

## 5 Zielszenarien für Deutschland<sup>1 2 3 4</sup>

(1263) Die Enquete-Kommission „Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen der Globalisierung und der Liberalisierung“ wurde vom 14. Deutschen Bundestag ausdrücklich damit beauftragt, ihre Analysen zu Rahmenbedingungen, Potenzialen und Optionen der zukünftigen Energieversorgung in einer Szenarienmodellierung zusammenzuführen. Ihre Darstellung im folgenden Kapitel erfolgt mit dem Ziel einer quantitativen Analyse der Optionen für eine nachhaltige Entwicklung des Energiesystems Deutschlands, die für den „politischen Willensbildungsprozess zur künftigen Energiepolitik eine belastbare, an wissenschaftlich-systematischen Kriterien orientierte Beratungsgrundlage“ schaffen soll.<sup>5</sup>

(1264) In dieser Analyse werden verschiedene, in sich konsistente, langfristige Entwicklungspfade des Energiesystems bis 2050 untersucht. Die Ergebnisse der Szenariensimulationen sollen zur Bewertung dieser Entwicklungspfade auf der Grundlage der Nachhaltigkeitsindikatoren der Enquete-Kommission herangezogen werden. Zu diesem Zweck vergab die Kommission einen entsprechenden Studienauftrag an ein Konsortium aus der Prognos AG, Basel, dem Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER) der Universität Stuttgart und dem Wuppertal Institut für Klima, Energie und Umwelt (WI), Wuppertal. Die Projektleitung und -koordination oblag dabei der Prognos AG, während die energiewirtschaftlichen Modellierungen von IER und WI in Modellkonkurrenz vorgenommen wurden. Die Erarbeitung, Analyse und Bewertung dieser Szenarien sollte in einem iterativen Prozess in Abstimmung mit der Kommission detaillierte quantitative Aussagen zur Entwicklung des Energiesystems im engeren Sinne bereitstellen. Auf diese Weise sollten belastbare und wohlbegründete Aussagen zur energiewirtschaftlichen Umsetzung einer nachhaltigen Energiewirtschaft und ihren volkswirtschaftlichen Effekten bis 2050 getroffen werden.

---

<sup>1</sup> Minderheitsvotum der Kommissionsmitglieder von CDU/CSU und FDP:

Dissens besteht in der Wahl der Basisdaten der unterschiedlichen Szenarien, ihrer Praktikabilität und Bewertung insbesondere vor dem Hintergrund der Nachhaltigkeitskriterien und den daraus resultierenden Ergebnissen - vgl. hierzu Minderheitsvotum, insbesondere Kapitel 5.

<sup>2</sup> Minderheitsvotum des Kommissionsmitglieds der Fraktion der PDS einschließlich des von ihr benannten Sachverständigen Prof. Dr. Jürgen Rochlitz siehe am Ende des Kapitels.

<sup>3</sup> Sondervotum des Sachverständigen Prof. Dr. Jürgen Rochlitz siehe am Ende des Kapitels.

<sup>4</sup> Sondervotum des Sachverständigen Prof. Dr. Alfred Voß siehe am Ende des Kapitels.

<sup>5</sup> Deutscher Bundestag (2000), BT-Drs. 14/2687.

(1265) Im Einzelnen wurden in der Studie neben dem in Kapitel 4.2 dargestellten Referenzszenario drei „Zielszenarien“ modelliert, welche die Basis des vorliegenden Kapitels bilden. Unter dem gemeinsamen Paradigma des Klimaschutzes unterscheiden sich ihre Szenariophilosophien vor allem in den energie- und technologiepolitischen Hauptstoßrichtungen:

- der Forcierung der Effizienz in der Umwandlung und Anwendung von Energie, die, gekoppelt mit CO<sub>2</sub>-Abscheidung, ein Weiternutzen der Kohlen ermöglichen sollte (Szenariengruppe „Umwandlungseffizienz“, kurz UWE),
- einem offensiver Ausbau der erneuerbaren Energien, der, gekoppelt mit Energieeinsparung, Deutschlands Technologieführerschaft unterstützen sollte (Szenariengruppe „REG/REN Offensive“, kurz RRO), und
- Reetablierung der Kernenergie, gekoppelt mit CO<sub>2</sub>-Abscheidung und –Speicherung (Szenariengruppe „Fossil-Nuklearer Energiemix“, kurz FNE).

(1266) Im Gegensatz zum Referenzszenario erfordern alle Zielszenarien umfassende politische Interventionen, zum Beispiel auf Wunsch der Minderheit der CDU/CSU und FDP Arbeitsgruppe die Aufhebung der Atomgesetznovelle vom 27. April 2002 im Szenario FNE. Alle Interventionsszenarien sollten weiterhin auf das von der Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ des 13. Deutschen Bundestages vorgegebene Ziel hinarbeiten, die Treibhausgasemissionen Deutschlands im Jahre 2050 gegenüber 1990 um 80 % zu reduzieren.

(1267) Diese Grundrichtungen wurden durch verschiedene Neben- und Variantenrechnungen ergänzt. In allen Berechnungen wurde von derselben gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Entwicklung wie beim Referenzszenario (vgl. Kapitel 4.2) ausgegangen. Es sollte insbesondere untersucht werden, ob es technisch möglich ist, die Energiewirtschaft klimaverträglich umzugestalten und welche Restriktionen dabei gegebenenfalls beachtet werden müssen, damit es nicht zu negativen wirtschaftlichen und sozialen Entwicklung gegenüber dem Referenzszenario kommt.

(1268) Bei der Ausgestaltung der Szenarien und im Prozess der Anfertigung des Gutachtens legte die Kommission großen Wert auf ein Höchstmaß an Transparenz. Die in Kapitel 4 dargestellten Rahmendaten, Optionen und Potenziale in Bezug auf Technologien, Verhalten bzw. Strukturwandel sollten als Input für die Modelle herangezogen werden. Als Resultat sollten die Auswirkungen auf die Nachhaltigkeitsziele und die Notwendigkeit von trade-offs zwischen konkurrierenden Zielen ermittelt werden, und zwar in möglichst detaillierter sektor- bzw. technologieorientierter Differenzierung für Deutschland. Ziel war weiterhin die Möglichkeit einer quantitativen Darstellung gesamtwirtschaftlicher Effekte (Kosten, Wirtschaftsentwicklung und Arbeitsplätze) für die Zeithorizonte 2020, 2030 und 2050.

(1269) Ein synoptischer Vergleich vorliegender europa- bzw. weltweiter energiewirtschaftlicher Szenarien sollte thematisieren, inwieweit die Entwicklungsmuster der verschiedenen Szenarien für Deutschland mit einer Entwicklung der europäischen und weltweiten Energieversorgung vereinbar sind, die ihrerseits dem Leitbild der Nachhaltigkeit genügt.

(1270) Im Verlauf der Arbeit stellte sich heraus, dass unter anderem aus Zeitgründen viele Abstriche an diese Ziele gemacht werden mussten. Verzögerungen und Abweichungen vom ursprünglichen Zeitplan wurden durch die intensiven Abstimmungs- und Austauschprozesse zusätzlich notwendig. So legte z.B. das Konsortium einen intern abgestimmten, für die Kommission aber nicht akzeptablen Basisdatensatz vor. Daraufhin entwickelte die Kommissionsmehrheit und später die Minderheit mit Unterstützung der Institute jeweils einen eigenen Datensatz. Die Gutachter haben auch einige andere Rahmendaten und Szenarioannahmen abweichend von den Vorgaben behandelt bzw. unterschiedlich interpretiert. Das Konsortium war nicht in der Lage, den von der Kommission erwarteten Abstimmungs- und Analyseprozess intern durchzuführen (vgl. auch Kapitel 5.2 und 5.3). Aus Sicht der Kommission ist der interne Abstimmungsprozess, die Festlegungen in den Szenarien und die Analyse der Ergebnisse zunächst nicht ausreichend transparent dargestellt worden. Dies hat zu Verzögerungen durch Nachfragen und Nachbearbeitungen geführt (siehe auch Kapitel 5.2 und 5.3).

### **Szenarietechnik und verwendete Modelle**

*»The sign of a truly educated man is to be deeply moved by statistics.«*

*George Bernhard Shaw*

(1271) Seit einigen Jahrzehnten werden die in der Naturwissenschaft entwickelten Methoden der Simulation und Szenarienerstellung immer häufiger auch auf soziale und politische Fragestellungen angewandt. Ein historisch bedeutsames Beispiel ist der Bericht des „Club of Rome“ in den Siebzigerjahren über die „Grenzen des Wachstums.“<sup>1</sup> Dort wurde mit dem sogenannten Forrester-Weltmodell die wirtschaftliche und politische Entwicklung der Welt simuliert, um eine Vorhersage für den Ressourcenverbrauch und die Umweltverschmutzung zukünftiger Jahrzehnte zu erzeugen. Dieser Bericht war Anlass zu ersten Diskussionen über unsere Wachstumsgesellschaft und ihre Zukunft. In den Siebzigerjahren stellte man auch in der Diskussion über die Energieprobleme, die unter anderem durch die Ölkrise in Gang gekommen war, mit sehr stark vereinfachten Verfahren Prognosen des zukünftigen Energieverbrauchs auf, die sich aus heutiger Sicht fast ausnahmslos als falsch erwiesen haben. Die tatsächlich eingetretene Entwicklung des Energieverbrauchs blieb weit hinter den Erwartungen zurück.

(1272) Aus der Weiterentwicklung der Denkschule, die hinter dem Forrester-Weltmodell stand, sind systemdynamische „Top-Down“-Modelle, z.B. vom Energiesystem eines Landes, hervorgegangen. In diesen Modellen wird von hochaggregierten Zahlen auf gesamtwirtschaftlichem Niveau, z.B. aus der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung, ausgegangen, und das zu simulierende System quasi von oben herab in seine Teilsysteme zerlegt, die sich damit immer weiter ausdifferenzieren und detaillierter darstellen lassen. Reicht die Genauigkeit des Modells nicht aus, können einzelne Bestandteile wieder als Subsysteme aufgefasst werden, was die Vorhersagegenauigkeit des Modells erhöhen kann.

(1273) Eine andere Denkschule versucht, quasi von unten – also „Bottom-Up“, vom kleinsten Bestandteil aus – ein Modellsystem aufzubauen. Hier wird z.B. von einzelnen Kraftwerken und Energieanwendungen oder von der Gesamtheit aller Kraftwerke und Energieanwendungen eines Typs ausgegangen, die sehr detailliert dargestellt werden. Die Prognosen für diese detaillierten Bestandteile werden dann schrittweise immer weiter hoch aggregiert.

(1274) Beide Denkschulen und die daraus resultierenden Modelle haben ihre Stärken und Schwächen, aber beide ermöglichen uns im Rahmen ihrer Grenzen, in eine mögliche Zukunft zu schauen, zumal jedes Modell zwar einer Schule zuzuordnen ist, jedoch auch stets Elemente der anderen enthält. Wichtigste Einschränkung aller Modelle ist ihre Subjektivität: In jedem Modell wird ein Teil der Welt simplifiziert und mit mathematischen Verfahren abgebildet, um Vorhersagen zu machen; doch welcher Teil mit welchen Berechnungsverfahren und Rahmendaten abgebildet wird, ist unterschiedlich und hängt von den subjektiven Einschätzungen und Wertsetzungen des Modellbildners ab. Es lässt sich sehr schwer entscheiden, welcher der vielen Ansätze zur Modellierung eines sozioökonomischen Systems am besten geeignet ist.

(1275) Modelle bilden die funktionalen Zusammenhänge der wichtigsten Bestandteile sozioökonomischer Systeme und ihre gegenseitigen Abhängigkeiten mathematisch ab; mit Hilfe eines Szenarios wird die zukünftige Entwicklung einiger interessanter Größen dynamisch berechnet. Ein Szenario ist eine Festschreibung eines Teils der zukünftigen Entwicklung unserer Gesellschaft, quasi ein Drehbuch der Zukunft. Es werden Annahmen über Bestandteile des Systems gemacht. Beispielsweise können in einem Szenario die zukünftige Entwicklung der Bevölkerungszahl, die technologische Entwicklung und die Geschwindigkeit, mit der sich neue Techniken verbreiten, vorgeschrieben sein. Die Szenariophilosophie, der diese Einzelvorgaben in konsistenter Weise folgen sollen, gibt dabei die generelle Stoßrichtung vor.

---

<sup>1</sup> Meadows D. u.a. (1972)

(1276) In verschiedenen Einzelvorgaben über die Entwicklung von Preisen, Technologien, Gesellschaft etc. in verschiedenen Szenarien drücken sich wiederum die persönlichen Einschätzungen der Modellierer aus. Hier kommen die subjektiven Erwartungen der verschiedenen Gruppen zum Tragen, und manchmal auch ihre Interessen oder die Interessen der Auftraggeber solcher Studien. Doch sind diese unterschiedlichen Annahmen wissenschaftlich erlaubt und korrekt. Szenarien, in denen das zentralistische Energiesystem von heute fortgeschrieben wird und erneuerbare Energien nur marginale Bedeutung haben, sind als Gedankenspiele ebenso möglich wie solche, in denen die erneuerbaren Energien eine hohe Bedeutung haben. Beides sind zulässige Sichtweisen einer möglichen Zukunft. Darüber hinaus kann keine energiewirtschaftliche Vorhersage strukturelle Neuorganisationen von Gesellschaften und ihre Wirkungen auf das regionale und überregionale Energiesystem berechnen. Es ist also z.B. unmöglich, plötzliche Umbrüche wie den Zusammenbruch der Sowjetunion vorherzusagen.

(1277) Trotz der unterschiedlichen Ansätze, Modelle und Ergebnisse kann man den Modellen und ihren Szenarien entnehmen, unter welchen technischen, sozialen und wirtschaftlichen Bedingungen bestimmte Ziele erreicht werden können und welche politischen Rahmenbedingungen hierfür nötig sind. Ein Vergleich der verwendeten Szenarien lässt erkennen, in welche Richtung sich der Trend bei unterschiedlichen Voraussetzungen entwickelt. Innerhalb des „Lösungsraumes“, der abgesteckt von extremen Entwicklungen erkennbar wird, wird sich – falls die Annahmen für die Rahmenbedingungen einigermaßen zutreffen – wahrscheinlich die Zukunft entfalten.

(1278) Um möglichst robuste Ergebnisse zu bekommen, hat sich die Kommission bei der Vergabe der Aufträge an zwei Institute (WI und IER) gewandt, die verschiedene Simulationsverfahren benutzen und die in den letzten Jahren in der energiepolitischen Diskussion unterschiedliche Positionen bezogen haben. Beiden Instituten wurde ein gemeinsames Referenzszenario und ein gemeinsamer Basisdatensatz vorgegeben, um größtmögliche Vergleichbarkeit zu erreichen.

(1279) Beide für die Szenarienrechnungen verwendeten Modellsysteme gehen von Referenzenergiesystemen aus und sind aufgrund der abgebildeten Technologievielfalt, auf der sie basieren, den **bottom-up-Energiemodellen** zuzuordnen. So können z.B. Stromimporte aus erneuerbaren Energien aus sehr unterschiedlichen Technologien und Ländern (Norwegen, Island, Mittelmeerraum usw.) abgebildet und in der Modellrechnung ausgewählt werden, die Stromerzeugung aus Windenergie wird sowohl off-shore als auch on-shore entsprechend der Windgeschwindigkeitsverteilung in unterschiedliche Klassen eingeteilt und die Photovoltaik kann sowohl auf Freiflächen als auch auf Dachflächen jeweils mit zwei unterschiedlichen Technologien zum Einsatz kommen. Auf der Nachfrageseite wird z.B. im Bereich der Raum-

wärme nach Bebauungsdichten, Gebäudetypen, Altersklassen und Dämmstandards der Häuser sowie nach verschiedenen Versorgungsvarianten (Objekt-, Nah-, Fernwärmeversorgung) unterschieden.

(1280) Beim **Modell des IER** handelt es sich um ein Optimierungsmodell, das in der verwendeten Variante das mathematische Verfahren der linearen Programmierung nutzt. Die Zielfunktion minimiert die gesamten Kosten des Energiesystems im betrachteten Zeitraum (2000 bis 2050). Als Kostenterme gehen Investitionen, fixe und variable Betriebskosten, Bewachungs- und Stilllegungskosten sowie der Restwert von Anlagen bei deren Stilllegung als Gutschrift in die Zielfunktion ein. Dadurch wird erreicht, dass die berücksichtigten Energieumwandlungs-, Nutzungs- und Einsparttechnologien – unter Beachtung der gegebenen Randbedingungen – in der Reihenfolge ihrer Kostengünstigkeit zum Einsatz gelangen. Anlagen einer bestimmten Technologie (z.B. Solarkollektoren zur Warmwasserbereitung) werden solange eingebaut, als sie gemäß ihrem jeweiligen Potenzial zu einem bestimmten Kostenansatz bereitsteht. Ist das Potenzial ausgeschöpft, gelangt die nächstteurere Technik zum Einsatz. Dies geschieht solange, bis die Nachfrage für Energiedienstleistungen gedeckt ist. Teurere Technologien werden nicht berücksichtigt. Ausgehend vom Referenzszenario wird so die Treibhausreduktion streng kostenorientiert im Rahmen der gesetzten Grenzen durchgeführt. Ergebnis der Berechnungen sind die Marktanteile unterschiedlicher Techniken und die dafür zu installierenden Kapazitäten. Diese Marktanteile können allerdings durch Ober- und Untergrenzen weiter eingeschränkt werden. Zusätzlich ist es möglich, technikübergreifende Bedingungen zu formulieren, wie z.B. die Einhaltung einer Obergrenze der Emission von Treibhausgasen für das gesamte Energiesystem oder einen Mindestanteil für die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen.

(1281) Im Gegensatz zu dem IER Modell werden im **Modellsystem des WI**, das in erster Linie einem Simulationsansatz folgt, mit den Marktanteilen einzelner Technologien wesentliche Variablen exogen vorgegeben. Ihre Bestimmung erfolgt iterativ in Abhängigkeit von den festgesetzten Zielwerten (z.B. Minderung der THG-Emissionen). Als wichtiger Faktor geht hier neben den Kosten auch eine Einschätzung über die Umsetzbarkeit in die Überlegungen ein. Für die Modellrechnungen werden deshalb (auf dem Referenzszenario aufsetzende) Maßnahmen definiert (z.B. Markteinführungsprogramm für Kleinstbrennstoffzellen), die in Abhängigkeit von der Umsetzungsintensität (als Maßstab für die Breite und Tiefe des mit der Umsetzung verbundenen Eingriffs in das System) bis zur Zielerreichung ausgeschöpft werden. Mit diesem Modellansatz wird versucht, sich bereits bei der Bestimmung der Marktanteile intensiv und technologiespezifisch mit den jeweils zu erwartenden Hemmnissen auseinanderzusetzen, die unter Umständen technisch möglichen und aus Nachhaltigkeitsüberlegungen heraus wünschenswerten Entwicklungen im Wege stehen könnten. Die einzelnen, zur Zielerfüllung ver-

fügbaren Optionen stehen im WI-Modellsystem damit nicht nur im wirtschaftlichen Wettbewerb miteinander, sondern sie konkurrieren zudem hinsichtlich ihrer Umsetzbarkeit. Dieser Simulationsansatz des WI wird mit spezifischen Optimierungsansätzen in Submodellen kombiniert, z.B. einer komponentenscharfen Abbildung der Gebäudesanierungsmöglichkeiten.

(1282) Ein **Vergleich der beiden Modellsysteme** zeigt, dass im IER-Modell die Kostenparameter entscheidende Bedeutung für die Szenarienergebnisse haben. Die bereitstehenden technischen Optionen werden vom Optimierungsalgorithmus unter dem Blickwinkel der Kostenoptimierung ausgewählt. Im Modell des WI wird auf der Basis von Expertenschätzungen eine eher maßnahmengetriebene, gesamtsystemare Lösung gesucht, in der in sich langfristig konsistente Maßnahmenbündel abgeleitet werden. In vorgelagerten Submodellen werden dabei die Entscheidungen über den Anlagenmix getroffen. Grundlagen hierfür sind ein konkretes, den Szenarienvorgaben folgendes Maßnahmenbündel und Überlegungen über einen kontinuierlichen (politikgesteuerten) Marktaufbau (Technologieentwicklung).

(1283) Die Modellrechnungen folgen grundsätzlich der Strategie, diejenigen Optionen zur THG-Reduktion zuerst umzusetzen, die mit den geringsten Mehrkosten verbunden sind bzw. die die höchsten Kosteneinsparungen erbringen. Bei diesen Berechnungen wird auf Basis der gesamtwirtschaftlichen Kosten argumentiert; Steuern und Subventionen werden nicht betrachtet.

(1284) Ein Beispiel soll dieses Vorgehen verdeutlichen: Wird im Reduktionsszenario ein verbrauchsoptimiertes Fahrzeug anstelle eines in der Referenz angenommenen Durchschnittsfahrzeugs eingesetzt, dann werden dessen Investitionsmehrkosten (gegenüber dem Durchschnittsfahrzeug) ohne Mehrwertsteuer in Ansatz gebracht. Von diesen Mehrkosten werden die Einsparungen an Kraftstoff (im Vergleich zum Referenzfahrzeug) über die gesamte Lebensdauer des Fahrzeugs abgezogen, wobei mögliche Unterschiede in der Lebensdauer zwischen den beiden Fahrzeugen berücksichtigt werden. Dabei wird der Kraftstoff ebenfalls zu Kosten ohne Steuern (also rund 20 Cent statt 1 EURO) bewertet. Zwischen gesamtwirtschaftlichen und einzelwirtschaftlichen Kosten können also erhebliche Unterschiede bestehen.

(1285) In der realen Welt spielen Steuern und andere Instrumente eine entscheidende Rolle, um das individuelle Verhalten zu lenken, das sich an einzelwirtschaftlichen Kalkülen orientiert. In der Modellwelt wird von diesen Steuern (und Subventionen) abstrahiert, um THG-Reduktionsstrategien zu entwickeln, die unter gesamtwirtschaftlichen Aspekten kostengünstig sind. Wie die daraus resultierenden Mehr- oder Minderbelastungen letztlich unter den Mitgliedern der Gesellschaft verteilt werden, hängt dann wiederum entscheidend von den eingesetzten Instrumenten (z.B. Steuern, Abgaben, Zertifikate etc.) ab. Wenn in den nachfolgenden Szenarienbeschreibungen Hinweise auf verhaltenslenkende Instrumente gemacht werden, so

haben diese erläuternden Charakter. Gerechnet wurde immer mit den gesamtwirtschaftlichen Ansätzen.



## 5.1 Beschreibung der Zielszenarien

(1286) Gemeinsames Merkmal aller Zielszenarien soll die Reduktion der THG um 80 % relativ zu 1990 und die Simulation relativ zum Referenzszenario sein. Die Enquete-Kommission hat einstimmig beschlossen, dass im Rahmen der Szenarienerstellung auch Minderheiten die Möglichkeit haben sollen, die von ihnen als mögliche zukünftige Entwicklung betrachteten Rahmenbedingungen in einem Szenario durchrechnen zu lassen. Eine große Mehrheit der Kommission möchte mit dem Szenario „REG/REN-Offensive“ eine Welt abbilden, in der die Energieversorgung soweit wie möglich auf die Stützpfeiler forcierter Effizienz (REN) und erneuerbarer Energieträger (REG) gestellt wird. Die Arbeitsgruppe der CDU/CSU und FDP möchte mit dem Szenario „Fossil-nuklearer Energiemix“ eine Welt berechnen lassen, in der die Energieversorgungsstruktur gegenüber der heutigen im Wesentlichen unverändert bleibt und der Zubau von Kernkraftwerken weiterhin erlaubt ist. Ein weiterer Teil der Kommission wollte untersuchen, inwieweit durch verstärkte Nutzung der Potenziale der Umwandlungseffizienz die Klimaschutzziele erreicht werden können. In diesem Szenario schien es angebracht, auch CO<sub>2</sub>-Endlagerung als Bestandteil des Szenarios zuzulassen. Zwei Minderheitenpositionen drücken sich in den beiden Varianten zum RRO-Szenario aus. In der einen wird ein sofortiger Kernenergieausstieg untersucht. In der anderen wird untersucht, ob in Deutschland eine Vollversorgung auf der Basis erneuerbarer Energien möglich ist.

(1287) Bestandteil des Beschlusses war auch, alle Hauptszenarien und die Variante „Schneller Atomausstieg“ auf der Basis abgeglichener Daten von den beiden Instituten WI und IER in Modellkonkurrenz rechnen zu lassen. Da der von dem Konsortium vorgelegte Datensatz von der Kommission nicht akzeptiert wurde, entwickelte die Kommission mit Unterstützung der Institute einen Basisdatensatz, der die Vergleichbarkeit der Szenarien untereinander sicherstellen sollte. Die CDU/CSU-Fraktion konnte diesen Datensatz nicht mittragen und legte einen eigenen Basisdatensatz vor. Er weicht vom Mehrheitsdatensatz in der Bewertung der Kosten und der Kostenentwicklung der erneuerbaren Energien und der Kernenergie ab. Mit diesem anderen Basisdatensatz wurden die Hauptszenarien von IER ein weiteres Mal modelliert. Dieser zusätzliche Basisdatensatz und die damit durchgeführten Berechnungen stellen einen guten Test der Szenarien auf ihre Sensitivität gegenüber unterschiedlichen Kosten und Kostenentwicklungen dar. Damit sind von der Kommission insgesamt 14 Szenarien und Varianten untersucht worden. Für die Zielszenarien wurden viele Grundannahmen des Referenzszenarios (vgl. Kapitel 4.2) übernommen. Insbesondere beruhen sie auf den gleichen Annahmen über Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstum, Wohnraumentwicklung, Gesamtverkehrsleistung und Energieträgerpreise. Diese sind in Tabelle 4-4 dargestellt. Aus diesen Größen ergibt sich

auch die Gesamtnachfrage nach Energiedienstleistungen, die für alle Szenarien konstant gehalten wird. Die Szenarien unterscheiden sich jedoch grundsätzlich in der Beantwortung der Frage, welcher End- und Primärenergieverbrauch notwendig ist und welche Technologien und Energieträger genutzt werden, um diese konstanten Energiedienstleistungen zu erbringen.

(1288) Weiterhin werden noch einige andere Vorgaben für alle Zielszenarien beibehalten: Die Stromerzeugung muss nach Vorgaben der Kommission in allen Szenarien (mit Ausnahme des REG-Stromimports) in Deutschland erfolgen. Der Anteil am Stromverbrauch, der aus fossilen Kraftwerken gewonnen wird, wird per Saldo vollständig in Deutschland erzeugt. Der Gesamtanteil heimischer Energieträger an der Energieversorgung wird nicht festgeschrieben. Nur für den Anteil einiger heimischer Energieträger – also Braunkohle, deutsche Steinkohle und erneuerbare Energien – werden detaillierte Vorgaben gemacht: Der deutschen Braunkohle wird für die Jahre 2010 und 2020 ein Mindestanteil von 500 bzw. 200 PJ zugestanden. Der heimischen Steinkohle wird angesichts der notwendigen hohen Subventionen sogar nur für 2010 ein Mindestverbrauch von 300 PJ gesichert. Diese Zielvorgaben hält die Kommission für sinnvoll, um den Strukturwandel in diesem Bereich sozialverträglich zu gestalten. In späteren Jahren muss sich die heimische Braun- und Steinkohle im Wettbewerb mit Importkohle und Erdgas sowie zunehmend mit den erneuerbaren Energien bei der effizienten Stromerzeugung bewähren.

(1289) Die Verteilung der Verkehrsnachfrage auf verschiedene Verkehrsträger (Modal Split) ist bei den Zielszenarien gegenüber der Referenz geändert worden. Bei den Szenarien „Umwandlungseffizienz“ und „REG/REN-Offensive“ wurde sie extern vorgegeben, und nur beim Szenario „Fossil-nuklearer Energiemix“ in der IER-Simulation ergibt sie sich als Ergebnis der Modellrechnung.

(1290) Alle Zielszenarien folgen einer immanent konsistenten „Szenariophilosophie“, die im Folgenden dargestellt wird. Bei der Umsetzung dieser Philosophie für die Modellierung ist es notwendig, die jeweilige Szenariophilosophie in wenigen Rahmendaten wiederzugeben. Solche Rahmenvorgaben sind beispielsweise Quoten für bestimmte Energieträger oder -technologien, ordnungspolitische Vorgaben, z.B. für die Wärmeschutzstandards an Gebäuden oder Trendfortschreibungen. Diese Maßnahmen werden in den Modellen unterschiedlich implementiert. Tabelle 5-1 stellt die Rahmendaten im Überblick dar. Welche Rahmenbedingungen für die einzelnen Strategien zu setzen sind, um sie energiewirtschaftlich sozial und ökonomisch nachhaltig zu gestalten, wird in Kapitel 6 diskutiert werden.

Tabelle 5-1: Rahmendaten

Zielszenarien					
Zielszenario 1	"Umwandlungseffizienz"				
Zielszenario 2	"REG/REN-Offensive"				
Zielszenario 3	"Fossil-nuklearer Energiemix"				
Veränderung energiebedingter Treibhausgase gegenüber 1990:					
	2010	2020	2030	2040	2050
	-21%	-35%	-50%	-65%	-80%
In allen Szenarien identisch:					
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nachfrage nach Energiedienstleistungen</li> <li>- Energiepreise auf internationaler Ebene</li> <li>- Stromimportsaldo</li> </ul>					
Rahmendaten	2000	2020	2050		
Bevölkerung (Mio)	82	81	68		
BIP (Mrd DM)	3956	5636	7802		
Wohnfläche (Mio qm)	3308	4142	3972		
Verkehrsleistung					
Mrd Pkm	968	1138	1027		
Mrd tkm	483	732	964		

### 5.1.1 Szenario „Umwandlungseffizienz“ (UWE)

(1291) Das Szenario „Umwandlungseffizienz“ zielt darauf ab, dass die Effizienzpotenziale insbesondere im Umwandlungssektor verstärkt genutzt werden, um Klimaschutzziele und Kernenergieausstieg gleichzeitig zu erreichen. Bei der Entwicklung der Vorgaben für dieses Szenario ließ sich die Enquete-Kommission von der Überlegung leiten, dass sich die hier vermuteten Zielkonflikte in Chancen für die deutsche Wirtschaft verwandeln lassen. Das heißt, die gewählte Nachhaltigkeitsstrategie der Umwandlungseffizienz soll diejenigen Energieinnovationen fördern, welche die vorhandene (fossile) heimische Wirtschaft effizienter und damit auch im internationalen Wettbewerb leistungsfähiger werden lassen.

(1292) Das Szenario stellt beispielhaft eine technikorientierte Entwicklung mit marginalen Eingriffen in die bestehenden Strukturen dar. Derzeitige Entwicklungen in den Verstromungstechnologien, auf den Rohstoffmärkten, bei den Standards für Energieeffizienz und in der öffentlichen Meinung werden – unterstützt von Annahmen über die Technologien der Zukunft – langfristig fortgeschrieben. Die öffentliche Hand geht in einem gewissen Umfang vorbildhaft voran (z.B. verstärkte Initiierung kommunaler Energiekonzepte, Bezug grünen Stroms, Erhöhung der Effizienz eigener Anlagen usw.).

### 5.1.1.1 Versorgungsstruktur

(1293) Das Szenario „Umwandlungseffizienz“ ist im Wesentlichen ein angebotsorientiertes Szenario. Dies gilt auch für die Stromerzeugung. Die Nutzung der Kernenergie soll in diesem Referenzszenario gemäß der Vereinbarung zwischen der Bundesregierung und den Kernkraftwerksbetreibern vom 14. Juni 2000 sowie der darauf fußenden Novelle des Atomgesetzes vom 27. April 2002 auslaufen. Der Kraftwerkspark wird im Rahmen des bereits 2005 anlaufenden Reinvestitionszyklus, der durch das allmähliche Auslaufen der Kernenergie verstärkt wird, kontinuierlich mit Anlagen in Deutschland erneuert. Bei der Energiewandlung und -nutzung werden gegenüber dem im Referenzszenario zu Grunde gelegten Trend verstärkt moderne Technologien mit hoher Energieeffizienz eingesetzt.

(1294) Dabei spielt auch die effiziente Kraft-Wärme-Kopplung eine zentrale Rolle. Die bestehenden Anlagen werden sukzessive durch neue Anlagen mit einer höheren Stromkennzahl ersetzt. Heizwerke in der Industrie werden durch Heizkraftwerke substituiert. Die Stromerzeugung erfolgt im Jahr 2050 zu mindestens 40 % in KWK-Anlagen. Dies ist doppelt so viel wie im Referenzszenario und bedeutet, dass die KWK ihren Anteil an der Stromerzeugung gegenüber heute in etwa vervierfacht. In anderen europäischen Staaten wie den Niederlanden oder Dänemark ist dieser Anteil von 40 % heute schon in etwa erreicht beziehungsweise sogar deutlich überschritten. Vor allem dezentrale Anlagen werden hier in Zukunft eine größere Rolle spielen. Auch Brennstoffzellen auf der Basis von Erdgas gewinnen bei der Raumwärmebereitstellung und bei der dezentralen Stromerzeugung an Bedeutung.

(1295) Trotz höherer Effizienz bei Strombereitstellung geht die Kommission davon aus, dass der Widerspruch zwischen der Nutzung fossiler Brennstoffe und dem Klimaschutz ohne CO<sub>2</sub>-Abtrennung und -Entsorgung nicht gänzlich aufgehoben werden kann, insbesondere bei der mit hohen spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen belasteten Kohleverstromung. Umgekehrt könnte, falls sich die CO<sub>2</sub>-Endlagerung technisch darstellen lässt, die Kohle mittelfristig eine Bedeutung im Energiemix Deutschlands behalten und so als „Brücke zur nachhaltigen Energiewirtschaft“ dienen. Kohle hat gegenüber den anderen fossilen Energien Vorteile: Deutschland verfügt über beträchtliche eigene Kohleressourcen, von denen insbesondere die Braunkohle unter wirtschaftlich vertretbaren Bedingungen förderbar ist. Weltweit sind mittelfristig ausreichende Steinkohle-Ressourcen vorhanden, so dass eine Verknappung nicht zu befürchten ist. Deshalb wird eine Clean-Coal-Strategie (IGCC und Druckkohlenstaubfeuerung) verfolgt, verbunden mit der Abtrennung von CO<sub>2</sub> im Bereich großer Kraftwerke und Heizkraftwerke sowie Kohlevergasungsanlagen. Derartige Anlagen sind heute im Forschungs- bzw. Entwicklungsstadium (vgl. Kapitel 4.3.5).

(1296) Die Kommission geht davon aus, dass in einem solchen Szenario die energiewirtschaftlichen Akteure in Deutschland derartige Technologien zügig zur Marktreife entwickeln. Für die Deponierung des abgetrennten CO<sub>2</sub> soll auf mittelfristig und langfristig ausreichende Kapazitäten in Europa zurückgegriffen werden. Diese Annahme wird von einer Mehrheit der Kommission als sehr optimistisch eingeschätzt.

(1297) Den erneuerbaren Energien wird in diesem Szenario bis 2050 noch keine überragende Rolle zugemessen. Der Ausbau der regenerativen Energien zur Stromerzeugung wird im Wesentlichen wie im Referenzszenario vorgegeben – sie erreichen im Jahr 2050 mindestens 20 % an der Nettostromerzeugung (WI) bzw. am Nettostromverbrauch (IER). Allerdings sollen die erneuerbaren Energiequellen hier anders als im Referenzszenario bereits im Jahr 2010 einen Anteil von mindestens 12,5 % an der Stromerzeugung erreichen und damit die Vorgaben der EU-Kommission erfüllen.<sup>1</sup> Fortgeschrittene Methoden des Lastmanagements erlauben einen deutlich steigenden Anteil fluktuierender regenerativer Energiequellen an der Stromerzeugung von mindestens 30 %.

(1298) Der Import von Strom aus erneuerbaren Energien könnte die verminderten Anstrengungen in Deutschland kompensieren ohne die Treibhausbilanz negativ zu beeinflussen. Im Ausland herrschen stellenweise günstigere Bedingungen für ihre Entwicklung als in Deutschland (Windenergie an Küsten, solarthermische Kraftwerke in sonnenreichen Ländern). Dennoch wird der Import zunächst als vernachlässigbar angesehen und soll auch im Jahr 2050 nicht mehr als 10 % des Strombedarfs ausmachen. Diese enge Begrenzung wurde gewählt, um der heimischen Energieerzeugung einen möglichst großen Stellenwert zu sichern.<sup>2</sup>

#### **5.1.1.2 Energienutzung**

(1299) Ebenso wichtig wie die Umwandlungseffizienz ist nach Ansicht der Kommission die Steigerung der Effizienz auf der Nutzerseite, wie in Kapitel 4.3 ausführlich dargestellt. Im Wärmemarkt, aber auch im Strommarkt, werden Energieeinsparungen im Wesentlichen durch eine kostenorientierte Ausschöpfung der Einsparpotenziale erzielt. Im Industriebereich werden Energieeinsparmaßnahmen bei Strom und Prozesswärme gemäß ihrer Kostengünstigkeit verstärkt umgesetzt. Sehr hohe unausgeschöpfte Effizienzpotenziale und gleichzeitig einen hohen

---

<sup>1</sup> Europäische Union (2001j): Richtlinie 2001/77/EG (ABl. EG L283/33ff.)

<sup>2</sup> Es ist allerdings zu hinterfragen, ob im Jahr 2050 diese Abgrenzung noch Sinn machen wird. In Deutschland genutzter Wind- oder Solarstrom aus EU-Ländern wie Schweden oder Spanien dürfte, weiteres Zusammenwachsen der EU vorausgesetzt, dann hierzulande kaum mehr als Stromimport gelten. Es ist davon auszugehen, dass dann auch Importabhängigkeit nur noch sinnvoll für die EU zu definieren sein wird.

Anteil am Endenergieverbrauch bietet der Altbaubestand. Es ist deshalb besonders bedeutsam, dass die Sanierungsrate im Gebäudebestand gegenüber dem Referenzszenario deutlich erhöht wird. Als Erfahrungswert müssen in einem Jahr im Mittel etwa 2,5 % der Altbauten ohnehin saniert werden. Im Referenzszenario wird davon ausgegangen, dass rund 20 % dieser Gebäude auch energetisch optimiert werden. Das bedeutet jährlich eine energetische Sanierung von 0,5 % des Gesamtbestandes. Das Szenario „Umwandlungseffizienz“ setzt hier Raten von 1,5 % des Gesamtbestandes (WI) bzw. steigend von 1,0 % im Jahr 2010 bis auf 2,5 % im Jahr 2050 (IER) an. In der Lesart des IER wird mithin am Endpunkt der Entwicklung im Jahr 2050 praktisch jedes Gebäude, das ohnehin saniert werden muss, auch energetisch optimiert.

(1300) Die Mindestanforderungen bei Neubauten und Altbausanierung werden wie im Referenzszenario gegenüber der heute gültigen Energieeinsparverordnung (EnEV) noch einmal deutlich auf Niedrigenergiehaus-Niveau reduziert. Im Jahr 2050 ist das Niveau damit doppelt so streng gesetzt wie heute (EnEV minus 50 %).

(1301) Auch im per se dezentralen Wärmemarkt bleiben in diesem Szenario weiterhin fossile Energien dominant. Allerdings liegt auch das Schwergewicht des Biomasse-Einsatzes und der Geothermienutzung auf der Wärmeseite. Zunächst findet dieser Einsatz in Einzelanlagen statt, später kommt Biomasse auch vermehrt in Nahwärmesystemen zum Zuge.

### 5.1.1.3 Verkehr

(1302) Im Verkehrsbereich wird der Modal Split von der Kommission vorgegeben und erkennbar zu energiesparenderen Verkehrsträgern (auch zum nicht-motorisierten Verkehr) verlagert (vgl. Tabelle 5-2).

**Tabelle 5-2: Vorgaben zum Modal Split im Szenario „Umwandlungseffizienz“**

<b>Personenverkehr in Mrd. Pkm</b>	<b>2010</b>	<b>2020</b>	<b>2030</b>	<b>2040</b>	<b>2050</b>
Übergang von MIV in Richtung ÖSPV	1%	2%	4%	6%	8%
Übergang von MIV in Richtung Bahnen	1%	2%	3%	5%	7%
Übergang MIV in Richtung nicht mot. Verkehr	1%	2%	3%	4%	5%
Übergang Flug in Richtung Bahn	0%	1%	2%	4%	6%

  

<b>Güterverkehr in Mrd. tkm</b>	<b>2010</b>	<b>2020</b>	<b>2030</b>	<b>2040</b>	<b>2050</b>
Übergang Straße fern nach Bahn	1%	2%	3%	5%	8%
Übergang Straße fern nach Schiff	1%	2%	3%	5%	7%

(1303) Tabelle 5-3 stellt die Vorgaben in Bezug auf den Kraftstoffverbrauch des Verkehrs dar. Um die Erreichung der Klimaschutzziele zu unterstützen, werden vermehrt biogene Kraftstoffe

eingesetzt, die im Jahr 2030 einen Anteil von mindestens 12 % erreichen. Fahrzeuge mit erdgasbasierten Brennstoffzellenantrieben haben höhere Marktanteile als im Referenzszenario. Eine Mindestquote für Wasserstoff als Treibstoff für Busse oder Flugzeuge wird jedoch – im Gegensatz zu Szenario RRO – nicht vorgegeben. Das Effizienzpotenzial wird bei allen Fahrzeugen zu signifikanten Anteilen ausgeschöpft.

**Tabelle 5-3: Vorgaben für den Flottenverbrauch im Szenario „Umwandlungseffizienz“**

	2010	2020	2030	2040	2050
Flottenverbrauch Personenfahrzeuge Neu in L/100 km	6,0	5,0	4,0	3,5	3,0
Effizienzsteigerung bei Bussen (gegenüber Ref.)	5%	8%	11%	14%	17%
Effizienzsteigerung bei Straße fern (gegenüber Ref.)	5%	8%	11%	14%	17%
Anteil Biomasse an Treibstoffen	6%	12%	12%	absolut gleichbleibend	absolut gleichbleibend
Anteil Wasserstoff betriebener Busse	0%	0%	0%	0%	0%
Anteil Wasserstoff betriebener Flugzeuge	0%	0%	0%	0%	0%

### 5.1.2 Szenario „REG/REN-Offensive“ (RRO)

(1304) Im Szenario „REG/REN-Offensive“ stellt die Kommission die Energieversorgung verstärkt auf die Stützpfeiler forcierter Effizienz (REN) und erneuerbarer Energieträger (REG). Die Kombination dieser beiden Strategien ermöglicht es, die Nettoemissionen an CO<sub>2</sub> und die Risiken für die menschliche Gesundheit simultan nachhaltig zu minimieren. Dabei war es der Kommission wie in allen anderen Szenarien wichtig, die Nachfrage nach Energiedienstleistungen konstant zu halten, also keine Einschnitte in den Verbrauchssektoren in Kauf zu nehmen, aber trotzdem durch die systematische Verbesserung der erneuerbaren Energietechnologien und der Effizienzpotenziale – die ja nach den Ausführungen in Kapitel 4 noch wesentliche Anteile des heutigen Energieverbrauchs darstellen – einen exklusiven Wettbewerbsvorteil für deutsche Technologien und Know-How-Träger zu erarbeiten. Dies gilt auch für Kenntnisse im Managementbereich und „business models“, wie dem Energiedienstleistungsprinzip, das sich unter den Annahmen des Szenarios „REG/REN-Offensive“ durchsetzt. Die REG/REN-Strategie ist zudem bestens geeignet, um die Vorbildfunktion, die Deutschland in der Klimapolitik weltweit erfüllt, weiter zu stärken und auszubauen.

(1305) Das Szenario „REG/REN-Offensive“ sieht daher vor, den Anteil der erneuerbaren Energiequellen auf mindestens 50 % im Jahre 2050 auszubauen, mit der Perspektive einer regenerativen Vollversorgung im Jahr 2100. Weil die gesteigerte Energieeffizienz gleichzeitig zur absoluten Reduktion von Primär- und Endenergieverbrauch gegenüber dem Referenzszenario führt, sollte das Ziel, die Treibhausgasemissionen um -80 % in 2050 gegenüber 1990 zu reduzieren, damit ohne weitere Annahmen erreichbar sein. Effizienzgewinne sind dabei vor allem in

den Verbrauchssektoren, aber soweit möglich auch im Energiesektor selbst, durch Verringerung der Umwandlungsverluste zu erzielen. In Varianten zum Szenario „REG/REN-Offensive“ wird untersucht, ob auch schon im Jahr 2010 auf Kernkraft verzichtet werden kann, und inwieweit bereits im Jahr 2050 der Energiebedarf vollständig auf der Basis regenerativer Energieträger gedeckt werden kann.

(1306) Im Szenario „REG/REN-Offensive“ ist ein grundlegender Strukturwandel im Energiesektor erforderlich. Auch wenn dieser nicht direkt und quantitativ in den Modellvorgaben der Kommission festgelegt wird, ergibt sich doch aus der niedrigen Energiedichte der erneuerbaren Energieträger ein automatischer Trend zur verteilten und verbrauchsnahe Erschließung und Umwandlung von Energie. Die öffentliche Hand soll hier beispielgebend für andere Akteure vorangehen, z.B. durch verstärkte Initiierung kommunaler Energiekonzepte, Bezug grünen Stroms, Effizienzerhöhung und energetische Sanierung eigener Liegenschaften. Zusätzlich ergeben sich Systemveränderungen, die zu deutlichen Verschiebungen in den Aufgabenfeldern aller Akteure führen. Trotzdem werden im Folgenden die Einzelvorgaben des Szenarios entlang der traditionellen Aufteilung zwischen Versorgung und Nutzung diskutiert.

#### **5.1.2.1 Versorgungsstruktur**

(1307) Für erneuerbare Energieträger wird von der Kommission ein expliziter Ausbaupfad vorgegeben. Während für das Jahr 2010 das EU-Ziel von 12,5 % des Stromverbrauchs aus regenerativen Quellen gedeckt werden soll, soll dieser Anteil bis 2020 auf 20 % steigen. Von da an soll in jeder Dekade ein zusätzliches Zehntel des Stromverbrauchs aus erneuerbaren Quellen bereitgestellt werden. Es wird angenommen, dass im Jahr 2010 noch keine Importkapazitäten für regenerativ erzeugten Strom aus dem europäischen Ausland zur Verfügung stehen, dass diese aber nach und nach ausgebaut werden, so dass alle 10 Jahre ein weiteres Zwanzigstel des Stromverbrauchs auch durch importierten „grünen“ Strom gedeckt werden kann. Auch der Anteil der erneuerbaren Energien am gesamten Energieverbrauch soll sich bis 2050 auf 50 % steigern, wobei er jedoch zunächst langsamer, ab 2030 dann schneller steigen soll.

(1308) Wie in der Referenz und im Szenario „Umwandlungseffizienz“ wird die Kernkraft gemäß der Atomgesetznovelle vom 27. April 2002 auslaufen. Die Stromimportbilanz für fossilen und nuklearen Strom soll ausgeglichen sein. Die Vorgaben für einheimische Kohlenutzung werden wie in den anderen Zielszenarien gegenüber der Referenz auf ein Minimum zurückgefahren. Abtrennung und Speicherung von Kohlendioxid sind nicht zulässig. Für den Anteil der Energiebereitstellung aus gekoppelter Produktion von Strom und Wärme werden keine Vorgaben gemacht.



### 5.1.2.2 Energienutzung

(1309) Im Industriebereich werden Energieeinsparungen bei Strom und Prozesswärme ebenfalls verstärkt umgesetzt. Maßgeblich ist ihre Kostenstruktur. Modelltechnisch wird in diesem Szenario die Begrenzung der Energieeffizienzsteigerung aus dem Referenzszenario aufgehoben.

(1310) Die Mindestanforderungen bei Neubauten und Altbaurenovierung werden wie im Referenzszenario gegenüber der derzeit gültigen Energieeinsparverordnung noch einmal deutlich verschärft. Im Referenzszenario wird bereits ein Niedrigenergiehausniveau angenommen, das im Jahr 2050 doppelt so streng sein wird wie heute (EnEV minus 50 %). Hier zeichnet die Szenarienvorgabe direkt eine ordnungspolitische Intervention vor. Darüber hinaus wird im Szenario RRO die Sanierungsrate von Neubauten, die im Referenzszenario 2,5 % beträgt, um 30 % erhöht. Bei der Sanierung von Neubauten wird ein gegenüber heute erhöhter aber konstanter (WI) bzw. ein innerhalb des Modellierungszeitraumes steigender Anteil (IER) auch energetisch optimiert, so dass pro Jahr 2 % (WI) bzw. 1 - 2,5 % (IER) des Altbaubestandes zum Niedrigenergiestandard übergehen.

### 5.1.2.3 Verkehr

(1311) Auch im Verkehrssektor, für den im Referenzszenario die höchsten Zuwächse an CO<sub>2</sub>-Emissionen vorhergesagt werden, gibt es Vorgaben. Insbesondere wird im Szenario RRO angenommen, dass von dem beträchtlichen Anteil an Kurzfahrten unter 1 km Länge im Jahre 2050 80 Mrd. Personenkilometer mehr mit nicht-motorisierten Verkehrsmittel zurückgelegt werden (vgl. Tabelle 5-4). Bei WI werden auch die Auslastungsgrade sowohl im Güter- als auch im Personenverkehr erhöht.

**Tabelle 5-4: Vorgaben zum Modal Split im Szenario „REG/REN-Offensive“**

<b>Personenverkehr in Mrd. Pkm</b>	<b>2010</b>	<b>2020</b>	<b>2030</b>	<b>2040</b>	<b>2050</b>
Übergang von MIV in Richtung ÖSPV	2%	4%	7%	10%	12%
Übergang von MIV in Richtung Bahnen	2%	4%	7%	9%	11%
Übergang MIV in Richtung nicht mot. Verkehr	1%	3%	5%	8%	10%
Übergang Flug in Richtung Bahn	2%	4%	6%	8%	10%

  

<b>Güterverkehr in Mrd. tkm</b>	<b>2010</b>	<b>2020</b>	<b>2030</b>	<b>2040</b>	<b>2050</b>
Übergang Straße fern nach Bahn	3%	5%	8%	11%	15%
Übergang Straße fern nach Schiff	1%	2%	4%	7%	10%

(1312) Das Effizienzpotenzial wird bei allen Fahrzeugen zu signifikanten Anteilen ausgeschöpft. Neu zugelassene Fahrzeuge im Jahr 2050 haben somit einen durchschnittlichen Verbrauch von 3 Litern Benzinäquivalenten. Es werden vermehrt biogene Kraftstoffe eingesetzt, die im Jahr 2030 einen Anteil von mindestens 15 % erreichen, und deren Verbrauch danach absolut konstant bleiben soll. Zusätzlich wird nun auch Wasserstoff eingesetzt, in Bussen für mindestens 25 % der Fahrleistung, in Flugzeugen für mindestens 5 % (vgl. Tabelle 5-5).

**Tabelle 5-5: Vorgaben zum Kraftstoffverbrauch für Szenario „REG/REN-Offensive“**

	<b>2010</b>	<b>2020</b>	<b>2030</b>	<b>2040</b>	<b>2050</b>
Flottenverbrauch Personenfahrzeuge Neu in (l/100km)	6,0	5,0	4,0	3,5	3,0
Effizienzsteigerung bei Bussen (gegenüber Ref.)	5%	10%	15%	20%	25%
Effizienzsteigerung bei Straße fern (gegenüber Ref.)	5%	10%	15%	20%	25%
Anteil Biomasse an Treibstoffen	6%	12%	15%	absolut gleichbleibend	absolut gleichbleibend
Anteil Wasserstoff betriebener Busse	0%	2%	6%	12%	24%
Anteil Wasserstoff betriebener Flugzeuge	0%	0%	1%	2%	5%

#### 5.1.2.4 Varianten

(1313) Unter dem Eindruck der Terroranschläge vom 11. September wurden zusätzlich zu diesem Szenario „REG/REN-Offensive“ noch zwei Varianten gerechnet, die untersuchen sollten, inwieweit es energiewirtschaftlich möglich ist, die Verletzlichkeit und die Risiken des deutschen Energiesystems kurz- bzw. langfristig zu verringern.

(1314) Zur kurzfristigen Risikovermeidung wurde eine Szenariovariante so angelegt, dass ein vollständiger Ausstieg aus der Atomkraft nicht erst im dritten Jahrzehnt dieses Jahrhunderts erfolgt, sondern bereits im Jahr 2003 („Schneller Ausstieg“, RRO-V3). Die modelltechnische Umsetzung ließ eine solche Vorgabe frühestens für das Jahr 2010 zu. Um auf die Strommengen aus den Kernkraftwerken verzichten zu können, sollen alle bestehenden Kraftwerksreser-

ven mobilisiert und nach Möglichkeit neue Kapazitäten zugebaut werden. Falls dies nicht ausreicht, um die Lücke zu schließen, kann auch konventionell erzeugter Strom ausnahmsweise aus dem Ausland importiert werden. Für diesen Strom wird ein Preis von 5 Ct./kWh angesetzt. Die Gutachter weisen allerdings darauf hin, dass sie entsprechend große Stromimportmengen zu diesem Preis als kurzfristig nicht auf dem Markt verfügbar einschätzen. Die Variante wurde von beiden Instituten in Modellkonkurrenz gerechnet.

(1315) In der zweiten Variante „Solare Vollversorgung“ soll die gesamte Energieversorgung bis 2050 auf die Basis von erneuerbaren Energiequellen gestellt werden. Das erfordert sowohl zusätzliche Effizienzmaßnahmen als auch eine Reduktion des Einsatzes fossiler Rohstoffe auf das von nicht-energetischen Anwendungen bedingte Minimum. In diesem Szenario wird zusätzlich zum Import regenerativ erzeugten Stroms auch der Import CO<sub>2</sub>-frei erzeugten Wasserstoffs erlaubt. Diese Variante wurde nur von IER modelliert.

### 5.1.3 Szenario „Fossil-nuklearer Energiemix“ (FNE)

(1316) Im Szenario „Fossil-nuklearer Energiemix“ bleibt die Energieversorgung gegenüber der heutigen im Wesentlichen unverändert. Unter Nachhaltigkeitsgesichtspunkten bleibt als einzige Einschränkung der allen Zielszenarien gemeinsame Reduktionspfad für Treibhausgasemissionen. Wichtigstes Merkmal dieses Szenarios ist die Möglichkeit zum Ausbau der Kernenergie in Deutschland.

(1317) Das Szenario ist dadurch gekennzeichnet, dass die ökologischen Nachhaltigkeitsziele möglichst nur unter Nutzung der Steuerungsmechanismen von Märkten erreicht werden sollen. Die Energiepolitik hat hier allein die Aufgabe, die Rahmenbedingungen so zu setzen, dass liberalisierte Märkte und nicht der Staat die Technologien bestimmen. Ökologische Lenkungssteuern werden abgeschafft.

(1318) Die öffentliche Hand geht bei der Ausschöpfung von kostengünstigen Nachhaltigkeitspotenzialen beispielhaft voran.

#### 5.1.3.1 Versorgungsstruktur

(1319) Die Möglichkeit zum Bau von Kernkraftwerken nach 2010 ist in diesem Szenario gegeben. Kernenergie stellt sogar eine der wesentlichen Säulen des Energiesystems dar. Im Rahmen dieses Szenarios wird angenommen, dass keinerlei soziale oder politische Hemmnisse den Ausbau hindern. Es wird weiterhin angenommen, dass für den notwendigen Brennstoffkreislauf genügend Transportmöglichkeiten vorliegen, dass diese Transporte national und international ungestört ablaufen und dass für die anfallenden radioaktiven Abfälle genügend

Endlager zur Verfügung stehen. Es wurde auch angenommen, dass ein solcher Kernenergiepfad keine preissteigernde Wirkung auf die Kosten hat. Die Mehrheit der Kommission hält keine dieser Annahmen für realistisch.

(1320) Der Nettoimport von konventionell erzeugtem Strom wird wie in allen Szenarien ausgeschlossen. Für die heimischen Kohlen werden die Mindestmengen stark reduziert. Effiziente Kohlekraftwerke stehen zur Verfügung. CO<sub>2</sub>-Abtrennung und -Speicherung sind explizit erlaubt. Die Nutzung beider Technologien ergibt sich aus finanziellen Effizienzabwägungen.

(1321) Im Bereich der Kraft-Wärme-Kopplung ist vor allem der Ersatz bestehender Anlagen durch effizientere Neuanlagen mit höherer Stromkennzahl sowie die Verdichtung der Nutzung in bestehenden Gebieten von Bedeutung. Bei industriellen Großverbrauchern werden verstärkt ineffiziente Heizwerke durch Heizkraftwerke ersetzt. Blockheizkraftwerke und Brennstoffzellen werden nach Kostengesichtspunkten ausgebaut. Eine explizite, quantitative Vorgabe zum Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung ergeht jedoch nicht.

(1322) Der Ausbau der erneuerbaren Energien erfolgt bis 2010 wie in der Referenz. Der weitere Ausbau ist abhängig von den Kosten im Vergleich zu den anderen zur Verfügung stehenden Energietechnologien. Ein Import von regenerativen Energieträgern oder regenerativ erzeugtem Strom ist – soweit wirtschaftlich – möglich. Wärme aus erneuerbaren Quellen wird, entsprechend ihrer Kosten im Vergleich zu den anderen zur Verfügung stehenden Technologien, zur CO<sub>2</sub>-Reduktion genutzt.

### **5.1.3.2 Energienutzung**

(1323) Maßnahmen zur Energieeinsparung in allen Bereichen werden in dem Umfang umgesetzt, wie sie kostengünstig sind. Kosteneffiziente Ausschöpfung der Potenziale von Technologien mit höheren Umwandlungswirkungsgraden und Effizienzverbesserungsmöglichkeiten durch Steigerung der Anlagenleistung werden bewusst ausgenutzt.

(1324) Explizite Vorgaben zur Verschärfung der Energieeinsparverordnung oder zur Sanierungsrate im Altbestand werden nicht gemacht. Die Rate der energetischen Sanierung steigt bei IER in 0,5 %-Schritten pro Dekade d.h. auf 2,5 % in 2050; bei WI verbleibt sie konstant bei 1,3 %, liegt damit aber immer noch deutlich höher als heute. Es wird angenommen, dass dies „natürliche“ Raten der energetischen Sanierung sind, die nicht von einer ordnungspolitischen Intervention oder Informationskampagnen unterstützt werden. Die Umsetzung der Potenziale erfolgt nach Kostenkriterien.

### **5.1.3.3 Verkehr**

(1325) Der Modal Split im Szenario „Fossil-nuklearer Energiemix“ wurde von IER nach ökonomischen Kriterien optimiert; WI übernahm hier die Vorgaben für das Szenario „Umwandlungseffizienz“ (vgl. Tabelle 5-2). In beiden Fällen ergeben sich daher Veränderungen gegenüber dem Referenzszenario.

### **5.1.4 Überblick über die Szenarienannahmen**

(1326) Tabelle 5-6 stellt die Szenarienvorgaben im Überblick zusammen.

Tabelle 5-6: Alle Szenarienvorgaben im Überblick

	Zeitpunkte	Umwandlungseffizienz	REG- / REN-Offensive	Fossil-nuklearer Energiemix
<b>Nachfrage nach EDL</b>		wie Referenz	wie Referenz	wie Referenz
<b>THG-Reduktionspfad <sup>a</sup></b>	2010	-21%	-21%	-21%
	2020	-35%	-35%	-35%
	2030	-50%	-50%	-50%
	2040	-65%	-65%	-65%
	2050	-80%	-80%	-80%
<b>CO<sub>2</sub>-Abscheidung / -Deponierung</b>		zulässig <sup>b</sup>	nicht zulässig	zulässig <sup>b</sup>
<b>Energiebereitstellung</b>				
<b>Nutzung der Kernenergie</b>		gemäß Vereinbarung vom 14.06.2000	gemäß Vereinbarung vom 14.06.2000	Weiternutzung bestehender und Zubau neuer Kernkraftwerke möglich <sup>c</sup>
<b>Nutzung heimischer Steinkohle (in PJ)</b>	2010	> 300	> 300	> 300
	2020 ab 2030	keine Vorgabe keine Vorgabe	keine Vorgabe keine Vorgabe	keine Vorgabe keine Vorgabe
<b>Nutzung heimischer Braunkohle (in PJ)</b>	2010	> 500	> 500	> 500
	2020 ab 2030	> 200 keine Vorgabe	> 200 keine Vorgabe	> 200 keine Vorgabe
<b>Importsaldo konventionell erzeugten Stroms</b>		0%	0%	0%
<b>REG-Anteil Strom <sup>d</sup></b>	2010	> 12,5% <sup>e</sup>	> 12,5% <sup>e</sup>	> 12,5% <sup>e</sup>
	2020	mind. wie Referenz	> 20,0%	
	2030	mind. wie Referenz	> 30,0%	keine Vorgabe
	2040	mind. wie Referenz	> 40,0%	
	2050	mind. wie Referenz	> 50,0%	
<b>REG-Anteil am Primärenergieverbrauch <sup>f</sup></b>	2010	mind. wie Referenz	>4,0%	
	2020	mind. wie Referenz	>8,0%	
	2030	mind. wie Referenz	>16,0%	keine Vorgabe
	2040	mind. wie Referenz	>33,0%	
	2050	mind. wie Referenz	>50,0%	
<b>Ausbau Kernkraftwerke <sup>g,h</sup></b>	2010	> 20,0%		
	2020	> 22,5%		
	2030	> 28,0%	keine Vorgabe	keine Vorgabe
	2040	> 34,0%		
	2050	>40,0%		
<b>Import von REG-Strom <sup>i</sup></b>	2010	kein Potenzial	kein Potenzial	kein Potenzial
	2020	mind. wie Referenz, bis zu 2,5%	mind. wie Referenz, bis zu 5,0%	
	2030	mind. wie Referenz, bis zu 5,0%	mind. wie Referenz, bis zu 10%	keine Vorgabe
	2040	mind. wie Referenz, bis zu 7,5%	mind. wie Referenz, bis zu 15%	
	2050	mind. wie Referenz, bis zu 10%	mind. wie Referenz, bis zu 20%	
<b>Effizienzmaßnahmen</b>				
<b>Allgemein</b>		verstärkt gegenüber Referenz	verstärkt gegenüber Referenz	Ausschöpfung kosteneffizienter Potentiale
<b>Mindestanforderungen Neubau</b>	ab 2002	mind. wie Referenz	mind. wie Referenz	
	2020	mind. wie Referenz	mind. wie Referenz	keine Vorgabe
	2030	mind. wie Referenz	mind. wie Referenz	
	2050	mind. wie Referenz	mind. wie Referenz	
<b>Mindestanforderungen Altbaurenovierung</b>	ab 2002	mind. wie Referenz	mind. wie Referenz	
	2020	mind. wie Referenz	mind. wie Referenz	keine Vorgabe
	2030	mind. wie Referenz	mind. wie Referenz	
	2050	mind. wie Referenz	mind. wie Referenz	
<b>Sanierungsrate Altbau</b>		Referenz + 30%	Referenz + 30%	
<b>Umsetzungsrate Altbau Wohngebäude</b>	bis 2010	WI 1,5 %/a IER 1,0 %/a	WI 2,0 %/a IER 1,0 %/a	WI 1,3 %/a IER 1,0 %/a
	bis 2020	1,5 %/a 1,5 %/a	2,0 %/a 1,5 %/a	1,3 %/a 1,5 %/a
	bis 2030	1,5 %/a 2,0 %/a	2,0 %/a 2,0 %/a	1,3 %/a 2,0 %/a
	nach 2030	1,5 %/a 2,5 %/a	2,0 %/a 2,5 %/a	1,3 %/a 2,5 %/a
<b>Verkehr</b>				
<b>Modal-Split</b>		höherer Anteil nicht-motorisierter Verkehr	nochmals höherer Anteil nicht-motorisierter Verkehr	höherer Anteil nicht-motorisierter Verkehr
		gegenüber Referenz veränderter Modal-split (festgelegt)	gegenüber Referenz weiter veränderter Modal-split (festgelegt)	verschieden <sup>j</sup>

Auslastungs- und Besetzungsgrad				
Auslastungs- und Besetzungsgrad PKW		wie Referenz	wie Referenz	wie Referenz
Güterverkehr bei WI		15 % verbessert	15 % verbessert	15 % verbessert
Güterverkehr bei IER		wie Referenz	wie Referenz	wie Referenz
Mindestanteil der Biomasse an den Treibstoffen	2010	6%	6%	keine Vorgabe
	2020	12%	12%	
	2030	12%	15%	
	2040	absolut gleichbleibend	absolut gleichbleibend	
	2050	absolut gleichbleibend	absolut gleichbleibend	
Mindestanteil der mit Wasserstoff betriebenen Busse	2010	keine Vorgabe	0%	keine Vorgabe
	2020		2%	
	2030		6%	
	2040		12%	
	2050		24%	
Mindestanteil der mit Wasserstoff betriebenen Flugzeuge	2010	keine Vorgabe	0%	keine Vorgabe
	2020		0%	
	2030		1%	
	2040		2%	
	2050		5%	
<p><sup>a</sup> Mindestveränderung gegenüber 1990; - <sup>b</sup> bei Stein- u. Braunkohle-Kraftwerken, Steinkohle-Heizkraftwerken, Wasserstoffproduktion aus Steinkohle; - <sup>c</sup> WI: Bestand mit 32 Volllastjahren, Bau neuer Kernkraftwerke ab 2010; IER: Bestand mit 40 Volllastjahren, Bau neuer Kernkraftwerke ab 2010 (max. 1,5 GW/a bis 2020, max. 3,0 GW/a nach 2020), Einsatz nuklearer Wärme nach 2030; - <sup>d</sup> Nettostromerzeugung (WI) bzw. Nettostromverbrauch (IER); - <sup>e</sup> EU-Ziel; - <sup>f</sup> Wirkungsgradmethode, WI ohne Bilanzierung der Umgebungswärme; - <sup>g</sup> Richtlinie AGFW 308; - <sup>h</sup> Anteil an Nettostromerzeugung bei WI, am Nettostromverbrauch bei IER; - <sup>i</sup> Anteil am Nettostromverbrauch bei WI, Anteil am Bruttostromverbrauch bei IER; - <sup>j</sup> WI: wie Umwandlungseffizienz, IER: keine Vorgabe</p>				