

ÜBER DIE QUALITATIVEN UND QUANTITATIVEN VERLUSTE BEI DER KRAFT/WÄRME-KOPPLUNG

Von

G. BÜKI

Lehrstuhl für Wärmekraftwerke, Technische Universität Budapest

(Eingegangen am 14. Mai 1973)
Vorgelegt von Prof. Dr. A. LÉVAI

1. Ideale Kraft/Wärme-Kopplung

Die thermodynamischen Verhältnisse der ideal gekoppelten Erzeugung von elektrischer Energie und Wärme (Abb. 1) sind durch den *Wirkungsgrad* der Stromerzeugung im Gegendruckbetrieb

$$\eta_{G,0} = \frac{E_{G,0}}{\Delta Q_1} = \frac{(T_1 - T_G) \Delta S}{(T_1 - T_G) \Delta S} = 1 \quad (1)$$

und durch den im Gegendruck erzeugten spezifischen Strom (d. h. die *Stromkennzahl*)

$$\sigma_0 = \frac{E_{G,0}}{Q_{G,0}} = \frac{(T_1 - T_G) \Delta S}{T_G \Delta S} = \frac{T_1}{T_G} - 1 \quad (2)$$

gekennzeichnet. Jede Temperatur ist hier ein in Abhängigkeit von der Entropiezunahme des umkehrbaren Kreisprozesses gebildeter Mittelwert ($T = \Delta Q / \Delta S$). Die energetische Wirksamkeit der Kraft/Wärme-Kopplung gegenüber den Kondensationskraftwerken (KKW) kann mit der im idealen Falle erzielbaren *spezifischen Brennstoffersparnis*

$$\begin{aligned} \alpha_0 &= \frac{B_0}{Q_{G,0}} = \sigma_0 \left(\frac{1}{\eta_{KKW,0}} - \frac{1}{\eta_{G,0}} \right) = \left(\frac{T_1}{T_G} - 1 \right) \left(\frac{T_1}{T_1 - T_2} - 1 \right) = \\ &= \frac{T_1 - T_G}{T_1 - T_2} \frac{T_2}{T_G} \end{aligned} \quad (3)$$

ausgedrückt werden. In (3) wird vorausgesetzt, daß bei den vergleichbaren Kondensations- und Heizkraftwerken die Anfangstemperatur (T_1) immer gleich ist. Bei Erhöhung von T_1 wächst die energetische Wirksamkeit der idealen Kraft/Wärme-Kopplung, zumindest bis zu den heute üblichen Anfangstemperaturen (Abb. 2).

Die Größe der durch eine reelle Kraft/Wärme-Kopplung erzielbaren Brennstoffersparnis hängt wesentlich von den Energieverlusten der Kreisprozesse ab.

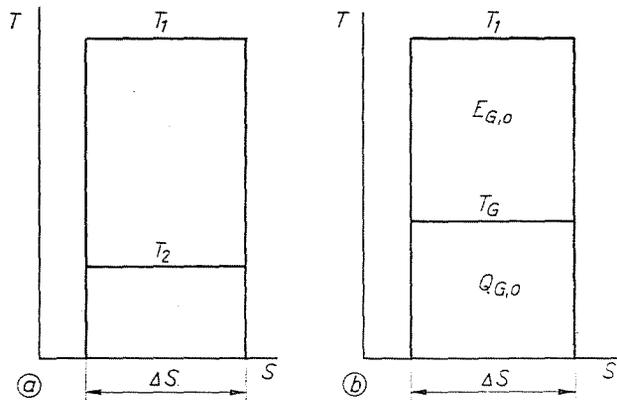


Abb. 1. Thermodynamischer Kreisprozeß bei der idealen Kondensationsstromerzeugung (a) und bei der Kraft/Wärme-Kopplung (b)

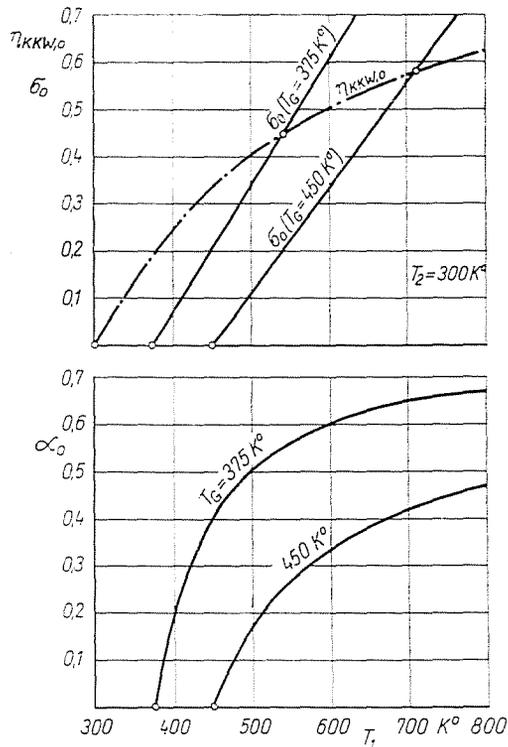


Abb. 2. Abhängigkeit der Stromkennzahl (σ_0) und der erzielbaren spezifischen Brennstoffersparnis (α_0) bei der idealen Kraft/Wärme-Kopplung

2. Wirkung der Irreversibilitäten auf die Wirksamkeit der Kraft/Wärme-Kopplung

Die Irreversibilitäten (qualitative Verluste) verursachen immer irreversible Entropiezunahme (ΔS_{irr}). Die Wirkung dieser Entropiezunahme auf den im Kondensations- resp. im Gegendruckbetrieb erzeugten Strom ist verschiede-

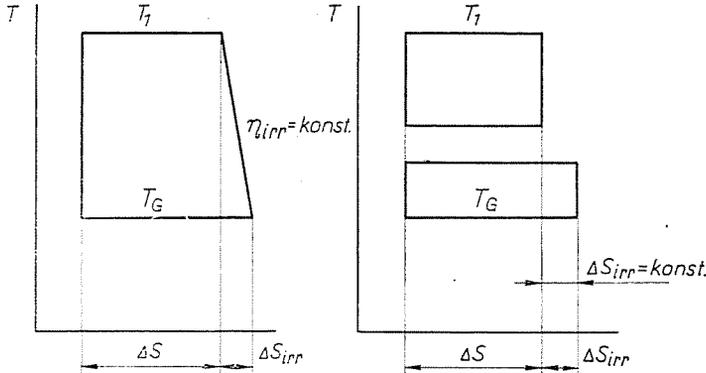


Abb. 3. Mit der Expansion verhältnismäÙige ($\eta_{irr} = konst.$) resp. von den Expansionsgrenzen unabhängige ($\Delta S_{irr} = konst.$) Irreversibilitäten bei der Kraft/Wärme-Kopplung

den, und zwar hängt sie auch davon ab, ob die in den einzelnen Anlagen aufgetretene irreversible Entropiezunahme

a) der vollständigen Expansion *proportional*, d. h.

$$\eta_{irr} = \frac{E_{G,0} - T_G \Delta S_{irr}}{E_{G,0}} = konst.$$

b) oder vom Anfangs- und Endzustand der Expansion *unabhängig*, d. h.

$$\frac{\Delta S_{irr}}{\Delta S} = konst.$$

ist (Abb. 3).

2.1. Mit der Expansion verhältnismäÙige irreversible Entropiezunahme

Die auf die Kennziffer der Kraft/Wärme-Kopplung ausgeübten Wirkungen einer derartigen Irreversibilität (z. B. der Einfluß des inneren Wirkungsgrades der Turbine) können mit Hilfe folgender Gleichungen aufgeschrieben werden:

für den Wirkungsgrad der Stromerzeugung im Gegendruck

$$\eta_{G,irr,a} = \frac{(T_1 - T_G) \eta_{irr}}{(T_1 - T_G) - (T_1 - T_G) \cdot (1 - \eta_{irr})} = 1 = \eta_{G,0}. \quad (4)$$

für die *Stromkennzahl*

$$\sigma_{\text{irr},a} = \frac{(T_1 - T_G) \eta_{\text{irr}}}{T_G + (T_1 - T_G) \cdot (1 - \eta_{\text{irr}})} \quad (5)$$

und für die erreichbare *spezifische Brennstoffersparnis*, wenn η_{irr} bei den verglichenen Kondensations- und Heizkraftwerken gleich ist,

$$\begin{aligned} \alpha_{\text{irr},a} &= \sigma_{\text{irr},a} \left(\frac{1}{\eta_{\text{KKW,irr},a}} - \frac{1}{\eta_{\text{G,irr},a}} \right) = \\ &= \frac{(T_1 - T_G) \eta_{\text{irr}}}{T_G + (T_1 - T_G) (1 - \eta_{\text{irr}})} \left[\frac{T_1}{(T_1 - T_2) \eta_{\text{irr}}} - 1 \right] = \\ &= \frac{T_1 - T_G}{T_1 - T_2} \cdot \frac{T_2 + (T_1 - T_2) \cdot (1 - \eta_{\text{irr}})}{T_G + (T_1 - T_G) \cdot (1 - \eta_{\text{irr}})} > \alpha_0. \end{aligned} \quad (6)$$

α_0

Bei der Beurteilung der Brennstoffersparnis soll manchmal (z. B. im Falle eines Kooperationsbetriebes zwischen Heizkraftwerken und Heizwerken) bei gegebener Wärmezufuhr ($\dot{Q}_1 = \text{konst.}$) auch die durch die Irreversibilität verursachte Erhöhung der *Heizleistung* in Betracht gezogen werden

$$\frac{\dot{Q}_{\text{G,irr},a}}{\dot{Q}_{\text{G},0}} = \frac{T_G + (T_1 - T_G) (1 - \eta_{\text{irr}})}{T_G} = 1 + \sigma_0 (1 - \eta_{\text{irr}}) > 1. \quad (7)$$

Mit (3), (6) und (7) ist die relative Zunahme der *erreichbaren Gesamtwärmeersparnis*

$$\frac{B_{\text{irr},a}}{B_0} = \frac{\dot{Q}_{\text{G,irr},a}}{\dot{Q}_{\text{G},0}} \cdot \frac{\alpha_{\text{irr},a}}{\alpha_0} = 1 + \left(\frac{T_1}{T_2} - 1 \right) (1 - \eta_{\text{irr}}) > 1. \quad (8)$$

Die Kurven in Abb. 4 deuten für verschiedene Heiztemperaturen (T_G) die Veränderungen der Brennstoffersparnisse an. Ist der Irreversibilitätswirkungsgrad beim Kondensations- und Heizkraftwerk gleich ($\eta_{\text{irr}} = \text{konst.}$), so ergibt sich eine beachtungswerte Zunahme der durch die Kraft/Wärme-Kopplung erreichbaren spezifischen und gesamten Brennstoffersparnis. Bei Erhöhung von T_1 und T_G nimmt die spezifische Ersparnis ebenfalls wesentlich zu, die erzielbare Gesamtersparnis ist hingegen unabhängig von T_G . Mit T_1 nimmt sie aber in besonders großem Maße zu.

2.2. Die von den Expansionsgrenzen unabhängige irreversible Entropiezunahme

Eine von den Temperaturgrenzen der Expansion unabhängige Entropiezunahme kann z. B. durch die während der Speisewasservorwärmung in einem bestimmten Temperaturbereich oder während der Zwischenüberhitzung auf-

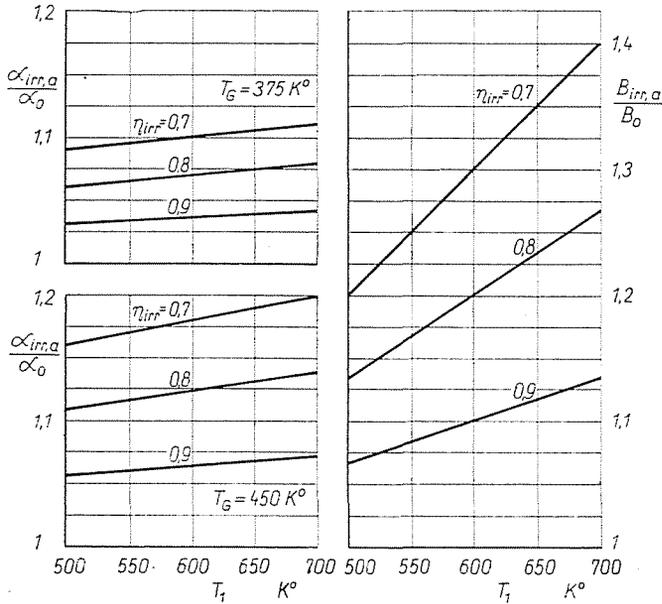


Abb. 4. Abhängigkeit der spezifischen (α) und gesamten (B) Brennstoffersparnis bei $\eta_{irr} = \text{konst.}$ ($T_2 = 300 \text{ }^\circ\text{K}$)

getretene Irreversibilität verursacht werden. Eine derartige Irreversibilität wirkt auf den Wirkungsgrad der Stromerzeugung im Gegendruck und auf die Stromkennzahl in derselben Richtung, wie im Falle des irreversiblen Wirkungsgrades (Punkt 2.1)

$$\eta_{G,irr,b} = \frac{(T_1 - T_G) \Delta S - T_G \Delta S_{irr}}{T_1 \Delta S - T_G (\Delta S + \Delta S_{irr})} = 1 - \eta_{G,0} \quad (9)$$

bzw.

$$\sigma_{irr,b} = \frac{(T_1 - T_G) \Delta S - T_G \Delta S_{irr}}{T_G (\Delta S + \Delta S_{irr})} < \sigma_0 \quad (10)$$

Die spezifische Brennstoffersparnis ändert sich gleichzeitig in entgegengesetzter Richtung, wenn $\Delta S_{irr}/\Delta S$ beim Kondensations- und Heizkraftwerk gleich groß ist

$$\begin{aligned} \alpha_{irr,b} &= \sigma_{irr,b} \left(\frac{1}{\eta_{KKW,irr,b}} - \frac{1}{\eta_{G,irr,b}} \right) = \\ &= \frac{(T_1 - T_G) \Delta S - T_G \Delta S_{irr}}{T_G (\Delta S + \Delta S_{irr})} \left[\frac{T_1 \Delta S}{(T_1 - T_2) \Delta S - T_2 \Delta S_{irr}} - 1 \right] = \\ &= \frac{(T_1 - T_G) \Delta S - T_G \Delta S_{irr}}{(T_1 - T_2) \Delta S - T_2 \Delta S_{irr}} \cdot \frac{T_2}{T_G} < \alpha_0 \end{aligned} \quad (11)$$

Bei gegebener Wärmezufuhr ergibt auch diese Irreversibilität eine Zunahme der *Heizleistung*

$$\frac{\dot{Q}_{G,\text{irr},b}}{\dot{Q}_{G,0}} = \frac{\Delta S + \Delta S_{\text{irr}}}{\Delta S} > 1. \quad (12)$$

Unter Berücksichtigung von (3), (11) und (12) kann sich die *erreichbare Gesamtersparnis* in verschiedenen Richtungen ändern

$$\begin{aligned} \frac{B_{\text{irr},b}}{B_0} &= \frac{\dot{Q}_{G,\text{irr},b}}{\dot{Q}_{G,0}} \cdot \frac{\alpha_{\text{irr},b}}{\alpha_0} = \\ &= \frac{1 - \frac{T_G \Delta S_{\text{irr}}}{(T_1 - T_G) \Delta S}}{1 - \frac{T_2 \Delta S_{\text{irr}}}{(T_1 - T_2) \Delta S}} \left(1 + \frac{\Delta S_{\text{irr}}}{\Delta S} \right) \leq 1. \end{aligned} \quad (13)$$

Die Richtungsänderung hängt von den maßgebenden Temperaturen der Kondensations- resp. Heizkraftwerke (T_1 , T_2 und T_G) ab. Das Kriterium der Unveränderlichkeit der erreichbaren Gesamtersparnis ($B_{\text{irr},b} = B_0$) im Falle einer solchen Irreversibilität gegenüber dem verlustlosen Prozeß ist

$$1 + \frac{\Delta S_{\text{irr}}}{\Delta S} = \frac{T_1(T_1 - T_G)}{T_G(T_1 - T_2)} = \frac{\sigma_0}{\eta_{KKW,0}}. \quad (14)$$

Die Kurven in Abb. 5 veranschaulichen die Veränderung der spezifischen und gesamten Brennstoffersparnis in diesem Fall. Eine Irreversibilität dieser Art verursacht immer die Verminderung der spezifischen Ersparnis, um so mehr, je größer T_G bzw. je kleiner T_1 ist. Der Einfluß von T_1 ist besonders bedeutend, wenn T_G groß ist (z. B. im Falle der Industriedampflieferung). Das Kriterium (14) der erreichbaren Gesamtwärmeersparnis kann bei Heißwasserfernheizung gesichert werden, es kann sogar leicht die Ungleichheit

$$\frac{\sigma_0}{\eta_{KKW,0}} > 1 + \frac{\Delta S_{\text{irr}}}{\Delta S}$$

erreicht werden, die dann eine Zunahme der Gesamtersparnis ($B_{\text{irr},b} > B_0$) ergibt. Zur gleichen Zeit ist bei Dampflieferung gewöhnlich

$$\frac{\sigma_0}{\eta_{KKW,0}} < 1 + \frac{\Delta S_{\text{irr}}}{\Delta S},$$

womit eine Abnahme der erreichbaren Gesamtersparnis ($B_{\text{irr},b} < B_0$) erfolgt.

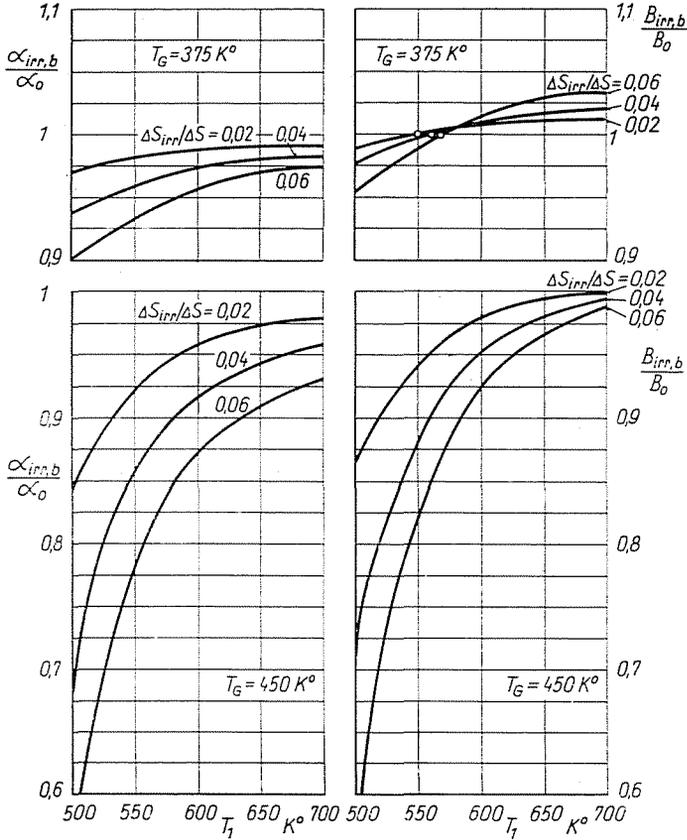


Abb. 5. Abhängigkeit der spezifischen (α) und gesamten (B) Brennstoffersparnis bei $\Delta S_{irr}/\Delta S = \text{konst.}$ ($T_2 = 300 \text{ }^\circ\text{K}$)

3. Wirkung der quantitativen Energieverluste auf die Wirksamkeit der Kraft/Wärme-Kopplung

Zufolge der quantitativen Verluste geht ein Teil der Wärme bzw. der mechanischen Arbeit verloren (z. B. Kesselwirkungsgrad, mechanischer Wirkungsgrad der Turbine, Generatorwirkungsgrad). Der Einfluß eines derartigen Verlust ausdrückenden Wirkungsgrades (η_m) hängt davon ab, ob dieser Verlust

- a) im Heizkraftwerk selbst und dort an welchem Punkt
- b) oder im Fernheiznetz

eintritt.

3.1. Quantitative Verluste des Heizkraftwerkes

Die quantitativen Verluste des Heizkraftwerkes beeinflussen immer den Wirkungsgrad der Stromerzeugung im Gegendruck

$$\eta_{G,m} = \eta_{G,0} \eta_m = \eta_m \quad (15)$$

Eine differenzierte Wirkung der quantitativen Verluste zeigt sich bei der *Stromkennzahl*

$$\sigma_m = \sigma_0 \eta_m^n, \quad (16)$$

wobei $n = 0$, wenn Strom- und Wärmeerzeugung von dem Verlust gleichermaßen beeinflusst sind ($\sigma_m = \sigma_0$),
 $n = 1$, wenn der Verlust nur die Stromerzeugung belastet ($\sigma_m < \sigma_0$),
 $n = -1$, wenn vom Verlust nur die Wärmeversorgung betroffen ist (Punkt 3.2).

Die *spezifische Wärmeersparnis* ist, wenn man mit gleichen η_m beim Kondensations- und Heizkraftwerk rechnen kann

$$\alpha_m = \sigma_m \left(\frac{1}{\eta_{KKW,m}} - \frac{1}{\eta_{G,m}} \right) = \sigma_0 \eta_m^n \left(\frac{1}{\eta_{KKW,0} \eta_m} - \frac{1}{\eta_m} \right) = \alpha_0 \eta_m. \quad (17)$$

Falls der Verlust die Wärme- und Stromerzeugung gleichermaßen beeinflusst (z. B. Kesselwirkungsgrad), so wird $\alpha_m > \alpha_0$, d. h. bei einem solchen Verlust nimmt die Wirksamkeit der Kraft/Wärme-Kopplung zu. Ist aber nur die Stromerzeugung vom Verlust betroffen (z. B. mechanischer Wirkungsgrad der Turbine, Generatorwirkungsgrad), dann ist $\alpha_m = \alpha_0$, die Wirksamkeit der gekoppelten Energieerzeugung bleibt also unverändert.

3.2. Quantitative Verluste des Fernheiznetzes

Ein weitausgedehntes Fernheiznetz verursacht einen bedeutenden Wärmeverlust, wodurch sich der Brennstoffverbrauch erhöht.

Wenn die Wärmeerzeugung im Heizwerk (HW) geschieht, ist der auf die Verlustwärme bezogene spezifische Wärmeverbrauch

$$q_{HW,V} = \frac{B_{HW,V}}{Q_V} = \frac{1}{\eta_D}, \quad (18)$$

wobei η_D der Kesselwirkungsgrad des Heißwasserkessels ist. Soll aber die Wärme im Heizkraftwerk im Gegendruck erzeugt werden, dann ist der die Verlustwärme belastende spezifische Wärmeverbrauch

$$q_{HKW,V} = \frac{B_{HKW,V}}{Q_V} = \frac{1}{\eta_D} - \alpha, \quad (19)$$

dessen Wert beim zeitgemäßen Heizkraftwerk wesentlich geringer ist als gemäß (18).

4. Einfluß der Irreversibilitäten auf die in Kondensation bzw. Gegendruck erfolgte Energieerzeugung im Heiz-Kondensationsblock

Die Heiz-Kondensationseinheiten eines zeitgemäßen Heizkraftwerkes sind Hochleistungsblöcke mit hohen Anfangsparametern, Zwischenüberhitzung usw. Es ist außer der wirksamen Gegendruckstromerzeugung auch die Konkurrenzfähigkeit des Kondensationsstromes gegenüber den zeitgemäßen Kondensationskraftwerken erforderlich. In dieser Beziehung lohnt es sich, zu untersuchen, wie groß der Verlust ist, der durch die Regelung der Wärm = resp. der elektrischen Leistung bei gleicher Irreversibilität ($\Delta S_{\text{irr}} = \text{konst.}$ bzw. $\eta_{\text{irr}} = \text{konst.}$) entsteht, wenn dieser einerseits den Kondensations-, andererseits den Gegendruckstrom belastet. Rechnet man — abgesehen von den erwähnten Irreversibilitäten — mit idealen Kreisprozessen, so ist der verursachte Wärmeverlust bei der Stromerzeugung in Kondensation

$$V_K = (T_1 - T_2) \Delta S (1 - \eta_{\text{irr}}) \frac{1}{\eta_{KKW,0}} = T_1 \Delta S (1 - \eta_{\text{irr}}) \quad (20)$$

bzw.

$$V_K = T_2 \Delta S_{\text{irr}} \frac{1}{\eta_{KKW,0}} = T_2 \Delta S_{\text{irr}} \frac{T_1}{T_1 - T_2}. \quad (21)$$

Bei der Energieerzeugung im Gegendruck

$$\begin{aligned} V_G &= (T_1 - T_G) \Delta S (1 - \eta_{\text{irr}}) \left(\frac{1}{\eta_{KKW,0}} - 1 \right) = \\ &= (T_1 - T_G) \Delta S (1 - \eta_{\text{irr}}) \frac{T_2}{T_1 - T_2} \end{aligned} \quad (22)$$

bzw.

$$V_G = T_G \Delta S_{\text{irr}} \left(\frac{1}{\eta_{KKW,0}} - 1 \right) = T_G \Delta S_{\text{irr}} \frac{T_2}{T_1 - T_2}. \quad (23)$$

Bei $\eta_{\text{irr}} = \text{konst.}$ wird das Verhältnis des Gegendruck-/Kondensationsverlustes mit (20) und (22)

$$\left| \frac{V_G}{V_K} \right|_{\eta_{\text{irr}}=\text{konst.}} = \frac{T_1 - T_G}{T_1 - T_2} \frac{T_2}{T_1} < 1 \quad (24)$$

bzw. bei $\Delta S_{\text{irr}}/\Delta S = \text{konst.}$ mit (21) und (23)

$$\left| \frac{V_G}{V_K} \right|_{\Delta S_{\text{irr}}=\text{konst.}} = \frac{T_G}{T_1} < 1. \quad (25)$$

Abb. 6 zeigt die Ergebnisse von (24) und (25). Eine Irreversibilität von gleicher Größe ergibt immer einen geringeren Wärmeverlust bei der Gegendruckenergieerzeugung als bei dem Kondensationsstrom. Mit Zunahme von

T_1 nimmt das Verlustverhältnis bei $\Delta S_{\text{irr}}/\Delta S = \text{konst.}$ kontinuierlich ab, während es bei $\eta_{\text{irr}} = \text{konst.}$ einen Maximalwert bei jenem $T_{1,m}$ erreicht, wo

$$\frac{T_{1,m} - T_2}{T_{1,m}} = \frac{T_{1,m} - T_G}{T_G} \quad (26)$$

bzw.

$$\eta_{K,0} = \sigma_0 \quad (27)$$

ist.

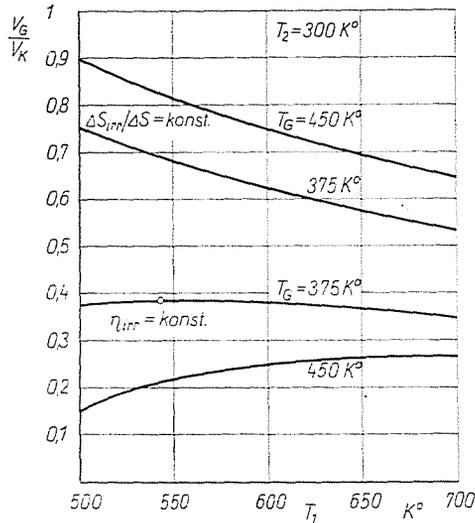


Abb. 6. Durch die Irreversibilitäten $\eta_{\text{irr}} = \text{konst.}$ bzw. $\Delta S_{\text{irr}}/\Delta S = \text{konst.}$ verursachte Gegen-
druck-/Kondensationsverluste (V_G/V_K) im Heiz-Kondensationsblock

Der Maximalwert des Verlustverhältnisses ist

$$\left. \frac{V_G}{V_K} \right|_{m, \eta_{\text{irr}} = \text{konst.}} = \frac{T_2 T_G}{T_{1,m}^2} \quad (28)$$

Das Verlustverhältnis wird auch von T_G beeinflusst, und zwar vom Typ der Irreversibilität abhängig: im Falle von $\Delta S_{\text{irr}} = \text{konst.}$ nimmt das die Gegen-
druckenergieerzeugung belastende Verlustverhältnis bei kleineren, im Falle
von $\eta_{\text{irr}} = \text{konst.}$ bei größeren Werten von T_G günstigeren Verlauf.

5. Einige praktische Schlussfolgerungen

Aus den Ergebnissen der theoretischen Untersuchung der Verluste können
auch für die Beurteilung der praktischen Verhältnisse der Kraft/Wärme-
Kopplung brauchbare Folgerungen gezogen werden. Einige derartige Fest-
stellungen sind:

1. Im Kondensations- und Heizkraftwerk sind Irreversibilitäten und quantitative Verluste in einem gewissen Maße unvermeidlich. Es treten größtenteils Verluste auf, die einen Zuwachs von α nach sich ziehen, d. h. *unter reellen Bedingungen ist die energetische Wirksamkeit der gekoppelten Energieerzeugung höher als unter idealen Bedingungen.*

Beispiel:

$$\begin{aligned} T_1 &= 650 \text{ }^\circ\text{K} \\ T_2 &= 300 \text{ }^\circ\text{K} \\ T_G &= 375 \text{ }^\circ\text{K} \\ \eta_{irr} &= 0,8 \\ \Delta S_{irr}/\Delta S &= 0,06 \\ \eta_m &= 0,9 \end{aligned}$$

Die spezifische Wärmeersparnis ist im idealen Falle nach (3)

$$\alpha_0 = 63\%$$

und im reellen Falle nach (6), (11) und (17)

$$\alpha = 73\%.$$

In unserem Fall ist also die spezifische Wärmeersparnis bei dem verlustbehafteten Prozeß um 16% höher als unter idealen Bedingungen.

2. *Unter reellen Bedingungen erhöht sich die energetische Wirksamkeit der gekoppelten Energieerzeugung mit der Steigerung der Anfangsparameter im Kondensations- und Heizkraftwerk in größerem Maße als unter idealen Bedingungen [1], [2], [3].*

3. *Die differenzierte Rolle der Verluste kann eventuell ein bedeutender Faktor bei der Beurteilung der thermodynamischen Möglichkeiten zur Verbesserung des Wirkungsgrades sein.* Auf Grund von Daten von SOKOLOW [4] kann z. B. festgestellt werden, daß durch Anwendung der Zwischenüberhitzung die durch die gekoppelte Energieerzeugung erzielbare spezifische Wärmeersparnis bei einem Anfangsdruck von 130 at und bei einem Gegendruck von 1 at verbessert, bei einem Gegendruck von 10 at dagegen verschlechtert wird (Abb. 7).

4. *Die verschiedenartige Wirkung der Irreversibilitäten auf die Kondensations- bzw. Gegendruckenergieerzeugung spielt bei der Optimierung der Verluste eine bedeutende Rolle, z. B. bei der Festlegung der optimalen Speisewasser- und Heizvorwärmer.*

5. *In Anbetracht des differenzierten Effekts der Irreversibilitäten ist die Umstellung der früher im allgemeinen angewandten Entnahme-Kondensations-turbinen (wobei die Drosselung in den Umleitungsventilen den Kondensationsstrom belastete) auf die sog. Heiz-Kondensationsblöcke verständlich.* Dabei belasten die aus der Regelung stammenden Verluste (z. B. der Bypass der Heizvorwärmer auf der Wasserseite) die im Gegendruck erzeugte Energie [5].

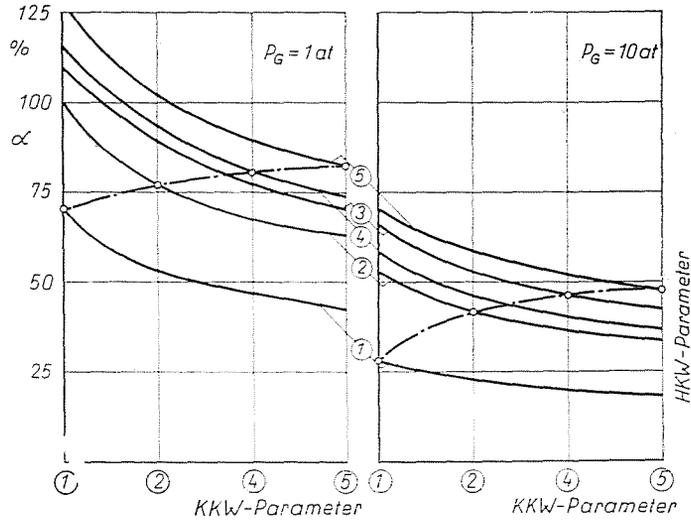


Abb. 7. Abhängigkeit der spezifischen Brennstoffersparnis (α) bei sowjetischen Heizkraft-einheiten mit gleichen Anfangsparametern im Kondensations- resp. Heizkraftwerk (nach SOKOLOW [4])

	Dampfparameter at/°C/°C	Speisewasser- temperatur °C
1	35/435	150
2	90/535	215
3	130/565	230
4	130/565/565	230
5	240/565/565	260

Zusammenfassung

Die Arbeit analysiert die Wirkung der verschiedenen Irreversibilitäten und der an verschiedenen Stellen auftretenden quantitativen Verluste auf den Wirkungsgrad der Gegendruckenergie, auf die Stromkennzahl und auf die Wirksamkeit der Kraft/Wärme-Kopplung gegenüber den Kondensationskraftwerken. Die Untersuchung geht auch darauf ein, wie groß die von den Irreversibilitäten verursachten Verluste beim Kondensations- bzw. Gegendruckstrom sind. Auf Grund der theoretischen Analyse werden einige in der Praxis brauchbare Folgerungen auf die realen Verhältnisse der Kraft/Wärme-Kopplung gezogen.

Literatur

1. ZHILIN, V. G.—NIKOLAEV, A. A.: WPC Lausanne, 1964, P. II B—4/140
2. STANESCU, I. D.: WPC Lausanne, 1964, P. II B—4/138
3. BÜKI, G.: Energiagazdálkodás, 12 (1971), 406
4. SOKOLOW, E. J.: Teplofikazija i teplovje seti. Moskau—Leningrad 1963
5. BÜKI, G.: Energia és Atomtechnika, 23 (1970), 337

Dr. Gergely BÜKI, 1502 Budapest, Postfach 91, Ungarn