

Die Windenergie in verschiedenen Energiemärkten

Wind Energy for Different Energy Markets

Hinsch, Christian; Rehfeldt, Knud; DEWI

Reguse, Wilson; Centrais Eléctricas de Santa Catarina SA (Brasilien)

Summary

The latest conference of the United Nations at New York in June 1997 about questions of environment and development demonstrated the failure of a sustainable development for the world until now. Since the big conferences at Rio de Janeiro (1992) and Berlin (1995) the trend towards more consumption of primary energy is still obvious. Worldwide, this demand is met by fossil energies for about 80 %. The CO₂-emissions caused by energy consumption are mainly generated in the industrialised countries of America, Europe and Asia with their extremely high consumption per capita.

In Germany, the primary energy demand is mainly met by fossil energies. The use of renewable energies is less than 3 %, even if their contribution to the consumption of electricity is about 5%. Nevertheless, together with other renewable sources wind energy is able to contribute to the 25 %-reduction of CO₂-emissions until the year 2005, but this requires adequate political conditions (e.g. electricity feed law) for future planning to replace parts of the existing structure of electricity generation.

In Brazil, the primary energy demand is met by renewable energies (especially hydroelectric power) for about 61 %. The contribution of hydro power to the consumption of electricity is more than 90 %. However, Brazil has the aim to extend the use of renewable energies in the next years to meet the increasing energy demand. The aim for wind energy is 1000 MW in the year 2005.

For a sustainable development of the world it is necessary to use the benefits of renewable energies all over the world in all areas of energy consumption. This means to understand how things are connected in general and not to remain in local views, even if changes are entailed with this.

1. Einleitung

Insbesondere vor dem Hintergrund der Diskussionen um das Stromeinspeisungsgesetz wird immer wieder nach dem heutigen und zukünftigen Nutzen der Windenergie und ihrem Beitrag zum Umwelt- und Naturschutz gefragt. Der Beantwortung dieser Frage kommt aufgrund wachsender Widerstände in Politik, Wirtschaft und Bevölkerung eine entscheidende Bedeutung zu. Es kann nicht abgestritten werden, daß die Windenergie - wie alle heutigen Energiewandlungstechniken - auch Nachteile hat: Hinlänglich bekannt sind die Diskussionen um Landschaftsbild, Vogelschutz und Geräuschemissionen. Entscheidend ist jedoch nicht allein die Anzahl der Belastungen, sondern ihre Schwere. Bei der Bewertung von Umweltbelastungen müssen globale Zusammenhänge gegenüber lokalen Interessen in den Hintergrund treten.

Der nachfolgende Artikel gibt einen Überblick über den internationalen Energiemarkt und stellt beispielhaft die Energiesituation in einer Industrienation (Deutschland) und einem Schwellenland (Brasilien) dar. Auf der Grundlage der jeweiligen Energiesituation werden die Umweltbelastungen durch nicht-erneuerbare Energieträger und der Nutzen der Windenergie in den verschiedenen Energiemärkten dargestellt.

2. Der internationale Energiemarkt (nach [1])

Im Jahre 1994 betrug der Primärenergieverbrauch der Welt 339.926 Petajoule ($1 \text{ PJ} = 10^{12} \text{ kJ} = 0.000278 \cdot 10^{12} \text{ kWh}$), wovon fast 91% in Nordamerika, Europa und Asien verbraucht wurden. Der Primärenergieverbrauch stieg damit gegenüber 1990 weltweit um ca. 3%, in der asiatischen Region sogar um 21.2 %; lediglich in Europa kam es zu einem leichten Rückgang von -1.7 %, bedingt vor allem durch den wirtschaftlichen Zusammenbruch in den osteuropäischen Ländern, während in Westeuropa (OECD-Länder) der Primärenergieverbrauch um 2.5 % anstieg.

Wird der Primärenergieverbrauch der Welt nach Energieträgern aufgeteilt, so ergibt sich folgendes Bild:

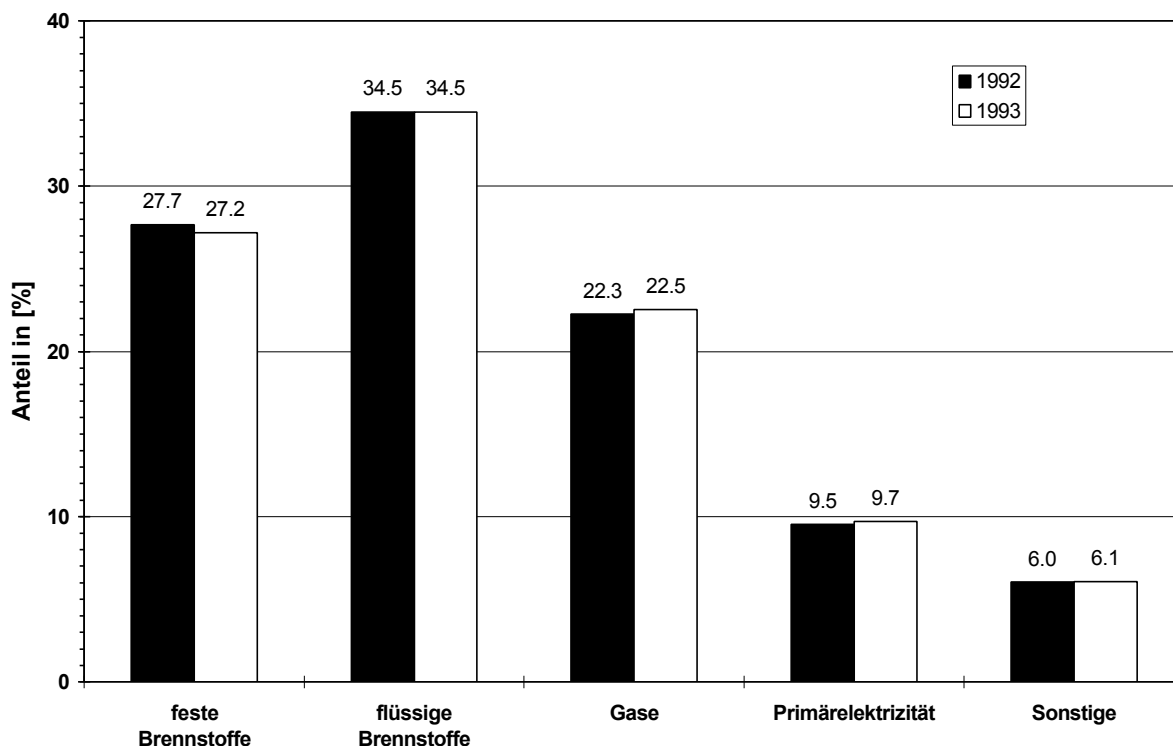


Abb. 1: Primärenergieverbrauch der Welt nach Energieträgern (1992 und 1993)

Fig. 1: Worldwide consumption of primary energy (1992 & 1993)

Als Primärelektrizität wird die Energieproduktion aus Geothermie, Wasserkraft, Kernenergie, Sonnenenergie, Gezeiten-, Wind- und Wellenenergie bezeichnet, der Ausdruck "Sonstige" umfaßt vor allem Brennholz, Holzkohle und Abfälle. Auffallend ist der steigende Anteil von Gasen und Primärelektrizität am Primärenergieverbrauch, während die Verwendung fester Brennstoffe zurückgeht.

Die zunehmende Verwendung von Primärelektrizität stellt insbesondere für erneuerbare Energien aufgrund ihrer unbegrenzten Verfügbarkeit ein großes Potential dar. Demgegenüber sind die Ressourcen an Kohle, Erdöl, Erdgas und Uran begrenzt. Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die Reichdauer der einzelnen Energieträger bei gegenwärtiger Förderung (auf der Grundlage sicher gewinnbarer Reserven):

Energieträger	Kohle	Erdöl	Erdgas	Uran
Reichdauer: weltweit	190 Jahre	45 Jahre	67 Jahre	50 Jahre
Deutschland	321 Jahre	18 Jahre	19 Jahre	---

Tab. 1: Reichdauer von Energieträgern, sicher gewinnbare Reserven [1,4]

Tab. 1: Availability of energy sources [1,4]

Bei Ausnutzung der weiteren vorhandenen Ressourcen lassen sich diese Reichdauern sicher noch verlängern, jedoch nur mit erheblichem Aufwand und damit auf Kosten der Wirtschaftlichkeit, die wiederum von den politischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen abhängt.

Außer der Endlichkeit der Ressourcen ist besonders die Schadstoffemission bei der Energieerzeugung von großer Bedeutung. Die mit dem Energieverbrauch bedingten CO₂-Emissionen sowie der Energieverbrauch pro Kopf ausgewählter Ländergruppen ist in der folgenden Grafik dargestellt.

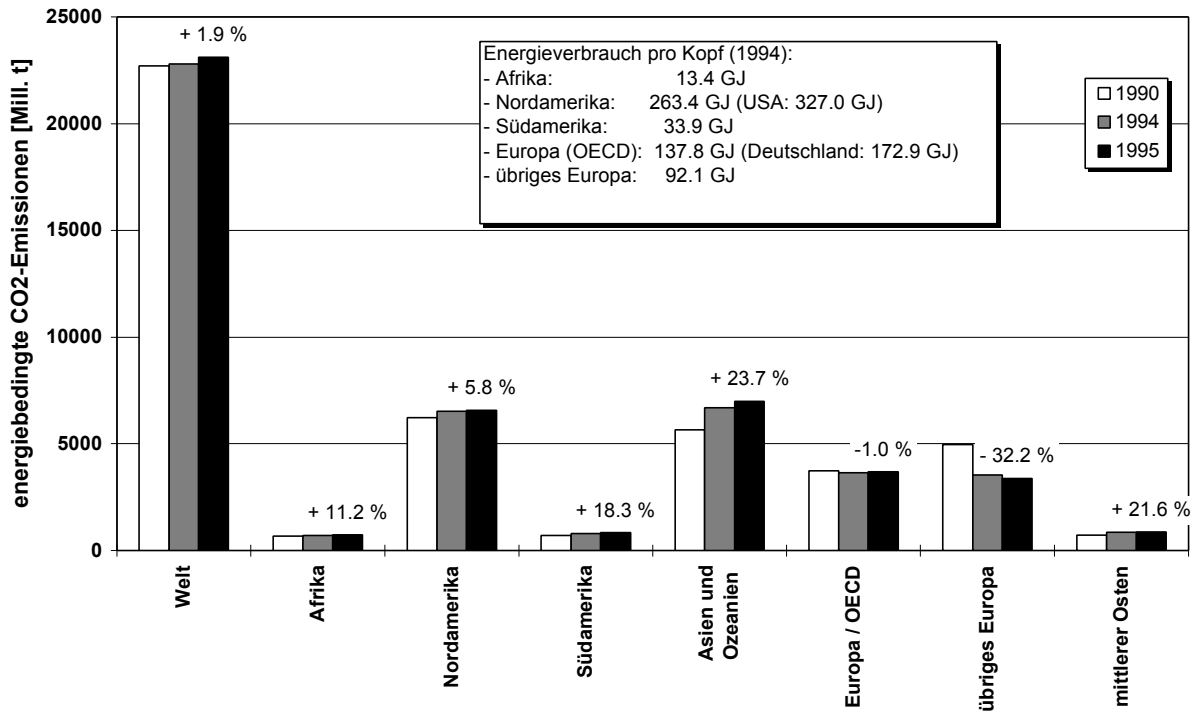


Abb. 2: Energiebedingte CO₂-Emissionen und Zuwachsraten (1995 / 1990)

Fig. 2: CO₂-emissions caused by energy consumption and rate of increase (1995 / 1990)

3. Der Energiemarkt in Deutschland

3.1 Energieverbrauch (nach [1])

1995 betrug der Primärenergieverbrauch in Gesamtdeutschland 14.165 PJ (+ 0.7 % gegenüber 1994). Aufgeteilt nach Energieträgern ergibt sich folgendes Bild:

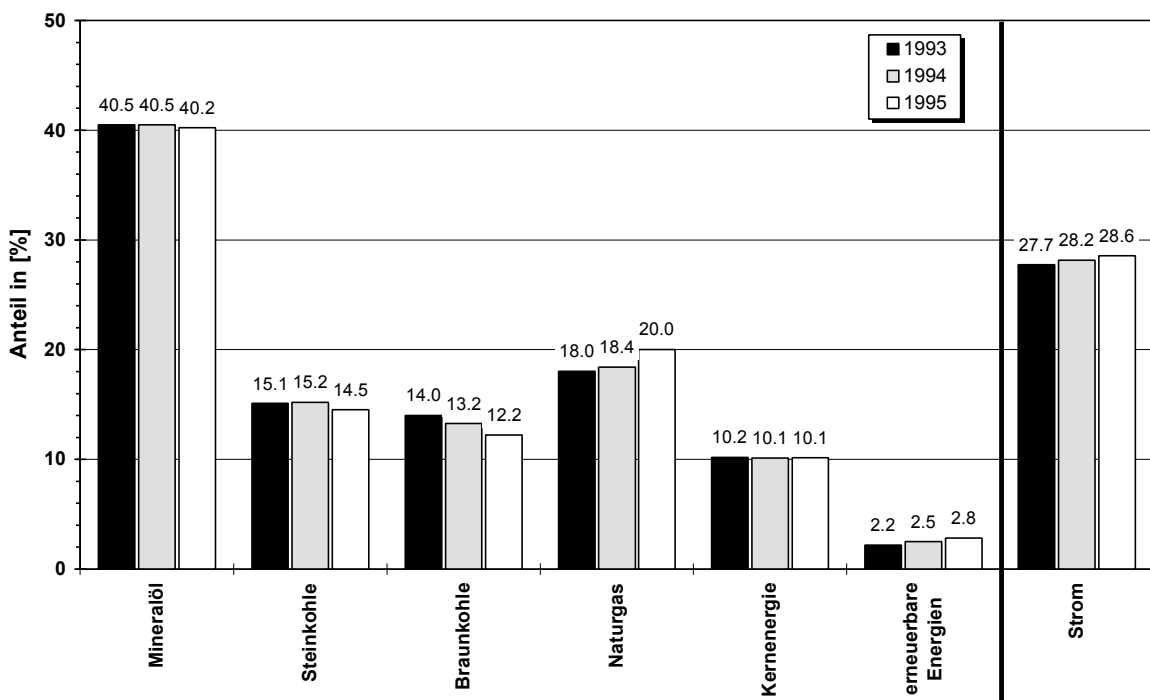


Abb. 3: Primärenergieverbrauch in Deutschland nach Energieträgern (1993 bis 1995)

Fig. 3: German consumption of primary energy (1993 to 1995)

Gegenüber 1990 (dem Basisjahr für die beabsichtigte CO₂-Reduktion um 25% bis zum Jahre 2005 in den alten Bundesländern) reduzierte sich der Primärenergieverbrauch nur in den neuen Bundesländern (-35.7 %), in den alten Bundesländern stieg er dagegen weiterhin an (+4.8 %), so daß in der Summe bisher lediglich eine Abnahme um - 4.3 % erreicht werden konnte. Es wird somit deutlich, daß die angestrebte Reduktion in weiter Ferne liegt.

Der seit Jahren anhaltende Trend zur vermehrten Verwendung von Naturgasen (Erdgas, Erdölgas, Grubengas und Klärgas) setzt sich weiter fort, dagegen tritt Braunkohle als Energieträger mehr und mehr in den Hintergrund. Besonders auffällig ist diese Situation in den neuen Bundesländern, wo Braunkohle 1990 noch einen Anteil von 68.5% am Primärenergieverbrauch hatte, inzwischen (1995) jedoch nur noch bei 37.8% liegt. Größtenteils wurde die Braunkohle dabei durch Mineralöl und Naturgas substituiert, leider nicht durch erneuerbare Energien. In den nächsten 25 Jahren wird sich dieser Trend Prognosen zufolge [2] fortsetzen, ohne daß sich der Primärenergieverbrauch in seiner Summe deutlich ändern wird, was aller Voraussicht nach daran liegen wird, daß die zu erwartende rationellere Energienutzung durch einen wachsenden Treibstoffbedarf des Verkehrssektors kompensiert wird.

Insgesamt 64.9% der Primärenergie werden als Endenergie (Industrie, Verkehr, Haushalte, Kleinverbraucher, Militär) verbraucht, der Rest setzt sich aus Verbrauch, bzw. Verlust im Energiesektor und aus nichtenergetischem Verbrauch zusammen. Der Anteil des Stroms am Primärenergieverbrauch liegt dabei aufgrund der geringen Wirkungsgrade von Erdgas (30%), Heizöl (38%), Braunkohle (35%) und Steinkohle (40%) bei der Verstromung unter Berücksichtigung des deutschen Strommix (siehe weiter unten) bei ca. 29 %. Dies zeigt die Notwendigkeit, außer im Verkehrssektor vor allem im Bereich der Elektrizität eine Verringerung der Umweltbelastungen zu erreichen.

Im Bereich der erneuerbaren Energien ist insbesondere der Energieträger Strom von Interesse. 1994 betrug der Nettostromverbrauch 465.1 TWh [3], wovon 92,3 % im Inland erzeugt wurden. Gegenüber dem Vorjahr ist der Nettostromverbrauch geringfügig gestiegen (+0,6 %). Abbildung 4 zeigt die Änderungen in den Anteilen der einzelnen Energieträger an der Stromerzeugung:

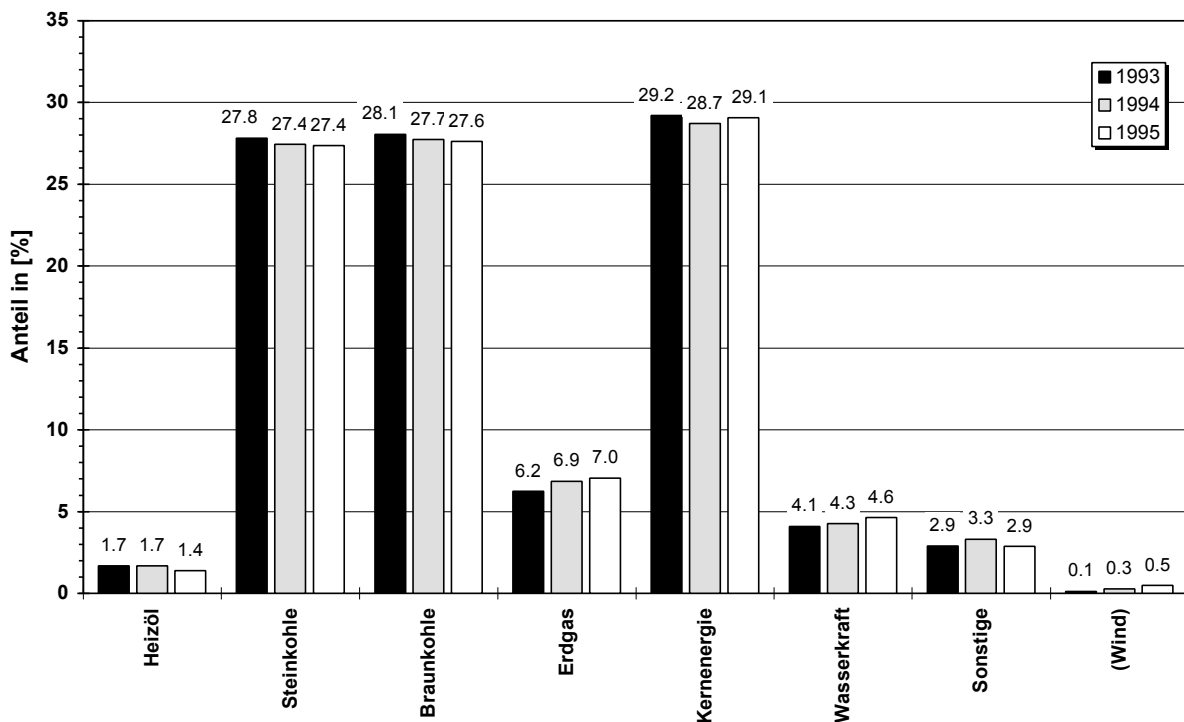


Abb. 4: Bruttostromerzeugung nach eingesetzten Energieträgern (1993 bis 1995), [1]

Fig. 4: Generation of electricity in Germany (1993 to 1995), [1]

In Prognosen [2] wird davon ausgegangen, daß sich der Bruttostromverbrauch bis zum Jahre 2010 jährlich um 0.8 % erhöhen wird. Dabei wird besonders den Energieträgern Erdgas und importierter Steinkohle ein größerer Anteil prognostiziert, bei den erneuerbaren Energien wird ein Anteil von (nur) 7 % für erreichbar gehalten.

3.2 Energie und Umwelt

Jede Form der Energieerzeugung ist mehr oder weniger mit Umweltbelastungen verbunden: Dies reicht vom Abbau der Rohstoffe über deren Transport bis hin zur eigentlichen Energieerzeugung und der Entsorgung verbrauchter Energieträger. Zusätzlich treten Umweltbelastungen bei Bau, Instandhaltung und Entsorgung der Energiewandlungsanlage auf. Hinzu kommt insbesondere bei der Kernenergie das Unfallrisiko.

Im Zusammenhang mit der Stromerzeugung in konventionellen Kraftwerken und Kernkraftwerken entstehen sowohl gasförmige Emissionen als auch feste Abfallstoffe. Bei den gasförmigen Emissionen handelt es sich zum einen um Emissionen mit überwiegend lokaler Wirkung (SO₂, NO_x, Staub), zum anderen aber auch um Treibhausgasemissionen mit globaler Wirkung. Tabelle 2 zeigt die Emissionen bei der Stromerzeugung in Abhängigkeit des Energieträgers:

	Anteil 1995	radioaktive Abfälle	SO ₂	NO _x	Staub	CO ₂	CO ₂ -Äquiv.
Energieträger	[%]	[mg/kWh]	[g/kWh]	[g/kWh]	[g/kWh]	[g/kWh]	[g/kWh]
Kernenergie	29.1	4.0	0.13	0.14	0.03	35	36
Braunkohle	27.6	-	0.43	0.79	0.10	1133	1142
Steinkohle	27.4	-	0.79	0.78	0.11	917	977
Erdgas	7.0	-	0.01	0.66	0.01	402	419
Wasserkraft	4.6	-	0.00	0.00	0.00	1	2
WEA	0.5	-	0.02	0.05	0.02	18	19

Tab. 2: Emissionen bei der Stromerzeugung [4], [7]

Tab. 2: Emissions for generation of electricity [4], [7]

Das CO₂-Äquivalent berücksichtigt, daß neben CO₂ auch andere Treibhausgase in geringerem Umfang existieren, deren Treibhauspotential jedoch deutlich über dem von CO₂ liegt (z.B. Methan (CH₄), Kohlenmonoxid (CO) und N₂O).

Neben diesen gasförmigen Emissionen treten Abwässer und Abfälle als weitere Umweltbelastung auf. Während es sich bei Kohlekraftwerken überwiegend um Asche, Gips und Schlacke handelt (ca. 45 g/kWh, [5], [6]), belasten Kernkraftwerke die Umwelt vor allem mit radioaktiven Abfällen. In den 21 bundesdeutschen Kernkraftwerken fallen jährlich ca. 600 t abgebrannter Brennelemente an [7], dies bedeutet eine Umweltbelastung von ca. 4 mg/kWh. Neben den Strahlenbelastungen im Betrieb und dem Unfallrisiko stellen damit die Endlagerung und der damit verbundene Transport (zwischen 1973 und 1995 fanden ca. 1500 Transporte mit ca. 5000 t Kernbrennstoffen statt) die größten Umweltbelastungen dar. Zur Zeit lagern die radioaktiven Abfälle überwiegend in den Forschungseinrichtungen und Kernkraftwerken sowie den externen Zwischenlagern Gorleben und Mitterteich. Die Gesamtkapazität dieser "Zwischenlager" ist heute bereits zu 50% erschöpft [8]. Da die geplanten zukünftigen Endlager Gorleben, Morsleben und Schacht Konrad nicht in dem von der Atomwirtschaft gewünschten Umfang zur Verfügung stehen und auch in absehbarer Zeit nicht ohne weiteres genehmigt werden dürften, ist ein Engpaß bei der Entsorgung radioaktiven Abfalls, insbesondere hochradioaktiven Abfalls, in naher Zukunft zu erwarten. Neben den abgebrannten Brennelementen werden später auch die stillgelegten Anlagen, ebenfalls radioaktiv belastet, entsorgt werden müssen.

Um die genannten Umweltbelastungen zu reduzieren ist neben Energieeinsparung und Effizienzsteigerung vor allem der Ausbau der erneuerbaren Energien zu beschleunigen. Wird der aktuelle Strommix in Deutschland zugrunde gelegt, so kann eine kWh Windenergie in etwa folgende Schadstoffe vermeiden:

SO ₂ :	0,37 g/kWh
NO _x :	0,49 g/kWh
Staub:	0,05 g/kWh
CO ₂ :	611 g/kWh
CO ₂ -Äquiv.:	632 g/kWh
+ Abfälle:	Asche, Gips, Schlacke: 25 g/kWh
	Atomüll: 1,16 mg/kWh

Bei einer gleichbleibenden Ausbaugeschwindigkeit von ca. 500 MW/Jahr kann die Windenergie im Jahre 2005 ca. 6000 MW installierte Leistung aufweisen und damit das offizielle Ziel von 4000 MW im Jahre 2005 um 50 % überschreiten. Bei einem durchschnittlichen Ausnutzungsgrad von 20% würde der Anteil der Windenergie bei gleichbleibendem Stromverbrauch im Jahre 2005 bundesweit ca. 2 % betragen. Mit dem obigen Schadstoffvermeidungspotential können damit durch die Windenergie ca. 6.5 Millionen Tonnen Kohlendioxid pro Jahr eingespart werden; dies entspricht gut ein Zehntel des CO₂-Reduktionszieles (= 2,5%). Zusammen mit dem Ausbau der anderen erneuerbaren Energien und Maßnahmen zur Energieeinsparung sowie Einsparungen im Verkehrssektor wird es möglich sein, die Reduktion gegenüber 1990 (bisher, je nach Art des Berechnungsverfahrens 9% - 13%, allerdings mehr durch Industriestilllegungen in den neuen Bundesländern als durch umweltpolitische Maßnahmen) fortzuführen, ohne die Kernenergie weiterzubetreiben bzw. auszubauen. Zweifelhaft bleibt allerdings, ob die momentanen politischen Rahmenbedingungen ausreichend sind, um das gesteckte Ziel auch tatsächlich im Jahre 2005 zu erreichen. Selbst Prognosen [2] gehen davon aus, daß der überwiegende Teil des Rückgangs an CO₂-Emissionen durch den wirtschaftlichen Einbruch in den neuen Bundesländern bereits zu Beginn dieses Jahrzehnts erreicht wurde und nunmehr bei stagnierendem Primärenergieverbrauch und nur geringfügigem Ausbau der erneuerbaren Energien bis zum Jahre 2020 nur weitere 3 % eingespart werden können.

4. Der Energiemarkt in Brasilien (nach [9,10])

Nach der Darstellung des Energiemarktes in einem Industrieland folgt nun eine Kurzbeschreibung der Situation in Brasilien, das aufgrund seines Bruttoinlandproduktes von 2518 US\$ pro Kopf zu den Schwellenländern gezählt wird. Das dünnbesiedelte Brasilien (18,6 Einwohner / km²) deckt seinen Primärenergiebedarf zu 60,9 % aus erneuerbaren Energien, vor allem Wasserkraft und Biomasse (Holz, Zuckerrohr), siehe Abbildung 5.

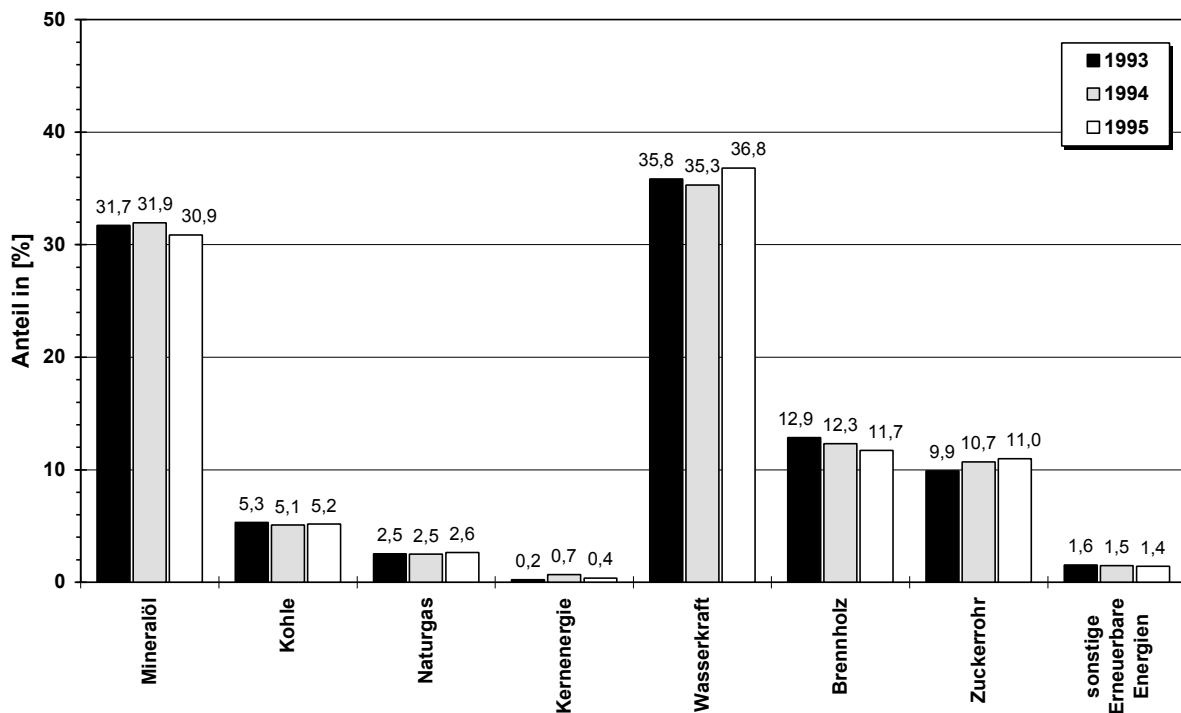


Abb. 5: Primärenergieverbrauch in Brasilien nach Energieträgern (1993 bis 1995)
 Fig. 5: Consumption of primary energy in Brazil (1993 to 1995)

Der Primärenergieverbrauch betrug 1995 insgesamt 8.371 PJ und stagnierte damit gegenüber dem Vorjahr. Bezogen auf 1990 stieg der Primärenergieverbrauch um 10,4 %. Der Primärenergieverbrauch pro Kopf liegt mit 53 GJ noch unterhalb des Weltdurchschnitts. Große Veränderungen in der brasilianischen Energiestruktur sind in den Jahren 1993 bis 1995 nicht erkennbar.

Der Stromverbrauch betrug 1995 in Brasilien 275,4 TWh und stieg damit gegenüber dem Vorjahr um 5,9 % an. Abbildung 6 zeigt den Anteil der einzelnen Energieträger an der Bruttostromerzeugung.

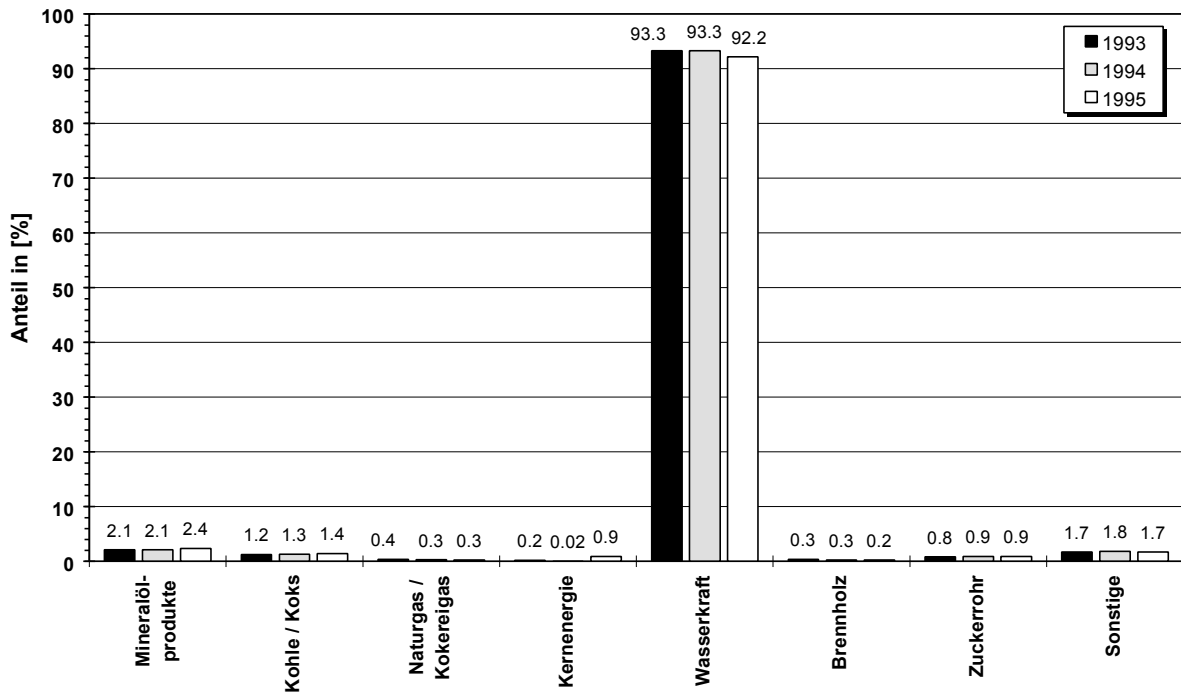


Abb. 6: Bruttostromerzeugung nach eingesetzten Energieträgern (1993 bis 1995)
 Fig. 6: Generation of electricity in Brazil (1993 to 1995)

Auffallend ist der hohe Anteil der Wasserkraft an der Stromerzeugung, bereitgestellt durch ein Wasserkraftpotential von 93 GW installierter Leistung.

Trotz dieses großen Potentials hat der brasilianische Staat für die anderen erneuerbaren Energien ebenfalls Ziele für das Jahr 2005 definiert:

Solarenergie:	50 MW
Windenergie:	1000 MW (zur Zeit: < 30 MW)
Biomasse:	4400 MW

5. Zusammenfassung

Trotz weltweiter politischer Bekundungen zum Umweltschutz auf den großen UN-Konferenzen von Rio de Janeiro (1992) und Berlin (1995) ist der Trend zu mehr Verbrauch an Primärenergie seit Jahren ungebrochen. Da dieser Bedarf zu über 80 % durch fossile Energieträger gedeckt wird, sind die damit verbundenen Umweltbelastungen (lokale Schadstoffemissionen, globale Treibhausgasemissionen usw.) beträchtlich. Ein Ersatz dieser Energieträger durch Kernenergie ist aufgrund des Unfallrisikos und der Entsorgungsproblematik nicht mehr als eine Verlagerung von Problemen.

Einzig Energieeinsparung und der Ausbau erneuerbarer Energien kann sowohl kurzfristige Ziele (z.B. CO₂-Reduktion in den Industrienationen um 25% bis zum Jahre 2005) verwirklichen als auch langfristige Perspektiven bieten. Allein die Endlichkeit der fossilen und nuklearen Energieträger macht die Notwendigkeit der Umstrukturierung deutlich, sollen nicht allein die Bedürfnisse der Gegenwart befriedigt, sondern auch zukünftigen Generationen die Möglichkeiten bewahrt werden, ihre eigenen Bedürfnisse zu befriedigen.

Die Windenergie hat dabei ihren Platz im Strommix der erneuerbaren Energien und kann zum kurzfristigen CO₂-Reduktionsziel unter günstigen Rahmenbedingungen (Bewahrung des Einspeisegesetzes) gut ein Zehntel beitragen. Insbesondere hohe Energie-Erntefaktoren sprechen dabei für die Windenergie und die Wasserkraft. Während die Rolle der erneuerbaren Energien in einer Industrienation wie Deutschland in erster Linie in der Substitution anderer Energieträger zu sehen ist, steht in Schwellenländern wie Brasilien (mit einem hohen Anteil an Wasserkraft) die Frage im Mittelpunkt, wie der steigende Energiebedarf zukünftig gedeckt werden wird.

Deutlich ist jedoch auch, daß allein im Stromsektor nicht die Umweltprobleme gelöst werden können. Vielmehr müssen im gesamten Energiebereich, vor allem im Verkehrssektor, Rahmenbedingungen geschaffen werden, die es dem Einzelnen ermöglichen, z.B. vom energieintensiven Individualverkehr auf effektivere und umweltfreundlichere Verkehrsmittel umzusteigen. Daß auch bei günstigen Rahmenbedingungen dennoch die Bereitschaft zum Umdenken nicht immer vorhanden ist, zeigt sich an den Widerständen gegen die Windenergie, wo häufig lokale Eigeninteressen über die globalen Zusammenhänge gestellt werden.

6. Literatur

- [1] BMWi: Energiedaten '96, Nationale und internationale Entwicklung : Bonn: 1996.
- [2] BMWi: Die Energiemärkte Deutschlands im zusammenwachsenden Europa - Perspektiven bis zum Jahr 2020: Kurzfassung: 1996.
- [3] VWEW : Die Elektrizitätswirtschaft in der Bundesrepublik Deutschland im Jahre 1994: Frankfurt: 1996.
- [4] Fritsche, U.R.; Leuchtner, J.; Matthes, C.F.; Rausch, L.; Simon, K.H.: Gesamt- Emissions-
Modell Integrierter Systeme (GEMIS) Version 2.1 - Erweiterter Endbericht : ÖKO-
INSTITUT, Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie und Bundesangelegenheiten (Hrsg.) :
Darmstadt, Freiburg, Berlin, Kassel : 1994.
- [5] Borsch, P.; Wagner, H.J.: Energie und Umweltbelastung : Springer-Verlag : Berlin, Heidelberg :
1992.
- [6] Heinloth, K. : Energie und Umwelt - Klimaverträgliche Nutzung von Energie : B.G. Teubner;
Verlag der Fachvereine : Stuttgart, Zürich : 1993.
- [7] Hahn, L.; Voß, A.: Nutzung der Kernenergie - Zusammenfassung: in "Energie und Klima, Band 5
- Kernenergie": Economica Verlag; Verlag C.F. Müller: Bonn, Karlsruhe: 1990.
- [8] Zeitschrift "Energie": Kapazitätsprobleme bei radioaktiven Abfällen: 1-2/1995.
- [9] Ministério das Minas e Energia : Balanço Energético Nacional de 1996 - Ano Base 1995: Brasi-
lia: 1996.
- [10] Ministério da Ciência e Tecnologia: II Encontro para o Desenvolvimento das Energias Solar,
Eólica e Biomassa no Brasil : Brasília: 1995.