

# Die technischen Möglichkeiten der Wärme-Kraft-Kopplung (WKK)

Autor(en): **Böhlen, U.**

Objektyp: **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): **75 (1984)**

Heft 6

PDF erstellt am: **12.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-904375>

## **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.

221 ✓

# Die technischen Möglichkeiten der Wärme-Kraft-Kopplung (WKK)

U. Böhlen

Wärme-Kraft-Kopplung, d. h. die gleichzeitige Erzeugung von nutzbarer Wärme und Elektrizität mit einem Energieträger, ist sowohl in kleinen als auch in grossen Anlagen möglich. Der Beitrag erläutert die für die verschiedenen Leistungen in Frage kommenden technischen Anlagekonzeptionen und geht auch auf die jeweils möglichen Brennstoffe ein.

*Le couplage chaleur-force, c'est-à-dire la production simultanée de chaleur utilisable et d'électricité par un agent énergétique, peut être employé aussi bien dans de petites que dans de grandes installations. L'article présente les conceptions techniques entrant en ligne de compte pour les différentes capacités et examine aussi les combustibles possibles à chaque fois.*

## 1. Was ist Wärme-Kraft-Kopplung?

Wärme-Kraft-Kopplung (WKK) ist die gleichzeitige Gewinnung von Wärme und mechanischer Antriebskraft.

Kleinere WKK-Anlagen werden im allgemeinen für die Deckung eines gegebenen Wärmebedarfs ausgelegt und betrieben, so dass der Strom als «sekundäres Koppelprodukt» anfällt. Fällt der Wärmebedarf weg (z. B. im Sommer), so steht die Anlage in der Regel still und erzeugt keinen Strom.

Bei WKK-Anlagen, deren Hauptzweck die Stromerzeugung ist, z. B. ein Kernkraftwerk, aus dessen Turbinenkreislauf Dampf für Heizzwecke entnommen wird, wird häufig auch von Strom-Wärme-Kopplung gesprochen.

Typische Leistungsbereiche der verschiedenen Anlagentypen gehen aus Tabelle I hervor.

Eine Neuerung ist die WKK keineswegs. Schon im Zeitalter der Dampfmaschine liess man den Dampf in der Industrie zweimal Arbeit verrichten: zuerst für den Antrieb der Maschinen und dann - in entspanntem Zustand - für die Beheizung der Fabrikhallen. Auch als Ende des letzten Jahrhunderts der Elektromotor die Dampfmaschinen in den Fabriken allmählich verdrängte, bedeutete dies für die Industrie keineswegs das Ende der WKK.

## 2. Wärme-Kraft-Kopplung bei thermischen Kraftwerken

Für Grossanlagen, wie sie thermische Kraftwerke, Fernheizkraftwerke und WKK-Anlagen in der Industrie darstellen, eignet sich vorzugsweise eine auf separate Anlageteile aufgeteilte, getrennte Erzeugung von Wärme (z. B. im Kessel) und Kraft (z. B. in der Turbine) (siehe Fig. 1).

Leistungsbereich der verschiedenen Anlagentypen

Tabelle I

Anlagentyp	Leistungsbereich (in MW <sub>el</sub> )
Haushaltungen, Gewerbe, Dienstleistungen	
1 Blockheizkraftwerke	0,015 - 1,2
2 Gasturbinen	0,5 - 10
3 Kombinierte Anlagen	0,5 - 50
4 Gegendruck-Dampfturbinen	0,5 - 50
5 Gross-Diesel	1 - 30
Industrie	
1 Gasturbinen	0,5 - 10
2 Gegendruck-Dampfturbinen	0,5 - 50
3 Kombinierte Gas-/Dampfturbinen-Anlage	0,5 - 50
4 Grosse Gasturbinen	20 - 80
5 Entnahme-/Kondensations-Dampfturbinen	20 - 1000

Quelle [1]

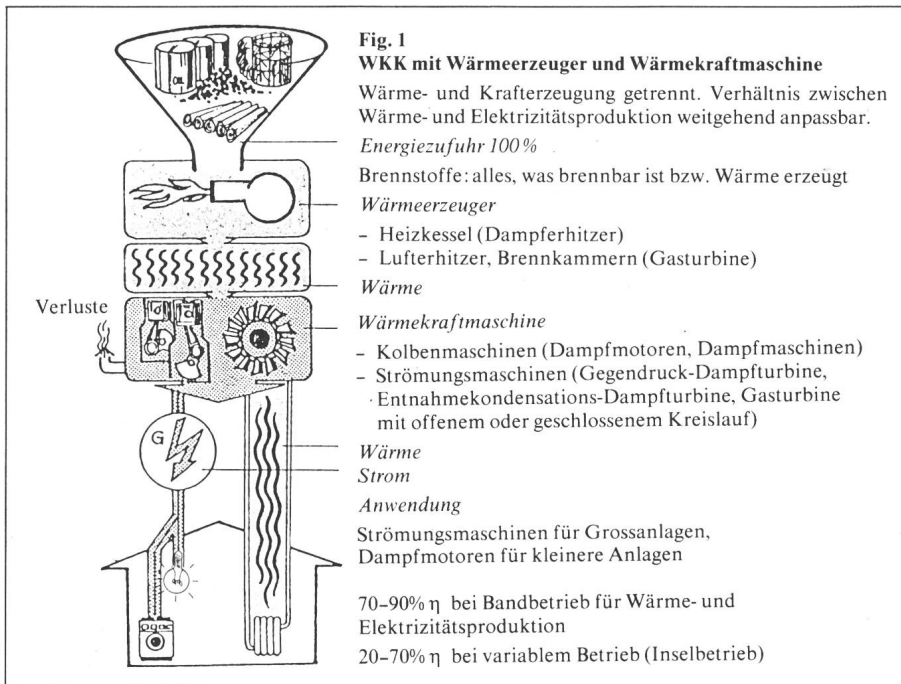
### 2.1 Anlagen mit Dampfturbinen

In thermischen Kraftwerken wird durch Verbrennung der Primärenergieträger Kohle, Öl oder Gas beziehungsweise durch Kernspaltung Wärme erzeugt. Diese Wärme lässt das Speisewasser in einem geschlossenen Kesselrohrsystem verdampfen. Es entsteht Wasserdampf mit hoher Temperatur und hohem Druck. Die Energie des Wasserdampfes wird an die Turbinen abgegeben. Die Turbinen treiben den Generator an, der die elektrische Energie erzeugt.

Die restliche Wärme des entspannten Dampfes wird im Kondensator an das Kühlwasser abgegeben. Der Dampf wird dadurch verflüssigt, und der Kreislauf beginnt von neuem.

#### Adresse des Autors

Urs Böhlen, INFEL-Informationsstelle für Elektrizitätsanwendung, Bahnhofplatz 9, 8023 Zürich



Soll neben Strom auch Wärme gewonnen werden, so kommen vor allem zwei Typen von Anlagen in Frage: Gegendruck- und Entnahme-Kondensations-Turbinen.

- Bei *Gegendruckbetrieb* wird der Dampf solange in der Turbine zur Stromerzeugung eingesetzt, bis er einen Druck- und Temperaturbereich erreicht hat, der für die Wärmeproduktion geeignet ist. Nach Verlassen der Turbine überträgt der Dampf im Heizkondensator seine Energie nahezu vollständig an das Heizwasser. Das hierbei entstehende Wasser wird mit Hilfe einer Pumpe dem Kessel zur erneuten Verdampfung zugeführt.

Gegendruckanlagen kommen vornehmlich zum Einsatz, wenn der Wärmeproduktion Priorität gegeben wird. Je grösser die Wärmeproduktion, desto grösser auch die Stromerzeugung.

- Bei *Entnahme-Kondensations-Turbinen* wird ein Teil des im Kessel erzeugten Dampfes vor Turbinenende abgezweigt und zur Wärmeproduktion in einen Heizkondensator geleitet.

Der abgezweigte Dampf besitzt nur noch ein vermindertes Druck- und Temperaturniveau. Seine Energie überträgt er im Heizkondensator. Dabei kondensiert der Dampf zu Wasser, und dieses kann der Kesselanlage wieder zugeführt werden.

Der ausschliesslich für die Stromproduktion eingesetzte Dampf hat

am Turbinenende nur noch eine geringe Temperatur und ist für eine Wärmeabgabe an ein Heizungsnetz nicht mehr geeignet. Im nachgeschalteten Kondensator wird der Dampf verflüssigt und der Kesselanlage wieder zugeführt.

Die an das Kühlwasser abgegebene Wärmemenge wird als Energieverlust an die Umgebung abgegeben.

Das Verhältnis zwischen elektrischer Energie und Wärmeproduktion lässt sich in begrenztem Umfang verändern. Im Sommer überwiegt die Stromproduktion.

Die Abgabe von Nutzwärme, bei gleichzeitiger Stromerzeugung, ist im Prinzip bei jedem thermischen Kraftwerk möglich, auch bei nuklearen Anlagen. Die meisten der bereits erstellten und in Bau und Planung befindlichen Kernkraftwerke sind Leichtwasser-Reaktoren (Siedewasser- und Druckwasserreaktoren). Bei diesem Reaktortyp und bei den bisher gebauten gasgekühlten Reaktoren dient ein Dampfkreislauf als Antrieb für die Erzeugung elektrischer Energie. Die hierbei in Frage kommenden Wärmeleistungsmaschinen sind in erster Linie die Entnahmekondensations-turbinen sowie, bei kleineren Einheiten oder als zusätzliche Wärme-Kraft-Kopplungs-Aggregate, die Gegendruckturbinen.

Der thermische Wirkungsgrad einer modernen LWR-Anlage ohne Abwärmenutzung von 32 bis 34% kann mittels WKK auf bis rund 50% verbessert

werden. Häufig ist jedoch die Abnahme der erzeugten grossen Wärmemengen das Hauptproblem der WKK.

## 2.2 Anlagen mit Gasturbinen

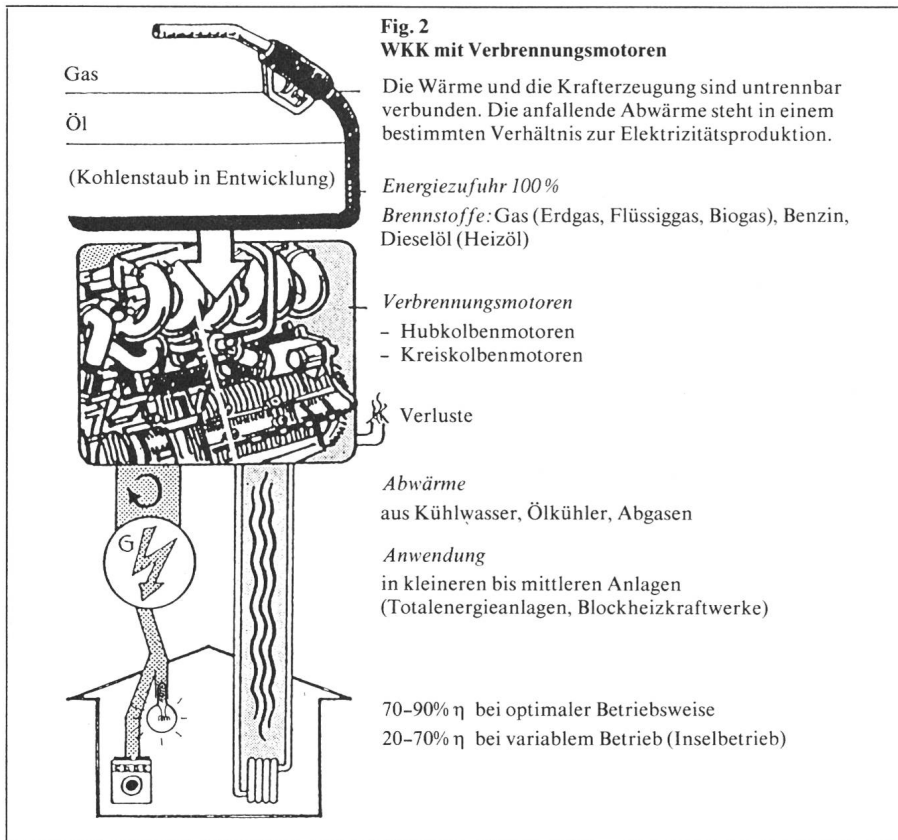
Neben den Kraftwerken mit Dampfturbinen kommen auch Gasturbinenanlagen mit Abhitzekegel für die Wärme-Kraft-Kopplung in Frage. Der offene Gasturbinenprozess verwendet Luft als Medium. In einem Kompressor wird Luft verdichtet, dieser wird in einer Brennkammer durch Verbrennung von Brennstoff, in der Regel Gas oder Leichtöl, Wärme zugeführt. Dieses heisse Gas gibt einen Teil seiner Energie im Expansionsteil an die Turbine ab, die wiederum einen Generator antreibt. Der Rest der Energie geht im heissen Abgas an die Umgebung. Diese heissen Abgase können in einem Abhitzekegel zur Dampferzeugung oder zur Erwärmung von Heizwasser verwendet werden. Die Wärme fällt auf einem hohen Temperaturniveau an, und durch einen Bypass im Abhitzekegel kann die Wärmeproduktion von der Stromproduktion getrennt werden. Über eine Zusatzfeuerung im Abhitzekegel kann u. U. die Wärmespitzendeckung bewerkstelligt werden.

## 3. Wärme-Kraft-Kopplung mit Verbrennungsmotoren

Bei dieser Bauart geschieht die Umwandlung der bei der Verbrennung entstehenden Wärme in mechanische Energie unmittelbar im Motor selbst, d. h. die Wärme- und die Krafterzeugung sind untrennbar miteinander verbunden (siehe Fig. 2). Angewendet wird diese Ausführungsart vorwiegend in mittleren und kleineren Anlagen, wie Blockheizkraftwerken und Total- bzw. Gesamtenergieanlagen.

Durch den Verbrennungsmotor, der mit Dieselöl oder Gas als Brennstoff arbeitet, wird mit einem Generator Strom produziert. Wie bei jedem thermischen Prozess fallen grosse Abwärmemengen an, und zwar auf verschiedenen Temperaturstufen in Form heisser Abgase, warmen Kühlwassers und Schmieröls.

Diese drei Quellen stehen für die Abwärmenutzung zur Verfügung. Um die Kühlwasser- und Schmierölwärme nutzen zu können, muss das Temperaturniveau der Wärmeabnehmer tief sein. Das Wasser für die Fernheizung



wird zuerst vom Kühlwasser erwärmt. Damit entfällt für den Stationärmotor entweder die sonst notwendige Energie für den Antrieb des Ventilators für den Luftkühler oder der Kühlwasserbedarf. Das Fernheizwasser fließt weiter zum Abgaskessel und von da zum Wärmeabnehmer.

Kolbenmotoren sind, was ihre Leistung betrifft, im allgemeinen eine Größenordnung kleiner als Gasturbinen. Anlagen mit Kolbenmotoren finden bekanntlich als Notstromaggregate ein reichliches Anwendungsgebiet. Elektrische Leistungen von 10 bis 15 MW sind mit solchen Anlagen durchaus realisierbar. Mit der Abwärmenutzung bei den Kolbenmotoren kann die Brennstoffausnutzung, die bei reiner Elektrizitätserzeugung bereits 35 bis 40% beträgt, bei Bandbetrieb auf 80% erhöht werden.

### 3.1 Blockheizkraftwerke (BHKW)

Unter Blockheizkraftwerk versteht man meist mittelgroße WKK-Anlagen nach dem oben beschriebenen Arbeitsprinzip, die aus kleineren Motoren in Modulbauweise aufgebaut sind.

Das Wort «Block» bezieht sich dabei nicht auf einen Block von Gebäuden, sondern auf die Block- oder Mo-

dulbauweise der Anlage mit zwei oder mehreren Maschinengruppen.

Die Motoren stammen meistens aus der Grossserie und können bei spezieller Auslegung neben Dieselöl auch Gas verbrennen. Auch hier muss zur Nutzung der Abwärme im Kühlsystem das Temperaturniveau der Wärmeabnehmer tief sein.

### 3.2 Totem

«Totem» (Total-Energie-Modul) werden kleine WKK-Anlagen in Kompaktbauweise (oft auch als «Energiebox» bezeichnet) zur dezentralen

tralen Versorgung einzelner Bauten oder Betriebe mit Wärme und Strom genannt.

Die «modische» Bezeichnung «Total-Energie-Anlage» für eine WKK-Anlage ist allerdings ungenau, weil eine «totale» Energienutzung unmöglich ist. Solche Anlagen werden z. B. mit einem 900-cm<sup>3</sup>-Automotor angetrieben und geben 15 kW elektrische Leistung und 39 kW thermische Leistung ab.

## 4. Brennstoffe für WKK-Anlagen

Nicht alle WKK-Anlagen lassen sich mit beliebigem Brennstoff betreiben. Die folgende Zuordnung zeigt die verschiedenen Einsatzmöglichkeiten. Die zugeordneten Leistungen gehen aus Tabelle II hervor.

### - Leichtöl:

Dampfananlagen, offene und geschlossene Gasturbinenanlagen, kombinierte Gas-Dampf-Anlagen, Dieselmotorenanlagen.

### - Schweröl:

Dampfananlagen, geschlossene Gasturbinenanlagen, Dieselmotorenanlagen. Offene Gasturbinenanlagen und kombinierte Gas-Dampf-Anlagen nur unter erschwerten Bedingungen.

### - Erdgas:

Dampfananlagen, offene und geschlossene Gasturbinenanlagen, kombinierte Gas-Dampf-Anlagen, Gasmotorenanlagen, Wechselmotorenanlagen (umschaltbare Diesel-/Gas-Motoren).

### - Kohle:

Dampfananlagen, geschlossene Gasturbinenanlagen. In Entwicklung sind

Brennstoffe für WKK-Anlagen

Tabelle II

Brennstoff	el. Leistung			
	100-1000 MW	1-100 MW	10-1000 kW	bis 10 kW
Kernbrennstoff	X			
Kohle	X	X		
Öl (schwer)	X	X		
Öl (extraleicht)		X	X	
Erdgas		X	X	(X)
Müll- und Industrieabfälle		X	X	
Biogas			X	X

Brennstoff	Beschaffung	Transport	Lagerung	Entsorgung/Verbrennung
Uran	CH-Anteil 6% diverse Herkunftsländer bis 1990 vertraglich abgedeckt gesicherte Reserve für alle bis 2000 geplanten KKW	kleine Mengen	kleiner Platzbedarf Reserven: in Würenlingen 3 Jahre in jedem KKW 1 Jahr	technisch lösbar
Kohle	CH-Anteil 3% Fundorte in der ganzen Welt gesicherte Reserven 250 Jahre	Volumen Schiff bis Basel Feinverteilung Bahn Transportkosten bis 70%	Volumen Flächenbedarf Pflichtlager 1 Mio t (~ 1 Jahresbedarf)	Umweltbelastung Schlacke und Gips (in Deponien) CO <sub>2</sub> , CO, SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , Russ
Erdöl	CH-Anteil 40% (ohne Treibstoffe) aus politisch instabilen Regionen OPEC 65% Ostblock 13% Spot-Markt gesicherte Reserven bis 30 Jahre	Volumen Unfallgefahr beim Beliefern von 10 000 Tankstellen 600 000 Tankanlagen Pro Tag sind ~ 8000 Tankwagen unterwegs Explosionsgefahr Gewässerverschmutzung	Unterhalt der Tankanlagen Brandgefahr Gewässerverschmutzung	Umweltbelastung Staub CO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , CH
Erdgas	CH-Anteil 6% Lieferverträge bis über das Jahr 2000 Nordsee/Holland ab 1988 Russland über Ruhr gas (Anteil 12-20%) 7 Einspeisepunkte gesicherte Reserven 50 Jahre	Pipeline unter Boden	2-3 Tage Reserve aus Kugeltank und Leitungssystem Lieferanten haben Untertagspeicher	keine festen Abfälle, Russ und SO <sub>2</sub> aber CO NO <sub>x</sub> CH

Quelle [2]

Verfahren für Dieselmotorenanlagen und kombinierte Gas-Dampf-Anlagen.

- Kernbrennstoff:

Dampfanlagen. In Zusammenhang mit der Entwicklung von Hochtempe-

raturreaktoren könnte die geschlossene Gasturbine zum Einsatz kommen.

In Tabelle III sind einige Stichworte im Hinblick auf die Versorgung mit diesen Brennstoffen zusammengestellt.

**Literatur**

- [1] Der Beitrag neuer Wärme-Kraft-Kopplungs-Anlagen zur Elektrizitätsversorgung; ausgearbeitet von Basler & Hofmann und Sulzer Consulting AG; Studie Nr. 11 der Schriftenreihe des Bundesamtes für Energiewirtschaft.
- [2] Wärme-Kraft-Kopplung in nuklearen und konventionellen Anlagen; ausgearbeitet vom Eidg. Institut für Reaktorforschung; Studie Nr. 22 der Schriftenreihe des Bundesamtes für Energiewirtschaft.