

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: 70 (1979)

Heft: 24

Artikel: Energiewirtschaftliche Bedeutung sowie Systeme von Wärme-Kraft-Kopplungsanlagen

Autor: Kälin, W.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-905457>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 29.03.2025

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

**Probleme
der Wärme-Kraft-Kopplung**
25. Oktober 1979 in Zürich

**Les problèmes
du couplage chaleur-force**
26 octobre 1979, Lausanne

Energiewirtschaftliche Bedeutung sowie Systeme von Wärme-Kraft-Kopplungsanlagen

Von W. Kälin

Unter dem Begriff «Wärme-Kraft-Kopplung» werden sehr unterschiedliche Systeme zusammengefasst. Der Autor erläutert diese Anlagentypen und geht auch auf deren Wirtschaftlichkeit und Energiehaushalt ein.

L'expression «installations de production combinée de chaleur et d'électricité» s'applique à des systèmes très divers. L'auteur présente chacun d'eux en commentant leur rentabilité et leur rendement énergétique.

1. Der Begriff der Kraft-Wärme-Kopplung

Unter dem Begriff Wärme-Kraft-Kopplung versteht man einen Prozess zur kombinierten Erzeugung von Wärme und Elektrizität. Die Kraftkomponente kann, wie in Fig. 1 dargestellt, auch zum Antrieb einer Wärmepumpe dienen. Zuletzt steht dann nicht Wärme und Elektrizität, sondern nur Wärme zur Verfügung.

Die nachfolgenden Ausführungen sind auf Anlagen beschränkt, die im *Endeffekt* Wärme und Elektrizität produzieren. Dabei unterscheidet man zwischen zwei grundsätzlich verschiedenen Ausführungsformen, wie in den Fig. 2 und 3 dargestellt.

Die Wärme- und die *Krafterzeugung* erfolgen in Anlagen mit Wärmeerzeuger und Wärmekraftmaschine (Fig. 2) *getrennt*. Dieser Bautyp eignet sich vorzugsweise für Grossanlagen, wie sie Fernheizkraftwerke und Wärme-Kraft-Kopplungsanlagen in der Industrie darstellen.

Bei Wärme-Kraft-Kopplungsanlagen mit Verbrennungsmotoren (Fig. 3) geschieht die Umwandlung der bei der Verbrennung entstehenden Wärme in mechanische Energie unmittelbar im Motor selbst, d.h., die Wärme- und die Krafterzeugung sind untrennbar miteinander verbunden. Die anfallende Abwärme steht in einem bestimmten Verhältnis zur Elektrizitätsproduktion. Angewendet wird diese Ausführungsart vorwiegend in kleineren Anlagen, wie Blockheizkraftwerken und Total- bzw. Gesamtenergieanlagen.

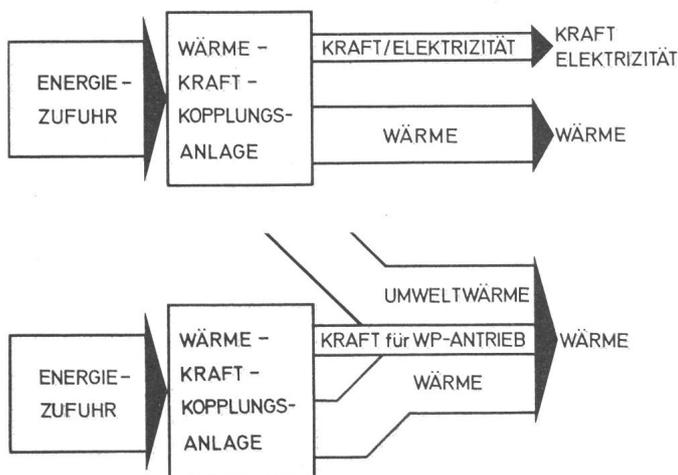


Fig. 1 Wärme-Kraft-Kopplungsanlagen
(unten Kombination mit Wärmepumpe)

2. Wirtschaftlichkeit und Wirkungsgrad

Wärme-Kraft-Kopplungsanlagen sind keineswegs eine technische Neuheit. Sie werden schon seit Jahrzehnten, vor allem in Industrien, wo die Voraussetzungen besonders günstig sind, eingesetzt.

Für eine betriebswirtschaftlich rentable Betriebsweise sollten mehrere Anforderungen erfüllt sein, wie:

- Wärme- und Strombedarf weitgehend parallel verlaufend
- Möglichst ganzjähriger Wärmebedarf (Prozesswärme)
- Hohe Benutzungsdauer der Anlage (Mehrschichtbetrieb)

Besonders günstig wird die Situation, wenn als Brennstoff brennbare Abfälle Verwendung finden. Letzte Klarheit über die Wirtschaftlichkeit einer Wärme-Kraft-Kopplungsanlage

kann nur eine genaue Rentabilitätsrechnung bringen, die alle vorerwähnten Punkte und darüber hinaus noch weitere Besonderheiten, wie Unterhalt, Reservehaltung, Lebensdauer usw., berücksichtigt. Dabei zeigt sich, dass die Höhe der Benützungsdauer bei optimalen Betriebsbedingungen und die Brennstoffkosten über die Wirtschaftlichkeit solcher Anlagen entscheiden.

Im Vordergrund des heutigen Interesses stehen aber nicht in erster Linie Grossanlagen, sondern kleinere Einheiten hinab bis zu solchen, die in der Lage sind, ein Einfamilienhaus mit Wärme und Strom zu versorgen. Im Hintergrund steht der Gedanke, dass es möglich sein sollte, bestehende Ölheizkessel, die der Raumheizung dienen, durch Wärme-Kraft-Kopplungs- bzw. Totalenergieanlagen bzw. Energieboxen zu ersetzen.

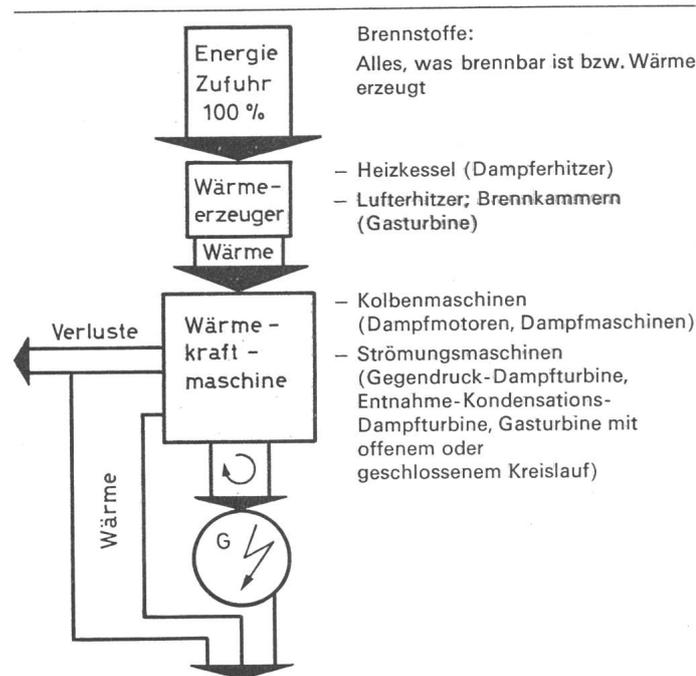


Fig. 2 Wärme-Kraft-Kopplungsanlage mit Wärmeerzeuger und Wärme-Kraft-Maschine
 $\eta = 70-90\%$ bei Bandbetrieb für Wärme- und Elektrizitätsproduktion
 $\eta = 20-70\%$ bei variablem Betrieb

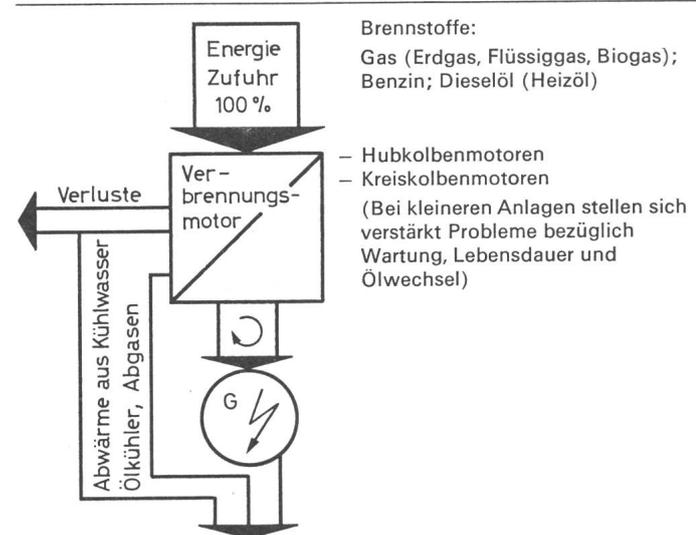


Fig. 3 Wärme-Kraft-Kopplungsanlage mit Verbrennungsmotor
 $\eta = 70-90\%$ bei optimaler Betriebsweise
 $\eta = 20-70\%$ bei variablem Betrieb (Inselbetrieb)

Der Wärmebedarf der Raumheizungen wird bestimmt durch den Tagestemperaturverlauf. Wie der mittlere Tagestemperaturverlauf im schweizerischen Mittelland (Fig. 4) zeigt, werden an relativ wenigen Tagen mehr als 60% des maximalen Wärmeleistungsbedarfs verlangt. Einmotorenanlagen arbeiten dadurch dauernd im Teillast- bzw. im Taktbereich mit entsprechend niedrigeren Wirkungsgraden. Bessere Betriebsverhältnisse würden durch den Einbau eines Speichers erzielt. Dieses Vorhaben scheidet jedoch in vielen Fällen an den prekären Platzverhältnissen.

Ein Problem für sich ist bei Einmotorenanlagen zudem die Bereitstellung der benötigten Reserve-Wärmeleistung, damit auch bei Störungen das Haus warmgehalten werden kann. Der

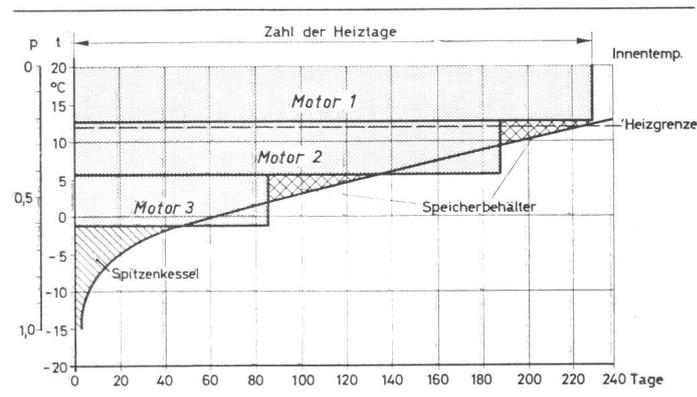


Fig. 4 Wärmebedarf für die Raumheizung in Abhängigkeit vom mittleren Tagestemperaturverlauf im schweizerischen Mittelland
 t = Mittlere Aussentemperatur
 p = Teillast

in solchen Fällen ebenfalls fehlende Strom wird aus dem Netz bezogen.

Günstigere Verhältnisse ergeben sich bei grösseren Anlagen, wie sie Blockheizkraftwerke darstellen. Hier lohnt sich die Installation einer Mehrmotorenanlage mit Spitzenkessel und Wärmespeicherbehälter. Damit werden die Probleme in bezug auf die Reservehaltung und das Teillastverhalten entschärft. Blockheizkraftwerke dieser Bauart erreichen einen *Jahresnutzungsgrad* von etwa 70%. Bei Einmotoren-Totalenergieanlagen liegt dieser bei etwa 50-60%.

Es ist festzuhalten, dass hier nicht vom Wirkungsgrad, sondern vom Nutzungsgrad gesprochen wird. Wirkungsgrade ohne nähere Bezeichnung charakterisieren momentane, in der Regel optimale Betriebszustände. Wird jedoch eine Anlage bei unterschiedlichen Bedingungen betrieben, so ergibt nur der *Nutzungsgrad* ein echtes Bild über die wirkliche Energieausnutzung. Der Nutzungsgrad wird als Quotient zwischen der Wärme- und Elektrizitätsabgabe zur zugeführten Energie während einer möglichst langen Betriebszeit unter verschiedenen Betriebszuständen ermittelt. Manche fruchtlose Auseinandersetzung könnte unterbleiben, wenn vorher diese Zusammenhänge geklärt würden.

Die Nutzungsgrade liegen bei kleineren Totalenergieanlagen, die auf Raumheizungen arbeiten, 20-40% unter dem maximal erzielbaren Wirkungsgrad.

Reine Ölheizkessel moderner, gut isolierter Bauart, ohne Warmwasserbereitung im Sommer, arbeiten bei optimaler Abstimmung in bezug auf den Wärmeleistungsbedarf und die Kaminanlage mit einem Jahresnutzungsgrad zwischen 75 und

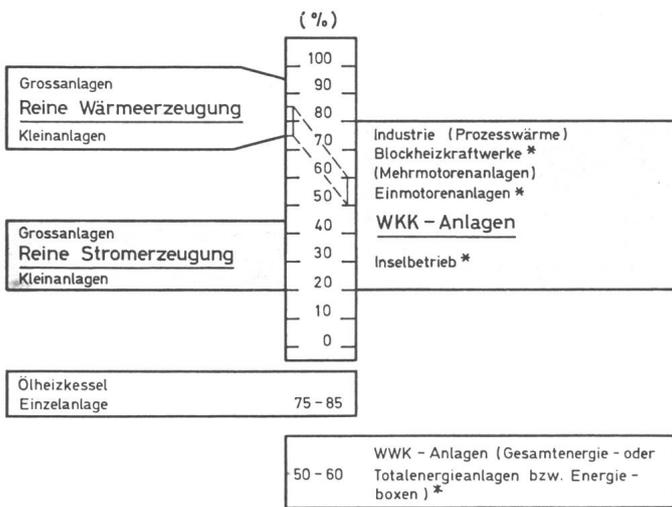


Fig. 5 Jahresnutzungsgrade thermischer Anlagen *) mit Raumheizungen als Wärmeabnehmer

85%; wobei mit aller Deutlichkeit darauf hingewiesen sei, dass in diesen Nutzungsgradangaben die Regelungs- und Verteilverluste im eigentlichen Wärmeverteilnetz nicht enthalten sind.

Die in der Fig. 5 angegebenen Jahres-Nutzungsgrade decken sich mit der allgemein bekannten Tatsache, dass reine Wärme-Erzeugungsanlagen den höchsten und reine Strom-Erzeugungsanlagen auf thermischer Basis den niedrigsten Nutzungsgrad haben.

Die Fig. 6 zeigt die prinzipiellen Zusammenhänge bei Kleinanlagen. Dabei wird unterschieden zwischen einer Anlage mit einem modernen Ölheizkessel und einer Wärme-Kraft-Kopplungsanlage mit gleicher Heizenergieerzeugung. Unter den in Fig. 6 angegebenen Bedingungen ist zur Erzeugung von 14200 kWh elektrischer Energie ein Mehrverbrauch von 2,8 t Öl erforderlich, was einem Wirkungsgrad von rund 43% entspricht. Der reine Ölkostenanteil beträgt 11,8 Rp./kWh exkl. Unterhalt, Service und Amortisation der Anlage und Verteilkosten.

Die zusätzliche Stromproduktion bedingt also einen erheblichen Mehreinsatz an Öl; denn leider wird der theoretisch erzielbare Wirkungsgrad von über 80% nur unter optimalsten Betriebsbedingungen erreicht, die im praktischen Betrieb nie oder nur äusserst selten vorkommen. Auch wenn es gelingen sollte, den Jahresnutzungsgrad von Totalenergieanlagen, die auf Raumheizungen arbeiten, zu erhöhen, bleibt das Grundsätzliche des zusätzlichen Ölbedarfs bestehen. Auch dann stellt sich die Frage, ob ein höherer Wirkungsgrad allein die Nutzung von Brennstoffen mit hohem Rohstoffwert rechtfertigt.

Die Beurteilung, ob eine Energieproduktion sinnvoll ist oder nicht, darf nicht nur unter dem Gesichtspunkt des Wirkungsgrades stattfinden. Mindestens ebenso wichtig ist der Rohstoffwert des eingesetzten Brennstoffes in bezug auf nicht-energetische Verwendungszwecke. Eine Anlage mit ungünstigem Nutzungsgrad, die aber mit minderwertigem Brennstoff oder mit Brennstoff, der *nur* für die Energieproduktion geeignet ist, auskommt, kann sinnvoller sein als eine solche mit höhe-

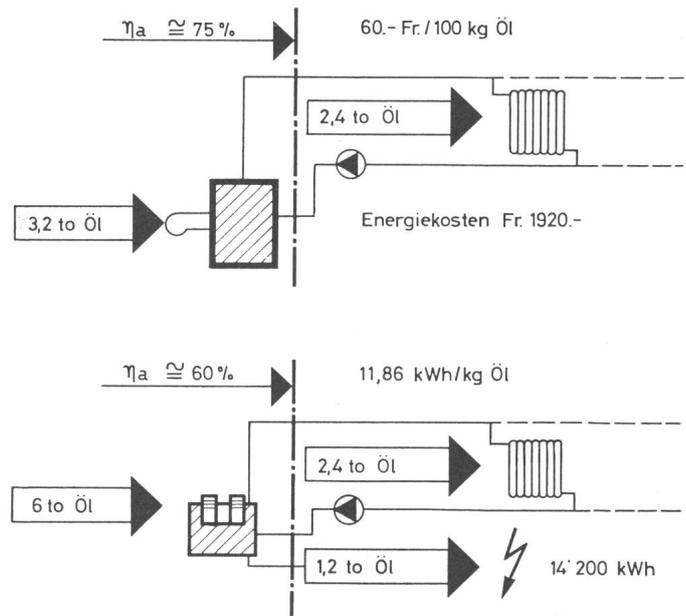


Fig. 6 Vergleich des Energieaufwandes zwischen einem modernen Ölheizkessel (oben) und einer Wärme-Kraft-Kopplungsanlage

rem Wirkungsgrad, die aber hochwertigen Rohstoff als Brennstoff benutzt.

In der Nähe der Verbraucher liegende Konversionsanlagen stellen zudem in bezug auf die Reinhaltung der Luft hohe Anforderungen an die Reinheit der Brennstoffe. Minderwertige Brennstoffe lassen sich nur in zentralen Grossanlagen verwenden, denn nur bei diesen lohnt sich der hohe Aufwand für Massnahmen zur Luftreinhaltung.

Stellt man auf die produzierte Nutzenergie und auf gleiche Brennstoffe ab, so ergeben reine Wärme-Erzeugungsanlagen, gemäss einer Beurteilung durch das Eidg. Amt für Umweltschutz, die geringste Luftverschmutzung. In derselben Grös-

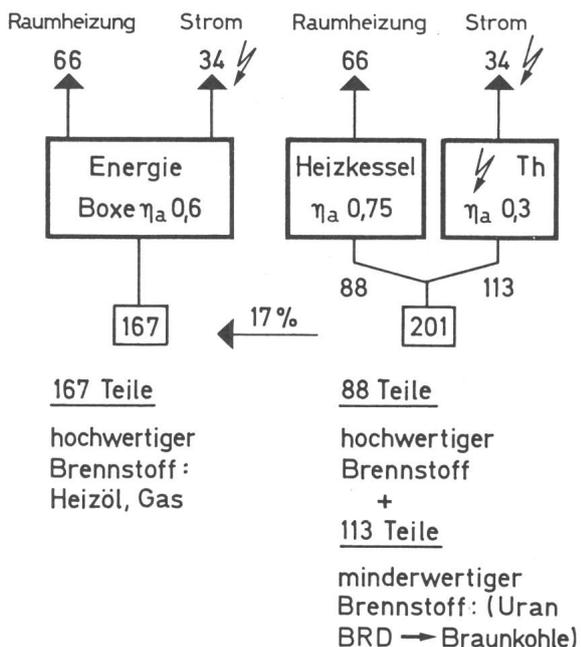


Fig. 7 Wertigkeit des Primärenergieaufwandes
Links: Wärme-Kraft-Kopplungsanlage
Rechts: Heizölkessel und Strom ab thermischem Kraftwerk

ordnung liegen Wärme-Kraft-Kopplungsanlagen mit Dampf- oder Gasturbinen. Wesentlich höher dagegen ist die Luftverschmutzung bei Totalenergieanlagen mit Gas- oder Dieselmotoren.

Es stellt sich also letztlich die Frage, ob ein alter Ölheizkessel mit schlechtem Nutzungsgrad ersetzt werden soll durch eine moderne Totalenergieanlage mit Dieselmotor mit nicht viel besserem Nutzungsgrad oder durch einen modernen, gut isolierten, auf das Kamin abgestimmten Heizkessel mit hohem Nutzungsgrad; wobei auch hier durch Abgas-Wärmetauscher, andere Lösungen für die Warmwasserbereitung im Sommer usw. noch erhebliche Nutzungsgradverbesserungen möglich sind.

Die Fig. 7 zeigt die Verhältnisse in bezug auf den Einsatz der Primärenergie bei Deckung eines Bedarfs von 66 Einheiten Wärme und 34 Einheiten Strom mittels Energieboxen und der konventionellen Lösung. Daraus geht hervor, dass nicht allein

auf die eingesetzte Primärenergie abgestellt werden darf, sondern auch eine Bewertung der Energie notwendig ist. So benötigt die Lösung mit Heizkessel und Strom ab thermischem Kraftwerk nur rund halb soviel an hochwertigem Brennstoff wie eine Totalenergieanlage (Energiebox).

3. Schlussfolgerung

Als Fazit kann gesagt werden, dass die Wärme-Kraft-Kopplung einen Beitrag zur Verminderung der Ölabhängigkeit leisten kann: einerseits in bestehenden thermischen Kraftwerken, bei denen die thermische Komponente genutzt wird, und andererseits in neuen Wärme-Kraft-Kopplungsanlagen, die ohne hochwertiges Heizöl auskommen.

Adresse des Autors

W. Kälin, Kreischef der Centralschweizerischen Kraftwerke, Hirschengraben 33, 6002 Luzern.

Centrales chaleur-force; types et applications

Par P. Suter

Wärme-Kraft-Kopplungsanlagen unterscheiden sich bezüglich System und Anwendungszweck. Die wichtigsten Unterscheidungsmerkmale werden erläutert und die Vor- und Nachteile der verschiedenen Systeme aufgelistet.

1. Critères d'application de centrales chaleur-force

Avant de considérer les différents types, il est utile de mentionner les critères qui peuvent mener à l'application de l'un ou de l'autre. Ce sont :

- le rapport électricité/chaleur
- la variabilité du rapport électricité/chaleur
- la variabilité de la charge
- la variabilité du combustible
- le niveau de température requis
- l'économie énergétique et l'exergétique totale

Les installations de production combinée de chaleur et d'électricité diffèrent selon leur système et leur but d'utilisation. Leurs principales caractéristiques sont expliquées ci-après avec indication des avantages et inconvénients respectifs.

1.1 Rapport entre la puissance électrique et la puissance calorifique

Le rapport demandé diffère fortement selon le type d'utilisation, c'est-à-dire du réseau: Quartier urbain, complexe d'hôpitaux, usine de papier, de soda, de pétrochimie.

Des valeurs entre 0 (chauffage pur) et ∞ (centrale électrique pure) sont possibles.

Dans le domaine de la centrale combinée chaleur-force proprement dite, des valeurs entre 0,2 (installation à vapeur à contre-pression) et 1,4 (Diesel) sont à mentionner, voir aussi la figure 1.

1.2 Variabilité du rapport force/chaleur

S'il existe des complexes industriels où ce rapport est assez fixe, il varie fortement dans d'autres cas. Ceci est d'autant plus vrai pour les applications de la chaleur pour le chauffage et l'eau chaude; pour un quartier d'habitation on peut compter avec des rapports de besoins variant de 1 à 8 entre l'été et l'hiver. Donc cet aspect est des plus importants.

1.3 Variabilité de la charge

Il est évident que très rarement l'on ait affaire à une demande tout ou rien. Donc au contraire le besoin de chauffage ou de chaleur industrielle varie fortement. La variation de la charge de la centrale a d'ailleurs deux aspects:

- La variation est-elle possible?
- Peut-on réduire la charge sans baisser trop l'efficacité?

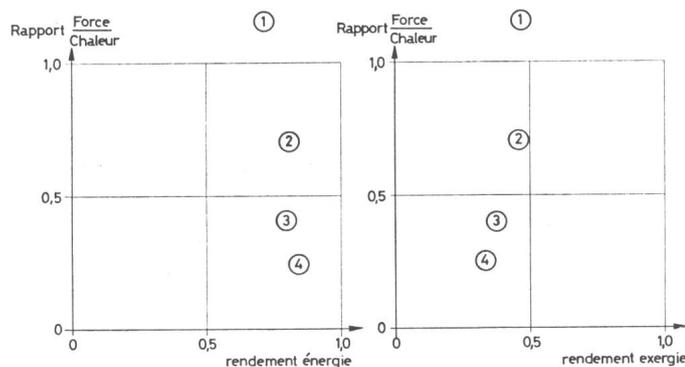


Fig. 1 Rapport force/chaleur

- ① Diesel et récupération
- ② Turbine à gaz/turbine à vapeur
- ③ Turbine à vapeur: condensation
- ④ Turbine à vapeur: contre-pression