

# Wärme-Kraft-Kopplung in nuklearen und konventionellen Anlagen: Studie 22 aus der Schriftenreihe des Bundesamtes für Energiewirtschaft

Autor(en): [s.n.]

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **100 (1982)**

Heft 16

PDF erstellt am: **22.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-74793>

## **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.

# Wärme-Kraft-Kopplung in nuklearen und konventionellen Anlagen

## Studie 22 aus der Schriftenreihe des Bundesamtes für Energiewirtschaft

Bereits im Jahre 1974 hatte das Bundesamt für Energiewirtschaft den Wunsch nach einem detaillierten Bericht über die Wärmenahme aus Kernkraftwerken geäußert. Bei der Auftragserteilung an das Eidg. Institut für Reaktorforschung (EIR) empfahl die Abwärmekommission, zusätzlich auch die konventionellen Wärme-Kraft-Kopplungsanlagen in die Studie einzubeziehen. Der jetzt vorliegende Bericht basiert auf der provisorischen Auflage aus dem Jahre 1979. Er enthält die heute technisch realisierbaren Lösungen, die Anwendung der Wärme-Kraft-Kopplung für die Fernheizung in Gemeinden und Städten und vergleicht die verschiedenen Möglichkeiten auf einheitlicher Grundlage. Dem Bericht entnehmen wir die Zusammenfassung und die Folgerungen.

### Rahmenbedingungen

Die gleichzeitige Erzeugung von Elektrizität und Wärme (Wärme-Kraft-Kopplung) ist ein bewährtes Prinzip, das weltweit bei der Bereitstellung von Prozesswärme für die Industrie und der Fernwärmeversorgung Anwendung findet. Heute stehen folgende Techniken zur Verfügung:

- Dampfanlagen (Gegendruckturbinen, Entnahmekondensationsturbinen)
- Offene Gasturbinenanlagen
- Kombinierte Gas-Dampfanlagen
- Kolbenmotorenanlagen (Dieselmotoren, Otto- oder Gasmotoren)

Je nach Entwicklung könnte in absehbarer Zeit auch die geschlossene Gasturbine zu dieser Gruppe gezählt werden. Andere Techniken wie Brennstoffzellen, Stirlingmotor und Organischdampf-Kreisläufe sind noch nicht so weit entwickelt, dass ihre Einführung befürwortet werden kann (ausser für Prototypanlagen).

Nicht alle Wärme-Kraft-Anlagen lassen sich mit beliebigem Brennstoff betreiben. Die folgende Zuordnung zeigt die verschiedenen Einsatzmöglichkeiten:

**Leichtöl:** Dampfanlagen, offene und geschlossene Gasturbinenanlagen, kombinierte Gas-Dampfanlagen, Dieselmotorenanlagen.

**Schweröl:** Dampfanlagen, geschlossene Gasturbinenanlagen, Dieselmotorenanlagen. Offene Gasturbinenanlagen und kombinierte Gas-Dampfanlagen nur unter erschwerten Bedingungen.

**Erdgas:** Dampfanlagen, offene und geschlossene Gasturbinenanlagen, kombinierte Gas-Dampfanlagen, Gasmotorenanlagen, Wechselmotorenanlagen (umschaltbare Diesel-/Gasmotoren).

**Kohle:** Dampfanlagen, geschlossene Gasturbinenanlagen. In Entwicklung sind Verfahren für Dieselmotorenanlagen und kombinierte Gas-Dampfanlagen.

**Kernbrennstoff:** Dampfanlagen. In Zusammenhang mit der Entwicklung von Hochtemperaturreaktoren könnte die geschlossene Gasturbine zum Einsatz kommen.

Die Elektrizitäts- und Wärmeenerzeugung aus Anlagen mit Wärme-Kraft-Kopplung ist heute in der Schweiz noch vernachlässigbar klein. Die möglichen zukünftigen Entwicklungen können aus den verschiedenen Szenarien der

Gesamtenergiekonzeption (GEK) ermittelt werden. Nach dem GEK-Bericht liegt der Schwerpunkt der Wärme-Kraft-Kopplung im Jahr 2000 bei den nuklearen Anlagen. Die verschiedenen Techniken der Wärme-Kraft-Kopplung wurden im erwähnten Bericht nicht detailliert angegeben. Es ist aber anzunehmen, dass Gasturbinen und Kolbenmotoren Gas als Brennstoff verwenden, in Gegendruckdampfanlagen Kohle oder Müll verbrannt wird. Die Industrieanlagen werden voraussichtlich zum grössten Teil aus ölbefeuerten Gegendruckdampfanlagen bestehen, weil die Kapitalkosten von kleinen, kohlebefeuerten Anlagen sehr hoch sind.

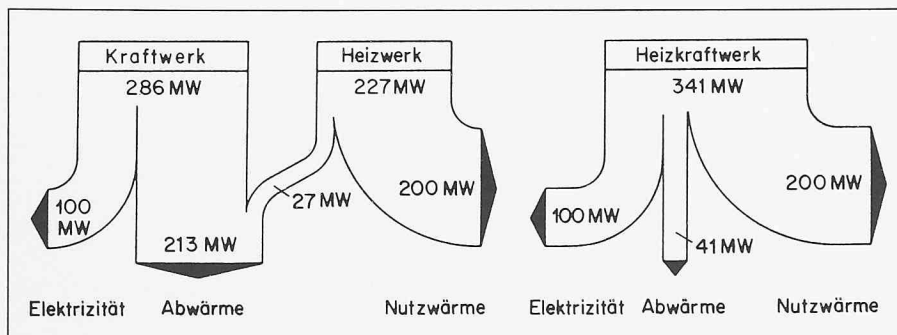
### Energetische Überlegungen

Thermische Kraftwerke verwandeln nur rund einen Drittel der ihnen zugeführten Brennstoffenergie in elektrische Energie (aufwendig gebaute Anlagen erreichen bessere, ältere und kleinere Anlagen schlechtere Werte), die restlichen zwei Drittel müssen aus thermodynamischen Gründen ohne Nutzen als Abwärme abgeführt werden und belasten die Umwelt. Durch die Wärme-Kraft-Kopplung (WKK) kann diese gezwungenermassen in jedem thermischen Kraftwerk anfallende Abwärmemenge teilweise als Nutzenergie für Heizung und Prozesswärme verwendet werden. Dabei muss bei den meisten Kraftwerktypen eine gewisse Stromeinbusse in Kauf genommen werden. Die energetischen Vorteile der Wärme-Kraft-Kopplung illustriert Bild 1.

Die linke Seite des Bildes zeigt ein Kraftwerk, das aus 286 MW Brennstoffleistung 100 MW elektrische Leistung erzeugt und ein Heizwerk, das aus 227 MW Brennstoffleistung eine Wärmeleistung von 200 MW produziert. In beiden Anlagen beträgt der Wirkungsgrad für die Umwandlung von chemischer in thermische Energie 88 Prozent. Dem Kraftwerk wurde ein elektrischer Wirkungsgrad von 35 Prozent für die Elektrizitätsumwandlung zugrunde gelegt.

Das Energieflussdiagramm auf der rechten Seite des Bildes steht für ein Heizkraftwerk, das die gleichen Nutzenergien bei einer Brennstoffleistung von nur 341 MW offeriert. Der Wirkungsgrad für die Umwandlung von chemischer in thermische Energie wurde ebenfalls mit 88 Prozent angenommen, das Kraft/Wärme-Verhältnis  $\alpha$  beträgt 0,5. Die angenommenen Daten entsprechen einer Gegendruck-Dampfturbinenanlage mit 60 MW elektrischer Leistung und Ölfeuerung.

Bild 1. Energieflussdiagramme: Kraftwerk/Heizwerk und Heizkraftwerk



Durch die Wärme-Kraft-Kopplung treten folgende *Verbesserungen* auf:

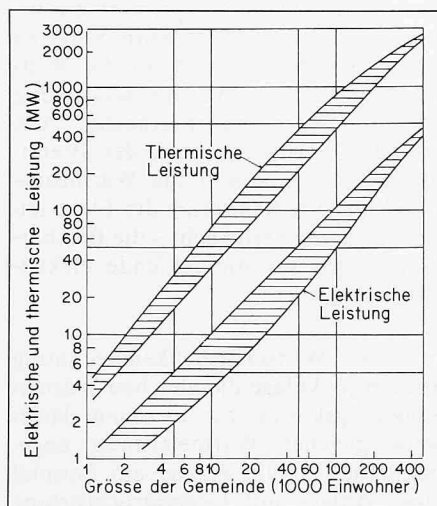
- Reduktion des Brennstoffverbrauches;
- Reduktion der Abgasmenge;
- Reduktion der thermischen Belastung der Umwelt.

Im vorher angeführten Beispiel beträgt die Reduktion des Brennstoffverbrauches und der Abgasmenge rund 33 Prozent. Die Abwärme (d.h. die nicht genutzte Energie) wird sogar um etwa 80 Prozent vermindert. Mit anderen Wirkungsgraden können sowohl höhere als auch niedrigere Einsparungen erreicht werden. Die effektiven Einsparungen hängen ausserdem entscheidend von der Betriebsweise und der Betriebsdauer ab.

Der Vorteil der besseren Brennstoffausnutzung muss jedoch im Hinblick auf die *Diversifizierung der Brennstoffe* näher betrachtet werden.

Die Elektrizitätserzeugung in der Schweiz erfolgt heute und voraussichtlich auch in der Zukunft vorwiegend durch Wasser- und Kernkraftwerke, die Wärmeversorgung vorwiegend durch Ölfuehrung. Würde man einen Teil der Elektrizitäts- und Wärmeerzeugung durch ölbefeuerte Wärme-Kraftanlagen liefern, ergäbe sich zwar eine Reduktion des Primärenergiebedarfs, gleichzeitig aber auch ein vergrösserter Ölverbrauch. In diesem Fall müsste man von einer (nicht erwünschten) Substitution der Elektrizitätserzeugung mittels Wasser und Kernenergie durch eine Elektrizitätserzeugung aus Erdöl sprechen. Der hierfür benötigte Ölverbrauch ist zwar kleiner als der Verbrauch in einer ölbefeuerten Kraftanlage bei gleicher Elektrizitätserzeugung, bedeutet aber trotzdem einen Mehrverbrauch, weil die Elektrizität sonst mit anderen Brennstoffen produziert worden wäre.

Bild 2. Elektrische und thermische Spitzenleistung in Abhängigkeit der Gemeindegrösse



Aus der gleichen Überlegung folgt, dass bei der Wärme-Kraft-Kopplung auf nuklearer Basis, bei gleichzeitiger Substitution von Öl für die Wärmeerzeugung, ein Mehrbedarf an Kernreaktoren und nuklearem Brennstoff benötigt wird. Dies setzt voraus, dass die Wärmeentnahme aus *Leichtwasserreaktoren* erfolgt und die fehlende elektrische Energie mittels Kernkraft erzeugt wird. Bei Wärmeentnahme aus dem in Entwicklung befindlichen *Hochtemperaturreaktor mit Gasturbine* (HHT) erfolgt keine nennenswerte Stromeinbusse und folglich auch kein zusätzlicher Bedarf an Kernenergie.

Wärme-Kraft-Kopplung mit Kohle- oder Gasfuehrung würde sowohl Öl für die Wärmeerzeugung als auch Elektrizität aus Wasser- oder Kernkraftwerken substituieren.

Aus obiger Überlegung ergeben sich die folgenden allgemeinen Feststellungen:

- Wenn Öl substituiert werden soll, dann sind Gas, Kohle und Kernbrennstoffe als Energieträger für die Wärme-Kraft-Kopplung zu bevorzugen.
- Heizkraftwerke, auch die kleinen, sollten so konstruiert werden, dass wahlweise mehrere Brennstoffarten verwendet werden können. Damit wird die Versorgungssicherheit erhöht und die Möglichkeit gegeben, die jeweils billigste Brennstoffart zu verwenden.

## Technische Ausführung

### Wärme- und Elektrizitätsverbrauch in Gemeinden und Städten

Die Wahl einer WKK-Anlage wird in der Praxis von der thermischen und elektrischen Leistung sowie dem Verlauf der *Belastungsdiagramme in einem Stadt- oder Industriegebiet* bestimmt. Die Untersuchung von Beispielgemeinden auf ihre Eignung für Wärme-Kraft-Kopplung hat gezeigt, dass die Möglichkeit einer ausgedehnten Fernheizung in den kleineren Gemeinden meistens nicht gegeben ist. Quartierheizungen, eventuell in Kombination mit einem Heizkraftwerk für die Industrie, wären jedoch durchaus denkbar. Weil mehr als die Hälfte der gesamten Wohnbevölkerung der Schweiz in Gemeinden unter 100 000 Einwohnern leben, sollten auch kleinere Gemeinden auf ihre Eignung für die Wärme-Kraft-Kopplung überprüft werden.

Aus der Untersuchung geht hervor, dass der Gesamtstromverbrauch je Einwohner und Jahr zwischen 1,9 MWh und 6,0 MWh variiert. Je Einwohner und Jahr konnte der kleinste Wärme-

verbrauch mit 9,4 MWh, der grösste Verbrauch aber mit 21,6 MWh ermittelt werden. Aus diesen beiden Kennzahlen wurde es ermöglicht, das Verhältnis der elektrischen Spitzenleistung zum maximalen Wärmeleistungsbedarf zu errechnen. Dieses beträgt je Einwohner und Jahr im Minimum 0,1 und im Maximum 0,22. Ausserdem gelang es, die *durchschnittliche Wärmedichte* festzustellen. Sie variiert zwischen 5,0 MW/km<sup>2</sup> und 60 MW/km<sup>2</sup>.

Bei einer Betrachtung all dieser Zahlen muss ein wichtiger Umstand berücksichtigt werden: Die *spezifischen* Werte von Strom- und Wärmeverbrauch sind weitgehend voneinander unabhängig. Das heisst, sie müssen keineswegs gleichzeitig hoch oder gleichzeitig tief zu liegen kommen. Bild 2 zeigt die aus den Beispielgemeinden ermittelten elektrischen und thermischen Leistungen in Abhängigkeit der Gemeindegrösse.

Das Heizkraftwerk wird meistens für weniger als 100 Prozent des elektrischen Leistungsbedarfs bemessen; je nach Ausbau des Fernwärmenetzes variiert der thermische Leistungsbedarf aus dem Heizkraftwerk zwischen etwa 10 Prozent bis 40 Prozent der in Bild 2 angegebenen Leistung. In der Regel deckt das Heizkraftwerk ungefähr die Hälfte der thermischen Spitzenleistung. Wegen der saisonalen Leistungscharakteristik des Wärmeverbrauchs wird bei dieser Auslegung trotzdem mehr als 80 Prozent der vom Fernwärmenetz abgesetzten Energie vom Heizkraftwerk geliefert.

### Vorläufige Auswahl eines Heizkraftwerktypes

Zusammen mit den in Tabelle 1 angegebenen Kennzahlen ist eine vorläufige Auswahl einer Wärme-Kraftanlage möglich. Die angegebenen Leistungsbe-reiche sind die heute üblichen Einheitsleistungen, wobei ein Heizkraftwerk natürlich aus mehreren Anlagen und auch aus mehreren Anlagentypen bestehen kann. Die in der Tabelle angegebenen Techniken sind ausgereift und vom technischen Standpunkt aus als gleichwertig zu betrachten. Nach der Ermittlung des Elektrizitäts- und Wärmebedarfs muss ein passender Anlagentyp gewählt werden.

Wie ersichtlich, sind für Quartierkraftwerke (*unter etwa 1000 Einwohnern*) vor allem *Kolbenmotoren*, eventuell auch *kleine Gasturbinen* geeignet. Für Gemeinden ab *etwa 5000 Einwohnern* kommen auch bei entsprechendem Ausbau des Fernwärmenetzes *Gegendruckdampf-anlagen* in Frage. In Städten *grösser als 20 000 bis 30 000 Einwohnern* würde man eine *Gegendruckdampf-*

Tabelle 1. Kennzahlen der verschiedenen Heizkraftwerktypen

	Gegendruckdampfanlagen	Offene Gasturbinenanlagen	Kombinierte Gas-Dampfturbinenanlagen	Anlagen mit Kolbenmotoren	Kernkraftwerke mit Dampfkreislauf
Einheitsleistungen Elektrisch Thermisch (MW)	3 bis 150 15 bis 250	0,5 bis 130 2,5 bis 220	15 bis 250 15 bis 250	0,1 bis 30 0,1 bis 30	300 bis 1000 > 200
Stromzahl/Rückgewinnungsfaktor (-)	0,15 bis 0,6	0,15 bis 0,6	0,8 bis 1,1	0,9 bis 1,3	4 bis 8
Spez. Anlagekosten je Stromeinheit (Fr./kW <sub>e</sub> )	900 bis 1900*	500 bis 1000*	1000 bis 1500*	1000 bis 1900*	2000 bis 3000
Teillastwirkungsgrad	gut	rel. schlecht	rel. schlecht	sehr gut	gut
Möglicher Brennstoffeinsatz	unbeschränkt	beschränkt Gas, Leichtöl (Schweröl)	beschränkt Gas, Leichtöl (Schweröl)	beschränkt Gas, Leichtöl, Schweröl	Kernbrennstoff
Anfahrzeit	mehrere Stunden	kurz	von Gasturbinen kurz	kurz	mehrere Stunden

\* mit Ölfeuerung

anlage, eine offene Gasturbine oder eine kombinierte Gas-Dampfturbinenanlage installieren. Wenn jedoch das Fernwärmenetz mehr als 20 Prozent bis 30 Prozent des Stadtgebietes erfasst, wäre die Elektrizitätsproduktion aus einer kombinierten Gas-Dampfturbinenanlage wahrscheinlich grösser als der Elektrizitätsverbrauch im gesamten Stadtgebiet.

Für grössere Städte ab etwa 60 000 Einwohner oder Gruppierungen von kleineren Städten kann die Wärmeversorgung aus einem grossen Entnahme-Kondensationskraftwerk interessant sein. Die untere Leistungsgrenze wird jedoch mehr durch die Wirtschaftlichkeit des Wärmetransportes bestimmt (insbesondere die Entfernung zwischen Stadt und Kraftwerk sowie die Grösse der Transportleistung) als durch technische Einschränkungen.

### Planungsüberlegungen

Bei Anlagen mit Wärme-Kraft-Kopplung entsteht gegenüber einem reinen Heizwerk oder gegenüber der dezentralen Wärmezeugung ein technischer Mehraufwand für Maschinen und die elektrische Ausrüstung. Der Landbedarf auf meistens öffentlichem Boden und der Personalbedarf sind wirtschaftlich kaum massgebend, sie müssen aber trotzdem berücksichtigt werden.

Der Personalbedarf beträgt für bestehende Gegendruckturbinenanlagen und Gas-Dampfturbinenanlagen ohne Automatisierung 45 bis 65 Personen. Moderne Anlagen mit Automatisierung benötigen etwa die Hälfte davon. Offene und geschlossene Gasturbinen haben in der Regel etwa den halben Personalbedarf einer Dampfanlage gleicher Leistung. Grosse Kolbenmotoren mit heute üblicher Automatisierung

benötigen etwa zwei bis drei Mann Betriebspersonal. Bei Wärme-Kraft-Kopplung in grossen Entnahme-Kondensationskraftwerken muss die Hauptrohrleitung überwacht und gewartet werden. Dagegen wird kein zusätzliches Personal in der Anlage selbst benötigt.

Der Landbedarf für ein Dampfkraftwerk mit einer elektrischen Leistung zwischen 30 und 100 MW als Richtwert beträgt 4 bis 7 ha. Gasturbinen- und Dieselanlagen bis etwa 59 MW elektrischer Leistung verlangen dagegen zwischen 1 und 2 ha. Dazu kommt in der Regel der Platzbedarf für die Hochspannungsschaltanlage von etwa 1,5 ha.

### WKK und die öffentliche Elektrizitätserzeugung

Werden gewisse Rahmenbedingungen eingehalten, können WKK-Anlagen in das bestehende und auch zukünftige Netz der öffentlichen Elektrizitätserzeugung integriert werden. Die Elektrizitätslieferung aus Gegendruckturbinen-, Gasturbinen- oder Diesel-Heizkraftwerken fällt etwa in den gleichen Zeitabschnitt wie die zusätzlich benötigte Winterenergie. Sie ergänzt die Flusskraftwerke, weil die saisonale Elektrizitätserzeugung aus diesen Anlagentypen gegenläufig ist. Die Wärmeentnahme aus einer grossen Kondensationsturbine hingegen verursacht zu einer für die Elektrizitätsversorgung ungünstigen Zeit eine Reduktion der elektrischen Leistung des Kraftwerkes. Dieser Leistungs- und Energieausfall, aber auch die zusätzliche Elektrizitätserzeugung aus Gegendruckturbinen-, Gasturbinen- oder Diesel-Heizkraftwerken, muss durch entsprechende Verträge mit den Elektrizitätswerken (auch den Überlandwerken) geregelt werden.

### Wirtschaftlichkeit

Die vorliegende Studie behandelt nur die kombinierte Erzeugung von Elektrizität und Wärme. Die allgemeinere Wirtschaftlichkeitsfrage der Fernheizung wird nicht untersucht. Die behandelte Problemstellung lautet also nicht «Ist Fernheizung wirtschaftlich?» sondern «Wenn Fernheizung, unter welchen Umständen lohnt sich die Wärme-Kraft-Kopplung?»

Bei der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung muss grundsätzlich zwischen Anlagen mit grossen Entnahme-Kondensations-turbinen (z.B. Kernkraftwerken) und Anlagen mit Gegendruckturbinen, Gasturbinen, kombinierten Gas-Dampfturbinen und Kolbenmotoren unterschieden werden. In den letztgenannten Anlagen ist die Wärmezeugung die primäre Aufgabe; die Elektrizität fällt beiläufig an. In diesem Fall ist, neben dem Brennstoffpreis, der Preis für die erzeugte elektrische Energie für die Wirtschaftlichkeit massgebend. Bei Anlagen mit grossen Entnahme-Kondensations-turbinen (z.B. Kernkraftwerken) ist die Elektrizitätserzeugung primär; die erzeugte Wärme ist als Nebenprodukt zu betrachten. Massgebend für die Wirtschaftlichkeit der Wärmeauskopplung sind die Wärmetransportkosten zum örtlichen Fernwärmenetz, der Brennstoffpreis und – weil die Wärmeauskopplung eine Reduktion der Elektrizitätserzeugung verursacht – die Beschaffungskosten für die fehlende elektrische Energie.

In die Wirtschaftlichkeitsrechnung werden je Anlage die gleichen Wärmegestehungskosten wie in einem Heizwerk gleicher Wärmeleistung angenommen. Tabelle 2 zeigt am Beispiel einer Anlage mit Gegendruckturbine

Tabelle 2. Elektrizitätsgestehungskosten einer Anlage mit Gegendruckturbine (60 MW<sub>el</sub>, 120 MW<sub>th</sub>)

	Brennstoffpreis*			
	6 Fr./GJ	12 Fr./GJ	18 Fr./GJ	24 Fr./GJ
Elektrizitätsgestehungskosten (Rp./kWh)	5,2	7,8	10,3	12,9

\* 12 Fr./GJ = 43,2 Fr./MWh = 50 Fr./100 kg (Öl)

Tabelle 3. Zulässige Elektrizitätsbeschaffungskosten bei einem Kernkraftwerk mit 350 MW Wärmeauskoppelung

Zulässige Elektrizitätsbeschaffungskosten (Rp./kWh)		Brennstoffpreis*			
		6 Fr./GJ	12 Fr./GJ	18 Fr./GJ	24 Fr./GJ
Wärmetransportkosten	3 Fr./GJ	10,0	29,1	48,0	67,1
	6 Fr./GJ	1,6	20,7	39,6	58,7
	9 Fr./GJ	-	12,3	31,2	50,3

\* 12 Fr./GJ = 43,2 Fr./MWh = 50 Fr./100 kg (Öl)

die Elektrizitätsgestehungskosten bei variablem Brennstoffpreis. Anlagen mit Gasturbinen, kombinierten Gas-Dampfturbinen und Kolbenmotoren zeigen die gleiche Tendenz. Je kleiner die Elektrizitätsgestehungskosten, desto besser sind die wirtschaftlichen Aussichten für die Erstellung eines Heizkraftwerkes anstatt eines Heizwerkes. Die gleiche Kalkulation ergibt für eine Anlage mit Leichtwasserreaktor die in Tabelle 3 aufgeführten zulässigen Beschaffungskosten der elektrischen Ersatzenergie bei variablem Brennstoffpreis und variablen Wärmetransportkosten. Je höher die berechneten Werte liegen, desto besser sind die wirtschaftlichen Aussichten der Wärmeauskoppelung.

Der Vergleich von Tabelle 1 und 2 zeigt, dass die Tendenzen mit zunehmendem Brennstoffpreis gegenläufig sind. Dies bedeutet, dass mit zunehmendem Brennstoffpreis und gleichbleibendem Elektrizitätspreis die Gegendruckanlagen (sowie Gasturbinen, kombinierte Gas-Dampfanlagen und Kolbenmotoren) weniger wirtschaftlich arbeiten. Wenn bei Wärmeentnahme aus einer Leichtwasserreaktoranlage die zulässigen Elektrizitätsbeschaffungskosten gleich bleiben und die fossilen Brennstoffpreise steigen, wird die Wärmeentnahme aus einem Kernkraftwerk wirtschaftlicher. Die Wirtschaftlichkeit der Wärmeentnahme hängt jedoch auch von den Transportkosten ab.

Ob Wärme-Kraft-Kopplungsanlagen wirtschaftlich sind oder nicht, kann nicht allgemein vorausgesagt werden. Jedoch können die folgenden allgemeinen Feststellungen gemacht werden:

- Wenn zu erwarten ist, dass die Kosten für fossile Brennstoffe schneller ansteigen als die Kosten für die Erzeugung von elektrischer Energie, dann sind die langfristigen Aussichten für Anlagen mit Gegendruckturbinen, Gasturbinen, kombinierten Gas-Dampfturbinen und Kolbenmotoren ungünstig.
- Bei Wärmeentnahme aus einem Kernkraftwerk sind die Verhältnisse umgekehrt. In diesem Fall verursachen steigende Kosten für fossile Brennstoffe eine starke Verbesserung der Wirtschaftlichkeit bei gleichbleibenden Elektrizitätskosten. Die Wärmetransportkosten zum örtlichen Fernwärmenetz müssen jedoch berücksichtigt werden.

## Umweltfaktoren

In der Studie werden nur die *Emissionen aus Heizkraftwerken* behandelt. Für die Auswirkungen auf Menschen, Tiere, Pflanzen und die Umwelt sind aber vor allem die Immissionen wichtig. Die nachstehenden Folgerungen wurden aufgrund der Emissionen formuliert.

Die Zusammenstellung der spezifischen Schadstoffemissionen hat gezeigt, dass zwischen den Extremwerten ein *grosser Streubereich* besteht. Systematische Messungen sind für alle Anlagentypen noch nicht durchgeführt oder aber noch nicht veröffentlicht worden.

Bei kleineren, fossilbefeuerten Heizkraftwerken im Stadtgebiet wie Gegendruckturbinen, Gasturbinen, kombi-

nierten Gas-Dampfturbinen und Kolbenmotoren sind die Emissionen wegen der gleichzeitigen Elektrizitätserzeugung *im Versorgungsgebiet* grösser als bei Heizwerken mit derselben thermischen Leistung. Heizkraftwerke mit Kolbenmotoren erzeugen grosse Schadstoffmengen, insbesondere Stickoxide NO<sub>x</sub>. Die Verwendung von Erdgas als Brennstoff ergibt bei allen Heizkraftwerken die vorteilhaftesten Emissionswerte.

Die Wärmeentnahme aus einem vorhandenen Kernkraftwerk verursacht keine zusätzlichen Emissionen an dessen Standort, die entstehende Produktionseinbusse an elektrischer Energie muss jedoch durch andere Kraftwerke mit entsprechenden Emissionen gedeckt werden.

Die möglichen Lärmemissionen aus Heizkraftwerken müssen bei der Standortwahl beachtet werden. Durch konstruktive Massnahmen und Schallisolation können Lärmemissionen im Normalbetrieb ziemlich tief gehalten werden. Unvermeidlich sind jedoch Geräusche, die ausserhalb des Kraftwerkgebietses Lärm verursachen, wie zum Beispiel Dampfausblasen nach einer Turbinenabschaltung sowie der eventuelle Kohleumschlag. Die Entfernung zum nächsten Wohngebiet wird in der Regel einige hundert Meter betragen.

Vom Standpunkt der *Schadstoff-Emissionen* im Stadtgebiet her wäre die beste Lösung für die Fernwärmeproduktion:

- erste Aufbauphase mit erdgasbefeuerten Heizwerken,
- späterer Anschluss an eine Fernwärmetransportleistung, bei der die Wärme aus einem grösseren thermischen Kraftwerk stammt (fossil oder KKW), wenn dieses ohnehin vorhanden ist.

Eine endgültige Aussage über die Umweltbelastung mit Wärme-Kraft-Kopplung kann nur auf Grund von Immissionsrechnungen gemacht werden.

*Wärme-Kraft-Kopplung in nuklearen und konventionellen Anlagen.* Studie Nr. 22 aus der Schriftenreihe des Bundesamtes für Energiewirtschaft. Ausgearbeitet durch das Eidg. Institut für Reaktorforschung, Abt. Wärmetechnik, im Rahmen der Arbeiten der Eidg. Abwärmekommission. 327 Seiten, Maschinenschrift, zahlreiche Abbildungen und Diagramme. Preis: Fr. 28.-. Vertrieb: Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale, 3000 Bern.