

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 92 (1974)
Heft: 44: Zum Thema Energieversorgung; 100 Jahre Technikum Winterthur

Artikel: Städteheizung und Energieversorgung mittels Fernheizkraftwerken
Autor: Deuster, Gerhard
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-72501>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 21.12.2024

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

Städteheizung und Energieversorgung mittels Fernheizkraftwerken

Von Dipl.-Ing. G. Deuster, Oberhausen¹⁾

DK 621.4:662.6:697.34

Über den Wärme- und Energiebedarf

Vor über 12 Jahren, als ich vor der Sektion Zürich des SIA ein Referat über den Einsatz der Heissluftturbine in der Heizkraftwirtschaft gehalten habe, kam ich zum Schluss, dass die Heizkraftwirtschaft in der Schweiz, wenn man sie nur von der Strombedarfsdeckung her sieht, eine mehr als untergeordnete Rolle spielen würde [2]. Zu dieser Zeit lag der Anteil der thermischen Elektrizitätserzeugung unter 10% der Gesamtbereitstellung. Die kostengünstigen Wasserkräfte ermöglichten, die relativ billige elektrische Energie auch zu Heizzwecken anzubieten. Dennoch vertrat ich die Auffassung, dass der Heizkraftwirtschaft unter nationalökonomischen Gesichtspunkten und insbesondere als Beitrag zum Umweltschutz eine wichtige Aufgabe zukommen müsste. Dies gilt heute in verstärktem Masse.

Da die natürlichen Wasserkräfte zumindest in Europa weitgehend ausgenutzt sind, muss der zusätzliche Energiebedarf in Zukunft aus thermischen Kraftwerken gedeckt werden. Mitte der fünfziger Jahre setzte ein Ölboom ein; Westeuropa wurde mit billigem Öl aus dem Vorderen und Mittleren Osten geradezu überschwemmt. In welche Abhängigkeit wir alle damit geraten sind, hat uns die Energiekrise gezeigt. Diese hat auch ihre positiven Seiten, denn die Bestrebungen, die uns zur Verfügung stehenden Primärenergien möglichst wirtschaftlich umzuwandeln und optimal auszunutzen, sind dadurch gestärkt worden.

Voraussetzungen für die Fernwärmeversorgung

Ähnliche Bedarfswerte wie in der Schweiz sind, soweit es sich um den Wärmebedarf für Raumheizung und Gebrauchswassererwärmung handelt, für einzelne Stadtregionen auch in Deutschland ermittelt worden. Nach H. Schäfer wächst der Energieverbrauch um 4,6% je Jahr. Für den Haushalt ist mit einer Steigerungsrate von etwa 7% zu rechnen. Haushalte und Kleinverbrauch werden zum wichtigsten Endenergieverbraucher mit einem Anteil im Jahre 1960 noch von 36%, 1970 44%, der 1980 auf über 50% ansteigen soll. Davon entfallen etwa 85% auf Wohnungen.

An der Bedarfsdeckung war im Jahre 1970 die Fernwärme jedoch nur mit rund 4% beteiligt. Auf der Stromseite kamen damals 13% der öffentlichen und 21,5% der Gesamtstromerzeugung der Bundesrepublik Deutschland (BRD) aus der Heizkraftkopplung. Einer Abschätzung von Beck und Göttling zufolge könnte theoretisch auch der gesamte Heizwärmebedarf der BRD durch Heizkraftkopplung gedeckt werden.

Unter der Voraussetzung, dass bei einer minimalen Wärmeverbrauchsichte von 15 Gcal/km²·h und einer je Werk zu installierenden Wärmeleistung von mindestens 15 Gcal/h die Wärmelieferung durch ein Fernheizkraftwerk erfolgen sollte,

liessen sich nach der vorgenannten Schätzung rund 42% des Wärmebedarfs für Raumheizung und Warmwasserbereitung der BRD aus Heizkraftwerken decken. Abschätzungen über den Wärmebedarf der Industrie sind wesentlich schwieriger durchzuführen. Jedoch kann man feststellen, dass die Möglichkeiten der Kraft-Wärme-Kopplung in diesem Bereich schon stärker Anwendung findet. Der Einsatz von Kernenergie vor allem für Prozesswärme dürfte dabei besonders interessant werden. Entsprechende Untersuchungen und Planungen liegen bereits vor.

Die Fernheizung und insbesondere die zentrale Wärmeversorgung ist zwar noch ein relativ junger Zweig der Energieversorgung. Trotzdem bestanden in Deutschland schon im Jahre 1939 27 Heizkraftwerke, 1962 aber waren zur Zeit meines damaligen Vortrags 60 Heizkraftwerke in Betrieb. 1962 gab es 40 Fernheizwerke (Werke mit reiner Frischwärmeversorgung). Ich gab damals an, dass weitere 200 ernsthafte Projekte bekannt wären. Die Fernwärmeversorgung hat sich jedoch in den letzten Jahren stürmisch entwickelt. So gibt es heute in der Bundesrepublik 107 Heizkraftwerke. Daneben ist die Zahl der reinen Fernheizwerke, die meistens eine relativ kleine Leistung haben, auf 700 angestiegen. Die Trassenlänge sämtlicher Wärmeverteilungsnetze dürfte mittlerweile 5000 km erreicht haben.

Es muss hervorgehoben werden, dass Heizkraftwerke und Fernheizung kein Vorrecht grosser Städte, sondern auch für mittlere und kleinere Städte von Bedeutung sind. Dabei ist die Grösse einer Stadt und die dort betriebene Fernheizung keineswegs verhältnismässig zueinander.

Dass die Fernheizung noch jung ist, ergibt sich zweifellos daraus, dass bis 1950 in Deutschland der Anteil der Wohnungen mit Einzelöfen 95% betrug. Heute ist er auf unter 70% zurückgegangen. Nach einer Untersuchung privater Bausparbanken werden in der Bundesrepublik mehr als die Hälfte aller Neubauwohnungen mit Zentralheizung ausgestattet. Auch im sozialen Wohnungsbau werden heute weitgehend die neuerstellten Wohnungen bereits mit solchen Anlagen versehen. Es hat sich also die Überzeugung durchgesetzt, dass eine Zentralheizung nicht nur hohen Wohnkomfort bedeutet, sondern auch wirtschaftlicher ist als Einzelöfen gleicher Wärmedarbietung.

Neben diesen ersten Voraussetzungen für die weitere positive Entwicklung der Fernheizung muss auch der ständig steigende spezifische Heizwärmebedarf betrachtet werden. Vor dem Ersten Weltkrieg rechnete man auf Grund der besonders wärmesparenden Bauweise mit einem spezifischen Wärmebedarf von rund 15 kcal/m³·h. Dieser Wert stieg bis zum Zweiten Weltkrieg auf rund 40 kcal/m³·h an. Heute sind Bauten von 100 kcal/m³·h bekannt. Diese Tatsache ist vor allem auch im Hinblick auf die Tendenz zu sehen, dass wegen der gestiegenen Baukosten die durchschnittliche Wohnfläche je Wohnung in Neubauten wesentlich geringer ist als in Altbauten und dadurch meist alle Räume bewohnt und beheizt werden.

¹⁾ Vortrag, gehalten in Zürich, anlässlich der Tagung «Technik für den Menschen» der SIA-Fachgruppen der Ingenieure der Industrie (FII) und für Verfahrenstechnik (FGV) am 22. und 23. Februar 1974.

Möglichkeiten der Wärmebedarfsdeckung

Bei der Beurteilung der Zukunftsaussichten der Fernheizung muss man auch den Strukturwandel bei der Gasversorgung (Erdgas) und das verstärkte Vordringen der Elektro-Speicherheizung betrachten.

Bezüglich der Probleme der Luftverschmutzung und der Gefährdung des Grundwassers kann man sowohl die Gas- als auch die Elektroheizung als gleichwertig im Vergleich zur Fernheizung ansehen. Verschiedentlich werden daher in der Literatur heute bereits diese beiden Heizungsarten ebenfalls unter dem Begriff der Fernwärmeversorgung eingeordnet, obwohl die eigentliche Energieumwandlung in Wärme erst beim Verbraucher erfolgt. Die Gas- und die Elektroheizung weisen vor allem auf jenen Gebieten grosse Zuwachsraten auf, die durch eine Fernheizung mangels genügender Wärmeabsatzdichte nicht erschlossen sind.

Der Vorschlag, nachts durch den Betrieb elektrischer Speicherheizungen die Lasttäler auszufüllen, geht vor allem von den grossen Stromerzeugungsunternehmen mit schwacher Nachtbelastung aus. Auch unter Zugrundelegung der Zuwachskostenrechnung sind hier die dem Abnehmer berechneten Kosten höher als bei den üblichen Fernheizungstarifen.

Die eigentliche Problematik der elektrischen Heizung liegt auf der Verteilerseite. Untersuchungen in Mannheim haben ergeben, dass an kalten Wintertagen nur ein sehr geringer Prozentsatz der vorhandenen Wohnungen aus dem Nachttal versorgt werden könnte. Je nach der bereits vorhandenen Nachtbelastung und je nach dem Zustand des Netzes könnte man nur etwa 10 bis 20% aller Wohnungen mit Nachtspeicherheizungen ausrüsten. Darüber hinaus wären weitere Investitionen erforderlich, soweit die Netze für eine Vollelektrifizierung, also für Lastspitzenanteile von rund 2 kW je Wohnungseinheit, bemessen sind.

Die oft zitierten amerikanischen Verhältnisse sind wegen der abweichenden Klimabedingungen auf hiesige Verhältnisse nicht übertragbar. In den USA ist man bemüht, die Zahl der elektrisch vollbeheizten Wohnungen zu steigern. Es handelt sich dabei aber um eine Direktbeheizung, also keine Speicherheizung, da infolge der dortigen klimatischen Verhältnisse und der weit verbreiteten Klimaanlage die Lastspitzen im Netz meist im Sommer liegen. Die Kombination Heizung-Kühlung ergibt somit in den USA günstigere Ausgangsbedingungen. Demgegenüber wird z.B. in Deutschland die elektrische Heizung nur in begrenztem Umfang möglich sein. Meine Schätzungen gingen schon vor 10 Jahren davon aus, dass der Anteil der elektrischen Heizung am Gesamt-Raumwärmebedarf aus technischen Gründen nicht über 10% hinausgehen dürfte. Der Bundesdurchschnitt liegt heute bei etwa 7%, wobei ein betriebswirtschaftlicher Sättigungsgrad schon erkennbar ist.

Aber auch der Fernheizung sind Grenzen gesetzt. Sie beschränkt sich im wesentlichen auf Gebiete mit hoher Wärmedichte, was in der Regel nur in Städten zutrifft. Das geht aus einer Reihe von technischen Beispielen und Untersuchungen über die Deckung des Wärmebedarfs hervor.

Die Stadtwerke Bielefeld haben über die Wärmeversorgung eingehende Untersuchungen angestellt. Die Fernwärmeversorgung deckt hier bereits 26% des gesamten Raumwärmebedarfs einschliesslich Industrie. Weiterhin ist interessant, dass 1970 bereits 54% des Raumwärmebedarfs über leitungsgebundene Energieträger gedeckt wurden. 1980 sollen es bereits 85% sein. Auf Grund dieser Untersuchungen wurde ein Modell für die Raumwärmeversorgung über leitungsgebundene Energieträger entwickelt, das in Kurzfassung etwa wie folgt lautet: Liegt der Wärmebedarf eines zu versorgenden Gebietes über 40 Gcal/h·km², so wird dieses Gebiet für Fernheizung erschlossen, liegt es zwischen 7 und

30 Gcal/h·km², dann sollte die Raumwärmeversorgung weitgehend über Erdgas und, soweit es die elektrischen Netzverhältnisse zulassen (bis rund 12%), über Nachtstrom erfolgen. In Gebieten mit noch geringerem Wärmebedarf ist nur die Nachtspeicherheizung anzubieten.

In Mannheim werden zur Zeit rund 43% der Wohnungen über leitungsgebundene Energieträger versorgt, nämlich 25% durch Gas, 1,5% über Nachtspeicherheizung und 16,5% über Fernheizung, wobei es sich bei Strom und Gas zum Teil nur um Teilbeheizungen der Wohnungen handelt. Nach unseren Berechnungen in Oberhausen (250 000 Einwohner) decken wir mit der Fernwärmeversorgung in Alt-Oberhausen bereits rund 19%, mit der Gasheizung rund 9% und mit Strom rund 2% des Raumwärmebedarfs.

Vergleichszahlen mit anderen Grossstädten in Deutschland, und erst recht mit Städten im nordischen Raum, sind insofern problematisch, weil die Struktur der Stadt Oberhausen keine typische City-Bebauung aufweist und so eine schlechtere Wärmedichte gegeben ist. In der DDR rechnet man damit, dass 1980 18% der Wohnungen über Fernwärme versorgt werden, in Dänemark wird bereits heute 30% des Raumwärmebedarfs über Fernheizung gedeckt.

Beim Trend zu Kraftwerken mit immer grösseren Einheiten und den damit verbundenen erheblichen Degressionen in den Anlagekosten stellt sich auch von daher die Frage, ob die Heizkraftwirtschaft dann noch eine betriebswirtschaftliche Existenzberechtigung hat. Die gleiche Frage gilt auch für die Entwicklung im Kraftwerksbau mittels Atomenergie, nachdem diese bereits begonnen hat, die Schwelle der wirtschaftlichen Nutzung zu überschreiten.

Die Leistungseinheiten bei Heizkraftwerken betragen selten mehr als 50 MW, da die elektrische Leistung weitgehend vom Wärmeabsatzgebiet abhängt. Heizkraftwerke sind nämlich typische Beispiele für die dezentralisierte Stromerzeugung. Dementsprechend wurden in grösseren Städten wie München und Hamburg mehrere Heizkraftwerke gebaut. Darüber hinaus zeigt eine Reihe praktischer Beispiele, dass gerade in Verbindung mit der Fernwärmeversorgung hier noch ein weites Betätigungsfeld für kleinere und mittlere Unternehmen liegt, die Strombeschaffungskosten mittels Eigenerzeugung im Kraft-Wärme-Kopplungsprozess günstig zu beeinflussen.

Thermodynamische Grundlagen der Kraft-Wärme-Kopplung

Nach einem Vorschlag von Z. Rant sollte man die unbeschränkt umwandelbare Energie als Exergie und die nicht umwandelbare Energie als Anergie bezeichnen. Bei der Kraft-Wärme-Kopplung entstehen aber zwei Produkte mit unterschiedlicher Wertigkeit. In erster Annäherung kann man die gewonnene elektrische Energie als reine Exergie betrachten. Die Abwärme aus der reinen Kondensationsdampfturbine ist nach der vorgenannten Definition als Anergie anzusehen, da die noch vorhandene innere Energie mit der Umgebung weitgehend im Gleichgewicht steht und damit ihre Umwandlungsfähigkeit verloren hat.

Die für den Kopplungsbetrieb angewandten Turbinengattungen (Gegendruck- und Entnahmekondensationsturbinen sowie die Gasturbinen im offenen und geschlossenen Kreislauf) unterscheiden sich unter anderem durch die unterschiedliche Exergie und Anergie des zweiten Produkts Wärme. Dessen Wertigkeit wird also in starkem Masse vom Anteil der Exergie bestimmt. Bei Dampfturbinen besteht weitgehend eine lineare Abhängigkeit zwischen den Koppelprodukten Strom und Wärme. Wird zum Beispiel der Wärme ein höherer Exergieanteil gegeben, so mindert sich die elektrische Exergie. Neben dieser Betrachtung muss als weiteres Kriterium für die Beurteilung der einzelnen Kraft-

Wärme-Kopplungsprozesse die zeitgleiche unterschiedliche Bedarfsanforderung für Strom und Wärme gesehen werden.

Bei der Diskussion der verschiedenen Variationsmöglichkeiten für die Heizkraftwerk bemessung ist die Bewertung der unabhängig vom Heizwärmebedarf zur Verfügung stehenden elektrischen Leistung als weiterer Parameter einzuführen. Zunächst kann man aber festhalten, dass bei der gekoppelten Strom-Wärme-Erzeugung die Wärme zunächst auf möglichst hohem Temperaturniveau, d.h. mit grossem Exergieanteil erzeugt wird. In einer ersten Stufe des Umwandlungsprozesses wird die Exergie in Elektrizität umgewandelt, die Restwärme hat noch Exergie, die nutzbar gemacht werden kann. Der Brennstoffaufwand für diese Restwärme ist aber geringer als bei getrennter Erzeugung von Strom und Wärme.

Der über die Heizperiode gemittelte Brennstoffaufwand für die Wärmeerzeugung einer Stadtheizung führt nur zu einer Erhöhung von 25% bei der Erzeugung in einem Heizkraftwerk gegenüber dem Brennstoffaufwand in Einzelfeuerungsanlagen. Die Wärmebereitstellung in einem Heizkraftwerk verringert unter entsprechenden Voraussetzungen den Brennstoffeinsatz auf weniger als $\frac{1}{4}$ des Wertes bei getrennter Erzeugung. Entsprechend lassen sich die Brennstoffimporte und die Luftverschmutzung – nicht zuletzt wegen der möglichen Rauchgasreinigung – verringern und verursachen daher eine wesentlich geringere Umweltbelastung.

Gesichtspunkte für den Entwurf von Heizkraftwerken

Die Grösse eines Heizkraftwerks ist, abgesehen vom Bedarf an Elektrizität und Wärme, auch abhängig von äusseren Gegebenheiten, wie Platzbedarf, Möglichkeiten von Brennstoff- und Rückstandstransporten, zulässige Belästigung von Anwohnern und nicht zuletzt vom wirtschaftlichen Versorgungsradius für die Fernwärme. Entwurf und Betrieb eines Heizkraftwerks werden darüber hinaus bei fremdstrombeziehenden Unternehmen von den Vertragsbedingungen stark beeinflusst.

Grundsätzlich lassen sich alle Arten von Kraftwerken (Bild 1) so gestalten, dass sie der Aufgabe gleichzeitiger Strom- und Wärmeerzeugung gerecht werden. Heizkraftwerke wurden früher ausschliesslich mit Gegendruck- oder Entnahmekondensationsturbinen gebaut. Die Elektrizitätserzeugung mittels Gegendruckturbine ist direkt abhängig von der Wärmenachfrage. Bei Entnahmekondensationsanlagen kann das Verhältnis des Strom- zur Heizwärmeerzeugung verschieden gewählt werden. Es wird durch das Dampfdurchsatzverhältnis von Hoch- und Niederdruckteil der Turbine bestimmt. Grosses Schluckvermögen des Hochdruckteils verursacht absinkende elektrische Leistung bei Rückgang der Fernwärmenachfrage. Geringes Schluckvermögen dagegen führt zu einem Absinken bei hoher Fernwärmebelastung. Ferner gestaltet sich die Planung insofern schwierig, als die günstigsten Bemessungspunkte im voraus wegen der oft unbestimmten Entwicklung der Fernwärmeabgabe schwer zu bestimmen sind. Beiden Dampfturbinentypen ist gemeinsam, dass Wärme jeglicher thermodynamischen Qualität bereitgestellt werden kann, nämlich sowohl Dampf für Fabrikations- und Heizzwecke wie auch Heiz- und Warmwasser.

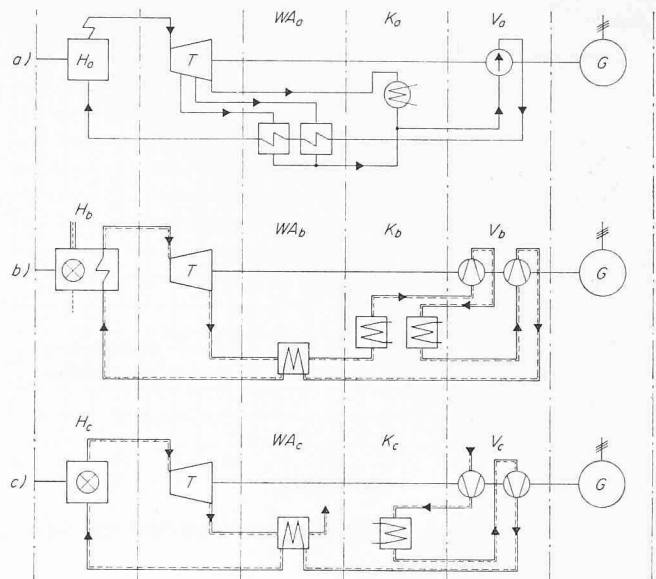


Bild 1. Grundsätzliche Anordnung von Dampfturbinen- und Gasturbinenanlagen

- a) Dampfturbinenanlage
- b) Gasturbinenanlage mit geschlossenem Kreislauf
- c) Gasturbinenanlage mit offenem Kreislauf
- H_a Kessel, H_b Lufterhitzer, H_c Brennkammer, T Turbine
- W_a Speisewasservorwärmer, W_b und W_c Wärmeaustauscher
- K_a Kondensator, K_b Vorkühler und Zwischenkühler, K_c Zwischenkühler
- V_a Speisewasserpumpe, V_b und V_c Verdichter, G Generator

Bei Heizkraftwerken auf Gasturbinenbasis kann die offene oder geschlossene Bauart verwendet werden. Die im Stromerzeugungsprozess nicht mehr abbaubare hohe Turbinenabgastemperatur von etwa 350 °C ist mittels Abhitzekeessel zur Fernwärmebereitstellung verwendbar; und zwar sind sowohl Niederdruckdampf wie auch Heisswasser lieferbar. Für den Sommerbetrieb sind in einigen Werken auch zusätzlich zur Verbesserung des Wirkungsgrads Luftvorwärmer in den Abgasstrom eingebaut worden. Das Gasturbinen-Heizkraftwerk in München-Sendling besitzt im Gegensatz zum Heizkraftwerk «Neue Vahr» in Bremen einen solchen Vorwärmer.

Die geschlossene Gasturbine, die hauptsächlich unter dem Namen «Heissluftturbine» bekannt wurde und nach dem «Ackeret-Keller-Prozess» arbeitet, eignet sich in besonderem Masse zur gekoppelten Strom-Wärme-Erzeugung. Bei diesem Prozess wird die bei der Kompression anfallende Wärme und ein Teil der Turbinenabwärme zur Fernheizung verwendet. Ebenso wie bei der offenen Gasturbine ist die elektrische Leistung unabhängig von der Fernwärmebereitstellung. Heizkraftwerke mit Heissluftturbinen arbeiten unter anderem in Coburg, Ravensburg (100 000 Betriebsstunden) und Oberhausen (85 000 Betriebsstunden).

Bei der geschlossenen Gasturbine können durch die Steigerung der oberen Prozesstemperatur hohe Wirkungs-

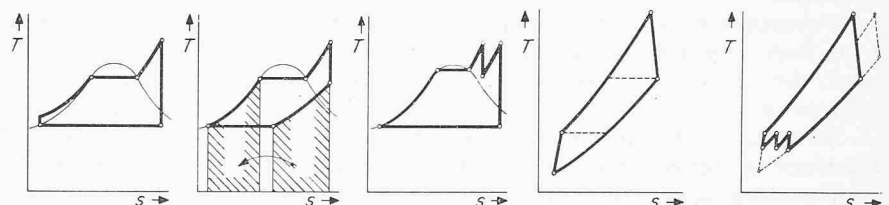


Bild 2. Dampfkraftprozess und geschlossener Gasturbinenprozess im T,s-Diagramm

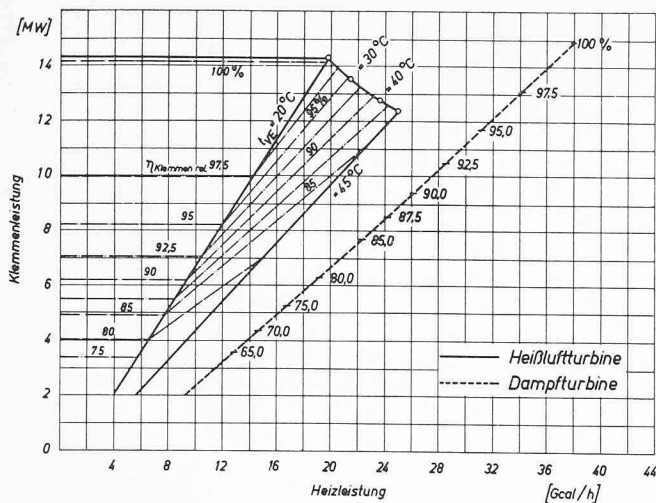


Bild 3. Kennlinien einer geschlossenen Gasturbinen- und einer Gegen-druckdampfturbinenanlage

grade erzielt werden. In Bild 2 sind links aussen der einfache Prozess nach Clausius-Rankine, anschliessend die Verbesserung durch regenerative Speisewasservorwärmung und danach die Einführung der Zwischenüberhitzung dargestellt. Der vierte Kurvenzug beschreibt den einfachen geschlossenen Gasturbinenprozess, der durch mehrfache Zwischenkühlung bzw. Erhitzung verbessert werden kann (rechts aussen).

Aus dem Kurvenverlauf des Dampfkraftprozesses geht hervor, dass der grössere Teil der Wärmezufuhr bei verhältnismässig niedriger Temperatur verläuft. Im T_s -Diagramm erscheinen bekanntlich Wärmemengen als Flächen unter den entsprechenden Kurven. Der thermische Wirkungsgrad ist definiert als 1 minus abgeführte Wärmemenge durch zugeführte Wärmemenge. Da das Verhältnis von abgeführter zu zugeführter Wärmemenge auch bei deutlicher Anhebung der Frischdampf Temperatur nicht mehr wirksam zu beeinflussen ist, kann der Wirkungsgrad des Dampfkraftprozesses nicht mehr wesentlich gesteigert werden.

Haben sich auch alle vorerwähnten Kraftwerkstypen von der technischen Seite her bewährt, so sind in jedem einzelnen Anwendungsfall unterschiedliche Faktoren für die Wahl des einen oder anderen Typs massgebend. Neben der Struktur des Strom- und Wärmeversorgungsgebiets – z. B. zeitliche Differenz von Strom- und Wärmespitze – muss insbesondere die gesamte Strombeschaffung aus Eigenerzeugungsanlagen und durch Fremdbezug genau untersucht werden. Da bei kleinen und mittleren Werken der Heizkraftwerkstrom an der Gesamtbereitstellung einen massgeblichen Anteil erreichen kann, müssen die Anlagen wegen ihrer grossen Bedeutung besonders sorgfältig bemessen werden. Gegendruckturbinen, bei denen die elektrische Leistung direkt vom Wärmebedarf abhängt, lassen sich nur dann günstig in die Strombeschaffung einordnen, wenn zum Ausgleich weitere fernwärme-unabhängige Stromerzeugungsanlagen, wie z. B. Kondensationsturbinen oder Wasserkraftwerke, vorhanden sind. Stehen keine weiteren Eigenerzeugungsanlagen zur Verfügung, kann nur bei geringen Leistungspreisen für den Strombezug ein befriedigendes wirtschaftliches Ergebnis erzielt werden.

Demgegenüber lassen Entnahmekondensationsmaschinen in der Regel eine hohe Bewertung der installierten Leistung zu, da diese nahezu unabhängig von der Wärmenachfrage verfügbar ist.

Bei einfachem technischem Aufbau verbindet die offene Gasturbine geringe Anlagekosten mit vergleichsweise schlechtem Wirkungsgrad und damit hohen Brennstoffkosten. Wäh-

rend der Heizzeit werden die Brennstoffausnutzung und der Gesamtwirkungsgrad durch Verwenden der Abgaswärme für die Fernheizung erhöht. In der heizfreien Zeit lassen sich die Abgasverluste durch Einbau eines Brennluftvorwärmers verringern, wobei jedoch der Vorteil geringer Anlagekosten teilweise verloren geht. Die schnelle Betriebsbereitschaft wird in der Regel eine hohe Bewertung erlauben, zumal eine Aufteilung der Leistung auf zwei Maschinensätze meist ohne allzu grossen Aufwand möglich ist.

Die geschlossene Gasturbine ermöglicht durch ihre technische Eigenart einen vielfältigen Einsatz im Heizkraftwerk. Sie eignet sich besonders zur Versorgung von Gebieten, die Raumheizungswärme und Gebrauchswarmwasser benötigen. Über lange Einsatzzeiten im Jahr hin können elektrische Leistungen abgegeben werden, die unabhängig von der Fernwärmenachfrage sind, Bild 3. Zu Zeiten von Spitzenwärmebelastung ermöglicht eine besondere Schaltung die Erhöhung der Fernwärmeausbeute auf das Doppelte, unter gleichzeitigem Absinken der elektrischen Leistung um lediglich 20%.

Die Kostenstruktur des Heizkraftwerks mit geschlossener Gasturbine ist charakterisiert durch den hohen Anteil an Kapitalkosten und der infolge des günstigen Wärmeverbrauchs auch im Teillastbetrieb geringen Brennstoffkosten. Die Versorgung mit Fernwärme verursacht lediglich zu Zeiten der Spitzenwärmeabgabe einen zusätzlichen Brennstoffverbrauch. Dieser Maschinentyp eignet sich demgemäss besonders für Grundlastbetrieb mit hoher Jahresbenutzungsdauer.

Über das Heizkraftwerk Oberhausen

Bei den Überlegungen zum Bau eines zweiten Heizkraftwerks wurden die Erzeugungskosten im Heizkraftwerk mit Dampfturbinen und Gasturbinen offener und geschlossener Bauart erneut untersucht. Dabei ging man davon aus, dass alle Turbinentypen in ihrer technischen Eignung als gleichwertig anzusehen sind. Grundsätzliche Unterschiede bestehen jedoch in der Abhängigkeit des Wärmeverbrauchs, einmal vom Lastzustand, Bild 4, zum anderen von der Heizwärmebelastung Bild 5. Die Entscheidung fiel wiederum zugunsten einer geschlossenen Gasturbine aus. Lediglich das bisher eingesetzte Arbeitsmittel Luft wird ersetzt durch Helium. Im Bau befindet sich nunmehr eine 50-MW-Helium-Gasturbine, die neben ihren kommerziellen Aufgaben als Heizkraftwerkmaschine auch die Funktion einer Forschungs- und Versuchsanlage hat. Diese erste Heliumturbinenanlage, die von der Gutehoffnungshütte gebaut wird, ist integriert in das vierte Atomprogramm der Bundesrepublik, und ist als eine wesentliche Komponente für die Entwicklung von Gross-Heliumturbinen in Verbindung mit Hochtemperaturreaktoren zu sehen.

Die Gesamtleitung und Bauleitung dieses Projekts wird von der «Energieversorgung Oberhausen AG» mit wissenschaftlicher Unterstützung des Instituts für Strömungsmaschinen von Professor K. Bammert (Technische Universität Hannover) durchgeführt. Neben der Wahl unter den vorgenannten Heizkraftwerkmaschinen musste bei der Projektierung die Möglichkeit der Abwärmeverwertung aus Müllverbrennungsanlagen in die Betrachtungen mit einbezogen werden. Solche Anlagen haben in erster Linie die Aufgabe, Abfallprodukte schadlos zu beseitigen. Bei deren Bemessung muss man zunächst davon ausgehen, dass sie niemals rentabel, bestenfalls aber wirtschaftlich arbeiten können, d. h. dass man versuchen muss, das Abfallprodukt Wärme optimal einzusetzen. Dazu bietet sich ein Müllverbrennungsheizkraftwerk an.

Wir haben in Oberhausen in der damaligen Kohlenkrise ein Zechenkraftwerk erworben und in ein Müllverbrennungs-kraftwerk umgebaut, wo der gesamte Müll von acht Gemein-

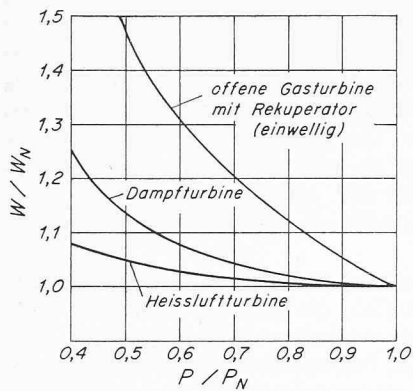


Bild 4 (links). Spezifischer Wärmeverbrauch als Funktion der Last

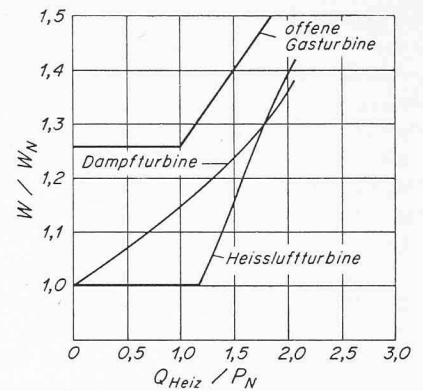


Bild 5 (rechts). Spezifischer Wärmeverbrauch als Funktion der Heizwärmebelastung

den in einem Einzugsgebiet von 1 Million Einwohnern verbrannt wird. Unsere Gesellschaft hat die Planung und Baubetreuung dieser Anlage übernommen. Seit über einem Jahr besorgen wir auch für diesen kommunalen Zweckverband die gesamte technische und kaufmännische Betriebsführung. Die aus dem Müll gewonnene Wärme verwandeln wir in Strom und Dampf. Die elektrische Energie übernehmen wir in unser Stromversorgungsnetz. Mit dem Dampf aus den vorhandenen Gegendruckdampfturbinen versorgen wir einige Industriebetriebe. Im Bau befindet sich eine Entnahme-Kondensationsturbine. Es ist weiter geplant, ein in der Nähe liegendes Gewerbegebiet mit Heiz- und Gebrauchswärme aus der Müllverbrennungsanlage zu versorgen. Darüber hinaus stellen wir eine Verbindung mit dem bereits vorhandenen Stadtheiznetz her, wodurch eine gegenseitige Reservehaltung verwirklicht werden kann. Dieses Beispiel zeigt, dass auch Müllverbrennungsanlagen sinnvoll und wirtschaftlich zur Wärmebedarfsdeckung einer Stadtregion einbezogen werden können.

Fernwärmeversorgung aus Kernkraftwerken

Im Rahmen der Internationalen Vereinigung für Wärmeerzeugung und -verteilung (UNICHAL), der auch die meisten Fernheizkraftwerke in der Schweiz angehören, besteht eine Studienkommission für Nuklearenergie. Als Vorsitzender dieser Kommission habe ich bei den letzten Kongressen über den Einsatz der Nuklearenergie zu Heizkraftzwecken berichtet. Diesen Berichten lagen Untersuchungen zunächst von Stockholm und von Hamburg zugrunde. In Stockholm wurde der Einsatz von Kernenergie in einem Heizkraftwerk untersucht. Ebenso haben die Hamburgischen Elektrizitätswerke den direkten Einsatz von Kernreaktoren für die Fernwärmeversorgung geprüft. Aus den vorgenannten Berichten kann man zusammenfassend feststellen, dass die Wärmeerzeugungskosten fossiler und nuklearer Heizwerke auf der Preisbasis von 1971 in der gleichen Größenordnung liegen. Es ergab sich ferner, dass der Vergleich fossiler und nuklearer Anlagen mit Kraft-Wärme-Kopplung im wesentlichen von den zukünftigen Preisen für fossile Brennstoffe abhängt. Inzwischen sind diese Preise stark angestiegen; die damaligen Feststellungen dürften daher stärker zugunsten der Nuklearenergie ausschlagen. In unserer Kommission war man sich darüber einig, dass die beiden Untersuchungen von Hamburg und Stockholm noch keine endgültige Aussagekraft haben können, weil die Sicherheitsbestimmungen und die damit verbundenen Auflagen für stadtnahe Kernkraftwerke noch nicht abgeklärt sind. Jedoch zeigen beide Studien, dass die Verwendung von Nuklearenergie in Verbindung mit der Fernheizung durchaus zukunftsträchtig ist.

Im letzten Bericht unserer Studienkommission der UNICHAL im Juni 1973, also zu dem Zeitpunkt, als die

Energiekrise noch nicht erkennbar war, kam man zu ähnlichen Feststellungen wie in den Vorjahren. Man war ferner der Auffassung, dass neben den vorgenannten Studien von Stockholm und Hamburg auch die Untersuchungen für die Wirtschaftlichkeit eines Industrieheizkraftwerks zur Prozessdampferzeugung mit in die Überlegungen für Fernwärmebetreiber einbezogen werden müssten. Untersuchungen der BEWAG ergaben zu diesem Zeitpunkt, dass nukleare Wärme schon preisgünstiger als Wärme aus der Verbrennung fossiler Rohstoffe bereitgestellt werden kann und dass sich dieser Unterschied über die Lebensdauer derartiger Anlagen bei steigenden Kosten fossiler Brennstoffe ständig vergrößern wird.

Wieweit Nuklearenergie auch bei der Umwandlung von Stein- und Braunkohle durch Vergasung Bedeutung erlangen wird, mag zunächst dahingestellt sein. Dennoch bin ich der Meinung, dass die daraus gewonnene Energie mit Sicherheit nicht wirtschaftlich zur Strom- und Wärmeerzeugung eingesetzt werden kann, weil diese Prozesse mit zweimaligen Umwandlungsverlusten behaftet sind. Die aus dem Einsatz von Nuklearenergie gewonnenen Sekundärenergien dürften zu wertvoll sein, um sie zur Verbrennung in Kraftwerks- und Wärmekopplungsprozessen einzusetzen.

Umweltbelastung und Umweltschutz

Offensichtlich ist es der weiten Öffentlichkeit noch nicht deutlich genug geworden, dass durch den Einsatz von Nuklearenergie das Problem der Schadstoffe aus der heute üblichen Verbrennung von fossilen Brennstoffen weitgehend gelöst wäre. Relevant sind hier die Hausbrandstellen, die durch Fernwärme ersetzt werden, wodurch rund 2 kg SO₂-Auswurf je im Kernkraftwerk erzeugter Gcal vermieden würden. In den Städten tragen in der Heizperiode die Haushalte aufgrund ihres niedrigeren Emissionsniveaus in hohem Masse zu den CO₂-Immissionswerten bei. Nach einer Untersuchung von Kolar beträgt der SO₂-Immissionsanteil durch Heiztätigkeit zwischen 75 und 81 %.

Wärmeverrechnung

Der Fernheiznetzbetrieb hängt weitgehend vom gewählten Turbinentyp ab. Wie bei allen Netzen für die Energieversorgung tritt auch bei der Fernwärmeversorgung eine wechselnde Belastung durch die Abnehmer auf, und zwar im Tages-, Wochen- und Jahresrhythmus.

Alle Heizkraftwerke mit Dampfturbinen müssen eine gleitende Vorlauftemperatur im Wärmeverteilungsnetz anstreben, um eine möglichst hohe Stromkennziffer bei der Heizkraftkopplung zu erreichen. Das verlangt eine zentrale Regelung der Wärmeabgabe und erfordert eine pauschale Verrechnung der Wärmelieferung. Die Voraussetzung für eine solche Regelung ist allerdings auch eine Frage der Abnehmerstruktur, die einen gleichartigen Verlauf des

Wärmebedarfs bei allen Verbrauchern aufweisen sollte. Eine andere Art der Wärmelieferung wurde in Berlin gewählt: Die vollzentrale Vorlauftemperaturregelung ermöglicht die Versorgung aller Abnehmer mit abweichender Struktur einschliesslich der Warmwasserbereitung. Dabei wurde ein Dreileiternetz aufgebaut mit gleitend geregelter Vorlauf und einem zweiten Vorlauf für alle Sonderabnehmer, die mit konstanter Temperatur gefahren werden müssen. Der dritte Leiter ist ein gemeinsamer Rücklauf.

Gasturbinenkraftwerke ermöglichen dagegen, ohne Beeinflussung der Stromkennziffer eine konstante Vorlauftemperatur anzubieten und gleichzeitig mit variabler Wassermenge zu fahren, d.h. also, auch mit geringeren Umwälzkosten auszukommen. Damit ist eine grössere Übertragungskapazität des Netzes verbunden. Die Speicherfähigkeit des Netzes selbst wird dadurch nicht beeinträchtigt. Dennoch ergeben sich in der Wärmeverbrauchserfassung erhebliche Vorteile. Bei konstanter Vorlauftemperatur ist es möglich, den Wärmeverbrauch nur mittels Warmwassermessung zu erfassen. Gewählt wurde eine Vorlauftemperatur von 110°C und eine Rücklauftemperatur von 40°C.

Betreibt man Fernheizungen mit konstanter Wassermenge und gleitender, einheitlich für das gesamte Versorgungsgebiet geregelter Vorlauftemperatur, so muss man eine so grosse Wärmemenge ins Netz schicken bzw. mit so hohen Vorlauftemperaturen fahren, dass auch der Abnehmer, der die grössten Wärmeansprüche stellt, sei es, dass sein Haus schlecht isoliert ist oder dass er sich nur bei hohen Temperaturen wohl fühlt, in seinen Wärmeansprüchen voll befriedigt werden kann. Das bedeutet also, dass die Mehrzahl der Häuser bei einem solchen System überheizt sind und Wärme verschwendet wird.

Über die in Oberhausen praktizierte Wärmeverrechnung habe ich bereits früher berichtet [2]. Das Verfahren der Warmwassermessung hat sich nach allgemeiner Auffassung in unserem Versorgungsraum als nicht nur praktikabel, sondern auch als erfolgreich erwiesen.

Die Frage der Spitzenlastdeckung durch ein Heizkraftwerk kann durch die Faustformel beantwortet werden, wonach unabhängig vom gewählten Turbinentyp etwa 50% der möglichen Wärmehöchstlast eines Fernheizkraftwerks aus dem Heizkraftkopplungsprozess, die restlichen 50% mittels Frischwärme gedeckt werden sollen. Der Leistungsanteil von 50 bis 100% entspricht lediglich einer Arbeitsmenge von etwa 8 bis 10%. Daraus ergibt sich, dass für Spitzen und Reserven Frischwärme aus Niederdruck- oder Warmwasserkesseln zu verwenden ist. Die Frage der Reservehaltung mittels Warmwasserspeicher spielt in diesem Zusammenhang eine untergeordnete Rolle. Das Fernwärmenetz bietet selbst eine gewisse Speicherkapazität.

Zusammenfassung

Für die Fernheizkraftwerkswirtschaft führen die Gesichtspunkte des Umweltschutzes und der optimalen Ausnutzung der vorhandenen Primärenergien weitgehend identisch zu den gleichen Forderungen. Die Industrie bietet verschiedene Kraftwerkstypen an, die in ihren technischen Anwendungsmöglichkeiten gleichartig sind, jedoch unterschiedliche nationalökonomische und betriebswirtschaftliche Wertigkeiten aufweisen.

Die Technik hat auf dem Gebiete der Heizkraftkopplung Voraussetzungen geschaffen, die geeignet sind, dem Menschen zu dienen. Es liegt an den Entscheidungsgremien, diese Möglichkeiten zu nutzen. Für die Planung von Fernheizkraftwerken können keine allgemeingültigen Rezepte aufgestellt werden. Dennoch seien abschliessend einige allgemeingültige Leitsätze angeführt.

1. Unter dem Zeichen des Umweltschutzes und des optimalen Einsatzes der Primärenergie ist es notwendig, für eine Stadtregion oder ein Versorgungsgebiet zunächst ein Gesamtenergiekonzept zu entwickeln.
2. Die Planung eines Fernheizkraftwerkes muss von der Erzeugung des Stroms und der Wärme bis zum Heizkörperventil in der Wärmeversorgungsanlage als einheitliches Ganzes gesehen werden.
3. Die Einbindung von Müllverbrennungsanlagen zur Wärmebedarfsdeckung kann bei einer Gesamtplanung berücksichtigt werden.
4. Der Einsatz von Nuklearenergie im Rahmen der Fernheizkraftwerkswirtschaft liegt nicht mehr im Bereich reiner Zukunftsbetrachtungen, sondern in Anbetracht der Kostenentwicklung der uns derzeit zur Verfügung stehenden Primärenergien im Bereich des Verwirklichbaren.

Literatur

- [1] P. Beck und D. Goettling: Energie und Abwärme. Berlin 1973. Erich Schmidt-Verlag.
- [2] G. Deuster: Die Heissluftturbine in der Heizkraftwirtschaft und das Heizkraftwerk Oberhausen. «Schweizerische Bauzeitung», 80 (1962), H. 33, S. 571-578.
- [3] G. Deuster: Nukleare Energie in der Fernwärmeversorgung. «Atom und Strom», 17 (1971), H. 10.
- [4] G. Deuster: Müllverbrennung und Energieversorgung. Beitrag in der Dokumentation «Energie», Mannheimer Verlagsanstalt, 1972.
- [5] H. P. Winkens: Energiewirtschaftliche Probleme der Städteheizung. «Praktische Energiekunde», 13 (1965), H. 5.
- [6] H. P. Winkens: Die Wirtschaftlichkeit der Fernwärmeversorgung unter besonderer Berücksichtigung der Kraft-Wärmekopplung. Vortrag an der Tagung über aktuelle Fragen der Fernwärmeversorgung 1969 in Düsseldorf.

Adresse des Verfassers: Dipl.-Ing. Gerhard Deuster, Vorsitzender des Vorstandes der Energieversorgung Oberhausen AG, D-4200 Oberhausen, Danziger Strasse 31, Postfach 714 und 721.

Der Weiterausbau der Kraftwerke Oberhasli

Von Fritz Zingg, Innertkirchen

Hierzu Tafeln 1 und 2 DK 621.221

Einleitung

Der anhaltend steigende Bedarf an Leistung und die Forderung nach Kurzzeitspeicherung anfallender Schwachlast- und Wochenendenergie veranlassen die Kraftwerke Oberhasli AG (KWO) schon seit längerer Zeit, Studien durchzuführen, wie Umwälzanlagen in das bestehende Kraftwerkssystem der KWO sinnvoll und zweckmässig eingegliedert werden könnten. Aus einer Vielzahl von Möglichkeiten, zwischen den Stauanlagen Oberaar-Grimsel-Gelmer-Räterichsboden-Bächli solche Umwälzanlagen zu erstellen, erwies sich diejenige zwischen

den beiden grossen Staueisen Oberaar und Grimsel als zweckmässigste Lösung.

Die Ingenieur-Unternehmung AG Bern (aus der früheren Projektierungs- und Bauleitungsorganisation der Maggia-Blenio KW AG hervorgegangen), welche bereits diesbezügliche Vorstudien durchgeführt hatte, wurde von den KWO beauftragt, ein baureifes Projekt für die Pumpspeichieranlage Oberaar-Grimsel auszuarbeiten. Auf Grund dieses Projektes beschloss der Verwaltungsrat der KWO am 26. Juni 1973 die Erstellung der Umwälzanlage Oberaar-Grimsel.