

## Analyse

### Kernenergieausstieg und Klimaschutz in Baden-Württemberg

Juli 1999

Diethard Schade  
Wolfgang Weimer-Jehle

| <b>Inhalt</b>   | <b>Seite</b> |
|---|--------------|
| Vorwort   | 3            |
| Zusammenfassung der Ergebnisse  | 5            |
| 1. Einleitung   | 9            |
| 2. Die Ausgangslage im Energieversorgungssystem Baden-Württembergs                    | 11           |
| 2.1 Stromverbrauch und Stromerzeugung in Baden-Württemberg                            | 11           |
| 2.2 Vorhandene Reserven im Kraftwerkpark  | 16           |
| 2.3 Klimaschutzziele  | 18           |
| 3. Auswirkungen eines Kernenergieausstiegs in Baden-Württemberg                       | 20           |
| 3.1 Kosten und Einsatz verschiedener Kraftwerktypen                                   | 21           |
| 3.2 Entwicklung von Kraftwerkpark und Stromerzeugung ohne Kernenergieausstieg (Trend) | 23           |

|  |    |
|--|----|
| 3.3 Entwicklung von Kraftwerkpark und Stromerzeugung bei einem Kernenergieausstieg   | 27 |
| 3.4 Auswirkung eines Kernenergieausstiegs auf die CO <sub>2</sub> -Emissionen  | 30 |
| 3.5 Auswirkung eines Kernenergieausstiegs auf die Kosten der Stromerzeugung  | 32 |
| 3.6 Ausgleich der Erhöhung der CO <sub>2</sub> -Emissionen durch einen Kernenergieausstieg mit Hilfe technischer Maßnahmen | 36 |
| 3.7 Beitrag von Verhaltensänderungen zur Senkung der CO <sub>2</sub> -Emissionen   | 42 |
| 3.8 Abhängigkeit der Ergebnisse von getroffenen Annahmen   | 45 |
| 4. Ein erweiterter Blick auf den Kernenergieausstieg   | 50 |

## Vorwort

In ihrer Koalitionsvereinbarung<sup>1</sup> vom Oktober 1998 haben die SPD und Bündnis 90/Die Grünen festgehalten, daß die Atomkraft „wegen ihrer großen Sicherheitsrisiken mit der Gefahr unübersehbarer Schäden“ nicht zu verantworten sei und daß deshalb die neue Bundesregierung alles unternehmen werde, um „die Nutzung der Atomkraft so schnell wie möglich zu beenden“. Die bislang gestarteten Initiativen zur Umsetzung dieses Ziels haben noch nicht zu einer konsensualen Ausstiegsstrategie geführt, insbesondere der Zeitpunkt, bis zu dem alle Kernkraftwerke abgeschaltet sein sollen, ist umstritten. Mögliche Folgen eines Ausstiegs aus der Nutzung der Kernenergie hängen aber entscheidend von der Geschwindigkeit ab, mit der eine solche Umstrukturierung des Energieversorgungssystems vollzogen wird.

Das gilt vor allem für den Ersatz des aus Kernenergie erzeugten Stroms durch andere Energieträger. Die Koalitionsvereinbarung setzt hier auf „die Entwicklung zukunftsfähiger Energieversorgungssysteme und wirksame Maßnahmen zur Energieeinsparung“, und die SPD versteht darunter „ein Drei-Säulen-Modell mit den Bestandteilen Stromsparen, Erhöhung der Energie-Effizienz sowie starkem Ausbau der regenerativen Energien“.<sup>2</sup>

Gleichzeitig will die neue Bundesregierung das Ziel des Klimaschutzes weiterverfolgen. In der Koalitionsvereinbarung<sup>3</sup> ist dazu vorgesehen, daß am „Ziel, insbesondere die CO<sub>2</sub>-Emissionen bis zum Jahr 2005 gegenüber 1990 um 25 % zu reduzieren“, festgehalten werden soll.

Ein Ausstieg aus der Kernenergienutzung betrifft zwar Gesamtdeutschland, er hat in den einzelnen Bundesländern aber unterschiedliche Auswirkungen, die eine länderspezifische Untersuchung rechtfertigen:

- Der überdurchschnittliche Kernenergieanteil, die besondere Altersstruktur des Kraftwerkparks und andere Besonderheiten, wie der Bevölkerungszustrom, erlauben es nicht, mittlere Aussagen für Deutschland auf Baden-Württemberg zu übertragen.
- Die Klimaschutzpolitik ist ein wichtiges Feld der Landespolitik. Das im Land als Beitrag zu nationalen Klimaschutzziele Erreichbare hängt aber von der Kernenergiepolitik des Bundes ab und muß bei veränderter Kernenergiepolitik für das Land neu bestimmt werden.

---

<sup>1</sup> Abschnitt IV.3.1. Zukunftsfähige Energieversorgung sicherstellen

<sup>2</sup> Der Atomausstieg aus der Sicht der SPD. In: Intern Nr.2, Informationsdienst der SPD, vom 10.2.1999

<sup>3</sup> Abschnitt IV.1. Die ökologische Modernisierung für Arbeit und Umwelt

Da mit dem Ausstieg aus der Kernenergienutzung auf eine praktisch CO<sub>2</sub>-freie Energiequelle verzichtet wird, untersucht die vorliegende Studie drei Fragenkomplexe für Baden-Württemberg:

- Können die beiden Ziele – Kernenergieausstieg und Klimaschutz – gemeinsam erreicht werden und welche Zusatzmaßnahmen wären gegebenenfalls erforderlich ?
- Welche direkten Kostenbelastungen würden sich aus einem Ausstieg ergeben ?
- Lassen sich Aspekte außerhalb des Energiesystems erkennen, die bei einer Beurteilung des Kernenergieausstiegs zu berücksichtigen wären ?

Der Ausstieg aus der Kernenergienutzung löst zunächst Wirkungen im direkt betroffenen Bereich der Stromerzeugung aus, die in dieser Studie untersucht werden. Er hat darüber hinaus aber auch indirekte Auswirkungen, etwa auf Wirtschaft und Beschäftigung, auf Forschung und Technologieentwicklung im Bereich der Kernenergie und bei Substitutionstechnologien oder auf die Erreichbarkeit einer nachhaltigen Entwicklung. Diese Wirkungen sind nur schwer verlässlich abzuschätzen und werden hier nicht behandelt.

Auch wenn so nicht alle mit dem Kernenergieausstieg verbundenen Fragen umfassend behandelt werden konnten, erscheint es – auch im Hinblick auf die Aktualität des Themas – dennoch richtig, die Studie vorzulegen. Wir danken den Herren Dr. Ulrich Fahl, Dr. Dieter Herrmann, Dr. Georg Hörning und Dr. Gerhard Pfister, die mit zahlreichen fruchtbaren Diskussionen zu unseren Überlegungen beigetragen haben.

Stuttgart, Juli 1999

Diethard Schade  
Wolfgang Weimer-Jehle

## Zusammenfassung der Ergebnisse

In Baden-Württemberg gibt es fünf Kernkraftwerke, die unter üblichen technisch-ökonomischen Bedingungen – bis auf das Kernkraftwerk Obrigheim – noch länger als 15 Jahre betrieben werden könnten. Im Jahr 1995 wurden rd. 58 % des Stroms aus Kernenergie und insgesamt rd. 67 % kohlendioxidfrei erzeugt (in Deutschland rd. 33 %). Damit betragen die jährlichen Emissionen pro Einwohner rd. 7,6 t CO<sub>2</sub> (in Deutschland rd. 10,9 t CO<sub>2</sub>/Einwohner).

### Kraftwerkpark und Stromerzeugung

Wenn die Entwicklung der Vergangenheit über die nächsten 20 Jahre unter plausiblen Annahmen – u.a. für Stromnachfrage und Energiepreise – fortgeschrieben wird (Trend-Entwicklung), dann würde die Kernenergie etwa im heutigen Umfang weiter genutzt werden. Kernkraftwerke stehen in der Stromerzeugung weiter an erster, Kohlekraftwerke an zweiter Stelle. Die Beiträge aus regenerativer Stromerzeugung würden ansteigen, bis zum Jahr 2020 aber keine zentrale Bedeutung erlangen.

Bei einem Kernenergieausstieg ohne ergänzende Klimaschutzmaßnahmen würde die wegfallende Kernenergie in der Stromerzeugung fast völlig durch fossile Kraftwerke ersetzt werden, da CO<sub>2</sub>-freie Energieformen (regenerative) nicht ausreichend schnell in großen Mengen zur Verfügung stehen. Aufgrund ihrer günstigen Kostenstruktur würde den Steinkohlekraftwerken, die unter Klimasichtspunkten besonders ungünstig sind, eine noch bedeutendere Rolle zufallen als in der Trend-Entwicklung.

Wird der Kernenergieausstieg von massiven Anstrengungen zur CO<sub>2</sub>-Minderung in allen Bereichen begleitet und dazu ein breites Bündel technisch realisierbarer Maßnahmen eingesetzt (Stromeinsparungen, Präferenzierung von Erdgas bei der Stromerzeugung und forcierter Einsatz von regenerativen Energieträgern, beschleunigte Effizienzverbesserungen bei der Energienutzung in der Industrie, bei der Gebäudeheizung und im Verkehr sowie verstärkte Nutzung der Kraft-Wärme-Kopplung), so lassen sich sowohl die Stromnachfrage bis zum Jahr 2020 deutlich verringern als auch der Einsatz regenerativer Energien deutlich ausweiten. Mit der Präferenzierung von Gaskraftwerken ginge der Anteil der Kohleverstromung zurück, die Gasverstromung würde nach und nach zur zentralen Säule der Stromerzeugung und der verringerte Strombedarf würde im Jahr 2020 zu rd. 71 % aus Erdgas gedeckt werden.

Die im Hinblick auf den Klimaschutz zusätzlich möglichen Maßnahmen zur Veränderung von Strombedarf und Stromerzeugung sowie von Verhaltensänderungen sind allerdings nicht notwendig an einen Kernenergieausstieg gebunden, sie könnten – wenn politisch gewollt und durchsetzbar – überwiegend auch bei einer Weiternutzung der Kernenergie umgesetzt werden.

### CO<sub>2</sub>-Emissionen

In der Trend-Entwicklung würden die CO<sub>2</sub>-Emissionen der Stromerzeugung im Vergleich zu 1990 (ca. 17,2 Mio. t) anfänglich noch leicht ansteigen und bis zum Jahr 2020 auf ca. 14,4 Mio. t sinken. Insgesamt würden die CO<sub>2</sub>-Emissionen in Baden-Württemberg (1990: 73,5 Mio. t) im betrachteten Zeitraum auf etwa dem heutigen Niveau verbleiben. Das bundespolitische Ziel der Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen um 25 % gegenüber dem Jahr 1990 bis zum Jahr 2005 würde also in Baden-Württemberg nicht erreicht.

Ein Kernenergieausstieg ohne zusätzliche Klimaschutzmaßnahmen führt zu erhöhten CO<sub>2</sub>-Emissionen, und die politisch beabsichtigte Reduktion wird noch weniger erreicht. Das Ausmaß der CO<sub>2</sub>-Mehremissionen hängt von der Geschwindigkeit ab, mit der ein Ausstieg vollzogen wird. Die über den Zeitraum von 2000 bis 2020 gemittelten jährlichen Mehremissionen aus der Stromerzeugung steigen kontinuierlich mit der Verkürzung der maximalen Betriebsdauer der Kernkraftwerke an. Langfristig und nach Vollzug des Ausstiegs lägen die Gesamtemissionen an CO<sub>2</sub> in Baden-Württemberg um rd. 30 % über denen des Jahres 1990.

Mit Hilfe der angenommenen technisch realisierbaren Klimaschutzmaßnahmen lassen sich die Gesamtemissionen an CO<sub>2</sub> in Baden-Württemberg – trotz Kernenergieausstieg – senken; um z.B. rd. 22,5 % bis zum Jahr 2020 bei einer Betriebsdauer der Kernkraftwerke von 30 Jahren. Die erreichbaren Reduktionen am Ende des betrachteten Zeitraums (im Jahr 2020) sind dabei um so größer, je langsamer der Kernenergieausstieg erfolgt. Das Ziel einer Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen bis zum Jahr 2005 um 25 % gegenüber den Emissionen des Jahres 1990 (55,1 Mio. t pro Jahr) lässt sich dadurch aber ebenfalls nicht erreichen.

Lassen sich zusätzlich Verhaltensänderungen vor allem bei der Nutzung von Kraftfahrzeugen realisieren, so ist der Effekt auf die CO<sub>2</sub>-Emissionen begrenzt. Es wären 2020 um rd. 4,5 Mio. t pro Jahr (rd. 6 % der Emissionen des Jahres 1990) niedrigere Emissionen als ohne diese Veränderung erreichbar.

## Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Ergebnisse dieser Untersuchung weisen darauf hin, daß die proportionale Übernahme des Bundesziels für die Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen für das Land, die bei Handlungsbeginn ab 1990 noch möglich gewesen wäre, inzwischen aufgrund der fortgeschrittenen Zeit unrealistisch geworden ist. Die Landesregierung vertrat im „Klimaschutzkonzept Baden-Württemberg“ bereits 1994 die Auffassung, daß das Bundesziel im Land nicht zu erreichen sei. In der Diskussion befinden sich statt dessen Orientierungsmarken von 70 Mio. t bis zum Jahr 2005 und 65 Mio. t bis zum Jahr 2010. Diese Ziele wären bei einem Kernenergieausstieg in Verbindung mit massiven technischen Klimaschutzmaßnahmen noch zu erreichen, sofern eine Betriebsdauer der Kernkraftwerke von 30 Jahren, bzw. bei der zusätzlichen Realisierung von Verhaltensänderungen eine Betriebsdauer von 20 Jahren nicht unterschritten wird.

### Kosten

Ein Ausstieg aus der Kernenergienutzung vor Ende der wirtschaftlichen Lebenszeit der Kernkraftwerke führt zu erhöhten Kosten. Für einen Kernenergieausstieg ohne zusätzliche Klimaschutzmaßnahmen ergeben sich bei Zugrundelegen aktueller Werte für die Kosten der unterschiedlichen Kraftwerktypen (Bau- und Entsorgungskosten, fixe und variable Betriebskosten) und der Annahme einer plausiblen Energiepreisentwicklung durchschnittliche jährliche Mehrkosten von rd. 670 Mio. DM (rd. 1,1 Pf/kWh) bei einer Betriebsdauer der Kernkraftwerke von 20 Jahren und von rd. 50 Mio. DM (rd. 0,1 Pf/kWh) bei 40 Jahren, die kontinuierlich über den Zeitraum von 2000 bis 2020 aufzubringen wären. Es ist davon auszugehen, daß diese Kosten im Fall von stark verkürzten Betriebsdauern für die Kernkraftwerke von den Kraftwerkbetreibern nicht aufgebracht werden können, ohne daß deren Wettbewerbsposition im europäischen Energiemarkt deutlich geschwächt wird.

Bei einer Umsetzung zusätzlicher technischer Klimaschutzmaßnahmen entstehen aus den unterschiedlichen Maßnahmen schwer zu kalkulierende Mehrkosten, denen zumindest teilweise Kosteneinsparungen durch den kleiner werdenden Kraftwerkpark gegenüberstehen.

Die volkswirtschaftliche Bedeutung der Kosten eines Kernenergieausstiegs läßt sich im Rahmen dieser Studie nicht beurteilen. Es ist aber davon auszugehen, daß evtl. Mehrkosten durch zusätzliche Klimaschutzmaßnahmen desto leichter aufgebracht und politisch durchgesetzt werden könnten, je länger die Restlaufzeiten der Kernkraftwerke gewählt werden.

### Zusätzliche Aspekte

Der Ausstiegsbeschuß der Bundesregierung fußt auf lange zurückliegenden Debatten und erfordert heute eine Neubewertung der Risiken einer Kernenergieutzung im Vergleich mit den Risiken eines Kernenergieausstiegs.

Die Risiken, die mit der Emission von CO<sub>2</sub> für das Klima erwachsen, erfordern eine rasche Verminderung des Einsatzes fossiler Energieträger, was durch einen schnellen Kernenergieausstieg behindert wird.

Unter dem Aspekt der Nachhaltigkeit müssen nicht erneuerbare Ressourcen – nicht zuletzt als Rohstoffe – soweit wie möglich geschont werden. Durch einen raschen Kernenergieausstieg wird Uran, das nur für die Energieerzeugung genutzt werden kann, für einen längeren Zeitraum durch Kohle oder Erdgas ersetzt und so das Ziel eines nachhaltigen Wirtschaftens schwerer erreichbar. Auf der Gegenseite wird das aus den verbleibenden KKW-Betriebsjahren resultierende Havarierisiko mit zunehmender Verkürzung der Restlaufzeiten verringert.

Mit der Bedeutung, die die Kernenergie für die ehemaligen Ostblockstaaten hat, wird ein europaweiter Kernenergieausstieg nach dem Wegfall der Ost-West-Konfrontation unwahrscheinlicher und der deutsche Ausstieg verstärkt zu einer Sonderentwicklung.

Nach der Energiemarkt-Liberalisierung kann zwar der Stromverbrauch z.B. durch Steuern national beeinflusst werden, die Erzeugungskosten des in Deutschland verbrauchten Stroms unterliegen aufgrund der Durchleitungsrechte aber nicht mehr vollständig nationaler Kontrolle. Eine deutsche Erhöhung von Stromgestehungskosten durch einen Kernenergieausstieg löst damit Wirkungen und Risiken für Kraftwerkbetreiber und die Wirtschaft aus, die insgesamt noch kaum übersehbar sind.



## 1. Einleitung

In den Jahren 1993 bis 1996 hat die Akademie für Technikfolgenabschätzung in ihrem Projekt „Klimaverträgliche Energieversorgung in Baden-Württemberg“<sup>4</sup> die Frage untersucht, ob und auf welchen Wegen die damals genannten Reduktionsziele für die Emission von Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) erreicht werden können. Das Projekt war zu dem Ergebnis gekommen, daß eine Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen um 25 % in einem Zeitraum von ca. 15 Jahren in Baden-Württemberg tatsächlich erreichbar ist, und daß dieses Ziel auf durchaus unterschiedlichen Wegen verwirklicht werden kann. Bei der damit erforderlichen Umstrukturierung des Energieversorgungssystems zeigte sich aber – in den ersten 15 bis 20 Jahren dieses Umstrukturierungsprozesses – ein enger Zusammenhang zwischen Kernenergienutzung und Anspruchsniveau an Energiedienstleistungen: Effizienzverbesserungen und ein forcierter Ausbau regenerativer Energien reichten nicht aus, um den Strom aus Kernenergie bei gleichem oder noch wachsendem Anspruchsniveau zu ersetzen. Bei einem raschem Ausstieg aus der Kernenergienutzung war das genannte Reduktionsziel für Baden-Württemberg nur dann zu erreichen, wenn die Ansprüche an Energiedienstleistungen - vor allem die Ansprüche an individuelle Mobilität im Verkehr - gegenüber dem heutigen Niveau vermindert werden können.

Das Ziel der vorliegenden Studie ist es, die zu erwartenden Wirkungen eines Kernenergieausstiegs auf die Stromerzeugungsstruktur in Baden-Württemberg zu untersuchen, die Ergebnisse des Projektes „Klimaverträgliche Energieversorgung in Baden-Württemberg“ vor dem Hintergrund aktueller Daten zu überprüfen und dabei auch die Frage nach der Erreichbarkeit der heute genannten CO<sub>2</sub>-Reduktionsziele zu diskutieren, da der Zeitraum bis zum Jahr 2005 nur noch sehr kurz ist und bislang keine ausreichenden Maßnahmen ergriffen wurden, um die CO<sub>2</sub>-Emissionen entsprechend der politischen Ziele zu verringern.<sup>5</sup>

Da die Maßnahmen, die ergriffen werden sollen, um den Kernenergieausstieg zu erreichen, noch nicht im Detail festliegen, lassen sich auch die möglichen Folgen nur unter zusätzlichen Annahmen über die vermutliche künftige Energiepolitik untersuchen. Die Ergebnisse können daher nur als Wenn-Dann-Aussagen in Form von „Szenarien“ dargestellt werden.

---

<sup>4</sup> D. Schade, W. Weimer-Jehle: Energieversorgung und Verringerung der CO<sub>2</sub>-Emission. Techniknutzung-Ressourcenschonung-Neue Lebensstile. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg 1996

<sup>5</sup> Politikszenerarien für den Klimaschutz. In: Vierter Bericht der IMA „CO<sub>2</sub>-Reduktion“, November 1997, BMU Bonn

In Kapitel 2 wird zunächst ein kurzer Überblick über den heutigen Stand der Stromerzeugung und des Energieversorgungssystems in Baden-Württemberg sowie die diskutierten Reduktionsziele für die CO<sub>2</sub>-Emissionen gegeben.

In Kapitel 3 folgt die Untersuchung der Auswirkungen eines Kernenergieausstiegs auf die Zusammensetzung des Kraftwerksparks im Vergleich mit der zu erwartenden Entwicklung ohne Kernenergieausstieg (Abschnitt 1 bis 3), auf die CO<sub>2</sub>-Emissionen (Abschnitt 4) und auf die direkten Kosten der Stromerzeugung (Abschnitt 5) – zunächst ohne die Berücksichtigung zusätzlicher Maßnahmen zur Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen. Mit Rückgriff auf die Klimaschutzmaßnahmen, die im Projekt „Klimaverträgliche Energieversorgung in Baden-Württemberg“ vorgesehen wurden, wird schließlich erörtert (Abschnitt 6 und 7), in welchem Ausmaß sich die CO<sub>2</sub>-Emissionen im Fall eines Kernenergieausstiegs durch ergänzende Maßnahmen auch außerhalb der Stromerzeugung senken lassen. Abschließend (Abschnitt 8) wird mit einigen Sensitivitätsbetrachtungen die Empfindlichkeit ausgewählter Ergebnisse gegenüber den bestehenden Unsicherheiten in den verwendeten Rahmenannahmen untersucht.

Da Entscheidungen über die künftige Gestaltung von Energieversorgung und Energienutzung sich auf viele Lebensbereiche auswirken können, werden in Kapitel 4 weitere Aspekte angesprochen, die für die Beurteilung eines Kernenergieausstiegs von Bedeutung sein können.

Es wäre naturgemäß wünschenswert, auch die indirekten wirtschaftlichen Wirkungen des Kernenergieausstiegs, also die induzierten volkswirtschaftlichen Strukturverschiebungen einschließlich der Beschäftigungswirkungen zu beschreiben. Darauf wird in dieser Studie bewußt verzichtet. Zum einen bestehen beträchtliche methodische Unsicherheiten bei der Abschätzung volkswirtschaftlicher Langfristentwicklungen, die über die ebenfalls bestehenden Unsicherheiten bei der Abschätzung der Entwicklung künftiger Technikstrukturen noch wesentlich hinausgehen. Zum anderen ist die energiewirtschaftliche wie die volkswirtschaftliche Zukunftsentwicklung in weiten Grenzen gestaltbar und durch die Vorgabe eines Kernenergieausstiegs keineswegs eindeutig vorgezeichnet, so daß eine Abschätzung der volkswirtschaftlichen Auswirkungen ohne eine Vielzahl – letztlich willkürlicher - Zusatzannahmen nicht möglich wäre.

In der vorliegenden Studie werden Veränderungen im Energieerzeugungssystem und deren Auswirkungen über den Zeitraum der kommenden 20 Jahre abgeschätzt. Da die zukünftige Entwicklung nicht prognostizierbar ist, müssen dazu zahlreiche Annahmen – z.B. über die Stromnachfrage, die Energiepreise, die künftige Klimaschutzpolitik – getroffen werden, die jeweils unsicher sind und die Ergebnisse beeinflussen. Die als Ergebnis errechneten Zahlenwerte für

CO<sub>2</sub>-Mehremissionen und Mehrkosten dürfen daher nicht als exakte Prognosen der zu erwartenden Auswirkungen interpretiert werden. Nicht zuletzt im Hinblick auf die schwer abschätzbaren Veränderungen in Folge der Energiemarkt-Liberalisierung können sie nur eine - konsistent bestimmte - Orientierung über die Größe der Auswirkungen eines Kernenergieausstiegs geben, die sich bei einer aus heutiger Sicht naheliegenden Weiterentwicklung ergeben würden.

## 2. Die Ausgangslage im Energieversorgungssystem Baden-Württembergs

### 2.1 Stromverbrauch und Stromerzeugung in Baden-Württemberg

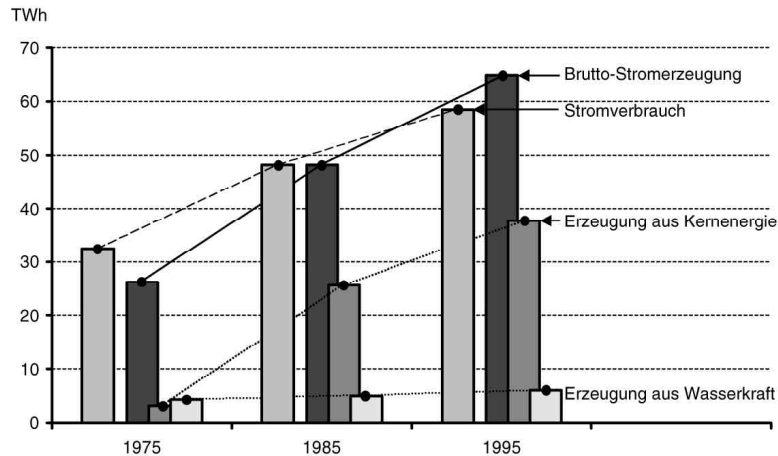
Strom ist eine vielseitig einsetzbare Energieform; der Stromverbrauch in Baden-Württemberg stieg daher – wie in den Industrieländern generell – in der Vergangenheit stärker an als der Primärenergieverbrauch. Der Stromverbrauch eines einzelnen Jahres hängt eng mit der Wirtschaftstätigkeit und den Wintertemperaturen zusammen, so daß die zeitliche Entwicklung des Stromverbrauchs ungleichmäßig verläuft und der Vergleich bestimmter Jahre – wie in Abb. 1 – nur eine Tendenzaussage liefert. Mit dieser Einschränkung hat sich der Stromverbrauch in den letzten 20 Jahren in Baden-Württemberg – von 32,2 TWh<sup>6</sup> im Jahr 1975 auf 57,9 TWh im Jahr 1995 – nahezu verdoppelt (Abb. 1)<sup>7</sup>. Der Anstieg des Stromverbrauchs erfolgte – bis auf die durch die Wirtschaftsentwicklung bedingten Schwankungen – stetig; er hat sich in den letzten 10 Jahren allerdings abgeflacht: der Stromverbrauch stieg in der ersten Dekade um rd. 50 % und im Zeitraum von 1985 bis 1995 noch um rd. 20 %, jeweils bezogen auf den Anfangszeitpunkt.

Die Stromerzeugung in Baden-Württemberg hat sich im Zeitraum von 1975 bis 1995 um rd. das 2,5-fache erhöht, die Stromerzeugung aus Kernenergie – von 3,1 TWh im Jahr 1975 auf 37,6 TWh im Jahr 1995 – mehr als verzehnfacht. Während die Kernenergie im Jahr 1975 einen Anteil von rd. 12 % an der Stromerzeugung hatte, wuchs ihr Anteil im Jahr 1995 auf rd. 58 %. Bei den regenerativen Energien spielt bislang nur die Wasserkraft eine größere Rolle. Wegen ih-

<sup>6</sup> TWh = 10<sup>9</sup> kWh = 1.000.000.000 kWh

<sup>7</sup> nach: Energie-Bericht 97, Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg, März 1998

## Die Ausgangslage im Energieversorgungssystem Baden-Württembergs



**Abb. 1: Stromverbrauch\* und Brutto-Erzeugung in Baden-Württemberg**

\* Bruttoerzeugung und Netto-Import abzüglich Eigenverbrauch, Pumpstromverbrauch und Netzverlusten

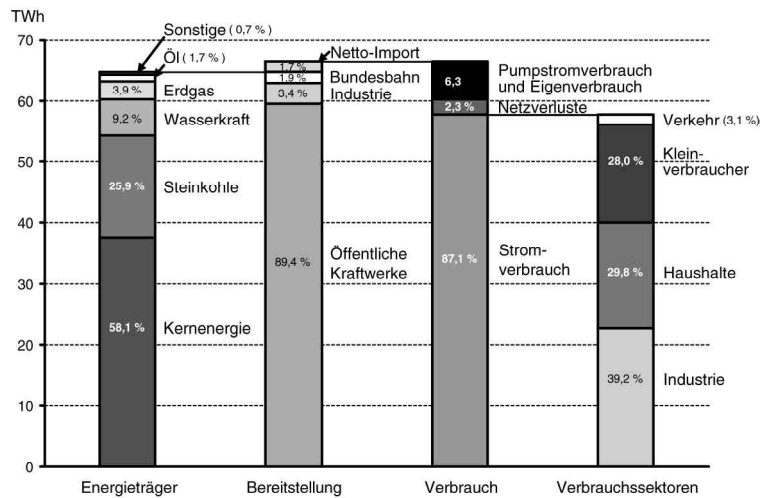
res begrenzten Potentials ist die Stromerzeugung aus Wasserkraft in den vergangenen Jahren nur vergleichsweise gering gestiegen und ihr Anteil an der gesamten Stromerzeugung von rd. 16 % im Jahr 1975 auf rd. 9 % im Jahr 1995 abgesunken.

Die Stromerzeugung aus fossilen Energieträgern hat sich von 1975 bis 1995 nur wenig verändert, wobei die Stromerzeugung aus Steinkohle stieg, die aus Heizöl stark zurückging und die aus Erdgas etwa konstant blieb.

Bei der Stromerzeugung spielen heute Heizöl und Erdgas nur eine geringe Rolle (Abb. 2)<sup>7</sup>. Der kleine Anteil der „Sonstigen“ umfaßt Müll und vor allem Braunkohle, die in Baden-Württemberg für die Stromerzeugung praktisch keine Bedeutung hat. Der im Land bereitgestellte Strom ist um den Netto-Import höher als der erzeugte, und der den Verbrauchssektoren zur Verfügung gestellte Strom um den Kraftwerkeigenverbrauch, den Pumpstromverbrauch<sup>8</sup> und die Netzverluste geringer als die Strombereitstellung. Die Importe ergeben sich als Saldo des Stromaustauschs mit anderen Bundesländern, dem Ausland und mit der Deutschen Bahn.

<sup>8</sup> für Pumpspeicherkraftwerke

## Die Ausgangslage im Energieversorgungssystem Baden-Württembergs

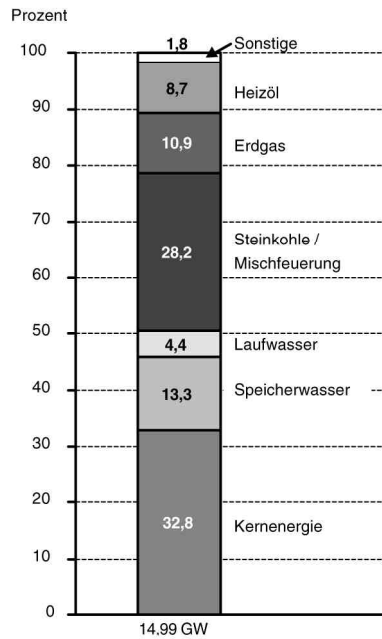


**Abb. 2: Stromerzeugung und -verbrauch in Baden-Württemberg im Jahr 1995**

Der im Land Baden-Württemberg erzeugte Strom stammt überwiegend aus Kraftwerken der öffentlichen Stromversorgung (rd. 90 %) und nur zu einem geringen Teil aus Industriekraftwerken und Kraftwerken der Deutschen Bahn. Schlüsselnd man nach Verbrauchsanteilen auf, so entfällt auf die Industrie der größte Anteil, Haushalte und Kleinverbraucher haben vergleichbar große Anteile, und der Verkehrsbereich (vor allem Bahnstrom) spielt beim Stromverbrauch nur eine untergeordnete Rolle.

Der Struktur der in Baden-Württemberg installierten Kraftwerkleistung zeigt Abb. 3.<sup>7</sup> Die in fossilen Kraftwerken installierte Leistung hat einen größeren prozentualen Anteil als die Erzeugung aus fossilen Kraftwerken, weil die verschiedenen Kraftwerktypen unterschiedlich genutzt werden. Die größte Ausnutzungsdauer erreichen Grundlastkraftwerke – in Baden-Württemberg vor allem Kernkraftwerke und Laufwasserkraftwerke, da sie niedrige variable Kosten aufweisen und aufgrund ihrer Eigenschaften für einen wechselnden Einsatz weniger geeignet sind. Für die Deckung der im Tages- und Jahresverlauf variierenden Stromnachfrage sind neben den Grundlastkraftwerken Kraftwerke erforderlich, die für den Betrieb mit häufig wechselnder Betriebsleistung und für tägliches An- und Abfahren geeignet sind (Mittellastkraftwerke, z.B. Kohlekraftwerke) sowie Kraft-

## Die Ausgangslage im Energieversorgungssystem Baden-Württembergs



**Abb. 3: Bruttoleistung der Kraftwerke in Baden-Württemberg (31.12.1995)**

werke zur Deckung kurzfristiger Nachfragespitzen (Spitzenlastkraftwerke, z.B. Pumpspeicher- und Gasturbinenkraftwerke), die dann im Jahresmittel geringer ausgenutzt werden können als die Grundlastkraftwerke. Typischerweise sind in Stromversorgungsnetzen die installierten Leistungen im Grundlastbereich sowie Mittel- und Spitzenlastbereich etwa gleich.

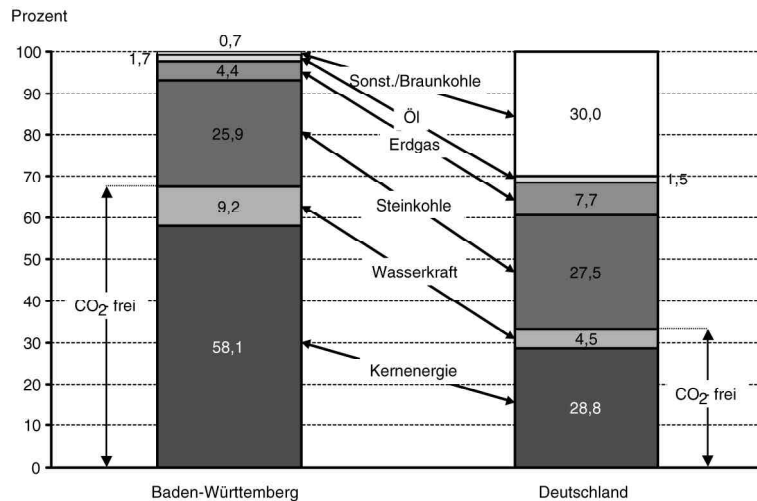
In Baden-Württemberg gibt es zur Zeit fünf Kernkraftwerke<sup>9</sup> (s. Tab. 1), die zwischen 1968 und 1989 in Betrieb gegangen sind und die unter üblichen technisch-ökonomischen Bedingungen – bis auf das Kernkraftwerk Obrigheim – noch länger als 15 Jahre betrieben werden könnten. An fossilen Kraftwerken sind im Jahr 1999 Nettoleistungen von 3208 MW mit Steinkohle- inkl. Mischfeuerung, 800 MW mit Steinkohle/Erdgas-Feuerung, 1685 MW mit Erdgas/Heizöl-Feuerung und 622 MW mit Heizöl-Feuerung in Betrieb<sup>10</sup>. Diese Kapazitäten gehen im Zeitverlauf entsprechend ihrem Altersaufbau nach typischerweise 35 Jahren vom Netz.

**Tabelle 1 : Kernkraftwerke in Baden-Württemberg<sup>11</sup>**

| Standort              | Typ                 | Inbetriebnahme | Brutto-Leistung ( MW ) | Außerbetriebnahme* |
|-----------------------|---------------------|----------------|------------------------|--------------------|
| Obrigheim KWO         | Druckwasser-Reaktor | 1968           | 357                    | 2013               |
| Neckarwestheim GKN I  | Druckwasser-Reaktor | 1976           | 840                    | 2021               |
| Philipsburg KKP I     | Siedewasser-Reaktor | 1979           | 926                    | 2024               |
| Philipsburg KKP II    | Druckwasser-Reaktor | 1984           | 1424                   | 2029               |
| Neckarwestheim GKN II | Druckwasser-Reaktor | 1989           | 1365                   | 2034               |

\* bzw. Ersatzbedarf unter typischen ökonomischen und technischen Bedingungen und evtl. Maßnahmen zur Lebenszeitverlängerung

## Die Ausgangslage im Energieversorgungssystem Baden-Württembergs



**Abb. 4: Anteile der Energieträger an der Bruttostromerzeugung**

Mit der heutigen Energieversorgungsstruktur wird der Strom in Baden-Württemberg zu rd. 67 % ohne Kohlendioxid-Emissionen erzeugt (Abb. 4)<sup>9</sup>. In Gesamtdeutschland beträgt der entsprechende Anteil nur rd. 33 %; hier stehen die fossilen Energieträger Stein- und Braunkohle und auch Erdgas im Vordergrund.

In Baden-Württemberg ist in den letzten rd. 20 Jahren der absolute Beitrag der Stromerzeugung zu den CO<sub>2</sub>-Emissionen trotz der näherungsweise Verdoppelung des Stromverbrauchs nahezu konstant geblieben (Abb. 5)<sup>12</sup>. Die Ursache dafür liegt in erster Linie im starken Ausbau der Kernenergienutzung, die auch einen Anteil daran hat, daß die gesamten CO<sub>2</sub>-Emissionen in Baden-Württemberg während der letzten Jahrzehnte auf etwa dem gleichen Niveau verharren. In der gesamten Bundesrepublik verlief die Entwicklung ähnlich; auch dort blieben die CO<sub>2</sub>-Emissionen in den letzten Jahrzehnten näherungsweise auf gleichem Niveau. Wegen der unterschiedlichen Energieversorgungsstruktur, aber

<sup>9</sup> Kraftwerke mit Leichtwasser-Reaktoren (LWR)

<sup>10</sup> nach: Bedeutung der Kernenergie für die Energiewirtschaft in Baden-Württemberg – Auswirkungen eines Kernenergieausstiegs. Gutachten im Auftrag des Wirtschaftsministeriums Baden-Württemberg, IER, Universität Stuttgart 1999

<sup>11</sup> Daten aus [7], eigene Schätzungen

<sup>12</sup> Daten aus [7] und Energie-Bericht 96, Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg, April 1997

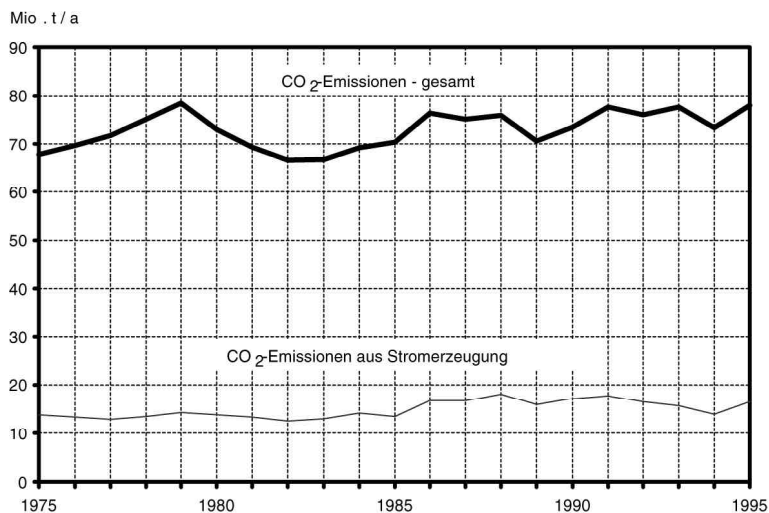


Abb. 5: CO<sub>2</sub>-Emissionen in Baden-Württemberg

auch wegen der Unterschiede in der Wirtschaftsstruktur liegen allerdings die spezifischen Emissionen pro Einwohner in Deutschland höher als in Baden-Württemberg (im Jahr 1995 betragen sie in Deutschland rd. 10,9 t CO<sub>2</sub>/Einwohner und in Baden-Württemberg rd. 7,6 t CO<sub>2</sub>/Einwohner).

## 2.2 Vorhandene Reserven im Kraftwerkpark

Für eine sichere Stromversorgung muß die für die Netzeinspeisung verfügbare Leistung einschließlich einer zum Ausgleich von Störungen, Witterungs- und Konjunkturschwankungen erforderlichen Reserve die im Netz auftretende Höchstlast (typischerweise im Januar) übersteigen. Die für die Netzeinspeisung verfügbare Leistung ergibt sich aus der Netto-Engpaßleistung<sup>13</sup> der Kraftwerke abzüglich nicht einsetzbarer Leistungen zuzüglich dem Saldo aus bestehenden Lieferverpflichtungen und Bezugsverträgen mit anderen Regionen.

<sup>13</sup> Die durch den leistungsschwächsten Anlageteil begrenzte Dauerleistung eines Kraftwerks (Brutto-Engpaßleistung) vermindert um den Kraftwerkeigenverbrauch



Diese Winterhöchstlast erreichte in Baden-Württemberg in den letzten Jahren Werte im Bereich von 9.100 MW bis 9.500 MW (s. Tab. 2). Da die Winterhöchstlast nicht genau absehbar ist, muß in genügendem Umfang Witterungs- und Konjunkturreserve bereitgehalten werden. Weiter muß für den Ausfall eines Kraftwerks durch Störungen Vorsorge getroffen werden (der Ausfall des größten Blocks in Baden-Württemberg, des KKW Phillipsburg II, würde einen Brutto-Leistungsverlust von 1.424 MW nach sich ziehen). Darüber hinaus müssen eine winterbedingte Minderleistung der Wasserkraftwerke und die bestehenden Lieferverpflichtungen und Bezugsrechte für Gebiete außerhalb Baden-Württembergs berücksichtigt werden.

Die installierte Leistung muß mindestens den so errechneten Bedarf an gesicherter Leistung erreichen. Die darüber hinausgehende installierte ("nicht in Anspruch genommene Leistung" in Tab. 2) läßt erkennen, wieviel Leistung, z.B. im Rahmen eines Kernenergieausstiegs, ohne Ersatzbau oder Reaktivierung von Kaltreserven und ohne Beeinträchtigung der Versorgungssicherheit zum jeweiligen Zeitpunkt abgeschaltet werden könnte. Dabei ist allerdings zu beachten, daß die regulären, altersbedingten Außerdienststellungen von fossilen Kraftwerken in den nächsten Jahren eine deutliche Verringerung der in Tab. 2 erkennbaren Reserven bewirken dürften und sich damit die Möglichkeiten zur Kompensierung eines Kernenergieausstiegs vermindern.

**Tabelle 2: Winterhöchstlast und nicht in Anspruch genommene Leistung der öffentlichen Stromversorgung in Baden-Württemberg** <sup>14</sup>

| Winter  | Einsetzbare Leistung [MW] | Winterhöchstlast [MW] | Reserven und Austauschbilanz [MW] | Nicht in Anspruch genommene Leistung [MW] |
|---------|---------------------------|-----------------------|-----------------------------------|---|
| 1989/90 | 11.591                    | 9.134                 | 2.014                             | 443                                       |
| 1990/91 | 11.599                    | 9.358                 | 1.646                             | 595                                       |
| 1992/93 | 11.692                    | 9.356                 | 1.543                             | 793                                       |
| 1993/94 | 11.603                    | 9.370                 | 1.434                             | 799                                       |
| 1994/95 | 11.487                    | 9.293                 | 1.470                             | 724                                       |
| 1995/96 | 11.338                    | 9.432                 | 811                               | 1.095                                     |
| 1996/97 | 11.291                    | 9.395                 | 851                               | 1.045                                     |

1996/97: vorläufige Werte. Keine Daten für den Winter 1991/92

<sup>14</sup> verschiedene Energieberichte, Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg

Eine weitere Möglichkeit zur Verminderung der installierten Kraftwerkleistung – und damit zum Ausgleich ausfallender Kernkraftwerke - besteht im Abbau des Umfangs der notwendigen Reserveleistungen z.B. durch verstärkte Kooperationen zwischen den Energieversorgungsunternehmen. Da die Bereitstellung von Reserveleistungen Kosten verursacht, ist zu erwarten, daß der wachsende Wettbewerbsdruck im Zuge der Energiemarkt-Liberalisierung eine derartige Entwicklung unterstützt und zu einem sinkenden Bedarf an Reservekapazitäten führen wird.

### 2.3 Klimaschutzziele

Die künftige Entwicklung der tatsächlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen in Baden-Württemberg wird - soweit sie überhaupt politisch steuerbar ist – nicht nur von der Landespolitik, sondern ebenso von der Bundes- und EU-Politik beeinflusst werden. Von Einfluß sind dabei sowohl die angestrebten Reduktionsziele als auch andere energiepolitische Maßnahmen – wie der Kernenergieausstieg.

In einer Reihe von Kabinettsbeschlüssen hat noch die letzte Bundesregierung unter Bundeskanzler Helmut Kohl als deutsches Klimaschutzziel festgelegt, daß das CO<sub>2</sub>-Emissionsniveau Deutschlands bis zum Jahr 2005 um 25 % gegenüber den Emissionen des Jahres 1990 gesenkt und darüber hinaus weitere Reduktionen angestrebt werden sollen. Daneben ist das Klimaschutzprotokoll von Kyoto zu erfüllen, das aber für Deutschland zu weniger einschneidenden Anforderungen führen wird als das nationale Klimaschutzziel.<sup>15</sup>

Wie sich das nationale Ziel auf die Bundesländer verteilen soll, ist nicht festgelegt. Diese Aufteilung müßte in Abstimmung zwischen Bund und Ländern erfolgen, da die daraus folgenden notwendigen Maßnahmen teils in der Zuständigkeit des Bundes und teils in die der Länder fallen. Offensichtlich wäre das Ziel erreicht, wenn jedes einzelne Bundesland jeweils für sich die gleiche Reduktion in der Größe des für den Bund genannten Zieles erbringt. Ob allerdings eine derartige gleichförmige Senkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen in allen Bundesländern gerechtfertigt ist, ist zweifelhaft. Sonderbedingungen in einzelnen Ländern – wie erbrachte Vorleistungen oder das Vorhandensein großer und kostengünstiger Reduktionspotentiale – können eine ungleichmäßige Reduktion in den einzelnen Bundesländern rechtfertigen. Baden-Württemberg hat einerseits – gemes-

<sup>15</sup> Im Kyoto-Protokoll ist für die EU eine Verringerung klimaschädlicher Gase um 8 % im Durchschnitt der Jahre 2008 bis 2012 gegenüber 1990 festgelegt, wobei die EU-interne Aufteilung für Deutschland eine Reduktion um 21 % vorsieht.

sen an der erwähnten niedrigen CO<sub>2</sub>-Emissionsrate pro Kopf – im Vergleich zum Bundesdurchschnitt eine derartige Vorleistung bereits erbracht, was als Begründung für einen unterproportionalen Beitrag des Landes zum Bundesziel herangezogen werden könnte, profitiert andererseits aber vom Energieverbrauch und den damit verbundenen CO<sub>2</sub>-Emissionen außerhalb des Landes, weil im Land nur wenig energieintensive Grundstoffindustrie angesiedelt ist.

Bislang hat Baden-Württemberg erklärt, seine Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen an der Zielsetzung für den Bund zu orientieren. Im Klimaschutzkonzept des Landes wird die Realisierbarkeit einer 25 %igen Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen bis zum Jahr 2005 für das Land aber bezweifelt und - ohne Quantifizierung von Maßnahmen - ein „angemessener Beitrag“ angestrebt.<sup>16</sup>

Unter Berücksichtigung der Kernenergiepolitik des Bundes werden die Reduktionsziele für Baden-Württemberg erneut zu diskutieren sein, wobei die verbleibenden Handlungsmöglichkeiten für Bund und Land neu zu bestimmen sein werden.

Für die Beurteilung der CO<sub>2</sub>-Emissionen ist zu beachten, daß CO<sub>2</sub> nicht nur bei der Stromerzeugung freigesetzt wird. Die Stromerzeugung ist nur ein Teilbereich eines Energiesystems, in dem CO<sub>2</sub>-Emissionen auch in anderen Bereichen entstehen. Allerdings ist die Stromerzeugung so bedeutend für das Gesamtsystem, daß eine grundlegende Umstrukturierung dieses Bereichs die Erreichbarkeit von Emissions-Zielsetzungen für das Gesamtsystem bestimmt bzw. in Frage stellt. Abb. 6<sup>7</sup> zeigt die Beiträge der verschiedenen Sektoren zu den CO<sub>2</sub>-Emissionen Baden-Württembergs im Jahr 1995.

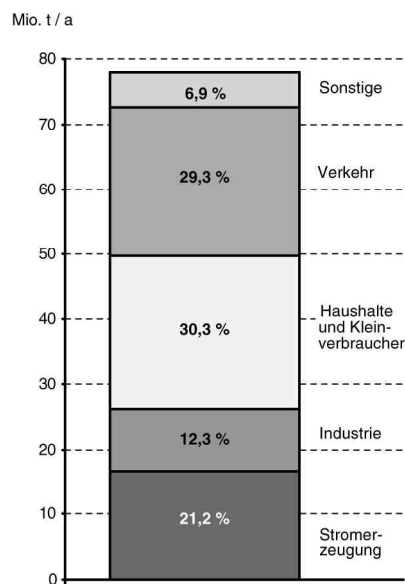


Abb. 6: Beiträge zu den CO<sub>2</sub>-Emissionen in Baden-Württemberg im Jahr 1995

<sup>16</sup> Klimaschutzkonzept Baden-Württemberg, Umweltministerium Baden-Württemberg, Stuttgart 1994, S. 22 und 37

### 3. Auswirkungen eines Kernenergieausstiegs in Baden-Württemberg

Für die künftige Entwicklung des baden-württembergischen Kraftwerkparks werden die politischen Vorgaben zur Kernenergie eine wichtige Determinante sein, sie bestimmen die in den nächsten 10–20 Jahren zu erwartenden Veränderungen aber nicht allein.

Von zentraler Bedeutung ist die weitere Entwicklung der Stromnachfrage (bzw. der Absatzmöglichkeiten der hiesigen Kraftwerksbetreiber), die darüber bestimmt, wann Neu- oder Ersatzbauten im Kraftwerkpark vorgenommen werden. Voraussichtlich wird sich der weitere Zuwachs der Stromnachfrage – auch ohne weitere Klimaschutzmaßnahmen – gegenüber den Zuwachsraten der Vergangenheit abschwächen. Wenn sich eine Politik realisiert, die verstärkt auf Stromersparung ausgerichtet wird, so ist auch eine Verringerung der Stromnachfrage denkbar.

Eine forcierte Förderung des Ausbaus einer dezentralen und auf regenerativen Energieträgern basierenden Stromerzeugung kann den Bedarf an Großkraftwerken mindern. In Abhängigkeit von den Förderbedingungen kann der Beitrag derartiger Stromerzeugungsformen sehr unterschiedlich sein, bis zum Jahr 2020 marginal bleiben oder aber einen substantiellen Beitrag zur Stromerzeugung liefern.

Nach den bestehenden Vereinbarungen zur Kohlepolitik haben sich auch die baden-württembergischen Kraftwerksbetreiber verpflichtet, eine Mindestmenge deutscher Steinkohle trotz des Kostennachteils gegenüber importierter Steinkohle zu verstromen. Dies soll der Sicherung bzw. der geordneten Rückbildung des deutschen Steinkohlebergbaus dienen. Die eingesetzten Mengen an deutscher Steinkohle in der baden-württembergischen öffentlichen Stromerzeugung sind zwischen 1991 und 1996 von 4,56 Mio. t auf 3,33 Mio. t<sup>17</sup> (entsprechend einer erzeugten Strommenge von ca. 13,7 TWh auf 9,9 TWh) zurückgegangen und werden weiter rückläufig sein.

Ersatzbauten oder der Neubau von Kraftwerken werden von der Preisentwicklung für Kraftwerk-Neubauten und der für die jeweils benötigten Energieträger – vor allem von der Preisrelation zwischen Importkohle und Erdgas – bestimmt werden, die darüber entscheiden, in welchem Verhältnis Kohle- oder Gaskraftwerke eingesetzt werden werden.

---

<sup>17</sup> nach: Energiebericht Baden-Württemberg '92 und '97

<sup>18</sup> Brennstoff, Brennstoff-Fracht und sonstige variable Kosten

<sup>19</sup> GuD – Gas- und Dampf-Kraftwerk, in dem dem üblichen Dampfprozeß ein Gasturbinen-Prozeß vorgeschaltet ist

Schließlich stellt die Liberalisierung des Elektrizitätsmarktes eine Zäsur in der Entwicklung der Stromversorgung dar, deren Auswirkungen vielfältig und nur in Teilen absehbar sind.

Diese Einflußgrößen müssen über geeignete Annahmen bei der Untersuchung der Auswirkungen eines Kernenergieausstiegs berücksichtigt werden und erlauben nur eine Abschätzung der künftigen Entwicklung in der Form von Szenarien.

### 3.1 Kosten und Einsatz verschiedener Kraftwerktypen

Da die Leistungsnachfrage im Stromnetz von Tag zu Nacht, von Werktag zu Wochenende und von Sommer zu Winter unterschiedlich hoch ist, gibt der Kraftwerkpark seine Arbeit nicht gleichmäßig ab. Ein Teil der Kraftwerke wird den Großteil des Jahres unter hoher Leistung betrieben werden (Grundlastkraftwerke), ein anderer Teil z.B. nur tagsüber während der Werktage. Um Kosten zu senken, werden dabei diejenigen Kraftwerke, die Strom zu geringen variablen Kosten (Kosten für 1 zusätzliche kWh) erzeugen, möglichst hoch ausgelastet.

**Tabelle 3: Kosten der Stromerzeugung für die wichtigsten Kraftwerktypen (küstenfernes Kraftwerk), sowie betriebsbedingte CO<sub>2</sub>-Emissionen\***

| Kraftwerk                          | Vollkosten bei 7500 h/a Auslastung [Pf/kWh] | variable Kosten <sup>18</sup> [Pf/kWh] | CO <sub>2</sub> -Emissionen [kg/kWh] |
|------------------------------------|---|--|--------------------------------------|
| Kernkraftwerk (LWR, Bestand)       | 7,02 **                                     | 1,06                                   | 0                                    |
| Erdgas-GuD-Kraftwerk (Neubau)      | 5,00  | 3,68                                   | 0,34                                 |
| Steinkohle-Dampfkraftwerk (Neubau) | 5,75  | 2,48                                   | 0,72                                 |

\* Die angegebenen Daten dienen der Veranschaulichung. Die nachfolgenden Berechnungen erfolgen auf Basis der detaillierten Investitions- und Kostendaten der Kraftwerke.

\*\* 5,65 Pf/kWh bei 35 Jahren Abschreibungsdauer und 5 % Diskontzinssatz.

Kraftwerke, die Strom zu hohen variablen Kosten erzeugen, werden nur gering ausgelastet und auch zur Reservebereitstellung verwendet. In Tab. 3 sind die derzeit ansetzbaren Kosten für die wichtigsten Kraftwerktypen angegeben.

Die in der Tabelle angegebenen Stromerzeugungskosten umfassen die Investitions-, Betriebs- und Stilllegungskosten sowie die Brennstoffkosten (Daten für GuD<sup>19</sup>- und Steinkohle-Kraftwerke sowie alle Brennstoffkosten nach<sup>20</sup>, Daten

für Kernkraftwerke nach<sup>21)</sup>, jeweils bei einer Abschreibungszeit von 20 Jahren. Die Angaben sind als Durchschnittswerte zu verstehen. Tatsächlich unterscheiden sich die Kostendaten nicht nur von Typ zu Typ, sondern auch von Anlage zu Anlage. In der Tabelle werden die Kosten für bestehende Kernkraftwerke und die Kosten für Neubauten bei fossilen Kraftwerken angegeben, weil bei einem Kernenergieausstieg die vorhandenen Kernkraftwerke durch neue fossile Kraftwerke ersetzt werden und daher diese Daten für die nachfolgenden Betrachtungen verwendet werden müssen.

Die Kosten für Steinkohle-Dampfkraftwerke basieren auf dem Einsatz von Importkohle. Auf Grund der Kohleverstromungsverpflichtungen wird zumindest bis zum Jahr 2005 ein großer Teil der eingesetzten Steinkohle aus heimischer Produktion stammen, was mit erhöhten Kosten verbunden ist. Für die folgenden Rechnungen wird davon ausgegangen, daß diese Verpflichtungen im vorhandenen Kraftwerkbestand erfüllt werden können und Neubauten zum Ersatz von Kernkraftwerken die billigere Importkohle einsetzen werden.

Die in der Tabelle angegebenen CO<sub>2</sub>-Emissionen sind die direkten, betriebsbedingten Emissionen, die die Gesamtbilanz in einem Kraftwerkpark mit wesentlichen Anteilen an fossilen Kraftwerken deutlich dominieren. Beiträge zu den CO<sub>2</sub>-Emissionen aus dem Energiebedarf für die Herstellung eines Kraftwerks und seiner Komponenten werden also nicht berücksichtigt. Die energetischen Vorleistungen beim Bau von Großkraftwerken sind nämlich relativ gering und betragen z.B. bei Steinkohlekraftwerken rd. 1/140 der in der Lebenszeit des Kraftwerks produzierten Energie, bei Erdgas-GuD-Kraftwerken rd. 1/600<sup>22</sup>. Hinzu kämen bei genauer Betrachtung noch Energieaufwendungen für Gewinnung, Aufarbeitung und Transport des jeweiligen Brennstoffs. Für die Stromproduktion aus Kernenergie werden die indirekten CO<sub>2</sub>-Emissionen auf 0,007–0,028 kg CO<sub>2</sub>/kWh geschätzt.<sup>23</sup>

Kernkraftwerke haben danach vergleichsweise hohe Fixkosten und die mit Abstand niedrigsten variablen Kosten. Betreiber, die über einen gemischten Kraftwerkpark verfügen, werden daher bestrebt sein, in erster Priorität die Kernkraft-

<sup>20</sup> nach: Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen der RWE Energie AG, 1999

<sup>21</sup> nach: Instrumente für Klimagas-Reduktions-Strategien, Datenbank und Modellsysteme, Projektkoordination Forschungszentrum Jülich im Auftrag des BMBF, Version 1996

<sup>22</sup> K. Schwaiger: Vergleich des KEA und der Stoffbilanzen von Kraftwerken, VDI-Bericht 1328, Düsseldorf 1997

<sup>23</sup> U. Kallenbach, W. Bernat, G. Hehn, A. Schatz (Institut für Kernenergetik und Energiesysteme der Universität Stuttgart): Kernenergie, Arbeitsbericht Nr. 12 der Akademie für Technikfolgenabschätzung in Baden-Württemberg, Stuttgart, 1994, sowie B. Lewin: CO<sub>2</sub>-Emissionen von Kraftwerken unter Berücksichtigung der vor- und nachgelagerten Energieketten. In „Kumulierte Energie- und Stoffbilanzen“, VDI-Bericht 1093, Düsseldorf 1993

<sup>24</sup> SKE – Steinkohle-Einheit (1 t SKE = 8140 kWh)

werke und in zweiter Priorität die Kohlekraftwerke auszulasten. Da Kohlekraftwerke die höchsten spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen aufweisen, stehen die ökonomischen Bedingungen hier im Gegensatz zu den Zielen des Klimaschutzes. Aus Klimaschutzgründen wären Gaskraftwerke bei der Auslastung vorzuziehen.

Für den Zubau neuer fossiler Kraftwerke zum Ausgleich wegfallender Kernkraftwerke ist von Vollkosten auszugehen. Bei heutigen Preisen ist dann das Gaskraftwerk die kostengünstigste Alternative.

Eine Unsicherheit für die Abschätzung der künftigen Entwicklung liegt in der künftigen Preisentwicklung für die unterschiedlichen Energieträger, die die Kostenrelationen zwischen den Kraftwerktypen verändern können. Für Importkohle und Kernbrennstoffe wird für die nächsten 20 Jahre im wesentlichen Preisstabilität erwartet (Preis für Importkohle 1998: 85 DM/t SKE<sup>24</sup> frei küstenfernes Kraftwerk), während für Erdgas mittelfristig steigende Preise im Bereich von 1 % pro Jahr (real) vermutet werden (Preis 1998: 1,8 Pf/kWh frei Kraftwerk) [alle Werte nach<sup>20</sup>]. Die Preissteigerung für Erdgas kann sich noch beschleunigen, wenn eine starke Erdgasnachfrage infolge eines bundesweiten Kernenergieausstiegs Kosten für den Neubau von Erdgasleitungen (lokal zu den Kraftwerkstandorten, u.U. auch eine zusätzliche Fernleitung) verursacht. Um die Rückwirkung einer verstärkten Nachfrage nach Kraftwerksgas zu berücksichtigen, wird für die folgenden Berechnungen von einer Preissteigerung von 2 % pro Jahr für Erdgas ausgegangen.

Alle angegebenen Kosten verstehen sich als Kosten auf der Basis von Marktpreisen, d.h. ohne die Berücksichtigung „externer Kosten“ (also der monetären Bewertung von Wirkungen, die nicht in den Marktpreisen für Energie berücksichtigt sind, wie z.B. die Luftbelastung, die Treibhausgasemissionen durch fossile Kraftwerke oder die Sicherheitsrisiken von Kernkraftwerken). Auf der Basis des heutigen Forschungsstandes lassen sich trotz vieler Fortschritte noch keine verlässlichen Zahlenwerte für externe Kosten angeben, das gilt besonders für die Wirkungen der Treibhausgasemissionen.

### 3.2 Entwicklung von Kraftwerkpark und Stromerzeugung ohne Kernenergieausstieg (Trend)

Um die Folgen eines Kernenergieausstiegs abschätzen zu können, muß als Vergleichsbasis die Entwicklung herangezogen werden, die sich ohne den Ausstieg ergeben würde. Diese Entwicklung ist aber unbekannt. Die Vergleichsbasis muß daher als eigenes Szenario mit Hilfe plausibler Annahmen – u.a. über die

Nutzung der Kernenergie – entworfen werden. Für diese Studie wird vor dem Hintergrund der öffentlichen Diskussion davon ausgegangen, daß auch in der Entwicklung ohne Kernenergieausstieg (Trend-Entwicklung) keine neuen Kernkraftwerke errichtet werden, daß aber die vorhandenen Kernkraftwerke über ihre wirtschaftliche Lebensdauer genutzt werden. Diese Dauer ist mit 45 Jahren so hoch, daß die Kernenergie im Untersuchungszeitraum der nächsten 20 Jahre in Baden-Württemberg im heutigen Umfang genutzt werden würde, wenn für das Kernkraftwerk Obrigheim durch Leistungserhöhung eines anderen Kernkraftwerks ein Ausgleich geschaffen wird (s. Tabelle 1). Außerdem wird für die Trend-Entwicklung angenommen, daß keine aktive Klimaschutzpolitik betrieben wird, die in ihrer Intensität über die Aktivitäten in der Vergangenheit hinausgeht. Die Berechnung der zu erwartenden Veränderungen wurden mit dem an der Akademie entwickelten Kraftwerkpark-Modell ‚Dynamo‘ durchgeführt. Ihr liegen die folgenden Annahmen zugrunde:

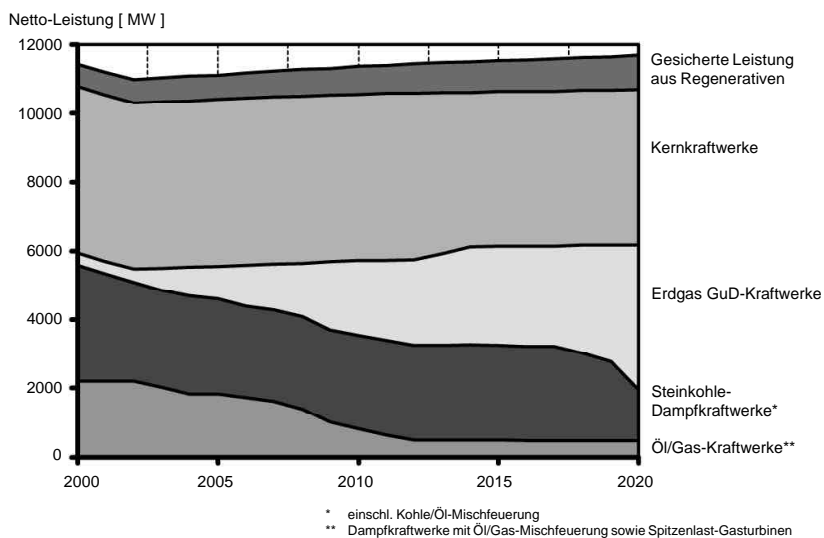
- Kernkraftwerke werden (ggf. mit lebensdauerverlängernden Maßnahmen) 45 Jahre ab Betriebsbeginn genutzt und dann abgeschaltet.<sup>25</sup> Die Leistung des Kernkraftwerkparks bleibt damit im gesamten Zeitraum ungefähr konstant (das kleinste Kernkraftwerk, KKW Obrigheim, geht 2013 vom Netz, auf der anderen Seite wird eine Leistungserhöhung um 200 MW am Block Neckarwestheim II im Jahr 2000 durchgeführt).
- Fossile Kraftwerke werden 35 Jahre ab Betriebsbeginn genutzt.
- Die Entwicklung des Strombedarfs verläuft trendgemäß leicht ansteigend, es finden keine zusätzlichen Klimaschutzmaßnahmen zur Senkung des Strombedarfs statt.
- Die regenerative Stromerzeugung wächst zwar entsprechend den Trends der Vergangenheit, erfährt aber keine zusätzlichen Entwicklungsimpulse.
- Über die Auswahl der Kraftwerke bei einem anstehenden Zubau und über die Auslastung der vorhandenen Kraftwerke entscheiden die Betreiber allein unter Kostengesichtspunkten (Minimierung der diskontierten Gesamtkosten der Stromerzeugung 2000-2020) und ohne CO<sub>2</sub>-begrenzende Zielsetzung.
- Trotz Energiemarkt-Liberalisierung wird die Eigenversorgung beim Strombedarf des Landes aufrechterhalten (s. dazu: Kap. 4.).

<sup>25</sup> Für die Berechnungen wird angenommen, daß alle Außerdienststellungen von Kraftwerken zur Jahresmitte erfolgen.

<sup>26</sup> Als Kraftwerkpark werden im weiteren stets alle Anlagen zur Stromerzeugung einschließlich Erzeugungsanlagen der Bahn, ohne industrielle Eigenerzeugung, ohne Blockheizkraftwerke und ohne Leistungsbeiträge der Pumpspeicherwerke bezeichnet. Stromerzeugungsbeiträge der nicht zum Kraftwerkpark gezählten Anlagen werden als Erzeugung außerhalb des Kraftwerkparks gewertet und mindern den Erzeugungsbedarf des Kraftwerkparks entsprechend.



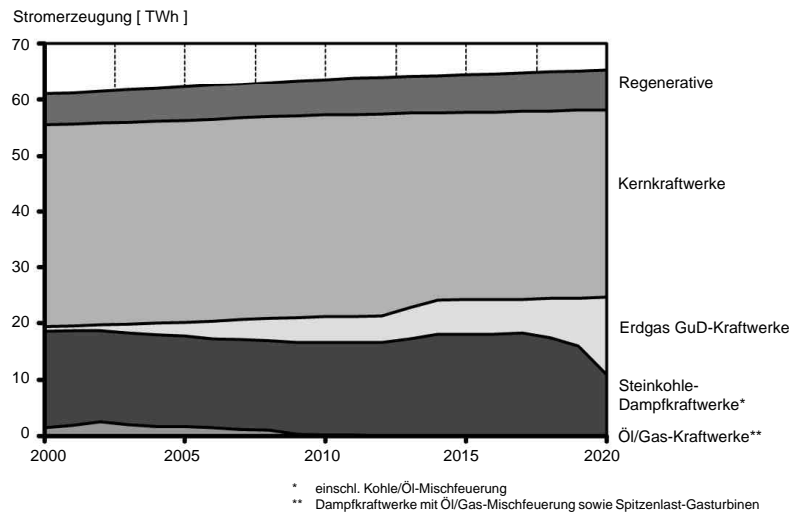
Damit ergibt sich die in den Abb. 7 und 8 dargestellte Entwicklung von Leistungs- und Arbeitsstruktur des Kraftwerkparks.<sup>26</sup>



**Abb. 7: Beitrag der Kraftwerktypen zur Leistung des Kraftwerkparks in Baden-Württemberg bei Beibehaltung der Kernenergienutzung (Trend)**

Der Gesamtumfang der installierten Leistung geht unter den gemachten Annahmen zunächst leicht zurück, da aufgrund der anfänglichen Überkapazitäten weder das altersbedingte Ausscheiden einzelner Kraftwerke noch das leichte Weitersteigen des Strombedarfs den Neubau eines Kraftwerks erforderlich machen. Nachdem die Überkapazitäten etwa im Jahr 2002 abgeschmolzen sind, werden bei weiteren Außerdienststellungen und weiterem maßvollem Wachsen des Strombedarfs Neubauten erforderlich, die überwiegend als Erdgas-GuD-Kraftwerke ausgeführt werden. Von den Öl- bzw. Gas-Dampfkraftwerken wird angenommen, daß sie altersbedingt nach und nach außer Dienst gestellt werden; der für die Spitzenlast notwendige Anteil an Gasturbinen wird erhalten. Bei Kraftwerken, die mit Kohle- oder Ölbefuerung betrieben werden können, wird aus Kostengründen von einer Kohlebefuerung ausgegangen.

Der so beschriebene Kraftwerkpark bietet ein Gerüst, mit dem zu jedem Zeitpunkt die notwendige Leistung bereitgestellt und die nachgefragten Strommenen erzeugt werden können.



**Abb. 8: Beitrag der Kraftwerktypen zur Stromerzeugung in Baden-Württemberg bei Beibehaltung der Kernenergienutzung (Trend)**

Die Ausnutzung der Kraftwerke, d.h. der Anteil der einzelnen Typen an der Stromerzeugung, hängt von Höhe und Dauer des Leistungsbedarfs (Jahresdauerlinie der Nachfrage) und von den variablen Kosten der Kraftwerke ab. Wenn dementsprechend die Kraftwerke mit den niedrigsten variablen Kosten über die größten Dauern eingesetzt werden, dann ergibt sich die in Abb. 8 dargestellte Aufteilung der Stromerzeugung.

Die Kernkraftwerke haben weiterhin den höchsten Anteil an der Stromerzeugung. An zweiter Stelle stehen für lange Zeit die Kohlekraftwerke. Erst wenn nach und nach Gaskraftwerkkapazitäten errichtet sind und die Kohlekraftwerkskapazitäten durch altersbedingte Außerdienststellungen nicht mehr für die erforderlichen Strommengen aufkommen können, übernimmt die Gasverstromung einen langsam wachsenden Anteil an der Stromerzeugung. Schon davor spielen Gaskraftwerke aber für die Leistungsbilanz des Kraftwerksparks eine wichtige Rolle (s. Abb. 7). Die Beiträge aus regenerativer Stromerzeugung steigen an, erlangen aber (in dieser Trendbetrachtung ohne zusätzliche Klimaschutzmaßnahmen) bis zum Jahr 2020 keine zentrale Bedeutung.

### 3.3 Entwicklung von Kraftwerkpark und Stromerzeugung bei einem Kernenergieausstieg

Bislang haben die Verhandlungen zwischen Bundesregierung und Energiewirtschaft noch nicht zu einem konkreten Ablaufplan für den Kernenergieausstieg geführt. Es ist daher erforderlich, plausible Annahmen zu treffen. Ökonomische Gesichtspunkte legen es nahe, für die Außerbetriebnahme von Kernkraftwerken eine für alle Kraftwerke gültige maximale Betriebsdauer ab Inbetriebnahme festzulegen. Dabei wäre davon auszugehen, daß für alle Kraftwerke ausreichende Zwischenlagerkapazitäten für abgebrannte Brennelemente am Ort geschaffen oder die notwendigen Transporte zu entfernten Lagerkapazitäten genehmigt werden, d.h. es werden keine vorgezogenen Stilllegungen aufgrund mangelnder Entsorgungsmöglichkeiten erzwungen, die die Festlegung der maximalen Betriebsdauer außer Kraft setzen würden. In der gegenwärtigen politischen Diskussion scheint sich eine Lösung in diesem Sinne mit einer Betriebsdauer für die Kernkraftwerke in der Größenordnung von 30 Jahren abzuzeichnen, es werden im folgenden aber auch andere Werte betrachtet.

In Abhängigkeit von der Größe der festgelegten maximalen Betriebsdauer wird der Ausstieg aus der Kernenergienutzung früher oder später vollständig abgeschlossen sein. Dabei zeigt sich eine Besonderheit der Kernenergienutzung in Baden-Württemberg: Sowohl das älteste Kernkraftwerk (KKW Obrigheim, Inbetriebnahme 1968) als auch das jüngste Kernkraftwerk Deutschlands (KKW Neckarwestheim II, Inbetriebnahme 1989) befinden sich in diesem Bundesland. Die Phase des Kernenergieausstiegs und der damit verbundene Strukturwandel in der Stromerzeugung wird sich damit in keinem anderen Bundesland über einen so langen Zeitraum hinziehen wie in Baden-Württemberg.

Als Beispiel wird zunächst die Wirkung eines Kernenergieausstiegs mit einer Beschränkung der Betriebsdauer aller Kernkraftwerke auf 30 Jahre ab Betriebsbeginn (gegenüber 45 Jahren in der Trend-Entwicklung) diskutiert. Der Kernenergieausstieg würde in diesem Fall im Jahr 2019 mit dem Abschalten von Neckarwestheim II in Baden-Württemberg und damit auch bundesweit zum Abschluß gebracht.

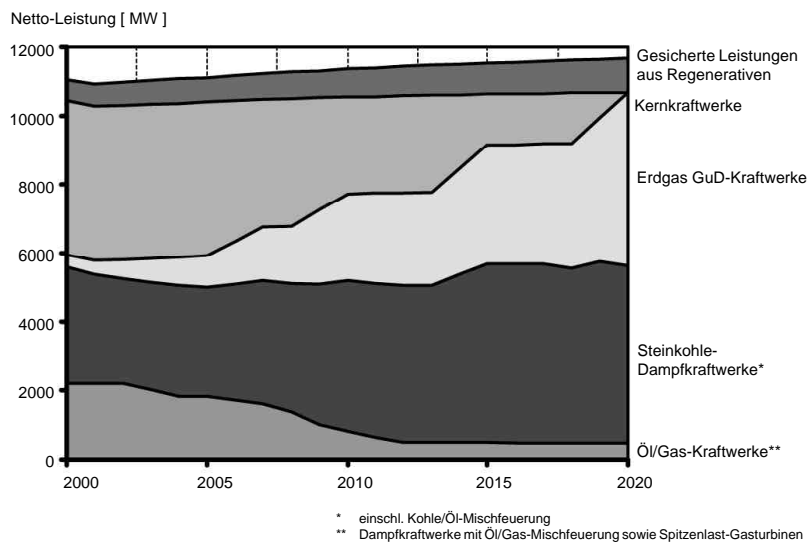
Für die Rechnung werden die folgenden Annahmen getroffen:

- Kernkraftwerke werden mit Erreichen einer Betriebsdauer von 30 Jahren abgeschaltet, und es werden keine neuen Kernkraftwerke errichtet.
- Alle anderen Rahmenbedingungen für die Stromerzeugung bleiben gegenüber der Trend-Entwicklung (Kapitel 3.2) unverändert, insbesondere werden keine Ausgleichsmaßnahmen wie zusätzliche Stromeinsparungen oder

## Auswirkungen eines Kernenergieausstiegs in Baden-Württemberg

verstärkte Nutzung der Kraft-Wärme-Kopplung und regenerativer Energien unterstellt (der Fall ausstiegsbegleitender Ausgleichsmaßnahmen wird in Kapitel 3.6 und 3.7 behandelt).

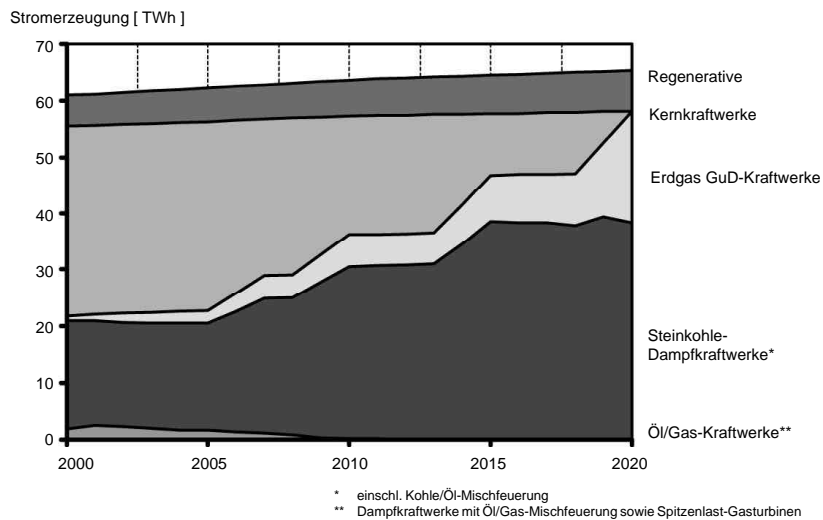
Die Wirkung des Kernenergieausstiegs wird also unter Beibehaltung aller sonstigen Umstände untersucht. Die Abb. 9 und 10 zeigen die Entwicklung der installierten Leistung und der erzeugten Strommengen für diesen Fall.



**Abb. 9: Beitrag der Kraftwerktypen zur Leistung des Kraftwerkparks in Baden-Württemberg bei einem Kernenergieausstieg nach 30 Jahren Betriebsdauer**

Der Kernenergieausstieg zeigt sich in Abb. 9 durch den stufenweisen Rückgang der Kernenergie-Fläche. Soweit es der Ausstiegsverlauf und die langsam wachsende Stromnachfrage nach dem anfänglichen Abschmelzen der Überkapazitäten verlangt, werden fossile Kraftwerke zugebaut. Sollte sich – wie es den Prognosen entspricht – der Erdgaspreis stetig verteuern, so ist es langfristig kostengünstig, die Neubauten gemischt etwa zur Hälfte als Erdgaskraftwerke und etwa zur Hälfte als Kohlekraftwerke auszuführen. Dadurch wird gleichzeitig erreicht, daß der Kraftwerkpark nach Abschluß der Umstrukturierung nicht überwiegend durch nur einen Kraftwerktyp bestimmt ist und die Stromerzeugung nicht nur von einem Energieträger abhängt.

## Auswirkungen eines Kernenergieausstiegs in Baden-Württemberg



**Abb. 10: Beitrag der Kraftwerktypen zur Stromerzeugung in Baden-Württemberg bei einem Kernenergieausstieg nach 30 Jahren Betriebsdauer**

Die Auslastungen und damit die von den Kraftwerktypen erzeugten Strommengen ergeben sich wieder aus den zu jedem Zeitpunkt installierten Kapazitäten und den variablen Kosten der Kraftwerktypen (s. Abb. 10).

Parallel zum Rückgang der betriebenen Kernkraftwerks-Kapazitäten geht auch die dort erzeugte Strommenge zurück. Gedeckt wird der Rückgang überwiegend durch alte und im Verlauf des Ausstiegs zugebaute neue Kohlekraftwerke. Die Gas-GuD-Kraftwerke, die schon früh eine wichtige Rolle für die Leistungsbilanz des Kraftwerkparks erfüllen, werden aufgrund der langfristig steigenden Gaspreise geringer als die Kohlekraftwerke ausgelastet und stellen im Betrachtungszeitraum den kleineren Beitrag zum Ersatz des Stroms aus Kernenergie.

Bei einem Kernenergieausstieg (im Beispiel mit einer maximalen Betriebsdauer der Kernkraftwerke von 30 Jahren) ohne ergänzende Klimaschutzmaßnahmen muß damit die wegfallende Kernenergie in der Stromerzeugung durch fossile Kraftwerke ersetzt werden. Aufgrund ihrer günstigen Kostenstruktur würde den – unter Klimagesichtspunkten besonders ungünstigen – Steinkohlekraftwerken eine bedeutendere Rolle zufallen als in der Vergangenheit.

### 3.4 Auswirkung eines Kernenergieausstiegs auf die CO<sub>2</sub>-Emissionen

Wenn die Zusammensetzung des Kraftwerkparks und die Beiträge der unterschiedlichen Kraftwerktypen zur Stromproduktion bekannt sind, so können auf der Basis der spezifischen Emissionen auch die gesamten CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Stromerzeugung abgeschätzt werden.

In der Trend-Entwicklung (Kapitel 3.2), die von einer Weiternutzung der Kernenergie ausgeht, würden sich im Jahr 2000 mit ca. 17,2 Mio. t die gleichen CO<sub>2</sub>-Emissionen des Kraftwerkparks wie im Jahr 1990 ergeben. Aufgrund des anfänglich noch wachsenden Anteils fossiler Energieträger an der Stromproduktion (s. Abb. 8) würden diese Emissionen zunächst ansteigen und am Ende der betrachteten Periode – wegen des dann deutlich sinkenden Anteils der Kohleverstromung - auf ca. 14,4 Mio. t im Jahr 2020 sinken.<sup>27</sup> Insgesamt würden die CO<sub>2</sub>-Emissionen in Baden-Württemberg auf etwa dem heutigen Niveau verbleiben, und das bundespolitische Ziel der Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen um 25 % gegenüber dem Jahr 1990 bis zum Jahr 2005 wird in Baden-Württemberg nicht erreicht.

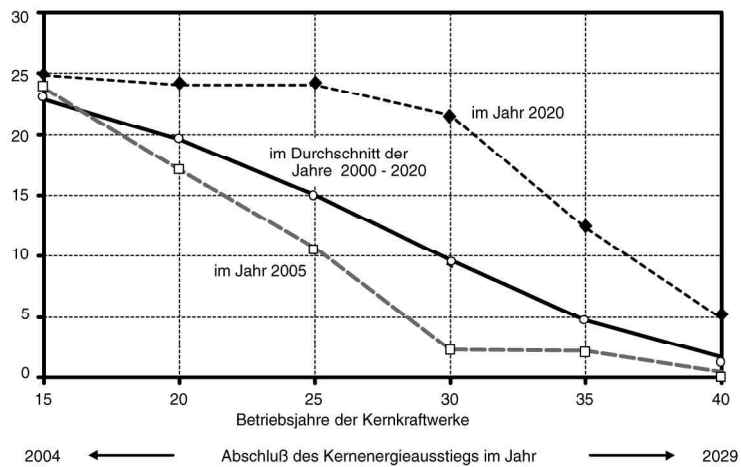
Im Fall des in Kapitel 3.3 betrachteten Kernenergieausstiegs bis zum Jahr 2019 (nach einer Betriebsdauer der Kernkraftwerke von 30 Jahren) und ohne klimaschutzorientierte Zusatzmaßnahmen wären die CO<sub>2</sub>-Emissionen des Kraftwerkparks bereits im Jahr 2000 mit 19,4 Mio. t etwas höher als in der Trend-Entwicklung, da bei den getroffenen Annahmen das älteste Kernkraftwerk Obrigheim sofort stillgelegt werden würde. Bis zum Jahr 2020 steigen die Emissionen in diesem Fall auf rund 36 Mio. t an, d.h. sie lägen um rund 22 Mio. t höher als im Trendfall.

Die kumulierten Mehremissionen der betrachteten Ausstiegsvariante im Zeitraum 2000-2020 gegenüber der Trend-Entwicklung betragen 193 Mio. t, also im Durchschnitt 9,2 Mio. t pro Jahr. Bezogen auf das Jahr 1990 würden sich die jährlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen der Stromerzeugung (1990: 17,2 Mio. t) um durchschnittlich ca. 53 % und die Gesamtemissionen in Baden-Württemberg (1990: 73,5 Mio. t) um durchschnittlich ca. 12,5 % erhöhen. Im Jahr 2020, nach der vollständigen Umsetzung des Ausstiegsbeschlusses und dem Wegfall der Stromproduktion aus Kernenergie wären die jährlichen Mehremissionen an CO<sub>2</sub> dann deutlich höher als der Durchschnittswert der Zeitperiode: Im Jahr 2020 lägen die Emissionen aus der Stromerzeugung um 126 % und die Gesamtemissionen um 29,5 % über denen des Jahres 1990.

<sup>27</sup> Direkte Emissionen der reinen Stromerzeugung. Mehremissionen durch Fernwärmeauskopplung werden der Fernwärme zugerechnet.

Für die Interpretation der genannten Emissionswerte ist zu beachten, daß sie Abschätzungen darstellen und von den getroffenen Annahmen abhängen. Die tatsächliche künftige Entwicklung – sowohl im Trendfall als auch in der betrachteten Ausstiegsvariante – hängt davon ab, wie sich die Kraftwerksbetreiber in Reaktion auf ändernde Umfelfeinflüsse – etwa die Energiepreisentwicklung – entscheiden werden.

Da der Zeitpunkt, zu dem der politisch gewollte Kernenergieausstieg vollzogen sein soll, gegenwärtig noch nicht festliegt, ist es erforderlich, mehrere Ausstiegsvarianten mit unterschiedlichen maximalen Betriebsdauern für Kernkraftwerke zu betrachten, um die möglichen Folgen für den Klimaschutz umfassender abschätzen zu können. Dazu wurden die in Kapitel 3.3 dargestellten Rechnungen (mit einer Betriebsdauer von 30 Jahren) für verschiedene Betriebsdauern zwischen 15 und 40 Jahren und sonst unveränderten Annahmen wiederholt und jeweils die Mehremissionen gegenüber der Trend-Entwicklung (Kapitel 3.2) bestimmt. Abb. 11 zeigt die Ergebnisse.



**Abb. 11: CO<sub>2</sub>-Mehremissionen aus der Stromerzeugung gegenüber 1990 bei Kernausstieg (ohne Klimaschutzmaßnahmen) in Baden-Württemberg**

Da bereits die Trend-Entwicklung das Reduktionsziel für die CO<sub>2</sub>-Emissionen im Jahr 2005 verfehlt, wird auch bei allen Ausstiegsvarianten das Ziel nicht erreicht.

Allerdings führen die moderaten Ausstiegsvarianten mit maximalen Betriebsdauern der Kernkraftwerke von 30 und mehr Jahren nur zu einer geringen Verschlechterung der baden-württembergische CO<sub>2</sub>-Emissionen im Jahr 2005. Ein rascherer Kernenergieausstieg mit kürzeren Betriebsdauern hätte aber schnell ansteigende Mehremissionen zur Folge. Langfristig – bis zum Jahr 2020 – führen alle Varianten zu Mehremissionen gegenüber der Trend-Entwicklung.

Für die Klimawirkung entscheidend sind aber weniger die CO<sub>2</sub>-Emissionen in einzelnen - mehr oder weniger willkürlich gewählten - Bezugsjahren als vielmehr die Gesamtemissionen über längere Zeiträume. Ein Maß für die Gesamtemissionen im Zeitraum 2000-2020 sind die in Abbildung 11 angegebenen Durchschnittsemissionen: Sie steigen kontinuierlich mit der Verkürzung der maximalen Betriebsdauer der Kernkraftwerke an.

Langfristig und nach Vollzug des Ausstiegs liegen die Gesamtemissionen an CO<sub>2</sub> in Baden-Württemberg um rd. 23–25 Mio. t pro Jahr über denen des Jahres 1990, wenn keine zusätzlichen Klimaschutzmaßnahmen ergriffen werden.

### 3.5 Auswirkung eines Kernenergieausstiegs auf die Kosten der Stromerzeugung

Ebenso wie die Entwicklung des Kraftwerkparks und die CO<sub>2</sub>-Emissionen lassen sich auch die zukünftigen Kosten der Stromerzeugung nur ungefähr abschätzen. Unsicherheiten resultieren hier nicht nur aus der – anhand plausibler Kriterien geschätzten (s. Kapitel 3.2) – Entwicklung des Kraftwerkparks, sondern auch aus der zukünftigen Entwicklung der Energiepreise und der Bau- und Entsorgungskosten für die einzelnen Kraftwerktypen. Kostenangaben für Entwicklungen über mehrere Jahrzehnte sind generell problematisch, und die im folgenden angegebenen Mehrkosten sind nicht im Sinne exakter Berechnungen zu interpretieren, sondern als Abschätzung der Größenordnung der zu erwartenden Kostenwirkungen eines Kernenergieausstiegs.

Die Kostenrechnung für die hier modellierte Entwicklung des baden-württembergischen Kraftwerkparks beruht auf folgenden Annahmen:

- Für jedes bereits bestehende oder in Zukunft gebaute Kraftwerk fallen Baukosten und nach seiner Außerdienststellung Stilllegungskosten an (letzteres ist besonders für Kernkraftwerke relevant). Diese Kosten werden finanzmathematisch über einen längeren Zeitraum getilgt. Die Wahl des Tilgungszeitraums beeinflusst zwar den Kostenanfall über die Jahre, hat aber



keinen wesentlichen Einfluß auf die Gesamtkosten und wird hier zu 35 Jahren gewählt.

- Beträgt die Betriebsdauer der Kraftwerke weniger als 35 Jahre, müssen die restlichen Tilgungsraten dennoch weiter aufgebracht werden. Werden Kraftwerke länger als 35 Jahre genutzt, so erzielt das Kraftwerk in diesen Jahren weitere Einnahmen aus der Stromerzeugung, es müssen aber keine Raten für Bau- und Entsorgungskosten mehr aufgebracht werden. Die Stromerzeugungskosten sind in diesem Zeitintervall besonders günstig.
- Neben den Kosten für Bau und Entsorgung entstehen fixe Betriebskosten für Personal, Wartung, Reparaturen etc., die der bereitgestellten Kraftwerkleistung anzurechnen sind und variable Betriebskosten, insbesondere Brennstoffkosten, die auf die erzeugte Strommenge umgelegt werden.
- Bei der Berechnung werden für alle diese Kostenarten die für die verschiedenen Kraftwerktypen und für Alt- und Neuanlagen charakteristischen Kosten verwendet. Daten für eine individuelle Differenzierung zwischen den einzelnen Anlagen gleichen Typs in Baden-Württemberg (z.B. für eine Differenzierung zwischen KKW Phillipsburg II und KKW Neckarwestheim II) standen nicht zur Verfügung.<sup>28</sup>
- Alle Kostenangaben sind als Realkosten in DM<sub>1998</sub> zu verstehen<sup>29</sup>. Als Zinssatz für die Diskontierung wird für alle Berechnungen der Wert von 5 % verwendet.

Auf dieser Grundlage wurden für jedes Jahr die Kapitalkosten aus Bau und Entsorgungsrücklage aller bis dahin gebauter Kraftwerke, die fixen Betriebskosten der aktiven Kraftwerke und die variablen Betriebskosten aus den Stromerzeugungsanteilen der einzelnen Kraftwerktypen errechnet – sowohl für die Trend-Entwicklung als auch für verschiedene Ausstiegsvarianten mit unterschiedlichen maximalen Betriebsdauern für die Kernkraftwerke. Die Mehrkosten der Ausstiegsvarianten gegenüber der Trend-Entwicklung sind in Abb. 12 dargestellt. Die angegebenen Beträge müßten gleichmäßig (zuzgl. Inflationsausgleich) in den 21 Jahren von 2000-2020 aufgebracht werden, um die schwankenden jährlichen Mehrkosten in diesem Zeitraum insgesamt aufzubringen.

Für die Beurteilung dieser Mehrkosten ist weniger ihre absolute Höhe als vielmehr ihre mögliche Auswirkung auf die Strompreise von Interesse. Bezogen auf die erzeugte elektrische Energie geben die Mehrkosten einen Anhalt dafür, um welchen Betrag sich die Strompreise erhöhen würden, wenn die Mehrkosten

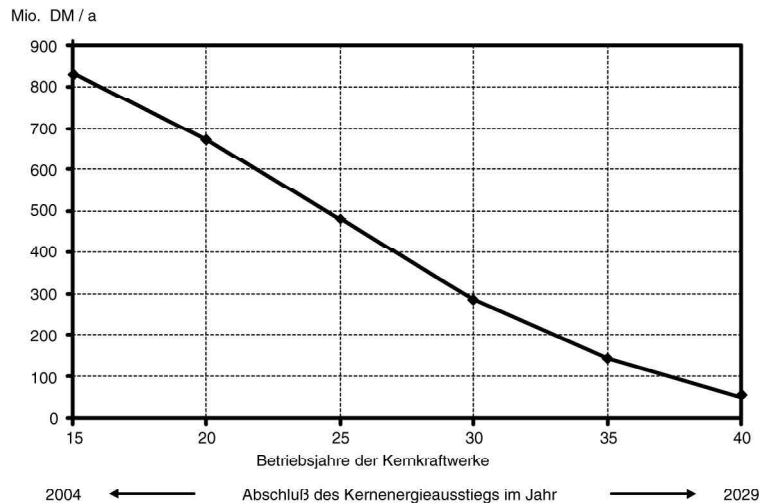
<sup>28</sup> Kosten- und Technikdaten für bestehende Kraftwerke nach [21]; Daten für Neukraftwerke und Brennstoffkosten nach [20].

<sup>29</sup> Wie schon die Emissionen sind auch die Kosten als Kosten der reinen Stromerzeugung zu verstehen. Zusatzkosten durch Fernwärmeauskopplung sind der Fernwärme angerechnet.

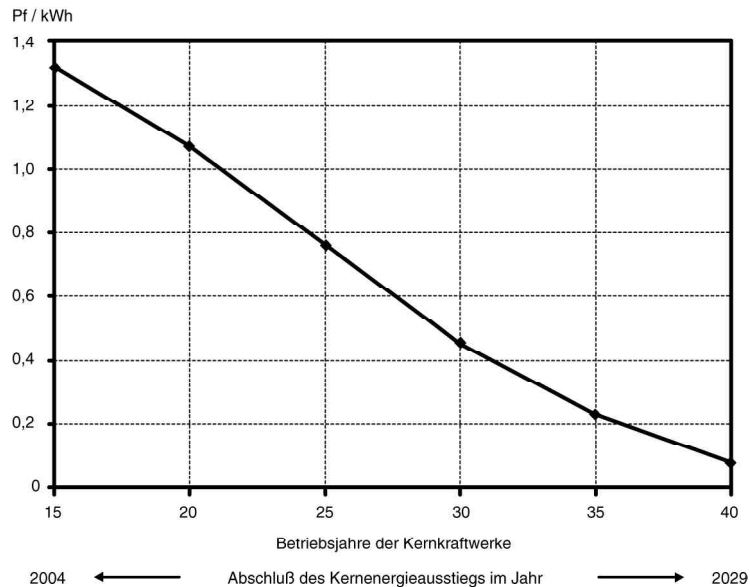
von den Stromerzeugern gleichmäßig auf alle Verbraucher abgewälzt werden (s. Abb. 13). Die in der Abb. dargestellten Mehrkosten müssten über den gesamten Zeitraum aufgebracht werden, um die von Jahr zu Jahr schwankenden Kosten des Kernenergieausstiegs insgesamt auszugleichen.

Ob die in den Abb. 12 und 13 dargestellten Schätzwerte für die Höhe der anfallenden Mehrkosten eines Kernenergieausstiegs als „hoch“ oder „niedrig“ zu betrachten sind, ist nicht einfach zu beurteilen und hängt davon ab, wie und von wem die Mehrkosten aufgebracht werden.

Abb. 12 läßt erkennen, daß ein vergleichsweise rascher Kernenergieausstieg mit einer maximalen Betriebsdauer der Kernkraftwerke von z.B. 25 Jahren (Abschluß des Ausstiegs im Jahr 2014) in Baden-Württemberg mit rd. 480 Mio. DM jährlich finanziert werden müßte. Werden diese Kosten (z.B. über Steuern nach einer staatlichen Entschädigungsleistung an die Betreiber) gleichmäßig auf alle 5,3 Mio. Erwerbspersonen im Land verteilt, so ergibt sich eine Belastung von ca. 90,60 DM pro Jahr und Person oder von ca. 7,50 DM pro Monat. Dies mag von vielen als erträglich empfunden werden, wäre aber andererseits im Kontext der gegenwärtigen politischen Diskussionen um Verringerung der Steuerlasten kontraproduktiv.



**Abb. 12: Jährliche Mehrkosten der Stromerzeugung bei Kernenergieausstieg (ohne Klimaschutzmaßnahmen) gegenüber der Trend-Entwicklung in Baden-Württemberg**



**Abb. 13: Jährliche Mehrkosten pro kWh bei Kernenergieausstieg (ohne Klimaschutzmaßnahmen) gegenüber der Trend-Entwicklung in Baden-Württemberg**

Werden die Kosten nicht so breit verteilt, sondern kommen nur im Bereich der Stromerzeugung zur Wirkung, indem z.B. die Mehrkosten von den Kraftwerkbetreibern über Strompreiserhöhungen finanziert werden müssen, so wären nach Abb. 13 im gleichen Ausstiegsfall Strompreiserhöhungen von knapp 0,8 Pf pro kWh erforderlich. Unter den Bedingungen des liberalisierten Energiemarktes, in dem von Großabnehmern um Pfennigbruchteile pro kWh verhandelt wird und in dem die baden-württembergischen (oder deutschen) Kraftwerkbetreiber mit Stromerzeugern konkurrieren, die keine derartigen Sonderkosten zu tragen haben, ist es fraglich, ob so erhöhte Preise am Markt durchzusetzen wären. Ohne Entschädigungszahlungen wären die Betreiber sonst aber außerstande, die entstandenen Mehrkosten auszugleichen. Die Konsequenzen wären je nach dem wirtschaftlichen Zustand des Betreibers unterschiedlich und würden sich mindestens in verminderter Investitionskraft und letztlich in einer geschwächten Wettbewerbsposition gegenüber unbelasteten nationalen und internationalen Mitbewerbern äußern. Die Folgen würden von den betroffenen Unternehmen wohl als inakzeptabel eingestuft werden müssen.

Für die Interpretation der Kosten- und Emissionswirkungen ist zu beachten, daß mit der Energiemarkt-Liberalisierung neue Rahmenbedingungen bestehen, deren Auswirkungen derzeit noch nicht verlässlich abgeschätzt werden können. Es ist aber davon auszugehen, daß sie die Eigenversorgung eines Landes teilweise in Frage stellen. Demgegenüber legen die Rechnungen sowohl für die Trend-Entwicklung als auch für die untersuchten Ausstiegsszenarien für Baden-Württemberg methodisch weiterhin eine Eigenversorgung mit Energie zugrunde, d.h. sie nehmen an, daß der Strombedarf des Landes weitgehend aus Anlagen im Land gedeckt wird. Dies entspricht auch dem erklärten Ziel der Landesregierung, eine Eigenversorgung im Land zu erhalten und eine entsprechende Standortpolitik zu betreiben.

Im Verständnis, daß Stromerzeugungsanlagen, die den Bedarf eines Landes decken, dem Land unabhängig ihres physischen Standorts zuzurechnen sind, bleiben die gezeigten Ergebnisse aber auch bei der Annahme substantieller Stromimporte interpretierbar: Die CO<sub>2</sub>-Emissionen eines auswärtigen Kraftwerks muß sich das Land anrechnen lassen, wenn das Kraftwerk der Versorgung des Landes dient und ein Szenario, in dem die baden-württembergischen Kernkraftwerke abgeschaltet werden und der Strombedarf durch ausländisch erzeugten Strom aus Kernkraftwerken ersetzt wird, muß sinngemäß als Nichtvollzug des Ausstiegs interpretiert werden.

### **3.6 Ausgleich der Erhöhung der CO<sub>2</sub>-Emissionen durch einen Kernenergieausstieg mit Hilfe technischer Maßnahmen**

Wenn der Klimaschutz als prioritäres Ziel verfolgt werden soll, dann bestehen – unabhängig von der Nutzung der Kernenergie zur Stromerzeugung – vielfältige technische Möglichkeiten, um die CO<sub>2</sub>-Emissionen zu senken. In der politischen Diskussion um die Nutzung der Kernenergie vertreten die Befürworter eines Ausstiegs häufig die Position, daß diese zusätzlich möglichen Maßnahmen durch die Nutzung der Kernenergie – u.a. wegen des dann großen Angebots billigen Stroms – verhindert werden. Von einem Ausstieg erhoffen sie sich entsprechend, daß die für wünschenswert erachteten Strukturänderungen, wie zusätzliche Stromeinsparungen bei den Verbrauchern, ein zusätzlicher Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung oder ein beschleunigter Ausbau der regenerativen Stromerzeugung leichter realisiert werden können. Ob sich diese Hoffnungen erfüllen, hängt davon ab, welchen Stellenwert der Klimaschutz für das Handeln in Politik und Wirtschaft und für das Verhalten der Bürger tatsächlich gewinnen

wird. Unter Berücksichtigung der bisherigen Entwicklung ist kaum zu entscheiden, ob das gesellschaftliche Interesse an der Verwirklichung Klimaschutzpolitischer Ziele weiterhin gering bleibt oder ob zusätzliche Maßnahmen zur Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen umgesetzt werden können.

Sowohl der beschriebenen Trend-Entwicklung als auch den Ausstiegsszenarien mit unterschiedlichen maximalen Betriebsdauern der Kernkraftwerke lag die Annahme zugrunde, daß zusätzliche Klimaschutzmaßnahmen nicht ergriffen werden. Im folgenden wird angenommen, daß Politik, Wirtschaft und Bevölkerung in Deutschland die Klimaschutzziele in den nächsten 20 Jahren nachdrücklich verfolgen und der Kernenergieausstieg von massiven Anstrengungen zur CO<sub>2</sub>-Minderung in allen Bereichen (Stromerzeugung, sonstige Umwandlung und Verbrauchersektoren) begleitet wird.

Die unter dieser Voraussetzung möglichen Maßnahmen hängen ebenso von den gegebenen technischen Möglichkeiten und der zu erwartenden Weiterentwicklung der Technik wie von den Gegebenheiten im Energieversorgungssystem Baden-Württembergs und seiner Veränderungspotentiale ab. Die dafür nötigen Informationen wurden im Rahmen des Projektes „Klimaverträgliche Energieversorgung in Baden-Württemberg“<sup>30</sup> in Zusammenarbeit mit elf wissenschaftlichen Einrichtungen des Landes erhoben. Auf der Basis von Gutachten<sup>30</sup> über die Potentiale in den denkbaren verschiedenen Maßnahmenbereichen (Ausbau der Photovoltaik, Energieeinsparung in der Industrie, Verkehrsverlagerungen etc.) wurden drei Energieszenarien entwickelt, die auf sehr verschiedenen Wegen (mit und ohne Kernenergie, mit und ohne Verhaltensänderungen, mit und ohne starker Nutzung regenerativer Energien etc.) jeweils für den Zeitraum 1987-2005 zu einer CO<sub>2</sub>-Minderung von 25 % und für den Zeitraum 1987-2020 zu einer Minderung von ca. 45 % gelangten.

Die damals erarbeiteten Maßnahmenbündel bilden die Grundlage für die folgende Abschätzung der Wirkung von Zusatzmaßnahmen zur Verringerung der CO<sub>2</sub>-Emissionen in Baden-Württemberg. Um die damaligen Ergebnisse für die aktuelle Fragestellung verwenden zu können, wurden zwei Anpassungen vorgenommen:

- Das Projekt „Klimaverträgliche Energieversorgung“ ging von einem Beginn der vorgesehenen Maßnahmen im Jahr 1990 aus. Die im Projekt für die Zeiträume 1990-2005 und 1990-2020 erarbeiteten Maßnahmenpotentiale werden entsprechend den ‚verlorenen‘ Maßnahmenjahren gekürzt und beziehen sich nun auf einen Handlungsbeginn ab dem Jahr 2000.

---

<sup>30</sup> D. Schade (Hrsg.): Energiebedarf, Energiebereitstellung, Energienutzung – Möglichkeiten und Maßnahmen zur Verringerung der CO<sub>2</sub>-Emissionen. Springer 1995

- Für den Ausbau der Nah- und Fernwärmenutzung werden erhöhte Ansätze – entsprechend den Werten des Maximalszenarios (Szenario B) der „KWK-Studie Baden-Württemberg“<sup>31</sup> - verwendet, um eine Unterschätzung des wichtigen Ausgleichsfaktors „Kraft-Wärme-Kopplung“ sicher zu vermeiden.

Zu den berücksichtigten Maßnahmen gehören dann:

#### **Stromeinsparungen**

Durch technische Verbesserungen bei den Haushaltsgeräten und den bevorzugten Kauf verbesserter Geräte, durch Wärmedämmungsmaßnahmen auch bei strombeheizten Gebäuden, durch die Substitution von Strom durch Gas, Nah/Fernwärme und Regenerative Energien bei der Raumwärmebereitstellung und Warmwasserbereitung sowie durch technische Verbesserungen bei stromverbrauchenden Geräten auch im gewerblichen Bereich vermindert sich der Strombedarf der Endverbraucher im Jahr 2020 von 65,1 TWh (im Fall ohne Stromeinsparungen) auf 55,1 TWh.

#### **Stromerzeugung aus Erdgas und regenerativen Energieträgern**

Der Zubau neuer Kraftwerke erfolgt ausschließlich als Gas-GuD-Kraftwerke. Bei der Auslastung werden die neuen Gaskraftwerke trotz ihres Kostennachteils bei den variablen Kosten gegenüber den noch in Betrieb befindlichen Kohlekraftwerken bevorzugt: Sie ersetzen die durch den Kernenergieausstieg freiwerdende Grundlast. Die Stromerzeugung durch regenerative Energieträger wird wesentlich schneller als in der Trend-Entwicklung ausgebaut und erreicht im Jahr 2020 folgende Werte für Baden-Württemberg:

- |                            |                  |                        |
|----------------------------|------------------|------------------------|
| • 1,5 TWh aus Windkraft    | gegenüber 1996 : | 0,003 TWh              |
| • 6,0 TWh aus Wasserkraft  |                  | 5,5 TWh                |
| • 3,0 TWh aus Photovoltaik |                  | 0,0009 TWh             |
| • 2,7 TWh aus Biomasse     |                  | 0,13 TWh <sup>32</sup> |

Die Durchschnittskosten für diese regenerativen Strombeiträge werden 2020 bei rund 20 Pf/kWh liegen, wobei die Photovoltaik trotz starker Kostensenkungen zu den kostenintensiven Beiträgen zählt. Zu diesen Beiträgen tritt ab 2015 ein Import von 0,8 TWh Solarstrom aus dem Mittelmeerraum über Hochspannungs-

<sup>31</sup> J. Nitsch (Federführung): Wirtschaftliches und ausschöpfbares Potential der Kraft-Wärme-Kopplung in Baden-Württemberg. Untersuchung im Auftrag des Wirtschaftsministeriums Baden-Württemberg, Stuttgart, 1994

<sup>32</sup> Strombeiträge der Regenerativen für 1996 nach Energiebericht '97, Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg

Gleichstromübertragung (HGÜ). Weiter werden 7,7 TWh im Jahr 2020 durch Blockheizkraftwerke erzeugt. Der Gesamtumfang der Kraft-Wärme-Kopplung ist aus den Angaben zu „Brennstoffmix“ ersichtlich.

### **Brennstoffeinsparung**

Zum Ausgleich für die höheren Emissionen bei der Stromerzeugung und um insgesamt möglichst geringe CO<sub>2</sub>-Emissionen zu erreichen, werden der spezifische Brennstoffeinsatz in der Industrie durch beschleunigte Effizienzverbesserungen, der Brennstoffbedarf für Gebäudeheizung durch Altbausanierung und Verschärfung des Neubau-Wärmeschutzstandards und der Kraftstoffbedarf der Verkehrsmittel durch Ausschöpfung der technischen Verbrauchssenkungsmöglichkeiten vermindert. Insgesamt sinkt der Brenn- und Kraftstoffbedarf der Verbrauchersektoren dadurch im Jahr 2020 von 235 TWh (ohne Einsparmaßnahmen) auf 211 TWh.

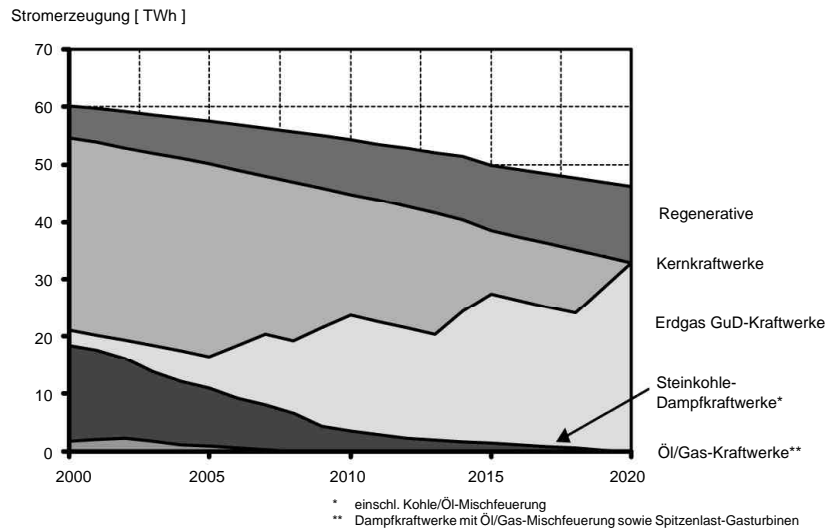
### **Brennstoffmix**

Zunehmend wird der Einsatz von Heizöl (teilweise auch Erdgas) bei der Raumwärmebereitstellung und der Warmwasser- und Prozeßwärmebereitung von Fernwärme aus Kraft-Wärme-Kopplung, Nahwärme aus Blockheizkraftwerken und Regenerativen (vor allem solare Wärme und Wärme aus Biomassenutzung) ersetzt. Der Anteil der Nah- und Fernwärme (aus Kraft-Wärme-Kopplung und solaren Nahwärmesystemen) erreicht 2020 bei der Raum- und Warmwasserbereitung 41,5 %, bei der industriellen Prozeßwärmebereitung 50,3 %. Regenerativ werden insgesamt rund 23 TWh Wärme erzeugt, nicht eingerechnet die Anteile der Nah/Fernwärme, die in biomassebefeuerten KWK-Anlagen erzeugt werden.

Die Auswirkung der Kombination dieser Maßnahmen auf die Entwicklung des Kraftwerkparcs im Beispiel eines Kernenergieausstiegs bis zum Jahr 2019 (nach 30 Jahren maximaler Betriebsdauer der Kernkraftwerke – Kapitel 3.3) zeigt Abb. 14.

Durch die Stromeinsparungen und die zunehmenden Stromerzeugungsbeiträge aus Blockheizkraftwerken sinkt der Erzeugungsbedarf deutlich, und durch die forcierte Ausweitung der regenerativen Stromerzeugung wird der Anteil, der aus fossilen und nuklearen Kraftwerken gedeckt werden muß, gesenkt. Parallel zum Rückgang der Kernenergienutzung aufgrund der angenommenen Ausstiegs-Politik geht auch die Kohleverstromung durch das ersatzlose Ausscheiden von Kohlekraftwerken nach Erreichen ihrer Altersgrenze und durch Verlagerung der

## Auswirkungen eines Kernenergieausstiegs in Baden-Württemberg



**Abb.14: Beitrag der Kraftwerktypen zur Stromerzeugung in Baden-Württemberg bei einem Kernenergieausstieg nach 30 Jahren Betriebsdauer und zusätzlichen Klimaschutzmaßnahmen**

Auslastungen in den wachsenden Erdgas-Kraftwerkpark zurück. Die Gasverstromung wird nach und nach zur zentralen Säule der Stromerzeugung. Die damit verbundenen Mehrkosten und die Einschränkung der Vielfalt der verwendeten Energieträger werden mit Blick auf das Klimaschutzziel in Kauf genommen. Dagegen stehen niedrigere Aufwendungen für Investitionen in den kleiner werdenden Kraftwerkpark.

Bei einem Kernenergieausstieg (im Beispiel mit einer maximalen Betriebsdauer der Kernkraftwerke von 30 Jahren) würden so auch massive – und zumindest technisch realisierbare - Klimaschutzmaßnahmen im Sinne der Ziele der Bundesregierung<sup>2</sup> im betrachteten Zeitraum nicht zu einer CO<sub>2</sub>-freien Stromerzeugung führen. Der Strombedarf könnte zwar gesenkt werden, er müsste im Jahr 2020 aber zu rd. 71 % aus Erdgas gedeckt werden.

Für die CO<sub>2</sub>-Emissionen in Baden-Württemberg ergeben sich bei einem so umstrukturierten Energieerzeugungssystem (Umwandlung und Endenergie-Verbrauchersektoren) in einer Kapitel 3.4 entsprechenden Berechnung für drei ausgewählte maximale Betriebsdauern der Kernkraftwerke die in Abb. 15 darge-



stellten Entwicklungen. In die Berechnung gehen zahlreiche Annahmen zur Entwicklung der Nachfrage nach Energiedienstleistungen ein. Besonders stark wirkt sich der Verkehrssektor auf die Gesamtemissionen des Energiesystems aus. Hier wurde von einem trendgemäß starken Wachstum der Personenverkehrsleistung und von sinkender Besetzung pro Fahrzeug ausgegangen.

Mit Hilfe der angenommenen Maßnahmenkombination lassen sich die Gesamtemissionen an CO<sub>2</sub> in Baden-Württemberg – trotz Kernenergieausstieg – senken. Da diese Zusatzmaßnahmen nicht beliebig schnell wirken können, verringern sich allerdings die erreichbaren Reduktionen am Ende des betrachteten Zeitraums (im Jahr 2020) um so mehr, je rascher der Ausstieg erfolgt. Im Vergleich zu den Emissionen des Jahres 1990 bedeuten 55,1 Mio. t eine Reduktion um 25 % und 40,4 Mio. t eine Reduktion um 45 %. Das politische Ziel einer Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen um 25 % bis zum Jahr 2005 gegenüber dem Wert von 1990 wird mit den angesetzten Maßnahmen in keiner Variante erreicht.

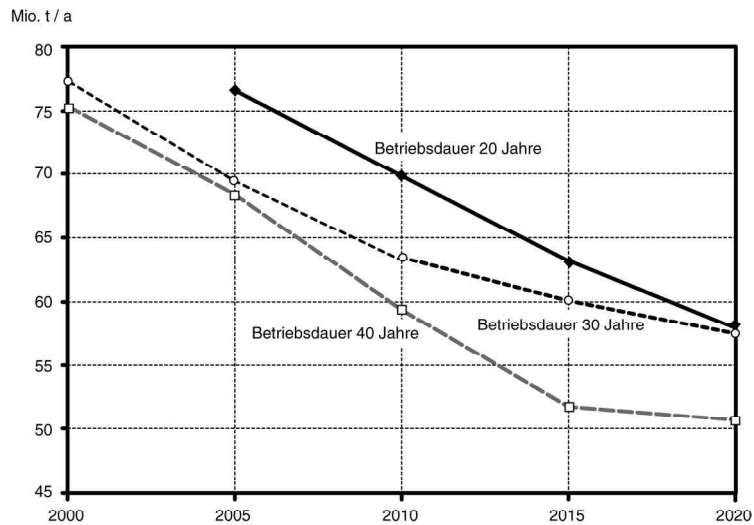


Abb. 15: CO<sub>2</sub>-Emissionen Baden-Württembergs bei Kernenergieausstieg mit unterschiedlichen maximalen Betriebsdauern für die Kernkraftwerke und zusätzliche Klimaschutzmaßnahmen<sup>33</sup>

<sup>33</sup> Der Datenpunkt für das Jahr 2000 bei 20 KKW-Betriebsjahren wurde nicht eingezeichnet, da der Vollzug dieser schnellen Ausstiegsvariante wegen des hohen kurzfristigen Ersatzbaubedarfs erst nach einer Übergangsfrist durchführbar erscheint.

Die Ergebnisse bestätigen die bereits 1994 im „Klimaschutzkonzept Baden-Württemberg“ dargestellte Einschätzung der Landesregierung, daß die proportionale Übernahme des Bundesziels für das Land unrealistisch sei<sup>34</sup>. In der Diskussion befinden sich statt dessen Orientierungsmarken von 70 Mio. t bis zum Jahr 2005 und 65 Mio. t bis zum Jahr 2010, die als Ziele bei einem Kernenergieausstieg mit maximalen Betriebsdauern der Kernkraftwerke von 30 Jahren und mehr erreichbar wären (Abb. 15). Dabei ist aber zu beachten, daß für die Zusatzmaßnahmen zugrunde gelegte Maßnahmenbündel zwar technisch zu realisieren wäre, seine Umsetzung aber zu erheblichen Zusatzkosten außerhalb der Stromerzeugung führen würde. Wenn diese Maßnahmen tatsächlich realisiert werden sollen oder müssen, wäre die damit verbundene wirtschaftliche Belastung einfacher aufzubringen, wenn die Zusatzkosten durch einen vorzeitigen Kernenergieausstieg vermieden oder möglichst gering gehalten werden, d.h. auf einen Kernenergieausstieg verzichtet oder der Ausstieg möglichst langfristig gestaltet wird.

### 3.7 Beiträge von Verhaltensänderungen zur Senkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen

Der heutige Energieverbrauch wird durch Lebensstile und die dadurch geprägten Verhaltensweisen bestimmt und könnte durch Verhaltensänderungen verringert werden. Diese Veränderungen können darin bestehen, Energie bewußt effizienter einzusetzen (z.B. Lüftungsverhalten in beheizten Räumen) und würden dann den Nutzen, der aus dem Energieverbrauch gezogen wird, nicht beeinträchtigen; sie könnten in der Hinnahme von Komforteinbußen bestehen (niedrig motorisierte Pkw, Umstieg auf öffentliche Verkehrsmittel, Nichtnutzung von Stand-by-Schaltungen), die dann den Kernnutzen der technischen Geräte nicht beeinträchtigen würden; und sie könnten in der Nichtinanspruchnahme von Energienutzungen (Verzicht auf Wäschetrockner, weniger und kürzere Freizeifahrten) bestehen. Die Grenze zwischen nutzenneutralen Verhaltensänderungen und Nutzeneinbußen – also Verzicht – ist fließend und letztlich subjektiv bestimmt.

Die Umsetzung energiesparender Verhaltensänderungen erfordert so zum Teil nur Einsicht, Informiertheit oder Selbstdisziplin, zum Teil aber auch – freiwillige oder erzwungene – Veränderungen der persönlichen Präferenzen. Hinweise auf

<sup>34</sup> Dies ist eine Folge des nun frühestens auf das Jahr 2000 anzusetzenden Handlungsbeginns für massive Klimaschutzmaßnahmen. Bei Einleitung massiver Klimaschutzmaßnahmen ab dem Jahr 1990 wäre eine CO<sub>2</sub>-Reduktion um rund 25 % bis zum Jahr 2005 nach den Ergebnissen des Projektes „Klimaverträgliche Energieversorgung in Baden-Württemberg“ realisierbar gewesen.

Veränderungen im Verhalten, die möglicherweise gesellschaftlich akzeptabel sein könnten, lassen sich aus den Ergebnissen der elf Bürgerforen<sup>35</sup> ableiten, die im Rahmen des Projektes „Klimaverträgliche Energieversorgung in Baden-Württemberg“ mit 220 zufällig ausgewählten Personen an sechs Orten Baden-Württembergs durchgeführt wurden. Aufgrund der besonderen Arbeitsbedingungen in den Bürgerforen – so konnten die Beteiligten mit Hilfe eines PC-Programms zur Bilanzierung von Energiesystemen<sup>36</sup> eigene Energieszenarien auf der Grundlage ihrer Präferenzen erstellen – kann vermutet werden, daß die mehrheitlich gewählten Maßnahmen zur Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen eine größere Aussagekraft haben als Ergebnisse von Meinungsumfragen<sup>37</sup> und bei entsprechender politischer Umsetzung auch gesamtgesellschaftlich als zumutbar oder sogar als erstrebenswert angesehen werden könnten.

Die mehrheitlich gewählten Maßnahmen in diesen Bürgerforen unterstützten die in Kapitel 3.6 berücksichtigten technischen Maßnahmen und zielten im Bereich des Verhaltens vor allem auf eine Veränderung der Mobilitätsansprüche: auf eine deutliche Abschwächung der Zuwächse im Personenverkehr, auf höhere mittlere Besetzung der Fahrzeuge und auf eine Verringerung der Kraftstoffverbräuche durch die Bevorzugung kleinerer Fahrzeuge beim Fahrzeugkauf.

Vor diesem Hintergrund werden die folgenden Änderungen im Verhalten der Bürger angenommen:

- Die Bereitschaft zu Fahrten steigt in Zukunft nicht weiter an; die gesamte Personenverkehrsleistung aller Verkehrsmittel verharrt in Baden-Württemberg ab dem Jahr 2000 auf dem Wert von rd. 129 Milliarden Personen-km, und der in der Trend-Entwicklung zugrunde gelegte Anstieg auf rd. 154 Milliarden Personen-km im Jahr 2020 wird nicht erreicht.
- Die Bereitschaft zur Mitnahme von Personen im eigenen Auto steigt und der durchschnittliche Besetzungsgrad der Pkw (durchschnittliche Anzahl von Personen pro Pkw; 1990: 1,4) sinkt nicht weiter ab wie im Trend, sondern kann gleitend auf einen Wert von 1,5 bis zum Jahr 2020 gesteigert werden.
- Veränderte Präferenzen beim Neuwagenkauf führen zum bevorzugten Kauf kleinerer und niedriger motorisierter Pkw. Die daraus folgende Umschichtung im Fahrzeugbestand führt - zusätzlich zu den technischen Verbrauchsverbesserungen – zu einer weiteren, gleitend einsetzenden Verringerung des

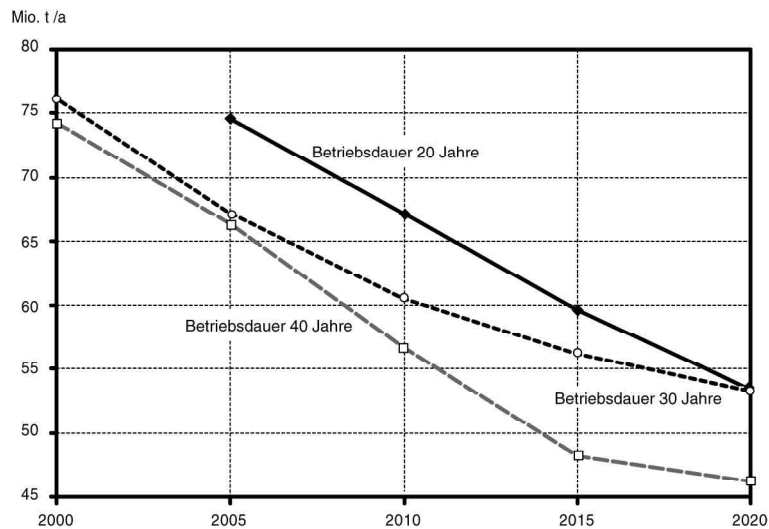
<sup>35</sup> G. Hörning, W. Weimer-Jehle: Bürgerforum Klimaverträgliche Energieversorgung. Teil 1 – Bürgergutachten, Akademie für Technikfolgenabschätzung in Baden-Württemberg, Stuttgart 1997

<sup>36</sup> W. Weimer-Jehle: ENSYS – Programm zur energetischen Bilanzierung von Energiesystemen, Akademie für Technikfolgenabschätzung in Baden-Württemberg, Stuttgart 1996

<sup>37</sup> H.-U. Nennen, G. Hörning: Energie und Ethik, Leitbilder im philosophischen Diskurs, Campus-Verlag Frankfurt 1999, S. 287 ff.

Durchschnittsverbrauchs im Bestand um 0,5 l/100 km bis zum Jahr 2020.  
 Der Durchschnittsverbrauch der Otto- und Diesel-Pkw liegt dann im Jahr 2020 bei rund 5,5 l/100 km (1990: 9,3 l/100 km).

Mit diesen Vorgaben – zusätzlich zu den in Kapitel 3.6 berücksichtigten technischen Maßnahmen – ergeben sich die in Abb. 16 dargestellten CO<sub>2</sub>-Emissionen für Baden-Württemberg für die in Abb. 15 zugrunde gelegten drei maximalen Betriebsdauern der Kernkraftwerke.



**Abb. 16: CO<sub>2</sub>-Emissionen Baden-Württembergs bei Kernenergieausstieg mit unterschiedlichen maximalen Betriebsdauern für die Kernkraftwerke und verändertem Verhalten im Personenverkehr**

Der Vergleich mit Abbildung 15 zeigt, daß die zusätzlich zu Kapitel 3.6 angenommenen Veränderungen im Verkehr die gesamten CO<sub>2</sub>-Emissionen im betrachteten Zeitraum nicht fundamental beeinflussen. Allerdings werden langfristig um rd. 4,5 Mio. t/a niedrigere Emissionen erreichbar. Die mindestens erforderliche Betriebsdauer der Kraftwerke, die in Baden-Württemberg die moderaten mittelfristigen Klimaschutzziele (70 Mio. t bis 2005, 65 Mio. t bis 2010) erreichbar werden ließen, verkürzen sich durch die zusätzlichen Maßnahmen auf einen Wert zwischen 20 und 30 Jahren.

Obwohl die gewählten Veränderungen in den Bürgerforen Zustimmung fanden, wird es jedoch nicht leicht sein, sie politisch in vollem Umfang durchzusetzen. Die Verkehrsentwicklung der letzten 30 Jahre verlief entgegengesetzt und war durch kontinuierliches Wachstum der Verkehrsleistungen gekennzeichnet. Hinzu kommt, daß als effektive Maßnahme zum Erreichen von Veränderungen im Verkehr im wesentlichen nur eine weitere Verteuerung des Individualverkehrs zur Verfügung steht, die zu den bereits realisierten und geplanten Steuererhöhungen hinzutreten würde.

### 3.8 Abhängigkeit der Ergebnisse von getroffenen Annahmen

Bei jeder Berechnung hängt die Verlässlichkeit der Ergebnisse von der Verlässlichkeit der Eingangsannahmen ab. In Untersuchungen von Zukunftsentwicklungen über mehrere Dekaden - wie in dieser Studie - gehen notwendig viele unsichere Annahmen ein, die die Resultate beeinflussen. Die Ergebnisse dieser Studie können daher auch nicht als präzise Prognosen, sondern lediglich als konsistente Abschätzungen der Größenordnung der zu erwartenden Kosten- und Emissionseffekte eines Kernenergieausstiegs gewertet werden. Um die in den vorangegangenen Kapiteln getroffenen Aussagen besser beurteilen zu können, muß man versuchen, die aus den gewählten Annahmen resultierenden Unsicherheiten der erzielten Ergebnisse abzuschätzen. Dazu werden im folgenden einige wichtige Eingangsannahmen variiert und die Wirkung dieser Veränderung auf ausgewählte Berechnungsergebnisse untersucht. Für alle Sensitivitätsuntersuchungen wird der Beispielfall eines Kernenergieausstieg bis zum Jahr 2019 (bei einer maximalen Betriebsdauer der Kernkraftwerke von 30 Jahren – s. Kapitel 3.3) ohne zusätzliche Klimaschutzmaßnahmen zugrunde gelegt.

#### Veränderte Energiepreisentwicklung

Die Energiepreise sind einerseits eine Schlüsseldeterminante für die Entwicklung des Kraftwerkparks und andererseits über den Zeitraum mehrerer Dekaden nicht mit Sicherheit vorherzusagen. Für die hier untersuchte Fragestellung des Zusammenhangs von Kernenergieausstieg und CO<sub>2</sub>-Emissionen ist vor allem die Preisrelation zwischen Importkohle und Erdgas kritisch. Diese Preisrelation steuert den Zubau von Ersatzkraftwerken und die Nutzung der verschiedenen fossilen Kraftwerktypen und beeinflusst so auch die CO<sub>2</sub>-Emissionen.

Gut begründet ist die grundsätzliche qualitative Aussage, daß für Kohle eine eher stabile Preisentwicklung zu erwarten ist: Hier gibt es auch langfristig große

und weltweit auf viele Produzenten verteilte Reserven. Bei Erdgas muß dagegen mittel- und langfristig mit steigenden Preisen gerechnet werden: Die Erdgasreserven sind begrenzter als bei Kohle, die Zahl unterschiedlicher Bezugsquellen wird für Deutschland in absehbarer Zeit eher abnehmen, und die Versorgung bei wachsender Nachfrage dürfte neue Investitionen in Nah- und Fernleitungen notwendig machen. Aktuelle Schätzungen der Energieversorger<sup>20</sup> gehen bei Erdgas von einer realen Preissteigerung von 1 %/a ab dem Jahr 2006 aus.

Im Hinblick auf eine zu erwartende verstärkte Nachfrage nach Erdgas im Fall eines Kernenergieausstiegs wurde in dieser Studie (s. Kapitel 3.1) mit einer Preissteigerung von real 2 %/a gerechnet. Diese Annahme wird im folgenden variiert. Analog zur Rechnung in den Kapiteln 3.4 und 3.5 werden die durchschnittlichen Mehremissionen und die durchschnittlichen jährlichen Mehrkosten eines Kernenergieausstiegs ohne zusätzliche Klimaschutzmaßnahmen bis zum Jahr 2019 bei einer realen Steigerung der Erdgaspreise von 1 %/a und 3 %/a untersucht (Tab. 4).

**Tabelle 4: Durchschnittliche jährliche Mehremissionen an CO<sub>2</sub> gegenüber 1990 und Mehrkosten im Zeitraum von 2000-2020 bei einem Kernenergieausstieg (bis zum Jahr 2019 ohne zusätzliche Klimaschutzmaßnahmen) und unterschiedlichen jährlichen Preissteigerungen für Erdgas**

| Preissteigerung Erdgas [%/a] | Mehremissionen [Mio. t/a] | Mehrkosten [Mio. DM/a] |
|------------------------------|---------------------------|------------------------|
| 1                            | 6,19                      | 262                    |
| 2 (entspr. Abb. 11, 12)      | 9,19                      | 286                    |
| 3                            | 9,52                      | 287                    |

Die geschätzten Mehrkosten eines Kernenergieausstiegs verändern sich danach bei unterschiedlichen Preisannahmen für das Erdgas nur wenig.

Ein stärkerer Einfluß zeigt sich bei den CO<sub>2</sub>-Emissionen, die bei günstiger Gaspreis-Entwicklung deutlich geringer ausfallen als in der mittleren Variante. Dagegen würden höhere Preissteigerungen nur geringe Wirkungen zeigen, weil bereits in der mittleren Variante (2 %/a) der überwiegende Teil des wegfallenden Stroms aus Kernenergie – bei den in der Rechnung zugrunde gelegten Zubau- und Nutzungsentscheidungen auf der Basis ökonomischer Kriterien – durch den dann preiswerteren Strom auf Kohlebasis ersetzt wird.

Eine andere Steigerungsrate der Erdgaspreise als 2 %/a wird demnach die geschätzten Mehrkosten eines Kernenergieausstiegs in Kapitel 3.5 nur wenig verändern. Eine geringere Steigerungsrate als 2 %/a könnte aber die in Kapitel 3.4 berechneten Mehremissionen verringern.

Neben den Energiepreisen, die die variablen Kosten bestimmen, können auch Veränderungen der Kapitalkosten und der fixen Betriebskosten die künftige Entwicklung beeinflussen.

Ein höherer Zinssatz für die Diskontierung verringert den Barwert künftig zu leistender Zahlungen und erhöht die Kapitalkosten – dies bewirkt eine Verminderung der berechneten Mehrkosten des Ausstiegs und eine Präferenzierung der Gaskraftwerke trotz ihrer hohen Brennstoffkosten, was zu einer Verringerung der CO<sub>2</sub>-Emissionen führt. Ein verringerter Zinssatz hat entsprechend entgegengesetzte Auswirkungen.

Eine Erhöhung der Betriebskosten der Kernkraftwerke, z.B. durch steigende Sicherheitsanforderungen und aufwendige Nachrüstungen, würde zwar die Energieerzeugungskosten insgesamt erhöhen, im hier durchgeführten Vergleich von Trend-Entwicklung und Kernenergieausstieg aber nur zu einer rechnerischen Minderung der Mehrkosten des Kernenergieausstiegs führen, da sich dann die Zubaukosten für neue Kraftwerke relativ verringern.

### Veränderte Bevölkerungsentwicklung

Die Bevölkerungszahl gehört zu den wichtigsten treibenden Größen des Energie- und Stromverbrauchs. Auch sie kann über größere Zeiten nur ungenau prognostiziert werden, insbesondere weil für ein Bundesland nicht nur die Geburten- und Sterberaten, sondern auch die Zu- und Abwanderungen eine wichtige Rolle spielen. Die Rechnungen in dieser Studie beruhen auf der mittleren Bevölkerungsentwicklung nach der Bevölkerungsvorausrechnung 1995 des Statistischen Landesamtes<sup>38</sup>, die – ausgehend von 1995: 10,319 Mio – einen Bevölkerungsanstieg bis zum Jahr 2010 auf 10,705 Mio. Personen und danach einen Abfall auf 10,523 Mio. bis zum Jahr 2020 prognostiziert.

Bei einer höheren Bevölkerungsentwicklung – wie in der Studie des IER<sup>10</sup> – würde die Bevölkerungszahl in Baden-Württemberg im Jahr 2020 10,872 Mio. Personen betragen (dies entspricht ungefähr der oberen Variante in<sup>38</sup>). Dementsprechend höher würde dann der Bedarf an Haushaltsstrom ausfallen. In welchem Umfang dadurch auch der gewerbliche Strombedarf steigt, wird davon ab-

<sup>38</sup> Baden-Württemberg in Wort und Zahl 5/97, Statistisches Landesamt Baden-Württemberg

hängen, ob zusätzliche Arbeitsplätze in anteiligem Ausmaß geschaffen werden können. Unter der Annahme, daß dies nur in geringem Umfang gelingt, könnte die höhere Bevölkerungsentwicklung zu einem Strom-Mehrbedarf von rund 0,6 TWh im Jahr 2020 gegenüber der in dieser Studie zugrunde gelegten Entwicklung führen. Die mit dieser Annahme für den erhöhten Strombedarf berechneten jährlichen Mehrkosten und Mehremissionen bei einem Kernenergieausstieg sind in Tab. 5 dargestellt.

**Tabelle 5: Durchschnittliche jährliche Mehremissionen an CO<sub>2</sub> gegenüber 1990 und Mehrkosten im Zeitraum von 2000-2020 bei einem Kernenergieausstieg (bis zum Jahr 2019 ohne zusätzliche Klimaschutzmaßnahmen) und unterschiedlichen Bevölkerungsentwicklungen**

| Bevölkerung im Jahr 2020<br>[Mio. Einwohner] | Mhremissionen<br>[Mio. t/a] | Mehrkosten<br>[Mio. DM/a] |
|--|-----------------------------|---------------------------|
| 10,523 (entspr. Abb. 11, 12)                 | 9,19                        | 286                       |
| 10,872                                       | 9,33                        | 286                       |

Die veränderte Bevölkerungsentwicklung im angenommenen Ausmaß hat danach keinen entscheidenden Einfluß auf die Aussagen der Studie. Dies liegt vor allem daran, daß eine veränderte Bevölkerungsentwicklung sowohl den Fall einer Kernenergie-Weiternutzung (Trend-Entwicklung) als auch den eines Kernenergieausstiegs beeinflusst und damit die hier untersuchten Veränderungen bei einem Ausstieg gegenüber dem Trend nur wenig berührt werden. Allerdings würde ein Bevölkerungsanstieg den Energieverbrauch und die Emissionen absolut erhöhen und damit das Erreichen von Klimaschutzziele erschweren.

#### Veränderung der Stromnachfrage

Der Strombedarf wird – neben der Bevölkerungsentwicklung – auch vom Wirtschaftswachstums, von Veränderungen in der Wirtschaftsstruktur und von der Effizienzentwicklung bei der Energienutzung beeinflusst. Gerade auf die Verbesserung der Effizienz wird in der politischen Diskussion große Hoffnung gesetzt. Da auch diese Einflußfaktoren alle nicht exakt prognostizierbar sind, wird im folgenden der Fall betrachtet, daß sich der Strombedarf aus unterschiedlichen Gründen deutlich anders entwickelt, als in dieser Studie zugrundegelegt. Statt der Annahme eines Anstiegs des Strombedarfs um rd. 7,3 % im Zeitraum 2000-2020 wird eine Stagnation des Bedarfs unterstellt, die sich z.B. aus einem ge-



ringen Wirtschaftswachstum (in der Studie 2 % BIP-Wachstum pro Jahr) ergeben könnte. Die daraus folgenden Veränderungen in Mehrkosten und Mehremissionen sind in Tab. 6 dargestellt.

**Tabelle 6: Durchschnittliche jährliche Mehremissionen an CO<sub>2</sub> gegenüber 1990 und Mehrkosten im Zeitraum von 2000-2020 bei einem Kernenergieausstieg (bis zum Jahr 2019 ohne zusätzliche Klimaschutzmaßnahmen) und verändertem Strombedarf**

| Strombedarfswachstum 2000–2020 | Mhremissionen [Mio. t/a] | Mehrkosten [Mio. DM/a] |
|--------------------------------|--------------------------|------------------------|
| + 7,3 % (entspr. Abb. 11, 12)  | 9,19                     | 286                    |
| 0 %                            | 9,00                     | 283                    |

Die Verringerung der Stromnachfrage hat danach im hier angenommenen Ausmaß keinen wesentlichen Einfluß auf die Aussagen der Studie. Dies liegt auch hier daran, daß die Veränderung sowohl den Fall einer Kernenergie-Weiternutzung (Trend-Entwicklung) als auch den eines Kernenergieausstiegs beeinflusst. Ein ähnliches Ergebnis würde sich auch für die in Kapitel 3.6 untersuchten Zusatzmaßnahmen ergeben, wenn diese auch im Fall der Kernenergie-Weiternutzung (Trend-Entwicklung) angesetzt würden.

Durch die betrachteten Variationen der Ausgangsannahmen für Energiepreise, Bevölkerungs- und Nachfrageentwicklung verändern sich bei einem Kernenergieausstieg nach 30 Jahren Betriebsdauer der Kernkraftwerke die berechneten durchschnittlichen jährlichen Mehremissionen in einem Bereich + 3 % bis – 32 % und die durchschnittlichen Mehrkosten von ± 0 % bis –8,4 %, was als Hinweis auf die Unsicherheiten der Resultate interpretiert werden kann. Von größtem Einfluß sind dabei Veränderungen – und damit die Unsicherheiten – in der künftigen Entwicklung der Energiepreise.

#### 4. Ein erweiterter Blick auf den Kernenergieausstieg

Die in der Koalitionsvereinbarung festgelegte Entscheidung zum Ausstieg aus der Kernenergie geht im Kern auf politische Debatten zurück, die in den 70er Jahren mit großer Intensität - damals im Kontext einer Anti-Atomwaffen-Debatte - geführt wurden und die der friedlichen Nutzung der Kernenergie einen hohen Symbolwert sowohl für die Befürworter als auch für die Gegner der Kernkraftnutzung verliehen haben. In der Folge hat sich in der deutschen Politik und den sie prägenden Parteien keine Position eindeutig durchsetzen können. Dies hat in der Praxis zu einem Moratorium in der Kernenergienutzung geführt: einerseits wurden die Entwicklungsmöglichkeiten der Kernenergie zunehmend eingengt und die F&E-Kapazitäten – vor allem in der Industrie - dementsprechend kontinuierlich verringert und andererseits wurden Kernreaktoren in den letzten beiden Dekaden in praktisch unverändertem Umfang und ohne breiten öffentlichen Widerstand zur Stromerzeugung verwendet. Dieses Moratorium hat auch dazu geführt, daß eine wirkliche gesellschaftliche Diskussion über die Argumente für und gegen eine Kernenergienutzung nicht stattfand, und daß der Ausstieg durch lang zurückliegende Parteitagebeschlüsse begründet werden muß. In der gegenwärtigen Situation wäre es wünschenswert und angemessen, über die Kernenergienutzung grundsätzlicher – als nur über die Länge von Restlaufzeiten – zu debattieren und die Gültigkeit der in der Vergangenheit vorgebrachten Argumente vor dem Hintergrund der inzwischen eingetretenen Entwicklungen im Umfeld der Energienutzung zu überprüfen. Gegenüber den 70er Jahren sind es vor allem die Diskussion um Klimaschutzziele, der stärker in den Vordergrund getretene Aspekt der Nachhaltigkeit, der Wegfall der Ost-West-Konfrontation und in jüngster Zeit die Energiemarkt-Liberalisierung, die hier eine Rolle spielen könnten.

- Der Klimaschutz erfordert nach den vorliegenden Erkenntnissen und den politischen Willensäußerungen eine weltweite Reduzierung der Freisetzung von CO<sub>2</sub>, das in den Industrieländern im wesentlichen aus der Verbrennung fossiler Energieträger stammt. Kernreaktoren stellen eine großtechnisch verfügbare Technik dar, sie erzeugen Strom praktisch CO<sub>2</sub>-frei und können so – zu vergleichsweise geringen Kosten - einen Beitrag zum Erreichen der Klimaschutzziele liefern. Der Verzicht auf die Kernenergienutzung erschwert das Umsetzen der politisch gesetzten Reduktionsziele, weil andere CO<sub>2</sub>-freie Energieträger oder -formen (Regenerative) Strom aus Kernenergie nicht beliebig rasch ersetzen können.
- Unter dem Aspekt der Nachhaltigkeit ist es erforderlich, nicht erneuerbare Ressourcen zu schonen, um künftigen Generationen Chancen zur Befriedi-

gung ihrer Bedürfnisse zu hinterlassen, die mit unseren vergleichbar sind. Die heute überwiegend genutzten Energieträger (Kohle, Erdöl, Erdgas, Uran) gehören alle zu den nicht erneuerbaren Ressourcen. Mittel- bis langfristig muß also erreicht werden, die Energieerzeugung mit wachsenden Anteilen auf erneuerbare Energieformen (vor allem Sonnenenergie) zu verlagern. Da eine derartige Umsteuerung des Energieerzeugungssystems auf längere Zeit mit erhöhten Kosten verbunden sein wird, kann diese Umstellung um so leichter erreicht werden, je weniger die Volkswirtschaft durch die zusätzlichen Kosten eines Kernenergieausstiegs belastet wird.

Im Hinblick auf das Ziel einer nachhaltigen Entwicklung sind auch die qualitativen Unterschiede der nicht erneuerbaren Energieträger wichtig. Kohle, Erdöl, Erdgas sind nicht nur Energieträger, sondern gleichzeitig auch Rohstoffe für viele Produkte. Uran ist kein anderweitig verwertbarer Rohstoff, es kann nur zur Energieerzeugung verwendet werden. Für eine nachhaltige Entwicklung wäre daher einerseits anzustreben, die fossilen Energieträger auch als Rohstoffe zu schonen, und nicht Uran – wie im Fall des Kernenergieausstiegs - durch fossile Energieträger zu ersetzen.

- Der Wegfall der Ost-West-Konfrontation hat der Nutzung der Kernenergie in Europa eine neue Dimension verliehen. Bereits vor dem Fall der Mauer war es unwahrscheinlich, daß Westeuropa insgesamt auf die friedliche Nutzung der Kernenergie verzichten würde. Nach dem Fall der Mauer ist diese Wahrscheinlichkeit vor dem Hintergrund der Bedeutung, die die Kernenergie für viele ehemalige Ostblockstaaten hat, noch geringer geworden. Ein Verzicht auf die Nutzung der Kernenergie nur in Deutschland bedeutet daher das Einschlagen einer deutschen Sonderentwicklung, die nach heutiger Sachlage kaum von den anderen großen europäischen Nationen geteilt werden wird.
- Die Energiemarkt-Liberalisierung bedeutet die Aufhebung des Gebietsschutzes und bietet den Stromverbrauchern die Möglichkeit, entfernte Stromanbieter mit der Versorgung zu beauftragen. Sie wurde im April 1998 durch Vollzug einer EU-Richtlinie zu deutschem Recht und stellt eine Zäsur mit noch nicht absehbaren Konsequenzen für den Elektrizitätsmarkt dar. Die Liberalisierung löst insbesondere den engen Zusammenhang zwischen Strombedarf und Stromerzeugung in einer Region auf, der in der Vergangenheit bestanden hat, und wandelt den Charakter der Endenergieform „Strom“ vom Versorgungsgut zum Wirtschaftsgut. Je nach Geschäftserfolg der baden-württembergischen Kraftwerksbetreiber kann die Stromerzeugung im Lande deutlich höher oder geringer ausfallen als es dem Eigenbedarf des Landes entspricht, wobei es die Auslegung der bestehenden Netze aber

kaum erlauben wird, kurz- oder mittelfristig einen überwiegenden Fremdbezug anzunehmen.

Eine mögliche Konsequenz eines durch die Bundespolitik veranlaßten Kernenergieausstiegs kann es daher sein, daß die abgeschalteten Kernkraftkapazitäten nicht oder nicht vollständig im Land ersetzt werden, sondern in Teilen durch vermehrten Strombezug aus anderen Bundesländern oder aus dem Ausland ausgeglichen werden. Auch sofern die in Baden-Württemberg ansässigen Kraftwerksbetreiber den Bau von Neu- und Ersatzkapazitäten vorsehen, ist damit nicht automatisch ein Standort in Baden-Württemberg verbunden. Welche Entwicklung hier tatsächlich eintreten wird, ist nicht absehbar.

Hinzu kommt, daß der tatsächliche Handlungsspielraum der Bundesregierung eingeschränkt wird. Diese kann zwar den verbrauchten Strom in Deutschland durch besondere Steuern national verteuern, sie kann aber – wegen der bestehenden Durchleitungsrechte – die Erzeugungskosten des in Deutschland verbrauchten Stroms national nicht mehr vollständig bzw. wettbewerbsneutral kontrollieren. Sonderbelastungen der Stromerzeugung in Deutschland beeinflussen so die Wettbewerbsposition der deutschen Kraftwerksbetreiber gegenüber ausländischen auch auf dem deutschen Markt.

Wenn die Energiemarkt-Liberalisierung zu einem vermehrten Stromimport infolge eines deutschen Kernenergieausstiegs führt, dann hängen dessen Wirkungen davon ab, wie der importierte Strom erzeugt wird. Würde der Strom aus Kernenergie in Baden-Württemberg durch Strom ersetzt, der aus Kernkraftwerken in Frankreich oder Osteuropa stammt, so wäre dies kein wirklicher Kernenergieausstieg.

Für eine umfassendere Diskussion eines Kernenergieausstiegs wären Erkenntnisse über die volkswirtschaftlichen Wirkungen beim Ausstieg aus der Kernenergie und der Förderung regenerativer Energien im Vergleich mit der Weiternutzung der Kernenergie (z.B. auf Arbeitsplätze) von großem Nutzen, bei heutigem Stand der Methodik aber kaum unzweifelhaft zu berechnen. Weiter wären die Auswirkungen einer Umstrukturierung des Energieversorgungssystems auf Ausbildung und Forschung an den Hochschulen zu berücksichtigen, die Bedeutung der Versorgungssicherheit bei Wegfall einer Energiequelle neu zu bewerten und so die Risiken der Kernenergienutzung, vor allem das Risiko einer Radioaktivitätsfreisetzung durch Havarie bei Betrieb, Transport oder Endlagerung, gegenüber den Risiken des Kernenergieausstiegs neu abzuwägen.

**Herausgeber**

*Akademie für Technikfolgenabschätzung in Baden-Württemberg*

**Autoren**

Diethard Schade und Wolfgang Weimer-Jehle

**Layout**

Hannelore Zimmermann, Neu-Ulm

**Umschlaggestaltung**

graphik machwerk, Ludwigsburg

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 09. September 1965 in der jeweils gültigen Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

© *Akademie für Technikfolgenabschätzung in Baden-Württemberg*  
Stuttgart 1999  
Printed in Germany

**Druck**

Rudolf-Sophien-Stift GmbH, Stuttgart