
1) ENQUETE KOMMISSION „NACHHALTIGE ENERGIEVERSORGUNG“

Harry Lehmann (hl@isusi.de)

Der Deutsche Bundestag hat im Februar 2000 die Enquete-Kommission „Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen der Globalisierung und der Liberalisierung“ eingesetzt. Der Kommission wurde der Auftrag erteilt, dem Bundestag für die energiepolitischen Entscheidungen der Zukunft eine wissenschaftlich fundierte Grundlage zu liefern. Laut Einsetzungsbeschluss sollen dazu für den Zeitraum bis 2050 „robuste“, nachhaltig zukunftsfähige Entwicklungspfade im Energiesektor und politische Handlungsmöglichkeiten angesichts zunehmender Umwelt- und Entwicklungsprobleme unter den veränderten Rahmenbedingungen von Globalisierung und Liberalisierung aufgezeigt werden.

Der folgende Text ist eine vom Autor größtenteils wörtlich übernommene und gekürzte Fassung der Zusammenfassung des Endberichts (Bundestags Drucksache 14/2687, Berlin, 2002). Diese gekürzte Zusammenfassung ist fokussiert auf die Ergebnisse der Szenarien der Enquete Kommission.<1>

1.1 Enquete Bundestag - Ziele für ein nachhaltiges Energiesystems

Die heute weltweit dominierenden Produktions- und Konsumstile bringen zentrale Umweltprobleme mit sich. Die Stofffreisetzungen in die Umwelt durch nicht geschlossene Stoffkreisläufe, die mit den Produktions- und Konsumstilen verbundenen hohen Energieverbräuche,

1. Der Autor war sachverständiges Mitglied der Enquete Kommission und Berichterstatter der Mehrheitsfraktion für die Szenarien.

deren Emissionen, die Inkaufnahme nuklearer Risiken und das Ausmaß der Flächeninanspruchnahme sind mit dem Nachhaltigkeitsgedanken nicht vereinbar.

Die Enquete-Kommission ist bereits in ihrem Ersten Bericht davon ausgegangen, dass das Leitbild „nachhaltig zukunftsfähige Entwicklung“ nach heutigem Verständnis drei Dimensionen umfasst: die schonende Nutzung und Erhaltung der natürlichen Lebensgrundlagen (Life-Support-Systeme) sowie die soziale und wirtschaftliche Entwicklung. Entsprechend sollen ökologische, soziale und ökonomische Ziele formuliert und möglichst weitgehend in Einklang gebracht werden.

Für Ökosysteme und die Atmosphäre lassen sich nach Meinung der Mehrheit der Kommission objektivierbare Naturschranken feststellen, die menschliche Aktivitäten prinzipiell limitieren. Mit der Metapher einer „Naturschranke“ ist gemeint, dass die Natur den anthropogen verursachten Eingriffen in natürliche Kreisläufe Grenzen setzt, die nur unter Inkaufnahme von für Mensch und Gesellschaft inakzeptablen Risiken überschritten werden können. „Naturschranken“ bilden jedoch keine starren Grenzen, sie können eher in Bandbreiten als mit eindeutig definierten Grenzwerten bestimmt werden.

Daraus folgt eine Hierarchie der Nachhaltigkeitsziele, die mit dem faktischen Vorrang der Ökonomie, wie er heute noch praktiziert wird, nicht in Einklang steht: Eine irreversible Schädigung der Naturgrundlagen muss verhindert werden, weil intakte Naturgrundlagen Voraussetzung sind für die wirtschaftliche und soziale Entwicklung. Die Enquete-Kommission formuliert deshalb zunächst die Anforderungen für ein nachhaltiges Energiesystem aus der ökologischen Perspektive. Daraus leitet sich ein Zielkorridor ab, in dem soziale und dann ökonomischen Ziele formuliert werden können.

1.1.1 Ökologische Ziele

Die weltweite Reduzierung der energiebedingten Treibhausgase ist Kern einer auf Nachhaltigkeit angelegten Energie- und Verkehrspolitik. Ziel muss die Stabilisierung des Weltklimas sein. Notwendig ist demnach, den weltweiten CO₂-Ausstoß bis 2050 gegenüber dem heutigen Niveau um etwa 50% zu senken. Die Enquete-Kommission sieht es als notwendig an, dass die Treibhausgasemissionen in den Industrieländern, also auch in Deutschland, bis zum Jahr 2020 um 40, bis 2030 um 50 und bis 2050 um 80 Prozent gegenüber 1990 reduziert werden müssen. So würde den mehr als 80 Prozent der Weltbevölkerung in den Entwicklungsländern eine nachhaltige Entwicklungsperspektive ermöglicht.

Die für die Versauerung von Böden und Gewässern verantwortlichen Schadstoffe Schwefeldioxid, Stickoxide und Ammoniak müssen weltweit flächendeckend unter die sogenannten Criti-

cal Loads sinken, sowie die Emissionen von feinen und ultrafeinen Partikel langfristig um 99% verringert werden.

Die Flächeninanspruchnahme für Siedlungs- und Verkehrsflächen und für den Rohstoffabbau sollte bis 2050 netto auf null reduziert werden. Die weltweiten Energiesysteme sind nach Auffassung der Mehrheit der Kommission so auszurichten, dass hochradioaktiver Abfall, der über geologische Zeiträume zu deponieren ist, in Zukunft nicht mehr produziert wird.

Das Risiko von extrem großen Unfällen in Energieanlagen, beispielsweise Großwasserkraftwerken oder Kernkraftwerken, mit sehr großem Schadensumfang und Langzeitwirkungen muss so schnell wie möglich minimiert werden. Weil die heute absehbaren Reaktorkonzepte das Risiko von großen Reaktorunfällen – ganz abgesehen von Gefahren durch Terrorismus – nicht sicher vermeiden können, unterstützt die Enquete-Kommission das beschleunigte Auslaufen der Kernenergienutzung in Deutschland.

1.1.2 Soziale Ziele

Alle Menschen müssen freien und sicheren Zugang zu den Energie-Dienstleistungen als Beitrag zur Daseinsvorsorge erhalten. Der Anteil der Aufwendungen der privaten Haushalte für Energiekosten an ihrem Gesamtbudget soll – bezogen auf ein bestimmtes Niveau an Energiedienstleistungen – nicht steigen. Das Energiesystem muss demokratischen Entscheidungsstrukturen unterliegen, um Marktmacht auszugleichen und Konflikte um Ressourcennutzung oder mit der Energienutzung verbundene Umweltprobleme zu regeln. Leben und Gesundheit der im Energiebereich Beschäftigten müssen geschützt sein.

Die Enquete-Kommission hält es für unabdingbar, dass zukünftige Generationen in ihren Entscheidungsmöglichkeiten nicht weiter eingeschränkt werden als zur Lösung aktueller Probleme und Erhaltung künftiger Optionen unbedingt notwendig ist.

1.1.3 Ökonomische Ziele

Die Energieproduktivität (das Verhältnis von realer Wirtschaftsleistung zum Primärenergieverbrauch) soll sich von 1990 bis 2020 um den Faktor 2,5 und bis 2050 um den Faktor 4 erhöhen. Energieeffizienzaktivitäten verringern auch die externen Kosten des Energiesystems. Auf Grund des hohen Kapitalbedarfs und der langen Investitionszyklen ist eine auf Langfristigkeit und Nachhaltigkeit ausgerichtete Orientierung der Energiewirtschaft unerlässlich. Der Energiestandort Deutschland mit seinen hohen Standards an Versorgungs Sicherheit muss erhalten bleiben, weshalb im Zuge des Reinvestitionszyklus der deutschen Kraftwerke neue Anlagen in Deutschland auf der Basis der effizientesten Technik errichtet werden müssen. Dabei sollen

vor allem der Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung und die Markteinführung erneuerbarer Energien vorangetrieben werden.

Die Rahmenbedingungen für die deutsche Industrie müssen so angelegt sein, dass sie Innovationsmotor für neue Technologien und für Energieeffizienz entlang der gesamten Umwandlungskette werden kann. Derartige Innovationen können dazu beitragen, dass auch ihre internationale Wettbewerbsposition verbessert wird (first-mover-advantage).

Zur Verbesserung der Versorgungssicherheit und zur Absicherung gegenüber unkalkulierbaren Preisentwicklungen v.a. auf dem Weltölmärkten soll die Importabhängigkeit von Energieträgern reduziert werden.

Lösungen müssen gefunden werden, die die Verkehrsleistungen wesentlich stärker als bisher vom Kraftstoffverbrauch abkoppeln. Es ist empfohlen, Maßnahmen zu ergreifen, um das Gesamtkilometeraufkommen beim motorisierten Straßen- und Luftverkehr bis 2010 zu stabilisieren. Hierzu scheint es erforderlich, dass der Anstieg des Straßengüterfernverkehrs und des Flugverkehrs begrenzt wird.

Den Entwicklungs- und Transformationsländern muss der Spielraum für die Steigerung des Lebensstandards gesichert werden. Damit dies nicht zu hohen und damit nicht nachhaltigen Steigerungsraten des Weltenergieverbrauchs führt, müssen die Industriestaaten beim Export von Know-How, Anlagen, Maschinen und Fahrzeugen auf einen exzellenten technischen Standard achten. Dadurch kann der „Leap-frogging“ genannte Entwicklungseffekt gefördert werden, der es Entwicklungs- und Transformationsländer ermöglicht, bestimmte technische Entwicklungsstufen zu „überspringen“ und bereits während ihres Entwicklungsprozesses den Einsatz modernster Technologien für ein nachhaltiges Energiesystem zu beschleunigen.

1.2 Enquete Bundestag: Potenziale und Szenarien für die Entwicklung in Deutschland

Um Strategien für die nachhaltige Gestaltung der Energiewirtschaft der Zukunft entwickeln zu können, sind Vorstellungen darüber zu erarbeiten, wohin die Fortsetzung bisheriger und künftig zu erwartender Trends der demographischen, der sozialen, der technisch-ökonomischen und der politischen Einflussfaktoren bis zum Jahr 2050 führen kann.

In der Zeit von 1991 bis 2001 hat sich das gesamtwirtschaftliche Wachstum (1,5%/a) und die Energieproduktivität (1,4%/a) nahezu parallel entwickelt; das bedeutet aber auch, dass die Effizienzgewinne und das Wirtschaftswachstum sich bezüglich Emissionsreduktionen zunächst gegenseitig „ausgleichen“. Die sektorale Verbrauchsstruktur hat sich dagegen in den neunziger Jahren deutlich verändert: Während der Energieverbrauch im Jahr 2000 insbesondere im Ener-

giesektor (also – energiebilanztechnisch gesehen – in den Umwandlungssektoren) sowie in der Industrie und im Bereich Gewerbe, Handel, Dienstleistungen niedriger war als 1990, ist er vor allem im Verkehr, aber auch bei den privaten Haushalten zuletzt spürbar höher gewesen; zugenommen hat auch der nichtenergetische Verbrauch fossiler Energieträger.

Die Sektorstruktur des Energieverbrauchs spiegelt sich in etwa auch bei den CO₂-Emissionen wider: Der mit Abstand größte Emittent war der Energiesektor, gefolgt vom Verkehr, der Industrie, den Haushalten und dem Bereich Gewerbe, Handel, Dienstleistungen. Die energiebedingten CO₂-Emissionen sind wesentlich stärker als der gesamte Primärenergieverbrauch gesunken: Im Jahr 2000 waren sie um rund 15% niedriger als 1990. Jahresdurchschnittlich gingen die CO₂-Emissionen über den Zeitraum von 1990 bis 2001 hinweg temperaturbereinigt um 3% zurück. Von 1990 bis 1993 waren es im Zuge des Wiedervereinigungsprozesses 5,2% pro Jahr, von 1993 bis 2001 aber nur 2,1%.

Ein Referenzszenario, das im Auftrag der Kommission in einer Kooperation der PROGNOSE AG, dem IER Stuttgart und dem Wuppertal Institut erarbeitet wurde, schreibt diese Entwicklung in die Zukunft fort. Dem Referenzszenario liegen optimistische Annahmen über die wirtschaftliche Entwicklung, insbesondere aber auch über die Verbesserung der Energieeffizienz zugrunde. Zusammen mit dem langfristig erwarteten kräftigen Rückgang der Bevölkerung sinkt daher im Ergebnis der Energieeinsatz insgesamt bereits stark und die gesamtwirtschaftliche Energieeffizienz wird deutlich erhöht. Dennoch ist der durch das Referenzszenario beschriebene Energiepfad nicht als nachhaltig zu bezeichnen. Die begrenzten Energieressourcen werden nach wie vor sehr hoch beansprucht. Vor allem aber werden die aus Klimaschutzgründen geforderten Emissionsreduktionsziele erheblich verfehlt – und damit ergibt sich eine zentrale Verletzung der Nachhaltigkeitskriterien.

Die Enquete-Kommission kommt vor diesem Hintergrund zu dem Ergebnis, dass eine Entwicklung entsprechend dem Referenzszenario ebensowenig nachhaltig ist wie die heutige Energieversorgung und deshalb keine akzeptable Basis für die Zukunft darstellt. Eine Fortschreibung der heutigen Entwicklungstrends des Energiesystems führt nicht zu einer nachhaltigen Entwicklung. Es besteht beträchtlicher energie- und umweltpolitischer Handlungsbedarf.

Im Szenariengruppe „Umwandlungseffizienz“ (UWE) wird eine Strategie der forcierten Steigerung der Effizienz in der Energieumwandlung und -anwendung gewählt. Die Nutzung der Kernenergie wird nicht fortgesetzt. Um fossile Energieträger (vor allem Kohle) trotz der ambitionierten Klimaschutzziele weiter nutzen zu können, wird die Abtrennung und Endlagerung von Kohlendioxid zugelassen.

1.2.1 Zielszenarien für Deutschland

Das beauftragte Gutachterkonsortium aus PROGNOSE AG, Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER) der Universität Stuttgart und Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie (WI) übernahm in weiten Teilen die Vorgaben der Kommission (energiepolitische Ausbauziele, Annahmen für Investitionskosten und ökonomische Parameter, etc.), musste aber zusätzlich eigene Annahmen treffen, zum Beispiel bei der Entwicklung der Energieeffizienz in den Anwendungssektoren. Um die Aussagekraft der Modellierung zu erhöhen und den Einfluss des Modellansatz bewerten zu können, wurden die Szenarien und eine Variante in Modellkonkurrenz gerechnet: Während das IER das Energiesystem als Ganzes betrachtet und global unter ökonomischen Aspekten sektorübergreifend optimiert, minimiert das Simulationsmodell des Wuppertal-Instituts die Kosten in einer eher sektoralen Betrachtungsweise und unter Anwendung zusätzlicher Entscheidungskriterien.

Insgesamt wurden vierzehn Szenarien und Varianten gerechnet – alle unter der Maßgabe der ambitionierten Klimaschutzziele, die von einer Reduktion des Treibhausgasausstoßes um 80% bis 2050 ausgehen. Drei Hauptszenarien stehen repräsentativ für die grundsätzlichen Entwicklungslinien einer zukünftigen Energieversorgung:

Im Szenario „Umwandlungseffizienz“ (UWE) wird eine Strategie der forcierten Steigerung der Effizienz in der Energieumwandlung und -anwendung gewählt. Die Nutzung der Kernenergie wird nicht fortgesetzt. Um fossile Energieträger (vor allem Kohle) trotz der ambitionierten Klimaschutzziele weiter nutzen zu können, wird die Abtrennung und Endlagerung von Kohlendioxid zugelassen.

Im Szenario „REG/REN-Offensive“ (RRO) wird bis 2030 aus der Kernkraft vollständig und bis 2050 aus der Nutzung der fossilen Energieträger soweit ausgestiegen, dass die Klimaschutzziele erreicht werden können. Zur Kompensation werden Energieeffizienz und erneuerbare Energiequellen massiv forciert. Der Anteil der erneuerbaren Energiequellen soll nach den Vorgaben im Jahr 2050 mindestens 50% des Primärenergieverbrauchs betragen. Zusätzlich zu diesem Szenario wurde eine Variante Solare Vollversorgung modelliert, in der die Energieversorgung 2050 vollständig durch regenerative Energieträger gewährleistet wird. Eine dritte Variante unter dem Eindruck des 11. Septembers betrachtet, inwieweit ein sehr kurzfristiger Ausstieg aus der Nutzung der Kernenergie möglich ist.

Im Szenario „Fossil-nuklearer Energiemix“ (FNE) wird die Nutzung der Kernenergie fortgesetzt und ein Ausbau ermöglicht. Der Ausbau der erneuerbaren Energien sowie die Energieeffizienz werden insofern nicht forciert. Die Abtrennung und Endlagerung von Kohlendioxid wird ebenfalls zugelassen. Im Referenzszenario und den anderen Szenarien noch enthaltene Restriktionen, z.B. im Verkehrs- und Gebäudebereich, werden zudem aufgehoben.

Um die Unsicherheiten, die aufgrund von Annahmen über die Entwicklung zukünftiger Kosten schon beim Modellinput bestehen, abschätzen zu können, wurde zu jedem Szenario und auch zum Referenzszenario eine Variante gerechnet, der ein von der Minderheit der Kommission entworfener Datensatz zugrunde gelegt wurde. Damit konnte die Sensitivität der Modelle auf die Kostenvorgaben getestet werden.

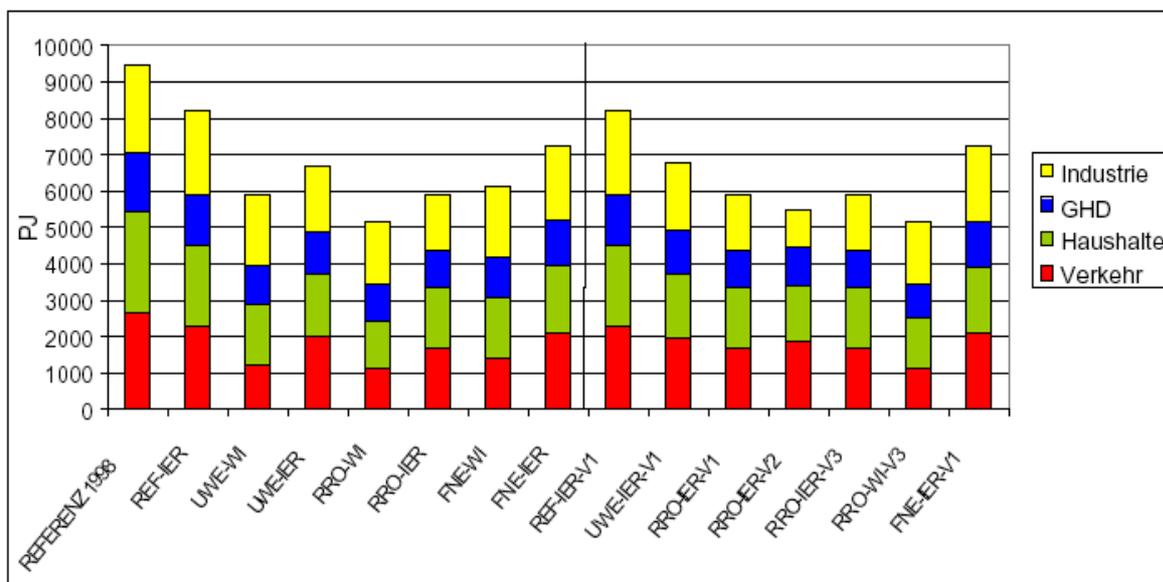


Abbildung 1-1 : Absoluter Endenergieverbrauch in den Szenarien im Jahr 2050 in PJ

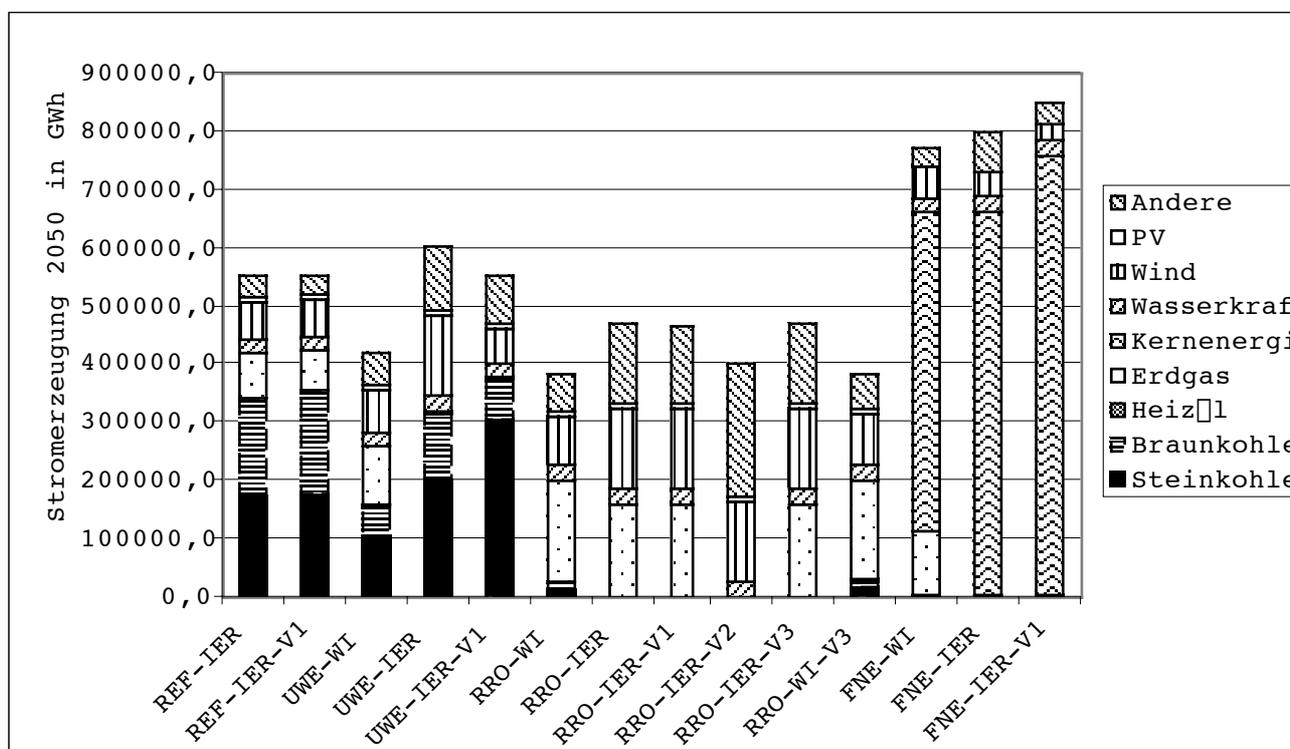


Abbildung 1-2 : Nettostrombereitstellung im Jahr 2050

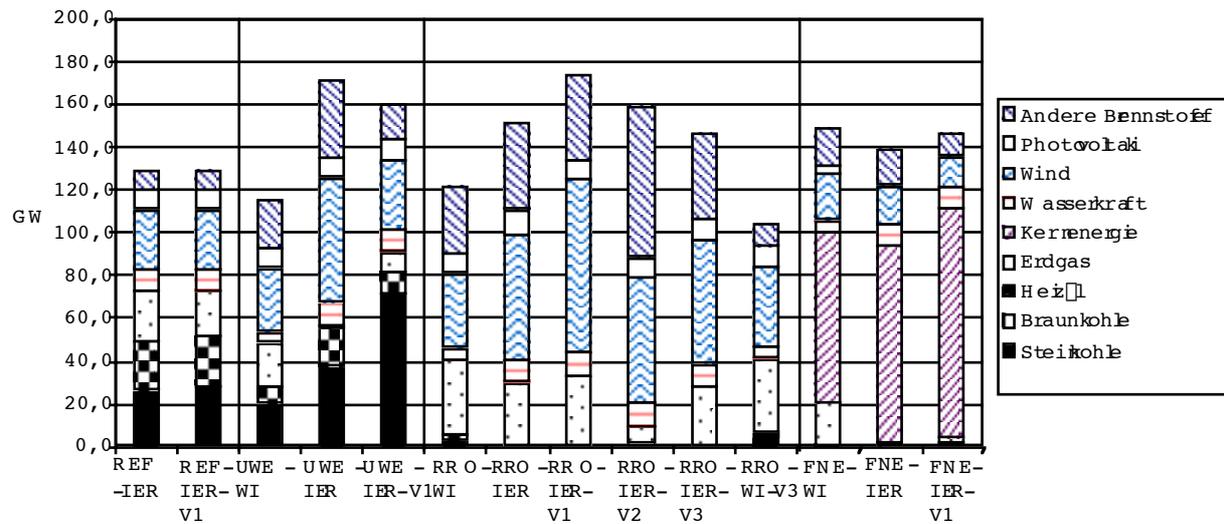


Abbildung 1-3 : Zusammensetzung des Kraftwerksparks im Jahr 2050

Analysiert man die Ausbaupfade (siehe hierzu die Tabelle und die RRO Ausbaupfade am Ende des Kapitels), so lässt sich zusammenfassen:

- ☒ auf die Kernkraft kann verzichtet werden,
- ☒ eine maßgebliche Rolle für Stein- und Braunkohle kann nachhaltig nur dann aufrechterhalten werden, wenn die Abtrennung von CO₂ und dessen dauerhafte Speicherung technisch und kostengünstig gelöst wird,
- ☒ Erdgas nimmt in einigen Szenarien eine wichtige Brückenfunktion beim endgültigen Übergang zu CO₂-freien Energieträgern ein,
- ☒ eine solare Vollversorgung ist möglich,
- ☒ die REG/REN-Offensive in ihrer Hauptform ist ein Entwicklungspfad, der auch für Zeiträume jenseits der hier betrachteten Horizonte weitere Entfaltungsmöglichkeiten zulässt.

1.2.2 Handlungsspielräume bei der Erreichung der Klimaschutzziele

Auch unter den genannten Einschränkungen, sowohl bezüglich der Unsicherheit der Aussagen über Technologien und Kosten sowie der gewählten, relativ konservativen Rahmenannahmen kommt die Kommission zu dem Ergebnis, dass eine Reduktion der Treibhausgasemissionen

bis 2050 um 80 % (gegenüber dem Niveau von 1990) aus heutiger Sicht technisch und wirtschaftlich realisierbar ist. Sämtliche untersuchten Technologiepfade in den Zielszenarien erlauben eine Erreichung der ehrgeizigen Treibhausgas-Reduktionsziele, die in Deutschland bereits heute in ersten Schritten in Angriff genommen werden. Der Entwicklungspfad in ein regeneratives und effizienteres Energiesystem ist eine realistische Zukunftsoption und keine Sackgasse: auch eine weitgehende bzw. vollständige Versorgung Deutschlands aus erneuerbaren Energiequellen ist aus heutiger Sicht in einem hocheffizienten Energiesystem möglich.

Nur wenn die in den Modellen angenommenen Entwicklungen der Technologien - und dies gilt für alle drei Pfade - auch durch entsprechende Rahmenbedingungen und Energiepolitiken forciert werden, werden die Ergebnisse der Szenarien realisierbar. Dabei unterscheiden sich die Szenarien in ihrer Abhängigkeit von Technologien. Die Realisierbarkeit der Szenarien Umwandlungseffizienz (UWE) und fossil-nuklearer Energiemix (FNE) ist jeweils maßgeblich von einer Schlüsseltechnologie abhängig (CO₂-Abtrennung und Speicherung bzw. Kernkraft), das Szenario REG/REN-Offensive (RRO) baut dagegen auf einer relativ großen Vielfalt von für die Emissionsminderung relevanten Technologien auf. Sollten sich die Erwartungen z.B. an die Photovoltaik nicht erfüllen, so ließe sich dies durch eine andere erneuerbare Technologie abdecken. Dieser Aspekt kann sich gleichzeitig als ein wichtiger Beitrag zur Versorgungssicherheit erweisen.

Strukturelle Veränderungen, wie der Übergang von einer Energieversorgungswirtschaft zu einer solaren Energiedienstleistungswirtschaft oder denkbare noch höhere Steigerungsraten der Ressourceneffizienz (z.B. Faktor 10) konnten in den Szenarien nur sehr begrenzt bzw. nicht berücksichtigt werden. Auch eine signifikante Änderung von Verhalten und Lebensstilen konnte weder quantifiziert noch hinsichtlich ihrer strukturellen und qualitativen Effekte in den Szenarien abgebildet werden. Eine Anpassung der Nachfrage nach Energiedienstleistungen gegenüber dem Referenzszenario war in den Szenarien nicht möglich. Insofern bilden die Szenarien bei weitem nicht alle gesellschaftlichen und individuellen Optionen zur CO₂-Minderung ab. Dies und der unterstellte starke Anstieg der Energiedienstleistungen pro Kopf führen dazu, dass die resultierende Energiedienstleistungsnachfrage eher als oberer Rand der erwartbaren Bandbreite anzusehen ist. Dass die Szenarien dennoch die gesteckten Klimaschutzziele erreichen, deutet darauf hin, dass der Wechsel zu einer ökoeffizienten Energiedienstleistungswirtschaft, zur forcierten Ressourceneffizienz und auch die Änderung von Lebensstilen die Erreichung der Reduktionsziele und den Umbau der Energiewirtschaft erleichtern können.

Es lassen sich jenseits aller Unsicherheit und politischer Maßnahmen drei robuste Trends ausmachen, die allen Szenarien gemeinsam sind: Regenerative Energien, rationelle Energieverwendung und ein neuer Sekundärenergieträger werden in Zukunft eine wichtige Rolle spielen.

1.2.3 Energieeffizienz

Alle Szenarien beinhalten über den Trend hinausgehende Effizienzsteigerungen. Wichtige Einsparpotenziale liegen im Gebäudebereich, sowohl in den Privathaushalten als auch in Gewerbe, Handel und Dienstleistungen. Die Energieeinsparungen bei den Neubauten und dem Gebäudebestand sind insbesondere wegen der Langlebigkeit der Gebäude und der langen Zeiträume zwischen den Sanierungsmaßnahmen ab sofort möglichst kontinuierlich – im Zuge ohnehin erfolgreicher Sanierungen - zu realisieren. Die Sanierungsziele sind heute technisch und in den meisten Fällen auch einzelwirtschaftlich bei entsprechend günstigen Rahmenbedingungen machbar. In den Szenarien werden als Ziel im Jahr 2050 energetische Sanierungsraten von 1,3 % bis zu 2,5 % angenommen. Diese liegen erheblich über der heutigen energetischen Sanierungsrate von 0,5 % pro Jahr. Eine zentrale Rolle kommt darüber hinaus der Stromeinsparung zu.

Alle Sektoren (z.B. verkehr) müssen ihren Beitrag zur Senkung der Energienachfrage leisten.

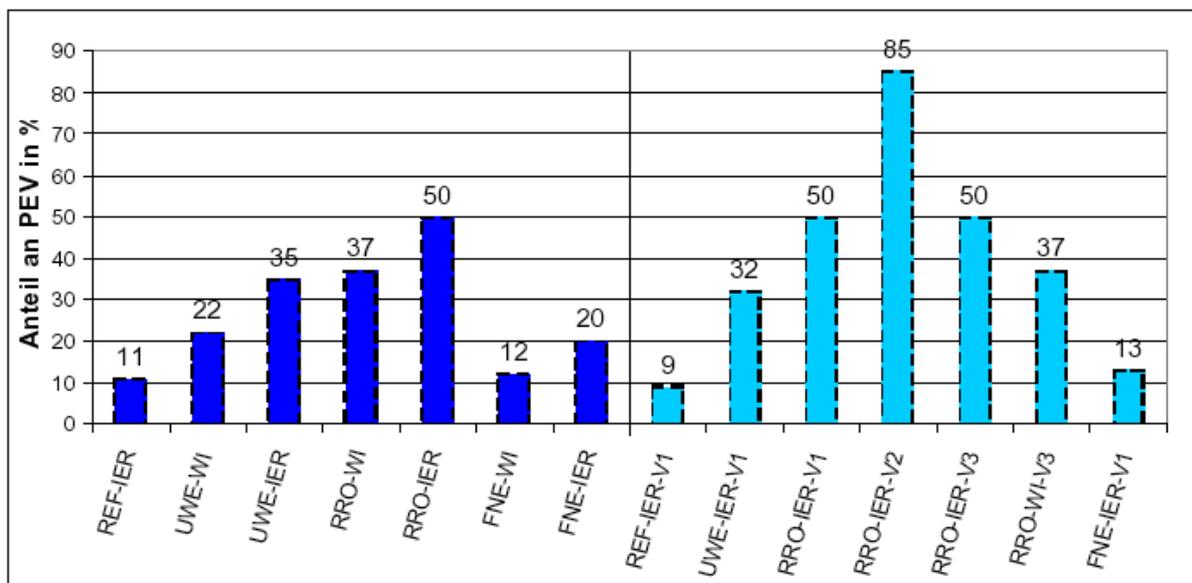


Abbildung 1-4 : Anteil der Erneuerbaren Energiequellen am Gesamtprimärenergieverbrauch; Anmerkung des Autors: Beim Szenario „solare Vollversorgung“ zeigt die Analyse der verbleibenden Anteile, dass diese auch mit erneuerbaren Ressourcen abdeckbar sind.

1.2.4 Erneuerbare Energien

Alle Szenarien, auch das Szenario (fossile) Umwandlungseffizienz, beinhalten in weit höherem Umfang als das Referenzszenario den Einsatz regenerativer Energieträger. Dies ergibt sich zwar auch durch Berücksichtigung der politischen Forderung der Europäische Union, die für

Deutschland bis 2010 mit 12,5 % der Stromerzeugung durch Erneuerbare Energien spezifiziert wurde. Es zeigt sich jedoch auch im „fossil-nuklearen“ Szenario, dass ein weiterer Ausbau aller regenerativen Energien zur Erreichung der Klimaschutzziele unabdingbar ist. Die FNE-Szenarien zeigen andererseits, dass die erneuerbaren Technologien, wenn sie durch risikobehafteten Atomstrom bei ihrer Markteinführung behindert werden, nicht die notwendige Entwicklungszeit für ausreichende Kostensenkungen bekommen und daher ihren Marktanteil nicht ausweiten können. Die Kommission ist daher der Auffassung, dass in allen denkbaren Entwicklungspfaden eine langfristige, angemessene Fortsetzung von Markteinführungsmaßnahmen (wie z.B. EEG und Marktanzreizprogramm, Länderförderprogramme, Programme der Energiewirtschaft) aus Klimaschutz- und Innovationsgründen gerechtfertigt ist.

Der Mix der verschiedenen erneuerbaren Energien in den Szenarien resultiert in den Simulationen bzw. Optimierungen aus Kostengesichtspunkten oder wurde exogen auf Grund von Expertenschätzungen vorgegeben. Nach Ansicht der Kommission wird insbesondere eine Energiewirtschaft, die vornehmlich auf erneuerbare Energieträger aufbaut, den Mix auch daran orientieren müssen, dass eine durchgängig sichere Versorgung mit Energiedienstleistungen gewährleistet ist.

1.2.5 Sekundärenergieträger

In allen Szenarien wird bis spätestens 2050 Wasserstoff als neuer Sekundärenergieträger eingeführt. Die notwendige Einführung eines Sekundärenergieträgers, der keine Treibhausgasemissionen verursacht, hier Wasserstoff, oder einer anderen, heute noch nicht etablierten (Speicher)Technologie zeigt auch auf, dass erhebliche Anstrengungen notwendig sind, um ein nachhaltiges Energiesystem im allgemeinen und die Klimaschutzziele im besonderen zu erreichen. Wenn Wasserstoff zukünftig die Funktion eines Speichers übernehmen soll, der im wesentlichen ohne zusätzliche Treibhausgasemissionen den Umbau zu einer klimafreundlichen Energiewirtschaft ermöglicht, sind dafür frühzeitig politische Weichenstellungen notwendig. Sinnvoll erscheint im ersten Schritt eine Erweiterung der Erdgas-Infrastruktur auch für Erdgas-Fahrzeuge als Übergangstechnologie mit der Option eines stetig wachsenden Wasserstoffanteils im Erdgasnetz, bis dann (wegen technischer Eigenschaften) später eine Umrüstung der Infrastruktur notwendig und möglich wird.

1.2.6 Nachhaltigkeit der Szenarien sehr unterschiedlich

In Bezug auf die Verwirklichung der Prinzipien nachhaltiger Energieversorgung müssen die Szenarien unterschiedlich bewertet werden. Zwar erreichen alle die 80 % Emissionsreduktion, die meisten weisen aber in anderen Bereichen Defizite auf. Im Szenario Umwandlungseffizienz (UWE) ist die insgesamt anfallende Menge an Kohlendioxid, die deponiert werden

muss, mittel- und langfristig in den bekannten dauerhaft sicheren Lagerstätten nicht unterzubringen. Im fossil-nuklearen Szenario (FNE) werden bis zum Jahr 2050 mindestens 50 neue Atomkraftwerke gebraucht. Weder für die heute existierenden, noch für diese Anzahl von neuen Atomkraftwerken ist eine mit Nachhaltigkeitsgrundsätzen vereinbare Entsorgung der radioaktiven Reststoffe möglich.

Bei den Szenarien, die auf einer REG/REN-Offensive (RRO) aufbauen, ist die Flächennutzung durch die Windenergie und die Nutzung der Biomasse ein Aspekt, der die Nachhaltigkeit einschränkt. Die Doppelnutzung der Windnutzungsgebiete, ein Biomasseanbau ohne Monokultur und die Berücksichtigung der Ergebnisse der ökologischen Begleitforschung können diese Nachteile relativieren. Die Kommission ist der Ansicht, dass durch die Vielzahl an verschiedenen Technologien zur Effizienzsteigerung und zur Nutzung der erneuerbaren Energien sowie durch die dezentrale Charakteristik vieler erneuerbarer Energietechnologien ein Mix in der Anwendung gefunden werden kann, der diese Belastungen in einem akzeptablen Rahmen hält und durch die Diversifikation der Quellen dauerhafte Stabilität der Versorgung mit Energiedienstleistungen gewährleistet.

1.3 Nachhaltige Energiewirtschaft durch effiziente Energietechnologien und erneuerbare Energien

Aufgrund all dieser Überlegungen kommt die Kommission zu der Überzeugung, dass nur ein am Szenario „REG/REN-Offensive“ orientierter Entwicklungspfad als nachhaltig bezeichnet werden kann. Eine Hauptaufgabe von zukünftiger Energiepolitik wird es sein, die heutige Energiewirtschaft und neue Akteure in diesem Transformationsprozess zu begleiten und zu fördern. Integriert man in diese REG/REN-Offensive auch noch Aspekte der Steigerung der Umwandlungseffizienz ohne dabei den Ausbau der erneuerbaren Energietechnologien zu behindern, so wird es noch leichter, den gewünschten Klimaschutzeffekt zu erreichen.

Das Szenario REG/REN-Offensive ist gesellschaftlich und technologisch entwicklungs offen: Wie die Variante 2 dieses Szenarios aufzeigt, ist auch eine volle Versorgung auf der Basis erneuerbarer Energien möglich. Allerdings sollte dieses Ziel angesichts der zusätzlichen hohen Kosten aus heutiger Sicht nicht schon bis 2050 realisiert werden, sofern nicht zusätzliche Kostendegressionen gegenüber den Annahmen erreicht werden. Eine Offensive in den Technologien der erneuerbaren Energien und Effizienztechnologien ermöglicht es jedoch auch, falls notwendig, noch früher mit entsprechender Vorlaufzeit aus der Atomenergie auszusteigen; dies ist somit nicht nur ein gangbarer Weg mit geringen negativen Auswirkungen sondern eröffnet für Gesellschaft, Politik und Wirtschaft neue und große Handlungsspielräume.

| | REF-IER | UWE-WI | UWE-IER | RRO-WI | RRO-IER | RRO-IER Var. 2' | RRO-IER Var. 3 | FNE-WI | FNE-IER | REF-IER Var. 1 | UWE-IER Var. 1 | RRO-IER Var. 1 | FNE-IER Var. 1 | |
|---|---|----------------|---------|--------|---------|-----------------|----------------|--------|---------|----------------|----------------|----------------|----------------|--------|
| | | | | | | | | | | | | | | Var. 1 |
| Endenergie | Summe | 8.208 | 6.918 | 6.666 | 5.166 | 5.910 | 5.909 | 6.140 | 7.229 | 8.224 | 6.764 | 5.904 | 7.232 | |
| | GJ/cap | 121 | 100 | 87 | 82 | 87 | 87 | 76 | 107 | 121 | 87 | 98 | 107 | |
| | Verkehr | 2.299 | 1.247 | 1.975 | 1.122 | 1.689 | 1.894 | 1.667 | 1.409 | 2.115 | 2.299 | 1.949 | 1.667 | 2.115 |
| | Haushalte | 2.221 | 1.632 | 1.732 | 1.362 | 1.654 | 1.474 | 1.653 | 1.661 | 1.814 | 2.218 | 1.756 | 1.655 | 1.799 |
| | GHD | 1.389 | 1.075 | 1.169 | 960 | 1.057 | 1.065 | 962 | 1.093 | 1.275 | 1.376 | 1.237 | 1.058 | 1.275 |
| | Industrie | 2.299 | 1.964 | 1.779 | 1.732 | 1.530 | 1.099 | 1.532 | 1.967 | 2.028 | 2.331 | 1.823 | 1.524 | 2.043 |
| | Erneuerbare | 334 | 796 | 1.220 | 1.142 | 1.437 | 2.136 | 1.424 | 690 | 1.065 | 360 | 1.315 | 1.424 | 984 |
| | Anteil EEV | 4% | 13% | 18% | 22% | 24% | 39% | 24% | 11% | 15% | 4% | 19% | 24% | 14% |
| | Sonstige | 152 | 718 | 34 | 262 | 78 | 675 | 81 | 906 | 7 | 152 | 47 | 84 | 7 |
| | Anteil EEV | 2% | 12% | 1% | 6% | 1% | 12% | 1% | 15% | 0% | 2% | 1% | 1% | 0% |
| Endenergie nach Energieträgern | Summe | 486 | 1.514 | 1.264 | 1.394 | 1.515 | 1.504 | 1.247 | 1.596 | 1.072 | 1.362 | 1.507 | 991 | |
| | Anteil EEV | 6% | 26% | 19% | 27% | 26% | 51% | 25% | 26% | 15% | 20% | 26% | 14% | |
| | Fossil | 5.539 | 2.277 | 2.644 | 1.864 | 1.989 | 300 | 1.988 | 1.864 | 2.634 | 5.517 | 2.495 | 2.024 | 2.863 |
| | Anteil EEV | 67% | 38% | 40% | 36% | 34% | 5% | 34% | 40% | 36% | 67% | 37% | 34% | 37% |
| | Strom | 1.816 | 1.542 | 1.935 | 1.368 | 1.563 | 1.495 | 1.564 | 1.368 | 2.628 | 1.818 | 2.066 | 1.553 | 2.782 |
| | Anteil EEV | 22% | 26% | 29% | 27% | 26% | 27% | 26% | 26% | 29% | 22% | 31% | 26% | 38% |
| | Wärme | 368 | 427 | 823 | 266 | 843 | 925 | 853 | 240 | 761 | 375 | 841 | 920 | 681 |
| | Anteil EEV | 4% | 7% | 12% | 6% | 14% | 17% | 14% | 4% | 11% | 5% | 12% | 14% | 8% |
| | Summe | 11.937 | 9.348 | 11.400 | 8.562 | 10.397 | 9.547 | 10.396 | 12.266 | 13.048 | 11.864 | 11.421 | 10.395 | 12.940 |
| | Anteil EEV | 17% | 13% | 16% | 12% | 15% | 141 | 153 | 127 | 192 | 175 | 168 | 153 | 191 |
| Primärenergie | Summe | 1.765 | 3.130 | 4.896 | 4.266 | 5.988 | 8.420 | 5.993 | 4.318 | 3.041 | 1.826 | 4.316 | 5.990 | 2.086 |
| | Erneuerbare | 15% | 33% | 43% | 50% | 58% | 89% | 58% | 19% | 23% | 14% | 39% | 58% | 16% |
| | Fossil | 10.172 | 6.218 | 6.604 | 4.266 | 4.398 | 1.127 | 4.404 | 4.291 | 4.009 | 10.238 | 7.105 | 4.405 | 4.010 |
| | Anteil EEV | 86% | 67% | 57% | 50% | 42% | 12% | 42% | 50% | 35% | 86% | 62% | 42% | 31% |
| | Nuklear | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5.997 | 0 | 0 | 0 | 6.844 |
| | Anteil EEV | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 46% | 0% | 0% | 0% | 53% |
| | Kumulierte Kostendifferenz ggü. Referenz (19.182,6 Mrd.€) | €/cap | 3.333 | 5.134 | 2.966 | 9.106 | 25.383 | 9.954 | 2.077 | -4.928 | 4.876 | 11.941 | -7.922 | |
| | Auf 1998 abdiskontierte kum. Kostendifferenz ggü. Referenz (9.290,1 Mrd.€) | €/cap | 527 | 1.168 | 596 | 2.094 | 6.136 | 2.560 | 227 | -1.345 | 1.149 | 2.630 | -2.062 | |
| | Kostendifferenz ggü. Referenz in 2050 (6.201,6 Mrd.€) | €/cap für 2050 | 298 | 323 | 170 | 605 | 1.225 | 616 | 175 | -144 | 318 | 702 | -305 | |
| | Auf 1998 abdiskontierte Kostendifferenz ggü. Referenz in 2050 (6.074,8 Mrd.€) | €/cap für 2050 | 39 | 42 | 22 | 79 | 159 | 80 | 23 | -19 | 41 | 91 | -40 | |
| Kostendifferenz ggü. Referenz in 2050 (6.074,8 Mrd.€) | €/cap für 2050 | -1.848 | -2.338 | -2.201 | -2.649 | -2.700 | -2.647 | 14.717 | 17.515 | -2.215 | -2.575 | 20.505 | | |
| Auf 1998 abdiskontierte Kostendifferenz ggü. Referenz in 2050 (690,2 Mrd.€) | €/cap für 2050 | -240 | -304 | -286 | -345 | -351 | -344 | 1.915 | 2.279 | -288 | -335 | 2.868 | | |

Durch Rundungsfehler können sich in der Summe Prozentwerte über 100% ergeben.
 * Eine regenerative Vollversorgung wird aus modellimmannten Gründen nicht erreicht. Die Differenz zu 100% beim primärenergetischen Anteil resultiert aus nicht-energetischer Nutzung von Energieträgern.

Tabelle 1-1 : Ergebnisse der Szenarien der Enquete Kommission des Deutschen Bundestages „Nachhaltige Energieversorgung“ im Überblick

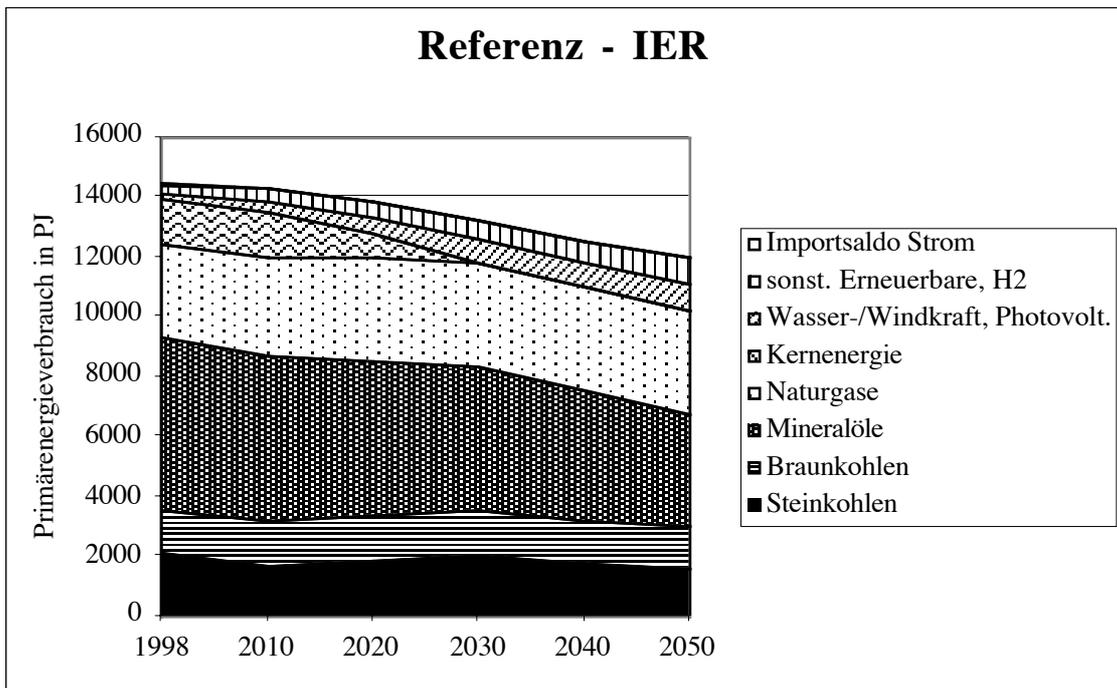


Abbildung 1-5 : Referenz Szenario (REF -IER) der Enquete Kommission des Deutschen Bundestages „Nachhaltige Energieversorgung“

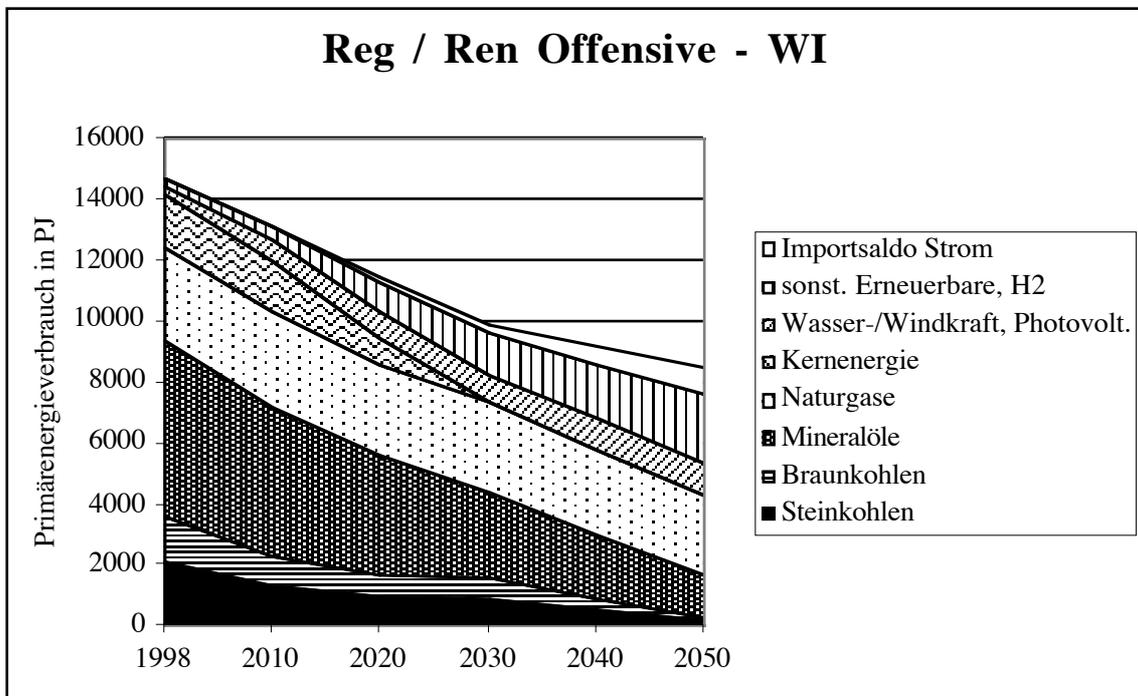


Abbildung 1-6 : Reg/Ren Offensive (RRO-WI) Szenario der Enquete Kommission des Deutschen Bundestages „Nachhaltige Energieversorgung“

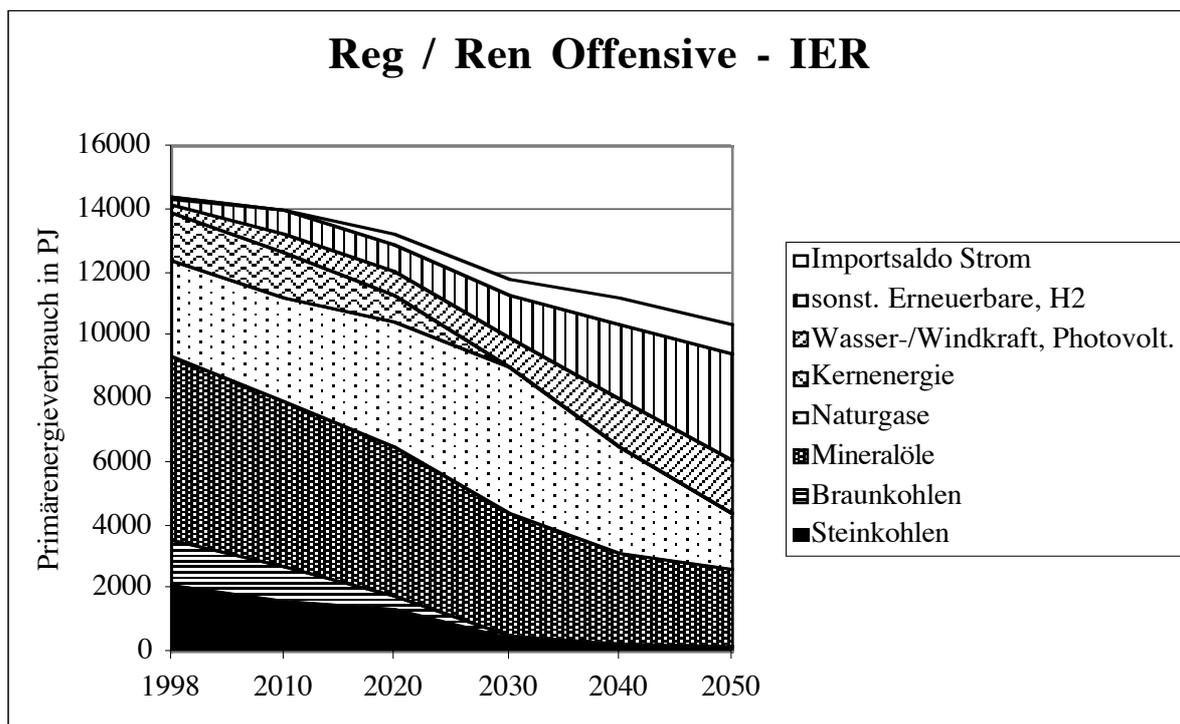


Abbildung 1-7 : Reg/Ren Offensive (RRO-IER) Szenario der Enquete Kommission des Deutschen Bundestages „Nachhaltige Energieversorgung“

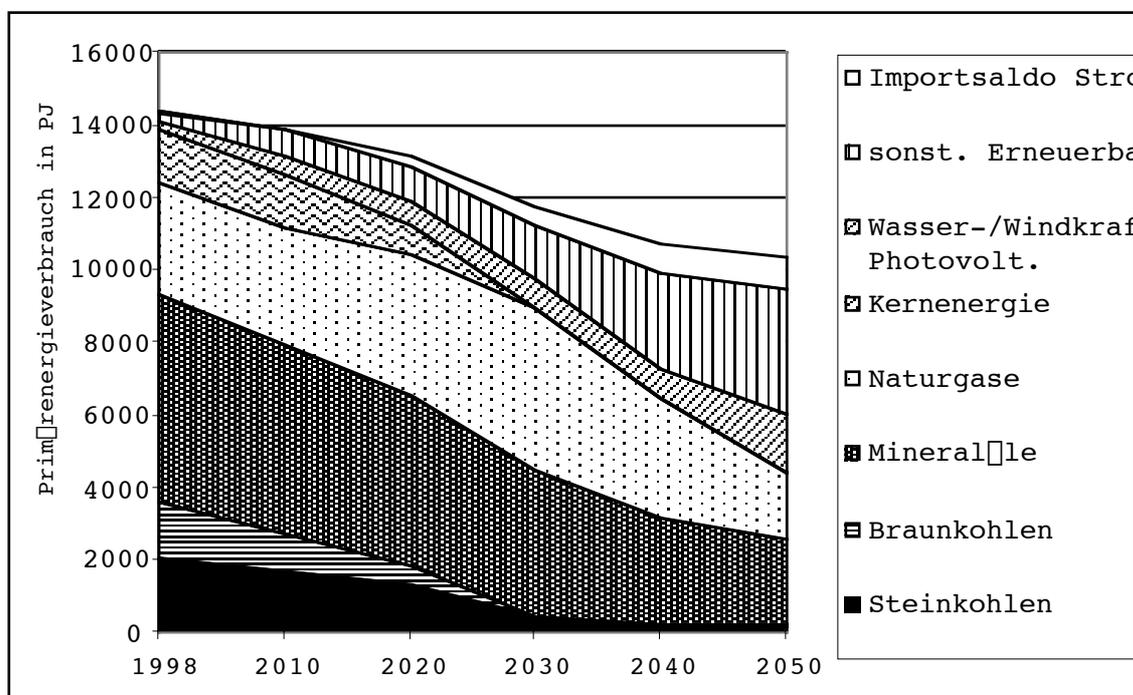


Abbildung 1-8 : Reg/Ren Offensive (RRO-IER-V1) Szenario der Enquete Kommission des Deutschen Bundestages „Nachhaltige Energieversorgung“ Alternativer Datensatz

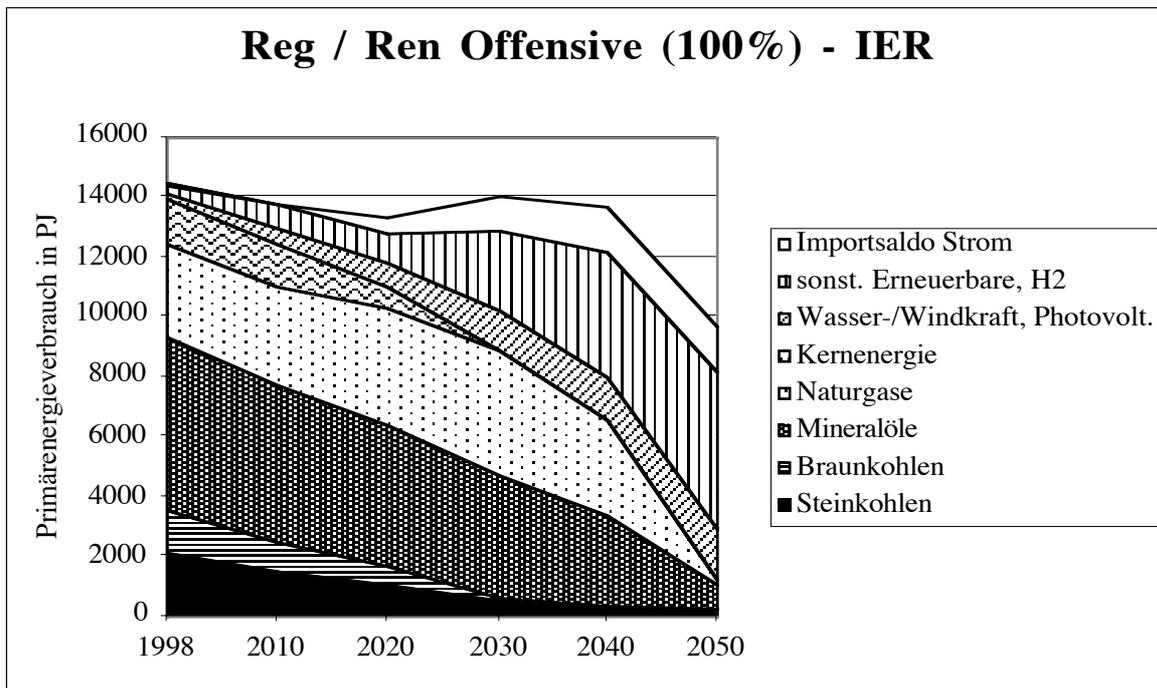


Abbildung 1-9 : Reg/Ren Offensive 100% (RRO-IER-V2) Szenario der Enquete Kommission des Deutschen Bundestages „Nachhaltige Energieversorgung“ - Solare Vollversorgung

Anmerkung des Autors: Beim Szenario „solare Vollversorgung“ zeigt die Analyse der verbleibenden Anteile, dass diese auch mit erneuerbaren Ressourcen abdeckbar sind.