

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 Rolle der Elektrizität unter dem Aspekt des sinnvollen Energieeinsatzes und ihre Bedeutung für das zukünftige wirtschaftliche und gesellschaftliche Leben = Rôle de l'électricité en matière d'utilisation rationnelle de l'énergie et son importance pou...

Autor: [s.n.]

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-905253>

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 26.01.2026

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

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 schienengebunden 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 UNIPED-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 (UNIPED), 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); MM. Babaianz (Suisse), Bakker (Pays-Bas), Bijak (Pologne), Lundberg (Suède), de Maublanc (UNIPED), Oksen (Danemark), Robin (France), Sir Francis Tombs (Royaume-Uni) et M. Toron (Pologne).

Energieversorgung weltweit zu verbessern, sondern es sind auch die Bedingungen zu schaffen, den Ausbau der Stromversorgung in den Entwicklungsländern zu beschleunigen.

In der heutigen Industriegesellschaft ist die Energie in fast allen Sektoren unentbehrlich. Jedermann benötigt Energie, nicht nur als Einzelperson im Haushaltsektor, sondern auch als Fabrikant, Tourist oder sonstiger Konsument. Auch fast alle Organisationen und Unternehmungen könnten ihre Funktionen ohne Rückgriff auf Energie nicht erfüllen.

Die Energie wird für unterschiedliche Verwendungszwecke eingesetzt. Auf der Nutzenergiestufe wird zwischen folgenden Anwendungen unterschieden: Licht, Steuerung und Telekommunikation, mechanische Arbeit (Kraft), chemische Prozesse, Wärme und Kälte.

Diese Nutzenergiearten haben spezifische Eigenschaften, die ihrerseits wieder unterschiedliche Qualitätsstufen beinhalten. Die höchste Wertigkeit hat der Energieeinsatz für Steuerungs- und Informationszwecke, die tiefste ist der Nieder temperaturwärme zuzusprechen.

Die in der Natur vorkommenden Energieträger geben nutzbare Energie nur in einem beschränkten Bereich direkt ab, so zum Beispiel Licht während des Tages oder Wärme im Sommer. Der überwiegende Teil der von den Industriestaaten benötigten Energie stammt deshalb aus Anlagen, die die natürlichen Primärenergien in einer oder mehreren Stufen in nutzbare Energien umwandeln.

Die Vorgänge im Energieversorgungssystem sind äusserst komplex und miteinander verknüpft. Dieses System umfasst verschiedene Energiestufen, die in vier Betriebsabläufe gegliedert werden können:

- Erzeugung oder Ausbeutung der Primärenergieträger (zum Beispiel die Kohleförderung in den Minen)
- Umwandlung von Primär- in Sekundärenergieträger (Brenn- und Treibstoffe oder Elektrizität)
- Transport und die Feinverteilung als Endenergieträger an die Verbraucher
- Umwandlung der Endenergieträger in die gewünschte Nutzenergie.

Die zurzeit wichtigsten Primärenergieträger sind Öl, Kohle, Erdgas, Wasserkraft und Kernbrennstoffe (Uran). Mit Ausnahme der Wasserkraft werden alle diese Energieträger auf dem Weltmarkt gehandelt. Alle europäischen Länder sind mit diesem Weltenergiemarkt verbunden, wenn auch nur eine geringe Anzahl selbst über einen Überschuss an produzierten Primärenergieträgern verfügt. Die dadurch bedingte gegenseitige Abhängigkeit vom Weltenergiemarkt führt zu gleichgerichteten Interessen. Zusammen mit andern Industriestaaten teilen sie sich in die Verantwortung, den Entwicklungsländern ebenfalls eine ausreichende Primärenergieversorgung zu gewährleisten.

Die Umwandlung der Endenergieträger in die gewünschte Nutzenergieform erfolgt üblicherweise beim Verbraucher in besonderen apparativen und maschinellen Einrichtungen wie Lampen, Motoren, Heizkörpern usw. Die Umwandlungswirkungsgrade schwanken erheblich; sie sind vor allem von der gewünschten Nutzenergieform und von der Wertigkeit der eingesetzten Energie abhängig.

Der direkte Einsatz von Primärenergieträgern für den Endverbrauch wird im allgemeinen durch grosse Verluste bei der Umwandlung in Nutzenergie erkaufte. Zudem fallen oft erheb-

visionnement énergétique à l'échelle mondiale, mais encore de créer les conditions susceptibles d'accélérer l'évolution nécessaire de cet approvisionnement dans les pays en voie de développement.

Dans la société industrielle actuelle, l'énergie est indispensable à presque tous les secteurs d'activité. Chaque être humain consomme de l'énergie, non seulement en tant qu'individu pour des usages domestiques, mais en tant que fabricant, voyageur ou consommateur. De même, la quasi-totalité de nos institutions et de nos entreprises ne peut remplir ses fonctions sans avoir recours à l'énergie.

L'énergie est employée à de multiples usages, et au niveau de l'utilisation finale on peut distinguer différents types d'énergie utile: lumière, information et communications, force, procédés chimiques, chaleur et froid.

Ces types d'énergie utile exigent des propriétés différentes, qui déterminent à leur tour différentes qualités d'énergie. Le niveau de qualité le plus élevé est exigé par l'information et la régulation, alors que la qualité inférieure correspond à la chaleur à basse température.

Les sources d'énergie disponibles dans la nature ne peuvent fournir directement de l'énergie utile que pour des usages limités, tels que la lumière pendant le jour et la chaleur en été. La majeure partie de l'énergie consommée dans les sociétés industrielles doit donc être produite dans des installations qui transforment en une ou plusieurs étapes les sources d'énergie naturelles - appelées énergies primaires - en énergie utile.

Les processus qui constituent le système complet de l'approvisionnement en énergie sont extrêmement complexes et interdépendants à l'échelle mondiale. Ce système comprend diverses chaînes énergétiques centrées autour de quatre types d'opérations:

- la production ou l'extraction des sources d'énergie primaire (dans des mines ou des gisements);
- la transformation de l'énergie primaire en produits énergétiques secondaires (combustibles) et en électricité;
- le transport et la distribution aux usagers sous forme d'énergie finale;
- la transformation de l'énergie finale en énergie utile requise par les usagers.

Actuellement, les principales sources d'énergie primaire sont le charbon, le pétrole, le gaz naturel, l'énergie hydraulique et l'uranium. Hormis l'énergie hydraulique, toutes ces formes d'énergie sont disponibles sur le marché mondial. Tous les pays européens sont liés à ce marché mondial de l'énergie, même si un petit nombre d'entre eux disposent apparemment d'un excédent d'énergie primaire. Cela signifie que les systèmes énergétiques des pays européens sont interconnectés entre eux par le marché mondial et qu'ils ont des intérêts communs à maints égards. Ils partagent également avec les autres pays industrialisés la responsabilité d'assurer aux pays en voie de développement une quantité suffisante d'énergie primaire.

La transformation de l'énergie finale en énergie utile est généralement assurée par l'utilisateur au moyen d'installations particulières telles que lampes, moteurs, poêles et radiateurs. Le rendement obtenu à ce niveau varie sensiblement; il est fonction du type d'énergie utile désiré et de la qualité de l'énergie finale utilisée.

L'utilisation directe des formes d'énergie primaire comme énergie finale se traduit habituellement par de lourdes pertes au niveau de la transformation en énergie utile. De plus, les

liche Kosten für den Transport und die Verteilung der Primärenergieträger zum Verbraucher an.

Diejenigen Energieträger, deren Umwandlung in Nutzenergie mit einem relativ hohen Wirkungsgrad und geringen Kosten möglich ist (darunter befindet sich auch die Elektrizität), ersetzen zunehmend andere Primärenergieträger auf der Endenergiestufe.

Alle Länder unterscheiden sich in bezug auf die Systeme zur Umwandlung und Verteilung der Endenergieträger an die Energiekonsumenten. So differieren auch die energiewirtschaftlichen Bedingungen in der relativ kleinen Weltregion Europa sehr stark von Land zu Land. Dasselbe gilt für den Einsatzbereich der verschiedenen Energieträger.

Die Energieträger haben unterschiedliche Heizwerte. Sie können nicht in jede beliebige Nutzenergieform umgewandelt werden, und die Umsetzung in hochwertige Nutzenergien erfolgt im allgemeinen unter Inkaufnahme eines tiefen Wirkungsgrades. Die elektrische Energie bildet diesbezüglich eine Ausnahme. Sie hat eine sehr hohe Wertigkeit und kann zumeist mit einem sehr hohen Wirkungsgrad in jede gewünschte Nutzenergieform umgewandelt werden. Viele Bereiche des Energieeinsatzes sind daher in der Praxis der elektrischen Energie vorbehalten: zum Beispiel Beleuchtung, Datenverarbeitung, Telekommunikation, stationäre Motoren und Elektrolyse. Die Elektrizität eignet sich aber auch zur Warmengewinnung in einem sehr breiten Temperaturspektrum und bei hohem Nutzungsgrad. Zudem weist sie einige spezifische Eigenschaften auf wie die Möglichkeit der Lichtbogenerzeugung, die Elektronenstrahlung und die Gasentladung, die für die zukünftige Entwicklung der Elektrizität eine wesentliche Rolle spielen dürften.

Alle Primärenergieformen können in elektrische Energie umgewandelt werden. Die Ausnutzung einiger Energiequellen in grossem Maßstab, wie Wasser- und Windkraft oder Gezeitenenergie, ist praktisch nur über den Sekundärenergieträger Elektrizität möglich. Auch die friedliche Nutzung der Kernenergie erfolgt zurzeit fast ausschliesslich über den Umweg der elektrischen Energie. Die mit Elektrizität als Antriebsenergie betriebenen Wärmepumpen erlauben die Warmengewinnung aus Umweltwärme (Luft, Gewässer, Erdreich), was zu einer ökologisch sinnvollen Ausnutzung dieser natürlichen Energiequellen führt.

Der wesentlichste Vorteil der elektrischen Energie liegt in ihrer Eignung als hochwertige Energie für fast alle Anwendungszwecke. Die Stromversorgung verbindet die Vorteile einer zentralen Produktion mit der Möglichkeit des dezentralisierten Einsatzes beim Endverbraucher.

Die Zusammenhänge von der Gewinnung der verschiedenen Primärenergien bis zur Nutzung durch den Verbraucher sind äusserst vielschichtig. Dieser Energiefluss wird grafisch oft in Form einer Energiebilanz dargestellt, die in vereinfachter Art die verschiedenen Energien auf den einzelnen Umwandlungsstufen aufzeichnet. In der Figur 1 ist ein solches Energieflussdiagramm in anschaulicher, vereinfachter Weise dargestellt. Diese Vereinfachung führt allerdings dazu, dass zwangsläufig einige wichtige Informationen und Zusammenhänge verlorengehen.

Die heutige Weltenergiesituation basiert zu einem wesentlichen Teil auf nur einigen wenigen Primärenergieträgern, nämlich Erdöl und Erdgas. Diese weisen aber begrenzte Weltvorräte auf, so dass sie in Zukunft in den Industriestaaten zu hochwertigeren Zwecken als zur Verbrennung eingesetzt werden

können. Die Kosten für den Transport und die Verteilung der Energie primäre zu den Verbrauchern sind oft hoch.

Die Produkte energetischen und der Elektrizität, deren Transformation in Energie nützlich erfolgt mit einem Rendement relativ hoch und zu einem Preis gering, werden allmählich durch die Formen der Energie primäre auf der Ebene der Energie finale.

Jeder Land verfährt allgemein zu der Transformation der Energie primäre und zu der Distribution der Energie finale zu den Verbrauchern in Funktion von seinen Charakteristiken nationalen. C'est ainsi que dans cette petite région du monde que constitue l'Europe, les structures énergétiques varient considérablement d'un pays à un autre, tout comme l'utilisation qui est faite des différentes sources d'énergie.

Tous les produits énergétiques sont caractérisés par leur pouvoir calorifique. Ils ne peuvent pas être transformés en n'importe quel type d'énergie utile, et leur transformation en énergie utile de haute qualité s'effectue généralement avec un rendement médiocre.

L'énergie électrique a des propriétés radicalement différentes et elle peut donc être considérée comme un vecteur énergétique. C'est une énergie de qualité supérieure et elle peut être transformée en n'importe quel type d'énergie utile, la plupart du temps avec un rendement élevé. Cela explique que de nombreux types d'énergie utile constituent, dans la pratique, des domaines réservés à l'électricité: l'éclairage, l'information et les communications, la force motrice fixe et l'électrolyse. L'électricité se prête également à la transformation en énergie calorifique dans une très large plage de température et avec un rendement élevé. Elle présente certains effets spécifiques – arc électrique, rayonnement, bombardement électronique – dont l'importance est évidente pour la pénétration future de l'électricité.

Toutes les formes d'énergie primäre imaginables peuvent être transformées en électricité. L'utilisation à grande échelle de certaines sources d'énergie – énergie hydraulique, énergie éolienne, énergie marémotrice – est pratiquement exclue sans passage par l'électricité. De même, l'utilisation pacifique de l'énergie nucléaire ne s'est pratiquement réalisée jusqu'ici que par le biais de l'électricité. Quant aux pompes de chaleur, qui utilisent l'électricité comme force motrice, elles permettent de récupérer la chaleur contenue dans l'air, l'eau ou le sol et de tirer ainsi un meilleur profit des sources d'énergie naturelles.

L'avantage fondamental de l'électricité est qu'elle met à la disposition de tous les usagers une énergie de qualité supérieure, utilisable avec un haut rendement pour presque tous les usages. L'industrie de l'énergie électrique allie les avantages d'une production centralisée à ceux d'une consommation décentralisée.

Le système complet, depuis l'extraction des différentes formes d'énergie primäre jusqu'à l'utilisation de l'énergie utile par les multiples consommateurs, est extrêmement complexe. On le représente souvent sous forme de bilans énergétiques, qui illustrent de façon simplifiée les différents types d'énergie aux divers stades de leur transformation. La fig. 1 reproduit, à titre d'exemple, un de ces bilans énergétiques simplifiés.

Si l'on établit des bilans énergétiques, c'est principalement pour obtenir une représentation globale et relativement simple de l'ensemble du système énergétique. A vrai dire, ce désir renferme une contradiction flagrante. En effet, il est impossible de décrire les processus énergétiques en termes trop simplifiés sans laisser échapper des informations très importantes.

sollten. Das bestehende Energiesystem wirkt sich zudem schädigend auf die Umwelt aus. Eine Verminderung des Weltenergieverbrauchs drängt sich deshalb, vor allem in den Industriestaaten, auf. Dies ist im Prinzip möglich, ohne die vielen Vorteile, die sich mit dem Energieeinsatz ergeben, preisgeben zu müssen.

In allen Energiebilanzen ist vor allem die Umwandlungsstufe von der Endenergie zur Nutzenergie zu beachten. Hier sind Nutzungsgrade in die Überlegungen einzubeziehen, die auf dieser Umwandlungsstufe im allgemeinen nicht gemessen und ausgewiesen werden. Aber grobe Schätzungen auf dieser Umwandlungsstufe sind immer noch besser als summarische Angaben, damit nicht völlig falsche Schlussfolgerungen gezogen werden.

Der Gesamtenergieverbrauch kann nicht auf einfache Weise ermittelt werden. Eine approximative Berechnung kann durch Aufsummierung der verschiedenen Nutzenergieverbräuche erfolgen, wobei die Umwandlungswirkungsgrade auf der Endenergiestufe geschätzt werden müssen. Diese Methode ist jedoch etwas willkürlich und zudem ungenau.

Le système énergétique mondial actuel s'appuie essentiellement sur un petit nombre de sources d'énergie – pétrole et gaz naturel – qui sont limitées et qui pourraient trouver à l'avenir, avant tout dans les pays industrialisés, une meilleure utilisation que la combustion pour des usages non spécifiques. De plus, le système énergétique a des effets inévitables sur l'environnement. C'est pourquoi il est naturel de vouloir réduire la consommation d'énergie dans le monde, au moins dans les pays industrialisés, sans abandonner pour autant les avantages importants liés à son utilisation.

Dans tous les bilans énergétiques, il est fondamental de prendre en compte la transformation de l'énergie finale en énergie utile. Cela implique l'évaluation de rendements qui ne sont généralement pas mesurés à ce niveau de transformation, mais il faut mieux procéder à une évaluation grossière plutôt que d'omettre cette dernière phase du système énergétique sous peine d'aboutir à des conclusions totalement erronées.

A vrai dire, il n'existe aucune méthode simple de mesurer la consommation totale d'énergie. L'une d'elles consiste à additionner les différentes consommations d'énergie utiles après

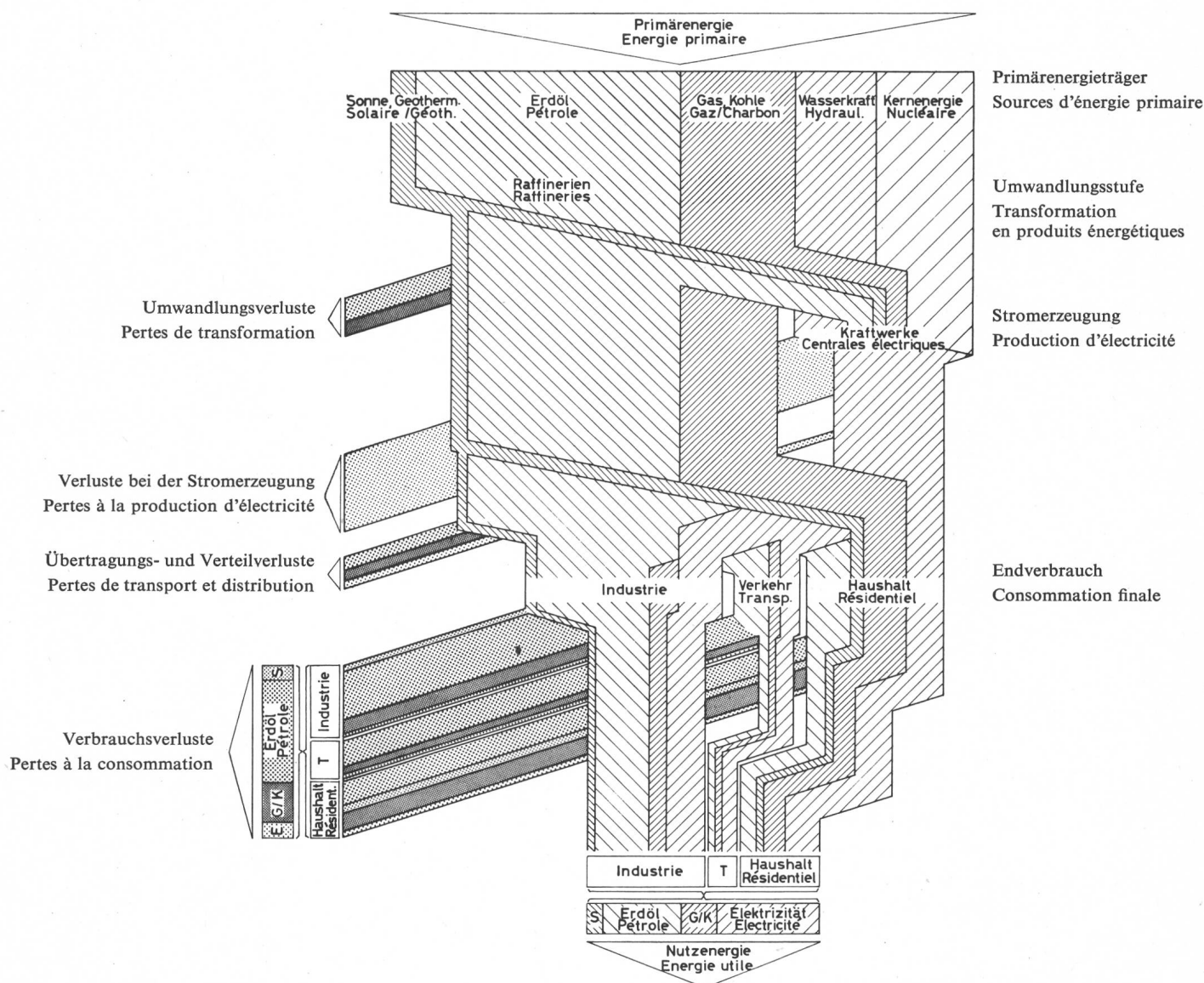


Fig. 1 Vereinfachtes Energieflussdiagramm

T = Verkehr
E = Elektrizität

S = Sonne, Erdwärme
G/K = Gas, Kohle

Bilan énergétique simplifié

T = Transport
E = Electricité

S = Solaire, géothermie
G/K = Gaz, charbon

Eine gebräuchliche Methode besteht in der Ermittlung der benötigten Primärenergieträger. Dabei müssen die Eigenschaften der elektrischen Energie mitberücksichtigt werden. Gute Ergebnisse lassen sich zumeist erzielen, wenn man den Energieinhalt der für die Stromerzeugung eingesetzten Primärenergieträger (Wasserkraft, Uran, Windenergie) aufgrund des äquivalenten Verbrauchs bei einer Erzeugung in thermischen Kraftwerken bewertet. (Dies gilt allerdings nicht für Länder wie die Schweiz mit einem überwiegenden Anteil der Wasserkraft bei der Stromerzeugung! [Die Red.])

Dieser Äquivalenz-Produktionswert liegt im allgemeinen sehr nahe beim erforderlichen Energieaufwand für die Substitution von Brennstoffen durch Elektrizität auf der Endenergiestufe, sofern die Wirkungsgrade auf allen Umwandlungsstufen gemessen werden. Diese Methode ist relativ einfach und dürfte in den meisten Ländern zur Anwendung gelangen.

2. Rolle der Elektrizität bei der rationellen Energieverwendung

Wie bereits erwähnt wurde, kann elektrische Energie für alle Energienutzungen Anwendung finden, das heisst, sie lässt sich in alle Nutzenergien umsetzen. Ihr Anwendungsbereich ist sehr weit und reicht von hochspezialisierten Nutzungen, wie zum Beispiel dem Steuerungs- und Telekommunikationsbereich, wo andere Energieträger kaum eingesetzt werden können, bis zu den energieintensivsten Fabrikationsprozessen, wo im allgemeinen auch andere Energieträger verfügbar sind.

Die Umwandlung in Nutzenergie erfolgt bei der Elektrizität, im Gegensatz zu anderen Energieträgern, mit einem hohen Wirkungsgrad, was in gewissem Ausmass den relativ geringen Wirkungsgrad bei der Erzeugung in thermischen Kraftwerken kompensiert. Die Zwischenschaltung des Sekundärenergieträgers Elektrizität im gesamten Energiefluss lohnt sich im allgemeinen auch bei Berücksichtigung der entstehenden Verluste. Weitere Gründe, wie zum Beispiel die geringere Umweltbelastung, sprechen zusätzlich für den Energieträger Elektrizität.

Bei der Beurteilung des Stellenwerts der Elektrizität im Gesamtenergiesystem müssen die einzelnen zur Verfügung stehenden Möglichkeiten für die verschiedenen Anwendungen betrachtet und speziell der Gesamtwirkungsgrad und die wirtschaftlichen Aspekte berücksichtigt werden. Besonders die Umwandlungsstufe zur Nutzenergie hat diesbezüglich einen grossen Einfluss.

2.1 Beleuchtung

Die elektrische Energie kann das natürliche Sonnenlicht am besten nachformen und ersetzen. Dabei bestehen verschiedene Möglichkeiten zur Erzeugung der Nutzenergie «Licht». Je nach den Anforderungen an die Beleuchtung ergeben sich unterschiedliche Umwandlungsmethoden mit verschiedenen Wirkungsgraden, wie dies auch aus Tabelle I hervorgeht.

Die Elektrizität erlaubt einen optimalen Einsatz für die unterschiedlichsten Anwendungszwecke. Das Verhältnis Nutzenergie (Licht) zu eingesetzter Endenergie ist bei der elektrischen Energie bedeutend höher als bei anderen Energieträgern, wie zum Beispiel der Petrol- oder Gaslampe.

Die für Beleuchtungszwecke eingesetzte Endenergie wandelt sich schliesslich in Wärme um. Während der Heizperiode,

avoir évalué grossièrement les rendements de transformation à partir de l'énergie finale. Cette méthode reste cependant approximative et arbitraire.

Une autre méthode consiste à additionner les consommations d'énergie primaire. Ce faisant, il faut tenir compte des particularités de l'énergie électrique. On y arrive le plus justement en mesurant le contenu énergétique des sources d'énergie primaire utilisées exclusivement à la production d'électricité (énergie hydroélectrique, uranium, énergie éolienne) sur la base de la consommation équivalente de combustible dans une centrale thermique classique.

Il se trouve que cette équivalence à la production est très voisine des équivalences réelles de substitution de l'électricité aux combustibles au niveau des usages, pour peu que l'on prenne soin de mesurer les rendements complets des chaînes énergétiques. Cette méthode de calcul est simple, adéquate et doit être préférée à la méthode précédente.

2. Rôle de l'électricité en matière d'utilisation rationnelle de l'énergie

Nous avons vu au chapitre précédent que l'énergie électrique se prête à tous les types d'utilisation de l'énergie, autrement dit qu'elle permet d'obtenir tous les types d'énergie utile. L'éventail de ses applications est donc extrêmement large, puisqu'il s'étend des applications hautement spécialisées à faible consommation – information et communications, par exemple – où l'utilisation d'autres sources d'énergie est exclue, aux applications non spécialisées à forte consommation pour lesquelles plusieurs autres sources d'énergie sont également disponibles.

En comparaison des autres sources d'énergie, l'électricité présente le grand avantage de se transformer en énergie utile avec un rendement élevé, ce qui compense le rendement relativement bas de la transformation de l'énergie primaire en énergie secondaire dans certains types de centrales électriques, telles les centrales thermiques classiques brûlant du fuel ou du charbon. Le recours à l'électricité comme forme d'énergie intermédiaire dans le système énergétique peut donc en général se justifier, même dans l'optique d'une minimisation des pertes totales d'énergie. D'autres raisons, telles qu'un effet global moindre sur l'environnement, militent en faveur de l'utilisation de l'électricité.

Si nous voulons analyser le rôle de l'électricité dans le système énergétique, il faut considérer les différentes chaînes énergétiques à notre disposition pour différentes applications et comparer plus particulièrement le rendement global et les coûts totaux. Le stade du passage à l'énergie utile apparaît alors extrêmement important.

2.1 Lumière

L'électricité est la forme d'énergie qui supplée ou remplace le mieux la lumière solaire. Sa souplesse d'utilisation permet de la transformer en énergie lumineuse par le biais de plusieurs applications différentes. Suivant les conditions d'éclairage désirées, il est possible d'opter pour diverses méthodes de transformation, qui donnent des rendements différents, ainsi qu'il ressort du tableau I.

L'électricité permet donc d'obtenir un rendement optimal pour différents usages. Le rendement des lampes électriques, défini comme le rapport entre la lumière utile et la consomma-

<i>Elektrische Lampen</i>	
– Glühlampe	5%
– Fluoreszenzlampe	25%
– Quecksilberdampf Lampe	20%
– Natrium-Hochdrucklampe	50%
– Natrium-Niederdrucklampe	80%
<i>Petrollampe</i>	> 0,5%
<i>Niederdruck-Gaslampe</i>	≈ 1%

<i>lampes électriques</i>	
– ampoule	5%
– lampe fluorescente	25%
– lampe à vapeur de mercure	20%
– lampe à sodium à haute pression	50%
– lampe à sodium à basse pression	80%
<i>lampes à huile de paraffine</i>	> 0,5%
<i>lampes à gaz à basse pression</i>	≈ 1%

welche auch die Zeit mit den kürzesten Tagen umfasst, wird die Raumheizung deshalb von der Beleuchtung unterstützt. Die «Lichtenergie» trägt in Nordeuropa mit rund 5% zur jährlich benötigten Heizenergie für ein gut isoliertes Einfamilienhaus bei. In Bürogebäuden, die oft eine perfektionierte Beleuchtung aufweisen, kann dieser Prozentsatz bis zu 100% erreichen. Allerdings kann umgekehrt im Sommer die von Beleuchtungsanlagen freigesetzte Wärme zu einem höheren Energiebedarf für die Klimatisierung führen. Diese Wärmeverluste tragen deshalb in südlichen Ländern zu einer Erhöhung des Gesamtenergieverbrauchs bei.

2.2 Informatik und Telekommunikation

Für Zwecke der Informatik und Telekommunikation kommt nur elektrische Energie in Betracht. Die apparativen Einrichtungen auf diesen Sektoren benötigen nur geringe Energiemengen; oft wird zudem die elektrische Energie durch chemische Prozesse und nicht durch thermische Erzeugung bereitgestellt.

Die Fortschritte der Elektronik manifestieren sich im allgemeinen in einer Verminderung des spezifischen Energieverbrauchs, auf der anderen Seite ergibt sich aber oft auch eine Zunahme des Gerätevolumens, was wiederum einen höheren Strombedarf für die Fabrikation bedingt.

2.3 Kraft

2.3.1 Mechanische Energie

Festinstallierte Motoren zur Erzeugung von mechanischer Energie können mit Elektrizität, Erdölprodukten wie Benzin und Gas oder auch mit Dampf betrieben werden. Leistungsstarke Motoren zur Erzeugung von mechanischer Nutzenergie erreichen folgende Vollastwirkungsgrade:

- Elektromotor 90–95 %
- Dieselmotor 25–30 %
- Dampfturbine 30–40 %

Der hohe Wirkungsgrad von Elektromotoren bewirkt eine Minimalisierung der Gesamtverluste bei der Erzeugung von mechanischer Energie in stationären Anlagen. Dies gilt auch für die Stromproduktion in konventionell-thermischen Kraftwerken. Der Elektromotor weist auch in bezug auf die Umweltschonung Vorteile auf (leise, keine Emission von unangenehmen Gerüchen und Abgasen).

Der zunehmende Einsatz von Elektromotoren führt oft auch zu einem wirtschaftlicheren Energieeinsatz für Industrieprozesse. Dies gilt vor allem für die Zementindustrie, wo das Trockenverfahren gegenüber dem früher üblichen Nass- und Schlammverfahren eine erhebliche Brennstoffeinsparung gebracht hat. Allerdings hat sich der Stromverbrauch durch die erforderliche Zermahlung der Rohstoffe etwas erhöht. Die Ver-

tion d'energie finale, est bien plus élevé que celui des lampes utilisant d'autres formes d'énergie comme le pétrole ou le gaz.

L'énergie finale utilisée pour l'éclairage, y compris les pertes, achève son cycle sous forme de chaleur. Pendant la saison de chauffage, qui coïncide avec la saison où les jours sont courts, l'éclairage contribue donc à chauffer les habitations. L'énergie consommée pour l'éclairage peut fournir quelque 5% de l'énergie annuelle totale nécessaire pour chauffer une maison individuelle bien isolée d'Europe septentrionale. Dans les immeubles de bureaux, qui nécessitent un éclairage perfectionné, ce pourcentage peut approcher des 100%. Pendant la saison chaude, en revanche, la chaleur dégagée par les appareils d'éclairage accroît les besoins de climatisation. Dans les pays méridionaux, ces pertes calorifiques risquent donc d'augmenter la consommation totale d'énergie.

2.2 Information et communications

L'énergie nécessaire à l'information et aux communications est exclusivement fournie par l'électricité. Le fonctionnement des équipements d'information et de communications n'exige que peu d'énergie qui, du reste, est parfois fournie sous forme d'électricité issue d'une réaction chimique plutôt que d'une production thermique.

Les progrès de l'électronique se traduisent généralement par une diminution de la consommation spécifique d'énergie, mais aussi par un accroissement du volume des équipements qui, à leur tour, nécessitent de l'électricité pour leur fabrication.

2.3 Force

2.3.1 Energie mécanique

Les moteurs fixes fournissant de l'énergie mécanique peuvent être alimentés au moyen d'électricité, de produits pétroliers comme l'essence ou le gazole ou bien au moyen de vapeur. Le rendement des gros moteurs pour la transformation de l'énergie en force motrice utile est le suivant (à pleine puissance):

- moteurs électriques 90–95 %
- moteurs Diesel 25–30 %
- turbines à vapeur 30–40 %

Le rendement élevé des moteurs électriques permet de minimiser les pertes globales lors de la production fixe d'énergie mécanique, même si l'électricité est produite dans des centrales thermiques classiques. Les moteurs électriques présentent aussi des avantages sur le plan de l'environnement, puisqu'ils sont silencieux et qu'ils n'émettent ni odeurs désagréables, ni gaz d'échappement.

L'emploi accru de moteurs électriques aboutit fréquemment à une économie globale d'énergie dans les procédés industriels. C'est le cas en cimenterie, où le procédé sec permet de réduire

wendung der Wärmepumpe zur Beheizung von Wohnbauten und anderen Gebäuden hat einen ähnlichen Effekt. In vielen Veredlungsindustrien führt der vermehrte Einsatz von Elektromotoren zu einer rationelleren Energieverwendung. Die hydraulische Steuerung, die bis heute in vielen Industriezweigen Verwendung findet, wird zunehmend durch Drehzahlregler ersetzt.

Zudem erlaubt der gesteigerte Einsatz der Elektrizität in einigen modernen Industrieprozessen eine Einsparung an wertvollen Rohstoffen. So werden zum Beispiel in der Papierindustrie die veralteten chemischen Prozesse zunehmend durch thermomechanische Verfahren ersetzt, welche zwar weniger Holz, aber dafür mehr Elektrizität benötigen.

Die industriellen Verfahren werden schon seit langem durch die elektrische Energie mitbestimmt. Neue Informationstechniken haben zu einer neuen industriellen Revolution geführt, in der die mechanische Routinearbeit immer mehr der Elektrizität zugewiesen wird.

Schliesslich zeigen sich die Vorteile der Kleinmotoren ganz besonders im Haushaltsektor und in den verschiedenen Steuer- und Regelgeräten für die verschiedenartigsten Maschinen und Werkzeuge.

2.3.2 Verkehr, Transport

Die Elektrizität eignet sich auch im Verkehrssektor, sofern die Elektromotoren an das öffentliche Versorgungsnetz angeschlossen werden können. So hat es sich als sehr wirtschaftlich erwiesen, relativ kostspielige Stromverteilnetze für Eisenbahnen und Trams zu erstellen und diese Verkehrsmittel mit Elektromotoren auszurüsten.

Auch im Strassentransport weist der Elektroantrieb einen erheblich besseren Wirkungsgrad als der Benzinmotor auf. Bei vergleichbaren Betriebsbedingungen benötigt das Elektroauto etwa 70 % weniger Energie als ein konventionelles Fahrzeug. Da der Anschluss des Elektroautos an das Stromversorgungsnetz nicht möglich ist, muss die erforderliche elektrische Energie aus Akkumulatoren bezogen werden. Zurzeit liegt allerdings die spezifische Leistungsdichte der Bleibatterien noch zu tief. Zur Wettbewerbsfähigkeit mit den herkömmlichen Strassenfahrzeugen in Bezug auf Bequemlichkeit, Aktionsradius, Geschwindigkeit usw. wären heute noch zu hohe Batteriegewichte notwendig. In vielen Ländern werden die Forschungsanstrengungen zur Verbesserung der Batteriekapazitäten verstärkt. Es ist jedoch noch ungewiss, ob die Fortschritte auf diesem Sektor genügen, um in Zukunft eine Konkurrenzfähigkeit der Elektroautos im Bereich des Strassentransports zu erreichen. Wie dem auch sei, die Verwendung von Elektroautos im gewerblichen und industriellen Verkehr dürfte eine wirkliche Alternative darstellen.

Die Möglichkeiten eines stärkeren Einsatzes der Elektrizität im Transportsektor liegt schwerpunktmässig allerdings bei einer Verlagerung des Verkehrs vom konventionellen Liefer- und Lastwagen auf die Eisenbahn und den elektrifizierten Vororttransportbetrieb.

2.4 Chemische Prozesse

Industrielle, chemische Verfahren erfordern viel Energie. Meistens bestimmt das angewendete chemische Verfahren den benötigten Energieträger. Elektrizität wird für elektrolytische Prozesse zur Herstellung gewisser Metalle und chemischer Produkte und für elektrochemische Prozesse zur Erzeugung von

sensiblement la consommation de combustible par rapport à l'ancien procédé humide, mais augmente la consommation d'électricité, notamment pour le broyage des matières premières. L'utilisation de la pompe à chaleur comme mode de chauffage des maisons d'habitation et autres bâtiments produit un effet analogue. Dans nombre d'industries de transformation, un recours accru aux moteurs électriques se traduit par une meilleure utilisation de l'énergie. La commande hydraulique par étranglement, utilisée jusqu'ici dans de nombreuses industries, se voit supplantée par les régulateurs de vitesse.

Par ailleurs l'utilisation accrue de l'électricité dans quelques procédés industriels modernes permet d'économiser des matières premières précieuses. C'est ainsi que dans l'industrie de la pâte à papier, les anciens procédés chimiques sont remplacés par des procédés thermomécaniques modernes qui consomment moins de bois, mais plus d'électricité.

La conduite des processus industriels est assurée depuis longtemps par l'électricité. Des techniques informatiques modernes associées à des automatismes provoquent aujourd'hui une nouvelle révolution industrielle, où le travail de routine se voit dans bien des cas confié à l'électricité.

Enfin, les avantages des petits moteurs électriques se manifestant tout particulièrement dans l'électroménager et dans divers mécanismes de commande de multiples types de machines et d'outils.

2.3.2 Transports

L'électricité est aussi intéressante pour les transports que pour les machines fixes, à condition que les moteurs électriques puissent être alimentés à partir du réseau de distribution général. Ainsi, il s'est révélé économique de construire d'onéreux réseaux de distribution d'électricité pour les chemins de fer et le métro et de doter ces moyens de transport en commun de moteurs électriques.

Pour les transports routiers, le moteur électrique présente également un rendement bien supérieur à celui des moteurs à essence. Dans des conditions de fonctionnement identiques, un véhicule électrique consomme 70 % de moins qu'un véhicule classique. Cependant, comme le raccordement des véhicules au réseau n'est pas concevable, il faut stocker l'électricité dans des accumulateurs si l'on veut utiliser des moteurs électriques. Or, pour le moment l'énergie massique des batteries disponibles est généralement trop faible. Il en résulte que le poids des accumulateurs nécessaires pour arriver à une capacité suffisante est encore excessif pour que les véhicules électriques puissent rivaliser avec les véhicules classiques sur le plan de la commodité, de l'autonomie, etc., et ceci en dépit de l'économie globale d'énergie ainsi réalisée. Plusieurs pays axent donc l'essentiel de leurs recherches, dans ce domaine, sur l'amélioration de la capacité des accumulateurs. A vrai dire, il reste à savoir si l'électricité sera en mesure de concurrencer dans l'avenir les produits pétroliers dans les transports routiers, malgré les substantielles économies d'énergie liées à son utilisation. Quoi qu'il en soit, l'emploi des véhicules électriques dans les transports commerciaux et industriels à courte distance est dès à présent une réalité.

Les possibilités d'une pénétration accrue de l'électricité dans les transports semblent toutefois résider dans un déplacement du trafic des voitures et camions classiques vers les chemins de fer et réseaux de transports en commun de banlieue électrifiés.

Eisenlegierungen und verschiedenen chemischen Substanzen benötigt.

Die elektrische Energie dient zum Teil als Rohstoff in diesen Verfahren, was erklärt, dass die spezifischen kWh-Verbrauchswerte pro Kilogramm erzeugtes Produkt relativ hoch liegen. Daher finden sich diese chemischen Fabrikationsbetriebe auch meist in Ländern mit tiefen Strompreisen. Infolge der Energieverteuerungen in den Industriestaaten geht man immer mehr dazu über, solche energieintensiven Herstellungsverfahren in Länder zu verlagern, in denen auch in Zukunft tiefe Strompreise, z.B. wegen grossen einheimischen Energiereserven, zu erwarten sind.

Heute sind neue chemische Verfahren in Entwicklung, die gegenüber früher weniger Energie benötigen. Dies ist zum Beispiel bei der Aluminiumherstellung der Fall. Auch werden, vor allem auf dem Gebiet der Elektrometallurgie, Entwicklungsarbeiten gefördert, die zu einer Verminderung des Energieverbrauchs bei traditionellen Herstellungsverfahren führen. Die Ergebnisse dieser Anstrengungen dürften die zukünftigen Anwendungsbereiche der elektrischen Energie in den europäischen Industriestaaten massgeblich mitbestimmen.

2.5 Wärme und Kälte

Die elektrische Energie wird in einem weiten Temperaturbereich in Wärme umgesetzt. Auch der lokale Wärmeeinsatz, zum Beispiel für Schweißungen, für Induktionsheizungen oder durch Strahlung, lässt sich leicht erreichen, und zwar meistens ohne erhebliche Wärmeverluste an die Umgebung. Die Regelung ist einfach, und die Temperaturkontrolle ist mit grosser Präzision möglich. Diese Vorteile tragen dazu bei, dass die Elektrizität bei denjenigen industriellen Wärmeverfahren besonders wirkungsvoll eingesetzt werden kann, welche hohe oder exakt regulierbare Temperaturen erfordern. Wie aus der Tabelle II hervorgeht, ist der Endenergieverbrauch von zahlreichen elektrothermischen Verfahren erheblich tiefer als beim Einsatz anderer Energieträger.

Auch in bezug auf die Umweltschonung bietet die Elektrizität bedeutende Vorteile, denn die meisten Elektroöfen emittieren weder Rauch, Staub noch Abgase.

Neue Heiztechniken werden laufend entwickelt, damit man die vielen Vorteile der elektrischen Energie möglichst optimal nutzen kann. Seit vielen Jahren werden zum Beispiel hochfrequente elektrische Felder zur induktiven Beheizung eingesetzt. Mikrowellen finden im Lebensmittelsektor, bei der Infrarotstrahlung in modernen Trocknungsprozessen, im Sterilisieren

2.4 Procédés chimiques

Les procédés chimiques industriels consomment de grandes quantités d'énergie. La plupart du temps, c'est le procédé qui détermine le type d'énergie utilisée. L'électricité est employée dans les procédés électrolytiques destinés à la production de certains métaux et produits chimiques et dans les procédés électrothermiques destinés à la production de ferro-alliages et de plusieurs substances chimiques.

L'électricité est en partie utilisée comme matière première dans ces procédés, ce qui explique que sa consommation spécifique en kWh/kg de matière produite est élevée. Les procédés chimiques se sont le plus souvent concentrés dans les pays où l'électricité est bon marché. Devant le renchérissement de l'énergie dans les pays industrialisés, ces procédés industriels ont tendance à se déplacer vers les pays où l'électricité restera peut-être produite à bas prix en raison de l'abondance des sources d'énergie indigènes telle l'énergie hydroélectrique, par exemple.

Il existe aujourd'hui des possibilités de mise en œuvre de nouveaux procédés chimiques consommant beaucoup moins d'énergie que les procédés actuels. C'est le cas, par exemple, dans la production de l'aluminium. Par ailleurs des travaux de développement ont été activement poursuivis, notamment en métallurgie, pour diminuer la consommation spécifique d'énergie dans les procédés traditionnels. Les résultats de cette conjugaison d'efforts détermineront l'utilisation future de l'électricité pour ces procédés chimiques dans les pays européens industrialisés.

2.5 Chaleur et froid

L'électricité peut être transformée en chaleur dans une large gamme de températures. Il est aussi possible de concentrer la chaleur exactement à l'endroit choisi, soit pour le soudage, soit pour le chauffage par induction ou par rayonnement, et ceci la plupart du temps pratiquement sans pertes calorifiques dans la matière environnante. La régulation de l'électricité étant aisée, la température de la matière peut être contrôlée avec une très grande précision. Ces avantages font de l'électricité la forme d'énergie la plus efficace pour les procédés thermiques industriels qui exigent des températures élevées ou étroitement contrôlées. Comme l'indique le tableau II, la consommation d'énergie finale de nombreux procédés électrothermiques est nettement inférieure à celle des procédés correspondants utilisant d'autres formes d'énergie.

Comparée aux autres formes d'énergie, l'électricité offre

Endenergieverbrauch verschiedener industrieller Wärmeprozesse

Tabelle II

1. Stahlherstellung	
– Induktionsofen	600... 650 kWh/t
– Lichtbogenverfahren	400... 500 kWh/t
– Koksschmelzofen	1200...1600 kWh/t
2. Kupferherstellung	
– Widerstandsofen	600 kWh/t
– Schweröl-Schmelztiegel	3000...4000 kWh/t
3. Holz Trocknung	
– elektrisch	100 kWh/m ³ (Ventilatoren)
– ölbeheizt	400 kWh/m ³ inbegriffen)

Exemples de consommations d'énergie finale de divers procédés thermiques industriels

Tableau II

1. Elaboration de l'acier	
– four à induction	600... 650 kWh/t
– four à arc	400... 500 kWh/t
– cubilot à coke	1200...1600 kWh/t
2. Elaboration du cuivre	
– four à résistance	600 kWh/t
– four à creuset à huile lourde	3000...4000 kWh/t
3. Séchage du bois	
– électrique	100 kWh/m ³ (y compris les ventilateurs)
– au fuel	400 kWh/m ³

rungsverfahren und für Wärmebehandlungen von Metallen und Kunststoffen Anwendung. Elektrowärmeverfahren mittels Lichtbogenplasma, elektronischer Bündelung, Elektroerosion und durch Lasertechnik erschliessen neue, vielversprechende Anwendungsgebiete mit grossen Entwicklungsmöglichkeiten.

Für Raumheizzwecke genügt eine tiefwertige Niedertemperaturwärme; die Temperaturgrenze kann bei 40 °C liegen. Mit Ausnahme weniger Länder mit extrem tiefen Strompreisen, wie zum Beispiel Norwegen, wurde die Elektrizität anfänglich nicht zur Raumheizung eingesetzt. Aber Untersuchungen in verschiedenen Ländern haben gezeigt, dass gleichzeitig mit der Wahl der elektrischen Raumheizung im allgemeinen auch das Gebäude besser isoliert wird. Dies hat zur Entwicklung von Heizsystemen geführt, die komfortabel und gleichzeitig wirtschaftlich betrieben werden können. Eingehende Studien des UNIPED-Studienkomitees für Elektrizitätsanwendungen haben ergeben, dass elektrisch beheizte Wohnungen rund 30–40 % weniger Energie benötigen als konventionelle Öl-Zentralheizungen. Dieser Unterschied entsteht vor allem durch die gute Regulierfähigkeit der elektrischen Raumheizung, was zur besseren Ausnutzung der Verlustwärme der Beleuchtung und anderer stromverbrauchender Haushaltgeräte führt. Die Energieeinsparungen sind normalerweise sogar höher als vorhin angegeben, da allelektrische Wohnungen im allgemeinen besser isoliert sind als ölbeheizte.

Zudem wird bei der Einzelgebäudeheizung und bei Mehrfamilienhäusern teures leichtes Heizöl verwendet, während in ölbeheizten thermischen Kraftwerken im allgemeinen minderwertiges Schweröl eingesetzt wird. Oft wird die Elektrizität auch aus Primärenergiequellen gewonnen, die für andere Zwecke nicht verwendet werden können.

Es sei hier aufgrund der obgenannten Überlegungen festgehalten, dass die elektrische Raumheizung einen Gesamtwirkungsgrad erreicht, der mit anderen Heizsystemen vergleichbar ist und daher keine volkswirtschaftliche Energieverschwendung darstellt.

Viele nördliche Staaten fördern die Fernheizung sehr stark. Untersuchungen des UNIPED-Studienkomitees für Tarif- und Wirtschaftlichkeitsfragen haben ergeben, dass der Kostenvergleich zwischen der Elektro- und der Fernheizung sehr stark von der Wohnungsdichte (ausgedrückt als spezifischer Wärmebedarf pro km²) abhängig ist. In nordeuropäischen Ländern stellt die elektrische Raumheizung für Einfamilienhäuser im allgemeinen die wirtschaftlichste Lösung dar, während für Mehrfamilienhäuser die Fernheizung vorzuziehen ist. In südlichen Regionen, die einen tieferen spezifischen Wärmebedarf haben, eignet sich hingegen die elektrische Raumheizung auch für Zonen mit höherer Bevölkerungsdichte.

Sofern grosse Fernwärmenetze bestehen, können auch Fernheizkraftwerke wegen der besseren Energieausnutzung in Gegendruckturbinen wirtschaftlich betrieben werden. Die Möglichkeiten des Baus von Kernkraftwerken in der Nähe grosser Städte und die Erschliessung dieser Agglomerationen mit Elektrizität und Wärme ergibt, sofern ein Fernwärmenetz vorhanden ist, vielversprechende Zukunftsperspektiven. Weiter kann die Abwärme aus Kernkraftwerken zur Meerwasserentsalzung beigezogen werden.

Zurzeit bemühen sich zahlreiche Länder, den Energieverbrauch für die Raumheizung durch den Einsatz von natürlichen, direkt nutzbaren Primärenergiequellen zu senken. Mit der Sonnenenergie und der Wärmepumpe sind schon sehr gute

aussi de considérables avantages sur le plan de l'environnement, puisque la plupart des fours électriques ne dégagent quasiment pas de fumée, de poussière ni de gaz.

Les nouvelles techniques de chauffage sont en perpétuel développement, car on essaye de tirer profit de l'extrême souplesse de l'électricité. Il y a de nombreuses années que l'action d'un champ électrique à haute fréquence est utilisée pour le chauffage diélectrique. Le chauffage à microondes est employé dans bien des opérations du secteur alimentaire et le rayonnement infrarouge pour les procédés de séchage modernes, la stérilisation et le chauffage des métaux et des plastiques. Enfin, les chauffages électriques par plasma d'arc, par faisceau électronique, par électro-érosion et par laser constituent de nouvelles applications promises à un développement rapide.

Le chauffage domestique nécessite de l'énergie calorifique de qualité inférieure à une température pouvant descendre jusqu'à 40 °C. Si l'on fait abstraction d'un petit nombre de pays où le prix de l'électricité est particulièrement bas, comme en Norvège, par exemple, l'électricité n'était pas utilisée, à l'origine, pour chauffer les habitations. Mais les études conduites dans plusieurs pays sur l'intérêt d'associer le chauffage électrique à une isolation thermique renforcée ont permis de mettre au point des systèmes de chauffage électrique à la fois confortables et compétitifs, proposés au public. Des études approfondies réunies par le Comité d'Etudes du développement des Applications de l'Energie Electrique ont montré que les logements chauffés à l'électricité consomment environ 30 à 40 % d'énergie finale de chauffage de moins que ceux équipés d'un chauffage central au fuel. Cette différence s'explique notamment par les possibilités de régulation précise du chauffage électrique, permettant de profiter au maximum de l'énergie calorifique dissipée par l'éclairage et les autres équipements domestiques consommant de l'énergie. Au niveau de la consommation d'énergie finale, la différence est même normalement supérieure aux chiffres indiqués précédemment, parce que les maisons chauffées à l'électricité sont généralement mieux isolées que les maisons chauffées au fuel. De plus, le fuel-oil consommé dans les maisons individuelles et les chaufferies collectives d'immeubles est du fuel léger cher, alors que le fuel brûlé dans des centrales électriques est généralement du fuel lourd moins onéreux. En outre, dans bien des cas, l'électricité est produite à partir de sources d'énergie primaire qui ne peuvent pas être utilisées autrement.

Il convient de retenir des études susmentionnées que le chauffage électrique des locaux a un rendement global comparable à celui des autres modes de chauffage et qu'il ne constitue donc pas une source de gaspillage pour l'économie nationale.

De nombreux pays nordiques ont développé le chauffage urbain à grande échelle. Les études menées par le Comité d'Etudes des Questions Economiques et Tarifaires ont révélé que la comparaison de coût entre le chauffage électrique et le chauffage urbain réagit de façon très sensible à la densité d'habitations (exprimée sous forme de consommations spécifique de chaleur par km²). On a pu montrer que dans les pays d'Europe septentrionale, l'électricité était généralement le mode de chauffage des maisons individuelles le plus économique, alors que le chauffage urbain se prêtait le mieux au chauffage des immeubles collectifs. Dans les contrées méridionales, qui se caractérisent par une charge thermique spécifique plus basse, l'électricité se révèle également économique,

Resultate erzielt worden. In diesen beiden Fällen wird die Elektrizität als zusätzliche Wärmequelle eingesetzt.

Es bestehen drei Hauptsysteme zur Kälteerzeugung, das heisst zur Erreichung eines Temperaturniveaus, das unterhalb der Umwelttemperatur liegt. Sofern Gewichts- und Raumersparnis eine Rolle spielen, wie zum Beispiel in Flugzeugen, Booten und Nutzfahrzeugen, wird der mit der Elektrizität verbundene Peltier-Effekt ausgenutzt. Kompressor- und Absorptionskältemaschinen werden zur Erzeugung grösserer Kältemengen eingesetzt. Das Absorptionssystem beschränkt sich in der Anwendung auf relativ kleine Kälteaggregate mit Leistungsziffern unterhalb 1. Die meisten Kältemaschinen arbeiten deshalb nach dem Kompressorprinzip. Der Kompressor kann dabei mit elektrischen oder brennstoffgespierten Motoren angetrieben werden, wobei allerdings oft die hohen Wärmeverluste der brennstoffbetriebenen Motoren grössere Probleme aufwerfen. Im allgemeinen werden deshalb Elektromotoren eingesetzt. Diese erreichen hohe energetische Wirkungsgrade und erlauben damit erhebliche Energieeinsparungen.

lorsqu'elle est correctement utilisée, pour des zones à plus forte densité de population.

Lorsqu'il existe de vastes réseaux de chauffage urbain, les centrales de production combinée de chaleur et d'électricité peuvent être économiques, grâce à la faible consommation de combustible des turbines à contrepression. La possibilité d'implanter des centrales nucléaires à proximité des grandes villes et d'alimenter ces agglomérations en énergie électrique et aussi en chaleur, grâce à un réseau de chauffage urbain, revêt un grand intérêt pour l'avenir. De même, les rejets thermiques des centrales nucléaires peuvent servir au dessalement d'eau de mer.

De nombreux pays s'efforcent actuellement de diminuer la consommation d'énergie pour le chauffage en améliorant l'utilisation des sources d'énergie existant dans la nature sous une forme directement exploitable. L'énergie solaire et les pompes à chaleur ont déjà donné des résultats prometteurs. Dans ces deux cas, l'électricité peut être utilisée comme source de chaleur complémentaire.

Il existe trois procédés principaux de production du froid, c'est-à-dire d'obtention d'une température inférieure à la température environnante. Lorsque la légèreté et l'espace réduit constituent des données importantes, comme c'est le cas pour les avions, les petits bateaux et les caravanes, on utilise l'effet Peltier, qui dépend uniquement de l'électricité. Quant aux machines frigorifiques à compression et à absorption, elles pourvoient à la production de grandes quantités de froid. Le procédé par absorption est réservé à des réfrigérateurs relativement petits, le coefficient de refroidissement étant inférieur à 1. La plupart des machines frigorifiques sont donc des machines à compression. Le compresseur peut être entraîné par des moteurs électriques ou à combustibles fossiles, mais les pertes importantes des moteurs à combustibles fossiles soulèvent de gros problèmes. Les moteurs électriques sont donc généralement utilisés. Ils apportent un rendement énergétique élevé et des économies d'énergie notables.

3. Die Rolle der Elektrizität in der zukünftigen wirtschaftlichen und sozialen Entwicklung

3.1 Elektrizität und Abhängigkeit von der Primärenergieversorgung

3.1.1 Energiebilanzen

Der Vergleich von Energiebilanzen verschiedener Länder ist für die Untersuchung des Zusammenhangs zwischen der Elektrizität und der zur Verfügung stehenden Primärenergieressourcen sehr wichtig. Die europäische Wirtschaftskommission der UNO (CEE) hat detaillierte Energiebilanzen erarbeitet, die sich auf die nationalen Programme ihrer Mitgliedländer zur Landesversorgung mit Energie abstützen.

Aktualisierte Energiebilanzen sind kürzlich im CEE-Bericht «L'économie énergétique dans la région de la CEE; problèmes nouveaux à moyen et à long terme» [1] veröffentlicht worden. Aus diesen Bilanzen und Perspektiven geht hervor, dass der Verbrauch an elektrischer Energie in Zukunft vermutlich stärker zunimmt als der Gesamtenergieverbrauch. Die entsprechenden Prognosen für die CEE-Länder sind aus der Tabelle III ersichtlich.

Diese Prognosen zeigen, dass sich der Anteil der Elektrizität am Gesamtenergieverbrauch erhöhen wird. Es ist dabei zu be-

3. Importance de l'électricité pour l'avenir économique et social

3.1 Electricité et dépendance de l'approvisionnement en énergie primaire

3.1.1 Bilans énergétiques

L'analyse des bilans énergétiques de différents pays constitue un point de départ utile pour étudier dans quelle mesure l'électricité est tributaire des sources d'énergie primaire. La Commission Economique pour l'Europe des Nations Unies (CEE) a établi des bilans détaillés en se fondant sur les programmes nationaux d'approvisionnement en énergie des pays membres.

Les bilans les plus récents ont été publiés récemment dans le rapport de la CEE intitulé «L'économie énergétique dans la région de la CEE; problèmes nouveaux à moyen et à long terme» [1]. Ils font ressortir que la consommation d'électricité augmentera probablement plus vite que celle de l'ensemble de l'énergie. Les prévisions pour la zone couverte par la CEE sont indiquées dans le tableau III.

Selon ces prévisions, la part de l'électricité dans la consommation totale d'énergie va augmenter. (Il convient de souligner que dans les statistiques de la CEE l'équivalence énergétique

Wachstumsraten des Energieverbrauchs

Tabelle III

Jährliche Wachstumsrate (in %)	1975...1990	1990...2000
Gesamtenergieverbrauch	3,6	3,2
Elektrizität	5,0	4,5

Anteil der verschiedenen Primärenergieträger an der Gesamtelektrizitätserzeugung (Prognosen der CEE)

Tabelle IV

Primärenergiequelle	1975 %	1990 %	2000 %
Thermisch	73	64	40
Kernenergie	6	21	50
Wasserkraft	21	15	10

merken, dass in den CEE-Statistiken das Energieäquivalent der in Wasserkraftwerken, Kernkraftwerken und geothermischen Werken erzeugten elektrischen Energie mit 2,27 Mcal/kWh angenommen wurde. (Für schweizerische Verhältnisse mit dem sehr hohen Wasserkraftanteil wird die Statistik dadurch allerdings erheblich verfälscht [die Red.]).

Für die europäische CEE-Region führen die Untersuchungen zu folgenden Ergebnissen für die Elektrizitätsentwicklung:

Jahr	1975	1990	2000
Anteil der Elektrizität am Gesamtenergieverbrauch	26 %	32 %	40 %

Die in diesen Perspektiven bis zum Jahr 2000 berücksichtigten Primärenergiequellen beschränken sich auf konventionelle Energieformen, nämlich auf Kohle, Erdölprodukte, Gas, Kernenergie und Wasserkraft. Wind-, Wellen- und Sonnenenergie werden bis zur Jahrtausendwende nur einen bescheidenen Beitrag an die gesamte Energieversorgung leisten können. Aus der Tabelle IV sind die verschiedenen Anteile der Primärenergien an der Stromerzeugung der CEE-Region ersichtlich (aus statistischen Gründen sind die Kohle, das Erdgas und das Erdöl unter der Sammelposition «konventionell-thermische Energien» zusammengefasst).

In der CEE-Region wird sich die Elektrizitätsproduktion bis zum Jahre 2000 in zunehmendem Masse auf die Kernenergie abstützen müssen. Der relative Anteil aller anderen Energieträger an der Gesamtelektrizitätserzeugung wird zurückgehen, und nur die Kohle dürfte noch einen nicht unwesentlichen Anteil behalten. Dies würde eine kontinuierliche Steigerung des Kohleeinsatzes für die Elektrizitätserzeugung (in absoluten Mengen) bedingen.

3.1.2 Diversifikation der Primärenergiequellen und der entsprechenden Energieversorgung

Aufgrund der unterschiedlichen Verfügbarkeit der Primärenergiequellen lassen sich die Möglichkeiten der Energiebedarfsdeckung für die Stromerzeugung bis zum Jahre 2000 abschätzen. Die Weltenergiekonferenz (WEK) und sein Energiekomitee haben eine langfristige Perspektive dieser Energieverfügbarkeiten erarbeitet, die nachfolgend kurz erläutert wird.

Das Erdöl deckt heute weltweit etwa 40 % des gesamten Energiebedarfs und ist damit die wichtigste Primärenergiequelle. Die derzeitige jährliche Erdölförderung in der Größen-

Accroissement de la consommation d'énergie

Tableau III

Accroissement annuel en %	1975...1990	1990...2000
Ensemble de l'énergie	3,6	3,2
Electricité	5,0	4,5

Part des différentes sources d'énergie dans la production d'électricité (prévisions de la CEE)

Tableau IV

Source d'énergie	1975 %	1990 %	2000 %
Thermique	73	64	40
Nucléaire	6	21	50
Hydraulique	21	15	10

de l'électricité produite à partir d'énergie hydraulique, géothermique et nucléaire est prise égale à 2,27 Mcal/kWh).

Pour la zone couverte par la CEE, les calculs laissent prévoir l'évolution suivante de la part de l'électricité:

Année	1975	1990	2000
Part de l'électricité dans la consommation totale d'énergie	26 %	32 %	40 %

Les sources d'énergie primaire prises en compte dans ce bilan pour assurer la production d'électricité nécessaire jusqu'en l'an 2000 restent les sources d'énergie classiques: charbon, pétrole, gaz, nucléaire et hydroélectricité. L'énergie éolienne, l'énergie des vagues et l'énergie solaire assureront probablement une part minime de cette production vers la fin du siècle. Le tableau IV indique la part en pour-cent des différentes sources d'énergie dans la production d'électricité (le pétrole, le charbon et le gaz naturel sont réunis sous la rubrique «thermique» pour les raisons statistiques).

La production d'électricité sera assurée de façon croissante, jusqu'en l'an 2000, par l'énergie nucléaire dans la zone couverte par la CEE. L'importance relative des autres sources d'énergie primaire diminuera, et seul le charbon assurera encore une part non négligeable de la production d'électricité en l'an 2000. Cela imposera une augmentation continue en valeurs absolues de la consommation de charbon pour la production d'électricité.

3.1.2 Diversification des sources d'énergie primaire et des approvisionnements correspondants

La disponibilité des diverses sources d'énergie primaire illustre les possibilités qui s'offrent pour satisfaire les besoins d'énergie pour la production d'électricité jusqu'en l'an 2000. La Conférence Mondiale de l'Energie (CME) et sa Commission de la Conservation ont procédé à une analyse à long terme de cette disponibilité, dont nous donnons ci-dessous une bref aperçu.

Le pétrole représente aujourd'hui quelque 40 % de la consommation totale d'énergie primaire et il est donc actuellement

ordnung von 3 Gt/Jahr²⁾) wird voraussichtlich ihren Kulminationspunkt um das Jahr 1990 mit 4 bis 5 Gt/Jahr erreichen und dann schrittweise zurückgehen. Wahrscheinlich ist eine gesamte Fördermenge von 300 Gt mit den heute bekannten Fördermethoden erzielbar. Weitere 130 Gt dürften dank neuentwickelten, allerdings kostspieligeren Fördermethoden gewonnen werden. Dabei dürfen die Vorkommen in den Polarzonen, in der Tiefsee sowie in Öl- und Teersanden nicht vergessen werden, deren Ausbeutung allerdings nur zu erheblich höheren Kosten möglich ist. Alle diese Ölvorräte dürften für die nächsten 30 bis 40 Jahre zur Bedarfsdeckung ausreichen. Allerdings ist mit einer Erhöhung der Erdölpreise zu rechnen, was dazu führt, dass es – ausgenommen in Entwicklungsländern – immer weniger zur Stromerzeugung eingesetzt wird. Das Erdöl wird im Sektor Verkehr und als Ausgangsstoff für die petrochemische Industrie zunehmend Verwendung finden.

Die Erdgasreserven dürften etwa die gleiche Größenordnung wie diejenigen des Erdöls aufweisen. Bis heute sind weniger als 10 % der Erdgasreserven verbraucht worden, und die maximale Förderkapazität dürfte etwa zu Beginn des kommenden Jahrtausends erreicht werden. Der Erdgaseinsatz erfordert jedoch eine entsprechende Infrastruktur, was zu relativ hohen Transport- und Verteilkosten führt. Das Erdgas wird deshalb vorwiegend in den USA und in Europa (inklusive Sowjetunion) Verwendung finden, wo bereits ausgedehnte Gasversorgungsnetze und geeignete Infrastrukturen vorhanden sind. Die Erdgasförderung in diesen Ländern dürfte in den Jahren 1990 bis 1995 ihr Maximum erreichen; anschliessend werden die USA und Europa Erdgas in Form von Flüssiggas aus weit abgelegenen Fördergebieten einführen müssen. Erdgas wird sich aus diesem Grund erheblich verteuern und deshalb zu andern Zwecken als zur Elektrizitätserzeugung eingesetzt werden.

Das Entwicklungspotential der Wasserkraft in der CEE-Region ist sehr beschränkt. Die Wasserkrafterzeugung dürfte deshalb nur noch geringe Zuwachsraten erreichen, obschon weitere Werke zur Deckung des Spitzenlastbedarfs erstellt werden.

Einem grossmaßstäblichen Einsatz von geothermischer Energie stehen wirtschaftliche und technische Probleme (Umwelteinwirkungen usw.) entgegen. Die geothermische Energie wird deshalb bis zum Jahre 2000 nicht über eine lokale Bedeutung hinauskommen.

Auch alle weiteren Alternativenenergien wie Biomasse, Sonne, Wind, Wellenenergie und Kernfusion werden bis zum Jahre 2000 nur in ganz bescheidenem Ausmasse zur Stromerzeugung beitragen können.

Diese Überlegungen zeigen, dass nur die Kohle und die Kernspaltung in der Lage sind, bis zur Jahrtausendwende wirksam Erdöl und Erdgas zu ersetzen.

Die Welt-Kohlereserven sind enorm und werden auf über 10000 Gt geschätzt. Es dürfte dank modernen Technologien möglich sein, rund 600 bis 700 Gt zu wirtschaftlichen Bedingungen abzubauen. Neue Methoden, wie die Untertage-Kohlevergasung und die Wirbelschichtfeuerung, dürften diese Ziffer in der Zukunft noch bedeutend erhöhen.

Die Welt-Förderkapazität für Kohle beträgt zurzeit 2,7 Gt/Jahr, was rund 30 % des Weltenergiebedarfs entspricht. Sofern dieser Anteil der Kohle beibehalten werden soll, ist eine

die principale source d'énergie dans le monde. La production de pétrole, qui est de l'ordre de 3 Gt/an²⁾, va vraisemblablement atteindre son point culminant vers 1990 avec 4 à 5 Gt/an, puis décroître progressivement. Il sera probablement possible de tirer environ 300 Gt des gisements de pétrole traditionnels. 130 Gt supplémentaires pourront être récupérés grâce à d'autres méthodes d'exploitation plus onéreuses. Il ne faut pas oublier non plus les réserves existant dans les zones polaires, en haute mer, dans les sables et les schistes bitumeux, qui fourniront à vrai dire du pétrole à un prix beaucoup plus élevé. Il semble que les réserves suffiront pour couvrir les besoins des 30 à 40 prochaines années, mais il faut s'attendre à un renchérissement du pétrole, qui sera donc de moins en moins affecté à la production d'électricité, sauf dans les pays en voie de développement. Le pétrole sera réservé aux transports et utilisé comme produit de base dans l'industrie pétrochimique.

Les ressources de gaz naturel semblent être du même ordre que celles de pétrole. Moins de 10 pour-cent des réserves de gaz naturel ont été consommés à ce jour, et la production culminera vers le début du prochain millénaire. Cependant l'utilisation du gaz naturel est subordonné à l'existence d'une infrastructure et tributaire du coût élevé de son transport. Il est donc probable que le gaz naturel sera principalement consommé aux Etats-Unis et en Europe, y compris l'URSS, qui disposent, avec leurs vastes réseaux de transport de gaz, d'une infrastructure appropriée. La production y atteindra son maximum vers 1990–1995, puis les Etats-Unis et l'Europe devront importer le gaz naturel de lointains pays producteurs sous forme liquide. De ce fait, le gaz naturel subira un considérable renchérissement. A l'instar du pétrole, il sera réservé à d'autres usages que la production d'électricité.

Le développement potentiel de l'hydroélectricité dans la zone couverte par la CEE est limité. La production d'électricité d'origine hydraulique n'augmentera donc que lentement malgré la construction de nouvelles unités pour couvrir les besoins de puissance de pointe.

Des problèmes économiques et techniques (impact sur l'environnement, par exemple) feront obstacle à un développement à grande échelle de l'énergie géothermique, qui n'aura qu'une importance locale jusqu'en l'an 2000.

Les autres énergies nouvelles telles que les biomasses, le soleil, le vent, les vagues et la fusion nucléaire ne participeront probablement pas de façon notable à la production d'électricité avant l'an 2000.

Il ressort manifestement des considérations précédentes que le charbon et l'énergie nucléaire sont les seules sources d'énergie susceptibles de remplacer le pétrole et le gaz naturel d'ici la fin du siècle.

Les réserves mondiales de charbon sont énormes, puisqu'elles sont évaluées à plus de 10 Tt³⁾. Il serait possible d'en exploiter 600 à 700 Gt à un coût raisonnable grâce aux techniques modernes. Les nouvelles techniques, telles la gazéification souterraine et la combustion en lit fluidisé, peuvent faire croître ce chiffre considérablement dans l'avenir.

La capacité mondiale de production de charbon est actuellement de 2,7 Gt par an, ce qui représente environ 30 % de la consommation mondiale d'énergie. Si l'on veut conserver ce taux de couverture de la consommation, il faut augmenter la

²⁾ 1 Gt = 1 Gigatonne = 1 Milliarde Tonnen.

²⁾ 1 Gt = 1 gigatonne = 1 milliard de tonnes.

³⁾ 1 Tt = 1 teratonne = 1000 milliards de tonnes.

jährliche Steigerung der Kohleförderung von 4 % erforderlich. Allerdings erscheint es als unwahrscheinlich, dass diese Zuwachsrate erreicht wird, da dafür eine grosse Zahl zusätzlicher Bergbauarbeiter eingesetzt werden müssten. Infolge der harten Untertagearbeit in den Kohleminen dürfte die Rekrutierung der zusätzlichen Bergbauarbeiter kaum möglich sein.

Zusätzlich wäre auch die Bereitstellung einer kostspieligen neuen Infrastruktur und geeigneter Abbau-Installationen nötig. Zudem sind noch bedeutende Umweltprobleme auf dem Gebiet des Kohleabbaus wie auch auf der Verbrauchsseite zu lösen. Die drei Weltmächte USA, Sowjetunion und China verfügen insgesamt über mehr als 85 % der Kohlereserven. Für Westeuropa ist daher entscheidend, ob diese Staaten in der Lage sind, umfangreiche Kohlenmengen zu exportieren.

Uran, das zur Herstellung von Kernbrennstoffen dient, dürfte bis zum Jahre 2000 vermutlich in genügender Menge verfügbar sein. Der heutige Uranpreis hat ein Niveau erreicht, das zur Suche nach neuen Vorkommen anreizt. Es ist notwendig, die Uranförderung zu erhöhen. Bis zu Beginn des kommenden Jahrtausends muss die Uranförderung um rund das Zehnfache gesteigert werden. Dies auch unter der Annahme, dass bis dann Brutreaktoren eingesetzt werden und eine Wiederaufbereitung der abgebrannten Brennstäbe erfolgt. Ohne eine Wiederaufbereitung würde sich der Uranbedarf selbstverständlich noch erheblich erhöhen.

Der Uranbedarf für die gesamte OECD-Zone wird bis zum Jahre 2000 auf jährlich rund 170 000 t geschätzt. Diese Förderkapazität scheint erreichbar zu sein, wenn man berücksichtigt, dass die Welt-Uranproduktion seit Ende der fünfziger Jahre 40 000 t/Jahr betragen hat. Ein grosser Teil des Uranabbaus erfolgte zu militärischen Zwecken, und dieser Anteil hat sich nun stark reduziert. In der OECD-Zone liegt ein grosser Teil der Uranvorkommen in den Industriestaaten, was vorteilhaft ist. Zudem ist darauf hinzuweisen, dass sich bis heute die Uranprospektion erst auf einen relativ geringen Teil der Erdoberfläche beschränkt hat.

Die europäische Elektrizitätswirtschaft muss allerdings erhebliche Anstrengungen unternehmen, um das gesteckte Ziel der Deckung von 50 % des gesamten Elektrizitätsbedarfs aus Kernkraftwerken bis zum Jahre 2000 zu erreichen. Diese Zielsetzung erfordert eine enge internationale Zusammenarbeit auf den Gebieten der Uranausbeutung wie der Kerntechnologie.

3.1.3 Probleme der Energiespeicherung

Es ist allgemein bekannt, dass der Elektrizitätsverbrauch starken jährlichen, wöchentlichen, täglichen, ja sogar stündlichen Schwankungen unterworfen ist. Die Elektrizitätswirtschaft sieht sich deshalb gezwungen, die Primärenergieträger mehr oder weniger lang zu speichern, um immer in der Lage zu sein, diese Verbrauchsschwankungen auf der Produktionsseite auszugleichen. Um auch für unvorhergesehene Fälle gewappnet zu sein, muss man Primärenergieträger sogar während mehrerer Jahre lagern.

Das Erdöl benötigt grossen Speicherraum in Erdöltanks oder Kavernen. Lecks können zu Brandunfällen führen und vor allem die Umwelt gefährden.

Die Lagerung von Flüssiggas erfordert, wie das Erdöl, ebenfalls einen erheblichen Raum- und Flächenbedarf. Bei Lecks der Lagertanks oder von Kavernen entsteht eine nicht zu vernachlässigende Explosionsgefahr. Bei der Speicherung in gasförmigem Zustand sind enorme Kavernen nötig.

production de charbon de 4 % par an. En fait, il est peu probable que ce pourcentage soit atteint, parce qu'il suppose le recrutement et la formation d'un grand nombre de travailleurs prêts à entreprendre le dur labeur des mineurs de fond. En outre, il faut mettre en place une infrastructure nouvelle très importante et des installations de manutention appropriées. Il faut enfin résoudre toute une série de problèmes d'environnement graves, aussi bien au niveau de l'extraction que de la consommation. Les trois grandes puissances, Etats-Unis, URSS et Chine, détiennent plus de 85 % des réserves mondiales. Il est donc essentiel pour l'Europe Occidentale que ces pays soient en mesure d'exporter de grandes quantités de charbon.

L'uranium, qui sert à fabriquer le combustible nucléaire, sera probablement disponible en quantité suffisante jusqu'en l'an 2000. Le prix actuel de l'uranium est assez élevé pour encourager la prospection et l'exploitation de nouveaux gisements. L'accroissement de la production d'uranium est cependant une nécessité. En effet, il faudra multiplier la production d'uranium par 10 d'ici le début du prochain millénaire, même dans l'hypothèse de la mise en œuvre de réacteurs surgénérateurs et du retraitement des combustibles irradiés. En l'absence de retraitement, les besoins seront naturellement encore plus grands.

Les besoins totaux d'uranium sont évalués à 170 000 t/an vers le tournant du siècle dans la zone de l'OCDE. Ce chiffre ne paraît pas irréaliste quand on songe que la production mondiale d'uranium atteignait 40 000 t/an dès la fin des années 50. Il est vrai que cette production était destinée à des fins militaires et qu'elle a notablement diminué ensuite. En outre, la zone de l'OCDE est fort avantagée, dans la mesure où l'essentiel des réserves d'uranium connues et estimées se trouve dans les pays industrialisés. Il convient également de noter que la prospection de l'uranium ne s'est étendue jusqu'ici qu'à une petite partie du globe.

Il est évident que les entreprises d'électricité européennes devront faire un effort considérable pour atteindre l'objectif consistant à produire en l'an 2000 50 % de l'énergie électrique dans des centrales nucléaires. Sa réalisation exigera une coopération internationale étroite, aussi bien dans le domaine des ressources d'uranium que dans celui de la technologie nucléaire.

3.1.3 Problèmes de stockage de l'énergie

Comme chacun sait, la consommation d'électricité est soumise à des variations annuelles, hebdomadaires, diurnes et nocturnes ainsi qu'horaires. L'industrie électrique se voit donc contrainte de stocker les sources d'énergie primaire plus ou moins longtemps pour être constamment en mesure de faire face à ces variations. Pour pouvoir parer à l'imprévu, il peut même se révéler nécessaire de stocker de l'énergie primaire pendant plusieurs années.

Le pétrole exige de vastes aires de stockage pour des réservoirs ou des cavernes. Les fuites risquent de provoquer des incendies et d'endommager l'environnement.

Le gaz sous forme liquide nécessite des aires de stockage aussi vastes que le pétrole. De plus, les risques d'explosion sont considérables en cas de fuite des réservoirs ou des cavernes. Quant au stockage sous forme gazeuse, il impose le recours à d'immenses cavernes.

Ein grosser Flächenbedarf entsteht auch bei der Lagerung von Kohle, und auch hier ergeben sich Umweltprobleme.

Die Wasserkraft lässt sich relativ leicht in Seen speichern. Da dafür nur wenige natürliche Seen zur Verfügung stehen, müssen im allgemeinen künstliche Stauanlagen erstellt werden, welche einen grossen Einfluss auf die Umwelt haben. Kleine Staubecken zur kurzzeitigen Regulierung bieten jedoch eine ideale Möglichkeit zum Ausgleich der Schwankungen zwischen Strombedarf und Stromerzeugung.

Im Gegensatz zu anderen Energieträgern benötigt der Kernbrennstoff infolge seiner extrem hohen Energiedichte nur wenig Lagerraum. Die Lagerung ist auch in bezug auf die Umwelteinwirkungen unbedenklich, und Kernbrennstoffe lassen sich zudem leicht transportieren. Diese Gründe führen dazu, dass dieser Primärenergieträger zur Langzeitlagerung bestens geeignet ist.

3.1.4 Versorgungssicherheit

Die elektrische Energie ist aus dem Gesichtswinkel der Versorgung die anpassungsfähigste Energieform, weil sie aus allen Primärenergieträgern erzeugt werden kann. Viele thermische Kraftwerke sind für den Betrieb mit verschiedenen Brennstoffen ausgelegt (im allgemeinen für Kohle und Heizöl), was die Anpassung der Betriebsweise an die Brennstoff-Marktbedingungen erlaubt.

Es ist zudem ein ausgedehntes europäisches Verbundsystem geschaffen worden, das den Stromaustausch zwischen den Partnern (Elektrizitätswerken) in den verschiedenen Ländern erlaubt. Die gesamte Übertragungskapazität der Verbundleitungen in den UNIPED-Mitgliedländern beträgt zurzeit 55000 MVA, d.h. etwa 12 % der gesamten installierten Leistung. Das Verbundnetz ermöglicht den einzelnen Elektrizitätswerken nicht nur den wirtschaftlichen Betrieb ihrer Versorgungsnetze, sondern trägt auch zur Reservestellung bei Störfällen in den Kraftwerken oder bei Engpässen in der Brennstoffversorgung einzelner Regionen bei. Als bestes Beispiel für die Bedeutung des Verbundbetriebs ist die Möglichkeit des Stromaustausches bei schwacher Hydraulizität in einzelnen Regionen anzuführen. Aber auch eine gegenseitige Aushilfe in Zeiten regionaler Brennstoffknappheiten ist bedeutsam.

Diese Eigenschaften des europäischen Verbundsystems werten die elektrische Energie zu einer besonders sicheren Energieform auf. Sie steht dem Abnehmer dauernd und sofort zur Verfügung, sei es durch Bedienen eines Leistungsschalters oder Leistungstrenners in der Schwerindustrie oder über einen Schalter für einen Haushaltapparat. Störungen, die Stromunterbrüche bei den Abnehmern verursachen, sind äusserst selten.

3.1.5 Finanzielle Abhängigkeit

Bei der Wahl des Primärenergieträgers spielen neben wirtschaftlichen Aspekten auch die Versorgungssicherheit und die sich eventuell ergebende finanzielle Abhängigkeit eine wesentliche Rolle. Seit der Erdölkrise von 1973/74 mit der enormen Verteuerung von Erdöl und Erdgas haben die Nicht-Energieproduzentenländer infolge der notwendigen Ölimporte einen Abfluss von grossen Devisenbeständen in die OPEC-Länder zu verzeichnen.

Die Preiserhöhungen für Erdöl haben auch dazu geführt, dass zur Schonung der beschränkten Erdöl-Weltreserven die Entwicklung anderer Primärenergiequellen vorangetrieben wird. Die Staaten Europas haben vor allem die Nutzung ihrer

Le stockage du charbon exige également des surfaces considérables. Il soulève en outre des problèmes d'environnement.

L'énergie hydraulique peut être aisément stockée dans de grands lacs ou retenues. Comme il y a peu de lacs naturels qui conviennent, l'énergie hydraulique est généralement stockée dans des retenues et des lacs artificiels, qui modifient profondément le milieu environnant. Les petits réservoirs utilisés pour la régulation à court terme font cependant de l'énergie hydraulique un moyen idéal d'équilibre entre la demande et la production d'électricité.

En comparaison des autres formes d'énergie, le combustible nucléaire n'exige que peu de place pour son stockage, en raison de sa densité énergétique extrêmement élevée. Le stockage de l'uranium ne crée aucune gêne directe pour l'environnement, et le combustible nucléaire peut être assez facilement transporté entre différents sites ou pays, ce qui en fait apparemment la forme d'énergie primaire qui se prête le mieux à un stockage à long terme.

3.1.4 Souplesse et sécurité de l'approvisionnement

L'électricité est de loin l'énergie la plus souple du point de vue de son approvisionnement, puisqu'elle peut être produite à partir de toutes les sources d'énergie primaire. De nombreuses centrales thermiques sont conçues pour une chauffe mixte – généralement pour le charbon et le fuel – et peuvent brûler l'un ou l'autre combustible suivant la situation du marché.

En outre, un réseau d'interconnexion très étendu a été mis en place en Europe pour permettre des échanges d'énergie entre les différentes entreprises d'électricité qui coopèrent entre elles. La capacité de transport totale des lignes d'interconnexion reliant les pays membres de l'UNIPED atteint actuellement 55000 MVA, soit 12 % de la puissance totale installée. L'interconnexion permet non seulement à chaque entreprise d'exploiter économiquement son réseau, mais elle assure aussi la mise à disposition de réserves entre pays en cas de panne d'unités de production ou de pénurie d'énergie primaire dans certaines régions. Les meilleurs exemples du rôle de l'interconnexion sont fournis jusqu'à présent par l'assistance importante prêtée aux régions hydroélectriques en période de sécheresse, mais une assistance similaire peut aussi être accordée aux régions en situation de pénurie de combustible.

Ces caractéristiques du réseau d'interconnexion européen font de l'électricité une source d'énergie particulièrement sûre. L'électricité est à la disposition immédiate de la clientèle tout au long de l'année. Il suffit d'actionner un commutateur, qu'il s'agisse d'un gros disjoncteur utilisé dans l'industrie lourde ou d'un petit interrupteur destiné aux applications domestiques, pour disposer de la quantité d'électricité désirée. Les défauts entraînant des interruptions de fournitures au niveau de la clientèle sont rarissimes.

3.1.5 Dépendance financière

Dans le choix des sources d'énergie primaire, outre les critères économiques, il convient également d'accorder une grande importance à la sécurité d'alimentation et à une éventuelle dépendance financière. Depuis la crise du pétrole de 1973-1974 et le renchérissement considérable du pétrole et du gaz naturel, les pays non producteurs doivent exporter des devises en bien plus grande quantité vers les pays membres de l'OPEC pour importer l'énergie dont ils ont besoin.

Par ailleurs cette forte augmentation du prix du pétrole a

eigenen Energiequellen erhöht, obschon viele Schwierigkeiten diesen Substitutionsprozess erschwerten. Die Energiepolitik der meisten europäischen Länder zielt auf eine Verminderung der Anhängigkeit von Energieimporten. Diese Zielsetzung steht auch in Übereinstimmung mit derjenigen der erdölproduzierenden Länder. Die Reduktion der Erdölimporte kann auch zu einer Stabilisierung der Energiepreise führen, was eine grundlegende Voraussetzung für die industrielle Weiterentwicklung der Industrie- wie der Entwicklungsländer ist. Allerdings ist die Erreichung einer Preisstabilität für andere Energieträger, wie der Kohle oder der Kernenergie, ebenfalls sehr wichtig.

3.2 Die elektrische Energie und die wirtschaftliche Entwicklung

3.2.1 Elektrizität ist unentbehrlich

Im Vergleich zu anderen Energieträgern ist Elektrizität universell anwendbar.

Während die direkte Energieversorgung mit Gas, Erdöl oder Kohle fast immer in irgendeiner Weise eine Umformung dieser Energie über die Verbrennungswärme erfordert, deckt die hochwertige elektrische ein weites und sehr unterschiedliches Bedarfsspektrum ab. Der Einsatz der Elektrizität, welche heute viele lebenswichtige Anwendungen umfasst, ist unentbehrlich geworden. Sie ist nicht mehr eine Energieform unter anderen, sie ist die unverzichtbarste geworden. Sie begleitet uns in unserem täglichen Leben, und niemand in unserer modernen Gesellschaft kann auf sie verzichten. Die benötigten Primärenergieträger können zwar von Land zu Land sehr unterschiedlich sein, auf den Einsatz der Elektrizität sind jedoch alle angewiesen.

3.2.2 Verbesserung der Arbeitsbedingungen durch den Einsatz der Elektrizität

Die Entdeckung der Elektrizität hat für die Industrie eine ebenso grosse technische Umwälzung bewirkt wie die Erfindung der Dampfmaschine im 18. Jahrhundert. Die erste technische Umwälzung hat in vielen Fällen noch eine Verschlechterung der Arbeitsbedingungen durch die oft damit verbundene Erhöhung des Produktionsrhythmus in Zusammenhang mit vielfach schmutzigen und gefährlichen Arbeitsgängen gebracht. Demgegenüber hat die Mechanisierung und Automatisierung, welche durch die Einführung der Elektrizität ermöglicht wurden, oft zur Reduktion der Arbeitsintensität und zu weniger monotonen Produktionsabläufen geführt. Die manuellen Routinearbeiten konnten zu einem grossen Teil durch Kontroll-, Steuerungs- und Unterhaltsarbeiten an Maschinen ersetzt werden. Die Arbeitsplätze sind durch Einführung von Rauchabzügen, Ventilationsanlagen und wirkungsvollen elektrostatischen Staubabscheidern sauberer geworden. Weiter hat auch eine gute Beleuchtung dazu beigetragen, Ermüdungserscheinungen zu vermindern und den Arbeitsplatz sicherer zu gestalten.

Die Entwicklung der Elektronik hat die inner- und ausserbetrieblichen Kommunikationsmöglichkeiten (Telefon, Fernsehen, Radio, Telex usw.) erleichtert. Elektronische Datenverarbeitungssysteme verbessern die Organisation und Kontrolle der Produktionsprozesse und führen zu qualitativ höherwertigen Produkten.

eu pour effet de stimuler la production d'autres sources d'énergie primaire, de façon à ne pas épuiser trop rapidement les réserves limitées de pétrole. Les pays européens ont ainsi accéléré la production des sources d'énergie nationales, malgré les multiples difficultés qui ont ralenti ce processus. Quoi qu'il en soit, la politique de la majorité des pays européens vise à réduire au minimum la dépendance des importations d'énergie, objectif qui semble rejoindre les intérêts de la plupart des pays producteurs de pétrole. La réduction des importations de pétrole pourrait contribuer à stabiliser le prix de l'énergie dans l'avenir, élément essentiel pour la poursuite du développement industriel aussi bien dans les pays industrialisés que dans les pays en voie de développement. Toutefois, la stabilité du prix des autres sources d'énergie, le charbon et l'énergie nucléaire en particulier, joue elle aussi un rôle important.

3.2 L'électricité et l'avenir économique

3.2.1 L'électricité est indispensable

En comparaison des autres formes d'énergie, l'électricité est universelle et polyvalente.

Alors que la fourniture directe d'énergie sous forme de gaz, de pétrole ou de charbon nécessite presque toujours sous une forme ou une autre la transformation de cette énergie en chaleur par combustion, l'électricité – énergie de haute qualité – couvre une gamme de besoins beaucoup plus vaste et variée. Son utilisation, qui s'est étendue à de multiples activités vitales, la rendent indispensable. L'électricité n'est pas une forme d'énergie parmi d'autres; elle est essentielle. Elle nous accompagne constamment dans notre vie quotidienne et personnelle, ni aucune société moderne, ne peut désormais s'en passer. Les sources d'énergie primaire disponibles varient considérablement suivant les pays, mais les besoins d'électricité existent toujours.

3.2.2 Amélioration des conditions de travail et de fabrication grâce à l'électricité

L'avènement de l'électricité a constitué pour l'industrie une révolution technique comparable à l'invention de la machine à vapeur au 18^e siècle. Cette première révolution industrielle avait engendré dans bien des cas une dégradation des conditions de travail, dans la mesure où l'intense accélération du rythme de production donnait lieu à des travaux pénibles, insalubres et souvent dangereux. En revanche, la mécanisation et l'automatisation rendues possibles par l'électricité ont réduit l'intensité des tâches, qui sont fréquemment devenues moins monotones, aussi bien au niveau de la production que de la gestion. Le travail manuel de routine a été remplacé dans une large mesure par le contrôle, la commande et l'entretien des machines. Les lieux de travail sont devenus plus propres grâce à l'emploi de systèmes d'évacuation des fumées, d'installations de ventilation et de répoussoirs électrostatiques efficaces et appropriés. Enfin, la présence d'un bon éclairage adéquat a diminué la fatigue et augmenté la sécurité aux postes de travail.

Les matériels électroniques ont facilité les communications à l'intérieur des entreprises ainsi que les liaisons avec le monde extérieur (téléphone, télévision, radio, télex, etc.). Les ordinateurs ont amélioré l'organisation et le contrôle de la production ainsi que la qualité des produits.

Tous ces éléments ont augmenté sensiblement la productivité des installations industrielles et fait progresser les traitements et les salaires effectifs dans des proportions considéra-

Alle diese Einflussfaktoren haben zu einer spürbaren Erhöhung der Produktivität der industriellen Anlagen beigetragen und damit eine erhebliche Erhöhung der Gehälter und Löhne bewirkt. Die Elektrizität hat in diesem Sinne die Entwicklung der Industrieländer, vor allem in den letzten drei Jahrzehnten, gefördert.

Laut einer amerikanischen Studie [2] führt der technische Fortschritt zu einer zunehmenden Verwendung elektrischer Energie zur Herstellung neuer Produkte, während andererseits der Gesamtenergieaufwand zur Herstellung dieser Güter abnimmt. In dieser Studie wurde der Energieverbrauch von 350 verschiedenen Produkten des Industrie- und Dienstleistungssektors untersucht. Gesamthaft ergibt sich bei allen betrachteten Kategorien zusammen eine Erhöhung des Elektrizitätsverbrauchs um 8 % und eine Verminderung des gesamten Primärenergieaufwandes um 18 % (alles pro Dollar Aufwand zur Herstellung des Endproduktes). Die technisch anspruchsvollsten Güter wie optische Instrumente, Computeranlagen, elektrische Apparate und Flugzeuge benötigen in Prozent des Produktionswertes am wenigsten Energie, hingegen ist der Elektrizitätsbedarf am höchsten.

Aus dieser Studie kann geschlossen werden, dass der Stromanteil an den Kosten des Endproduktes einen Anhaltspunkt über den technischen Grad des Fabrikationsprozesses gibt. Diese Überlegungen gelten vor allem für die technisch hochentwickelten Länder.

Die zunehmende Verwendung elektrischer Energie hat auch anderen Wirtschaftssektoren namhafte Verbesserungen ermöglicht. So ist zum Beispiel heute die Produktion und der Handel von landwirtschaftlichen Produkten mehr oder weniger unabhängig von der Witterung und der Jahreszeit geworden. Die elektrische Trocknung und das Mahlen von Getreide und Gras ermöglicht die Nahrungsmittellagerung für das Vieh. Elektrisch betriebene Bewässerungssysteme garantieren auch in trockenen Jahren gute Ernten. Datenverarbeitungszentren ermitteln Ernährungsprogramme für die Viehhaltung, die optimale Bewirtschaftung von landwirtschaftlichen Gütern usw.

Die Elektrizität und die Traktoren haben die Landwirtschaft stark mechanisiert. Der Elektromotor hat schwere und schmutzige manuelle Arbeiten verdrängt. All dies hat zu bedeutenden Fortschritten bei den Arbeitsbedingungen, zur Verlängerung der Freizeit, zur Produktionssteigerung und damit zur Erhöhung des Lebensstandards des Landwirtes geführt.

3.2.3 Elektrizität und Wohnqualität

Der Elektrizitätsbedarf der Haushalte hat sich im Verlaufe des letzten Jahrzehnts und insbesondere seit der Erdölkrise drastisch verändert. Bis anhin waren die Raumheizung und die Warmwasserbereitung die weitaus wichtigsten Energieverbraucher. Dank einer verbesserten Gebäudeisolation, der Nutzung der «freien Wärme» und vermehrtem Einsatz der elektrischen Energie nähert sich zum Beispiel in Schweden der Stromanteil eines modernen Wohnhauses mittlerer Bauqualität bereits der Marke von 50 % des Gesamtenergiebedarfs.

Die konventionellen Brennstoffe und die Fernheizung bilden sich in modernen Stadtvierteln zurück. Weiter scheint sich die in Schwachlastzeiten eingesetzte elektrische Energie als wirtschaftlichste Energie zur Warmwasserbereitung in den Vordergrund zu schieben. Bei einer allgemeinen Betrachtung der elektrischen Warmwasserbereitung als Möglichkeit zur Verbesserung der Qualität und Wirtschaftlichkeit von moder-

bles. En ce sens, l'électricité a contribué au développement des pays industrialisés, notamment pendant les trois dernières décennies.

Selon une étude américaine [2], le progrès technique conduit à une utilisation croissante de l'électricité pour fabriquer de nouveaux produits alors que, dans le même temps, la consommation totale d'énergie nécessaire à la fabrication de ces produits diminue. Cette étude américaine analyse la consommation d'énergie pour 350 produits dans le secteur industriel et des services. Toutes catégories confondues, elle révèle une augmentation de la consommation d'électricité de 8 % et une diminution de la consommation totale d'énergie primaire de 18 % par dollar de produit fini. Les produits les plus perfectionnés, comme les instruments d'optique, les ordinateurs, les appareils électriques et les avions, sont ceux qui consomment le moins d'énergie en pourcentage de la valeur du produit, mais le plus d'électricité.

Les conclusions de cette étude semblent indiquer que la part d'électricité dans le coût du produit fini donne une idée de la technicité du procédé de fabrication. Ces conclusions sont particulièrement pertinentes pour les pays à la pointe du progrès technique.

L'utilisation accrue de l'électricité a apporté des améliorations comparables dans d'autres secteurs de la vie économique. Dans l'agriculture, par exemple, la production et la commercialisation des produits sont devenues aujourd'hui plus ou moins indépendantes des conditions atmosphériques et des saisons. Le séchage du grain et du foin permet de stocker des aliments pour le bétail, puis de les broyer dans des moulins électriques. Des installations d'irrigation électriques garantissent de bonnes récoltes, même les années de sécheresse. Les ordinateurs se sont multipliés dans l'agriculture depuis que les fermiers confient leurs calculs, les programmes d'alimentation du bétail, etc., à des centres de traitement des données gérés par des coopératives.

L'électricité et les tracteurs ont permis une mécanisation poussée des travaux agricoles. Le moteur électrique a supprimé les travaux manuels pénibles et insalubres. Cela s'est traduit par une amélioration sensible des conditions de travail, une augmentation des temps de loisir, un accroissement de la production et, par conséquent, une élévation du niveau de vie des agriculteurs.

3.2.3 L'électricité et les établissements humains

La consommation d'énergie des habitations a radicalement changé au cours de la dernière décennie et en particulier depuis la crise du pétrole de 1973/74. Jusque là, l'énergie consommée dans les habitations était essentiellement destinée au chauffage de locaux et de l'eau. Or, grâce à l'amélioration de l'isolation thermique et de l'étanchéité, la chaleur «gratuite» et l'électricité domestique tendent dès à présent à couvrir 50 % des besoins d'énergie totaux d'une maison moderne de qualité moyenne en Suède.

Le marché des combustibles et du chauffage urbain est en recul dans les nouveaux quartiers urbains. De plus, il semble que l'électricité appelée hors de la période de pointe soit le «combustible» le plus compétitif pour le chauffage de l'eau. Ainsi donc, si le chauffage électrique de l'eau est considéré, d'une façon générale, comme une exigence de qualité et d'économie dans les constructions modernes, la demande d'énergie

Tabelle V

Anwendung	10 europäische Länder nach [4]	WEK-Bericht über das Vereinigte Königreich (1977)	Langfristiger Trend in Skandinavien
Raumheizung	20,6	14,4	3...5
Kühlung	0,6	0	0
Warmwasserbereitung	5,0	4,7	5
Haushaltgeräte	6,7	3,7	5
	32,9	22,8	13...15

nen Wohnbauten dürfte für den restlichen Energieverbrauch nur noch die elektrische Energie wirtschaftlich konkurrenzfähig sein.

Die Tabelle V zeigt die grossen Energiesparmöglichkeiten in Einfamilienhäusern. Es werden die Resultate von Messungen in Altbauten aus 10 europäischen Ländern mit der heutigen Entwicklung in Skandinavien, wo gut isolierte Wohnungen vorwiegen, verglichen. Die oben skizzierte Entwicklungsrichtung wurde auch in Grossbritannien anlässlich der Weltenergiekonferenz 1977 bestätigt [3]. In projektierten britischen Wohnhäusern mit geringem Energiebedarf dürfte sich der Endenergieverbrauch auf etwa einen Drittel der in Tabelle V angegebenen Werte reduzieren lassen (die in Tabelle V angeführten Energieverbrauchszahlen stellen einen repräsentativen Durchschnitt aller bestehenden Wohngebäude Grossbritanniens dar).

Der Anteil «Raumheizung und Warmwasserbereitung» umfasst den Energiebedarf für das gesamte benötigte Heiz- und Brauchwarmwasser (Einspeisetemperatur $\approx 7^\circ\text{C}$, Rücklauftemperatur $\approx 25^\circ\text{C}$). Deshalb ist zur Warmwassererzeugung für eine vierköpfige Familie ein Energieverbrauch von über 5000 kWh/Jahr erforderlich. Ein «Ökologiehaus» mit einem biologischen Abbausystem und einer Wasserwiederaufbereitungsanlage dürfte sich deshalb in Zukunft als interessante Lösung erweisen.

Man hat es bis heute als notwendig erachtet, die Wohnhäuser an ein möglichst aufgefächertes Versorgungsnetz anzuschliessen (Elektrizität, Gas, Telefon, Wasser, Abwasser, Fernwärme, Kehrtrabfuhr). Mit neuen Systemen für den biologischen Abbau können einige dieser Systeme entfallen, was den Städteplanern neue Perspektiven zur Quartierplanung eröffnet. Die elektrischen und die Telefonnetze dürften aber auch in Zukunft bestehen bleiben.

Die Überlegungen führen ebenfalls zum Schluss, dass auf die Elektrizität nicht verzichtet werden kann. Je mehr der Gesamtenergiebedarf im Haushaltsektor reduziert wird, desto mehr kommt ein einziger Energieträger zum Einsatz, nämlich die Elektrizität.

3.2.4 Die Rolle der Elektrizität in der Volkswirtschaft

Die Elektrizität ist gekennzeichnet durch ihre zentrale Erzeugung in einer geringen Anzahl Kraftwerke relativ grosser Leistung sowie durch ihre Feinverteilung, die eine dezentralisierte Versorgung erlaubt.

Bis heute ist es nicht gelungen, die rasante Entwicklung zur Konzentration der industriellen Erzeugung in Grossunternehmen und in Großstädten zu bremsen. Dies ist eine typische

Tableau V

Application	Dix pays européens selon Fisk [4]	Rapport du Royaume-Uni (CME 1977)	Tendances actuelles à long terme en Scandinavie
Chauffage des locaux	20,6	14,4	3...5
Refroidissement	0,6	0	0
Chauffage de l'eau	5,0	4,7	5
Applications électrodomestiques	6,7	3,7	5
	32,9	22,8	13...15

restante ne pourra être satisfaite économiquement que par l'électricité.

Le tableau V illustre les énormes possibilités de réduction de la consommation d'énergie dans les maisons individuelles. Il compare les résultats obtenus avec les anciennes habitations dans dix pays européens et les tendances actuelles de maisons scandinaves surisolées. Ces tendances ont été confirmées par le Royaume-Uni à l'occasion de la Conférence Mondiale de l'Energie de 1977 [3]. Dans les nouvelles maisons à faible consommation d'énergie en cours de mise au point au Royaume-Uni, la consommation nette pourra être limitée à environ $\frac{1}{3}$ de la valeur attribuée au Royaume-Uni dans le tableau V, qui constitue une moyenne pour l'ensemble des logements de ce pays dans les circonstances actuelles.

Le poste «chauffage des locaux et chauffage de l'eau» inclue l'énergie nécessaire au chauffage de toute l'eau chaude consommée dans la maison (température d'arrivée $\approx 7^\circ\text{C}$, température d'évacuation $\approx 25^\circ\text{C}$). Par conséquent, une consommation d'énergie bien supérieure à 5 MWh/an (pour une famille de 4 personnes) est affectée au chauffage de l'eau. La «maison écologique» équipée d'une station de biodégradation et de recyclage de l'eau pourrait de ce fait se révéler intéressante dans l'avenir.

Jusqu'à présent, on a estimé nécessaire de raccorder les maisons à tout un ensemble de réseaux de grande envergure: électricité, gaz, téléphone, eau, tout-à-l'égout, chauffage urbain, ordures ménagères. Avec les nouveaux systèmes individuels de biodégradation, les besoins diminueraient pour certains de ces services, et les urbanistes pourraient créer de nouveaux types de communauté urbaine. Les réseaux électrique et téléphonique seraient maintenus de toute façon.

Ces réflexions aboutissent à la conclusion que l'électricité reste indispensable. Plus la consommation d'énergie domestique diminuera, plus on aura de raisons d'utiliser un seul vecteur énergétique: l'électricité.

3.2.4 Rôle de l'électricité dans l'économie nationale

L'électricité est une forme d'énergie qui se caractérise par une production concentrée en un petit nombre de centrales de grande puissance et par une distribution décentralisée, qui autorise une dispersion et une décentralisation de la consommation.

Jusqu'à présent, la société s'est révélée incapable de renverser la forte tendance à la concentration de la production industrielle dans de grandes entreprises et de la population dans de grandes villes, tendances qui reflètent le développement économique du XX^e siècle. Cependant, l'électricité a contribué dans

Entwicklung des 20. Jahrhunderts. Allerdings hat die elektrische Energie in grossem Ausmass dazu beigetragen, die mit dieser Entwicklung zusammenhängenden Schwierigkeiten zu entschärfen. Gleichzeitig hat sie den kleinen Industrie- und Gewerbeunternehmen eine Überlebenschance gegeben, was zu einer besseren Verteilung der wirtschaftlichen Aktivitäten über das ganze Land geführt hat. Damit hat sie zur Verlangsamung der Landflucht beigetragen und eine gesunde regionale Entwicklung gefördert.

Dies wird durch die feststellbaren Unterschiede zwischen der Entwicklung in Industrieländern mit grossen Vorkommen an fossiler Primärenergie und Ländern mit Wasserkraftreserven bestätigt. In den ersteren hat die Industrialisierung mit der Erfindung der Dampfmaschine begonnen, was zu grossen Ballungen städtischen Charakters geführt hat. In den letzteren, die nicht auf fossile Brennstoffe, aber auf Wasserkraft zurückgreifen können, begann die grossmaßstäbliche Industrialisierung erst zu einem bedeutend späteren Zeitpunkt im Gleichschritt mit der Entwicklung der Wasserkraft.

Die mit der Elektrifizierung erreichte gleichmässige Energieversorgung hat den Industrieunternehmen eine Dezentralisierung ihrer Betriebe über das ganze Land ermöglicht. Dadurch wurde das Entstehen von grossen Industrieballungen und Großstädten verhindert. Typische Beispiele dafür sind Norwegen, Schweden und die Schweiz.

Es besteht ein gesicherter Zusammenhang zwischen der Wirtschaftsentwicklung und dem Energieverbrauch. Allerdings hat seit der Erdölkrise von 1973/74 der spezifische Pro-Kopf-Energieverbrauch weniger stark zugenommen als vorher. Der Anteil der Elektrizität am Gesamtenergieverbrauch ist von Land zu Land sehr unterschiedlich. Dabei ist der Stromverbrauch nicht allein von wirtschaftlichen Gegebenheiten abhängig, sondern es üben auch die natürlichen Vorkommen an Energiequellen und Rohstoffen sowie die industrielle Entwicklung einen erheblichen Einfluss aus.

In den Volkswirtschaften spielt die Elektrizitätswirtschaft im weitesten Sinne des Wortes eine ganz wesentliche Rolle. Diese Tatsache ist allerdings sehr schwierig durch genaue Zahlen zu belegen, da die einzelnen nationalen Buchhaltungen auf unterschiedlichen statistischen Grundlagen aufgebaut sind. Aus den Statistiken der Bundesrepublik Deutschland, Grossbritanniens und Schwedens geht hervor, dass 4 bis 6% der erwerbstätigen Bevölkerung direkt oder indirekt im Elektrizitätssektor beschäftigt sind. Das Tätigkeitsgebiet umfasst die Fabrikation elektrischer Apparate und Maschinen, Elektrizitätswerke, die Telekommunikation, die Elektroinstallation oder den Handel mit elektrischen Geräten. Auch die Planung und Erstellung neuer konventionell-thermischer oder nuklearer Kraftwerke spielt für die Volkswirtschaft eine wichtige Rolle, einerseits wegen des erforderlichen hohen Investitionsbedarfs und andererseits wegen der mit diesen Bauten verknüpften Auswirkungen auf den Arbeitsmarkt. In seiner amerikanischen Studie wird der arbeitsmässige Aufwand zur Errichtung eines 1000-MW-Kraftwerkes (Turbinen, Dampferzeuger usw.) auf rund 30000 Mannjahre geschätzt. Zudem liefert jedes neue 1000-MW-Kraftwerk Energie zur Versorgung von etwa 100000 bis 150000 Arbeitsplätzen.

3.3 Elektrizität und Umwelt

Alle industriellen Tätigkeiten, inklusive die Erzeugung elektrischer Energie, haben Auswirkungen auf die Umwelt. Auch

eine large mesure à pallier les inconvénients liés à ce développement. Dans le même temps, elle a donné une chance de survie aux petites entreprises industrielles et, ce faisant, satisfait aux exigences essentielles d'une répartition meilleure et plus homogène des activités économiques à travers le pays. L'électricité a ainsi contribué au ralentissement de l'exode rural et favorisé le développement régional.

Les conclusions précédentes semblent vérifiées par la différence que l'on peut noter entre le développement industriel des pays aux ressources de combustibles fossiles concentrées et celui des pays aux ressources hydroélectriques dispersées. Dans les premiers, l'industrialisation débuta avec l'invention de la machine à vapeur et aboutit à de vastes agglomérations urbaines. Dans les seconds, dépourvus de combustibles fossiles, mais disposant d'importantes ressources hydroélectriques, l'industrialisation à grande échelle ne commença que bien plus tard avec le développement de l'hydroélectricité.

L'énergie électrique fut alors distribuée sur de vastes superficies, ce qui permit la répartition des entreprises industrielles sur tout le territoire. Ce développement contribua à empêcher la création de grands centres industriels et de villes gigantesques dans ces pays, dont la Norvège, la Suède et la Suisse sont des exemples typiques.

Il est communément admis qu'il existe une relation entre l'activité économique et la consommation d'énergie. Quoi qu'il en soit, il est établi que depuis la crise du pétrole de 1973/74, l'accroissement du produit national brut spécifique (PNB) provoque une augmentation moindre de la consommation d'énergie par habitant. La part de l'électricité dans la consommation globale d'énergie varie sensiblement suivant les pays. Mais la consommation d'électricité n'est pas fonction des seules conditions économiques; elle dépend aussi des ressources naturelles du pays, du développement et de la nature de ses principales industries ainsi que du développement général des autres secteurs de l'industrie.

L'industrie électrique, au sens le plus large du terme, joue un rôle important dans les économies nationales. Il est difficile d'obtenir des chiffres sûrs pour illustrer cette affirmation, dans la mesure où les statistiques nationales ne sont pas harmonisées. Selon les statistiques de la République Fédérale d'Allemagne, de la Grande-Bretagne et de la Suède, 4 à 6% de la population active s'occupent directement ou indirectement d'électricité, autrement dit travaillent dans la construction électrique, la production et la distribution d'électricité, les télécommunications, l'installation électrique ou la vente d'appareils électriques. La création de nouvelles centrales électriques, classiques ou nucléaires, joue à l'évidence un rôle essentiel dans l'économie nationale, en raison d'une part de la lourdeur des investissements et, d'autre part, de l'importance des effectifs affectés à la construction de ces ouvrages. A titre d'exemple, signalons qu'une étude américaine a estimé à 30000 hommes-an les besoins de main-d'œuvre nécessaires pour fabriquer les machines (turbines, générateurs de vapeur, etc.) d'une tranche de 1000 MW et pour construire cette tranche. Chaque nouvelle centrale de 1000 MW fournit suffisamment d'électricité pour créer ou maintenir 100000 à 150000 emplois.

3.3 L'électricité et l'environnement

Toutes les activités industrielles, y compris la production d'électricité, affectent l'environnement d'une manière ou d'une

jedes neu erstellte Kraftwerk beeinflusst die Umwelt. Grundsätzlich ist zu fragen, ob die Elektrizität die Umwelt mehr oder weniger gefährdet als andere konkurrierende Energieformen und ob die schädigenden Auswirkungen des Energieeinsatzes die Vorteile ihrer Nutzung übertrifft.

In den letzten Jahren haben sich zahlreiche Untersuchungen auf der ganzen Welt mit den Auswirkungen der industriellen Tätigkeit und insbesondere der Elektrizitätsindustrie auf die Umwelt befasst. Unter gebührender Berücksichtigung des Risikopotentials der Kernenergienutzung mussten auch die geringfügigsten Einflüsse dieser Stromerzeugungsart auf die Umwelt detailliert abgeklärt werden. Diese Studien haben zu Konzeptionen und Betriebsvorschriften geführt, die die Kernkraftwerke wahrscheinlich zu den sichersten Anlagen in unserer modernen Industrielwelt machen. Der Nuklearsektor dürfte die erste Industriebranche sein, die auf seriöse Weise Anstrengungen unternimmt, ihre gesamten anfallenden Abfälle vollständig zu entsorgen.

Seit kurzem beginnt man, die im nuklearen Sektor angewandten Sicherheitsprinzipien und -konzepte auch auf andere Industrie- und Energieprozesse zu übertragen. Dabei zeigen die ersten Ergebnisse, dass viele Industrieprozesse die Umwelt weit stärker beeinflussen, als man früher vermutet hat. Dieser Hintergrund dient dazu, nun die Auswirkungen der einzelnen Kraftwerkstypen auf die Umwelt aufzuzeigen.

3.3.1 Die Wasserkraft

Die Wasserkraft kann als praktisch vollkommene Energiequelle bezeichnet werden. Sie ist erneuerbar, sauber und lässt sich relativ einfach speichern. Zudem erfüllt sie praktisch alle Bedingungen, welche von Verfechtern alternativer Energiesysteme gefordert werden.

Durch das Unter-Wasser-Setzen relativ grosser Gebiete während gewissen Jahreszeiten verursachen Speicherkraftwerke eine begrenzte Umweltschädigung. Diese Gebiete können anderweitig nicht mehr benutzt werden. Auch die grossen Staudämme bringen zweifellos eine gewisse Unfallgefahr. Auf der andern Seite können Stauseen zu einer Verschönerung der Landschaft führen und positive Auswirkungen auf Tourismus und Freizeitgestaltung haben.

Einige Länder haben gewisse Flussläufe unter Schutz gestellt, um letzte Reste unberührter Natur zu erhalten.

3.3.2 Konventionell-thermische Anlagen (Öl-, Kohle-, Gaskraftwerke usw.)

Die Verwendung von konventionellen Brennstoffen wie Kohle, Heizöl oder Gas wirft verschiedene Umweltprobleme auf.

Schon die Förderung von Kohle, Erdöl und Erdgas ist mit grossen Risiken verbunden. Der Erdöltransport in Hochseetankern kann ungünstige Auswirkungen auf die Ökologie des Meeres haben und derjenige von Erdgas in Methantankschiffen kann die Hafenanlagen gefährden (Brand- und Explosionsgefahr).

Auch die Verfeuerung fossiler Brennstoffe führt zu umweltschädigenden Umwelteinflüssen, die in ihren detaillierten Auswirkungen bis heute noch nicht genau untersucht worden sind. Vor allem interessiert der mit dem Rauchgas entweichende Schwefel bei der Kohle- und Heizölverfeuerung. Der Schwefelausstoss kann durch eine Entschwefelung des Brennstoffes re-

autre. Ainsi, chaque nouvelle centrale électrique influe sur l'environnement. La question fondamentale est de savoir, d'une part, si l'électricité est plus ou moins polluante que les autres formes d'énergie concurrentes et, d'autre part, si l'accroissement de la consommation d'énergie offre à la société des avantages supérieurs aux nuisances qu'elle peut causer à l'environnement.

Au cours des dernières années, de nombreux travaux ont été consacrés dans le monde entier à l'étude de l'influence de l'industrie et, plus particulièrement, de l'industrie électrique sur l'environnement. Compte tenu des risques potentiels du nucléaire, il a fallu étudier dans leurs moindres détails les effets de cette forme d'énergie sur l'environnement pris dans son sens large. Finalement, ces études ont abouti à une conception et un mode d'exploitation qui font probablement des centrales nucléaires les installations les plus sûres du monde industriel moderne. Par ailleurs, il semble que l'industrie nucléaire soit bien le premier secteur industriel à faire des efforts sérieux pour éliminer la quasi-totalité des déchets qu'il produit.

Les principes et les méthodes d'appréciation de la sûreté des centrales nucléaires commencent, depuis peu, à être appliquées à d'autres procédés industriels ou énergétiques. Les premiers résultats montrent qu'un grand nombre de ces procédés influe sur l'environnement avec une gravité que l'on faisait que soupçonner jusqu'à présent. C'est sur cette toile de fond que nous allons décrire l'impact des divers types de centrales électriques sur l'environnement.

3.3.1 Hydro-électricité

L'énergie hydraulique est une forme d'énergie presque parfaite. Elle est renouvelable, elle est propre et elle peut être stockée. Elle satisfait pratiquement à toutes les exigences des défenseurs des sources d'énergie renouvelable.

Du point de vue de l'environnement, le dommage principal dû à l'énergie hydraulique est la mise en eau de zones relativement étendues pendant certaines périodes de l'année. Il est évident que le sol inondé ne peut être utilisé à d'autres fins. Les grands barrages comportent sans aucun doute des dangers d'accident. En outre, des modifications climatiques et écologiques peuvent survenir dans les zones de réalisation de grands projets hydroélectriques. En revanche, il est manifeste que la création de nouveaux lacs a considérablement amélioré l'environnement dans certaines régions et en particulier a pu avoir d'importants effets positifs sur le tourisme et les loisirs.

Plusieurs pays ont décidé de préserver certaines rivières de toute atteinte afin de sauvegarder les derniers bastions de nature inviolée, lorsque tous les environs ont été équipés.

3.3.2 Electricité d'origine thermique (centrales au fuel, au charbon, au gaz, etc.)

L'utilisation de combustibles classiques tels le charbon, le fuel et le gaz dans les centrales thermiques soulève différents problèmes touchant à l'environnement.

L'extraction du charbon, mais aussi du pétrole et du gaz naturel, comporte de grands risques. Le transport du pétrole dans des navires pétroliers peut menacer l'écologie marine, et le transport du gaz naturel dans des méthaniers peut provoquer des catastrophes dans les ports.

La combustion des combustibles classiques a des effets sensibles sur l'environnement, et ces effets n'ont pas fait l'objet

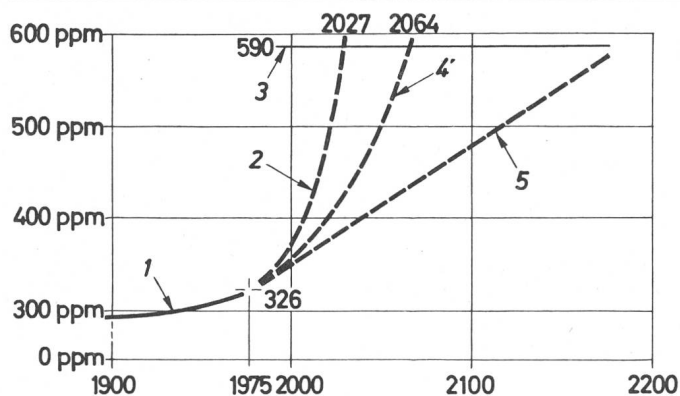


Fig. 2 Entwicklung des Kohlendioxydgehalts in der Luft
Evolution calculée de la teneur de l'atmosphère en gaz carbonique

- 1 = Vor der industriellen Revolution
Valeurs avant la révolution industrielle
- 2 = Jährlicher Verbrauchszuwachs der verfeuerten
Brennstoffe: 5 %
Accroissement annuel de la combustion: 5 %
- 3 = Verdoppelung
Doublement
- 4 = Jährlicher Verbrauchszuwachs der verfeuerten
Brennstoffe: 2 %
Accroissement annuel de la combustion: 2 %
- 5 = Stabiler Brennstoffverbrauch
Combustion constante

duziert werden, aber die dabei entstehenden Abfälle müssen auf befriedigende Weise beseitigt werden.

Der Schwefelausstoß gilt als Maßstab der Umweltschädigung. Schwefel wird mit den Rauchgasen über weite Strecken transportiert. Schwermetalle wie Vanadium und Quecksilber sind weitere Verunreinigungen, die über die Rauchgase in die Atmosphäre abgegeben werden.

Bei der Verfeuerung von Brennstoffen entstehen auch Stickoxyde und aromatische Kohlenwasserstoffe. Letztere bilden sich vor allem bei der Verfeuerung von Brennstoffen mit hohem Feuchtigkeitsgehalt und tiefem Heizwert, wie z.B. Holz oder Torf. Da einige dieser Substanzen als krebserregend bekannt sind, sollten diese Auswirkungen noch genauer untersucht werden, bevor diese Brennstoffe in grossen Mengen verfeuert werden.

Kohlenoxyde entstehen bei der Verfeuerung aller Brennstoffe. Die Figur 2 zeigt die Entwicklung des Kohlendioxydanteils in der Atmosphäre bei einer weiteren Steigerung des Einsatzes fossiler Brennstoffe im heutigen Rhythmus. Einige Spezialisten glauben, dass eine solche Entwicklung zu einer Änderung der Lufttemperaturen auf der ganzen Erde führen könnte.

Die erwähnten Emissionen ergeben sich sowohl bei der direkten Verfeuerung der fossilen Brennstoffe beim Endverbraucher wie auch beim Einsatz in konventionell-thermischen Kraftwerken. Allerdings ist eine Reduktion dieser umweltschädigenden Einflüsse in wenigen, dafür aber leistungsstärkeren Anlagen besser möglich, da die Kontrollen und das Ergreifen geeigneter Massnahmen besser zu bewerkstelligen sind.

3.3.3 Elektrizität aus Kernkraftwerken

Die Kernenergie wird oft aus Gründen des hohen Unfallrisikos und der entstehenden hochradioaktiven Abfälle aus der Kernspaltung kritisiert. Diese polemischen Anschuldigungen werden erhoben, obwohl mehrere internationale Studien gezeigt haben, dass die Risiken der Kernenergie bedeutend geringer sind als andere Risiken der heutigen modernen Zivilisation. In verschiedenen Ländern hat sich diese Polemik zu einer grundsätzlichen politischen Diskussion ausgeweitet.

Der Bau neuer Kernkraftwerke ist streng reglementiert. In einigen Ländern haben die Elektrizitätswerke den Nachweis zu erbringen, dass eine sichere und dauerhafte Lagerung des hochaktiven Abfalls technisch möglich ist. Es gibt allerdings auch Länder, in denen die Kernenergie-debatte weniger emotionell geführt wird, so dass die begründete Hoffnung besteht, dass die Weiterentwicklung der Kernenergie nicht nachhaltig verhindert wird.

d'études suffisamment détaillées jusqu'à présent. On s'est surtout intéressé au soufre rejeté avec les fumées de la combustion du charbon et du pétrole. Les rejets de soufre peuvent être évités en désulfurant le combustible ou les fumées, mais il faut dans l'un comme dans l'autre cas éliminer les déchets de façon satisfaisante.

Le soufre a été utilisé comme révélateur d'autres substances polluantes issues de la combustion. Il est apparu qu'il pouvait être transporté dans les fumées sur de longues distances. Les métaux lourds, comme le vanadium et le mercure, constituent d'autres impuretés contenues dans les fumées.

La combustion dégage des oxydes d'azote et des hydrocarbures polyaromatiques. Ces derniers apparaissent notamment en cas de combustion de combustibles à forte teneur en humidité et à faible pouvoir calorifique tels le bois et la tourbe. Comme certaines de ces substances sont connues pour être cancérogènes, il convient d'étudier de près ces effets avant d'utiliser les combustibles en cause sur une grande échelle.

Toutes les combustions ont ceci en commun qu'elles libèrent du gaz carbonique. La fig. 2 illustre l'évolution du taux de gaz carbonique dans l'atmosphère, dans l'hypothèse où la combustion de combustibles fossiles continuerait d'augmenter au rythme actuel. Selon certains experts, une telle évolution pourrait aboutir à une modification générale de la température dans le monde entier.

Les effets que nous venons d'évoquer résultent aussi bien de la combustion de combustibles fossiles directement chez le consommateur final que de la combustion de ces mêmes combustibles dans des centrales thermiques classiques. Cependant, il est bien plus facile de neutraliser ces effets si la combustion s'effectue dans un petit nombre d'installations puissantes, où des experts peuvent la contrôler et prendre les mesures qui s'imposent.

3.3.3 Electricité d'origine nucléaire

Nombreux sont ceux qui ont critiqué l'utilisation de l'énergie nucléaire en raison des risques d'accidents graves qu'elle ferait courir et des déchets hautement radioactifs engendrés par la fission. La polémique continue, bien que plusieurs études internationales aient montré que le risque lié au nucléaire était inférieur aux risques de bien d'autres activités de la civilisation moderne. Cette polémique s'est transformée dans plusieurs pays en un débat politique de fond.

La création de nouvelles centrales nucléaires a été strictement réglementée et, dans certains pays, les entreprises d'électricité sont tenues de prouver qu'il est techniquement possible de stocker sûrement les déchets hautement radioactifs. Toute-

Im Vergleich zu konventionell-thermischen Kraftwerken besitzen Kernkraftwerke den Vorteil, dass keine Verbrennungsrückstände wie Schwefel, Schwermetalle, Stickoxyde und Kohlenwasserstoffe anfallen. Die entstehende Radioaktivität kann auf einem sehr tiefen, gesetzlich festgelegten Niveau gehalten werden. Kernkraftwerke sind Anlagen, die nur sehr geringe Auswirkungen auf die Umwelt haben.

Die Kernenergietechnik hat sich bis heute als ausserordentlich sicher erwiesen. Dies ist auf die detaillierten Untersuchungen des Risikopotentials zurückzuführen, die aufgrund strenger gesetzlicher Vorschriften beim Bau jedes neuen Kraftwerkes erfolgen müssen. Das Risiko eines tödlichen Unfalls im gesamten konventionell-thermischen Kreislauf bei der Verfeuerung fossiler Brennstoffe liegt bedeutend über demjenigen, das bei der Kernenergie zu erwarten ist. Theoretisch verbleibt allerdings immer ein gewisses Restrisiko, wie zum Beispiel eine Schmelzung des Reaktorkerns. In verschiedenen Ländern wurde die Wahrscheinlichkeit eines solchen Unfalls mit einer grossen Zahl Toten im Detail untersucht. Aus diesen Abklärungen hat sich ergeben, dass das Risiko eines solchen Unfalles weit unter ähnlich schweren Risiken liegt, die wir in unserer Zivilisation dauernd eingehen. Es deutet vieles darauf hin, dass sich ein solcher Unfall während der heutigen Generation von Kernkraftwerken nie ereignen wird.

Die in konventionellen Kernkraftwerken entstehenden hochradioaktiven Abfälle müssen auf irgendeine Art beseitigt werden. In neu entwickelten Kraftwerkstypen, z. B. im Fusionsreaktor, kann später möglicherweise ein erheblicher Anteil wiederverwertet werden. Allerdings ist heute noch nicht ganz klar, in welcher Art und ob eine solche Wiederverwendung möglich ist, so dass andere Methoden zur Endlagerung der radioaktiven Abfälle entwickelt werden müssen.

Die Elektrizitätswirtschaft muss eine sichere Methode zur Lagerung des Atommülls nachweisen. Bis sich das Problem der definitiven Endlagerung effektiv stellt, bleibt ihr allerdings noch genügend Zeit, eine ausgereifte Methode zu entwickeln.

Die zurzeit aussichtsreichste Methode zur Endlagerung der hochradioaktiven Abfälle besteht in der chemischen Einbindung der radioaktiven Ionen in Glas oder keramisches Material. Diese verglaste Masse wird anschliessend durch einen biologischen und antikorrosiven Mantel geschützt und durch ionenabsorbierendes Material umschlossen. Schliesslich wird es in geologisch stabile Gesteinsformationen mit minimaler Wasserdurchlässigkeit eingelagert. Berechnungen haben gezeigt, dass ein Kontakt der giftigen Substanzen mit der Biosphäre durch einen natürlichen Vorgang praktisch ausgeschlossen ist.

Sogenannte «schnelle» Reaktoren unterscheiden sich technisch von den konventionellen Kernkraftwerken. Sie werden vor allem mit Plutonium betrieben, das in konventionellen oder «schnellen» Reaktoren durch Neutroneneinfang des Urans 238 entsteht. Das in «schnellen» Reaktoren verwendete Uran 238 stammt entweder aus Uran-Anreicherungsanlagen oder Uran-Wiederaufbereitungsanlagen. Durch diese Umwandlung von Uran 238 in nutzbaren Kernbrennstoff können «schnelle» Reaktoren etwa 50- bis 70mal mehr Energie pro Gewichtseinheit Uranbrennstoff erzeugen als konventionelle Kernkraftwerke. Sie können so ausgelegt werden, dass sie sogar mehr spaltbaren Kernbrennstoff erzeugen, als sie selbst verbrauchen. In diesem Fall liegt die sogenannte «Brutrate»

fois, les débats sont moins passionnés dans beaucoup d'autres pays, où ils ne perturbent pas sérieusement la poursuite du programme nucléaire.

En comparaison des centrales thermiques classiques, les centrales nucléaires présentent le grand avantage de supprimer totalement les résidus de combustion tels que le soufre, les métaux lourds, les oxydes d'azote et les hydrocarbures. La radioactivité peut être maintenue à des niveaux très bas fixés par les réglementations. Les centrales nucléaires sont donc des installations propres, dont les effets sur l'environnement sont peu sensibles.

L'industrie nucléaire s'est révélée extrêmement sûre jusqu'à présent, grâce aux analyses détaillées qui ont été faites des risques potentiels pour chaque nouvelle centrale et au respect de règles d'exploitation strictes. Le chiffre total des décès dans le cycle complet de la production thermique classique basée sur les combustibles fossiles est beaucoup plus grand que celui auquel on peut s'attendre pour le nucléaire. Il n'en reste pas moins qu'un accident grave comme la fusion du cœur du réacteur, par exemple, est toujours possible en théorie. Divers pays ont étudié en détail la probabilité qu'un tel accident se produise et fasse un grand nombre de victimes. Il apparaît clairement que ce risque est nettement inférieur au risque d'occurrence d'autres accidents graves liés à notre civilisation et tout aussi meurtriers. En fait, il y a tout lieu de penser que ce type d'accident grave ne se produira jamais pendant la durée d'utilisation de la génération actuelle de centrales nucléaires.

Les réacteurs nucléaires classiques sont une source de déchets hautement radioactifs, dont il faut se débarrasser d'une manière ou d'une autre. Il est possible qu'une grande partie de ces déchets puissent être utilisés comme combustibles dans les nouvelles générations de réacteurs, telles les réacteurs de fusion. Cependant, nous ne savons pas encore dans quelle mesure cette récupération sera possible, et il faut donc mettre au point d'autres méthodes de stockage définitif des déchets.

Il convient de souligner que l'industrie électrique est tenue de garantir dès à présent l'existence d'une méthode sûre de stockage des déchets, alors qu'elle dispose d'un temps suffisant pour mettre au point une méthode parfaite avant que ne se pose effectivement le problème du stockage définitif.

La méthode mise au point pour le stockage définitif des déchets hautement radioactifs consiste à lier chimiquement les ions radioactifs dans une masse de verre ou de céramique. Cette masse est ensuite incorporée dans une matrice faisant office d'écran biologique et de protection anticorrosion et entourée d'une matière absorbant les ions. Elle est enfin logée dans des formations rocheuses ou dans d'autres types de sols géologiquement stables, où le déplacement d'eau vers les nappes adjacentes est minime. Les calculs ont montré qu'il est pratiquement impossible de concevoir un mécanisme naturel susceptible d'amener les substances toxiques en contact avec la biosphère.

Les réacteurs rapides diffèrent techniquement des réacteurs nucléaires classiques. Ils consomment principalement du plutonium produit dans des réacteurs thermiques ou rapides par capture de neutrons dans l'uranium 238. L'uranium 238 utilisé dans les réacteurs rapides peut être de l'uranium naturel récupéré dans les usines d'enrichissement ou de l'uranium légèrement enrichi provenant du retraitement des combustibles irradiés des réacteurs thermiques. Grâce à cette transformation

über 1, und man bezeichnet solche Kraftwerke als Brutreaktoren oder Brüter. «Schnelle» Kernreaktoren können auch so ausgelegt werden, dass sie mehr Plutonium verbrauchen, als sie selbst erzeugen. Dies ist eine vielversprechende Möglichkeit in einer Zukunft, in der der Energiebedarf nicht mehr ansteigt.

Sofern als Wärmeträger (Reaktorkühlmittel) flüssiges Natrium verwendet wird, können Brutreaktoren mit knapp über Atmosphärendruck liegendem Druck betrieben werden. Die Betriebstemperaturen liegen aber höher als bei konventionellen Kernkraftwerken, was den thermischen Wirkungsgrad verbessert. Massgebend für die Dimensionierung des Reaktor-druckgefässes ist jedoch die bei einem Unfall entstehende Druckwelle. Die Menge der produzierten hochradioaktiven Abfälle pro erzeugte Energiemenge liegt in derselben Grössenordnung wie bei konventionellen Kernkraftwerken.

Es bestehen Betriebserfahrungen von leistungsstarken Brutreaktoren von bereits mehreren Jahren. Anlagen von über 1000 MWe Leistung sind im Bau.

Kernkraftwerke benötigen wie konventionell-thermische Kraftwerke grosse Wassermengen zur Kondensatorabkühlung. Wenn sich das Kraftwerk am Ufer des Meeres oder eines Sees befindet, bietet die Kühlung im allgemeinen keine Schwierigkeiten. An andern Standorten kann die Abführung der grossen Wärmemengen gewisse Probleme aufwerfen, so dass spezielle Kühltürme erstellt werden müssen. Die Auswirkungen des Wasserdampfes aus solchen Kühltürmen auf das lokale Klima werden untersucht.

3.3.4 Elektrizität aus Alternativenenergien (Windenergie, Erdwärme, Biomasse)

Die Auswirkungen der sogenannten «neuen Energien» auf die Umwelt sind im allgemeinen kaum bekannt.

Im Abschnitt 3.2.3 sind einige Probleme bei der Energieerzeugung mittels Biomasse erwähnt. Beizufügen sind die möglichen Auswirkungen auf den Wasserhaushalt eines Gebietes beim grossmaßstäblichen Abbau von Torf sowie der enorme Bedarf an Bodenfläche zur Erzeugung von Biomasse. Solche Monokulturen fördern auch das Aufkommen von Ungeziefer. Zudem stellen sie grosse Eingriffe in das Landschaftsbild dar. Auch die Unfallgefahr beim Holzfällen und Holztransport ist nicht zu unterschätzen.

Die bei der Nutzung der Windenergie entstehenden Umweltprobleme sind vor allem ästhetischer Natur. Soll man den Bau von Hunderten von Windgeneratoren mit Höhen von 100 bis 150 m akzeptieren? Windgeneratoren können neben der ästhetischen Umweltbeeinflussung auch andere störende Auswirkungen haben (Lärm, Telekommunikation, Vereisung).

Auch die geothermische Energie hat Auswirkungen auf die Umwelt. Die genutzten Heisswasserquellen enthalten oft Salze, die bei ihrer Rückführung die Umwelt beeinträchtigen können. Zudem kann sich auch hier das Problem der Lärmentwicklung stellen.

Über die direkte Nutzung der Sonnenenergie zur Wärme-gewinnung sind – mit Ausnahme des ästhetischen Aspekts – bis heute noch keine schädlichen Auswirkungen auf die Umwelt bekanntgeworden. Hingegen sind zur Erzeugung von Elektrizität aus Sonnenenergie immense Anlagen mit einem sehr grossen Flächenbedarf erforderlich, was sich bestimmt auch auf die Ökologie des betroffenen Gebietes auswirken würde.

de l'uranium 238 en un combustible utile, les réacteurs rapides produisent 50 à 70 fois plus d'énergie par unité de poids d'uranium que les réacteurs thermiques. Ils peuvent être conçus pour produire plus de matériau fissile qu'ils n'en consomment. On parle alors de réacteurs surrégénérateurs. Ils peuvent également être conçus pour consommer plus de plutonium qu'ils n'en produisent. C'est une possibilité à envisager dans une société future où la consommation d'énergie n'augmenterait plus.

Le fluide caloporteur étant du sodium, les réacteurs rapides peuvent fonctionner à une pression qui n'est que légèrement supérieure à la pression atmosphérique; quant aux températures, elles sont plus élevées que dans un réacteur thermique, ce qui accroît le rendement thermique. Un des critères de dimensionnement de la cuve principale du réacteur est qu'elle doit résister aux ondes de pression pouvant être engendrées par un accident hypothétique. Le volume de déchets hautement radioactifs produit par unité d'énergie est comparable à celui d'un réacteur thermique.

Nous disposons désormais d'une expérience de plusieurs années d'exploitation satisfaisante de réacteurs rapides très puissants, et des réacteurs de plus de 1000 MWe sont en cours de construction.

Tout comme dans les centrales thermiques classiques, de grandes quantités d'eau sont nécessaires pour refroidir les condenseurs des centrales nucléaires. La réfrigération ne pose pas de problème particulier lorsque les centrales sont implantées en bordure de mer ou de grands lacs. Sur les autres sites, il peut se révéler difficile d'évacuer les rejets thermiques, ce qui implique le recours à des réfrigérants atmosphériques. On étudie l'influence des rejets de vapeur d'eau par ces tours sur le climat local.

3.3.4 Electricité provenant des «énergies nouvelles» (énergie éolienne, énergie géothermique, biomasse, etc.)

Les effets des énergies nouvelles sur l'environnement sont généralement méconnus.

Le paragraphe 3.2.3. a évoqué quelques problèmes liés à la biomasse. Ajoutons que l'extraction de la tourbe à grande échelle peut perturber le bilan hydrologique d'une région, et que les exploitations forestières exigent d'immenses surfaces plantées uniquement d'arbres à feuilles caduques. Cela peut provoquer des invasions de parasites et altérer le paysage. On ne peut ignorer non plus les risques liés à la coupe et au transport du bois.

Les problèmes d'environnement liés à l'énergie éolienne sont principalement d'ordre esthétique. Pouvons-nous accepter la construction de centaines de centrales éoliennes de 100 à 150 m de hauteur groupées sur certains sites? Outre les critères esthétiques, les principaux problèmes des éoliennes portent sur les nuisances sonores, les perturbations des télécommunications et les risques de rupture de pales et de givrage.

L'énergie géothermique a elle aussi des effets sur l'environnement. L'eau issue des nappes souterraines contient souvent des sels qui contaminent l'environnement une fois rejetée. En outre, l'exploitation de l'énergie géothermique pose le problème du bruit.

Jusqu'à présent, on n'a noté aucun effet nuisible sur l'environnement de l'utilisation directe de l'énergie pour le chauffage solaire, si l'on fait abstraction des problèmes d'esthétique. En revanche, pour produire de l'électricité d'origine solaire, il

Spannung kV	Masthöhe m	Trassebreite (nicht überbaubar) m
400	24	40
800	34	70
1200	40	115

Tension kV	Hauteur des pylônes m	Largeur du couloir non constructible m
400	24	40
800	34	70
1200	40	115

3.3.5 Elektrizität und Stromversorgungsnetz

Die Stromversorgung erfolgt leitungsgebunden über Freileitungen oder erdverlegte Kabel. Die in Westeuropa bestehenden Verbund- und Fernübertragungsleitungen werden mit einer Spannung von 400 kV betrieben. Leitungen von 800 kV und mehr sind im Studium. Die von den Höchstspannungsleitungen ausgehenden elektrischen Felder haben keine gesundheitlichen Auswirkungen auf den Menschen, sofern die Leitung richtig konzipiert ist.

Die Integration der 400- und 800-kV-Leitungen in das Landschaftsbild bietet in vielen europäischen Ländern Schwierigkeiten. Durch ihre wuchtigen Konstruktionen fallen sie besonders in ebenem Gelände bei einem Kraftwerk oder einer Großstadt auf. In bewaldeten Regionen können sie jedoch im allgemeinen gut und kaum sichtbar in die Landschaft eingegliedert werden. In der Tabelle VI ist das benötigte Raumprofil für Hochspannungsleitungen angegeben.

Der Übergang auf höhere Spannungsebenen wird wesentlich von den Kosten der beanspruchten Bodenflächen beeinflusst. In bewaldeten Gebieten wird durch den Übergang von 400 auf 800 kV eine Reduktion der erforderlichen Bodenfläche um 40 % erzielt. Auch die Baukosten pro kVA übertragbare Leistung reduziert sich etwa im selben Ausmass.

Die städtischen Verteilnetze sind in Europa fast durchwegs verkabelt. Die Hochspannungsübertragung mit Kabeln ist bedeutend teurer als eine Übertragung über Freileitungen. 20-kV-Kabel sind etwa 5mal teurer als 20-kV-Freileitungen. Auf dem 400-kV-Niveau erreicht dieser Unterschied bereits das 20fache. Trotz dieser Tatsache müssen in der Nähe von Großstädten oftmals auch Leitungen bis zu 400 kV (Wechselstrom) verkabelt werden. Einige Gleichstromkabel werden auch zur Versorgung von Großstädten eingesetzt. Um die notwendigen Trassen für die Hochspannungsleitungen freihalten zu können, werden wahrscheinlich die Elektrizitätswerke in Zukunft gezwungen sein, auch Mittelspannungsleitungen in dicht bevölkerten Gegenden zu verkabeln.

Zur Erhöhung der Belastbarkeit von Höchstspannungskabeln sind beträchtliche Anstrengungen unternommen worden. Die Forschung hat sich dabei vor allem auf SF₆-isolierte Kabel in Metallrohren und auf supraleitende Kabel konzentriert. Diese Kabelsysteme dürften zum Ersatz von Hochspannungsleitungen in dichtbevölkerten Gebieten geeignet sein.

3.3.6 Stromverbrauch und Umwelt

Die Elektrizität hat auf dem Sektor der Energienutzung grosse Vorteile gegenüber ihren Konkurrenzenergien.

Aus der Sicht des Umweltschutzes könnte man versucht sein zu glauben, dass die Priorität auf Energieeinsparungen zu legen sei. Dies ist aber nicht immer so. Die Tiefkühlung von Lebensmitteln hat wahrscheinlich schon viele Menschen vor Mangel und Vergiftung bewahrt. Der Ersatz der Dampfmaschine durch den Elektromotor hat sehr grosse Fortschritte

faudrait construire d'importantes installations occupant de vastes surfaces et pouvant induire certains changements d'ordre écologique.

3.3.5 L'électricité et les réseaux de transport

Le transport de l'électricité s'effectue par l'intermédiaire de lignes aériennes ou de câbles souterrains. Les lignes actuellement exploitées en Europe Occidentale transportent l'énergie électrique sous une tension de 400 kV. Des lignes de 800 kV et plus sont à l'étude. On a montré que le champ électrique entourant ces lignes ne constitue aucun danger sérieux pour la santé, à condition qu'elles soient correctement conçues.

L'intégration de lignes de 400 et 800 kV dans le paysage peut créer des difficultés dans de nombreux pays européens. En effet, ces lignes ont une emprise importante et sont très visibles dans les zones de rase campagne autour d'une centrale ou d'une grande ville. En revanche, les lignes sont généralement bien dissimulées dans les régions forestières. Les lignes de transport aériennes ont habituellement l'encombrement indiqué au tableau VI.

Le passage à des tensions supérieures est essentiellement une question de coût et d'occupation de terrain. Dans les contrées forestières, le passage de 400 à 800 kV se traduit par une réduction de la surface occupée de l'ordre de 40 %. Les coûts de construction par kVA transporté sont pour les lignes de 800 kV environ 40 % moins élevés que pour celles de 400 kV.

En Europe, les réseaux de distribution urbains sont presque toujours enterrés. Pour le transport à très haute tension, le coût de pose des câbles souterrains est beaucoup plus élevé que celui des lignes aériennes. Les câbles de 20 kV coûtent environ 5 fois plus cher que les lignes aériennes de 20 kV, et ce rapport peut atteindre le facteur 20 pour la tension de 400 kV. Quoi qu'il en soit, il a fallu passer en souterrain des lignes jusqu'à 400 kV (en courant alternatif) à proximité des grandes villes. Quelques câbles à courant continu ont également été construits pour la desserte des centres des grandes métropoles. Afin de conserver suffisamment de terrain pour le passage des grandes lignes de transport à haute tension, les entreprises d'électricité devront probablement en arriver à enterrer également à l'avenir les lignes à moyenne tension dans les régions à forte densité de population.

De nombreux efforts ont été faits pour améliorer l'utilisation des câbles à très haute tension; la recherche a porté notamment sur les câbles sous tube métallique isolés au SF₆ et sur les câbles supraconducteurs. Ces équipements pourront accroître dans l'avenir les possibilités de remplacement des lignes aériennes à haute tension dans les régions à forte densité de population.

3.3.6 La consommation d'électricité et l'environnement

C'est au niveau de l'utilisation que les avantages de l'électricité sur ses concurrents prennent le plus de relief.

auf dem Arbeitssektor gebracht. Der Ausstoss von Verbrennungsrückständen konnte erheblich reduziert werden. Schliesslich hat die elektrische Beleuchtung viel zur Erhöhung der Sicherheit beigetragen.

Als Hauptvorteil der Elektrizität ist aber wahrscheinlich die Möglichkeit der dezentralen Anwendung dieser Energieform zu bezeichnen.

3.4 Elektrizität und Lebensqualität

Das 20. Jahrhundert darf wohl als das Jahrhundert der Elektrizität bezeichnet werden, weil keine andere Entdeckung oder Neuerung die Existenzbedingungen des Menschen derart grundlegend verändert hat.

Der Ausdruck «Lebensqualität» muss vorerst definiert werden. Lebensqualität bedeutet Existenzbedingungen, die eine freie Entfaltung des Menschen in seiner Arbeit und seiner Freizeitgestaltung erlauben. Im materiellen Bereich ist dies vor allem ein gewisses Lebensniveau, das durch ein Wirtschaftswachstum gewährleistet oder sogar gesteigert werden kann. Die Behauptung, dass Lebensqualität und Wirtschaftswachstum gegensätzliche Entwicklungen darstellen, ist deshalb völlig falsch. Es stimmt auch nicht, dass die Hebung der Lebensqualität absoluten Vorrang vor dem Wirtschaftswachstum habe. Ein harmonisches Wirtschaftswachstum ist nötig zur Verbesserung der Lebensqualität aller Bevölkerungsschichten, was allerdings nicht bedeutet, dass der Energieverbrauch dauernd zunehmen und ins Unendliche gesteigert werden muss. Es ist möglich, dass bei einer Befriedigung der wichtigsten Bedürfnisse des Menschen zukünftig eine Wende im Energieverbrauch eintritt.

Die elektrische Energie spielt eine Hauptrolle in dieser Entwicklung, weil sich ihr Anteil am Gesamtenergieverbrauch erhöhen muss. Die ihr zugewiesene Aufgabe erklärt sich aus der Anpassungsfähigkeit auf der Erzeugungsstufe und ihrer Polyvalenz beim Verbrauch. Die rationelle Stromverwendung erlaubt gleichzeitig eine Dämpfung des Gesamtenergiezuwachses und die Schaffung der Vorbedingungen zur Hebung der Lebensqualität.

Ohne Maschinen müsste sich der Mensch auf seine Muskelkraft verlassen. Ein Arbeiter benötigt täglich rund 3500 Kalorien, wovon der grösste Teil zur Aufrechterhaltung der lebensnotwendigen Körperfunktionen erforderlich ist. Nur etwa 10 % werden effektiv für die Erbringung der Arbeit eingesetzt. Moderne Maschinen erreichen bedeutend höhere Wirkungsgrade: bis zu 90 % und mehr. Der Mensch muss rund 16 Stunden arbeiten, um ein Energieäquivalent von 1 kWh zu erbringen. Erst nach der Einführung der Maschinen wurden die Voraussetzungen zur heutigen sozialen Entwicklung geschaffen, die vom starken demographischen Wachstum des 19. und 20. Jahrhunderts begleitet war.

Durch die Elektrizität wurde diese Entwicklung gefördert und der Rhythmus bestimmt. Die Dampfmaschine und der Verbrennungsmotor benötigen fossile Brennstoffe als Antriebsmittel. Auch die Elektrizität wurde bis heute in den meisten Ländern vorwiegend durch Verfeuerung fossiler Brennstoffe erzeugt. Fossile Brennstoffe sind aber eigentlich gespeicherte Sonnenenergie und stehen nur in beschränkter Menge und während einer begrenzten Periode zur Verfügung.

Die Nutzung der Kernenergie hat erstmals die Möglichkeit geschaffen, aus früher nicht verwendbaren und von der Sonnenenergie unabhängigen Stoffen Energie zu erzeugen. Soll nun

On pourrait être tenté de penser que, du point de vue de l'environnement, la priorité revient aux économies d'énergie. Or il n'en est pas toujours ainsi. La conservation de la nourriture par congélation a probablement sauvé bien des gens de la disette ou de l'intoxication. Le remplacement de la machine à vapeur par le moteur électrique a vraisemblablement apporté la plus grande amélioration des temps modernes sur les lieux de travail. Les émissions dispersées de résidus de combustion non traités ont été considérablement réduites. L'éclairage électrique, enfin, a une importance extrême sur le plan de la sécurité et de l'environnement.

Il est probable, cependant, que l'avantage principal de l'électricité réside dans les possibilités de décentralisation qu'offre cette forme d'énergie.

3.4 L'électricité et la qualité de la vie

Si le XX^e siècle a été appelé le siècle de l'électricité, c'est parce qu'aucune autre découverte ou invention n'a modifié aussi profondément les conditions d'existence de l'homme pendant cette période.

Avant d'évoquer l'influence de l'électricité sur la «qualité de la vie», il convient de définir cette expression. La «qualité de la vie» désigne ici les conditions d'existence permettant un libre épanouissement des qualités et des aptitudes de l'homme, aussi bien au travail que dans les loisirs. Sur le plan matériel cela suppose principalement un certain niveau de vie, qui peut être maintenu et même amélioré par la croissance économique. Il est donc tout à fait erroné de prétendre que la qualité de la vie et la croissance économique sont contradictoires et qu'il serait préférable de faire passer la qualité de la vie avant la croissance. Bien au contraire, il faut faire en sorte qu'une croissance économique harmonieuse crée les conditions nécessaires à une amélioration de la qualité de la vie dans toutes les couches de la population. Cela ne signifie pas que la consommation d'énergie doit nécessairement augmenter ou qu'elle augmentera indéfiniment. Il se peut que des fluctuations de la consommation interviennent à l'avenir lorsque les besoins essentiels de la population mondiale auront été satisfaits.

L'électricité jouera un rôle important dans cette évolution, puisque sa part dans la consommation mondiale d'énergie est appelée à augmenter. Le rôle qui lui est dévolu s'explique par sa souplesse au stade de la production et par sa polyvalence au stade de la consommation. L'utilisation rationnelle de l'électricité nous permettra simultanément de freiner l'augmentation de la consommation totale d'énergie et de créer les conditions nécessaires à une amélioration de la qualité de la vie.

Lorsque les machines n'existaient pas, les hommes devaient se satisfaire de leur force musculaire. Un travailleur manuel a besoin d'environ 3500 calories par jour, mais la plus grande partie de cette énergie sert à maintenir les fonctions vitales de l'organisme, et seuls 10 % environ sont affectés au travail proprement dit. Les machines modernes ont un rendement bien supérieur, puisqu'il atteint 90 % ou plus; un homme doit travailler 16 heures pour produire une quantité d'énergie équivalant à 1 kWh. Ce n'est qu'après l'apparition des machines qu'ont été réunies les conditions essentielles de l'évolution sociale actuelle, qui ont accompagné la forte croissance démographique au XIX^e et au XX^e siècles.

L'avènement de l'électricité a favorisé cette évolution et en a accéléré le rythme. La machine à vapeur et le moteur à com-

die Kernenergie die Basis für die zukünftige Energieversorgung bilden, oder stellt sie nur ein Übergangsstadium zur direkten Sonnenenergienutzung dar? Die wissenschaftliche Fortentwicklung wird die Antwort geben. Jedenfalls dürfte die Kernenergie bis zur Jahrhundertwende wahrscheinlich die einzige in grossem Umfang einsetzbare Energieform zur Substitution fossiler Energieträger sein. Damit dürfte auch der Wärme-Kraft-Kopplung in Zusammenhang mit Kernkraftwerken in Zukunft vermehrte Bedeutung zukommen.

Wirtschaftliche Fortschritte in den Industrieländern sind, wie bereits erwähnt, eng mit der Energie verknüpft. Die Elektrizität hat dabei wesentlich zum Ausgleich von sozialen Unterschieden beigetragen. Jedermann kann heute am kulturellen Leben, das früher einer privilegierten Bevölkerungsschicht vorbehalten war, teilhaben.

Die Elektrizität hat auch Anteil an der Verlangsamung des industriellen Konzentrationsprozesses und damit auch an der Verlagerung der Bevölkerung in Kleinstädte und Landgemeinden, mit besseren und gesünderen Lebensbedingungen als in Großstädten.

Elektrizität ist sauber und unsichtbar. Sie erleichtert die Arbeiten und macht sie ungefährlicher. Bei rationeller Verwendung wird die Umweltbelastung in städtischen und ländlichen Gebieten reduziert. Damit trägt sie zur allgemeinen Verbesserung der Lebensbedingungen bei.

Auch die Versorgung der Städte mit Wärme, Warm- und Kaltwasser, die Abwassersysteme und die Kehrrichtverwertung sind von der elektrischen Energie abhängig. Dadurch wurden die hygienischen Verhältnisse entscheidend verbessert, was andererseits wieder zum Rückgang der Kindersterblichkeit geführt hat.

Öffentliche Gesundheitsdienste, Spitäler, Altersheime, medizinische Institutionen usw. könnten ohne elektrische Energie nicht betrieben werden. Moderne medizinische Verfahren, wie Schirmbild- oder Röntgenanlagen, künstliche Nieren und Lungen, Inkubatoren und viele andere, sind ohne Elektrizität nicht denkbar. Dies gilt auch für Vorsorgeuntersuchungen an Kindern und Erwachsenen, in Schulen und Lehranstalten, im Sport und im Unterhaltungssektor.

Das elektrische Licht hat die Verkehrssicherheit durch die Beleuchtung von Strassen und Signalen erhöht und auch zur Verbesserung der Lebensqualität durch die Schaufenster-, Reklame-, Gebäude- und Parkbeleuchtung beigetragen. Auch ist eine Verminderung von kriminellen Handlungen, die oft in der Dunkelheit erfolgen, damit verknüpft.

Alle modernen Kommunikationssysteme (Radio, Fernsehen, Telefon und Fernschreiber) sind auf die Elektrizität angewiesen. Dies gilt auch für elektronische Datenverarbeitungssysteme, ohne die ein modernes Staatswesen seine Verwaltungsfunktionen nicht mehr erfüllen könnte.

Auch das Leben im privaten Bereich wird durch die Elektrizität infolge ihrer universellen Anwendbarkeit angenehmer gestaltet. Elektrizität ist rund um die Uhr verfügbar. Sie wird gebraucht zur Erzeugung der Kochwärme, sie ist unentbehrlich für das Funktionieren der Heizanlage, sie kühlt und gefriert Lebensmittel und erleichtert das tägliche Leben durch den Gebrauch der vielen praktischen Haushaltgeräte. Auch die zeitgemässe Hygiene braucht elektrische Energie. In weitem Rahmen wird sie auch im Freizeitbereich eingesetzt, sei es zu Hause als Zeitvertreib mit Radio und Fernsehen oder auswärts bei kulturellen Anlässen wie Theater oder Kino.

bustion interne consomment des combustibles fossiles comme énergie motrice. Jusqu'à présent, l'électricité a également été produite pour l'essentiel, dans la plupart des pays, à partir de combustibles fossiles qui ne sont rien d'autre que de l'énergie solaire stockée et qui, par conséquent, ne sont disponibles qu'en quantité limitée ou pour une période limitée.

L'utilisation de l'énergie nucléaire a permis, pour la première fois, de produire de l'énergie à partir d'éléments en grande partie inutilisables dans le passé et qui ne résultent pas du rayonnement solaire capté sur la terre. L'énergie nucléaire constituera-t-elle la base de nos approvisionnements énergétiques futurs ou simplement une transition avant l'utilisation directe de l'énergie solaire? C'est l'évolution scientifique qui en décidera. En tout état de cause, l'énergie nucléaire restera la seule énergie de substitution massive des combustibles fossiles jusqu'à la fin du siècle. La production combinée de chaleur et d'électricité dans des centrales nucléaires revêtira de ce fait une importance croissante.

Ainsi que nous l'avons indiqué, les progrès économiques que les pays industrialisés ont connus sont liés à l'énergie. Mais l'électricité a contribué en outre à niveler les différences sociales. Chaque citoyen, quel que soit son lieu d'habitation, peut désormais profiter de la vie culturelle réservée auparavant à une minorité de citoyens.

L'électricité contribue à freiner la centralisation de l'industrie et, par conséquent, de la population. Elle permet dans une certaine mesure l'émigration vers de petites villes ou des communes rurales, où les adultes et les enfants retrouvent des conditions de vie meilleures et plus saines que dans les grandes villes.

L'électricité est une source d'énergie invisible et propre. Elle facilite le travail et le rend moins dangereux. Son utilisation rationnelle entraîne une réduction de la pollution dans les villes et les campagnes. Elle contribue donc à une amélioration générale des conditions de vie.

En outre, l'alimentation des villes en chaleur, en eau chaude et en eau froide, les systèmes de tout-à-l'égout et les installations d'élimination des ordures sont tributaires de l'électricité, qui a donc contribué à améliorer sensiblement l'hygiène, ce qui s'est traduit notamment par une diminution de la mortalité infantile.

L'ensemble des services d'hygiène et de santé publique, les hôpitaux, les maisons de santé, les maisons de retraite et les instituts médico-pédagogiques ont recours à l'électricité pour d'innombrables usages. Les services médicaux modernes, qui sont dotés d'équipements aussi essentiels que les appareils de radiographie et de radioscopie, les reins et les poumons artificiels, les incubateurs, etc., doivent leur existence à l'électricité. Il en est de même du contrôle médical des enfants et des adolescents, des écoles et des instituts pédagogiques, du sport et des spectacles.

L'éclairage électrique a accru la sécurité routière grâce à l'éclairage des rues aux signaux lumineux et elle concourt largement à la qualité de la vie dans les villes grâce à l'éclairage des vitrines, à la publicité lumineuse, à l'illumination des bâtiments et des monuments, à l'éclairage des parcs, etc. L'électricité est aussi un moyen de freiner la criminalité qui s'exerce dans l'obscurité.

Tous les systèmes de communication modernes (radio, télévision, téléphone et télécopieurs) s'appuient sur l'électricité. L'informatique, sans laquelle une nation moderne éprou-

In allen industrialisierten Ländern ist die Elektrizität überall verfügbar. Jedermann hat sich so an sie gewöhnt, dass eine moderne Gesellschaft heute nicht mehr ohne sie denkbar wäre. Die Elektrizität hat die Bedingungen unseres heutigen Lebensstils geprägt.

Alle diese Vorteile der Elektrizität, zusammen mit der Hebung des allgemeinen Lebensniveaus, haben die Voraussetzungen zur Verbesserung der Lebensqualität geschaffen. Die elektrische Energie erlaubt dem Menschen, die vielfältigen Möglichkeiten, die ihm geboten werden, sinnvoll zu nutzen.

verait des difficultés pour assurer sa gestion, n'échappe pas à la règle.

L'électricité facilite la vie privée grâce à sa souplesse. Elle est disponible 24 heures sur 24: elle fournit la chaleur pour la cuisine, assure le fonctionnement des installations de chauffage, refroidit et congèle les aliments et facilite la vie jour après jour, grâce à d'innombrables applications domestiques. L'électricité est indispensable à l'hygiène moderne. Elle participe dans une large mesure aux loisirs de l'homme, aussi bien à son domicile avec ses passe-temps favoris, la radio et la télévision, qu'à l'extérieur avec les activités culturelles comme le théâtre et le cinéma, par exemple.

L'électricité est largement diffusée dans tous les pays industrialisés. Tout un chacun s'est tellement habitué à voir l'électricité constamment disponible en quantité désirée qu'il est pratiquement impossible de concevoir aujourd'hui une société moderne sans électricité. En réalité, l'électricité a modelé les conditions de la vie moderne.

Tous ces privilèges de l'électricité, combinés à un relèvement du niveau de vie, créent les conditions nécessaires à une amélioration de la qualité de la vie. Il appartient à l'homme de profiter des possibilités qu'il s'est données.

Literatur

- [1] ECE-Dokument (XXXIII)/2, ausgearbeitet durch das Exekutivsekretariat der Europäischen Wirtschaftskommission, 1978.
- [2] *Electrical World*, 15. Juni 1977, S. 28.
- [3] *Brundrett, Leach, Parkinson, Pickup und Rees*: Recherche sur la conservation de l'énergie dans le secteur du logement. Bericht 2.2-7 der Weltenergiekonferenz, Istanbul 1977.
- [4] *D. J. Fisk*: Bericht 1.11, Conférence internationale CIB sur les économies d'énergie dans les habitations, 1976.

Bibliographie

- [1] Document ECE (XXXIII)/2 établi par le Secrétaire exécutif. Commission Economique pour l'Europe, 1978.
- [2] *Electrical World*, 15 juin 1977, p. 28.
- [3] *Brundrett, Leach, Parkinson, Pickup et Rees*: Recherche sur la conservation de l'énergie dans le secteur du logement. Rapport 2.2-7. CME Istanbul 1977.
- [4] *Fisk, D.J.*: Rapport 1.11, Conférence internationale CIB sur les économies d'énergie dans les habitations, 1976.

Nationale und internationale Organisationen Organisations nationales et internationales



UNPEDE: Studienkomitee für grosse Netze und internationalen Verbundbetrieb

Das Studienkomitee für grosse Netze und internationalen Verbundbetrieb tagte unter dem Vorsitz seines Präsidenten, Herrn M. G. Dwek, Grossbritannien, am 14. April 1980 in Barcelona.

Die Expertengruppe zum Studium des europäischen Verbundes wird versuchen, die in der Mitte der 70er Jahre erarbeitete theoretische Methodik der Verbundoptimierung mehr für die Praxis anwendbar zu machen. Da die nächsthöhere Spannungsebene in Europa für das nächste Jahrzehnt an Dringlichkeit verloren hat, sollen die Studien in erster Linie in Richtung Erhöhung der Sicherheit des Verbundes und Einsparung von Erdöl gehen. Dazu wird ein Fragebogen ausgearbeitet, der für das Jahr 1992/93 ein Minimal- und ein Maximalszenarium für Produktion und Verbrauch finden soll.

Die Expertengruppe für die zukünftigen Netzführungszentren ist am Erarbeiten einer Empfehlung über normierte Datenübertragung, wobei die Weisungen und Normen der Organisation internationale de normalisation (ISO), des Comité consultatif international télégraphique et téléphonique (CCITT) und der UCPTE möglichst weitgehend übernommen und angewendet werden sollen. Dabei wird vorgeschlagen, die Übertragungsnetzstruktur nach ISO, die Übertragungsstationen nach CCITT-Norm X 25, den Meldungsinhalt nach UCPTE und die eigentliche Übertragung nach EdF-Normen zu verwirklichen.

Ein zweiter Bericht der Expertengruppe über die verschiedenen Betriebszustände in einem Netzführungszentrum wird noch

UNPEDE: Comité d'études des grands réseaux et des interconnexions internationales

Le Comité d'études s'est réuni le 14 avril dernier à Barcelone, sous la présidence de Monsieur M. G. Dwek de Grande-Bretagne.

Le Groupe d'experts pour étudier l'interconnexion d'Europe tentera de mieux adapter aux besoins de la pratique la méthode théorique d'optimisation de l'interconnexion élaborée vers le milieu des années 1970. Etant donné que l'introduction en Europe du prochain niveau supérieur de tension a quelque peu perdu de son urgence, les études devront d'abord se concentrer sur l'amélioration de la sûreté de l'interconnexion et les économies de pétrole. Un questionnaire est préparé à cet effet, qui devra permettre d'élaborer pour 1992/93 un scénario minimal et un scénario maximal pour la production et la consommation.

Le Groupe d'experts des centres de conduite de l'avenir prépare une note de recommandations sur la transmission normalisée des informations. Cette note tiendra compte le plus possible des directives et normes de l'Organisation internationale de normalisation (ISO), du Comité consultatif international télégraphique et téléphonique (CCITT) et de l'UCPTE. Il est prévu de concevoir le réseau de transmission d'après les normes ISO, les postes de transmission d'après la norme CCITT X 25, les informations selon les normes UCPTE, et la transmission des informations selon les normes EdF.

Le même groupe d'experts complètera encore par des tableaux son rapport sur les différents états de service dans un centre de conduite de réseau. Quant au nouveau groupe d'experts