

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 35 (1944)

Heft: 26

Artikel: Ueber die Verwertung von Wasserkraftenergie niedriger Wertigkeit in unseren Krankenhäusern

Autor: Moser, P.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1061626>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 17.02.2026

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

BULLETIN

REDAKTION:

Sekretariat des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Zürich 8, Seefeldstrasse 301

ADMINISTRATION:

Zürich, Stauffacherquai 36 ♦ Telephon 25 17 42
Postcheck-Konto VIII 8481

Nachdruck von Text oder Figuren ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit Quellenangabe gestattet

XXXV. Jahrgang

Nº 26

Mittwoch, 27. Dezember 1944

Ueber die Verwertung von Wasserkraftenergie niedriger Wertigkeit in unseren Krankenhäusern

Von P. Moser, Bern

620.97
621.364.37

Nach einigen Betrachtungen allgemeiner Natur über eine möglichst vollständige Verwertung der niederwertigen Energie unserer Wasserkraftwerke wird am Beispiel eines grossen schweizerischen Krankenhauses dargetan, wie sich der Übergang vom Anfangszustande reichlicher Abfallenergielieferung zum Endzustande ausschliesslicher Belieferung im Sommerhalbjahr gestaltet hat. Dabei wird versucht, die Verhältnisse unter der Voraussetzung einer stetigen Entwicklung vom einen zum andern Zustande darzustellen. Die weiteren Abschnitte handeln unter Zuhilfenahme dreier typischer Elektrizitätsverbraucher von den Eigenschaften des Speichers mit Wärmeausgleich über eine Woche. In den folgenden Kapiteln werden die Vorteile des Schichtungsspeichers im Vergleich zum Gefülespeicher besprochen sowie einige Aneutungen über den Gegendruckbetrieb gemacht. Zum Schluss wird die Frage zu erwarten, sehr anpassungsfähiger Steuerungen der Einschaltzeit von Wärmespeichern kurz gestreift.

Allgemeines

Wenn man die Verbraucher elektrischer Energie nach den erzielten Kilowattstundenpreisen einteilt, wird man an die Spitze dieser Reihe die Beleuchtungsenergie stellen, worauf die für den Betrieb der Elektromotoren benötigte Energie folgt. Die nächste, weit verzweigte Gruppe bilden die Wärmeenergieverbraucher aller Art, während am Schlusse dieser Aufzählung die Abfallenergie steht. Die Überschussenergie kann in normalen Zeiten nur zu bescheidenen Preisen verkauft werden, z. B. zum Kohlenäquivalenzpreise, was vor diesem Kriege einem Entgelt von 0,5...1,00...1,5 Rp./kWh gleichkam. Für Elektrokesselenergie schwankt gegenwärtig der befrördlich bewilligte Preis je nach den früheren Lieferungsbedingungen zwischen 1,6 und 2,5 Rp./kWh, während die hochwertige Energie bis heute noch keinen Preisaufschlag erfahren hat.

Das namentlich bei grösseren schweizerischen Elektrizitätsgesellschaften seit Jahren mindestens bis zum Kriegsausbruch zu beobachtende ziemlich stetige Absinken des mittleren Kilowattstunden Erlöses ist in der Hauptsache auf das Ansteigen des Wärmeenergieanteils am Gesamtenergieabsatz, d. h. also auf den allmählichen Übergang auf eine geringere mittlere Wertigkeit der verkauften Energie zurückzuführen. Eine interessante, im gegenteiligen Sinne wirkende Erscheinung bilden die Wärmepumpen, deren Betrieb gestattet, aus der Umwelt

Après quelques considérations générales sur l'utilisation aussi complète que possible des excédents d'énergie de faible valeur de nos usines hydroélectriques, l'auteur considère le cas d'un grand hôpital suisse et montre comment s'est opérée la transition entre un excédent considérable d'énergie disponible et l'utilisation exclusive de cette énergie durant le semestre d'été. Il expose dans quelles conditions un passage progressif d'un état à l'autre peut être assuré. Il examine ensuite les caractéristiques d'un accumulateur de chaleur dont le soutirage s'étend sur une semaine, pour trois types de consommateurs d'énergie électrique, met en évidence les avantages de l'accumulateur à soutirage de chaleur par couches successives par rapport à l'accumulateur à baisse progressive de la température et fait quelques observations à propos de l'exploitation à contre-pression. Pour terminer, il signale brièvement la possibilité de réaliser une régulation très souple de la durée d'enclenchement des accumulateurs de chaleur.

oder bestimmten Prozessen stammende Wärme durch Erhöhen von Druck und Temperatur geeigneter Wärmeträger in ihrer Wertigkeit und damit wirtschaftlichen Verwendungsmöglichkeit zu heben. Diese Tatsache hat für die Energielieferer die angehende Folge, dass die Motorenenergie, welche die Wärmepumpen in beträchtlichen Mengen benötigen, je nach der Leistungsziffer der Anlage einen verhältnismässig hohen Kilowattstundenpreis zu tragen vermag. Bedauerlicherweise setzen hauptsächlich die relativ hohen Anlagekosten derartiger Aufwertungsanlagen für Wärme einer weiten Verbreitung dieser Maschinengattung vorläufig noch ziemlich enge Grenzen.

Trotzdem für den niederwertigen Energieanteil der von unseren Wasserkraftwerken erzeugten weissen Kohle in normalen Zeiten nur bescheidene Energiepreise bezahlt werden, darf dennoch eine sinnvoll gelenkte Wirtschaft nicht auf die möglichst vollständige Verwertung auch dieser Energie verzichten. Da es sich übrigens um recht bedeutende Arbeitsmengen handelt, lässt sich für das gesamte Gebiet der Schweiz selbst bei niedrigen Einheitspreisen ein ansehnlicher Einnahmeposten aus dieser Energiekategorie erzielen. Es liegt auf der Hand, dass ganz besonders in der heutigen Zeit ein möglichst weit getriebener Ersatz der ausländischen schwarzen durch unsere inländische weisse Kohle für unsere Wirtschaft von grosser Bedeutung ist.

Die in der kommenden Friedenszeit im Vergleich zu heute höchst wahrscheinlich wieder billiger erhältlichen guten Brennstoffe werden im Verein mit der naturgemäß begrenzten Leistungsfähigkeit unserer Wasserkraftwerke automatisch einen Gleichgewichtszustand zwischen Wärme aus Wasserkraft und Wärme aus den für unser Land in Betracht fallenden Brennstoffen ergeben. Die folgenden Betrachtungen haben den Zweck, an einigen Beispielen die Verwendungsmöglichkeit von Ueberschussenergie besonders in unseren Krankenanstalten zu behandeln, wobei ein grosser Teil des Gesagten allgemein gültig ist.

Wenn eine Elektrizitätsunternehmung in rascher Entwicklung begriffen ist, wird sie zur Deckung ihres steigenden Energieabsatzes von Zeit zu Zeit Kraftwerke erstellen oder sich auf andere Weise neue Energiequellen erschliessen müssen. Im allgemeinen wird in Friedenszeiten nach jedem derartigen Ereignis zeitweise, namentlich im Sommer und während der Uebergangsmonate, ein Teil der nun zur Verfügung stehenden Energie nicht sogleich zu normalen Tarifpreisen abgesetzt werden können. Es ist naheliegend, derartige Ueberschussenergie etwa zum Kohlenäquivalenzpreis oder zu ähnlichen Bedingungen an geeignete Verbraucher abzugeben. In dem Masse, wie sich der zu normalen Preisen verkäufliche Energieanteil erhöht, vermindert sich entsprechend der Anteil an Energie niedriger Wertigkeit. Eine geeignete zeichnerische oder rechnerische Darstellung des Wärmebedarfes der Abnehmer der niederwertigen Energie über eine bestimmte Zeitspanne wird also ein Bild von der mehr oder weniger raschen Verminderung der insgesamt von jener Unternehmung abgesetzten Ueberschussenergie geben.

Der Übergang von Wärme, die aus überschüssiger Elektrizität erzeugt ist, zu aus Kohle oder andern Energieträgern erzeugter Wärme pflegt nicht stetig, sondern bisweilen recht unregelmässig vor sich zu gehen. Schon allein der Energieanfall in unseren Kraftwerken und damit erst recht die verbleibende Energiemenge niedriger Wertigkeit können von einem Jahr zum andern ganz erheblich schwanken. Zudem sind stark ins Gewicht fallende Energieverbraucher, z. B. Industrien konjunkturempfindlich, während der direkt mit dem Leben des Einzelnen verbundene Energieverbrauch in den Haushaltungen erheblich krisenfester zu sein pflegt. Aus diesen wenigen Andeutungen geht hervor, dass, um eine praktisch restlose Verwertung der gesamten hydraulisch erzeugbaren Energie zu erreichen, entsprechende Ausweichmöglichkeiten für den Absatz von Ueberschussenergie vorhanden sein müssen. Ein sehr wichtiger Abnehmer für Elektrizität niedriger Wertigkeit ist der Energieexport.

Wenn der Anteil der aus Wasserkraftwerken erzeugten Energie bei einer Unternehmung hoch ist, wird es nötig sein, der Verwertung der ausserhalb der normalen Arbeitszeit anfallenden Elektrizität besondere Beachtung zu schenken. Dieser Fall tritt nicht nur bei einer ganzen Reihe von Elektrizitätswerken der öffentlichen Hand auf, son-

dern recht häufig auch bei Anlagen, welche im Besitze von Industriellen und Gewerbetreibenden stehen, deren Betriebe normalerweise über das Wochenende und während der Nacht stillgelegt sind. Handelt es sich um Anlagen mit erheblichem Wärmeverbrauch, so wird man, wenn dies nicht bereits der Fall sein sollte, den elektrischen Einzelantrieb der Maschinen an Stelle des früher allgemein üblichen Antriebes durch grosse Transmissionen einführen und die Wasserturbinen auf Generatoren arbeiten lassen, wobei man allenfalls noch Elektrizität an Dritte abgeben kann. Baut man einen Wärmespeicher genügender Grösse ein, so lässt sich die Wasserkraft über das Wochenende, während der Mittagszeit und der Nacht mindestens zum Teil in der eigenen Fabrik ausnützen. Man erleichtert sich das Problem der Wärmespeicherung sehr, wenn man nicht Dampf, sondern Heisswasser als Wärmeträger wählt. Es lassen sich dann gewisse Vorteile im Betrieb erreichen, indem z. B. die schwerwiegenden Nachteile der Kondensatwirtschaft mit einem Schlag verschwinden. Die meisten der bei Anlagen dieser Art auftretenden Regulierprobleme sind bei Heisswasser eher leichter als bei Dampf zu lösen. Ueber die Grösse der Wärmespeicher wird später noch einiges gesagt.

Verlauf der gemäss einem langjährigen Lieferungsvertrag abgegebenen Elektrizität niedriger Wertigkeit

Es soll versucht werden, für einen bestimmten Fall das Abklingen der Ueberschussenergielieferungen über einen längeren Zeitabschnitt darzustellen. Im Krankenhaus X wird die Abfallenergie in einem

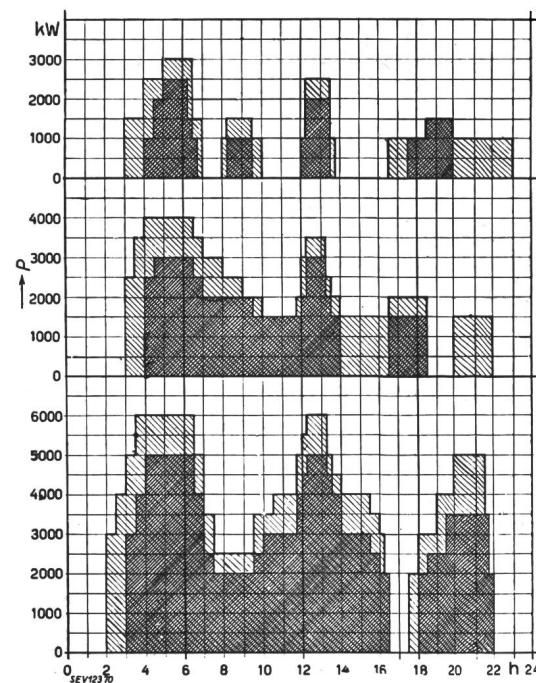


Fig. 1.
Leistungsdiagramme der Elektrodampfkesselanlage im Krankenhaus X

Es handelt sich um Bezugsdiagramme je eines Arbeitstages im Sommer (oben), in der Uebergangszeit (Mitte) und im Winter (unten).

Elektrokessel von 6000 kW Nennleistung in Dampf umgewandelt. Die Ausstattung der Anlage ist derart, dass sich die Bezugszeiten der Energie in einem bestimmten Rahmen den Wünschen des Energie lieferers anpassen lassen. Die in Fig. 1 wiedergegebenen Diagramme je für einen Arbeitstag im Sommer, in der Uebergangszeit und im Winter gewähren einen Einblick in die Einzelheiten des Fahrplanes. Um einen gewissen Spielraum in der Energieaufnahme zu erreichen, besteht jede der drei Leistungsvorschriften aus zwei übereinander gezeichneten Diagrammen. Die entsprechenden Flächen sind durch Schraffur hervorgehoben. Bei Minderbedarf wird nach Vereinbarung die einzustellende Leistung entsprechend herabgesetzt. Während im Sommer dasselbe Diagramm monatelang benutzt werden kann, wechselt während der Uebergangszeit und im Winter die Lastkurve viel rascher; hin und wieder ist ein Diagramm schon nach einer Woche überholt. Der Abnehmer muss aus naheliegenden Gründen über eine genügend anpassungsfähige Kesselhausausstattung mit rasch betriebsbereiten Wärmeerzeugern verfügen, um auf Verlangen des Lieferers jederzeit die elektrische Energie teilweise oder ganz ausschalten zu können.

Die Diagramme Fig. 1 zeigen, dass die Belastung jenes Elektrodampfkessels nach Tunlichkeit auf die Stunden ausserhalb der normalen Arbeitszeit verlegt wird, was im Sommer durchführbar ist. Eine grössere Speicherfähigkeit der Anlage wäre vorteilhaft, um gegebenenfalls den Energiebezug erheblich mehr als heute auf bestimmte Zeitabschnitte nied-

riger Belastung der Lieferwerke zusammendrängen zu können. Wir kommen später auf die Frage der Speichergrösse zurück.

Es ist klar, dass diese Verhältnisse von einem Fall zum andern grosse Unterschiede aufweisen können. Ist das Elektrizitätswerk in der Lage, in seinem Absatzgebiet eine genügend grosse Nachbelastung, etwa durch zahlreiche Warmwasserapparate, bestimmte industrielle und gewerbliche Verbraucher und dergleichen, zu erreichen, so können grössere Abfallenergieverbraucher mit entsprechend schmiegamer Wärmeerzeugung eine durchaus befriedigende Ergänzung der übrigen Verbraucher zur möglichst weitgehenden Ausnutzung der anfallenden Wasserkraftenergie bilden, was auch aus Fig. 3 und 4 hervorgeht.

Fig. 2 zeigt, wie sich im Krankenhaus X der gesamte tägliche Wärmeverbrauch, gemessen im Kesselhaus, im Verlaufe von 9 Jahren gestaltet hat. Während der ersten Zeit war der Anfall an Abfallenergie reichlich, so dass im Jahre 1936 das Spital seinen Wärmebedarf fast ganz mit Hilfe elektrischer Energie decken konnte. Im fünften Winter stand während der drei kältesten Monate nur wenig Elektrizität zur Verfügung, was sich im folgenden Winter verstärkte. Infolge der behördlich vorgeschriebenen Einschränkungen im Verbrauch an elektrischer und Brennstoffenergie war im Winter 1941/42 ein gewisser Endzustand erreicht, indem die Abgabe von Elektrizität an jenen Elektrokessel sich praktisch auf das Sommerhalbjahr beschränkte. Die 9 Diagramme der Fig. 2 geben einen Ueberblick über das Abklingen der in Diskussion stehenden Lieferungen. Allerdings wurde deren Verlauf durch das Kriegsgeschehen stark beeinflusst, indem der gesamte Wärmeverbrauch sich auf etwa drei Fünftel des normalen Bedarfes senkte. Wäre der Krieg nicht ausgebrochen, so hätte der Wärmeverbrauch des Krankenhauses langsam von Jahr zu Jahr zugenommen. Die Zeitspanne, welche zwischen den beiden Grenzzuständen reichlicher Abfallenergielieferung und ausschliesslicher Belieferung im Sommerhalbjahr, d. h. einem Lieferungszyklus, liegt, hätte dann nicht ungefähr 10, sondern einige Jahre länger gedauert.

Fig. 3 und 4 geben einen Einblick in die Einzelheiten des täglichen Wärmebedarfes im Krankenhaus X je für einige Monate der besonders interessanten Uebergangszeiten im Frühling 1937 und im Herbst 1939. Ein Blick auf Fig. 3 lehrt, dass gegen Ende des Monats Oktober 1939 zeitweise ziemlich viel Abfallenergie zur Verfügung stand, was kurze Zeit sogar ausschliesslich elektrischen Betrieb erlaubte. Im November blieb es im wesentlichen bei Wochenendenergielieferungen, während im Dezember wieder wochenlang rein elektrisch gefahren werden konnte. Die Abfallenergielieferungen im Frühling 1937 wolle man Fig. 4 entnehmen. Man erkennt, dass im Februar 1937 ein grosser Teil der benötigten Wärme mit Hilfe von Elektrizität bestritten werden konnte. Nach einem Lieferungsunterbruch von einigen Tagen um den 10. März herum war dann die Wahrscheinlichkeit, während

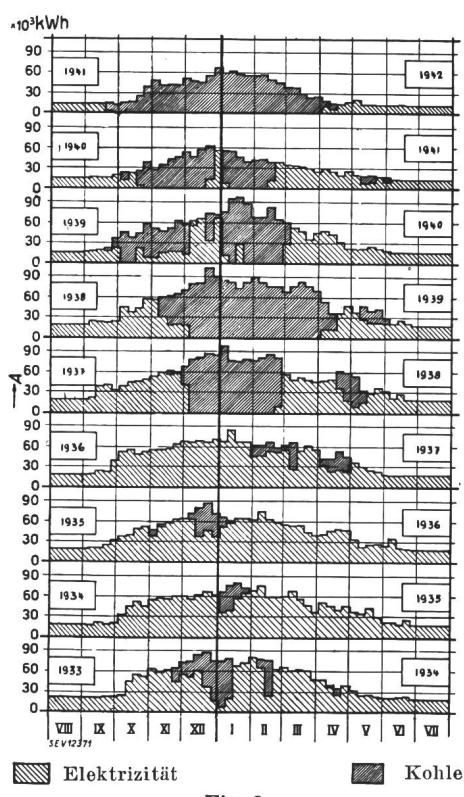


Fig. 2.

Wochenmittel der täglichen Gesamtwärmeverbrauche (4 in 1000 kWh) des Krankenhauses X, gemessen im Kesselhaus. Entwicklung dieser Verbrauche während 9 Jahren. Der bisher grösste Jahresbedarf wurde 1938 beobachtet. Er betrug in elektrischer Arbeit gemessen 17,3 Millionen kWh.

der nächsten Wochen bedeutende Mengen an niedriger Energie aus den Kraftwerken (Gruppe Hochdruck- und Laufwerk) zu erhalten, so gross, dass der Lieferer während etwa vier Wochen den ausschliesslich elektrischen Betrieb gestatten konnte. Da die Witterung dann aber im Verlaufe des Monats April hauptsächlich infolge Verzögerung der Schneeschmelze im Einzugsgebiet des hochgelegenen Stausees für die Energieerzeugung weniger günstig als während der beiden Vormonate ausfiel, standen arbeitstäglich nur noch etwa 20 000, über das Wochenende etwa 30 000...40 000 kWh zur Verfügung des Krankenhauses X. Die Bezugsdiagramme dieses Energieverbrauchers entsprechen nicht bloss der augenblicklichen Abfallenergielieferung des Lieferers, sondern sie müssen die wahrscheinliche Energieerzeugung der liefernden Kraftwerkgruppe jeweilen für die nächsten Wochen oder sogar Mo-

halb eines bestimmten Rahmens in Uebereinstimmung befindet. So tritt der Fall nicht selten ein, dass ein Spital bei rein elektrischem Sommerbetrieb, um mit seiner Wärmespeicherung durchzukommen, z. B. an Stelle von zwei wöchentlichen Wäschetagen mit ihrem konzentrierten Wärmebedarf deren drei einführt, wovon es unter Umständen abhängen kann, ob der Wärmeausgleich über eine Woche durchgeführt werden kann oder nicht.

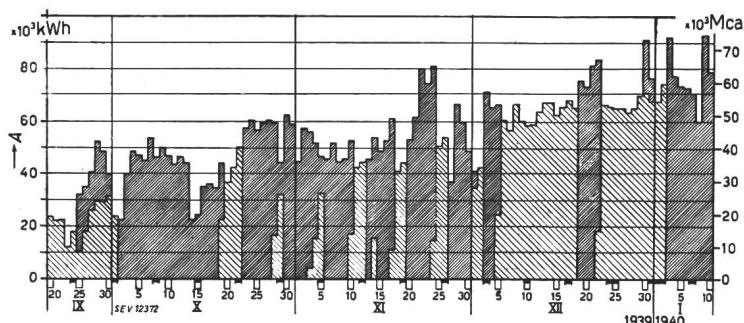


Fig. 3.

Täglicher Gesamtwärmeverbrauch (A in 1000 kWh) des Krankenhauses X im Herbst 1939

Im November 1939 wurde ziemlich viel Wochenendenergie verbraucht. Entsprechend den damals eingehaltenen Ablesezeiten der Zähler sind Energieübertragungen von einem Tag auf den andern unvermeidlich gewesen und damit in unserer Darstellung mitenthalten. Die Sonntage sind durch schwarze Rechtecke unter der Abszissenachse gekennzeichnet.

stig als während der beiden Vormonate ausfiel, standen arbeitstäglich nur noch etwa 20 000, über das Wochenende etwa 30 000...40 000 kWh zur Verfügung des Krankenhauses X. Die Bezugsdiagramme dieses Energieverbrauchers entsprechen nicht bloss der augenblicklichen Abfallenergielieferung des Lieferers, sondern sie müssen die wahrscheinliche Energieerzeugung der liefernden Kraftwerkgruppe jeweilen für die nächsten Wochen oder sogar Mo-

In Fig. 5 ist die Entwicklung der Energielieferungen unter der Annahme dargestellt, dass der jährliche Wärmebedarf des Krankenhauses X unverändert auf dem Stande unmittelbar vor Ausbruch des gegenwärtigen Krieges geblieben sei. Es waren demnach die Einzelverbrauche insbesondere der letzten Jahre entsprechend vergrössert in die Zeichnung einzutragen. Für diejenigen Wochen der eben genannten Zeitspanne, welche keinen Ver-

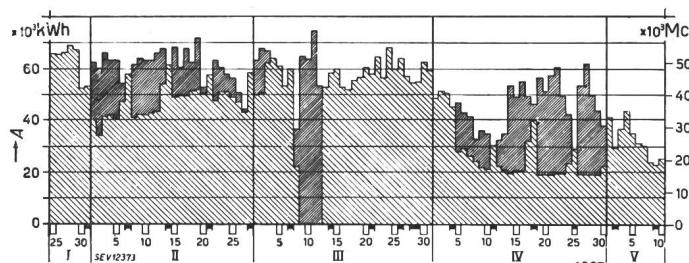


Fig. 4

Täglicher Gesamtwärmeverbrauch (A in 1000 kWh) des Krankenhauses X im Frühling 1937

Im Februar stand ziemlich viel Abfallenergie zur Verfügung, während im April ein erheblicher Teil der benötigten Wärme mit Hilfe von festen Brennstoffen erzeugt werden musste. Die Sonntage sind durch schwarze Rechtecke unter der Abszissenachse gekennzeichnet.

nate berücksichtigen. Es ist wohlbekannt, dass in unserem Lande Voraussagen über den mutmasslichen Energieanfall der nächsten Zukunft im Frühling am schwierigsten zu machen sind. Ueber diesen Punkt wird später noch einiges gesagt.

Es soll in diesem Zusammenhang beigefügt werden, dass zur Sicherstellung einer für beide Partner befriedigenden Abwicklung eines Energielieferungsvertrages u. a. eine genügende Berücksichtigung des Betriebes des Elektrizitätsempfängers statthaben muss. Es kann beispielsweise bei kombiniertem Betrieb der Fall eintreten, dass infolge kleiner Wärme last des oder der feuerbeheizten Kessel die Ausnutzung der Brennstoffe unbefriedigend ist. Man wird dann danach trachten, die Lieferungsdiagramme entsprechend zu ändern. Natürlich wird auch der Abnehmer sich möglichst den gegebenen Umständen anpassen und seinen Wärmeverbrauch in der Weise lenken, dass die entstehende Wärmeverbrauchskurve sich mit dem vom Elektrizitätsempfänger vorgeschriebenen Leistungsdiagramm inner-

brauch an Brennstoffen aufweisen, steht nicht mit Sicherheit fest, ob, wie es eingezeichnet wurde, die dem ermittelten Friedenswärmeverbrauch entsprechende Abfallenergiemenge auch wirklich vollständig vorhanden gewesen wäre. Es darf aber angenommen werden, diese verhältnismässig kleine Unsicherheit ergebe keinen merkbar ins Gewicht fallenden Fehler in unseren Betrachtungen.

Um alle Einflüsse, welche im vorliegenden Falle auf die Menge der zur Verfügung des Krankenhauses X stehenden Abfallenergie einwirken, in ihren Folgen als möglichst stetige Veränderliche der Zeit erscheinen zu lassen, war es gegeben, eine ziemlich grosse Zahl der einzelnen Wärmebedarfe je unter sich innerhalb der 9 entsprechenden Wochen der Betrachtungszeit von 9 Jahren auszutauschen. Dieser Standortwechsel wurde in der Weise vorgenommen, dass mit fortlaufender Entwicklung der Anteil an Abfallenergie immer kleiner wurde, bis nach Erreichen eines vorläufigen Endzustandes diese Lieferungen sich auf das Sommer-

halbjahr beschränkten, das ist diejenige Zeitspanne, für welche der Energielieferungsvertrag eine Lieferverpflichtung vorschreibt. Das Ergebnis der auf diese Weise veränderten Fig. 2 bildet Fig. 5, welche ein übersichtliches Bild des allmählichen Ueberganges von mit Elektrizität zu mit Brennstoffen erzeugter Wärme gibt.

Gleicht man die Wärmeverbrauche nach Fig. 5 aus, und nimmt weiterhin an, es hätten dauernd die

Energie entsprechend niedrigen Preises decken. Sind die Wasserverhältnisse der Kraftwerke günstig, so wird es bisweilen möglich sein, in bestimmten Betrieben, z. B. in Krankenanstalten mit geeigneter technischer Ausrüstung, zusätzliche Wasserkraftenergie zur Deckung eines Teiles des Raumheizwärmebedarfes heranzuziehen. Die entsprechenden Wärmebedarfskurven werden dann je nach den verfügbaren Energiemengen den Fig. 6/3 und 6/4

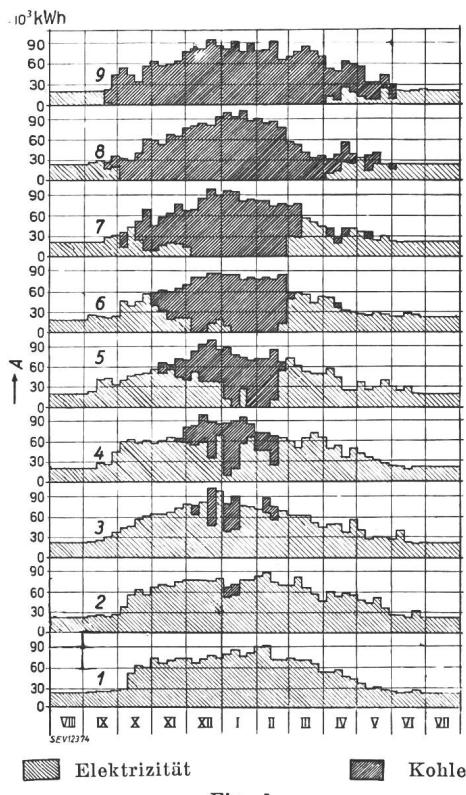


Fig. 5.

Wochenmittel der täglichen Gesamtwärmeverbrauche des Krankenhauses X im Verlaufe von 9 Jahren

Die Werte sind auf den Bedarf kurz vor Ausbruch des gegenwärtigen Krieges umgerechnet und so geordnet, wie wenn der Uebergang vom Anfangszustande reichlicher Abfallstromdarbietung zum Endzustande der ausschliesslichen Belieferung im Sommerhalbjahr stetig vor sich gegangen wäre.

langjährigen mittleren Ortsaussentemperaturen geherrscht, so ergibt sich Fig. 6. Ueber dem ganzjährigen Wärmeverbrauch wölbt sich parabelförmig begrenzt der Raumheizwärmebedarf. In Wirklichkeit ergeben die während der Heizzeit immer wieder auftretenden stärkeren oder schwächeren Kälte- und Wärmewellen entsprechend unregelmässige Kurven der täglichen Wärmeverbrauche. Fig. 3 und 4 geben für je einen Frühling und einen Herbst Aufschluss über diesen Bedarf. Normalerweise würde das Krankenhaus X bei -10°C mittlerer Aussentemperatur ungefähr 120 000, bei -15°C etwa 135 000 kWh täglich benötigen¹⁾.

In Friedenszeiten stellen viele Warmwasserbereitungsanlagen und ähnliche Energiebezüger ganzjährige Verbraucher dar, welche ihren Wärmebedarf mehr oder weniger gleichmässig über das ganze Jahr verteilt unter Verwendung elektrischer

¹⁾ Moser P., Ueber den Energiebedarf von Krankenhäusern, Wass.- u. Energ.-Wirtsch. 1937, Nr. 11/12.

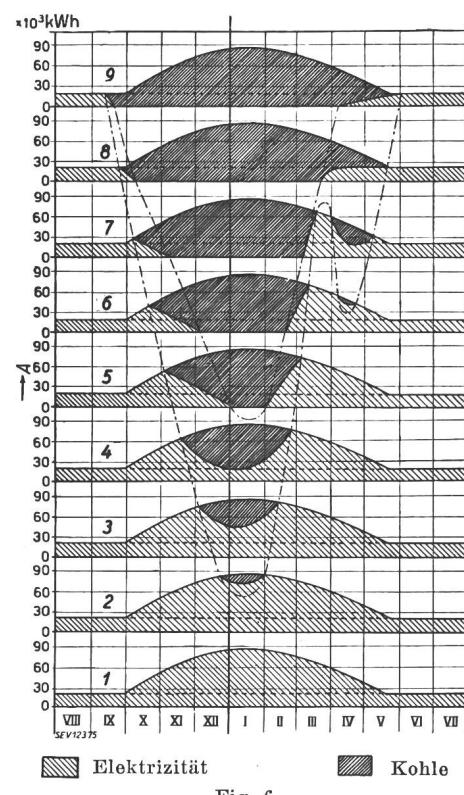


Fig. 6.

Ausgeglichene Verbrauche der Fig. 5 unter der Annahme, dass dauernd die langjährigen Ortsmittelwerte der Aussentemperatur geherrscht hätten

Die entsprechenden Punkte je von Beginn und Ende der Abfallenergielieferungen sind durch Kurven miteinander verbunden. Während diese Kurven im Herbst stetig verlaufen, zeigt die äussere Kurve im Frühling eine Unregelmässigkeit, indem sie in den Monaten März und April eine Oberschwingung aufweist. Die kleinsten Lieferungen von Abfallenergie nach der obersten Zeichnung decken nur noch zwei Fünftel des ganzjährigen oder ungefähr einen Fünftel des gesamten Wärmebedarfes.

ähneln. Hatte der Elektrizitätslieferer ausbedungen, in Zeiten von Energieknappheit, also vorzugsweise in kalten Wintern, seine Lieferungen dieser Art ganz oder teilweise einzustellen, so werden die Wärmeverbrauchskurven im wesentlichen den Fig. 6/5, 6/6 oder 6/7 entsprechen. Fig. 6/8 würde analoge Verhältnisse betreffen wie bei jenen Betrieben, welche ihren Wärmebedarf im Sommer mit Elektrizität, im Winter mit Brennstoffen decken. Man kann demnach sagen, die Wärmezentrale des Krankenhauses X habe im Verlaufe eines Lieferungszyklus die Rolle verschiedener Bezüger minderwertiger Energie gespielt und dadurch einen beachtlichen Beitrag zur möglichst vollständigen Verwertung des Energieanfalles des Lieferers geleistet.

In Fig. 6 sind die Zeitpunkte je des Beginnes und des Aufhörens der in Frage stehenden Ueber-

schussenergielieferungen in den 9 Einzelzeichnungen durch Kurven miteinander verbunden. Während diese im Herbst ziemlich gleichmässig verlaufen, weisen sie im Frühling eine Unregelmässigkeit auf, indem sich die alljährlich wiederkehrende Unsicherheit in bezug auf den Zeitpunkt des Eintretens der vollen Leistungsfähigkeit der Laufwerke unter Berücksichtigung des Wasservorrates im hochgelegenen Speicher geltend macht. Diese Unsicherheit drückt sich in Fig. 6 dadurch aus, dass die Kurven während der Monate März und April nicht stetig wie über die anderen Monate verlaufen, sondern auf der einen Seite eine deutliche Oberschwingung aufweisen.

Aus Fig. 6 geht hervor, dass im 6. und 7. Jahr des Lieferungszyklus die in Frage stehenden, stetig verändert gedachten Energielieferungen während des Monates März verhältnismässig bedeutend sind, um merkwürdigerweise im April erheblich abzufallen. Damit scheint uns dargetan zu sein, dass für das Spital der Monat April in bezug auf die Abfallenerieverwertung der unsicherste der Übergangsmonate ist. Da aber anderseits im genannten Monat das Eintreffen eines besonders hohen Wärmeverbrauchs unwahrscheinlich ist, bedeutet für jenen Betrieb die sprichwörtliche Launenhaftigkeit des Monats April keine besondere Erschwerung.

Der Beginn der Wiederbelieferung des Krankenhauses X im Frühling mit Elektrizität niedriger Wertigkeit hängt von einer ganzen Reihe von Umständen ab, worunter der Eintritt der Schneeschmelze in den mittleren Höhenlagen und der Zeitpunkt des Einsetzens der Frühlingsregen eine bedeutende Rolle spielen. Die Verfügbarkeit von Abfallenergie im Frühling ist von Jahr zu Jahr starken Schwankungen unterworfen.

Der Wochenwärmespeicher als Auffangapparatur elektrischer Energie niedriger Wertigkeit

Die zeitliche Verteilung des Elektrizitätsbezuges scheint sich namentlich bei einem Teil der Industrie und des Gewerbes immer mehr in der Richtung einer Verminderung des Verbrauches über das Wochenende (Samstagmittag bis Montagmorgen 6 Uhr) zu entwickeln. Als kriegsbedingte Erscheinung kommt noch hinzu, dass zahlreiche Betriebe namentlich in der kalten Jahreszeit ihre Pforten schon Freitagabend schliessen. In den folgenden Betrachtungen soll immer mit einem normalen Wochenende von $12 + 24 + 6 = 42$ Stunden Dauer gerechnet werden. Wir greifen als typische Vertreter von Verbrauchern niedriger Wertigkeit die folgenden heraus:

A. Reiner Nachtenergiebezug von 22 bis 6 Uhr, also während 8 Stunden täglich und 56 Stunden in der Woche.

B. Regelmässiger Bezug während der Nacht und tagsüber zwischen den Lastspitzen sowie über das ganze Wochenende. Von Montag bis Freitag kann die Energie während 18 Stunden täglich bezogen werden. Die Sperrzeiten sind die folgenden drei Zeitabschnitte: 7 bis 8, 10 bis 12 und 16 bis 19 Uhr.

C. Sehr stark betonter Bezug über das Wochenende sowie Einschaltdauer während der Woche von 4 bis 6 und von 20 bis 21 Uhr, also kein Tagesenergieverbrauch von Montag bis Freitag.

Tabelle I gibt einen Ueberblick über die wichtigsten Grössen der drei Energiebezügergattungen A, B und C unter der Voraussetzung, dass der Wärmeausgleich über eine ganze Woche ausgedehnt wird.

Werte der Wochenwärmespeicher nach Fig. 7

Tabelle I

Annahmen: Tägliche Wärmeverbrauche:						
Mo und Sa	je 200 Mcal	zusammen	400 Mcal			
Dienstag	180 Mcal	»	180 Mcal			
Mi, Do und Fr	120 Mcal	»	360 Mcal			
Sonntag	60 Mcal	»	60 Mcal			
Wöchentlicher Nutzwärmebedarf						
					1000 Mcal	
Einschaltdauer						
Typus	Täglich Montag bis Freitag	Ueber das Wochenende	In einer Woche	Wochenende : Woche	Theor. Gebr.-Dauer	Anschlusswert bei 1000 Mcal Verbrauch pro Woche
	h	h	h	%	h/Jahr	kW
A	8	16	56	28,6	2900	22,3
B	18	42	135	31,1	7000	9,3
C	3	25	41	61,0	2130	30,5
						Mcal

In unserem Lande sind sehr viele Warmwasserapparate vorhanden, welche als reine Nachtenergiebezüger arbeiten und damit dem Typus A entsprechen. Wenn jederzeit Warmwasser vorhanden sein soll, ist die Grösse des Apparates dem grössten Tagesverbrauch entsprechend zu bemessen. Fallen die einzelnen Tagesverbrauche stark ungleich aus, so muss dies auch mit den Aufladedauern der Fall sein. Damit ergibt sich eine niedrige Gebrauchsduer des Anschlusswertes, welche meistens tiefer liegt als man normalerweise glaubt. Gebrauchsduern von 2000 und sogar unter 1500 Stunden im Jahr sind durchaus keine Seltenheiten.

Da bei vielen Elektrizitätswerken mit Nachtenergiebezügen nach Typus A ein Teil der anfallenden niedrigerwertigen Energie nicht in genügendem Masse ausgenützt werden kann, hat man häufig die mögliche Einschaltduer der Heizeinsätze wesentlich erhöht und das Aufladen der Wärmespeicher ausser während der Nacht auch über bestimmte Stunden des Tages mit schwacher Last sowie auf das ganze Wochenende ausgedehnt, womit wir beim Typus B angelangt sind. Wenn Speichergrösse und Anschlusswert richtig gewählt werden, lassen sich bei Lieferprogrammen dieser Art hohe Gebrauchsduern erzielen. Kann der Wärmeausgleich über eine Woche ausgedehnt werden, so ist es durchaus normal, eine Gebrauchsduer des Anschlusswertes von 6000 bis 6500 Stunden im Jahr zu erreichen. Bei genügend genauer Abstimmung der Sperrzeiten auf die Belastungsverhältnisse des betreffenden Netzes tragen die in Frage stehenden Energielieferungen dazu bei, die Belastungstäler auszugleichen.

Gelegentlich empfiehlt es sich, während der Woche nur einen Teil, über das Wochenende aber den gesamten Heizeinsatz einzuschalten, wodurch eine weitere Möglichkeit der Anpassung an bestimmte Gegebenheiten gewisser Energielieferer

vorliegt. Da diese Erhöhung des Wochenendenergieanteiles eine Annäherung an den Typus C bedeutet, müssen bestimmte Voraussetzungen erfüllt sein, wenn die angedeutete Massnahme befriedigend wirken soll. Für die Verwertung bedeutender Mengen von Wochenendenergie sind grosse Wärmespeicher nötig.

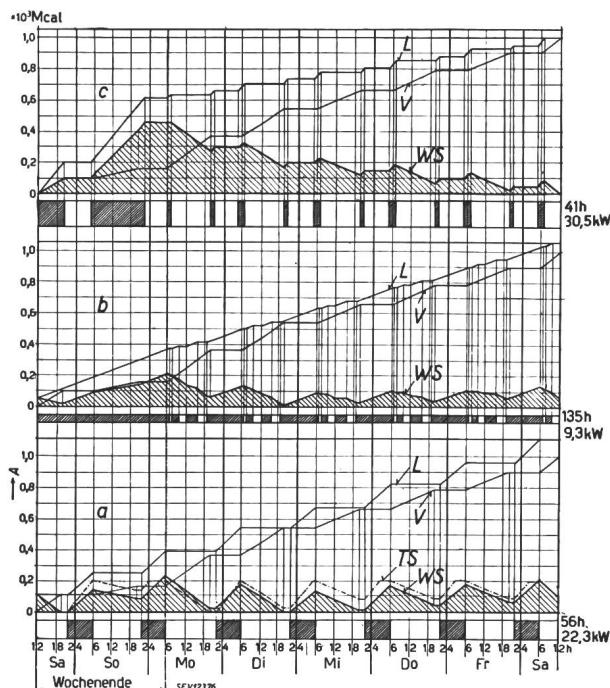


Fig. 7.

Darstellung der Verhältnisse bei der Ladung und Entladung von Wochenwärmespeichern vom Typus A, B und C gemäss Tabelle I

Die eingetragenen Linienzüge bedeuten: L (Ladung) Summenkurven der aufgenommenen und V (Verbrauch) Summenkurven der verbrauchten Wärmemengen. Die Linienzüge WS (Wochen-speicher) stellen die in jedem Zeitpunkt erforderliche Speichergrösse beim Wärmeausgleich über eine Woche dar. Die drei unter den Hauptzeichnungen z. T. schraffierten Flächenstreifen geben Aufschluss über die Einschaltzeiten der Heizeinsätze der Speicher. Die Höhe dieser Rechtecke ist proportional dem Anschlusswert gewählt.

Da der Speicher vom Typus C am Sonntagabend voll aufgeladen war, erfolgte die Wiedereinschaltung am Montagmorgen nicht um 4 sondern erst um 5 Uhr.

In der Fig. 7a ist noch die Speichergrösse für den Fall eingezeichnet, dass der Wärmeausgleich nicht über eine Woche, sondern nur über einen Tag durchgeführt wird. Man erkennt deutlich im entsprechenden Linienzug TS (Tagesspeicher) die kurze Aufheizzeit des Speichers nach denjenigen Tagen, welche einen kleinen Wärmeverbrauch aufweisen.

In Fig. 7 sind die hauptsächlichsten Grössen der 3 Wärmeverbrauchergattungen A, B und C für Wärmeausgleich über eine Woche dargestellt, wobei der wöchentliche Nutzwärmebedarf zu 1000 Mcal eingesetzt wurde. Die Grössen der angenommenen, ziemlich stark schwankenden Wärmeverbrauche der einzelnen Wochentage mag man der Tabelle I entnehmen. Wie man sieht, beginnt in unserer Darstellung die Woche Samstag um 12 Uhr, also mit dem Wochenende. In jeder der drei Zeichnungen Fig. 7 sind die zum Teil vereinfachten Summenkurven der aufgenommenen (L) und der verbrauchten (V) Wärmemengen eingetragen. Es ist bekannt, dass unter bestimmten Voraussetzungen die senkrechten Abstände zwischen diesen Linienzügen ein Mass für den in jedem Zeitpunkt erforderlichen Mindestwärmeverrat, also der Speichergrösse, bilden. Die zwischen den beiden Summenkurven eingeschlossene Fläche ist zuunterst in jeder Zeichnung wiederholt; die begrenzenden Linienzüge sind mit WS (Wochenspeicher) bezeichnet und die Flächen selber durch Schraffieren hervorgehoben.

Die Einschaltzeit der Heizeinsätze ist in Fig. 7 durch Schraffur der Rechtecke unter jeder Hauptzeichnung angedeutet, wobei die Höhe dieser Streifen proportional dem Anschlusswert gewählt wurde. Während der Einschaltzeit der Heizeinsätze steigt der begrenzende Linienzug WS an, sofern nicht gleichzeitig Wärme verbraucht wird. Während der Aufladung der Speicher und unter der eben gemachten Voraussetzung ist der Tangens des betreffenden Steigungswinkels proportional dem Anschlusswert. Die Betrachtung der Linienzüge WS lässt die Wirkung von allfälligen Unterbrechungen der Energiezufuhr mit Leichtigkeit ablesen und die auf derartige Vorkommnisse besonders empfindlichen Zeitabschnitte erkennen.

Wie aus Fig. 7 hervorgeht, müssen bei der Aufladung eines Wochenspeichers nach Typus A, die ausschliesslich mit Nachtenergie erfolgt, theoretisch 23 % des wöchentlichen Wärmebedarfes gespeichert werden, also nicht viel mehr als der angenommene grösste Tagesbedarf beträgt. Natürlich gilt dieser Prozentsatz nur unter den gemachten Annahmen. Die Anwendung des Bezugsdiagrammes nach Typus B ergibt ungefähr dieselbe Speichergrösse wie bei der Gattung A, besitzt aber die für viele Elektrizitätswerke wichtige Eigenschaft, ziemlich viel Wochenend-Tagesenergie und ausserhalb der normalen Arbeitszeit anfallende Energie zu verarbeiten. Der infolge der hohen Gebrauchsdauer sehr niedrige Anschlusswert bildet zuweilen einen entscheidenden Vorteil, wenn eine Unterstation oder eine Zuleitung nicht sehr leistungsfähig ist und einen bestimmten Ueberschussenergieverbraucher ohne Vergrösserung der verfügbaren elektrischen Leistung nur noch mitzuspeisen gestattet, wenn dessen Anschlusswert entsprechend gering ist. Kommt ein hoher Anteil des Bezuges über das Wochenende in Frage, so fällt natürlich der benötigte Speicher gross aus; ebenso wird der Anschlusswert hoch gewählt werden müssen. Wie man Fig. 7 c entnehmen wolle, sind bei Typus C 46 % des wöchentlichen Wärmebedarfes zu speichern. In besonderen Fällen kann auch diese Lösung, trotz der nicht unerheblichen Anlagekosten, in Frage kommen und einen schätzenswerten Beitrag zu einer möglichst weitgehenden Ausnutzung unserer Wasserkräfte leisten.

Sehen wir einmal zu, wie sich die Verhältnisse gestalten, wenn bei einem Verbraucher vom Typus A der Wärmeausgleich nicht über eine Woche, sondern nur über einen Tag durchgeführt wird. Unter der Annahme, der wöchentliche Nutzwärmebedarf erfordere 1250 kWh, sind demnach $0,2 \cdot 1250 = 250$ kWh zu speichern. Da zur Aufladung des Speichers 8 Nachtstunden zur Verfügung stehen, ermittelt sich der Anschlusswert zu $250 : 8 = 31,3$ kW und die Gebrauchsdauer zu $1250 : 31,3 = 40$ Stunden in

der Woche oder etwa 2100 Stunden im Jahr. Die Einschaltdauer des Heizeinsatzes erreicht während der drei zwischen Mittwoch und Samstag liegenden Nächte nur drei Fünftel und in der Nacht vom Sonntag auf den Montag sogar weniger als einen Drittel der theoretisch möglichen acht Stunden. Der beim gedachten Uebergang vom Wochen- zum Tagesspeicher notwendigerweise um 40 % erhöhte Anschlusswert, welcher nun höher als beim Typus C liegt, muss sich in bezug auf die Gebrauchsduer sehr ungünstig auswirken. In Fig. 7 a sind diese Verhältnisse dargestellt. Man wolle den Verlauf der Grösse des nötigen Wärmespeichers für Tagesausgleich (TS) mit dem entsprechenden Linienzug des Wochenspeichers (WS) vergleichen, wobei insbesondere die zahlreichen Stunden des voll aufgeladenen Tagesspeichers ausserhalb der Sperrzeit gemäss Linienzug TS unangenehm auffallen. Sind bei einem Elektrizitätswerk viele derartige Speicherapparate angeschlossen, so werden nach geringen Tagesbelastungen bei den verhältnismässig hohen Anschlusswerten dieser Energieverbraucher die Aufladezeiten kurz ausfallen, d. h. es ist das Erscheinen des bekannten «Loches» in der Belastungskurve am frühen Morgen zu erwarten. Verfügt der Energielieferer über Abfallenergiebezüger genügender Grösse, so kann bei ausreichender Speicherfähigkeit der Ausrüstungen ein mehr oder weniger vollständiger Belastungsausgleich erzielt werden.

Einiges über Wärmespeicher

Da eine weit getriebene Ausnutzung der Energie niedriger Wertigkeit durch die hier in Betracht fallenden Verbraucher im Gegensatz etwa zu metallurgischen und elektrochemischen Verwendungszwecken für einen wesentlichen Teil der bezogenen Energie den Umweg über die Wärmespeicherung einschlagen muss, sollen einige Bemerkungen über die Eigenschaften der in Frage kommenden Wärmespeicher eingefügt werden. Dabei wollen wir den sog. *Gefällespeicher*, welchem durch Druckabsenkung Dampf auf Kosten der Flüssigkeitswärme seines Heisswasservorrates entzogen wird, seiner geringen spezifischen Wärmeabgabefähigkeit wegen lediglich erwähnen. Die in der Schweiz vorhandenen Gefällespeicher verdanken ihr Dasein häufig dem Umstande, dass man seinerzeit dem gelegentlich etwas unbequemen und mit Kosten verbundenen Uebergang vom Dampf- zum Heisswasserbetrieb ausgewichen ist. Bei vielen physikalischen Vorgängen ist es grundsätzlich gleichgültig, ob die nötige Wärme in Form von Dampf oder von Wasser passender Temperatur zugeführt wird, wenn nur die Einrichtungen zweckmässig gebaut sind. Wird in einem bestimmten Fall Dampf in kleineren Mengen benötigt, so kann der Einbau eines Wärmeumformers Heisswasser/Dampf in Frage kommen.

Das Gegenstück zum Gefällespeicher bildet der *Schichtungsspeicher*, dessen Wärmeabgabefähigkeit ausser von seinem Wasservorrat von der Temperaturdifferenz zwischen Vorlauf und Rücklauf abhängig ist. Je nach den vorliegenden Verhältnissen

schwankt dieser Unterschied zwischen etwa 60...80 ...100 ° C, um gelegentlich die angegebene obere Grenze noch zu übersteigen. Damit die Schichtung des Wassers nach Temperaturen nicht gestört wird, muss die Zufuhr der Wärme nicht unten, sondern oben im Speicher vor sich gehen, was allerdings den Einbau einer Ladepumpe bedingt. *Trotz ihrer unten liegenden Heizeinsätze arbeiten die Zehntausende von Warmwasserspeichern unseres Landes, welche ausschliesslich mit Nachtenergie aufgeladen werden, tagsüber als reine Schichtungsspeicher.* Das würde nicht mehr zutreffen, wenn man zu ihrer Ladung Tagesenergie verwenden würde.

Beträgt bei einem Schichtungsspeicher der Temperaturunterschied zwischen Vor- und Rücklauf im Mittel beispielsweise 80 ° C, was einem normalen, häufig vorkommenden Wert entspricht, so sind zur Speicherung von 1000 Mcal theoretisch 1'000'000 : 80 = 12 500 kg Heizwasser nötig. Unter Einschluss des erforderlichen Ausdehnungsdampfkissens und eines Sicherheitszuschlages wird man im vorliegenden Falle einen Gesamtspeicherinhalt von gegen 15 m³ wählen. Bei den meistens vorliegenden Verhältnissen würde ein gleichwertiger Gefällespeicher zweieinhalf bis dreimal so gross ausfallen bei Wärmeverlusten, welche ebenfalls ein Mehrfaches derjenigen des Schichtungsspeichers ausmachen. Es leuchtet ein, dass gerade bei Wärmespeichern mit ihrer äusserst langen Gebrauchsduer oberster Grundsatz bleiben muss, die Wärmeverluste möglichst tief zu halten. Man wird gut tun, die wirtschaftlich günstigste Isolierstärke rechnerisch zu ermitteln.

Wenn eine Unternehmung einen erheblichen Wärmehandlauf aufweist, dessen Deckung aus irgendwelchen Gründen die Zwischenschaltung eines Wärmespeichers vorteilhaft erscheinen lässt, wird man, von bestimmten Sonderfällen abgesehen, am besten einen Schichtungsspeicher wählen, dessen Wärmeträger Wasser von genügend hoher Temperatur ist. Dabei wird man Temperaturen von etwa 120...150...180 ° C und darüber verwenden, wobei die niedrigeren Werte für kleine, die höheren für mittlere und grosse Anlagen gelten. Auch bei reinen Warmwasserversorgungen, welche bekanntlich im Gegensatz zu Heisswasser- und Gefällespeichern kein Dampfkissen benötigen, dringt der Schichtungsspeicher immer mehr durch. Er besitzt neben andern Vorteilen die günstige Eigenschaft, auch bei gleichzeitiger Ladung und Entladung bis kurz vor der vollständigen Erschöpfung des Warmwasservorrates Wasser von praktisch konstanter Temperatur abzugeben, während z. B. der Gefällespeicher Dampf von sinkendem Druck liefert. Wird eine Schichtungsspeicheranlage etwa aus baulichen Gründen unterteilt, so werden die einzelnen Behälter, von denen nur der letzte beheizt wird, in Reihe geschaltet ²⁾.

Je reichlicher ein Wärmespeicher im Verhältnis zu den ins Spiel tretenden Wärmemengen bemessen

²⁾ Nähere Angaben siehe: Moser P., Ueber die Bestimmung der Grössen von Wärmespeichern, Elektr.-Verwert. 1940/41, Heft 3/4, S. 39.

wird, um so mehr können die Betriebseigenheiten sowohl des Lieferers als auch des Abnehmers innerhalb bestimmter Grenzen auseinandergehen, z. B. wesentliche Programmänderungen in der Energiezufuhr durchgeführt werden, ohne dass eine Beeinträchtigung der Wärmeversorgung einzutreten braucht. Da die Abnehmer elektrischer Energie hoher und mittlerer Wertigkeit in Anbetracht der bezahlten Einheitspreise den Vorrang besitzen und ihre Verbrauche damit das Gerippe der Energiebezüge bilden, ist es vorteilhaft, wenn die übrigen Verbraucher, ganz besonders aber diejenigen der niedrigsten Wertigkeitsstufe, sich den in jedem Zeitabschnitt herrschenden Umständen in bezug auf die Energiedarbietung genügend anpassen können. Wie wir gesehen haben, bedeutet dies für die hier in Betracht fallenden Energieverbraucher u. a. den Besitz eines entsprechend grossen Wärmespeichers. Es wird allerdings aus finanziellen Gründen nicht möglich sein, alle Anlagen mit der technisch und wirtschaftlich wünschbaren Ausrüstung auszustatten. Immerhin sollte man von Fall zu Fall das Mögliche vorkehren, um sich dem Optimalzustand möglichst zu nähern.

Nachdem die wichtigsten Angaben über die Betriebseigenschaften der hier in Betracht fallenden Wärmespeicher gemacht worden sind, soll nun das Krankenhaus X in bezug auf seine Speicherfähigkeit hin untersucht werden. Jene Elektrokesselanlage umfasst u. a. zwei Druckgefässe, deren Heisswasserfüllung bei voller Entladung eine Dampfmenge entsprechend rund 6000 Mcal abzugeben vermag. Diese Arbeitsmenge kommt ungefähr dem halben Gesamtwärmebedarf eines normalen Sommerarbeitstages oder etwas mehr als 8 % des entsprechenden Wochenbedarfes gleich, ist also für eine derartige Abfallenergieverwertungsanlage als knapp zu bezeichnen. Grundsätzlich wäre es möglich, unter Wiederverwendung der beiden Druckgefässe beim Uebergang vom Gefälle- zum Schichtungsspeicherprinzip unter Anwendung von Heisswasser von ungefähr 185 ° C Temperatur die Wärmespeicherung im Vergleich zum heutigen Betrieb zu verdreifachen. Eine volle Speicheraufladung würde dann etwa 18 000 000 : 800 = 22 500 kWh beanspruchen, also ungefähr 50 % mehr als dem heutigen Verbrauch während eines Sommerarbeitstages entspricht. Da diese beträchtliche Speicherung ausreichen würde, um einen Viertel des ganzjährigen Wochenwärmebedarfes zu decken, würde damit die Anpassungsfähigkeit an die Wünsche des Energiebelieferers gegenüber dem heutigen Zustand stark erhöht und es wäre ohne weiteres möglich, den Wärmeausgleich über eine Woche, z. B. nach Wärmeverbrauchergattungen A oder B oder einer ähnlichen Bezugsvorschrift, durchzuführen.

Sollte das energieliefernde Werk zeitweise eine sehr konzentrierte Belastung jenes Elektrokessels etwa am frühen Morgen unter Anwendung der Nennleistung von 6000 kW wünschen, so wäre schon nach zweieinhalb Stunden der volle Tageswärmebedarf gedeckt. Diese 15 000 kWh würden

dazu beitragen, die früher erwähnte Einsenkung in der Belastungskurve des Lieferers zu verkleinern. Es käme allenfalls auch eine Vergrösserung des Bezuges über die Sonntage in Betracht, wie man sich überhaupt jederzeit den Gegebenheiten der Energiedarbietung des Lieferwerkes weitgehend anpassen könnte. Die vergrösserte Wärmespeicherung in der Wärmezentrale des Krankenhauses X würde sich nicht nur im Sommer, sondern auch während der Uebergangszeiten und im Winter günstig auf den Betrieb auswirken. Die ausgleichende Wirkung eines relativ grossen Wärmespeichers auf das ganze kalorische Geschehen in einer Anlage der vorliegenden Art ist bei richtiger Ausbildung des ganzen Systems unabhängig davon, ob nur Elektrizität oder nur Brennstoffe oder beide Wärmeträger gleichzeitig verwendet werden. Da sich mit neuzeitlich eingerichteten Wärmezentralen die Belastungsspitzen weitgehend von den feuerbeheizten Kesseln fernhalten lassen, wird eine hohe Ausnutzung der verfeuerten Brennstoffe erreicht³⁾.

Andeutungen über den Gegendruckbetrieb⁴⁾

Solange die Versorgung mit Energie aus den schweizerischen Wasserkraftwerken reichlich war und wir auch im Winter durch Anwendung bestimmter Massnahmen ohne besondere Schwierigkeiten so gut wie immer in der Lage waren, unsere Bedürfnisse an Energie der verschiedenen Arten zu befriedigen, durften wir uns, wie es scheint, erlauben, in der Energiewirtschaft da und dort Lücken offen zu lassen und bestimmte Möglichkeiten nicht voll auszuschöpfen. In den gegenwärtigen Zeiten und wohl auch in der näheren Zukunft sehen wir uns aber gezwungen, jede sich bietende Gelegenheit zur Verbesserung und Erleichterung der Lage auf dem Energiemarkt auszunützen. Eine solche Möglichkeit besteht darin, in den hierzu geeigneten bestehenden oder noch zu errichtenden Wärmezentralen unter Anwendung des altbekannten Gegendruckverfahrens namentlich im Winter zusätzlich elektrische Energie zu erzeugen, wobei der im eigenen Betrieb nicht benötigte Anteil an das Elektrizitätswerk abzugeben ist.

Wählen wir zum Beispiel ein älteres Heizkraftwerk, welches mit dem niedrigen absoluten Gegendruck von 2 kg/cm² entsprechend einer Satt dampf temperatur von 120 ° C arbeiten möge. Während diese Temperatur für eine ganze Reihe von Wärmeanwendungen ungenügend ist, lassen sich z. B. die Brauch warmwasserbereitung und die Wärmeversorgung von Raumheizungen mit der genannten Temperatur einwandfrei durchführen. Die Ausbeute an elektrischer Energie und die Verwertbarkeit der im Abdampf enthaltenen Wärme werden beim Gegendruckbetrieb um so günstiger, je höher der Frisch dampfdruck gewählt wird.⁵⁾

³⁾ Moser P., Einordnung der Wärmeverbraucher in den Wärmehaushalt unserer Krankenhäuser. Heiz. u. Lüft., Bd. 11, 1944, Nr. 1.

⁴⁾ Siehe auch Bull. SEV 1943, Nr. 25, S. 768.

⁵⁾ Streuli W.: Diskussionsbeitrag zur Energierücklieferung aus Wasserkraftanlagen der Industrie in das allgemeine Versorgungsnetz, Wass.- u. Energ.-Wirtsch. 1944, Nr. 6, S. 64.

In Fig. 8 ist in groben Zügen dargestellt, welche theoretischen Möglichkeiten im Krankenhaus X in bezug auf die Erzeugung elektrischer Energie bei verschiedenen Frischdampfdrücken bestehen, wobei die in Fig. 6 gemachten Annahmen hinsichtlich des Wärmebedarfes zugrundegelegt sind. Stände in jener Anlage Dampf von 50 kg/cm^2 absolutem Druck

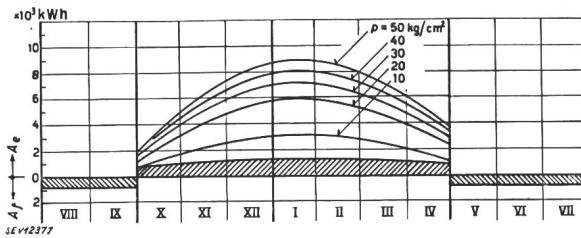


Fig. 8.

Theoretische Möglichkeiten der Erzeugung elektrischer Energie im Gegendruckbetrieb im Krankenhaus X

Gegendruck abs.: 5 kg/cm^2 .
 p Absoluter Druck des überhitzen Dampfes von 400°C .
 A_e Eigenenerzeugung elektrischer Energie
 A_f Fremderzeugung elektr. Energie
Die schraffierten Flächen stellen den Energieverbrauch des Krankenhauses dar.

Frischdampfdruck p_{abs}	Überschuss der Energieerzeugung pro Winter	
	kg/cm^2	kWh
10	250 000	
20	750 000	
30	950 000	
40	1 100 000	
50	1 250 000	

und 400°C Temperatur zur Verfügung, so könnten während eines Dezembertages durchschnittlicher Aussentemperatur bei 5 kg/cm^2 absolutem Gegendruck etwa 9000 kWh erzeugt werden, was bei der üblichen Betriebsdauer von 15 bis 16 Stunden einer mittleren Generatorlast von 600 kW entspricht. Bei 10 kg/cm^2 absolutem Frischdampfdruck und 400°C Temperatur würden sich die beiden Werte auf den dritten Teil der erwähnten Größen vermindern. Wie aus Fig. 8 hervorgeht, stehen über den verhältnismässig niedrigen Eigenbedarf des Spitäles hinaus während eines Dezembertages im Mittel beim hohen Dampfdruck 7500, beim niedrigen noch 2000 kWh zur Verfügung des Elektrizitätswerkes. Wenn der Gegendruckbetrieb während der 7 Monate Oktober bis April durchgeführt wird, beträgt die verfügbare Arbeit das eine Mal etwa 1 250 000 kWh, das andere Mal 250 000 kWh, wie man der Abb. 8 entnehmen kann.

Die gleichzeitige Erzeugung von Elektrizität und Wärme im Gegendruckbetrieb wäre, rein technisch betrachtet, auch im Sommer möglich. Die Wirtschaftlichkeit dagegen wäre in Frage gestellt. Zur Verbesserung unserer Energieversorgung im Winter sollte jedoch von den Möglichkeiten, die der Gegendruckbetrieb bietet, Gebrauch gemacht werden.

Schlussbetrachtungen

Ein grosser Teil der bei uns im Gebrauch stehenden Warmwasserapparate wird durch Aufladung mit Nachtenergie betrieben, wobei das Lieferwerk

bereits durch Staffelung der Sperrzeiten eine Verbesserung seiner Belastungskurve erreichen kann. Es lässt sich aber nicht leugnen, dass diese Art der Abgabe elektrischer Energie niedriger Wertigkeit bisweilen zu starr ist, was insbesondere für diejenigen Elektrizitätswerke zutrifft, welche einen hohen Anteil ihrer Energie aus Laufwerken beziehen. Da sich die Betriebsverhältnisse namentlich auf der Verbraucherseite dauernd mehr oder weniger stark ändern, ergibt sich durch diese fortwährende Wandlung gewisser technischer Werte die Wünschbarkeit, die in Frage stehende Energie nicht nur in Funktion der Zeit, sondern auch unter Berücksichtigung der erwähnten Betriebsverhältnisse abzugeben. Es ist vorteilhaft, wenigstens bei einem Teil der in Diskussion stehenden Energie die Bezugszeit individuell zu steuern. Man wird z. B. kleinere Warmwasserapparate strangweise zusammenfassen, während grosse Verbraucher als Einzelbezüger behandelt werden. Auf diese Weise dürfte es gelingen, die Gesamtheit aller Energieverbraucher einem System einzuordnen, das ein Kollektiv mit volkswirtschaftlich wertvollsten Eigenschaften darstellt. Glücklicherweise sind wir auf diesem Wege in der Schweiz schon weit fortgeschritten, was uns aber nicht hindern darf, die verbleibenden Aufgaben einer baldigen Lösung entgegenzuführen.

Um das gesteckte Ziel zu erreichen, wird man etwa daran denken, durch Fernbeeinflussung des Aufladevorganges geeigneter Wärmespeicheranlagen eine ausreichende Anpassung der Belastungskurven der Elektrizitätswerke an die Gegebenheiten ihrer Energieerzeugungsanlagen in der Weise anstreben, dass jederzeit bis auf wirtschaftlich belanglose Reste der Energianfall nützlich verwertet werden kann. Es scheint, dass die Anwendung von Hochfrequenzsteuerungen berufen sein dürfte, die hier noch bestehende Lücke auszufüllen. Es sollte auf diese Weise gelingen, einen ansehnlichen Teil der niederwertigen Energie mit verschiebbarer Aufladezeit der Wärmespeicher in der Weise zu verlagern, dass die Anpassung an die wechselnden Betriebsverhältnisse des Lieferers genügend rasch und energiewirtschaftlich richtig erfolgt. Ob man dabei die Steuerimpulse direkt vom erzeugenden Werk oder geeigneten Unterstationen ausgehen lassen will, ob Hand- oder gegebenenfalls nicht besser die automatische Betätigung der Apparaturen vorgesehen werden soll, sind nur einige der auftauchenden Probleme, deren Lösung unserer einschlägigen Industrie zweifellos keine besonderen Schwierigkeiten bereiten dürfte. Es ist sehr zu hoffen, dass in der kommenden Friedenszeit die Ausnutzung unserer niederwertigen Energie aus Wasserkraft weiterhin gefördert werden kann. Wenn es möglich ist, die angedeuteten Ergänzungen und Verbesserungen durchzuführen, leisten wir damit auch auf diesem Sektor einen Beitrag zum grossen Werk der Arbeitsbeschaffung und der Festigung unserer Volkswirtschaft.