

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: 69 (1978)

Heft: 19

Artikel: Substitution von Erdöl : ein lösbares Problem = Le remplacement du pétrole : un problème résoluble

Autor: [s.n.]

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-914941>

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: 07.03.2026

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

Substitution von Erdöl – ein lösbares Problem

Ausgearbeitet durch eine Studiengruppe, bestehend aus Vertretern des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke, der BBC Aktiengesellschaft Brown, Boveri & Cie und der Gebrüder Sulzer Aktiengesellschaft

1. Rahmen und Ziel der Studie

Aus dem Bedürfnis heraus, eine technisch-wirtschaftliche Studie über die Möglichkeiten der Erzeugung von Wärme und Elektrizität bis zum Jahre 2000 auszuarbeiten, haben sich Arbeitsgruppen des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE), der BBC Aktiengesellschaft Brown, Boveri & Cie. und der Gebrüder Sulzer Aktiengesellschaft zu einer losen Vereinigung zusammengeschlossen, um in gemeinsamer Arbeit alle Aspekte des Themas zusammenzutragen. Die Studie «Elektrizität und Wärme, Versorgungskonzept der Schweiz bis zum Jahre 2000», ist im August 1975 [1] erschienen und hat in den Fachkreisen ein gutes Echo gefunden. Die eingeführten Beurteilungsmethoden haben sich in der weiteren Diskussion bewährt. Allerdings muss der Vorbehalt gemacht werden, dass die umfangreiche Studie wegen der technischen Sprache vom Laien schlecht gelesen werden könnte. Dieser Aspekt hat die gleiche Gruppe bewogen, eine Ergänzung der erwähnten Studie auszuarbeiten, die weite Kreise mit dem Problem der Substitution von Erdöl unter besonderer Berücksichtigung der schweizerischen Verhältnisse konfrontieren soll. Das bedeutet in bezug auf die kleine Studie gute Leserlichkeit, Verzicht auf komplizierte technische Abhandlungen, und vor allem müsste sie eine Sammlung von Argumenten sein, die das Problem der Erdölsubstitution aus verschiedener Sicht beleuchten. Es ist von erstrangiger Bedeutung, dass man sich auf das Wesentliche beschränkt. Exotische und futuristische Möglichkeiten der Substitution in der Schweiz können in diesem Rahmen nicht behandelt werden.

Das will nicht heissen, dass alle anderen Möglichkeiten nicht ernstgenommen werden oder nicht zu fördern sind. Jede Substitutionspolitik muss auf möglichst viele Energieträger abgestützt werden.

Die Arbeitsgruppe möchte den Substitutionsbericht als eine offene und begründete Kritik am bisher Geleisteten aufgefasst wissen. Es wird daher den Ausführungen zu der Frage «psychologische und politische Aspekte der Substitution in der Schweiz» der gebührende Raum eingeräumt.

Damit ist klar umrissen, was die Studie nicht sein will und kann.

2. Substitution von Erdöl als oberstes Ziel

Das Erdöl deckte 1977 75,2 % des Gesamtenergiebedarfes der Schweiz. Die Dominanz dieses Energieträgers ist für die Schweiz wegen der voraussichtlichen Preissteigerung, der Verknappung der Reserven in absehbarer Zeit und der einseitigen Abhängigkeit von einer politisch nicht sehr stabilen Region (Versorgungsschwierigkeit) gefährlich und auf die Dauer nicht tragbar. Rund 65 % des gesamten schweizerischen Erdölverbrauchs dienen der Erzeugung von Wärme, wobei allein 48 % durch die Raumheizung und Warmwasseraufbereitung beansprucht werden. Diese Angaben zeigen, dass im Bereich der Wärmeanwendungen ein grosses Substitutionspotential vorhanden ist. Gerade dieser Teil des Erdöls kann durch

andere Energieträger ersetzt werden. Als Ersatzenergieträger kommen in Frage:

Erdgas, Kohle, Wasserkraft, Kernbrennstoff, Sonnenenergie

Hauptsächlich aus wirtschaftlichen (übermässige Investitionen) und weniger aus ökologischen Gründen (u.a. Landschaftsbild) wird zumindest in den nächsten 20–30 Jahren das nutzbare Potential der erneuerbaren Energien sehr beschränkt bleiben. Auch die Möglichkeit, in ausreichendem Masse Erdöl durch Erdgas zu ersetzen, wird weltweit relativ pessimistisch beurteilt (siehe Abschnitt 3.4).

Auf absehbare Zeit fällt deshalb den beiden grossen K, Kohle und Kernenergie, die zentrale Versorgungsfunktion zu¹⁾. Das gilt sowohl global betrachtet als auch ganz besonders für die ressourcenarme Schweiz.

3. Kritische Würdigung der möglichen Substitutionsträger

3.1 Die Weltenergiereserven und ihre Erschöpfbarkeit

Das Energieversorgungssystem eines Landes ist um so wirkungsvoller und sicherer, je grösser die Weltvorkommen der Primärenergien sind, auf die es sich stützt. Besonders für die Schweiz, die bei der Energieversorgung noch lange Zeit zu 85 % vom Ausland abhängen wird, ist diese These von grosser Bedeutung.

Erstmals hat die Weltenergiekonferenz 1977 durch eine Kommission weltweite Energieperspektiven für den Zeithorizont bis zum Jahre 2020 erarbeiten lassen [2]. Kraft ihrer Internationalität sind sie als zuverlässigste Ausgangslage für schweizerische Schlussfolgerungen zu betrachten (nachfolgend kurz WEC 77 genannt).

Die Weltenergievorkommen V (Vorräte, Reserven, Ressourcen) der erschöpfbaren Primärenergiequellen, die in dieser Arbeit genannt werden, sind in der Tabelle I zusammengefasst. Aufgetragen sind einerseits die gesicherten Reserven, die ungefähr zu heutigen Kosten gewonnen werden können, andererseits zusätzlich die wahrscheinlichen und vermuteten Reserven, die auch zu erheblich höheren Kosten gefördert werden könnten. Die Angaben über die Vorräte an Kernbrennstoff (je etwa 2 Millionen Tonnen Uranoxid gesichert und geschätzt) beziehen sich nur auf die westliche Welt. Die Zahlen der Tabellen sind in diesem Sinn zu interpretieren.

Die Angaben der Energiemengen erfolgen in allen Tabellen in EJ, wobei $1 \text{ EJ (Exajoule)} = 10^{18} \text{ J} = 0,239 \times 10^{15} \text{ kcal}$ (entspricht dem Energieäquivalent von rund 24 Millionen Tonnen Erdöl).

Dividiert man die Reserven durch den gegenwärtigen Weltverbrauch einer Primärenergieart, beim Kernbrennstoff durch den Verbrauch der westlichen Welt, so entsteht die Anzahl der möglichen Verbrauchsjahre bis zu deren Erschöpfung, aller-

¹⁾ Ergebnisse der Weltenergiekonferenz 1977 in Istanbul.

Primärenergie	Gesicherte Vorkommen		Gesicherte und wahrscheinliche Vorkommen	
	übliche Einheiten	EJ ¹⁾	übliche Einheiten	EJ
Kohle	640 Milliarden t SKE ⁶⁾	18 700	10 000 Milliarden t SKE ⁶⁾	300 000
Erdöl ²⁾	90 Milliarden TOE ⁷⁾	4 000	240 Milliarden TOE ⁷⁾	10 500
Erdgas ³⁾	66 000 Milliarden m ³	2 800	162 000 Milliarden m ³	6 800
Kernbrennstoff (nur westliche Welt)	2 Millionen t Uranoxyd ⁴⁾	1 100	8 Millionen t ⁵⁾	4 400

¹⁾ 1 EJ (Exajoule) = 10^{18} J = $0,239 \times 10^{15}$ kcal = $34,2 \times 10^6$ t SKE = $22,7 \times 10^6$ TOE.

²⁾ Ohne Teersande, Ölschiefer und sehr schwere Öle (Schätzung zusammen mind. 12000 EJ). Ohne Kontinentalsockel in über 200 m Tiefe und Polargegenden (Schätzung mind. 1000 EJ).

³⁾ Ohne Kontinentalsockel in über 200 m Tiefe und Polargegenden (Mengen noch nicht erforscht).

⁴⁾ Ohne Oststaaten, Gewinnung zu max. 50 \$/lb U₃O₈ für die gesicherten Vorkommen und zu 2- bis 3mal höheren Kosten für die wahrscheinlichen Vorkommen, Nutzung in Leichtwasserreaktoren: Aus 1 Million t U₃O₈ entstehen etwa $1,3 \times 10^{17}$ kcal Wärme (Primärenergie).

⁵⁾ 4 Millionen t U₃O₈ zu max. 50 \$/lb U₃O₈ nach WEC 77, etwa 50 % Zuschlag für doppelt so hohe Gewinnungskosten, etwa 30 % Zuschlag für die Thoriumreserven (Uran- und Thoriumgehalt der Erdkruste und des Meerwassers: viele 100 Millionen t).

⁶⁾ 1 t SKE = 1 Tonne Steinkohleneinheiten.

⁷⁾ TOE = Tonnen Erdöläquivalent.

Statische Erschöpfbarkeit der Weltenergiesreserven

Tabelle II

Primärenergie	Verbrauch 1978 EJ ¹⁾	Gesicherte Vorkommen EJ ¹⁾	Statischer Erschöpfbarkeitsgrad Jahre	Gesicherte und wahrscheinliche Vorkommen EJ ¹⁾	Statischer Erschöpfbarkeitsgrad Jahre
Kohle	71	18 700	265	300 000	4 250
Erdöl	132	4 000	30	10 500	80
Erdgas	52	2 800	55	6 800	130
Kernbrennstoff LWR (nur westliche Welt)	5,5	1 100	200	4 400	800

¹⁾ 1 EJ (Exajoule) = 10^{18} J = $0,239 \times 10^{15}$ kcal

dings unter der fiktiven Voraussetzung, dass der jährliche Energiebedarf konstant bleibe (Tabelle II). Schon dieser Vergleich zeigt klar, wo Substitutionen anzusetzen sind und welche Primärenergiequellen als Ersatz in Frage kommen. Zu ergänzen wäre die Zusammenstellung mit der unerschöpflichen Sonneneinstrahlung, die theoretisch eine Ressource von jährlich rund 3 Millionen EJ auf die Erdoberfläche bringt. Als weitere «Primärenergiequelle», die als Substitutionsenergie zur Verfügung steht, können die Energieeinsparungen angesehen werden. Sie werden aber im stipulierten Verlauf des Weltenergiebedarfs berücksichtigt und nicht als Vorrat.

Die Annahme eines konstanten Energiebedarfs ist natürlich nicht realistisch. Weltweit ist zweifellos mit einem Anstieg zu rechnen, und auch die Anteile der Energiequellen werden sich verändern. Unter Berücksichtigung der gegenwärtigen Tendenzen und Vermutungen bezüglich Substitution hat nun die WEC 77 eine mögliche Entwicklung der Bedarfsanteile der Primärenergiequellen bis zum Jahre 2020 konzipiert. Tabelle III basiert auf diesem Szenario, worin als Zunahme des gesamten Weltenergieverbrauchs die Variante mit der bescheidenen jährlichen Zuwachsrate von knapp 3 % gewählt worden ist und in welcher Energieeinsparungen in der Größenordnung von 15 bis 20 % bereits vorweggenommen sind (Senkung der Zuwachsrate von 3,5 auf 3 %). Unter diesen Voraussetzungen lässt sich ein kumulierter Bedarf der einzelnen Energieträger im Zeitraum 1978 bis 2020 errechnen (Tabelle III).

Weltenergiebedarf bis zum Jahre 2020
(mittlere jährliche Zuwachsrate knapp 3 %)Tabelle III
nach WEC 77

Primärenergie	1978	1990	2000	2010	2020	Kumuliert 1978–2020
Total EJ	310	430	575	765	1 020	25 000
Kohle % EJ	23 71	22 94	25 144	29,5 226	36 367	6 900
Erdöl % EJ	42,5 132	41 177	33,5 193	26 199	19 194	7 600
Erdgas % EJ	16,5 52	13,5 58	12 69	10,5 80	9 92	2 900
Kern- energie % EJ	2 6	8,5 36	15 86	20 153	23 235	4 000
(nur westliche Welt) EJ	(5,5)	(27)	(51)	(74)	(105)	(2 100)
Holz Wasser- kraft % EJ	16 49	15 65	14,5 83	14 107	13 132	3 600
Sonnen- energie						

1 EJ (Exajoule) = 10^{18} J = $0,239 \times 10^{15}$ kcal

Primärenergie	Kumulierter Bedarf 1978–2020 B in EJ ¹⁾	Gesicherte Vorkommen V_1 in EJ ¹⁾	Dynamischer Erschöpfbarkeitsgrad $E_1 = \frac{B}{V_1}$	Gesicherte und wahr- scheinliche Vorkommen V_2 in EJ	Dynamischer Erschöpfbarkeitsgrad $E_2 = \frac{B}{V_2}$
Kohle	6 900	18 700	0,37	300 000	0,023
Erdöl	7 600	4 000	1,9	10 500	0,72
Erdgas	2 900	2 800	1,05	6 800	0,43
Kernbrennstoff (nur westliche Welt)					
LWR	2 100	1 100	1,9	4 400	0,48
Brüter		66 000	0,03	264 000	0,008

¹⁾ 1 EJ (Exajoule) = 10^{18} J = $0,239 \times 10^{15}$ kcal

Erst eine solche Betrachtungsweise ermöglicht, zumindest für den betrachteten Zeitraum, die Bestimmung des dynamischen Erschöpfbarkeitsgrades E der verschiedenen Primärenergiequellen (Tabelle IV):

$$\text{Dynamischer Erschöpfbarkeitsgrad } E = \frac{\text{kumulierter Weltenergiebedarf } B \text{ 1978–2020}}{\text{Energievorkommen } V}$$

Je grösser E , desto rascher sind die Vorräte erschöpft. E über 1 deutet an, dass man sich bereits vor dem Jahre 2020 auf die wahrscheinlichen Reserven verlassen muss. Die nach WEC 77 berechneten E -Werte unterscheiden sich nicht prinzipiell von den Ergebnissen einer früheren Studie [1], das heisst, die damals gezogenen Konsequenzen waren bereits richtig.

Die Schlussfolgerungen sind eindeutig: Schon zu Beginn des nächsten Jahrhunderts werden auf den Sektoren Erdöl und Erdgas ernste Verknappungserscheinungen auftreten. Die Substitutionsvorgänge werden dann in vollem Gang sein. Je früher ein Staat seine Energiepolitik darauf einstellt, desto weniger grosse Störungen wird er in seiner wirtschaftlichen Entwicklung erfahren. Die Substitution des Erdöls muss schon in den 80er Jahren eingeleitet werden, einige Jahrzehnte später diejenige des Erdgases. Als wirkungsvolle Substitutionsenergie stehen nebst den Sparvorkehrungen die Kohle, die Kernenergie mit Brutreaktoren und die Sonnenenergie zur Verfügung. Auf keine dieser Energien kann verzichtet werden. Ihre grossmassstäbliche Einführung braucht jedoch Zeit.

Aus Gründen des Umweltschutzes werden die Anstrengungen dahin gehen müssen, die Kohle in flüssiger und gasförmiger Form einzusetzen sowie neue Feuerungstechniken einzuführen. Die Situation der Kernenergie zeigt eindeutig, dass die heutige Generation der Leichtwasserreaktoren längerfristig Schritt für Schritt abzulösen ist durch Brüter und Hochtemperaturreaktoren, die den Kernbrennstoff besser ausnützen und demzufolge die Ressourcen gewaltig strecken. Die Sonneneinstrahlung ist durch sehr kleine Energiedichte und in unseren Breiten durch stark und teils zufällig wechselndes Angebot geprägt, was eine aufwendige Energiespeicherung verlangt. Ausserdem beruhen die flächenintensiven Nutzungsanlagen auf stark energieverbrauchenden Materialien (schlechter Erntefaktor), weshalb die Verwendung der Sonnenenergie heute noch vergleichsweise sehr unwirtschaftlich ist. Sie wird jedoch in einem späteren Zeitpunkt Eingang finden müssen. Jedenfalls ist erkennbar, dass die Lösung der Energieversorgungsprobleme in den nächsten Jahrzehnten einen gewaltigen Kapitaleinsatz erfordern (Ablösung von Energierohstoffen

durch Kapital) und damit die Weltwirtschaft mitprägen wird. Nur mit dem Einsatz aller Kräfte kann das auf uns zukommende Energieproblem gemeistert werden.

3.2 Einsatz von Nuklearenergie

Nuklearenergie bedeutet für den Endenergieverbraucher oder für allfällige Energieträgerhersteller:

- elektrische Energie
- Prozesswärme
- Fernwärme

Die Erzeugung dieser drei Energiearten kann separat oder kombiniert (Wärme- und Kältekraftkoppelung mit Kondensationsteil) erfolgen. Kernreaktoranlagen der ersten Generation sind technisch voll erprobt, jene der nachfolgenden Generationen (Brüter- und Hochtemperaturreaktoren) in Erprobung und im Bau. Die kommerziellen Aspekte auf dem Sektor Nuklearenergie (Spaltung) sind für die Zukunft einigermaßen vorhersehbar.

3.3 Einsatz von Kohle

Unter dem Stichwort Kohle sind folgende Anwendungsfälle enthalten:

- a) Die technisch voll erprobte Verbrennung in Kohlekraftwerken zur separaten oder kombinierten (Wärme- und Kältekraftkoppelung mit oder ohne Kondensationsteil) Erzeugung von
 - elektrischer Energie
 - Prozesswärme
 - Fernwärme

Die kommerziellen Aspekte sind für die Zukunft einigermaßen überschaubar. Die Umweltbeeinflussung ist auch bei grossem Aufwand für den Schutz wesentlich grösser als bei der Nuklearenergie.

In verschiedenen Ländern, darunter auch in der Schweiz, ist unter anderem eine neue Technologie für eine umweltfreundliche Verbrennung von Kohle in Entwicklung: die Wirbelschichtverbrennung.

Diese Feuerungsart erlaubt es, 90 % des Schwefels in der Asche zu binden und den Auswurf von NO_x im Vergleich zu konventionellen Feuerungen auf ein Drittel zu vermindern. Die Wirbelschichtverbrennung kann im Gegensatz zur Rauchgasentschwefelung oder Kohlevergasung auch bei mittleren und kleineren industriellen Kesseln bis hinunter zu einer Brennstoffwärmeleistung von 10 MW eingesetzt werden. Sollten die Erwartungen erfüllt werden, so könnte der heutige Nachteil der Kohle bezüglich Emissionen wenigstens im Vergleich zum Öl eliminiert werden.

b) Die technisch erst im Versuchsstadium befindliche Kohlevergasung mit folgenden Einsatzmöglichkeiten des Kohlegases:

- Thermische Kraftwerke analog den Kohlekraftwerken, siehe oben
- Direkte Verwendung zur Nutzwärmeerzeugung
- Basisprodukt zur Herstellung eines Substitutionsgases für das Erdgas (Anwendungen als Basisprodukt in der chemischen Industrie sind in der Energiebilanz nicht enthalten)

An der technischen Realisierbarkeit der zukünftigen gross-technischen Kohlevergasung ist kaum zu zweifeln. Über die Kostenseite für die Zukunft konnten jedoch noch keine seriösen Angaben gemacht werden. Die Kohlevergasung bedingt ihrerseits einen gewissen Aufwand an Energie. Da dieser aber naheliegenderweise durch Einsatz von Kohle selbst erfolgt, wirkt er sich im betrachteten Zeitraum nicht auf das Deckungsproblem aus, sondern schlägt sich lediglich in den Gesteungskosten der Endenergie nieder. Aufgrund seiner hohen Heissgastemperaturen eignet sich der Hochtemperaturreaktor auch für die Vergasung von Stein- und Braunkohle durch Einkuppelung von Reaktorwärme. Ein Forschungs- und Entwicklungsprogramm²⁾ ist angelaufen.

²⁾ Das Projekt PNP (Prototypanlage Nukleare Prozesswärme) hat als Ergebnis der Konzeptphase verschiedene Möglichkeiten der Kohlevergasung durch nukleare Prozesswärme aufgezeigt.

c) Die technisch bereits realisierte Kohleverflüssigung wird wegen der Ressourcensituation erneut aktuell werden. Sie wird grosstechnisch aus wirtschaftlichen Gründen erst später als die Kohlevergasung zur Anwendung kommen, vornehmlich zur Herstellung eines Substitutionsstoffes für die heute auf Erdöl basierenden, flüssigen Treibstoffe. Bezüglich Kostenaspekt und Energieaufwand gilt das unter Kohlevergasung Gesagte in verstärkter Masse.

3.4 Einsatz von Erdgas

Obwohl die Perspektiven der Weltenergiekonferenz 1977 für Westeuropa kaum mehr einen Anstieg des Deckungsanteils des Erdgases am Primärenergieverbrauch voraussagen, das heisst einen gleichbleibenden Anteil von 13 bis 14% bis 1985, und nachfolgend eine langsame Abschwächung erwarten, was in absoluten Zahlen für das Jahr 2000 nur noch eine Erhöhung um 40% gegenüber 1975 bedeutet (Fig. 1), propagiert die Schweizerische Gaswirtschaft eine Vervielfachung des Gasabsatzes in der Schweiz.

Zwecks teilweiser Substitution des Erdöls kann man, wenigstens mittelfristig betrachtet (bis gegen die Jahrhundertwende), dieser Haltung die Berechtigung nicht absprechen, denn unsere Nachbarländer weisen bereits heute Anteile von 10 bis 14% auf (Schweiz 1977 3,5%), und der Anteil der Schweiz am Erdgasverbrauch aller westeuropäischen Staaten liegt unter 0,5%.

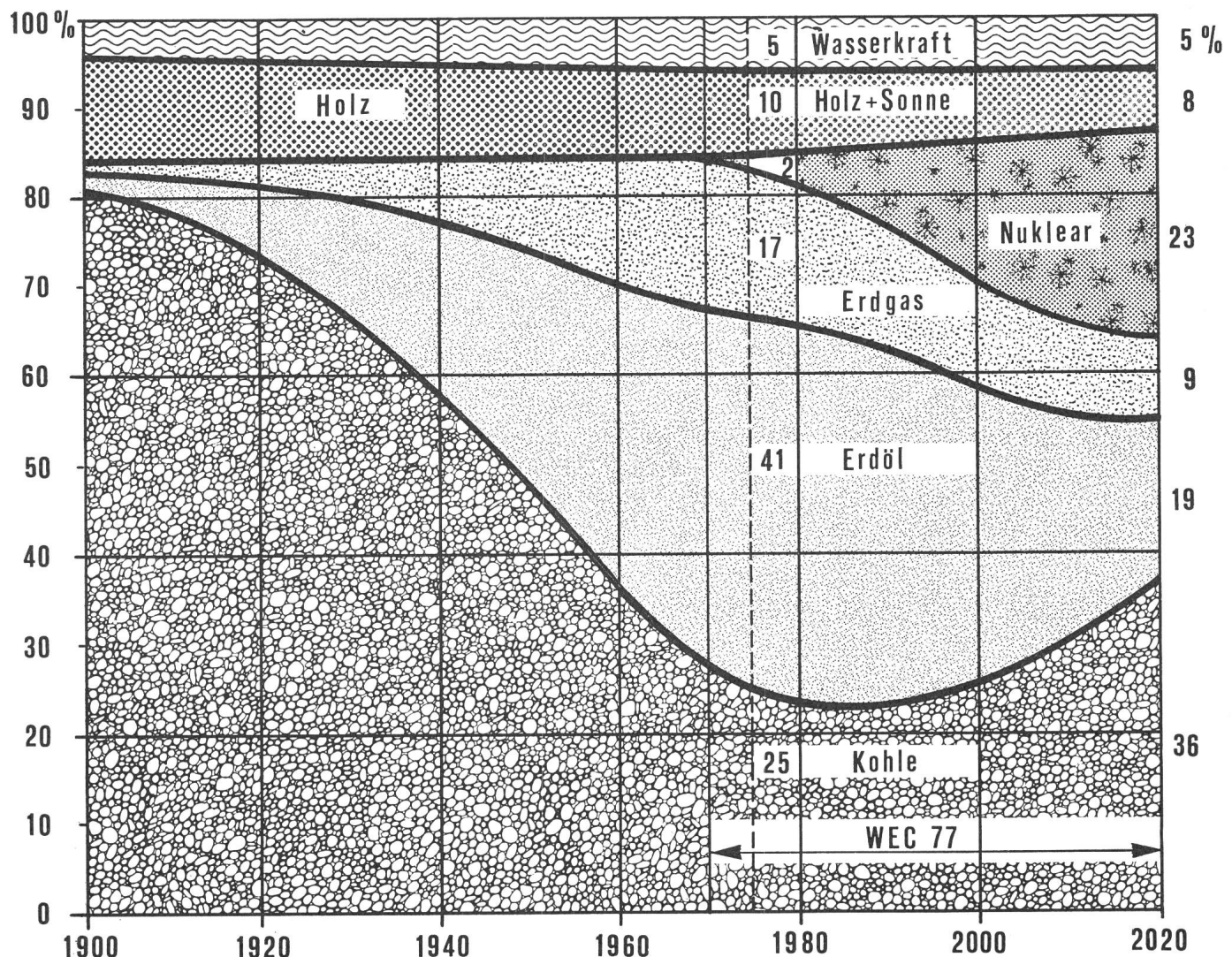


Fig. 1 Anteile der Primärenergieträger am Weltenergieverbrauch

Auch eine im Verhältnis zu den Nachbarstaaten erheblich massivere Zunahme des schweizerischen Erdgasabsatzes würde deshalb im europäischen Verbundnetz immer noch praktisch bedeutungslos bleiben.

Ein Weiteres kommt hinzu: Förder- und Bezugsländer erbringen sehr grosse Investitionen für die Erdgaspipelines und ihre Hilfseinrichtungen. Weil diese Anlagen für andere Zwecke als für den Erdgasdurchsatz kaum sinnvoll genutzt werden können (die kommerziellen Aspekte der Kohlevergasung oder der Wasserstoffherstellung sind sehr ungewiss), sind die Vertragspartner untereinander stark gebunden, und ihre Interessenslage ist gleichgerichtet. Es kann somit angenommen werden, dass die Versorgungssicherheit der Schweiz mit Erdgas, auch bei mehrfachem Bedarf, in den nächsten 20 Jahren gewährleistet ist, zumindest im Rahmen der Versorgungssicherheit in Westeuropa, dessen Bezugsquellen immerhin stark diversifiziert sind (nordeuropäisches Schelfgebiet, Nordafrika, UdSSR, Mittlerer Osten). Für eine Steigerung des Erdgasanteils in der Schweiz spräche auch die Tatsache, dass das schweizerische Gastransportnetz heute noch nicht voll ausgenutzt ist und seine Kapazität mit einigen hundert Millionen Franken zusätzlicher Investitionen verdoppelt werden könnte. Diese Aussagen gelten allerdings nicht für die Ortsnetze, deren Erweiterung viel grössere Investitionen erforderte. Der Import solcher grosser Mengen wäre schon heute vertraglich abgesichert.

Die Erkenntnisse der Weltenergiekonferenz 1977 zeigen andererseits deutlich, dass eine noch weitergehende Steigerung des Erdgasabsatzes in der Schweiz, längerfristig beurteilt (über das Jahr 2000 hinaus) im Widerspruch steht zu den weltweiten Deckungsmöglichkeiten. Diese Situation wird sich – ähnlich wie beim Erdöl, aber später – unweigerlich mit ihrer ganzen Härte auf den Erdgaspreis auswirken, und zwar spätestens in den 90er Jahren mit dem Auslaufen der Bezugsverträge.

Erdgas ist zusammenfassend kurz- bis mittelfristig eine wahrzunehmende Substitutionsenergie zum Heizöl. Der Erdgasabsatz sollte in der Schweiz soweit erhöht werden, als es die Kapazität der vorhandenen regionalen Transportnetze erlaubt, erhöht also um das, was mit relativ geringen neuen Investitionen bewältigt werden kann. Unter diesen Umständen könnte bis in etwa 20 Jahren ein Erdgasanteil am Gesamtenergieverbrauch von der Grössenordnung 10% erwartet werden. Weil der Schwerpunkt der Zusatzinvestitionen in der Feinverteilung durch die Ortsnetze liegt, sollte tendenziell versucht werden, diese zu umgehen und die Erdgaslieferungen auf Grossabnehmer zu konzentrieren, wie Industrie, Sammelheizungen in Überbauungen und Heizwerke von Fernheizanlagen. Da solche Werke meistens eine Mehrzahl von Feuerungsanlagen aufweisen, wird später die Umstellung von Erdgas auf Kohle oder Fernwärme aus Kernkraftwerken auch erheblich einfacher sein als in unzähligen individuellen Kleinstanlagen.

4. Methoden und Verfahren der Substitution

4.1 Elektrowärme

Wie bereits in Abschnitt 2 erwähnt, werden rund 48% des in der Schweiz konsumierten Erdöls für die Raumheizung und Warmwasseraufbereitung gebraucht. In diesem Bereich bietet sich die Elektrowärme als günstige Alternative zum Erdöl an. Im Vordergrund der Betrachtungen stehen dabei die elektrische Raumheizung und Warmwasseraufbereitung.

Verschiedene Untersuchungen zeigen, dass die elektrische Raumheizung auf der Basis von Wasser- und Kernkraft bei gleichen Voraussetzungen beinahe den gleichen Gesamtwirkungsgrad (Verhältnis zwischen aufgewendeter Primärenergie und abgebender Nutzenergie) aufweist wie die Einzelölheizung. Der allenfalls bestehende geringe Unterschied wird dadurch kompensiert, dass in der Ölheizung ein sehr wertvoller, in Zukunft für lebenswichtige Produkte (Pharmazeutika, Kunststoffe, Dünger usw.) zu reservierender Grundstoff verbrannt wird, während das in Kernkraftwerken eingesetzte Uran kaum einen anderen Verwendungszweck hat.

Aus energiewirtschaftlicher Sicht stellt die elektrische Heizung somit eine sinnvolle und geeignete Alternative zum Erdöl dar. Dazu kommen ihre absolute Sauberkeit und Umweltfreundlichkeit beim Konsumenten, der hohe Heizkomfort und nicht zuletzt auch ihre Wirtschaftlichkeit. Damit das letztere zutrifft, sind neben den Niedertarifansätzen, welche für die Betriebskosten der elektrischen Raumheizanlagen und der Elektroboiler eine entscheidende Bedeutung besitzen, auf tarifarischem Gebiet noch weitere Massnahmen [3] nötig und möglich. Der Einsatz von Erdöl für Heizzwecke unterliegt dagegen einem ziemlich grossen Zukunftsrisiko. Schwindende Ölreserven, politische Instabilität in den Produzentenstaaten und immer strengere Umweltschutzbestimmungen können sich in den kommenden Jahren negativ auf die Versorgungssicherheit und die Preise des Erdöls auswirken. Im Elektrizitätssektor sind extreme Preiserhöhungen und politisch motivierte Versorgungsengpässe weit unwahrscheinlicher.

Die wachsende Attraktivität der elektrischen Raumheizung zeigt sich auch darin, dass die Zahl elektrischer Heizungsanlagen in der Schweiz von 5000 im Jahre 1971 auf 54000 im Jahre 1978 angestiegen ist. Heute werden rund 2% aller Wohnungen elektrisch beheizt. Zur Anwendung kommen, je nach Objekt, Direktheizgeräte, Speicherheizungen und – als Kombination von beiden – Mischheizsysteme.

Angesichts der Bedeutung, welche die Elektroheizung bei der Substitution von Erdöl einnimmt, hat die Elektrizitätswirtschaft ein breitangelegtes Förderungsprogramm in Angriff genommen. Sie ist in der Lage, bis in 10 Jahren 10–15% aller Wohnungen der Schweiz elektrisch zu beheizen. Damit könnten im dannzumaligen Zeitpunkt rund 600000 Tonnen Erdöl pro Jahr ersetzt werden.

Von der Produktionsseite her bietet das schweizerische Kernenergieprogramm die erforderlichen Voraussetzungen für die Realisierung dieser Substitutionsziele. Zwar werden Kernkraftwerke in erster Linie zum Zweck gebaut, die normale Nachfrage nach Elektrizität ausreichend decken zu können. Kernkraftwerke produzieren jedoch sogenannte Bandenenergie, das heisst eine über Tag und Nacht konstante Strommenge. Die übliche Nachfrage nach Elektrizität konzentriert sich dagegen zum grösseren Teil auf die Tages- und Abendstunden. Die Betriebsaufnahme der Kernkraftwerke hat deshalb automatisch wachsende freie Kapazitäten ausserhalb der Spitzenzeiten, vor allem während der Nacht, zur Folge.

Diese Nachtenergie kann für die elektrische Erzeugung von Wärme eingesetzt werden. Die elektrische Raumheizung erfordert daher keine zusätzlichen Produktionskapazitäten, sondern erlaubt im Gegenteil eine ausgeglichene Auslastung von Anlagen, welche für den normalen Strombedarf ohnehin notwendig sind.

Von seiten der Netzkapazitäten, in der Vergangenheit neben den tiefen Erdölpreisen Haupthindernis für einen zügigen Ausbau der Elektroheizung, kann dieses Programm mit einem Investitionsaufwand realisiert werden, welcher die Tarife kaum wesentlich beeinflussen dürfte.

Eine weitere sehr geeignete Möglichkeit, Erdöl zu substituieren, bietet die elektrische Warmwasseraufbereitung. Der Elektroboiler beansprucht ebenfalls vorwiegend Nachtenergie. Er hat einen im Vergleich zum Ölkombikessel wesentlich höheren Wirkungsgrad, was sich günstig sowohl auf den Energieverbrauch wie die Heizkosten auswirkt; zudem ist der Elektroboiler sehr umweltfreundlich. Die Elektrizitätswirtschaft beabsichtigt daher, den Elektroboiler, der mit 750000 in Betrieb stehenden Anlagen bereits heute einen namhaften Substitutionsbeitrag leistet, in Zukunft noch vermehrt zu fördern, zumal dadurch keine besonderen Probleme an die Verteilnetze gestellt werden. Dabei soll auch die Verbindung Ölkombikessel im Winter/Elektroboiler im Sommer stärker propagiert werden, weil der sehr schlechte Nutzungsgrad des Kombikessels im Sommer eine solche Kombination sinnvoll und wirtschaftlich macht.

Der Aufwand an Primärenergie reduziert sich wesentlich durch den ergänzenden Einsatz von elektrisch betriebenen Wärmepumpen und Sonnenkollektoren. Wärmepumpen beziehen zwei Drittel der Heizenergie von der Umgebung (Luft, Gewässer, Boden), während Sonnenkollektoren den Einfall der vorhandenen Sonnenstrahlung nutzen. Solchen Kombinationen sollte in Zukunft besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden. Ihrer Anwendung sind heute allerdings noch gewisse Grenzen gesetzt, insbesondere in bezug auf die technische Reife und die Wirtschaftlichkeit (Investitionskosten).

Gewisse Substitutionsmöglichkeiten können sich je nach Entwicklung der Erdölpreise auch bei Elektrokesselanlagen in der Industrie ergeben.

Die Elektrizitätsabgabe an Elektrokessel ist in den letzten Jahren stark gesunken. Aufgrund der gegebenen Produktionsstruktur der hydraulischen Elektrizitätserzeugung verfügt die Schweiz aber weiterhin über Stromüberschüsse im Sommer, die – in Elektrokesseln eingesetzt – zur Substitution von Erdöl beitragen könnten.

Mit der Inbetriebnahme der in Bau stehenden Kernkraftwerke Gösgen und Leibstadt könnte somit innerhalb der nächsten 10 Jahre eine erhebliche Menge von Erdöl durch Elektrizität ersetzt werden. Über den Zeitraum der erwähnten etwa 10 Jahre hinaus stehen längerfristig noch weitere Möglichkeiten offen. Bei einem planmässigen Ausbau der Produktions- und Netzanlagen könnte die elektrische Raumheizung und Warmwasseraufbereitung bis im Jahre 2000 einen zusätzlichen, weit über die genannten Zielvorstellungen hinausgehenden Anteil am Wärmemarkt übernehmen. Auch hier existieren wirtschaftliche Grenzen. Die jährliche Benützungsdauer der Höchstlast der Wärmeversorgung für Raumheizung und Warmwasserbereitung beträgt im Mittelland etwa 2500 Stunden. Daraus folgt, dass die Förderung der elektrischen Heizung über das Mass, das der Ausnutzung von Lasttälern von existierender Erzeugungs- und Verteilanlagen entspricht, zum Bau von zusätzlichen Anlagen führt, deren Benützungsdauer relativ tief ist (zusätzliches Energieangebot im Winter). Zu denken ist ferner an den Ausbau der elektrisch betriebenen öffentlichen Verkehrsmittel und eventuell an Elektromobile. Auch in der Industrie dürften sich auf längere Sicht neue Einsatzmöglich-

keiten für Elektrizität ergeben. Allerdings können diesbezüglich im heutigen Zeitpunkt kaum zuverlässige Prognosen abgegeben werden.

4.2 Gaswärme

4.2.1 Versorgungssicherheit

Die Erdgasbezugsquellen Westeuropas sind stark diversifiziert.

Die Förderländer erbringen sehr grosse Investitionen für die Erdgaspipelines, die Verdichterstationen und andere Anlagen. Dies führt zu einer starken Bindung der Vertragspartner untereinander und zu der gleichgerichteten Interessenlage, die langfristigen, meist über 20 Jahren laufenden Mietverträge einwandfrei zu erfüllen.

Insgesamt lassen die Gegebenheiten erkennen, dass das Erdgas in Westeuropa zumindest mittelfristig einen wichtigen Beitrag zu einer wirksamen Diversifikation der Risiken und damit zur Erhöhung der Sicherheit der gesamten Energieversorgung leistet. Langfristige Betrachtungen über den Erdgas-einsatz findet man im Abschnitt 3.4.

4.2.2 Wirtschaftliche Aspekte der Gasheizung unter Berücksichtigung der schweizerischen Verhältnisse

Grundsätzlich kann Gas für sämtliche Wärmezwecke eingesetzt werden. Auf dem Gebiet der Heizung wird Gas sowohl bei der Einzelgebäudeheizung inklusive Warmwasseraufbereitung wie auch als Brennstoff für Fernheizzentralen oder Gaswärmepumpen eingesetzt.

1976 waren in der Schweiz 5 % der Liegenschaften mit Gas zentral beheizt. Der prozentuale Anteil des Erdgases zur Deckung des Primärenergiebedarfs ist in der Schweiz heute geringer als in anderen westeuropäischen Ländern.

Es ist zu erwarten, dass die Gasheizung in den nächsten Jahren in der Schweiz eine weitere Verbreitung erfahren wird. Seit einigen Jahren hat die Zahl der für Gasfeuerung ausgerüsteten Kessel für industrielle Zwecke oder Fernheizanlagen ebenfalls stark zugenommen.

Die Infrastruktur für die Grob- und Mittelverteilung des angestrebten Gasanteils von 10 % der Gesamtenergiebilanz ist schon vorhanden, so dass der Kapitalmarkt für die Substitution des Erdöls mit Gas in diesen Grenzen relativ zur Elektro- oder Fernwärme wenig in Anspruch genommen werden muss.

Bei einer Zunahme des Erdgasanteils über 10 % sollte dies insbesondere in industriellen und Fernheizanlagen erfolgen, damit der Weiterausbau kostspieliger Feinverteilungsnetze vermieden werden kann.

Die Erdgaspreise sind je nach der lokalen Tarifpolitik von Ort zu Ort verschieden; im allgemeinen liegen sie heute wesentlich über den Preisen von Heizöl extra-leicht, so dass die Substitution des Erdöls durch Gas nur in spezifischen Fällen wirtschaftlich ist. Im Falle einer zukünftigen massiven Preiserhöhung des Rohöls kann erwartet werden, dass sich das Preisverhältnis zugunsten des Gases verbessern und dadurch die Wirtschaftlichkeit der Erdgaswärme zunehmen wird.

Bei Einzelgebäudeheizungen sind die Nebenkosten der Ölfeuerungen höher als diejenigen der Gasfeuerung (Öltank, Öltankraum, Tankreinigung und -unterhalt, Schäden infolge Korrosionen im Kessel, Service und Kontrolle der Brenner, Kaminreinigung).

Darüber hinaus bietet Gas Vorteile bezüglich der Luft- und Gewässerverschmutzung und der Belastung der Transport-

wege. Somit ist es vertretbar, für die Brennstoffwärme des Gases einen etwas höheren Preis zu bezahlen als für diejenige des Erdöls.

4.3 Beitrag der Fernwärmeversorgung zur Substitution von Öl

4.3.1 Bestehende Projekte

Dass die Fernwärmeversorgung einen bedeutenden Beitrag zur Ölsubstitution leisten könnte, ist seit einiger Zeit bekannt. So hat bereits im Jahre 1967 Ständerat Choisy dem Bundesrat eine Kleine Anfrage unterbreitet und darin unter anderem festgehalten, dass im Hinblick auf die Ölsubstitution, die Sicherheit der Landesversorgung und den hohen Anteil des Wärmeverbrauchs die technischen und wirtschaftlichen Bedingungen «für die Entwicklung der Städtefernheizung, deren Wärmequellen später Atomreaktoren sein könnten» studiert werden sollten.

Der dadurch veranlasste Bericht «Städtefernheizung» [4] kam zum Schluss, dass die teilweise Verwertung der Wärme von günstig gelegenen Kernkraftwerken es ermöglichen würde, auf längere Sicht einen gewissen Anteil des gesamtschweizerischen Verbrauchs an Heizöl für Raumheizung durch Kernbrennstoffe zu ersetzen. Tatsächlich werden fast 40 % des gesamten Heizölverbrauchs für Raumheizung im Umkreis von 40 km um die bestehenden, im Bau begriffenen und geplanten Kernkraftwerke verbraucht [5]. Der erwähnte Bericht hat zudem gezeigt, dass der notwendige Wärmetransport von den Kernkraftwerken zu den Siedlungsgebieten bereits bei kleinen Leistungen bei gut ausgenützter Transportleitung wirtschaftlich ist und dass bei hohen Transportleistungen Distanzen von 50 km und mehr wirtschaftlich überbrückt werden können.

In der Folge wurden mehrere, zum Teil sehr detaillierte Projekte unter Einbezug der Kernenergie ausgearbeitet, so für die bestehenden Fernheiznetze der Städte Bern (Wärmebezug aus dem Kernkraftwerk Mühleberg), Basel (Wärmebezug aus dem geplanten Kernkraftwerk Kaiseraugst) [6], das bestehende Kernkraftwerk Beznau (Versorgung der Region Brugg, Baden, zürcherisches Limmattal), das sogenannte Projekt «Transwaal» Transport Wärme Aare–Limmattal [7] sowie für die Region Luzern im Rahmen eines Energie- und Fernwärmekonzepts [8].

Alle Untersuchungen zeigen eindeutig, dass die Nutzung von Wärme aus Kernkraftwerken bereits heute technisch unter Gewährleistung der nuklearen Sicherheit lösbar ist. Hingegen ist die Wirtschaftlichkeit nur erreichbar, wenn die Versorgungsgebiete eine bestimmte Grösse erreicht haben. Für die Fernheizungen von Bern und Basel liesse sich diese Grösse bei systematischer Förderung der Fernwärme in kurzer Zeit erreichen. Das Projekt Transwaal, das von der günstigen Voraussetzung einer naheliegenden nuklearen Wärmequelle ausgehen kann, aber noch keine Wärmeverteilnetze aufweist, rechnet damit, innerhalb von 10 Jahren den Bau der Verteilnetze derart vorantreiben zu können, dass sich die Wärmeentnahme aus dem Kernkraftwerk Beznau lohnt.

Trotz den ermutigenden Ergebnissen der verschiedenen Projekte geht die Entwicklung der Fernwärmeversorgung nur zögernd vor sich. Der Hauptgrund liegt darin, dass bei derart umfangreichen Projekten unvermeidlicherweise die öffentliche Hand einbezogen werden muss. Dadurch wird der Zeitbedarf für die Meinungsbildung und den Entscheid sehr gross, da die kurzfristigen tagespolitischen Geschehnisse einbezogen werden müssen. Dies gilt auch für den aktuellen, wenn auch nicht neuen Vorschlag der sogenannten kalten Fernheizung [9].

Im Januar 1977 ist von der Arbeitsgruppe Plenar eine Studie über die «kalte Fernheizung» publiziert worden, die als Alternativlösung zur konventionellen klassischen Methode, genannt «heisse Fernheizung», anzusehen ist und ebenfalls imstande ist, durch Einbezug der Abwärmen aus Kernkraftwerken und anderen Quellen mindestens theoretisch grössere Heizölanteile zu substituieren. Aus energiepolitischer Sicht fehlt diesem Konzept allerdings die wichtige Verwendungsmöglichkeit der Kohle, es sei denn, es würden in grösserer Zahl Elektrizitätswerke auf Kohlebasis erstellt. Im Vergleich zur «heissen Fernheizung», bei Verwertung von Wärme aus Kernkraftwerken, bietet dieses Konzept kaum energetische Vorteile. Die vielen dezentralisiert angeordneten Wärmepumpenzentralen sind betriebsaufwendig und stellen an die optimale Regelung des Gesamtsystems ausserordentlich hohe Anforderungen. Die aufgeführten, erstaunlich niedrigen Kosten beruhen lediglich auf Modellschätzungen, wie allgemein festzustellen ist, dass das Konzept noch eingehender Prüfungen und technischer Entwicklung bedarf. Demgegenüber kann mit der Projektierung und Ausführung der konventionellen Fernheizung sofort begonnen werden, da sie bereits seit vielen Jahrzehnten erprobt ist.

Dem Wärmeverband Plenar geht als unmittelbare Auflage eine sogenannte Plenarisierungsrunde voraus (Wärmedämmung aller betroffenen Altbauten derart, dass der Wärmeleistungsbedarf um 30 % gesenkt wird). Bei der Einführung der heissen Fernheizung ist dies nicht Bedingung, kann aber selbstverständlich von Vorteil sein als allgemeine Energiesparmassnahme.

4.3.2 Wirtschaftlichkeit

Bisherige Überlegungen gehen immer davon aus, dass die Fernwärme im Vergleich zur Ölelzelheizung zu einem konkurrenzfähigen Preis angeboten werden soll. Diese Voraussetzung führt dazu, dass die Wirtschaftlichkeit einer Fernwärmeversorgung vor allem dann erreicht wird, wenn in dicht bebauten Gebieten möglichst rasch viele Abnehmer angeschlossen werden können. Der Aufbau einer Fernwärmeversorgung erfordert deshalb im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit eine kompetente Planung und eine Organisation des Versorgungsunternehmens nach privatwirtschaftlichen Grundsätzen.

Auch unter günstigen Voraussetzungen lässt sich ein wirtschaftlicher Betrieb normalerweise erst nach Jahren erreichen. Dies führt dazu, dass unter Umständen beträchtliche Vorfinanzierungen und Defizite in Kauf genommen werden müssen. Dies wiederum setzt voraus, dass die Entscheidungsinstanzen weit in die Zukunft blicken müssen und von der Notwendigkeit einer rechtzeitigen Weichenstellung in bezug auf die Ölsubstitution überzeugt sein müssen.

Dass eine derartige Finanzierung für eine Gemeinde durchaus tragbar ist, kann am Beispiel des Projekts Transwaal dargestellt werden [7].

Bei einem gesamten Investitionsvolumen von über 500 Millionen Franken müsste sich eine Gemeinde pro 10000 Einwohner innerhalb einer Zeitspanne von 20 Jahren mit rund 2,4 Millionen Franken am Aktienkapital beteiligen, also mit rund 12 Franken pro Einwohner und Jahr. Im übrigen muss darauf hingewiesen werden, dass sogenannte Alternativheizsysteme bei gleichem Substitutionseffekt zum Teil beträchtlich höhere Investitionen erfordern, im Beispiel Transwaal zum

Beispiel für eine Sonnenheisanlage fast das Dreifache und für eine bessere Wärmedämmung etwa das Zwei- bis Dreifache. Daraus zu schliessen, dass nur die Fernwärme aus Kernkraftwerken sinnvoll sei, wäre völlig falsch. Das Problem der Ölsubstitution ist derart ernst, dass alle Möglichkeiten zu dessen Lösung herangezogen werden müssen. In den dafür geeigneten Gebieten stellt aber die Fernwärmeversorgung aus Kernkraftwerken die absolut wirtschaftlichste Lösung dar.

4.3.3 Grundsätzliche Betrachtungen über die Schwierigkeiten bei der Förderung der Fernwärmeversorgung

Dass die Fernwärmeversorgung längerfristig einen bedeutenden Beitrag an die Ölsubstitution leisten kann, ist unbestritten, ebenso die technische Lösbarkeit. Hingegen bestehen offenbar Widerstände gegen ein System, das anstelle der alleinigen privaten Verantwortung eine Übernahme einer gewissen Verantwortung durch das Gemeinwesen bedeutet. Sehr oft werden die finanziellen Verpflichtungen der Gemeinde als untragbar eingestuft. Insbesondere scheint die Übernahme einer Aufgabe, welche am Anfang sicher mit Defizit arbeitet, nicht erwünscht.

In sehr vielen Gemeinden spielt kurzfristig die defizitäre Gasversorgung eine bedeutende Rolle beim Entscheid über eine Fernwärmeversorgung. Die rasche Absatzsteigerung des Gases hat Vorrang vor der Einführung einer Fernheizung.

Die langfristigen Aspekte der Ölsubstitution werden kaum beachtet. Ebenso wird verkannt, welche enormen Anstrengungen und welchen zeitlichen Aufwand eine grundlegende Veränderung der Energieversorgungsstruktur bedeuten.

Aus dieser Sicht wäre es denn auch verhängnisvoll, wollte man mit der Weichenstellung zuwarten, bis die Probleme brennend werden. Vielmehr scheint ein schrittweises Vorgehen mit überschaubarem Entscheidungsspielraum angezeigt.

Die langfristig anzustrebende Fernwärmeversorgung aus Kernkraftwerken sollte von den Gemeinden ausgehend mit konventionellen Fernheizungen über einen regionalen Verbund realisiert werden. Für die Gemeinden bedeutet dies, dass in einer ersten Phase die grundsätzlichen Entscheide über die Konkurrenzsituation und die Versorgungsgebiete der einzelnen Energieträger, unter Berücksichtigung der langfristigen Aspekte, gefällt werden müssen.

5. Psychologische und politische Aspekte der Erdölsubstitution in der Schweiz

Dass der hohe Erdölanteil am Gesamtenergieverbrauch und wenn möglich auch die absolute Verbrauchsmenge Schritt für Schritt gesenkt werden müssen, ist in weiten Kreisen, die sich mit Energiepolitik befassen, unbestritten. Die Ansichten gehen jedoch stark auseinander, wenn es um Ausmass und Tempo, um das Wie und Wo oder um die Art der Ersatzenergien geht. Hier beginnt die Trennung in Sachlichkeit und Emotionen, und sobald Emotionen im Spiel sind oder erweckt werden, haben sie zumindest einen gesellschaftspolitischen Hintergrund.

Die gefährliche Abhängigkeit unserer Energieversorgung vom Erdöl wird von der breiten Öffentlichkeit nicht wahrgenommen. Und obschon diese Energiequelle den nächsten Generationen fehlen wird, nimmt man die Notwendigkeit der Substitution kaum zur Kenntnis. Was heisst schon Substitution und was soll man substituieren? Diese Fragestellung ist nicht

unberechtigt, wenn man sich die Ergebnisse von Bevölkerungsumfragen³⁾ vor Augen führt. Auf die Frage nach den Anteilen der verschiedenen Energiearten am Gesamtenergieverbrauch (Endverbrauch) erhielt man folgendes Bild:

	Umfrage September 1977	Effektiv Anteile 1977
Elektrizität	41 %	17,6 %
Erdöl	37 %	75,2 %
Erdgas	12 %	4,2 %
Kohle	8 %	1,7 %
Sonnenenergie und andere	6 %	Holz 1,3 %

Und auf die Frage nach den zukünftigen Möglichkeiten der Elektrizitätsproduktion ab 1980 nannte man Sonnenkraftwerke an erster Stelle vor Kern- und Wasserkraftwerken. Weit abgeschlagen folgten Erdgas-, Kohle- und Erdölkraftwerke.

Aus diesen Zahlen wird die fehlende Motivation des Schweizer zur Substitution sogar logisch erklärbar. Warum soll man Erdöl substituieren, wenn die Elektrizität ohnehin schon den grössten Anteil für sich beansprucht. Statt auf die Substitution richtet man deshalb die Aufmerksamkeit auf den Kernkraftwerkbau, der von diesem Standpunkt aus überflüssig erscheint, da man – laut derselben Umfrage – ab 1980 ohnehin den grössten Anteil der zusätzlichen Elektrizität aus Sonnenkraftwerken zu erhalten glaubt.

Die Frage drängt sich auf, warum sich unser Volk der einseitigen Energieversorgungslage nicht bewusst ist. Herrscht hier eine Informationslücke oder werden diese Informationen bewusst nicht zur Kenntnis⁴⁾ genommen, nach dem Grundsatz, dass nicht wahr ist, was man nicht wahrhaben will?

Eine Substitutionspolitik ist mit vielerlei Problemen konfrontiert. Da ist zunächst die Frage der Wirtschaftlichkeit der Ersatzenergien und der Ersatztechnologien. Nun ist die Situation immer noch die, dass Erdölprodukte und ihre Nutzung bezüglich Preis und Investitionen am günstigsten sind. Schon aus diesem Grunde benötigt jede Veränderung der Lage einen energiepolitischen Konsens der Gemeinschaft, verbunden mit persönlichen Opfern. In unserer Demokratie bedeutet das den langwierigen Weg über die Meinungsbildung und Gesetzgebung, denn von alleine wird wenig geschehen.

Bei der Substitution spielt auch die Zeitkomponente eine grosse Rolle. Umstellungen zum Beispiel auf andere Heizmethoden oder Planung und Bau von Kraftwerken und von leitungsgebundenen Versorgungssysteme benötigen Jahre bis Jahrzehnte. (Beispiel: Die Umstellung der individuellen Heizanlagen von der Kohle auf das Öl hat in der Schweiz rund 25 Jahre gedauert.) Weil zu erwarten ist, dass ab 1985/90 die weltweiten Erdölvorräte abnehmen werden, bleibt für Entscheide in der Energiepolitik eigentlich nur noch sehr wenig Zeit übrig, soll nicht die nächste Generation mit grösseren Versorgungsschwierigkeiten konfrontiert werden. Gerade darin liegt das Dilemma, denn die Demokratie hat offensichtlich Mühe, langfristig zu denken.

Der Erdölanteil ist in der Schweiz so gross, dass es nur mit dem Einsatz aller Alternativenenergien möglich sein wird, ihn soweit herabzusetzen, dass von einer wirklichen Diversifikation und nationalen Versorgungssicherheit gesprochen werden kann. Da sich der Spielraum der Alternativenenergien von der

³⁾ Isopublic: Sept. 1977

⁴⁾ Nach einer kürzlich von der GEK durchgeführten Meinungsumfrage sahen nur 7 % der Schweizer Bevölkerung das Energieproblem als Aufgabe erster Priorität an.

Kernenergie über Wasserkraft, Erdgas, Kohle und Holz bis zur örtlichen Nutzung der Sonnenenergie erstreckt, gleichsam von zentralisierten bis zu extrem dezentralisierten Systemen, gehen die Meinungen, je nach Weltanschauung und politischem Standort, stark auseinander, wo die unmittelbaren Schwerpunkte anzusetzen sind. Zum Beispiel wird von gewissen Kreisen die Substitution durch Elektrizität oder nukleare Fernwärme nur abgelehnt, weil die Kernenergie dahinter steckt. Folge davon ist, dass die Diskussion häufig völlig unreal wird, da vergessen wird, welches praktische Einsatzpotential die empfohlenen Energien überhaupt aufweisen. Bei nüchterner Betrachtung dürfte es jedoch klar sein, dass auf absehbare Zeit den beiden grossen K, Kohle und Kernenergie, die zentrale Versorgungsfunktion zufällt. Demgegenüber wird das nutzbare Potential der erneuerbaren (und gleichzeitig einheimischen) Energien aus wirtschaftlichen, aber auch aus physikalischen und teils ökologischen Gründen sehr beschränkt bleiben. Auch die Möglichkeit, in ausreichendem Masse Erdöl durch Erdgas zu ersetzen, wird weltweit relativ pessimistisch beurteilt (siehe Abschnitt 3.4).

Daraus geht unmissverständlich hervor, dass es nur mit Grosseinsätzen gelingen wird, das Substitutionsproblem in einem wünschenswerten Ausmasse anzugeben. Es geht nicht um die Bevorzugung des einen oder anderen Energieträgers oder dieses oder jenes Versorgungssystems, sondern um den gebührenden Einsatz aller Alternativen. Jeder hat seinen Platz im zukünftigen Energiekonzept.

Aus dem Substitutionspostulat kann auch gesellschaftspolitischer Zündstoff entstehen, wenn die Behauptung aufgestellt wird, dass es mit dem Postulat des Energiesparens in Konkurrenz stehe. Hier ist zu erwidern, dass sich beide Postulate gar nicht widersprechen, sowenig wie mit den Zielvorstellungen des Umweltschutzes. Jede sinnvolle Energiepolitik wird danach trachten, gleichzeitig mit der Substitution die Forderungen des Sparens und der Umweltschonung zu erfüllen.

Industriefeindliche Kreise und solche, die aus nostalgischen Gründen das Rad der Zeit zurückdrehen wollen, verurteilen die Kernenergie und andere grössere Versorgungssysteme. Sie suchen nach der heilen Welt der dezentralisierten Kleintechnologie in voller Verkenntung der Tatsache, dass mit dieser Technologie der gesamte Energiebedarf, selbst bei Nullwachstum, nicht gedeckt werden kann und dass diese teurer und bezüglich Unterhalt und Betriebssicherheit fragwürdig ist. Andere Kreise wiederum möchten das Problem mit einem erzwungenen Nullwachstum lösen, womit nach ihrer Meinung auch die Substitution hinfällig würde. Auch ein Nullwachstum erfordert ein gewisses Mass an Substitution. Der Forderung nach Nullwachstum haftet bewusst oder unbewusst eine gewisse politische Färbung an, denn unsere Wirtschaft ist eine Wettbewerbswirtschaft, die nur durch ständige Innovationen und den damit verbundenen Neuinvestitionen bestehen kann. Neuinvestitionen erfordern wiederum Energie. Der andere Weg führt zu derjenigen Zwangswirtschaft, die den künstlich erzeugten Mangel verwalten und das Restangebot an Energie verteilen möchte. Substitution von Erdöl führt öfter zu leistungsgebundenen Versorgungssystemen und zu Gebietsauseinandersetzungen für den Einsatz der alternativen Energieformen. Auch ist es nicht ausgeschlossen, dass zur Unterstützung eines wirksamen Substitutionsprogramms gewisse Fördermassnahmen nötig sind. Dadurch geht unter Umständen ein Stück vermeintlicher individueller Freiheit verloren.

Diese psychologische Barriere gilt es durch Aufklärung zu überwinden. So wie der moderne Mensch durch Arbeitsteilung nach und nach dazugekommen ist, auch in einem überbevölkerten Staate angemessen leben zu können, so wird er sich auch auf dem Energiesektor an die weltweit gegebene Vorratssituation anpassen müssen.

Die Verantwortung für eine massvolle Verwendung der Energieressourcen tragen also wir alle. Es ist aber insbesondere die Pflicht der Energiewirtschaft und der politischen Instanzen, die notwendigen Voraussetzungen für eine massvolle und sichere Energieversorgung der Schweiz zu schaffen. Mit einer gezielten Substitution des Erdöls kann nicht nur die Versorgungssicherheit gesteigert werden, sondern es können gesamthaft auch einige Tausend neue Arbeitsplätze gewonnen und es kann die Verschmutzung der Umwelt wirksam vermindert werden. Es ist aber höchste Zeit, zu handeln, denn eine wirksame Substitution braucht nicht nur Kapital, sondern auch sehr viel Zeit. Wenn wir es jetzt nicht freiwillig tun, werden wir es in einigen Jahren unter dem Diktat der Erdölpreise oder sogar der Erdölförderstaaten tun müssen. Die Bedingungen werden dann allerdings etwas anders sein.

Man sollte sich stets an die Warnung des kompetenten Gremiums «Workshop of Alternative Energy Strategies (WAES)» erinnern, die in bezug auf die Dringlichkeit der Substitution, insbesondere von Öl, und den doch eher schleppenden Fortschritten auf diesem Gebiet ausgesprochen wurde:

The basic danger of the world energy situation is that it could become critical before it seems serious.

6. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Im Bericht werden alle realistischen Substitutionsträger, die kurz- oder längerfristig eingesetzt werden können, gewürdigt. Die Zielsetzung der Verminderung des Erdölanteils scheint praktisch von sämtlichen Kreisen, die sich mit Energiepolitik beschäftigen, uneingeschränkt bejaht zu werden. Weit auseinander gehen die Meinungen bei der Frage nach dem «wie». Wir haben versucht, einen schweizerischen Weg zur Substitution zu zeigen; denn die praktischen Möglichkeiten sehen von Land zu Land anders aus. Der «Teufelskreis» bei der Substitution liegt darin, dass – um erfolgreich substituieren zu können – Kapital und ausreichend Energie vorhanden sein müssen. Denn neue Einrichtungen müssen zuerst produziert (Energie) und finanziert (Kapital) werden. Das Resultat dieser Bemühungen besteht dann nicht darin, dass man gegenüber dem Erdöl einen wirtschaftlicheren, einen besser speicherbaren und transportierbaren Energieträger gefunden hat. In der Regel ist das Gegenteil der Fall. Als Beispiel kann gerade die Sonnenenergie trotz grossem Energiepotential diese Attribute nicht beanspruchen. Ein Staat bzw. eine Gesellschaft wird daher nur an das Problem herangehen, wenn es keine Auswege gibt. Dann ist es in der Regel zeitlich zu spät. Man muss daher im Substitutionsvorgang auf die Vernunft und auf die Einsicht verweisen, beides Qualitäten, die a priori nicht von vornherein gegeben sind. Ein langsames Substitutionstempo kann nicht unbedingt als unvernünftig abgetan werden; vielmehr ist es eine Frage der Prioritätenordnung. Andererseits darf man auch feststellen, dass, wenn eine Gemeinde oder eine Region sich das Ziel setzen, finanziell gesund dazustehen und keinesfalls mehr Schulden machen möchten, die Randbedingungen für

ein Projekt Fernwärme schlecht gelegt sind (hohe Investitionen, anfängliche Betriebsverluste).

Man darf auch feststellen, dass, wenn der Zusammenhang Kapital-Wirtschaft-Substitution existiert, in der Schweiz eigentlich die idealen Voraussetzungen für eine echte Substitution vorhanden sind.

In drei Thesen zusammengefasst könnte man den Inhalt der Studie folgendermassen wiedergeben:

1. Substitution von Erdöl kann im Bereich der Wärmeanwendungen am wirkungsvollsten betrieben werden. Die Fernwärmeversorgung könnte die besten Voraussetzungen dafür schaffen und einen bedeutenden Beitrag leisten. Fernwärme ist erprobt und braucht keine zusätzlichen Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen.

2. Als wirkungsvolle Substitutionsenergie stehen nebst den Sparvorkehrungen die Kohle, die Kernenergie und die Sonnenenergie zur Verfügung. Mittelfristig kann auch das Erdgas einen Beitrag liefern. Die Kapazität der vorhandenen regionalen Gas-transportnetze ist voll auszunützen, wobei der Einsatz des Erdgases auf Grossabnehmer wie Industrie und Heizwerke von Fernheizanlagen zu konzentrieren ist. Auf keine dieser genannten Energien kann verzichtet werden.

3. Für die Substitution von Erdöl sind alle Energieträger einzusetzen, die einen Beitrag – auch wenn er sehr bescheiden ist – leisten können. Die wirtschaftlichen Gegebenheiten werden ohnehin ohne zusätzliche Steuerung für eine gesunde Selektion sorgen.

Literatur

- [1] Elektrizität und Wärme, Versorgungskonzept der Schweiz bis zum Jahre 2000, Sonderdruck aus Bull. SEV/VSE 66(1975)21. (Bezug über VSE).
- [2] Die weltweiten Energieperspektiven, Vorträge des Schweizerischen Nationalkomitees der Weltenergiekonferenz 1977; Schweizerische Handelszeitung Nr. 45 vom 10. November 1977.
- [3] Substitution von Erdöl durch elektrische Energie, ausgearbeitet von einer Arbeitsgruppe der VSE-Kommission für Energietarife, September 1976.
- [4] Städtefernheizung. Bericht im Auftrag des Eidg. Amtes für Energiewirtschaft, erstellt von Gebrüder Sulzer AG, Bern, EDMZ 1974.
- [5] R. Ecabert und H.J. Leimer: Gedanken zum Energiekonzept der Schweiz. Techn. Rundschau Sulzer 4/1975.
- [6] P. Stoll: Einsatz bestehender und im Bau befindlicher Kernkraftwerke der Schweiz für Wärmenutzung. Bull. SEV/VSE 68(1977)16, S. 828–833.
- [7] Fernwärmeversorgung Aare-Limmattal: Projektstudie Transwaal, Schlussbericht. Städtische Werke Baden, Gemeinde Wettingen, BBC Aktiengesellschaft Brown, Boveri & Cie., Kabelwerke Brugg AG, Gebrüder Sulzer Aktiengesellschaft, Motor Columbus AG, Nordostschweizerische Kraftwerke AG, Baden, April 1978.
- [8] Energie- und Fernwärme konzept der Region Luzern, Konsortium Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG – Gebrüder Sulzer Aktiengesellschaft. 1977.
- [9] PLENAR Wärmeverbund CH. Arbeitsgruppe PLENAR, Januar 1977.

Sir George Gabriel Stokes

1819–1903

Rotierende Maschinen sind im Verlauf der Jahrzehnte grösser, leistungsfähiger und ausgeklügelter geworden. Eines aber ist geblieben: man muss sie schmieren.

Dem Iren Stokes kommt das Verdienst zu, die Bedeutung der Viskosität der Schmiermittel erkannt und Methoden zu ihrer Messung angegeben zu haben. Er kam am 13. August 1819 in Skreen, einem kleinen Ort an der Nordwestküste Irlands, als achtes Kind des dortigen Rektors zur Welt. Mit 12 Jahren kam er an eine Privatschule in Dublin, 1835 ans Bristol College und 2 Jahre später ans Pembroke College in Cambridge. In Mathematik der Beste seines Jahrganges, übertrug man ihm 1845 die Herausgabe des «Cambridge Mathematical Journal». Von 1849 bis zu seinem Tode wirkte Stokes als Mathematikprofessor in Cambridge.

Schon im ersten Jahr entwickelte er eine fieberhafte Tätigkeit, bei der er vor allem physikalische Probleme behandelte und auch Experimente anstellte. Die Untersuchungen über die Bewegung zäher Flüssigkeiten führten zum bekannten Stokesschen Gesetz. Dieses half nicht nur Schmierprobleme zu lösen, den Reibungswiderstand von Schiffen zu bestimmen, sondern diente unter anderem Millikan bei der Bestimmung der Ladung des Elektrons (Tröpfchenmethode). Stokes Berechnungen über die Ausbreitung von Wellen sind so allgemein gefasst, dass sie auch für elektrische Vorgänge gelten. Dank einer Arbeit über Variationen der Schwerkraft auf der Erde wurde er Berater des Geodätischen Dienstes Indiens. Auf akustischem Gebiet erkannte er, dass Wasserstoff den Schall schlecht leitet.

Beim Experimentieren mit ultravioletten Strahlen fand er, dass Quarz für diese durchlässiger ist als Glas (Anwendung: Quarzlampe). Er entdeckte auch die Fluoreszenz, wofür er 1852 die Rumford-Medaille zugesprochen erhielt.

In Cambridge Professor zu sein, bedeutet eine grosse Ehre. Aber diese Herren waren sehr schlecht bezahlt. Stokes, der 1857 die Tochter eines Astronomieprofessors geheiratet hatte und von ihr mit zwei Söhnen und einer Tochter beschenkt worden war, musste sich, als die Kinder grösser geworden waren, nach vermehrten Einkünften umsehen. Er übernahm daher zusätzliche Lehrverpflichtungen an der School of Mines (Bergbauschule), hielt Vorlesungen in Aberdeen und besorgte in Cambridge das Universitätssekretariat.



Physikalisches Institut der ETH Zürich

Stokes amtierte von 1854 bis 1885 als Sekretär und von da an bis 1890 als Präsident der Royal Society. Sein Nachfolger war Lord Kelvin, mit dem er seit seiner Studienzeit eng befreundet war. Als Vertreter Cambridges sass Stokes von 1887 bis 1891 im Parlament. 1889, am 6. Juli, wurde er zum Baronet ernannt. 10 Jahre später konnte er das Jubiläum seines 50jährigen Wirkens als Professor feiern. Aber im gleichen Jahr verlor er seine Frau.

Stokes war sehr vorsichtig im Veröffentlichenden von Arbeiten und im Ziehen von Schlüssen. Als er kurz nach Röntgens Entdeckung die neue Strahlung als eine elektromagnetische interpretierte, fand sein Urteil volle Beachtung.

Am 1. Februar 1903 starb Stokes. Seine Tochter, Mrs. Lawrence Humphrey, schrieb seine Biographie.

H. Wüger

Le remplacement du pétrole – un problème résoluble

Rapport d'un groupe d'étude de l'Union des Centrales Suisses d'Electricité, de la Société Anonyme BBC Brown, Boveri & Cie et de la Société Anonyme Sulzer Frères

1. Limites et but de l'étude

Ressentant le besoin d'élaborer une étude à la fois technique et économique des possibilités de production de chaleur et d'électricité d'ici l'an 2000, des groupes de travail de l'Union des Centrales Suisses d'Electricité (UCS), de la Société anonyme BBC Brown, Boveri & Cie et de la Société anonyme Sulzer Frères se sont associés afin d'étudier en commun tous les aspects de cette question. L'étude «Electricité et chaleur, conception d'approvisionnement de la Suisse jusqu'à l'an 2000» est parue en août 1975 [1] et a rencontré un bon accueil parmi les milieux intéressés. Les méthodes d'analyse utilisées ont été confirmées dans la controverse qui suivit. Il faut toutefois émettre une réserve, c'est que cette volumineuse étude ne pouvait que difficilement être accessible au grand public à cause de son langage technique. C'est ce qui a incité le même groupe à donner une suite à cette étude, laquelle devra ouvrir de larges cercles au problème du remplacement du pétrole en tenant spécialement compte des conditions suisses. Pour une petite étude, cela signifie qu'elle doit pouvoir être lue normalement, sans que l'on y rencontre de développements techniques compliqués, et surtout qu'elle contienne une suite d'arguments mettant en évidence sous divers aspects le problème du remplacement du pétrole. Le premier impératif est de se limiter à l'essentiel. Il n'est pas question de traiter dans ce cadre des possibilités futuristes ou exotiques qu'offre la relève de l'or noir pour la Suisse.

Cela ne signifie pas que toutes les autres possibilités ne sont pas à prendre au sérieux ou ne doivent pas être encouragées. Toute politique de substitution doit si possible s'appuyer sur un grand nombre d'agents énergétiques.

Le groupe de travail souhaite que ce rapport sur le remplacement du pétrole soit compris comme une critique ouverte et fondée de tout ce qui a été fait jusqu'à présent, raison pour laquelle la question des «aspects psychologiques et politiques de la substitution en Suisse» recevra la place qu'elle mérite.

Ainsi est délimité de façon claire ce que cette étude ne veut et ne peut pas être.

2. Objectif primordial: le remplacement du pétrole

En 1977, le pétrole a couvert 75,2 % de l'ensemble des besoins énergétiques. Pour la Suisse, la prédominance de cet agent énergétique est dangereuse et ne saurait être supportable à long terme, tant en raison des augmentations prévisibles de son prix, de l'épuisement des réserves à moyenne échéance qu'à cause de la dépendance unilatérale vis-à-vis d'une région politiquement peu stable (difficultés d'approvisionnement). Environ 65 % du pétrole consommé en Suisse a servi à la production de chaleur, dont 48 % rien que pour le chauffage de locaux et la préparation d'eau chaude. Ces chiffres montrent qu'il existe un gros potentiel de remplacement dans les applications thermiques. C'est justement ce pourcentage qui peut être fourni par d'autres agents énergétiques. Sont pris en considération :

le gaz naturel, le charbon, l'énergie hydraulique, le combustible nucléaire, l'énergie solaire.

Pour des raisons qui sont surtout d'ordre économique (investissements exorbitants) et moins pour des motifs écologiques (notamment le paysage), le potentiel exploitable des énergies renouvelables restera très limité, au moins au cours des 20 à 30 prochaines années. De plus, la possibilité de remplacer le pétrole par le gaz naturel est jugée de façon très pessimiste dans le monde entier (cf. chiffre 3.4).

C'est pourquoi le charbon et l'énergie nucléaire constitueront bientôt les principales sources d'approvisionnement¹⁾. Bien que cette considération soit générale, elle vaut tout particulièrement pour la Suisse qui est pauvre en ressources.

3. Appréciation critique des agents de substitution possibles

3.1 Les réserves d'énergie dans le monde et leurs limites

L'efficacité et la fiabilité du système d'approvisionnement en énergie d'un pays dépend de la taille des gisements mondiaux d'énergie primaire. Ce principe est très important pour la Suisse, où l'approvisionnement en énergie dépendra encore pendant longtemps pour 85 % de l'étranger.

Pour la première fois, la Conférence mondiale de l'énergie a désigné une commission chargée de dégager les perspectives énergétiques à l'échelon mondial d'ici l'année 2020 [2] (en abrégé ci-après: CME77). De par leur caractère international, elles permettent des déductions sûres en ce qui concerne la Suisse.

Les réserves mondiales *R* (gisements, réserves, ressources) en énergies primaires non renouvelables citées dans ce rapport sont succinctement représentées dans le tableau I. Sont montrées d'un côté les réserves assurées qui peuvent être exploitées aux coûts actuels et, de l'autre, en plus les réserves probables et présumées qui pourraient aussi être exploitées, mais moyennant des frais beaucoup plus élevés. Les indications concernant les gisements de combustible nucléaire (les catégories «réserves assurées» et «estimées» comprenant chacune environ 2 millions de tonnes d'oxyde d'uranium) ne se rapportent qu'au monde occidental. Les chiffres du tableau sont à interpréter dans ce sens.

Les données concernant les quantités d'énergie sont indiquées en EJ; 1 EJ (exajoule) = 10^{18} J = $0,239 \times 10^{15}$ kcal (soit l'équivalent d'énergie de quelque 24 millions de tonnes de pétrole).

Si l'on divise les réserves par la consommation mondiale actuelle de chaque espèce d'énergie primaire – pour le combustible nucléaire par la consommation du monde occidental – on obtient le nombre d'années qui restent jusqu'à l'épuisement des réserves, ce bien entendu sous la condition hypothétique d'une consommation annuelle stable (voir tableau II). Cette comparaison montre déjà clairement quelles sont les sources d'énergie qui nécessitent des substitutions et quelles sont les sources qui peuvent servir de substituts. Le complément pourrait être apporté par une combinaison avec le rayonnement

¹⁾ Résultats de la Conférence mondiale de l'énergie 1977 à Istanbul.

Energie primaire	Réserves assurées		Réserves assurées et probables	
	(exprimées en unités habituelles)	EJ ¹⁾	exprimées en unités ordinaires	en EJ
Charbon	640 milliards de tec ⁶⁾	18 700	10 000 milliards de tec ⁶⁾	300 000
Pétrole ²⁾	90 milliards de tep ⁷⁾	4 000	240 milliards de tep ⁷⁾	10 500
Gaz naturel ³⁾	66 000 milliards de m ³	2 800	162 000 milliards de m ³	6 800
Combustible nucléaire (Occident seulement)	2 millions de t d'oxyde d'uranium ⁴⁾	1 100	8 millions de t ⁵⁾	4 400

¹⁾ 1 EJ (exajoule) = 10^{18} J = $0,239 \times 10^{15}$ kcal = $34,2 \times 10^6$ tec = $22,7 \times 10^6$ tep.

²⁾ Sans sables et schistes bitumineux ni huiles très lourdes (estimation globale: 12000 EJ min.), régions polaires et plateau continental à plus de 200 m de profondeur non compris (estim.: 1000 EJ min.).

³⁾ Régions polaires et plateau continental à plus de 200 m de profondeur non compris (puisque non prospectés).

⁴⁾ Bloc de l'Est non compris, coût d'exploitation max. 50 \$/livre U₃O₈ pour les réserves assurées, et 2 ou 3 fois supérieur pour les réserves probables, utilisation dans les réacteurs à eau légère: à partir de 1 million de t U₃O₈, on peut produire environ $1,3 \times 10^{17}$ kcal de chaleur (énergie primaire).

⁵⁾ 4 millions de t U₃O₈ à max. 50 \$/livre U₃O₈ selon CME77, env. 50 % de plus en raison des frais d'exploitation deux fois plus élevés, env. 30 % de plus pour les réserves de thorium (Teneur en uranium et en thorium de la croûte terrestre et des océans: plusieurs centaines de millions de t).

⁶⁾ 1 tec = 1 tonne équivalent charbon.

⁷⁾ 1 tep = 1 tonne équivalent pétrole.

Epuisement des réserves mondiales d'énergie (consommation stable)

Tableau II

Energie primaire	Consommation 1978 EJ ¹⁾	Gisements assurés EJ ¹⁾	Taux d'épuisement avec une consommation statique Années	Gisements assurés et probables EJ ¹⁾	Taux d'épuisement avec une consommation statique Années
Charbon	71	18 700	265	300 000	4 250
Pétrole	132	4 000	30	10 500	80
Gaz naturel	52	2 800	55	6 800	130
Combustible nucléaire pour LWR (Occident seulement)	5,5	1 100	200	4 400	800

¹⁾ 1 EJ (exajoule) = 10^{18} J = $0,239 \times 10^{15}$ kcal

solaire qui est inépuisable et qui représente une ressource théorique annuelle d'environ 3 millions d'EJ sur la surface de la terre. Les économies d'énergie peuvent également être assimilées à des «sources d'énergie primaire» de substitution. Mais on en tient compte dans le développement probable de la consommation d'énergie dans le monde et non comme réserve.

L'hypothèse d'une consommation d'énergie constante est bien sûr irréaliste. Il faut sans aucun doute s'attendre à une augmentation dans le monde entier ainsi qu'à une modification de la part de chaque source d'énergie. En tenant compte des tendances actuelles et des prévisions concernant les substitutions, la CME77 a déjà tracé le développement possible de la proportion de chaque source d'énergie primaire par rapport à la consommation jusqu'en 2020. Le tableau III repose sur ce scénario, dans lequel on a choisi pour l'augmentation de la consommation globale d'énergie dans le monde un taux annuel modeste d'à peine 3 % et où les économies d'énergie, de l'ordre de 15 à 20 %, ont déjà été prises en considération (abaissement du taux de croissance de 3,5 à 3 %). Dans ces conditions, on peut calculer les besoins cumulés pour les différents agents énergétiques pour la période allant de 1978 à 2020 (tableau III).

Seule une telle façon d'envisager les choses permet, au moins pour la période considérée, de déterminer le taux d'épuisement dynamique *E* des diverses sources d'énergie primaire (tableau IV).

Besoins mondiaux en énergie jusqu'en 2020 (taux de croissance annuel moyen d'à peine 3 %)

Tableau III
selon CME 77

Energie primaire		1978	1990	2000	2010	2020	Cumulé 1978-2020
Total	EJ	310	430	575	765	1 020	25 000
Charbon	% EJ	23 71	22 94	25 144	29,5 226	36 367	6 900
Pétrole	% EJ	42,5 132	41 177	33,5 193	26 199	19 194	7 600
Gaz naturel	% EJ	16,5 52	13,5 58	12 69	10,5 80	9 92	2 900
Energie nucléaire	% EJ	2 6	8,5 36	15 86	20 153	23 235	4 000
Occident seulement	EJ	(5,5)	(27)	(51)	(74)	(105)	(2 100)
Bois, énergie hydrau- lique, énergie solaire	% EJ	16 49	15 65	14,5 83	14 107	13 132	3 600

1 EJ (exajoule) = 10^{18} J = $0,239 \times 10^{15}$ kcal

Energie primaire	Besoins cumulés 1978–2020 B en EJ	Réserves assurées R_1 en EJ	Taux d'épuisement dynamique $E_1 = \frac{B}{R_1}$	Réserves assurées et probables R_2 en EJ	Taux d'épuisement dynamique $E_2 = \frac{B}{R_2}$
Charbon	6 900	18 700	0,37	300 000	0,023
Pétrole	7 600	4 000	1,9	10 500	0,72
Gaz naturel	2 900	2 800	1,05	6 800	0,43
Combustible nucléaire (Occident seulement)					
LWR	2 100	1 100	1,9	4 400	0,48
Surgénérateurs		66 000	0,03	264 000	0,008

1 EJ (exajoule) = 10^{18} J = $0,239 \times 10^{15}$ kcal

$$\text{Taux d'épuisement dynamique } E = \frac{\text{Besoins mondiaux d'énergie cumulés } B \text{ 1978–2020}}{\text{Réserves d'énergie } R}$$

Plus E est grand, plus les réserves s'épuisent vite. Lorsque E dépasse 1, cela signifie qu'il faudra compter déjà avant 2020 sur les réserves probables. Les valeurs E calculées selon la CME77 sont pratiquement identiques aux résultats d'une étude précédente [1], autrement dit, les déductions faites à l'époque étaient déjà réalistes.

On peut en déduire clairement que dès le début du siècle prochain il y aura une sérieuse pénurie de pétrole et de gaz naturel. Les processus de substitution seront alors pleinement engagés. Le développement économique d'un Etat en subira d'autant moins les conséquences qu'il aura axé plus tôt sa politique énergétique en fonction de ce facteur. Le remplacement du pétrole doit déjà être mis en œuvre dans les années huitante, et quelques décennies plus tard, ce sera au tour de celui du gaz naturel. Les énergies de substitution efficaces dont on dispose à côté des mesures d'économie sont le charbon, l'énergie nucléaire avec les réacteurs surgénérateurs et l'énergie solaire. On ne peut renoncer à aucune de ces énergies. Toutefois, leur introduction à grande échelle prendra du temps.

Pour des motifs de protection de l'environnement, il faudra arriver à liquéfier, voire à gazéifier le charbon, et introduire de nouvelles méthodes de combustion. La situation de l'énergie nucléaire montre clairement que la génération actuelle des réacteurs à eau légère devra à long terme progressivement être remplacée par des surgénérateurs et des réacteurs à haute température qui exploitent mieux le combustible nucléaire et qui en conséquence étendent énormément les ressources. Le rayonnement solaire se caractérise par une très faible densité énergétique et, sous nos latitudes, par une présence très variable et assez aléatoire, ce qui nécessite un stockage d'énergie coûteux. Par ailleurs, les surfaces collectrices sont fabriquées avec des matériaux dont la préparation consomme beaucoup d'énergie (mauvais facteur de rendement), raison pour laquelle l'utilisation de l'énergie solaire n'est aujourd'hui encore comparativement pas rentable. Sa mise en valeur véritable viendra sûrement, mais plus tard. Quoi qu'il en soit, on peut constater qu'il faudra investir des capitaux énormes au cours des prochaines décennies pour nous sortir de l'impasse énergétique (remplacement de matières premières énergétiques par du capital) et que l'économie mondiale en sera marquée. Ce n'est qu'en mobilisant toutes nos forces que nous pourrions maîtriser le problème de l'énergie qui se présente.

3.2 Le recours à l'énergie nucléaire

L'énergie nucléaire apporte au consommateur final d'énergie ou à tout producteur d'agent énergétique :

- l'énergie électrique
- la chaleur industrielle
- le chauffage à distance

La production de ces trois formes d'énergie peut se faire séparément ou simultanément (couplage force-chaleur avec condensation). Les réacteurs nucléaires de la première génération sont techniquement tout à fait au point, ceux de la génération suivante (surgénérateurs et réacteurs à haute température) sont à l'essai et en construction. Les perspectives commerciales pour l'avenir dans le secteur de l'énergie nucléaire (fission) s'ouvrent dans une certaine mesure.

3.3 Le recours au charbon

Le charbon offre les possibilités d'application suivantes :

a) La combustion techniquement tout à fait éprouvée dans des centrales à charbon pour les applications ci-dessous, éventuellement en exploitation combinée (couplage force-chaleur avec ou sans condensation) :

- production d'énergie électrique
- production de chaleur industrielle
- chauffage à distance

Les perspectives commerciales futures peuvent être à peu près évaluées. La protection de l'environnement nécessite des dépenses beaucoup plus élevées que pour l'énergie nucléaire.

Dans divers pays, parmi lesquels la Suisse, on expérimente notamment une nouvelle technique de combustion du charbon qui est sans nuisance pour l'environnement : la combustion par couche fluidisée.

Cette méthode de combustion permet de lier 90 % du soufre à la cendre et de réduire d'un tiers l'émission de matières nocives par rapport à la combustion classique. La combustion par couche fluidisée peut aussi être utilisée dans des entreprises petites ou moyennes qui ont une capacité calorifique descendant jusqu'à 10 MW, ce que les procédés de désulfuration des gaz de fumée ou de gazéification du charbon ne permettent pas de faire. Si les résultats correspondent aux espérances, le désavantage actuel du charbon dû à ses émissions pourrait être éliminé au moins par rapport au pétrole.

b) La technique de gazéification du charbon, qui ne se trouve encore qu'au stade expérimental, offre les possibilités suivantes d'application du gaz de charbon :

- Centrales thermiques analogues aux centrales à charbon (voir ci-dessus)
- Utilisation directe pour la production de chaleur utile
- Produit de base pour la fabrication d'un gaz pouvant remplacer le gaz naturel (les applications comme produit de base dans l'industrie chimique ne sont pas comprises dans le bilan énergétique)

A n'en pas douter, on sera en mesure de réaliser à l'avenir de grandes installations de gazéification. Il est toutefois difficile pour l'instant d'avancer des chiffres en ce qui concerne leur coût. La gazéification du charbon consomme de son côté une certaine quantité d'énergie. Mais comme cette consommation a lieu par le fait même de l'utilisation du charbon, elle n'a pas d'effet dans la période considérée sur le problème de la couverture des besoins, mais simplement sur le coût de production de l'énergie à son niveau de consommation finale. Du fait de la très haute température du gaz, le réacteur à haute température se prête également, grâce à sa chaleur, à la gazéification de la houille et de la lignite. Un programme de recherche et de développement²⁾ est en cours.

²⁾ Les résultats de la phase initiale du projet d'installation expérimentale pour chaleur industrielle d'origine nucléaire ont montré diverses possibilités de gazéification du gaz grâce à la chaleur industrielle nucléaire.

c) A cause de l'état des ressources, la liquéfaction du charbon, qui est techniquement déjà réalisée, retrouvera de son actualité. Mais elle ne sera réappliquée qu'après la gazéification, ce pour des motifs techniques et économiques, et servira avant tout à fabriquer un produit de substitution pour les carburants dérivés aujourd'hui du pétrole. Pour ce qui est des coûts et de la consommation d'énergie, la liquéfaction du charbon est plus avantageuse que la gazéification.

3.4 Le recours au gaz naturel

Les perspectives de la CME 1977 ne montrent pour l'Europe de l'Ouest qu'une minime augmentation de la part du gaz naturel dans la consommation d'énergie primaire, c'est-à-dire que la part restera toujours entre 13 et 14 % jusqu'en 1985 et s'abaissera lentement par la suite. En chiffres absolus, cela signifie une augmentation de 40 % seulement jusqu'à l'an 2000 par rapport à 1975 (fig. 1). Malgré cela, l'industrie gazière suisse continue de multiplier ses débouchés dans notre pays.

En vue d'un remplacement partiel du pétrole, on ne peut, au moins à moyen terme (jusque vers l'an 2000), contester le bien-fondé de cette position, car nos voisins ont déjà aujourd'hui porté leur part à 10 ou 14 % (Suisse 1977: 3,5 %), et la part suisse dans la consommation ouest-européenne de gaz

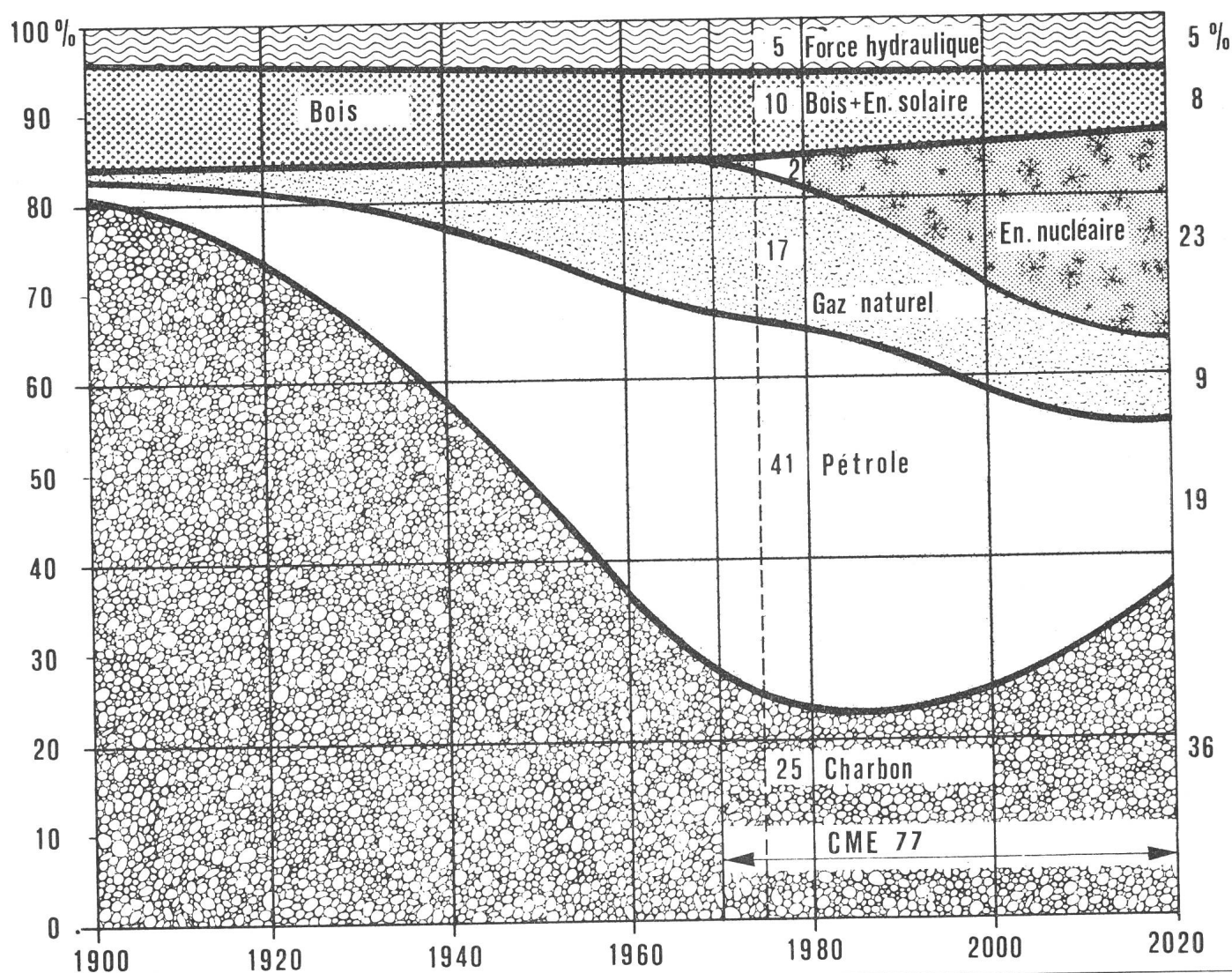


Fig. 1 Répartition de la consommation d'énergie mondiale d'après les différents agents énergétiques primaires

naturel est inférieure à 0,5 %. Même si les débouchés de gaz naturel augmentent massivement en Suisse par rapport aux pays voisins, ils resteront toujours pratiquement insignifiants pour le réseau européen.

A cela s'ajoute un autre élément: les pays producteurs et les pays consommateurs font énormément d'investissements pour la construction de pipelines et d'installations annexes. Comme ces équipements ne peuvent pour ainsi dire servir à aucune autre fin (les perspectives commerciales de la gazéification du charbon ou de la production d'hydrogène sont très incertaines), les partenaires sont très liés les uns aux autres et ont les mêmes intérêts. On peut donc admettre que la sûreté de l'approvisionnement en gaz naturel de la Suisse, même si les besoins sont multipliés, sera garantie au cours des 20 prochaines années, ce au moins dans la même mesure que pour le reste de l'Europe de l'Ouest dont les ressources sont toujours très diversifiées (plateau continental du nord de l'Europe, Afrique du Nord, URSS, Moyen-Orient). Le fait que le réseau de transport de gaz suisse n'est aujourd'hui pas encore pleinement utilisé et que sa capacité pourrait être doublée avec quelques centaines de millions de francs d'investissements supplémentaires parle également en faveur d'une augmentation de la part du gaz en Suisse. Il est vrai que cette affirmation ne s'applique pas aux réseaux locaux dont l'extension exige des investissements beaucoup plus élevés. L'importation de telles quantités serait aujourd'hui déjà garantie par contrat.

D'autre part, les considérations de la CME77 montrent clairement qu'à long terme (au-delà de l'an 2000), une constante augmentation de la distribution du gaz naturel en Suisse ne sera plus compatible avec les possibilités mondiales de couverture. Cette situation aura inévitablement de dures répercussions sur le prix du gaz – tout comme pour le pétrole, mais après – et au plus tard dans les années 90 lorsque les contrats de livraison arriveront à terme.

En résumé, le gaz naturel est une énergie à prendre au sérieux pour remplacer l'huile de chauffage. La distribution de gaz naturel en Suisse devrait être augmentée autant que possible là où les réseaux locaux existants le permettent, ce qui devrait pouvoir se faire avec relativement peu d'investissements supplémentaires. Dans ces conditions, il est possible que le gaz représente d'ici quelque 20 ans une part de 10 % environ dans la consommation globale d'énergie. Comme c'est la distribution aux abonnés des réseaux qui constitue le point noir des investissements supplémentaires, il faudrait peu à peu tenter de le contourner en concentrant les livraisons de gaz naturel sur les gros consommateurs, tels l'industrie, les chauffages centraux d'immeubles et les centrales de chauffage à distance. Etant donné que ces installations comprennent en général plusieurs chaudières, les modifications à apporter pour passer du gaz au charbon ou au chauffage à distance venant des centrales nucléaires seront par la suite aussi beaucoup plus simples que si l'on devait transformer d'innombrables petites installations individuelles.

4. Méthodes et procédés de substitution

4.1 Production de chaleur au moyen de l'électricité

Comme cela a déjà été dit au paragraphe 2, 48 % environ du pétrole consommé en Suisse sert au chauffage de locaux et à la préparation d'eau chaude. Pour ces applications, l'électricité se présente comme un substitut avantageux du pétrole.

Aussi le chauffage des locaux et la préparation d'eau chaude à l'électricité offrent-ils un intérêt de tout premier ordre.

Diverses recherches montrent que le chauffage électrique des locaux à partir de l'énergie hydraulique ou nucléaire a, dans des conditions identiques, approximativement le même rendement (rapport entre la consommation d'énergie primaire et la production d'énergie utile) qu'un chauffage à mazout individuel. La très petite différence qui subsiste éventuellement est compensée par le fait qu'avec le mazout sont brûlées des matières de base de haute valeur et qui seront d'une importance vitale à l'avenir pour la fabrication de médicaments, de matières synthétiques, d'engrais etc. Il s'agit de ne pas les gaspiller. Tandis que l'uranium utilisé dans les centrales nucléaires n'est, lui, de presque aucune autre utilité.

Du point de vue de l'économie énergétique, le chauffage électrique représente donc une alternative judicieuse et appropriée au pétrole. Autres avantages: rentabilité, propreté absolue et respect de l'environnement au niveau du consommateur, grand confort d'utilisation. En ce qui concerne la rentabilité, il n'y a pas que le tarif réduit qui compte, lequel constitue déjà un atout décisif dans le calcul des frais d'exploitation de chauffages et de chauffe-eau électriques. D'autres mesures tarifaires [3] sont encore nécessaires et possibles. En revanche, l'utilisation du pétrole pour le chauffage représente un assez grand risque pour le futur. Des réserves de pétrole qui vont s'amenuisant, l'instabilité politique dans les pays producteurs et les prescriptions toujours plus sévères en faveur de la protection de l'environnement peuvent avoir des effets négatifs au cours des prochaines années sur la sûreté de l'approvisionnement et les prix du pétrole. Pour l'électricité, des augmentations extrêmes de tarifs et des difficultés d'approvisionnement pour des raisons d'ordre politique sont beaucoup plus improbables.

L'attrait croissant qu'exerce le chauffage à l'électricité se constate aussi au fait que le nombre d'installations de chauffage électrique en Suisse a passé de 5000 en 1971 à 54000 en 1978. Aujourd'hui, 2 % environ de tous les logements sont chauffés électriquement. Ce sont suivant les besoins des appareils de chauffage direct, des chauffages à accumulation ou des systèmes mixtes combinant les deux premiers types.

Vu l'importance du chauffage électrique pour le remplacement du pétrole, l'économie électrique s'est attaquée à un programme de développement de grande envergure. Elle sera en mesure de chauffer électriquement d'ici 10 ans 10 à 15 % de tous les logements suisses. A ce moment, ce pourront être quelque 600000 tonnes de pétrole qu'il n'y aura plus besoin d'importer chaque année.

Du point de vue de la production, le programme nucléaire suisse offre les conditions nécessaires pour la réalisation de ces objectifs. Il est vrai que les centrales nucléaires seront construites tout d'abord afin d'assurer la couverture suffisante des besoins normaux d'électricité. Cependant, les centrales nucléaires produisent ce qu'on appelle de l'énergie en ruban, soit une quantité de courant qui reste constante jour et nuit. Pourtant, la demande d'électricité se concentre habituellement surtout sur les heures du jour et du soir. Du fait de la mise en service de nouvelles centrales nucléaires, la marge de capacité inutilisée augmentera automatiquement en dehors des heures de pointe, spécialement pendant la nuit.

Cette énergie peut être utilisée pour la production de chaleur. C'est pourquoi le chauffage des locaux ne nécessite

aucune capacité de production supplémentaire, mais permet au contraire une utilisation mieux équilibrée d'installations qui sont de toutes façons nécessaires pour les besoins normaux de courant.

Pour ce qui est des capacités des réseaux, qui constituaient par le passé, à côté du bas prix du pétrole, le principal inconvénient pour un développement rapide du chauffage électrique, ce programme peut être réalisé avec des dépenses d'investissements dont l'influence sur les tarifs restera très acceptable.

La préparation d'eau chaude à l'électricité est une autre possibilité très appropriée de remplacement du pétrole. Le chauffe-eau électrique consomme essentiellement du courant de nuit. Comparé à la chaudière à mazout combinée, il a un bien meilleur rendement, ce qui a un effet favorable tant sur la consommation d'énergie que sur les frais de chauffage; à cela s'ajoute le fait que le chauffe-eau électrique ne pollue pas. Pour ces raisons, l'économie électrique envisage d'encourager plus encore à l'avenir l'utilisation du chauffe-eau électrique, dont les 750000 installations actuellement en service servent déjà remarquablement la cause de la substitution, d'autant plus qu'ils ne posent aucun problème particulier pour les réseaux de distribution. Il faut aussi mieux propager l'idée «chaudière combinée pour l'hiver/chauffe-eau électrique pour l'été», car le très mauvais rendement de la chaudière combinée en été rend une telle combinaison judicieuse et rentable.

La consommation d'énergie primaire se réduit considérablement si l'on a recours en plus à des pompes à chaleur entraînées électriquement et à des collecteurs solaires. Les pompes à chaleur extraient de l'environnement (air, eau, sol) les deux tiers de la chaleur nécessaire pour le chauffage, tandis que les collecteurs solaires utilisent le rayonnement solaire à disposition. Il faudrait à l'avenir accorder une attention plus grande à de telles combinaisons. Pour l'instant, leur application reste à vrai dire encore limitée, en particulier à cause d'un manque de maturité technique et de rentabilité (frais d'investissements).

Certaines possibilités de substitution peuvent aussi être trouvées avec les chaudières électriques dans l'industrie, selon l'évolution du prix du pétrole.

La distribution d'électricité pour des chaudières électriques a fortement baissé au cours des dernières années. Du fait de la structure de production hydroélectrique existante, la Suisse dispose en été de gros excédents d'électricité qui, s'ils étaient utilisés par des chaudières électriques, pourraient contribuer au remplacement du pétrole.

La mise en service des centrales nucléaires de Gösgen et Leibstadt actuellement en construction permettrait de remplacer dans les 10 prochaines années une quantité considérable de pétrole par de l'électricité. A plus long terme, soit au-delà de cette période de 10 ans, il y aura encore un certain nombre d'autres possibilités. Avec un agrandissement planifié des installations de production et de distribution, le chauffage et la préparation d'eau chaude à l'énergie électrique pourraient d'ici l'an 2000 reprendre une part du marché de la chaleur dépassant largement les objectifs mentionnés plus haut. Mais il y a ici aussi des limites économiques. Sur le Plateau, la durée annuelle d'utilisation de la charge maximale d'alimentation électrique pour le chauffage de locaux est d'environ 2500 heures. Il s'ensuit que l'encouragement disproportionné du chauffage électrique par rapport à la limite de charge des équipements de production et de distribution entraîne la construction d'installations supplémentaires dont la durée d'utilisation est

relativement brève (offre d'énergie supplémentaire en hiver). Il faut songer aussi au développement de l'électrification dans les transports publics et éventuellement aussi à la voiture électrique. A plus long terme, de nouvelles possibilités d'utilisation de l'électricité devraient aussi se présenter dans l'industrie. Il faut dire cependant qu'on n'ose presque pas faire de pronostics valables dans ce domaine.

4.2 Production de chaleur au moyen du gaz

4.2.1 Sûreté d'approvisionnement

Les points d'approvisionnement de l'Europe occidentale en gaz naturel sont très diversifiés.

Les pays producteurs font de très gros investissements pour les gazoducs, les postes de compression et autres installations; aussi les partenaires des contrats sont-ils étroitement liés entre eux et ont-ils le même intérêt à ce que les contrats de location à long terme, le plus souvent d'une durée supérieure à 20 ans, soient exécutés impeccablement.

Dans l'ensemble, on peut constater que pour l'Europe de l'Ouest le gaz naturel offre au moins à moyen terme une contribution importante pour une bonne diversification des risques et sert ainsi à augmenter la sécurité de tout notre système d'approvisionnement énergétique. Pour des considérations sur l'avenir lointain du gaz naturel, se référer au paragraphe 3.4.

4.2.2 Aspects économiques du chauffage au gaz en Suisse

En principe, le gaz peut être utilisé pour toutes les applications thermiques. Pour le chauffage, ce combustible peut servir aussi bien dans une chaudière combinée d'un immeuble que dans une centrale de chauffage à distance ou dans une pompe à chaleur fonctionnant au gaz.

En 1976, 5 % des bâtiments en Suisse étaient pourvus d'un chauffage central au gaz. Exprimée en pour-cent, la part du gaz naturel dans la couverture des besoins en énergie primaire est aujourd'hui plus faible dans notre pays que dans les autres pays de l'Europe de l'Ouest.

Il faut s'attendre à ce que le chauffage au gaz se répande plus largement en Suisse au cours des prochaines années. En quelques années, le nombre de chaudières équipées pour des brûleurs à gaz pour l'industrie ou pour le chauffage à distance a justement beaucoup augmenté.

L'infrastructure pour la distribution à de gros ou moyens consommateurs afin d'atteindre une part de gaz naturel de 10 % dans le bilan énergétique total existe déjà, si bien que les capitaux nécessaires pour le remplacement du pétrole par le gaz doivent moins être pris en considération ici que pour ce qui concerne le chauffage électrique ou le chauffage à distance.

Si l'augmentation de la part du gaz naturel dépasse 10 %, elle devrait se faire en particulier dans les installations industrielles et de chauffage à distance afin d'éviter de devoir développer à grands frais le réseau de distribution pour de petits consommateurs.

Les prix du gaz naturel varient d'un endroit à l'autre suivant la politique locale des tarifs; d'une manière générale, ils sont aujourd'hui notablement plus élevés que ceux de l'huile de chauffage extra-légère, si bien que le remplacement du pétrole par le gaz n'est rentable que dans des cas spécifiques. Dans l'éventualité d'une augmentation massive du prix du pétrole brut, on peut s'attendre à ce que la comparaison des prix s'améliore pour le gaz et qu'ainsi la rentabilité du chauffage au gaz s'améliore.

Les frais annexes de chauffage d'immeubles indépendants sont plus élevés avec le mazout qu'avec le gaz (espace et achat d'une citerne, nettoyage et entretien de celle-ci, dommages dus à la corrosion dans la chaudière, entretien et contrôle du brûleur, ramonage de la cheminée).

En plus de cela, le gaz présente des avantages pour la protection de l'air et de l'eau et son acheminement ne charge pas nos voies de communication. Le prix plus élevé du chauffage au gaz par rapport à celui du chauffage au pétrole est donc défendable.

4.3 Contribution des installations de chauffage à distance au remplacement du pétrole

4.3.1 Projets existants

On savait déjà depuis quelque temps que le chauffage à distance pourrait contribuer dans une certaine mesure au remplacement du pétrole. Ainsi, en 1967 déjà, le Conseiller aux Etats Choisy demandait dans une petite question au Conseil fédéral s'il ne faudrait pas étudier les conditions techniques et économiques pour «développer le chauffage à distance dans les villes, dont la source de chaleur pourrait provenir de réacteurs atomiques», compte tenu des problèmes posés par le remplacement du pétrole, la sûreté de l'approvisionnement énergétique du pays et la forte part de l'énergie consommée pour produire de la chaleur.

Un rapport sur le chauffage à distance fut alors publié [4]. Il arrivait à la conclusion qu'une utilisation partielle de la chaleur de centrales nucléaires bien placées permettrait à longue échéance de remplacer une certaine partie de l'huile de chauffage utilisée pour le chauffage de locaux par du combustible nucléaire. De fait, presque 40 % de la quantité totale de mazout utilisée pour le chauffage de locaux est consommée dans un rayon de 40 km autour des centrales nucléaires existantes, en construction ou projetées [5]. De plus, ce rapport a montré que le transport nécessaire de chaleur depuis les centrales nucléaires jusqu'aux zones habitées est déjà rentable avec de petits débits si la charge de la conduite est bonne, et que pour de plus gros débits, des distances de 50 km et plus peuvent être couvertes de manière rentable.

Par la suite furent mis au point plusieurs projets dont certains très détaillés qui avaient trait à l'utilisation de l'énergie nucléaire, ainsi par exemple pour les réseaux de chauffage à distance existant à Berne (afin d'exploiter la chaleur de la centrale nucléaire de Mühleberg), à Bâle (avec la centrale nucléaire projetée à Kaiseraugst) [6], ou pour des réseaux à réaliser, par exemple dans les régions de Brugg et Baden et la partie zurichoise de la vallée de la Limmat autour de la centrale nucléaire de Beznau, ou le projet «Transwaal» (Transport Wärme Aare-Limmattal) [7], ou encore dans le cadre du concept de l'énergie et du chauffage à distance pour la région de Lucerne [8].

Toutes ces recherches montrent à l'évidence qu'il est déjà possible aujourd'hui d'exploiter la chaleur des centrales nucléaires tout en garantissant la sécurité nucléaire. En revanche, la rentabilité n'est atteinte que si les zones de distribution atteignent une certaine dimension. Pour le chauffage à distance des villes de Berne et Bâle, la dimension souhaitée pourrait être rapidement atteinte si on y développe systématiquement le chauffage à distance. L'intérêt du projet Transwaal réside dans les conditions favorables offertes par la source de chaleur

nucléaire toute proche, mais son réseau de distribution de chaleur doit encore être construit. Etant donné qu'il vaut la peine d'utiliser la chaleur de la centrale nucléaire de Beznau, ce projet sera réalisé d'ici 10 ans si tout va bien.

Malgré les résultats encourageants des différents projets, le chauffage à distance ne progresse qu'avec beaucoup d'hésitation. La raison principale en est que les pouvoirs publics doivent inévitablement être consultés pour des projets de cette importance. Cela fait qu'il faut beaucoup de temps jusqu'à ce qu'une opinion soit formée et une décision prise, car on doit tenir compte des événements de la politique quotidienne dont les objectifs sont moins lointains. Cette remarque vaut également pour la proposition du chauffage à distance «froid», qui est d'actualité même si elle n'est pas nouvelle [9].

En janvier 1977, le groupe de travail Plenar a publié une étude sur le «chauffage à distance froid», lequel est présenté comme une alternative à la solution normale classique dite du «chauffage à distance chaud», et qui est également en mesure de remplacer au moins théoriquement d'assez grandes quantités de mazout par utilisation de la chaleur résiduelle de centrales nucléaires et d'autres sources. Du point de vue de la politique énergétique, il manque à vrai dire à ce concept une importante possibilité d'utilisation: le charbon, à moins de construire des centrales électriques à charbon. Du point de vue du rendement, il ne présente guère d'avantages. L'exploitation des nombreuses centrales de pompage de chaleur qu'il faudrait installer de façon décentralisée serait coûteuse et la régulation optimale de l'ensemble du système exigerait d'importants moyens. Les coûts étonnamment bas qui ont été indiqués reposent sur des estimations basées sur des concepts types. Aussi faudra-t-il faire des études plus approfondies et poursuivre le développement technique. Au contraire du chauffage à distance froid, la planification et l'exécution du chauffage à distance classique peuvent être commencées immédiatement car on dispose d'une expérience de plusieurs décennies.

Pour le groupe Plenar, l'objectif immédiat est de réaliser à tout prix ce qu'il appelle un programme de «plénarisation»: l'isolation thermique de tous les anciens bâtiments de manière à réduire de 30 % leur consommation d'énergie calorifique. Cette mesure n'est pas une condition à l'introduction du chauffage à distance chaud, mais peut bien sûr être utile sous le rapport des économies d'énergie.

4.3.2 Rentabilité

Les considérations faites jusqu'à présent partent toutes du principe que le chauffage à distance doit être concurrentiel face au chauffage à mazout. Cette condition suppose que la rentabilité d'un système de chauffage à distance n'est atteinte que lorsque le plus grand nombre possible de consommateurs sont reliés dans des zones à forte densité de population. C'est pourquoi la réalisation d'un système rentable exige une bonne planification et une entreprise de distribution organisée selon les principes de l'économie privée.

Même dans des conditions favorables, la rentabilité d'une exploitation ne s'atteint normalement qu'après des années. Il s'ensuit que selon les circonstances, des financements préalables seront nécessaires et des déficits possibles. Ceci implique à son tour que les instances qui auront à décider doivent regarder loin dans l'avenir et être convaincues de la nécessité de prendre à temps les options pour le remplacement du pétrole.

Pour montrer qu'un tel financement est tout à fait supportable pour une commune, on peut prendre l'exemple du projet Transwaal [7].

Pour un volume d'investissements dépassant les 500 millions de francs, une commune doit participer au capital à raison d'environ 2,4 millions par 10000 habitants et pour une durée de 20 ans, soit environ 12 francs par habitant et par année. Il faut par ailleurs remarquer que les solutions de chauffage dites alternatives exigent pour un même effet de substitution des investissements beaucoup plus élevés. Par exemple dans le cas Transwaal, les installations solaires coûteraient presque le triple et une meilleure isolation entre le double et le triple. Il serait tout à fait erroné de vouloir en conclure que seul est valable le chauffage à distance à partir de centrales nucléaires. Le problème de la substitution est sérieux, et toutes les possibilités de le résoudre doivent être envisagées. Mais dans les régions qui s'y prêtent, le chauffage à distance utilisant la chaleur des centrales nucléaires représente sans doute la solution la plus économique.

4.3.3 Remarques de principe concernant les difficultés pour encourager le chauffage à distance

Personne ne contestera qu'à long terme le chauffage à distance peut contribuer notablement au remplacement du pétrole, ni qu'il est techniquement réalisable. Il existe en revanche manifestement des oppositions à un système qui veut d'une certaine manière faire supporter par la communauté une responsabilité jusque-là exclusivement personnelle. Très souvent, les engagements financiers de la commune sont qualifiés d'insupportables. En particulier la reprise d'une tâche qui au début sera sûrement déficitaire n'apparaît pas désirable.

Le fait que dans de très nombreuses communes le service du gaz soit déficitaire joue un rôle important lorsqu'il s'agit de décider d'un système de chauffage à distance. La rapide augmentation de la distribution du gaz a la priorité sur l'introduction d'un chauffage à distance.

Les aspects à long terme de la substitution du pétrole sont à peine pris en considération. De même, on méconnaît combien d'efforts et de temps nécessitera une modification complète de la structure d'approvisionnement énergétique.

Car de ce point de vue, il serait aussi funeste de vouloir attendre tranquillement pour changer de cap, jusqu'à ce que le problème soit brûlant. Il apparaît bien plus approprié de s'y prendre progressivement avec toute la latitude de se décider.

Le système de chauffage à distance à réaliser à long terme avec des centrales nucléaires devrait d'emblée être construit sur le plan régional par les communes avec des moyens conventionnels. Cela signifie pour les communes que dans une première phase il faut s'entendre sur des décisions de principe concernant la situation de concurrence et les zones de distribution de chaque agent énergétique particulier, en tenant compte des projets à long terme.

5. Aspects psychologiques et politiques du remplacement du pétrole en Suisse

Dans les larges cercles où l'on s'occupe de politique énergétique, personne ne doute que la part élevée du pétrole dans la consommation globale d'énergie et si possible la consommation absolue doivent peu à peu être réduites. Mais les opinions divergent fortement dès qu'il s'agit de savoir dans quelle mesure, à quelle allure, où et comment, ou quelle sorte

d'énergie de substitution. C'est là que s'ouvre le fossé entre le réel et l'émotionnel, et dès que des émotions sont en jeu ou sont éveillées, elles ont à coup sûr un arrière-fond sociologique.

Le grand public ne saisit pas la dangereuse dépendance de notre approvisionnement énergétique en pétrole. Et bien que cette source d'énergie manquera à la prochaine génération, on note à peine la nécessité de la substitution. Que signifie déjà substitution, et que doit-on substituer? Il est justifié de se poser ces questions lorsque l'on a sous les yeux les résultats de sondages d'opinions³⁾. Voici les réponses de la majorité des personnes interrogées sur la part des diverses formes d'énergie dans la consommation finale d'énergie:

	Sondage 1977	Parts effectives 1977
Electricité	41 %	17,6 %
Pétrole	37 %	75,2 %
Gaz naturel	12 %	4,2 %
Charbon	8 %	1,7 %
Energie solaire et autres	6 %	Bois 1,3 %

Répondant à la question sur les possibilités futures de production d'électricité à partir de 1980, les gens citaient en premier lieu les centrales solaires, avant les centrales nucléaires et hydrauliques. Puis, très sous-estimées suivaient les centrales au gaz naturel, au charbon et au mazout.

Ces chiffres expliquent même en toute logique le manque de compréhension du Suisse pour la substitution. Pourquoi devrait-on remplacer le pétrole si l'électricité représente déjà la plus grande part. Au lieu de s'intéresser à la substitution, on concentre son attention sur la construction des centrales nucléaires qui bien sûr apparaissent superflues puisque, selon ce même sondage, on croit pouvoir obtenir à partir de 1980 la plus grande partie de l'électricité supplémentaire nécessaire au moyen de centrales solaires.

La question s'impose de savoir pourquoi notre peuple n'est pas conscient de la situation unilatérale de notre approvisionnement énergétique. Y a-t-il ici un manque d'information ou est-ce que l'on ne prend consciemment pas connaissance de ces informations⁴⁾ en vertu du principe selon lequel ce que l'on ne tient pas pour vrai n'est pas vrai?

Une politique de substitution rencontre toutes sortes de problèmes. C'est tout d'abord la question de la rentabilité des énergies de remplacement et des techniques de remplacement. Pour le moment, la situation est toujours telle que ce sont les produits pétroliers et leur utilisation qui sont les plus avantageux du point de vue du prix et des investissements. Déjà pour ce motif, chaque modification de la situation nécessite un consentement pour des raisons de politique énergétique, associé à des sacrifices personnels. C'est dans notre démocratie le pénible chemin qui passe par la formation de l'opinion et la législation, car presque rien ne se fait tout seul.

Le facteur temps joue aussi un grand rôle dans la substitution. Le passage à d'autres méthodes de chauffage par exemple ou la construction de centrales et de systèmes d'approvisionnement par conduites exigent des années, voire des dizaines d'années (par exemple, le passage en Suisse du charbon au mazout dans les installations de chauffage individuelles a duré

³⁾ Isopublic: septembre 1977

⁴⁾ Selon un sondage d'opinion réalisé récemment pour le compte de la Commission fédérale de la conception globale de l'énergie, 7 % seulement de la population suisse considéraient la question de l'énergie comme une tâche de première importance.

environ 25 ans). Comme il faut s'attendre à ce qu'à partir de 1985/90 les réserves mondiales de pétrole iront s'amenuisant, il ne reste plus que très peu de temps pour prendre des décisions en matière de politique énergétique si l'on ne veut pas que la prochaine génération soit confrontée à de plus grands problèmes d'approvisionnement. C'est justement ici que réside le dilemme, car la démocratie a manifestement de la peine à penser à long terme.

La part du pétrole est si grande en Suisse qu'il ne sera possible de l'abaisser qu'en recourant à toutes les énergies alternatives pour que l'on puisse parler d'une réelle diversification et d'une sécurité nationale de l'approvisionnement. Comme le champ des énergies alternatives s'étend de l'énergie nucléaire à l'énergie solaire utilisée localement en passant par l'énergie hydraulique, le gaz naturel, le charbon et le bois, d'ensembles centralisés aux systèmes les plus décentralisés, les opinions divergent fortement suivant la vision du monde et l'option politique sur le point de savoir où déployer les efforts principaux. Certains par exemple refusent le remplacement du pétrole par l'électricité ou la chaleur à distance d'origine nucléaire uniquement parce que derrière se cache l'énergie nucléaire. La conséquence en est que la discussion devient le plus souvent complètement irréaliste car on oublie le potentiel véritable que représentent les énergies recommandées. Si l'on réfléchissait à froid, il devrait pourtant être clair que le charbon et l'énergie nucléaire supporteront d'ici peu le poids principal de l'approvisionnement. Quant aux énergies renouvelables (et en même temps indigènes), leur potentiel utile restera très limité pour des motifs non seulement économiques, mais aussi physiques et écologiques. De même, la possibilité de remplacer en quantité suffisante le pétrole par le gaz naturel est considérée dans le monde entier de façon relativement pessimiste (voir paragraphe 3.4).

De cela, il résulte sans équivoque possible que l'on n'arrivera à s'attaquer au problème de la substitution dans la mesure souhaitable qu'avec de grands moyens. Il n'est pas question de donner la préférence à tel ou tel agent énergétique ou à tel ou tel système de distribution, mais de bien utiliser chaque possibilité. Chacune a sa place dans le futur concept de l'énergie.

Le postulat de la substitution peut aussi devenir un baril de poudre dans notre société si certains le mettent dans la balance avec le postulat des économies d'énergie. Il convient de répliquer ici que les deux postulats ne se contredisent absolument pas, ni ne contredisent les objectifs de la protection de l'environnement. Une politique judicieuse de l'énergie cherchera plutôt à promouvoir la substitution, tout en encourageant les économies d'énergie et en satisfaisant aux exigences de l'environnement.

Des milieux opposés à l'industrie et ceux qui, par nostalgie, veulent revenir à une période révolue, condamnent l'énergie nucléaire et d'autres grands systèmes d'alimentation. Ils sont en quête d'un monde vierge où règne la technique décentralisée et ignorent totalement le fait qu'une telle technique ne parviendrait pas à couvrir les besoins d'énergie même en cas de croissance nulle, que cette technique est plus coûteuse et qu'elle est problématique du point de vue entretien et fiabilité. Par ailleurs, d'autres milieux voudraient résoudre le problème en imposant une croissance nulle, ce qui selon eux rendrait la substitution sans objet. La croissance zéro elle aussi doit compter dans une certaine mesure avec la substitution. Lorsque

quelqu'un réclame la croissance nulle, il entend consciemment ou inconsciemment insérer notre société dans un certain cadre politique. Or, notre économie est une économie de concurrence, elle ne peut vivre que grâce à des innovations constantes et aux investissements nouveaux que celles-ci réclament. Par ailleurs, les nouveaux investissements ne peuvent se faire sans énergie. L'autre solution conduit à une économie dirigée dont le but serait de contrôler les pénuries créées artificiellement et de distribuer les énergies disponibles. Le remplacement du pétrole conduit souvent à utiliser des systèmes de distribution par conduites et à exclure certaines régions pour l'application de formes d'énergies alternatives. Il n'est pas non plus exclu que certaines mesures d'encouragement soient nécessaires pour soutenir un programme de substitution efficace. Cela peut signifier la perte d'une partie de notre prétendue liberté individuelle.

Il s'agit de surmonter cette barrière psychologique par l'information. De même que l'homme moderne est progressivement parvenu par la séparation du travail à vivre de façon convenable même dans un Etat surpeuplé, il devra aussi se faire à l'idée que les réserves mondiales d'énergie sont limitées.

Ainsi, nous portons tous la responsabilité d'utiliser avec modération les ressources énergétiques. Mais c'est aux milieux de l'économie énergétique et aux autorités politiques qu'il incombe de créer les conditions nécessaires pour que l'approvisionnement en énergie soit mesuré et sûr. Si le remplacement du pétrole est réalisé selon des objectifs précis, il n'aura pas seulement pour effet d'augmenter la sûreté de l'approvisionnement, mais de créer par la même occasion aussi quelques milliers de nouveaux emplois et de réduire efficacement la pollution de l'environnement. Or, il est grand temps d'agir, car une politique de substitution efficace exige non seulement des capitaux, mais aussi beaucoup de temps. Si maintenant nous ne le faisons pas librement, nous le ferons dans quelques années sous la contrainte du prix du pétrole ou même des pays producteurs de pétrole. Les conditions seront alors assurément différentes.

Nous devrions toujours garder en mémoire l'avertissement d'un organisme compétent, le «Workshop of Alternative Energy Strategies (WAES)», qui a dit ceci à propos de l'urgence de remplacer certaines énergies, et notamment le pétrole, et des progrès plutôt lents dans ce domaine:

«Le véritable danger dans la situation énergétique mondiale est qu'elle risque de devenir critique avant de paraître sérieuse.»

6. Résumé et conclusions

Dans ce rapport sont pris en considération tous les agents de substitution réalistes auxquels il est possible de recourir à court ou à long terme. L'objectif consistant à réduire la part du pétrole semble être approuvé sans restrictions par pratiquement tous les milieux s'occupant de politique énergétique. Les opinions divergent dans tous les sens quant à la question de savoir comment. Nous avons essayé de montrer une solution suisse pour la substitution; en effet, les possibilités pratiques varient d'un pays à l'autre. Il y a dans la substitution un cercle vicieux, car pour pouvoir substituer avec succès, il faut des capitaux et de l'énergie en suffisance. En effet, de nouveaux équipements doivent d'abord être financés (capitaux) et produits (énergie). L'objectif de ces efforts n'est pas de trouver un agent énergétique plus rentable, mieux stockable et plus

facilement transportable que le pétrole. Le cas contraire sera en général plutôt la règle. L'énergie solaire par exemple, malgré son potentiel énergétique élevé, ne peut précisément pas revendiquer ces attributs. C'est pourquoi un Etat ou une société ne s'attaquera au problème que lorsqu'il n'y a plus d'issue. Le temps nécessaire manquera alors généralement. Aussi faut-il dans un processus de substitution s'en remettre à la raison et à l'intuition, deux qualités qui ne sont pas à priori données. Un rythme de substitution lent ne peut pas être forcément qualifié de déraisonnable; il s'agit bien plus d'une question de priorités. D'un autre côté, on doit aussi constater que si une commune ou une région se fixe pour but d'avoir une situation financière saine et de ne plus contracter de dettes sous aucun prétexte, les conditions pour un projet de chaleur à distance sont mauvaises (investissements élevés, pertes d'exploitation au début).

On peut aussi constater que s'il existe une relation entre le capital, l'économie et la substitution, alors les conditions idéales en Suisse pour une véritable substitution sont données.

On pourrait redonner en résumé le contenu de l'étude dans les trois thèses ci-dessous:

1. Le remplacement du pétrole peut s'effectuer le plus efficacement dans le domaine des applications thermiques. La distribution de chaleur à distance pourrait en créer les meilleures conditions et apporter une contribution importante. Le chauffage à distance est un moyen éprouvé et ne nécessite pas d'efforts supplémentaires dans la recherche et la mise au point.

2. Outre les économies d'énergie, nous avons des énergies de substitution efficaces: le charbon, l'énergie nucléaire et l'énergie solaire. A moyen terme, le gaz naturel peut aussi apporter une contribution. Il s'agit d'exploiter toute la capacité des réseaux régionaux existants de distribution de gaz, en motivant surtout les gros consommateurs tels que l'industrie et les centrales de chauffage à distance. On ne peut renoncer à aucune des énergies mentionnées.

3. Pour le remplacement du pétrole, il faut mettre en œuvre tous les agents énergétiques qui peuvent apporter une contribution, même si celle-ci est très modeste. Les circonstances économiques assureront une saine sélection sans qu'il soit nécessaire de la contrôler autrement.

Bibliographie

- [1] Electricité et chaleur, conception d'approvisionnement de la Suisse jusqu'à l'an 2000, tiré à part du Bulletin ASE/UCS 66(1975)21.
- [2] Die weltweiten Energieperspektiven, Exposés du Comité national suisse de la Conférence mondiale de l'énergie, Schweizerische Handelszeitung N° 45 du 10 novembre 1977.
- [3] Substitution du pétrole par l'énergie électrique, élaboré par un groupe de travail de la commission pour les tarifs d'énergie électrique; sept. 1976.
- [4] Chauffage à distance, rapport rédigé sur demande de l'Office fédéral de l'économie énergétique par la Société anonyme Sulzer Frères; Berne, 1974.
- [5] R. Ecabert et H. J. Leimer: Gedanken zum Energiekonzept der Schweiz. Technische Rundschau Sulzer 4/1975.
- [6] P. Stoll: Einsatz bestehender und im Bau befindlicher Kernkraftwerke der Schweiz für Wärmenutzung. Bull. ASE/UCS 68(1977)16, p. 828-833.
- [7] Fernwärmeversorgung Aare-Limmattal: Projektstudie Transwaal, rapport final. Städtische Werke Baden, Commune de Wettingen, Société anonyme BBC Brown, Boveri & Cie., Câbleries de Brugg S.A., Société anonyme Sulzer Frères, Motor Columbus S.A., Forces motrices du Nord-Est de la Suisse S.A.; Baden, avril 1978.
- [8] Energie- und Fernwärmekonzept der Region Luzern, Consortium Electrowatt-Sulzer Frères. 1977.
- [9] PLENAR Wärmeverbund CH. Arbeitsgruppe Plenar; Zurich, 1977.

Ausgewählte Aspekte zur Substitution von Erdöl – aus der Sicht des Verteilwerkes

Von E. Enz und T. Wipf

Die Deckung einer vermehrten Substitutionsnachfrage stellt auch die Elektrizitätsverteilunternehmen vor vielfältige Probleme. Dies trifft insbesondere für jene Werke zu, welche Gebiete mit lockerer Besiedlungsdichte versorgen. Es werden Möglichkeiten aufgezeigt, den Investitionsbedarf in den Verteilnetzen abzuschätzen, der durch eine zunehmende allelektrische Versorgung ausgelöst wird. Auf die Kriterien der Wirtschaftlichkeit wird ebenfalls eingetreten.

1. Einleitung, Voraussetzungen und Annahmen

1.1 Die Aussicht auf eine plötzlich oder allmählich einsetzende Verknappung flüssiger Brennstoffe zwingen insbesondere die Elektrizitätsverteil-Unternehmungen, sich mit den von ihnen allenfalls zu bewältigenden Substitutionsaufgaben aktiv und zukunftsbezogen auseinanderzusetzen. In Gebieten lockerer Besiedlungsdichte steht wegen der fehlenden Wirtschaftlichkeit anderer leitungsgebundener Energieträger die Elektrizität als Substitutionsenergie im Vordergrund. In diesem Aufsatz wird deshalb den Merkmalen lockerer Siedlungsgebiete besonders nachgegangen.

1.2 Unter diesen Gegebenheiten suchen zahlreiche, speziell auch kleinere Verteilwerke nach brauchbaren Kriterien, auf die sie ihre zukünftige Absatzpolitik und Zulassungspraxis ausrichten können. Die Netzbezirke, die von einer zunehmenden Substitutionsnachfrage betroffen werden, sind vielfach nicht zum vornherein bekannt. Zudem ist es wenig sinnvoll

La couverture d'une demande croissante due aux mesures de substitution pose également des problèmes multiples aux entreprises d'électricité. C'est notamment le cas pour les entreprises desservant des régions à faible densité de population. Dans le présent article sont décrits quelques moyens permettant d'évaluer les investissements nécessaires au niveau des réseaux de distribution. Les critères de rentabilité y sont également abordés.

und in den meisten Fällen wohl auch zu aufwendig, die Auswirkungen einer vermehrten Substitutionsnachfrage auf den Investitionsbedarf und die Wirtschaftlichkeit des Netzbetriebes anhand ausgewählter, auf bestimmte Netzabschnitte abzielende Einzelstudien zu verfolgen. Wir bedienen uns deshalb analytischer Abstraktionen anhand regelmässiger Netzmodelle, welche die Struktur der Detailversorgung in repräsentativer Weise nachbilden sollen.

1.3 Zur angemessenen Eingrenzung des Problemkreises beschränken sich die Untersuchungen auf die Ortsverteilnetze mit ihren Transformatorenstationen und Niederspannungsverteilsträngen. Die vorgelagerten Hochspannungsanlagen dürften in den meisten Fällen über eine ausreichende Leistungsfähigkeit verfügen, um den Substitutionsbedarf im vorliegend behandelten Ausmass ohne erhebliche Zusatzinvestitionen abzudecken.