinbar sind, soweit sie den Handel zwischen Mitgliedstaaten beeinträchtigen.

3.3.2 Staatliche Kreditgarantien (Kreditbürgschaften)

Eine Möglichkeit um die Fremdkapitalkosten im KKW-Bau zu verringern sind staatliche Kreditgarantien. Wenn die Baufirma in Zahlungsverzug gerät, übernimmt der Staat die Kreditausfälle. Durch diese Kreditabsicherung entsteht für den Kreditgeber nur ein sehr geringes Kreditausfallrisiko, dadurch können sehr niedrige Kreditzinsen vereinbart werden. Da Kreditzinsen ein wesentlicher Anteil der Baukosten sind, ist eine solche staatliche Kreditgarantie ein erheblicher Vorteil für Baufirmen. Im Endeffekt heißt das, dass das **finanzielle Risiko auf die Steuerzahler abgewälzt** wird. (Schneider et al. 2011)

Die Kredite für das in Bau befindliche finnische KKW **Olkiluoto** wurden zum Teil durch solche staatlichen Kreditgarantien durch die französische und schwedische Regierung abgesichert, was zu sehr niedrigen Kreditzinsen (2,6%) führte. Diese Kreditsicherung wurde als unfaire Staatshilfe bezeichnet – die Europäische Kommission gab der Kritik allerdings nicht Recht, da der Kreditnehmer eine Gebühr für die Kreditgarantie gezahlt hatte. Wie hoch diese Gebühr tatsächlich war wurde nicht öffentlich gemacht – es kann daher nicht festgestellt werden, ob die Gebühr tatsächlich in einer Höhe lag, die der staatlichen Risikoübernahme durch Kreditgarantie entspricht. Die mangelnde Transparenz in Anbetracht der Gebührenhöhe stellt dies allerdings in Zweifel. (Schneider et al. 2011)

3.3.3 Steuererleichterungen

Eine andere Möglichkeit die Kernenergie zu subventionieren sind Steuererleichterungen. 2003 wurde z.B. in den USA vorgeschlagen, eine Steuererleichterung für Kernenergie von **18 US\$/MWh** (0,018 US\$/kWh) zu gewähren um den von den neuen KKW erzeugten Strom konkurrenzfähig mit dem Strom aus anderen Energiequellen zu machen. (Böll 2010, S. 95)

Die bisherigen Bestrebungen den nuklearen Neubau in den USA anzuregen trugen bisher allerdings nur sehr spärliche Früchte: Im Jahr 2015 werden mehr als 40 % der Reaktoren mehr als 40 Jahre in Betrieb sein und haben damit ihre ursprünglich geplante Lebenszeit überschritten (Schneider et al. 2012). Im Jahr 2012 befanden sich lediglich drei Reaktoren in Bau – bei weitem nicht genug um die bevorstehenden Abschaltungen auszugleichen.¹⁸ Als billigere Alternative zum Neubau wird bei einem Großteil der Reaktoren die Lebensdauer auf 60 Jahre verlängert – die Auswirkungen auf die Sicherheit der Lebensdauerverlängerung sind umstritten.

¹⁸ <http://www.iaea.org/pris/CountryStatistics/CountryDetails.aspx?current=US>, Zugriff: 1. Juli 2013

4 Die Kosten eines Super-GAUs und ihre Deckung durch die Nuklearhaftung

Die beiden bisher größten Unfälle in Kernkraftwerken fanden 1986 in Tschernobyl (Ukraine) und 2011 in Fukushima (Japan) statt. Diese beiden sogenannten Super-GAUs – bewirkten einen massiven Austritt von Radioaktivität aus den zerstörten Reaktoren und eine langfristige Schädigung von Menschen und Umwelt und damit auch der Wirtschaft und des politischen Systems.

Das vorliegende Kapitel beschreibt zuerst die mögliche Höhe der Kosten eines solchen Super-GAUs. Diese Kosten werden danach mit den aktuell geltenden Haftungssummen für die nuklearen Betreiber verglichen um zu überprüfen inwiefern sie einen maximalen Schaden abdecken könnten.

4.1 Kosten von Super-GAUs

4.1.1 Tschernobyl

Durch den Super-GAU in Tschernobyl 1986 waren etwa 9 Millionen Menschen, darunter 3 Millionen Kinder, betroffen. Der Wert eines Menschenlebens und das entstandene Leid können nicht mit Geld aufgewogen werden – die monetäre Bewertung ist dementsprechend schwierig. Der folgende Überblick über zum Teil monetäre bewertete Langzeitfolgen gibt allerdings einen Einblick wie weitreichend die Folgen eines Super-GAUs sein können.

Sowohl die Ukraine als auch Weißrussland, beide damals noch Teil der Sowjetunion, mussten in Folge eigene Ministerien einrichten, um die Katastrophe managen zu können. Beide Staaten und auch Russland verloren nach Angaben der WHO¹⁹ 784.320 ha ihrer landwirtschaftlichen Fläche und 694.200 ha ihres Waldes für die wirtschaftliche Nutzung²⁰. Landwirtschaftliche und weiterverarbeitende Betriebe ebenso wie Betriebe, deren Rohstoffe (Holz, Mineralien etc.) kontaminiert wurden, mussten geschlossen werden.

Das Chernobyl-Forum, eine Initiative internationaler Organisationen²¹ und der drei hauptsächlich betroffenen Staaten Weißrussland, Ukraine und Russland, widmete in seinem Endbericht ein Kapitel den sozio-ökonomischen Folgen (Chernobyl Forum 2006). Die Größenordnung der insgesamt angefallenen Kosten für zwei Jahrzehnte wurde auf **hunderte Milliarden US\$²² geschätzt, über 30 Jahre allein in Weißrussland auf 235 Milliarden US\$²³**. Genauere Schätzungen sind nicht möglich, da der Unfall in Tschernobyl den Zerfall der damaligen Sowjetunion beschleunigt hat, der eine jahrelange Unsicherheit und Neuordnung des Wirtschafts- und Finanzsystems zur Folge hatte.

¹⁹ <http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2005/pr38/en/index1.html>, Zugriff am 15.4.2013

²⁰ Zum Vergleich: Wenn Fläche dieser Größe in Österreich aufgegeben werden müssten, würde dies einen Verlust von 27% landwirtschaftlich genutzter Fläche ergeben, und einen Verlust von 20% der forstlich genutzten Fläche. (In Österreich wurden 2010 2,88 Mio ha landwirtschaftlich und 3,4 Mio ha forstlich genutzt) (Statistik Austria 2012)

²¹ IAEO, WHO, UNDP, FAO, UNEP, UN-OCHA, UNSCEAR; World Bank Group

²² Im Original: hundred billions US\$; eine US billion entspricht einer Milliarde (10E9) und nicht einer österreichischen Billion (10E12).

²³ Zum Vergleich: Das derzeitige österreichische Budget beträgt etwa 73 Milliarden Euro = ca. 96 Milliarden US\$ (Wechselkurs April 2013). Weißrussland hat eine Fläche von 207.600 km², dies entspricht der 2,5-fachen Fläche von Österreich, während die Bevölkerung mit 9,5 Millionen nur etwa 10% mehr als in Österreich ausmacht.

Aus den verseuchten Gebieten mussten hunderttausende Menschen umgesiedelt werden, für diese mussten zehntausende Häuser und Wohnungen neu errichtet, außerdem Schulen für die Kinder und andere Infrastruktur. Für die Behandlung der betroffenen Personen mussten hunderte Kliniken und Ambulanzen neu gebaut werden und Medikamente mussten dauerhaft zur Verfügung gestellt werden. Hier war internationale Hilfe nötig, wie zum Beispiel das Schilddrüsenzentrums des Otto-Hug-Strahleninstituts des deutschen Strahlenbiologen Edmund Lengfelder, das in Gomel in Weißrussland 1993 in Betrieb ging²⁴.

In weiten Teilen des Landes haben sich die demografischen Verhältnisse verschoben, junge Menschen und Kinder wurden abgesiedelt oder wanderten aus, die Geburtenrate sank, zurück blieben hauptsächlich ältere Menschen. Dadurch verringerte sich auch die Zahl der Arbeitskräfte, die Armut in den betroffenen Regionen – dies sind vor allem ländliche Gebiete – stieg dauerhaft an.

In den ersten Jahren nach der Katastrophe musste Weißrussland bis zu 20% seines jährlichen Budgets für die Folgenminimierung aufwenden. Die Schäden in der Ukraine und Russland sind etwas geringer, da – im Verhältnis zu Weißrussland – kleinere Gebiete betroffen sind. 2006, **also 20 Jahre nach der Katastrophe, musste die Ukraine immer noch bis zu 7% ihres jährlichen Budgets für die Folgen aufwenden**. Einen großen Anteil an dem jährlich aufzuwendenden Budget haben die Sozialleistungen für mehr als sieben Millionen betroffene Menschen in den drei Staaten. (Chernobyl Forum 2006)

4.1.2 Fukushima-Dai-ichi

25 Jahre nach dem Unfall in Tschernobyl kam es erneut zu einem Unfall mit großen radioaktiven Freisetzungen: Im japanischen KKW Fukushima-Dai-ichi kam es im März 2011 nach einem schweren Erdbeben und einem Tsunami zu multiplen Problemen inklusive Kernschmelzen und Austritt von Radioaktivität.

Der Unfall führte drastisch vor Augen, dass schwere Unfälle jederzeit passieren können: Wenn ein Kernkraftwerksbetreiber die Wahrscheinlichkeit von schweren Unfällen mit 10^{-6} angibt, heißt das keinesfalls, dass nur einmal in einer Million Jahre tatsächlich ein schwerer Unfall stattfinden kann - der entsprechende Wahrscheinlichkeitswert ist lediglich eine Kennzahl um die Sicherheit verschiedener Anlagen vergleichen zu können. Die Wahrscheinlichkeitsrechnungen sind außerdem mit großen Fehlern behaftet - zu viele Faktoren können in solchen Berechnungen nicht berücksichtigt werden, zu hoch ist die Unsicherheit der berücksichtigten Werte. Schwere Unfälle können nie völlig ausgeschlossen werden und sind auch bei modernen Reaktoren möglich. Im Folgenden ein kurzer Einblick in die Folgen des Unfalls und einige frühe Kostenschätzungen:

Aus dem Gebiet rund um das mehrfach havarierte KKW (800 km², sogenannte „exclusion zone“) wurden rund 160.000 Menschen evakuiert, etwa weitere 50.000 verließen ihr Wohnorte freiwillig (Greenpeace 2012, 2013). Es ist noch nicht klar, wie viele von ihnen zurückkehren können. Die Kosten für den Ankauf des aufgegebenen Landes, die Kompensationen für die betroffenen Menschen (über 10 Jahre) und die Dekommissionierung der Reaktoren²⁵ sollen zwischen **71 und 250 Milliarden US\$** betragen (JCER 2011a). Dabei sind die angebotenen Kompensationszahlungen der inzwischen verstaatlichten Betreiberfirma TEPCO keinesfalls ausreichend, wie Berichte von Greenpeace darlegen (Greenpeace 2012, 2013). So sind etwa Zahlungen für bäuerliche Betriebe und Fischereibetriebe nicht inkludiert. Die betroffenen Menschen reichten teilweise Klagen ein, deren Ausgang noch offen ist. McNeill (Greenpeace 2012, S. 32) bezieht seine Abschätzung der Kosten ebenfalls auf Angaben des Japan Center for Economic

²⁴ <http://www.ohsi.de/hilfsmassnahmen-in-belarus/diagnostik-therapie/>, Zugriff am 16.4.2013

²⁵ basierend auf Kosten der Dekommissionierung der Unfallreaktoren von Tschernobyl/Ukraine und Three Mile Island/USA

Research (JCER 2011b, S. 3). In dieser Quelle findet sich eine Abbildung, die durchschnittliche jährliche Kosten für Dekommissionierung, Entschädigungen und Sanierung aller Gebiete, deren Kontamination zu Dosen von über 1 mSv/Jahr führen, in einem Diagramm abbildet. McNeill berechnet daraus Gesamtkosten **von 520-650 Milliarden US\$** (40-50 Trillionen Yen).

4.1.3 Frankreich

Das französische Institut für Strahlenschutz und nukleare Sicherheit **IRSN** (Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire) berechnete in einigen Studien die Kosten, die **Frankreich** durch einen schweren oder sehr schweren Nuklearunfall bevorstehen könnten. Auf ihrer Website²⁶ wurde eine Studie veröffentlicht, in der die Kosten für zwei unterschiedlich schwere Unfälle in französischen KKWs abgeschätzt wurden (IRSN 2012). IRSN listet darin die folgenden Bereiche auf, die für die Gesamtkosten relevant sind:

1. On-site Kosten: Diese Kosten umfassen alle Sanierungs- und Aufräumarbeiten am Standort des KKWs wie die Dekontaminierungen und die Dekommissionierung der Anlage, aber auch Ersatzleistungen für den Strom, der von der Anlage nicht mehr produziert werden kann.
2. Off-site Kosten für radiologische Belange: Darunter zählt IRSN die Kosten für die Notfallmaßnahmen (z.B. Evakuierungen), Gesundheitskosten, Kosten für psychologische Betreuung inklusive Kosten für Krankenstandstage, und Verluste aus der Landwirtschaft.
3. Image-Kosten: Dazu zählen Folgekosten wie Absatzkrisen von „sauberen“ Produkten durch mangelndes Vertrauen der KonsumentInnen (hier wird vor allem der französische Wein erwähnt), Rückgänge im Tourismus, Rückgänge in den Exporten
4. Kosten für Energieerzeugung: Hier fließen Annahmen ein, wie sich ein Unfall auf die Zukunft des Nuklearparks in Frankreich auswirken könnte, z.B. in einer Reduktion von Reaktor-Betriebszeiten.
5. Kosten, die durch kontaminierte Gebiete entstehen (Sperrzonen und andere Gebiete): Dies sind die Kosten für Menschen, die umgesiedelt werden mussten, und die Kosten der Zonen selbst.
6. Weitere Folgekosten wie Einflüsse auf den nationalen Schuldenstand, auf die Börsenkurse, auf ausländische Investments etc. können dazukommen. Für diese Kosten wurden die Berechnungen allerdings nicht ausgelegt.

Zunächst wurde ein schwerer Unfall (INES-Stufe 6²⁷) angenommen, basierend auf einer Kernschmelze, die jedoch noch mehr oder weniger kontrollierbar ist. Der Unfall wird als „repräsentativ“ bezeichnet, damit ist wahrscheinlich gemeint, dass für die zugrunde gelegten Quellterme und Wetterbedingungen keine Extremwerte angenommen wurden, es handelt sich also nicht um ein Worst Case Szenario. Es wurde mit etwa 3.500 umzusiedelnden Menschen gerechnet. Die AutorInnen geben eine Spanne von -55% bis +100% an, falls ein „günstigerer“ oder „ungünstigerer“ Fall zugrunde gelegt wird.

²⁶ <http://www.irsn.fr/EN/newsroom/News/Pages/20130219-Economical-cost-of-nuclear-accidents.aspx>, Zugriff am 17.4.2013

²⁷ Die INES-Skala (International Nuclear Event Scale) der IAEA hat 7 Stufen, wobei die 7. Stufe einen Super-GAU kennzeichnet. Ab Stufe 4 spricht man nicht mehr von „Störfall“ sondern von „Unfall“, ab dann wird Radioaktivität auch außerhalb der Anlage freigesetzt.

Die anfallenden Kosten werden wie folgt ausgewiesen:

Tabelle 2: Kosten eines repräsentativen schweren Unfalls in Frankreich INES 6 (IRSN 2012)

	Milliarden Euro	Milliarden US\$ ²⁸	Prozent
On-Site Kosten	6	8	5%
Off-site Kosten	9	13	8%
Image-Kosten	47	63	40%
Kosten für Energieerzeugung	44	58	37%
Kosten, die durch kontaminierte Gebiete entstehen	11	16	10%
Gesamtkosten	120	158	100%
Gesamtkostenspanne	50-240	66-320	

Für einen katastrophalen Unfall (INES-Stufe 7), wie er in Tschernobyl oder Fukushima stattgefunden hat, werden folgende Kosten abgeschätzt. Es wird mit etwa 100.000 Personen gerechnet, die umgesiedelt werden müssen.

Tabelle 3: Kosten eines repräsentativen großen Unfalls in Frankreich INES 7 (IRSN 2012)

	Milliarden Euro	Milliarden US\$ ²⁹	Prozent
On-Site Kosten	8	11	2%
Off-site Kosten	53	68	12%
Image-Kosten	166	221	39%
Kosten für Energieerzeugung	90	119	21%
Kosten, die durch kontaminierte Gebiete entstehen	110	147	26%
Gesamtkosten	427	566	100%
Gesamtkostenspanne	172-946	226-1.242	

Auch hier führen die AutorInnen eine Spanne an, und zwar von -60% bis +120% des Ergebnisses. Vor allem für das obere Ende der Spanne wird angenommen, dass eine massive Kontamination große städtische Gebiete betreffen könnte.

Nachdem die Studie im Februar 2013 der Öffentlichkeit vorgestellt wurde und entsprechendes Presseecho erfahren hat, sickerte eine zweite Studie der IRSN durch, die angeblich bereits 2007 erstellt wurde. In der Zeitung „Le Journal de Dimanche“ wurde am 10. März 2013 ein Artikel dazu verfasst³⁰. Der Autor dieser zweiten Studie ist derselbe wie bei der oben vorgestellten, nämlich Patrick Momal. In der Studie von 2007, die leider nicht im Original einsehbar ist, werden den Kostenberechnungen viel katastrophalere Szenarien zugrunde gelegt. So wird etwa von einer Fläche von 87.000 km² ausgegangen, von der 5 Millionen Menschen evakuiert werden müssen (zum Vergleich: Österreichs Fläche beträgt 83.855 km²). 90 Millionen Menschen würden auf einer Fläche von 850.000 km² leben, die mit Cäsium-137 verseucht wäre (ohne nähere Angaben zur Höhe der Kontamination). Für das Szenarium wurde eine

²⁸ Wechselkurs vom 17.4.2013

²⁹ Wechselkurs vom 17.4.2013

³⁰ <http://www.lejdd.fr/Economie/Actualite/Exclusif-JDD-le-scenario-noir-du-nucleaire-595593>, Zugriff am 17.4.2013

Wettersituation angenommen, bei der Paris betroffen wäre. Die Gesamtkosten, die dafür anfallen könnten, belaufen sich auf **760-5.800 Milliarden Euro (998-7.615 US\$)**. Das französische Budget macht derzeit etwa 2.000 Milliarden Euro (2,6 Mrd. US\$) aus, die Folgekosten wären fast der dreifache Wert davon.

4.1.4 Schlussfolgerungen

Verschiedene Studien ergeben Gesamtkosten für einen Super-GAU mit Summen **zwischen 71 und 5.800 Milliarden US\$**. Die große Bandbreite zeigt auf, wie schwer vorhersagbar die eigentlichen Kosten eines solchen Unfalls sind. Sicher scheint es, dass ein katastrophaler Unfall Kosten zumindest im **100-, eventuell sogar im 1000fachen Milliarden-Bereich verursacht**. Eine genauere Eingrenzung der Kosten scheint nicht machbar zu sein, insbesondere auch da viele Einflussfaktoren nur sehr schwer in monetäre Werte umzusetzen sind.

Folgende Faktoren schränken die betrachteten Unfälle ein: 1) Die veröffentlichten Zahlen zum Unfall in Tschernobyl sind mit Fragzeichen versehen, da die Zeit nach dem Unfall von Tschernobyl gekennzeichnet war von den wirtschaftlichen und politischen Umbrüchen in der damaligen Sowjetrepublik, gekoppelt mit Geheimhaltungspolitik und dem Wunsch nach Vertuschung der Folgen. 2) Der Unfall in Fukushima ist noch nicht lange genug her, um die Folgen und ihre Kosten in nötigem Detail abschätzen zu können. 3) Die französischen Studien zeigen, welche massive Unterschiede verschiedene Unfallszenarien für die Kosten haben können. Interessant an den IRSN-Studien ist das Maximalszenarium, das offenbar eine massive Kontamination von Paris miteinbezieht. Eine Abfrage des Onlinetools flexRISK³¹ ergibt für Frankreich durchaus Szenarien, bei denen radioaktive Emissionen etwa vom KKW Dampierre in Richtung Paris getragen werden. Die dafür angesetzten Kosten von bis zu 5.800 Milliarden US\$ würden die kolportierten Kosten für die Folgen von Tschernobyl (mehrere hundert Milliarden US\$) bei weitem überschreiten.

Szenarien, die der Kalkulation von Unfallfolgen zugrunde liegen, enthalten eine Reihe von Parametern, die allesamt Auswirkungen auf das Ergebnis haben. Es macht einen gewaltigen Unterschied, ob etwa nur ein Bruchteil des vorhandenen radioaktiven Inventars freigesetzt wird, oder das ganze Inventar, ob die Freisetzung Stunden, Tage oder Wochen dauert, und vor allem wie die Wetterlage dazu beiträgt, die radioaktiven Teilchen zu verblasen bzw. abzuregnen. Die betroffenen Regionen können sehr unterschiedlich sein in Bezug auf ihre Bevölkerungsdichte und sozio-ökonomische Struktur.

Wenn man in weiterer Folge daran denkt, dass irgendjemand für einen solchen Unfall bezahlen muss, sollten die Summen für die Frage der Nuklearhaftung daraufhin überprüft werden, inwiefern sie einen maximalen Schaden abdecken könnten. Dass die Wahrscheinlichkeit für derart große Unfälle gering ist, reicht leider nicht aus, damit sie nicht passieren wie Tschernobyl und Fukushima gezeigt haben. Im nächsten Teil dieses Kapitel wird daher die Frage der Haftung untersucht.

³¹ <http://flexrisk.boku.ac.at>

4.2 Haftung für nukleare Unfälle – welche Kosten sind gedeckt und wer zahlt sie?

4.2.1 Aktuelle Haftungsregelungen

Seit den 1960er-Jahren existieren internationale Abkommen, die die Frage der Haftung für Nuklearunfälle regeln. Die Versicherungswirtschaft hatte diese Regelungen angeregt, um Schadensfälle internationalen Ausmaßes besser regeln zu können (Schärf 2008). Die Haftung soll auf den Betreiber/Inhaber der Kernanlagen ausgerichtet sein, dies dient auch der Entlastung der Zulieferbetriebe und somit einer gewissen Sicherung der Atomwirtschaft. Es sind Personen-, Sach- und Vermögensschäden zu ersetzen. (Kerschner/Leidenmühler 2012)

Was den Abkommen gemeinsam ist, ist eine Definition der Schadensfälle, für die gehaftet wird, die Regelung wer für Schäden aufkommt, die Haftung auch ohne Verschulden und die Zuständigkeit der Gerichte (Greenpeace 2013, WNA 2013).

1960 wurde vor allem für die OECD-Mitgliedsstaaten als erstes Abkommen das **Pariser Übereinkommen über die Haftung gegenüber Dritten auf dem Gebiet der Kernenergie** (Paris Convention on Nuclear Third Party Liability) beschlossen. Ergänzt wurde das Pariser Übereinkommen 1963 durch das **Brüsseler Zusatzprotokoll**, das 1982 nochmals überarbeitet wurde. Ein weiteres **Zusatzprotokoll von 2004** ist noch nicht in Kraft. Das Pariser Übereinkommen besagt, dass ein Unfall im Hoheitsgebiet von Nichtvertragsstaaten für die Mitgliedsstaaten des Pariser Übereinkommens nicht haftungsbegründend ist, dies kann jedoch national auch anders geregelt werden. Das Brüsseler Zusatzprotokoll stellt die Gewährleistung von zusätzlichen Wiedergutmachungen aus nationalen und internationalen Fonds sicher, falls die Ersatzleistungen nach dem Pariser Übereinkommen nicht ausreichend sein sollten (Schärf 2008).

Das **Wiener Übereinkommen über die zivilrechtliche Haftung für Nuklearschäden** (Vienna Convention) wurde 1963 beschlossen und 1997 überarbeitet, es steht allen Staaten offen. In einem **Protokoll zum Wiener Übereinkommen** 1997 (Protocol to Amend the 1963 Vienna Convention on Civil Liability for Nuclear Damage) wurde die Haftungsgrenze erhöht.

Zur Verbindung der beiden Übereinkommen wurde das **Gemeinsame Protokoll zur Anwendung des Wiener und des Pariser Übereinkommens** (Protocol Relating to the Application of the Vienna Convention and the Paris Convention - Joint Protocol) 1988 beschlossen und trat 1992 in Kraft.

Ein weiteres Abkommen, das **Übereinkommen zur Bereitstellung zusätzlicher Entschädigungsmittel** (Convention on Supplementary Compensation) von 1997 ist noch nicht in Kraft.

Die folgende Tabelle zeigt, welche Staaten welche Übereinkommen ratifiziert haben bzw. zu welchen sie beigetreten³² sind, also wo die Übereinkommen bereits rechtliche Gültigkeit haben.

³² Die Unterschrift eines Abkommens besagt nur, dass ein Staat Interesse daran hat. Erst mit der Ratifizierung wird es rechtlich wirksam. In Kraft tritt ein Abkommen, wenn eine bestimmte Anzahl an Staaten es ratifiziert hat. Danach können noch andere Staaten, die nicht ursprüngliche Mitgliedsstaaten waren, beitreten.

Tabelle 4: Mitgliedsstaaten der Abkommen, die in Kraft sind (Pariser und Wiener Übereinkommens, Brüsseler Zusatzprotokolls und Gemeinsames Protokoll) (NEA³³, IAEA^{34,35}, Greenpeace 2013, WNA 2013)

Staat	Pariser Übereinkommen 1960	Brüsseler Zusatzprotokoll 1982	Wiener Übereinkommen 1963	Protokoll zum Wiener Übereinkommen 1997	Gemeinsames Protokoll 1988
Ägypten			JA		JA
Argentinien			JA	JA	
Armenien			JA		
Belgien	JA	JA			
Bolivien			JA		
Bosnien- Herzegowina			JA	JA	
Brasilien			JA		
Bulgarien			JA		JA
Chile			JA		JA
Dänemark	JA	JA			JA
Deutschland	JA	JA			JA
Estland			JA		JA
Finnland	JA	JA			JA
Frankreich	JA	JA			
Griechenland	JA	JA			JA
Großbritannien	JA	JA			
Italien	JA	JA			JA
Kamerun			JA		JA
Kasachstan			JA	JA	
Kroatien			JA		JA
Kuba			JA		
Lettland			JA	JA	JA
Libanon			JA		
Litauen			JA		JA
Marokko			JA	JA	
Mazedonien			JA		
Mexiko			JA		
Moldawien			JA		
Montenegro			JA	JA	
Niederlande	JA	JA			JA
Niger			JA		

³³ <http://www.oecd-nea.org/law/paris-convention-ratification.html>, Zugriff am 18.4.2013)

³⁴ http://www.iaea.org/Publications/Documents/Conventions/liability_status.pdf#page=1&zoom=auto,0,849, Zugriff am 18.4.2013

³⁵ http://www.iaea.org/Publications/Documents/Conventions/protamend_status.pdf, Zugriff am 18.4.2013

Staat	Pariser Übereinkommen 1960	Brüsseler Zusatzprotokoll 1982	Wiener Übereinkommen 1963	Protokoll zum Wiener Übereinkommen 1997	Gemeinsames Protokoll 1988
Nigeria			JA		
Norwegen	JA	JA			JA
Peru			JA		
Philippinen			JA		
Portugal	JA	JA			
Polen			JA	JA	JA
Rumänien			JA	JA	JA
Russland			JA		
Saudi Arabien			JA	JA	
Schweden	JA	JA			JA
Schweiz*					
Senegal			JA		
Serbien			JA		
Slowakei			JA		JA
Slowenien	JA	JA			JA
Spanien	JA	JA			
St. Vincent & die Grenadinen			JA		JA
Trinidad & Tobago			JA		
Tschechien			JA		JA
Türkei	JA	JA			JA
Ukraine			JA		JA
Ungarn			JA		JA
Uruguay			JA		JA
Vereinte Arabische Emirate			JA	JA	JA
Weißrussland			JA	JA	

*Die Schweizer Ratifizierung des Pariser Übereinkommens wird erst mit dem In-Kraft-Treten des Zusatzprotokolls von 2004 stattfinden.

Wie zu sehen ist, haben wichtige Nuklearstaaten wie die USA, Kanada, China, Indien, Japan etc. gar keines dieser Abkommen unterzeichnet. Insgesamt ist die Haftung für etwa den halben Nuklearkern der Welt nicht unter einem der Übereinkommen geregelt (WNA 2013). Viele Staaten haben jedoch eigene Regelungen für den Umgang mit Haftungsfragen, auch unabhängig davon, ob sie einer Konvention beigetreten sind oder nicht.

4.2.2 Aktuelle Haftungssummen laut verschiedener Haftungsregelungen

Die folgende Tabelle zeigt eine Zusammenfassung der jeweils minimalen und maximalen Haftungssummen, zu denen die Internationalen Übereinkommen verpflichten. Die genaue Ausgestaltung obliegt den Parteien.

Tabelle 5: Überblick über die unteren und oberen Haftungslimits internationaler Übereinkommen, die derzeit in Kraft sind (WNA 2013)

	Haftung für Betreiber und Staat		Kollektivhaftung für alle Parteien des Übereinkommens		Summe	
	Untere Grenze	Obere Grenze	Untere Grenze	Obere Grenze	Untere Grenze	Obere Grenze
	In Millionen US\$					
Pariser Übereinkommen 1960	7,5	22,5			7,5	22,5
Brüsseler Zusatzprotokoll 1963	7,5	105		75	7,5	180
Wiener Übereinkommen 1963	5	offen			5	offen
Brüsseler Zusatzprotokoll 1982	7,5	262,5		187,5	7,5	450
Protokoll zum Wiener Übereinkommen 1997	450	offen			450	offen

Generelle Anmerkung: Die Konventionen setzten zwar zum Teil keine obere Grenze - in Europa gibt es allerdings nur in Deutschland, der Schweiz und Österreich unbegrenzte Haftung für nukleare Schäden von Seiten des Betreibers, alle anderen Staaten haben die Haftung in nationaler Gesetzgebung beschränkt. (NEA 2011)

Das **Wiener Übereinkommen** sieht keine Obergrenze für die Haftung vor, dies kann jedoch auf nationaler Ebene gesetzlich geregelt werden. Das untere Limit beträgt 5 Millionen US\$.

Im **Pariser Übereinkommen** ist die Haftung nach oben mit 15 Millionen SZR und nach unten mit 5 Millionen SZR limitiert³⁶.

Das **Brüsseler Zusatzprotokoll** von 1963 zog drei Ebenen ein: Zunächst mussten alle Parteien des Pariser Übereinkommens und des Brüsseler Zusatzprotokolls im Rahmen der Betreiberhaftung zahlen. Die zweite Ebene umfasste den Staat, in dem das verunfallte KKW liegt, der die Differenz zwischen der Betreiberhaftung (die ja innerhalb des Limits national unterschiedlich geregelt ist) und 70 Millionen SZR (105 Millionen US\$) zu übernehmen hatte. Die dritte Ebene nahm alle Parteien des Übereinkommens in die Pflicht um bis zu 50 Millionen SZR (75 Millionen US\$) beizutragen. Daher beträgt die maximale Haftung nach dem Brüsseler Zusatzprotokoll von 1963 120 Millionen SZR (180 Millionen US\$). 1982 erfolgte eine **Änderung des Brüsseler Zusatzprotokolls** und die Haftungsgrenzen wurden wie folgt

³⁶ SZR = Sonderziehungsrechte. SZR sind eine Recheneinheit des Internationalen Währungsfonds. Ein SZR entspricht mit Stand 18.4.2013 etwa 1,50 US-\$, was somit einer Haftungsbegrenzung zwischen 7,5 und 22,5 Millionen US-\$ entspricht. English: SDR (Special Drawing Rights)

verändert: für die Staaten (zweite Ebene) erfolgte eine Erhöhung auf die Differenz zu 175 Millionen SZR, und für die dritte Ebene aller Parteien eine Erhöhung auf 125 Millionen SZR. Dadurch ergibt sich nun eine Gesamtsumme von 300 Millionen SZR (450 Millionen US\$).

Das **Gemeinsame Protokoll** zur Anwendung des Wiener und des Pariser Übereinkommens, das nach dem Unfall von Tschernobyl ausverhandelt und in Kraft gesetzt wurde, schreibt fest, dass alle Länder, die Partei eines Übereinkommens sind, so behandelt werden als ob sie auch Partei des anderen Übereinkommens wären. Wenn etwa ein Unfall in einem Land des Pariser Übereinkommens passiert, der Auswirkungen auf ein Land des Wiener Übereinkommens hat, dann werden die Opfer nach dem Pariser Übereinkommen entschädigt und umgekehrt.

Das **Protokoll zum Wiener Übereinkommen von 1997** veränderte das untere Haftungslimit deutlich nach oben: Die Mindesthaftung beträgt nun 300 Millionen SZR (450 Millionen US\$). Allerdings haben bei weitem nicht alle Parteien des Wiener Übereinkommens auch das Protokoll ratifiziert.

2004 wurde ein weiteres **Protokoll zur Abänderung des Pariser Übereinkommens** beschlossen, das jedoch noch nicht in Kraft ist, da es noch nicht von genug Parteien ratifiziert wurde. Dieses Protokoll wird erneut die Haftungsgrenzen nach oben setzen, und zwar für Betreiber auf 916 Millionen US\$, für die Staaten auf 654 Millionen US\$ und für alle Parteien auf 392 Millionen US\$, gesamt also 1,96 Milliarden US\$. Weiters dürfen nun auch Staaten beitreten, die keine Obergrenze der Haftung für ihre Betreiber festlegen wollen.

Für das **Übereinkommen zur Bereitstellung zusätzlicher Entschädigungsmittel**, das auch noch nicht in Kraft ist, werden für die Staaten zusätzlich in Form einer Kollektivhaftung pro installierter Nuklearkapazität von 1 MW thermisch 300 SZR anfallen.

Die **USA** regelt ihre Haftung seit 1957 mit dem **Price Anderson Act**, derzeit wird eine Haftungssumme von 12,5 Milliarden US\$ vorgesehen. Die Betreiber sind dabei verpflichtet, pro Standort 375 Millionen US\$ zu tragen, dies wird durch einen privaten Versicherungspool, die American Nuclear Insurers (ANI) gedeckt. Eine zweite Ebene wird gemeinsam von allen Betreibern getragen, diese beläuft sich auf bis zu 112 Millionen US\$ pro Reaktor und Unfall.

Japan ist ebenso wie die USA nicht Partei eines Übereinkommens. Die Nuklearhaftung ist im Rahmen zweier nationaler Gesetze geregelt und umfasst eine unbeschränkte Haftung für Betreiber, die bis zu 1,4 Milliarden US\$ bereitstellen müssen. Nach Fukushima wurde eine eigene Institution für die Kompensationszahlungen gegründet, und der Betreiber TEPCO musste wiederholt um Erhöhung der Geldflüsse ansuchen. Dies wurde u.a. in Greenpeace (2103) detailliert aufgearbeitet.

4.2.3 Aktuelle Haftungssummen in Europa

Wie hoch sind nun die Haftungssummen, die die KKW-Betreiber in jedem Land zur Verfügung stellen müssen, beziehungsweise die Summen, die aus anderen Fonds gespeist werden?

Die folgende Tabelle gibt einen Auszug über verschiedene in Europa geltende Haftungssummen für Kernkraftwerke (NEA 2011):

Tabelle 6: Höhe nuklearer Haftungssummen in Europa, auszugsweise

Land	Haftungssumme des Betreibers	zusätzliche Kompensation durch Staat	Zusätzliche Kompensation durch internationale Regelungen
Belgien	€ 297,4 Mio.	~ € 136,2 Mio. (SDR 125 Mio.)	~ € 136,2 Mio. (SDR 125 Mio.)
Bulgarien	~ € 49,1 Mio. (BGN 96 Mio.)	-	-
Deutschland	unlimitiert	bis zu € 2,5 Mrd.	~ € 136,2 Mio. (SDR 125 Mio.)
Finnland	unlimitiert für Schäden in Finnland selbst € 700 Mio. für Schäden außerhalb Finnlands	~ € 136,2 Mio. (SDR 125 Mio.)	~ € 136,2 Mio. (SDR 125 Mio.)
Frankreich	€ 91,5 Mio.	€ 99,3 Mio.	-
Niederlande	€ 340 Mio.	€ 1,93 Mrd.	~ € 136,2 Mio. (SDR 125 Mio.)
Rumänien	~ € 163,5 Mio. (SDR 150 Mio.)	~ € 163,5 Mio. (SDR 150 Mio.)	-
Schweden	~ € 326,9 Mio. (SDR 300 Mio.)	-	~ € 136,2 Mio. (SDR 125 Mio.)
Schweiz	unlimitiert	-	-
Slowakei	€ 75 Mio.	-	-
Slowenien	~ € 163,5 Mio. (SDR 150 Mio.)	~ € 27,2 Mio. (SDR 150 Mio.)	~ € 136,2 Mio. (SDR 125 Mio.)
Spanien	€ 700 Mio. + € 700 für Umweltschäden in ES		~ € 136,2 Mio. (SDR 125 Mio.)
Tschechien	~ € 306,2 Mio. (CZK 8 Mrd.)	-	-
Ungarn	~ € 109 Mio. (SDR 100 Mio.)	~ € 217,9 Mio. (SDR 200 Mio.)	-
United Kingdom	~ € 156,7 Mio. (GBP 140 Mio.)	~ € 34,2 Mio. (SDR 31,4 Mio.)	~ € 136,2 Mio. (SDR 125 Mio.)

4.2.4 Schlussfolgerung 1: Massive Unterversicherung

Zusammenfassend lässt sich festhalten: Die derzeit geltenden Beträge für nukleare Haftung sind viel zu niedrig. Allein eine vorsichtige Schätzung der Kosten von Fukushima zeigt, dass mindestens 71 Milliarden US\$ zu erwarten wären, voraussichtlich wesentlich mehr. Verglichen mit den „worst case“-Angaben der IRSN für Frankreich von über 7.000 Milliarden US\$ sind die bestehenden Haftungssummen lächerlich gering. Es stellt sich die Frage, wer die Differenz zu tragen hat.

Selbst wenn man von einer nuklearen Haftung von 450 Millionen US\$ ausgeht (einer Haftungssumme, die eine Vielzahl an Staaten nicht garantiert) – ergibt sich dadurch folgende Deckung im Vergleich zu den oben beschriebenen Unfällen:

Tabelle 7: Deckung von Unfallkosten durch Nuklearhaftung

		Unfallkosten	Annahme Haftung	Deckung
Tschernobyl, nur Kosten in Weißrussland lt. Chernobyl Forum (2006)		\$ 235.000.000.000	\$ 450.000.000	0,19%
Fukushima lt. JCER (2011a)	von	\$ 71.000.000.000	\$ 450.000.000	0,63%
	bis	\$ 250.000.000.000	\$ 450.000.000	0,18%
Fukushima lt. JCER (2011b)	von	\$ 520.000.000.000	\$ 450.000.000	0,09%
	bis	\$ 650.000.000.000	\$ 450.000.000	0,07%
Frankreich lt. IRSN (2012)	von	\$ 226.000.000.000	\$ 450.000.000	0,20%
	bis	\$ 1.242.000.000.000	\$ 450.000.000	0,04%
Frankreich (Scénario noir)	von	\$ 460.000.000.000	\$ 450.000.000	0,10%
	bis	\$ 5.800.000.000.000	\$ 450.000.000	0,008%

Die Deckung liegt also bei allen angenommenen Fällen – zum Teil weit – unter 1%. Hinzu kommen oft unklare Verhältnisse bei der Geltendmachung der Haftung, insbesondere wenn ein Staat betroffen ist, der keines der obenstehenden Abkommen unterzeichnet hat – wie zum Beispiel Österreich.

Obendrein bewegen sich die Nuklearstaaten rechtlich auf dünnem Eis: Wie Kerschner und Leidenmühler in ihrer Studie (2012) anmerken, haben etwa Betreiber nicht nuklearer Kraftwerke in Europa keine Obergrenzen für die Haftung. Sie sehen die Haftungsbeschränkungen bei Kernkraftwerken durch die Internationalen Übereinkommen als eine **Verletzung des Verursacherprinzips**.

Die Haftungsbeschränkungen und die staatlichen Haftungsübernahmen führen zu Prämiensparnissen für die KKW-Betreiber. Es liegt somit eine **Begünstigung durch den Staat** vor, für die die KKW-Betreiber keine ausreichende Gegenleistung erbringen.

4.2.5 Schlussfolgerung 2: Auswirkung einer Vollversicherung auf den Strompreis

Eine umfangreiche Studie der Versicherungsforen Leipzig (Günther et al. 2011) beschäftigt sich mit der Frage der Höhe einer ausreichenden finanziellen Absicherung für nukleare Unfälle.

Die AutorInnen kommen zur folgenden Schlussfolgerung:

*„Wären die durch ein solches Schadenereignis verursachten Kosten der Schadenbeseitigung durch die Verbraucher des durch Kernkraft erzeugten Stroms zu zahlen (Internalisierung externer Effekte), ergäbe sich bei Umlage der Kosten bzw. der darauf basierenden Versicherungsprämie für den Bereitstellungszeitraum von 100 Jahren eine Erhöhung der Energiepreise für Atomstrom (netto) für die Dauer von **100 Jahren** in einer Spanne von **0,139 Euro je kWh bis zu 2,36 Euro je kWh**. Für den Zeitraum einer Bereitstellung innerhalb von **zehn Jahren** beträgt diese Spanne **3,96 Euro je kWh bis zu 67,3 Euro je kWh**.“*

*„Aus der Übersicht der Kosten pro kWh für die einzelnen Szenarien wird deutlich, dass im Hinblick auf die Situation in Deutschland **keine Möglichkeit** besteht, eine **vollumfängliche Deckung des Risikos**, welches aus dem Betrieb von KKW resultiert, zu gewährleisten. **Erst ab einer Ansparphase von 100 Jahren** ist der Aufschlag auf den Strompreis bei vollständiger Poolbildung aller KKW-Risiken in einer Größenordnung angelangt, der auf den ersten Blick bezahlbar scheint. Allerdings müssten angesichts der verbleibenden Restlaufzeiten deutscher KKW und normaler Laufzeiten von 25 bis 40 Jahren **wesentlich kürzere Laufzeiten der Ansparphase realisiert werden, um eine Bereitstellung der Mittel noch vor dem vollständigen Wagniswegfall in Form eines Ausstiegs aus der Kernenergie zu gewährleisten**. Für dieses Szenario ist eine tatsächliche **Finanzierbarkeit** allerdings **nicht gegeben**. Hier wird die Problematik eines mit Inbetriebnahme sofort vorhandenen Risikos bei gleichzeitigem Fehlen einer genügend großen Deckungssumme, um Entschädigungen für Schäden leisten zu können, die sich aus einer Realisierung dieses Risikos ergeben können, besonders deutlich.“*

Alles in allem ergeben sich folgende Schlussfolgerungen:

- Sogar wenn der Kernindustrie **100 Jahre** Zeit gegeben würden um für einen möglichen nuklearen Unfall anzusparen würde das für diesen Zeitraum **Mehrkosten** für BürgerInnen von **0,139 - 2,36 €/kWh** bedeuten.

Zum Vergleich: Die aktuellen Stromgestehungskosten liegen bei ca. 0,018 – 0,079 €/kWh (1,8 – 7,9 €-Cent/kWh) (Thomas et al. 2007, S. 35): Über 100 Jahre würden die Stromgestehungskosten auf 0,157 – 2,439 €/kWh steigen – also um das **3 bis 50 fache**³⁷!

Die Vollversicherung eines nuklearen Unfalls innerhalb der Lebensdauer eines KKW ist praktisch nicht finanzierbar: Wenn ein entsprechender Betrag bereits innerhalb von **10 Jahren** zur Verfügung gestellt werden sollte, würde das Mehrkosten von **3,96 - 67,3 €/kWh** bedeuten.

Unter den gleichen Annahmen würde das Stromgestehungskosten auf 4,1 – 67,4 €/kWh, also das **80 - 1.300-fache** bedeuten!

In beiden Szenarien wäre die Kernenergie bei weitem nicht wirtschaftsfähig.

³⁷ bezogen auf drs. Stromgestehungskosten von 0,05 €/kWh

5 Weitere Kostenbestandteile/Externalisierte Kosten

5.1 Externe Kosten der Nuklearen Brennstoffkette

Bei der Bewertung von Technologien ist die Betrachtung der Umwelt- und Gesundheitsauswirkungen über den gesamten Lebenszyklus von zentraler Bedeutung. Aspekte wie Ressourcen- und Energieverbrauch, Abfallerzeugung, sowie **Emissionen** in die Umwelt müssen im Falle der Kernenergie also nicht nur für den Betrieb des KKW, sondern **über die gesamte nukleare Brennstoffkette** berücksichtigt werden, angefangen vom Uranabbau, über die Anreicherung des Brennstoffs bis hin zur Dekommissionierung des Kraftwerks und der Endlagerung der radioaktiven Abfälle.

Bei der Kernenergie ist dies von besonderer Bedeutung, da beim eigentlichen Betrieb des KKW nur ein Bruchteil der Gesamtemissionen frei wird – der Großteil der Emissionen wird in anderen Schritten der nuklearen Brennstoffkette emittiert. Abbildung 8 gibt einen Überblick über die nukleare Brennstoffkette:

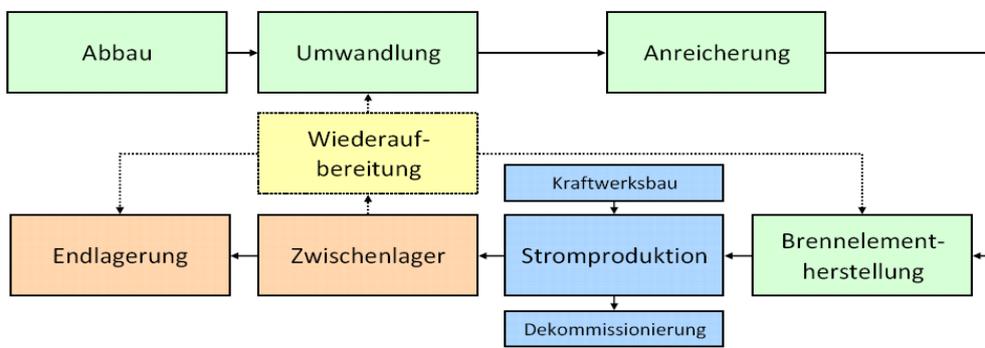


Abbildung 8: Die nukleare Brennstoffkette (Wallner et al. 2011)

Bei allen Stufen der nuklearen Brennstoffkette werden – teils radioaktive – Emissionen erzeugt – außerdem fällt Abfall an.

Die **Umwelt- und Gesundheitsauswirkungen** eines Großteils dieser Emissionen sind nicht in den Gesamtkosten inkludiert, sondern **müssen durch die Allgemeinheit**, d.h. Geschädigten, **getragen werden**. Man spricht von "externen" oder "externalisierten" Kosten.

Eine Monetarisierung dieser Kosten ist äußerst schwierig, eine Bewertung diesbezüglicher Versuche, wie z.B. der Studie ExternE, würde den Rahmen der vorliegenden Studie sprengen. Erschwerend hinzu kommt, dass auch bei der Bewertung von Umwelt- und Gesundheitsauswirkungen zum Teil mit Abzinsung (Diskontierung) gerechnet wird – dadurch wird ein zukünftiger Umwelt- oder Gesundheitsschaden finanziell als "weniger teuer" bewertet als wenn er jetzt passieren würde. ExternE (1995) diskontiert z.B. mit 3% pro Jahr – gesundheitliche Langzeitschäden kommen also relativ billig...

ExternE stellt dem auch undiskontierte Beträge gegenüber: Die externen Kosten betragen laut ExternE undiskontiert 2,5 ECU mils (mECU) per kWh = **0,25 €-Cent/kWh** (ExternE 1995 in NRC 2012, S. 134).

Fakt bleibt, dass Umwelt- und Gesundheitsschäden an andere abgewälzt werden.

Besonders groß sind die **Umweltschäden und externalisierten Kosten beim Uranabbau**³⁸. Uran-Feinstaub und das entstehende Zerfallsprodukt Radon werden eingeatmet und können zu Lungenkrebs führen. Der Wind verbläst den Feinstaub – so können auch Menschen, die kilometerweit von den Halden entfernt leben, gefährdet sein. (Wallner et al. 2011). Oft wird in Ländern mit schlechten Umwelt- und Gesundheitsschutzstandards abgebaut. In Niger wurden z.B. in 40 Jahren Uranabbau 270 Mrd. Liter Wasser verbraucht und kontaminiert wieder in umliegende Gewässer abgegeben. Abraumhalden mit teils radioaktivem Gestein werden in Niger für Ausbesserung von Straßen und für den Hausbau benutzt. (Greenpeace 2010)

Über die gesamte nukleare Brennstoffkette entsteht außerdem Abfall. Besonders groß sind die Abfallmenge und die entstehenden Umwelt-/Gesundheitsauswirkungen wiederum bei Uranabbau. Die folgende Abbildung gibt einen Überblick über die Menge der entstehenden Abfälle.

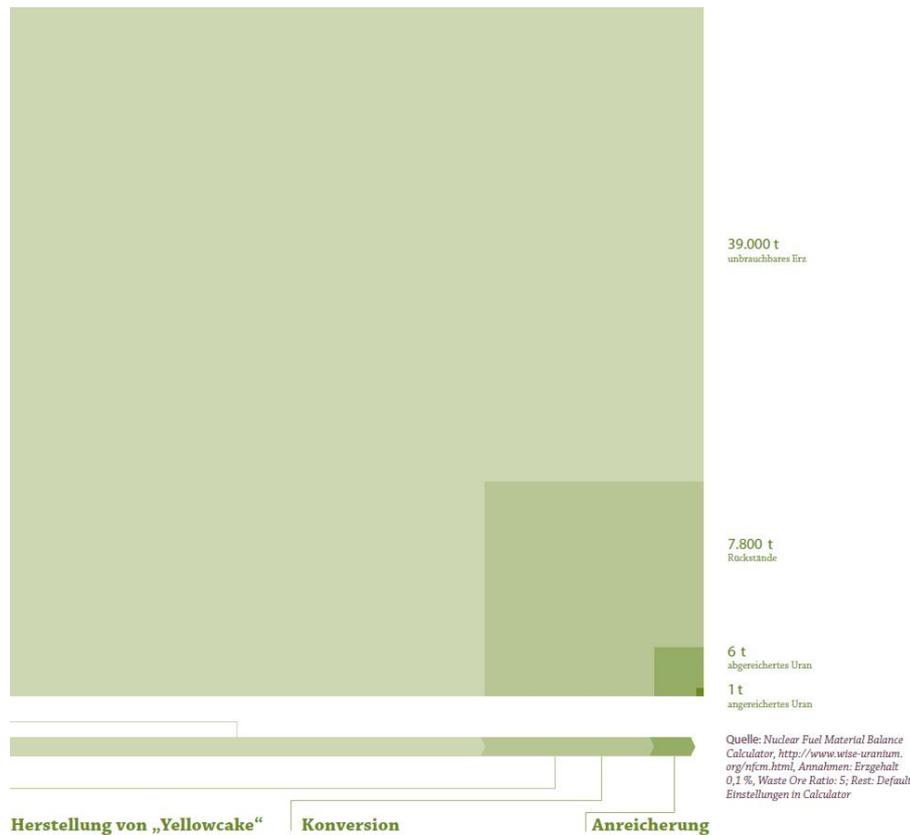


Abbildung 9: Abfallmengen der nuklearen Brennstoffkette (Wallner et al. 2012) – großes Quadrat: Abfall aus dem Uranabbau

³⁸ Beispiele von Schäden des Uranabbaus können auch im Projekt „Uranabbau in und für Europa“ des Österreichischen Ökologie-Instituts, beauftragt von der Wiener Umweltschutzkommission nachgelesen werden: http://www.ecology.at/wua_ausstellung.htm

5.2 Brennstoffkosten

5.2.1 Brennstoffpreisentwicklung

Öko-Institut (1998, S. 33) gibt an, dass die Brennstoffpreisentwicklung einen großen Einfluss auf die Stromgestehungskosten hat: Neben der Inflation verändern sich die Brennstoffpreise in Abhängigkeit von Angebot und Nachfrage am Weltmarkt. Zur Zeit macht der Brennstoffpreis ca. 20% der Gesamtkosten aus (siehe Tabelle 1) und gehört gemeinsam mit den Betriebs-/Wartungskosten zu den größten variablen Kostenbestandteilen.

Das Angebot an Brennstoff hängt u.a. vom Angebot an Uran ab. Wenn einer steigenden oder gleichbleibenden Nachfrage an Brennstoff ein sinkendes Angebot an Uran gegenübersteht, beeinflusst dies die Brennstoffpreise. Ein Sinken des Uranangebots kann folgende Ursachen haben (Wallner et al. 2011):

1. Graduelle Erschöpfung der Uranressourcen
 - a. Literaturwerte zeigen eine stark begrenzte Reichweite der Uranressourcen, insbesondere wenn von einem Wachstum der nuklearen Kapazität ausgegangen wird.
2. Zurückbleiben der geförderten Uranmenge hinter der Nachfrage durch zu geringe Minenexplorationstätigkeit
 - a. z.B. durch den prognostizierten Rückgang an sekundären Ressourcen, Zeitverzögerungen in der Exploration neuer Uranminen oder einer geringere Erfolgsquote in der Minenexploration durch graduelle Erschöpfung der Ressourcen

Erschwerend kommt hinzu, dass bei sinkenden Erzgehalten immer mehr Uranerz gefördert werden muss, um die gleiche Menge an Brennstoff zu erzeugen. Der nötige Energieeinsatz pro Einheit Brennstoff steigt – was sich natürlich auch auf den Preis auswirkt.

Dies kann bis hin zum Punkt gehen, an dem so viel Energie in die Förderung extrem niedriggradiger Erze fließt, dass der im Kernkraftwerk erzielte Energieoutput diesen Input nicht mehr aufwiegt. Über die nukleare Brennstoffkette würde in diesem Fall also mehr Energie verbraucht als produziert. (Wallner et al. 2011)

5.2.2 Kosten für die Brennstoffentsorgung

Die Entsorgung von radioaktivem Abfall umfasst mehrere Schritte, die sich je nach Abfallkategorie unterscheiden: Sowohl schwach- und mittelaktive (LILW) als auch hochaktive Abfälle (HLW) (größtenteils abgebrannte Brennelemente) müssen sowohl zwischen- als auch endgelagert werden.

Besonders die Endlagerung von hochaktiven Abfällen stellt ein Problem dar – sowohl technisch, da eine sichere Lagerung über Jahrtausende³⁹ gewährleistet werden muss, was über solche Zeiträume schwierig bis zweifelhaft umsetzbar ist – als auch für die Schätzung der Kosten. Eine Schätzung der Kosten für die Endlagerung von hochradioaktiven Abfällen ist deshalb besonders schwierig, da bisher weltweit noch kein Endlager für hochradioaktiven Abfall in Betrieb ist. Es ergibt sich also eine große Bandbreite der Kostenschätzungen für die Endlagerung:

- Laut WNA (2013b) betragen die Kosten des „Back-End“ der nuklearen Brennstoffkette bis zu 10 % der Gesamtkosten pro kWh

³⁹ Greenpeace (2013) schätzt die nötige Lagerzeit auf 250.000 Jahre

- Die Schweizer Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI gibt die absoluten Kosten für die Brennstoffentsorgung wie in Tabelle 8 dargestellt an (ENSI 2012)

für den gesamten nuklearen Entsorgungsprozess (inkl. Kosten, die bereits während des Betriebs des KKW anfallen und der Nachbetriebsphase)

- von CHF 2.153 Millionen im KKW Mühleberg (373 MW netto) = **€ 1.763 Mio.**
- bis CHF 5.400 Millionen im KKW Leibstadt (1190 MW netto) = **€ 4.422 Mio.**

Tabelle 8: Gesamtkostenschätzung in Millionen Franken der KS11 auf der Preisbasis 2011 – Angabe in Millionen Schweizer Franken (ENSI 2012, S. 26)

KS11 PB11 [MCHF]	KKB	KKM	KKG	KKL	ZZL	KKW Total
Entsorgung	4'124	1'834	5'071	4'940		15'970
Nachbetriebsphase	475	319	455	460		1'709
Stilllegung	809	487	663	920	95	2'974
Total	5'409	2'640	6'190	6'320	95	20'654

Obwohl die **Endlagerung** von HLW ein **weltweites Problem** darstellt erscheint sie in aktuellen Schätzungen zu den Kosten der Kernenergie ein vernachlässigbarer Kostenbestandteil zu sein (siehe Abbildung 1).

Bei der ökonomischen Entscheidung ein Kernkraftwerk zu bauen wird der Frage der Endlagerung radioaktiver Abfälle und den damit verbundenen Kosten deshalb im Verhältnis zu anderen Kostenbestandteilen oft wenig Beachtung geschenkt.

Der Grund hierfür liegt in der für Investitionsentscheidungen üblicherweise angewandten Berechnungsmethode – der Barwertmethode:

Kosten, die zu verschiedenen Zeitpunkten anfallen, werden – um sie vergleichen zu können – mittels Barwertmethode auf einen bestimmten Zeitpunkt, z.B. den Inbetriebnahmezeitpunkt des KKW, bezogen. Dies passiert mittels „Abzinsung“: Zukünftige Kosten werden in Investitionsberechnungen mit einem geringeren Betrag veranschlagt, der durch einen jährlichen Abzinssatz berechnet wird. Diese Methode beruht auf der an und für sich vernünftigen Annahme, dass aktuelle Einnahme und Ausgaben stärker ins Gewicht fallen als zukünftige – Geld, das man erst in Zukunft ausgeben muss, sollte sich (zumindest theoretisch) bis zum Zeitpunkt der Ausgabe verzinsen – diese Zinsen können zusätzlich zur Tilgung des Betrags verwendet werden. (Böll 2010, Thomas 2010)

Während diese Berechnungsmethode übliche Praxis für Investitionsentscheidungen ist, ist bei Abzinsungen über einen langen Zeitraum Vorsicht bei der Interpretation der Ergebnisse geboten: Wenn man beispielsweise eine Summe von € 1.000 über 100 Jahre mit einem Abzinsfaktor von nur 3% pro Jahr abzinst, ergibt das einen aktuellen Investitionswert (Kapitalwert) von € 52. Kosten, die erst in 15 Jahren anfallen, werden bei hohen Diskontsätzen deshalb üblicherweise vernachlässigt. (Böll 2010, Thomas 2010)

Die Wahl des Abzinssatzes ist essentiell für den errechneten Kapitalwert – von den Kernkraftwerksbetreibern werden in der Regel höhere Zinssätze genutzt als die realen Zinssätze⁴⁰. Durch diese Methode kann man die Kosten für die Endlagerung noch geringer erscheinen lassen. Auch die Annahmen über den Zeitpunkt des Anfalls der Kosten sind wesentlich. So liegt der französische Kapitalwert der Kosten der Endlagerung etwa so hoch wie der deutsche, obwohl die realen Kosten in Frankreich um 68% höher sind. Grund ist die französische Annahme der späteren Auszahlungen. (Drasdo 2001, S. 20)

Da Investitionen in die Endlagerung radioaktiver Abfälle erst in vielen Jahrzehnten fällig sind, wird der Endlagerung als Kostenfaktor bei der Investitions-Entscheidung ein Kernkraftwerk zu bauen wenig Beachtung geschenkt. Die **Barwertmethode** ist zwar eine legitime Methode für den Investor um verschiedene Investitionsalternativen zu vergleichen - die Darstellung der Endlagerkosten als vernachlässigbar geringer Kostenfaktor führt allerdings sehr leicht zu falschen Schlussfolgerungen und kann bewusst irreführend verwendet werden um den **Trugschluss, dass Endlagerung „billig“ ist**, zu erzeugen.

Nicht nur die Berechnungsmethode, sondern auch die Methode, wie die Kosten für die Endlagerung aufgebracht werden sollen, ist höchst spekulativ: Die Anlagenbetreiber sind verpflichtet **jährliche Rückstellungen** für die Endlagerung zu machen, deren Höhe, wenn die Barwertmethode verwendet wird, wiederum stark durch Abzinsung verringert ist. Die **spätere Kostendeckung ist ungewiss**. (Biermayr/Haas 2008, S. 34)

5.3 Dekommissionierungskosten

Die Kosten für die Dekommissionierung (Stilllegung) eines Kernkraftwerkes sind schwer einschätzbar, da es **weltweit nur wenig Erfahrung mit der Dekommissionierung** großer Kernkraftwerke gibt. Kostenschätzungen gehen zum Teil aber von Dekommissionierungskosten in der Höhe der Baukosten aus – also im Bereich mehrerer Milliarden Euro für ein großes KKW. (Schneider et al. 2011)

Hier einige Einschätzungen von Kostenangaben zur Dekommissionierung verschiedener Quellen:

- Das Schweizer Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI gibt die absoluten Kosten für die Dekommissionierung wie in Tabelle 8 dargestellt an (ENSI 2012)
 - von CHF 487 Millionen im KKW Mühleberg (373 MW netto) = **€ 399 Mio**
 - bis CHF 920 Millionen im KKW Leibstadt (1190 MW netto) = **€ 754 Mio**.
- Maine Yankee, 790 MW_{el}: **US\$ 616 Millionen** in 2002 (Storm/Smith 2007, Part F, S. 49)
- Storm/Smith (2007) rechnen mit Kosten für die Dekommissionierung von 100-400 % der Baukosten aus (Part F, Table F.28) – bei angenommenen Durchschnitts-Baukosten 6.500 Mill \$ für einen 1000 MW_{el}-Reaktor (Storm/Smith 2007, Part F, S. 9) ergibt das drs. Dekommissionierungskosten von US\$ 6.500 Millionen – 26.000 Millionen = ca. **€ 5 Milliarden - € 20 Milliarden**
- Laut Schätzungen der NEA betragen die Kosten für die Dekommissionierung 10-15 % der „Overnight capital costs“
- El-Bassioni et al. (1980) und davon abgeleitet auch EcoInvent (2009) geben den Energieaufwand für den Abbruch eines Leichtwasser-KKW der 1000 MW-Klasse mit **75 % der Bauenergie** an.

⁴⁰ reale Zinssätze meint hier jene Zinssätze, die aus langfristigen Zinssätzen annähernd risikofreier Wertpapiere der jeweiligen Staaten abgeleitet werden

Aus dem Energieaufwand kann zwar nicht direkt auf die Kosten geschlossen werden, die Zahlen geben allerdings einen Eindruck über die Dimensionen der Verhältnisse.

Es ist klar erkennbar, dass auch bei konservativen Kostenschätzungen als jenen von Storm/Smith (2007) die Dekommissionierung keinesfalls einen geringen oder vernachlässigbaren Kostenfaktor darstellt.

In Investitionskalkulationen werden die Dekommissionierungskosten aber oft als beinahe vernachlässigbar geringer Kostenbestandteil dargestellt (ca. 1%, siehe Abbildung 1). Für die Kosten der Dekommissionierung gelten allerdings dieselben Prinzipien wie für die Kosten der Brennstoffversorgung (Kapitel 5.2.2):

Da die Dekommissionierungskosten erst Jahrzehnte nach der Inbetriebnahme anfallen sind die zu kalkulierenden Investmentkosten zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme des KKW wesentlich kleiner als der schlussendlich zu zahlende Betrag (siehe Abbildung 1) – die Daten sind also irreführend in Bezug auf den absoluten Wert.

Unter der Annahme, dass die Dekommissionierung 150 Jahre nach der Inbetriebnahme abgeschlossen und mit einem Abzinssatz von 3 % kalkuliert wird, würden reale Gesamtkosten von **1 Milliarde Euro nur mit 12 Millionen Euro** zu Buche schlagen. (Schneider et al. 2011)

Erschwerend kommt hinzu, dass die wirklichen Kosten der Stilllegung nur sehr schwer vorherzusehen sind. Lediglich sicher zu sein scheint, dass sie mit der Zeit steigen werden. Die aktuelle Lösung von Beitragszahlungen in einen **Stilllegungsfonds** scheint zwar auf den ersten Blick eine gute Lösung zu sein – anders sieht die Lage allerdings aus, wenn sich herausstellt, dass die Einzahlungen zu gering kalkuliert waren, die angenommene Rentabilität der Fonds (Verzinsung) geringer ausfiel als erwartet oder die Betreiberfirma vor dem Ende der Lebensdauer des KKW bankrottgeht. In Großbritannien sind alle diese Probleme im Laufe der Jahre eingetreten – ein bedeutender Anteil der Dekommissionierungskosten muss deshalb **durch den Steuerzahler getragen** werden. So musste British Energy z.B. nur 20 Millionen Pfund pro Jahr zahlen, was lediglich 0,03 p/kWh (nach heutigem Wechselkurs 0,035 Cent/kWh) ausmachte. (Thomas 2005, Böll 2010)

Es gibt auch andere Systeme der Finanzierung der Stilllegungskosten: So werden in einigen Staaten z.B. nicht abgezinste Raten des Endbetrages jährlich fällig, in Schweden und Finnland muss sogar der volle undiskontierte = nicht abgezinste Betrag ab Betriebsbeginn garantiert werden. (Wuppertal 2007)

Eine adäquate Schätzung der Stilllegungskosten und die Bereitstellung der nötigen Mittel ist von höchster Wichtigkeit: Die Europäische Kommission schätzt, dass bis 2025 ca. 48 Reaktoren stillgelegt werden müssen. (Wuppertal 2007)

Rechenbeispiel:

Wenn in 100 Jahren für die Dekommissionierung eines Kernkraftwerkes **€ 700.000.000** anfallen ergibt das auf den aktuellen Zeitpunkt mit einem Diskontsatz von 5%⁴¹ abgezinst einen kalkulatorischen Wert von **€ 5.323.143 – also 0,8% des Realbetrages!**⁴²

⁴¹ Anmerkung: In Drasdo (2001, S. 26) werden Realzinssätze von 1% p.a. bis 13% p.a. angewendet

⁴² Berechnungen lt: <http://www.zinsen-berechnen.de/renditerechner.php> bzw. eigene Berechnung mit Abzinsformel:

$$K_0 = K_n \cdot (1/(1+i)^n)$$

vereinfachte Berechnung, nicht inkludiert: Inflation; zum Vergleich: Eine Abzinsung über 50 Jahre mit 5% würde einen Endwert von € 61.042.609, also 9% des Realwertes bedeuten.

6 Gesamtkosten der Kernenergie

Die bisherigen Kapitel haben sich mit einzelnen Kostenbestandteilen der Kernenergie beschäftigt, insbesondere mit solchen, die aktuell nur teilweise oder gar nicht vom Betreiber getragen werden müssen. Das aktuelle Kapitel beleuchtet dem gegenüber gestellt die Gesamtkosten der Kernenergie. Es wird dargestellt, welchen Einfluss eine Integrierung von Kostenbestandteilen, die zurzeit auf die Öffentlichkeit abgewälzt wird, auf die Gesamtkosten für den Betreiber und den Strompreis für den Endkunden haben würde.

Entsprechende Definitionen über die Gesamtkosten der Kernenergie finden sich in Kapitel 2.2.

6.1 Höhe der aktuellen Stromgestehungskosten

Wie bereits in Kapitel 3 beschrieben, weichen Kostenkalkulationen und Kostenprognosen je nach den zugrunde gelegten Annahmen und den berücksichtigten Faktoren stark voneinander ab und sind **schwer vergleichbar**. Einfluss auf die Höhe der Kosten haben z.B. der angenommene Zinssatz, die Lebensdauer des KKW, der Auslastungsfaktor (load factor).

Um trotzdem ein Bild der Stromgestehungskosten vermitteln zu können wird im Folgenden die Bandbreite der Angaben zu Stromgestehungskosten verschiedener Studien angeführt, ohne aussagen zu wollen, dass die Daten direkt miteinander vergleichbar wären:

- Thomas et al. (2007) vergleicht die Ergebnisse von zehn Studien über die Stromgestehungskosten von Kernenergie und untersucht warum die Ergebnisse voneinander abweichen. Thomas gibt die Bandbreite der Studienergebnisse mit 18-79 €/MWh (**1,8 bis 7,9 €-Cent/kWh**) an.
- Die Arbeit von Hiesl (2012) untersuchte die Stromgestehungskosten der Atomkraftwerke Olkiluoto 3, Flamanville 3, Shin Kori 3, Sanmen 1 und Leningrad II/1 und die Einflussfaktoren auf diese Kosten. Die Arbeit kam zu Schluss, dass die Stromgestehungskosten bei den untersuchten Kraftwerken zwischen **2,47 und 6,54 €-Cent/kWh** ohne externe Kosten und Versicherung eines nuklearen Unfalls liegen.
- Laut IEA/NEA/OECD (2010) liegen die Stromgestehungskosten zwischen 29,82 und 136,5 USD/MWh = 2,92 – 13,65 US-Cent/kWh = **3,5 – 13,4 €-Cent/kWh⁴³**, stark abhängig von Land und Kapitalzinssatz (siehe Abbildung 10).

⁴³ Umgerechnet mittels dem gerundeten durchschnittlichen Umrechnungskurs aus 2010 von 1,2

Table 3.7a: Nuclear power plants: Levelised costs of electricity in US dollars per MWh											
Country	Technology	Net capacity MWe	Overnight costs ¹ USD/kWe	Investment costs ²		Decommissioning costs		Fuel Cycle costs USD/MWh	O&M costs ³ USD/MWh	LCOE	
				5%	10%	5%	10%			5%	10%
				USD/kWe		USD/MWh				USD/MWh	
Belgium	EPR-1600	1 600	5 383	6 185	7 117	0.23	0.02	9.33	7.20	61.06	109.14
Czech Rep.	PWR	1 150	5 858	6 392	6 971	0.22	0.02	9.33	14.74	69.74	115.06
France*	EPR	1 630	3 860	4 483	5 219	0.05	0.005	9.33	16.00	56.42	92.38
Germany	PWR	1 600	4 102	4 599	5 022	0.00	0.00	9.33	8.80	49.97	82.64
Hungary	PWR	1 120	5 198	5 632	6 113	1.77	2.18	8.77	29.79/29.84	81.65	121.62
Japan	ABWR	1 330	3 009	3 430	3 940	0.13	0.01	9.33	16.50	49.71	76.46
Korea	OPR-1000	954	1 876	2 098	2 340	0.09	0.01	7.90	10.42	32.93	48.38
	APR-1400	1 343	1 556	1 751	1 964	0.07	0.01	7.90	8.95	29.05	42.09
Netherlands	PWR	1 650	5 105	5 709	6 383	0.20	0.02	9.33	13.71	62.76	105.06
Slovak Rep.	VVER 440/ V213	954	4 261	4 874	5 580	0.16	0.02	9.33	19.35/16.89	62.59	97.92
Switzerland	PWR	1 600	5 863	6 988	8 334	0.29	0.03	9.33	19.84	78.24	136.50
	PWR	1 530	3 681	4 327	5 098	0.16	0.01	9.33	15.40	54.85	90.23
United States	Advanced Gen III+	1 350	3 382	3 814	4 296	0.13	0.01	9.33	12.87	48.73	77.39
NON-OECD MEMBERS											
Brazil	PWR	1 405	3 798	4 703	5 813	0.84	0.84	11.64	15.54	65.29	105.29
China	CPR-1000	1 000	1 763	1 946	2 145	0.08	0.01	9.33	7.10	29.99	44.00
	CPR-1000	1 000	1 748	1 931	2 128	0.08	0.01	9.33	7.04	29.82	43.72
	AP-1000	1 250	2 302	2 542	2 802	0.10	0.01	9.33	9.28	36.31	54.61
Russia	VVER-1150	1 070	2 933	3 238	3 574	0.00	0.00	4.00	16.74/16.94	43.49	68.15
INDUSTRY CONTRIBUTION											
EPRI	APWR. ABWR	1 400	2 970	3 319	3 714	0.12	0.01	9.33	15.80	48.23	72.87
Eurelectric	EPR-1600	1 600	4 724	5 575	6 592	0.19	0.02	9.33	11.80	59.93	105.84

*The cost estimate refers to the EPR in Flamanville (EDF data) and is site-specific.

1. Overnight costs include pre-construction (owner's), construction (engineering, procurement and construction) and contingency costs, but not interest during construction (IDC).

2. Investment costs include overnight costs as well as the implied interest during construction (IDC).

3. In cases where two numbers are listed under O&M costs, numbers reflect 5% and 10% discount rates. The numbers differ due to country-specific cost allocation schedules.

Abbildung 10: Stromgestehungskosten von KKW verschiedener Länder (IEA/NEA/OECD 2010)

6.2 Schlussfolgerungen: Die wahren Kosten der Kernenergie

6.2.1 Einfluss der Baukosten

Du/Parsons (2009) (Update von MIT 2003) kalkuliert die durchschnittlichen **Stromgestehungskosten** (LCOE⁴⁴) **mit** Fokus auf **Erhöhung der Baukosten**. Die Autoren kommen auf ein Ergebnis von 8,4 US-Cent/kWh (in 2007 US\$) = ca. **11,8 €-Cent/kWh⁴⁵** (0,118 €/kWh).⁴⁶

Verglichen mit den Ergebnissen in MIT (2003) von LCOE von 6,7 US-Cent/kWh sind die **LCOE zwischen 2003 und 2009 um 25 % gestiegen**. Neubauprojekte wie jenes in Olkiluoto/Finnland bestätigen diesen Trend der steigenden Baukosten.

⁴⁴ Definition von LCOE in MIT (2003): „The levelized cost is the constant real wholesale price of electricity that meets a private investor's financing cost, debt repayment, income tax, and associated cash flow constraints.“ Bei den LCOE handelt es sich also um die Kosten/kWh, die für den Investor anfallen (inklusive Finanzierungskosten, Kreditrückzahlung, Einkommenssteuer)

⁴⁵ Du/Parsons (2009) kalkuliert mit einem Umrechnungskurs €/US-\$ von 1,4

⁴⁶ Annahmen: 1.000 MW KKW, Nutzungsgrad (capacity factor) von 85%, Lebensdauer von 40 Jahren. Baukosten (Overnight Costs) von US-\$ 4000, US-\$ 700 Millionen für die Dekommissionierung, Inflationsrate von 3%, Anstieg in den Brennstoffkosten von 0,5%, Anstieg von Betriebs- und Wartungskosten ohne Brennstoff: 1%, 10% WACC (gewichtete Kapitalkosten – Eigen- und Fremdkapital), Steuersatz: 37%

Wenn man diesen rapiden Anstieg der Baukosten und damit verbunden der Gesamtkosten der Kernenergie berücksichtigt, ist es nicht verwunderlich, dass nukleare Investoren sich z.B. durch langfristig garantierte Abnahmepreise wie in England (siehe Kapitel 3.3 „Begünstigungen des KKW-Neubaus“) staatliche Zuschüsse für eine sonst nicht lukrative Investition sichern wollen.

In den Stromgestehungskosten von 11,8 €-Cent/kWh der Kernenergie sind lediglich erhöhte Baukosten inkludiert – andere Subventionen der Kernenergie bleiben unberücksichtigt. Trotzdem schneiden andere Energieerzeugungsformen im Vergleich bereits besser ab:

- On-Shore Windenergieanlagen weisen günstigere Stromgestehungskosten als Kernenergie auf (6-8 €-Cent/kWh vs. 11,8 €-Cent/kWh) (Fraunhofer 2012). Hierbei ist die Preissteigerung der Kernenergie von 2009 bis 2012 noch nicht berücksichtigt.
- Die Studie des MIT kommt zum Ergebnis, dass die LCOE von Kohle (6,2 US-Cent/kWh, 8,7 €-Cent/kWh) und Gas (6,5 US-Cent/kWh, 9,1 €-Cent/kWh) günstigere Kosten aufweisen als Kernenergie (8,4 US-Cent/kWh, 11,8 €-Cent/kWh) (MIT 2009)

6.2.2 Einfluss einer nuklearen Vollhaftung

Wie in Kapitel 4.2.5 beschrieben, kommt eine umfangreiche Studie der Versicherungsforen Leipzig (Günther et al. 2011), die sich mit der Frage der Höhe einer ausreichenden finanziellen Absicherung für nukleare Unfälle beschäftigt, zum Ergebnis, dass eine nukleare Vollhaftung nicht finanzierbar wäre: Bei einem Ansparzeitraum von 100 Jahren würden Mehrkosten von 0,139 – 2,36 €/kWh anfallen, bei einem Ansparzeitraum von 10 Jahren 3,96 – 67,3 €/kWh. Zum Vergleich: Die **aktuellen** Stromgestehungskosten liegen bei ca. **0,018 – 0,079 €/kWh** (1,8 – 7,9 €-Cent/kWh) (Thomas et al. 2007, S. 35):

Wenn man diesen Betrag auf die vom MIT (2009) errechneten Stromgestehungskosten von **0,118 €/kWh** (11,8 Eurocent/kWh, 118 €/MWh) aufschlägt, die bereits Baukostenerhöhungen berücksichtigen, ergibt sich folgendes Bild (siehe Tabelle 9 und Abbildung 11).

Tabelle 9: Höhe der Stromgestehungskosten unter verschiedenen Annahmen

	Stromgestehungskosten [€/kWh]	Quelle
Spanne bisheriger Baukosten	0,018 – 0,079	Thomas et al. (2007)
inkl. gestiegenen Neubaukosten	0,118	MIT (2009)
Zusatzkosten durch Versicherung – unterster Wert der Ergebnisbandbreite bei 100 Jahren Ansparzeitraum: + 0,139 €/kWh	0,26	Günther et al. (2011)
Zusatzkosten durch Versicherung – oberster Wert der Ergebnisbandbreite bei 100 Jahren Ansparzeitraum: + 2,36 €/kWh	2,48	Günther et al. (2011)
Zusatzkosten durch Versicherung – unterster Wert der Ergebnisbandbreite bei 10 Jahren Ansparzeitraum: +3,96 €/kWh	4,08	Günther et al. (2011)
Zusatzkosten durch Versicherung – oberster Wert der Ergebnisbandbreite bei 10 Jahren Ansparzeitraum: + 67,3 €/kWh	67,4	Günther et al. (2011)

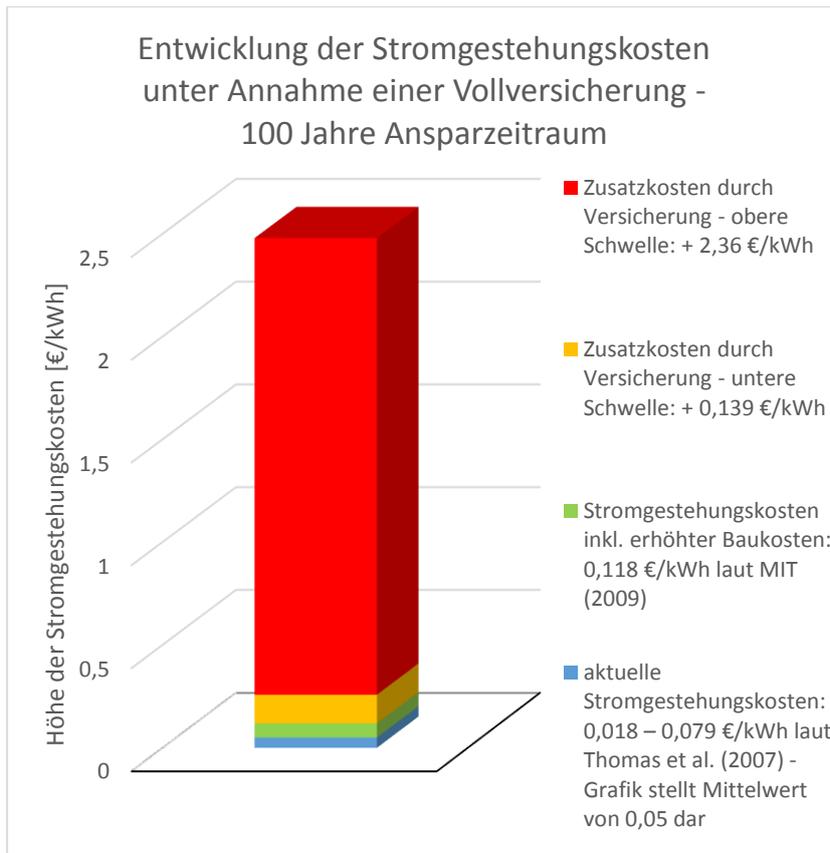


Abbildung 11: Entwicklung der Stromgestehungskosten unter Annahme einer Vollversicherung – 100 Jahre Ansparzeitraum

6.2.3 Einfluss weiterer Faktoren

Neben Haftung und Anstieg in den Baukosten gibt es weitere Faktoren, die bei ihrer Berücksichtigung zu einer Erhöhung des Strompreises führen würden. Wesentlich sind hierbei z.B. die externen Kosten der nuklearen Brennstoffkette:

- **Externe Kosten der nuklearen Brennstoffkette** (siehe Kapitel 5.1)
Durchschnittliche Stromgestehungskosten von 5 €-Cent/kWh würden laut den Ergebnisse von ExternE um 0,25 €-Cent/kWh, also 5 % erhöht werden. Es ist zu bezweifeln ob diese 5 % Mehrkosten tatsächlich die Umwelt- und Gesundheitsschäden, die z.B. durch den Uranabbau und die Lagerung von hochradioaktivem Abfall entstehen, deckbar sind.

Weitere, nicht im Atomstrom-Preis inkludierte Faktoren sind:

- **Zu geringe Rücklagen für Dekommissionierung und Endlagerung** (siehe Kapitel 5.2 und 5.3)
- **Forschung über Kernenergie (EURATOM)**
- **Institutioneller Rahmen der Kernenergie (IAEA, staatliche Aufsichtsbehörden...)**

6.2.4 Vergleich mit Strompreisen/Anstieg der Strompreise

Der Strompreis ist das Entgelt für den Endkunden für die Belieferung mit elektrischer Energie. Der Strompreis für den Endkunden setzt sich zusammen aus den Preisen für die Stromerzeugung, Netznutzungsentgelten sowie Steuern zusammen.

Die aktuellen **Nettohaushaltsstrompreise** liegen in Österreich mit **14,3 €-Cent/kWh** im Mittelfeld vergleichbarer Länder. Die Steuerbelastung ist allerdings mit 5,5 €-Cent/kWh überdurchschnittlich hoch. Der Strompreis für durchschnittliche **Industriebetriebe liegt bei 9,1 €-Cent/kWh**.⁴⁷

Verglichen mit den von MIT (2009) errechneten **11,8 €-Cent/kWh**, die bereits die **erhöhten Baukosten** der Kernenergie beinhalten, sieht man bereits deutlich, dass die Selbstkosten des KKW-Betreibers bei Kernkraftwerken mit solch hohen Baukosten höher als die zurzeit an Industrieendkunden abgegebenen Preise sind. Auch die aktuellen Kosten für Haushalte betragen nur 17 % mehr als die Selbstkosten des KKW-Betreibers.

Was passieren würde, wenn man auch die Kosten einer Vollversicherung in den Strompreis integrieren würde, zeigt einerseits Abbildung 11, andererseits das folgende Rechenbeispiel:

Rechenbeispiel:

Familie Mayer lebt in einem Drei-Personenhaushalt und braucht pro Jahr 4.000 kWh (4 MWh) an Strom. Zurzeit zahlt Familie Mayer € 700 pro Jahr inklusive Fixkosten, pro kWh zahlt Familie variable Kosten an €-Cent 14,3.

Im Strom-Mix von Familie Mayer sind 10% Atomstrom enthalten.

Eine Vollversicherung der Kernenergie würde die Kosten pro kWh um 13,9 Cent/kWh bis 6.730 Cent/kWh verteuern. Für Familie Mayer würden also ihre 400 kWh Atomstrom mit einer Erhöhung ihrer Jahresstromrechnung von € 56 (+8%) - € 26.920 (+3.845%!) zu Buche schlagen.

Bei der 8%igen Erhöhung würde allerdings erst nach 100 Jahren an Einzahlungen für BürgerInnen ein Betrag, der einen Unfall tatsächlich decken könnte, zur Verfügung stehen – Familie Mayer hätte also im Ernstfall nur begrenzt etwas von ihren Mehrzahlungen.

6.2.5 Fazit

Die Kernenergie kann nur mit staatlichen Begünstigungen Neubaubestrebungen umsetzen – zusätzlich zu den vielen Begünstigungen und Sonderregelungen, die sie bereits genießt. Außerdem kann auch mit neuesten Reaktortechnologien ein schwerer Unfall nicht ausgeschlossen werden. Eine Vollhaftung für Super-GAUs würde den Strompreis in absurde Höhen treiben – Schäden von Unfällen und der nuklearen Brennstoffkette an Umwelt und Gesundheit müssen also weiterhin von der Allgemeinheit getragen werden. Auch die Kosten der staatlichen Begünstigungen der Kernenergie zahlt der Steuerzahler.

Investitionen in nuklearen Neubau und Kernenergie generell sind deshalb wirtschaftlich und gesellschaftlich untragbar. Investitionen in eine nachhaltige Energiezukunft sind volkswirtschaftlich besser investiert.

⁴⁷ <http://oesterreichsenergie.at/daten-fakten/statistik/Strompreis.html>, Zugriff: 24. Juni 2013

7 Glossar

Billion: $10E9 = 1.000.000.000$, entspricht in Österreich einer Milliarde; eine Billion im österreichischen System entspricht $10E12$, also $1.000.000.000.000$.

Dekommissionierung: Abwrackung von stillgelegten Kernkraftwerken und anderen Atomanlagen

FAO: Die Welternährungsorganisation (auf Englisch: Food and Agriculture Organization), eine Teilorganisation der UNO

IAEO, IAEA: Die Internationale Atomenergieorganisation (auf Englisch: International Atomic Energy Agency IAEA), eine Teilorganisation der UNO

Stromgestehungskosten (generating costs): Stromgestehungskosten bezeichnen die Kosten, welche für die Energieumwandlung in elektrischen Strom notwendig sind. Sie werden in der Regel in Euro je Megawattstunde angegeben. Mögliche Berechnungsmethode: Jährliche Gesamtkosten für den Betreiber in einem Betriebsjahr bezogen auf die jährlich produzierte Strommenge (z.B. in MW)

Durchschnittliche Stromgestehungskosten (englisch Levelized Energy Costs, Levelized Cost of Electricity)

Um die Stromgestehungskosten verschiedener Kraftwerke vergleichbar zu machen, ist es sinnvoll durchschnittliche Stromgestehungskosten über die Lebensdauer eines Kraftwerkes zu errechnen: ÖkoInstitut (1998) beschreibt folgende Berechnungsmethode für die drs. Stromgestehungskosten, die zu einem besseren Verständnis des Begriffs beiträgt: *„Die durchschnittlichen Stromgestehungskosten werden in zwei Schritten bestimmt: Durch Abdiskontierung der Kosten aus den verschiedenen Betriebsjahren auf den Zeitpunkt der Inbetriebnahme des Kraftwerks wird ein Barwert aller Kosten bestimmt. Dieser Barwert wird in einem zweiten Schritt nivelliert, d.h. in eine jährlich konstante Zahlung über den Betrachtungszeitraum umgewandelt. Hierdurch werden finanzmathematisch durchschnittliche jährliche Kosten während des Betriebs ermittelt. Die Stromgestehungskosten ergeben sich aus dem Bezug dieser jährlichen durchschnittlichen Kosten auf die jährlich produzierte Strommenge.“*

SZR: Sonderziehungsrechte (auf Englisch SDR = Special Drawing Rights), Recheneinheit des Internationalen Währungsfonds, die in internationalen Abkommen zur Nuklearhaftung verwendet wird

Strike Price: im Vorfeld festgelegter Geldbetrag pro MWh, den ein Stromerzeuger über eine definierte Vertragsperiode zugesichert bekommt. Wenn der Strommarktpreis unter dem Strike Price liegt, bekommt der Stromerzeuger die Differenz vom Staat aufgezahlt, wenn es sich umgekehrt verhält, zahlt der Stromerzeuger die Differenz an den Staat.

Super GAU: Ein GAU ist ein größter anzunehmender Unfall, ein Super-GAU überschreitet diese Annahmen noch. Bisher gab es auf der Erde zwei Super-GAUs, die Katastrophen von Tschernobyl/Ukraine 1986 und Fukushima-Dai-ichi/Japan 2011.

Trillion: im US- und japanischen System entspricht eine Trillion 1000 billions, also $10E12 = 1.000.000.000.000$.

UNDP: United Nations Development Programme, die Weltentwicklungsorganisation

UNEP: United Nations Environment Programme, die Weltumweltorganisation

UNO: United Nations Organizations, die Vereinten Nationen, ein zwischenstaatlicher Zusammenschluss von 193 Staaten.

UN-OCHA: United Nations Office for the Coordination of Humanitarian Affairs, die UN-Organisation für die Koordinierung humanitärer Angelegenheiten.

UNSCEAR: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, ein UN-Gremium, das sich mit den Auswirkungen der radioaktiven Strahlung befasst und regelmäßig Berichte dazu publiziert (UNSCEAR-Reports).

US\$, USD: US-amerikanische Dollar

WHO: Die Weltgesundheitsorganisation (auf Englisch: World Health Organization), eine Teilorganisation der UNO

Y: japanische Yen

8 Verzeichnisse

8.1 Tabellenverzeichnis

TABELLE 1: KOSTENBESTANDTEILE DER KERNENERGIE	9
TABELLE 2: KOSTEN EINES REPRÄSENTATIVEN SCHWEREN UNFALLS IN FRANKREICH INES 6 (IRSN 2012)	25
TABELLE 3: KOSTEN EINES REPRÄSENTATIVEN GROßEN UNFALLS IN FRANKREICH INES 7 (IRSN 2012)	25
TABELLE 4: MITGLIEDSSTAATEN DER ABKOMMEN, DIE IN KRAFT SIND (PARISER UND WIENER ÜBEREINKOMMENS, BRÜSSELER ZUSATZPROTOKOLLS UND GEMEINSAMES PROTOKOLL) (NEA, IAEA, GREENPEACE 2013, WNA 2013)	28
TABELLE 5: ÜBERBLICK ÜBER DIE UNTEREN UND OBEREN HAFTUNGSLIMITS INTERNATIONALER ÜBEREINKOMMEN, DIE DERZEIT IN KRAFT SIND (WNA 2013)	30
TABELLE 6: HÖHE NUKLEARER HAFTUNGSSUMMEN IN EUROPA, AUSZUGSWEISE	32
TABELLE 7: DECKUNG VON UNFALLKOSTEN DURCH NUKLEARHAFTUNG	33
TABELLE 8: GESAMTKOSTENSCHÄTZUNG IN MILLIONEN FRANKEN DER KS11 AUF DER PREISBASIS 2011 – ANGABE IN MILLIONEN SCHWEIZER FRANKEN (ENSI 2012, S. 26)	38
TABELLE 9: HÖHE DER STROMGESTEHUNGSKOSTEN UNTER VERSCHIEDENEN ANNAHMEN	43

8.2 Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1: ANTEIL EINZELNER KOSTENPARAMETER AN DEN STROMGESTEHUNGSKOSTEN DER KERNENERGIE (AUSZUG AUS ROGNER 2012) - (ROT: INVESTITIONSKOSTEN, GELB: BETRIEBS- UND INSTANDHALTUNGSKOSTEN, BLAU: BRENNSTOFFKOSTEN INKL. ENDLAGERUNG, GRÜN: DEKOMMISSIONIERUNG DES KKW; PROZENTSÄTZE: IDC = IMPLIED INTEREST DURING CONSTRUCTION = ZINSSATZ WÄHREND DER BAUZEIT).	10
ABBILDUNG 2: FORMEL FÜR DIE BERECHNUNG DER STROMGESTEHUNGSKOSTEN (FRAUNHOFER 2012)	12
ABBILDUNG 3: ABHÄNGIGKEIT DER BALKOSTEN VON ZINSRATE UND BAUZEIT – OC = OVERNIGHT COSTS, IDC = INTEREST DURING CONSTRUCTION (BAUZINSEN) (ROGNER 2012).....	13
ABBILDUNG 4: VERTEILUNG DER GESAMTKOSTEN DER NUKLEAREN ENERGIEERZEUGUNG (ROGNER 2012)	14
ABBILDUNG 5: REAKTOR-INBETRIEBNAHMEN VS. REAKTOR-STILLEGUNGEN WELTWEIT 1956-2012 (SCHNEIDER ET AL. 2012 BASIEREND AUF DATEN VON IAEA-PRIS).....	15
ABBILDUNG 6: ÜBERSICHT ÜBER NEUBAUKOSTEN (IEA/NEA/OECD 2010, S. 59)	16
ABBILDUNG 7: ENTWICKLUNG DER DURCHSCHNITTLICHEN BAUZEIT 1954-2012 (SCHNEIDER ET AL. 2012)	17
ABBILDUNG 8: DIE NUKLEARE BRENNSTOFFKETTE (WALLNER ET AL. 2011).....	35
ABBILDUNG 9: ABFALLMENGEN DER NUKLEAREN BRENNSTOFFKETTE (WALLNER ET AL. 2012) – GROßES QUADRAT: ABFALL AUS DEM URANABBAU	36
ABBILDUNG 10: STROMGESTEHUNGSKOSTEN VON KKW VERSCHIEDENER LÄNDER (IEA/NEA/OECD 2010).....	42
ABBILDUNG 11: ENTWICKLUNG DER STROMGESTEHUNGSKOSTEN UNTER ANNAHME EINER VOLLVERSICHERUNG – 100 JAHRE ANSPARZEITRAUM	44

8.3 Literaturverzeichnis

[Biermayr/Haas 2008] Biermayr, Peter; Haas, Reinhard (2008): Aspekte der zukünftigen Kernenergienutzung. Technische Universität Wien - Institut für elektrische Anlagen und Energiewirtschaft (EEG). Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

[Böll 2010] Mythos Atomkraft – Warum der nukleare Pfad ein Irrweg ist. Mit Beiträgen von Antony Froggatt, Mycle Schneider, Steve Thomas, Otfried Nassauer und Henry D. Sokolski. Heinrich Böll Stiftung – Schriften zur Ökologie

[CBO 2008]: Nuclear Power's Role in Generating Electricity, Congressional Budget Office, Washington, DC, United States.

[CERI 2004] Levelized Unit Electricity Cost Comparison of Alternate Technologies for Baseload Generation in Ontario, Canadian Energy Research Institute, Kanada.

[Chernobyl Forum 2006] Chernobyl's Legacy: Health, Environment and Socio-Economic Impacts and Recommendations to the Governments of Belarus, the Russian Federation and Ukraine. The Chernobyl Forum: 2003-2005. Second revised version. IAEA Vienna.

[Drasdo 2000] Drasdo, Peter: Kosten der Endlagerung radioaktiver Abfälle. Schriften des Energiewirtschaftlichen Instituts Band 58. Oldenbourg Industrieverlag.

[EC 2008] Energy Sources, Production Costs and Performance of Technologies for Power Generation, Heating and Transport, European Commission, COM(2008)744, Brussels, Belgium.

[El Bassioni et al. 1980] El-Bassioni, A.A. et al. (1980): A Methodology and a Preliminary Data Base for Examining the Health Risks of Electricity Generation from Uranium and Coal Fuels. NUREG/CR-1539, ORNL/Sub-7615/1. Oak Ridge National Laboratory, USA.

[ENSI 2012] Schweizer Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat: Stellungnahme zur Kostenstudie 2011 über die Stilllegungs- und Entsorgungskosten der Kernanlagen in der Schweiz. Brugg 2012

[EPRI 2008] Program on Technology Innovation: Power Generation (Central Station) Technology Options – Executive Summary, Electric Power Research Institute, Palo Alto, United States.

[ExternE 1995] ExternE – Externalities of Energy. Vol 1. Summary. European Commission Directorate-General XII Science, Research and Development. Compiled by ETSU, UK

[Fraunhofer 2012] Christoph Kost, Dr. Thomas Schlegl, Jessica Thomsen, Sebastian Nold, Johannes Mayer: Studie Stromgestehungskosten Erneuerbare Energien. Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme. Mai 2012

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

[Greenpeace 2012] Anthony Froggatt, David McNeill, Steve Thomas, Rianne Teule: Fukushima Fallout. Nuclear business makes people pay and suffer, Greenpeace International, Amsterdam.

[Greenpeace 2013] Morris-Suzuki, Tessa; Boilley, David; McNeill, David; Gundersen, Arnie: Lessons from Fukushima. Februar 2012, Greenpeace International, Amsterdam.

- [Günther et al. 2011] Günther, Benjamin; Karau, Torsten; Kastner, Eva-Maria; Warmuth, Walter: Versicherungsforen Leipzig: Berechnung einer risikoadäquaten Versicherungsprämie zur Deckung der Haftpflichtrisiken, die aus dem Betrieb von Kernkraftwerken resultieren. Eine Studie im Auftrag des Bundesverband Erneuerbare Energie e.V. (BEE). Leipzig, April 2011
- [Hiesl 2012] Hiesl, Albert: Zur aktuellen Wirtschaftlichkeit von Atomkraftwerken anhand von ausgewählten Beispielen. Diplomarbeit. TU Wien. Betreuer: Reinhard Haas. Wien, November 2012
- [House of the Lords 2008] The Economics of Renewable Energy, 4th Report of Session 2007/08, Vol. I: Report, Select Committee on Economic Affairs, London, United Kingdom.
- [IEA/NEA 2005] Projected Costs of Generating Electricity, OECD, Paris, France.
- [IEA/NEA/OECD 2010]: Projected Costs of Generating Electricity. 2010 Edition. International Energy Agency, Nuclear Energy Agency, Organisation for Economic Co-Operation and Development
- [IRSN 2012]: Pascucci-Cahen, Ludivine; Momal, Patrick: Massive radiological releases profoundly differ from controlled releases. Präsentiert beim Eurosafe-Forum Nov. 2012. IRSN, Fontenay-aux-Roses.
- [Kerschner/Leidenmühler 2012] Kerschner, Ferdinand; Leidenmühler, Franz: Haftungsbeschränkungen bei Atomkraftwerken bzw staatliche AKW-Förderung in der EU und mögliche Rechtsschritte wegen unzulässiger Beihilfe. JKU Linz - Institut für Umweltrecht/Institut für Europarecht. Linz, Dezember 2012
- [JCER 2011a] Kobayashi, Tatsuo: FY2020 Nuclear generating cost Treble Pre-Accident Level – Huge Price Tag on Fukushima Accident Cleanup. Japan Center for Economic Research, <http://www.jcer.or.jp/eng/research/pdf/pe%28kobayashi20110719%29e.pdf>.
- [JCER 2011b] The 38th Middle-Term Economic Forecast FY2011-FY2020 (Abstract). Japan Center for Economic Research, http://www.jcer.or.jp/eng/pdf/m38_abstract_new.pdf.
- [MIT 2003] Future of Nuclear Power, United States.
- [MIT 2007] Future of Coal, United States.
- [MIT 2009] Update on the Cost of Nuclear Power, United States.
- [NEA 2011] Nuclear Operator Liability Amounts & Financial Security Limits – as of June 2011. OECD Nuclear Energy Agency.
- [NEI 2012] The Cost of New Generating Capacity in Perspective. White Paper. Nuclear Energy Institute. Washington, Jänner 2012
- [NRC 2012] National Research Council: Hidden Costs of Energy – Unpriced consequences of energy production and use. Copyright: National Academy of Sciences. Commissioned by the U.S. Congress.
- [Radovic 2009] Ognjen Radovic: Factors influencing construction duration and cost of nuclear power plants. Master Thesis Technische Universität Wien.
- [RAE 2004] The Cost of Generating Electricity, Royal Academy of Engineering, London, United Kingdom.
- [Rogner 2012]: The Economics of Nuclear Power. H-Holger Rogner, Head, Planning & Economic Studies Section (PESS), Department of Nuclear Energy, IAEA. Powerpoint Presentation from 2012-03-15
- [Sokolski 2010] Sokolski, Henry (Editor) – Beitrag verschiedener Autoren. Nuclear Power's Global Expansion: Weighing its Costs and Risks. Strategic Studies Institute United States Army War College (SSI)

- [Schärf 2008]: Schärf, Wolf-Georg: Europäisches Nuklearrecht. De Gruyter Handbuch, Berlin.
- [Schneider et al. 2012] Schneider, Mycle; Froggatt, Antony; Hazemann, Julie: The World Nuclear Industry Status Report 2012. Im Auftrag des Worldwatch Institute Washington. Paris/London, Juli 2012
- [Schneider et al. 2011] Schneider, Mycle; Froggatt, Antony; Thomas, Steve: The World Nuclear Industry Status Report 2010 -2011 - Nuclear Power in a Post-Fukushima World – 25 Years after the Chernobyl Accident. Paris/Berlin/Washington, April 2011
- [Statistik Austria 2012] Agrarstrukturerhebung 2010. Betriebsstruktur. Schnellbericht 1.17. Wien.
- [Storm&Smith 2007] Storm van Leeuwen, J.W., Smith, P. (2007): Nuclear power - The energy balance. Quelle: <http://www.stormsmith.nl/> Chaam, Niederlande.
- [Thomas 2005] Thomas, Steve: The economics of nuclear power: analysis of recent studies. Juli 2005
- [Thomas et al. 2007] Thomas, Steve; Bradford, Peter; Froggatt, Antony; Milborrow, David (2007): The economics of nuclear power. Research report 2007 von Greenpeace. November 2007
- [Thomas 2010] Thomas, Steve: The Economics of Nuclear Power: An Update. Heinrich Böll Stiftung – Publication Series on Ecology. März 2010.
- [Thomas 2012] Thomas, Steve: Building New Nuclear: the Challenges ahead.
- [Thomas 2013] Thomas, Steve; Fouquet, Dörte: The new UK nuclear power programme – a fit and a blueprint for illegal state aid? On behalf of Greens/EFA Group – European Parliament
- [University of Chicago 2004] The Economic Future of Nuclear Power, Chicago, United States.
- [UK DTI 2006] The Energy Challenge, United Kingdom Department of Trade and Industry, London, United Kingdom.
- [Wallner et al. 2011] Wallner, Andrea; Wenisch, Antonia; Baumann, Martin; Renner, Stephan: Energiebilanz der Nuklearindustrie – Analyse und CO₂-Emissionen der Nuklearindustrie über den Lebenszyklus. Österreichisches Ökologie-Institut und Österreichische Energieagentur. Gefördert vom Klima- und Energiefonds und der Wiener Umweltschutzkommission.
- [Wallner et al. 2012] Wallner, Andrea; Stein, Philipp: Uranabbau in und für Europa. Broschüre im Auftrag der Wiener Umweltschutzkommission
- [WNA 2013] Liability for Nuclear Damage. Updated January 2013, <http://www.world-nuclear.org/info/Safety-and-Security/Safety-of-Plants/Liability-for-Nuclear-Damage/#.UXAHoEphu9Y>, Zugriff am 18.4.2013
- [WNA 2013b]: The Economics of Nuclear Power. updated March 2013. Online unter: <http://www.world-nuclear.org/info/Economic-Aspects/Economics-of-Nuclear-Power/#.UYJskUrLuE8>. Zugriff: 2.Mai 2013
- [Du/Parsons 2009] Yangbo Du, John E. Parsons: Update on the Cost of Nuclear Power. MIT Center for Energy and Environmental Policy Research.



Als etablierte Forschungs- und Beratungseinrichtung ist das Österreichische Ökologie-Institut seit 1985 im Umfeld Ökologie und Nachhaltigkeit tätig. Wir arbeiten für und mit Politik und Verwaltung, Wirtschaft und Interessensvertretungen sowie den direkt Betroffenen von gesellschaftlichen Veränderungen. Unsere ExpertInnen aus unterschiedlichen Fachbereichen bieten ein breites Feld an inhaltlichen und methodischen Zugängen. Damit stellen wir uns der ambitionierten Herausforderung einer Nachhaltigen Entwicklung in seiner ökologischen, sozialen und ökonomischen Dimension. Im Kompetenzfeld Gesellschaft – Wissenschaft – Technologie beforschen und bewerten wir u.a. das nachhaltige Potenzial von Technologien zur Lösung globaler Fragen. Dafür untersuchen wir Chancen und Risiken von Technologien über ihren Lebenszyklus für Umwelt, Gesellschaft und Gesundheit. Seit 25 Jahren bearbeiten wir nukleare Fragen wie Auswirkungen der gesamten Brennstoffkette von Uranabbau bis Endlagerung auf Mensch und Umwelt, Sicherheit und Risiko von Atomanlagen, Auswirkung von schweren Unfällen und Fragen des Strahlenschutzes.



Die Wiener Umwelthanwaltschaft wurde durch das Umweltschutzgesetz 1993 als weisungsfreie und unabhängige Einrichtung des Landes Wien gegründet. Das oberste Ziel der Umwelthanwaltschaft ist, im Namen der Wiener Bevölkerung die Interessen des Umweltschutzes zu wahren und somit zu einer Verbesserung der Wiener Umweltsituation beizutragen. Sie reagiert mit fachkundiger Information und Beratung auf Anfragen und Beschwerden der Wienerinnen und Wiener. Die Umwelthanwaltschaft steht in ständiger Kooperation mit allen umweltrelevanten Institutionen Wiens. Im Rahmen dieser Partnerschaften werden im engen Dialog Lösungsansätze für Wiens Umweltprobleme erarbeitet. Im Jahr 2002 hat die Umwelthanwaltschaft auch die Rolle der Wiener Atomschutzbeauftragten übernommen.