

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: 71 (1980)

Heft: 10

Artikel: Die Energie von morgen = L'énergie de demain

Autor: Nowacki, P. J.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-905252>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 01.04.2025

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

**UNIPEDA-Kongress
Warschau
11.–15. Juni 1979**



**Congrès de l'UNIPEDA
à Varsovie
11 au 15 juin 1979**

Die Energie von morgen

Von P.J. Nowacki

Es werden die Möglichkeiten aufgezeigt, die sich dank neuer Verfahren in den Bereichen Erzeugung, Verbrauch, Lagerung, Verteilung und Anwendung der Energie bieten, wobei insbesondere dargelegt wird, wie Wasserstoff und Kohlenwasserstoffe neben dem Strom als Sekundärenergieträger eingesetzt werden können. In den kommenden Jahrzehnten muss die Forschungs- und Entwicklungstätigkeit auf diesem Gebiet verstärkt werden, da wir uns immer dringlicher mit den Umweltproblemen auseinandersetzen haben, die uns zwingen, die Kohle vor der Verbrennung zu verarbeiten und zu reinigen.

1. Einführung

Die Entwicklung im Energiebereich hängt ab von der Verfügbarkeit von Primärenergie sowie vom Stand der Technologie zur Umwandlung dieser Energie in Sekundärenergie zum Nutzen der Menschheit. Sodann muss die Sekundärenergie übertragen und – gegebenenfalls in unterschiedlicher Form – an die Verbraucher verteilt werden. In diesem Zusammenhang ist die Erwähnung folgender Daten interessant: die totale Zerstörung von 1 g Materie = $9 \cdot 10^{16}$ J, die völlige Spaltung von 1 kg Uran 235 = 24 GWh bzw. $20,57 \cdot 10^3$ t TNT und 1 t TNT = $4,2 \cdot 10^9$ J. In TW \times Jahr (TWa) ausgedrückt ist ferner 1 TWa = $1,07 \cdot 10^9$ t SKE und eine Tonne Steinkohleeinheiten (1 t SKE) = $7 \cdot 10^6$ kcal bzw. 29288 GJ.

Gegenwärtig verfügen wir über folgende Primärenergien: Erdöl, Kohle, Erdgas, Wasserkraft, Kernenergie, Wind-, Sonnen- und Bioenergie. Die Umwandlung von Erdöl ergibt Sekundärenergie hauptsächlich in Form von Raffinerieerzeugnissen wie Heizöl, Benzin und verschiedenen Nebenprodukten. Kohle kann durch Vergasung oder Verflüssigung in Synthesegas, Synthese-Erdgas, Methanol, Benzin, Wasserstoff, Koks usw. umgewandelt werden. Aus Kohle, Erdöl und Erdgas können noch weitere Produkte gewonnen werden. Die elektrische Energie, die in herkömmlichen Wärmekraftwerken, in Wasser- und in Kernkraftwerken erzeugt wird, bildet mit der in Form von Wasser oder Dampf gelieferten Industriewärme die Hauptform von Sekundärenergie. Wie wir später sehen werden, verfügen wir über einen weiteren Sekundärenergieträger: Es sind dies Wasserstoff und Kohlenwasserstoffe, die beim Betrieb von Hochtemperaturreaktoren (HTR), wo Helium auf etwa 1000 °C erhitzt wird, frei werden.

Jegliche Umwandlung ist mit Verlusten verbunden. Die Sekundärenergien müssen, sofern irgend möglich, gelagert und

L'énergie de demain

Par P.J. Nowacki

L'auteur présente les possibilités offertes par les nouvelles technologies dans le domaine de la production, de la consommation, du stockage, de la distribution et des applications de l'énergie et propose l'hydrogène et les hydrocarbures comme vecteurs d'énergie secondaire en plus de l'électricité. Au cours des prochaines décennies, il faudra intensifier la recherche et le développement car nous devons nous préoccuper plus sérieusement de la pollution et des problèmes d'environnement, ce qui nous obligera à raffiner et purifier le charbon avant de le brûler.

1. Introduction

Le développement de l'énergie dépend de la disponibilité des sources d'énergie primaire et des progrès techniques de la conversion de cette énergie en énergie secondaire dans l'intérêt de l'humanité. Il faut ensuite transporter l'énergie secondaire et la distribuer aux consommateurs qui peuvent en avoir besoin sous différentes formes. Il n'est pas inutile de rappeler que la destruction complète d'1 g de matière = $9 \cdot 10^{16}$ J, que la fission complète d'1 kg d'uranium 235 = 24 GWh ou bien $20,57 \cdot 10^3$ t de TNT et qu'1 t de TNT = $4,2 \cdot 10^9$ J. Si nous nous exprimons en TW \cdot an (TWa), rappelons également qu'1 TWa = $1,07 \cdot 10^9$ tec et qu'une tonne équivalent charbon (1 tec) = $7 \cdot 10^6$ kcal ou encore 29288 GJ.

Nous disposons actuellement des sources d'énergie primaire suivantes: pétrole, charbon, gaz naturel, énergie hydraulique, énergie nucléaire, énergie éolienne, énergie solaire et biomasse. La transformation du pétrole donne de l'énergie secondaire, notamment sous forme de produits de raffinage tels que le fueloil, l'essence et différents dérivés. Le charbon peut être transformé par gazéification ou liquéfaction en gaz de synthèse, gaz naturel de synthèse, méthanol, essence, hydrogène, coke, etc. D'autres produits peuvent être obtenus à partir de charbon, de pétrole ou de gaz naturel. L'énergie électrique, produite dans des centrales thermiques classiques, des centrales hydro-électriques et des centrales nucléaires est, avec la chaleur industrielle fournie sous forme d'eau chaude ou de vapeur, la principale forme d'énergie secondaire. Nous verrons plus loin que nous disposons d'un autre vecteur d'énergie secondaire avec l'hydrogène ou les hydrocarbures que nous sommes en mesure de produire dès à présent en utilisant de l'hélium disponible à des températures de 1000 °C si nous développons la filière des réacteurs à haute température (HTR).

dann übertragen und an die Verbraucher im Haushalts-, Industrie- und Verkehrssektor (Schiene, Strasse, Luft) sowie in diversen anderen Bereichen verteilt werden.

Im allgemeinen liegt die Menge der an den Endverbraucher gelieferten Sekundärenergie weit unter der zu diesem Zweck verbrauchten Primärenergie.

Der Gesamtwirkungsgrad liegt in den industrialisierten Ländern zwischen 20 und 40%, in den Entwicklungsländern nur zwischen 5 und 10%.

Gegenwärtig beträgt der Weltenergieverbrauch rund 8 TWh/Jahr, d.h. 8,6 Gt SKE, bei einer Bevölkerungszahl von 4,1 Milliarden, was einem Pro-Kopf-Verbrauch von annähernd 2 kW (in 1978) entspricht. Bedauerlicherweise sind die Energievorräte der Welt sehr ungleich verteilt. So erreicht der Energieverbrauch je Einwohner in den Vereinigten Staaten 11 kW und in Europa 4 kW gegenüber lediglich 100 bis 500 W in den Entwicklungsländern (in 1978). Im Jahr 2000 wird der Jahresenergieverbrauch der Welt vermutlich 20 bis 29 Gt SKE für eine Bevölkerung von etwa 6 Milliarden Menschen betragen.

Lassen Sie uns nunmehr die einzelnen Primärenergien näher untersuchen und prüfen, welchen Aufschwung und Niedergang sie nach der Theorie der logistischen Kurven erleben werden. Es ist festzustellen, dass die Zeit des Holzes vorbei ist, dass auch die Kohle ihre beste Zeit hinter sich hat, obwohl ein neuer Aufschwung nicht auszuschließen ist, dass der Energiebedarf derzeit im wesentlichen durch das Erdöl gedeckt wird, mit dessen Rückgang nach 1997 zu rechnen ist, und dass auf die Zeit des Erdgases und des Synthese-Erdgases wahrscheinlich die Ära der Kernenergie folgen wird.

2. Erdöl und Erdgas

Der Erdölentstehungsprozess dauert mindestens eine Million Jahre. Die ausbeutbaren Weltvorräte (R) betragen etwa $658 \cdot 10^9$ Fass, das sind $138,0 \cdot 10^9$ t SKE, und das Verhältnis R/P (P = Jahreserzeugung) dürfte für jedes einzelne Vorkommen ziemlich genau bei 15 : 1 liegen. Um 1997 wird die Rohölerzeugung vermutlich nicht mehr zur Deckung der Nachfrage ausreichen. Die Welterdgaserzeugung beläuft sich zurzeit auf $2 \cdot 10^9$ t SKE/Jahr und kann bis zum Jahr 2000 verdoppelt werden. Jedoch wird die Erzeugung bei diesen beiden Primärenergien im Lauf des kommenden Jahrhunderts zurückgehen, und es müssen schon jetzt Massnahmen im Hinblick auf die Erzeugung von Synthesegas, Synthese-Erdgas und flüssigen Synthese-Brennstoffen wie Methanol, Äthanol und Benzin auf Kohlebasis eingeleitet werden.

3. Ölschiefer und Ölsand

Die in Ölschieferlagen vorhandenen Erdölreserven betragen etwa $2 \cdot 10^{12}$ Fass Erdöläquivalent, jedoch sind ihre Förderkosten sehr hoch. Die Ausbeutung dieser Vorräte kann für die Zeit nach 2000 in Aussicht genommen werden, wenn akuter Brennstoffmangel eintritt.

4. Kohle

Kohle entsteht durch Versteinierung pflanzlicher Stoffe. Die Weltkohlevorräte sind riesig und wurden in 1977 auf $10,126 \cdot 10^{12}$ t SKE geschätzt, davon 7728 Gt SKE Steinkohle und 2398 Gt SKE Braunkohle. Die wirtschaftlich ausbeutbaren Reserven liegen derzeit bei 630 Gt SKE gegenüber 126 Gt SKE für Erdöl. In der Zwischenzeit sind neue Vorkommen entdeckt

Toute conversion s'accompagne de pertes. Les énergies secondaires doivent être stockées (si possible), puis transportées et distribuées aux consommateurs pour satisfaire les besoins des ménages, de l'industrie, des transports – chemin de fer, automobile, aviation –, et de divers autres secteurs.

En général, la quantité d'énergie secondaire livrée au consommateur final est bien inférieure à la quantité d'énergie primaire consommée à cet effet.

Les rendements globaux varient entre 20 et 40% dans les pays développés alors qu'ils ne dépassent pas 5 à 10% dans les pays en voie de développement.

Actuellement, la consommation mondiale d'énergie est de l'ordre de 8 TWh/an, soit 8,6 Gtec, pour une population d'environ 4,1 milliards d'habitants, ce qui correspond approximativement à 2 kW par habitant (en 1978). Malheureusement, la distribution des ressources mondiales est déséquilibrée. C'est ainsi que si la consommation d'énergie par habitant atteint 11 kW aux Etats-Unis et environ 4 kW en Europe, elle n'est que de 100 à 500 W dans les pays en voie de développement (en 1978). A l'horizon 2000, la consommation annuelle d'énergie atteindra probablement 20 à 29 Gtec pour une population d'environ 6 milliards d'habitants.

Considérons maintenant les différentes sources d'énergie primaire et étudions leur essor puis leur déclin par la théorie des courbes logistiques. Il apparaît que l'ère du bois est révolue, que celle du charbon n'est plus à son apogée, encore qu'un nouvel essor ne soit pas exclu, que les besoins d'énergie actuels sont essentiellement couverts par le pétrole dont le déclin s'amorcera après 1997 et que l'ère du gaz naturel et du gaz naturel de synthèse sera probablement suivie par celle du nucléaire.

2. Pétrole et gaz naturel

Le cycle de formation du pétrole dure au moins un million d'années. Les réserves mondiales récupérables (R) sont de l'ordre de $658 \cdot 10^9$ Bep¹⁾, soit $138,0 \cdot 10^9$ tec, et le rapport R/P (P = production annuelle) devrait être sensiblement égal à 15 : 1 pour chaque gisement. Vers 1997, la production de brut ne sera probablement plus en mesure de faire face à la demande. La production mondiale de gaz naturel est actuellement de l'ordre de $2 \cdot 10^9$ tec/an et peut doubler d'ici l'an 2000. Mais, la production de ces deux sources d'énergie primaire diminuera au cours du prochain siècle et il faut prendre dès à présent des mesures pour développer la production de gaz de synthèse, de gaz naturel de synthèse et de combustibles liquides synthétiques (méthanol, éthanol et essence) à partir du charbon.

3. Sables et schistes bitumineux

Les réserves de pétrole contenues dans les schistes bitumineux sont de l'ordre de $2 \cdot 10^{12}$ Bep, mais leur coût d'extraction est exorbitant. La production effective de ce pétrole pourra être envisagée après l'an 2000 en cas de pénurie de combustible.

4. Charbon

Le charbon résulte de la fossilisation de matières végétales. Les réserves mondiales de charbon sont immenses et étaient évaluées en 1977 à $10,126 \cdot 10^{12}$ tec dont 7728 Gtec de houille et 2398 Gtec de lignite. Les réserves jugées économiquement exploitables atteignent actuellement 630 Gtec contre 126 Gtec

¹⁾ Baril équivalent pétrole.

worden, wodurch die Dauer der Kohlevorräte der Welt sich auf mindestens mehrere Jahrhunderte verlängert. Kohlebefeuerte Wärmekraftwerke sollten nicht ausschliesslich der Stromerzeugung dienen. Sie sollten auch Wärme für die Fernheizung, für die Industrie und in Zukunft auch für die Landwirtschaft liefern. Kohlekraftwerke verursachen Umweltbelastung wegen der Verbrennungsrückstände (Asche, Schlacke) und der Emission von CO_2 , SO_2 , SO_3 und NO_x . Im Mittelpunkt der Diskussionen stand in letzter Zeit das Kohlendioxid. CO_2 wirkt wie ein einseitiger Spiegel und löst den «Gewächshaus-Effekt» aus, d.h., es lässt die Sonnenstrahlung passieren, verhindert jedoch die Rückstrahlung, was zu einer ständigen Erhöhung der Temperatur auf der Erde – möglicherweise um 3°C bis 2000 –, zum Schmelzen des Polareises und zur Verringerung der wasserfreien Erdoberfläche führt. Grünpflanzen sollten geschützt werden, da sie durch Fotosynthese CO_2 in Sauerstoff umwandeln, der für die Atmung von Menschen und Tieren unverzichtbar ist. Die Natur kann also über die Pflanzen Kohlendioxid in Sauerstoff umsetzen. Eine wichtige Aufgabe für unsere Biophysiker wird künftig darin bestehen, Mittel und Wege zu finden, CO_2 in C und O_2 zu spalten.

5. Wasserkraft

Es gibt mehrere Möglichkeiten zur Nutzung der Wasserkraft:

1. den Bau von Wasserkraftwerken,
2. den Bau von Stauanlagen,
3. den Bau von Pumpspeichieranlagen für die Spitzendeckung,
4. die Nutzung der Energie des Wassers zur Erzeugung von Strom und zur Elektrolyse.

Wasser ist in vielen Ländern knapp. Die Industrie muss die chemische Wasserverunreinigung zu vermeiden suchen; alle Betreiber von Wärmekraftwerken – herkömmlichen sowie auch Kernkraftwerken – sollten ebenfalls darüber wachen, dass durch deren Abwärme keine Wasserverschmutzung (Eutrophisation) entsteht.

Über die Zersetzung des Wassers durch Elektrolyse hinaus hat sich die Forschung in der letzten Zeit eingehend mit der Thermolyse beschäftigt, d.h. mit der thermochemischen Zersetzung des Wassers. Das Meerwasser enthält verschiedene Metalle, deren Nutzung nach der Jahrtausendwende in Aussicht genommen werden kann. Der Grund des Pazifischen Ozeans ist reich an Manganknötchen-Vorkommen, die auf etwa 10^{12} t geschätzt werden, die jedoch in 5000 m Tiefe liegen.

6. Kernenergie

Es wird zwischen Spalt- und Fusionsenergie unterschieden.

6.1 Kernspaltung

Die Natururanvorräte der Welt wurden 1977 auf etwa $2 \cdot 10^6$ t angesetzt.

In 1975 betrug die installierte Kernkraftwerksleistung in der Welt 76 GWe und verteilte sich wie folgt: 80% Leichtwasserreaktoren, 12% gasgekühlte Reaktoren, 4% Schwerwasserreaktoren und 4% Schnelle Brüter und Hochtemperaturreaktoren. Gegenwärtig befindet sich die erste Generation Kernkraftwerke in Betrieb, darüber hinaus laufen jedoch auch schon zwei Schnelle Brüter: die französische Anlage Phénix in Marcoule und das Kraftwerk Schewtschenko in der UdSSR.

pour le pétrole. De nouveaux gisements ont été trouvés entre-temps, ce qui porte à plusieurs centaines d'années au moins la durée de nos réserves de charbon. Les centrales thermiques au charbon ne doivent pas être consacrées uniquement à la production d'électricité. Elles devraient fournir également de la chaleur pour le chauffage urbain, pour l'industrie ainsi que, dans l'avenir, pour l'agriculture. Les centrales au charbon sont naturellement des sources de nuisances en raison des résidus de combustion (cendres et scories) et des émissions d'imbrûlés, de CO_2 , de SO_2 , de SO_3 et de NO_x . En fait, ce sont les rejets de gaz carbonique qui ont été récemment au centre des débats. Le CO_2 agit comme un miroir à une face et engendre «l'effet de serre», c'est-à-dire qu'il laisse passer le rayonnement solaire, mais empêche la réflexion, ce qui se traduit par une augmentation constante de la température du globe qui risque d'atteindre 3°C en l'an 2000, de provoquer la fonte des glaces polaires et de diminuer la surface des terres non immergées de notre planète. Il conviendrait de protéger les végétaux chlorophylliens car ils transforment par photosynthèse le CO_2 en oxygène, agent de la respiration indispensable à l'homme et aux animaux. La nature sait convertir le gaz carbonique en oxygène par le biais des végétaux. Une tâche essentielle de nos biophysiciens consistera à inventer des dispositifs de réduction du CO_2 en C et O_2 .

5. Energie hydraulique

Il y a plusieurs moyens d'utiliser l'énergie hydraulique:

1. en construisant des centrales hydroélectriques,
2. en construisant des retenues,
3. en construisant des centrales d'accumulation par pompage pour satisfaire la demande de pointe,
4. en utilisant l'énergie hydraulique pour produire de l'électricité et pour l'électrolyse.

L'eau est rare dans de nombreux pays. L'industrie doit veiller à éviter la pollution chimique de l'eau et toutes les centrales thermiques, aussi bien classiques que nucléaires, devraient donc contrôler leurs rejets thermiques pour éviter le phénomène d'eutrophisation.

Indépendamment de la décomposition de l'eau par électrolyse, de nombreux efforts de recherche ont porté récemment sur la thermolyse, c'est-à-dire sur la décomposition thermo-chimique de l'eau. L'eau de mer contient quelques métaux dont l'exploitation pourra être envisagée après l'an 2000. Le fond de l'Océan Pacifique recèle de grandes réserves de nodules de manganèse qui sont évaluées à environ 10^{12} t, mais ces nodules gisent par 5000 m de fond.

6. Energie nucléaire

On distingue l'énergie de fission et l'énergie de fusion.

6.1 Fission nucléaire

Les réserves d'uranium naturel étaient estimées à environ $2 \cdot 10^6$ t en 1977.

En 1975, la puissance nucléaire installée dans le monde atteignait 76 GWe se répartissant comme suit: 80% pour les réacteurs à eau légère, 12% pour les réacteurs refroidis au gaz, 4% pour les réacteurs à eau lourde et 4% pour les réacteurs surrégénérateurs et à haute température. Nous exploitons actuellement la première génération de centrales nucléaires, mais deux surrégénérateurs sont déjà en service: le surrégénérateur français Phénix à Marcoule et le surrégénérateur de

Sämtliche Kernkraftwerkstypen sollten polyvalent sein, d.h., sie sollten Strom, Industrierwärme und Wärme für die Fernheizung liefern sowie eventuell für die Meerwasserentsalzung eingesetzt werden können. Die schnellen Brutreaktoren werden durch flüssiges Natrium mit Höchsttemperaturen von 650 °C gekühlt und eignen sich kaum für die Erzeugung von Industrierwärme. Die Hochtemperaturreaktoren, für die ich mich persönlich mit ganzer Überzeugung einsetze, da sie einen hohen Umwandlungsgrad haben und in Schnelle Brüter verwandelt werden können, bilden die dritte Reaktorgeneration. Bei diesen Reaktoren ist der Wärmeträger nicht mehr das Natrium, sondern heisses Helium, ein Edelgas, dessen Temperatur bei Austritt aus dem Reaktor 950 °C beträgt, und das sich somit hervorragend für die Industrierwärmeerzeugung eignet. Diese beiden Reaktorreihen haben das Pilotstadium bereits überschritten: Hochtemperaturreaktoren werden in der Bundesrepublik Deutschland und in den USA bereits industriell betrieben.

Kernreaktoren sind notwendig, da mit fossilen Brennstoffen befeuerte Kraftwerke bestimmten Beschränkungen unterliegen. Der Ausbau von Zechen erfordert viel Zeit. Sicher gibt es politische und ökologische Probleme, aber ich bin der Meinung, dass, wenn die Frage der radioaktiven Abfälle und der Wiederaufarbeitung einmal auf internationaler Ebene gelöst ist, für die Kernkraftwerke eine günstige Zeit anbrechen wird.

Es trifft zu, dass wir gegenwärtig einen Wettlauf um Leistung erleben, der sich im Bau von Kernkraftwerken mit mehreren 1000-MW-Einheiten und mehr am selben Standort – darunter sogar auf künstlich angelegten Inseln – äussert, aber die Schutzmassnahmen bei den Kernkraftwerken sind erheblich umfangreicher als bei jeglicher herkömmlichen Anlage.

6.2 Kernfusion

Seit der Erdölkrise im Jahr 1973 gilt der Forschung auf dem Gebiet der Kernfusion verstärktes Interesse. Zwei Fusionsverfahren werden heute angewandt:

1. Der Magneteinschluss (Tokamak, Stellarator usw.) eines Plasmas von geringer Dichte (D-D oder D-T);
2. der Trägheitseinschluss, wobei eine D-T-Tablette einer Implosion bei niedriger Temperatur und hoher Dichte durch ein konzentriertes Elektronenbündel (Laserbündel sind zu teuer und haben einen geringen Wirkungsgrad) ausgesetzt wird. Im Sandia-Labor in Albuquerque (USA) wird die Gesamtleistung der Elektronenbündel etwa $30 \cdot 10^{12}$ W erreichen, und die Tabletten werden jede Zehntelsekunde implodieren.

Ein weiteres Forscherteam arbeitet am selben Verfahren im Kurchatow-Institut in der UdSSR. Die Ergebnisse der dortigen Versuche werden gegen 1985 erwartet, mit der industriellen Anwendung ist jedoch nicht vor Ende des Jahrhunderts zu rechnen.

7. Wind- und Sonnenenergie

In Kalkugnens (Schweden) ist kürzlich ein Windgenerator auf einem 23 m hohen Turm gebaut worden, der mit Kaplan-Windrädern mit einem Durchmesser von 18 m ausgerüstet ist. Dieser Windgenerator liefert 70 kW bei einer Windstärke von 10 m/s. Bei den örtlichen Windverhältnissen kann er 150 MWh/Jahr erzeugen. In Grossbritannien ist ein kleinerer Windgenerator in Betrieb. Die Amerikaner stehen der Zukunft dieser neuen Energieform eher skeptisch gegenüber.

Shevchenko in Union soviétique. Toutes les filières nucléaires devraient être polyvalentes, c'est-à-dire qu'elles devraient être capables de produire de l'électricité, de la chaleur industrielle et de la chaleur pour le chauffage urbain et, éventuellement, de dessaler l'eau de mer. Les réacteurs surrégénérateurs sont refroidis par du sodium liquide circulant à des températures maximales de 650 °C et ne se prêtent guère à la production de chaleur industrielle. Les réacteurs à haute température qui ont un taux de conversion élevé et qui peuvent être transformés en surrégénérateurs, constituent la troisième génération de réacteurs. Ici, le fluide caloporteur n'est plus du sodium, mais de l'hélium chaud, gaz inerte dont la température de sortie réacteur atteint 950 °C et qui convient donc parfaitement pour la production de chaleur industrielle. Ces deux filières ont déjà dépassé le stade des installations pilotes et des réacteurs HTR sont exploités industriellement en République fédérale d'Allemagne et aux Etats-Unis.

Les réacteurs nucléaires sont nécessaires car les centrales à combustibles fossiles connaissent certaines limitations. La construction de mines prend beaucoup de temps. Il existe, certes, des problèmes politiques et écologiques, mais je pense que si le problème des déchets nucléaires et du retraitement est résolu à l'échelle internationale, une ère faste s'ouvrira prochainement pour les centrales nucléaires.

On assiste, il est vrai, à une course à la puissance qui se traduit par une tendance à construire des centrales nucléaires composées de plusieurs grandes tranches de 1000 MWe et plus sur un même site et, dans le pire des cas, à les implanter sur des îles artificielles, mais les mesures de protection prises à l'égard des centrales nucléaires sont bien plus importantes que dans tout autre type d'installation classique.

6.2 Fusion nucléaire

Depuis la crise du pétrole de 1973, la recherche sur la fusion nucléaire a connu un net regain d'intérêt. Deux procédés de fusion sont actuellement utilisés:

1. le confinement magnétique (Tokamak, Stellarator, etc., par exemple) d'un plasma peu dense (D-D ou D-T),
2. le confinement inertiel où une pastille D-T de faible dimension subit une implosion à basse température et à très haute densité sous l'effet d'un faisceau concentré d'électrons (les faisceaux laser sont trop chers et ont un faible rendement). Au laboratoire Sandia d'Albuquerque aux Etats-Unis, la puissance totale des faisceaux d'électrons va atteindre quelques $30 \cdot 10^{12}$ W et des pastilles imploseront chaque dixième de seconde.

Une autre équipe de spécialistes travaille sur ce même procédé à l'institut Kurchatov en Union soviétique. La conclusion des expériences est attendue vers 1985, mais l'exploitation industrielle n'interviendra pas avant le prochain millénaire.

7. Energie éolienne et solaire

La Suède a récemment construit à Kalkugnens un aérogénérateur monté sur une tour de 23 m de hauteur comportant des pales de type Kaplan de 18 m de diamètre. Cette éolienne fournit 70 kWe lorsque la vitesse du vent est de 10 m/s. Elle peut produire 150 MWh/an compte tenu des conditions locales. Un aérogénérateur moins puissant a été construit en Grande-Bretagne, mais les Américains sont plutôt pessimistes sur l'avenir de ce type d'énergie nouvelle.

Auf dem Gebiet der Sonnenenergie sind umfangreichere Forschungsarbeiten durchgeführt worden. Die Sonnenkonstante ausserhalb der Erdatmosphäre beträgt 1400 W/m^2 . Ausserhalb der Erdatmosphäre ist Sonnenenergie stets verfügbar. Wegen des Wechsels von Tag und Nacht trifft dies jedoch für die Erde selbst nicht zu.

Es gibt verschiedene Möglichkeiten zur Drosselung der Nachfrage nach Wärme und/oder Strom:

1. In den europäischen Breiten können nach Süden ausgerichtete Doppelverglasungen, Wasserreservoirs auf den Dächern und doppelte Mauerisolierungen mit Wasser als Wärmequelle im Zwischenraum angebracht werden.

2. Ferner können P-seitig mit Bor und N-seitig mit Phosphor «gedopte» Silicium-Fotozellen verwendet werden. Die zurzeit auf dem Markt verfügbaren Fotozellen haben einen Wirkungsgrad von 10%, erzielbar ist jedoch bereits ein Wirkungsgrad von 21%. Neben der alten Methode von Czochralski, bei der Silicium-Monokristalle verwendet werden, gibt es eine neue amerikanische Methode («edge-defined film-fed growth», EFG), die von der Mobil Tyco Solar Energy Corporation angewendet wird und Leistungen von annähernd 100 W/m^2 ermöglicht. Weitere neue Verfahren werden erprobt, bei denen beispielsweise Gallium-Arsenid eingesetzt wird.

Augenblicklich sind die Fotozellen noch zu teuer; es besteht jedoch die Aussicht, dass ihre Kosten in einigen Jahren bis auf $750 \text{ \$/kW}$ sinken. Natürlich bestehen bereits Solaranlagen mit Parabolspiegeln und anderen Kollektortypen, jedoch liefern diese Anlagen in erster Linie Wärme für den Haushaltbedarf. Dennoch sind die Aussichten auf eine künftig verstärkte Entwicklung der Sonnenenergie auf breiterer Basis nicht unbedeutend.

8. Andere Energiequellen

8.1 Geothermie

Die Geothermie ist auf bestimmte geografische Zonen beschränkt, in denen Vulkane tätig waren oder noch tätig sind. Die Bundesrepublik Deutschland hat kürzlich Untersuchungen in der Eifel und im Schwarzwald eingeleitet und dabei Bohrungen bis in 3000 m Tiefe vorgenommen.

8.2 Bio-Umwandlungsprozess in der Landwirtschaft

Rund die Hälfte der Weltbevölkerung lebt in den ländlichen Gebieten der Entwicklungsländer, wo in Biogas-Anlagen durch die Nutzung der anaerobischen (ohne Luft und Sauerstoff) Fermentation des Stallmists Methan mit einem Wirkungsgrad von etwa 60% erzeugt werden kann. Das Gas kann sowohl Wärme liefern als auch zur Stromerzeugung in Brennstoffzellen dienen.

8.3 Biomasse

Hierbei handelt es sich um eine erneuerbare Energiequelle, die in grossem Umfang zur Energieerzeugung herangezogen werden kann. Die Biomasse besteht aus den pflanzlichen Stoffen des Waldes, der Landwirtschaft sowie der Haushaltsabfälle. Sie enthält praktisch eine Energie von 5000 kcal/kg . In diesem Zusammenhang ist darauf hinzuweisen, dass in zahlreichen Ländern Methanol und Äthanol aus Pflanzen wie der Zuckerrübe, dem Zuckerrohr und dem Maniok hergestellt werden.

L'énergie solaire a donné lieu à une recherche plus importante. La constante solaire à l'extérieur de l'atmosphère terrestre est de 1400 W/m^2 . L'énergie solaire est toujours disponible à l'extérieur de l'atmosphère terrestre, ce qui n'est pas vrai en un point fixe de la terre en raison de l'alternance du jour et de la nuit.

Il existe plusieurs moyens de diminuer la demande de chaleur et/ou d'électricité:

1. Aux latitudes européennes, on peut utiliser des doubles vitrages orientés vers le sud, monter des réservoirs d'eau sur le toit et doubler l'isolation des murs contenant de l'eau comme source de chaleur.

2. Il est possible d'utiliser des photopiles au silicium dopé au bore du côté P et au phosphore du côté N. Les photopiles actuelles ont un rendement de 10%, mais il est possible d'atteindre à présent des rendements de 21%. A côté de l'ancienne méthode de Czochralski à monocristaux de silicium, il existe une méthode américaine récente («edge-defined film-fed growth», EFG) qui est utilisée par Mobil Tyco Solar Energy Corporation et qui fournit approximativement 100 W/m^2 . De nouvelles solutions ont été recherchées en utilisant notamment de l'arséniure de gallium.

A l'heure actuelle, les photopiles sont trop chères, mais il y a bon espoir de voir leur coût tomber à $750 \text{ \$/kW}$ d'ici quelques années. Naturellement, il existe déjà des installations solaires à miroir parabolique et d'autres types de capteurs, mais ils produisent principalement de la chaleur au niveau du foyer. Quoi qu'il en soit, les perspectives futures de développement de l'énergie solaire à plus large échelle sont loin d'être négligeables.

8. Autres sources d'énergie

8.1 La géothermie

La géothermie est limitée à certaines régions géographiques qui sont ou ont été le siège d'une activité volcanique. La République fédérale d'Allemagne a entrepris récemment des recherches dans la région de l'Eifel et en Forêt Noire, procédant à cette occasion à des forages de 3000 m de profondeur.

8.2 Bioconversion pour l'agriculture

Environ la moitié de la population mondiale vit dans les zones rurales de pays en voie de développement où les installations énergétiques, utilisant la fermentation anaérobie du fumier (en l'absence d'air et d'oxygène), peuvent produire du méthane avec un rendement d'environ 60%. Le produit gazeux peut servir à fournir de la chaleur et à produire de l'électricité dans des piles à combustible.

8.3 Biomasse

Cette énergie est renouvelable et peut constituer une source importante de production d'énergie. La biomasse est constituée par les matières végétales d'origine sylvestre et agricole ainsi que par les ordures ménagères. Elle contient pratiquement une énergie de 5000 kcal/kg . Précisons que dans de nombreux pays, du méthanol et de l'éthanol peuvent être produits à partir de plantes comme la betterave sucrière, la canne à sucre et le manioc.

8.4 Meeresenergie

Die bei den tropischen Gewässern zwischen der Oberfläche und den tieferliegenden Wasserschichten zu beobachtenden Temperaturunterschiede, die das Wärmesystem der Meere kennzeichnen, können durch die Anwendung des Prinzips der «Negentropie», d.h. der negativen Entropie, ausgenutzt werden. Ein Projekt zur Umwandlung der thermischen Energie der Meere (Ocean Thermal Energy Conversion) zielt auf die Ausnutzung der 20 bis 25 °C betragenden Temperaturunterschiede zwischen dem warmen Wasser an der Meeresoberfläche und dem kalten Tiefenwasser. Eine im südlichen Teil des Pazifik einzusetzende schwimmende Anlage wird kaltes Wasser aus einer Tiefe von 1000 m holen und Wasser-Ammoniak-Tauscher und Ammoniakturbinen mit einer Gesamtleistung von 250 MWe zur Energieerzeugung einsetzen.

Ferner gibt es zwei Gezeitenkraftwerke auf der Welt, eines an der Rance in Frankreich und ein zweites in Kislaya Guba in der UdSSR. Die Flussmündungen, die sich für solche Anlagen eignen, sind allerdings selten, so dass die Anwendungsmöglichkeiten dieser sinnreichen Energiegewinnungsmethode begrenzt sind.

9. Der Wasserstoff und seine Verbindungen als Sekundärenergieträger

Unter Wasserstoff verstehe ich nicht nur H₂ selbst, sondern alle synthetischen Gase und Brennstoffe wie Methanol, Synthese-Erdgas usw. Ich erinnere daran, dass über 70 % der Erde durch Meere und andere Oberflächengewässer bedeckt sind. Die wesentlichen Vorteile des H₂ sind folgende:

1. Möglichkeit der Lagerung in flüssiger oder Gasform
2. Besondere Eignung für Übertragung und Verteilung
3. Verbrennung ohne Umweltbelastung, da nur Wasser erzeugt wird
4. Die spezifische Verbrennungswärme pro Masseinheit ist derjenigen aller anderen Brennstoffe überlegen
5. Vielzahl der Anwendungsmöglichkeiten des Wasserstoffs und seiner Derivate, der Kohlenwasserstoffe, in flüssiger oder in Gasform.

Die Hochtemperaturreaktoren, die dank dem auf Temperaturen um 950 °C erhitzten Helium eine hervorragende Industriewärmequelle sind, bieten die besten Möglichkeiten für die H₂-Erzeugung. Diese Reaktoren können an Dampfumformer bzw. an Kohlevergasungseinheiten angekoppelt werden. Der Umformer verwandelt das Ausgangsmaterial (üblicherweise Methan und Wasserdampf: CH₄ + H₂O) durch endothermische Reaktion in Gegenwart eines Katalysators in Synthesegas (CO + 3 H₂ oder CO + H₂), wobei die erforderliche Wärme von dem erhitzten Helium geliefert wird. Der Kohlevergaser verwandelt mit Hilfe von Dampf oder Wasserstoff und Sauerstoff (in den herkömmlichen Luftvergasern) Stein oder Braunkohle in Synthesegas CO + H₂ oder Synthese-Erdgas C + 2 H₂ = CH₄. Es sind drei Vergasertypen bekannt: a) der Fließbettvergaser (Typ Winkler), b) der Festbettvergaser (Typ Lurgi) und c) der Zugflussvergaser (Typ Koppers-Totzek). Ein von der Firma Humboldt-Wedag in der Bundesrepublik Deutschland im Jahr 1976 eingeführtes neues Vergasungsverfahren nennt sich «Metallbad-Vergasungsmethode» und besteht darin, dass heißer Sauerstoff durch ein in einem Bad aus geschmolzenem Eisen ruhendes Kohlebett geblasen wird,

8.4 Energie des mers

La différence de température des eaux tropicales en surface et en profondeur, qui caractérise le système thermique des mers, peut être mise à profit en utilisant le principe de la négentropie ou entropie négative. Un projet de conversion de l'énergie thermique des mers (Ocean Thermal Energy Conversion) vise à utiliser les différences de température de l'ordre de 20 à 25 °C entre l'eau chaude de la surface et l'eau froide des profondeurs. Une installation flottante, érigée dans la partie méridionale de l'Océan Pacifique, puisera l'eau froide à une profondeur de 1000 m et utilisera des échangeurs eau-ammoniac et des turbines à l'ammoniac d'une puissance globale de 250 MWe.

Il existe deux usines marémotrices dans le monde: l'une sur la Rance, en France, et l'autre à Kislaya Guba, en Union soviétique. A vrai dire, les estuaires aménageables sont rares. Les possibilités d'application de cette méthode judicieuse de récupération de l'énergie des marées sont donc relativement limitées.

9. L'hydrogène et ses composés, vecteurs d'énergie secondaire

Par hydrogène, on entend ici non seulement l'H₂ en tant que tel, mais aussi tous les gaz et combustibles synthétiques comme le méthanol, le gaz naturel de synthèse, etc. ... Il convient de se rappeler que les mers et les océans couvrent plus de 70 % de la surface du globe. Les principaux avantages de l'H₂ sont:

1. possibilité de stockage sous forme liquide ou gazeuse;
2. facilité de transport et de distribution;
3. combustion non polluante puisqu'elle ne produit que de l'eau;
4. chaleur spécifique de combustion par unité de masse supérieure à celle de tous les autres combustibles;
5. possibilités multiples d'utilisation de l'hydrogène et de ses dérivés, les hydrocarbures, sous forme liquide ou gazeuse.

Les réacteurs HTR, qui constituent une excellente source de chaleur industrielle grâce à l'hélium porté à des températures de l'ordre de 950 °C, offrent les plus grandes possibilités de production d'H₂. Ces réacteurs sont couplés à des unités de reformage de vapeur et/ou de gazéification du charbon. Le reformeur transforme le produit de départ (normalement du méthane et de la vapeur d'eau - CH₄ + H₂O) en gaz de synthèse (CO + 3 H₂ ou CO + H₂) par la mise en œuvre d'une réaction endothermique en présence d'un catalyseur, la chaleur nécessaire étant fournie par l'hélium chaud. Le gazéificateur de charbon transforme la houille ou le lignite en oxyde de carbone CO, en gaz de synthèse CO + H₂ ou en gaz naturel de synthèse C + 2 H₂ = CH₄ à l'aide de vapeur ou d'hydrogène et d'oxygène (dans les anciens gazéificateurs à air). On connaît trois types de gazéificateurs: a) le gazéificateur à lit fluidisé (type Winkler), b) le gazéificateur à lit solide (type Lurgi), c) le gazéificateur à flux entraîné (type Koppers-Totzek). Un nouveau type de gazéification inventé en 1976 par la société Humboldt-Wedag en République fédérale d'Allemagne et baptisé «méthode de gazéification en bain de fer» consiste à insuffler de l'oxygène chaud dans un lit de charbon placé à l'intérieur d'un bain de fer fondu, la réaction mise en œuvre

wobei die Reaktion $2 C + O_2 \rightarrow 2 CO$ eintritt. Diese Reaktion ergibt Kohlenoxid und an der Oberfläche des Eisens schwimmende Schlacke. Die Schlacke eignet sich besonders für die Zementherstellung. Sodann braucht man lediglich noch die schon bekannte Reaktion $CO + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2$ herbeizuführen, um Wasserstoff zu erhalten.

Die Anwendungsmöglichkeiten des Wasserstoffs und seiner Verbindungen sind vielfältig:

- Ammoniak-Synthese
- Fernübertragung von Kernwärme durch Pipelines («Chemische Wärmepumpe»)
- Methanol-Synthese
- Dampferzeugung von Kohle
- Hydrierende Vergasung von Stein- oder Braunkohle zur Synthese-Erdgas-Erzeugung
- Methan-Cracking zur Erzeugung von Wasserstoff
- Kohlehydrierung
- Fischer-Tropsch-Synthese
- Hydro-Cracking
- Oxosynthese
- Direktreduktion von Eisen durch Wasserstoff und Erzeugung von Schwammeisen durch das Midrex-Verfahren

Die unterirdische Kohlevergasung ohne menschliche Tätigkeit ist ebenfalls geplant. Die Elektrolyse-Verfahren sind allgemein bekannt, brauchen hier also nicht nochmals beschrieben zu werden.

Zahlreiche Forschungsarbeiten galten in letzter Zeit der Thermolyse, also der Zersetzung von Wasser durch thermochemische Zyklen. Der Wirkungsgrad dieses Verfahrens zur Erzeugung von H_2 und O_2 variiert zwischen 30 und 80 %. Die ersten Thermolyse-Versuche verdanken wir G. de Beni und C. Marchetti, den Erfindern der MARK 1-Methode in ISPRA. Ferner gibt es rein thermochemische Verfahren, die als «Hybrid-Verfahren» bezeichnet werden, bei denen in einer der Reaktionsphasen die Elektrolyse angewandt wird. Es sind zurzeit mehrere Modelle in Untersuchung. Die besten Aussichten auf Verwirklichung hat dabei meiner Ansicht nach der Schwefel-Bromid-Zyklus MARK 13 von ISPRA und der Schwefel-Jod-Zyklus der General Atomic Company in den USA.

Auf dem Gebiet der Lagerung und Verteilung des Wasserstoffs ist ein neues Verfahren der Einlagerung von H_2 in Metallhydriden zu erwähnen, die Wasserstoff durch einen exothermischen Vorgang aufnehmen und ihn durch einen endothermischen Vorgang mit geringem Druck wieder abgeben können. Das dabei verwendete Metallhydrid ist das $FeTiH_x$. $FeTi$ ist in Grossbritannien bereits zum Preis von 22 £/kg auf dem Markt erhältlich. Das Hydrid $FeTiH_2$ hat eine Aufnahmefähigkeit von 18,9 g H_2 /kg. Prototypen solcher Einrichtungen sind in der Bundesrepublik Deutschland in Betrieb, wo ein Personenwagen vom Typ Mercedes-Benz 280 E und ein Bus mit $FeTiH_x$ fahren, wobei die für die Desorption des H_2 erforderliche Wärme den Auspuffgasen und/oder dem Kühlwasser entzogen wird. Die Firma Billing hat ebenfalls ein wasserstoffbetriebenes System entwickelt, das in einem Pkw vom Typ Cadillac Séville von 1977 und in einem leichten Jacobsen-Traktor angewendet wird.

Was den Transport betrifft, so gehört die Stromübertragung zu den teuersten Energietransportarten. Gefolgt wird sie vom Kohletransport per Bahn. Das europäische Schienennetz ist aber ohnehin schon überlastet, weshalb künftig dem Transport per Pipeline der Vorzug gegeben werden wird. Zwar kann Kohle, mit Wasser vermischt, auch per Pipeline transportiert werden, jedoch gilt die Methanol-Kohle-Pipeline als noch

étant $2 C + O_2 \rightarrow 2 CO$. Cette réaction donne de l'oxyde de carbone et un laitier qui surnage à la surface du bain métallique. Le laitier convient particulièrement à la production de ciment. Il suffit ensuite de mettre en œuvre la réaction connue $CO + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2$ pour obtenir de l'hydrogène.

Les applications de l'hydrogène et de ses composés sont multiples:

- Synthèse de l'ammoniac
- Transport de chaleur d'origine nucléaire à grande distance par pipeline
- Synthèse du méthanol
- Gazéification du charbon à la vapeur
- Hydrogazéification destinée à la production de gaz naturel de synthèse à partir de lignite ou de houille
- Craquage du méthane avec production d'hydrogène
- Hydrogénation du charbon
- Synthèse Fischer-Tropsch
- Hydrocraquage
- Oxosynthese
- Réduction directe du fer par l'hydrogène et production d'éponge de fer par le procédé Midrex

La gazéification souterraine du charbon sans intervention humaine est également envisagée. Les procédés d'électrolyse sont bien connus et il est superflu de les rappeler ici.

De nombreux travaux de recherche ont été consacrés récemment à la thermolyse, c'est-à-dire à la décomposition de l'eau par des cycles thermochemiques. Le rendement de ce procédé de production d' H_2 et d' O_2 varie entre 30 et 80 %. Nous devons les premières expériences de thermolyse à G. de Beni et C. Marchetti qui mirent au point la première méthode MARK 1 à ISPRA. Il existe des procédés purement thermochemiques et des «procédés hybrides» dont un cycle de réaction fait appel à l'électrolyse. Plusieurs modèles sont actuellement à l'étude, mais on peut accorder les meilleures chances de succès au cycle bromuresoufre MARK 13 d'ISPRA et au cycle iode-soufre de la General Atomic Company aux Etats-Unis.

Dans le domaine du stockage et de la distribution d'hydrogène, il convient de citer une nouvelle méthode de stockage d' H_2 dans des hydrures métalliques qui peuvent absorber l'hydrogène par un processus exothermique et le restituer à basse pression par un processus endothermique. L'hydrure métallique utilisé fréquemment est le $FeTiH_x$. Le $FeTi$ est dès à présent commercialisé en Grande-Bretagne à un prix de 22 £/kg. L'hydrure métallique $FeTiH_2$ peut stocker 18,9 g d' H_2 /kg. Des prototypes fonctionnent déjà en République fédérale d'Allemagne où une Mercedes-Benz 280 E et un autobus roulent au $FeTiH_x$ en récupérant la chaleur nécessaire à la désorption du H_2 sur les gaz d'échappement et/ou l'eau de refroidissement. La société Billing a également fabriqué un ensemble fonctionnant à l'hydrogène et comprenant une voiture Cadillac Séville de 1977 et un tracteur léger Jacobsen.

Dans le domaine du transport, il faut préciser que le transport de l'énergie électrique compte parmi les moyens de transport d'énergie les plus onéreux, suivi par le transport du charbon par chemin de fer. De toute façon, les réseaux ferroviaires européens sont déjà surchargés. Dans l'avenir, la préférence ira au transport par pipeline. Il est possible de transporter le charbon mélangé à de l'eau dans des pipelines, mais le pipeline méthanol-charbon constitue un moyen de transport encore plus intéressant. Le transport du gaz naturel et du gaz naturel de synthèse par gazoduc est tout à fait classique. Dans l'avenir, il sera aussi facile de transporter du méthanol que du pétrole par pipeline.

interessanteres Transportmittel. Die Übertragung von Erdgas und Synthese-Erdgas per Ferngasleitung ist bereits als klassische Transportart anzusehen. In Zukunft wird der Transport von Methanol per Pipeline ebenso einfach sein wie der Erdöltransport.

10. Verwendung von Wasserstoff und seinen Verbindungen

Ohne Wasserstoff hätte der Mensch nicht auf dem Mond landen und auch keine künstlichen Satelliten in den Weltraum schicken können. Die Verwendung flüssigen Wasserstoffs (LH_2) und flüssigen Sauerstoffs (LO_2) als Brennstoffe für die Zivilluftfahrt wird gegenwärtig erprobt. Da unser Hauptinteresse der elektrischen Energie gilt, muss ich über einen kürzlich erzielten Fortschritt auf dem Gebiet der Brennstoffzellen-Kraftwerke berichten (A.P. Fickett, Sc. Am. XII, 1978, S. 54). Die theoretisch «reversible» Spannung einer Brennstoffzelle beträgt 1,23 V, jedoch liegt sie in der Praxis nur bei etwa 0,65 V. Der Wirkungsgrad der Brennstoffzellen wird nicht durch den Carnotschen Kreislauf begrenzt. Bei dem neuen Zellentyp, der einen sauren Elektrolyten enthält, und zwar Phosphorsäure H_3PO_4 , erreicht der Wirkungsgrad etwa 38,5%.

Der verwendete Brennstoff muss stark wasserstoffhaltig sein, wobei es sich allerdings um Synthesegas, Synthese-Erdgas (Methan) bzw. um Wasserstoff selbst handeln kann. Der Brennstoff zersetzt sich an der Anode gemäss der Reaktion $\text{H}_2 \rightarrow 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$. Die H^+ -Ionen wandern zur Kathode, wo folgende Reaktion eintritt: $\frac{1}{2}\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2\text{O}$. Luft oder Sauerstoff dienen dabei als Oxidiermittel.

Als Reaktionsprodukt ergeben sich CO_2 an der Anode und H_2O an der Kathode bei Luft als Oxidiermittel. Eine Brennstoffzelle besteht aus einer Scheibe mit einer Leistung von 500 W zu 0,65 V. Im Normalfall ist es möglich, nahezu 500 Scheiben mit einer elektrischen Leistung von 250 kW zu «stapeln». Die Betriebstemperatur dieser Zellenart variiert zwischen 150 und 200 °C. 20 Stapel von 250 kW ergeben eine elektrische Gesamtleistung von 5 MW.

Ein von der United Technologies Corporation errichtetes Brennstoffzellen-Kraftwerk wird im nächsten Jahr in New York in Betrieb gehen. Eine Brennstoffzelle kann zu drei verschiedenen Zwecken eingesetzt werden: 1. für den Spitzenlastbetrieb, 2. für den Hilfsbetrieb (der Generator läuft jeden Tag – ausser Sonntag und nachts) und 3. für den Grundlastbetrieb. In letzterem Fall werden mit dem Zellenstapel Kraftwerke mit einer Leistung von maximal 600 MWe ausgerüstet, die eine Einheit für die Brennstoffumwandlung (z.B. Kohlevergaser) umfassen. Diese Einheit liefert an die Leistungszellen Brennstoff in Form von Synthesegas. Der von den Zellen abgegebene Gleichstrom wird in einen Konverter geleitet, der ihn in Wechselstrom umwandelt und ihn dann in das Netz einspeist. Die Kosten einer Leistungszelle liegen gegenwärtig etwa bei 500 \$/kW für ein 1-MW-Kraftwerk. Schon in naher Zukunft sollen die Gesamtkosten eines Brennstoffzellen-Kraftwerks etwa 850 \$/kWe betragen. Die von den Zellen abgegebene Wärme kann für die Fernheizung genutzt werden. Bei den neuen Stromerzeugungsverfahren sind auch die mit flüssigem Wasserstoff und flüssigem Sauerstoff betriebene Hotshot-Turbine und der ebenfalls mit flüssigem Wasser- und Sauerstoff gespeiste magneto-hydrodynamische Generator von Los Alamos zu nennen.

10. Utilisation de l'hydrogène et de ses composés

Il est bon de signaler que sans l'hydrogène, l'homme n'aurait pas pu se poser sur la lune, ni lancer des satellites artificiels. Des essais d'utilisation d'hydrogène liquide (LH_2) et d'oxygène liquide (LO_2) comme carburants dans l'aviation civile sont actuellement en cours. Comme notre centre d'intérêt est l'énergie électrique, il faut mentionner un progrès récent dans les centrales électriques à piles à combustible (A.P. Fickett, Sc. Am. XII, 1978, page 54). La tension théoriquement «réversible» d'une pile à combustible est de 1,23 V, mais elle est de l'ordre de 0,65 V dans la pratique. Le rendement des piles à combustible n'est pas limité par le cycle de Carnot. Il ressort à 38,5% environ avec le nouveau type de pile proposé. Cette nouvelle pile contient un électrolyte acide, en l'occurrence de l'acide phosphorique H_3PO_4 .

Le combustible utilisé doit être riche en hydrogène, mais il peut s'agir de gaz synthétique, de gaz naturel de synthèse (méthane) ou d'hydrogène. Le combustible est dissocié à l'anode selon la réaction $\text{H}_2 \rightarrow 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$. Les ions H^+ migrent vers la cathode où la réaction suivante se produit: $\frac{1}{2}\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2\text{O}$. L'air ou l'oxygène servent d'agent oxydant.

Les produits de réaction sont CO_2 à l'anode et H_2O et N_2 à la cathode si l'oxydant utilisé est de l'air. Une pile à combustible consiste en un disque d'une puissance de 500 W à 0,65 V. Normalement, il est possible de réaliser un «empilement» de près de 500 disques correspondant à une puissance électrique de 250 kW. La température de fonctionnement de ce type de pile varie entre 150 et 200 °C. 20 empilements de 250 kW donnent une puissance électrique totale de 5 MW.

Une centrale électrique à piles à combustible construite par United Technologies Corporation, va fonctionner à New-York dès l'an prochain. Une pile à combustible peut être utilisée à trois fins différentes: 1. fonctionnement en pointe, 2. fonctionnement en soutien (le générateur fonctionne tous les jours, sauf le dimanche et la nuit), 3. fonctionnement en base. Dans ce dernier cas, l'empilement équipera des centrales de 600 MWe maximum comportant une unité de transformation du combustible (gazéificateur de charbon, par exemple). Cette unité fournit le combustible sous forme de gaz synthétique à la pile de puissance. Le courant continu délivré par la pile est envoyé dans un convertisseur qui le transforme en courant alternatif avant de l'évacuer sur le réseau. Le coût actuel d'une pile de puissance est d'environ 500 \$/kW pour une centrale d'1 MWe. Le coût total d'une centrale de base à piles à combustible sera de l'ordre de 850 \$/kWe dans un proche avenir. La chaleur dégagée dans les piles peut être utilisée pour le chauffage urbain. Parmi les nouvelles méthodes de production d'électricité, citons également la turbine Hotshot à hydrogène et oxygène liquides et le générateur magnétohydrodynamique de Los Alamos également alimenté en hydrogène et oxygène liquides.

Dans le secteur des transports, il existe un projet de locomotive turboélectrique alimentée en hydrogène et oxygène liquides. Les véhicules dotés d'un moteur linéaire à courant alternatif rendent superflu l'emploi de rails et peuvent circuler à 500 km/h sur coussin magnétique.

Im Transportsektor ist eine mit flüssigem Wasserstoff und flüssigem Sauerstoff angetriebene turboelektrische Lokomotive in Planung. Solche mit einem Linear-Wechselstrom-Motor versehene Fahrzeuge sind nicht schienenengebunden und können auf Magnetkissen mit einer Geschwindigkeit von 500 km/h fahren.

11. Kosten des Wasserstoffs

Schätzungsweise stellen sich die Wasserstoffkosten wie folgt:

0,949...1,613 \$/GJ bei Kohlevergasung

2,37 ...4,74 \$/GJ in Kernkraftwerken

1,14 ...1,71 \$/GJ bei Kohleverflüssigung

Diese Kosten enthalten die Investitionen und die Betriebskosten einschliesslich des Energieverbrauchs, nicht jedoch die Verteilung, den Vertrieb und die Steuern. Vergleichsweise würde durch Kohleverflüssigung hergestelltes Synthesebenzin etwa 2,74 \$/GJ kosten.

Adresse des Autors

P. J. Nowacki, Prof. Dr. Ing., Polnische Akademie der Wissenschaften, 4 Walowa, Warschau.

11. Coût de l'hydrogène

Selon les évaluations, le coût approximatif de l'hydrogène:

0,949...1,613 \$/GJ par gazéification du charbon

2,37 ...4,74 \$/GJ dans des centrales nucléaires

1,14 ...1,71 \$/GJ par liquéfaction du charbon

Ce coût inclut les charges d'investissements et les dépenses d'exploitation, y compris la consommation d'énergie, mais ne comprend ni la distribution, ni la commercialisation, ni les taxes. A titre de comparaison, l'essence synthétique obtenue par liquéfaction du charbon reviendrait à environ 2,74 \$/GJ.

Adresse de l'auteur

J. P. Nowacki, Prof. Dr. Sc., M.I.E.E., Académie des Sciences Polonaise, 4 Walowa, Warszawa.

Die Rolle der Elektrizität unter dem Aspekt des sinnvollen Energieeinsatzes und ihre Bedeutung für das zukünftige wirtschaftliche und gesellschaftliche Leben

Ausgearbeitet von einer Ad-hoc-Arbeitsgruppe des UNIPEDE-Direktionskomitees¹⁾

Die Elektrizität hat die Lebensbedingungen des Menschen seit dem Ende des letzten Jahrhunderts, als ihre Anwendung im industriellen Maßstab begann, grundlegend verändert. Der Elektrizitätsverbrauch ist in allen Ländern der Welt rasch angestiegen, und sein Anteil am Gesamtenergieverbrauch hat ständig zugenommen. Dieses Wachstum wird sich wahrscheinlich auch in den kommenden Jahrzehnten fortsetzen. Das weitere Vordringen der Elektrizität dürfte sogar zu wesentlichen Einsparungen auf der Stufe des Primärenergieverbrauchs führen.

1. Einleitung

Seit urchengeschichtlicher Zeit hat sich der Mensch diejenigen Lebensbedingungen geschaffen, die ihm durch eine geeignete Energieverwendung ermöglicht wurden. Allerdings hat bis zur industriellen Revolution nur eine kleine Minderheit von den Segnungen des Energieeinsatzes profitieren können. Aber die industrielle Revolution und die Erfindung der Dampfmaschine hat es auch breiteren Bevölkerungsschichten in den Industriestaaten erlaubt, diese Vorteile zu geniessen. Auch heute noch ist der Energieverbrauch sehr ungleichmässig über die Welt verteilt. Eine Mehrheit der Weltbevölkerung verfügt über nur sehr geringe Energiemengen. Dies zwingt dazu, nicht nur die

¹⁾ Zusammensetzung der Ad-hoc-Gruppe: Lalander, Präsident (Schweden), Dr. Babaianz (Schweiz), Bakker (Niederlande), Bijak (Polen), Lundberg (Schweden), de Maublanc (UNIPEDE), Oksen (Dänemark), Robin (Frankreich), Tombs (Vereinigtes Königreich), Toron (Polen).

Rôle de l'électricité en matière d'utilisation rationnelle de l'énergie et son importance pour l'avenir économique et social

Par un Groupe ad hoc du Comité de direction¹⁾

L'électricité a bouleversé les conditions de vie de l'homme depuis qu'à la fin du siècle dernier elle a commencé à être utilisée à l'échelle industrielle. La consommation d'électricité s'est développée à un rythme rapide dans tous les pays du monde et son importance n'a cessé de croître en comparaison de la consommation totale d'énergie. Cet essor se poursuivra probablement au cours des prochaines décennies. La pénétration accrue de l'électricité peut même se traduire par de substantielles économies au niveau de la consommation totale d'énergie.

1. Introduction

Depuis l'aube de son histoire, l'homme a eu les conditions de vie que son aptitude à utiliser l'énergie lui ont permis d'obtenir. A vrai dire, jusqu'à la révolution industrielle seule une minorité d'hommes a bénéficié pour l'essentiel de l'utilisation de l'énergie. Mais, cette révolution et l'invention de la machine à vapeur permirent d'étendre ces avantages à de larges couches de la population dans les pays qui suivirent le mouvement industriel. Aujourd'hui encore, la consommation d'énergie reste très inégalement répartie de par le monde. La majorité de la population du globe ne dispose que de petites quantités d'énergie. Il convient donc non seulement d'améliorer l'appro-

¹⁾ Composition du Groupe ad hoc: M. Lalander, Président (Suède); M.M. Babaianz (Suisse), Bakker (Pays-Bas), Bijak (Pologne), Lundberg (Suède), de Maublanc (UNIPEDE), Oksen (Danemark), Robin (France), Sir Francis Tombs (Royaume-Uni) et M. Toron (Pologne).