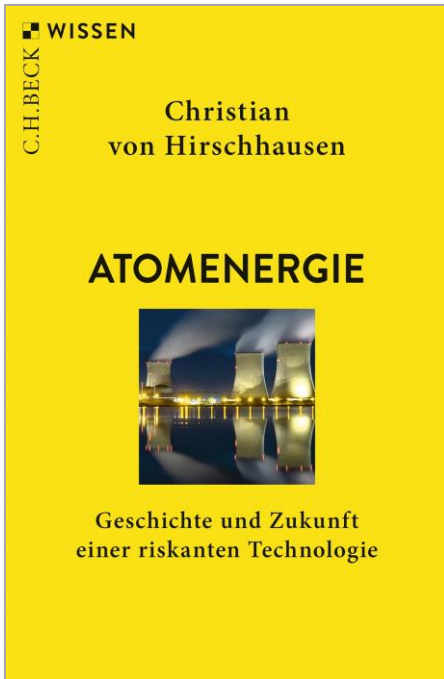


Unverkäufliche Leseprobe



Christian von Hirschhausen
Atomenergie

Geschichte und Zukunft einer riskanten
Technologie

2023. 128 S., mit 14 Abbildungen und 3 Tabellen
ISBN 978-3-406-79788-0

Weitere Informationen finden Sie hier:
<https://www.chbeck.de/34379764>

© Verlag C.H.Beck oHG, München
Diese Leseprobe ist urheberrechtlich geschützt.
Sie können gerne darauf verlinken.

Der Band schildert die historischen und die aktuellen Konfliktlinien der Atomenergie und ermöglicht damit ein Verständnis der gerade geführten Debatten. Er beginnt mit der Entwicklung der Atomenergie sowie ihren militärischen und kommerziellen Anwendungen und gibt einen nichttechnischen Überblick des gesamten Sektors, vom Uranbergbau bis zur Wiederaufarbeitung und zur Waffenproduktion. Es folgt eine Einordnung der Atomenergie in Bezug auf geopolitische Konflikte und ihre potenzielle Bedeutung für die Energiewirtschaft und den Klimaschutz. Die Atomwende in Deutschland wird in den europäischen und globalen Kontext eingeordnet. Der Schluss gilt der Zukunft, insbesondere den bisher ungelösten Fragen des Rückbaus der Kernkraftwerke und der Zwischen- und Endlagerung radioaktiver Abfälle.

Christian von Hirschhausen ist Professor für Wirtschafts- und Infrastrukturpolitik an der Technischen Universität Berlin (WIP) und Forschungsdirektor am Deutschen Institut für Wirtschaftsforschung (DIW Berlin). Er ist Autor und Ko-Autor einer Vielzahl von Veröffentlichungen zu wirtschaftlichen, geopolitischen und energiesystemischen Aspekten der Atomenergie und Mitglied der Forschungsgruppe Atomkernenergie, die zu diesen Themen forscht, lehrt und Politikberatung betreibt.

Christian von Hirschhausen

ATOMENERGIE

*Geschichte und Zukunft
einer riskanten Technologie*

C.H.Beck

Mit 14 Abbildungen und 3 Tabellen

Originalausgabe

© Verlag C.H.Beck oHG, München 2023

www.chbeck.de

Satz: C.H.Beck.Media.Solutions, Nördlingen

Druck und Bindung: Druckerei C.H.Beck, Nördlingen

Reihengestaltung Umschlag: Uwe Göbel (Original 1995, mit Logo),

Marion Blomeyer (Überarbeitung 2018)

Umschlagabbildung: Das Kernkraftwerk Cattenom, Frankreich,

Foto: © picture alliance/dpa/Christian Karaba

Printed in Germany

ISBN 978 3 406 79788 0



klimateutral produziert
www.chbeck.de/nachhaltig

Inhalt

Einleitung	7
1 Vergangenheit: Ursprünge, Entwicklungen und Nutzungen von Atomenergie	14
1.1 Atomenergie: «Kind von Wissenschaft ...	14
1.2 ... und Kriegsführung»	18
1.3 Nach 1945: Zwei-Zweck-Anwendungen und Versuche zur Rüstungskontrolle	22
1.4 Eine riskante Technologie	26
2 Systemgut Atomenergie: Vom Uranabbau bis zur Entsorgung	30
2.1 Atomenergie als Systemgut	31
2.2 Front-end: Vom Uranabbau zum Spaltmaterial	33
2.3 Atomwaffen	36
2.4 Stromerzeugung	39
2.5 Wiederaufarbeitung und Plutoniumabtrennung	47
2.6 Back-end: Rückbau und Entsorgung radioaktiver Abfälle	50
3 Geopolitische Konflikte	56
3.1 Vom ersten Atomzeitalter (Kalter Krieg) ...	58
3.2 ... zum zweiten Atomzeitalter und der Regionalisierung der Konflikte	60
3.3 Der Atomwaffensperrvertrag	63
3.4 Charakterisierung aktueller Atomländer	65
3.5 Die Supermächte und die Atom-Diplomatie	67
3.6 Atomeinstieg und Autokratie	71

4 Energiewirtschaft und Klimaschutz	73
4.1 Zeitskalen und Betrachtungsperspektiven	74
4.2 Einzelwirtschaftliche betriebswirtschaftliche Perspektive	76
4.3 Energiewirtschaftliche Perspektive	85
4.4 Gesamtwirtschaftliche Perspektive	89
5 Zukunft: Atomenergie in Deutschland und anderswo vor der Jahrhundertaufgabe der Entsorgung radioaktiver Abfälle	91
5.1 Atomenergie in Deutschland von den 1950er Jahren bis 2023	93
5.2 Atomwende, kein «Atomausstieg»	98
5.3 Historische Anläufe zur Entsorgung	100
5.4 Aktueller Stand	101
5.5 Internationale Entwicklungen	106
Nachwort: 12 Thesen to go	109
Anmerkungen	115
Ausgewählte Literatur	123
Personenregister	126
Sachregister	127

Einleitung

Seit dem 16. Juli 1945, als um 5:29 Uhr morgens Ortszeit bei Alamogordo in der Wüste New Mexicos (USA) die erste Atombombe gezündet wurde, ist klar, dass durch Kernspaltung in Sekundenbruchteilen ungeheuerliche Mengen an Energie und Strahlung freigesetzt werden können. Die erste militärische Anwendung erfolgt sehr zeitnah, mit der Bombardierung und weitgehenden Zerstörung der japanischen Städte Hiroshima (6. August 1945) und Nagasaki (9. August 1945), bei der es Hunderttausende von Toten und Schwerverletzten gab. Auch danach, im angehenden Kalten Krieg zwischen den USA und der Sowjetunion, wurden erhebliche Anstrengungen zur Weiterentwicklung von Atomwaffen, insbesondere der Wasserstoffbombe, betrieben. In diesen Zeitraum fallen auch Versuche, Atomenergie für kommerzielle Anwendungen nutzbar zu machen, z. B. im Verkehrsbereich, der Medizintechnik, der Materialforschung, der Landwirtschaft sowie zur Stromversorgung. Zwischen 1954 und dem Ende der 1970er Jahre wurde mit dem Bau von über der Hälfte aller bis Ende 2021 ans Netz gebrachten kommerziellen Kernkraftwerke begonnen. Mit den 1970er Jahren waren jedoch die Hoffnungen vorbei, dass Atomenergie kostengünstig werden würde und – durch die Entwicklung einer Plutoniumwirtschaft – erheblich zur Energieversorgung beitragen könne. Heute liegt die Produktion von Atomstrom auf etwa dem Niveau von 2006 (ca. 2700 Terawattstunden) und der Anteil an der Stromproduktion weltweit liegt unter 10% (nach einem Höhepunkt von 17,5% in 1996).¹ Dies entspricht sogar nur 4% an der weltweiten Energieproduktion, da neben Strom auch andere Energien für Wärme, Verkehr etc. verwendet werden, die Tendenz ist fallend. So viel erst mal zur *Vergangenheit*.

Und die *Zukunft*? Nicht nur die jüngsten Entwicklungen im

Krieg Russlands in der Ukraine belegen in drastischer Form, dass die Atomenergie eine zentrale Rolle in geopolitischen Konflikten spielt und dieses Thema uns leider erhalten bleiben dürfte. Selbst die Jahre nach der deutschen Wiedervereinigung und dem Zusammenbruch der Sowjetunion waren davon geprägt, wie auch Konflikte in Asien und anderswo in dem «zweiten Atomzeitalter», in dem wir uns nun befinden. Darüber hinaus müssen wir uns aber vor allem um eine möglichst sichere Entsorgung der Hinterlassenschaften der Atomenergie, insbesondere der radioaktiven Abfälle, kümmern. Über 80 Jahre nach den ersten experimentellen Entwicklungen an der Schnittstelle von Grundlagenforschung und militärischen Anwendungen ist noch kein einziges Gramm der hochradioaktiven atomaren Abfälle aus dem Betrieb kommerzieller Kernkraftwerke tiefengeologisch endgelagert, mit dem Ziel, für eine möglichst sichere und langfristige Abschirmung von Mensch und Umwelt vor den Risiken der Strahlenfreisetzung zu sorgen. Das ist also die *Zukunft*.

Zwischen diesen beiden Polen – der *Vergangenheit* der Atomenergie als Produkt aus Grundlagenforschung und Kriegsführung und der *Zukunft* dringend anstehender und bis heute ungelöster Entsorgungsfragen – bewegt sich dieses Buch. Dabei geht es auch auf aktuelle Fragen von Geopolitik, technischen Entwicklungen sowie Energiewirtschaft und Klimaschutz ein. Damit schlägt es eine Brücke zwischen unterschiedlichen Aspekten dieser riskanten Technologie – auf diese Einordnung wird noch detailliert eingegangen – und den wissenschaftlichen, militärischen und kommerziellen Entwicklungen.

Atomenergie ist ein globales Phänomen, das in unterschiedlichen nationalstaatlichen Kontexten sehr unterschiedliche Entwicklungen durchlaufen hat und durchläuft. Neben globalen Trends wird daher auch auf wichtige Entwicklungen in ausgewählten Ländern eingegangen, insbesondere den Atom-Supermächten USA, Russland und China sowie einigen europäischen Ländern wie Frankreich und Großbritannien. Jedoch liegt der Schwerpunkt des Textes auf *Deutschland*, wo sich Politik und Gesellschaft nach jahrzehntelangen Auseinandersetzungen auf

ein Ende der kommerziellen Nutzung der Atomenergie geeinigt haben. Fast zeitgleich mit dem Erscheinen dieses Buches werden die letzten drei Kernkraftwerke vom Netz genommen; 2010 waren noch 17 am Netz. Dies bedeutet jedoch keineswegs das Ende der Atomenergie in Deutschland. Vielmehr treten andere Herausforderungen in den Vordergrund, wie der Rückbau der alten Kernkraftwerke, der Jahrzehnte in Anspruch nehmen wird. Deutschland ist auch nach wie vor in der Atomenergieforschung aktiv und beteiligt sich an internationalen Projekten zur Reaktorforschung für Kernspaltung (sowie der Kernfusion). Besonders langwierig und komplex wird die Lagerung hochradioaktiver Abfälle werden, die mit der Bekanntgabe von möglichen Teilgebieten und Standortregionen im Herbst 2020 in die heiße Phase gegangen ist.

Struktur des Buches

Das Buch bietet eine Übersicht über Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft der Atomenergie mit einem Schwerpunkt auf den Risiken dieser Technologie, geopolitischer, umweltökonomischer, finanzieller und politischer Art. Es bietet eine Querschnittsperspektive über alle wesentlichen soziotechnischen Aspekte der Atomenergie und geht dabei systematisch auf die ursprünglichen Themen zurück, die – in unterschiedlichem Gewande und mit unterschiedlichen Akzenten, aber deutlich erkennbar – heute wieder einschlägig sind. Es unterscheidet sich damit von den rein technischen, rein historischen, rein politikwissenschaftlichen und rein wirtschaftlichen Einführungen. Die Verweise zu am Ende des Buchs als «Ausgewählte Literatur» aufgeführten Publikationen erfolgen in allen Anmerkungen in der Kurzform, die anderen Publikationen werden vollständig referenziert.

Das Buch besteht nach dieser Einleitung aus fünf Kapiteln sowie einem Nachwort. Kapitel 1 *Vergangenheit: Ursprünge, Entwicklungen und Nutzungen von Atomenergie* vermittelt eine Annäherung an das Thema Atomenergie, seine Ursprünge und die wesentlichen Wendepunkte der letzten hundert Jahre. Was ist überhaupt Atomenergie und wie kam es zu der ersten großtechnischen Nutzung, der Entwicklung der Atombombe in

den 1940er Jahren? Welches waren die wesentlichen Treiber der Atomenergie seitdem, und welche Fragen stellen sich heute?

Mit Kapitel 2 begeben wir uns in den Maschinenraum des soziotechnischen *Systemguts Atomenergie* mit ihren technischen und institutionellen Zusammenhängen. Dabei werden nicht nur die einzelnen Produktionsstufen, sondern auch deren Interdependenzen vereinfacht dargestellt: Rohstoffabbau, Anreicherung, Atomwaffen, Stromerzeugung, Wiederaufarbeitung, Rückbau von Kernkraftwerken sowie die Entsorgung radioaktiver Abfälle.

Geopolitische Konflikte lautet der Titel von Kapitel 3. Atomenergie war, ist und bleibt ein von geopolitischen Interessen dominiertes Thema, zu dem erst später Themen wie Verstromung oder medizinische Anwendungen hinzugekommen sind. Das Kapitel beginnt mit einer Charakterisierung des ersten Atomzeitalters, dem Kalten Krieg, und leitet dann zum zweiten Atomzeitalter über; darunter lässt sich die Gegenwart mit einer Vielzahl von globalen, aber zunehmend auch regionalen Konflikten und einem knappen Dutzend von Atommächten verstehen. Auch der Einstieg von Ländern in die Atomwirtschaft ist von geo- und regionalpolitischen Motiven getrieben und erfolgt interessanterweise vor allem in Staaten mit wenig ausgeprägten demokratischen Kontrollstrukturen, derzeit in der Türkei, Bangladesh und Ägypten.

Kapitel 4 widmet sich dann Fragen von *Energiewirtschaft und Klimaschutz*. Dabei müssen sowohl unterschiedliche Zeitskalen (kurzfristig, längerfristig, sehr langfristig) als auch unterschiedliche Zielfunktionen berücksichtigt werden, z. B. eine betriebswirtschaftliche, eine energiewirtschaftliche und eine gesamtwirtschaftliche. Wir zeigen, dass es nicht «die» Kosten der Atomenergie gibt, sondern dass, je nach Anwendungsfall, unterschiedliche Kostenkonzepte zum Einsatz kommen. Atomenergie ist aufgrund der hohen sicherheitstechnischen Risiken mit hohen Kosten verbunden und bedurfte und bedarf stets flankierender staatlicher innovations- und industriepolitischer Unterstützung. Das Kapitel diskutiert auch die potenzielle Bedeutung von Atomenergie zur Bekämpfung der Klimakrise.

Es folgt das im wahrsten Sinne des Wortes «letzte Kapitel» zur Zukunft der Atomenergie, welches anhand der Entwicklungen in Deutschland mit einem «Blick zurück nach vorn» erfolgt: *Zukunft: Atomenergie in Deutschland und anderswo vor der Jahrhundertaufgabe der Entsorgung radioaktiver Abfälle*. Dabei verbinden wir die Geschichte der Atomenergie in Deutschland mit der Jahrhundertaufgabe des Rückbaus von Kernkraftwerken und der Entsorgung radioaktiver Abfälle. Wir stellen die schwierige Historie und die weitgehende Vernachlässigung von Fragen der Entsorgung radioaktiver Abfälle heraus. Dies rächt sich heute, stehen uns doch teure und sehr langwierige Prozesse bevor, u. a. der Rückbau stillgelegter Kernkraftwerke, die Zwischenlagerung hochradioaktiver Brennelemente sowie der Prozess der tiefengeologischen Endlagerung. Wir beschreiben unterschiedliche Stufen des Entsorgungsprozesses und skizzieren einen möglichen Zeitplan: Er wird über ein Jahrhundert dauern, selbst in den Ländern, die hier leicht voraus sind, wie etwa Finnland und die Schweiz. Somit schließt sich der Kreis einer komplexen und von Anbeginn an umstrittenen Technologie: Die nukleare Kontroverse dreht sich seit den 1950er Jahren vor allem um Fragen der Sicherheit und Entsorgungsprobleme, und diese Themen werden uns noch lange begleiten.

Im *Nachwort* fassen wir die wesentlichen Ergebnisse der Analyse in 12 *Thesen to go* zusammen, die Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft der Atomenergie charakterisieren.

Begrifflichkeiten

An verschiedenen Stellen des Buches werden unterschiedliche Begrifflichkeiten für das Phänomen verwendet, um das es in diesem Text geht. So lautet der Titel des Buches *Atomenergie*, jedoch ist von *Kernkraftwerken* die Rede; auch werden die Begriffe Atomwaffen und Kernwaffen synonym gebraucht. Begrifflichkeiten spielen in soziotechnischen Kontroversen eine wichtige Rolle, sind sie doch niemals neutral, sondern fügen sich in spezifische historisch-politische Kontexte ein. Sie transportieren Narrative und werden somit selbst gleichsam Teil der Kontroversen. Historisch betrachtet dominiert der Begriff *Atom-*

energie. Die Griechen sahen im *A-tom*, dem Un-Teilbaren, die kleinste Einheit der Materie. In den 1940er Jahren wurde an der *Atombombe* gearbeitet, Eisenhowers Initiative hieß «*Atoms for Peace*» (1953), und in der Bundesrepublik Deutschland wurden das Bundesministerium für *Atomfragen* (1955) sowie das *Atomgesetz* (1959) geschaffen. Interessanterweise wurden in der DDR gleich von Beginn an beide Begriffe verwendet: Am 11. Oktober 1955 fasste zunächst das Politbüro, am 10. November 1955 auch der Ministerrat einen Beschluss zur zivilen Nutzung der *Atomkraft*, zur Schaffung eines zentralen Forschungszentrums und eines «Amtes für *Kernforschung* und *Kerntechnik*». ²

Unter dem Eindruck des von Atombomben und der Gefahr des Atomkriegs negativ besetzten Begriffs *Atom* erfolgte in der Bundesrepublik in den 1950er/1960er Jahren eine Wendung der Begrifflichkeiten: Seitdem erlangte die Bezeichnung *Kernenergie* breitere Verwendung. Tatsächlich werden physikalisch gesehen die großen Energiemengen durch die Spaltung von *Kernen* frei. In der Industrie spricht man heute von *Kernkraftwerken*, hierzu gibt es eine DIN-Norm (ISO 921/834). In der deutschen Diskussion sind die Begriffe auch politisch-gesellschaftlich besetzt. So ist der kritische Diskurs seit den 1960er Jahren unter den Schlagwörtern «Atomkraft – Nein danke!» oder «Anti-Atom-Bewegung» bekannt geworden. Dagegen wird in physikalischen Fachkreisen von *Kernenergie* gesprochen.

Ein Kompromiss bestünde im Begriff *Atomkernenergie*, der sowohl das gesamte Atom als auch den Kern, in dem die Kräfte gebündelt sind, beinhaltet. Dieser Begriff wurde in der Nachkriegszeit von deutschen Wissenschaftlern verwendet, so von Otto Hahn (z.B. in der Rede zur Eröffnung des Atomiums, 1958) und von Kurt Diebner und Erich Bagge, die die Zeitschrift *Atomkernenergie* herausgaben. Aufgrund der fehlenden Vertrautheit der Leserschaft mit diesem Begriff wird jedoch schwerpunktmäßig auf den historisch etablierten Begriff *Atomenergie* zurückgegriffen, an einigen Stellen wird der im jeweiligen Kontext dominante Begriff verwendet, z.B. «Atombombe», «Kernspaltung» etc.

Dank

Zur Entwicklung dieses Buches haben viele Menschen und Organisationen beigetragen, daher gebührt Dank insbesondere vielen Kolleginnen und Kollegen an der Technischen Universität Berlin (insbesondere am Fachgebiet Wirtschafts- und Infrastrukturpolitik), am Deutschen Institut für Wirtschaftsforschung (DIW Berlin, vornehmlich der Abteilung Energie-Verkehr-Umwelt und insbesondere ihrer Leiterin, Prof. Claudia Kemfert) sowie an anderen Organisationen. Die Analyse von Atomenergie erfordert interdisziplinären Austausch, u. a. zwischen Natur-, Ingenieur-, Wirtschafts- und Sozialwissenschaften, von dem ich profitiert habe. Im Kontext des World Nuclear Industry Status Report (WNISR) sowie der Scientists for Future (S4F) habe ich viele Einsichten gewinnen können und danke den hieran Beteiligten sehr. Darüber hinaus ist ein transdisziplinärer Ansatz, d. h. der beiderseitige Austausch mit Vertreterinnen und Vertretern der Zivilgesellschaft, zur Verständigung bzw. der Formulierung von Handlungsoptionen notwendig, und für diesen Austausch danke ich u. a. allen beteiligten Personen und Organisationen im Forschungsverbund TRANSENS.

Mehr Informationen zu diesem und vielen weiteren Büchern aus dem Verlag C.H.Beck finden Sie unter: www.chbeck.de