

**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:** 65 (1974)

**Heft:** 24

**Rubrik:** Zusammenfassungen aller Vorträge = Résumés de toutes les conférences

### **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>**

|                     |  |                  |
|---------------------|--|------------------|
| Wärme               | Raumheizung  | } $\approx 50\%$ |
|                     | Warmwasserbereitung<br>Industrie – Prozesswärme                      |                  |
| Mechanische Arbeit  | Industrie, Transport   | $\approx 26\%$   |
| Chemische Verfahren | Elektrolyse und andere chemische Verfahren (ohne Wärme weder Arbeit) | 3,8 %            |
| Licht               |  | 0,2 %            |

Quelle: Pressekonferenz von Bundesrat W. Ritschard, vom 28. 2. 1974.

Die Tabellen IV, V und VI vervollständigen den Überblick über die Weltenergielage.

Es sei noch die Wichtigkeit der Verluste von 800 GW (Tab. IV) betont, welche die Umwandlung der Primärenergien in elektrische Energie verursacht.

Die hydraulische Energie macht hier eine Ausnahme:

– Mit 1 GW brutto aus *hydraulischer* Kraft erhält man ohne weiteres 0,8 GW elektrische oder thermische Leistung in den Häusern;

– Mit 1 GW brutto aus *Erdöl* erhält man in den Häusern 0,5 GW bis 0,8 GW thermische Leistung im Falle von ausgezeichneten Heizungen oder nur 0,33 GW elektrische Leistung (aus diesem Grunde werten die amerikanischen Statistiken die Produktion von hydro-elektrischer Energie auf).

Technisch erscheint es möglich, *ohne sichtbare Verluste* von einem Gigawatt in elektrischer Form auf ein Gigawatt in Form von Dampf bei 500 °C, dann auf ein Gigawatt in Form von heissem Wasser bei 90 °C und schliesslich auf ein Gigawatt in Form von heisser Luft bei 25 °C zu gelangen.

In dieser Reihenfolge umgewandelt, scheint die Leistung im Sinne des ersten Prinzips der Wärmelehre konservativ zu bleiben, doch ihr Wert verschlechtert sich in dem Masse, wie die umgekehrte Umwandlung nicht mehr möglich ist.

#### Adressen der Autoren:

Prof. J. J. Morf, Ecole polytechnique fédérale, Département d'électricité, 16, chemin de Bellerive, 1007 Lausanne, und M. Roux, Eidg. Amt für Energiewirtschaft, Kapellenstrasse 14, 3001 Bern.

## Zusammenfassungen aller Vorträge – Résumés de toutes les conférences

### Windenergie: Ausführungen, Erwartungen und Grenzen

Von W. Schönball

#### Zusammenfassung <sup>1)</sup>

Der im Jahre 1973 auf der deutschen Nordseeinsel errichtete gegenläufige NOAH Doppelrotor zur Stromerzeugung hat einen Rotordurchmesser von 11 m, und der von den Rotorblättern direkt angetriebene Drehstromgenerator von 70 kW, 380 V soll einen Jahresertrag von bis zu 150 000 kWh erreichen (mittlere Leistung 17 kW).

Zurzeit werden Windrotoren zur Stromerzeugung im wesentlichen in den folgenden drei Gruppen entwickelt:

- Mit horizontaler Achse und 1...3 aerodynamisch gestalteten Rotorblättern sowie einer relativ hohen Umdrehungszahl, die durch Rotorblattverstellung konstant gehalten wird;
- Mit horizontaler Achse und 3...6 aerodynamisch gestalteten Rotorblättern ohne Blattverstellung, jedoch mit elektronisch oder mechanisch geregelter, variabler Drehzahl im Optimum der aerodynamischen Auslegung;
- Mit vertikaler Achse und aerodynamisch gestaltetem Rotorring.

Windrotoren können in Gruppen zusammengefasst werden und innerhalb eines dezentralisierten Energieversorgungsnetzes Elektrizität insbesondere für Heizzwecke liefern. Im vergangenen Jahrhundert waren schätzungsweise 100 000 Windmühlen in Europa installiert. Ausgerüstet mit einem Rotor von 50 m Radius könnte diese Anzahl von modernen Windrotoren einen mittleren Jahresertrag von 23 GW erwarten lassen.

Der bisher grösste Windrotor wurde 1941 von Smith-Putnam mit einem Rotor-Radius von 54 m und einer installierten Leistung von 1250 kW in Vermont (USA) gebaut. Es wird heute vorgeschlagen, Windrotoren bis zu einem Radius von 65 m beziehungsweise 10 000 m<sup>2</sup> Rotorkreisfläche zu bauen.

<sup>1)</sup> Das vollständige Referat steht im Sonderdruck zur Verfügung.

### Energie éolienne: Réalisations, espoirs et limites

Par W. Schönball

#### Résumé <sup>2)</sup>

Le rotor à deux hélices tournant en sens opposés de l'éolienne NOAH, aménagée en 1973 sur l'île allemande de la mer du Nord, a un diamètre de 11 m et l'alternateur triphasé de 70 kW, 380 V, entraîné directement par les pales, peut fournir annuellement une énergie jusqu'à 150 000 kWh (17 kW en moyenne).

Actuellement, les éoliennes pour production de courant électrique sont les trois groupes principaux suivants:

- A axe horizontal et 1 à 3 pales aérodynamiques tournant à une vitesse relativement élevée, maintenue constante par ajustage des pales;
- A axe horizontal et 3 à 6 pales aérodynamiques, non ajustables, mais avec vitesse de rotation réglée électroniquement ou mécaniquement à l'optimum de la conception aérodynamique;
- A axe vertical et anneau rotorique aérodynamique.

Les éoliennes peuvent être groupées et fournir, dans un réseau de distribution d'énergie décentralisé, de l'électricité, notamment pour le chauffage. Le siècle passé, quelque 100 000 moulins à vent étaient installés en Europe. Equipés d'un rotor de 50 m de diamètre, ce nombre d'éoliennes modernes pourrait fournir une puissance annuelle moyenne de 23 GW.

La plus grande des éoliennes construite jusqu'ici est celle de Smith-Putnam, en 1941, d'un diamètre de rotor de 54 m et d'une puissance installée de 1250 kW, au Vermont (USA). On propose maintenant des éoliennes d'un rayon jusqu'à 65 m, correspondant à une surface circulaire de 10 000 m<sup>2</sup>.

Les possibilités d'utilisation économique des éoliennes dépendent de leur prix compétitif. Actuellement, le prix est encore de

<sup>2)</sup> Le texte complet de l'exposé se trouve dans le tiré à part.



Die volkswirtschaftlichen Nutzungsmöglichkeiten von Windrotoren bedingen einen wettbewerbsfähigen Preis. Zurzeit kosten Windrotoren noch mehr als 2000 DM pro installierte kW. Eine Verringerung dieses Preises auf 800 DM/kW würde Windrotoren jedoch erst wettbewerbsfähig machen. Da infolge der allgemeinen Energiesituation zu erwarten ist, dass der Preis für andere Energiequellen überproportional ansteigt, wird Windenergie, die kostenlos und unerschöpflich ist, immer wettbewerbsfähiger.

Zwischenspeicherkapazitäten sind notwendig, um die Unregelmäßigkeiten des Windflusses auszugleichen. Zwischenspeicher können in der Form von Wasserstoff (Elektrolyse von Wasser), Pumpspeicherwerken oder Schwungrädern errichtet werden. Entsalzungsanlagen von Meerwasser mit Süßwasserspeicher und Heizanlagen mit Warmwasser oder Heissluftspeichern bilden andere Anwendungsbeispiele. Ferner ist es möglich, dass die Verbrauchsgewohnheiten von Energie an das Windenergieangebot angepasst werden.

Nach dem gegenwärtigen Stand der Technik sollte es möglich sein, Windenergieanlagen und Speicherkapazitäten zu entwickeln, die einen nicht nur unbedeutenden Beitrag zur Lösung der auf uns zukommenden Energieprobleme leisten.

## Geothermische Energie

Von P. Ceron

### Zusammenfassung <sup>1)</sup>

Ein Dutzend Felder auf der Erde, deren geothermische Energie ausgebeutet wurde, bestätigt die Möglichkeit, die Erdwärme durch Bohrungen (800 bis 2500 m tief) zu erschliessen, und in Gegenden zu leiten, wo günstige natürliche, geologische, geophysikalische und hydrogeologische Bedingungen eine Konzentration der Wärme gestatten.

1970 betrug die mittlere Bruttoleistung ausgebeuteter geothermischer Flüssigkeiten 7,75 GW. Diese kann wie folgt aufgeteilt werden: Elektrizität (Italien 2,7 GW, USA 0,60 GW, Neuseeland 1,80 GW, Japan 0,40 GW), Heizung (Ungarn 0,60 GW, Island 0,60 GW), in Vorbereitung (Türkei 0,25 GW, Zentralamerika 0,80 GW). Die gesamte installierte Leistung in elektrischen Zentralen betrug 0,5 GW. Die italienische Produktion an elektrischer Energie von 2500 GWh/Jahr entspricht einer mittleren Leistung von 0,285 GW.

Die geothermische Energie als praktisch unerschöpfliche, ökonomische, umweltfreundliche, aber nicht transportable Energiequelle hat in der Umwandlung in elektrische Energie ihre beste Ausnützung gefunden. Die Suche nach neuen Quellen und die Ausbeutung von noch ungenutzten Lagern niedriger Temperatur lassen für das Jahr 1985 eine Bruttoleistung von ca. 18 GW erwarten.

Für die Zukunft (21. Jahrhundert) lassen sich in Verbindung mit einem neuen im Gang befindlichen Forschungsprogramm über die Möglichkeiten der Ausbeutung künstlich zerkleinerter, tiefliegender «trockener heisser Gesteine» und von «Geopressions»-Lagern sehr grosse Energien erwarten. In den USA, wo die grössten Möglichkeiten zu finden sind, sprechen die Voraussagen von installierten Leistungen in der Grössenordnung von 40 bis 400 GW. In Japan erwartet man 50 GW, was 15 % des elektrischen oder 6 % des totalen Energiebedarfs beträgt.

Die geothermische Energie trägt gegenwärtig nur einen bescheidenen Beitrag zur Weltenergiebilanz (0,1 %) bei, obwohl die optimistischsten Voraussagen für das 21. Jahrhundert von einem Wert von ungefähr (brutto) 5000 GW sprechen.

## Gezeitenenergie

Von R. Gibrat

### Zusammenfassung <sup>1)</sup>

Das Werk von Rance, seit acht Jahren im Betrieb, ist praktisch vollkommen zuverlässig. Die Techniken und die Technologien der Gezeitenkraftwerke sind heute vollkommen. Aber die

<sup>1)</sup> Das vollständige Referat steht im Sonderdruck zur Verfügung.

plus de 2000 DM par kW installé. Les éoliennes ne deviendraient concurrentielles qu'à partir de 800 DM/kW. Toutefois, du fait de la situation générale de l'énergie, on peut s'attendre à ce que le prix d'autres sources d'énergie augmente considérablement, ce qui rendra de plus en plus intéressante l'énergie éolienne, gratuite et inépuisable.

Des accumulateurs intermédiaires sont nécessaires pour compenser les irrégularités du régime des vents. Ces accumulateurs peuvent être aménagés sous forme d'hydrogène (électrolyse de l'eau), de stations de pompage ou de volants. D'autres exemples d'applications sont les installations de dessalement d'eau de mer avec citernes d'eau douce, ainsi que des installations de chauffage avec accumulateurs d'eau chaude ou d'air chaud. Il serait en outre possible d'adapter les habitudes de consommation d'énergie à l'offre en énergie éolienne.

D'après l'état actuel de la technique, il devrait être possible de développer des installations d'énergie éolienne et des capacités d'accumulation qui pourraient apporter une contribution non négligeable à la solution du problème de l'énergie.

## Energie géothermique

Par P. Ceron

### Résumé <sup>2)</sup>

La dizaine de champs géothermiques exploités dans le monde confirme la possibilité d'extraire la chaleur terrestre au moyen de forages (800–2500 m de profondeur) exécutés dans les zones où un certain nombre de conditions naturelles favorables géologiques, géophysiques, hydrogéologiques, sont réunies pour créer une concentration de chaleur, c'est-à-dire un gisement de haute énergie.

En 1970, la puissance moyenne brute des fluides géothermiques exploités était de 7,75 GW, ainsi transformés: électricité (Italie 2,7 GW; USA 0,60 GW; N. Zélande 1,80 GW; Japon 0,40 GW), chauffage (Hongrie 0,60 GW; Islande 0,60 GW), en cours d'exploitation (Turquie 0,25 GW; Am. Centrale 0,80 GW). La puissance totale installée des centrales électriques était de 0,5 GW. La production électrique italienne est de 2500 GWh/an, soit une puissance moyenne nette de 0,285 GW.

L'énergie géothermique étant pratiquement inépuisable, économique, peu polluante, mais non transportable, a trouvé dans la production d'électricité son utilisation la meilleure. La recherche de nouvelles ressources et l'exploitation des gisements à basse température encore inutilisés, laissent prévoir en 1985 une puissance d'environ 18 GW bruts.

Pour le futur (21<sup>e</sup> siècle), l'éventuelle possibilité, liée à un récent programme de recherches en cours, de pouvoir exploiter les «roches sèches chaudes» profondes, fracturées artificiellement et les gisements «géopressurés», laisse prévoir des fourchettes de puissance très larges. Aux USA, qui ont les plus grandes possibilités, les prévisions vont de 40 à 400 GW en puissance électrique installée. Au Japon, on prévoit 50 GW qui représenteront le 15 % de la demande d'électricité, ou bien le 6 % de la demande japonaise totale d'énergie.

L'énergie géothermique fournit donc, à présent, un apport modeste au bilan énergétique mondial (0,1 %), tandis que les prévisions les plus optimistes arrivent à prévoir, pour le 21<sup>e</sup> siècle, une valeur d'environ 5000 GW bruts.

## Energie des marées

Par R. Gibrat

### Résumé <sup>2)</sup>

L'usine de la Rance, en marche depuis huit ans, a une fiabilité pratiquement parfaite. Les techniques et technologies des usines marémotrices sont donc maintenant parfaitement au point. Mais la marée est un phénomène essentiellement de résonance. Sa captation est délicate; car en construisant le barrage, on modifiera le régime même des marées. Cela apparaît évident quand on sait que l'action du soleil et de la lune sur les réservoirs de la Rance est de moins d'un MW, que l'énergie des marées dissipée à

<sup>2)</sup> Le texte complet de l'exposé se trouve dans le tiré à part.



Gezeiten sind im wesentlichen Resonanzerscheinungen. Ihre Erfassung ist heikel, denn durch den Bau von Dämmen verändert man den Lauf der Gezeiten. Das wird offenbar, wenn man weiss, dass der direkte Einfluss von Sonne und Mond auf das Staubecken von Rance weniger als 1 MW, die Verlustleistung der Gezeiten im Innern des Staubeckens 60 MW beträgt, und dass die Electricité de France daraus trotzdem 240 GW gewinnt. Die Energie muss von aussen kommen.

Es ist daher schwierig auf globaler Basis das Verhältnis der dem Menschen zur Verfügung stehenden Energie mit der in der Natur verlorenen Energie in Rechnung zu stellen. Diese kann ein bis mehrere Tausend GW betragen.

Man muss hier von Fall zu Fall vorgehen. Alle untersuchten Projekte ergeben total 64 GW mittlerer Leistung, 180 GW installierter Leistung und 560 000 GWh/Jahr, was im Vergleich mit dem Weltproblem wenig ist.

Die heute in der Welt gültigen hohen Zinssätze behindern die Erstellung von Gezeitenkraftwerken stark, aber ihre ausserordentliche Umweltfreundlichkeit bringt sie wieder auf die Tagesordnung.

## Energie des Wellenganges

Von R. Gibrat

### Zusammenfassung <sup>1)</sup>

Der Wellengang entsteht durch Transformation der Windenergie in drei verschiedene Energieformen: Potentielle Energie der verschiedenen Flüssigkeitsteile, die auf verschiedene vom Gleichgewichtszustand abweichende Niveaus gebracht werden, kinetische Energie dieser gleichen Teile infolge der so erzeugten zyklischen Bewegung, schliesslich kapillare Energie infolge der dadurch erzeugten Vergrösserung der Oberfläche.

Unter Vereinfachung der entsprechenden Formeln kann man für die Leistung pro Meter Küstenlinie die summarische Formel:

$$P = 0,95 (2a)^2 T$$

schreiben, wobei  $a$  die halbe Amplitude der Dünung und  $T$  die Periode bedeuten.

Für eine Amplitude von 1,80 m, die an gewissen Orten eine relative Dauer von 10 % hat, ergibt das 31 kW/m, die man denkbar mit einem Wirkungsgrad von 20 bis 30 % erfassen kann. Das gibt ein Total von 10 GW für die 1000 km der französischen Küste, oder 1000 GW für die ganze Welt. Aber ihr «wilder» Charakter lässt die Anwendung noch nicht voraussehen. Die Notwendigkeit Fundamente zu bauen, die den stärksten Stürmen standhalten, um nur wenig Energie zu gewinnen, lässt heute noch eine ausgedehnte Verwendung der Energie der Dünung wenig wahrscheinlich erscheinen.

## Thermische Energie der Meere

Von R. Gibrat

### Zusammenfassung <sup>1)</sup>

Grosse Anstrengungen wurden von 1926 bis 1940 durch den Franzosen *Georges Claude* unternommen, das Problem der Erfassung der thermischen Energie der Meere zu präzisieren. Sein Scheitern zeigte aber doch Möglichkeiten von Lösungen auf. Eine 1948 in Frankreich gegründete Gesellschaft «L'énergie des mers» führte sehr wichtige Studien durch und hätte wahrscheinlich ein Projekt in Abidjan an der Elfenbeinküste realisiert, wenn das durch die extrem tiefen Ölpreise nicht verunmöglicht worden wäre. Wenn man heute die Möglichkeit der Erzeugung von Süsswasser und die Gewinnung von Nahrungsmitteln durch die Fassung kalten Wassers in Betracht zieht, erscheint eine Wiederaufnahme des Problems interessant.

Vierzig Lokalitäten wurden aufgezählt, jede 15 MW erzeugend, was zusammen nur 0,6 GW ergibt. Dagegen beträgt die verfügbare Leistung zwischen den obersten 200 m des Ozeans und der Tiefe (Temperaturdifferenz 10 °C) 10<sup>6</sup> GW.

<sup>1)</sup> Das vollständige Referat steht im Sonderdruck zur Verfügung.

l'intérieur de ce même réservoir est de 60 MW et que l'Electricité de France en retire 240 MW net en pointe. Il faut faire venir l'énergie d'ailleurs.

Il est donc difficile dans les calculs à l'échelle mondiale de relier la puissance disponible pour l'homme à la puissance dissipée par la nature, celle-ci étant d'un ou plusieurs milliers de GW.

Il faut procéder cas par cas et le total des projets étudiés conduit à 64 GW de puissance moyenne, 180 GW de puissance installées et 560 000 GWh/an, ce qui est peu devant les problèmes mondiaux.

Les taux d'intérêt élevés en cours dans le monde actuel handicapent fortement les usines marémotrices, mais leurs qualités exceptionnelles vis-à-vis de l'environnement les remettent à l'ordre du jour.

## Energie de la houle

Par R. Gibrat

### Résumé <sup>2)</sup>

La houle résulte de la transformation de l'énergie du vent en trois énergies de nature différente: énergie potentielle des diverses parties du liquide portées à des niveaux différents de celui de l'équilibre, énergie cinétique des mêmes parties due aux mouvements cycliques ainsi créés, énergie capillaire enfin, due aux allongements correspondant aux surfaces liquides.

En simplifiant les formules correspondantes, on peut adopter pour la puissance par mètre de côte la formule sommaire

$$P = 0,95 (2a)^2 T$$

$a$  demi amplitude de la houle,  $T$  période

Pour 1,80 m d'amplitude, ce qui dans certains lieux a une fréquence de 10 %, cela donne 31 kW/m que l'on peut songer à capter avec un rendement de 20 à 30 %. Au total 10 GW peut-être pour 1000 km de côtes en France, 1000 GW peut-être pour l'ensemble du monde. Mais son caractère «sauvage» ne permettant pas de prévoir son arrivée, la nécessité de construire des ancrages résistant aux plus fortes tempêtes pour ne récupérer qu'une énergie faible, tout cela rend encore aujourd'hui peu probable une utilisation étendue de l'énergie de la houle.

## Energie thermique des mers

Par R. Gibrat

### Résumé <sup>2)</sup>

De grands efforts ont été faits par le Français *Georges Claude*, de 1926 à 1940, pour préciser les problèmes posés par la captation de l'énergie thermique des mers. Ses échecs ont cependant mis en évidence les solutions possibles. Une société d'économie mixte «L'Energie des Mers», fondée en France en 1948, a exécuté de très importantes études et aurait probablement procédé à une réalisation de 15 MW brut à Abidjan (Côte d'Ivoire) si des baisses spectaculaires de fuel n'étaient intervenues. Aujourd'hui, compte tenu des productions éventuelles d'eau douce et de la remontée des produits nutritifs par la prise de l'eau froide, il peut paraître intéressant de reprendre la question.

Quarante sites ont été recensés, à 15 MW chacun cela ne fait que 0,6 GW. Par contre, l'énergie disponible entre les 200 m supérieurs de l'océan et le fond (différence de température 10 °C) correspond à 10<sup>6</sup> GW.

## Fusion thermonucléaire

Par E. S. Weibel

### Résumé <sup>2)</sup>

La production d'énergie industrielle par fusion thermonucléaire n'est pas encore réalisée. Selon les programmes des Etats-Unis, la faisabilité scientifique devrait être démontrée dans les années 1980 à 1985. La mise au point d'un réacteur DT de 5 GW est attendue pour la fin de ce siècle.

Le réacteur DT utilisera comme combustible primaire le Lithium naturel (92,6 % Li<sup>7</sup>, 7,4 % Li<sup>6</sup>) dont le contenu énergé-

<sup>2)</sup> Le texte complet de l'exposé se trouve dans le tiré à part.



## Thermonukleare Fusion

Von E. S. Weibel

### Zusammenfassung <sup>1)</sup>

Die industrielle Erzeugung von Energie durch thermonukleare Fusion ist heute noch nicht verwirklicht. Das Forschungsprogramm der Vereinigten Staaten rechnet damit, in den Jahren 1980–1985 den wissenschaftlichen Beweis der Realisierbarkeit zu erbringen. Der erste Demonstrations-DT-Reaktor von 5 GW wird auf das Ende des Jahrhunderts erwartet.

Der DT-Reaktor verwendet als Kernbrennstoff natürliches Lithium (92,6 %  $\text{Li}^7$ , 7,4 %  $\text{Li}^6$ ), welches einen Energieinhalt von 2,8 MW-Jahr pro kg besitzt. Die sicheren Weltreserven von Lithium, welche zu 100 Fr./kg gewinnbar sind, betragen  $0,8 \cdot 10^{10}$  kg. Die wahrscheinlichen Reserven zum gleichen Preis werden auf  $10^{11}$  kg geschätzt. Diese Mengen entsprechen einer Energiereserve von mindestens  $2,2 \cdot 10^7$  GW-Jahr und wahrscheinlich von  $2,8 \cdot 10^8$  GW-Jahr. Bei einer Verbrauchsrate von  $3 \cdot 10^4$  GW dauern sie mindestens 730 Jahre, jedoch wahrscheinlich 9300 Jahre.

Der DT-Reaktor produziert keine radioaktiven Abfälle. Er besitzt ein Inventar von radioaktiven Elementen, deren Lebensdauer kleiner ist als 5 Jahre. Die Aktivität beträgt 0,3 Ci/W. Der Strahlungsschutz der Biosphäre kann durch heute schon erprobte Massnahmen gesichert werden. Diese Schutzmassnahmen werden wesentlich einfacher sein als diejenige, welche für Fissionsreaktoren nötig sind.

Die noch ungelösten Probleme, welche heute der Realisierung eines DT-Reaktors entgegenstehen, sind physikalischer und technologischer Art. Die ersten beziehen sich auf die Heizung des Plasmas auf Zündungstemperatur sowie die Reduktion der Energieverluste. Die zweiten beziehen sich auf die Reinheit des Plasmas und die Lebensdauer der Reaktorstruktur und ihren Unterhalt.

## Brutreaktoren

Von C. Zangger

### Zusammenfassung <sup>1)</sup>

Die Anstrengungen auf dem Gebiet der Entwicklung der Brutreaktoren sind in der Notwendigkeit begründet, der Menschheit eine wirtschaftliche und praktisch unbegrenzte Energiequelle zu erschliessen. Der natriumgekühlte Brutreaktor stand schon deshalb im Vordergrund des Interesses, weil er in funktioneller Hinsicht die heutigen Leichtwasser-Reaktoren – die ebenfalls auf dem Uran-Plutonium-Kreislauf beruhen – ergänzt.

Bereits im Zeitraum 1963 bis 1974 sind sechs Versuchsreaktoren von beachtlicher Leistung in Betrieb genommen worden. Sechs grosse Industriestaaten bauen oder projektieren Brutreaktoren, die zwischen 1975 und 1982 sukzessive fertiggestellt werden sollen. Die betrieblichen Erfahrungen und die Aussichten in wirtschaftlicher Hinsicht scheinen so günstig zu sein, dass diese Länder beabsichtigen, ab Mitte der achtziger Jahre mit der Verwirklichung eines Bauprogrammes von Brutreaktor-Kernkraftwerken zu beginnen, dessen gesamte Leistung im Jahre 2000 tausend GW überschreiten könnte.

Dank des Brutprozesses ermöglichen die schnellen Reaktoren eine Ausnutzung des Natururans zwischen 50 und 100 % (gegenüber 1 bis 2 % bei den Leichtwasserreaktoren). Überdies sind die Kosten der Stromerzeugung von den Brennstoffkosten fast unabhängig. Diese beiden Eigenschaften gestatten Vorkommen mit geringem Urangehalt aber gesamthaft grosser Kapazität auszuheben. Energie kann so in praktisch unbegrenzter Menge gewonnen werden (Grössenordnung hundert Millionen TW-Jahr). Der Kreislauf Thorium–Uran eröffnet somit in quantitativer Hinsicht potentiell dieselben Aussichten wie der Zyklus Uran–Plutonium.

Nach den neuesten, vor allem in den USA durchgeführten Studien, wird der Brutreaktor gegenüber der heutigen Reaktorgeneration hinsichtlich des Umweltschutzes und der ökologischen Grenzen keine grundlegend neuen Probleme aufwerfen. Graduelle Unterschiede bestehen immerhin – vor allem hinsichtlich

<sup>1)</sup> Das vollständige Referat steht im Sonderdruck zur Verfügung.

tique est de 2,8 MW-an par kg. Les réserves mondiales sûres de Lithium et récupérables à 100 fr./kg s'élèvent à  $0,8 \cdot 10^{10}$  kg, les réserves probables au même prix à  $10^{11}$  kg. Ces quantités correspondent à une réserve énergétique de  $2,2 \cdot 10^7$  GW-an assurée et à  $2,8 \cdot 10^8$  GW-an probable. Au taux d'utilisation de  $3 \cdot 10^4$  GW, elle durera au moins 730 ans et probablement 9300 années. Le prix de l'énergie produite sera comparable aux prix actuels.

Le réacteur DT ne produit pas de déchets radioactifs. Il contient un inventaire de matières radioactives dont les temps de vie sont inférieurs à 5 ans. Cette activité est de 0,3 Ci/W. La protection radiologique de la biosphère pourra être assurée par les techniques connues actuellement. Elle sera beaucoup plus facile que celle nécessaire pour les réacteurs surgénérateurs à fission.

Les problèmes non résolus les plus importants qui barrent à présent la réalisation d'un réacteur DT sont d'ordre physique et technologique. Les premiers concernent le chauffage du plasma à la température d'amorçage de la réaction, la réduction des pertes d'énergie. Les deuxièmes concernent la pureté du plasma, la durée de vie de la structure du réacteur et son entretien.

## Réacteurs surgénérateurs

Par C. Zangger

### Résumé <sup>2)</sup>

L'effort de développement dans le domaine des réacteurs surgénérateurs a été essentiellement motivé par la nécessité d'assurer un approvisionnement énergétique économique et pratiquement illimité à l'humanité. Le réacteur rapide refroidi au sodium a reçu de très loin le plus large support par le fait qu'il complète fonctionnellement les réacteurs à eau légère actuels, basés comme lui sur le cycle uranium–plutonium.

Six prototypes expérimentaux de puissance respectable ont été mis en service déjà entre 1963 et 1974. Six grands pays industriels construisent ou projettent la construction de centrales de démonstration commerciale dont les mises en exploitation s'échelonnent entre 1975 et 1982. Les expériences réalisées et les perspectives économiques semblent telles que ces pays prévoient, dès le milieu des années 80, un programme d'installations de centrales surgénérateurs dont la puissance totale pourrait bien dépasser un millier de GW en l'an 2000.

Grâce à la surgénération, les réacteurs rapides permettent d'atteindre un taux de consommation de l'uranium brut situé entre 50 et 100 % (contre 1 à 2 % pour les réacteurs à eau légère). En outre, les frais de production de l'énergie électrique sont presque insensibles au prix du combustible. Ces deux propriétés offrent la possibilité d'exploiter des gisements à basse teneur d'uranium mais de très grande capacité, permettant de retirer une énergie pratiquement illimitée de l'ordre de la centaine de millions de TW-an. Le cycle thorium–uranium offre potentiellement les mêmes perspectives quantitatives que le cycle uranium–plutonium.

Selon les récentes études faites principalement aux Etats-Unis, il ne semble pas que les problèmes de protection de l'environnement et des limites écologiques soulèvent des questions essentielles nouvelles par rapport aux réacteurs de la génération actuelle. Des différences de degré existent toutefois – notamment en relation avec la quantité de plutonium produite – ce qui nécessitera un renforcement de certaines mesures de sécurité et de surveillance, concernant surtout le transport du plutonium et son abondance dans les déchets radioactifs.

## Procédés non conventionnels de transformation d'énergie et Hydrogène, une nouvelle forme d'énergie secondaire

Par R. W. Meier

### Résumé <sup>2)</sup>

La transformation de l'énergie calorifique en forme électrique est accomplie dans les groupes turbo-alternateurs. Toute une gamme de procédés non conventionnels ont été proposés et développés pour réaliser une conversion directe d'une forme chimique

<sup>2)</sup> Le texte complet de l'exposé se trouve dans le tiré à part.



der Menge des erzeugten Plutoniums; sie erfordert eine Verstärkung gewisser Sicherheits- und Überwachungsmaßnahmen, vor allem wegen des Transportes von Plutonium und dessen höheren Anteils in den radioaktiven Abfällen.

### **Nichtkonventionelle Energie-Konversionsprozesse und Wasserstoff als neuer Sekundärenergieträger**

Von R. W. Meier

#### *Zusammenfassung*<sup>1)</sup>

Die elektrische Energie wird heute in überwiegendem Ausmass in Turbogeneratoren aus Wärme durch Umwandlung über mechanische Arbeit gewonnen.

Verschiedene nichtkonventionelle Direktkonversions-Technologien sind vorgeschlagen und entwickelt worden, bei welchen kalorische oder chemische Energie ohne Umweg in die elektrische Form verwandelt wird. Von diesen werden der magneto-hydrodynamische Generator und die chemische Brennstoffzelle besprochen. Von keiner Seite bestehen Aussichten, dass die klassische strömungstechnische Maschine mit elektrischem Generator in diesem Jahrhundert durch etwas Besseres ersetzt werden könnte. Der Brennstoffzelle kommt im Verband mit der Einführung von Wasserstoff als neuem Energieträger grössere Bedeutung zu.

Wasserstoff ist ein rezyklierbarer, speicher- und transportfähiger Energieträger, welcher vom Endverbraucher direkt genutzt oder leicht in mechanische, elektrische oder kalorische Form überführt werden kann. Welche Bedeutung dieser Sekundärenergie zukommt, hängt vom Wirkungsgrad und den Anlagekosten der Erzeugungsmaschine ab. Als solche kommt die Elektrolyse in Frage, die heute bei 70 % Wirkungsgrad arbeitet, aber eine Verbesserung in diesem Jahrhundert bis auf 90 % erwarten lässt. Die rein thermische Wasserstoffherstellung über chemische Kreisprozesse könnte längerfristig bei 700...1000 °C mit Hochtemperatur-Prozesswärmereaktoren erfolgen. Die Transportkosten von Wasserstoff über Rohrgasleitungen sind kalkulierbar und bieten bei Distanzen über 300...400 km Kostenvorteile gegenüber Hochspannungsleitungen. Interessante Speichertechnologien sind Gasspeicher in Kavernen und alten Erdgasstätten, die Verflüssigung und die chemische Speicherung in Hydridform.

### **Energetische Einsparung und Exergie**

Von L. Borel

#### *Zusammenfassung*<sup>1)</sup>

In der gegenwärtigen Lage des Energiemangels ist es wesentlich gegen die Energieverschwendung zu kämpfen. Diese Handlung kann nur dann erfolgreich sein, wenn die Anlagen richtig erdacht und betrieben werden. In dieser Hinsicht ist es zweckmässig, eine neue Arbeitsmethode einzuführen, die «Methode der Exergie» (oder «Methode der verfügbaren Energie») genannt sei.

Die *Wärmeexergie* ist die reversible Arbeit, die einer Wärmeenergie gleich ist. Sie ist nicht nur von dieser Wärmeenergie abhängig, sondern auch von der Temperatur, bei welcher die Wärme geliefert wird, sowie von der Umgebungstemperatur.

Die *Zustandsänderungsexergie* ist die reversible Arbeit, die einer thermodynamischen Umwandlung gleich ist. Sie hängt nicht nur von dem thermodynamischen Zustand des betrachteten Stoffes ab, sondern auch von der Umgebungstemperatur.

Der *thermodynamische Verlust* ist der Exergieverlust, der von einer Energieentwertung herrührt, das heisst von einer Irreversibilität (Reibung, Wärmeübergang mit Temperaturabfall, chemische Reaktion, physikalische Mischungen ...).

Mit Hilfe der vorhergehenden Definitionen ist es möglich, eine *Exergiebilanz* für irgendein System herzustellen, auch wenn chemische Reaktionen, Kernreaktionen, Quellen oder Senken sich im System befinden.

Zuletzt ermöglicht die Bilanz der aufgewendeten und gewonnenen Exergie über ein System den *exergetischen Wirkungsgrad* dieses Systems zu definieren.

<sup>1)</sup> Das vollständige Referat steht im Sonderdruck zur Verfügung.

ou calorifique en électricité. Parmi ces technologies le générateur magnéto-hydrodynamique et la pile à combustible sont discutés. Il ne paraît pas que la machine rotative classique sera remplacée par un procédé supérieur avant la fin de ce siècle. Toutefois, la pile à combustible pourrait gagner d'importance pour une transformation locale d'énergie à mesure que l'hydrogène sera introduit comme une source d'énergie secondaire.

L'hydrogène est une forme d'énergie avec des propriétés uniques pour le stockage, le transport, le recyclage et l'utilisation directe. Il se prête facilement à la conversion en forme mécanique, calorifique ou électrique. L'importance que gagnera ce vecteur dépend fortement du rendement et des coûts d'investissement des systèmes de production. Les électrolyseurs actuels atteignent un rendement proche de 70 %, mais une augmentation à 90 % paraît possible avec le développement d'une nouvelle technologie.

De même la production de l'hydrogène par dissociation chimique de l'eau comme une solution à long terme a été proposée. L'énergie thermique sera fournie par un réacteur nucléaire haute température à un niveau de 700...1000 °C. Les coûts de transport de l'hydrogène par conduite de gaz offrent des avantages vis-à-vis des lignes haute tension à partir d'une distance de 300...400 m. Différentes technologies de stockages paraissent réalisables sous forme gazeuse, liquide ou solide.

### **Economie énergétique et exergie**

Par L. Borel

#### *Résumé*<sup>2)</sup>

Dans le contexte actuel de la pénurie d'énergie, il est essentiel de lutter contre le gaspillage de l'énergie. Cette action ne peut être efficace que si les installations sont correctement conçues et exploitées. Dans cette perspective, il convient de mettre en œuvre un nouvel outil de travail, classé sous l'appellation générale «Méthode de l'exergie» (ou «Méthode de l'énergie utilisable»).

L'*exergie-chaleur* est le travail réversible équivalent à une énergie-chaleur. Elle dépend non seulement de cette énergie-chaleur, mais encore de la température à laquelle est livrée la chaleur, ainsi que de la température de l'atmosphère.

L'*exergie-transformation* est le travail réversible équivalent à une transformation thermodynamique. Elle dépend, non seulement de l'état thermodynamique de la matière considérée, mais encore de la température de l'atmosphère.

La *perte thermodynamique* est la perte d'exergie résultant d'une dégradation de l'énergie, c'est-à-dire d'une irréversibilité (dissipation, transfert-chaleur sous chute de température, réactions chimiques, mélanges physiques ...).

A l'aide des définitions précédentes, il est possible d'établir un *bilan d'exergie* pour un système quelconque, même s'il comporte des réactions chimiques, des réactions nucléaires, des accumulations ou des déperditions.

Enfin, la comptabilité de l'exergie donnée et de l'exergie reçue par un système permet de définir le *rendement exergetique* de ce système, quelle que soit sa complexité ou sa taille.

Cet outil de travail doit permettre d'une part de mieux optimiser les installations et d'autre part de les exploiter de façon plus rationnelle. En effet, tout d'abord, il doit tendre à améliorer les vrais rendements en luttant contre les pertes énergétiques, dans la mesure où il permet de les localiser dans un complexe, quelle que soit l'échelle de ce dernier (machine, installation, entreprise, région, nation ...). Ensuite, il doit conduire à une évaluation plus équitable des prestations concédées par les fournisseurs d'énergie à leurs clients.

### **Héliotechnique – Réalisations et espoirs**

Par E. A. Farber

#### *Résumé*<sup>2)</sup>

L'énergie solaire peut être convertie dans pratiquement toutes les formes d'énergie que nous utilisons dans notre vie courante. Le «Solar Energy and Energy Conversion Laboratory» de Gainesville en Floride a développé des prototypes de tous genres:

<sup>2)</sup> Le texte complet de l'exposé se trouve dans le tiré à part.



Diese Methode soll einerseits eine bessere Optimierung der Anlagen und andererseits einen rationelleren Betrieb erlauben. In der Tat, zuerst muss sie eine Verbesserung der wahren Wirkungsgrade ermöglichen, indem sie gegen die energetischen Verluste zu kämpfen hilft, und dann muss sie zu einer gerechteren Schätzung der Leistungen der Energielieferanten gegenüber ihren Kunden führen.

### Sonnenenergie – Verwirklichung und Erwartungen

Von E. A. Farber

#### Zusammenfassung <sup>1)</sup>

Die Sonnenenergie kann in alle Formen von Energie, die man im täglichen Leben braucht, umgewandelt werden. Dies soll anhand von Beispielen des «Solar Energy and Energy Conversion Laboratory's» geschehen.

Einige dieser Umwandlungsmethoden sind heute schon praktisch möglich, und sie ersparen Geld und Energie gegenüber den Methoden, die man heute benützt.

Die Sonnenenergie ist unsere einzige ständig vorhandene Energie, so dass keine andere Wahl in der Zukunft möglich ist, als diese Energie zu benützen.

### Sonnenenergie – Hoffnungen und Grenzen

Von M. Touchais und M. Perrot

#### Zusammenfassung <sup>1)</sup>

Der Autor stellt fest, dass die gewaltigsten Irrtümer in wissenschaftlichen und technischen Kreisen über die praktische Ausbeutung der Sonnenenergie zirkulieren. Zwei Probleme scheinen hauptsächlich die Energetiker zu bewegen: Das der Speicherung und das des Preises pro kWh der Sonnenenergie. Aber das erste Problem, wenn es sich überhaupt stellt, tritt nur über sehr kurze Zeiträume auf und bietet keinerlei technische Schwierigkeiten. Im Fall der Ausnutzung einer aus Sonnenenergie erzeugten «Energimaterie» stellt es sich offensichtlich überhaupt nicht.

Das zweite Problem ist im gegenwärtigen Zustand, infolge Fehlens des Handelns der Behörden, unlösbar. Es kann sein, dass es von gar keiner Bedeutung ist, denn die Sonnenenergie – abgesehen von technischen Spielereien mit Sonnenenergie – ist vom Standpunkt der industriellen Energieproduktion aus gesehen eine ergänzende Energie zu den traditionellen Energien. Es ist daher die Reduktion des Preises pro kWh der traditionellen Energie, die festzustellen wäre.

In der Folge stellt der Autor fest, dass wenn man, um sicher zu sein, dass keine verheerenden Folgen auf die Ökologie und das Klima auftreten, nur den tausendsten Teil des auf die Erde auftreffenden Energieflusses, das heisst 108 000 GW ausbeutet, und ferner einen Wirkungsgrad von ungefähr 30 % für die Energieumwandlung einsetzt, was als sehr pessimistisch angesehen werden kann, man eine Leistungsreserve von 30 000 GW erhält, welche als Diskussionsbasis für die Tagung angenommen wurde. Die Folge davon ist, dass vordringlich wirklich industrielle Methoden für die Ausnutzung der Sonnenenergie entwickelt werden müssen – wobei die Heizung von Gebäuden nur von verschwindender Bedeutung und dazu noch auf günstig gelegene Siedlungen beschränkt ist. Alle notwendigen Techniken sind bekannt und gehören zu den alltäglichsten. Um das zu erreichen, schlägt der Autor ein rationelles Programm in vier Phasen vor.

<sup>1)</sup> Das vollständige Referat steht im Sonderdruck zur Verfügung.

Production d'eau chaude, chauffage complet d'une maison, chauffage de piscines, *réfrigération* par l'énergie solaire, distillation, cuisson, fours de fusion à haute température, production d'énergie mécanique et électrique.

Plusieurs méthodes de conversion et de stockage sont déjà rentables aujourd'hui. Elles économisent l'argent et l'énergie, par rapport aux méthodes usuelles.

L'épuisement des combustibles fossiles étant inéluctable, l'auteur estime que l'énergie solaire sera à échéance la seule source d'énergie inépuisable. Il ne voit aucun autre choix possible pour l'avenir de nos enfants.

### Espoirs et limites de l'énergie solaire

Par M. Touchais et M. Perrot

#### Résumé <sup>2)</sup>

L'Auteur remarque que les erreurs les plus énormes se propagent dans les milieux scientifiques et techniques à propos de l'utilisation pratique de l'Energie Solaire. Deux problèmes semblent préoccuper plus spécialement les énergéticiens: celui du stockage, celui du prix du kWh d'origine solaire. Or le premier problème ne se pose, lorsqu'il se pose, que pour de très courtes périodes afin de régulariser les températures à leur valeur optimale. Il ne présente aucune difficulté technique. Dans le cas de l'utilisation d'une matière énergétique fabriquée à partir du rayonnement solaire, il ne se pose évidemment pas.

Le second, dans l'état actuel des choses, dû à la carence de l'action des Pouvoirs Publics, est *impossible* à résoudre. Le serait-il qu'il ne serait d'aucune utilité, car l'énergie solaire, envisagée dans une production industrielle – et non pas comme support de «gadgets» solaires – est une énergie complémentaire des énergies traditionnelles. C'est donc la baisse du prix du kWh traditionnel qu'il faudrait établir.

L'Auteur remarque ensuite que si l'on considère comme réserve de puissance la millième partie du flux d'énergie intercepté par le Globe terrestre, afin d'être assuré d'aucune incidence désastreuse sur l'écologie et la climatologie, soit 108 000 GW, et que l'on applique un rendement moyen des convertisseurs d'environ 30 %, qu'il montre d'ailleurs devoir être très pessimiste, on aboutit aux 30 000 GW adoptés comme base de discussion au cours des présentes journées. Il en conclut que la détermination d'une limite de puissance est un problème sans objet à l'heure actuelle et aussi pour de nombreuses décennies encore. La conséquence est qu'il faut développer d'urgence les applications véritablement industrielles de l'Energie Solaire – le chauffage des maisons n'étant qu'un palliatif mineur et qui n'est seulement applicable qu'à des habitations privilégiées par leur exposition. Toutes les techniques nécessaires sont connues et des plus banales. Pour ce faire, l'Auteur propose un programme rationnel de développement en quatre phases.

Comme conclusion l'Auteur pense que l'on peut répondre à la question posée par ces journées d'information: Tous les espoirs sont permis, les limites ne sont que celles de l'inconséquence humaine!

Als Schlussfolgerung glaubt der Autor, dass man folgende Antwort auf die an dieser Tagung gestellte Frage geben kann: Alle Hoffnungen sind gestattet, die Grenzen sind nur die der menschlichen Unvorsichtigkeit.

<sup>2)</sup> Le texte complet de l'exposé se trouve dans le tiré à part.

Wir machen darauf aufmerksam, dass eine beschränkte Anzahl des Konferenzbandes «Espoirs et limites des sources d'énergie non conventionnelles» beim Administrativen Sekretariat des SEV, Postfach, 8034 Zürich, zum Preise von Fr. 40.– (Fr. 20.– für Mitglieder) erhältlich ist.

Nous attirons l'attention sur le fait qu'un nombre limité du tirage à part «Espoirs et limites des sources d'énergie non conventionnelles» est disponible. Il peut être obtenu au Secrétariat administratif de l'ASE, case postale, 8034 Zurich, au prix de fr. 40.– (fr. 20.– pour membres).