



Neutrons for Research, Engineering and Medicine in Germany

Status and Scientific Use
of the Triga Research Reactor

The DIW Paper on „Expensive
and Dangerous“ Nuclear Energy
under Review

Das DIW-Papier über die „teure und gefährliche“ Kernenergie auf dem Prüfstand

Anna Veronika Wendland und Björn Peters

Abstract Ende Juli 2019 veröffentlichte eine Wissenschaftlergruppe des DIW Berlin ein weithin beachtetes Papier, das davor warnt, die Kernenergie als Instrument zur Senkung der CO₂-Emissionen in der Energiewirtschaft zu nutzen. [1] Zu teuer und zu gefährlich sei die Nutzung von Kernkraftwerken. Der wahre Grund für die Nutzung der Kernenergie sei ihr militärisches Potenzial. Mit seinem Papier reagierte das DIW auf die neuerdings auflebende Kontroverse um die Krise der Energiewende, die Folgen des deutschen Atomausstiegs und die Rolle der Kernenergie in einer weltweiten Klimastrategie.

In diesem Beitrag werden die Argumente der DIW-Studie einer kritischen Prüfung unterzogen und sowohl die Berechnungen untersucht als auch die wirtschafts- und technikhistorischen Annahmen des DIW sowie seine Aussagen zur Reaktorsicherheit geprüft. Im Ergebnis ist festzustellen, dass das DIW-Papier in diesen zentralen Punkten gegen die Standards guten wissenschaftlichen Arbeitens verstößt. Die Autoren können ihr Ergebnis nur erzielen, weil Forschungsdaten und Forschungsliteratur selektiv aufbereitet, aktuelle Forschungsstände nicht rezipiert und Sachverhalte fehlerhaft dargestellt wurden. In wesentlichen inhaltlichen Punkten und in der Wortwahl folgt das DIW unkritisch den Narrativen der Anti-Atom-Bewegung.

An die Stelle eines solchen aktivistischen Ansatzes sollte eine evidenzbasierte, technologieneutrale internationale Diskussion über die Instrumente einer guten Klimastrategie treten. Diese sollte die Kernenergie einschließen, so wie es auch der Weltklimarat IPCC tut.

Einleitung:

Gegenstand und Vorgehen

Ende Juli 2019 veröffentlichte eine Autorengruppe des Deutschen Instituts für Wirtschaftsforschung e. V. (DIW Berlin) ein Papier, das davor warnt, die Kernenergie als Instrument zur Senkung der CO₂-Emissionen in der Energiewirtschaft zu nutzen. „Zu teuer und gefährlich“ sei der Betrieb von Kernkraftwerken. [2]

„Die Ergebnisse zeigen, dass Atomkraft aufgrund radioaktiver Strahlung für über eine Millionen Jahre mitnichten als „sauber“ bezeichnet werden kann, sondern für Mensch und Umwelt gefährlich ist. Zudem fallen hohe Risiken bezüglich Proliferation an. Eine empirische Erhebung aller jemals

gebauten 674 Atomkraftwerke zeigt, dass privatwirtschaftliche Motive von Anfang an keine Rolle gespielt haben, sondern militärische Interessen.“ [3]

Mit diesem Papier reagiert das DIW nach eigenen Angaben [4] auf die neuerdings intensiver geführte Diskussion um die Krise der Energiewende und um die Rolle der Kernenergie in einer weltweiten Klimastrategie. Politiker, Medien und Atomgegner zitieren die DIW-Publikation nun als abschließendes wissenschaftliches Verdikt über die Kernenergie – allerdings ungeprüft. Besonders die Behauptung des DIW, es habe „alle Atomkraftwerke“ einer genauen Analyse unterzogen, wird als innovatives Argument wahrgenommen. [5]

Gleichwohl erinnert bereits die apodiktische und alarmistische Titelwahl der Autoren mehr an die Diktion der Anti-Atom-Bewegung als an jene der nüchternen Wissenschaft. Der hohe Ton der Anti-Atom-Demonstrationen kennzeichnet auch ein vom DIW publiziertes Interview mit dem Studien-Mitautor Christian von Hirschhausen. [6] Es besteht daher Grund zu der Annahme, dass das DIW-Papier keineswegs unvoreingenommen vorgeht. Taugt es also als Referenz in einer evidenzbasierten Diskussion über einen klimafreundlichen Energiemix? Um diese Frage zu beantworten, muss das Papier einer Prüfung nach wissenschaftlichen Kriterien unterzogen werden.

Im Zentrum des DIW-Textes, der sich selber mal als „betriebswirtschaftliche und wirtschaftshistorische Analyse“, mal als „Studie“ präsentiert [7], stehen eine Frage, eine Antwort und drei Argumente. Die Frage lautet: Sollte die Kernenergienutzung eine Rolle bei der Dekarbonisierung unserer Industriegesellschaft spielen, so wie es auch in den IPCC-Szenarien für die Erreichung von Klimazielen [8]

beschrieben wird? Die DIW-Experten beantworten diese Frage, ganz konform mit der Politik der Bundesregierung, mit Nein. Ihre Argumente: Erstens sei Kernenergienutzung viel zu teuer. Zweitens sei die Kernenergie überhaupt nur in der Welt, weil militärische Motive Staaten dazu bewogen hätten, Kernkraftwerke wider jeden ökonomischen Sachverstand zu betreiben. Und drittens seien Kernkraftwerke zu gefährlich.

Lediglich für das erste Argument – das betriebs- und energiewirtschaftliche Argument zu den Kosten der Kernenergie – besitzt das DIW Hausexpertise und wartet mit eigenen Berechnungen auf. In den Bereichen Kernenergiegeschichte, Reaktor- und Proliferationssicherheit sowie Strahlenbiologie, den Gegenstandsreichen des zweiten und dritten Arguments, betreiben die Autoren ausweislich ihrer Publikationslisten [9] keine eigene Forschung und beschränken sich daher auf das Zitieren von Forschungsliteratur und anderen Publikationen.

Die Aufgabe einer sachlich-kritischen Überprüfung ist folglich, die DIW-Berechnungen für das Argument 1 auf Methodik und Plausibilität zu prüfen sowie im Falle der sekundärliteratur-basierten Argumente 2 und 3 zu untersuchen, auf welchem Wege die Autoren des Papiers zu ihren Aussagen kommen und ob diese durch den Forschungsstand gut begründet sind. Das ist der Gegenstand der Abschnitte 1 bis 3. Im Abschnitt 4 folgt eine generelle Einordnung und Kritik des DIW-Ansatzes im systemischen Kontext von Energiewirtschaften. Im fünften Abschnitt folgt ein Fazit.

1 „Atomkraft ist zu teuer“

In der Einleitung zum Papier behaupten die DIW-Autoren, sie hätten „eine

empirische Erhebung aller jemals gebauten 674 Atomkraftwerke“ durchgeführt, die zeige, „dass privatwirtschaftliche Motive von Anfang an keine Rolle gespielt haben, sondern militärische Interessen.“ [10] Es folgt eine eigene Berechnung des Nettobarwerts von KKW-Investitionen, die man durch Eingabe von Variablen in ein Monte-Carlo-Analyseprogramm erzeugt hat. Alle Kombinationen dieser Variablen ergeben laut DIW deutlich negative Nettobarwerte zwischen den Extremwerten 1,5 bis 8,9 Milliarden Euro Verlust. [11] Es ist diese anspruchsvoll klingende Kombination von historischer Empirie, Berechnung von Neuinvestitionen und stochastischer Methode, die bei fachlich nicht vorgebildeten Lesern den Eindruck erzeugt, hier werde erstmals die globale Kernenergiewirtschaft in Vergangenheit und Gegenwart mit wissenschaftlicher Methodik auf Herz und Nieren geprüft.

Die Autoren stützen sich dabei auf das empirische Material einer „Data Documentation“ des DIW von 2018 über Kernkraftwerke weltweit, an der zwei der jetzigen Autoren mitgearbeitet haben. [12] Flankiert wird dieser Argumentationskern von Referenzen auf Fach- und andere Literatur. Hier fällt ein hoher Anteil atomkritischer Quellen auf, darunter auch nichtwissenschaftliche Publikationen aus der Anti-Atom-Szene. [13] Die DIW-Aussage „Weitere Studien haben in jüngerer Zeit die mangelnde Wettbewerbsfähigkeit der Atomenergie bestätigt“ wird jedoch mit zwei Literaturbelegen versehen, die diesen Schluss überhaupt nicht zulassen. [14]

Als empirische Hauptquelle nutzen die Autoren die DIW-eigene Datensammlung. Sie ist, abgesehen von einem Überblick über Diffusionsphasen und -typen der Kernertechnologie, ein unspektakuläres Werk. Sie gibt, nach Ländern geordnet, Auskunft über Standorte, Reaktortypen, Blockleistung, Laufzeiten, die mit Informationen über die Entwicklung der einzelnen Atomwirtschaften angereichert werden. Diese Daten beziehen die Autoren nicht aus Primärquellen, sondern aus Überblicksdarstellungen anderer Autoren sowie statistischen Angaben von Organisationen wie der IAEA. Es wurden keine einzelnen Anlagen einer tieferen Analyse unterzogen, etwa auf Grundlage von Geschäftsberichten. Wir finden in der Publikation nur für sehr wenige Anlagen Informationen über Baukosten [15], und keine Angaben

über konkret geflossene staatliche Fördersummen, Stromgestehungskosten oder Jahresvolllaststunden – Daten, die man eigentlich bräuchte, um dem Anspruch einer wie behauptet umfassenden historischen „empirischen Analyse“ zu genügen. Lediglich für heute geplante oder im Bau befindliche Anlagen nennt das DIW detailliertere Angaben zu „aktuellen Kostenschätzungen“ und gibt dazu auch weiterführende Literatur an. [16]

Die eigentliche Berechnung, die das DIW selbst durchführt, beruht daher gar nicht auf historischen Primärdaten aus der zitierten Datensammlung, sondern aus selbst – und teilweise willkürlich – angesetzten Parametern, die in das Monte-Carlo-Programm eingegeben werden. Gleichwohl suggerieren die Autoren, diese Parameter seien empirisch und historisch wohl begründet und hätten etwas mit der Datensammlung zu tun.

Allerdings lassen die vom DIW gewählten Verfahren grundsätzliche Zweifel aufkommen, ob dort die Methoden der Investitionsrechnung in der Energiewirtschaft beherrscht werden, was sich an vielen Einzelheiten zeigt. Dazu haben wir eine Investitionsrechnung erstellt, um die Ergebnisse des DIW zu reproduzieren. Als Vorlage diente ein Muster, das einer der Verfasser [17] in der Praxis häufig eingesetzt hat und das vielfach von Wirtschaftsprüfern testiert ist. Die Frage ist nun: Wenn die Regeln der Berechnung der Wirtschaftlichkeit (z. B. der IAS [18]) berücksichtigt werden, welche Annahmen müssen dann getroffen werden, um die Ergebnisse des DIW zu reproduzieren? Dieses Verfahren nennt sich *Reverse Engineering* und wird häufig angewandt bei der *Due Diligence* von Unternehmen, also bei dessen sorgfältiger Überprüfung vor Kauf oder vor der Gründung von Gemeinschaftsunternehmen. Wir untersuchen also im Folgenden die Sinnhaftigkeit der vom DIW getroffenen Annahmen. Dort, wo das DIW keine Aussagen über notwendige Annahmen macht, treffen wir eigene auf Basis von Industriestandards.

Vorab einige grundlegende Bemerkungen über die Methodik des DIW.

- Als relevanten Parameter zur Darstellung der Investitionskosten setzt das DIW den Anlagenpreis an. Ob ein Kraftwerk als „teuer“ oder „billig“ anzusehen ist, lässt sich aber nicht allein am Anlagenpreis ablesen. Entscheidend ist, wie sich die getätigte Investition rentiert,

welchen Ertrag in Form von verkaufter Energie (Strom, Wärme) sie in Relation zu den Investitionskosten einbringt. Wenn ein Kraftwerk also viel Energie verkauft, rechnet sich auch eine hohe Investition. Andererseits kann ein Kraftwerk trotz eines optisch niedrigen Anlagenpreises unrentabel sein, nämlich wenn es nur wenig oder im Extremfall gar keine Energie verkauft.

Um diesen Wert, die spezifischen Investitionskosten, zu ermitteln, dividiert man die Gesamtinvestition durch die Anzahl der erwartbar während eines Jahres abgesetzter Kilowattstunden (die sogenannte „Jahresarbeitsstunde“) und erhält eine Angabe in EUR/(kWh·a). Dazu muss man die Auslastung der Anlage („Volllaststunden“) kennen, angegeben in MWh/MW oder kurz in h/a, also die insgesamt ins Stromnetz eingespeiste Energie eines Jahres dividiert durch die Kapazität der Anlage.

Ausgerechnet dieser für die Investitionsrechnung jedes Kraftwerks wesentliche Parameter der Auslastung fehlt jedoch im DIW-Papier. Dies lässt befürchten, dass das DIW über keine hinreichenden Kenntnisse und Erfahrungen in Investitionsrechnung für alle Arten von Erzeugungsanlagen für elektrische Energie verfügt.

- Das DIW ermittelt die Wirtschaftlichkeit einer Investition in Kernkraftwerke anhand des Nettobarwerts (net present value, NPV [20]). Als wichtigste Erfolgskennzahl dient in der Investitionsrechnung indes nicht der Nettobarwert, sondern die interne Verzinsung des eingesetzten Kapitals (interner Zinsfuß, internal rate of return, IRR [21]). Diese Kennzahl erwähnt das DIW nicht. Der Nettobarwert bedarf zur Berechnung der IRR eines zusätzlichen Zinsparameters, der willkürlich gewählt werden muss, und den das DIW ebenfalls simuliert: die gewichteten Kapitalkosten oder WACC (Weighted Average Cost of Capital). In der Tat treffen Firmen Investitionsentscheidungen durch den Vergleich des IRR einer spezifischen Investition mit ihren Kapitalkosten. Der NPV ist dabei nur eine untergeordnete Hilfsgröße.
- Mehrere zentrale Berechnungsparameter werden vom DIW nicht angegeben. Die fehlende Angabe über die Anzahl der

Volllaststunden wurde bereits erwähnt. Von zentraler Bedeutung für die Berechnung des Nettobarwerts oder des IRR einer Investition sind auch Annahmen über

- a. die allgemeine Preissteigerungsrate,
- b. die Bauzeit und den Baufortschritt,
- c. Abschreibungsregeln und
- d. die Unternehmensbesteuerung.

■ Zusätzlich ist betriebswirtschaftlich relevant, ob und wie ein Kraftwerksbetreiber neben eigenem Geld („Eigenkapital“) auch Fremdkapital in Form von Bankdarlehen oder Unternehmensanleihen zur Finanzierung der Investitionen einsetzt. Dieser Faktor wurde von den DIW-Autoren ignoriert.

Im Detail wurden die vom DIW angegebenen und gewählten Parameter in einigen Fällen sehr willkürlich und ohne Bezug zur heutigen Investitionspraxis, aber auch ohne historische Kontextualisierung gewählt.

1. Der Parameterbereich für die Simulation des Ertrags je Megawattstunde des KKW-Betreibers beginnt bei 20 EUR/MWh und endet bei 80 EUR/MWh. Dies ist zwar eine historisch korrekte, aber praxisferne Angabe. Marktteilnehmer wissen, dass die Untergrenze, ab der andere thermische Kraftwerke profitabel werden, bei etwa 50 EUR/MWh beginnt. [24] Dies gilt für Kohlekraftwerke; Gas- und Ölkraftwerke liegen noch deutlich teurer, und CO₂-Preise sind hierin noch nicht eingerechnet. Dass Großhandelspreise unter 20 EUR/MWh vor zwanzig Jahren nicht zur Insolvenz der Energieversorger führten, liegt daran, dass die Gesteungskosten damaliger Kohle- und Kernkraftwerke deutlich niedriger lagen als heute.

Die obere Ertragsgrenze für Grundlaststrom wird von den DIW-Autoren unterschätzt. Gerade in Deutschland würden bei einem weiteren Ausbau der Solar- und Windenergie und nach einem gelungenen Kohleausstieg als zuverlässige Stromerzeuger im wesentlichen nur Gaskraftwerke übrig bleiben, um den Zusammenbruch der Stromversorgung zu vermeiden. Da die sehr effizienten Gas- und Dampfkraftwerke (GuD, bis zu 60 Prozent Wirkungsgrad, ca. 60 bis 80 EUR/MWh Gesteungskosten) nicht flexibel genug auf Laständerungen reagieren können, müssten viel weniger effiziente Gasmotoren- oder Gasturbinenkraftwerke (ca.

30–35 Prozent Wirkungsgrad, ca. 100–140 EUR/MWh Gesteungskosten) den Hauptteil der Stromversorgung übernehmen in allen Jahresstunden, in denen Solar- und Windenergie nicht genügend Strom liefern.

Nach unseren Simulationen betrifft dies selbst bei rechnerischer Vollversorgung aus Sonne und Wind etwa 6.000 der insgesamt 8.760 Jahresstunden. In der weit überwiegenden Zeit des Jahres wären damit die Gaskraftwerke preissetzend. Alle seriösen Schätzungen für einen Strompreis ab Mitte der 2020er-Jahre gehen daher von mittleren Strompreisen von 80–120 EUR/MWh aus. Hierin noch nicht eingerechnet sind die Kosten künftiger CO₂-Besteuerung oder CO₂-Emissionshandels, die je nach politischer Strategie weitere 20–150 EUR/MWh an Zusatzkosten verursachen können.

2. Die DIW-Autoren berücksichtigen weder Rückbau- noch Endlagerungskosten, was unüblich ist. Diese sind gesetzlich während der gesamten Betriebszeit in Form von Rücklagen aufzubauen und stehen für keine anderen Zwecke zur Verfügung.
3. Kein Kernkraftwerk darf ohne eine ausreichende Vorsorge für die Erfüllung gesetzlicher Schadensersatzverpflichtungen (Deckungsvorsorge) in Schadensverläufen, die ein Kernkraftwerk durchlaufen kann, betrieben werden. [25] Die DIW-Autoren behaupten das Gegenteil [26], führen dafür jedoch keine wissenschaftlichen Quellen an, sondern ein von der Erneuerbaren-Lobby in Auftrag gegebenes Gutachten. Dieses verwendet Schadensszenarien weit jenseits dessen, was in der seriösen Literatur angenommen wird, und kommt dadurch hypothetisch zu exorbitant hohen Versicherungskosten, die in der Praxis irrelevant sind. [27]

Gegen die energietechnische Kompetenz der DIW-Autoren spricht, dass sie als Laufzeit eines Leistungskernreaktors 40 Jahre zugrunde legen. [28] Erfahrungsgemäß lassen sich Kernkraftwerke jedoch weit länger sicher betreiben. Ein ausreichendes Niveau an Wartungs- und Reinvestitionsbudgets vorausgesetzt, können sie durchaus 20 – 40 Jahre längere Betriebsdauern erreichen. Neuere Reaktormodelle wie beispielsweise der EPR sind von vornherein für

eine Laufzeit von 60 Jahren ausgelegt, auch hier mit der Option auf Verlängerung. [29] Die längere Laufzeit spielt für die Wirtschaftlichkeit vor allem dann eine wesentliche Rolle, wenn Preissteigerungsraten im Rahmen der allgemeinen Inflationserwartung eingerechnet werden, und wenn niedrige Abzinsungsfaktoren für künftige Zahlungsströme angenommen werden.

Die oben genannten Punkte dokumentieren, dass das DIW Verfahren verwendet, die fern von der energiewirtschaftlichen Praxis sind.

Um nun die Methodik des DIW zu überprüfen, haben wir den einzigen Fixpunkt in den DIW-Berechnungen als Vergleich herangezogen. Dies ist der Nettobarwert (NPV) von minus 1,5 Milliarden Euro als „bestes“ Ergebnis der DIW-Simulation, das sich ergibt bei genannten Investitionsparametern von vier Milliarden Euro Errichtungskosten für ein Kernkraftwerk mit 1.000 MW elektrischer Leistung, 80 Euro je Megawattstunde Verkaufserlös und 4 Prozent an gewichteten Kapitalkosten (WACC) für das Betreiberunternehmen. [30]

Neben den von den DIW-Autoren genannten Investitionsparametern sind für die Investitionsrechnung jedoch weitere Parameter relevant, die die Autoren nicht nennen. Im Rahmen von *Reverse Engineering* haben wir für diese Parameter Annahmen getroffen, die so gewählt sind, dass sie mit den quantitativen Angaben des DIW-Papiers übereinstimmen. Mit allgemein gängigen Methoden der Investitionsrechnung haben wir das DIW-Ergebnis reproduziert und dazu diejenigen Parameter errechnet, die die DIW-Studie nicht explizit nennt, aber notwendigerweise in die Modellierung des Nettobarwerts einfließen müssen. Um zum gleichen Ergebnis wie die DIW-Autoren zu kommen, ergaben sich für diese Parameter jedoch Werte, die in der Investitionspraxis irrelevant sind.

Im Folgenden nennen wir für sieben Parameter, für die die DIW-Studie keine Angaben macht, jeweils die Werte, die diese Parameter annehmen müssen, um zum DIW-Ergebnis zu führen. Die DIW-Autoren werden bei ihrer Simulation folglich explizit oder implizit mit diesen von uns vermuteten Parameterwerten gearbeitet haben. Dem stellen wir jeweils die üblichen Parameterwerte aus der Praxis gegenüber.

■ **Bauzeit:** Kernkraftwerke können zwar in sechs Jahren errichtet

werden, zumal wenn die Standardisierung bei Errichtung und Aufsichtswesen hoch ist und die Beteiligten routinisierte Formen der Zusammenarbeit entwickeln. Wir gehen aber davon aus, dass das DIW zehn Jahre angenommen hat und die Baukosten gleichmäßig auf die Jahre der Bauphase verteilt hat. Tatsächlich verteilen sich die Baukosten in der Praxis ungleich über die Jahre; die letzten Zahlungen bei Kraftwerksneubauten fallen in der Regel erst einige Zeit nach Betriebsbeginn an. Wir gehen zudem davon aus, dass auch das DIW angenommen hat, dass eventuell anfallende Bauzeitinsen (im Fall der teilweisen Fremdfinanzierung der Investition) aktiviert werden, d. h. nach und nach abgeschrieben werden.

- **Preissteigerungsrate:** Wir gehen davon aus, dass das DIW eine Preissteigerungsrate von null modelliert hat. Tatsächlich ist ein Erwartungswert für die Teuerungsrate von 1 bis 2 Prozent üblich. Je höher sie liegt, desto stärker steigen die Umsatzerlöse aus dem Stromverkauf, und desto leichter fällt es, eventuell eingesetztes Fremdkapital zurückzuzahlen. Aus der Praxis empfehlen wir, als Preissteigerungsrate 1,5 Prozent anzusetzen.
- **Volllaststunden:** Kernkraftwerke laufen typischerweise in der Grundlast und erreichen leicht 7.500 und mehr Volllaststunden pro Jahr (h/a, das Jahr hat 8.760 Stunden). Werden Kernkraftwerke im Lastfolgebetrieb eingesetzt, erreichen sie nur ca. 6.000 h/a, können dann aber ihre elektrische Energie teurer verkaufen. Demgegenüber dürfte das DIW die Anzahl der Volllaststunden mit nur etwa 3.400 h/a angesetzt haben. Dies entspricht dem Erwartungswert des deutschen Kraftwerks-parks als Ganzem, wie wir aus eigenen Berechnungen wissen. Dieser niedrige Wert ergibt sich vor allem aus der Tatsache, dass Wind- und Solarkraftwerke tageszeit- und wetterbedingt nur eine vergleichsweise geringe Anzahl von Volllaststunden beitragen können – eine Einschränkung, der Kernkraftwerke nicht unterworfen sind. Die Wahl des Parameters Volllaststunden des DIW steht im Übrigen im Widerspruch zum vom DIW selbstformulierten Anspruch, historische und internationale Daten verwendet zu haben. In der

globalen Praxis werden Kernkraftwerke so eingesetzt, dass sie im Durchschnitt 6.000 bis 7.000 Volllaststunden erreichen. [31]

- **Wärmeverkauf:** Kernkraftwerke werden in vielen Ländern dazu eingesetzt, die lokale Bevölkerung mit Nah- und Fernwärme zu versorgen. Wir gehen davon aus, dass das DIW diese Tatsache nicht berücksichtigt und das aus dem Wärmeverkauf resultierende zusätzliche Einnahmepotential außer Acht gelassen hat. Wärme kann typischerweise mit 10–15 EUR/MWh verkauft werden. Werden industrielle Wärmekunden bedient, kann durch den Wärmeverkauf in der Regel zusätzlich so viel zusätzlich erlöst werden, wie etwa der Hälfte des Absatzes an elektrischer Energie entspricht. Weil elektrische Energie viel höherwertiger ist und höher vergütet wird, spielt Wärmeverkauf aber nur eine untergeordnete Rolle beim Umsatz.
- **Fremdfinanzierung:** Üblicherweise werden Kraftwerke zum größeren Teil mit Fremdkapital finanziert (zu ca. 50 bis 70 Prozent). Dies scheint das DIW außer Acht gelassen zu haben. Aus volkswirtschaftlicher Sicht könnte man das sogar zurecht tun, denn während die teilweise Fremdfinanzierung zwar aus betriebswirtschaftlicher Sicht ein wesentliches Mittel zur Gewinnsteigerung ist, verteilt sie volkswirtschaftlich gesehen doch nur die Gewinne einer Unternehmung ungleich auf die verschiedenen Finanzierer. Die DIW-Studie hat allerdings den Anspruch, zu ergründen, welchen Gewinn oder Verlust ein Kernkraftwerksprojekt für den Auftraggeber erzielen wird. Ist dieser ein privates Unternehmen, ist die betriebswirtschaftliche Perspektive maßgeblich. Daher modellieren wir mit 60 Prozent Fremdfinanzierung, lassen die Bauzeitinsen aber vom Eigenkapitalgeber finanzieren. Zudem kalkulieren wir marktüblich mit einem Zinssatz von 2,5 Prozent [32], einer Laufzeit von 35 Jahren, gerechnet ab Betriebsbeginn, einer Auszahlung parallel mit dem Eigenkapital und einer gleichmäßigen Tilgung über die gesamte Laufzeit.
- **Steuern und Abschreibungen:** Wir gehen davon aus, dass das DIW Steuern mit 30 Prozent des steuerlichen Ergebnisses modelliert hat, was Umsatzerlösen minus Betriebskosten, Abschreibungen

und Zinsen entspricht. Diesen Steuersatz übernehmen wir, auch wenn er am oberen Ende in Europa liegt. Außerdem modellieren wir mit einer Abschreibungsdauer von 40 Jahren, ohne auf die unterschiedlichen Abschreibungsdauern verschiedener Komponenten wie Bauwerke, technische Anlagen und Schaltelektronik einzugehen. Beide Parameter sind notwendig für die Modellierung, werden im DIW-Papier aber nicht angegeben.

- **Technische Lebensdauer:** Das DIW nimmt 40 Jahre als technische Lebensdauer von Kernkraftwerken an. Wir modellieren sie mit 60 Jahren und haben dies oben begründet.

Bei einigen weiteren Parametern halten wir die Annahmen des DIW für realistisch und haben sie in unser eigenes Modell übernommen:

Für **Wartung und Instandhaltung** nimmt das DIW 90 Euro je Kilowatt und Jahr an, mithin 90 Mio. Euro jährlich, was wir als zutreffend einschätzen. Dies entspricht 2,25 Prozent der Bausumme von mindestens 4 Mrd. Euro. In der Praxis gilt ein Erfahrungswert von 2,50 Prozent der Bausumme als Richtwert, hier hat das DIW den Wert nicht zu eigenen Gunsten ausgereizt.

Als **Betriebs- und Kernbrennstoffkosten** nimmt das DIW etwa 12 Euro je Megawattstunde an. Dies ist ein Wert, der die hohen Fixkostenanteile Personal und Versicherung mit einschließt. Tatsächlich sollte der Wert bei steigender Anzahl von Volllaststunden degressiv verlaufen, da die Brennstoffkosten selbst nur eine untergeordnete Rolle spielen. Wir halten den Wert, der sich bei einer realistisch angesetzten Anzahl von Volllaststunden (6.000 h/a) mit 72 Mio. Euro jährlich errechnet, für übertrieben hoch, haben diesen aber dennoch konservativ übernommen und begründen das weiter unten.

Die Variation des Nettobarwerts, des IRR und des LCoE (Levelized Cost of Electricity) gibt die folgende **Tabelle** für den besten Fall, den das DIW berechnet hat, an (80 EUR/MWh Verkaufserlös je Megawattstunde, vier Prozent WACC und 4.000 Euro je kW Errichtungskosten).

Durch Anpassung der Parameter der DIW-Investitionsrechnung auf branchenübliche Werte steigt der Nettobarwert einer Investition in ein Kernkraftwerk für den berechneten Fall also um fast fünf Milliarden Euro.

Allerdings werden die Betriebskosten vom DIW wie oben erwähnt

Parameter	Einheit	DIW-Wert	Realistischer Wert	Beitrag zum NPV (in Mio. EUR)	Neu berechneter NPV	IRR (in Prozent)	anf. LCOE in EUR/MWh
Nettoarwert DIW	Mio. EUR	Ausgangswert		-1.503		1,30	86,91
Bauzeit	Jahre	10	6	57	-1.446	1,42	86,91
Preissteigerungsrate	Prozent	0	1,5	460	-986	2,45	86,91
Anzahl Volllaststunden	h/a	3600	6000	2.319	1.333	5,72	65,11
Abverkauf Wärme		Nein	ja, 2000 h/a zu 10 EUR/MWh	287	1.620	6,05	62,78
Laufzeit	Jahre	40	60	1.140	2.760	6,61	62,78
Eigenkapitalquote*	Prozent	100	40	498	3.258	8,94	61,29

*) Fremdkapital für 35 Jahre Laufzeit, gleichmäßige Tilgung und zu 2,5 % Zinssatz

vermutlich zu hoch angesetzt. Andererseits hat das DIW die verpflichtende Bildung von Rücklagen für den Rückbau nicht berücksichtigt, was die zu hoch angenommenen Betriebskosten teilkompensiert. Insgesamt wollen wir den Betriebskostenansatz daher nicht in Frage stellen, sind uns aber sicher, dass mit diesen Kostenansätzen der Rückbau so geleistet werden kann, dass keine weiteren Kosten auf die Allgemeinheit zukommen. Über Investitionen wird in der Praxis schließlich unter Berücksichtigung aller Chancen und Risiken entschieden. Das bedeutet, auch andere Strompreisszenarien ins Kalkül zu ziehen, beispielsweise solche mit hoher CO₂-Bepreisung.

2 „Atomkraft war nie auf die kommerzielle Stromerzeugung ausgelegt, sondern auf Atomwaffen“ [33]

Die DIW-Autoren behaupten, ihre empirische Untersuchung zeige, dass „militärische Interessen“ das Hauptmotiv zur Errichtung der „aller jemals gebauten 674 Atomkraftwerke“ gewesen seien. Später sprechen sie jedoch nur noch vage von „politischen und institutionellen Rahmenbedingungen ... militärischer Natur“, was aber für die Qualifizierung von 674 Reaktoranlagen als militärisch motiviert unzureichend ist. [34] Auch für diese Aussage stützen sie sich auf die bereits erwähnte „Data Documentation“ von 2018. [35] Diese liefert aber außer allgemeinen Angaben zur ursprünglich militärischen Herkunft bestimmter Leistungsreaktor-konzepte [36] nur sehr sporadische Informationen über die militärische Nutzung oder Kontextualisierung einzelner ziviler Anlagen und erst recht nicht für „alle 674“. [37] Und zwar nicht, weil man diese Informationen ignoriert hätte, sondern weil es sie in der Mehrheit der Fälle nicht gibt, weil diese konkreten Anlagen eben für die Stromproduktion geplant wurden und

nicht für militärische Zwecke, wie das DIW durch eine unklare Wortwahl suggeriert.

Informationen über die Kernenergie-Diskussionen innerhalb der jeweiligen Länder, die Aufschluss über militärische und andere Motive hätten geben können, gibt es weder in der DIW-Publikation selbst noch in der „Data Documentation“. Dafür finden sich aber in der „Data Documentation“ physikalisch-technikhistorische Eigentore wie die Behauptung, in grafitmoderierten Reaktoren werde aus Grafit durch Neutronenbeschuss Plutonium [38], die Verwechslung von Containment (Sicherheitsbehälter) mit Reaktordruckbehälter [39] oder die visuelle Darstellung der Implementierung der Kernenergie in der westlichen Sowjetunion als Technologietransfer von der Sowjetunion in die Ukraine. [40]

Die einzig valide Information über den Zusammenhang von ziviler und militärischer Kerntechnik, welche die DIW-Datensammlung gibt, ist keine neue Erkenntnis: Insbesondere in der frühen Kerntechnikgeschichte dominierten die militärischen Atomprogramme weniger Staaten und die daraus erwachsenen Reaktorkonzepte. In der Kerntechnik der Atomwaffenstaaten berühren sich militärische und zivile Nutzungen an bestimmten Schnittstellen wie der Wiederaufarbeitung, seltener in Zweizweck-Reaktoranlagen. Aber es gibt auch viele Beispiele für Kernenergie-wirtschaften, die nicht aus einer militärischen Vorgeschichte erwachsen, z. B. die kanadische, die japanische, die südkoreanische, die finnische und die schweizerische, oder solche, in denen mit der militärischen Option geliebäugelt wurde, sie aber fallengelassen wurde, bevor sie sich in stabilen nationalen Reaktorlinien hätte manifestieren können – Beispiele sind die Bundesrepublik Deutschland und Schweden. [41] Insgesamt kann man also bereits aus der DIW-eigenen Datensammlung

von 2018 ein differenziertes Bild ableiten – keineswegs das einer ausschließlich militärisch motivierten globalen Kernenergie-wirtschaft.

Betrachtet man darüber hinaus einzelne Beispielfälle im Detail – d. h. mit Kenntnis der nationalen Diskussionen und Entscheidungsprozesse über die Kerntechnik –, so stellt sich rasch heraus, dass die Darstellung des DIW-Papiers auf einer sehr oberflächlichen und selektiven Rezeption von Quellen und Fachliteratur beruht. Grundlegende Arbeiten und Fachaufsätze, die reiche Auskunft über außermilitärische Faktoren in der Kerntechnikgeschichte geben könnten, wurden erst gar nicht wahrgenommen. [42] Das Ergebnis ist eine schablonenhafte, pauschale Darstellung.

Nehmen wir das Beispiel der Sowjetunion und ihrer Nachfolgestaaten. Deren Kernenergie-wirtschaften sind – aufgrund ihrer Genealogie im sowjetischen Atomwaffenprogramm – für das DIW ein klarer Fall; es ordnet diese Fälle in sein Schema militärischer Motivierung ein. Das heutige Russland wird als Paradebeispiel für die These angeführt, nur in staatsdominierten, „nicht marktbestimmten“ Atomwirtschaften werde heute noch in Kernenergie investiert. [43]

Doch der historische Befund sieht anders aus. Selbst in der Sowjetunion stand nicht in erster Linie die militärische Option an der Wiege der Leistungskernkraftwerke, denn für die Produktion von Waffenplutonium hatte man spezielle Anlagen. Einige davon waren Zweizweck-Reaktoren und lieferten Strom für den Eigenbedarf der Militärbetriebe und der zugehörigen geheimgehaltenen, von der Außenwelt isolierten Werks-siedlungen. [44] Doch Leistungsreaktoren für das öffentliche Netz wurden völlig neu konzipiert, und die sowjetische Atomlobby aus Wissenschaftlern und Reaktorkonstruktoren hatte in den 1960er Jahren

erhebliche Probleme, der knauserigen Staatsplanbehörde die Kernenergie schmackhaft zu machen. Daher suchte man nach Möglichkeiten ökonomischer Optimierung. [45]

Die Entwicklung der zivilen sowjetischen Kernenergie gründete vor allem auf strategischen energiewirtschaftsgeografischen Erwägungen. Die enormen Wasserkraftressourcen im asiatischen Teil des Landes hätten nur unter großen Leitungsverlusten an die Industriezentren der westlichen Sowjetunion angebunden werden können. Die harten osteuropäischen Winter sorgten immer wieder für Transportprobleme in der traditionellen, kohlebasierten Energiewirtschaft. Schließlich spielten auch Umwelt-erwägungen wie die enorme Luftverschmutzung durch Kohleverstromung eine Rolle. Das bewog die sowjetische Führung, die Elektrizitätswirtschaft insbesondere in der westlichen Sowjetunion auf Kernenergie umzustellen. [46] Ideologische Begründungen von der Kernenergie als fortschrittlichster Produktivkraft im Kommunismus traten hinzu, außerdem zeichnete sich ab den 1970er Jahren eine neue Arbeitsteilung ab, in der Kernenergie für heimische Zwecke genutzt werden sollte, Öl und Gas jedoch vor allem für den Export gefördert wurden, um Devisen zu erwirtschaften.

Selbst im Falle des sowjetischen Nationalreaktors, des grafitmoderierten Druckröhren-Siedewasserreaktors RBMK, den selbst Fachleute gerne als Zweizweck-Reaktor bezeichnen [47], dominierten in der sowjetischen Diskussion ökonomische Motive und Begründungen für die Wahl und Auslegung eben dieses Reaktortyps. Seine Komponenten konnte der herkömmliche Energieanlagenbau leicht fertigen und war dazu nicht auf eine aufwendige Druckbehälterproduktion angewiesen. Obwohl der RBMK konzeptuell tatsächlich von den Plutoniumreaktoren der 1940er Jahre abstammte, wurde er explizit als Leistungsreaktor geplant und genutzt; sein technologisches Potenzial als Plutoniumreaktor wurde beiseitegeschoben. [48] Denn die Anforderungen einer ökonomischen Stromproduktion vertragen sich nicht mit den geringen Abbrandtiefen für die Extraktion von waffengrädigem Plutonium. Zudem bringen Kernauslegung und -abmessungen des RBMK eine für militärische Zwecke ungünstige Neutronenflussverteilung mit sich, die sich im Plutoniumvektor des abgebrannten RBMK-Kernbrennstoffs abbildet. [49] Das bedeutet,

dass in dem in ihm enthaltenen Plutonium die Anteile unerwünschter Plutonium-Isotope, vor allem Pu-240, zu hoch sind, um RBMK-Brennstoff attraktiv für militärische Zwecke zu machen. [50]

Ähnliche Nuancen und Interessenkonflikte kann man für viele Kernenergiewirtschaften darstellen – wenn man sich mit den Einzelheiten beschäftigt, statt sich aufgrund eines prinzipiellen Vorbehaltes von vornherein für eine bestimmte Interpretationslinie zu entscheiden. Das betrifft auch das deutsche Beispiel: Gerade dieses zeigt die Brechungen und Wendungen in der Geschichte einer zivilen Kernenergiewirtschaft, die sich nicht auf das DIW-Narrativ von der Atombombe als Mutter aller Kernkraftwerke reduzieren lässt. In Deutschland übernahm die Elektrizitätswirtschaft früh die Diskurshegemonie in der Kerntechnik, was zuerst zu einer ökonomisch motivierten Pfadentscheidung für Druckwasserreaktoranlagen mit hoher Einzelblockleistung führte, später zu einer reservierten Haltung gegenüber der teuren Wiederaufbereitung. Gerade das belegt das Desinteresse an militärischen Nutzungsformen. [51] Der Technikhistoriker Joachim Radkau sieht in den früh „verdrängten Alternativen der Kerntechnik“ einen Grund für die nukleare Kontroverse in Deutschland, doch das DIW zitiert ihn nur selektiv als Gewährsmann für die eigene Aussage, es sei „bereits Ende der 1950er Jahre klar“ gewesen, dass „Atomkraft keine Chancen auf ökonomische Wettbewerbsfähigkeit hatte“. [52] Tatsächlich sicherte der Staat aus diesem Grunde die frühe Entwicklung der Kernkraftwerke mit Risikobürgschaften und Forschungsförderung ab. Doch gleichzeitig gab es in dieser Zeit in Deutschland und anderen Ländern gar keine freien Strommärkte, auf denen die KKW (aber auch ihre fossile Konkurrenz) sich hätten beweisen müssen, sondern nur die Gebietsmonopole staatlicher oder quasi-staatlicher Elektrizitätsversorger. Nach der Liberalisierung des europäischen Strommarktes konnten die Energieunternehmen, schon bevor die Anlagen abgeschrieben waren, mit KKW hohe Gewinne einfahren. [53]

3 „Atomkraft ist gefährlich“

In der Klimadebatte geht es vor allem um die Frage, wie eine möglichst effiziente Dekarbonisierung der Energiewirtschaft zu erreichen ist, ist diese doch für knapp die Hälfte

der gesamten anthropogenen Treibhausgas-Emissionen verantwortlich. Das DIW möchte die CO₂-arme Kernstromproduktion aus dem Portfolio der weltweiten Klimamaßnahmen ausschließen und stellt sich damit auch gegen die Sachstandsberichte und Szenarien des IPCC, die sich zur Kernenergie zwar nicht euphorisch äußern, ihr aber eine wichtige Rolle in einer erfolgreichen Klimastrategie zuweisen. [54] Das DIW begründet seine Position mit der Behauptung, Kernenergie sei „gefährlich“ bzw. „nicht sauber“ [55], womit es drei Sachverhalte umschreibt: Erstens sei die Kernenergie gar nicht so CO₂-arm wie behauptet. Zweitens seien radioaktive Immissionen von KKW – insbesondere Niedrigdosis-Expositionen aus Normalbetrieb und Unfällen – gesundheitsschädlich oder gar tödlich. Drittens fördere die zivile Kernenergienutzung die Proliferation.

Anders als in den anderen Abschnitten bemüht sich die Autorengruppe hier gar nicht mehr, eine seriöse Forschungsdiskussion zu führen. Ihre Ausführungen sind plakativ, ihre Literaturliste spärlich; größtenteils beruht sie auf Werken dezidiert atomkritischer und NGO-Vertreter. Der Uranabbau in Afrika und in der DDR wird als Beispiel für die Gesundheitsschädlichkeit des Uranbergbaus erwähnt – doch Literatur zur DDR oder generelle Fachliteratur zur Gefahrenbewertung fehlt. [56] Als Beleg für relativ hohe CO₂-Emissionen der Kernenergie in ihrer gesamten Wertschöpfungskette wird eine einzige Publikation zitiert [57], die einen sehr hohen Wert angibt. Die Autoren ignorieren sämtliche Literatur, welche diese Aussagen widerlegt, auch die des IPCC. [58]

Als Beleg für die angeblich gesundheitsschädliche Wirkung von KKW-Emissionen zitiert das DIW eine Kinderkrebsstudie, die eine Kausalbeziehung nach Aussage ihrer Autoren eben gerade nicht belegt, weil die Dosis der Zivilbevölkerung aus KKW-Emissionen nur einen Bruchteil der Effektivdosis aus natürlichen Strahlenquellen beträgt [59]; die Ergebnisse beruhten vermutlich auf statistischem Zufall. [60] Im Falle der drei großen kerntechnischen Unfälle Three Mile Island-2 (Harrisburg), Tschernobyl-4 und Fukushima-Daiichi-1-4, welchen das DIW alleamt „katastrophale“ Folgen bescheinigt [61], sind die Auswirkungen in zwei von drei Fällen nicht katastrophal; in TMI kam niemand zu

Schaden, in Fukushima gibt es lediglich einen Fall einer tödlich verlaufenen Lungenkreberkrankung, die behördlich als Folge der aufgenommenen Dosis anerkannt wurde. [62] Für Tschernobyl liegen die Opferzahlen nach den Befunden seriöser Forschung weit niedriger, als von den Anti-Atom-Narrativen behauptet. [63] Auch die Forschungsdiskussion zum Paradigmenwechsel bei der Bewertung der Auswirkungen von Niedrigstrahlung [64] wird unterschlagen, vergleichende Aussagen über die Gesundheitsrisiken und Opfer der unterschiedlichen Stromerzeugungstechnologien fehlen. [65]

Die Aussagen der DIW-Autoren zur Reaktorsicherheit sind oberflächlich und alarmistisch, teilweise unrichtig. Ihre Einlassungen über sogenannte Precursor-Ereignisse in Kernkraftwerken zeugen von mangelnder Kenntnis der Definition und Rolle solcher Ereignisse in der Reaktorsicherheitsforschung und -praxis. Es wird fälschlich der Eindruck erzeugt, ein Precursor-Ereignis sei ein „Beinahe-Unfall“ [66]. In Wirklichkeit sind Precursor-Ereignis-Bewertungen eine Sonderform probabilistischer Sicherheitsanalysen, bei denen ein tatsächlich geschehenes Ereignis den Ausgangspunkt der Betrachtung bildet. Die Bewertung eines Ereignisses als Vorläuferereignis eines schweren Kernschadensunfalls ist an viele Voraussetzungen gebunden und dient der Auffindung von Systemschwachstellen; sie ist nicht gleichbedeutend mit einem Beinahe-Unfall. [67]

Des Weiteren bemängelt das DIW „fehlende Sicherheitsbehälter“ einiger Anlagen sowjetischer Bauart in den ostmitteleuropäischen EU-Ländern, fragt sich aber gar nicht, warum diese Anlagen unter den strengen EU-Anforderungen trotzdem betrieben werden dürfen. Richtig ist, dass die VVER-440-Druckwasserreaktoren des Typs V-213 in Ost- und Ostmitteleuropa, auf die die Autoren anspielen, keine Volldruckcontainments besitzen. Doch sie verfügen über hermetische Primärkreislauf-Druckräume und Nasskondensationssysteme sowie ein Sprühsystem zum kontrollierten Druckabbau im Falle eines Kühlmittelverlustunfalls, die für einen vollständigen Abriss einer Hauptkühlmitteleitung ausgelegt sind. Diese Einrichtungen übernehmen jene Funktionen zur Aktivitätsrückhaltung, welche bei uns ein Containment erfüllt. [68] Die Laufzeitverlängerungen dieser Anlagen werden, anders als vom DIW angenommen, nicht einfach

verfügt, sondern sind von umfangreichen Modernisierungsprogrammen begleitet. Dazu gehört auch das in Osteuropa praktizierte Wiederholungsglühen der Reaktordruckbehälter, das die Versprödung reduziert. [69]

In der Proliferationsfrage schließlich ist zutreffend, dass sich etliche heutige Atomkräfte unter dem Vorwand ziviler Atomprogramme die Atomwaffe verschafft haben – aber um Atombomben, gar die für Terroristen attraktiven „schmutzigen“ Bomben zu bauen, ist das Betreiben ziviler KKW keine notwendige Voraussetzung. Die Antwort auf diese Herausforderung kann daher nur eine gute Nonproliferationspolitik durch Herstellung politischer Sicherheit sein, nicht aber die Abwicklung der Kernenergie. Staaten, die sich nicht bedroht fühlen, bauen auch keine Atomwaffen – doch Staaten, die sich bedroht fühlen, werden, wie es Nordkorea und Israel taten, auch ohne zivile Kernkraftwerke alles tun, um sich die Nuklearwaffe zu beschaffen.

Im Lichte dieser Auswertung der Forschungsliteratur zu den vom DIW angesprochenen Fragen sehen wir die Behauptung der Autoren von der „gefährlichen“ Kernenergie als widerlegt an. In Wirklichkeit ist sie auf Basis wissenschaftlicher Evidenz als Niedrigrisikotechnologie einzustufen. Auch die wenigen Industrieunfälle, die es im Zusammenhang mit Uranbergbau und Kernkraftwerksbetrieb gab, ändern nichts an diesem Befund. Im Verhältnis zu anderen Technologien wie Luftfahrt, Individualmobilität, Wasserkraft und Kohleverstromung hat sie ausweislich des aktuellen Forschungsstands zu viel weniger Todesopfern und Umweltschäden beigetragen.

4 Der isolierte und systemblinde Ansatz des DIW

Das DIW behauptet, es habe eine gründliche „wirtschaftshistorische Betrachtung“ durchgeführt. Zu einer historischen Betrachtung gleich welcher Subdisziplin der Geschichtswissenschaften, ob Wirtschafts-, ob Technikgeschichte, gehört jedoch die historische und systemische Kontextualisierung. Technosoziale Systeme wie die Kernenergie lassen sich daher nie rein ökonomisch oder rein technisch beschreiben. Sie müssen als Systeme aus menschlichen Akteuren, Wissensformen, Maschinen, Normen und Wertvorstellungen verstanden werden. Damit wären wir bei der Frage, ob in den Energiewirtschaften

moderner Nationalstaaten und insbesondere in ihren Kernenergiewirtschaften ein „rein betriebswirtschaftliches“ [70] Handeln in einem freien Markt, der vom Staat nicht beeinflusst wurde, überhaupt je möglich war und ist. Oder anders ausgedrückt, ob das DIW hier nicht absichtlich eine im spezifischen Kontext unerfüllbare Forderung formuliert hat, um sodann die Kernkraft für inakzeptabel erklären zu können.

Die Antwort ist: In jeder nationalen Energiewirtschaft sowie bei der Entstehung und Wahrnehmung jeden energietechnischen Artefakts, ganz gleich, ob Kernreaktor oder Windkraftanlage, spielten immer auch außertechnische und außerökonomische Festlegungen ihre Rolle. Das kann in Form eines Strebens nach Konsolidierung innenpolitischer Macht, Technologieführerschaft, nationalem Prestige oder geopolitischen Machtpositionen geschehen: „Artifacts have politics“ [71]. In diesen Kontext gehören auch die deutschen Imagebildungen rund um technische Artefakte der Energiewirtschaft, die in Diskursen um politische Partizipation eingesetzt wurden: etwa die Propagierung „erneuerbarer“ Umgebungsenergie-Anlagen als qua Technologie (und nicht qua Besitzverhältnis) demokratisch, bürgerfreundlich und dezentral, oder der Kernenergie als Bedrohung für Bürgerrechte und Demokratie. [72]

Die Kerntechnik ist ohne Zweifel eine Politechnik und somit nicht nur ökonomisch erklärbar. Doch das DIW verengt seine Sicht auf eine rein privatwirtschaftliche Perspektive [73] und behauptet, die Kernenergienutzung sei gar nicht ökonomisch, sondern nur militärisch erklärbar. Die DIW-Autoren verkennen außerdem, dass die Kernenergie nicht die einzige Technologie ist, die sich zur politischen Integration oder als Identitätsanker eignet, und die daher auch aus außerökonomischen Erwägungen von Staaten gefördert und subventioniert und von Gesellschaften akzeptiert wird. Russland zieht aus seiner fossilen Staats-Rohstoffwirtschaft nicht nur Exporterlöse, sondern auch das symbolische Kapital einer Selbstbeschreibung als „hydrocarbon superpower“ [74]. Die Raumfahrt ist neben der Kerntechnik ein weiteres globales Beispiel für eine Politechnologie. [75]

Doch ein besonders augenfälliges Beispiel außerökonomischer Treiber für Technologie-Diffusion ist Deutschlands „Energiewende“. Diese ist

keinesfalls primär ökonomisch und schon gar nicht privatwirtschaftlich begründbar: Sie erzeugt durch den brachialen Umbau unserer Energiewirtschaft derzeit mehr strukturelle Probleme und Kosten als ökonomische Erfolgsergebnisse. Die Umgebungsenergie-Technologien Windkraft und Photovoltaik hätten sich ohne massive staatliche Unterstützung in Form von Einspeiseprivilegien und EEG-Umlage in Deutschland nie am Markt durchsetzen können. [76]

Die Energiewende vereint ein ganzes Bündel außerökonomischer Motive auf sich. Sie wurde ganz wesentlich moralisch begründet, worauf bereits die Umkehr-Metaphorik des Wende-Begriffs verweist. Das manifestiert sich nicht nur an der Einführung der Atom-Ausstiegs-Begründung von 2011 auf eine „ethische“ Frage, die folglich zum Gegenstand einer „Ethik-Kommission“ gemacht wurde. Das zeigt sich auch an der Begründungslogik der Energiewende selber in den Berichten der „Ethikkommission“ [77] zum Atomausstieg und der „Kohlekommission“ [78] zum Kohleausstieg. Diese Begründungslogik beruht vor allem auf dem internationalen Vorbildcharakter Deutschlands für den ökologischen Umbau von Industriegesellschaften auf der ganzen Welt, d. h. einem weichen Faktor deutscher nationaler Grandeur. Darüber hinaus soll die Energiewende auch nach innen eine Art national-ökologischen Kitt für eine zunehmend auseinanderdriftende Gesellschaft produzieren, was sich in der Bezeichnung der Energiewende als „Gemeinschaftswerk“ [79] niederschlägt. Vermutlich spielte gerade in dieser Gemeinschaftswerks-Motivierung auch der Wunsch eine Rolle, die langjährige gesellschaftliche Kontroverse um die Kernenergie zu befrieden, indem man die angebliche Konfliktursache aus dem Spiel nahm. Das mag eine ehrenwerte Begründung sein – eine wirtschaftliche ist es nicht.

Erst in zweiter Linie wurde das Jahrhundert- und Gemeinschaftswerks-Argument in ein ökonomisch anschlussfähiges Standortargument umgemünzt, das mit der Erwartung künftiger Profite und Arbeitsplätze durch deutsche Marktführerschaft im Umgebungsenergie-Sektor hantierte. Gleichzeitig wird die Umstellung auf „erneuerbare“ Energien von den wissenschaftlichen und politischen Apologeten der Postwachstumsgesellschaft keinesfalls als ökonomisches oder technologisches Projekt

wahrgenommen, sondern als energetisches Instrumentarium eines „neuen Gesellschaftsvertrags“, was im Grunde eine Paraphrase der „Gemeinschaftswerk“-Interpretation der Bundesregierung ist. [80] Die deutsche Industrie war in diesem Projekt nie die treibende Kraft – das haben die Erneuerbaren also mit der Frühphase der Kernenergie-Einführung in Deutschland gemeinsam. Rein betriebswirtschaftlich ist die politisch beschlossene und staatlich geförderte Implementierung der Erneuerbaren auf deutschem Boden bis heute nicht begründbar. Selbst die erhoffte Marktführerschaft wurde den Deutschen auf dem Gebiet von Solar- und Windkraft von asiatischen Anbietern sehr schnell wieder abgenommen. [81]

Doch auch aus einem explizit energiewirtschaftlichen Grunde kann man den Ansatz des DIW als kontextblind zurückweisen. In der Verabsolutierung ihres Urteils über die Kernenergie als „zu teuer“ unterschlagen die Autoren der Studie, dass nukleare Stromerzeuger nicht isoliert in einem idealtypischen System arbeiten, sondern zusammengespannt mit anderen Erzeugern und unter den Bedingungen gesetzlicher Regulierungen und öffentlicher Diskurse. Die deutsche Leistungsreakorttechnik – und somit auch ihre „steigenden Kosten“ – ist nicht nur von Technikern und Ingenieuren geschaffen worden, sondern auch von Aufsichtsbehörden, Gerichten, gesetzlichen Auflagen, Brennelementsteuern, der Atomkontroverse, der Expertenkommunikation. [82]

Es fällt auf, dass das DIW nur in einem einzigen Fall von einer „gesamtwirtschaftlichen“ Rechnung spricht, nachdem es vorher rein „privatwirtschaftlich“ die Kernenergie teuer gerechnet hat. Das ist der Fall bei der Erwähnung der – seiner Auffassung nach – mangelhaften Haftung der KKW-Betreiber für potenzielle Atomunfälle, die im Abschnitt 1 thematisiert wurde. [83] Auch bei dieser Gedankenoperation schlagen sich die DIW-Autoren vorbehaltlos auf die Seite der Atomkritik, verkennen aber, dass „gesamtwirtschaftliche“ Rechnungen und Forderungen nach der Internalisierung externer Kosten keine Einbahnstraße sind. Die Kernenergie stellt im real existierenden Energiemix und Verbundnetz nicht nur CO₂-freie, sondern auch gesicherte und steuerbare Leistung bereit, d. h. wertvolle Systemleistungen. Entsprechend wird die Bereitstellung von Regelernergie durch den Lastfolgebetrieb von KKW sehr

gut entgolten. [84] Die Erneuerbaren-Betreiber wiederum verdanken ihren hohen Anteil am deutschen Energiemix – und ihre derzeitigen Gewinne – nicht nur dem bereits erwähnten staatlich etablierten System aus Einspeiseprivilegien und Strompreissubventionierung. Sie verdanken ihn auch der Tatsache, dass planbare Erzeuger, unter anderem Kernkraftwerke, jenes stabile Verbundnetz erst herstellen, in das wetterabhängige Stromproduzenten jederzeit einspeisen können. Allerdings werden die Umgebungsenergie-Betreiber an den Kosten teurer Systemleistungen nicht beteiligt – und auch nicht an den Risiken der fossilen und nuklearen Erzeuger. [85]

Folgt man nun konsequent der Kritik des DIW an der angeblich mangelnden Versicherung von Kernkraftwerken, und fordert man für alle Stromerzeuger eine volle Internalisierung externer Kosten, so müssten wetterabhängige Umgebungsenergien, die keine gesicherte Leistung liefern, folglich auch an künftigen CO₂-Abgaben von fossilen Kraftwerken, an hypothetischen Entschädigungssummen für die Opfer von Luftverschmutzung oder eben an den erhöhten Versicherungsprämien für Kernkraftwerke beteiligt werden – oder eine Netzsystemabgabe leisten, aus der die Erzeuger gesicherter Leistung Kompensationen erhalten. Umgekehrt könnten KKW von einer CO₂-Bepreisung genauso profitieren wie Umgebungsenergien, was wiederum ihre Marktposition verbessern könnte. In einer OECD-Studie wurden verschiedene Szenarien einer CO₂-armen Energiewirtschaft mit unterschiedlichen Anteilen von Kernenergie und intermittierend einspeisenden Umgebungsenergien betrachtet; sie kommt zu dem Schluss, dass die Systemkosten solcher gemischten Systeme steigen, je mehr wetterabhängige Erzeuger einspeisen, und fallen, je höher der Kernenergieanteil ist. Aufgabe einer guten Energie- und Klimastrategie sei es, die bislang externalisierten und ungerecht verteilten Systemkosten strukturell in das System einer funktionierenden Energiewirtschaft zu integrieren. [86]

5 Fazit

Betrachtet man moderne Energiewirtschaften integriert als soziotechnische Systeme, dann erkennt man, dass Entscheidungen in solchen Systemen nie nur von ökonomischen oder technischen, sondern immer auch von politischen oder gar ethischen

Motiven getrieben werden. Das gilt prinzipiell für alle Arten der Energiewandlung. Mit Blick auf Deutschland gilt es sowohl für die Kernenergienutzung als auch für die Nutzung „erneuerbarer“ Umgebungsenergie – für Letztere womöglich in noch größerem Maße.

Das DIW hat jedoch die Kernenergie isoliert vom soziotechnischen System der deutschen und globalen Energiewirtschaft betrachtet. Seine Begründungen und Methoden wurden im vorliegenden Beitrag bewertet. Festzustellen ist, dass bei der Berechnung von Kernkraftwerkskosten willkürlich ungünstig gewählte Eingangsparameter das Resultat vorherbestimmten und die Methoden der Investitionsrechnung nicht vollumfänglich beherrscht werden. Flankiert wird dieses Vorgehen durch eine hoch selektive Quellen- und Literatursauswahl, welche die Botschaft der Kernenergie als Hochrisikoindustrie transportieren soll. Quellen aus der Anti-Atom-Bewegung werden unkritisch zitiert, Aussagen neutraler Quellen aus ihrem Kontext gerissen oder in ihrer Aussage falsch dargestellt, weite Bereiche der Forschungsliteratur ignoriert. Der Befund des DIW, es handle sich bei der Kernenergie um eine gefährliche Polit- und Militärtechnik ohne ökonomischen Nutzen, entspringt einer verzerrenden Darstellung historischer Sachverhalte, die durch die Quellen und den internationalen Forschungsstand nicht gedeckt ist. Etliche Behauptungen des DIW zu kerntechnischen Sachverhalten sind zudem sachlich unrichtig. Ein solches Vorgehen verstößt gegen die Regeln guter wissenschaftlicher Praxis.

Das Motiv der Autorengruppe ist ausweislich ihrer eigenen Aussage, die seit einiger Zeit aufkommende Diskussion, um den Nutzen der Kernenergie in einer guten Klimastrategie zu beeinflussen. Es ist prinzipiell ein legitimes Motiv von Expertinnen und Experten, Diskurse und politische Entscheidungen in Umbruchsituationen mit Handlungsdruck und unsicherem Zukunftshorizont zu beeinflussen zu wollen. [89] Doch es steht zu vermuten, dass das DIW die Diskussion um den besten Energiemix für eine nachhaltige und saubere Stromversorgung nicht einfach nur beeinflussen, sondern mit einer „Basta“-Aussage beenden will. [90]

Die Studie zielt vor allem auf politische Entscheider und mediale Multiplikatoren in Deutschland, die durch die Krise der Energiewende und die

Klimadebatte verunsichert sind. Das DIW, das die Regierung in energie- und klimapolitischen Fragen berät und sich vor allem durch eine Affirmation des deutschen Energie-Sonderwegs profiliert hat, fürchtet in der gegenwärtigen Diskussion offensichtlich um seine Diskurshoheit und möchte ein Nachdenken über die Kernenergie als Teil eines klimafreundlichen Energiemixes in Deutschland und jenseits seiner Grenzen verhindern. Es nimmt dabei auch eine Positionierung gegen die Szenarien des IPCC und gegen die Energiepolitiken vieler europäischer Partner in Kauf, in deren Klimastrategie die Kernenergie eine Rolle spielt.

Doch gute Forschung verschließt nicht die Augen vor Daten und Literatur, welche die eigene Hypothese falsifizieren könnten. Und gute Beratung schließt eine kritische Begleitung der Entscheider und eine frühzeitige Warnung vor Fehlsteuerungen ein. Eine solche Fehlsteuerung ist die Fixierung der deutschen Energiewende auf den Atomausstieg und das nur unter hohen Risiken für den Industriestandort erreichbare Ziel, die Stromversorgung der Zukunft alleine auf den Niedrigenergieflüssen von Umgebungsenergien aufzubauen. Eine gute Klimastrategie jedoch sollte alle Instrumente einbeziehen, welche geeignet sind, unsere industrielle Welt effizient zu dekarbonisieren, ohne sie zu demontieren. Dazu gehört auch die Kernenergienutzung. Auf der Tagesordnung steht folglich, diese Diskussion zu führen, statt sie zu verweigern.

Danksagungen

Die Autoren danken *Rainer Klute*, *Rainer Reelfs* sowie *Martin Knipfer* für wertvolle Anregungen und die kritische Durchsicht des Manuskripts.

Referenzen

[1] Ben Wealer, Simon Bauer, Leonard Göke, Christian von Hirschhausen, Claudia Kemfert: Zu teuer und gefährlich: Atomkraft ist keine Option für eine klimafreundliche Energieversorgung. in: DIW Wochenbericht Nr. 30 (2019). DOI: https://doi.org/10.18723/diw_wb-2019-30-1, 511-520, im Folgenden zitiert als DIW 2019.

[2] DIW 2019, Titel.

[3] DIW 2019, 512.

[4] DIW 2019, 512.

[5] Bayerischer Rundfunk: „Studie: Atomkraft zu teuer für den Klimaschutz“, mit dem Lob „So genau hat das noch niemand nachgerechnet“, https://www.br.de/nachrichten/wirtschaft/studie-atomkraft-zu-teuer-fuer-den-klimaschutz_rvbrk6s; Die Anti-Atom-NGO „Ausgestrahlt“ behauptet mit thermodynamisch bizarrer Diktion: „Eine aktuelle Berechnung des Deutschen Instituts für Wirtschaftsforschung (DIW) ist die absolute Bankrott-Erklärung für alle Atomkraftwerke. Die Meiler dienen weder dem Klimaschutz, noch laufen sie, um Energie herzustellen“. Jan Becker, „Eine irre kostspielige Technologie“, <https://www.ausgestrahlt.de/blog/2019/08/08/5-milliarden-euro-verlust-pro-reaktor/>.

[6] „Atomkraft ist gefährlich, unwirtschaftlich und für Klimaschutz ungeeignet“, Interview mit dem DIW-Forschungsdirektor und Mitautor Christian von Hirschhausen,

DIW-Wochenbericht 30 (2019), 521: „Die Atomkraft ist eindeutig keine saubere Energie, sondern die schmutzigste aller verfügbaren Energiequellen. Sie emittiert lebensgefährliche radioaktive Strahlen, sie führt zu erheblichen gesundheitlichen Problemen“. Diese Aussagen sind pauschalisierend, ungenau und teilweise auch sachlich falsch. So steht an der Spitze der „schmutzigen“ und opferreichen Energieträger eindeutig die Braun- und Steinkohle, und „radioaktive Strahlung“ aus den Emissionen von Kernkraftwerken ist keinesfalls „tödlich“ – sie machen nur einen Bruchteil des natürlichen Strahlungshintergrundes aus. Anschaulich präsentiert in: Randall Munroe, Radiation Dose Chart <https://xkcd.com/radiation/>, sowie James Conca, How Deadly Is Your Kilowatt? We Rank The Killer Energy Sources, in: Forbes, 10. 06. 2012, <https://www.forbes.com/sites/jamesconca/2012/06/10/energys-deathprint-a-price-always-paid/#47de9ab0709b>. Forschungsliteratur s.u. Abschnitt 3.

[7] DIW 2019, 5-Punkte-Zusammenfassung, und Zitat-Kasten Christian von Hirschhausen, S. 511; 518.

[8] IPCC – The Intergovernmental Panel on Climate Change: „Special Report: Global Warming of 1.5 °C“, Oktober 2018, <https://www.ipcc.ch/sr15/>.

- Section C.2.2:
 - “In electricity generation, shares of nuclear and fossil fuels with carbon dioxide capture and storage (CCS) are modelled to increase in most 1.5°C pathways with no or limited overshoot.”
- Section 2.4.2.1:
 - “By mid-century, the majority of primary energy comes from non-fossil-fuels (i.e., renewables and nuclear energy) in most 1.5°C pathways (Table 2.6).”
 - “Nuclear power increases its share in most 1.5°C pathways with no or limited overshoot by 2050, but in some pathways both the absolute capacity and share of power from nuclear generators decrease (Table 2.15). There are large differences in nuclear power between models and across pathways (Kim et al., 2014; Rogelj et al., 2018). One of the reasons for this variation is that the future deployment of nuclear can be constrained by societal preferences assumed in narratives underlying the pathways (O’Neill et al., 2017; van Vuuren et al., 2017b). Some 1.5°C pathways with no or limited overshoot no longer see a role for nuclear fission by the end of the century, while others project about 95 EJ yr⁻¹ of nuclear power in 2100 (Figure 2.15).”
 - “There are also analyses that result in a large role for nuclear energy in mitigation of GHGs (Hong et al., 2015; Berger et al., 2017a, b; Xiao and Jiang, 2018).”
- Section 4.3.1.3:
 - “The current deployment pace of nuclear energy is constrained by social acceptability in many countries due to concerns over risks of accidents and radioactive waste management (Bruckner et al., 2014). Though comparative risk assessment shows health risks are low per unit of electricity production (Hirschberg et al., 2016), and land requirement is lower than that of other power sources (Cheng and Hammond, 2017), the political processes triggered by societal concerns depend on the country-specific means of managing the political debates around technological choices and their environmental impacts (Gregory et al., 1993). Such differences in perception explain why the 2011 Fukushima incident resulted in a confirmation or acceleration of phasing out nuclear energy in five countries (Roh, 2017) while 30 other countries have continued using nuclear energy, amongst which 13 are building new nuclear capacity, including China, India and the United Kingdom (IAEA, 2017; Yuan et al., 2017).”

[9] Die Autorengruppe ist fachlich in den Gebieten Wirtschaftsingenieurwesen und Energieökonomie sowie institutionell am DIW und an der TU Berlin verortet und arbeitet vorwiegend zu Gegenwartsproblemen der Energiewende und der Klima- und Energiepolitik. Wirtschafts- und Technikhistoriker oder Experten für Reaktorsicherheit sind nicht unter den Autoren. Simon Bauer, <https://www.linkedin.com/in/simonbauer-2a5a03179/>; Leonard Göke, https://www.wip.tu-berlin.de/menue/kontakt_mitarbeiterinnen/leonard_goeke/; Christian von Hirschhausen: https://www.diw.de/de/diw_01.c.87779.de/ueber_uns/menschen_am_diw_berlin/hirschhausen_christian_von.html; Claudia Kemfert: https://www.diw.de/de/diw_01.c.10839.de/ueber_uns/menschen_am_diw_berlin/kemfert_claudia.html; Ben Wealer: https://www.wip.tu-berlin.de/menue/kontakt_mitarbeiterinnen/ben_wealer/;

[10] Abstract, DIW 2019, 512.

[11] Eine Monte-Carlo-Simulation ist ein stochastisches Verfahren auf der Grundlage einer großen Anzahl gleichartiger Zufallsexperimente. Es dient der Ermittlung von Ergebnisgrößen in Ursache-Wirkungs-Beziehungen mit mehreren Zufallsvariablen. In der Betriebswirtschaft nutzt man MC-Verfahren zur Wertermittlung von Sachen und zur Risikoermittlung für Investitionen. Das Vorgehen ist im Wesentlichen zweischrittig: Erst werden als Eingangsparameter Zufallsgrößen in bestimmten Grenzen mit einer bestimmten Zufallsverteilung produziert, dann in einem Wiederholungsverfahren die Ergebnisse aller möglichen Kombinationen dieser Zufallsgrößen berechnet, in diesem Fall der Nettobarwert einer Investition abhängig von Zufallsvariablen wie Strompreis oder Zinssatz. DIW 2019, Abb. 2. Das Verfahren selbst wurde – im Zusammenhang der DIW-Aussagen durchaus ironisch – erstmals im Manhattan Project von Stanislaw Ulam und John

- von Neumann zur Berechnung von Neutronenflüssen eingesetzt, die Bezeichnung war ein Deckname. Nicholas Metropolis, Stanislaw Ulam, The Monte Carlo Method, in: *Journal of the American Statistical Association*, vol. 44 (1949), Nr. 247, 335-341.
- [12] Ben Wealer, Simon Bauer, Nicolas Landry, Hannah Seif, Christian von Hirschhausen, *Nuclear Power Reactors Worldwide – Technology Developments, Diffusion Patterns, and Country-by-Country Analysis of Implementation (1951–2017)*, DIW Data Documentation 93 (April 2018), Berlin 2018.
- [13] So die jährlichen „World Nuclear Status Reports“ des Aktivistin Mycle Schneider oder der Newsletter der Anti-Atom-NGOs WISE / NIRS, DIW 2019, Fn. 3, 12, 21, 22, 30; explizit atomkritische Autoren sind auch Lutz Mez oder die Greenpeace- und Ex-Greenpeace-Aktivistin Jan Haverkamp und Andy Stirling, die auf S. 518, 519 zitiert werden. Selbstdarstellung des World Information Service on Energy / Nuclear Information and Resource Service (NIRS): <https://www.wisinternational.org/node/6>.
- [14] Das DIW nimmt in beiden Fällen offenbar nur sehr selektiv Informationen aus den Studien auf. Paul L. Joskow und John E. Parsons, *The Future of Nuclear Power After Fukushima. Economics of Energy and Environmental Policy*, betonen auch die Rolle von immer aufwendigeren Genehmigungsverfahren und Erneuerbaren-Subventionen, und kommen zu folgendem Schluss: „Of course, the economic situation confronting investment in nuclear power could change. Experience with the few new plants that are still expected to be built in the U.S. and Europe may demonstrate that current construction cost estimates are too high (so far France and Finland’s experience has been just the opposite) and that optimistic break-in periods allowing these plants to achieve high capacity factors quickly are realistic despite the more pessimistic history (...). Natural gas prices could increase again. Countries could back off of lavish subsidies and goals for renewable energy and energy efficiency programs.“ Sie konstataren „that the accident at Fukushima will contribute to a reduction in future trends in the expansion of nuclear energy, but at this time these effects appear to be quite modest at the global level“, ebd., 23, 1, 3. Vgl. dazu auch Jakob Wiech, *Germany misinforms about nuclear energy. DIW’s report under criticism*, in: *Energetyka* 24, 07.08. 2019, <https://www.energetyka24.com/germany-misinforms-about-the-nuclear-energy-diws-report-under-criticism-analysis>. In der zweiten zitierten Studie, William D. Haeeseleer, *Synthesis of the Economics of Nuclear Energy. Study for the European Commission*, Leuven 2013, wird im Fazit eine positive Bilanz für die Kernenergie gezogen, welche die DIW-Aussage nicht deckt (S. 3, 183):
 1. Nuclear new build is highly capital intensive and currently not cheap, but it may be anticipated that the capital cost will come down in the future (in particular compared to ongoing new build construction in the EU, depending on return of experience and learning effects, ‘fleet effects’, standardization, strict construction schedules, competition in the supply chain, ...). Analysis of past cost escalation and opportunities for learning and ‘fleet effects’, suggests that negative learning is not necessarily an ‘intrinsic property’ of nuclear-reactor construction. Nevertheless, it is up to the nuclear sector itself to demonstrate on the ground that cost-effective construction is possible.
 2. Long Term Operation (LTO) is an interesting intermediate cost-effective route if safety standards can be guaranteed.
 3. The back-end fuel-cycle costs are low; the full fuel-cycle is quite cheap.
 4. External costs of nuclear are small, including accidents (and much smaller than the external costs of fossil-fuel generation).
 5. Systems costs of nuclear plants are small, comparable to dispatchable fossil-fired plants, and according to two independent recent calculations (subject to given modeling assumptions), much lower than systems costs of intermittent non-dispatchable renewables.
 Ref: NEA/OECD, „Nuclear Energy and Renewables – System Effects in Low-Carbon Electricity Systems“ [NEA, 2012a] If supported politically at national level and authorized by the national Nuclear Regulatory Authorities (the first being related to public acceptance, and the second subject to adequate safety characteristics), upgrades for long-term operation of existing nuclear plants may continue to provide a very competitive low-carbon, secure, stable and reliable source of electricity for the next decades. Nuclear new build may come along, inter alia to replace existing plants at time of shutdown (brownfield), to be part of national energy mix on the longer run. This will be much dependent on the investment decisions which will be linked to the effective control of the construction costs.
 All other costs beyond extensive upgrades of existing plants and construction of new build, be it O&M, fuel-cycle costs, waste and decommissioning, liability costs, systems costs, and other external costs are marginal and position nuclear generation economically favorably versus other generation sources, certainly if all externalities of other generation sources as well would be internalized.“
- [15] So über die Kostenschätzungen für Olkiluoto-3, 145-6, oder Hinkley Point C, 69-70.
- [16] DIW 2019, Abb. 1 „Aktuelle Kostenschätzungen für Atomkraftwerke der dritten Generation in Europa und den USA sowie für laufende Bauprojekte“, S. 514.
- [17] Björn Peters.
- [18] International Accounting Standard mit Bilanzierungsvorschriften für grenzüberschreitende Konzerne, 3.3.1.6
- [19] DIW 2019, S. 514.
- [20] Beispielsweise J. Giesecke, E. Mosny, *Wasserkraftanlagen – Planung, Bau und Betrieb*, Springer, 5. Auflage, 2009.
- [21] DIW 2019, S. 515. Der Nettobarwert berücksichtigt alle Investitionen und Rückflüsse über die Lebensdauer einer Investition, summiert diese auf, bewertet aber künftige Zahlungsflüsse desto weniger, je ferner diese in der Zukunft liegen.
- [22] Der interne Zinsfuß beschreibt die Rendite eines Investments, aus dem für eine Anzahl von Jahren Rückflüsse zu erwarten sind und am Ende der volle Betrag des Investments zurückgezahlt wird. Der interne Zinsfuß gibt dabei die durchschnittliche Verzinsung des eingesetzten Kapitals an, gerade bei Schuldtiteln, Aktien und vielen Eigenkapitalinvestments. Insbesondere bei Private-Equity-Transaktionen hat sich die Angabe des internen Zinsfußes (IRR) in Verbindung mit dem „Multiple“ (d.h. der Quotient aus allen Erlösen während der Lebenszeit der Investition und der Investitionshöhe) durchgesetzt.
- [23] Ausgaben für Maschinen und Anlagen können nicht im Jahr der Investition vom Unternehmensgewinn abgezogen werden. Stattdessen erlässt der Gesetzgeber bzw. die Finanzverwaltung Regeln, auf wie lange Zeit (die Abschreibungsdauer) und in welcher Höhe (konstant oder degressiv) die Investitionen vom Bruttogewinn abgezogen werden können. Die Abschreibungsdauern unterschiedlicher Anlagen orientieren sich in der Regel an deren technischer Lebensdauer.
- [24] Bloomberg New Energy Finance, *Levelized Cost of Energy Analysis, H2 2018*. Implizit kann dies auch abgeleitet werden aus den Auktionsrunden für Offshore-Windenergie vom April 2017, als sowohl DONG Energy als auch die ENB Angebote für null Cents abgegeben haben für Windparks, die bis 2025 errichtet werden sollen. Die Anbieter rechnen also damit, dass an der Börse mindestens 50-60 EUR/MWh erzielt werden können, die laut BNEF für Offshore-Windkraft perspektivisch zu bezahlen sind. Selbst die Marktteilnehmer der EEX, die langfristige Preistrends i.d.R. erst spät erkennen, handeln die Grundlast-Jahresfutures der kommenden Jahre um 50 EUR/MWh. Kernkraftwerke können Systemdienstleistungen zur Stabilisierung des Stromnetzes erbringen, die höher vergütet werden als Grundlaststrom. Insofern sind Simulationsparameter unter 50 EUR/MWh, die das DIW verwendet, praxisfremd.
- [25] §§ 13 – 15 Atomgesetz (ATG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 15. Juli 1985 (BGBl. I S. 1565), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 10. Juli 2018 (BGBl. I S. 1122, 1124) geändert worden ist.
- [26] DIW 2019, S. 515-516.
- [27] Versicherungsforen Leipzig GmbH, Berechnung einer risiko-adequaten Versicherungsprämie zur Deckung der Haftpflicht-risiken, die aus dem Betrieb von Kernkraftwerken resultieren. Eine Studie im Auftrag des Bundesverbands Erneuerbare Energien, Leipzig 2011. Das DIW argumentiert auf Grundlage dieses Gutachtens, das jedoch ohne nachvollziehbare Plausibilitätsbetrachtungen von sehr häufig vorkommenden Großschadensfällen ausgeht, z. B. durch Terroranschläge. Zu den üblichen Verfahren der Risikoabschätzung und KKW-Betreiberhaftung und realistischen Annahmen internalisierter Unfallkosten vgl. dagegen d’Haeeseleer, *Synthesis of the Economics of Nuclear Energy*, 141-160; „Insurers can help improve the image of nuclear“, in: *World Nuclear News*, 2014-09-16, <http://www.world-nuclear-news.org/RS-Insurers-can-help-improve-the-image-of-nuclear-1609201401.html>.
- [28] DIW 2019, S. 515.
- [29] D’Haeeseleer, *Synthesis of the Economics of Nuclear Energy*, 72; IAEA, *Status report 78 – The Evolutionary Power Reactor (EPR)*, Vienna o.D., <https://aris.iaea.org/PDF/EPR.pdf>, 31, 37, 42.
- [30] DIW 2019, S. 515
- [31] Vgl. dazu auch die Arbeitsverfügbarkeits-Statistik aller KKW-Blöcke weltweit, IAEA PRIS Load Factor Trend, <https://pris.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/WorldTrendinAverageLoadFactor.aspx>.
- [32] E.ON bezahlt derzeit beispielsweise für eine Anleihe mit 12-jähriger Laufzeit nur 1,625% Zinsen, vgl. <https://www.eon.com/en/investor-relations/bonds/bond-overview.html>. Der EuroStoxx Utilities (ISIN EU000965882), ein Bond-Index für große europäische Energieversorger, zeigt historisch Zinssätze zwischen 1,5 und 3,5 Prozent an, in Ausnahmefällen darüber. Angesichts der anhaltenden Niedrigzinspolitik gerade der EZB wählen wir einen mittleren Wert. Außerdem gehen wir davon aus, dass Kernenergie bei unideologischer Befassung eine Niedrigrisikotechnologie ist (s.u.) und Zinsen hierfür eher am unteren Ende liegen werden.
- [33] So Zitat des DIW-Autors Christian von Hirschhausen in DIW 2019, S. 511.
- [34] Abstract, DIW 2019, 512, 513. Offensichtlich verwechselt das DIW bei dieser pauschalen Qualifizierung schon bei der Wahl der Nomenklatur ein „Atomkraftwerk“ (d.h. ein mit einem oder mehreren Leistungsreaktoren bestücktes thermisches Kraftwerk) mit einem Plutonium-Produktionsreaktor, der als Zweizweckanlage auch Strom produzieren kann, aber nicht muss.
- [35] Wealer et al., *Nuclear Power Reactors Worldwide*.
- [36] Beispiele: Schwerwasser- oder grafitmoderierte Reaktoren wurden und werden militärisch zur Waffenplutonium-Produktion eingesetzt, und Druckwasserreaktoren dienen als Schiffsantriebe für U-Boote und Flugzeugträger.
- [37] Einzelne Beispiele: die Zweizweck-Reaktoren Agesta (Schweden), S. 16; Calder Hall (Großbritannien), 65.
- [38] „The reaction of the graphite with the uranium neutrons rapidly produces – among other things – a large quantity of plutonium-239“, in: Wealer, Bauer, Landry et al., 6. Grafit ist reiner Kohlenstoff und dient als Moderator, d.h. er verlangsamt durch elastische Stöße energiereiche Neutronen. Plutonium entsteht nicht aus Grafit, sondern durch Neutroneneinfang aus dem im Kernbrennstoff enthaltenen Uran-238.
- [39] So über den sowjetischen grafitmoderierten AMB in Belojarsk: „The reactor was designed without a containment vessel; instead it sat in an ordinary, massive concrete box with walls only 100 to 150 millimetres thick. The peculiar ‘housing’ construction was chosen to avoid the problems associated with manufacturing heavy steel for reactor pressure vessels.“ Tatsächlich bedeutete ein Druckrohrrendesign, dass man einen Reaktorbehälter gar nicht benötigte. Auf ein Volldruckcontainment verzichtete man, weil die Kosten eines Volldruckcontainments der erforderlichen Größe zu hoch waren. Grund dafür wiederum waren die ausladenden Abmessungen der grafitmoderierten Druckrohranlagen, die sehr große Reaktorkerne und voluminöse Wasser-Dampf-Rohrleitungssysteme besitzen: A. Ja. Kramerov, *Ob ewolucii kanal’nyx vodo-grafitnyx reaktorov v Kurčatovskom Institute*, in: *Istorija Atomnoj Energetiki v SSSR i Rossii*, vpp. 3, Moskva 2003, 5-60 (14, 24-25).
- [40] So stellt es Figure 7: Nuclear technology in 1973: The effect of ‘Atoms for Peace’ als Diffusionsmodell dar, in: Wealer, Bauer, Landry et al., 25. In Wirklichkeit war die sowjetische Kerntechnik ein russisch-ukrainisches Gemeinschaftsprojekt mit einem hohen Anteil ukrainischer Akteure, und die Ukraine war bis 1991 genauso wie die Russische Föderation Teil der Sowjetunion. Demnächst dazu Anna Veronika Wendland, *Nuclearizing Ukraine – Ukrainizing the Atom. Soviet nuclear technopolitics, crisis, and resilience at the imperial periphery* (im Erscheinen), *Cahiers du monde russe et soviétique* 60 (2019), Nr. 2-3 [in Druck] (Manuskript kann auf Anfrage zur Verfügung gestellt werden).
- [41] Dazu auch Radkau, *Aufstieg und Krise*; Tilman Hanel / Mikael Härd, *Inventing traditions: Interests, parables and nostalgia in the history of nuclear energy*, in: *History and Technology* 31:2 (2015), 84-107.
- [42] Nur einige Beispiele für Frankreich, die Sowjetunion, Deutschland, Skandinavien, Indien und Pakistan: Gabrielle Hecht, *The Radiance of France. Nuclear power and national identity after World War II*, Cambridge 2009; Sonja D. Schmid, *Producing Power. The Pre-Chernobyl History of the Soviet Nuclear Industry*, Cambridge 2015; Tilman Hanel / Mikael Härd, *Inventing traditions: Interests, parables and nostalgia in the history of nuclear energy*, in: *History and Technology* 31:2 (2015), 84-107; Henry Nielsen / Henrik Knudsen, *The troublesome life of peaceful atoms in Denmark*, in: *History and Technology* 26:2 (2010), 91-118; Stuart W. Leslie, *Atomic structures: the architecture of nuclear nationalism in India and Pakistan*, in: *History and Technology* 31:3 (2015), 220-242.
- [43] DIW 2019, 514.
- [44] V.M. Fedulenko, *K istorii promyšlennyy uran-grafitovyy reaktorov*, in: *Istorija Atomnoj Energetiki v SSSR i Rossii*, vpp. 1, Moskva 2001, 102-116.
- [45] Sonja D. Schmid, *Of Plans and Plants. How Nuclear Power Gained a Foothold in Soviet Energy Policy*, in: *Jahrbücher für Geschichte Osteuropas*, Volume 66, Number 1, April 2018, 124-141.
- [46] Gončarov, V. V. *Pervyy period razvitiya atomnoj energetiki v SSSR*, in: *Istorija Atomnoj Energetiki v SSSR i Rossii*, Bd. 1, Moskva 2001, 16-70; Charles K. Dodd, *Industrial Decision Making and High-Risk Technology: Siting Nuclear Power Facilities in the USSR*, Lanham / Boulder / New York 1993.
- [47] Manfred Haferburg, *Aus heiterem Himmel. Von der Hinterhältigkeit der Katastrophen*, BOD Paris 2017, S. 23; RBMK reactors, in: *World Nuclear Association*, <http://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/nuclear-power-reactors/appendices/rbmk-reactors.aspx>.
- [48] V.P. Vasilevskij / A. A. Petrov / K. K. Poluškij / Ju. M. Čerkašov, *Razrabotka proekta i sozdanie pervogo energobloka s reaktorom RBMK-1000*, in: *Istorija Atomnoj Energetiki v SSSR i Rossii* vpp. 3, Moskva 2003, 61-100 (67).
- [49] Der Isotopen-Vektor ist die in Vektorform notierte Charakterisierung der Isotopenverhältnisse eines Nuklids im Reaktorinventar bei einem bestimmten Abbrand, z.B. für Plutonium in einer RBMK-Entladecharge: 0,7 % Pu-238/51,8 % Pu-239/28,7 % Pu-240/13,6 % Pu-241/5,2 % Pu-242. Benjamin Volmert, *Plutoniumfingerabdrücke und Brennstoffzyklusstudien für thermische Reaktorkonzepte*, *Rev. Nat. Diss. RTWH Aachen* 2003, S. 76, Abb. 25.
- [50] Volmert, *Plutoniumfingerabdrücke*, 9-12, 18-45, 57-59, 76; J. Carson Mark, Frank von Hippel, Edward Lyman, *Explosive Properties of Reactor-Grade Plutonium*, in: *Science and Global Security*, 17 (2009), 170–185 (insbes. 171-172, 180). Der mittlere Abbrand einer RBMK-Entladecharge betrug in den 1980er Jahren rund 20 MWD/kgU-235, nach 1986 bei höherer Anreicherung bis zu 30 MWD/kg U-235, während Plutonium-Produktionsreaktoren Abbrände im niedrigen einstelligen MWD-Bereich aufweisen. Im Vergleich mehrerer Reaktorkonzepte ähnelt der Plutoniumvektor eines RBMK am ehesten dem eines Leichtwasserreaktors. Pu-240, das mit rund 29% im RBMK-Plutonium enthalten ist, hat einen hohen Absorptionsquerschnitt für Neutronen – gleichzeitig neigt es aber auch zu Spontanzersetzung mit Neutroneneinfang. Sein relativ hoher Anteil im Reaktorplutonium ist auch der Grund, warum dieses anfällig für Frühzündungen und reduzierte Explosionskraft („Verpuffung“) ist, was es für die militärischen Zwecke von Atomwaffenstaaten unattraktiv macht. Da aber eine Kernwaffe geringerer Zerstörungskraft prinzipiell mit

Reaktorplutonium gebaut werden kann, unterliegt auch dieses strengen Non-Proliferationsregeln.

[51] Joachim Radkau, Aufstieg und Krise der deutschen Atomwirtschaft 1945-1975. Verdrängte Alternativen in der Kerntechnik und der Ursprung der nuklearen Kontroverse, Reinbek 1983, 302-306, 419; Joachim Radkau / Lothar Hahn, Aufstieg und Fall der deutschen Atomwirtschaft, München 2013.

[52] DIW 2019, 513.

[53] Atomkritische Autoren geben (abgesehen von Perioden des Strompreis-Zusammenbruchs infolge Windkraftüberproduktion) einen Gewinn von rund einer Million Euro pro Tag und Block an. Michael Kröger: Was E.ON und Co mit ihren Atommeilern verdient haben, in: Spiegel online, 12.05. 2014, <https://www.spiegel.de/wirtschaft/unternehmen/atomkraft-was-eon-und-co-mit-ihren-atommeilern-verdienten-a-968941.html>.

[54] IPCC Sachstandsberichte, siehe Fn. 10.

[55] DIW 2019, Info-Kasten 2, 518-519.

[56] Zu Uranabbau-Atlaslasten und Gesundheitsbelastungen auf dem Gebiet der ehemaligen DDR gibt es reichhaltige Literatur, aber womöglich liefert sie nicht jene alarmistischen Aussagen, die das DIW bevozugt: Rudolf Boch, Rainer Karlsch (Hg.): Uranbergbau im Kalten Krieg. Die Wismut im sowjetischen Atomkomplex, Band 1: Studien, Band 2: Dokumente, Berlin 2011; gute Informationen bieten auch die Jahresberichte des Bundesamts für Strahlenschutz: Umwelt-radioaktivität und Strahlenbelastung, Jahresbericht 2016, Bonn / Salzgitter 2018, hier 2.1 Hinterlassenschaften und Rückstände aus Bergbau und Industrie, 25-26.

[57] Benjamin K. Sovacool, Valuing the greenhouse gas emissions from nuclear power: A critical survey. *Energy Policy* 36 (2008), 2950-2963, zitiert in DIW 2019, S. 519.

[58] Zur CO₂-Bilanz der Kernenergie gibt es auch andere Befunde, die weit unter den 66 g CO₂-Äquivalenten/kWh der als einziger Literatur zitierten Sovacool-Studie liegen, z.B. die Berechnungen des IPCC mit 12 g/kWh Median: Schlömer S., T. Bruckner, L. Fulton, E. Hertwich, A. McKinnon, D. Perczyk, J. Roy, R. Schaeffer, R. Sims, P. Smith, and R. Wisner, Annex III: Technology-specific cost and performance parameters. In: *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)], Cambridge / New York 2014, https://archive.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/ipcc_wg3_ar5_annex-iii.pdf. 1335, Table A.III.2 Emissions of selected electricity supply technologies (gCO₂eq / kWh). Dieser geringere Wert findet sich auch in der Auswertung von: Paul-Scherrer-Institut, Die Vermessung des ökologischen Fussabdrucks, <https://www.psi.ch/de/media/forschung/die-vermessung-des-ökologischen-fussabdrucks>, Abb. „Treibhausgas-Emissionen aus der Stromproduktion mit Erneuerbaren und Kernenergie“.

[59] Die durchschnittliche Effektivdosis der deutschen Bevölkerung durch natürliche Quellen ionisierender Strahlung lag 2016 bei 2,1 mSv/a (=2100 µSv/a), die effektive Dosis durch Abfall und Abwasser der deutschen KKW lag bei maximal 1 µSv/a bzw. 0,5 µSv/a (Angaben pro einzelne Anlage). Bundesamt für Strahlenschutz, Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung. Jahresbericht 2016, <http://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0221-2018112017017>, S. 156 Tabelle T II.6 Strahlenexposition in der Umgebung von Kernkraftwerken durch die Aktivitätsableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft, S. 231. Tabelle T II.7 Strahlenexposition in der Umgebung von Kernkraftwerken durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser, S. 232.

[60] Peter Kaatsch et al., Epidemiologische Studie zu Kinderkrebs in der Umgebung von Kernkraftwerken (KIKK-Studie). Mainz, Salzgitter 2007; Bundesamt für Strahlenschutz, Epidemiologische Studie zu Kinderkrebs in der Umgebung von Kernkraftwerken – KIKK-Studie, <https://www.bfs.de/DE/bfs/wissenschaft-forschung/ergebnisse/kikk/kikk-studie.html>; Eva Richter-Kuhlmann: Kinderkrebs und Atomkraft – Keine Erklärung für erhöhte Krebsraten, in: Deutsches Ärzteblatt 105, H. 43, 24. Oktober 2008, A2258-2260; Munroe, Radiation Dose Chart.

[61] So in der Formulierung „Obwohl schwere Reaktorunfälle selten sind, sind ihre Folgen katastrophal“ (518) und der Nennung der drei großen Reaktorunfälle (519).

[62] Ministry of Health, Labour and Welfare: Responses and Actions Taken by the Ministry of Health, Labour and Welfare of Japan on Radiation Protection at Works Relating to the Accident at TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant – 6th Edition (Fiscal Year of 2018), https://www.mhlw.go.jp/english/topics/2011teq/workers/rii/gr/gr_190131.pdf, S. 13; Reuters: Japan acknowledges first radiation death among Fukushima workers, 2018-09-05, <https://www.reuters.com/article/us-japan-fukushima-radiation/japan-acknowledges-first-radiation-death-among-fukushima-workers-idUSKCN1L00A>; The Guardian: Japan admits that Fukushima worker died from radiation, 2018-09-05, <https://www.theguardian.com/world/2018/sep/05/japan-admits-that-fukushima-worker-died-from-radiation>; Time: Japan Acknowledges the First Radiation-Linked Death From the Fukushima Nuclear Disaster, 2018-09-06, <https://time.com/5388178/japan-first-fukushima-radiation-death/>

[63] World Health Organization: Health effects of the Chernobyl accident: an overview, April 2006, https://www.who.int/ionizing_radiation/chernobyl/background/en/; UNSCEAR 2008 Report to the General Assembly with Scientific Annexes, VOLUME II, Scientific Annex D, Health Effects Due to Radiation From The Chernobyl Accident, https://www.unscear.org/docs/reports/2008/11-80076_Report_2008_Annex_D.pdf; UNSCEAR 2013 Report to the General Assembly with Scientific Annexes, VOLUME I, Scientific Annex A, Levels and effects of radiation exposure due to the nuclear accident after the 2011 great east-Japan earthquake and tsunami, https://www.unscear.org/docs/publications/2013/UNSCEAR_2013_Report_Vol.I.pdf; UNSCEAR: Developments since the 2013 UNSCEAR Report on the levels and effects of radiation exposure due to the nuclear accident following the great east-Japan earthquake and tsunami, 2015, https://www.unscear.org/docs/reports/2015/Fukushima_WP2015_web_en.pdf

[64] Bill Sacks, Gregory Meyerson, Jeffrey A. Siegel, Epidemiology Without Biology: False Paradigms, Invalid Assumptions, and Specious Statistics in Radiation Science (with Commentaries by Inge Schmitz-Feuerhake and Christopher Busby and a Reply by the Authors), in: *Biological Theory* 11 (2016): 69-101. doi: 10.1007/s13752-016-0244-4.

[65] Anil Markandya, Paul Wilkinson, Electricity generation and health, in: *The Lancet*, Bd. 370, Nr. 9591, S. 979-990, Sep. 2007, [http://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736\(07\)61253-7](http://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736(07)61253-7); Pushker A. Kharecha, James E. Hansen, Prevented Mortality and Greenhouse Gas Emissions from Historical and Projected Nuclear Power, in: *Environmental Science and Technology*, 15.03. 2013, <https://doi.org/10.1021/es3051197>; T. Wang, Mortality rate worldwide in 2018, by energy source (in deaths per terawatt hour), Statista, 09. 08. 2019, <https://www.statista.com/statistics/494425/death-rate-worldwide-by-energy-source/>. Die Kernenergie liegt dabei mit 90 Todesfällen pro Terawattstunde weit hinter der Kohle (100.000) und den meisten regenerativen Energien. Hauptursache der Todesfälle durch Energiewandlungssysteme ist die Luftverschmutzung, gefolgt von den Opfern des Abbaus der Erziehungseuren.

[66] DIW 2019, 519.

[67] Adolf Birkhofer, Was leisten Risikostudien?, in: *atomwirtschaft*, August / September 1986, 440-445, insbes. 444. Gesellschaft für Reaktorsicherheit, Glossar Precursor-Analysen, <https://www.grs.de/glossar/precursor-analysen>. Wenn beispielsweise bei einer Wiederkehrenden Prüfung ein Strang eines Notkühlsystems nicht verfügbar ist, etwa die Hochdruck-Einspeisung infolge Defekts einer Sicherheitseinspeisepumpe, wird ausgehend von diesem konkreten Ereignis unter Einbeziehung des möglichen Versagens anderer Systeme, die man für die Gewährleistung der Unter- kritikalität des Reaktors und die sichere Nachzerfallswärme- Abfuhr benötigt, eine Wahrscheinlichkeit für eine Kernge- fährdung errechnet. Nur wenn diese höher oder gleich 10⁻⁶ ist (das heißt die Wahrscheinlichkeit einer Kerngefährdung bei eins zu einer Million oder häufiger liegt), spricht man von einem Precursor, einem Vorläufer-Ereignis. Vgl. auch die Antwort des Bundesumweltministeriums zu einem Precursor- Ereignis im belgischen KKW Tihange-1, 01.02. 2018: „In der aktuellen Berichterstattung entsteht der Eindruck, dass man auf Grundlage der Anzahl von sogenannten Precursor-Ereignissen auf die Sicherheit einer Anlage schließen könne. Das ist aber nicht der Fall. Sie sind vielmehr probabilistisch durchgerechnete Abläufe, die dabei helfen, sich ein bestimmtes Szenario genauer anzusehen. Diese sehr komplexen Precursor-Berechnungen sind ein Element einer umfassenden Sicherheitsarchitektur. Die Wahrscheinlichkeitsberechnungen können helfen, weitere Optimierungen an einem lernenden Sicherheitssystem dieser oder anderer Anlagen vorzunehmen.“ <https://www.bmu.de/meldung/stellungnahme-zum-belgischen-atomkraftwerk-tihange-1>

[68] H. Wolff, S. Arndt, Der WWER 440-Nasskondensator unter Störfallbedingungen, in: *atw* 46 (2001), H. 7, 487-492; H. Wolff, S. Arndt, Analyse des GO2 Tests an der EREC-Versuchs- anlage zum WWER-440-Nasskondensator, in: *atw* 49 (2004) H. 6, 426-431; V. P. Denisov, Evoljucija vodo-vodjanjx energetičeskix reaktorov dlja AEs, in: *Istorija Atomnoj Energetiki v SSSR i Rossii* vjy. 2, Moskva 2002, 218-302 (VVER-440V-213: 264-273).

[69] Exemplarische Quelle über die Modernisierung zur Laufzeit- verlängerung für eine VVER-440-Anlage (Rivne [Rovno]-1 und -2, Ukraine): Povyšenje bezopasnosti i prodlenie sroka ekspluatácii energoblokov 1 i 2 OP „Rivenskaja AES“. Itogovij otčet, Kuznečovsk 2011; Paul Voosen, How Long Can a Nuclear Reactor Last?, *Scientific American*, 2009-11-20, <https://www.scientificamerican.com/article/nuclear-power-plant-aging-reactor-replacement-1/>.

[70] DIW 2019, 514.

[71] Langdon Winner, Do artifacts have politics? *Daedalus* 109 (1980), 1, 121-136.

[72] Robert Jungk, *Der Atom-Staat: Vom Fortschritt in die Unmenschlichkeit*, München 1977; Alexander Rosnagel, (1984a), *Radioaktiver Zerfall der Grundrechte? Zur Verfas- sungsverträglichkeit der Kernenergie*. Mit Kommentaren von P. Saladin u. P. C. Mayer-Tasch, München 1984.

[73] Allerdings, wie die wechselnde Wortwahl zeigt, unter Gleich- setzung von "Wirtschaftlichkeit" mit „betriebswirtschaftlich“, „privatwirtschaftlich“, z.B. S. 511, 513, 514, 518.

[74] Stefan Bouzarovski / Mark Bassin, Energy and Identity: Imagining Russia as a Hydrocarbon Superpower, in: *Annals of the Association of American Geographers*, 101:4, 783-794, <https://doi.org/10.1080/00045608.2011.567942>

[75] Asif A. Siddiqi, *Competing Technologies, Nationalist Narratives, and Universal Claims: Toward a Global History of*

Space Exploration, in: *Technology and Culture*, Vol. 51, No. 2 (April 2010), pp. 425-443.

[76] Bundesrechnungshof: Bericht an den Haushaltsausschuss des Deutschen Bundestages nach § 88 Abs. 2 BHO über Maß- nahmen zur Umsetzung der Energiewende durch das Bundes- ministerium für Wirtschaft und Energie, 21.12. 2016, <https://www.bundesrechnungshof.de/de/veroeffentlichungen/produkte/beratungsberichte/bis-2016/2016-bericht-massnahmen-zur-umsetzung-der-energie-wende-durch-das-bundesministerium-fuer-wirtschaft-und-energie-schwerpunkt-kapitel-0903-energie-und-klimafonds>; Bundes- rechnungshof: Bericht an das Bundesministerium für Wirt- schaft und Energie nach § 88 Abs. 2 BHO zur Prüfung von Maßnahmen zum Netzausbau für die Energiewende, 16.05. 2019, <https://www.bundesrechnungshof.de/de/veroeffentlichungen/produkte/beratungsberichte/2019/netzausbau-energie-wende/2019-bericht-massnahmen-zum-netzausbau-fuer-die-energie-wende>; siehe auch Dagmar Röhlich, Rüsten gegen den Blackout. Unsichere Stromversorgung in Zeiten der Energiewende, DLF, 14.08. 2019 https://www.deutschlandfunk.de/ruesten-gegen-den-blackout-unsichere-stromver- sorgung-in-724.de.html?drum-artikel_id=456306

[77] Deutschlands Energiewende – Ein Gemeinschaftswerk für die Zukunft. Abschlussbericht der Ethik-Kommission Sichere Energieversorgung, 4. April 2018. Mai 2011, im Auftrag der Bundeskanzlerin Dr. Angela Merkel, in: <https://archiv.bundesregierung.de/archiv-de/kommissionbericht-zur-energie-wende-ein-gemeinschaftswerk-fuer-die-zukunft-394388>, 11-13.

[78] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), Abschlussbericht Kommission „Wachstum, Strukturwandel und Beschäftigung“, Stand Januar 2019, <https://www.bmu.de/themen/klima-energie/klimaschutz/kommission-wachstum-strukturwandel-und-beschaeftigung/>

[79] So der Titel des Berichts der Ethik-Kommission.

[80] Hauptgutachten des Wissenschaftlichen Beirats globale Umweltveränderungen der Bundesregierung (WBGU) 2011 „Gesellschaftsvertrag für eine große Transformation“, <https://www.wbgu.de/de/publikationen/publikation/welt-im-wandel-gesellschaftsvertrag-fuer-eine-grosse-transformation>

[81] Uwe Marx, Eine neue Chance für die deutsche Solarindustrie, FAZ 14.08. 2019, <https://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/unternehmen/studie-eine-neue-chance-fuer-die-deutsche-solarindustrie-16331776.html>; Daniel Wetzel: Windindustrie verliert in einem Jahr Zehntausende Arbeitsplätze, in: *Die Welt*, 2019-08-13, <https://www.welt.de/wirtschaft/article198299117/Windindustrie-In-einem-Jahr-26-000-Arbeitsplaetze-abgebaut.html>

[82] Paul Laufs, Reaktorsicherheit für Leistungskernkraftwerke. Die Entwicklung im politischen und technischen Umfeld der Bundesrepublik Deutschland, Heidelberg 2013; Anna Veronika Wendland, Reaktorsicherheit als Zukunftskommunikation. Nuklearpolitik, Atomdebatten und kerntechnische Entwick- lungen in Westdeutschland und Osteuropa 1970-2015, in: Christoph Kampmann / Angela Marciniak / Wencke Meteling, „Security turns its eye exclusively to the future“. Zum Verhältnis von Sicherheit und Zukunft in der Geschichte, Nomos: Baden-Baden 2018, 305-352.

[83] DIW 2019, 515-516, vgl. Fußnote 26.

[84] Holger Ludwig, Tatiana Salnikova und Ulrich Waas, Last- wechselfähigkeiten deutscher KKW, in: *Sonderdruck aus Jahrgang 55 (2010), Heft 8/9 August/September Internationale Zeitschrift für Kernenergie*, 2-9; Improving automated load flexibility of NPP with ALFC, in: *VGB PowerTech 5 (2016)*, 48-52; Alike van Heek, Hybrid systems: mixing things up, in: *Nuclear Engineering International*, 20. 06. 2019, <https://www.neimagazine.com/features/featurehybrid-systems-mixing-things-up-7267616/>

[85] Organisation for Economic Co-Operation and Development / OECD Nuclear Energy Agency, *The Costs of Decarbonization: System Costs with High Shares of Nuclear and Renewables*, Boulogne-Billancourt 2019.

[86] OECD / NEA 2019, 167-168; „Policy options to internalise system costs“, 173-210; 212-213.

[87] Verena Brinks, Oliver Ibert, Anna Veronika Wendland, *Beratung unter Stress: Experten in und für Krisen*. Working Paper No. 2 des Leibniz-Forschungsverbundes „Krisen einer Globalisierten Welt“, Berlin 2017.

[88] DIW 2019, 511; „Die Politik sollte Atomkraft als Option für eine nachhaltige Energieversorgung verwerfen.“

Autoren

Dr. Anna Veronika Wendland
Herder-Institut für historische
Ostmitteleuropaforschung
Institut der Leibniz-Gemeinschaft
Sonderforschungsbereich SFB-TR
138 „Dynamiken der Sicherheit“
Marburg/Gießen, Deutschland

Dr. Björn Peters
Forschungs- und Beratungsinstitut
für Energiewirtschaft Peters Coll.
Kelkheim, Deutschland