



**TECHNIK IM FOKUS**

DATEN FAKTEN HINTERGRÜNDE

Julia Mareike Neles  
Christoph Pistner  
*Herausgeber*

# Kernenergie

Eine Technik für die Zukunft?



Springer Vieweg

## **Technik im Fokus**

## **Technik im Fokus**

Photovoltaik – Wie Sonne zu Strom wird

Wesselak, Viktor; Voswinckel, Sebastian, ISBN 978-3-642-24296-0

Komplexität – Warum die Bahn nie pünktlich ist

Dittes, Frank-Michael, ISBN 978-3-642-23976-2

Kernenergie – Eine Technik für die Zukunft?

Neles, Julia Mareike; Pistner, Christoph (Hrsg.), ISBN 978-3-642-24328-8

Energie – Die Zukunft wird erneuerbar

Schabbach, Thomas; Wesselak, Viktor, ISBN 978-3-642-24346-2

Weitere Bände zur Reihe finden Sie unter

<http://www.springer.com/series/8887>

Julia Mareike Neles · Christoph Pistner (Hrsg.)

# Kernenergie

Eine Technik für die Zukunft?

 Springer Vieweg

*Herausgeber*

Julia Mareike Neles  
Christoph Pistner  
Darmstadt, Deutschland  
Kernenergiebuch@oeko.de

Konzeption der Energie-Bände in der Reihe Technik im Fokus:  
Prof. Dr.-Ing. Viktor Wesselak, Institut für Regenerative Energiesysteme,  
Fachhochschule Nordhausen  
Wir danken der Stiftung Zukunftserbe für die freundliche Unterstützung.

stiftung zukunfts**erbe** \*\*\*

ISSN 2194-0770

ISBN 978-3-642-24328-8

e-ISBN 978-3-642-24329-5

DOI 10.1007/978-3-642-24329-5

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Springer Vieweg

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2012

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

*Lektorat:* Eva Hestermann-Beyerle, Springer DE

*Unter Mitarbeit von:* Katja Kukatz (Öko-Institut e.V.),  
Monika Klingemann (Lektoratskontor)

*Einbandentwurf:* WMXDesign GmbH, Heidelberg

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer Vieweg ist eine Marke von Springer DE.

Springer DE ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media

[www.springer.com](http://www.springer.com)

---

# Einleitung

Im März 2011 erschütterten die Kernschmelzen von Fukushima, ausgelöst von einem Erdbeben und einem dadurch verursachten Tsunami, die Welt. In vielen Ländern hat das Ereignis dazu geführt, die zukünftige Rolle der Kernenergie zu überdenken – mit unterschiedlichen Ergebnissen. Vor diesem Hintergrund will das vorliegende Buch seinen Leserinnen und Lesern eine kompakte und verständliche Einführung in das Thema Kernenergie geben, damit sie die Entwicklungen nachvollziehen können. Es geht dabei nicht nur darum, welche Rolle die Kernenergie weltweit zur Energieerzeugung spielt, sondern auch um die großen Problemfelder der Kernkraft: Reaktorsicherheit, die Entsorgung radioaktiver Abfälle oder die Frage, welche Rolle die Kernenergienutzung bei der Weiterverbreitung von Kernwaffen spielt.

So führen die Autoren zunächst in die Grundlagen der Kernspaltung ein und erläutern die Entstehung radioaktiver Strahlung sowie ihre Wirkung auf den Menschen. Daran schließt sich ein Überblick über die Funktionsweise verschiedener Reaktortypen an, mit Schwerpunkt auf den weltweit am häufigsten eingesetzten Leichtwasserreaktoren. Aber auch derzeit in Entwicklung befindliche Reaktorkonzepte, kommen zur Sprache. Ein besonderer Schwerpunkt liegt auf dem Thema Sicherheit. Es wird das heutige Sicherheitskonzept von Kernkraftwerken erläutert. Beispiele aus der Betriebserfahrung zeigen aber auch die Grenzen der Reaktorsicherheit auf.

Tschernobyl und Fukushima stellen beide katastrophale Unfälle nach Einstufung der Internationalen Atomenergie-Organisation dar. Die Abläufe der beiden Reaktorkatastrophen werden dargestellt. Dabei wird auch ein Fokus auf die Auswirkungen und die langfristigen Konsequenzen der Unfälle gelegt.

Neben der Reaktorsicherheit spielt der Zusammenhang zwischen der zivilen Nutzung der Kernenergie und dem Zugriff von Staaten auf Kernwaffen eine wichtige Rolle. Das Problem des Dual-Use, also der Möglichkeit, Technik und Material aus zivilen Kerntechnikprogrammen für Kernwaffen umzunutzen, begleitet die Kernenergieentwicklung bereits seit ihren Anfängen. Dies sorgt auch heute immer wieder für internationale Spannungen, wie die Beispiele des Iran oder Nordkoreas deutlich machen.

Ebenfalls untrennbar mit der Kernenergie verbunden sind die Technologien, die vor und nach dem Reaktorbetrieb eingesetzt werden: Am Anfang der Kernenergienutzung steht die Urangeinnung mit ihren erheblichen Umweltauswirkungen in den uranföhrernden Ländern. Den Endpunkt bildet die heiß diskutierte Endlagerung der radioaktiven Abfälle.

Die genannten Themen sind eingebettet in einen kurzen Rückblick auf die Geschichte der Kernenergie, der auch die gesellschaftliche Diskussion insbesondere durch die Anti-AKW-Bewegung miteinschließt, und einen Blick in die Zukunft. Darin werden die Fragen angesprochen, ob Kernenergie wirklich eine billige Energiequelle darstellt und wieweit sie zum Klimaschutz beiträgt.

Der inhaltliche Schwerpunkt liegt jeweils auf der Situation in Deutschland, erweitert um einen internationalen Blickwinkel, der Beispiele aus anderen Ländern ergänzt.

Um dem Anspruch des Buches gerecht zu werden, einen breiten Überblick zum Thema zu bieten, beschränkt es sich auf die wichtigsten Fragen und Argumente zur Bewertung der Kernenergie. Für eine Vertiefung in die Einzelheiten der komplexen Technik sowie die weiteren diskutierten Themenfelder wird den interessierten Leserinnen und Lesern eine Auswahl an weiterführender Literatur genannt.

Wir möchten uns bei der Stiftung Zukunftserbe bedanken, die die Entstehung des Buches sehr gefördert hat.

Die Herausgeber  
Julia Mareike Neles  
Christoph Pistner



---

## Liste der Autoren

Julia Mareike Neles  
Dr. Christoph Pistner  
Stefan Alt  
Christian Küppers  
Stephan Kurth  
Gerhard Schmidt  
Öko-Institut e.V.  
Büro Darmstadt  
Rheinstraße 95  
64295 Darmstadt  
Kernenergiebuch@oeko.de

Dr. Matthias Englert  
Interdisziplinäre  
Arbeitsgruppe  
Naturwissenschaft,  
Technik und Sicherheit  
(IANUS)  
Technische Universität  
Darmstadt  
Alexanderstr. 35  
64289 Darmstadt  
englert@ianus.tu-darmstadt.de

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Rückblick – Von den Anfängen bis heute</b> .....	1
	<i>Julia Mareike Neles</i>	
1.1	Kurze Geschichte der Kernenergie .....	2
1.2	Kernenergie in Deutschland – Entwicklung und Ausstieg .....	5
1.3	Der gesellschaftliche Diskurs um die Kernenergie .....	9
1.4	Bestand und Alter der heutigen Kernkraftwerke.....	16
	Weiterführende Literatur.....	19
<b>2</b>	<b>Energie der Kerne – Physikalische Grundlagen der Kernenergienutzung</b> .....	21
	<i>Christoph Pistner</i>	
2.1	Physikalische Kräfte .....	22
2.2	Aufbau des Atoms.....	22
2.3	Kernmassen und Bindungsenergie .....	25
2.4	Kernspaltung .....	29
2.5	Kettenreaktion.....	31
2.6	Moderation von Neutronen .....	34
2.7	Energiefreisetzung bei der Kernspaltung .....	36
2.8	Spaltprodukte, Plutonium und Transurane .....	37
	Weiterführende Literatur.....	39

<b>3 Radioaktivität – Strahlung und ihre Folgen</b>	
<b>für den Menschen</b> .....	41
<i>Christian Küppers</i>	
3.1 Arten der Strahlung und ihre Entstehung.....	42
3.1.1 Alpha-Strahlung.....	44
3.1.2 Beta-Strahlung.....	47
3.1.3 Gamma-Strahlung.....	48
3.1.4 Neutronen-Strahlung.....	49
3.1.5 Weitere Strahlungsarten.....	50
3.2 Strahlendosis und biologische Wirkung.....	51
3.2.1 Dosisgrößen.....	51
3.2.2 Wirkungspfade.....	53
3.2.3 Strahlenwirkung.....	55
3.2.4 Strahlenrisiko.....	58
Weiterführende Literatur.....	61
<b>4 Funktionsweise – Von Kernreaktoren</b>	
<b>und Reaktorkonzepten</b> .....	63
<i>Christian Küppers, Christoph Pistner</i>	
4.1 Charakterisierung von Reaktorkonzepten.....	64
4.2 Leichtwasserreaktoren.....	65
4.2.1 Druckwasserreaktoren.....	65
4.2.2 Siedewasserreaktoren.....	71
4.3 Weitere Reaktortypen.....	73
4.3.1 Schwerwassermoderierte Reaktoren.....	73
4.3.2 Gasgekühlte, graphitmoderierte Reaktoren.....	74
4.3.3 Leichtwassergekühlte, graphitmoderierte Reaktoren.....	75
4.3.4 Schnelle Brüter.....	76
4.4 Radioaktivität im Kernkraftwerk.....	78
4.5 Fortgeschrittene Reaktorkonzepte.....	81
4.6 Zukünftige Reaktortypen.....	82
4.6.1 Hochtemperaturreaktoren.....	83
4.6.2 Generation IV.....	85
Weiterführende Literatur.....	89

<b>5 Reaktorsicherheit – Sicherheitskonzepte und Unfallrisiko ....</b>	<b>91</b>
<i>Christoph Pistner, Christian Küppers, Stephan Kurth</i>	
5.1 Nachzerfallswärme und Kernschmelzproblematik.....	92
5.2 Drei Schutzziele .....	94
5.3 Barrieren .....	95
5.4 Sicherheitsebenen.....	96
5.5 Das Sicherheitssystem.....	101
5.6 Grundprinzipien der Konstruktion .....	108
5.7 Besondere Aspekte der Reaktorsicherheit.....	111
5.7.1 Alterung.....	111
5.7.2 Mensch – Technik – Organisation .....	112
5.7.3 Terrorismus und Kriegsfolgen.....	114
5.8 Maßnahmen bei Unfällen.....	115
Weiterführende Literatur.....	120
<b>6 Tschernobyl und Fukushima – Unfallablauf und Konsequenzen .....</b>	<b>121</b>
<i>Christoph Pistner, Christian Küppers</i>	
6.1 Der Reaktorunfall in Tschernobyl.....	122
6.1.1 RBMK-Reaktoren und ihre Besonderheiten .....	122
6.1.2 Unfallablauf und Ursachen .....	123
6.2 Die Folgen von Tschernobyl.....	125
6.3 Der Reaktorunfall in Fukushima .....	126
6.3.1 Aufbau der Anlage.....	126
6.3.2 Unfallablauf und Ursachen .....	129
6.3.3 Zustand nach einem Jahr .....	132
6.4 Radiologische Auswirkungen von Fukushima.....	134
6.4.1 Die ersten Tage nach dem Unfall.....	134
6.4.2 Eintrag radioaktiver Stoffe in den Pazifik .....	137
6.4.3 Kontaminationen von Trinkwasser und Lebensmitteln .....	138
6.4.4 Die Zukunft der Region Fukushima .....	139
6.5 Fazit.....	141
Weiterführende Literatur.....	142

<b>7 Urangewinnung – Von der Mine bis ins Kraftwerk</b> .....	143
<i>Julia Mareike Neles, Gerhard Schmidt</i>	
7.1 Herkunft und Bedarf an Natururan.....	144
7.2 Verfahren der Urangewinnung.....	148
7.3 Weiterverarbeitung und Anreicherung.....	149
7.4 Umwelteffekte.....	152
7.4.1 Tailings.....	153
7.4.2 Abraumhalden und Gruben.....	155
7.4.3 Prozessanlagen.....	156
7.4.4 Umwelteffekte der In-situ-Laugung .....	157
7.5 „Die Wismut“ in Deutschland.....	158
Literatur .....	159
<b>8 Radioaktive Abfälle – Vom Kraftwerk bis zur Endlagerung</b> .....	161
<i>Gerhard Schmidt, Julia Mareike Neles</i>	
8.1 Abfallklassifizierungen .....	162
8.2 Radioaktive Abfälle aus Kernkraftwerken .....	164
8.3 Radioaktive Abfälle aus der Wiederaufarbeitung .....	167
8.4 Behandlung und Zwischenlagerung .....	169
8.5 Endlagerung .....	172
8.5.1 Ziele, Prinzipien und Funktionsweise.....	172
8.5.2 Endlagerprojekte in Deutschland.....	174
8.5.3 Endlager Konrad – Annahmebedingungen.....	177
8.5.4 Der Standort Gorleben.....	179
8.5.5 Endlager für wärmeentwickelnde Abfälle in Deutschland .....	180
8.5.6 Internationaler Stand.....	181
8.5.7 Alternativen zur Endlagerung.....	184
Weiterführende Literatur.....	187

<b>9 Kernwaffen – Das Zusammenspiel von Kernenergienutzung und Atombombe</b> .....	189
<i>Matthias Englert</i>	
9.1 Kernenergie und Kernwaffen .....	190
9.1.1 Nukleare Nichtverbreitung .....	190
9.1.2 Überwachung ziviler Nuklearenergienutzung .....	192
9.1.3 Dual-Use.....	194
9.2 Kernwaffenrelevante Materialien.....	196
9.2.1 Hochangereichertes Uran.....	196
9.2.2 Plutonium.....	197
9.3 Die Funktionsweise von Kernwaffen.....	198
9.4 Pfade zur Bombe .....	201
9.4.1 Urananreicherung und Bestände.....	202
9.4.2 Plutoniumproduktion und Bestände.....	204
9.5 Perspektiven der nuklearen Nichtverbreitung .....	206
Literatur .....	208
<b>10 Die Zukunft der Kernenergie – Kosten, Klimaschutz und internationale Entwicklungen</b> .....	209
<i>Julia Mareike Neles, Stefan Alt, Christoph Pistner</i>	
10.1 Die Kosten der Kernenergie.....	210
10.1.1 Investitionskosten .....	211
10.1.2 Weitere Kostenfaktoren .....	213
10.2 Das Argument des Klimaschutzes.....	216
10.3 Konsequenzen aus Fukushima .....	220
Weiterführende Literatur.....	223
<b>Stichwortverzeichnis</b> .....	225

---

# Rückblick – Von den Anfängen bis heute

# 1

Julia Mareike Neles

---

## Zusammenfassung

Zu Beginn der zivilen Kernenergienutzung in den 1950er- und 1960er-Jahren herrschte eine große Euphorie. So wurden tausende Kernkraftwerke für die nahe Zukunft prognostiziert. Spätestens seit den 1970er-Jahren wurde die Kernenergie aber auch kritisch diskutiert. In zahlreichen Ländern formierten sich Anti-Atomkraft-Bewegungen. Mit den Reaktorkatastrophen von Tschernobyl und Fukushima erhielten deren Ziele und Argumente auch in Deutschland in der breiten Gesellschaft mehr und mehr Gewicht. Die Ereignisse führten vor Augen, dass Unfälle katastrophalen Ausmaßes nicht ausgeschlossen werden können und dramatische Folgen für die Betroffenen haben.

Heute nutzen nur 30 von insgesamt 269 Ländern weltweit die Kernenergie. 435 Kernkraftwerke waren im Januar 2012 am Netz. Weltweit erzeugten die Kernkraftwerke im Jahr 2011 rund 2518 Tera-wattstunden Strom. Das entspricht einem Anteil von rund 15 Prozent an der gesamten Stromerzeugung. Die Zahl der Anlagen ist seit Jahren leicht rückläufig, da weniger Kernkraftwerke neu in Betrieb genommen als stillgelegt werden. Als Konsequenz aus Fukushima wird Deutschland die Nutzung der Kernenergie zur Stromerzeugung bis zum Jahr 2022 beenden.

---

Julia Mareike Neles (✉)  
Öko-Institut e.V., Büro Darmstadt, Rheinstraße 95, 64295 Darmstadt  
Kernenergiebuch@oeko.de

## 1.1 Kurze Geschichte der Kernenergie

Der Blick zurück zeigt: Die Geschichte der Kernenergie ist keine sehr alte Geschichte. Zwischen der Entdeckung der Radioaktivität und den Ereignissen in Fukushima liegen gerade mal 115 Jahre, seit der Entdeckung der Kernspaltung 1938 bis heute sind nur 74 Jahre vergangen.

Im Jahr 1896 entdeckte Henri Becquerel die radioaktive Strahlung. Das eigentliche Atomzeitalter beginnt jedoch erst 1938, als Wissenschaftlern erstmals der Nachweis einer Kernspaltung gelingt. Mit dieser Entdeckung rückten sowohl die Atombombe als auch die zivile Energieerzeugung durch Kernkraft in den Bereich des Möglichen. Sieben Jahre später war mit den Atombombenabwürfen von Hiroshima und Nagasaki aus der Möglichkeit Realität geworden.

Die Atombombenabwürfe und die Reaktorkatastrophen von Tschernobyl und Fukushima markieren tragische Zäsuren in der Geschichte der Kernenergie. Einerseits weckte die Kernenergie zunächst große Hoffnungen, sie sollte die Lösung aller Energieprobleme sein. Ihre Risiken andererseits führte viele Menschen zu kritischen Protestbewegungen zusammen (siehe Abschn. 1.3).

### Die Anfänge der Kernenergie:

- 1896 Der Physiker Henri Becquerel entdeckt, dass Uran radioaktive Strahlung abgibt.
- 1898 Marie und Pierre Curie entdecken den radioaktiven Zerfall.
- 1905 Einstein entwickelt seine Relativitätstheorie und stellt die berühmte Formel  $E = mc^2$  auf, die besagt, dass Masse in Energie umgewandelt werden kann.
- 1911 Rutherford entwickelt erste Theorien zum Aufbau der Atome. Darauf aufbauend beschreibt Niels Bohr ein Atommodell, bestehend aus Atomkern und umgebender Elektronenhülle.
- 1938 Den Chemikern Hahn und Straßmann gelingt die erste Kernspaltung, indem sie Neutronen auf Urankerne schießen und anschließend die Bruchstücke nachweisen.



- 1939 Die Aufrechterhaltung der Urankernspaltung als Kettenreaktion und damit deren Nutzungsmöglichkeit wird von Joliot, Halban und Kowarski beschrieben. Lise Meitner und Kollegen berechnen die freisetzbaren Energiemengen.
- 1942 Im sogenannten Chicago Pile No. 1 (CP-1) kann Fermi die erste kontrollierte Kettenreaktion erzeugen.
- 1945 Am 16. Juli 1945 testen die USA bei Alamogordo in New Mexico die erste Atomwaffe.
- 1945 Am 6. und 9. August 1945 werfen die USA Atombomben auf Hiroshima und Nagasaki.

Unmittelbar nach dem Zweiten Weltkrieg begann insbesondere diesseits und jenseits des „Eisernen Vorhangs“ zwischen den USA und der UdSSR das Wettrüsten mit atomaren Waffen. Am 29. August 1949 zündete die Sowjetunion ihre erste Atombombe und war damit zur zweiten Atommacht geworden. Beide Mächte demonstrierten ihre jeweilige Stärke mit Kernwaffentests, die vor allem in den 1960er-Jahren zahlreich waren. Aber auch andere Länder strebten an, Atommacht zu werden.

Gleichzeitig hat man die Entwicklung und den Bau von Kernreaktoren vorangetrieben, um die Kernenergie zur Stromerzeugung zu nutzen. Einen wichtigen Anstoß gab dazu die 1953 von US-Präsident Eisenhower gehaltene „Atoms for Peace“-Rede vor der UN-Vollversammlung. Zu dieser Zeit bemühten sich viele Länder darum, ebenfalls in den Besitz von Atomwaffen zu gelangen. Deshalb schlug Eisenhower unter anderem vor, die zivile Nutzung der Kernenergie unter dem Dach einer internationalen Atomenergiebehörde für andere Länder verfügbar zu machen. Damit wollte er gleichzeitig die Gefahren einer militärischen Nutzung der Kernenergie adressieren (gesamter Redetext zum Beispiel unter: <http://www.atomicarchive.com/Docs/Deterrence/Atomsforpeace.shtml>).

#### **Die weitere Geschichte der Kernenergie:**

- 1951 wird in den USA mit dem Versuchsreaktor EBR-1 erstmals Strom durch Kernenergie erzeugt.
- 1953 verkündet US-Präsident Eisenhower vor den Vereinten Nationen das „Atoms for Peace“-Programm, mit dem er die zivile Nutzung der Kernenergie propagiert.

- 1954 fährt die damalige Sowjetunion das weltweit erste zivile Kernkraftwerk in Obninsk im heutigen Russland an. Es hat eine Leistung von fünf Megawatt. Im selben Jahr lassen die USA das erste atomgetriebene U-Boot, die USS Nautilus, zu Wasser.
- 1956 nimmt Großbritannien im englischen Calder Hall das erste kommerzielle Kernkraftwerk zur Stromerzeugung in Betrieb. Es hat eine Leistung von 55 Megawatt.
- 1957 werden die Internationale Atomenergie-Organisation (IAEO) und die europäische Atombehörde EURATOM gegründet.
- 1957 nimmt die BRD den ersten westdeutschen Reaktor, den Forschungsreaktor der TU München in Betrieb, der wegen seiner Bauform Atomei genannt wird. Im gleichen Jahr wird der Rossendorfer Forschungsreaktor (RFR) bei Dresden erstmals kritisch.
- 1960er Verschiedene Nationen führen insgesamt tausende überirdische Kernwaffentests durch. Die dabei in die Atmosphäre freigesetzte Radioaktivität ist bis heute als Hintergrundstrahlung messbar.
- 1960 wird das erste westdeutsche Kernkraftwerk in Kahl (Main) angefahren.
- 1966 geht das erste ostdeutsche Kernkraftwerk in Rheinsberg ans Netz.
- 1968 wird der internationale Vertrag über die Nichtverbreitung von Kernwaffen geschlossen. Deutschland tritt ihm 1975 bei (siehe Kap. 9).
- 1979 kommt es zum Reaktorunfall in Three Mile Island in Harrisburg, USA, mit einer teilweisen Kernschmelze.
- 1986 explodiert das Kernkraftwerk in Tschernobyl (s. Kap. 6).
- 1996 legt die UNO einen Kernwaffenteststopp-Vertrag vor. Da einige Nationen wie China, die USA, Indien und Pakistan die Unterschrift beziehungsweise die Ratifizierung verweigern, ist er bis heute nicht in Kraft getreten.
- 2011 ereignet sich die Reaktorkatastrophe in Fukushima infolge eines schweren Erdbebens und eines dadurch ausgelösten Tsunamis (siehe Kap. 6).

Jahrzehntlang galt die zivile Nutzung der Kernenergie als fortschrittlich und führte insbesondere in den 1970er- und 1980er-Jahren zum Bau von vielen Kernkraftwerken. Auch das Streben nach Atomwaffen blieb das erklärte Ziel vieler Staaten.

Die Möglichkeit großer Reaktorkatastrophen mit erheblichen Umweltauswirkungen wurde jahrelang ausgeblendet. Die Reaktorkatastrophen von Harrisburg, Tschernobyl und Fukushima haben in einigen Ländern zum Umdenken geführt. Welche Lehren die Welt aus Fukushima zieht und wie ein Blick in die Zukunft aussehen könnte, darauf wird in Kap. 10 näher eingegangen.

---

## 1.2 Kernenergie in Deutschland – Entwicklung und Ausstieg

Im Westen Deutschlands begannen die Entwicklungen zur Nutzung der Kernenergie im Jahr 1955, als die Bundesrepublik Deutschland ihre volle Souveränität erlangt hatte. Mit der friedlichen Nutzung der Kernenergie verpflichtete sich die Bundesrepublik gleichzeitig, auf die Entwicklung und den Besitz von Kernwaffen zu verzichten. Zu dieser Zeit galt als progressiv, wer für die Kernenergie war. Eine politische Opposition dagegen gab es nicht, auch wenn einzelne Fachleute bereits ihre warnende Stimme erhoben. Die Regierung gründete das Bundesministerium für Atomfragen mit Franz Josef Strauß als erstem Minister. Das Ziel war, die Kernenergie einzuführen, zu fördern und die gesetzlichen Grundlagen dafür zu schaffen. So verabschiedete die Bundesregierung 1958 das erste Atomgesetz.

Die ersten Planungen von 1957 sahen die Entwicklung und den Bau von fünf Reaktorlinien bis 1965 vor. Jeder der damals in der Atomwirtschaft treibenden Konzerne sollte die Möglichkeit bekommen, einen Reaktor zu entwickeln. Zudem waren ein größerer Leistungsreaktor und mehrere kleine Versuchsreaktoren vorgesehen. Die Bundesregierung unterstützte die Vorhaben mit staatlichen Verlustbürgschaften und umfangreichen Investitionshilfen. Doch bereits zwei Jahre später – nachdem erst zwei Reaktoren gebaut waren – wurde dieses erste Atompro-

gramm wieder aufgegeben. Die Bereitschaft der Wirtschaft, die erforderlichen – immer noch erheblichen – Investitionen zu tätigen, war gering. Letztlich dienten die verausgabten Forschungsmilliarden dazu, bei den beteiligten großen Firmen Entwicklungsabteilungen aufzubauen.

Das nächste Atomprogramm für die Zeitspanne von 1963 bis 1967 steigerte die staatliche Unterstützung bis auf 3,8 Milliarden DM. Es knüpfte an die Entwicklungen der Leichtwasserreaktorlinien in den USA an. Der Leichtwasserreaktor, eine Weiterentwicklung der amerikanischen U-Boot-Reaktoren, wurde schließlich als wirtschaftlich eingestuft, was zur Folge hatte, dass die Energiewirtschaft nun ebenfalls verstärkt in die Kernenergie investierte. Aber erst in den 1970ern nach der ersten Ölkrise erlangte die Kernenergie im Rahmen des Versorgungssicherungskonzepts auch strategische Bedeutung. Das dritte Atomprogramm, mit fünf Milliarden DM ausgestattet, unterstützte den Bau weiterer Kernkraftwerke, die Entwicklungen zum Schnellen Brüter und förderte das Exportgeschäft.

Im Osten Deutschlands erfolgte die Entwicklung der Kernenergie zeitlich parallel und ebenso euphorisch. 1956 gründete die DDR das Zentralinstitut für Kernforschung in Rossendorf bei Dresden und errichtete mit Unterstützung der Sowjetunion den Rossendorfer Forschungsreaktor, der 1957 erstmals in Betrieb ging. Auch in der DDR sollte die Kernenergie künftig den Bedarf an Elektrizitätsenergie decken, und auch hier waren die Ziele hochgesteckt. So verkündete das Amt für Kernforschung und Kerntechnik, bis 1970 etwa 20 Kernkraftwerke in Betrieb zu nehmen. Tatsächlich gingen nur das Kernkraftwerk Rheinsberg, das vor allen Dingen der Erprobung dienen sollte, und später vier Blöcke des Kernkraftwerks Greifswald dauerhaft ans Netz. Weitere Blöcke waren im Bau und in der Planung. Mit der Wende 1990 wurden alle Kernkraftwerke der ehemaligen DDR abgeschaltet und sämtliche Bauvorhaben eingestellt. Die Reaktoren sowjetischer Bauart wurden, unter anderem auch infolge des Tschernobyl-Unfalls, als nicht ausreichend sicher eingestuft.

Im Westen Deutschlands änderte sich seit den 1970er-Jahren die politische Haltung zur Kernenergie. Bis dahin hatten die politischen Parteien eine einheitliche Pro Haltung gegenüber der Kernenergie, danach fiel diese auseinander. So zogen die Grünen, die im Kontext der Anti-

AKW- und der Friedensbewegung entstanden sind, 1983 erstmals in den Bundestag ein. In der SPD setzten sich zunehmend die Atomkraftgegner durch. Praktisch war der Neubau von Kernkraftwerken bereits zum Erliegen gekommen, bevor dies politisch beschlossen und regulatorisch umgesetzt wurde. Hierfür waren neben den politischen und sicherheitstechnischen Fragen auch Aspekte der Wirtschaftlichkeit von Kernkraftwerken von Bedeutung (siehe auch Abschn. 10.1).

In den folgenden Jahren verpflichteten sich die Sozialdemokraten und die Grünen dem politischen Ziel des Ausstiegs aus der Kernenergie. Als beide Parteien in Koalition die Bundesregierung stellten, handelten sie mit den Elektrizitätsversorgungsunternehmen am 14. Juni 2000 den Ausstieg aus der Kernenergie aus. Es wurde der sogenannte Atomkonsens beschlossen. Beweggründe waren, die Risiken von Reaktorkatastrophen zu verringern sowie die festgefahrene Situation bei der Entsorgung radioaktiver Abfälle wieder in Bewegung zu bringen. Mit dem Konsens sollten die politischen und gesellschaftlichen Konflikte um die Kernenergie beruhigt werden. Die damaligen Oppositionsparteien CDU und FDP sprachen sich jedoch damals gegen einen Ausstieg aus der Kernenergie aus und kündigten an, diesen im Falle eines Regierungswechsels wieder revidieren zu wollen.

---

### Beispiel

#### **Zitate zum Atomkonsens vom 14. Juni 2000:**

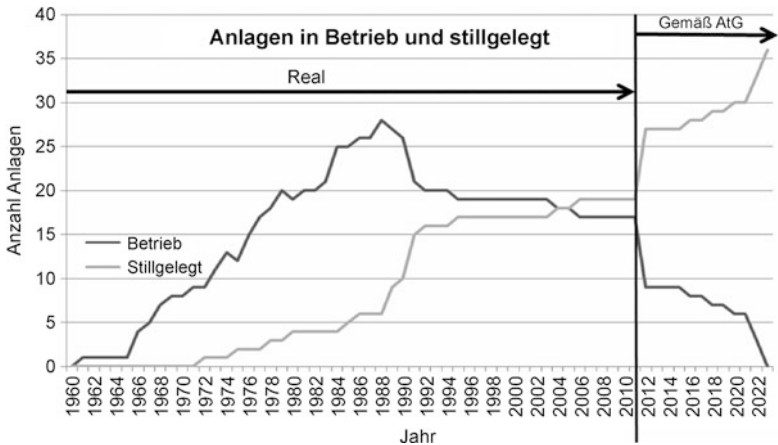
**Gerhard Schröder** (SPD), Bundeskanzler: „Mit den soeben geleisteten Unterschriften haben wir uns abschließend darauf verständigt, die Nutzung der Kernenergie geordnet und wirtschaftlich vernünftig zu beenden.“

**Jürgen Trittin** (Die Grünen), Bundesumweltminister: „Die Regelauflaufzeit wird auf 32 Jahre begrenzt. Im Jahre 2020 wird aller Voraussicht nach das letzte AKW hier vom Netz gehen.“

**Klaus Lippold** (CDU), Energie- und Atomexperte der Opposition: „Herr Trittin, Sie freuen sich zu früh. Wir werden das, was Sie als Kernenergieausstieg bezeichnen, wieder rückgängig machen.“ (Siehe dazu auch Aussprache im deutschen Bundestag, 14. Wahlperiode, 209. Sitzung, <http://dip21.bundestag.de/dip21/btp/14/14209.pdf>)

Rechtlich verankert wurde der Ausstieg im Atomgesetz vom 22. April 2002. Dazu wurde § 1 des Atomgesetzes, der den Zweck des Gesetzes bestimmt, geändert. Während bis zu diesem Zeitpunkt das Gesetz der Förderung der zivilen Nutzung der Kernenergie gewidmet war, wurde nunmehr die Beendigung der Nutzung der Kernenergie festgeschrieben. Die Laufzeit der Reaktoren war an Energiemengen, die noch erzeugt werden dürfen, gekoppelt. Dafür hat man eine Laufzeit von rund 32 Jahren pro Kernkraftwerk zugrunde gelegt. Zusätzlich wurde der Neubau von Kernreaktoren ausgeschlossen und der Ausstieg aus der Wiederaufarbeitung eingeleitet.

Nach der Bundestagswahl 2009 beschloss die neue Koalition aus Christdemokraten und Liberalen, die Laufzeiten der Kernkraftwerke um durchschnittlich zwölf Jahre zu verlängern. Dies wurde Ende 2010 im Atomgesetz verankert. Der Ausstiegsbeschluss wurde dagegen nicht verändert. Die Beendigung der zivilen Nutzung der Kernenergie und der Umbau der Energiewirtschaft hin zu erneuerbaren Energien sollte weiterhin das Ziel sein. Der Kernenergie schrieb die Bundesregierung dabei die Funktion einer „Brückentechnologie“ zu. Das heißt, sie sollte für eine längere Übergangszeit genutzt werden, bis mit den erneuerbaren Energien der deutsche Strombedarf gedeckt werden könnte.



**Abb. 1.1** Betrieb und Stilllegung von Kernkraftwerken in Deutschland in Anzahl pro Jahr

Nach der Reaktorkatastrophe in Fukushima Dai-ichi im März 2011 revidierte die Bundesregierung ihren Beschluss zur Laufzeitverlängerung. Acht Kernkraftwerke wurden sofort stillgelegt, und für die verbliebenen neun Anlagen legte sie Abschaltzeiten zwischen 2015 und 2022 fest, die sie wiederum im Atomgesetz verankerte.

Abbildung 1.1 gibt einen Überblick über Betrieb und Stilllegung von Kernkraftwerken und Prototypreaktoren der Bundesrepublik Deutschland und der ehemaligen DDR. 1988 waren die meisten Kernkraftwerke gleichzeitig in Betrieb. Seitdem sinkt die Anzahl der Anlagen. So wurden 1990 mit der Wiedervereinigung die Kernkraftwerke der ehemaligen DDR abgeschaltet. Ab 2011 stellt die Grafik den geplanten Ausstieg aus der Kernenergie dar, beginnend mit der Abschaltung der – zu dieser Zeit – sieben ältesten Anlagen und des Kernkraftwerks Krümmel.

---

### **1.3 Der gesellschaftliche Diskurs um die Kernenergie**

Deutsche Protestbewegungen, die sich gegen Atomwaffen wandten, haben ihre Wurzeln schon in den 1950er-Jahren, als die Wiederbewaffnung Deutschlands diskutiert wurde. Diese Protestbewegungen wurden schon früh in der Öffentlichkeit wahrgenommen. Aus ihnen entstand beispielsweise die Ostermarsch-Bewegung, die 1958 in London begann, sich 1960 erstmals im Norden Deutschlands formierte und in ganz Deutschland große Beteiligung erreichte.

Die Anti-Atomkraft- oder Anti-AKW-Bewegung als Protest gegen die zivile Nutzung der Kernenergie etablierte sich in Deutschland dagegen erst viel später.

Sie nahm ihren Anfang in den USA. Hier richtete sich 1958 der Protest gegen den Bau eines Kernkraftwerks in der Bodega Bay bei San Francisco. Gespeist wurde der Widerstand aus den Protestbewegungen gegen Atomwaffen, die auch hier schon länger aktiv waren. Die Kritiker argumentierten zunächst mit Motiven des Natur- und Landschaftschutzes wie der Schönheit der Bucht. Später führten sie – aufgrund von Insiderwissen – Aspekte der Reaktorsicherheit an. Die Erdbeben-

gefähr wurde früh bedeutsam. Dieses Argument überzeugte und führte dazu, dass das Kernkraftwerk nicht gebaut wurde. Der Fall ist ein frühes Beispiel dafür, wie ausschlaggebend kritisches Fachwissen für die Diskussion um die Kernenergie ist. In den nächsten Jahren unterstützte die amerikanische Anti-AKW-Bewegung die Protestbewegungen in anderen Ländern mit ihrem Wissen.

In Europa gab es die ersten Proteste in Frankreich. Aus heutiger Sicht erscheint das überraschend, da die kernenergiekritischen Gruppen in Frankreich über Jahrzehnte weniger in Erscheinung traten und insbesondere in geringerem Umfang in die Parteienlandschaft Frankreichs hineinwirken konnten. 1971 gab es jedoch erste Großdemonstrationen und Bauplatzbesetzungen an den Anlagenstandorten Fessenheim am Rhein und Bugey an der Rhône. Sie führten allerdings nicht zum gewünschten Erfolg der Kritiker.

Auch in Deutschland lag der Beginn der Anti-AKW-Bewegung in den 1970er-Jahren. Vorangegangene lokale Proteste gegen die ersten Versuchsreaktoren hatte die Öffentlichkeit nicht wahrgenommen. Mit dem Kampf gegen das Kernkraftwerk Würgassen nahm die Protestbewegung zu. Sie ging überwiegend mit juristischen Mitteln gegen den Bau vor, ebenso wie gegen die potenziellen Kernkraftwerkstandorte Bonn, Breisach, Esensham und Neckarwestheim. Die Vertreter der Atomenergie reagierten auf den Widerstand zunächst eher verwundert, galt die Kernenergie doch als Zukunftstechnologie. Die Kernenergiebefürworter argumentierten, hinter der Kritik würden sich schlicht mangelnde Sachkenntnis und ausschließlich ideologische Motive verbergen.

Der juristische Protest gegen das Kernkraftwerk Würgassen führte nicht zur Aufgabe des Vorhabens, aber er erreichte 1972 das sogenannte Würgassen-Urteil. Darin legten die Richter fest, dass die Gewährleistung des Schutzes vor den Gefahren der Kernenergie Vorrang vor der Nutzung der Kernenergie zu friedlichen Zwecken hat. Bis dahin waren beide Ziele gleichrangig im § 1 des Atomgesetzes verankert. Dieses Urteil bot in der Folge den Atomkraftgegnern eine wichtige Argumentationsbasis. Es führte auch dazu, vermehrt kritischen Sachverstand aufzubauen und wissenschaftliche Expertise in Anspruch zu nehmen, um sich mit dem Gefährdungspotenzial von Kernkraftwerken auseinandersetzen zu können (siehe Kap. 5).