Allgemeine Grundsätze beim Einsatz der Wärme-Kraft-Kopplung

Autor(en): **Schneider, A. / König, W.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses**

Band (Jahr): **70 (1979)**

Heft 10

PDF erstellt am: **24.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-905376

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Seminar über Wärme-Kraft-Kopplung der Europäischen Wirtschaftskommission der UNO

Hamburg, 6.–9. November 1978

Séminaire sur la production combinée d'énergie électrique et de chaleur de la Commission Economique pour l'Europe des Nations Unies

Hambourg, 6–9 novembre 1978

Allgemeine Grundsätze beim Einsatz der Wärme-Kraft-Kopplung

Von A. Schneider und W. König

Die Autoren vergleichen anhand einer Industrieversorgung bei unterschiedlichen Auslegedaten Wärme-Kraft-Kopplungsanlagen mit Anlagen für getrennte Erzeugung von Wärme und elektrischer Energie. Anschliessend wird auch noch kurz auf die Frage des Verbundes mit dem öffentlichen Stromversorgungsnetz eingegangen.

Les auteurs de ce rapport comparent les installations de production chaleur-force au concept de production séparée des deux énergies, en prenant comme exemple un système d'approvisionnement dans l'industrie et en étudiant différentes variantes de données de base. Ils abordent aussi brièvement la question de l'interconnexion avec le réseau de distribution public.

1. Prinzip der Wärme-Kraft-Kopplung

Sowohl der Dampf-Kraft-Prozess als auch der Gasturbinenprozess mit Abhitzeverwertung ermöglichen die weitgehend gekoppelte Produktion von Wärme und Strom. Bedingung ist, dass auch ein entsprechend identischer Verbrauch vorliegt oder der Ausgleich über das elektrische Verbundnetz erfolgen kann.

Die gekoppelte Produktion von Wärme und Strom ist im Regelfall wirtschaftlich günstiger als die getrennte Erzeugung. Sie führt gegenüber der getrennten Erzeugung von Wärme und Strom zu erheblichen Brennstoffeinsparungen. Auch die Umweltbeeinflussung wird merklich reduziert. Die Investitionskosten sind ebenfalls in den meisten Fällen günstiger.

Fig. 1 stellt als Beispiel dar, wie ein bestimmter Bedarf an Strom und Dampf (3 Druckstufen) in *getrennten Anlagen* erzeugt wird.

Die elektrische Leistung sei 22 MW (ausgehend von 100 t/h Frischdampf). Sie wird in einer Kondensationsanlage erzeugt, die stark vereinfacht dargestellt ist. Hier ist die Turbine in drei Teile gegliedert, obwohl diese Teile im Regelfall in einer einzelnen Turbine vereint sind. Der Dampf zur Wärmeversorgung wird in einer reinen Dampferzeugungsanlage erzeugt.

Fig. 2 zeigt die Erzeugung derselben Leistung von Strom und Dampf in *einer Anlage*. Es ist die «gekoppelte» Erzeugung

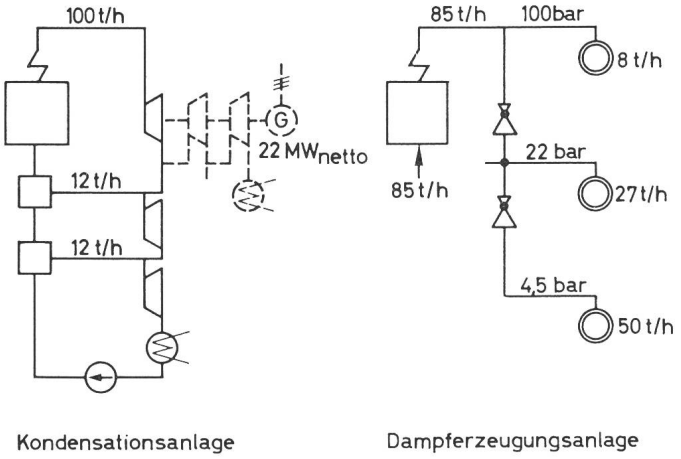

Fig. 1 Getrennte Erzeugung von Strom und Dampf

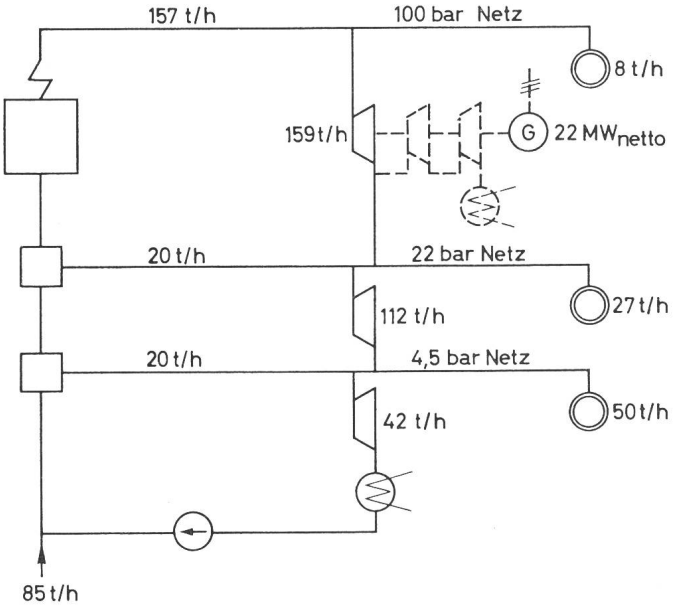

Fig. 2 Beispiel einer vereinfachten Schaltung von Wärme-Kraft-Kopplung

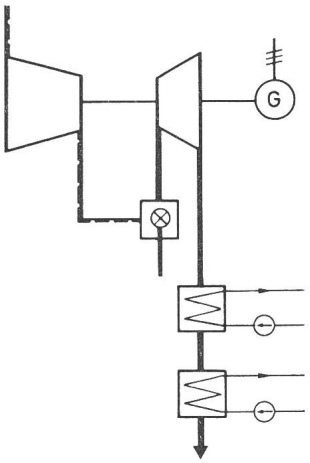

Fig. 3 Gasturbine mit Abhitzeverwertung

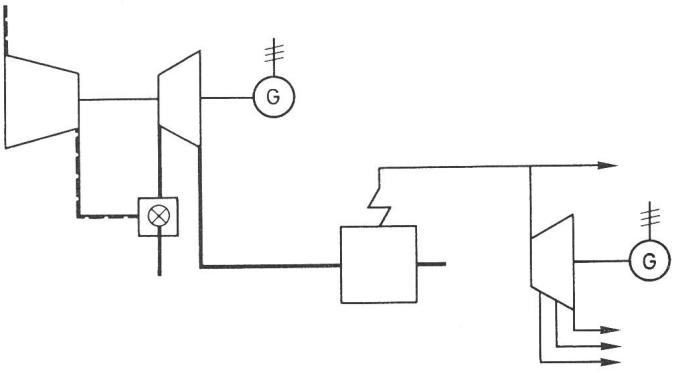

Fig. 4 Gasturbinenprozess mit Nutzung der Abwärme im Dampfkraftprozess

von Strom und Wärme (hier Dampf), die sogenannte «*Wärme-Kraft-Kopplung*».

Der Wärme-Kraft-Prozess in Fig. 2 ist im Prinzip derselbe wie bei der reinen Kondensationsstromerzeugung (Fig. 1).

Die gesamte Anlage in Fig. 2 ist grösser als die Anlage in Fig. 1, jedoch nicht entsprechend dem grösseren Dampfdurchsatz, da nun auch der zur Wärmeversorgung dienende Dampf Strom erzeugt.

Je nach Auslegung der Turbine lässt sich die Erzeugung von Strom ebenso wie die Entnahme von Dampf der verschiedenen Druckstufen in gewissen Grenzen variieren.

Die in Fig. 2 dargestellte Anlage der Wärme-Kraft-Kopplung stellt den Strom und Dampf mit geringerem Brennstoffaufwand her, als dies in der getrennten Erzeugung der Fall ist. Im Regelfall sind auch die Investitionskosten bei der Wärme-Kraft-Kopplung niedriger, soweit nicht grosse Differenzen in der Grösse der Anlagen und der anteiligen Verteilungsanlagen vorliegen.

Ähnlich wie beim Dampf-Kraft-Prozess werden auch beim Gasturbinenprozess kombinierte Schaltungen angewandt.

Fig. 3 zeigt einen offenen Gasturbinenprozess mit Abhitzeverwertung.

In Fig. 4 ist ein Gasturbinenprozess dargestellt, bei dem die Abwärme der Gasturbine in den Dampferzeuger einer Dampfkraftanlage (Wärme-Kraft-Kopplung) eingebracht wird.

2. Die Anwendung der Wärme-Kraft-Kopplung zur Heiz-Wärme-Versorgung

Wenn man eine Stadt – bzw. Stadtteile – mit Fernwärme, heute zumeist Heisswasser mit Vor- und Rücklaufleitung, versorgen will, braucht man ein entsprechend kapitalintensives Verteilungsnetz. Die Wirtschaftlichkeit ist um so grösser, je höher der Gesamtwärmebedarf (GJ/h) – Einheitengrössen, Reserven – des zu versorgenden Gebietes und je höher die Verbrauchsdichte (kJ/km²) ist. Nach heutigen Gegebenheiten ist im Regelfall eine Mindestverbrauchsdichte von etwa $80 \frac{\text{GJ}}{\text{h} \times \text{km}^2}$ zur Rentabilität erforderlich.

Der geordnete Wärmebedarf einer üblichen Fernwärmeversorgung ist in Fig. 5 dargestellt.

Die Benutzungsstundenzahl hängt stark vom Klima und den Lebensgewohnheiten ab. So ist die Verbreitung der Fernheizung in nordischen Ländern durch die höhere Benutzungsstundenzahl heute schon wesentlich stärker als in Mitteleuropa. Durch die steigenden Preise der Primärenergieträger ist der Einsatz in immer weiteren Bereichen wirtschaftlich geworden und wird es durch die Entwicklung der Brennstoffkosten wohl weiterhin werden.

Als Systeme für die Fernwärmeversorgung mit Wärme-Kraft-Kopplung bieten sich die folgenden Möglichkeiten an:

2.1 Lokale Heizkraftwerke

In kleineren Versorgungsbereichen (kleine Stadt oder Versorgungsinsel in grossen Städten) werden je nach der Wärmeabnahme die folgenden technischen Konzeptionen ausgeführt:

2.1.1 Dieselmotor bzw. Gasturbine mit Stromerzeugung bzw. Wärmepumpenantriebe kombiniert mit der Abwärme und Kühlwasserwärme-Ausnutzung, unterteilt in mehrere Aggregate aus Staffelungs- und Reservegründen.

2.1.2 Einfache Dampfkraftanlage mit Gegendruckturbine. Der Strom fällt als direktes Koppelprodukt der Wärme an. Er dient zum Teil zur Deckung des Eigenbedarfs der Anlage und der Fernheizung. Der übrige Strom wird an das öffentliche Netz abgegeben.

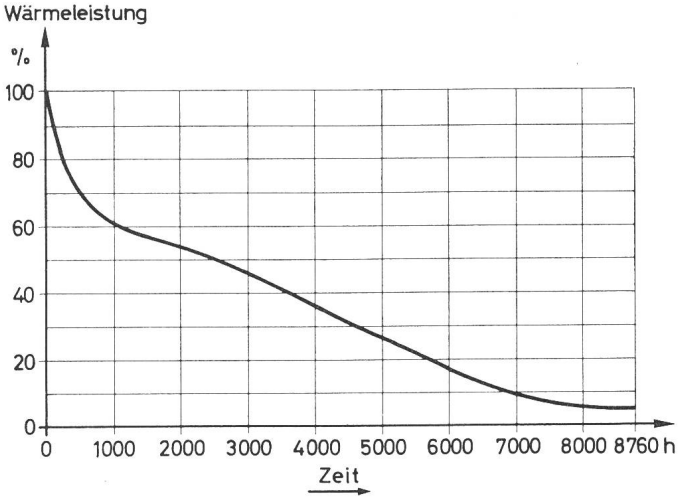

Fig. 5 Geordnete Jahresdauerlinie der Fernwärmeversorgung

Für die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit von Heizkraftwerken ist die betriebs- und volkswirtschaftlich *richtige* Bewertung dieses Stromes als Koppelprodukt von grosser Bedeutung. Bei Anlagen nach 2.1.1 und 2.1.2 ist zur Spitzendeckung und als Reserve meist ein einfacher Warmwasserheizkessel vorhanden.

2.2 Heizkraftzentrale

In grösseren Städten sind aus elektrischen Versorgungsgründen häufig ein oder mehrere Kraftwerke vorhanden, die sich vorteilhaft in Heizkraftwerke umbauen oder dazu ausbauen lassen. Bei dieser Konzeption ergeben sich zumeist etwas längere Transportwege für die Wärme als nach Kapitel 2.1. Die Vorteile der konzentrierten Wärmeerzeugung mit relativ grossen Einheiten an einem Ort und die zumeist mögliche Freiheit der Brennstoffwahl überwiegen meistens die Mehrkosten bei der Verteilung.

Besonders interessant ist auch die Wärmeabgabe in Verbindung mit einem Müllheizkraftwerk. Die Kombination mehrerer Dienste bzw. Notwendigkeiten reduziert zumeist die Kosten sonst getrennt betriebener Anlagen. Insbesondere sind auch die Reservehaltungskosten niedriger.

2.3 Die Auskoppelung von Wärme aus grossen Kraftwerkblöcken

Die Problematik der Auskoppelung von Wärme aus grossen Blockanlagen liegt meistens in der grossen Entfernung von solchen Anlagen zu den Wärmeverbrauchs-Schwerpunkten. Das Auskoppeln lässt sich vor allem bei Neubauten relativ leicht durchführen.

Die grossen modernen Kraftwerkblöcke haben einen guten Wirkungsgrad, und ihr Zweck ist, primär Strom zu erzeugen und vor allem in Spitzenzeiten mit der vollen Leistung verfügbar zu sein.

Das meist sehr weit ausgedehnte Netz von grossen Fernheizsystemen stellt einen grossen Speicher dar. Zur Ergänzung kann man Kurzzeitspeicher einfügen. Dann ist es möglich, in den elektrischen Schwachlastzeiten das Netz und die Speicher aufzuladen, um zur Zeit der Stromspitze unverändert die maximale Stromleistung zur Verfügung zu haben und damit mit minimalen Investitionen eine bessere Gesamtauslastung und eine bessere Gesamtnutzung zu erreichen.

3. Die Wärmeversorgung in der Industrie

Die Wärmeversorgung in der Industrie zeichnet sich vor allem dadurch aus, dass die Benutzungsstundenzahl und die Verbrauchsdichte höher sind als bei reiner Raumheizung und reinem Warmwasserverbrauch. Dadurch ergeben sich eine bessere Ausnutzung und geringere Verteilungskosten. Zumeist ist auch ein gewisser Parallelverbrauch von Wärme und Strom gegeben.

Häufig ist der Wärmeträger, wegen des meist erforderlichen konstanten Temperaturniveaus bei der Übertragung und dem höheren Temperaturniveau, Dampf entsprechenden Druckes; im Gegensatz zu der Wärmeversorgung von Städten, wo der Wärmeträger heute fast ausschliesslich Wasser ist.

Die Wärmeversorgung mit Dampf hat den Vorteil, dass der Wärmeträger Dampf meistens direkt aus dem Wärmekraftprozess entnommen werden kann. Der Dampf fliesst dann ohne Wärmeaustausch und weiteren Pumpaufwand dem Verbraucher zu. So ergeben sich keine Verluste durch Wärmetausch und auch geringe Investitionskosten für die Entnahme.

Für bestimmte Fälle kann jedoch die Zwischenschaltung eines Verdampfers mit separatem Heizdampfkreislauf erforderlich werden. Bei der Heizung mit Sattdampf kann mit sehr geringem Aufwand eine hohe Regelgüte erreicht werden. Für die Verteilung von Dampf benötigt man wohl grössere Leitungen, aber nur Zuleitungen.

Das anfallende Kondensat kann zurückgenommen werden, wenn keine Verunreinigungsgefahr gegeben ist; sonst muss es verworfen werden. Bei Versorgung vieler unterschiedlicher Betriebe ist die Verunreinigungskontrolle sehr schwierig und zum Teil messtechnisch noch nicht zufriedenstellend möglich.

3.1 Dampfnetze

Fig. 2 zeigt ein stark vereinfachtes Bild der Schaltung eines Industriekraftwerkes. Es ist nach den vorangegangenen Ausführungen erkennbar, dass in der industriellen Dampfversorgung bei entsprechendem Bedarf mehrere Dampfnetze mit verschiedenen, den Verbrauchern angepassten Drücken aufgebaut werden.

Das sogenannte Niederdruckdampfnetz mit der Druckstufe 2 bis 5 bar liefert den Dampf für die Heizung und die Prozesswärme im Temperaturbereich bis zu etwa 150 °C. Es ist anzustreben, einen möglichst tiefen Druck zu verwenden, um die Stromausbeute hoch werden zu lassen; andererseits soll man beim Dampftransport über grössere Entfernungen einen gewissen Druckabfall ertragen können, und die Dimensionen der Leitungen sollten noch vertretbar sein.

3.2 Der Vergleich des thermischen Wirkungsgrades η_{th} von Anlagen der Wärme-Kraft-Kopplung mit Anlagen der getrennten Erzeugung

In Fig. 6 sind die Anlagen schematisch dargestellt, die im folgenden verglichen werden.

Auf der linken Seite befindet sich eine Wärme-Kraft-Kopplungsanlage, wie sie in der Industrie üblich ist.

Auf der rechten Seite sind ein Dampferzeuger, der keinen Strom erzeugt, und ein Kondensationsblock der öffentlichen Versorgung abgebildet.

Die Blöcke der öffentlichen Versorgung haben im allgemeinen eine grosse Einheitsgrösse und einen guten Wirkungsgrad.

Der Vergleich wird mit dem thermischen Wirkungsgrad η_{th} durchgeführt, der ein Mass für den eingesetzten Primärenergieverbrauch ist.

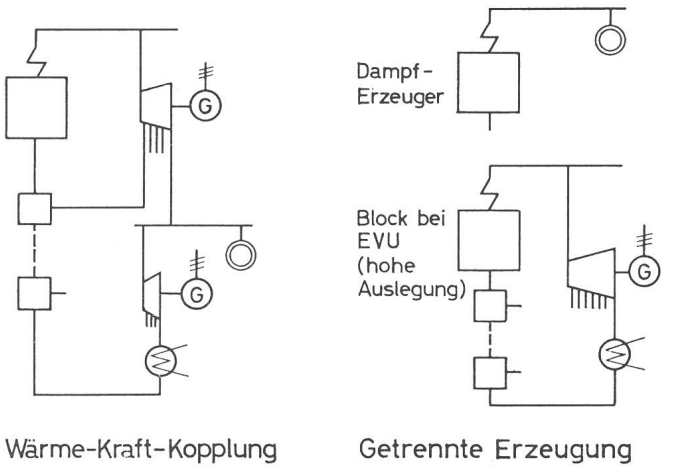

Fig. 6 Vergleich Wärme-Kraft-Kopplung mit getrennter Erzeugung

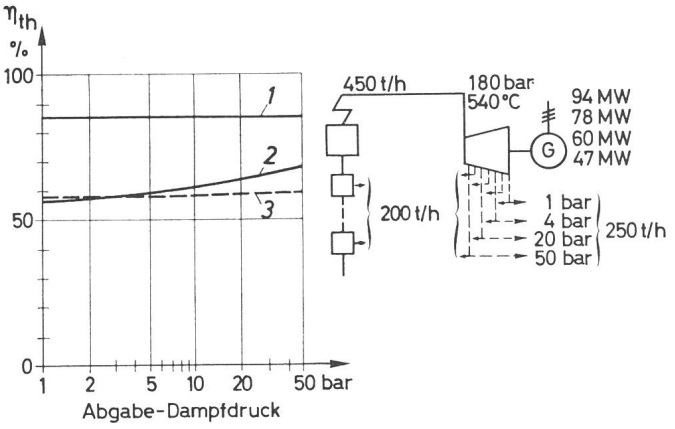

Fig. 7 η_{th} **bei verschiedenem Gegendruck für Wärme-Kraft-Kopplung und bei getrennter Erzeugung**

1 Wärme-Kraft-Kopplung
2 Getrennte Erzeugung, Strom/Dampf-Verhältnis variabel, Abgabemenge konstant (siehe Figur rechts)
3 Strom/Dampf-Verhältnis konstant

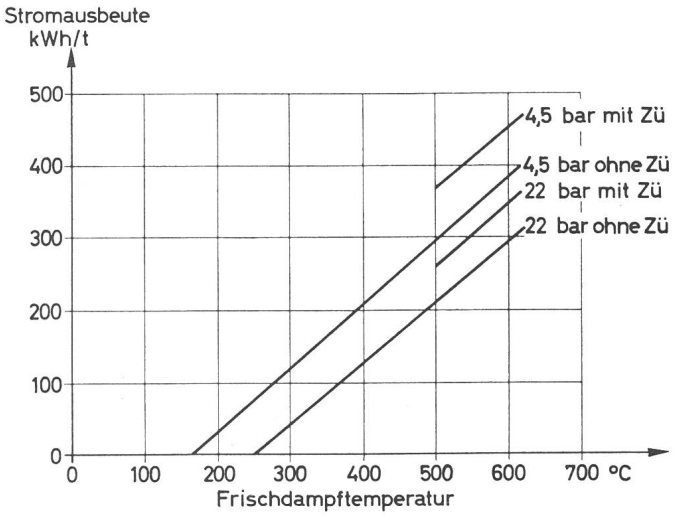

Fig. 8 Stromausbeute bei Gegendruckanlagen
Zü = Zwischenüberhitzung
Druckangaben entsprechen dem Gegendruck

3.2.1 Der Vergleich mit variablem Druck des abgegebenen Dampfes bei einer bestimmten Einheitengrösse

Für einen ausgeführten Block (180 bar, 540 °C; Nettostromerzeugung 60 MW und Dampfabgabe 250 t/h bei 22 bar) wurden die Blockdaten für variablen Abgabedruck, aber konstante Abgabemenge und unveränderte Wärmeschaltung (Vorwärmung) berechnet.

Wie in Fig. 7 dargestellt, ergibt sich entsprechend dem Gegendruck eine variable Nettostromerzeugung (1 bar ≙ 94 MW...50 bar ≙ 47 MW).

Der thermische Wirkungsgrad η_{th} oder Gesamtnutzungsgrad des Brennstoffes bleibt bei Wärme-Kraft-Kopplung und variablem Gegendruck, wie in Fig. 7, Kurve 1, dargestellt, unverändert.

Wird die Strom- und Dampfleistung dieses Blockes bei variablem Abgabedruck «getrennt» erzeugt, dann ergibt sich der in Kurve 2 dargestellte Kurvenlauf. Die hohe Stromausbeute bei niedrigem Abgabedruck ergibt einen mässigen Wirkungsgrad η_{th}, der bei der «getrennten Erzeugung» durch relativ hohe Kondensationsverluste der EVU-Anlage bedingt ist. Bei hohen Dampfabgabedrücken ist der Vorteil der Wärme-Kraft-Kopplung nicht so gravierend, da die zugehörige Stromausbeute klein wird.

Daten von ausgewählten Wärme-Kraft-Kopplungsblöcken mit einem Gegendruck von 4,5 bar Tabelle I

Frischdampf		Stromausbeute
p (bar)	t (°C)	kWh/t Dampf
71	445°	204
111	510°	251
201	600°	315
201 (71)	535° (445°)	298 mit Zwischenüberhitzung
300 (71)	565° (565°)	331 mit Zwischenüberhitzung
300 (111)	600° (565°)	363 mit Zwischenüberhitzung

Kurve 3 stellt den thermischen Wirkungsgrad η_{th} der getrennten Erzeugung dar, wenn das Strom/Dampf-Verhältnis trotz variablem Gegendruck nicht verändert wird (konstante Abgabe von Strom und Dampf).

3.2.2 Der Vergleich zwischen der getrennten Erzeugung und Wärme-Kraft-Kopplungsanlagen verschiedener Auslegung

Die Auslegung von Anlagen der Wärme-Kraft-Kopplung richtet sich vor allem nach dem gewünschten kombinierten Bedarf an Dampf und Strom.

Je höher die Temperatur und der Druck des Frischdampfes gewählt werden, desto höher ist die Stromausbeute.

Die Stromausbeute $\left(\frac{\text{kWh}}{\text{t}}\right)$ ist die Stromarbeit, die bei der Abgabe von 1 t Fabrikdampf entsprechenden Druckes durch Wärme-Kraft-Kopplung erzeugt wird. Damit kann mit geringem Brennstoffeinsatz auch sehr kostengünstig der benötigte Strom erzeugt werden.

In der Tabelle I sind für den Fabrikdampfzustand 4,5 bar und 150 °C die Auslegungsdaten von einigen ausgewählten möglichen Gegendruckblöcken verzeichnet. Die Fabrikdampfabgabe dieser relativ grossen Blöcke beträgt bis zu 300 t/h.

Fig. 8 zeigt bei vorliegenden Gegendrücken an den Turbinen von 4,5 und 22 bar wie angenähert die erreichbare Stromausbeute mit steigender Frischdampftemperatur und dementsprechend notwendigem Frischdampfdruck ist, wenn gerade am Austritt der Turbine der gewünschte Gegendruckdampf-Zustand (Druck und Temperatur) erreicht wird.

Die Einzelwerte der Kurven streuen, da die Stromausbeute neben den Frischdampfparametern auch von der allgemeinen Wärmeschaltung abhängt. Im vorliegenden Fall ist – ausgehend von ausgeführten Anlagen – zumeist an die obere Grenze der Stromausbeute gegangen worden.

Aus diesen Kurven kann man jedoch erkennen, wie für die Industrie mit zunehmend steigendem elektrischem Leistungsbedarf sich der Anreiz ergab, bahnbrechend in der Einführung der Höchstdruck- und Hochtemperatur-Kraftanlagen tätig zu

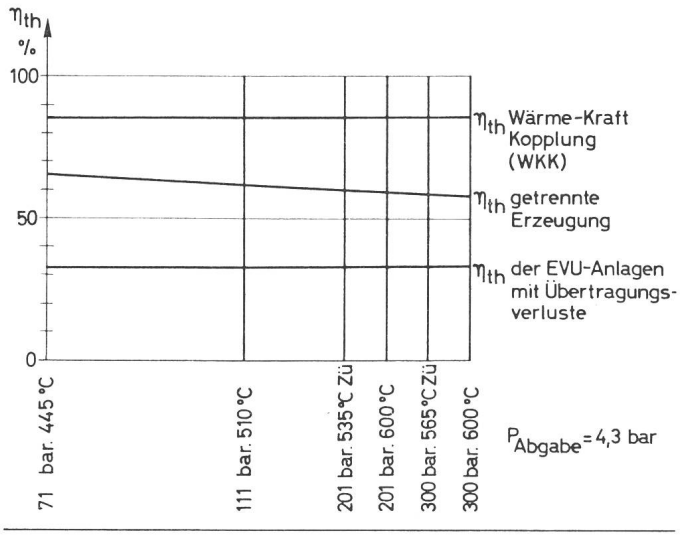

Fig. 9 η_{th} **bei WKK bei Einheiten verschiedener Auslegung und bei getrennter Erzeugung**

sein, um eine möglichst hohe, wirtschaftlich sonst nicht erreichbare Stromausbeute beim benötigten Gegendruckdampf zu erzielen.

Bei direkter Erzeugung des Dampfes (ohne Wärme-Kraft-Kopplung) ist die Stromausbeute negativ, da ja der Strom zum Betrieb der Dampferzeuger mit den Hilfsantrieben bezogen werden muss (Eigenbedarf). Zum Vergleich sei noch die mögliche Ausbeute einer reinen Kondensationsanlage (analog der nachfolgend beschriebenen Gegendruckanlage) bei dieser Auslegung mit 565 kWh/t genannt. (Hier muss sinngemäss auf die im Kondensat kondensierte Dampfmenge bezogen werden.) Bei der vorhandenen ersten überkritischen Anlage mit doppelter Zwischenüberhitzung (310 bar, 605 °C; 110 bar, 560 °C; 32 bar, 560 °C) wird sogar ein Wert von 610 kWh/t erreicht.

3.2.2.1 Vergleich zwischen der «getrennten Erzeugung» und Wärme-Kraft-Kopplungsanlagen verschiedener Auslegung

In Tabelle I sind die Daten von ausgewählten Anlagen der Wärme-Kraft-Kopplung dargestellt. Für diese Anlagen, deren Stromausbeute von 204 kWh/t bis zu 363 kWh/t variiert, wurde der Vergleich zur «getrennten Erzeugung» durchgeführt (siehe Fig. 9). Bei η_{th} ist hier immer Bedingung, dass der Antrieb der Hauptspeisepumpe aus Sicherheitsgründen mit getrennter Kondensationsdampfturbine erfolgt. Bei Wärme-Kraft-Kopplung ist η_{th} konstant.

Bei getrennter Erzeugung geht η_{th} durch die Zunahme des Strom/Dampf-Verhältnisses zurück. Es ist ersichtlich, dass die Ersparnis an Primärenergie um so grösser ist, je höher die Auslegung, das heisst je höher die Stromausbeute bei konstanter Dampfabgabe ist. Die Ersparnis beträgt bei dem besonders hoch ausgelegten Block (300 bar, 600 °C mit Zwischenüberhitzung) rund 50 %. Für den hier am niedrigsten ausgelegten Block (71 bar, 445 °C) ist die Ersparnis immerhin noch etwa 31 %.

4. Verbund mit dem öffentlichen Netz

Wenn ein niedriges Strom/Dampf-Verhältnis von der Fabrik gefordert wird, dann steht man vor der Frage, ob man eine Einheit mit niederen Dampfdaten bauen soll oder eine Anlage mit relativ hohen Drücken und Temperaturen und damit relativ hoher Stromausbeute. Im letzten Falle lohnt sich ein solcher Aufwand nur, wenn dieser Strom mit einem ausreichenden Erlös ins Netz oder an andere Verbraucher abgegeben werden kann. Geprägt durch die Zeit des Primärenergieüberschusses, lag bislang wenig Interesse für die Übernahme solchen Stromes durch die öffentlichen Versorgungsunternehmen vor, und daher unterblieb die mögliche Lieferung ins Netz zumeist. Deshalb wurde in vielen Fällen auf Erzeugung von möglichem, volkswirtschaftlich sehr günstigem und umweltfreundlichem Gegendruckstrom verzichtet. Heute scheint sich aber bei den Energieversorgungsunternehmen angesichts der kommenden Primärenergieknappheit eine Tendenzwende abzuzeichnen.

5. Beispiel der Wärme-Kraft-Kopplung im einem Werk der chemischen Industrie

Fig. 10 zeigt die Wärmeschaltung einer auf möglichst weitgehende Stromausbeute ausgelegten Höchstdruck- und Hochtemperatur-Gegendruckanlage, die in der chemischen Industrie betrieben wird. Die Dampfparameter 300 bar, 575 °C für den Frischdampf und 83 bar, 565 °C für den zwischenüberhitzten Dampf. (Dampfdaten beziehen sich auf Zustand Turbineneintritt.)

Fig. 11 zeigt das Wärmeflussbild dieser Gegendruckanlage nach Wärmeschaltung Fig. 10. Bei einer Gesamtnutzung der eingebrachten Brennstoffwärme von knapp 85 % werden rund 30 % als elektrische Leistung und rund 55 % als Wärme nutzbar abgegeben.

Zum Vergleich dient Fig. 12, das das Wärmeschaltbild einer identischen Kondensationsanlage mit gleicher Wärmezufuhr und Grundschaltung darstellt, was dann den sehr guten Wirkungsgrad von über 40 % ergibt. Zum Vergleich sei erwähnt, dass der durchschnittliche Wirkungsgrad bei den zumeist auch grösseren Einheiten der öffentlichen Versorgung nach Statistik bei etwa 36 % liegt.

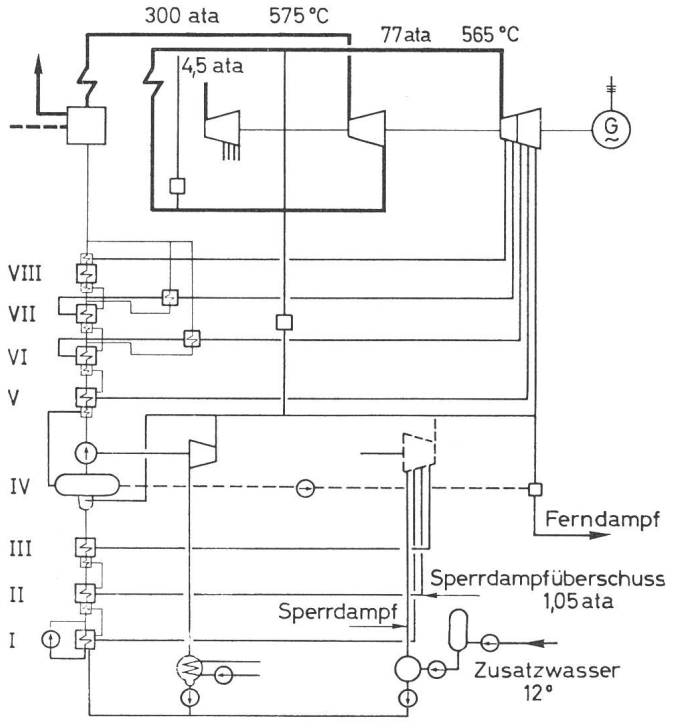

Fig. 10 **Wärmeschaltung einer Hochdruck- und Hochtemperatur-Gegendruckanlage**

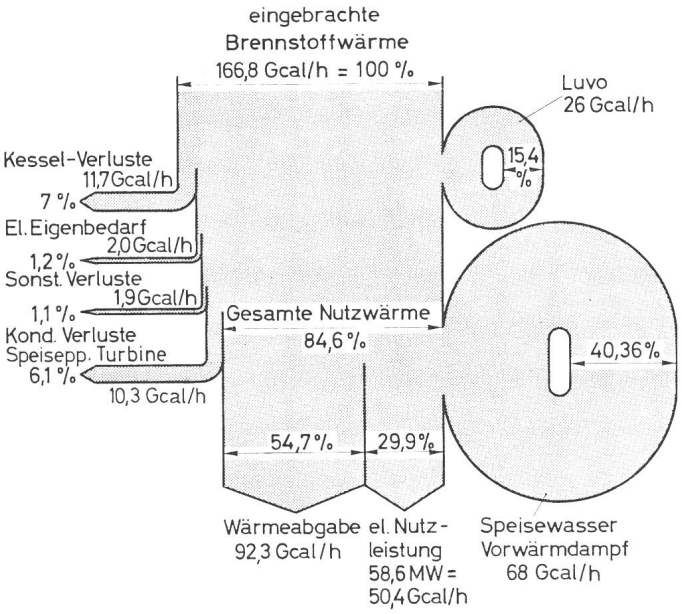

Fig. 11 **Wärmeflussbild einer Gegendruckanlage**

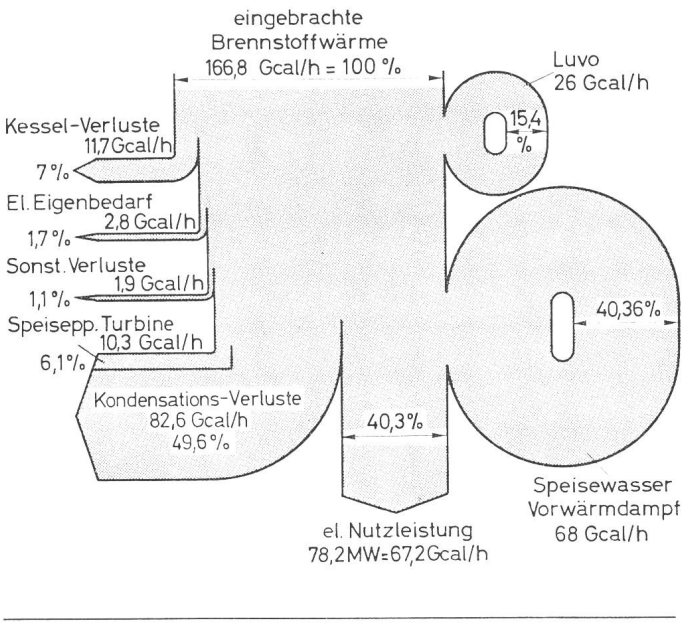

Fig. 12 **Wärmeflussbild einer Kondensationsanlage**

Um bei der vergleichbaren Kondensationsanlage 10,4 % Punkte mehr Strom (bei Gegendruck 29,9 %, bei Kondensationsantrieb 40,3 %) als bei der Gegendruckanlage aus der eingesetzten Brennstoffwärme herauszuholen, müssen zusätzlich um 44 % erhöhte Verluste (Kondensation 43,5 %, Eigenbedarf 0,5 %) in Kauf genommen werden. Wenn noch auf die Kond-Turbine zum Antrieb der Speisepumpe verzichtet würde, liesse sich eine Gesamtnutzung von 88–89 % erreichen. Aus Sicherheitserwägungen für die Dampf- und Stromversorgung (evtl. Inselbetrieb) konnte dies nicht ausgeführt werden.

Wenn die als Beispiel hier gezeigte Gegendruckanlage nicht mit Wärme-Kraft-Kopplung, sondern als reine Wärmeversorgung und getrennte Stromversorgung gebaut würde (ob selbst so gebaut oder nur Dampf erzeugt und aus dem öffentlichen Netz Strom unter aufgezeigten Bedingungen bezogen, ist für die Betrachtung gleichwertig), wäre trotz dem hier vorliegenden sehr guten Wirkungsgrad für beide Prozesse ein zusätzlicher Brennstoffwärmeeinsatz von rund 43 % erforderlich, der zwangsläufig gerade etwa wieder bei der Umwandlung in Strom als Verlust an die Umgebung abgeführt werden müsste.

Nachdem eine Gegendruckanlage durch den Wegfall des gesamten Kondensationsteils mit den Nebenanlagen auch bei den Errichtungskosten billiger ist als eine vergleichbare (gleiche Schaltung, gleicher Brennstoffeinsatz) Kondensationsanlage, bedarf es keiner weiteren Rechnung, um die überlegene Wirtschaftlichkeit der Gegendruckstromerzeugung besonders auch durch die so weitgehende Brennstoffnutzung zu zeigen.

Da der Wärmebedarf praktisch immer selbst gedeckt werden muss, erkennt man aus den vorangegangenen Ausführungen, dass bei entsprechendem Bedarf von Wärme und Strom die Koppelproduktion – neben der technisch denkbar günstigen Brennstoffnutzung und der minimalen Umweltbeeinflussung – sich wirtschaftlich zwingend ergibt.

Adresse der Autoren

Dr.-Ing. *A. Schneider*, Direktor, und Dr.-Ing. *W. König*, Chemische Werke Hüls AG, Postfach 1320, D-4370 Marl 1.