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: 90 (1999)

Heft: 10

Artikel: Heutige Rolle und Zukunftsaussichten der erneuerbaren Energien in der Schweiz

Autor: Fritsche, Andreas F.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-901942

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: 17.07.2025

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

Heutige Rolle und Zukunftsaussichten der erneuerbaren Energien in der Schweiz

Die Einsicht, dass die Zukunft der Menschheit in hohem Masse von einem überlegten Umgang mit der Energie abhängt, ist seit einiger Zeit zunehmend ins Bewusstsein grösserer Bevölkerungskreise gelangt. Nicht zuletzt hat die Möglichkeit einer selbst verursachten Klimaveränderung als Folge des CO_2-Ausstosses bei allen Verbrennungsprozessen breite Kreise für Energiefragen sensibilisiert. Eine zunehmende Abkehr von den weltweit dominierenden fossilen Brenn- und Treibstoffen ist angezeigt. Eine wichtige Rolle spielen dabei die Wasserkraft und die Kernenergieerzeugung. Diese produzieren Elektrizität im wesentlichen CO_2-frei, und die Schweiz, die ihren Strom zu 97% auf diese Weise erzeugt, nimmt diesbezüglich eine weltweit führende Stellung ein. In diesem Kontext spielen im weiteren das Energiesparen und die Effizienzerhöhung in der Verwendung von Energie eine wichtige Rolle sowie, und vor allem, die Nutzung erneuerbarer Energien. Nachfolgend soll untersucht werden, wie sich die Einführung erneuerbarer Energien und insbesondere der Solarenergie in der Schweiz bisher entwickelt haben und welche künftige Rolle diese Energiequellen voraussichtlich spielen werden. Hierüber bestehen gelegentlich völlig unerfüllbare Hoffnungen.

■ Andreas F. Fritzsche

Die Entwicklung bis heute

Den erneuerbaren Energiequellen werden in der schweizerischen Energiestatistik [2] zugerechnet: Kehrichtverbrennungsanlagen, Holzenergieanlagen, Biogas-, Klärgas- und Deponiegasanlagen, Wärmepumpen sowie die neuen Erneuerbaren: Sonnenenergie- und Windanlagen.

Die brennbaren Anteile im Kehricht gehen in der Tat letztlich auf erneuerbare organische Stoffe zurück, während Wärmepumpenanlagen die im wesentlichen unbegrenzte, quasi erneuerbare Wärmeenergie der Luft, des Wassers oder des Erdreichs nutzen. Es ist dabei aber zu beachten, dass diese beiden Energiequellen, die als weitgehend konventionell zu bezeichnen sind, den Ertrag der Erneuerbaren entscheidend bestimmen. Ende 1997 war die Kehrichtverbrennung für 73% der erneuerbaren Strom- bzw. 17% der Wärmeerzeugung verantwortlich, die Wärmepumpen für weitere 13% der Wärme. Die neuen erneuerbaren Energien Sonne und Wind haben hingegen zusammen nur 1,5% bzw. 3,3% beigetragen.

Bild 1 zeigt den Anstieg der Energieerträge einzelner erneuerbarer Energiequellen im Verlaufe des vergangenen Jahrzehnts (Quellen [1], [2]). Dargestellt ist jeweils der prozentuale Anteil des jährlichen Ertrages einer erneuerbaren Energiequelle, bezogen auf den schweizerischen Gesamtverbrauch (elektrische Energie bzw. fossile Wärme-Nutzenergie) Ende des jeweiligen Jahres.

Man stellt einen jeweils über mehrere Jahre aufrechterhaltenen stetigen Verlauf fest, der in der gewählten halblogarithmischen Darstellung verblüffend genau durch einen geraden Streckenzug wieder-

Welche Rolle werden die erneuerbaren Energiequellen künftig spielen?

Adresse des Autors

Dr. sc. techn. *Andreas F. Fritzsche*
Chesa Crast'ota
CH-7504 Pontresina

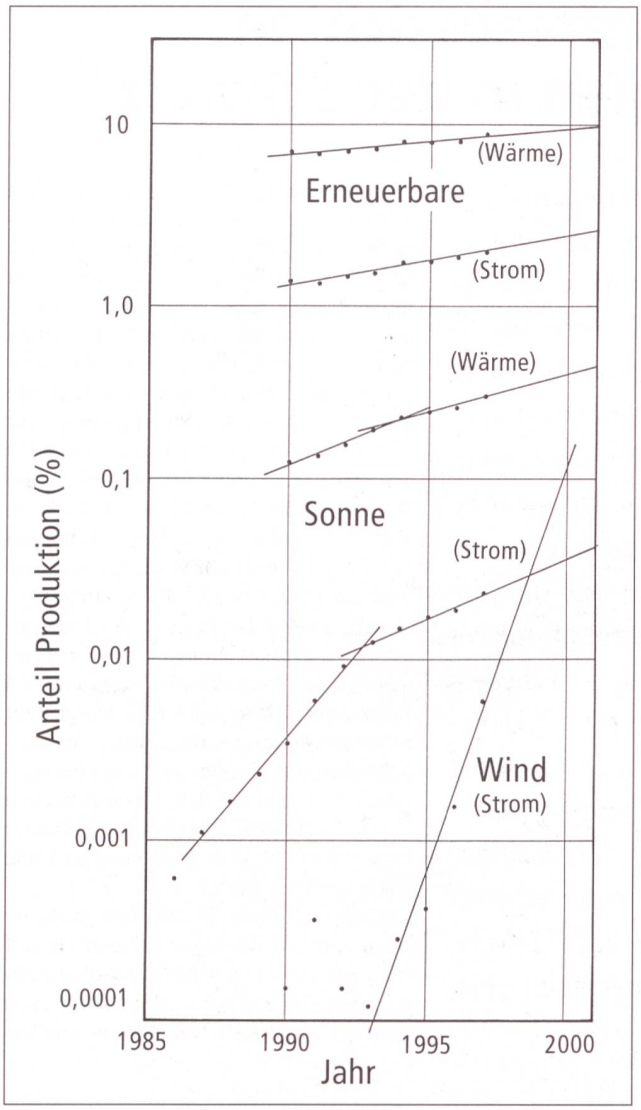

Bild 1 Jährliche Strom- bzw. Wärmeerzeugung durch verschiedene erneuerbare Energiequellen als prozentualer Anteil der gesamten Jahresproduktion in der Schweiz.

gegeben werden kann. Das heisst, dass der Ertrag der einzelnen Energiequellen über eine gewisse Zeitspanne exponentiell zugenommen hat. Die Steilheit dieses Anstiegs hat jeweils innerhalb nur eines einzelnen oder weniger Jahre sprunghaft abgenommen. Der Zuwachs der verschiedenen Arten der Sonnenenergienutzung zu Wärmezwecken (Röhren-, Flächenkollektoren, unverglaste Kollektoren, Heutrocknung) verlief ebenfalls streckenweise exponentiell.

In allen Fällen war der anfängliche Anstieg am steilsten, um sich dann später sprunghaft abzuschwächen. Dies ist ein Abbild der Tatsache, dass anfänglich schon wenige neue Anlagen einen grösseren prozentualen Zuwachs erbringen, als dies später bei einem höheren Anlagebestand der Fall ist. Es ist denn auch zum Beispiel ein fester Subventionierungsbetrag anfänglich viel wirkungsvoller als dies später der Fall wäre. So ist der Anstieg bei der ganz am Anfang ihrer Einführung stehenden Windenergie (Anteil heute unter 0,01% aller Erneuerbaren) ausserordentlich rasant – rund eine Verzehnfachung alle zwei Jahre. Am Anfang der 90er Jahre war hier der Ertrag von der Inbetrieb- und Ausserbetriebnahme weniger Anlagen beherrscht, was die dortige Streuung der Punkte in Bild 1 erklärt.

Das Bild einer wesentlich späteren Phase der Einführung bieten die Kurven für alle Erneuerbaren zusammengenommen (Beiträge zwischen 1% und 10% der Gesamtproduktion). Über den ganzen betrachteten Zeitraum ist hier der Anstieg kontinuierlich und relativ schwach. Die die Stromerzeugung prägende Kehrichtverbrennung wird sich nun aber nur noch langsam weiterentwickeln, während die neuen erneuerbaren Energien, die vorerst Beiträge von nur Bruchteilen eines Prozents liefern, noch erheblich rascher zunehmen. Dasselbe gilt für die Solarenergie. Der Zuwachs bei der Photovoltaik ist viel rasanter als bei der schon lange genutzten Solarwärme.

Der in Bild 1 gezeigte exponentielle Verlauf entspricht jenem der Verzinsung einer Geldanlage in der Bank und wird durch eine Zinseszinsrechnung beschrieben. Die Steilheit des Anstiegs ist durch die Höhe des Zinssatzes in Prozent pro Jahr gegeben, der bei einem ununterbrochenen exponentiellen Verlauf konstant ist. Im oberen Teil der Tabelle I sind die so bestimmten Anstiegsraten für die in Bild 1 erfassten Energiequellen aufgeführt, zusammen mit den Jahreszahlen des Übergangs von der steileren Anfangsphase zum anschliessenden schwächeren Anstieg.

Im unteren Teil der Tabelle I sind die Zubauraten der einzelnen Arten der solaren Wärmenutzung ersichtlich. Bei den Röhren-, Flächen- und unverglasten Kollektoren war der Anstieg Ende der 80er Jahre noch rasant, während die heute bereits konkurrenzfähige Heutrocknung zu stagnieren beginnt.

Im Jahre 1988 hat die Eidgenössische Expertengruppe Energieszenarien (EGES) ihren Bericht über die Möglichkeiten eines Ausstiegs aus der Kernenergie veröffentlicht [3]. Es ist von Inter-

Energiequelle	Zubaurate (% pro Jahr)	gültig bis	Zubaurate nach diesem Datum (% pro Jahr)
alle Erneuerbaren			
Wärme	3,1	1997	
Strom	6,7	1997	
Solaranlagen			
Wärme	15,3	1994	9,3
Strom	53	1992	16,3
Wärmeertrag von Solaranlagen im einzelnen			
Röhren- u. Flächenkollektoren	46	1987*)	17,9 (ab 1995)
Unverglaste Kollektoren	49	1990	18,2
Heutrocknung	9,8	1994	2,7
*) zwischen 1987 und 1995 stetiger Übergang			

Tabelle I Zubauraten in % pro Jahr bei der Einführung erneuerbarer Energien (Zeitraum 1986 bzw. 1990 bis 1997).

esse, ihre Prognosen über die möglichen Beiträge der erneuerbaren Energien bis ins Jahr 2025 den bis heute eingetretenen Entwicklungen gegenüberzustellen. Die EGES hatte ([3], Seite 107) als technisch realisierbar für eine als «massvoll» bezeichnete Entwicklung Wachstumsraten von 5% jährlich als untere Grenze und 12% jährlich als obere Grenze bezeichnet. Für eine starke Entwicklung wurden 12% bzw. 16% p.a. angegeben. Die tatsächlich ausschöpfbaren Wachstumsraten waren zu 4,7% p.a. für das Referenzszenario und 11,8% p.a. für die Ausstiegsszenarien ermittelt worden ([3], Seite 114). Diese Werte wurden bis ins Jahr 2025 extrapoliert. Ein Vergleich mit Tabelle I zeigt, dass die Zunahme der erneuerbar erzeugten Wärme schon in den 90er Jahren unter dem angenommenen Wert für das Referenzszenario lag, bei der Stromerzeugung noch leicht darüber. Die für die Ausstiegsszenarien genannten Werte hingegen scheinen an den heutigen Tatsachen gemessen unrealistisch zu sein. Auf das Problem der Langzeitprognose soll später eingegangen werden.

Das Aktionsprogramm «Energie 2000»

Im Jahre 1990 lancierte das Bundesamt für Energie ein zehnjähriges Aktionsprogramm, das in zahlreichen Einzelprojekten die erneuerbaren Energien fördern sollte [4]. Dabei wurden als globale Zielsetzungen bis ins Jahr 2000 eine Erhöhung der erneuerbar erzeugten Energie gegenüber 1990 um 0,5% des Strom- und 3% des Wärmebedarfs postuliert *). Diese Zahlen sind als Anteil am gesamten elektrischen bzw. des fossil erzeugten Nutzenergiebedarfs im betreffenden Jahr zu verstehen. Diese Ziele sind auch angenähert in absoluten Zahlen definiert worden, nämlich: Im Jahr 2000 soll die erneuerbar erzeugte Energie um 300 GWh/a (Strom) bzw. um 3000 GWh/a (Wärme) höher sein als 1990.

Um die Erfolge des Aktionsprogramms besser zu überblicken, wurden nebst diesen Hauptzielen, die für die Gesamtheit aller erneuerbaren Energieträger (ausser Wasserkraft) gelten, auch Arbeitsziele für die einzelnen erneuerbaren Technologien angegeben. Da sich die relativen Anteile der verschiedenen Technologien im Verlaufe des Programms verschieben dürften, sind die einzelnen Arbeitsziele grosszügig festgelegt worden. Für die hier interessierende Solarenergie lauten sie: 50 GWh/a Strom und 450 GWh/a Wärme. Sie bezeichnen ebenfalls die zusätzliche Produktion im Jahre 2000 gegenüber den Werten von 1990.

Tabelle II Ziele des Aktionsprogrammes «Energie 2000» und heutiger Stand.

Ziel «E 2000»	Ziel Ende 1997 zu ...% erreicht	Ziel erreicht im Jahr
Alle Erneuerbaren		
+ 0,5% Strom	130%	1995
+ 3% Wärme	60%	2002
+ 300 GWh Strom	77%	1998
+ 3000 GWh Wärme	55%	2006
Solarenergie		
+ 50 GWh/a Strom	13%	2007
+ 450 GWh/a Wärme	29%	2008
50 MW_p PV-Leistung	16%	2011
7,1 W/Kopf Strom	20%	2012

Von der beteiligten Industrie sind schliesslich noch einige weitere Ziele angegeben worden, so für den Ausbau der Photovoltaik. Bis zum Jahr 2000 soll die installierte Peak-Leistung 50 MW_p und die Stromproduktion 7,1 W/Kopf der Bevölkerung erreichen.

Der Tabelle II ist zu entnehmen, ob und wie weitgehend die Ziele von «E 2000» Ende 1997 bereits erreicht worden sind. Beim Total der erneuerbaren Energien kann sich das heute Erreichte sehen lassen. Das Hauptziel von 0,5% mehr Strom wurde bereits 1995 erreicht, das Wärmeziel von zusätzlichen 3% dürfte hingegen statt im Jahr 2000 voraussichtlich erst 2002 erreicht werden. Die nach Energieertrag definierten Ziele werden beim Strom ebenfalls vor dem Jahr 2000 erreicht sein, wogegen das Wärmeziel erst zur Hälfte angenähert wurde und bis etwa 2006 auf sich warten lassen dürfte.

Diesen und den folgenden Extrapolationen über den heutigen Stand hinaus wurde die Annahme zugrunde gelegt, wonach die Ende der 90er Jahre jeweils geltende Zuwachsrate in den nächsten rund 10 Jahren erhalten bleibt. Ist dies nicht der Fall, dann kann sie nur kleiner sein, so dass die angestrebten Ziele erst später als in Tabelle II angegeben erreicht würden.

Bei der Solarenergie ist das heute Erreichte erheblich bescheidener ausgefallen. Eine Prognose war allerdings hier im Jahre 1990 noch viel schwieriger als bei der durch relativ konventionelle Energiesysteme dominierte Gesamtheit aller erneuerbaren Energien. Hier sind die verschiedenen Ziele des Programmes «E 2000» erst zu 13% bis 29% angenähert worden. Es dürfte bis zum Ende des ersten oder Beginn des zweiten Jahrzehnts des neuen Jahrhunderts dauern, um diese Ziele zu erreichen. Ob über einen solchen Zeitraum die Zubauraten noch gleich hoch sein werden wie in den 90er Jahren, ist eher fraglich. Stellen sich kleinere Wachstumsraten ein, so verzögern sich die Erfolge noch weiter. Hätten die Ziele tatsächlich im Jahre 2000 erreicht werden sollen, dann wären Wachstumsraten nötig gewesen, die (ausser bei der Wärme) das Doppelte und mehr der zurzeit geltenden Werte betragen hätten.

Die zeitliche Entwicklung anderer Technologien

Prognosen über längere Zeiträume werden zunehmend problematischer. Da kann eine Betrachtung der vergangenen Entwicklung bei anderen Technologien nützlich sein. Diese ist schon verschiedentlich untersucht worden [5, 6, 7], und der exponentielle Anstieg, wie er gemäss Bild 1 über gewisse Zeitspannen für die schweizerische Energieversorgung gefunden wurde, ist auch hier festzustellen. Bild 2 zeigt als Beispiel den Verlauf der Markteinführung der konventionellen fossilen Energieträger in den USA [6]. Aufgezeichnet ist auch hier der prozentuale Anteil der verschiedenen Energieträger an der gesamten Energieerzeugung des Landes in Funktion der Zeit (Skala rechts).

Man erkennt wie sich die einzelnen Energieträger im Verlaufe einer Zeitspanne von über 100 Jahren gegenseitig ablösten. Im 19. Jahrhundert ging die Verwendung von Holz als Energieträger zurück, als die Kohle und dann das Erdöl auf den Markt kamen. Jetzt ist das Erdgas an der Reihe, das bereits das Öl abzulösen beginnt.

*) Es ist möglich, dass die von der EGES berücksichtigten und die hier als erneuerbar klassierten Energiesysteme nicht genau übereinstimmen.

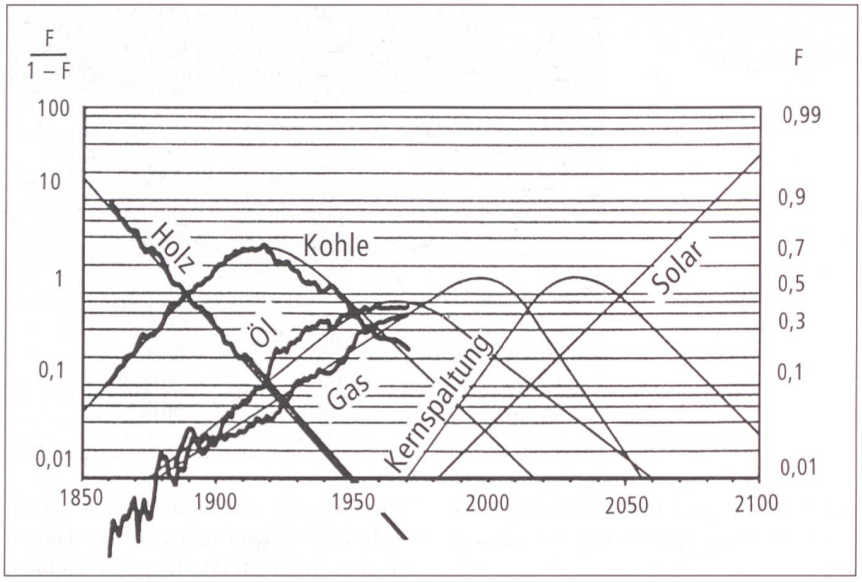

Bild 2 Verlauf der Markteinführung verschiedener Energieträger in den USA (nach Weingart [6]).

Zwar war die Entwicklung in der Vergangenheit im einzelnen recht unruhig, im Mittel war jedoch der Anstieg auch hier für alle Energieträger ungefähr linear, das heisst exponentiell. Das Holz war Mitte des letzten Jahrhunderts noch für 90% der Energieversorgung verantwortlich, die Kohle übernahm Anfang dieses Jahrhunderts bis zu 70%. Das Erdöl scheint mit etwa 50% bereits eine Grenze erreicht zu haben. Die Kurven nach 1970 sind Extrapolationen bzw., wie wir noch sehen werden, recht optimistische Zukunftsvisionen.

Ein ungefähr exponentieller Anstieg gilt auch für die Einführung anderer Technologien, so etwa für die Einführung von Terpentinersatz und von Emulsionsfarben an Stelle der Ölfarben. Die Anstiegsraten lagen bei den Energieträgern zwischen 3% und 4% p.a. weltweit und zwischen 4% und über 6% p.a. in den USA (Tabelle III). Bei den weniger umwälzenden Technologien lagen sie noch um 9% jährlich. Auch in so verschiedenen Wirtschaftsräumen wie in der BRD, den USA, in Japan und in der UdSSR war das Verhalten analog, allerdings in Japan mit steilerem, in der UdSSR mit schwächerem Anstieg als in der BRD und in den USA [6].

Schliesslich sei noch der Aufbau der Erdgasversorgung in der Schweiz betrachtet. Mitte der 70er Jahre ging die Produktion von Stadtgas praktisch zu Ende, als dieses durch Erdgas ersetzt wurde. Danach stieg auch die Erdgaseinfuhr in zwei Phasen etwa exponentiell an, bis 1982 mit etwa 10% p.a., dann bis heute mit 6% p.a. Das Erdgas ist zurzeit für über 21% des Endverbrauchs an Wärmeenergie verantwortlich. Ab 1993 scheint sich eine weitere leichte Abschwächung des Anstiegs anzudeuten.

Langzeitprognosen und Voraussagen

Vor dem Hintergrund der bisherigen Entwicklungen in der Schweiz sowie der zitierten Ergebnisse aus dem Ausland kann man versuchen, eine Extrapolation der Entwicklung über das Jahr 2000 hinaus vorzunehmen. Als Prognose-Horizont werden die Jahre 2020 und 2050 gewählt.

Erneuerbare Energien

Heute beträgt der Anteil aller erneuerbaren Energien an der fossil produzierten Wärme 7,1% und der Anstieg betrug mindestens seit 1990 3,1% p.a. (Tabelle I). Nimmt man für weitere 20 Jahre unverändert diese Zuwachsrate an, dann steigt der Anteil der dannzumal erneuerbar produzierten Wärme auf 14% an. Angesichts der beherrschenden Rolle der Holzenergieanlagen (55%) und der Kehrichtverbrennung (16,5% des Totals), deren weiterer Ausbau in den hier betrachteten Zeiträumen an Grenzen stossen wird, während die stark wachsenden Solar- und Gasnutzungsanlagen (mit heute 3,3% bzw. 4,4%) noch einige Zeit auf den Gesamtertrag der Erneuerbaren nur wenig Einfluss haben werden, liegt die bisherige Anstiegsrate von 3,1% p.a. auf längere Sicht zu hoch. Postuliert man ab dem Jahr 2020 einen Wert von nur 2% p.a., so würde der Anteil aller Erneuerbaren an der Wärmeproduktion im Jahr 2050 gut 25% ausmachen. Auch die so erhaltenen Zahlen für das Jahr 2050 dürften jedoch kaum erreicht werden, da wie bei den fossilen Energiequellen vorher eine Abflachung der Zuwachsrate erwartet werden muss.

Die Stromproduktion aller erneuerbaren Energiequellen betrug Ende 1997 rund 2% des Totals und nahm seit mindestens 1990 um 6,7% jährlich zu. Die Stromproduktion wird von den Kehrichtverbrennungsanlagen beherrscht (Anteil 73% aller Erneuerbaren), während die neuen erneuerbaren Energien vorerst noch weit zurückliegen (Anteile von: Wind 0,3%, Sonne 1,2%). Auch hier wird deshalb nach dem Jahre 2020 eine kleinere Zuwachsrate von 4% p.a. angenommen. So ergeben sich Anteile der Erneuerbaren zur Stromproduktion von knapp 9% im Jahr 2020 und knapp 30% für 2050. Hier wird wohl ebenfalls schon vorher ein Abflachen der Zuwachsrate diese Anteile unterschreiten. Zudem ist darauf hinzuweisen, dass, je nach den Erfolgen der Bemühungen um eine Einschränkung des Energiebedarfs und der Wirkungsgradverbesserung in allen Bereichen, der prozentuale Beitrag der erneuerbaren Energien entsprechend zunehmen würde.

Solarenergie

Die Ende der 90er Jahre geltenden Zuwachsraten bei der Nutzung der Solarenergie betragen 9,3% p.a. bei der Wärme und 16,3% p.a. bei der Stromproduktion (Tabelle I). Das sind bedeutend höhere Werte als bei allen Erneuerbaren zusammengenommen und auch höhere Werte als sie bei allen betrachteten fossilen Energiesystemen gefunden worden sind (Tabelle III). Dies ist zweifellos ein Ausdruck der bisherigen Förderung der neuen Erneuerbaren in der anfänglichen Phase ihrer Einführung.

Der breiten Markteinführung der Solarenergie stehen nun aber drei Erschwernisse im Wege. Die erwähnte Förderung soll zwar weitergeführt werden. Früher oder später jedoch wird dieses finanzielle Engagement die wirtschaftlichen Möglichkeiten des Landes übersteigen, denn die Höhe eines gleichbleibenden Förderungsbeitrages pro Leistungseinheit würde mit der Zubauleistung exponentiell anwachsen. Umgekehrt müsste ein fester Förderungsbeitrag auf eine wachsende Zahl neuer Projekte verteilt werden, womit der Beitrag pro Projekt und die Wirkung rasch abnehmen würden. Die Solarenergie muss sich früher oder später dem freien Wettbewerb stellen.

Und hier wirkt sich die zweite Erschwernis aus. Die Verdrängung einer Technologie durch eine neue hängt massgeblich von der Konkurrenzfähigkeit der neuen Technologie ab. Die in Bild 2 dar-

gestellte Ablösung von Holz durch die Kohle, von dieser durch das Erdöl und schliesslich deren Ablösung durch das Erdgas, erfolgte zwischen Technologien, die unter einander konkurrenzfähig waren. Darunter ist allerdings nicht nur die wirtschaftliche Konkurrenzfähigkeit zu verstehen, wenn auch diese entscheidend sein dürfte, sondern auch viele Aspekte der Eignung und der Akzeptanz spielen eine Rolle.

Bezüglich der zuletzt genannten Eigenschaften schneidet die Solarenergie gut ab, und gewisse Wärmeanwendungen sind schon heute oder werden in der näheren Zukunft wirtschaftlich sein. Der durch Photovoltaik erzeugte Strom ist jedoch noch sehr teuer. Der Sonnenenergie Fachverband Schweiz (SOFAS) nennt 1998 einen Strompreis von Fr. 1.17 pro kWh [1], während an der Photovoltaik-Tagung vom Mai 1998 in Bern Preise von Fr. 0.90 bis 1.60 pro kWh genannt wurden [8]. Zum Vergleich beträgt der Preis der Solarenergie im Wärmebereich rund 30 Rp./kWh. Die im Gange befindliche Weiterentwicklung der Solartechnik wird in Zukunft diese Preise zweifellos markant senken, es ist jedoch kaum vorstellbar, dass in unseren Breiten ein Preisgefälle zum Nachteil der Solarenergie ganz aufgehoben werden wird.

Die dritte Belastung der Solarenergieproduktion geht auf die Unregelmässigkeit des Leistungsangebots zurück. Nicht nur im Tagesablauf, sondern auch witterungsbedingt kann die Leistung bis auf null zurückgehen. Solange die Anlagen wie heute noch klein sind und eher die Rolle eines Zustupfes zur allgemeinen Energieversorgung spielen, sind die Leistungsschwankungen entweder ohne praktische Bedeutung oder können durch die Energiezufuhr aus dem bestehenden Netz kompensiert werden. Wenn aber der Anteil der Solarenergie im gesamten Energieangebot steigt, dann kommt man zur Überbrückung der Lücken im Angebot um die Bereitstellung von Energiespeichermöglichkeiten nicht herum. Sollte das solare Energieangebot schliesslich einen wesentlichen Anteil an der Energiebilanz erreichen, dann kann die Bereitstellung von Reservekapazität notwendig werden. Dies alles wirkt sich dann in einer zusätzlichen Verteuerung der Solarenergie aus.

Damit wird eine Prognose über die längerfristigen Aussichten der Photovoltaik schwierig. Penczynski [7] wiedergibt eine Kurve für «soft technologies» nach Lovins mit einem ununterbrochenen Anstieg von gegen 12% p.a. (Tabelle III*), wonach im Jahr 2030 mehr als 90% der gesamten Energieproduktion durch diese Technologien erzeugt würden. Dies muss als völlig unrealistisch bezeichnet werden.

Tabelle III Zubauraten in % pro Jahr bei der Einführung verschiedener Energietechnologien.

Technologie	Welt [5]	Welt [6]	USA [6]
Kohle	3,2	3,25	6,55
Öl	4,0	4,4	4,7
Gas	4,0	4,4	3,8
Nuklear	3,85	4,15	8,1*)
Soft			11,6*)
Solar		4,15	5,8*)

*) Schätzungen (Soft nach Lovins [7])

Auch die in Bild 2 dargestellte Kurve für die Solarenergie in den USA mit 5,8% p.a. scheint optimistisch zu sein. Wenn man bedenkt, dass es in gewissen Gegenden der USA für die Nutzung der Solarenergie ausserordentlich günstige Voraussetzungen gibt, dann ist es sicher nicht realistisch, für unsere Breiten eine langfristige Zubaurate von auch nur 4% p.a. anzunehmen.

Geht man von der heute geltenden Anstiegsrate von 9,3% p.a. aus, dann würde der Anteil der Solarwärme an der dannzumaligen gesamten fossilen Wärmeproduktion im Jahr 2020 etwa 1,65% betragen. Setzt dann ein schwächerer Anstieg mit noch 5% p.a. ein, dann würde dieser Anteil im Jahr 2050 zu rund 7%.

Der durch Photovoltaikanlagen produzierte Strom macht heute erst 0,028% der gesamten Stromproduktion aus, bei einer noch sehr hohen Anstiegsrate von 16,3% p.a. (Tabelle I). Würde dieser Anstieg bis ins Jahr 2020 gehalten, dann wüchse der Anteil des Solarstromes auf 0,75%. Bei einem weiteren Anstieg mit 4% pro Jahr stiege dieser Anteil bis ins Jahr 2050 auf 2,4% und erst im Jahr 2100 könnte ein zweistelliger prozentualer Beitrag erwartet werden.

Die Annahmen für diese Extrapolationen sind natürlich sehr unsicher und dies um so mehr, je weiter der Horizont der Extrapolation angesetzt wird. Sie sollen jedoch nur Grössenordnungen der möglichen künftigen Erträge andeuten. In allen Fällen ist angenommen worden, dass die heute bestehenden Zuwachsraten bis ins Jahr 2020 aufrechterhalten werden können, was vor allem bei der Solarenergie nur möglich sein dürfte, wenn die heutige Förderung über diese Zeit voll aufrechterhalten oder gar erhöht wird. Auch die nach 2020 angenommenen Zuwachsraten dürften eher an der oberen Grenze liegen, so dass die gerechneten Energieproduktionsanteile eher zu hoch als zu niedrig sind. Der durchweg im Jahr 2020 angenommene Knick in der Anstiegsrate ist natürlich als Annäherung an einen wohl stetigeren Übergang zu verstehen.

Voraussagen

Es werden immer wieder Voraussagen über die zu erwartende Entwicklung der erneuerbaren Energien und insbesondere über die Zukunft der solaren Stromproduktion gemacht und publiziert. Eine Auswahl dieser Voraussagen soll im Folgenden aus der Sicht der hier vorgenommenen Extrapolationen beurteilt werden.

Im Mai 1998 hat sich in Bern ein PubliForum genanntes Bürgerpanel unter dem Titel «Strom und Gesellschaft» mit der Zukunft der schweizerischen Stromversorgung befasst. In seinem Bericht [9] fordert das Bürgerpanel, «dass der Anteil der erneuerbaren Energien (ohne Wasserkraft) innert zehn Jahren 10% des Gesamtkonsums übersteigt». Unter der Annahme, dass die Erzeugung durch die erneuerbaren Energien weiterhin mit der seit 1990 gültigen Rate von 6,7% p.a. ansteigt, wird erst im Jahre 2022, also erst nach 25 Jahren, das vom Bürgerpanel innert 10 Jahren geforderte Ziel erreicht. In der anvisierten 10-Jahres-Periode dürfte der Anteil lediglich auf 3,8% der Gesamtproduktion ansteigen.

Mehr Voraussagen findet man über die Zukunft der Solarenergie. In einem Artikel aus dem Jahre 1990 warnte Kesselring [10] vor einer falschen Einschätzung des Solarpotentials. Er machte geltend, dass es wahrscheinlich etwa 20 Jahre brauchen würde, um auch unter günstigen Voraussetzungen einige wenige Prozente des Energieverbrauchs zu decken. Eine Extrapolation auf der Grundlage heutiger Anstiegsraten führt für das Jahr 2010, also nach 20 Jahren, auf Anteile von 1,7% bei der solaren Wärmeproduktion und 0,16% bei der Stromproduktion. Die Prognose Kesselrings war also erstaunlich gut, wenn man bedenkt, dass die Anstiegsraten 1990

*) Auch hier ist nicht ersichtlich, welche Energiesysteme Lovins unter «soft technologies» subsummiert hat.

Tabelle IV Extrapolationen für die voraussichtliche Entwicklung erneuerbarer Energien (Anteil der jeweiligen gesamten Energieproduktion in %; Grundlagen der Extrapolationen siehe Text).

Jahr	1997	2020	2050	2100
alle Erneuerbaren				
Wärme	7,1	14,3	26	
Strom	2,0	8,8	30	
Solarenergie				
Wärme	0,21	1,65	7	
Strom	0,023	0,74	2,4	(17)

noch wesentlich höher waren, als sie heute sind (Tabelle I).

In derselben Nummer der «Neuen Zürcher Zeitung» sagte C.U. Brunner voraus, dass für die Entwicklung der Photovoltaik in der Schweiz eine 20- bis 30jährige Aufbauarbeit nötig sein werde. Danach könnten etwa 10% der Inlandnachfrage gedeckt werden. Aufgrund der hier vorgenommenen Extrapolationen ist im Jahr 2020 (also 30 Jahre nach 1990) bei gleichbleibender Anstiegsrate wie heute mit einem Stromanteil von nur 0,7% statt die gewünschten 10% zu rechnen. Ein Anteil von 10% würde voraussichtlich erst 60 Jahre später, also um das Jahr 2080 erreicht, wenn die Anstiegsrate nach 2020, wie hier angenommen, auf 4% p.a. absinkt. Postuliert man nur eine Senkung der Rate auf 10% p.a., was unrealistisch erscheint, würde das Ziel von 10% der Stromproduktion immer noch erst etwa im Jahre 2050 erreicht.

An einer Veranstaltung der Gesellschaft «Mont-Soleil» im Mai 1998 in Bern hat Prof. A. Shah von der Universität Neuenburg vorausgesagt, dass die Photovoltaik in etwa 50 Jahren einen namhaften Beitrag zur Stromerzeugung liefern werde [12]. Aufgrund der hier vorgenommenen Extrapolationen dürfte der Stromertrag im Jahr 2050 bei etwa 2,5% liegen.

In einer Arbeit zu Handen der Expertengruppe Energieszenarien (EGES) [13] wurde dieser klargemacht, dass neue Energien Zeiträume in der Grössenordnung von 100 Jahren beanspruchen, um einen nennenswerten Anteil an der gesamten Energieproduktion zu erreichen. Die damalige Aussage galt sowohl für die solarthermische als auch für die photovoltaische Stromproduktion. Diese Feststellung wird gemäss der hier vorgenommenen Extrapolationen bestätigt (Tabelle IV).

Dann gibt es noch Leute, die am liebsten sofort oder spätestens innert zehn Jahren aus der Kernenergie aussteigen möchten und die glauben, das so entstehende Strommanko könne durch Sparen und Solarenergie ganz oder grösstenteils kompensiert werden. Zurzeit trägt die Kernenergie rund 40% zur schweizerischen Stromproduktion bei. Nach dem soeben vorgelegten Ergebnis wäre ein solcher Beitrag der Photovoltaik, wenn überhaupt, wohl auch in 100 Jahren nicht zu erreichen, schon gar nicht innert zehn Jahren. Man muss sich sogar fragen, ob die Photovoltaik in unseren Breiten überhaupt je ein solches Ausmass erreichen kann, denn man muss annehmen, dass die Solarkapazität schon früher wieder zurückgehen wird. Bild 2 zeigt, dass in der Vergangenheit sogar die Energieträger Erdöl und Erdgas in den USA kaum einen Anteil von 50% erreicht haben.

Diese kleine Übersicht lässt erkennen, dass die Voraussagen über die Zukunft von erneuerbaren Energien von wirklich sachkundigen Fachleuten im allgemeinen recht realistisch waren. Aus gewissen Kreisen werden jedoch über die heutige praktische Bedeutung dieser Energiequellen Hoffnungen geweckt, die auch nicht annähernd erfüllbar sind. Richtschnur bei solchen Voraussagen sind wohl viel eher ideologische Überzeugungen als die Kenntnisnahme und Berücksichtigung sachlicher Zusammenhänge. Solche Voraussagen sind oft nicht mehr als der Ausdruck weltfremder Wunschträume. Solche Vorstellungen könnten letztlich gar zu falschen Weichenstellungen in der künftigen Energiepolitik führen.

Quellen

[1] Sonnenenergie Fachverband Schweiz (SOFAS): SOFAS-Markterhebung 1997, Sonnenkollektoren und Photovoltaikmodule im Jahr 1997, Bundesamt für Energie (BFE), Mai 1998.

[2] BFE: Schweizerische Gesamtenergiestatistik 1997, August 1998.

[3] Expertengruppe Energieszenarien (EGES): Möglichkeiten, Voraussetzungen und Konsequenzen eines Ausstiegs der Schweiz aus der Kernenergie, Hauptbericht, Februar 1988.

[4] Programm der Aktionsgruppe Regenerierbare Energien, Dezember 1992.

[5] *C. Marchetti*: Sind die bisherigen Energie-Berechnungen falsch? Bild der Wissenschaft, Juli 1977, S. 68–77.

[6] *J.M. Weingart*: The Helios Strategy – An Heretical View of the Potential Role of Solar Energy in the Future of a Small Planet, Technological Forecasting and Social Change, 12, 1978. Als Nachdruck in IIASA, Laxenburg, RR-81-10, Mai 1981.

[7] *P. Penczynski*: Welche Energiestrategie können wir wählen? Siemens AG, Berlin u. München, 1978.

[8] Photovoltaiktagung in Bern, 5.5.98: Mit der Photovoltaik zur Marktreife, NZZ, 6.5.98.

[9] PubliForum: Strom und Gesellschaft, Bericht des Bürgerpanels, Schweizerischer Wissenschaftsrat, Bern, 1998, S. 31.

[10] *P. Kesselring*: Sonnenenergie im Einsatz gegen den Treibhauseffekt, NZZ Nr. 199, 29. August 1990, S.69.

[11] C.U. Brunner: Solarenergie für den Hausgebrauch, NZZ Nr. 199, 29. August 1990, S.70.

[12] *J. Kiefer* (Berichterstatter): Mit der Photovoltaik zur Marktreife, NZZ, 6. Mai 1998.

[13] *W. Durisch et al.*: Potential, Einführungsgeschwindigkeit und Kosten solarthermischer Kraftwerke in den Schweizer Alpen, PSI-Bericht Nr. 9, Mai 1988.

Energies renouvelables en Suisse, aujourd'hui et à l'avenir

Une couche de plus en plus large de la population se rend depuis un certain compte du fait que l'avenir de l'humanité dépend en grande partie d'une utilisation raisonnable de l'énergie. Le fait qu'il soit, entre autres, possible que l'humanité soit elle-même responsable du changement de climat – ceci en raison des émissions de CO_2 liées à tous les processus de combustion – a sensibilisé de nombreux milieux aux questions de l'énergie.

On observe une tendance à consommer de moins en moins de combustibles fossiles et carburants, agents énergétiques prédominants à l'échelon mondial. Du fait de leur production d'électricité exempte de CO_2, l'hydraulique et le nucléaire jouent ici un rôle important. Produisant 97% de son électricité de cette manière, la Suisse arrive en tête du peloton mondial. Dans ce contexte, il convient également de mentionner les économies d'énergie ainsi que l'amélioration du rendement des applications énergétiques et, avant tout, l'utilisation d'énergies renouvelables. Le présent article étudie l'évolution, à ce jour, de l'introduction de nouvelles énergies renouvelables et, en particulier, de l'énergie solaire et le rôle que ces sources d'énergie devraient jouer à l'avenir. Les espoirs sont ici en partie absolument irréalistes.