

Solarzeitalter-Serie: „Vollversorgung der Gesellschaft mit Erneuerbaren Energien“

In dieser Solarzeitalter-Serie haben wir bisher in unregelmäßigen Abständen Szenarien wiedergegeben, die für einzelne Länder die Möglichkeit einer Energieversorgung beschreiben, die zu 100 % auf Erneuerbaren Energien beruht. Bisher erschienen sind:

- Ein solares Energieversorgungskonzept für Europa (Harry Lehmann) in Solarzeitalter 03/2000;
- ALTER: Studie über eine langfristige Energiezukunft Frankreichs auf der Grundlage einer 100 % Energieversorgung aus Erneuerbaren Energien (Le Groupe de Bellevue) in Solarzeitalter 04/2000;
- Die IIASA-Studie für eine vollständige Energieversorgung Westeuropas mit Erneuerbaren Energien (1982) von N. Nakicenovic und S. Messner in Solarzeitalter 01/2002;
- Die von US-Präsident Carter 1980 in Auftrag gegebene Studie des "Energy and Defense Project" über die Vollversorgung der USA mit Erneuerbaren Energien bis zum Jahr 2050 in Solarzeitalter 01/2003.

Die Enquete-Kommission "Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen der Globalisierung und Liberalisierung" des Deutschen Bundestages hat im Jahr 2002 ein Energieszenario vorgestellt, das eine Vollversorgung Deutschlands mit Erneuerbaren Energien bis 2050 vorsieht. Wir stellen es in dieser Ausgabe des Solarzeitalter in einer von Simone Peter zusammengefassten Form vor.

Energie-Enquête-Kommission: Solare Vollversorgung in Deutschland bis 2050 ist möglich

Energiekostenanteil am Bruttosozialprodukt bleibt bei forcierter Nutzung Erneuerbarer Energien und von Energieeinsparpotenzialen stabil

Simone Peter

Im Auftrag der Enquête-Kommission "Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen der Globalisierung und Liberalisierung", die der Deutsche Bundestag im Februar 2000 eingesetzt hat, erstellte ein Konsortium aus der Prognos AG, dem Institut für Energiewirtschaft und rationelle Energieanwendung (IER) und dem Wuppertal Institut (WI) Szenarien zur zukünftigen energiewirtschaftlichen Entwicklung in Deutschland, um dem Bundestag für den „politischen Willensbildungsprozess zur künftigen Energiepolitik eine belastbare Beratungsgrundlage“ bis zum Jahr 2050 zu schaffen. Die Szenarien sollten unterschiedliche Wege aufzeigen, die Treibhausgas- (THG-) Emissionen bis zum Jahr 2050 um 80 % gegenüber 1990 zu senken sowie die damit verbundenen gesamtwirt-

schaftlichen Kosten zu quantifizieren. Die Institute berechneten vier Hauptszenarien - ein Referenzszenario und die drei THG-Minderungsszenarien Umwandlungseffizienz, REG-/REN-Offensive und fossil-nuklearer Energiemix sowie drei Varianten, in denen jeweils unterschiedliche Parameter variiert wurden.

Basierend auf den Ergebnissen der Szenarien und auf der Grundlage der Nachhaltigkeitsindikatoren der Enquête-Kommission empfahl diese, die Energieversorgung soweit wie möglich auf die Stützpfeiler forcierter Effizienz (REN) und Erneuerbarer Energieträger (REG) zu stellen. Nach ihrer Ansicht ist die REG-/REN-Strategie bestens dazu geeignet, die deutsche Vorbildfunktion in der Klimapolitik weltweit weiter auszubau-

en und einen exklusiven Wettbewerbsvorteil für deutsche Technologien und Know-How-Träger zu erarbeiten. Eine solare Vollversorgung wird aufgrund der ausreichenden Potenziale an Erneuerbaren Energien für möglich erachtet, weshalb die REG-/REN-Offensive ein gangbarer und logischer Entwicklungspfad ist, der auch für die Zeiträume jenseits der betrachteten Horizonte weitere Entfaltungsmöglichkeiten zulässt. Die Variante "Solare Vollversorgung" des REG-/REN-Szenarios zeigt sogar die Vollversorgung mit Erneuerbaren Energien bis 2050 auf. Da EUROSO-LAR konsequent für die vollständige Ablösung atomar/fossiler durch Erneuerbare Energien eintritt, stellen wir das REG-/REN-Szenario und die Variante "Solare Vollversorgung" im Folgenden vor.

Charakterisierung der Szenarien und Varianten

Für die erstellten Szenarien wurden von der Enquête-Kommission neben den sozioökonomischen Rahmendaten auch jeweils spezifische energiewirtschaftliche Vorgaben zur Charakterisierung der einzelnen Szenarien gemacht. Das Referenzszenario basiert im Wesentlichen auf der Fortschreibung der bereits eingeleiteten energie- und umweltpolitischen Maßnahmen nach "Business-as-usual"-Manier und hat die Funktion einer Benchmark für die Minderungsszenarien. Das Szenario Umwandlungseffizienz (UWE) legt einen Schwerpunkt auf die Effizienzsteigerung beim Einsatz fossiler Energieträger. Kennzeichen des Szenarios fossil-nuklearer Energiemix (FNE) ist, dass die ökologischen Nachhaltigkeitsziele möglichst effizient und unter Nutzung der Steuerungsmechanismen von Märkten erreicht werden sollen. Im Gegensatz zu den anderen Szenarien ist hier der Zubau neuer Kohle- und Atomkraftwerke ab 2010 zulässig.

Das Szenario REG-/REN-Offensive (RRO) ist durch einen gegenüber der Referenz deutlich verstärkten kombinierten Einsatz effizienter Erzeugungs- und Nutzungstechnologien sowie durch den forcierten Ausbau Erneuerbarer Energien gekennzeichnet. Das Energiedienstleistungsprinzip setzt sich als Konzept durch. Die Energienutzung wird durch eine Besteuerung im europäischen Rahmen verteuert. Die Erzeugung von Strom in dezentralen Anlagen gewinnt an Bedeutung. Im Gegensatz zu den anderen beiden THG-Minderungsszenarien ist hier die Abscheidung und Lagerung von CO₂, das bei der Kohleverstromung entsteht, nicht zulässig. Die Variante „Solare Vollversorgung“ (RRO-IER-V2) sieht eine besondere Förderung der Nutzung von Biomasse (Schwerpunkt auf KWK-Nutzung) und des Imports von Strom aus Erneuerbaren Energien vor.

Im Gegensatz zum Referenzszenario erfordern alle Zielszenarien umfassende

Tabelle 1: Sozioökonomische Rahmendaten

	2000	2005	2010	2020	2030	2050
Einwohner in Mio.	82,2	82,2	82,1	80,8	77,9	67,8
Bruttoinlandsprodukt						
BIP (Mrd. Euro)	2023	2221	2438	2882	3286	3989
BIP pro Kopf (Euro)	24611	27019	29695	35668	42182	58835
BIP pro Kopf (Euro)	1,9%	1,9%	1,8%	1,7%	1,7%	1,8%
Arbeitsmarkt (in Mio.)	1998		2010	2020	2030	2050
Erwerbspersonenpot.	42,0	k.A.	42,7	41,0	36,9	34,0
Erwerbstätige	37,5	k.A.	37,6	37,2	34,9	32,2
Differenz	-4,4	k.A.	-5,0	-3,8	-2,0	-1,7
Wohnflächen	2000	2005	2010	2020	2030	2050
Wohnfläche insg.	3308	3521	3733	4142	4231	3972
Wohnfläche pro Kopf (m ²)	40,2	42,8	45,5	51,3	54,3	58,6
Verkehrsleistung						
Personen, Mrd Pkm	968,1	1034	1090,7	1138,2	1139,1	1026,9
Güter, Mrd tkm	483,1	544,3	607,4	732,4	839,2	964,4
Energiepreise (Euro/GJ)						
Erdöl	2,81	3,18	3,56	4,31	5,06	6,57
Erdgas	2,15	2,50	2,84	3,52	4,20	5,57
Steinkohle	1,36	1,40	1,43	1,59	1,76	2,09

politische Interventionen, zum Beispiel auf Wunsch der Minderheit der CDU/CSU und FDP Arbeitsgruppe die Aufhebung der Atomgesetznovelle vom 27.4.2003 im Szenario FNE. Die Darstellung der klimaverträglichen Umgestaltung der Energiewirtschaft war für alle Szenarien an eine Analyse der gesamtwirtschaftlichen Effekte (Kosten, Wirtschaftsentwicklung, Arbeitsplätze) gekoppelt. Vorliegende europa- bzw. weltweite energiewirtschaftliche Szenarien dienen dem synoptischen Vergleich mit den Szenarien für Deutschland.

Aufgrund unterschiedlicher Annahmen der Institute über die Entwicklung zukünftiger Kosten, wurde zu jedem Szenario eine Variante berechnet, so dass insgesamt 14 Szenarien für die Bewertung zur Verfügung standen.

Ergebnisse des Szenarios REG-/REN-Offensive

Im Szenario REG-/REN-Offensive ermöglicht die Kombination von deutlich erhöhter Energieeffizienz und massivem Ausbau Erneuerbarer Energien im Inland sowie des Imports regenerativ erzeugten Stroms, die Nettoemissionen an CO₂ und die Risiken für die menschliche Gesundheit simultan nachhaltig zu minimieren. Das Szenario 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.

Der nach der Wirkungsgradmethode ermittelte spezifische Primärenergieverbrauch, bezogen auf das reale BIP, sinkt zwischen 1998 und 2050 – je nach Modell – um durchschnittlich 2,3% (IER) beziehungsweise 2,8% (WI) pro Jahr. Im Endjahr der Betrachtung wird damit rund 22,4 % (IER) bzw. 40,4 % (WI) weniger Primärenergie benötigt als in der Referenz. Die vorgegebenen Ziele zur Reduktion der THG-Emissionen erfordern neben der Verringerung der spezifischen Energieverbräuche eine gravierende Umstrukturierung des Primärenergieeinsatzes. CO₂-reiche Energieträger werden durch CO₂-arme substituiert, regenerative Energien erfahren

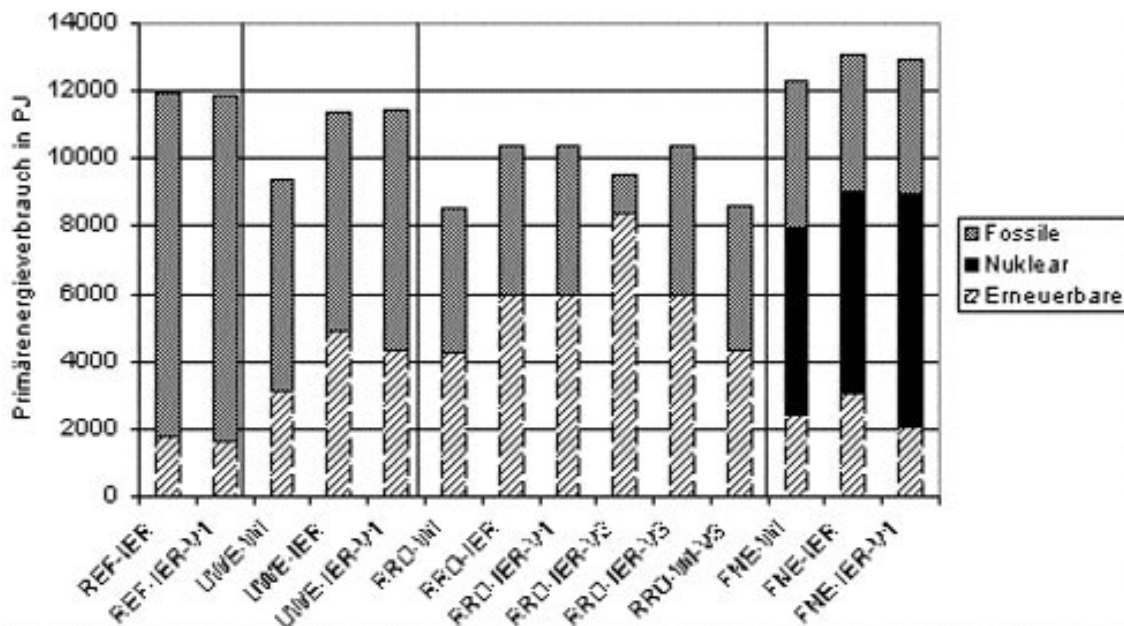


Bild 1: Anteil der Erneuerbaren Energien am Primärenergieverbrauch in PJ im Jahr 2050 (sechste und siebte Säule: RRO-WI und RRO-IER: REG-/REN-Szenario; neunte Säule: RRO-IER-V2: REG-/REN-Szenario mit der Variante Vollversorgung)

einen massiven Bedeutungszuwachs.

Aus der niedrigen Energiedichte der Erneuerbaren Energieträger ergibt sich 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. Auch im Endenergiebereich fallen die Effizienzsteigerungen deutlich höher aus als in der Referenz. Im Jahr 2050 liegt der Endenergieverbrauch in den Modellergebnissen des IER um 37,4 % unter dem Wert des Basisjahres 1998 und um 28 % niedriger als in der Referenzrechnung für das Jahr 2050. Beim WI lauten die entsprechenden Werte 45,4 % und 37,2 %.

Energieumwandlung

In der Energieumwandlung, also vor allem bei der Erzeugung von Strom und Fern- sowie Nahwärme stellen sich im Szenario REG-/REN-Offensive erhebliche Systemveränderungen ein. Die Be-

deutung fossiler Energieträger nimmt bis 2050 drastisch ab, nur Erdgas soll – insbesondere in den Szenarien des IER – dann noch eine signifikante Rolle spielen. Wie in der Referenz und im Szenario „Umwandlungseffizienz“ wird die Kernkraft gemäß der Atomgesetznovelle vom 27. April 2002 im Jahr 2030 auslaufen.

Der überwiegende Teil der Stromerzeugung basiert im Jahr 2050 auf regenerativen Energien. Vor allem der massive Ausbau von Windenergie, Biomasse und zum Ende des Betrachtungszeitraumes auch Geothermie trägt zu dieser Entwicklung bei. 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 über 50 % steigern, wobei er jedoch zunächst langsamer, ab 2030 dann schneller steigen soll.

Gegen Ende des Betrachtungszeitraumes wird es erforderlich, neben Strom einen weiteren CO₂-freien Energieträger bereitzustellen, um die THG-Ziele erfüllen zu können. Diese Funktion erfüllt Wasserstoff, der durch Elektrolyse auf Basis regenerativ – insbesondere in Windkraftanlagen – erzeugten Stroms hergestellt wird.

Energienutzung

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

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 Altbauten, die im Referenzszenario 2,5 % beträgt, um 30 % erhöht. Bei der Sanierung von Altbauten 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.

Verkehr

Auch im Verkehrssektor, für den im Referenzszenario die höchsten Zuwächse an CO₂-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. Bei WI werden auch die Auslastungsgrade sowohl im Güter- als auch im Personenverkehr erhöht. 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 %.

Kosten

Mit der gegenüber der Referenzentwicklung verstärkten Reduzierung der THG-Emissionen im Szenario REG-/REN-Offensive sind Mehrkosten verbunden. Lässt man die externen Kosten der Energieversorgung ausser acht, belaufen sich diese Mehrkosten (real und in Preisen des Jahres 1998 gerechnet) über den gesamten Zeitraum kumuliert

auf 617,4 Mrd. Euro beim IER und auf 201,1 Mrd. Euro beim WI. Abdiskontiert auf das Jahr 1998 entspricht dies einem Betrag von 142 Mrd. Euro bzw. 40,4 Mrd. Euro.

Ergebnisse der Variante „Solare Vollversorgung“

Die Variante „Solare Vollversorgung“ führt im Vergleich zu den Ergebnissen des Basisdatensatzes in den THG-Minderungsszenarien zu folgenden Veränderungen:

- Der Primärenergieverbrauch weist im Jahr 2050 annähernd das gleiche Niveau auf wie im Basisfall (-13,5 %), die Struktur zeigt aber die – vorgegebenen – Verschiebungen zu Gunsten der regenerativen Energien (Biomasse, Solarenergie und Umgebungswärme sowie Stromimporte) und zu Lasten von Erdgas, Mineralöl und Braunkohle.
- Der Endenergieverbrauch wird im Jahr 2050 im Wesentlichen durch Strom, Fern- und Nahwärme, die erneuerbaren Endenergieträger sowie durch Wasserstoff gedeckt. Mit fossilen Energieträgern werden nur noch 5,4 % des Endenergiebedarfs bereitgestellt, im Basisfall des Szenarios REG-/REN-Offensive sind es 36,4 %.
- Die Strombereitstellung erfolgt – einschließlich der REG-Stromimporte und des Wasserstoffs – zu 100 % auf

Basis regenerativer Energien und zu einem Drittel in KWK-Anlagen.

- Die THG-Minderungskosten liegen deutlich oberhalb der Kosten im Basisfall.

Zusammenfassung und Bewertung

Die Gesamtbewertung der verschiedenen Szenarien ergab – trotz unterschiedlicher Annahmen der Institute über die Entwicklung zukünftiger Kosten – dass alle Szenarien technologisch darstellbar sind. Eine Ausnahme bildet die CO₂-Speicherung, bei der einige der Annahmen noch nicht in Demonstrationsanlagen realisiert wurden. Die Potenziale an Erneuerbaren Energien reichen in allen Szenarien – auch in der Vollversorgungsvariante – aus, um die benötigten Ausbaupfade zu realisieren. Auf die Kernkraft kann – und muss aus Nachhaltigkeitsgründen – verzichtet werden. Eine maßgebliche Rolle für Stein- und Braunkohle kann nur dann aufrechterhalten werden, wenn die dauerhafte CO₂-Speicherung technisch und zu erschwinglichen Kosten gelöst werden sollten.

Die Kommission kommt abschließend zu der Überzeugung, dass nur ein am Szenario „REG-/REN-Offensive“ orientierter Entwicklungspfad als nachhaltig bezeichnet werden kann. Eine Hauptaufgabe zukünftiger Energiepolitik wird

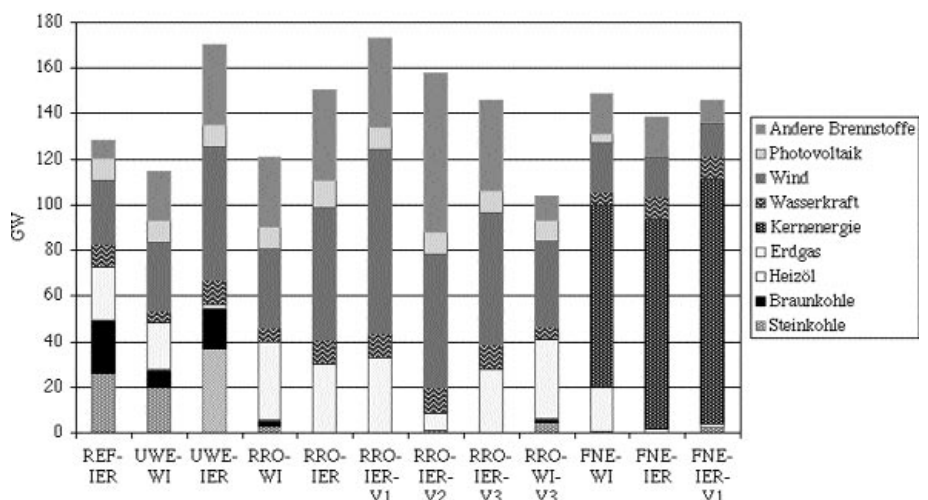


Bild 2: Zusammensetzung des Kraftwerksparks (GW) im Jahr 2050 (7. Säule: RRO-IER V2: Solare Vollversorgung)

es sein, die heutige Energiewirtschaft und neue Akteure in diesem Transformationsprozess zu begleiten und zu fordern. Implementiert 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 Basis der Erneuerbaren Energietechnologien möglich. Eine Offensive in den Erneuerbaren und Effizienztechnologien ermöglicht es auch, falls notwendig, noch früher mit entsprechender Vorlaufzeit aus der Atomenergie auszusteigen, und ist somit nicht nur der Weg mit den geringsten negativen Auswirkungen, sondern eröffnet Deutschland neue und große Handlungsspielräume.

Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass die Realisierung derjenigen Szenarien, die die angestrebte Treibhausgasemissionsminderung mit einem Ausstieg aus der Kernenergie verbinden, durchaus erhebliche Anpassungsprozesse bei Bevölkerung und Wirtschaft notwendig machen, sowie durchgreifende wirtschaftsstrukturelle Wandlungen zur Folge haben werden, gelangt die Kom-

mission zu der Schlussfolgerung, dass der Nutzen dieser Szenarien, die gleichzeitig ja auch zukunfts trächtigen Wirtschaftszweigen nachhaltige Chancen eröffnen, die mit ihnen verknüpften wirtschaftlichen Nachteile bei weitem überwiegt. Diese Schlussfolgerung gilt erst recht, wenn zugleich die externen Kosten mit ins Kalkül gezogen werden. Unter diesen Voraussetzungen sind sämtliche Szenarien im Vergleich zum Referenzszenario positiv zu werten – mit Ausnahme des fossil-nuklearen Szenarios, bei dem nach Auffassung der Mehrheit der Kommission die Gesamtkostenbewertung unter Einschluss der externen Kosten gegenüber dem Referenzszenario sogar noch weitaus ungünstiger ausfällt. Ein derartiges Szenario erfüllt danach auch in keiner Weise die Anforderungen, die an eine langfristig nachhaltige Energieversorgung zu stellen sind.

Der Energiekostenanteil am Bruttosozialprodukt bleibt dagegen auch bei forcierter Nutzung Erneuerbarer Energien und von Energieeinsparpotenzialen stabil. Das Ziel der solaren Vollversorgung sollte nach Meinung der Kommission angesichts der zusätzlichen Kosten aus heutiger Sicht nur dann bis 2050 realisiert werden, sofern nicht zusätzliche Kostendegressionen gegenüber den Annahmen erreicht werden. Entsprechend ambitionierte politische Rahmenbedin-

gungen, wie sie von EUROSOLAR immer wieder gefordert werden, ermöglichen diese Degressionen.

Auf europäischer Ebene empfiehlt die Enquête-Kommission die Forcierung der Energieeffizienz und die Förderung Erneuerbarer Energietechnologien zu verankern. Die europäischen Energiemärkte sind mit transparenten und gleichen Rahmenbedingungen auszustatten. Global müssen die Anstrengungen des Finanz-, Technologie- und Wissenstransfers für Nachhaltigkeit verstärkt werden. Erneuerbare Energien betreffend könnte dies – nach den Vorschlägen von EUROSOLAR und den entsprechenden Beschlüssen des Bundestages – eine Internationale Agentur für Erneuerbare Energien übernehmen. Als gemeinsame, allein auf Erneuerbare Energien konzentrierte Agentur von Regierungen – und in Verbindung mit einem Internationalen Verbreitungsvertrag für Erneuerbare Energien – soll sie das Signal dafür sein, dass die Staatengemeinschaft endlich die Chance durch Erneuerbare Energien ernsthaft ergreift, um das Ziel einer solaren Vollversorgung in wenigen Jahrzehnten zu erreichen.

Weitere Informationen: <http://www.bundestag.de/gremien/ener/index.html>

Dr. Simone Peter, EUROSOLAR e.V.

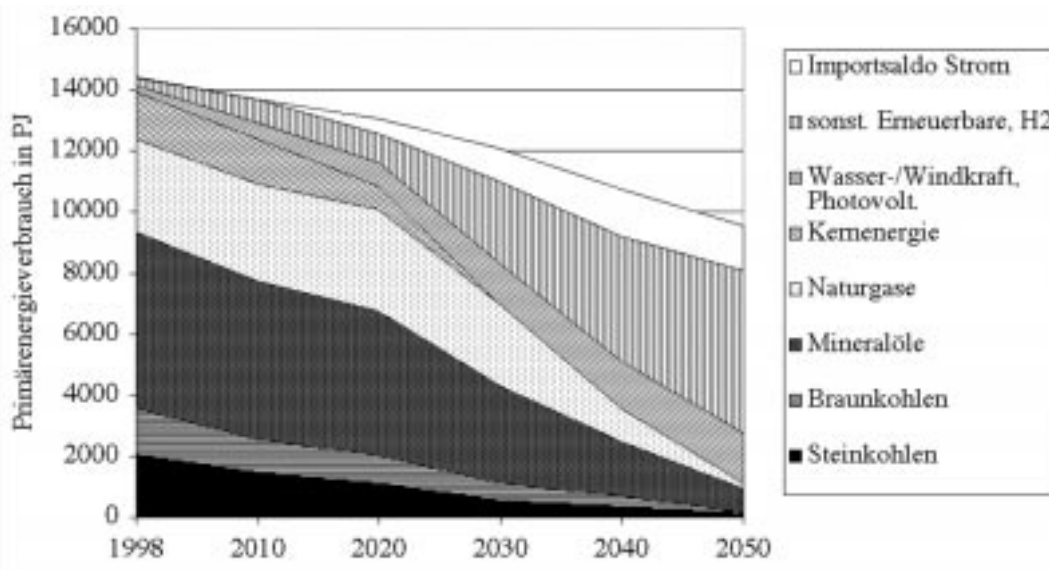


Bild 3: Primärenergieverbrauch in PJ im Jahr 2050 nach dem Szenario Reg/Ren Offensive 100%