Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 81 (1990)

Heft: 2

Artikel: Energie für morgen : Perspektiven

Autor: Weissenfluh, T. von

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-903060

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

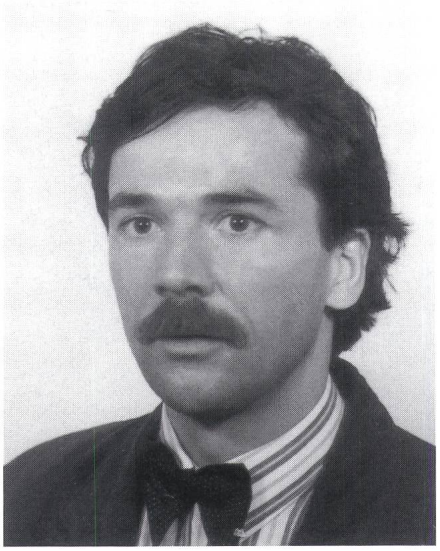
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 08.08.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Energie für morgen: Perspektiven

Th. von Weissenfluh



Am Kongress der Weltenergiekonferenz (WEC) im September 1989 im Montreal erhielt die Diskussion über die Umweltverträglichkeit des Energieverbrauchs grosses Gewicht. In den letzten drei Jahren seit der Weltenergiekonferenz von Cannes (1986) sind die Erkenntnis und das Bewusstsein in der breiten Bevölkerung stark gewachsen, dass die mit der Energienutzung verbundenen Schadstoffemissionen wesentlichen Einfluss auf unsere Umwelt und die klimatischen Bedingungen haben. Die neuesten Szenarien zum weltweiten Energieverbrauch der Weltenergiekonferenz 1989 basieren ja weitgehend auf der Nutzung der fossilen Energien, und darauf ist vorläufig auch nicht zu verzichten. Die Verbrauchsentwicklung der verschiedenen Energieträger könnte aber gerade im Lichte der heute weltweit und auch am Kongress der Weltenergiekonferenz in Montreal schwergewichtig geführten Diskussionen in den nächsten Jahrzehnten doch etwas verändert aussehen.

Adresse des Autors

Dr. *Thomas von Weissenfluh*, Elektrowatt AG, Bellerivestr. 36, 8022 Zürich

1. Der Energieverbrauch und seine Perspektiven

1.1. Der weltweite Energieverbrauch

Der Vergleich der weltweiten Entwicklung des jährlichen Energieverbrauchs zeigt eine Verflachung der Verbrauchszunahme seit der Energiekrise von 1973 (Bild 1). Zwischen 1960 und 1973 nahm der weltweite Primärenergieverbrauch im Durchschnitt jährlich um 4,7% und seither im Schnitt jährlich um 2,8% zu. Damit hat der gesamte Verbrauch seit 1960 um 176% zugenommen. Im Jahre 1988 betrug er 9,3 Milliarden Tonnen Erdöläquivalent (Mia TOE), um eine in der der Branche übliche Bezeichnung für die Energie zu verwenden. In diesen Zahlen ist auch die Biomasse enthalten. Analysiert man den Primärenergieverbrauch weltweit, so stellt man fest, dass in der Zeitspanne seit 1960 die Nutzung des Erdgases um nahezu 300%, die der Wasserkraft um 250%, die des Erdöls um 220% und diejenige der Kohle um 80% zugenommen hat. Die Verwendung der nicht kommerziellen Energieträger (hauptsächlich Biomasse) hat in der gleichen Zeitspanne ungefähr um 150% zugenommen. Die Nutzung der Kernenergie, da sie erst seit den siebziger Jahren einen wesentlichen Anteil am Gesamtenergieverbrauch ausmacht, wird nicht verglichen.

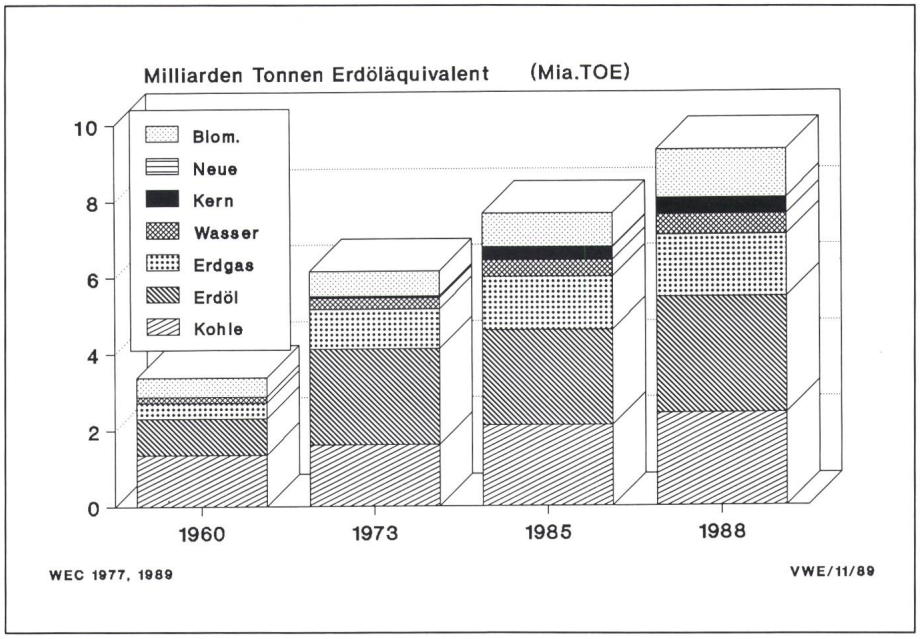
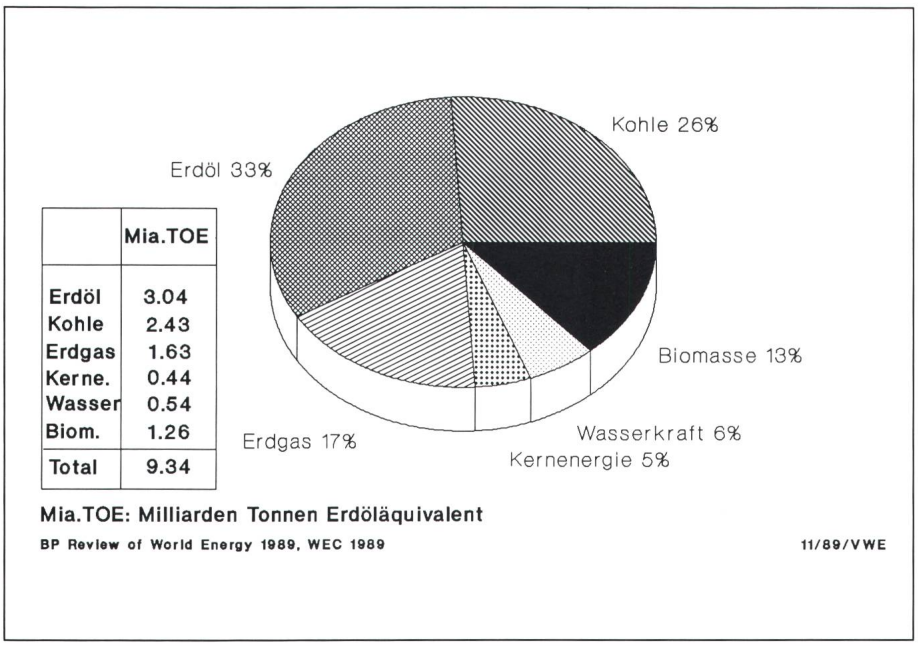


Bild 1 Weltweiter Primärenergieverbrauch 1960–1988



	Mia.TOE
Erdöl	3.04
Kohle	2.43
Erdgas	1.63
Kerne.	0.44
Wasser	0.54
Biom.	1.26
Total	9.34

Bild 2 Aufteilung des weltweiten Primärenergieverbrauchs 1988

Eine Aufteilung des gesamten Primärenergieverbrauchs von 1988 zeigt (Bild 2), dass ungefähr ¾ davon durch fossile Energieträger gedeckt werden.

Die Aufteilung nach Weltregionen macht deutlich (Bild 3), dass die OECD-Länder, die industrialisierten Länder der westlichen Welt also, bisher jährlich über 50% der kommerziellen Primärenergie verbraucht haben. Erst im Jahr 1988 ist dieser Anteil auf 49,7% zurückgegangen. (In diesen Zahlen ist der Verbrauch der nicht kommerziellen Energieträger wie Biomasse und der Anteil der neuen erneuerbaren Energien nicht berücksichtigt). Die Grafik zeigt eine interessante Tatsache: Bis zum Jahre 1973 ist der Anteil am Primärenergieverbrauch aller industrialisierten Länder angestiegen. Seither steigt nur noch der Verbrauch der planwirtschaftlich organisierten Länder weiter, derjenige der OECD-Länder sinkt. Gegenteilig verläuft der Anteil der Entwicklungsländer: bis 1973 war dieser rückläufig, und wächst seither wieder an.

Diese Verschiebung darf auf zwei Ursachen zurückgeführt werden. Einerseits hat man in den marktwirtschaftlich organisierten Ländern auf die Energiekrise von 1973 reagiert: Die Bestrebungen, die Energie rationeller und effizienter einzusetzen, scheinen erfolgreich zu sein. Die planwirtschaftlich organisierten Länder hingegen weisen diese Flexibilität offensichtlich nicht auf. Anderseits sind aber auch die demographischen Aspekte zu berücksichtigen. Im gesamten betrachteten Zeitraum hat die Bevölkerung in den Entwicklungsländern stark (88%) zugenommen. Damit ist notwendigerweise auch eine Energieverbrauchszunahme verbunden, da der Pro-Kopf-Verbrauch in diesen Ländern nicht noch weiter abgesunken, sondern angestiegen ist.

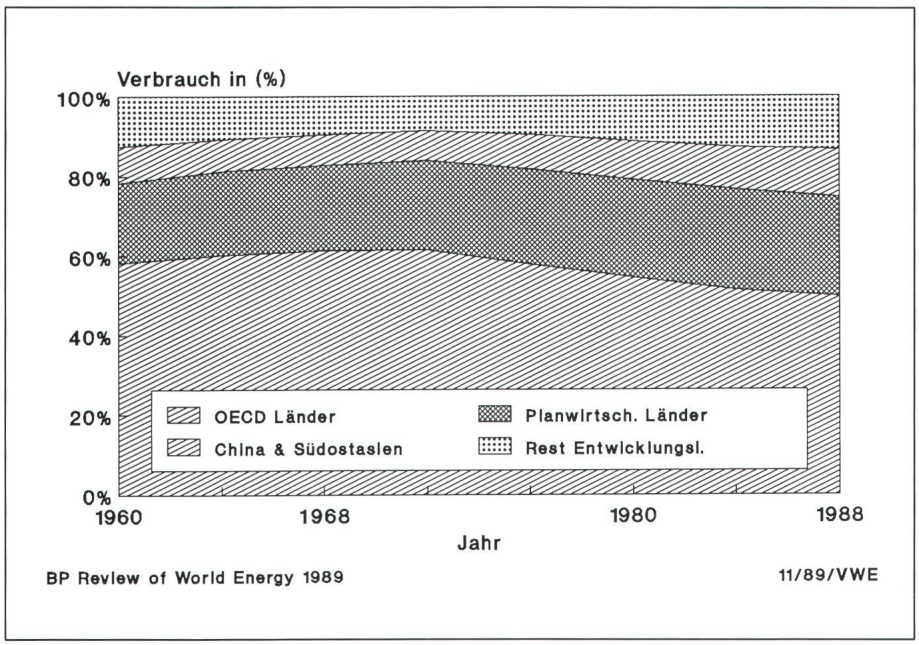


Bild 3 Aufteilung des weltweiten Primärenergieverbrauchs 1960–1988 nach Ländergruppen

1.2. Energieperspektiven der WEC 1989

Der Anteil der industrialisierten Länder am Weltprimärenergieverbrauch nimmt nach der neuesten WEC-Studie von 70% im Jahre 1985 (dabei sind auch die nicht kommerziellen Energieträger, v.a. Biomasse, berücksichtigt) auf 65% im Jahr 2000 und auf ungefähr 57% im Jahr 2020 ab. In diesem Szenario vermindert sich hauptsächlich der Anteil der «westlichen» Industrienationen, während der Anteil der «östlichen» Industrieländer nahezu konstant bleibt.

Der Anteil der Entwicklungsländer am Weltenergieverbrauch nimmt entsprechend von 30 auf 43% zu. Der Energieverbrauch erhöht sich dadurch in den Entwicklungsländern um über 100%, entsprechend 2,5 Mia TOE. In den industrialisierten Ländern nimmt er noch um 1,3 Mia TOE oder um 24% zu (daran haben die Industrieländer mit Planwirtschaft einen Anteil von 60%).

1.3. Vergleich der Energieszenarien der WEC

Die bis jetzt durchgeführten drei Studien den WEC (1977, 1983, 1989) zu den Weltenergieperspektiven, deren Zeithorizonte sich jeweils bis zum Jahre 2020 erstrecken, zeigen für den gesamten Primärenergieverbrauch fal-

lende Tendenz (Bild 4). Die Autoren der Studie von 1989 erklären diese Unterschiede hauptsächlich mit einer besseren Berücksichtigung der Energiesparmöglichkeiten in Nord und Süd, die sich insbesondere nach der zweiten Energiekrise (1980) gezeigt haben. Damit wurden die Einkommenselastizitäten, welche das jährliche Wachstum an Energieverbrauch in Relation zum Wachstum der Bruttoinlandproduktion setzen, jeweils stark nach unten korrigiert.

Der Vergleich der neuesten Energieperspektiven mit denjenigen aus dem Jahre 1983 zeigt, dass das früher als «pessimistisch» bezeichnete Szenario mit dem Szenario «moderates Wachstum» von 1989 bezüglich Gesamtenergieverbrauch recht gut übereinstimmt.

An den neuen Studien fallen vor allem die überproportionalen Abnahmen der erwarteten Verbrauchsentwicklungen bei der Kern- und den erneuerbaren Energien auf (Bild 5). 1977 wurde die Kernenergie noch mit einem Anteil von nahezu 30% am Primärenergieverbrauch im Jahre 2020 angegeben. Dieser Wert wurde 1983 auf 12% und 1989 auf 8% reduziert. Der Anteil der *neuen* erneuerbaren Energien wurde 1977 nicht angegeben, 1983 ist er mit 5,8% berücksichtigt und 1989 mit 2,7%.

Bei der Kernenergie kann diese Reduktion mit den politischen Verhältnissen und der öffentlichen Meinung der späten 70er und 80er Jahre erklärt werden, die weltweit eine Ablehnung gegenüber der Nukleartechnologie zeigt. Beim Potential der neuen erneuerbaren Energieformen ist die Rückstufung aber auf eine Ernüchterung bzw. realistischere Einschätzung der Möglichkeiten der technologischen Entwicklung und der Nutzung vor allem in den industrialisierten Ländern der Welt seit Anfang der 80er Jahre zurückzuführen.

Nach dem neuesten Szenario mit moderatem Wachstum nimmt der Anteil der Kohle am gesamten Primärenergieverbrauch von heute 28% bis zum Jahr 2020 auf 30% zu, der Erdölanteil der Weltwirtschaft nimmt von 32,5 auf 26% ab, während der 1973 bei der 1. Energiekrise bei 40,5% lag. Das Erdgas hält seinen Anteil am heutigen Weltprimärenergieverbrauch von 17%. Die Verteilung der Anteile auf die einzelnen Energieträger ändert sich nur geringfügig in dem Szenario, dem ein geringeres Wirtschaftswachstum zugrunde liegt.

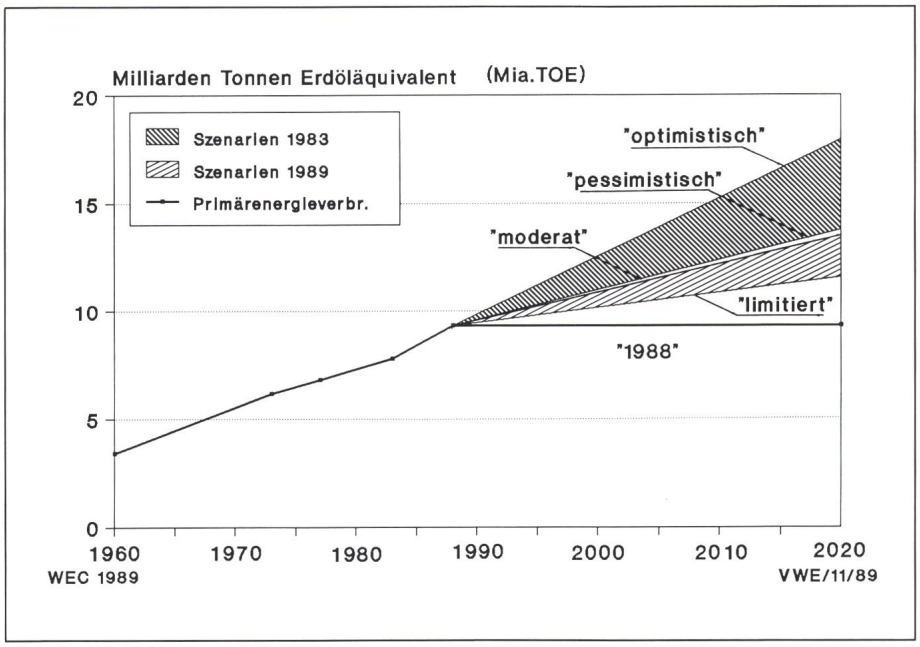


Bild 4 Vergleich der Energieperspektiven der WEC von 1983 und 1989

2. Energiereserven

Die Energieträger können prinzipiell in zwei Kategorien unterteilt werden. Die *nicht erneuerbaren* Energien, die heute hauptsächlich genutzt werden, umfassen die fossilen und die nuklearen Energieträger. Die *erneuerbaren* Energieträger beinhalten alle Energien, die direkt oder indirekt von der Sonneneinstrahlung abhängig sind. Dazu gehören die Wasserkraft und auch die neuen Energien solarthermische und photovoltaische, Wind-, Wellen- und Gezeitenenergien. Auch die geothermische Energie wird zu diesen gezählt. Ebenfalls Biomasse, da diese periodisch oder sogar andauernd neu aufgebaut wird. Bei der Nutzung der Biomasse werden zwar höhere Kohlenwasserstoffmoleküle und NO_x produziert, bezüglich des CO_2 kann sie aber weitgehend als bilanzneutral betrachtet werden. In diesem Sinne können nicht alle erneuerbaren Energien als emissionsfrei gel-

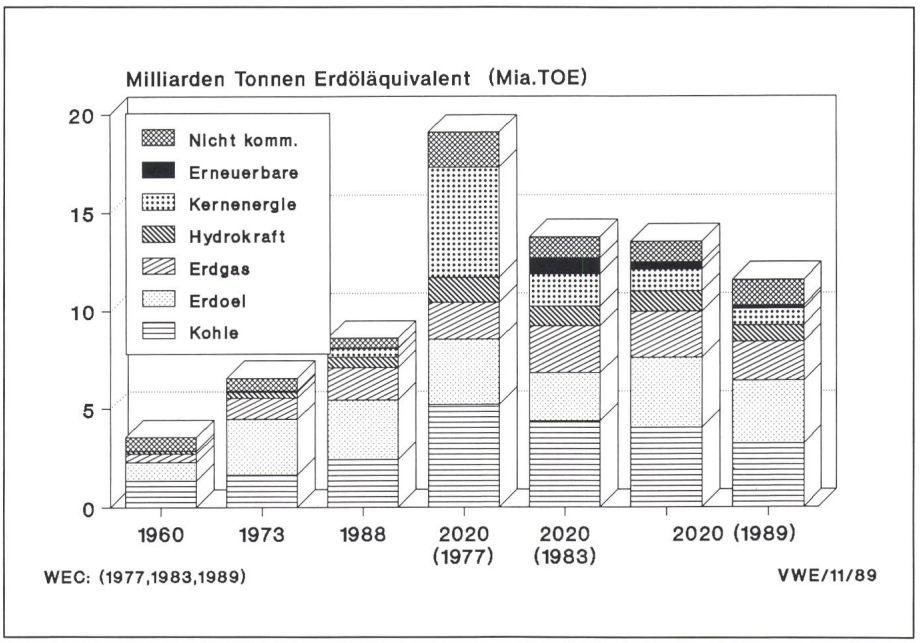


Bild 5 Aufteilung der Energieperspektiven bis 2020 nach Energieträgern

Mia. TOE	Theoret. Potential	Techn. Potential	Genutztes Potential
Solarstrahlung	19000 [1]	19 [2]	0.00001
Windenergie	260	0.8	0.0001
Biomasse	75	1.6	1.26
Wasserkraft	4	1.7	0.5
Geoenergie	26	0.5	
Wellen-,Gezeiten-energie	15	0.4	0.0001 [3]
Total		24	1.76

[1] auf Kontinente auftreffende Stahlungsenergie
[2] Annahme: 1% der Landfläche, 10% Wirkungsgrad
[3] Gezeitenenergie

Tabelle I
Das Potential der erneuerbaren Energien

ten. Nachfolgend werden kurz die erneuerbaren, dann die nicht erneuerbaren Energieträger diskutiert, da die vorhandenen Reserven letzterer ausschlaggebend sind für die weitere Entwicklung des globalen Energiesystems der nächsten 50–100 Jahre.

2.1. Erneuerbare Energiereserven

Das Potential der erneuerbaren Energien ist zwar sehr gross (Tab. I), aber die technische Nutzbarkeit reduziert dieses stark. Wird angenommen, dass nur 1% der Landoberfläche mit einem Wirkungsgrad von 10% zur Nutzung der Sonnenenergie aufgewendet wird, so reduziert sich das theoretische Potential und beträgt immerhin noch rund dreimal den aktuellen weltweiten Gesamt-Endenergieverbrauch. Das technisch nutzbare Potential aller erneuerbaren Energien entspricht ungefähr dem 4fachen aktuellen Endenergieverbrauch der Welt. Davon werden heute (1988) etwa 8% (entsprechend 1,8 Mia TOE) genutzt.

2.2. Nicht erneuerbare Energiereserven

Die Energiereserven werden regelmässig in einer sehr detaillierten Arbeit von der Weltenergiekonferenz neu zusammengestellt. Die gesicherten nicht erneuerbaren Energiereserven, die unter den aktuellen ökonomischen Bedingungen und mit den verfügbaren technologischen Methoden förderbar sind, liegen heute 30% über den Angaben vor drei Jahren (Tab. II). Insbesondere sind die gesicherten Kohle- und Ölreserven 25% höher als 1986. Dies ist einerseits auf die in China neu in die Kategorie gesicherte und abbaubare Reserven aufgenommenen Kohlevorräte zurückzuführen und anderseits durch die erhöhten lokalisierten Mengen an Erdöl im Nahen Osten, Venezuela und Norwegen.

Die sehr grosse Zunahme (+292%) bei den nicht konventionellen Erdölen, d.h. Ölschiefer und Teersanden, ist hauptsächlich auf die Entwicklung der Raffinierungstechnologien, die noch in ihren Anfängen stecken, zurückzuführen. Der Anteil der nicht konventionellen Erdöle am Primärenergieverbrauch ist heute weltweit marginal, dies hauptsächlich wegen der tiefen Rohölpreise, die viele Gewinnungsprojekte für nicht konventionelle Erdöle seit dem Preiszerfall beim Rohöl von 1986 einschlafen liessen. Die Zunahme von nahezu 40% bei den gesicherten Erdgasvorkommen ist mit der fortschreitenden Exploration zu erklären.

Die Uranvorkommen wurden in der neuesten WEC-Studie für die kommunistischen Länder nur geschätzt, und zwar wurden ein unterer und ein oberer Grenzwert angegeben. Die für die Tabelle verwendeten Werte basieren auf dem unteren Wert der Uranvorkommen in den kommunistisch regierten Ländern. Ein Vergleich mit den Angaben von 1986 ist wegen der unterschiedlichen Berechnungsmethoden nicht sehr aussagekräftig. Zudem liegt diesen Zahlen die Nutzung mittels thermischer Reaktoren zugrunde. Eine weltweit massiv verstärkte Nutzung der Uranreserven müsste sinnvollerweise mit dem Prinzip der Brutreaktoren erfolgen, das eine 60mal bessere Ausnützung des Uran-Brennstoffs ermöglicht.

Ein Vergleich der zusätzlichen Energievorkommen, welche noch nicht genau nachgewiesen sind, deren Abbau auch grösseren Aufwand erfordert und damit erst bei höheren Energiepreisen möglich wird, ist auf der rechten Seite von Tabelle II gegeben. Dazu sei lediglich vermerkt, dass die zusätzlichen Energiereserven ungefähr das vierfache der gesicherten abbaubaren Reserven ausmachen. Damit ergeben sich weltweit prinzipiell nutzbare Energiereserven von ungefähr 8000 Mia TOE.

2.3. Energiereserven im Vergleich mit dem aktuellen Verbrauch

Die gesicherten fossilen und nuklearen Energiereserven entsprechen 175mal dem Jahresprimärenergieverbrauch von 1988. Auch bei einer wesentlichen Zunahme des Jahresverbrauchs werden die gesicherten Reserven für weitere 100 Jahre ausreichen. Berücksichtigt man die zusätzlichen Reserven, so ergeben sich Energieressourcen für mehrere Jahrhunderte. Die Begrenzung der Energienutzung ist also vorläufig nicht durch die vorhandenen fossilen Energiereserven gegeben, auch wenn diese nicht für unendliche Zeiten ausreichen werden. Sie ist, wie wir heute wissen, durch die Emissionen von umweltbelastenden Schadstoffen limitiert.

3. Anthropogene CO_2-Emissionen

Die für Smog und sauren Regen verantwortlichen Emissionen der fossilen Energieträger wie Russ- und Staubpar-

Tabelle II
Gesicherte und zusätzliche weltweite Energiereserven

Mia. TOE	gesicherte Reserven			zusätzliche Reserven		
	WEC			WEC		
	86	89	Veränd.	86	89	Veränd.
Kohle	896	1114	+24%	2699	5700	+111%
Erdoel, konv.	97	121	+25%	36	48	+33%
Erdoel, nicht konv.	13	51	+292%	304	439	+44%
Erdgas	74	103	+39%	156	250	+60%
Uran	26	46	+77%	32	51	+59%
Total	1106	1435	+30%	3227	6488	+101%

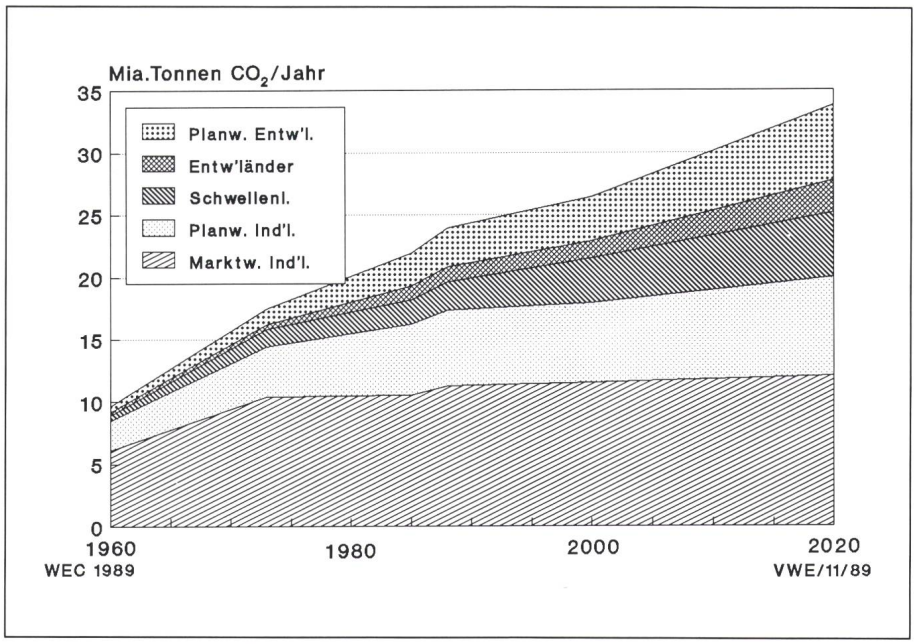


Bild 6 Weltweite CO_2-Produktion 1960–2020 nach Ländergruppen

tikel sowie Schwefeldioxid (SO_2) und Stickoxide (NO_x) werden hier nicht weiter betrachtet. Grundsätzlich ist ihre Rückhaltung technisch machbar. Trotzdem müssen wir uns bewusst sein, dass bei der Mehrheit der fossil befeuerten Kraftwerke und beim grössten Teil der Kleinverbraucher (Haushalt, Gewerbe, Verkehr) die technischen Massnahmen zur Reduktion dieser Schadstoffe nicht realisiert sind. In der westlichen, marktwirtschaftlich organisierten Welt werden jetzt durch Abgasvorschriften zur Begrenzung der Emissionen gezielt Einschränkungen verordnet. Wir haben gesehen, dass die OECD-Länder 1988 50% des Primärenergieverbrauchs beanspruchten. Damit werden also erst bei der Hälfte des Verbrauchs von fossilen Brennstoffen über Abgasnormen die Emissionen beschränkt.

3.1. CO_2-Emissionen

Mit der Zunahme des weltweiten fossilen Energieverbrauchs nehmen auch die für den Treibhauseffekt wesentlichen CO_2-Emissionen zu (Bild 6). 1988 haben die aus der Verbrennung von fossilen Energieträgern stammenden CO_2-Gase einen Wert von 23,9 Milliarden Tonnen (Mia t) erreicht. Wie aus der Figur ersichtlich ist, nehmen für die von der Weltenergiekonferenz 1989 veröffentlichten Szenarien die CO_2-Emissionen weiter zu, machen doch an der gesamten Energieverbrauchszunahme die fossilen Energieträger 66% aus. Nach dieser Studie würden bis 2020 die jährlichen CO_2-Emissionen auf ungefähr 28,5 Mia t CO_2, für das Szenario mit grösserem wirtschaftlichen Wachstum sogar auf 33,8 Mia t CO_2 zunehmen.

Ein Vergleich des Szenarios von 1983 mit «pessimistischem» wirtschaftlichen Wachstum mit demjenigen von 1989 mit «moderatem» wirtschaftlichen Wachstum, die beide ungefähr zum gleichen Primärenergieverbrauch führen, zeigt, dass wegen der geringeren Anteile von Kern- und erneuerbaren Energien nach dem Szenario 1989 ein um 8% erhöhter Ausstoss an CO_2 im Jahre 2020 resultiert, entsprechend 2,5 Mia t CO_2.

3.2. CO_2-Produktion nach Ländergruppen

Die marktwirtschaftlich organisierten Industrieländer emittierten 1985 49% der weltweiten CO_2-Produktion aus fossilen Brennstoffen. Die Nutzung der Biomasse und die Rodung der tropischen Regenwälder ist in diesen Zahlen nicht berücksichtigt.

Alle Industrieländer zusammen produzierten 1985 75% der CO_2-Emissionen. Entsprechend dem Energieszenario «limitiertes Wachstum» nimmt der Anteil am weltweit produzierten CO_2 der Industrieländer bis zum Jahre 2020 auf 59% ab. Davon erzeugen die westlichen Industrieländer etwa 60%. Auffallend ist, dass wiederum die CO_2-Emissionen der westlichen Industriewelt in absoluten Zahlen nicht weiter zunehmen. Dagegen verdoppelt sich der CO_2-Ausstoss gemäss diesen Szenarien in den Ländern der Dritten Welt zwischen 1985 und 2020, und zwar primär wegen der Bevölkerungsentwicklung.

Der Vergleich der CO_2-Produktion pro Kopf in den verschiedenen Ländergruppen (Bild 7) zeigt, dass die planwirtschaftlich organisierten Länder heute (1985) mit 12,6 Tonnen CO_2/Einwohner jährlich an der Spitze

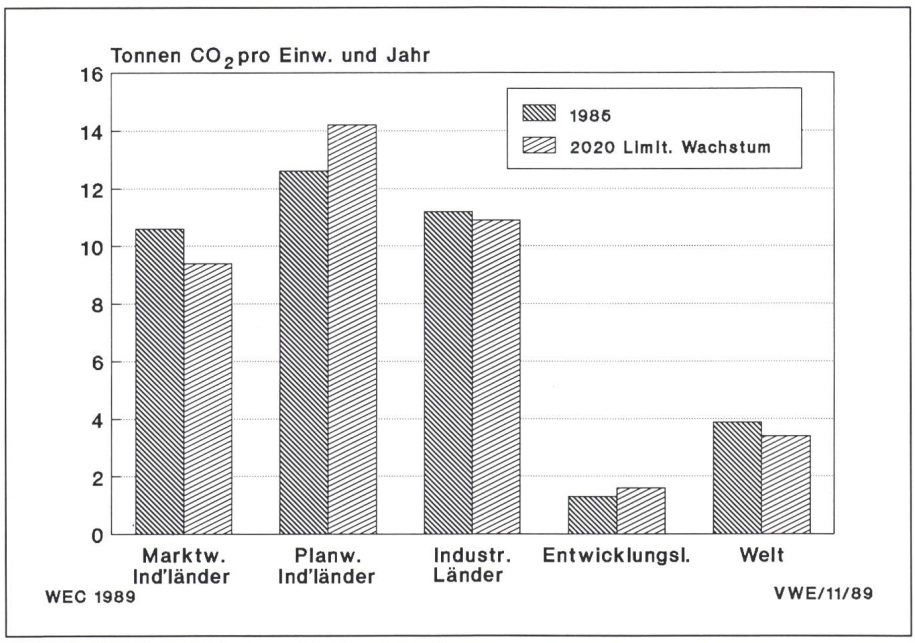


Bild 7 CO_2-Produktion pro Kopf nach Regionen

liegen und diese auch in Zukunft behalten (14,2 Tonnen CO_2/Einwohner im Jahre 2020). Dagegen soll die CO_2-Produktion pro Einwohner in den westlichen Industrieländern von 10,6 (1985) auf 9,4 (2020) abnehmen und die der Entwicklungsländer von 1,3 (1985) auf 1,6 Tonnen CO_2/Einwohner (2020) zunehmen. Der grösste Zuwachs an relativer CO_2-Produktion findet sich in den Ländern Asiens mit planwirtschaftlicher Gesellschaftsform. In diesen Ländern wird mit einer relativen CO_2-Produktion gerechnet, die bis zum Jahre 2020 fast um 50% zunimmt. Den Zahlen für das Jahr 2020 liegt das «limitierte» Wachstumsszenario zugrunde.

Aus diesen Zahlen ist ersichtlich, dass weltweit mit einem weiteren Anstieg der CO_2-Emissionen bis zum Jahre 2020 gerechnet werden muss. Dies steht klar im Widerspruch zu den Aussagen der Klimatologen, die eine Reduktion der globalen CO_2-Emissionen fordern, um die möglicherweise dramatischen klimatischen Veränderungen zu begrenzen. Aufgrund der geschilderten Szenarien zeigt sich aber, dass nur eine rigorose Veränderung des globalen Energiesystems eine Reduktion der CO_2-Emissionen bewirken kann.

4. Energieversorgung unter Berücksichtigung der CO_2-Emissionen

Die hier zitierte und beschriebene Studie der Weltenergiekonferenz zeigt Entwicklungen auf (Szenarien), die nach den heutigen Erkenntnissen in einen ökologischen Engpass führen können. Es sei deshalb an dieser Stelle der Versuch unternommen, Möglichkeiten aufzuzeigen, welche die Emissionen von Schadstoffen, dabei hauptsächlich CO_2, beschränken. Diesen Überlegungen liegen die vielschichtigen Diskussionen zugrunde, die an der Weltenergiekonferenz geführt wurden.

4.1. Möglichkeiten zur Reduktion der CO_2-Emissionen

Zur Reduktion der weltweiten CO_2-Emissionen stehen grundsätzlich zwei Massnahmenpakete zur Verfügung: die Einsparungen und die Substitution.

Durch Einsparungen, d.h. Verbesserung von Wirkungsgraden bei der Energieumwandlung, kann wesentlich mehr Nutzenergie bei gleichem Primärenergieverbrauch erzeugt werden, also ohne dass die CO_2-Emissionen zunehmen.

In den drei wichtigsten Bereichen, in denen fossile Energieträger verwendet werden, bei der Raum- und Prozesswärme, im Verkehr und in der Elektrizitätserzeugung sind weitere wesentliche Verbesserungen möglich. Hier werden nur einige Möglichkeiten erwähnt. Es sind dies: kombinierte Erzeugung von Wärme und Elektrizität in sogenannten Wärmekraftkopplungsanlagen, Wärmepumpen, kombinierte Gas- und Dampfturbinenzyklen. Französische Kleinwagenprototypen weisen bereits einen Benzinverbrauch von 2–3 Litern pro 100 km auf. Der Energieaufwand für Raumheizung und Klimatisierung kann durch verbesserte Gebäudeisolation und Lüftungssysteme wesentlich gesenkt werden.

Die Entwicklung der Energieintensität (Bild 8), als Energieaufwand pro Einheit des Bruttoinlandprodukts definiert, ergibt ein gutes Bild der globalen Auswirkungen dieser Anstrengungen. Die Energieperspektiven der Weltenergiekonferenz deuten für die Industrieländer des Nordens auf eine Fortsetzung des ab 1973 festgestellten Trends zur Abnahme der Energieintensität um etwa 1% bis 1,5% pro Jahr. In den Entwicklungsländern, in denen die Energieintensität zwischen 1973 und 1985 etwa konstant geblieben ist, dürfte nun eine Phase der Abnahme um 0,35% bis 1% pro Jahr einsetzen. Interessant ist zu bemerken, dass die Energieintensität in den Entwicklungsländern absolut gesehen deutlich höher liegt und bleibt als in den industrialisierten Ländern, was auf die weniger hoch entwickelte Technologie schliessen lässt. Als konkretes Beispiel seien Kohlekraftwerke mit einem Wirkungsgrad von 15% in China genannt.

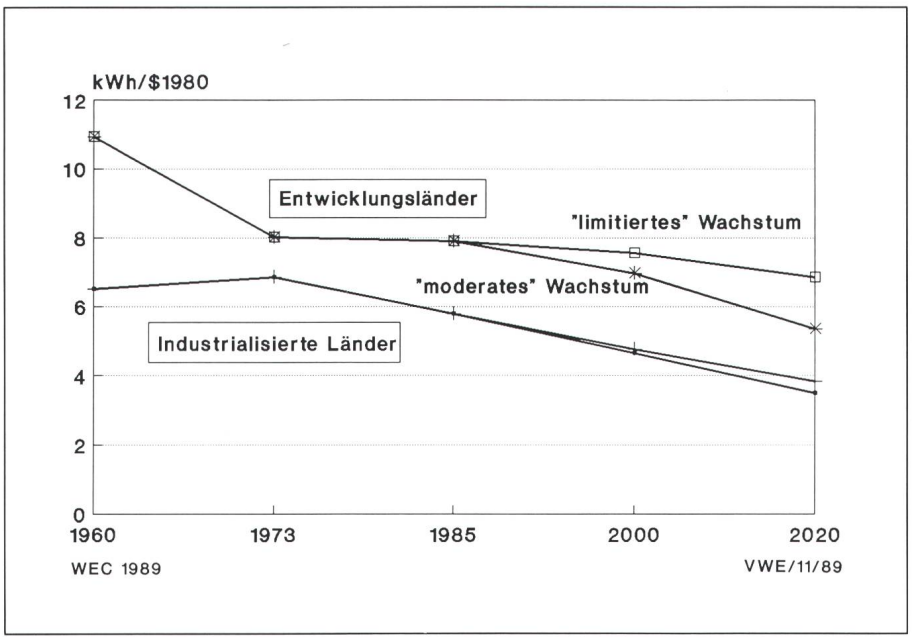


Bild 8 Entwicklung der Energieintensität 1960–2020

Durch Ausschöpfen des Potentials der erneuerbaren Energien, dazu gehört auch die Wasserkraft, und durch gezielten Einsatz der Kernenergie können die CO_2-Emissionen direkt reduziert werden. Dies bedingt eine Substitution von fossilen Energieträgern durch CO_2-freie Systeme.

Langfristig gesehen ist das Substitutionspotential der Sonnenenergie zwar gross, für die nächsten Jahrzehnte dürfte es aber sehr beschränkt bleiben. Dem Ausbau der Wasserkraft sind Grenzen gesetzt, da in den dicht besiedelten Weltregionen die Nutzungsmöglichkeiten nahezu ausgeschöpft sind. In den weniger dicht besiedelten

Regionen, wo es noch weitere Ausbaumöglichkeiten gibt, fehlt der Abnehmermarkt weitgehend.

Eine naheliegende Lösung zur direkten Minderung der CO_2-Emissionen besteht in der Substitution von fossilbefeuerten thermischen Kraftwerken durch Kernkraftwerke, deren Technologie verfügbar ist. Zur Substitution des heute zu 64% in fossilen thermischen Kraftwerken erzeugten elektrischen Stroms wären ungefähr 1000 grosse Kernkraftwerke (zu 1000 MW) notwendig. Eine realistischere Zielsetzung, eine Teilsubstitution oder die globale Stabilisierung der fossilen Stromerzeugung durch vermehrten Einsatz der Kernenergie, ist heute mit der bestehenden Infrastruktur durchaus möglich.

4.2. Optimierung des Einsatzes von Energieträgern

Die Kohlevorräte sind vor allem in den industrialisierten Ländern des Ostens und des Westens sowie in China vorhanden. Der grösste Teil der Erdgasreserven findet sich ebenfalls in den industrialisierten Ländern. Die Erdölvorkommen konzentrieren sich hauptsächlich auf einige Schwellen- (Entwicklungsländer mit mittlerem Einkommen) und industrialisierte Länder. Die Entwicklungsländer verfügen typischerweise über wenig oder keine fossilen Energiereserven; sie liegen teilweise aber in stark besonnten Gebieten (Äquatornähe), wo die Nutzung der Sonnenenergie grössere Bedeutung haben kann.

Aus der Verteilung der weltweiten Energiereserven und unter Berücksichtigung von bekannten ökonomischen Aspekten lassen sich qualitativ einige Schwerpunkte für die Energieversorgung in den verschiedenen Weltregionen ableiten.

In den industrialisierten Ländern müssen vor allem die emissionsarmen und damit teuren Energiesysteme eingesetzt werden, da nur diese Länder solche Technologien entwickeln und bezahlen können und zudem weiterhin den grössten Anteil an den weltweiten Schadstoffemissionen verursachen. Es sind dies Wasserkraft, Kernenergie und fortschrittliche Verbrennungstechniken für fossile Energieträger, d.h. Rückhaltung aller schädlichen Emissionen (Russ- und Staubpartikel SO_2, NO_x und soweit möglich auch CO_2). Kohle und Gas, die hauptsächlich in den industrialisierten Ländern vorkommen, müssen mit diesen fortgeschrittenen Technologien genutzt werden. Die erneuerbaren Energien müssen überall entsprechend ihrem Potential eingesetzt werden. Insbesondere aber muss die Forschung zur Nutzung und Speicherung der Sonnenenergie gefördert werden, damit diese Technologien auch für die Entwicklungsländer verfügbar (einfach und billig) werden.

In den Entwicklungsländern müssen - abgestuft nach den finanziellen Möglichkeiten - die billigeren und technologisch einfach zu handhabenden Energieträger eingesetzt werden, da meist auch das Verständnis und die Infrastruktur für hochentwickelte Technologien nebst den finanziellen Mitteln fehlen. In diesen Ländern, wo das Überleben die primäre Problematik darstellt, kann nicht erwartet werden, dass jetzt grosse Anstrengungen für saubere Energiesysteme unternommen werden, nachdem die industrialisierten Staaten während Jahrzehnten unbekümmert den Hauptteil an schädlichen Emissionen produziert haben. In diesen Ländern müssen vor allem die vorhandenen Energieformen Wasserkraft, Wind-, Geo- und Sonnenenergie sowie die Biomasse, die bereits jetzt zu 85% in den Entwicklungsländern genutzt wird, gefördert werden.

Durch einfache Verbesserungen der Verbrennungstechniken von fossilen Energieträgern und auch von Biomasse können oftmals die Wirkungsgrade massiv verbessert werden. Die beschränkten finanziellen Mittel der Dritten Welt sollen nämlich kein Freipass zur beliebigen Emission von Schadstoffen sein. Zudem müssen die einfach transportier- und handhabbaren fossilen Energieträger weitgehend den Entwicklungsländern zur Verfügung gestellt werden.

5. Schlussfolgerung

Aus den aufgezeigten Perspektiven der Weltenergiekonferenz zur Energieversorgung wird klar, dass die Entwicklung von Szenarien und Verbrauchsprognosen nicht ganz einfach ist. Zu vielschichtig sind die Parameter, die zudem voneinander abhängen, um in ihrer Gesamtheit je in die richtigen Proportionen gesetzt werden zu können. Demographische Entwicklung, unterschiedliche politische Randbedingungen in den einzelnen Ländern, ökonomische und ökologische Aspekte sind einige der wichtigsten Grössen nebst der Verfügbarkeit der verschiedenen Energieträger.

Die rasanten politischen Entwicklungen, wie sie in Osteuropa zurzeit vor sich gehen, könnten in kürzester Zeit die für diese Region entwickelten Szenarien überholen. Trotzdem sind mit solchen Gedankenexperimenten wichtige Zusammenhänge erkennund zumindest qualitative Anhaltspunkte aufzeigbar.

So weisen die von der Weltenergiekonferenz publizierten Szenarien wohlfundiert, in welche Richtung wir uns mit dem aktuellen weltweiten Energiesystem bewegen. Mit dem Wissen um die ökologische Problematik der Schadstoffemissionen muss diese Entwicklung als gefährlich und ungangbar eingestuft werden. Eine Reduktion der Emissionen, um die möglichen klimatischen Veränderungen zu beschränken, kann durch Energieeinsparungen, Verbesserung der Effizienz und durch Substitution emissionsreicher Energiesysteme durch Kernkraft und erneuerbare Energien, insbesondere Wasserkraft, erfolgen.

In den industrialisierten Ländern sind vor allem die teuren Technologien einzusetzen und in den Entwicklungsländern die einfacheren und billigeren Systeme zu benutzen.

Literatur:

[1] *J.R. Frisch, K. Brendow, R. Saunders:* World Energy Horizons 2000-2020. 14th Congress of the World Energy Conference, Montreal, 1989

[2] *M. Boiteux* et al.: World Energy Balance 2000-2020. 12th Congress of the World Energy Conference, New Delhi, 1983

[3] Horizons Energétiques du Tiers Monde 2000-2020. 11th Congress of the World Energy Conference, Munich, 1980

[4] *I.J. Bloodworth* et al.: World Energy Demand 1985-2020. 10th Congress of the World Energy Conference, Istanbul, 1977

[5] *M.J. Pelser* et al.: Enquête sur les Ressources Energétiques 1989. World Energy Conference 1989

[6] British Petroleum Company: BP Statistical Review of World Energy, July 1989

[7] World Energy Conference: National Energy Data Profiles 1989. 14th Congress of the World Energy Conference, Montreal, 1989