

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

**Band:** 55 (1964)

**Heft:** 15

**Artikel:** Verluste : von der Energiequelle bis zum Verbraucher

**Autor:** Kroms, A.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-916760>

#### **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:** 08.01.2026

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

# Energie-Erzeugung und -Verteilung

## Die Seiten des VSE

### Verluste: Von der Energiequelle bis zum Verbraucher

von A. Kroms, Malden (USA)

Die Energieversorgung umfasst eine Reihe nacheinanderfolgender Prozesse. Die wichtigsten Operationen sind dabei:

1. Gewinnung der Primärenergieträger
2. Erzeugung der Nutzenergie
3. Übertragung der Energie
4. Verbrauch der Energie.

Bezüglich dieser Operationen muss folgendes gesagt werden:

a) In einigen Prozessen findet eine *Energieumwandlung* statt, wogegen in anderen die Energieart unverändert bleibt. So stellen die Erzeugung und der Verbrauch von Energie grundsätzlich Energieumsetzungsvorgänge dar, wogegen bei der Gewinnung der Primärenergie und der Energieübertragung keine Umwandlung der Energieart erfolgt.

b) Die Reihenfolge der Prozesse 2 und 3 kann verschieden sein, je nach dem, ob die Umwandlung der Rohenergie am Gewinnungsort oder bei den Energieverbrauchern erfolgt. So kann, z. B. Energie den Verbrauchern in Form von elektrischer Energie oder mittels Brennstoffen zugeführt werden.

Bei jeder Behandlung der Energieträger oder bei der Umwandlung der Energieart treten Verluste auf. Nachstehend werden die wichtigsten Quellen der Energieverluste und Massnahmen zu ihrer Einschränkung in Kürze erörtert. Dabei ist der Begriff der «Verluste» vom Standpunkt der Energiewirtschaft her zu verstehen. Wie wir wohl wissen, können laut dem Hauptsatz der Erhaltung der Energie keine Energiemengen physikalisch verloren gehen. In der Energiewirtschaft dagegen bezeichnet man als Verluste die Energiemengen, welche nicht in die gewünschte Energieform übergehen und dem geplanten Verwendungszweck nicht zugeführt werden können.

#### 1. Der Wirkungsgrad und der Verlustfaktor

Die Güte jedes physikalischen Vorgangs kann mittels eines Kriteriums, welches Wirkungs- oder Nutzungsgrad genannt wird, gekennzeichnet werden. Der *Wirkungsgrad* der Energieprozesse ist

$$\eta = \frac{W}{W_0} < 1,0$$

wobei  $W$  die verwertete bzw. die für den gestellten Zweck abgegebene Energie und  $W_0$  die zugeführte oder aufgewandte Energie bezeichnet. Die Energieverluste können als die Differenz  $W_v = W_0 - W$  oder in relativen Zahlen als *Verlustfaktor*

$$\varepsilon = \frac{W_v}{W_0} = \frac{W_0 - W}{W_0} = 1 - \eta$$

und  $\varepsilon_0 = \frac{W_v}{W} = \frac{W_v}{W_0 - W_v} = \frac{\varepsilon}{1 - \varepsilon}$

ausgedrückt werden, wobei  $\varepsilon$  die Verluste in Bezug auf die aufgewandte,  $\varepsilon_0$  dagegen auf die verwertete Energie angeben. Da  $W_v < W_0$ , ist  $\varepsilon$  immer  $< 1,0$ , wogegen  $\varepsilon_0$  auch Werte  $> 1,0$  annehmen kann (Fig. 1.); bei  $\varepsilon < 0,5$  ist  $\varepsilon_0 < 1,0$ , bei  $\varepsilon > 0,5$  dagegen  $\varepsilon_0 > 1,0$ .

Die Beziehungen zwischen dem Wirkungsgrad und dem Verlustfaktor sind:

$$\eta = 1 - \varepsilon = \frac{1}{1 + \varepsilon_0}$$

Anstelle des Wirkungsgrads wird zur Beurteilung der Prozesse auch ein umgekehrter Kennwert

$$k = \frac{1}{\eta} = \frac{W_0}{W} > 1,0$$

benutzt; dieser Kennwert wird *Verbrauchsfaktor*, spezifischer Verbrauch oder manchmal auch Einheitsverbrauch genannt. Seine Beziehungen zu den Verlustfaktoren lauten:

$$k = \frac{1}{1 - \varepsilon} = 1 + \varepsilon_0$$

Wenn die aufgewandte und die abgegebene Energie in gleichen Einheiten ausgedrückt werden (wie im MKSA-System), dann ist  $k$  eine unbenannte Zahl  $> 1,0$ . Vorläufig werden für die verschiedenen Energiearten praktisch meistens unterschiedliche Einheiten benutzt, z. B. für elektrische Energie «kWh» und für Wärme «kcal», wodurch man den bekannten Verbrauchsfaktor, den *spezifischen Wärmeverbrauch*  $q$  (kcal/kWh) erhält, der zur energetischen Beurteilung der thermischen Kraftwerke weitläufig benutzt wird. Es ist aber zu wünschen, dass das MKSA-System zur Messung aller Energiearten möglichst schnell praktisch angewendet wird.

Der Wirkungsgrad ist ein in der Energiewirtschaft so oft benutzter Kennwert, dass man annehmen dürfte, es würden bei seiner Festlegung und Anwendung keine Probleme mehr bestehen. Bei einigen Energieanlagen ist es auch tatsächlich so, wogegen es aber andere Prozesse gibt, bei denen die Berechnung des Wirkungsgrads erhebliche Schwierigkeiten bereitet. Dies bezieht sich vorwiegend auf die beiden äusseren Vorgänge der Energieversorgungskette: den Energieverbrauch und die Gewinnung der Rohenergieträger. Schwierigkeiten entstehen hier manchmal schon bei der Definierung der «verwerteten» bzw. «genutzten», oft aber auch der «aufgewandten» Energie. Es hat sich dabei herausgestellt, dass bei einigen Energievorgängen bezüglich dieser Grössen nicht selten ganz unterschiedliche Meinungen bestehen.

Bei den *Verbrauchsvorgängen* soll vor allem die wirklich genutzte Energie richtig definiert werden. Energie, die den

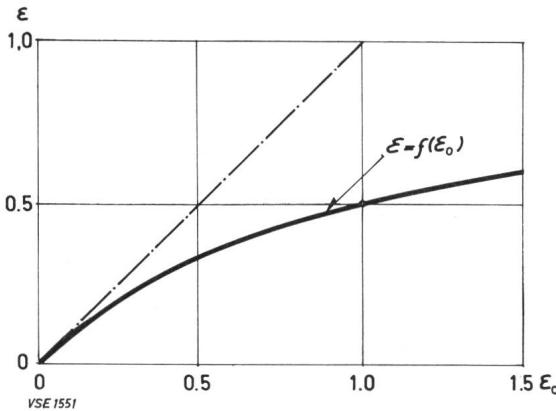


Fig. 1

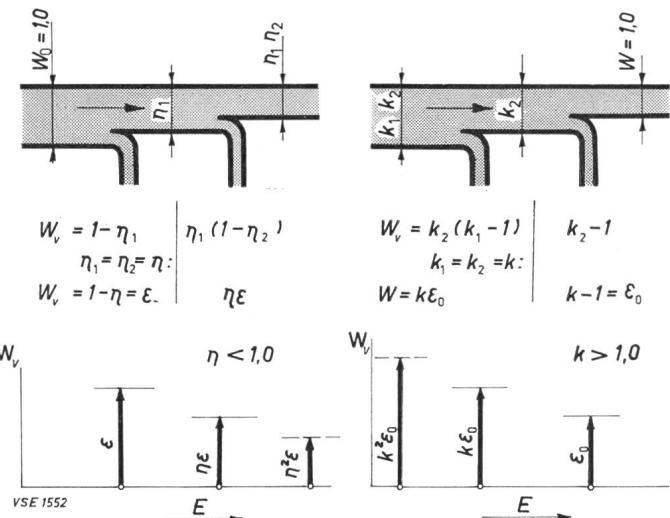
Die Beziehung zwischen den Verlustfaktoren  $\varepsilon = W_v/W_0$  und  $\varepsilon_0 = W_v/W$

Verbrauchsapparaten zufliest, wird bei weitem nicht vollständig für den Endzweck verwendet; sonst könnten die Verbrauchsanlagen gar nicht verbessert werden. In einigen technologischen Prozessen wirkt die zugeführte Energie sogar blos als ein Katalyt oder Prozessförderer, wird aber zur eigentlichen Veränderung des Werkstücks gar nicht verbraucht. So kann z.B. die aufgewendete Energie nur das benötigte Temperaturniveau aufrechterhalten, sich aber an der Prozessführung nicht unmittelbar beteiligen. Zu diesen gehören zahlreiche chemische und metallurgische Vorgänge. Die Metallschmelzung z. B. benötigt nur einen Bruchteil der für den Gesamtprozess aufgewendeten Energie; eine verlängerte Energiezufuhr ist hier aber unbedingt nötig, um die Energieverluste zu decken und den technologischen Abschluss zu sichern.

Ein typisches Beispiel, das zeigt, wie der Wirkungsgrad eines und desselben Prozesses von den Verbrauchsumständen bestimmt wird, stellen die *thermischen Kraftwerke* dar. Die Kondensationskraftwerke nutzen die grossen Wärmemengen des Abdampfes nicht aus; diese sogenannte «Restwärme» wird mittels des Kühlwassers in die Umgebung zerstreut und als Verlust angesehen, weshalb der thermische Wirkungsgrad der Kondensationsanlagen ziemlich niedrig ( $\eta < 0,40$ ) liegt. Wenn man dagegen die Abdampfwärme für Heizzwecke verwertet, dann geht dieser Energiebetrag in die Gruppe der genutzten Energie über, weshalb der Energieausnutzungsgrad der Heizkraftwerke rund zweimal höhere Werte als der Wirkungsgrad der Kondensationskraftwerke annimmt.

Ähnliche Probleme entstehen dann, wenn man den Nutzungsgrad bei der *Gewinnung der Rohenergieträger* zu bestimmen versucht; es ist hier schwierig den tatsächlichen Energieinhalt der Rohenergiequellen zu bewerten. Man sollte sich deshalb auf verschiedene Annahmen und Vereinbarungen stützen, die den zu bestimmenden Nutzungsgrad dieser Prozesse wesentlich beeinflussen können.

Aus den vorerwähnten Gründen wird der Wirkungsgrad mancher Energieprozesse verschieden berechnet, so dass aus Mangel an bestimmten, allgemein anerkannten Richtlinien ein einwandfreier energetischer Vergleich der Vorgänge manchmal unmöglich ist. Die Ausarbeitung von Richtlinien wird durch die grosse Verschiedenheit der Prozesse erschwert. Dass die grosse Bedeutung dieses Problems aber erkannt worden ist, beweist die Studie, die von der Forschungsstelle für Energiewirtschaft an der Technischen Hochschule Karlsruhe im Auftrag des Statistischen Amtes der Europäischen Gemein-



Die Verluste in einer Kette von Energieprozessen  
Links : Verluste, ausgedrückt mittels  $\eta$  und  $\varepsilon$   
Rechts: Verluste, ausgedrückt mittels  $k$  und  $\varepsilon_0$

$W_v$	Energieverlust
$E$	Energiefloss
$\eta$	Wirkungsgrad
$\varepsilon$	Verlustfaktor
$k$	Verbrauchsfaktor

schaften durchgeführt und in der «Praktischen Energiekunde» veröffentlicht worden ist. [1].

## 2. Energieverluste in einer Kette der Energieversorgungsvorgänge

Wenn mehrere Vorgänge in einer Reihe angeordnet sind, dann beträgt der gesamte oder totale *Wirkungsgrad der ganzen Prozesskette*

$$\eta_t = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \dots ,$$

wobei  $\eta_1, \eta_2 \dots$  die Wirkungsgrade einzelner Prozesse sind. Bei  $\eta_1 = \eta_2 = \dots = \eta$  ergibt sich  $\eta_t = \eta^n$ , wobei  $n$  die Anzahl der nacheinander geschalteten Prozesse bezeichnet. Nach Einsetzen von  $\eta = 1 - \varepsilon$  erhält man hieraus:

$$\eta_t = (1 - \varepsilon)^n = 1 - n\varepsilon + \frac{n(n-1)}{2} \varepsilon^2 - \dots$$

Wenn die  $\varepsilon$ -Werte klein sind, kann ein angenäherter Wert benutzt werden:

$$\eta_t \cong 1 - n\varepsilon$$

Diese Näherungsformel ergibt aber zu niedrige  $\eta_t$ -Werte; sie wird nur in besonderen Fällen gebraucht.

Bei  $\varepsilon_1 \neq \varepsilon_2 \neq \dots$  ergibt sich auf ähnliche Weise:

$$\eta_t \cong 1 - (\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \dots) = 1 - \sum_1^n \varepsilon_i .$$

Der gesamte Wirkungsgrad einer Prozessreihe  $\eta_t = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \dots$  wird von der Reihenfolge einzelner Prozesse längs der Energieumwandlungskette nicht beeinflusst.

Das gleiche Resultat erhält man mittels der Verlustfaktoren: wenn der Verlustfaktor sich in einem Vorgang um  $\Delta\varepsilon$  erhöht, dann ist der neue Wert des totalen Wirkungsgrades:

$$\eta_t' \cong 1 - \left( \sum_1^n \varepsilon_i + \Delta\varepsilon \right) = \eta_t - \Delta\varepsilon$$

Daraus folgt:  $\eta_t'/\eta_t \cong 1 - \Delta\varepsilon/\eta_t$

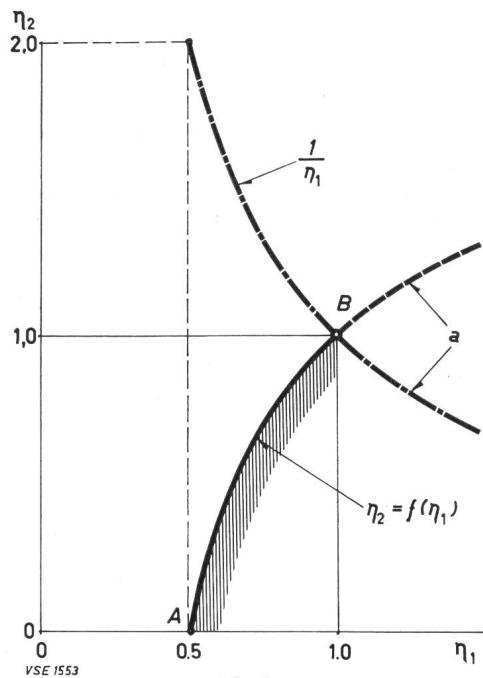


Fig. 3

Die Beziehung  $\eta_2 = f(\eta_1)$  für zwei nacheinandergeschaltete Vorgänge bei gleichen  $W_v$ -Werten

$\overline{AB}$  die brauchbare Strecke der Wirkungsgradkurve  
 $a$  Kehrkurven

Man sieht, dass es gleichglüdig ist, welche Stelle in der Energiekette der Vorgang einnimmt, in dem die Veränderung des Verlustfaktors um  $\Delta e$  entstanden ist.

Anders ist es mit den *absoluten Werten des Energieverlustes*  $W_v$ ; hier ist wichtig zu wissen, wo sich der Prozess befindet, in dem eine Veränderung der Verluste um  $\Delta W_v$  eintritt. In Fig. 2 ist eine Kette von Energieprozessen, welche aus zwei Vorgängen besteht, dargestellt. Der Energiefluss ist sowohl mittels der Wirkungsgrade, als auch mittels der Verbrauchs faktoren ausgedrückt worden; als Ausgangseinheit der Energiemenge dient im ersten Falle die aufgewendete, im zweiten aber die ausgenutzte Energie, d. h.  $W_0$  oder  $W = 1,0$ .

Das *Verhältnis der Energieverluste* in den nacheinander folgenden Prozessen ist

$$\frac{W_{v2}}{W_{v1}} = \frac{\eta_1 (1 - \eta_2)}{1 - \eta_1} = \eta_1 \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}$$

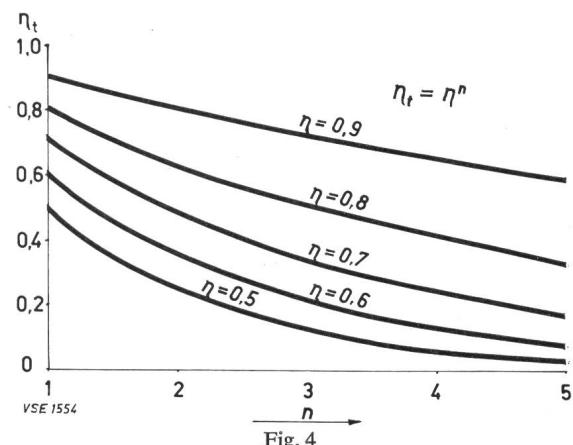
Wenn  $\eta_1 = \eta_2$  oder  $\varepsilon_1 = \varepsilon_2$  ist, so wird:

$$W_{v2}/W_{v1} = \eta = 1 - \varepsilon < 1,0.$$

Dies bedeutet, dass bei einer Bewegung in der Richtung des Energieflusses einem konstanten  $\eta$ - oder  $\varepsilon$ -Wert allmählich kleinere absolute Verluste  $W_v$  entsprechen; umgekehrt, bei  $W_{v2} = W_{v1}$  ist  $\eta_2 < \eta_1$ , weil in Richtung des Energieflusses die  $W_v$ -Werte auf stetig abnehmende Mengen der Nutzenergie bezogen werden. Je mehr die Energie veredelt worden ist und je mehr sie sich ihrem endgültigen Verbrauchsort nähert, desto kleinere Verluste  $W_v$  sind zulässig, um den gesamten Wirkungsgrad nicht allzu viel zu verschlechtern.

Wenn die Energieverluste in zwei nacheinandergeschalteten Vorgängen gleich sind, d. h.  $W_{v1} = W_{v2}$ , dann besteht zwischen den Wirkungsgraden eine Beziehung

$$1 - \eta_1 = \eta_1 (1 - \eta_2),$$



Der gesamte Wirkungsgrad einer Prozesskette je nach der Anzahl der Vorgänge

$\eta$  konst. Wirkungsgrad einzelner Prozesse

$n$  Anzahl der Prozesse

$\eta_t$  gesamter Wirkungsgrad

woraus:  $\eta_2 = 2 - \frac{1}{\eta_1}$ . Hieraus ergeben sich zwei Grenzzustände (Fig. 3):

$$\begin{aligned} \text{bei } \eta_1 = 1,0 & \quad \eta_2 = 1,0 \\ \eta_1 = 0,5 & \quad \eta_2 = 0 . \end{aligned}$$

Der gesamte Wirkungsgrad der Energieversorgungskette  $\eta_t = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \dots$  wird nicht bloss von der energetischen Güte einzelner Prozesse, sondern in hohem Masse auch von der Zahl der nacheinandergeschalteten Vorgänge, d. h. von der Länge der Prozessreihe, beeinflusst. Dies ist für  $\eta_1 = \eta_2 \dots$  bzw.  $\eta_t = \eta^n$  in Fig. 4 veranschaulicht worden. Man sieht, dass Massnahmen, welche die Anzahl der Energieprozesse herabsetzen, zur Verbesserung des totalen Wirkungsgrades viel beitragen können; dies kommt besonders bei niedrigen Einzelwerten von  $\eta$  zum Vorschein. So können z. B. zwei nacheinandergeschaltete Vorgänge mit  $\eta_1 = \eta_2 = 0,7$  energetisch einem einzigen Prozess mit  $\eta_3 = 0,7^2 = 0,49$  gleichgesetzt werden. Die Kette der Energieversorgung muss also nach Möglichkeit verkürzt werden.

Nachstehend werden die wichtigsten Ursachen der Energieverluste in einzelnen Phasen der Energieversorgung erörtert.

### 3. Die Gewinnung der Primärenergieträger

Als Primärenergie bezeichnet man die in der Natur vorkommenden Energiearten, z. B. die Wasserkraft, die chemische Energie der Brennstoffe und die Kernenergie der Spaltstoffe. Man benutzt oft anstatt der Bezeichnung «Primärenergie» auch den Begriff «Rohenergie»; es wäre aber vorteilhafter den Begriff «Rohenergie» zu erweitern und mit Rohenergie den Energieinhalt der *jedem* Energieprozess zugeführten Energie zu bezeichnen: dann würde die zugeführte Energie des ersten Vorgangs *Primärenergie* und die abgegebene Energie des letzten Vorgangs *Endenergie* genannt.

Die Primärenergieträger sollen aus ihren natürlichen Lagerstätten abgebaut und so aufbereitet werden, dass sie dann in den Energieerzeugungsanlagen auf einer wirtschaftlich günstigen Weise in andere Energiearten umgesetzt werden können. Die Energieverluste bei der Gewinnung der Primärenergieträger können, ähnlich wie bei anderen Vorgängen der Energieversorgung, mittels des Verhältnisses

$$\eta = W/W_0 = 1 - \varepsilon$$

ausgedrückt werden, wobei  $W_0$  hier den potentiellen Energieinhalt der natürlichen Vorräte und  $W$  die zur weiteren Umwandlung abgegebene Energiemenge bedeuten. Obgleich im Gewinnungsprozess die Energieart nicht verwandelt wird, kann doch auch hier der Gütekennwert  $\eta = W/W_0$  energiewirtschaftlich als Wirkungsgrad angesehen werden. Den  $\eta$ -Wert könnte man auch als Ausbeutungsgrad der Energiequelle bezeichnen; dies ändert aber die Bedeutung des Kennwertes nicht.

Die *Verluste bei der Gewinnung der Rohenergieträger* entstehen aus mehreren Gründen:

- die vorhandenen Energievorräte sind entweder nicht vollständig erfasst worden, oder sie werden aus wirtschaftlichen Gründen nur teilweise abgebaut;
- bei der Aufbereitung, d. h. der Qualitätserhöhung des Energieträgers (Sortierung u. a.) werden gewisse Mengen des Rohenergieträgers vom Hauptstrom abgezweigt, wobei diese Rückstände von geringer Qualität sind und oft unausgenutzt bleiben;
- die Gewinnungsanlagen haben einen Eigenverbrauch an Energie.

Die Grösse des Wirkungsgrades bei der Ausbeutung von Primärlagerstätten hängt sowohl von technischen Mitteln als auch von wirtschaftlichen Überlegungen ab, weil es sich nicht lohnt, niedrig konzentrierte Energievorräte auszunutzen. Die Festsetzung des tatsächlichen  $\eta$ -Wertes wird hier dadurch erschwert, dass es praktisch nicht möglich ist, die Vorräte an verfügbarer Primärenergie genau abzuschätzen. Bezuglich der Energiequellen werden verschiedene Zahlenwerte, z. B. die technisch und wirtschaftlich auszubeutenden Reserven, angegeben. Es ist ohne weiteres klar, dass die Grenzen der Abbauwürdigkeit von mehreren Umständen, z. B. von dem Vorhandensein anderer Energiequellen, beeinflusst werden und deshalb nur angenähert gezogen werden können. Aus diesen Gründen sind die verschiedenen Angaben über die vorhandenen Primärenergiemengen ganz unterschiedlich. Mit der Aufgabe, die vorhandenen Energiereserven zu erforschen, haben sich mehrere Organisationen, darunter auch die Weltkraftkonferenz, seit langem beschäftigt; es sind auch ansehnliche Erfolge zu verzeichnen, die Arbeit soll aber trotzdem fortgesetzt werden. Wie weit sich die Angaben über die Energiereserven, je nach den angenommenen Bedingungen ihrer Ausnutzung, unterscheiden, zeigt *Tabelle I*, in der die geschätzten Vorräte an Kernenergieträgern [Uran (U) und Thorium (Th)] angegeben sind [2]; es ist dabei vorausgesetzt, dass der gesamte Kernbrennstoff gespaltet werden kann.

*Energieinhalt der Kernenergieträger in USA*  
(Energie in Q; 1 Q =  $0,25 \cdot 10^9$  Tcal).

*Tabelle I*

Gewinnungskosten \$/kg Oxyd	U 235		Gesamtenergie	
	sichere Vorräte	geschätzte Vorräte	sichere Vorräte	geschätzte Vorräte
U: 0... 20	0,16	0,4	22	50
	20... 60	0,17	0,3	24
	60... 200	5	10	700
	200...1 000	220	900	30 000
Th: 0... 20	—	—	6	25
	20... 60	—	6	13
	60... 200	—	700	2 200
	200...1 000	—	63 000	190 000

Wenn man den *Ausnützungsgrad* von Energiequellen bestimmen will, sind möglichst genaue Untersuchungen über die vorhandenen Energiereserven durchzuführen. Eine gute Ausnützung der verfügbaren Energie bei der Gewinnung der Primärenergieträger ist ebenso wichtig wie die spätere Umwandlung der Energieträger in Kraftwerken und Verbrauchssapparaten; leider ist dieser erste Prozess der Energieversorgung in der technischen Literatur wenig behandelt worden. Es hat aber keinen Sinn, den Kraftwerkswirkungsgrad auf das genaueste zu bestimmen und alle Massnahmen zu seiner Verbesserung zu treffen, wenn die natürlichen Lagerstätten der Primärenergie unzureichend ausgebautet werden. In einer zweckmässigen Energiewirtschaft muss allen Phasen der Energieversorgung grundsätzlich die gleiche Beachtung geschenkt werden.

Bei der *Wasserkraftnutzung* ist die Aufbereitung der Rohenergiequelle und die Energieumwandlung in einer gemeinsamen Anlage — dem Wasserkraftwerk — zusammengefasst. Das Wasserkraftwerk besteht aus zwei Hauptbestandteilen: dem Stauwehr und der Maschinenanlage. Das Stauwehr konzentriert das Gefälle und speichert Wasser auf, d. h. es bereitet die Energiequelle zur Ausnutzung in der angeschlossenen Maschinenanlage vor. Der gesamte Wirkungsgrad der Wasserkraftnutzung setzt sich dementsprechend aus zwei Teilwirkungsgraden zusammen:

$$\eta_t = \eta_1 \cdot \eta_2,$$

wobei  $\eta_1 = W_1/W_0$  die Ausnützung des verfügbaren Wasserflusses, und  $\eta_2 = W_2/W_1$  den elektromechanischen Wirkungsgrad der Wasserkraftaggregat bezeichnet. Hier sind:

$\eta_1$ : die potentielle Wasserenergie des Flusses,

$\eta_2$ : die Energie des Wassers, welches den Kraftmaschinen zugeführt wird,

$\eta_2$ : die ins Netz abgegebene elektrische Energie.

Der Wirkungsgrad der Wasserkraftaggregat beträgt:  $\eta_2 = 0,80 \dots 0,85$  und nähert sich schon seinem theoretischen Grenzwert, so dass hier keine wesentliche Verbesserungen mehr möglich sind. Die Verwertung der Wasserenergie kann nunmehr nur durch einen höheren Ausnutzungsgrad  $\eta_1$  des vorhandenen Jahresdurchflusses verbessert werden. Die  $\eta_1$ -Werte liegen manchmal noch ziemlich niedrig, wobei die Verluste an Primärenergie vorwiegend durch den Überlauf des zeitweilig überschüssigen Wassers über das Wehr verursacht werden. Diese Verluste können mittels verschiedener Massnahmen: der Errichtung ausreichender Wasserspeicher, der Auswahl einer hohen installierten Leistung und des Zusammenschlusses der Wasserkraftwerke in ausgedehnten Verbundsystemen, herabgesetzt werden [3]. Je nach der Hydraulizität des Flusses, den baulichen und betrieblichen Umständen, schwanken die  $\eta_1$ -Werte innerhalb weiter Grenzen von 0,4 ... 1,0. Die niedrigsten Werte weisen die Laufwerke, welche an nicht regelbaren Flüssen gelegen sind; die höchsten dagegen die Speicherwerke auf, wenn sie in grossen Verbundsystemen arbeiten. So sind z. B. die Wasserverluste der im UCPTE-Verbundnetz zusammengeschlossenen Wasserkraftwerke sehr gering (UCPTE: Union pour la coordination de la production et du transport de l'électricité).

Die Ausnutzung der *Brennstoffvorkommen* hängt von zahlreichen örtlichen Umständen ab, so dass hier bestimmte Zahlenwerte kaum angegeben werden können. Die obere Grenze des Ausnutzungsgrades wird durch die kostenmässigen Über-

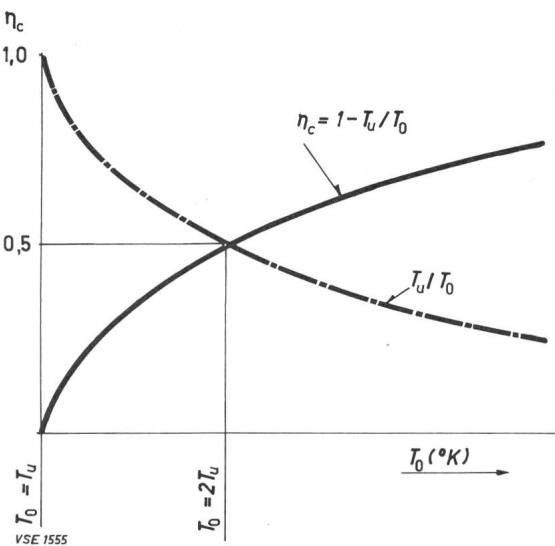


Fig. 5

Der thermische Wirkungsgrad des Carnot-Kreisprozesses

$T_0$  Temperatur des Wärmeträgers  
 $T_u$  Temperatur der Umgebung  
 $\eta_c$  Wirkungsgrad des Carnot-Kreisprozesses

legungen gezogen, weil der Abbau von stark ballastierten oder allzu tief liegenden Brennstofflötzen wirtschaftlich nicht tragbar ist; diese Grenze wird aber von dem Vorhandensein anderer substituierender Energiequellen wesentlich beeinflusst [4]. Obgleich die nicht abgebauten, an den Lagerstätten verbliebenen Brennstoffmengen physikalisch nicht verloren sind, sind sie doch für die Energieerzeugung aus wirtschaftlichen Gründen meistens nicht mehr ausnutzbar; sie werden deshalb vom Standpunkt der Energiewirtschaft aus als Verlust angesehen.

Man versucht den Wirkungsgrad des Brennstoffabbaus mit Hilfe verschiedener technischer Mittel zu erhöhen. So werden z. B. bei der Ölgewinnung die sogenannten sekundären Verfahren — *Einpumpen von Wasser oder Gas u. a.* — angewandt, wodurch die Ausbeute an Öl manchmal um 20% oder noch mehr gesteigert werden kann. Diesen Methoden ist es zu verdanken, dass sogar bereits verlassene Ölfelder weiter ausgebaut werden konnten. Zur Ausnutzung der dünnen, für mechanischen Abbau nicht geeigneten Flötze der festen Brennstoffe, versucht man die Methoden der *Untertagsvergasung* zu entwickeln.

Je mehr der Energieinhalt der bisherigen Energiequellen abnimmt, desto mehr Beachtung muss einer vollständigeren Verwertung der restlichen Energiereserven geschenkt werden.

#### 4. Die Energieerzeugung

Jede Energieerzeugungsanlage ist grundsätzlich ein Energiewandler, dessen Wirkungsgrad vom Charakter der Umwandlungsvorgänge, d. h. von der Art der zugeführten und der abgegebenen Energie, wie auch von der technischen Ausrüstung und der Betriebsweise der Anlage bedingt wird. Der totale Wirkungsgrad setzt sich deshalb aus zwei Teilwirkungsgraden zusammen

$$\eta_2 = \eta_0 \cdot \eta_v$$

wobei  $\eta_0$  den theoretischen Wirkungsgrad,  $\eta_v$  den Gütegrad der praktischen Durchführung des Umwandlungsvorganges bezeichnen. Dabei kann auch  $\eta_v$  wiederum in mehrere Teilwirkungsgrade, z. B. dem Wirkungsgrad der Wärmeerzeugungs-

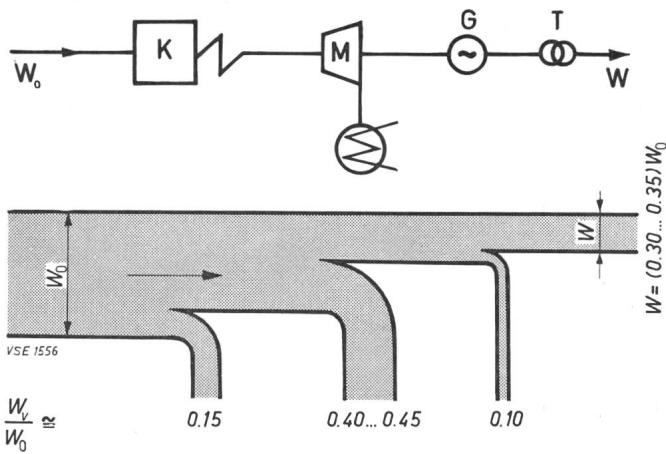


Fig. 6

Der Energiefluss in einer thermischen Kraftanlage (Dampfkraftwerk)

$W_0$  aufgewandte Rohenergie  
 $W$  abgegebene Nutzenergie  
 $K$  Wärmeerzeuger  
 $M$  Kraftmaschine  
 $G$  elektrischer Generator  
 $T$  Umspanner (Transformator)

anlage (Kesselanlage), der Kraftmaschine und des elektrischen Generators zerlegt werden.

In einigen Umwandlungen kann die zugeführte Rohenergie theoretisch vollständig in die gewünschte Form der Edelenergie umgesetzt werden, weshalb  $\eta_0 = 1,0$  ist; dies ist in den *Wasserkraftwerken* der Fall, weshalb hier  $\eta_2 = \eta_v$ . Da die Verluste durch Energiezerstreuung in Wasserkraftaggregaten niedrig sind, erreichen die  $\eta_2$ -Werte bei Vollast die Grösse von 0,80...0,85. Die Umwandlung von Wasserkraft in elektrische Energie ist einer der wirksamsten Umsetzungs-Vorgänge von Rohenergie in veredelte Energie. Wasserkraftwerke übertreffen in dieser Hinsicht alle anderen Kraftwerksarten. Weitere Bemühungen sollen hier deshalb vorwiegend dahin gerichtet werden, den naturbedingt ungleichmässig anfallenden Rohenergieträger möglichst vollständig zur Energieerzeugung heranzuziehen, d. h. Wasserverluste durch Überlauf einzuschränken.

Anders ist es bei *Wärmekraftwerken*, weil die zugeführte Wärmeenergie in thermodynamischen Kreisprozessen auch theoretisch nicht restlos in mechanische Arbeit verwandelt werden kann. Der theoretische Wirkungsgrad ist hier  $\eta_0 < 1,0$ , wobei sein Wert vom ausnutzbaren Wärmepotential, d. h. dem Temperaturgefälle des Wärmeträgers abhängig ist. Der Grenzwert kann mittels des Wirkungsgrads des *Carnot-Kreisprozesses* ausgedrückt werden:

$$\eta_0 = \eta_c = \frac{W_0 - W_u}{W_0} = \frac{T_0 - T_u}{T_0} = 1 - \frac{T_u}{T_0}$$

wobei  $W_0$  und  $W_u$  die zu- und die abgeleitete Wärme,  $W_0 - W_u$  die in mechanische Energie umgesetzte Wärme, und  $T_0$  und  $T_u$  ( $^{\circ}$ K) die entsprechenden Temperaturen bezeichnen; bei Kondensations-Dampfkraftwerken entspricht  $T_u$  der Umgebungstemperatur. Zum Ausdruck der theoretisch möglichen Arbeitsfähigkeit bei verschiedenen thermodynamischen Energieumformungen ist eine besondere Bezeichnung «Exergie» eingeführt worden [5].

Die  $\eta_c$ -Werte sind in Fig. 5 angegeben. Um den Wirkungsgrad zu verbessern, muss  $T_0$  erhöht werden. Die praktischen Grenzen werden aber durch die Haltbarkeit der Werkstoffe

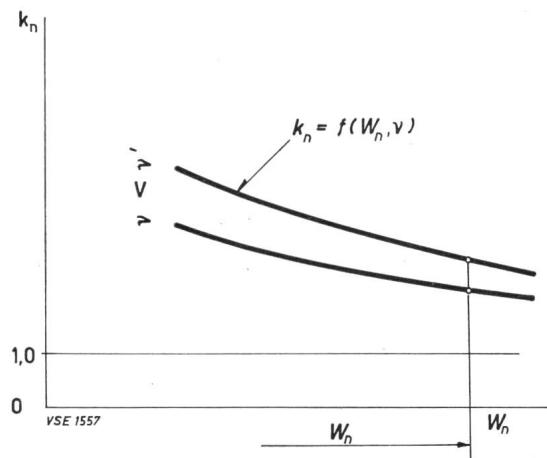


Fig. 7

Der Verbrauchsfaktor bei Vollast, je nach Grösse und technischer Vollkommenheit der Anlage

$W_n$  Nennleistung  
 $v$  Grad der technischen Vollkommenheit  
 $k_n$  Verbrauchsfaktor bei Nennleistung

gezogen. Die Dampftemperaturen betragen in den neuen Dampfkraftwerken meistens 540...560 °C, woraus sich ein  $\eta_c$  von 0,60...0,64 ergibt. Da die thermischen Kraftanlagen nicht nach dem theoretischen Carnot-Kreisprozess arbeiten und in der Anlage eine gewisse Energiezerstreuung nicht zu vermeiden ist, liegen die praktischen  $\eta_2$ -Werte erheblich niedriger; sie betragen in den technisch vollkommenen Dampfkraftwerken  $\eta_2 = 0,35...0,38$ , ihnen entspricht ein Verbrauchsfaktor  $k = 2,65...2,75$  oder ein spezifischer Wärmeverbrauch von  $q = 2250...2450$  kcal/kWh.

Die grössten Verluste bei der Umwandlung von Wärme in mechanische Arbeit entstehen dadurch, dass grosse Wärmemengen niedriger Temperatur (Ab- oder Restwärme) in die Umgebung abgeleitet und zerstreut werden (Fig. 6). Aus dem Ausdruck  $\eta_c = 1 - \varepsilon = 1 - T_u/T_0$  folgt  $\varepsilon = T_u/T_0$ , d. h. die Verluste im theoretischen Prozess sind der Ausgangstemperatur umgekehrt proportional. Man versucht, diesen Verlustposten auf verschiedene Weise zu vermindern:

- durch die Erhöhung des Temperaturgefälles  $T_0 - T_u$ ;
- durch regenerative Speisewasservorwärmung, indem man einen Teil der Restwärme zur Erwärmung des Kessel-speisewassers ausnutzt;
- durch Abgabe der Restwärme an Heizwärmeverbraucher.

In den konventionellen Dampfkraftwerken kann die Temperatur nicht mehr wesentlich gesteigert werden, weil die Werkstoffe sich unter hohem Druck befinden, so dass eine merkbare Abnahme ihrer Festigkeit unzulässig ist. Grössere Erfolge mit der Temperatursteigerung sind aber in den Kernkraftwerken erzielbar, weil die ersten Anlagen dieser Art mit niedrigen Temperaturen arbeiten. Die Hochtemperatur-Kernreaktoren werden voraussichtlich in naher Zukunft entwickelt werden.

Der Wirkungsgrad der thermischen Kraftwerke kann dadurch erhöht werden, dass man den Dampfkraftanlagen Gasturbinensätze vorschaltet; da Gasturbinen mit mässigen Drucken arbeiten, können sie höhere Temperaturen ertragen. In der letzten Zeit versucht man auch, ganz neue Arten der thermischen Energieumformer zu entwickeln, die ohne bewegliche Bestandteile arbeiten würden. Die grössten Hoffnungen werden hier auf die *magnetohydrodynamischen Anlagen* gesetzt [6]. Sie sollen mit sehr hohen Temperaturen arbeiten und Wärmeenergie mit einem Wirkungsgrad von  $\eta_2 = 0,50...0,60$

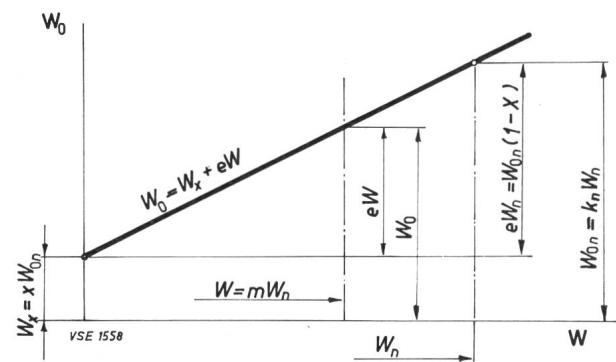


Fig. 8

Energieaufwand  $W_0 = F(W)$  bei einer linearen Bedarfskurve

$m = W/W_n$  Lastfaktor  
 $x$  Leerlaufskoeffizient  
 $e$  spezifischer Zuwachs des Energieaufwands  
 $W_0$  aufgewandte Rohenergie

in elektrische Energie umwandeln. Anlagen dieser Art befinden sich aber nur im Versuchsstadium und man weiss vorläufig noch nicht, wann sie in die praktische Energieversorgung eingeführt werden können.

Der grundsätzliche *Nachteil der Wärmekraftwerke*, nämlich der hohe Wärmeverlust mit dem abfließenden Wärmeträger (Dampf oder Gase), kann mittels technischer Massnahmen nicht ganz beseitigt werden. Man sucht in der Energiewirtschaft deshalb andere Wege um eine erheblich bessere Ausnutzung der Brennstoffenergie zu erreichen.

Eine radikale Lösung lässt sich hier dadurch erzielen, dass man die Abwärme der Kraftmaschinen für Wärmezwecke ausbeutet, d. h. den Kraftwerken die Aufgabe der Wärmeversorgung hinzufügt. So entstehen *Heizkraftwerke*, in denen die wichtigste Ursache der Wärmeverluste beseitigt worden ist, weshalb bei restloser Verwertung der Abwärme der theoretische Wirkungsgrad der Anlage den Wert  $\eta_0 = 1,0$  erreicht. Praktisch werden in Heizkraftwerken 75...80% der Brennstoffwärme ausgenutzt, wovon 10...25% in elektrische Energie umgesetzt werden, der Rest aber auf die Heizwärme entfällt. Die Heizkraftwerke erfüllen in der Energiewirtschaft zwei Aufgaben: sie zentralisieren die Wärmeversorgung und erzeugen auf der Grundlage der Wärmelieferung elektrische Energie mit einem sehr geringen Wärmeaufwand von  $k = 1,2 \dots 1,3$  oder  $q \approx 1100$  kcal/kWh. Die zentralisierte Wärmeversorgung kann energiewirtschaftlich einer besonderen Energiequelle gleichgesetzt werden, weil sie erhebliche Brennstoffersparnisse bei der Energieversorgung der Städte und Industriezentren ermöglicht. Das Vorhandensein einer genügenden Dichte des Wärmebedarfs (Gcal/h · km²) ist aber die Voraussetzung zur Errichtung von Heizkraftwerken, weil bei weit zerstreuten Wärmeabnehmern die Baukosten der Wärmenetze allzu hoch ansteigen.

Der Wirkungsgrad der Energieanlagen verschlechtert sich bei ihrer unvollständigen Auslastung. Der *Energieaufwand* setzt sich wie folgt zusammen [7]:

$$W_0 = W_x + f(W),$$

wobei das erste Glied den festen Leerlaufaufwand, das zweite dagegen den veränderlichen, arbeitsabhängigen Aufwand bezeichnet. Dann ist der *Verbrauchsfaktor*:

$$k = \frac{W_0}{W} = \frac{W_x}{W} + \frac{f(W)}{W} = F(W).$$

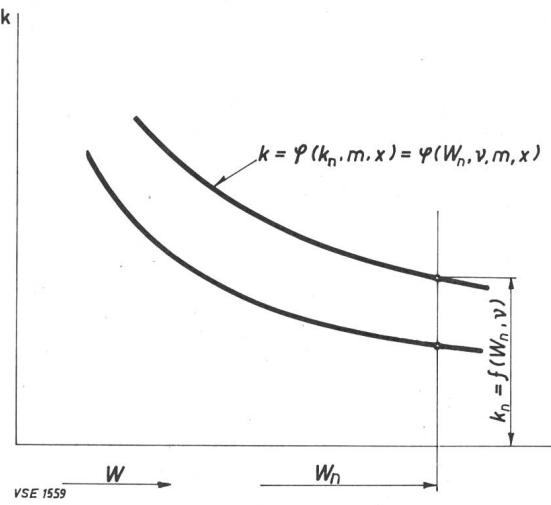


Fig. 9

Die Abhängigkeit des Verbrauchsfaktors von der technischen Güte der Anlage ( $k_n$ ,  $x$ ) und dem Lastfaktor

$m$  Lastfaktor  
 $k_n$  Verbrauchsfaktor bei Nennleistung  
 $x$  Leerlaufkoeffizient  
 $v$  Grad der technischen Vollkommenheit  
 $W_n$  Nennleistung

Der spezifische Energieaufwand bei der Nennleistung der Anlage  $W_n$ , d. h.  $k_n = F(W_n)$ , hängt von der Grösse der Anlage und ihrer technischen Vollkommenheit ab; je höher  $W_n$ , desto geringer sind in der Regel die  $k_n$ -Werte. Es ist unmöglich, die technische Vollkommenheit der Anlagen mit einem bestimmten zahlenmässigen Kennwert auszudrücken; so liegen z. B. bei den thermischen Kraftanlagen sogar für den theoretischen Wirkungsgrad keine festen Grenzen vor, weil  $\eta_0 = f(T_0, T_u)$  und die zulässigen  $T_0$ -Werte vom Stand der Werkstofftechnik beeinflusst sind. Deshalb kann die Beziehung  $k_n = F(W_n, v)$ , wo  $v$  den Grad der technischen Vollkommenheit bedeutet, nur angenähert mit einer Gruppe von Trendkurven dargestellt werden (Fig. 7).

Der Energieaufwand der Kraftwerke kann angenähert mit einer linearen Funktion ausgedrückt werden (Fig. 8):

$$W_0 \cong W_x + eW,$$

wobei die Konstante  $e$  den spezifischen Zuwachs des Energieaufwandes bezeichnet. Wenn man  $W = mW_n$  und  $W_x = xW_{0n} = xk_n W_n$  einsetzt, wobei  $m$  den Lastfaktor und  $x$  den Leerlaufkoeffizient darstellen, so erhält man:

$$k = \frac{W_0}{W} = \frac{xk_n}{m} + e.$$

Aus Fig. 8 ist:

$$e = \frac{W_{0n} - xW_{0n}}{W_n} = k_n \cdot (1 - x),$$

also:

$$k = \frac{xk_n}{m} + k_n (1 - x)$$

oder

$$\frac{k}{k_n} = \frac{x}{m} + (1 - x).$$

Es ist also  $k = \varphi(k_n, m, x)$ ; da aber  $k_n$  eine Funktion von  $W_n$  und  $v$  ist, folgt  $k = \varphi(W_n, v, m, x)$  (Fig. 9). Je höher  $W_n$ ,  $v$  und  $m$ , desto niedriger  $k$ ; ein grösserer  $x$ -Wert erhöht dagegen den spezifischen Aufwand, besonders bei niedrigem Lastfaktor (Fig. 10). Um die vermeidbaren Energieverluste einzuschrän-

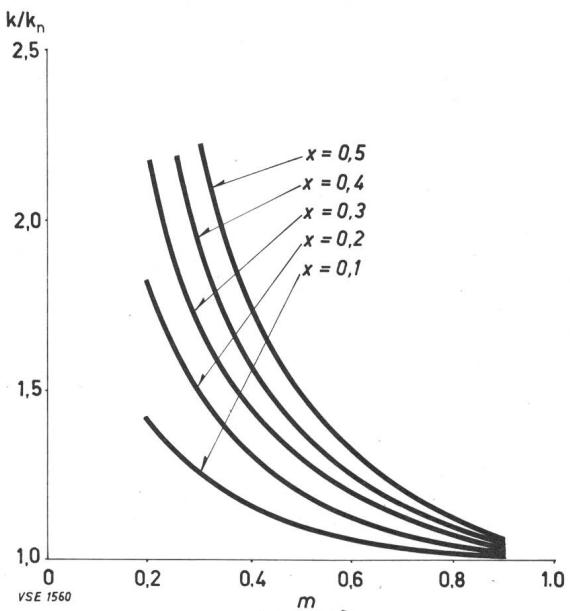


Fig. 10

Die Zunahme des spezifischen Energieaufwands bei Teillast

$m$  Lastfaktor  
 $k_n$  Verbrauchsfaktor bei Nennleistung  
 $k$  Verbrauchsfaktor  
 $x$  Leerlaufkoeffizient

ken, müssen die Energieanlagen so ausgelegt und betrieben werden, dass sie vorwiegend mit ihrer Bestlast laufen. Bei den meisten Energieaggregaten verläuft die Linie des Energieaufwands  $W_0 = f(W)$  im Überlastungsbereich steiler, weshalb die  $k$ -Werte bei  $W > W_n$  sich wieder erhöhen; dadurch wird das günstigste Lastbereich beiderseits beschränkt.

## 5. Die Energieübertragung

Der Wirkungsgrad der Energieumsetzung ist in den Erzeugungsanlagen schon so weit verbessert worden, dass er in einigen Anlagenarten sich schon den naturgesetzten Grenzen nähert, weshalb es immer schwieriger wird, hier zusätzliche Verbesserungen zu erzielen. Bei einem ständig zunehmenden Energiebedarf muss daher viel Beachtung jenen Massnahmen geschenkt werden, durch welche die Grundlage der auszubeutenden Primärenergieträger erweitert werden kann. Dies geschieht durch Förderung der technischen Entwicklung der Energieübertragung durch Verbesserung des Übertragungswirkungsgrades und durch Erhöhung der Leistungsfähigkeit der Transportmittel.

Man unterscheidet grundsätzlich zwei Arten des Energietransportes;

- den Transport von Primärenergieträgern;
- die Übertragung der Edelenergie.

Im ersten Falle werden die Primärenergieträger zum Verbrauchsort herbeigeschafft und erst dort in Edelenergie verwandelt. Im zweiten Falle dagegen wird die Rohenergie gleich an den Energiequellen in Edelenergie umgesetzt und die letztere den Verbrauchszentren zugeführt. In der Praxis kommen aber verschiedene Kombinationen beider Transportarten vor.

Es besteht seit langem ein scharfer Wettbewerb zwischen den beiden erwähnten Grundarten des Energietransports. Bei dem Transport von Brennstoffen nehmen Rohrleitungen ständig an Bedeutung zu. Sie werden nicht bloss zur Beförderung von Öl und Gas benutzt, sondern man versucht in letzter Zeit auch, Kohle in Form von Schlamm mittels Rohrleitungen auf

weite Entfernungen zu transportieren. Der Massentransport durch Rohrleitungen hat einen geradezu revolutionären Einfluss auf die Energieversorgung ausgeübt; der Transport kann ununterbrochen mit vollem Durchsatz erfolgen, wodurch die Kosten und Verluste entsprechend zurückgehen. Die hohen Baukosten der Rohrleitungssysteme setzen aber ein minimales Transportvolumen voraus, wenn die Anlage wirtschaftlich arbeiten soll.

Die Übertragung der Edelenergie erfolgt mittels elektrischer Hochspannungsnetze. In einigen Fällen, z. B. bei der Ausnutzung von Wasserkraft, ist dies der einzige mögliche Weg des Energietransports.

Als *Wirkungsgrad der Energieübertragung* soll das Verhältnis der am Endpunkt abgegebenen Energie zu der in das System hineingeführten Energie angesehen werden; in den Energieaufwand muss der Verbrauch, der sich aus der Durchführung der Transportoperationen ergibt, eingeschlossen werden. Demzufolge setzen sich die Energieverluste aus zwei Gruppen zusammen:

- a) aus den Verlusten an Energieträgern oder Energie auf der Transportstrecke;
- b) aus dem Eigenverbrauch der Transportanlagen.

Die Verluste werden durch die Umladung der Energieträger oder die Umformung der Energie erhöht; in den elektrischen Netzen bezieht sich dies auf die Spannungsumformer (Transformatoren) und Stromumwandler (Drehstrom-Gleichstrom-Umformer z. B.) Die Anzahl dieser Operationen soll nach Möglichkeit herabgesetzt werden. Wichtige Faktoren, welche den Wirkungsgrad des Energietransportes beeinflussen, sind: der Abstand der Energieübertragung, die Leistung (Durchlassfähigkeit) und die Auslastung der Transportanlagen. Die geringsten Verluste an Energieträgern auf der Transportstrecke können bei den Rohrleitungen erzielt werden.

Die Steigerung der zu übertragenden elektrischen Leistungen führt zu einer schrittweisen Erhöhung der Betriebsspannungen. Die Spannungsebenen von 220...380 kV reichen bei grossen Leistungen und Entfernungen nicht mehr aus, weshalb man bei Fernübertragungen auf höhere Spannungen von 500...750 kV übergeht. Die Festsetzung der optimalen Spannungsebene stellt eine komplizierte Aufgabe dar; die energetisch und wirtschaftlich vorteilhafte Spannung hängt von der Grösse der zu übertragenden Leistung, von der Transportdistanz, dem Belastungsgrad der Leitungen und nicht zuletzt von der technischen Entwicklung auf dem Gebiete der Energiefernleitung ab. Außerdem ist auch den Energieverlusten, welche am Verbrauchsort und in den örtlichen Verteilungsnetzen entstehen und die manchmal erhebliche Ausmasse erreichen, gebührende Beachtung zuzumessen.

Da alle Transportanlagen, ähnlich wie Energieerzeugungsanlagen, gewisse feste, arbeitsunabhängige Verluste aufweisen, kann auch hier ein guter energetischer Wirkungsgrad nur bei einer möglichst vollständigen Auslastung der Ausrüstung erzielt werden.

## 6. Der Energieverbrauch

Der Energieverbrauch erfolgt in einer grossen Anzahl verschiedener Vorgänge, so dass im Rahmen dieses Aufsatzes nur einige allgemeine Charakteristiken dieses letzten Gliedes des Energieversorgungsvorganges gegeben werden können.

Die Verbrauchsapparate sind Energieumformer, welche die zugeführte Energie in die sogenannte Endenergie, d. h. in die Energieform, welche den Nutzprozess tatsächlich verrichtet, umsetzen. Der Energieverbrauch wird gewöhnlich mittels der Mengen der «Nutzenergie», die den Verbrauchern zugeleitet werden, ausgedrückt. Dieser Begriff der Nutzenergie ist energietechnisch aber irreführend, weil in der Verbrauchsapparatur noch eine weitere Energieumformung stattfindet, die oft mit erheblichen Verlusten verbunden ist. Nur selten wird die von den Verbrauchsapparaten aufgenommene Energieform unmittelbar zum Endzweck ausgenutzt. So verwertet man z. B. elektrische Energie nur in elektrolytischen Prozessen direkt; in anderen Verbrauchsapparaten wird sie vor der Anwendung in eine neue Energieart — Wärme, mechanische Arbeit oder Lichtenergie — umgewandelt. Der Wirkungsgrad dieser Umwandlungen kann, je nach Charakter des Prozesses und der Apparatur, sehr verschiedene Werte annehmen:

Umwandlung der elektrischen Energie in:

Wärme	= 0,90...1,0
mechanische Arbeit	= 0,70...0,85
Licht	= 0,05...0,20

Diesen Umwandlungen folgt endlich die tatsächliche Energieverwertung. Doch wird auch die Endenergie in den Nutzprozessen nicht vollständig zur endgültigen Zielsetzung verwertet. In dieser Phase der Energieübertragung entstehen wiederum Verluste, wobei dieser Prozess manchmal sogar den niedrigsten Wirkungsgrad der ganzen Energieumformungskette aufweist. So wird, z. B., beim Zerspanen von Metallen von der gesamten, an der Schnittstelle aufzubringenden Energie nur ein Anteil von 3...5% für die eigentliche Trennarbeit verwertet; theoretisch sollte nur dieser Anteil als eigentlich genutzt bezeichnet werden. Der Rest dient zur Verformung des Spans und wird in Wärme umgesetzt. Die Lage verwickelt sich noch mehr dadurch, dass auch ein überwiegender Teil der Trennarbeit in Wärme umgesetzt wird. Dieses Beispiel zeigt, wie kompliziert die Ermittlung der Energieausnutzung in den Verbrauchsprozessen ist. Vereinheitlichte Begriffsbestimmungen würden hier von grossem Nutzen sein.

Wenn eine Energieform verwertbar ist, heisst es noch nicht, dass sie wirklich verwertet wird. Um die tatsächlich genutzte und verlorene «Nutzenergie» zu unterscheiden, hat Prof. H. Müller, Karlsruhe, einen Begriff der «Aktivenergie» (genutzte Nutzenergie) vorgeschlagen [1]; sie stellt diejenige Nutzenergiemenge dar, die im Sinne der Fertigungsaufgabe für die Veränderung des Werkstückes wirksam wird. Für zahlreiche Prozesse kann aber die Aktivenergie gar nicht bestimmt werden. Hierher gehört z. B. das Warmhalten von Stoffen, Beheizen von Räumen, der horizontale Transport usw. Für diese Prozesse lässt sich ein Wirkungsgrad im physikalischen Sinne nicht bestimmen. Hier müssen deshalb geeignete Bezugsgrössen, wie z. B. die Zahlen des spezifischen Energieverbrauchs je Einheit der bearbeiteten Produkte, abgeleitet werden. Derartige Angaben werden zur Bestimmung des Energiebedarfs viel benutzt [8] und stellen wertvolles statistisches Material dar, das neben den Wirkungsgraden für die Beurteilung des wirtschaftlichen Energieeinsatzes von grosser Bedeutung ist. Obgleich diese Verbrauchszahlen keine unmittelbare Gütezahlen der Energieausnutzung sind, können sie als relative Kriterien zur Beurteilung mehrerer gleichartiger Fertigungsvorgänge angewandt werden.

Die Ausnutzung der Endenergie zur eigentlichen Prozessführung hängt von der Art des Prozesses, der Bauweise und Vollkommenheit der Apparatur und ausserdem von den Betriebsverhältnissen ab; ein niedriger Ausnutzungsgrad der Endenergie wird oft nicht von einer schlechten Apparatur, sondern vom Charakter dieser Prozesse verursacht. Da die Verbrauchsvorgänge äusserst verschieden sind, können hier bezüglich des Wirkungsgrades keine allgemeingültigen Angaben gemacht werden. Jeder technologische Vorgang muss besonders behandelt werden; aber auch dann können die Ergebnisse, den verschiedenen Einflussfaktoren entsprechend, innerhalb weiter Grenzen schwanken. Die Verbesserungen der Prozessführung können oft beachtenswerte Energieersparnisse mit sich bringen; dem Sektor des Energieverbrauchs muss deshalb mehr Beachtung als bisher geschenkt werden. Mit dieser Frage sollten sich nicht bloss die Energieabnehmer, sondern auch die Energielieferanten beschäftigen, weil eine zweckmässige Auswertung der Energie den Energieabsatz erfahrungsgemäss nicht vermindert, sondern sogar fördert. Diesen Weg gehen z. B. die amerikanischen Elektrizitätsgesellschaften bei der Werbung von Abnehmern für elektrische Raumbeheizung, indem sie Massnahmen zur Verminderung der Wärmeverluste angeben.

## 7. Schlussfolgerungen

Auf dem langen Wege des Energieflusses von den Energiequellen bis zum Verbraucher finden zahlreiche Energieumwandlungen statt. Da jeder einzelne Vorgang mit gewissen Energieverlusten verbunden ist, liegt der totale Wirkungsgrad der ganzen Energieversorgungskette ziemlich niedrig. Je nach der Art der Primär- und der Endenergie befindet er sich meistens zwischen den Grenzen  $\eta_t = 0,10 \dots 0,50$ , wobei nicht selten noch niedrigere Werte zu verzeichnen sind. In der Energiewirtschaft sind also noch viele Möglichkeiten einer Wirkungsgradverbesserung gegeben.

Die Ursachen für geringe  $\eta_t$ -Werte liegen in zwei Faktoren: 1) in einem geringen Wirkungsgrad einiger Energieprozesse; 2) in einer allzu grossen Anzahl der nacheinander geschalteten Energieumwandlungen.

Der Wirkungsgrad der Energieversorgung kann demzufolge durch Verbesserung einzelner Prozesse, aber auch durch die Ausschaltung aller vermeidbaren Umformungen und Handlungen, d. h. durch die *Verkürzung der Versorgungskette*, erhöht werden. Als Beispiel für die letztgenannte Massnahme

kann die Entwicklung der thermoelektrischen Apparate zur Elektrizitätserzeugung dienen, weil in diesen Energieumformern die Zwischenphase der mechanischen Arbeit weggelassen wird.

Die Festsetzung der tatsächlichen Werte des gesamten *Wirkungsgrades* — von den in der Natur vorhandenen Energiequellen bis zur tatsächlich verwerteten Endenergie — wird dadurch erschwert, dass diese beiden äusseren Glieder des Energieflusses oft nicht genau bestimmt werden können. Bei einigen Prozessen, z. B. bei der Energieerzeugung und teilweise auch bei der Energieübertragung, kann sowohl die aufgewandte, als auch die für den bestimmten Zweck abgegebene Energie mit genügender Genauigkeit gemessen werden. Bei der Gewinnung der Primärenergieträger und beim Verbrauch der Energie treten dagegen schwierigere Probleme auf. Hier kann der Wirkungsgrad nur auf Grund besonderer Annahmen bzw. Schätzungen bestimmt werden. Eine *Vereinheitlichung der energiewirtschaftlichen Grundbegriffe und der Methoden zur Auswertung verschiedener Energieprozesse* ist deshalb unbedingt nötig.

Die Einschränkung der Energieverluste soll längs der ganzen Kette der Energieversorgung durchgeführt werden, weil nur dann die erwünschten Ergebnisse in vollem Masse erzielt werden können. Deshalb muss die Energiewirtschaft als ein organischer Komplex betrachtet werden.

## Literatur

- [1] «Festlegung von Definitionen über den Nutzungsgrad in der Energiewirtschaft.» Praktische Energiekunde, Jg. 11 (1963), Heft 1, S. 3...15.
- [2] Gegenwärtige und künftige Entwicklung der Kernenergie in den USA. BWK, 15 (1963), Nr. 11, S. 537...539.
- [3] Kroms, A.: Kraftwerke als Elemente der elektrischen Verbundsysteme. Bulletin SEV, Die Seiten des VSE, 51 (1960), Nr. 19, S. 221...228; Nr. 20, S. 242...244.
- [4] Kroms, A.: Die wechselnden Grundlagen der Energieversorgung. Energie, 15 (1963), Nr. 4, S. 151...156; Nr. 5, S. 176...182; Nr. 6, S. 217...221.
- [5] Baehr, H. D. Thermodynamik. Springer-Verlag, Berlin (Göttingen), Heidelberg. 1962.
- [6] Federal Power Commission National Power Survey. Advisory Committee Report Nr. 8 on New Methods of Power Generation. 1963.
- [7] Kroms, A.: Lastplan der Energieaggregate. Energie, 14 (1962), Nr. 8, S. 317...325.
- [8] Schenkel, G.: Die Ermittlung von Energieverbrauchsfunktionen. Technischer Verlag H. Resch, München und Karlsruhe, 1961.

## Adresse des Autors:

A. Kroms, dipl. Ing., 30 Rockland Ave, Malden 48, Mass. USA.

## Verbandsmitteilungen

### 38. Kontrolleurprüfung

Vom 20. bis 22. Mai 1964 fand die 38. Prüfung von Kontrolleuren für elektrische Hausinstallationen statt. Von den insgesamt 12 Kandidaten aus der deutschen und der französischen Schweiz haben 10 die Prüfung bestanden.

Es sind dies:

Baur Heinz, Zürich  
 Biber Gottfried, Merishausen  
 Emery Georges, Lausanne  
 Kumschick Otto, Langnau b. Reiden  
 Lay Robert, Zürich  
 Limacher Rudolf, Beromünster  
 Siegenthaler Edwin, Steffisburg  
 Stutz Abraham, Arbon  
 Werlen Georges, Châteauneuf  
 Zwygart Armin, Zürich

### 39. Kontrolleurprüfung

Vom 2. bis 4. Juni 1964 fand die 39. Prüfung von Kontrolleuren für elektrische Hausinstallationen statt. Von den insgesamt 11 Kandidaten aus der deutschen und der französischen Schweiz haben 7 die Prüfung bestanden.

Es sind dies:

Bosson Claude, Genève  
 Etter Christian, Pt. Lancy (GE)  
 Huser Rolf, Zürich  
 Koller René, Genève  
 Ochsner Alois, Zürich  
 Rüesch Josef, Zürich  
 Spahr Robert, Rümlang (ZH)

Eidg. Starkstrominspektorat