

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 38 (1947)
Heft: 2

Artikel: Fernheizkraftwerk mit Gegendruckbetrieb
Autor: Moser, P.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1061404>

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: 03.04.2025

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

Fernheizkraftwerk mit Gegendruckbetrieb

Von P. Moser, Bern

621.311.22 : 697.34

Es werden die Eigenschaften eines Fernheizkraftwerkes diskutiert, welches seine Dampfturbinenabwärme an ein Raumheiznetz abgibt. Der Raumheizwärmebedarf wird bei verschiedenen Innen- und Aussentemperaturen behandelt. Es wird auf die günstigen Eigenschaften des Gegendruckbetriebes hingewiesen, die eine verhältnismässig billige Erzeugung von Winterenergie ermöglichen. Der Zusammenhang zwischen der Jahresproduktion und der Zahl der Gradtage wird erläutert.

Die Möglichkeiten einer im Vergleich zum reinen Gegendruckbetrieb erhöhten Erzeugung an Winterenergie durch die Anwendung von Anzapfturbinen und die Ausnützung der im Kondensator anfallenden Abwärme in einem geeigneten Raumheiznetz werden kurz besprochen. Ein Kapitel ist der Verrechnungsart der von Fernheizwerken an Dritte gelieferten Wärme gewidmet, während einige Andeutungen über den mutmasslichen Einfluss der Atomenergie-Maschinen auf die Errichtung von Fernheizwerken und Fernheizkraftwerken den Schluss der Arbeit bilden.

Le présent article traite des particularités d'une usine thermoélectrique livrant la chaleur perdue des turbines à vapeur à un réseau de chauffage à distance. L'auteur examine les quantités de chaleur nécessaires pour le chauffage de locaux pour différentes températures intérieures et extérieures. Il montre les avantages de l'exploitation à contre-pression, qui permet une production d'énergie d'hiver à relativement bon marché.

L'auteur expose, par rapport à une simple exploitation à contre-pression, les possibilités d'une production accrue d'énergie d'hiver par l'emploi de turbines à soutirage de vapeur et par l'utilisation de la chaleur perdue du condensateur par un réseau de chauffage spécial. Un chapitre est consacré au décompte de la chaleur livrée à des tiers par les centrales de chauffage à distance. Pour terminer, l'auteur donne quelques indications au sujet des répercussions que pourraient avoir les machines à énergie atomique sur l'aménagement des centrales de chauffage à distance, avec ou sans production d'énergie électrique.

1. Einleitung

Vor einem Jahrzehnt lagen die Verhältnisse auf dem schweizerischen Energiemarkt für den Verbraucher wesentlich günstiger als heute. Feste und flüssige Brennstoffe konnten zu vorteilhaften Preisen in jeder beliebigen Menge bei guter Qualität eingeführt werden. Einige Elektrizitätswerke hatten Mühe, die anfallende Energie vollständig zu verwerten, so dass ein ansehnlicher Teil davon zum damaligen Kohlenäquivalenzpreis verkauft werden musste. Der Energieexport bildete eine willkommene Absatzmöglichkeit, welche gestattete, den Bau von Wasserkraftwerken mit einiger Stetigkeit durchzuführen, was sich während der Kriegs- und Nachkriegszeit als eine wertvolle Massnahme erwiesen hat.

Wie es heute mit unserer Energieversorgung aussieht, ist uns allen wohlbekannt. Wenn auch die Möglichkeit besteht, Öl und beschränkte Mengen Kohle einzuführen, wäre es unvorsichtig, mit einem Sinken der Preise dieser importierten Energieträger etwa auf den Vorkriegsstand zu rechnen. Es ist gesagt worden, wir hätten während des ersten Weltkrieges infolge übersetzter Brennstoffpreise eine Milliarde Schweizerfranken als Kriegstribut entrichten müssen. Unsere Aussichten dürften nach dem zu Ende gegangenen Kriege mit seinen unvorstellbaren Zerstörungen kaum bessere sein als vor einem Vierteljahrhundert, weil wir trotz der stark entwickelten Elektrifizierung um die Einfuhr einer erheblichen Kohlenmenge nicht herumkommen.

Da wir alle Gründe haben, mit den knappen zu unserer Verfügung stehenden Energieträgern sehr haushälterisch umzugehen, ist es nicht mehr zu früh, bestimmte bei uns bis heute stiefmütterlich behandelte Verfahren häufiger und in weit grösserem Masse als bisher anzuwenden. So haben die gegenwärtigen Notzeiten eine ganze Reihe von Wärmepumpenanlagen erstehen lassen, deren volkswirtschaftlicher Wert nicht nur nach dem Gewicht der eingesparten Brennstoffe mit vorläufig rund 2 % der normalen Einfuhr an Wärmeträgern beurteilt werden darf. Eine weitere Möglichkeit der Verbesserung

unserer Energiewirtschaft bildet das Gegendruckverfahren, welches eine sehr gute Brennstoffausnützung erreichen lässt. Der Gegendruckbetrieb eines Wärmekraftwerkes ist, im Unterschied zum Kondensationsbetrieb, dadurch charakterisiert, dass der die Turbine verlassende Dampf nicht einem Kondensator, sondern einem Wärmeverbraucher (z. B. zur Wärmeübertragung an eine Fernheizanlage) zugeleitet wird [1]¹⁾. Wenn man bedenkt, dass im Ausland seit vielen Jahren zahlreiche Unternehmungen, namentlich Textilindustrien, Papierfabriken, chemische Fabriken, Hüttenwerke, Nahrungsmittelfabriken, Heizkraftwerke usw., die Kupplung der Elektrizitäts- und Wärmeerzeugung mit gutem wirtschaftlichem Erfolg durchzuführen, so sollten wir gründlich untersuchen, ob man bei uns nicht in geeigneten Einzelanlagen oder durch Zusammenschluss von Wärmeverbrauchern ein ähnliches Ergebnis erreichen kann. Die folgenden Ausführungen behandeln die Möglichkeiten eines Gegendruck-Wärmekraftwerkes, dessen Betrieb hauptsächlich von der Raumheizung getragen wird. Dieses Problem wurde von Degen [1] in allgemeiner Form behandelt.

2. Wärmebedarf für Raumheizung

Es ist allgemein bekannt, dass die Aussentemperatur den bestimmenden Einfluss auf die Höhe des Raumheizwärmebedarfes eines Gebäudes ausübt. Die Nebeneinflüsse (Wind, Regen, Nebel und Sonnenschein) und nicht zuletzt die Schwierigkeit, eine bestimmte Innentemperatur einigermaßen genau einzuhalten, bringen es mit sich, dass der tägliche Wärmebedarf für die Raumheizung ziemlich stark streut. In Fig. 1a sind rund 180 derartige Tagesverbräuche einer Gebäudegruppe (Beobachtungen des Verfassers) in Abhängigkeit von der mittleren Aussentemperatur eingezeichnet. Um störende Ungleichheiten auszuschalten, beschränken sich die benützten Werte auf Beobachtungen für Arbeitstage von Montag bis Freitag. Da es sich um Werte aus dem Winter 1937/38 handelt, stammen sie aus

¹⁾ siehe Literaturverzeichnis am Schluss.

einem Zeitabschnitt, welcher nach unseren heutigen Begriffen eine sehr reichliche und langandauernde Heizung der Gebäude erlaubte.

Wenn die Schwankungen der in Frage stehenden Verbrauchswerte für die einzelnen Tage ganz beträchtlich sind, so gleichen sich schon bei der Bildung der Mittelwerte der Fünf-Tage-Wochen die

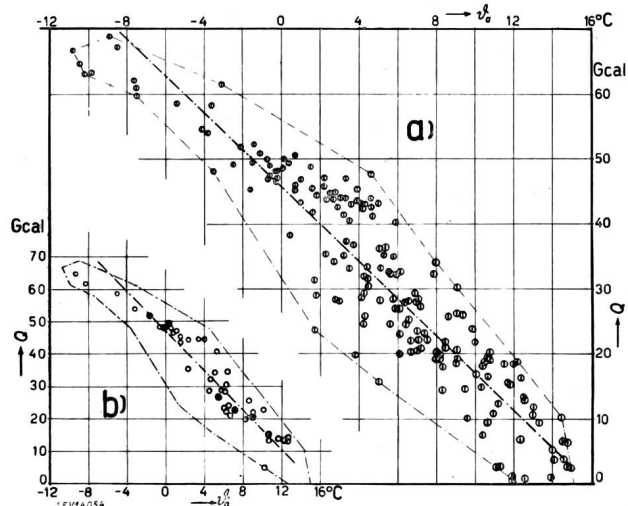


Fig. 1

Raumheizwärmebedarf einer Gebäudegruppe

- a) Messpunkte des täglichen Wärmebedarfs von rund 180 Arbeitstagen (Montag bis Freitag) des Winters 1937/38
- b) Mittelwerte aus a) (o Wochenmittel, ● Monatsmittel)
- Q Wärmemenge [1 Gcal (1 Gigakalorie) = 10⁶ kcal = 10⁹ cal]. ϑ_a mittlere Aussentemperatur des Messtages.

genannten Einflüsse zum Teil aus, wie Fig. 1b zeigt. Die entsprechenden Monatswerte erlauben bereits, die Mittelgerade ziemlich genau einzuzeichnen. In der Fig. 1a wurden die äussersten Punkte durch Gerade verbunden und die hiedurch begrenzte Fläche in Fig. 1b übertragen. Die Betrachtung beider Flächen, sowie der eingetragenen Punkte lässt die Genauigkeitssteigerung bei der Bildung der Wochen- und Monatsmittel im Vergleich zu den Tageswerten deutlich erkennen. Wie man sieht, besteht zwischen der Aussentemperatur und dem ausgeglichenen Wärmeverbrauch im grossen ganzen ein linearer Zusammenhang, was mit der von Hottinger ausgebauten Gradtagtheorie übereinstimmt.

Wenn man unter Zuhilfenahme dieser Theorie die einzelnen Geraden der ausgeglichenen Wärmeverbrauche für verschiedene Innentemperaturen in Abhängigkeit von der Aussentemperatur aufträgt, gelangt man zu Fig. 2a. Fig. 2b entsteht in der Weise, dass die Werte der Fig. 2a entsprechend den langjährigen durchschnittlichen Ortstemperaturen von Bern über eine ganze Heizperiode aufgezeichnet werden. Diese Linienzüge bestehen aus parabelähnlichen Kurven, deren Maxima entsprechend dem Verlauf der Temperaturen der schweizerischen Hochebene zwischen Neujahr und Mitte Januar liegen. Die jedes Jahr in mehr oder weniger ausgeprägter Weise auftretenden Tage besonders niedriger Aussentemperatur kommen in dieser Darstellungsart nicht unmittelbar zum Ausdruck, werden aber später noch kurz behandelt. Bildet man die Summenkurven von Fig. 2b, so entsteht Fig. 2c, der wir

entnehmen, dass z. B. bei 18° C Innentemperatur die durchschnittliche Gebrauchsdauer des Heizanschlusswertes (Raumheizwärmebedarf bei - 20° C Aussen- und + 20° C Innentemperatur mit den üblichen Zuschlägen) in Bern 1200 Stunden im Jahr beträgt, während bei Räumen, welche mit 12° C auskommen (Montagehallen und dergleichen), schon 700 Stun-

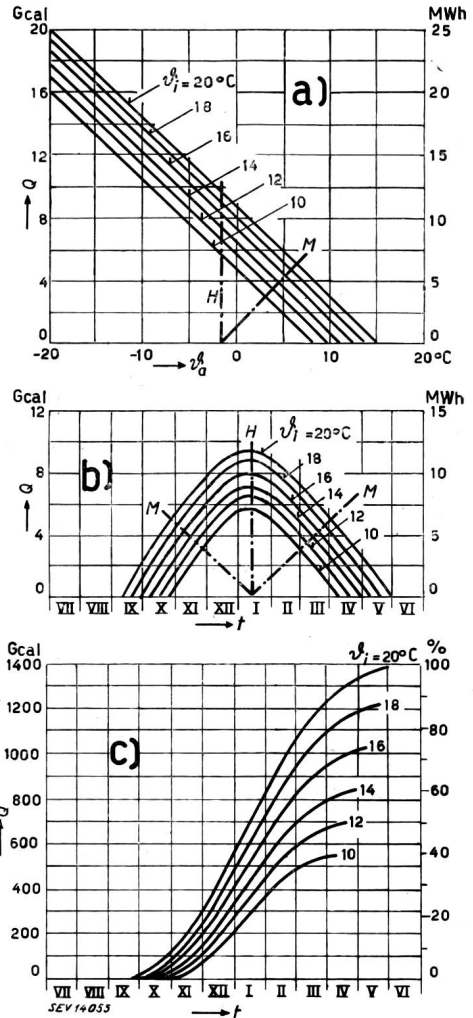


Fig. 2

Ausgeglichenen Raumheizwärmebedarfe bei einem Heizanschlusswert von 1 Gcal/h

- a) Raumheizwärmebedarf in Funktion der Aussentemperatur.
- b) Raumheizwärmebedarf in Funktion der durchschnittlichen Ortstemperatur von Bern während einer Heizperiode.
- c) Summenkurven aus b).
- Q Wärmemenge [1Gcal (1 Gigakalorie) = 10⁶ kcal]. ϑ_a Aussentemperatur. ϑ_i Innentemperatur. t Zeit (Monate). M Mittelwerte. H Höchstwerte.

den im Jahr genügen. Eine ungewöhnlich niedrige Benützungsdauer der Heizeinrichtung weisen die ausschliesslich für den sonntäglichen Gottesdienst benützten Kirchen auf, welche eine Gebrauchsdauer in der Grössenordnung von 100 Stunden im Jahr erreichen.

In Fig. 3 sind die auf einen Heizanschlusswert von 1 Gcal/h (1 Gcal = 10⁶ kcal = 10⁹ kcal) und 18° C Innentemperatur bezogenen ausgeglichenen Wärmelastkurven einer Gebäudegruppe eingetragen. Die Form dieser Kurven lässt das Bestreben erkennen, während der Zeitabschnitte scharfer Kälte

keine Wärmeleistungsspitzen hervorzurufen, um die Kessel mit einer möglichst gleichmässigen Last betreiben zu können. Bei nachlassender Kälte und besonders während der Uebergangsmomente ergeben sich nach Fig. 3 sehr ungleichmässige Wärmelastkurven.

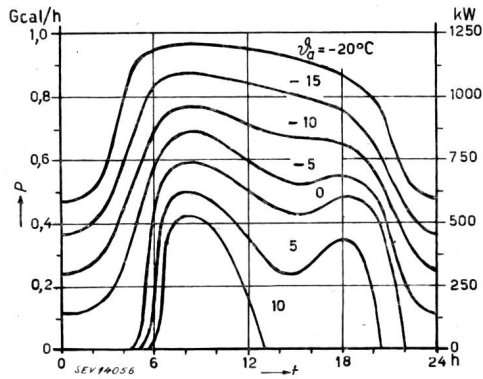


Fig. 3

Wärmeverbrauchskurven für die Raumheizung einer Gebäudegruppe bei einem Anschlusswert von 1 Gcal/h und einer Innentemperatur von 18° C

P Wärmeleistung, t Zeit, θ_0 Aussentemperatur.

Es leuchtet ein, dass man je nach der technischen Ausrüstung der betreffenden Anlage und der befolgten Betriebsweise die Form der Wärmelastkurve stark beeinflussen und trotzdem dieselbe Nettowärmemenge für die Raumheizung aufwenden kann. In diesem Falle sind die Flächen zwischen den betreffenden Wärmelastkurven und der Abszissenaxe über die Heizzeit genommen inhaltgleich. Ist die zur Verfügung stehende Wärmezentrale leistungsfähig, so kann man z. B. am Morgen kräftig heizen und dann einige Stunden später die Wärmeleistung erheblich vermindern. Damit nähert man sich den Kurvenformen der Fig. 3 für 5 oder sogar 10° C Aussentemperatur. Diese Methode der Anwendung des Wärmestosses ist namentlich in denjenigen Fällen angezeigt, wo bei Vorhandensein eines genügend grossen Wärmespeichers erhebliche Temperaturunterschiede innerhalb eines Tages auftreten, wie dies etwa bei hochgelegenen Sanatorien nach kalten Nächten und kräftigem Sonnenschein während einiger Tagesstunden zutrifft. Der Wärmespeicher hat dabei die Aufgabe, die vom Wärmestoss hervorgerufene Leistungsspitze von den Kesseln fernzuhalten [2]. Man wird den stossweisen Betrieb der Raumheizung vorzugsweise während der Uebergangsmomente anwenden. Bei kalter Witterung ergibt sich bei Einzelanlagen meistens von selbst eine mehr oder weniger flache Wärmelastkurve, weil man im gegenteiligen Falle unnötig hohe Leistungsspitzen hervorrufen würde, deren Deckung normalerweise mit einer Verminderung des Kesselwirkungsgrades verbunden ist und zudem grosse Heizflächen der Wärmeerzeuger mit entsprechend hohen Anlagekosten erfordert.

3. Grundlagen des angenommenen Fernheizkraftwerkes

Wir nehmen an, ein Fernheizkraftwerk arbeite im Gegendruckbetrieb auf ein Raumheiznetz, dessen Wärmeverbrauchskurven ungefähr denjenigen der Fig. 3 entsprechen. Fig. 4 zeigt die Verhältnisse bei -10° C Aussentemperatur. Mit der zur Verfügung

stehenden Höchstdruckdampfmenge von 35 t/h erzeugt ein Gegendruckturbosaggregat 4000 kW, wobei der Leerlaufdampfverbrauch dieser thermoelektrischen Gruppe 20 % des Volllastdampfdurchsatzes, also 7 t/h, beträgt. Da bei der genannten Aussent-

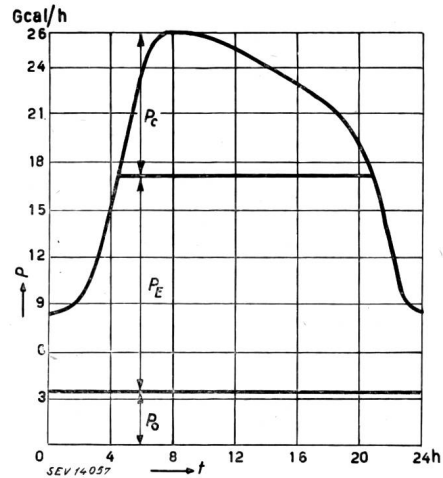


Fig. 4

Tagescharakteristik eines Fernheizkraftwerkes im Gegendruckbetrieb für eine Aussentemperatur von -10° C

P Wärmeleistung des Kraftwerkes, t Zeit, P_0 Dampfverbrauch der Turbine im Leerlauf, P_E Arbeitsdampfverbrauch der Gegendruckturbine, die bei ihrer Nennleistung von 4000 kW eine Höchstdruckdampfmenge von 35 t/h benötigt, P_c Niederdruckdampfmenge für Raumheizung.

temperatur das Raumheiznetz eine grösste Wärmeleistung von 26 Gcal/h benötigt, der beim Gegendruck von 11 kg/cm² abs. die Turbine verlassende Dampf aber nur eine erheblich kleinere Leistung abzugeben vermag, wird der Fehlbetrag in Form von Niederdruckdampf (Heizdampf P_c in Fig. 4) ohne Abgabe mechanischer Energie direkt in das Heiznetz abgegeben.

Wir denken uns den Höchstdruckdampf, welcher den Kessel mit einem Druck von etwa 125 kg/cm² abs. bei einer Temperatur von 500° C verlässt, zweckmässigerweise in zwei Teile zerlegt, nämlich in den schon erwähnten Leerlaufdampf P_0 und den Arbeitsdampf P_E (siehe Fig. 4). Das in jedem Augenblick die Turbine durchströmende Gewicht des Arbeitsdampfes ist der vom Generator abgegebenen elektrischen Leistung proportional und ergibt einen spezifischen Dampfverbrauch von $35\,000 \cdot 0,80 : 4000 = 7,0$ kg/kWh. Die analoge Grösse für den Gesamtdampfverbrauch bei Vollast beträgt $35\,000 : 4000 = 8,75$ kg/kWh. Dieser Verbrauch steht in Uebereinstimmung mit dem in der Gegendruckturbine zur Verfügung stehenden, verhältnismässig niedrigen Wärmegefälle von etwa 150 kcal/kg. Da dieses Gefälle nur 40 % des analogen Wertes bei direkter Expansion ausmacht²⁾, beträgt der spezi-

²⁾ Nach Meyer [5] ergibt Heissdampf von 140 kg/cm² abs. und 600° C bei direkter Expansion auf 0,04 kg/cm² abs. Kondensatordruck ein Wärmegefälle von über 370, bei Zwischenüberhitzung von über 440 kcal/kg, wobei spezifische Wärmeverbräuche Kohle-Klemme von unter 2600 kcal/kWh ohne und von weniger als 2500 kcal/kWh mit Zwischenüberhitzung erreichbar sind, was bei Kohle von 7200 kcal/kg unterem Heizwert zu den aussergewöhnlich niedrigen spezifischen Kohlenverbräuchen von 0,36 und 0,34 kg/kWh führt. Dabei sind alle Verluste von Kessel, Turbine und Kondensator mit den Hilfsmaschinen inbegriffen. Die erwähnten Werte beziehen sich auf eine vierzylindrige 40 000...50 000-kW-Turbogruppe.

fische Dampfverbrauch jener Kondensationsturbine ohne Zwischenüberhitzung auch nur zwei Fünftel des Verbrauches der Gegendruckturbogruppe.

Aus der Fig. 4 war hervorgegangen, dass bei -10°C Aussentemperatur das gedachte Heizkraftwerk eine Wärmeleistung von 26 Gcal/h an das Heiznetz abgibt. Wenn dabei die durchschnittliche Raumtemperatur 18°C beträgt, ermittelt sich der gesamte Heizanschlusswert der an die Wärmezentrale angeschlossenen Gebäude zu $26 \cdot (20 + 20) : (18 + 10) = 37$ Gcal/h entsprechend einer Dampfmenge von etwa 72 t/h. Steht guter Brennstoff zur Verfügung, so kann mit einer Ueberlastbarkeit der Dampfkessel von rund 25 % gerechnet werden. Die Nennleistung der Kessel muss demnach 35 t/h Höchstdruck- und 23 t/h Niederdruckdampf betragen. Da sich die in Frage stehende höchste Wärmeleistung von 37 Gcal/h auf das Kesselende bezieht, sind die Fernleitungsverluste in dieser Leitung inbegriffen.

Ohne auf die Methode zur Bestimmung der nachfolgenden Hauptgrössen des Fernheizkraftwerkes einzugehen, sei festgehalten, dass das in Diskussion stehende Werk während einer Heizperiode durchschnittlicher Kälte die folgenden Wärmemengen aufzubringen hat:

Leerlaufdampf	$P_0 = 12\ 700$ Gcal oder	25 %
Arbeitsdampf	$P_E = 34\ 500$ Gcal oder	68 %
Heizdampf	$P_c = 3\ 300$ Gcal oder	7 %
Gesamtdampfmenge = 50 500 Gcal oder 100 %.		

Unter vollständiger Ausnützung aller Möglichkeiten des Gegendruckbetriebes ist das Werk bei einer Nennleistung der Turbogruppe von 4000 kW in der Lage, während einer Heizperiode durchschnittlicher Gradtagzahl 10,3 GWh zu erzeugen, wovon der Eigenbedarf in Abzug kommt. Die verschiedenen Motoren der Speisepumpen, Ventilatoren, der Rostantrieb, die Bekohlung und Entaschung sowie die Umwälzung des Heisswassers im Wärmeverbrauchsnetz benötigen eine erhebliche Leistung, welche bei -10°C etwa 300, bei 0°C noch rund 200 kW beträgt. Der entsprechende Energiebedarf während eines Normalwinters beläuft sich auf rund 0,9 GWh. Es verbleiben somit durchschnittlich 9,4 GWh an Nutzenergie.

Die vorstehend angeführten 50 500 Gcal reichen aus, um einen Gesamtgebäudekubus von etwa 1 400 000 m³ (Aussenmass) während eines Winters durchschnittlicher Kälte in Bern auf 18°C Innentemperatur zu heizen. Dabei ist vorausgesetzt, dass es sich um heiztechnisch zweckmässig erstellte Bauten handelt, welche einen spezifischen Heizanschlusswert in der Grössenordnung von 23...26 kcal/h m³ aufweisen. Sollten aber die an das Fernheizkraftwerk anzuschliessenden Bauten grosse Fensterflächen, ungenügend wärmeisolierende Aussenmauern usw., und damit einen hohen spezifischen Heizanschlusswert besitzen, so kann der gesamthaft von der Wärmezentrale beheizbare Gebäudekubus bis auf etwa die Hälfte des genannten Wertes herabsinken, wobei natürlich die gesamten Heizungskosten dieselben bleiben wie im ersten Fall.

4. Aussentemperatur und erzeugbare Menge elektrischer Energie

Bestimmt man die vom Ordinatenabschnitt P_E der Fig. 4 im Laufe eines Tages bestrichene Fläche, so stellt dieselbe ein Mass für die benötigte Arbeitsdampfmenge und damit für die an jenem Tag im Gegendruckbetrieb erzeugbare Menge an elektrischer Energie dar. Wiederholt man diese Planimetrierung für die analogen Flächen der verschiedenen Aussentemperaturen von Fig. 3, so gelangt man zu den Kurven W_1 der Fig. 5, die die Zahl der täglich

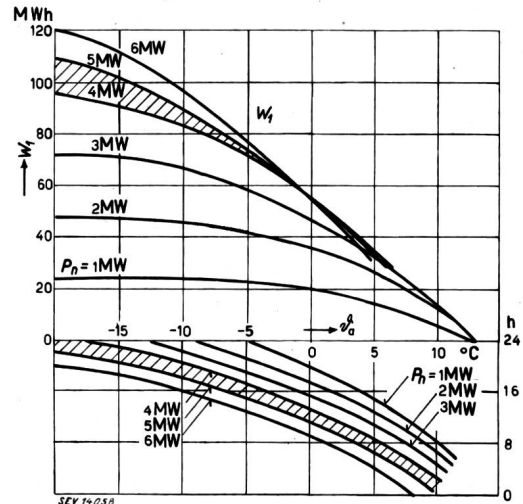


Fig. 5 Erzeugung elektrischer Energie in Funktion der Aussentemperatur

W_1 tägliche im Gegendruckbetrieb erzeugte elektrische Energie. t_b tägliche Betriebsdauer der Turboaggregate. P_n Nennleistung der Turboaggregate. t_a Aussentemperatur.

im Gegendruckbetrieb und unter den gemachten Voraussetzungen erzeugbaren MWh für je ein Turboaggregat von 1...6 MW Nennleistung darstellen. Die Zeitabschnitte hoher Belastbarkeit der Gegendruckturbinen verschieben sich begrifflicherweise mit steigender Leistung der Gruppen in der Richtung nach tiefer werdenden Aussentemperaturen. Die Jahresproduktion der einzelnen Aggregate würde erst bei Temperaturen, wie sie glücklicherweise auf der schweizerischen Hochebene nicht vorkommen, proportional mit ihrer Nennleistung ausfallen.

Bei grosser Kälte nimmt das an die Zentrale angeschlossene Raumheiznetz genügend Wärme auf, um eine 24stündige Vollbelastung der drei kleineren Gruppen zu gestatten, was bei den beiden grösseren Gruppen nie und beim Aggregat von 4 MW nur selten vorkommt. Von etwa -15°C an aufwärts kann auch der Turbinensatz von 3 MW nicht mehr durchgehend voll belastet werden. Diese Feststellungen können den Kurven t_b der Fig. 5 entnommen werden, welche die täglichen Gebrauchsdauern der Nennleistungen der Turbogruppen in Abhängigkeit von der Aussentemperatur darstellen. Setzt man diese Stundenzahlen in Beziehung zu den nach steigenden durchschnittlichen Aussentemperaturen von Bern geordneten Heiztagen, so ergeben sich die Kurven t'_b der Fig. 6. Die Betrachtung der Kurven t_b und t'_b zeigt, dass während eines

Winters normaler Kälte die Aggregate von 5 und 6 MW in der Nähe der Heizgrenze eine tägliche Gebrauchsdauer ihrer Nennleistung von nur wenigen Stunden erreichen. Je nach der Wertschätzung der während der Uebergangsmonte erzeugbaren elektrischen Energie wird man die Gegendruckgruppe möglichst dauernd, nur stundenweise oder aber gar nicht in Betrieb nehmen.

Wie man sieht, fallen bei tiefen Aussentemperaturen die täglich erzeugbaren Energiemengen W_1 (Fig. 5) bei den sechs angenommenen Leistungen der Gegendruckturbinen verschieden hoch aus, um sich bei steigenden Aussentemperaturen einander zu nähern. In der Gegend von 0° C ist die Tages-

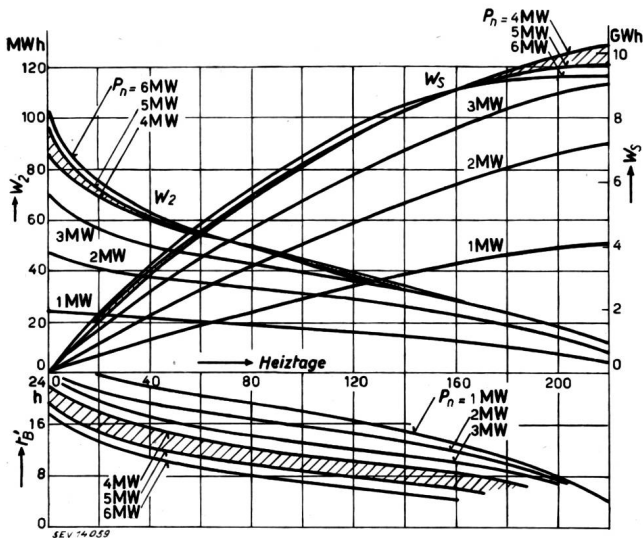


Fig. 6

Erzeugung elektrischer Energie in Funktion der Heiztage
Die Abhängigkeit der Heiztage von der Aussentemperatur (Temperaturhäufigkeit) bezieht sich auf die Verhältnisse in Bern. W_2 täglich im Gegendruckbetrieb erzeugte elektrische Energie. W_s Summenkurven der Energiemengen W_2 . t_B tägliche Betriebsdauer der Turboaggregate. P_n Nennleistung der Turboaggregate.

produktion der drei grösseren Gruppen mit rund 55 MWh gleich hoch. Bei noch höheren Aussentemperaturen kehrt sich der Verlauf der W_1 -Kurven um, indem nunmehr die grösste Gruppe am wenigsten elektrische Energie zu erzeugen vermag, weil der Leerlaufdampfverbrauch dieses Maschinensatzes schon stark in Erscheinung tritt.

Da bei milder Witterung die Streuung der täglichen Raumheizbedarfe gross ausfällt, befinden wir uns während der Uebergangsmonte auch in bezug auf die Menge der erzeugbaren elektrischen Energie in einem Gebiet erheblicher Unsicherheit. So stimmen denn auch die Kurven der Fig. 2 in der Gegend der Heizgrenze nicht immer mit den entsprechenden Werten bestimmter Einzelheizungen überein. Es ist vorteilhaft, wenn man während diesen Zeitabschnitten gegebenenfalls bei abgestellter Dampfturbine mit dem Höchstdruckkessel direkt auf das System Wärmespeicher-Raumheiznetz arbeiten kann, wobei man die Ueberhitzung des Dampfes stark herabsetzt. Diese Betriebsweise wird dann angewendet, wenn man aus irgend einem Grund keinen Niederdruckkessel in Betrieb nehmen will.

Zeichnet man die W_1 -Kurven der Fig. 5 statt in Abhängigkeit von der Aussentemperatur in Funktion der temperaturgeordneten Zahl der Heiztage, so gelangt man zu den W_2 -Kurven, während die Kurven W_s ihrerseits die Summenkurven der W_2 -Kurven darstellen (siehe Fig. 6). Man entnimmt den W_s -Kurven, dass die Turbogruppe von 4 MW Nennleistung während einer normalen Heizperiode bei voller Ausnutzung der Möglichkeiten des Gegendruckbetriebes mehr elektrische Energie liefert als die beiden grösseren Gruppen. Der Grund dieser auf den ersten Blick befremdlichen Erscheinung liegt darin, dass während eines Normalwinters die Zahl der kalten Tage, welche eine erheblich höhere Energieproduktion der grösseren Turbogruppen im Vergleich zu den kleineren ergeben, recht gering ist. Je höher die Nennleistung der Gegendruckturbinengruppe gewählt wird, um so mehr verschiebt sich die Energieabgabe auf die Zeitabschnitte tiefer Aussentemperaturen, um bei milder Witterung um so rascher abzufallen.

Der Unterschied der durchschnittlich möglichen Jahreserzeugung an elektrischer Energie zwischen den beiden Maschinensätzen von 2 und 3 MW Leistung von rund 2 GWh ist leicht erklärlich, wenn man bedenkt, dass in einem ziemlich ausgedehnten Temperaturbereich die beschränkte Schluckfähigkeit der kleineren Gruppen für Höchstdruckdampf ein Ueberströmen eines erheblichen Teiles des benötigten Dampfes in das Raumheiznetz ohne Abgabe mechanischer Arbeit während der Stunden grosser Wärmebelastung der Zentrale zur Folge hat.

In der Fig. 7 sind je die mittleren Temperaturen der 6 Monate Oktober bis März der 15 Winter

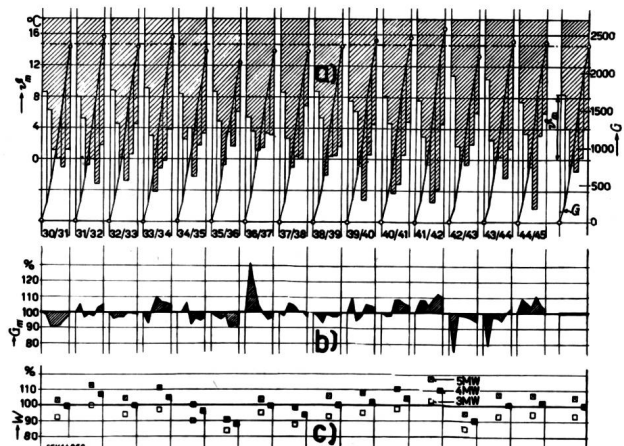


Fig. 7

Jährliche Schwankungen der Aussentemperatur, der Gradtagezahl und der erzeugten Elektrizitätsmenge
 T_m monatliche Durchschnitts-Aussentemperatur während 15 Heizperioden. G Gradtagezahl (Summenkurven der einzelnen Heizperioden). G monatliche Gradtagezahl (Angaben prozentual zum mehrjährigen Durchschnittswert). W im Gegendruckbetrieb erzeugbare elektrische Energie mit Turbogeneratoren von 3, 4 und 5 MW Nennleistung (Angaben prozentual zum mehrjährigen Durchschnittswert eines 4-MW-Turbo-generators).

1930/31 bis 1944/45 eingezeichnet. Der Fig. 7, rechts aussen, liegen die entsprechenden Mittelwerte zugrunde. Die zwischen den gebrochenen Linienzügen und der Horizontalen für 18° C eingeschlossenen, schraffierten Flächen bilden, bezogen auf diese In-

nentemperatur, definitionsgemäss ein für die hier zu behandelnden Probleme genügend genaues Mass der Zahl der Gradtage. Die Summenkurven G der einzelnen Flächenstücke geben Auskunft über das schrittweise Anwachsen der Gradtagezahlen. Trägt man die monatlichen Gradtagezahlen G_m prozentual den entsprechenden Durchschnittswerten auf, so gelangt man zu Fig. 7b. Man erkennt, dass beispielsweise der Oktober 1936 anormal kalt war und damit eine entsprechend hohe Zahl der Gradtage aufweist, während je für die Monate Oktober der Jahre 1942 und 1943 das Gegenteil zutrifft. Im Verlaufe eines Winters gleichen sich die Gradtagezahlen ziemlich weitgehend aus, so dass von den betrachteten 15 Heizperioden nur deren 2 eine Abweichung der Gradtagezahl um $\pm 10\%$ vom Mittelwert aufweisen, während die übrigen 13 Werte höchstens $\pm 5\%$ streuen. Man kann sagen, dass bei den hier in Betracht fallenden Innentemperaturen eine Streuung der angegebenen Grössen im Betrage von $\pm 15\%$ vom Mittelwert äusserst selten auftritt und deshalb als Grenzwert angesehen werden kann.

In der Fig. 7c sind unter Verwendung der W_1 -Kurven von Fig. 5 die im Gegendruckbetrieb erzeugbaren Mengen an elektrischer Energie während einer Heizperiode prozentual zur durchschnittlichen Jahresproduktion der Turbogruppe von 4 MW Nennleistung eingetragen. Die Uebergangsmomente (September und April) wurden weggelassen. Die schwarz angelegten Quadrate gelten für eine Nennleistung des Turboaggregates von 4 MW, die weissen für 3 und die mit einem Kreuz gekennzeichneten für 5 MW. Wie man sieht, ergibt sich eine ziemlich gute Uebereinstimmung zwischen der Zahl der Gradtage und der Zahl der erzeugbaren Kilowattstunden des betreffenden Winters. Die Fig. 7c bestätigt das Ergebnis der W_s -Kurven der Fig. 6 wonach eine Senkung oder Erhöhung der Turbogruppenleistung von 4 MW um 25% unter sonst gleichen Umständen im vorliegenden Falle bei weitem keine mit diesem Prozentsatz proportionale Veränderung der während einer Heizperiode erzeugbaren Menge an elektrischer Energie zur Folge hat.

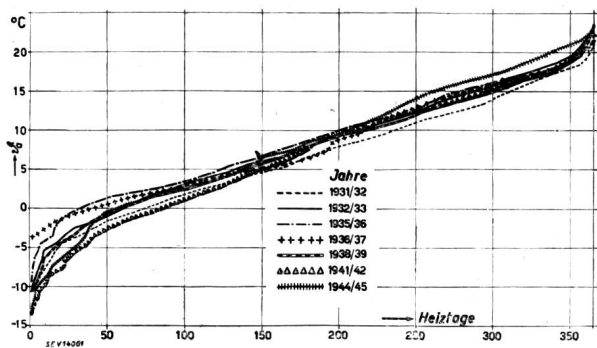


Fig. 8

Einige Temperaturhäufigkeitskurven für Bern während den Jahren 1931 bis 1945
 ϑ_a Aussentemperatur.

Fig. 8 stellt sieben Temperaturhäufigkeitskurven von Bern dar, welche aus den früher erwähnten 15 Wintern in der Weise ausgewählt wurden,

dass ihre Abweichungen von der mittleren Häufigkeitskurve gross ausfallen. Allerdings wurde darauf verzichtet, Zeitabschnitte ganz extremer Temperaturen, wie etwa den aussergewöhnlich kalten Februar des Jahres 1929 mit einem Temperaturminimum in Bern von -23°C , zu berücksichtigen [3].

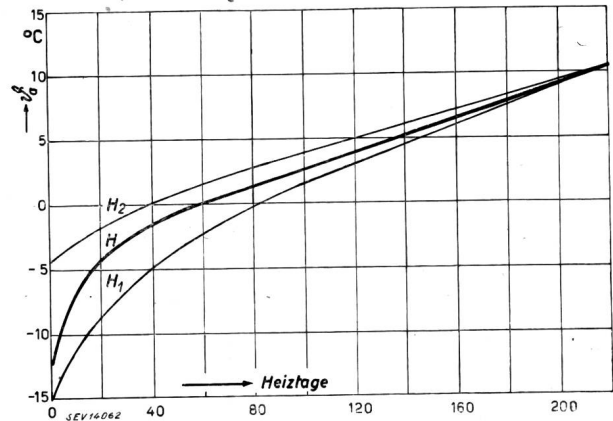


Fig. 9

Streuungsverhältnisse der Temperaturhäufigkeitskurven
 H mittlere Häufigkeitskurve. H_1 und H_2 Grenzfälle der Häufigkeitskurve (siehe Text). ϑ_a Aussentemperatur.

Wie die Betrachtung der Häufigkeitskurven der Fig. 8 lehrt, pflegen die einzelnen Linienzüge so gut wie nie über ihre ganze Ausdehnung sehr hoch oder sehr tief zu liegen, sondern sie verlaufen zum Teil über, zum Teil unter der mittleren Häufigkeitskurve. Aus diesem Grunde schwankt die Zahl der

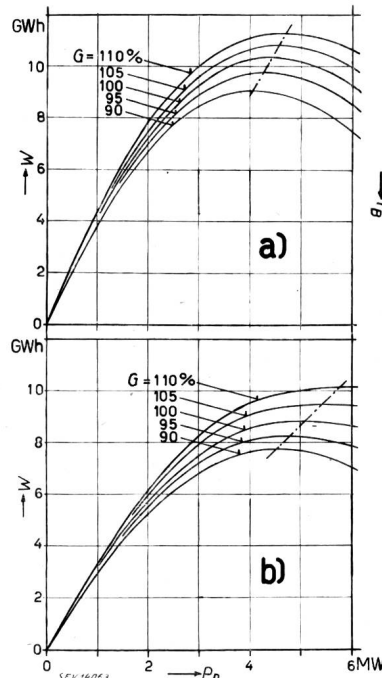


Fig. 10

Energieerzeugung im Gegendruckbetrieb in Abhängigkeit von Generatorleistung und Gradtagzahlen

W während einer Heizperiode [a) 220 Heiztage, b) 150 Heiztage] erzeugbare elektrische Energie. P_n Nennleistung der Turboaggregate. G Zahl der Gradtage (prozentuale Variation vom mehrjährigen Mittelwert Berns).

Gradtage der einzelnen Heizperioden nicht so stark, wie man es vielleicht vermuten würde, ein Ergebnis, auf welches wir schon in Fig. 7 gestossen sind.

Denkt man sich im Gebiet der tiefen Aussentemperaturen die Umhüllenden der Häufigkeitskurven der Fig. 8 eingezeichnet und lässt diese beiden Kurven gradlinig gegen den Punkt der durchschnittli-

chen Häufigkeitskurve für 220 Heiztage auslaufen, so erhält man die beiden Kurven H_1 und H_2 der Fig. 9. Diese ergeben im Vergleich zu der mittleren Häufigkeitskurve H eine um $\pm 10\%$ grössere bzw. kleinere Zahl der Gradtage. Wenn man für die drei Kurven H , H_1 und H_2 sowie zwei Zwischenkurven die Zahl der im Gegendruckbetrieb unter den gemachten Annahmen erzeugbaren GWh für verschiedene Leistungen der Turbogruppen ermittelt, gelangt man zu den Kurven der Fig. 10. Fig. 10a bezieht sich auf eine Laufzeit der Gegendruckturbine von 220 Heiztagen; die Fig. 10b gilt dann, wenn das thermoelektrische Aggregat nur während der 150 kältesten Tage arbeitet.

Wie man sieht, verschoben sich die Kurven der Fig. 10 mit steigender Zahl der Gradtage nicht nur nach aufwärts, sondern sie werden auch flacher. Die eingezeichneten Verbindungsgeraden der Scheitelpunkte jener Kurven sollen andeuten, dass diese Punkte mit grösser werdender Kälte und dementsprechend wachsender Zahl der Gradtage während einer Heizperiode in der Richtung einer höheren Turbinenleistung wandern. Wie man der Fig. 10 entnimmt, ergibt sich in einem Normalwinter das Maximum der unter den gemachten Voraussetzungen erzeugbaren Elektrizität bei 4,5 MW Nennleistung der Turbogruppe. Bei 150 Heiztagen wird das analoge Maximum der Energieproduktion mit 5,1 MW Generatorleistung erreicht. Aus diesen Ausführungen geht hervor, dass unter den vorliegenden Verhältnissen eine Nennleistung der Turbogruppe von 4...5 MW an den Generatorklemmen eine günstige Ausbaugrösse des Gegendrucksatzes darstellt. Um diesen Leistungsbereich hervortreten zu lassen, wurden in den Fig. 5 und 6 die entsprechenden Flächen schraffiert.

5. Gegendruck- und Kondensationsdampfturbinen-Kraftwerke

Nimmt man an, dass der auf die Nutzenergieabgabe bezogene spezifische Kohlenverbrauch der Kraftstufe des gedachten Fernheizkraftwerkes 0,22 kg/kWh betrage, so entspricht dies bei einem Kohlenpreis von beispielsweise 100 Fr./t einem Brennstoffkostenanteil von 2,2 Rp./kWh. Die zusätzlichen Kosten für die Beschaffung von Höchstdruckkesseln statt normaler Heizungskessel, einer Gegendruckturbingruppe, der Schalttafel sowie der übrigen für die Erzeugung elektrischer Energie notwendigen Anlageteile sind im vorliegenden Falle mit höchstens 200 Fr. pro ausgebautes kW verhältnismässig niedrig. Setzen wir für Bedienung und Instandhaltung der in Betracht fallenden Anlageteile, den Kapitaleinstrom und allfällige Abgaben an den Fiskus 12% des Anlagekapitals ein, also 24 Fr. pro Kilowattjahr, so führt diese Annahme bei einer Gebrauchsdauer der Einheitsleistung von beispielsweise 2000 Stunden im Jahr zu einem Kostenanteil von 1,2 Rp./kWh. Damit ergeben sich Gesamtgestehungskosten von 3,4 Rp./kWh. Wenn die Kohle 125 Fr./t kostet, steigen die Gestehungskosten auf 3,95 Rp./kWh, gerechnet an den Generatorklemmen, d. h. in günstigsten Fällen in unmittelbarer Nähe wichtiger Ener-

gieverbraucher. Da nach Keller, Direktor der BKW, bei unseren grossen Elektrizitätsgesellschaften allein der Transport der Energie vom Kraftwerk bis zum Industrieabnehmer 1...2 Rp./kWh, in einzelnen ungünstigen Fällen sogar noch mehr kostet [4], ist die vom gedachten Fernheizkraftwerk erzeugte elektrische Energie bei den mutmasslichen Kohlenpreisen der nächsten Jahre als verhältnismässig billig zu bezeichnen.

Wird Kohle von 7200 kcal/kg unterem Heizwert verbrannt, so gibt bei einem durchschnittlichen Wirkungsgrad von 82% eine Tonne Kohle 5,9 Gcal aus den Kesseln ab, womit sich mit dem früher erwähnten Gesamtwärmebedarf des Heizkraftwerkes während einer Heizperiode normaler Kälte von 50 500 Gcal der Kohlenverbrauch zu 8560 t ermittelt. Da zur Erzeugung von 1000 kWh 0,22 t Kohle erforderlich sind, entfallen bei vollständiger Ausnützung der Turbogruppe während 220 Heiztagen mit 9,4 GWh Nutzenergieerzeugung auf die Kraftstufe 2070 t Kohle oder 24%, auf die Wärmeezeugung 6490 t oder 76%. Bei 8,0 GWh Jahresproduktion an Nutzenergie beträgt der Gesamtkohlenverbrauch noch 8250 t, wobei der Anteil für die Erzeugung elektrischer Energie auf 21% des Gesamtverbrauches sinkt.

Nach Meyer [5] können bei Kondensationsdampfturbinen-Kraftwerken Anlagewirkungsgrade von etwa 35% erwartet werden, wobei allerdings äusserst hochwertige und entsprechend teure Konstruktionen unter Verwendung von Dampf sehr hohen Druckes und sehr hoher Temperatur erforderlich sind. Derart raffiniert ausgerüstete Wärmekraftwerke haben aber vorderhand bei uns nur geringe Aussichten auf Verwirklichung, weil ihre jährliche Benützungsdauer zu gering wäre. Andererseits drängen die langen Bauzeiten leistungsfähiger Speicherkraftwerke zu einer möglichst raschen Beseitigung des Energieengpasses der nächsten Zukunft. Da noch während Jahren mit einer allgemeinen Kohlenknappheit gerechnet werden muss, der Energieträger Oel aber seit Monaten in beliebigen Mengen bezogen werden kann, ist es naheliegend, den Bau von Zusatzkraftwerken unter Verwendung von Schweröl in Betracht zu ziehen. Es ist deshalb ohne weiteres verständlich, dass die Nordostschweizerischen Kraftwerke gegenwärtig ein Werk dieser Art erstellen, welches aus zwei Gasturbinen von zusammen 40 MW besteht.

Wesentlich bessere Aussichten als die beschriebenen Wärmekraftwerke besitzen die Ausführungen städtischer Heizkraftanlagen mit Gegendruckbetrieb, welche infolge des Wegfallens jeglicher Kondensatorabwärmeverluste eine Brennstoffausnützung von etwa 75...80% erreichen lassen. Neben diesen hauptsächlich auf der Raumheizung aufgebauten Werken eignen sich aber auch bestimmte grossindustrielle Anlagen mit erheblichem Wärme- und Elektrizitätsbedarf für die Kombination der Erzeugung dieser beiden Energieformen. Da aber in einer Fabrik normalerweise keine Proportionalität zwischen dem Bedarf an Wärme und dem an elektrischer Energie be-

steht, wird am einfachsten der Parallelauf zwischen Industriegenerator und Elektrizitätswerk aufrecht erhalten, indem das Elektrizitätswerk Energieüberschüsse aufnimmt und Defizite deckt. Gegen diese Lösung dürften heute in Anbetracht der zeitweise beängstigenden Energieknappheit wohl kaum stichhaltige Gründe ins Feld geführt werden können.

Wenn bei einem Fernheizkraftwerk grosses Gewicht auf eine möglichst hohe Erzeugung elektrischer Energie gelegt wird, kann man z. B. an Stelle der reinen Gegendruckturbine eine Anzapfturbine wählen. Da in diesem Falle derjenige Dampf, welcher auch den Kondensationsteil der Turbine durchströmt, des erhöhten Wärmegefälles wegen spezifisch erheblich mehr mechanische Energie an den Rotor abzugeben vermag als der unter Gegendruck abgezapfte Dampf, wird auf diese Weise die während einer Heizperiode erzeugbare Menge an elektrischer Energie je nach den Verhältnissen ganz beträchtlich erhöht. Damit aber der bei normalen Kondensationsanlagen auftretende sehr hohe Abwärmeverlust im Kondensator möglichst herabgesetzt werden kann, muss diese Abwärme mindestens teilweise nützlich verwertet werden. Da es sich um Wärme tiefer Temperatur handelt, kommen nur ganz bestimmte Abnehmer in Frage, wie etwa ein Kaltwassernetz genügender Grösse, an welches viele Warmwasserapparate angeschlossen sind. Durch die schwache Vorwärmung des Kaltwassers tritt eine entsprechende Entlastung der Heizkörper der einzelnen Warmwasserapparate ein, so dass wenigstens eine teilweise Verwertung der Turbinenabwärme erfolgt. Die Hausfrauen werden vornehmlich im Winter eine leichte Temperaturerhöhung des Kaltwassers nicht ungerne sehen.

In besonderen Fällen ist es denkbar, als Kondensator Kühlwasser den Rücklauf eines genügend aufnahmefähigen, auf eine kleine Grundfläche zusammengedängten Raumheizsystems zu wählen. Um keine untragbare Erhöhung des Dampfverbrauches der Turbine infolge der Verschlechterung des Vakuums in Kauf nehmen zu müssen, ist die Eintritt-Temperatur des Kühlwassers in den Kondensator möglichst tief zu halten. Diese Bedingung können reichlich bemessene Radiatoren-, ganz besonders aber Strahlungsheizungen wegen ihrer niedrigen Heizwassertemperatur, erfüllen. In der Schweiz arbeiten Anlagen dieser Art während des grössten Teils der Heizperiode mit Rücklauftemperaturen, welche niedriger sind als die Kühlwassertemperaturen, mit welchen bestimmte in warmen Gegenden gelegene Dampfturbinenkraftwerke während des Sommers im Normalbetrieb rechnen müssen. Eine Schwierigkeit des in Frage stehenden Systems liegt in den grossen umzuwälzenden Heizwassermengen, welche schon allein der Kondensatorbetrieb erfordert. Damit fallen die Leitungsdurchmesser gross und die Anlagekosten entsprechend hoch aus, was gleichbedeutend mit einer beschränkten wirtschaftlichen Reichweite dieser an sich guten Lösung ist.

In Fig. 11 ist in vereinfachter, schematischer Darstellungsweise die Schaltung eines Fernheizkraftwerkes wiedergegeben, welches nicht mit einer Gegendruck-, sondern mit einer Anzapfturbine ausgerüstet ist. Der Anzapfdampf von 11 kg/cm² abs. Nenndruck speist ein Fernheiznetz 10, während die im Kondensator 4 anfallende Abwärme von einem in der Nähe der Zentrale gelegenen Raumheiznetz 8 aufgenommen wird. Als Wärmeerzeuger sind ein Höchstdruck-, ein Niederdruck- und ein Elektrodampfkessel eingebaut (1, 6 und 7).

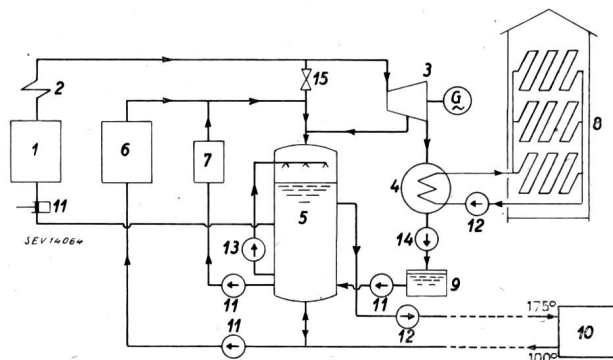


Fig. 11

Vereinfachtes Schema eines Fernheizkraftwerkes mit Kondensations-Anzapfturbine

Der abgezapfte Dampf versorgt ein Fernheiznetz, der kondensierte Dampf ein in der Nähe der Zentrale gelegenes Strahlungs-Raumheizsystem.

- 1 Höchstdruckkessel. 2 Ueberhitzer. 3 Turbogruppe. 4 Oberflächenkondensator. 5 Schichtungs-Heisswasserspeicher. 6 Heizungskessel für Satteldampf 11 kg/cm² abs. 7 Elektrodampfkessel. 8 Gebäude mit Strahlungsheizung. 9 Kondensatwasserbehälter. 10 Fernheiznetz (Vorlauf 175° C, Rücklauf 100° C). 11 Speisepumpe. 12 Umwälzpumpe. 13 Ladepumpe des Wärmespeichers. 14 Kondensatpumpe. 15 Ueberströmventil.

Der Anzapfdampf strömt in den obersten Teil des Speichers 5, um nach seiner Kondensation, vermischt mit dem übrigen Heisswasser, mit einer Temperatur von beispielsweise 175° C in das Fernheiznetz 10 einzutreten. Je nach den Eigenschaften der angeschlossenen Wärmeverbraucher und deren Schaltungsart kehrt das Wasser mit durchschnittlich etwa 100° C in die Zentrale zurück, wo es in den Speicher, und wenn der Kessel 6 im Betrieb steht, auch in diesen gespeist wird. Die Genauigkeit, mit welcher die Heisswasservorlauf-Temperatur eingehalten werden muss, hängt von den Eigenheiten der einzelnen Wärmeverbraucher ab, wobei gelegentlich gewisse ganzjährig betriebene Apparate wegen ihrer hohen Temperaturempfindlichkeit ein starres Hochhalten der in Frage stehenden Heisswassertemperatur bedingen.

Der Dampfanteil, welcher die ganze Turbine durchströmt, wird im Kondensator 4 niedergeschlagen, in üblicher Weise in den Kondensatbehälter 9 gefördert und in den untersten Speicherteil geleitet. Als Kondensator-Kühlwasser dient das Heizwasser eines Raumheiznetzes passender Wärmeaufnahme-fähigkeit, wobei die angeschlossenen Gebäude mit Strahlungsheizungen ausgerüstet sind.

Es leuchtet ein, dass Wärmezentralen dieser Art weitgehend automatisch arbeiten müssen, wenn man alle ihre Vorzüge wirklich richtig ausnützen will. Eine genügende Grösse des Wärmespeichers ist unerlässlich, um innerhalb eines bestimmten Rahmens

Ueberschüsse und Defizite an Wärme im System ausgleichen zu können. Derartige Wärmependelungen äussern sich in einem Steigen und Fallen der Grenzwasserschicht im Speicher. Uebersteigt beispielsweise in einem bestimmten Zeitabschnitt die anfallende Wärmemenge den Verbrauch, so vergrössert die Steuerung die Fördermenge der Ladepumpe 13, wodurch die Grenzwasserschicht gesenkt wird, was gleichbedeutend mit einer Aufladung des Speichers ist. Bei Wärmelastüberschüssen wird der Speicher in analoger Weise entladen.

Von besonderer Wichtigkeit ist ein reichlich bemessener Wärmespeicher, wenn der betreffenden Wärmezentrale zeitweise, etwa während der Uebergangsmomente, elektrische Energie niedriger Wertigkeit zur Verfügung steht. Diese bisweilen unregelmässig anfallende Ueberschussenergie kann in der in Diskussion stehenden Anlage wirtschaftlich ausgenutzt werden, indem der Betrieb sowohl mit elektrischer Energie allein, als auch kombiniert mit Brennstoffen durchgeführt werden kann. Liegt der Fall derart, dass etwa im Sommerhalbjahr anteilmässig viel Wochenendenergie verwertet werden soll, so kann es u. U. vorteilhaft sein; mit einer relativ grossen Wärmeakkumulierung zu arbeiten und einen sog. Wochenspeicher vorzusehen. Man verfügt damit über eine Anlage, welche den Gegebenheiten unserer Energiewirtschaft gut angepasst ist, indem man den Wärmebedarf im Sommer mit weisser, im Winter mit schwarzer Kohle unter besonderer Erfassung der hydroelektrischen Energiereste deckt, wozu sich noch die Erzeugung wertvoller Winterenergie gesellt [6, 7].

Es wird nicht immer leicht sein, die Besitzer von grossen Raumheizanlagen auf der einen und die Erzeuger von elektrischer Energie auf der andern Seite dazu zu bringen, nicht ausschliesslich nur ihre eigenen unmittelbaren Bedürfnisse zu sehen, sondern sich zu der Erkenntnis durchzuringen, dass man bei sinnvoller Zusammenarbeit zu einer bedeutend besseren Ausnutzung der Brennstoffe gelangen kann, als dies mit den bisherigen Methoden der Fall ist. Die angedeutete Gemeinschaftslösung bedingt eine ziemlich weitreichende Abweichung vieler Anlageteile von der gewohnten normalen Bauweise. Da sich aber die Ansicht immer mehr Bahn bricht, dass der Kohle nicht nur als Wärmespeicher, sondern auch als Rohstoffträger eine überragende Stellung zukommt, darf angenommen werden, dass sich mit der Zeit diejenigen Lösungen durchsetzen werden, welche vom Standpunkte der Allgemeinheit aus gesehen den grössten Nutzen bringen.

6. Fernheizkraftwerk, Klima und Winterenergie

Es steht fest, dass man in bestimmten Fällen mit Vorteil die Erzeugung von Wärme und elektrischer Energie miteinander verbindet, wobei bis zu 5 kWh aus 1 kg Kohle erzeugt werden können, ein Ergebnis, welches bis heute keine andere Wärmekraftmaschine erreicht. Die bereits erwähnten neuzeitlichen Kondensationsdampfturbinen - Kraftwerke bringen es auf etwa 3 kWh/kg. Da im gedachten Heizkraftwerk der Hauptabnehmer der Wärme ein

Raumheiznetz ist, fällt das Nebenprodukt elektrische Energie zeitlich in der Weise an, dass mit steigender Kälte diese Energiemengen zunehmen und umgekehrt. In einem früheren Abschnitt wurde gezeigt, dass innerhalb bestimmter Grenzen eine ziemlich genaue Proportionalität zwischen der erzeugbaren Menge elektrischer Energie und der entsprechenden Zahl der Gradtage besteht. Während die Energieerzeugung unserer Laufkraftwerke im grossen ganzen mit zunehmender Kälte abnimmt und damit eine für unsere Energiewirtschaft unerwünschte Charakteristik aufweist, trifft glücklicherweise beim Gegendruckbetrieb das Gegenteil zu, indem dort die anfallenden Energiemengen innerhalb eines bestimmten Rahmens im wesentlichen mit dem Elektrizitätsbedarf parallel gehen. Diese zusätzlich produzierte elektrische Energie stellt also wertvolle Winterenergie dar, welche zudem an ihren Eigenschaften gemessen ziemlich billig erzeugt werden kann. Sie wird ohne Zwischenschaltung langer Hoch- oder Höchstspannungsleitungen mit ihren Kosten, Risiken und Verlusten in Mittelspannung von 6...10 kV in ein geeignetes Unterwerk oder eine Transformatorstation des Abnehmers (in der Schweiz normalerweise das örtliche Elektrizitätswerk) eingespeist. Vom Betriebsstandpunkte aus gesehen ist es sehr wertvoll, über eine derartige mit einem Minimum an Störanfälligkeit behaftete Energiequelle zu verfügen.

Man wird einwenden, dass die in unserem Lande im Gegendruckbetrieb erzeugbare Winterenergiemenge bei allen ihren guten Eigenschaften zu unbedeutend sei, um eine spürbare Verbesserung der Lage zu bringen, da es sich vorläufig schätzungsweise um nur 150 GWh im Jahr handelt. Man wolle aber bedenken, dass für ein städtisches Elektrizitätswerk eine zusätzliche Leistung von vielleicht 10 % der Maximallast doch ziemlich bedeutsam sein kann. Die in Frage stehende Energie steht während der Tage grössten Bedarfes am reichlichsten zur Verfügung. Man kann noch einen Schritt weitergehen und versuchen, die Wärmelastkurve in der Weise zu beeinflussen, dass sie in möglichst gute Uebereinstimmung mit der Kurve des Verbrauches elektrischer Energie kommt. Selbstverständlich sind diesem Verfahren schon durch die verfügbare Kesselleistung enge Grenzen gesetzt. Bei einiger Rücksichtnahme und Einsicht der Verbraucher von elektrischer Energie und Wärme sollte es möglich sein, die zeitweise sehr schwierige Energieversorgung auf diese Weise etwas zu verbessern.

Es wurde gezeigt, dass die jährlichen Schwankungen der im Gegendruckbetrieb bei voller Ausnutzung der Turbogruppe des Heizkraftwerkes erzeugbaren Energiemengen im Vergleich zum Mittelwert meistens in den Grenzen von $\pm 5\%$, bedeutend weniger häufig in der Gegend von $\pm 10\%$ und in Grenzfällen bei etwa $\pm 15\%$ liegen. Aehnliche Verhältnisse, aber mit etwas grösseren Ausschlägen, scheinen beim Energieanfall unserer Wasserkraftwerke zu herrschen. Nach einem offiziellen Bericht [8] beträgt beim Ausbau unserer Wasserkraftwerke, bezogen auf den Stand vom 1. Oktober 1945,

die durchschnittliche Energieerzeugung für die allgemeine Versorgung im Winterhalbjahr 3600, im Sommerhalbjahr 4300 GWh. Während extrem trockenen und dementsprechend energiearmen Wintern kann die Produktion auf 2950 GWh (—18,1 %) heruntergehen, um während extrem nassen Wintern 4200 GWh (+16,7 %) zu erreichen. Der grösste Ungleichheitsgrad des Winterhalbjahres beträgt somit $4200 : 2950 = 1,42$ gegenüber $1,15 : 0,85 = 1,35$ bei der im Gegendruckbetrieb erzeugbaren Winterenergie. Glücklicherweise pflegen bei uns derart trockene Winter im Zeitraum eines Jahrhunderts nur etwa viermal aufzutreten.

Durch die immer weiter fortschreitende Elektrifizierung auf allen möglichen Gebieten bei gleichzeitig ganz ungenügender Erstellung von Speicherkraftwerken wird unsere Energieversorgung im Winter immer weniger elastisch. Es ist durchaus möglich, dass während einiger Zeit auch in den Jahren mit normalen Niederschlagsmengen gewisse Verbrauchergruppen wie etwa Warmwasserapparate, welche in normalen Zeiten unbedingt auf eine vertragsmässige Lieferung der Energie zählen konnten, zeitweise in ihrem Bezug eingeschränkt werden müssen. Wir haben deshalb allen Grund, jedes brauchbare Mittel, das unsere Energieversorgung verbessern kann, anzuwenden. Eine solche Möglichkeit bietet das Gegendruckverfahren.

Wir hatten bisher angenommen, die Turbinendampfwärme des gedachten Heizkraftwerkes werde ausschliesslich von einem Raumheiznetz aufgenommen. Sind geeignete ganzjährige Wärmeverbraucher vorhanden, so wird man sich um deren Anschluss an die Wärmezentrale bemühen. Wenn dieses Vorhaben gelingt, hat das Werk auch im Sommer Wärme zu liefern, deren Deckung normalerweise einem Elektrokessel überbunden wird. Damit hat man eine wertvolle Anpassung an die Gegebenheiten unserer Energiewirtschaft vollzogen. Je nach der augenblicklichen Höhe des «Energiepegels» der in Betracht fallenden Wasserkraftwerke wird das Heizkraftwerk mit Brennstoffen, mit elektrischer Energie oder mit beiden Energieträgern gleichzeitig arbeiten, was erlaubt, neben Tagesenergie auch grössere Mengen an Nacht- und Wochenendenergie zu verwerten. Der Anschluss ganzjähriger Wärmeverbraucher an ein Fernheizkraftwerk bringt den Vorteil, dass im Gegendruckbetrieb entsprechend der erwähnten zusätzlichen Wärmelast mehr Winterelektrizität erzeugt werden kann.

7. Fernheizkraftwerk und Einzelanlage zur Wärmeerzeugung

In unserem Land haben die in Betrieb und Projektierung befindlichen Fernheizwerke und Fernheizkraftwerke in der Regel zum überwiegenden Teil Raumheizwärme abzugeben. Diese Feststellung ist nicht verwunderlich, wenn man bedenkt, dass die angeschlossenen öffentlichen Gebäude (Eidgenossenschaft, Kanton und Gemeinde) und diejenigen von Privaten meistens nur einen verhältnismässig geringen ganzjährigen Wärmebedarf aufweisen. Die

Krankenhäuser machen von dieser Regel eine Ausnahme, indem ihr technischer Wärmebedarf von derselben Grössenordnung ist wie der Raumheizwärmeverbrauch. In der Schweiz haben die erheblichen Wärmebedürfnisse grosser Spitäler mehrmals Veranlassung zur Erstellung von Fernheizwerken gegeben.

Die Errichtung einer Wärmeerzeugungszentrale pflegt dann in Betracht gezogen zu werden, wenn grössere Wärmeverbraucher wegen Ueberalterung oder zu geringer Leistungsfähigkeit der einzelnen Kesselanlagen vor der Notwendigkeit stehen, entweder die eigenen Einrichtungen den Bedürfnissen anzupassen, allenfalls überhaupt ein neues Kesselhaus zu bauen, oder aber die benötigte Wärme aus einer gemeinsamen Zentrale zu beziehen. Auch grosse Bauvorhaben auf teurem Boden können die Errichtung eines Fernheizwerkes ermöglichen.

Verfügt ein Wärmeverbraucher über eine gute technische Einrichtung in seinem Kesselhause, so wird ein entsprechend hoher mittlerer Wirkungsgrad der Kessel eingehalten werden können, welcher beispielsweise gegen 70 % und darüber betragen kann. Unter diesen Umständen verbleibt dem Fernheizwerk nach Berücksichtigung der Fernleitungsverluste und des eigenen Energiebedarfes zu seinen Gunsten ein wesentlich kleinerer Unterschied des Kesselnutzeffektes, als für den Fall des Anschlusses von Einzelheizungen mit schlechter Brennstoffausnutzung. Dieser Fall kam namentlich früher bei der übertriebenen Raumheizung häufig vor, während man heute nach dem teilweisen Wegfall der besonders unwirtschaftlichen Raumheizung im Frühling und im Herbst mit einer besseren Brennstoffausnutzung als vor dem Kriege rechnen kann. Es ist aber wahrscheinlich, dass die alten Gewohnheiten in einigen Jahren wieder mehr oder weniger einreissen werden, insofern die Versorgungslage auf dem Brennstoffmarkt dies wieder gestattet.

Das Fernheizwerk besitzt im Vergleich zu einer Einzelanlage den Vorteil des Grosseinkaufes der Brennstoffe und häufig auch des Geleiseanschlusses. Ausserdem ist eine gut ausgerüstete, leistungsfähige Wärmezentrale in der Lage, sich den verschiedenen, auf dem Markt jeweilen zu günstigen Bedingungen erhältlichen Brennstoffen weitgehend anzupassen und sie mit sehr hohem Wirkungsgrad zu verfeuern. In einem derartigen Kesselhaus können alle erforderlichen Kontrollapparate eingebaut werden, welche in der Hand von fachkundigem Personal einen sehr sparsamen Betrieb gewährleisten.

Setzt sich die Gesamtheit aller an das Fernheizkraftwerk angeschlossenen Wärmebezügler aus Einzelheizungen mit verhältnismässig niedriger Brennstoffausnutzung zusammen, so ist es in einem solchen Fall möglich, dass das gemeinsame Kesselhaus mit der Summe der früher verbrauchten Koksgeichte unter sonst gleichen Umständen nicht nur alle Wärmebedürfnisse, sondern darüber hinaus auch noch den auf die Erzeugung der elektrischen Energie entfallenden Brennstoffanteil zu decken vermag. In Wirklichkeit werden die Verhältnisse für das Fernheizkraftwerk nicht so günstig liegen, da

sich unter den angeschlossenen Einzelanlagen nicht nur solche ziemlich schlechten Feuerungswirkungsgrades, sondern auch zeitgemässe Anlagen befinden werden.

8. Verrechnungsgrundlagen der von einem Fernheizkraftwerk erzeugten Energie

Bei der heutigen Lage sind auf weite Sicht hin keine Absatzschwierigkeiten für die im Gegendruckbetrieb erzeugte Winterenergie zu befürchten. Da sich die in Diskussion stehenden Zusatzelektrizitätswerke, welche zum grössten Teil noch zu errichten sind, bei uns meistens im Besitze der öffentlichen Hand befinden, dürfte die Festsetzung des Preises der elektrischen Energie ziemlich einfach sein.

Die Verrechnung der von einem Fernheizwerk den Verbrauchern gelieferten Wärme basiert normalerweise auf einem Zweigliedertarif, wie das auch bei vielen Lieferungsverträgen elektrischer Energie der Fall ist. Alle mit der Beschaffung des Brennstoffes und der Elektrokesselenergie im Zusammenhang stehenden Kosten werden in der Wärmegebühr zusammengefasst. Hierzu gehören auch die Auslagen für die Lagerung und den Transport der Brennstoffe auf dem Werkareal. Um den Schwankungen der Beschaffungskosten für die Energieträger in möglichst einfacher Weise Rechnung zu tragen, wird häufig der Preis für 1 Million Nutzwärmeeinheiten dem Preise eines bestimmten Kohlegewichtes, etwa 200...250...300 kg, gleichgesetzt. Dabei wird aus naheliegenden Gründen der Wirkungsgrad des früheren Betriebes berücksichtigt, so dass der Wärmebezüger unter sonst gleichen Umständen dem Fernheizwerk ungefähr dieselbe Summe zu bezahlen hat, die er bei seiner Anlage für die Brennstoffe ebenfalls hätte auslegen müssen.

Das zweite Glied des Wärmetarif bildet die Grundgebühr. Sie stellt die Entschädigung für die übrigen eingesparten Kosten und die Annehmlichkeiten des Wärmebezuges dar. Da nach dem Fernwärmeanschluss für den Verbraucher ein grosser Teil der Kosten für Bedienung, Unterhalt, Ersatz und Erweiterung bestimmter Teile der Einzelanlage wegfallen, ist eine angemessene Vergütung in Form von jährlichen Zahlungen an die Wärmezentrale gerechtfertigt. Ueber die erwähnten Verbesserungen und Erleichterungen hinaus geniesst der Wärmebezüger noch eine Reihe von Vorteilen, welche nicht immer in Geldwert ausgedrückt werden können, z. B. grosse Reinlichkeit, keine Belästigung durch Rauch und Staub beim Abschlacken, Wegfall des Zubringerdienstes und von Geräuschen, usw.

Als Grundgebühr wird meistens ein Betrag festgesetzt, welcher der vom Bezüger beanspruchten höchsten Wärmeleistung proportional ist. Zwischen den beiden Weltkriegen pflegte die spezifische Grundgebühr in der Gegend von etwa 6000...12 000 Franken/Gcal/h zu liegen, wobei der kleinere Wert für den Bezug grosser Wärmemengen, der grössere bei kleineren Lieferungen gilt, was in Uebereinstimmung mit den spezifischen Anlagekosten von Heizzentralen verschiedener Wärmeleistungen steht. Bei dieser Regelungsweise haben alle Fremdwärmebe-

züger ein Interesse daran, mit einer möglichst niedrigen Wärmeleistung auszukommen, was sich auf die Wärmezentrale überträgt und erlaubt, die Anlagekosten herabzudrücken. Es leuchtet ein, dass bei der Festsetzung der Grundgebühr auch die Gebrauchsdauer des anzurechnenden Wärmeleistungsmaximums berücksichtigt wird, weshalb man im allgemeinen Fremdwärmeekäufern mit ganzjährigem Bedarf unter sonst gleichen Umständen eine niedrigere Grundgebühr einräumen kann, als wenn es sich um reine Raumheizungswärmelieferungen handelt. Sollte der Fall eintreten, dass ein Fremdwärmebezüger dem Fernheizwerk den auf ihn entfallenden Anlagekapitalanteil zurückbezahlt, so hat er Anspruch auf eine stark ermässigte Grundgebühr, welche sich auf etwa einen Drittel der oben erwähnten Werte vermindert.

Die nach dem Wärmeanschluss an das Fernheizwerk an die Stelle der Kessel tretenden Wärmeumformer beanspruchen wenig Platz. Da Brennstoffvorräte in einer thermischen Unterstation dieser Art nicht mehr vorhanden sind, werden Räume frei, welche bei städtischen Verhältnissen sehr wertvoll sind. Zeitgemässe Anlagen mit Fernwärmebezug eignen sich gut zur Automatisierung, womit eine weitere Entlastung des Personals und eine Verminderung des Wärmeverbrauches erreicht werden kann. Man kann bei Einzelanlagen, welche über zu knappe Kessel verfügen oder bei denen starke Wärmebedarfsspitzen auftreten, häufig eine ungenügende Lebensdauer der Kessel beobachten. Nach dem Anschluss an die Wärmezentrale kommen bei richtiger Anpassung der neuen Installation an die Bedürfnisse des Betriebes überbeanspruchte Anlageteile in der Unterstation nicht mehr vor, so dass im Vergleich zum früheren Zustand mit niedrigen Instandhaltungskosten gerechnet werden kann. Auch übt bisweilen die grössere Genauigkeit der Temperaturhaltung bei der modernisierten Anlage einen erheblichen Einfluss auf die Verbesserung der Qualität der hergestellten Fabrikate aus. Alle diese Vorteile rechtfertigen eine angemessene Grundgebühr.

Nicht selten tritt der Fall ein, dass ein Wärmebezüger sich kein richtiges Bild über die wirklichen Gesamtkosten der in der eigenen Anlage erzeugten Wärme macht, womit eine Einigung namentlich über die Höhe der Grundgebühr erschwert wird. Ein Bezüger von Wärme aus einem Fernheizwerk kann vernünftigerweise nicht erwarten, bei den unbestrittenen Vorteilen und der Bequemlichkeit der neuen Beschaffungsart der Wärme insgesamt weniger aufzuwenden als bei der eigenen Anlage.

9. Wärmekraftwerk und Atomenergie

Nachdem bisher immer normale Wärmeezeuger in Form von Dampfkesseln vorausgesetzt wurden, fragt es sich, welchen Einfluss die neuesten Errungenschaften der Kernphysik auf den Bau von Fernheiz- und Fernheizkraftwerken haben mögen. Nach den Ausführungen von Scherrer und Bauer [9] scheint die Möglichkeit der wirtschaftlichen Wärmeerzeugung unter Verwendung der ungeheuren, in

den Atomkernen enthaltenen Energiemengen so gut wie festzustehen, während eine direkte Erzeugung elektrischer Energie wenigstens vorläufig unmöglich zu sein scheint. Bei dieser Lage der Dinge wird man annehmen dürfen, dass in den Anlagen zur Produktion grosser Wärmemengen in einiger Zeit an Stelle der bisherigen Dampf- und Heisswasserkessel Atomenergie-Maschinen treten werden, während für die Erzeugung elektrischer Energie aus Wärme wie bisher der Umweg über die Verdampfung von Wasser mit nachgeschalteten Turbogeneratoren beibehalten werden muss. Sollte die Nutzbarmachung der Atomenergie genügend niedrige Wärmepreise erreichen lassen, so dürfte sich hiedurch dem Gegendruckverfahren ein grosses Anwendungsfeld eröffnen. Die Verwertung der anfallenden bedeutenden Wärmemengen des Turbinenabdampfes kann bei uns nur in Form der Ausdehnung der Städteheizung durchgeführt werden, wobei neben der Raumheizung auch die Deckung ganzjähriger Wärmebedarfe in Frage kommt. Wenn sich die bisher bekannt gewordenen Eigenschaften der Atomenergie-Maschinen bewahrheiten, dürften sich diese neuesten Produkte des menschlichen Geistes trotz all ihrer revolutionierenden Eigenheiten in die Energiewirtschaft eingliedern lassen und voraussichtlich in der Erzeugung grosser Wärmeleistungen eine überragende Rolle spielen, was jedoch in keiner Weise eine Entwertung unserer Wasserkraftwerke zur Folge haben wird. Für unser Land stellt sich insbesondere die Frage, ob wir auf eigenem Boden über Rohstoffe verfügen, die sich als Energieträger für Atomenergie-Maschinen eignen, oder ob sich nicht in

dieser Hinsicht eine drückende Abhängigkeit vom Auslande ergeben könnte.

Literatur

- [1] *Degen, A.*: Die Kombination von kalorischer Energieerzeugung im Gegendruckbetrieb mit einer Städteheizung in der Schweiz. Bulletin SEV Bd. 34(1943), Nr. 25, S. 768...775.
- [2] *Moser, P.*: Einige Beispiele des Einbaues von Wärmespeichern. Schweiz. Bl. Heiz. u. Lüft. Bd. 11(1944), Nr. 4, S. 118...126.
- [3] *Moser, P.*: Ueber Heizdauer und Aussentemperaturen. Gesundh.-Ing. Bd. 62(1939), Nr. 8, S. 109...115.
- [4] *Keller, P.*: Die Energieverteilung im Gebiete der Bernischen Kraftwerke sowie der Gruppe der Kraftwerke Oberhasli A.-G. Schweiz. Energie-Konsument Bd. 25(1945), Nr. 6, S. 135...141.
- [5] *Meyer, A.*: Die Dampfkraft-Maschine der Nachkriegszeit. Brown Boveri Mitt. Bd. 30(1943), Nr. 7/8, S. 131...145.
- [6] *Moser, P.*: Ueber die Verwertung von Wasserkraftenergie niedriger Wertigkeit in unseren Krankenhäusern. Bulletin SEV Bd. 35(1944), Nr. 26, S. 779...788.
- [7] *Moser, P.*: Ueber die Bestimmung der Grössen von Wärmespeichern. Elektr.-Verwertg. Bd. 15(1940/41), Nr. 3/4, S. 39...54.
- [8] Der Bundesrat zur Ausnützung der Wasserkräfte. Bericht des Bundesrates an die Bundesversammlung zum Postulat Klöti und Botschaft zum Entwurf eines Bundesgesetzes über die Teilrevision des Bundesgesetzes über die Nutzbarmachung der Wasserkräfte. (Vom 24. September 1945.) Bulletin SEV Bd. 36(1945), Nr. 21, S. 715...725.
- [9] Atomenergie. *Scherrer, P.*: Die physikalischen und technischen Grundlagen. *Bauer, B.*: Energiewirtschaftliche Erwägungen. Technik NZZ Bd. 166(1945), Nr. 1794/47.

Adresse des Autors:

P. Moser, dipl. Ing., Murtenstrasse 15, Bern.

Technische Mitteilungen — Communications de nature technique

Die Aussichten für Atomkraftwerke

(Nach Chem. Engng., s. a. McGraw-Hill Dig., Dez. 1946)

621.409.4

Die industrielle Verwertung der Kernenergie scheint, vom ökonomischen Standpunkt aus gesehen, wirtschaftlich zu sein; technisch stehen jedoch noch viele Grundprobleme offen, deren Lösung allerdings in absehbarer Zeit gelingen dürfte.

Es scheint wahrscheinlich, dass «sekundäre» Plutonium-Zertrümmerungsanlagen (Fig. 1) elektrische Energie um etwa 5...15% billiger erzeugen können, als kohlengefeuerte Anlagen. Die grossen «primären» Anlagen könnten Plutonium zu einem Preis herstellen, der, thermisch gesehen, der Kohle äquivalent ist, gleichzeitig aber dazu noch Energie bei Gesteungskosten von 3...4 mills pro kWh (= 1,3...1,7 Rp./kWh) erzeugen. Diese Folgerungen sind einer Studie des «Carnegie Endowment Committee on Atomic Energy» in Verbindung mit der «Northern California Association of Scientists» zu entnehmen¹⁾.

Das technische, für den Ingenieur zu lösende Problem besteht darin, den theoretisch bereits einwandfreien und (bei der Atombombe) gründlich ausprobierten Kernreaktionsprozess in eine technisch durchkonstruierte, betriebssichere und wirtschaftliche Anlage überzuführen. Dies erfordert neue Konstruktionsmaterialien und ganz neue Arbeitstechniken. Die in den bisherigen Kernreaktionsanlagen verwendeten Materialien und Methoden arbeiten aber im allgemeinen viel zu teuer und haben vielfach einen sehr schlechten Wirkungsgrad. Das amerikanische Kriegsdepartement führt einen Teil der noch nötigen Untersuchungen mit einem bewilligten Kredit von 10 Millionen Franken durch.

Aus Rücksicht auf die internationale Sicherheit werden industrielle (private) Atomkraftwerke («Sekundäranlagen»,

¹⁾ Wir werden in der nächsten Nummer Näheres bringen.

Fig. 1) vermutlich grosse «Atomöfen» («Reactors») mit denaturiertem Plutonium als «Brennstoff» verwenden. Eine 100 000-kW-Anlage ist projektiert, die eine dicke Betonschale und Spezial-Isoliermaterialien mit einem Aussendurchmesser von vielleicht 9...15 m haben wird. Das Ganze ist in die Erde versenkt. In dieser Umhüllung befände sich zunächst ein «Reflektor» («tamper») aus Beryllium oder einem anderen geeigneten Material, welches die Neutronen-Geschwindigkeit rasch reduziert. An den Reflektor anschliessend befände sich möglicherweise eine Lage Chemikalien, die so gewählt sind, dass sie mit den von der Hauptreaktion herrührenden Streuneutronen reagieren und radioaktive Isotopen nach Wunsch bilden. Im Innern befände sich der eigentliche «Ofen» («pile»), bestehend aus einer Plutoniummasse, zusammen mit einem äusserst reinen «Moderator», der die Geschwindigkeit der durch Spaltung erzeugten Neutronen heruntersetzt, und einem Wärmeübertragungs-Medium, bestehend aus verflüssigtem Metall.

Um die durch die Kernreaktion erzeugte Wärme in den für den Antrieb einer Turbine benötigten Dampf umzuwandeln, hat der Konstrukteur zwei Möglichkeiten: 1. Grosse Quantitäten flüssigen Metalls in Umlauf zu bringen, oder 2. eine geeignete metallische Flüssigkeit zu verdampfen und zu kondensieren.

Neben dem «Atomofen» selbst müssen eine bedeutende Menge Hilfseinrichtungen vorhanden sein. Eine ferngesteuerte chemische Anlage muss die «ausgebrannten» Plutoniumklumpen chemisch auflösen und das Metall von den Spaltungsprodukten trennen. Das nicht an der Reaktion beteiligte Plutonium kann wieder dem Prozess zugeführt werden. Die brauchbaren Spaltungsprodukte würden ausgeschieden, der Rest weggeschafft. Einrichtungen für die Aufnahme dieses radioaktiven Schuttes können aus sehr tiefen Schächten, ähn-