Wie soll in Zukunft Strom produziert werden? : Ergebnisse einer neuartigen Studie

Autor(en): **Haldi, Pierre-André**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses**

Band (Jahr): **85 (1994)**

Heft 18

PDF erstellt am: **30.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-902594

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Im Elektrizitätssektor ist die Planung so komplex geworden, dass sie einen Konsens zwischen allen Teilen der Gesellschaft erfordert. Das setzt allerdings voraus, dass alle Teile der Gesellschaft zu einem offenen Dialog bereit sind. Eine in der Welschschweiz in Auftrag gegebene Studie über die verschiedenen Stromproduktionsarten zeigt neue Wege auf.

Wie soll in Zukunft Strom produziert werden?

Ergebnisse einer neuartigen Studie

■ Pierre-André Haldi

Bei der Wahl der möglichen Energieformen für die Stromerzeugung standen bis anhin vor allem, wenn nicht sogar ausschliesslich, die technischen und wirtschaftlichen Aspekte im Vordergrund. Für die Akzeptanz zu neuen Projekten genügt dies heute aber nicht mehr. Die Wahl der Technologien ist zum Gegenstand politischer Auseinandersetzungen geworden. Das zeugt von einer gewissen Unsicherheit, auf die die Öffentlichkeit ihrerseits mit Verwirrung reagiert hat: Sie sieht sich mit scheinbar unlösbaren Problemen konfrontiert.

Vor diesem Hintergrund haben Westschweizer Elektrizitätswerke beim Labor für Energiesysteme (Lasen) der ETH Lausanne eine Pilotstudie in Auftrag gegeben. Sie basiert auf dem Bestreben, in einer multidisziplinären Evaluationsgruppe einen Dialog aufzubauen, und verfolgt zwei Ziele: Sie will die Vor- und Nachteile der verschiedenen möglichen Stromerzeugungsarten herausarbeiten und die Bevölkerung darin unterstützen, sich eine eigene Meinung zum Thema zu bilden.

Laboratoire

Ein Spiegel der Werte der Gesellschaft

Die Studie geht von einer Vielzahl von Bewertungsfaktoren und einer Vielzahl von Entscheidungsträgern aus. Die Bewertungsfaktoren werden anhand einer zweidimensionalen Matrix beurteilt: auf der Horizontalen sind die verschiedenen Stromerzeugungsarten aufgelistet, auf der Vertikalen die ausgewählten Bewertungskriterien (Bild 1). Bei den Stromerzeugungsarten wird wiederum von zwei Ebenen ausgegangen. Die eine gliedert die Stromerzeugungsarten nach eingesetzten Energieträgern (Kohle, Erdöl, Gas, Kernbrennstoff, Abfälle, Wasserkraft, Sonne und Wind), die andere bezieht die typische Produktionstechnik jedes Energieträgers mit ein.

Die Studie setzt voraus, dass die ausgewählten Bewertungskriterien die Werte der Gesellschaft widerspiegeln und dass diese wiederum in den allgemeinen energiepolitischen Zielen zum Ausdruck kommen: Wirtschaftlichkeit, Versorgungssicherheit, Sicherheit für Personen und Güter, Umweltschutz, sozialer Wohlstand. Die Ergebnisse der Studie müssen nicht nur von Fachleuten anerkannt werden, sondern auch von einer für die Bevölkerung repräsentativen Gruppe von Entscheidungsträgern.

Ein Dialog nimmt seinen Anfang

Es wurde also eine Expertengruppe gebildet, in der auch Fachleute ohne technische Ausbildung Einsitz nahmen. Die Gruppe hatte die Aufgabe, die Studie zu begleiten und sich zu den verwendeten Me-

Deutsche Version eines Beitrages in «Les cahiers de l'électricité», Nr. 23, März 1994.

Adresse des Autors:
Pierre-André Haldi, dipl. Ing. EPFL,
Labor für Energiesysteme (Lasen)
Ecole polytechnique fédérale de Lausanne,
1015 Lausanne.

thoden und den Ergebnissen zu äussern. So nahm ein Dialog zwischen «Technikern» und «Humanisten» über die Auswahl der Bewertungskriterien für die Studie seinen Anfang. Die Tatsache, dass dieser Dialog zustande kam, ist ein bedeutsames wenn auch noch bescheidenes Ergebnis der Studie.

Die Bewertungskriterien wurden gemäss einem hierarchischen Modell festgelegt. Es beruht auf dem «Bottom-up-Prinzip» und besteht aus den folgenden drei Ebenen:

- die Kategorien (direkter Bezug zu den energiepolitischen Zielen)
- die eigentlichen Bewertungskriterien (Referenzebene)
- die Indikatoren (Basisinformationsebene)

Die Kriterien oder Indikatoren können qualitativer Natur sein, zum Beispiel stark, mittel oder schwach. In diesem Fall wird zu ihrer Beurteilung eine Meinungsumfrage in der Expertengruppe durchgeführt. Sie können aber auch quantitativer Natur sein wie bei der Angabe der Anzahl Todesfälle pro produzierte Gigawattstunde Strom. Dann stützt man sich bei der Beurteilung auf verschiedene wissenschaftlich anerkannte bibliografische Quellen.

Bild 1 zeigt eine schematische Darstellung des Ablaufes der Pilotstudie. Bild 2 stellt dar, welche Vorzüge die verschiedenen Stromproduktionsarten gemäss dem Bewertungsmodell der Studie aufweisen.

Vorteile eines Produktionsmixes

Es kann nicht das Ziel einer solchen Studie sein, eine endgültige Rangliste der Stromproduktionsarten zu erstellen. Man darf nicht vergessen, dass sich die Planer nicht für eine einzige Lösung auf Kosten einer anderen zu entscheiden haben. Ihre Aufgabe ist es, jene ausgewogene Kombination von Stromproduktionsarten («Produktionsmix») vorzuschlagen, die der Nachfrage am besten begegnen kann.

Was die Versorgungssicherheit und die energetische Unabhängigkeit anbelangt, so hat die Studie bestätigt, dass die gesicherten Reserven von fossilen und nuklearen Brennstoffen ausreichen, um die derzeitige Stromnachfrage während mehrerer Jahrzehnte zu decken. Die Kohlereserven würden sogar für mehrere Jahrhunderte ausreichen.

Die verfügbaren Zahlen zu den Gas- und Erdölreserven basieren zudem mehr auf einer möglichen Förderung als auf vertieften geologischen Kenntnissen über die weltweit vorhandenen Ressourcen. Trotz immer steigendem Ressourcenverbrauch haben die Reserven in den vergangenen 30 Jahren eher zugenommen. Es bleibt aber eine unumstössliche Tatsache, dass die Reserven an fossilen Brennstoffen begrenzt sind und dass sie über kurz oder lang knapp werden.

Welche Reserven?

Vor allem bei der Kernenergie ist es sehr schwierig, die Weltreserven zu beurteilen. Die Kosten des Uranerzes machen nur einige Prozente des Strompreises aus. Jede Preiserhöhung einer anderen Energieproduktionsart verbessert die Wirtschaftlichkeitsschwelle der Uranerzförderung und erhöht somit das Reservevolumen. Der energetische Wert des Rohstoffes Uran hängt vom Kraftwerkstyp ab, in dem er eingesetzt werden soll. Würden inskünftig Brutreaktoren gebaut, so liessen sich die Uranreserven verfünfzig- oder versechzigfachen. In bezug auf die Reserven stünde die Kernenergie also mit Abstand an der Spitze der nicht-erneuerbaren Energien.

Gemäss der Studie bleibt das Potential für zusätzliche Kernkraftwerkskapazitäten in der Schweiz nach wie vor sehr gross. Bei den fossilen Energieträgern ist das Potential kleiner, weil der Rohstofftransport und die Auflagen an die Luftreinhaltung umfangreiche Infrastrukturen erfordern. Eine weitere Verbreitung der Kernenergie wird jedoch durch eine ablehnende Haltung von weiten Teilen der Bevölkerung erschwert. Die Furcht vor einem schweren Reaktorunfall und fehlendes Vertrauen gegenüber den vorgeschlagenen Lösungen für die Endlagerung stark radioaktiver Abfälle sind die Hauptgründe dafür. Schliesslich dürfte der Beitrag der erneuerbaren Energien in der von der Studie berücksichtigten Zeitspanne marginal bleiben. Die Sonnen- und Windenergie haben aus wirtschaftlichen, klimatischen und räumlichen Gründen kurz- und mittelfristig nur ein sehr begrenztes Potential.

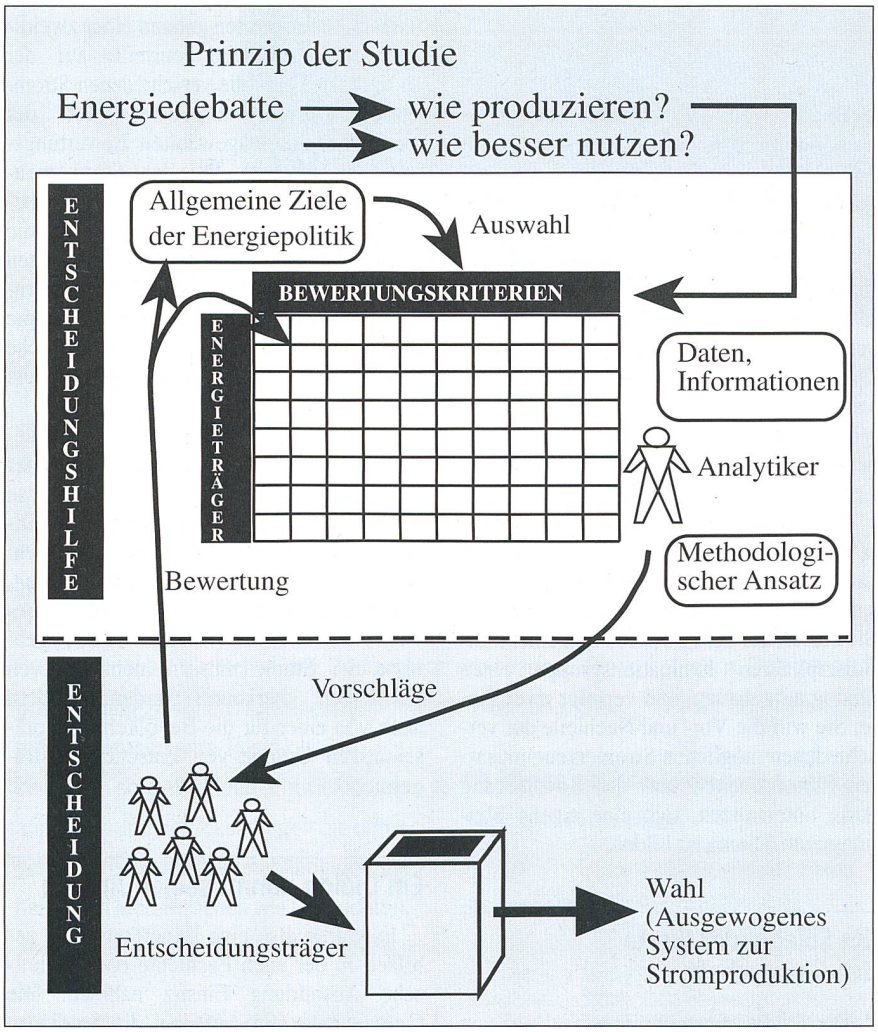

Bild 1 Schematische Darstellung der Pilotstudie

Charakteristiken der Schweiz

Betrachtet man die begrenzten Lagerkapazitäten der Schweiz, so schneidet der Brennstoff Uran mit seiner hohen energetischen Dichte am besten ab. Bei den fossilen Energieträgern ist das Gas benachteiligt, da Gasspeicherung im grossen Massstab technisch schwierig ist. Der Miteinbezug technologischer Kriterien hat zu einigen aufschlussreichen Ergebnissen geführt. So sind Kernkraftwerke und grosse Wasserkraftanlagen in bezug auf Infrastruktur, Bauzeit und Demontage die grössten Ressourcenverbraucher. Doch sind dies alles Ressourcen (industrielle Kapazität, «Know-how» und Kapital), die in der Schweiz vorhanden sind. Die Situation in unserem Land unterscheidet sich dadurch stark von weniger entwickelten Ländern, die zuerst die notwendige Infrastruktur bereitstellen müssen, um solche Technologien überhaupt einsetzen zu können.

Unterschiedliche Wirkungsgrade

Der Wirkungsgrad (Verhältnis zwischen der nutzbaren und der ursprünglich eingesetzten Energie) von fossil befeuerten Kraftwerken wird innert nützlicher Frist nicht entscheidend verbessert werden können. Absehbar ist höchstens eine Steigerung von 37 auf 40%. Diese Werte liegen etwa in der gleichen Grössenordnung wie jene, die von Hochtemperaturreaktoren erwartet werden. Die heutigen Reaktoren erreichen einen Wirkungsgrad von 32%. Nur bei kombinierten Zyklen mit Dampf- und Gasturbinen können Wirkungsgrade über 40% erreicht werden. Im Falle von konventionell-thermischen Kraftwerken und Hochtemperaturreaktoren liegen sogar 50–55% in Reichweite. Die hydraulischen Anlagen erreichen ihrerseits problemlos einen Wirkungsgrad von 70–80%. Im Gegensatz dazu haben Photovoltaik-Zellen eine viel geringere Energieeffizienz, nämlich nur gerade 20–25% je nach Zellenart. Die maximale theoretische Energieeffizienz von Windenergieanlagen beträgt 59%. In Wirklichkeit erreichen die Anlagen aber kaum mehr als 40%.

Wirtschaftliche Unsicherheitsfaktoren

Mit in die Studie einbezogen wurden auch wirtschaftliche Kriterien. Von welchen Fluktuationsraten und Unsicherheitsfaktoren man auch ausgeht, die traditionellen Energieträger bleiben immer noch unbestreitbar die billigsten. Der Gestehungspreis des Stromes liegt zwischen 9 und 20 Rappen je Kilowattstunde.

Windkraft, Solarthermie und Photovoltaik weisen heute noch stark überhöhte Produktionskosten aus. Sie belaufen sich im Falle der Photovoltaik auf mehr als einen Franken pro Kilowattstunde. Eine Entwicklung auf breiter Ebene ist somit momentan ausgeschlossen. Die Kernenergie schneidet kostenmässig besser ab als die fossilen Energieträger, wenn die jährliche Betriebszeit des Kernkraftwerks 6000 Stunden übersteigt. Bei der Wasserkraft hängt der Gestehungspreis wiederum stark von Typ und Alter der Anlagen ab. Die Erfahrung hat ausserdem gezeigt, dass sich langfristige Prognosen über den Preis fossiler Brennstoffe in der Praxis nicht bewährt haben. Die Preise fossiler Brennstoffe kennen ihre eigenen Gesetze und unterliegen oft unvorhersehbaren Schwankungen. Dies trifft ganz besonders für das Erdöl zu, es gilt aber in kleinerem Masse auch für das Erdgas. Sein Preis ist derzeit mit dem Erdölpreis gekoppelt.

Tabelle der Energieträger (Stromproduktionsarten)

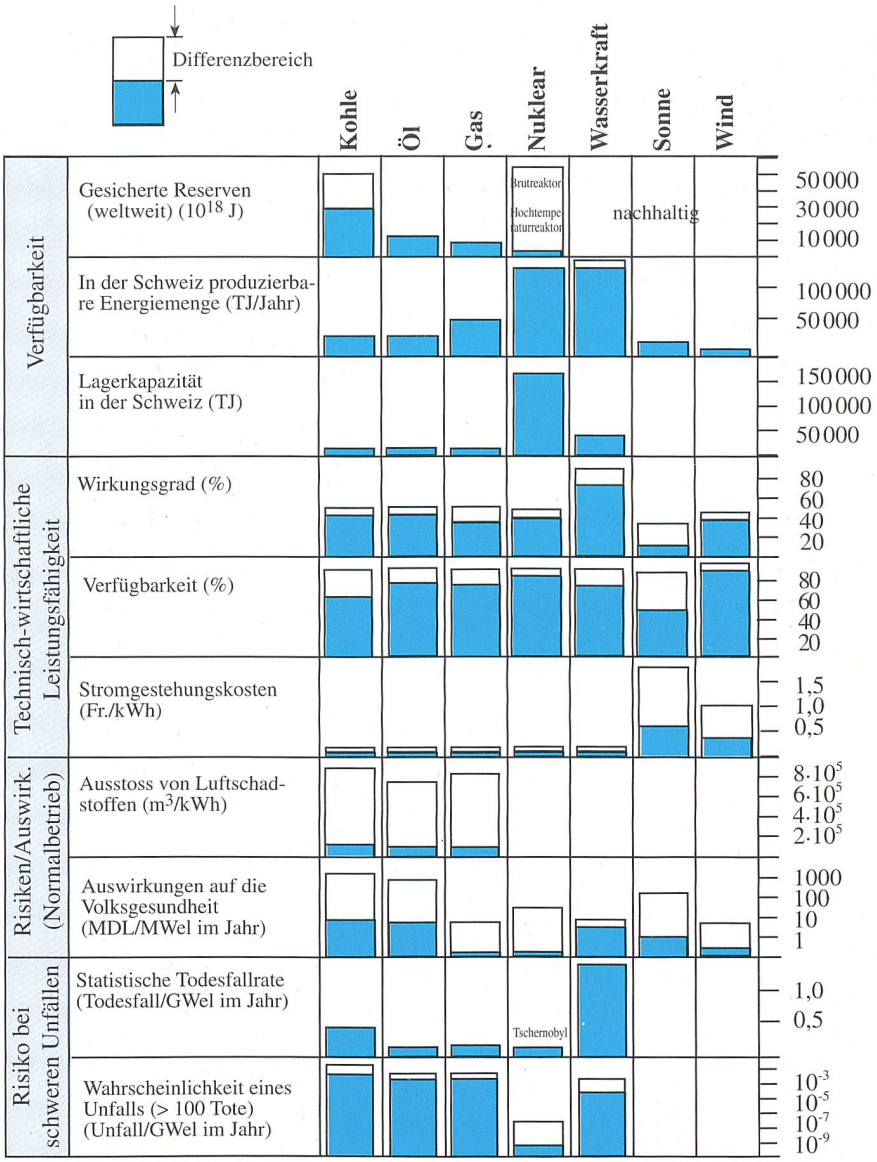

Bild 2 Analyse der Vorzüge der einzelnen Produktionsarten

Auswirkungen auf die Gesellschaft

Alle Stromproduktionssysteme haben Auswirkungen auf die Gesellschaft, die Umwelt und die Gesundheit. Es sind nicht in erster Linie die einzelnen Strombezüger, die die Kosten dieser Auswirkungen prozentual zu ihrem Verbrauch tragen. Zu einem grossen Teil kommt vielmehr die ganze Gesellschaft dafür auf. Das sind die sogenannten externen Kosten. Bei einer guten

Planung müssten sie in den Energieverkaufspreis integriert werden.

Die Kernenergie internalisiert die Kosten für die Unfallverhütung, die Entsorgung der Abfälle und die Demontage der Anlagen in den Gestehungspreis und trägt auf diese Weise die Kosten zum Schutz von Mensch und Umwelt grösstenteils selber. Bei den fossilen Energieträgern ist dies nicht so. Sie müssten eigentlich stärker belastet werden, indem die durch den Schadstoffausstoss und den Treibhauseffekt entstehenden Gesellschafts- und Umweltkosten internalisiert würden.

Ein Kapitel der Studie des Lasen ist den Auswirkungen auf die Umwelt und die Gesundheit gewidmet. Daraus geht hervor, dass die mit den verschiedenen Stromproduktionssystemen verbundenen Risiken bei normalem Betrieb vom Standort, der Technik, der Organisation und dem Betrieb der Anlagen abhängen. Im Ausland gewonnene Erkenntnisse über neue, in unserem Land unerprobte Stromproduktionsarten lassen sich also nicht immer auf Schweizer Verhältnisse ummünzen.

Risikoskala

Die Ergebnisse der vergleichenden Evaluationen zeigen, dass Produktionssysteme, die auf erneuerbaren Energien und der Kernenergie basieren, am unteren Ende der Skala der Gesundheitsrisiken anzusiedeln sind. Am oberen Ende dieser Skala gelegen sind Produktionssysteme, die auf Erdöl beruhen und noch höher jene, die mit Kohle betrieben werden. Die Gruppe der fossilen Brennstoffe weist hohe Berufsunfallsraten im Bereich der Förderung, des Transports und der Lagerung auf. Die Öffentlichkeit ist auch stärker von ihren relativ gewichtigen Emissionen in Form von Gasen und Feststoffen betroffen als von anderen Energieträgern.

Wenn die Gruppe der erneuerbaren Energien (Wind- und Sonnenenergie) auch keine reale Gefahr für die Öffentlichkeit darstellt, so birgt sie doch für die Arbeitskräfte während der Fabrikation und der Montage gewisse Gefahren in sich. Aufgrund ihres geringen Wirkungsgrades benötigen diese Techniken sehr grosse Anlagen pro produzierte Einheit Strom. Im Bereich der Kernenergie verhält es sich gerade umgekehrt: Die hohe energetische Dichte und die verhältnismässig geringen Mengen Rohstoff und Abfall, mit denen es umzugehen, die es zu transportieren (und zu konditionieren) gilt, führt zu geringen Risiken für die Fachleute und noch geringeren Risiken für die Bevölkerung.

Der Umgang mit der Zukunft

Aus Gründen der Ethik ist es unabdingbar, ein besonderes Augenmerk auf die allfälligen Folgen der Stromproduktion für unsere kommenden Generationen zu richten. Grosse Bedenken hegt man diesbezüglich vor allem bei der Kernenergie und den fossilen Brennstoffen. Bei der Kernenergie, weil die radioaktiven Abfälle während einer sehr langen Zeitspanne gelagert werden müssen und bei den fossilen Brennstoffen, weil sie zu einer allfälligen Erwärmung der Erdatmosphäre beitragen.

Das potentielle Risiko von mittel- und hochradioaktiven Abfällen ist sicher gross. Aber es gibt Techniken, die die höchsten Sicherheitsanforderungen erfüllen. Wirksame Barrieren sorgen dafür, dass die Abfälle erst wieder in die Biosphäre eintreten können, wenn ihre Aktivität so stark abgeklungen ist, dass sie nur noch ein unbedeutendes Risiko darstellt. Die Mechanismen der Atmosphäre in den Griff zu bekommen, ist hingegen bedeutend schwieriger. Aus diesem Grund muss den Folgen des Ausstosses von CO_2 und anderen Gasen mit Treibhauseffekt grösste Aufmerksamkeit geschenkt werden.

Soweit kurz zusammengefasst die wichtigsten Erkenntnisse der Pilotstudie des Lasen. Die Arbeiten wurden von einer Evaluationsgruppe begleitet, die aus Experten mehrerer technischen und humanistischen Fachrichtungen bestand und die sich zu jeder wichtigen Etappe der Studie ausgesprochen hat.

Die Studie wurde von Anfang an mit der Absicht konzipiert, einen ersten Schritt in Richtung Methodologie der Entscheidungsfindung und der Planung der Stromproduktionssysteme der Schweiz zu tun. Es erscheint als zweckmässig, die Zusammensetzung der Evaluationsgruppe zu erweitern. Während der Pilotstudie waren der Einfachheit halber nur Persönlichkeiten aus Universitätskreisen in der Evaluationsgruppe vertreten. Später sollten alle betroffenen Kreise in die Studie miteinbezogen werden.

Comment produire l'électricité de demain?

Les enseignements d'une étude originale

La planification du secteur de l'électricité est devenue si complexe qu'elle exige une forme de consensus entre toutes les composantes de la société. Encore faut-il que celles-ci acceptent de dialoguer sans arrière-pensée. L'étude engagée en Suisse romande sur les filières de production peut ouvrir des portes.

Les aspects techniques et économiques ont été jusqu'ici les critères dominants, sinon uniques, dans les choix effectués entre les différentes options énergétiques. Or ils ne suffisent plus, aujourd'hui, à faire accepter de nouveaux projets. Les choix technologiques deviennent l'objet de controverses politiques. Ces incertitudes se traduisent également par un certain désarroi dans l'opinion publique face à des problèmes qu'elle a l'impression de ne pas pouvoir maîtriser. Dans ce contexte, l'étude pilote, réalisée sur mandat des entreprises romandes d'électricité par le Laboratoire de systèmes énergétiques (LASEN) de l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL), s'est efforcée d'instaurer un dialogue au sein d'un groupe d'évaluation multidisciplinaire. Ce travail répond à un double objectif: définir les avantages et les inconvénients respectifs des différentes sources d'électricité potentielles et aider les gens à se faire leur propre opinion.

(Version originale dans: «Les cahiers de l'électricité», N° 23, mars 1994)