Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 31 (1940)
Heft: 14

Artikel: Die Heisswasserspeicher und die Belastungskurve
Autor: Werdenberg, W.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1058007

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: 22.08.2025

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

et déchets de fruits». La régie fédérale des alcools fait également partie de cette commission avec l'association citée plus haut. Des essais de séchage ont été effectués avec les appareils exposés; M. E. Höhn les décrit, dans la brochure que nous avons mentionnée; celle-ci contient aussi les conclusions très intéressantes que M. Rhiner, directeur de l'Ecole d'agriculture Custerhof tire de ces essais quant aux variétés de fruits qui se prêtent au séchage. Parmi les appareils de séchage exposés se trouvaient à côté des fabrications connues, ceux que les «Centralschweizerischen Kraftwerke» ont développés et essayés dans leur ferme modèle d'Emmen.

Il existe en Suisse plusieurs grandes installations industrielles de séchage. Le service de l'Electricité de la ville de Berne a mis obligeamment à notre disposition, les caractéristiques principales et le schéma de principe d'une installation se trouvant à Berne. Elle est installée pour une puissance de chauffe de 50 kW, répartie entre 9 fours de séchage, elle possède 10 ventilateurs d'une puissance totale de 3 kW; cette installation peut transformer en conserves journellement (service de 24 h) env. 1200 kg d'haricots verts ou 1400 kg de fruits frais. Il s'agit d'une installation construite en 1918, pendant la guerre et agrandie depuis.

L'organisation du transport des produits frais et l'enlèvement des produits séchés ainsi que l'organisation du séchage lui-même joue un rôle économique important pour les grandes installations de séchage qui doivent être établies, au mieux des circonstances, sous l'impulsion de l'Office fédéral de guerre pour l'alimentation avec le concours des associations féminines et où cela est possible, des centrales d'électricité.

Les préparatifs pour cette organisation sont assez avancés dans certaines parties du pays; par exemple dans la région des «Forces motrices bernoises».

La commission suisse des applications électrothermiques s'occupera elle aussi du séchage des fruits, des légumes et des condiments; elle vouera tous ses soins, avant tout, à l'échange des expériences faites. Cette commission se rend très bien compte que l'électricité n'entre pas seule en ligne comme source de chaleur, mais que toute chaleur industrielle inutilisée doit avant tout, être employée pour le séchage artificiel. Mais comme ce genre de chaleur n'est qu'exceptionnellement à disposition et que les combustibles étrangers doivent être réservés pour le chauffage des habitations, la collaboration de la commission suisse des applications électro-thermiques avec d'autres cercles d'intéressés est tout indiquée; la ventilation des fours de séchage de grande et moyenne puissance exigera toujours l'électricité.

La commission des applications électro-thermiques désire par cette première communication, attirer l'attention — spécialement des centrales électriques — sur l'importance et l'urgence qu'il y a à soutenir les efforts que font les autorités du pays pour que la plus grande quantité possible de fruits et légumes soient mis en conserve. Si la commission n'a pas encore eu le temps de traiter elle-même le problème du séchage, elle s'est efforcée de fournir, par les indications contenues dans cet article, des bases pouvant aider utilement les intéressés pour résoudre cette question. Mais avant tout, elle prie tous ceux qui, par la suite, auront l'occasion de rassembler des expériences personnelles sur le séchage des fruits et légumes, d'en faire part au secrétariat général de l'ASE et de l'UCS par l'intermédiaire de la commission des applications électrothermiques. Elle fera en sorte que ces expériences soient transmises, plus loin, sous la forme voulue, pour qu'elles puissent à nouveau être utilisées avec fruit. Lorsque cet article paraîtra, nous aurons en notre possession un rapport de M. Heinzelmann sur les expériences faites par les «Forces motrices bernoises» dans le domaine du séchage. Nous ferons paraître ce rapport dans un prochain numéro du Bulletin.

Pour la commission des applications électro-thermiques:

Le secrétariat général de l'ASE et de l'UCS.

Die Heisswasserspeicher und die Belastungskurve.

Von *W. Werdenberg*, Winterthur.

621 311.153 : 621 364.5

Es werden die Voraussetzungen und Lösungen des Problems behandelt, zu einer gegebenen Grundlast eine gegebene oder zu erwartende Anzahl Heisswasserspreicher derart anzuschliessen, dass die in den zur Verfügung stehenden Nachtstunden auftretende Höchstleistung möglichst klein wird. Die eine Lösung besteht im Aufteilen der Heisswasserspeicherlast in Gruppen mit gestaffelter Einschaltzeit. Die zweckmässigste Aufteilungsart wird entwickelt. Die andere Lösung besteht darin, die Speicher in zwei Gruppen einzuteilen, deren eine zu Beginn der Nachtsenke eingeschaltet wird, die andere dagegen entsprechend der vorangegangenen Heisswasserentnahme. Hiezu ist eine Steuerapparatur nötig, die diesen Gedanken auf einfache Weise verwirklicht. Es wird hiefür ein Vorschlag gemacht.

Les données et les solutions du problème suivant sont traitées dans cette étude: alimenter, en plus d'une charge de base connue, un nombre donné ou probable de chauffe-eau à accumulation de façon à ce qu'au cours des heures disponibles de nuit, la puissance maximum enclenchée soit le plus faible possible. La solution de ce problème consiste à subdiviser la charge produite par les chauffe-eau à accumulation en plusieurs groupes dont les heures d'enclenchement sont espacées. La subdivision la plus rationnelle est développée. Une autre solution consiste à diviser les chauffe-eau en 2 groupes dont l'un est enclenché à la tombée de la nuit et l'autre selon la quantité d'eau chaude qui a été soutirée. Un dispositif de commande, réalisant d'une façon simple cette idée, est nécessaire dans ce cas.

I. Einleitung.

Der Heisswasserspeicher in Haushaltungen, ursprünglich das Mittel zum Ausfüllen der Nachtsenke der allgemeinen Belastungskurve, hat in den letzten Jahren immer weitere Verbreitung gefunden. Infolge des gegenwärtigen Brennstoffmangels ist mit einem weitern Anwachsen der elektrischen Heisswasserspeicheranschlüsse zu rechnen. Vielerorts ist der Leistungsbedarf dieser Heisswasserspeicher aber schon soweit gestiegen, dass die Nachtbelastung die Tagesbelastung erheblich übersteigt und die Dimensionierung von Anlageteilen sich bereits nach der

Nachtbelastung richten muss. Ein unbesehenes Anschliessen von Heisswasserspeichern ist darum öfters nicht mehr möglich. Fig. 1 zeigt die Belastungskurven, die in einigen Uebertragungsanlagen tatsächlich aufgetreten sind.

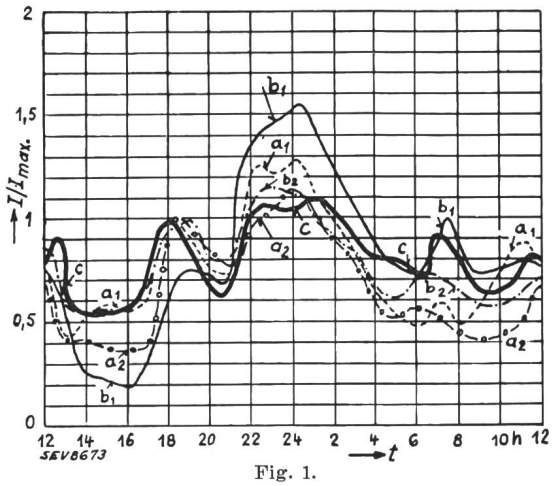

Fig. 1.
Belastung verschiedener Netzteile.
I Belastung.
I_{max} Maximallast zwischen 0600 und 2100.
a_1, a_2 Meßstationen.
b_1, b_2 Hochspannungsleitungen.
c Unterwerk.

Als Mass der Ordinate ist das Verhältnis der zu einer bestimmten Zeit aufgetretenen Scheinlast zu der in der Zeit zwischen 6 Uhr und 21 Uhr aufgetretenen Maximallast aufgetragen. Diese Darstellungsweise wurde deshalb gewählt, weil im allgemeinen in der Zeit zwischen 6 und 21 Uhr keine Heisswasserspeicher aufgeheizt werden und weil man ursprünglich bestrebt war, mit der nachträglich hinzugekommenen Heisswasserspeicherbelastung nicht über die ohne die Speicher auftretende Höchstleistung hinauszugehen. Die Figur zeigt deutlich, dass in Meßstationen, in Hochspannungsleitungen und sogar in Unterwerken die maximalen Leistungen in der Spätnacht auftreten und dass daher die Bemessung der Energieübertragungseinrichtungen durch die Heisswasserspeicherbelastung mehr oder weniger entscheidend beeinflusst wird. Es ist deshalb zu untersuchen, ob und wie sich die Speicherbelastung durch besondere Massnahmen besser verteilen lässt, damit eine Verminderung der heute auftretenden und vermehrte Kosten verursachenden Höchstleistung eintritt. Um diese Fragen beantworten zu können, muss zuerst der heutige Verlauf der reinen Speicherbelastung ermittelt werden. Ist dieser Verlauf bekannt, so kann alsdann untersucht werden, wie dieser zu verändern ist, damit die Höchstleistung möglichst klein ausfällt.

II. Verlauf der Heisswasserspeicher-Belastung.

Da die vorliegende Untersuchung grundsätzliche Erkenntnisse schaffen soll, wird als Belastungsverlauf nicht der mit den Wochentagen und den Jahreszeiten ändernde Verlauf, sondern nur der grundsätzliche mittlere Tagesverlauf der Speicherlast betrachtet. Natürlich ist damit der Gesamtverlauf möglichst vieler und vielartiger Speicher gemeint. Dieser Verlauf kann in der Praxis nicht auf einfache Weise durch direkte Messung bestimmt werden. Es wird deshalb der Anteil der Speicherbelastung an einer bekannten allgemeinen Belastungskurve mittels vorhandenem Zahlenmaterial geschätzt und der verbleibende Teil, der *Grundlast* heissen möge, mit der tatsächlich etwa vorhandenen Belastung verglichen.

Der Belastungsverlauf wurde darum an einem dazu geeigneten Beispiel ermittelt. Dieses ist derart beschaffen, dass die Grundlast in ihrer Höhe und ihrem Verlauf für die Untersuchung genügend genau festgestellt werden konnte; ferner war die Speicherzahl gross und schliesslich waren möglichst alle Arten von Speichern angeschlossen.

Als näher zu analysierende Belastungskurve wurde die einer Hochspannungsleitung, und zwar die des Sommers gewählt. An dieser Leitung ist einerseits neben wenigen kleinern nur ein einziger grösserer Industrieabnehmer mit Nachtkonsum angeschlossen. Die Grundlast wird zur Hauptsache von 4 Abnehmern hervorgerufen, die zusammen im Mittel etwa 340 kW Leistung beanspruchen. Dazu kommen noch die Strassenbeleuchtung, die um etwa 1 Uhr abgeschaltet wird, die Transformatorenverluste und verschiedene Kleinapparate, so dass mit einer Grundlast von etwa 400 bis 450 kW zu rechnen ist. Sie erreicht voraussichtlich zu Beginn der Nachtstunden ihren Höchstwert und nimmt gegen den Morgen hin etwas ab. Anderseits ist an der Leitung eine grosse Zahl von Heisswasserspeichern angeschlossen. Eine eingehende Kontrolle der Speicher an Ort und Stelle hat ergeben, dass sich diese nach Inhalt und Einschaltzeit gemäss Tabelle I verteilen. Darnach sind an der Leitung 996 Heisswasserspeicher mit einer Gesamt-Nennleistung von 1347 kW angeschlossen. [1])

Man darf nun annehmen, dass der gesamte mittlere Belastungsverlauf aller dieser Speicherarten gleich der Summe der mittleren Verlaufe der einzelnen Speicher sei. Es ist deshalb vorerst der mittlere Belastungsverlauf jedes einzelnen Speichers festzustellen. Dieser ist für alle Speicher stets rechteckförmig; d. h. die Leistung ist mit der Zeit konstant, weil die Heisswasserspeicher in der Regel nicht reguliert werden können, und die Leistung hat entweder den Wert Null oder ist gleich der Nennleistung des Speichers. Die Betriebszeit eines Speichers ist darum gleich der Benützungsdauer. Diese kann aus dem Energieverbrauch des Speichers ermittelt werden.

Der Energieverbrauch der einzelnen Speicher ist im allgemeinen nicht genau bekannt; er kann aber auf folgende Weise genügend genau geschätzt werden:

Alle untersuchten Bezüger mit angeschlossenen Speichern besitzen Mehrfachtarifzähler, die den Energieverbrauch zwischen 21 Uhr und 6 Uhr, also

[1]) Das Zahlenmaterial wurde in verdankenswerter Weise von den Elektrizitätswerken des Kantons Zürich zur Verfügung gestellt.

während der Zeit, da die Speicher ausschliesslich angeschlossen sind, besonders registrieren. Der in diesem Zeitabschnitt auftretende Energieverbrauch (Nachtenergiekonsum) rührt von der Beleuchtung, kleinern Wärmeapparaten und zur Hauptsache von den Heisswasserspeichern her. Der von der Beleuchtung, den Bügeleisen und den andern kleinern Verbrauchern herrührende Konsum muss geschätzt werden. Dieser ist sicher um so grösser, je grösser der Nachtenergiekonsum überhaupt ist, geht aber im allgemeinen nicht unter einen minimalen Wert. Nach Schätzung beträgt dieser minimale Verbrauch pro Bezüger etwa 100 kWh im Jahr. Ferner ist anzunehmen, dass noch etwa 10 % des verbleibenden Verbrauches ebenfalls nicht von Heisswasserspeichern herrühren. Der reine Heisswasserspeicher-Jahresverbrauch A_S ist dann, wenn man den totalen Jahresverbrauch mit A_T bezeichnet:

$$A_S = 0{,}9\ (A_T - 100)$$

Ist P_S die Nennleistung des Heisswasserspeichers, so ist die jährliche Benützungsdauer und damit auch die jährliche Betriebsdauer D:

$$D = \frac{A_S}{P_S} = 0{,}9 \cdot \frac{A_T - 100}{P_S}$$

Um die tägliche Betriebsdauer der Speicher feststellen zu können, ist zu beachten, dass die Speicher je nach ihrer Art verschieden benützt werden; es sind zwei Gruppen zu unterscheiden:

1. Speicher, die *täglich* voll oder teilweise benützt werden. Die tägliche Benützungsdauer d_1 dieser Speicher ist darum rund $\frac{1}{360}$ der jährlichen Benützungsdauer, also

$$d_1 = \frac{D}{360} = \frac{0{,}9}{360} \cdot \frac{A_T - 100}{P_S}$$

In diese Gruppe gehören vor allem die Küchen-Heisswasserspeicher und die grössern, aber verhältnismässig seltenen Speicher mit mehreren Verbrauchsstellen. Es kommen also im grossen und ganzen nur die Speicher bis und mit etwa 50 Liter Inhalt in Betracht; andere, eventuell auch täglich benützte Speicher, dürfen vernachlässigt werden.

2. Speicher, die *nicht täglich* gebraucht werden. Dazu gehören die Bade-Heisswasserspeicher, also in der Regel Speicher mit über 50 Liter Inhalt. Umfragen bei einzelnen Bezügern haben ergeben, dass damit zu rechnen ist, dass diese Speicher im Mittel etwa jeden zweiten Tag eingeschaltet werden. Die tägliche Benützungsdauer dieser Speicher (Grossspeicher) d_2 ist darum rund:

$$d_2 = \frac{2}{360} \cdot D = \frac{2 \cdot 0{,}9}{360} \cdot \frac{A_T - 100}{P_S}$$

An der Hochspannungsleitung angeschlossene Heisswasserspeicher. Tabelle I.

Speicher-grösse in Litern	Speicher mit Handschalter		Einschaltzeit der Speicher mit automatischer Einschaltung										Total	
			21 h 00		22 h 00		22 h 30		23 h 00		24 h 00			
	Anzahl	Gesamt-kW	Anzahl	Gesamt-kW	Anzahl	Gesamt-kW	Anzahl	Gesamt-kW	Anzahl	Gesamt-kW	Anzahl	Gesamt-kW	Anzahl	Gesamt-kW
15	5	0,65											5	0,65
20	9	2,15											9	2,15
30	227	91,85	4	1,55									231	93,4
50	227	134,55	14	8,4							1	0,9	242	142,95
75	64	57,4	8	7,3	1	1,2							73	65,9
100	140	170,26	56	69,25	2	2,8			3	5,7	47	123	248	371,01
125	3	4,4	6	9,64					5	9,95	4	10,3	18	34,29
150	2	3,6	26	48,85	4	8,5			2	4,6	10	25,2	44	90,75
200	1	2,0	15	35,4	18	43,1	2	5,5	8	23,1	2	9,0	46	118,1
250			2	6,85									2	6,85
300			11	39,5	10	36,1			6	25,0			27	100,6
400			16	74,9	6	28,7	2	10,0	5	27,6			29	141,2
500					2	11,0							2	11,0
600			6	39,8	3	21,6	1	7,2	2	15,4			12	84,0
800			3	28,8	2	17,0							5	45,8
900			1	10,0									1	10,0
1000					1	10,0							1	10,0
2100			1	18,0									1	18,0
Total	678	466,86	169	398,24	49	180,0	5	22,7	31	111,35	64	168,4	996	1347,35

Nach diesen Formeln sind nun die einzelnen, mittleren, täglichen Benützungsdauern sämtlicher Heisswasserspeicher festzustellen. Damit und mit den bekannten Einschaltzeiten und Nennleistungen der Speicher lässt sich nun der mittlere tägliche Belastungsverlauf jedes einzelnen Speichers bestimmen. Es ist dabei zu beachten, dass bei den Grossspeichern (Gruppe 2) nur die halbe Nennleistung zur Wirkung kommt, weil ja nach Annahme diese Speicher nur etwa jeden zweiten Tag im Betrieb stehen.

Die nach Betriebsdauer geordnete Addition dieser Einzelbelastungskurven von Speichern mit derselben Einschaltzeit ergibt eine Treppenkurve, die Fig. 2 als Beispiel für ca. 600 Klein-Heisswasserspeicher mit Einschaltung um 21 Uhr angenähert zeigt.

Eine derartige Treppenkurve stellt den gesamten Belastungsverlauf aller gleichartigen Speicher dar. Sie ist aber mit Rücksicht auf Gangdifferenzen der Schaltuhren und die willkürliche Einschaltung bei Handschaltern so zu ändern, dass der Anstieg zur theoretischen Einschaltzeit, im Beispiel also um 21 Uhr, nicht plötzlich, sondern allmählich erfolgt. Der wirkliche Belastungsverlauf wird ungefähr die Form der strichpunktierten Kurve haben. In Fig. 3

sind für die verschiedenen, an der untersuchten Leitung angeschlossenen Heisswasserspeicherarten diese Belastungskurven eingezeichnet. Diese Kur-

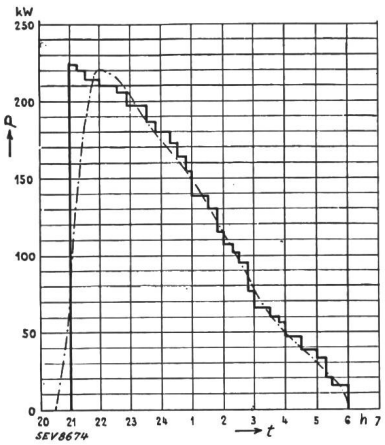

Fig. 2.
Mittlerer Belastungsverlauf von Heisswasserspeichern bis und mit 50 Liter Inhalt, die um 21 Uhr von Hand oder durch Uhren eingeschaltet werden.

ven können selbstverständlich keinen Anspruch auf grosse Genauigkeit erheben, da zu deren Bestimmung eben einige unsichere Annahmen gemacht werden mussten. Sie zeigen aber deutlich, dass bei grösserer Speicherzahl alle Belastungen in grossen

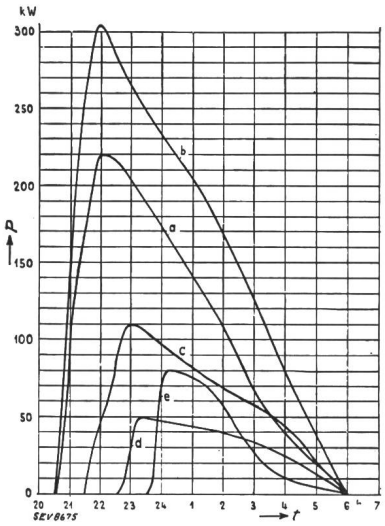

Fig. 3.
Mittlerer Belastungsverlauf von Heisswasserspeichern.
a 486 Kleinspeicher, Einschaltz. ca. 21 Uhr.
b 361 Großspeicher, Einschaltz. ca. 21 Uhr.
c 54 Großspeicher, Einschaltz. ca. 22 Uhr.
d 31 Großspeicher, Einschaltz. ca. 23 Uhr.
e 64 Großspeicher, Einschaltz. ca. 24 Uhr.

Zügen linear mit der Einschaltdauer abnehmen. Schon diese Tatsache allein erlaubt aber, die zweckmässigste zeitliche Aufteilung des Speicheranschlusses genauer festzustellen. Diese Belastungs-

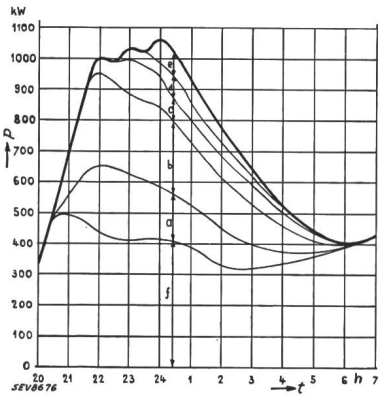

Fig. 4.
Belastungsverteilung auf der untersuchten Leitung in einer mittleren Sommernacht.
a 486 Kleinspeicher, Einschaltz. ca. 21 Uhr.
b 361 Großspeicher, Einschaltz. ca. 21 Uhr.
c 54 Großspeicher, Einschaltz. ca. 22 Uhr.
d 31 Großspeicher, Einschaltz. ca. 23 Uhr.
e 64 Großspeicher, Einschaltz. ca. 24 Uhr.
f Grundlast.

kurven sind aber vorerst mit der aus Registrierstreifen ermittelten mittleren Sommerbelastungskurve der Gesamtbelastung der untersuchten Leitung zu vergleichen. Fig. 4 zeigt das Ergebnis und man erkennt, dass die verbleibende Grundlast mit der vorher geschätzten Grundleistung von etwa 400 kW ziemlich gut übereinstimmt. Die gemachten Annahmen sind damit gerechtfertigt. Es ist aber auch ersichtlich, dass die zeitliche Verteilung des Speicheranschlusses und die Verteilung der Speicherleistung auf die einzelnen Einschaltzeiten nicht günstig ist. Durch die Zuschaltung von Speichern mit verkürzter Aufheizzeit tritt eine Erhöhung der Leistung über die ursprüngliche Höchstleistung der ersten Gruppe auf. Das gleiche Bild zeigt sich auch an den Belastungsverhältnissen im Winter (Fig. 5).

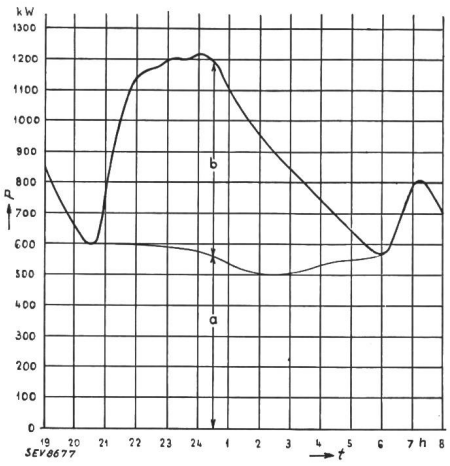

Fig. 5.
Belastungsverteilung auf der untersuchten Leitung in einer mittleren Winternacht.
a Grundlast.
b Heisswasserspeicherlast.

Im folgenden Abschnitt wird daher untersucht, wie die Speicherleistungen aufzuteilen und die Schaltzeiten zu wählen sind, damit die durch die Speicher hervorgerufene Höchstleistung möglichst niedrig ausfällt.

III. Verteilung der Speicherbelastung.

1. Allgemeines.

Für die Lösung der Aufgabe, zu einer gegebenen Grundlast eine gegebene oder noch zu erwartende Anzahl Heisswasserspeicher derart anzuschliessen, dass die in den zur Verfügung stehenden Nachtstunden auftretende Höchstleistung möglichst klein wird, stehen verschiedene Wege offen:

a) Die Speicher werden wie schon bisher üblich in Gruppen mit gestaffelten Einschaltzeiten aufgeteilt. Es ist zu untersuchen, nach welchem Grundsatz diese Staffelung vorzunehmen ist, damit eine möglichst grosse Wirkung erzielt wird.

b) Die Speicher werden in 2 Gruppen aufgeteilt, wovon die erste Gruppe wie bisher zu Beginn der Nachtsenke eingeschaltet wird. Die zweite Gruppe aber wird entsprechend der vorangegangenen Heisswasserentnahme eingeschaltet; d. h. diese Speicher werden um so früher eingeschaltet, je mehr Heisswasser man tagsüber entnommen hat. Die Ausschaltung erfolgt theoretisch genau am Ende der Nachtsenke. Je nach Wahl der Gruppenleistung zeigt dann die gesamte Speicherlast einen mehr oder weniger rechteckförmigen Verlauf.

Selbstverständlich sind auch noch Kombinationen zwischen diesen zwei Wegen möglich. Es wird

aber darauf nicht näher eingegangen, sondern es sollen nur die beiden grundsätzlichen Wege näher betrachtet werden. Auch auf die Möglichkeit, mit Hilfe der tonfrequenten Fernsteuerung einen Teil der Speicher während den Tagesstunden einzuschalten, indem die Speicherlast den jeweiligen Tagesbelastungen angepasst wird, soll hier nicht näher eingegangen werden. Diese Frage kann nur im Zusammenhang mit der Einführung eines Fernsteuerungssystems geprüft werden. Jedenfalls wird eine derartige Speicherheizung nur ausnahmsweise und in besondern Fällen in Betracht kommen, weil in der Regel doch die für den Energiepreis massgebende Gesamttageslast stets noch grösser als die Nachtlast ist.

2. *Staffelung des Speicheranschlusses.*

Im voranstehenden Abschnitt wurde bereits auf den typischen, ungefähr linearen Verlauf der Speicherlast hingewiesen. Zur Vereinfachung der folgenden Betrachtungen wird nun angenommen, dass die Speicherbelastung von einem bestimmten Anfangswert proportional mit der Einschaltdauer abnehme, so dass diese ideelle Belastungskurve einem rechtwinkligen Dreieck gleicht. Der Anfangswert dieses Belastungsverlaufes ist durch die gesamte Leistung aller nicht voll aufgeheizten Heisswasserspeicher, die gleichzeitig eingeschaltet werden, gegeben. Nach den vorangegangenen Untersuchungen heisst das: Bei Speichern bis zu 50 Liter Inhalt ist dieser Wert gleich der Summe der Nennleistungen dieser Speicher, und bei Speichern über 50 Liter Inhalt ist er gleich der Hälfte der Summe der Nennleistungen dieser Speicher. Die längste Einschaltdauer oder der Zeitpunkt, wo die Speicherlast gleich Null wird, ist durch die spezifische Speicherleistung bedingt. Die Einschaltdauer muss so gross sein, dass die Leistung des Speichers für seine volle Aufheizung innerhalb dieser Zeit ausreicht. Die grösste Einschaltdauer T_0 ist in den meisten Fällen durch Schaltuhren festgelegt. Die minimale mittlere Anfangs-Speicherleistung P_0 ist also gleich der Summe der Nennleistungen aller Kleinspeicher plus der Hälfte der Nennleistungen der Großspeicher, wenn diese ebenfalls sofort zu Beginn der Nachtsenke eingeschaltet würden.

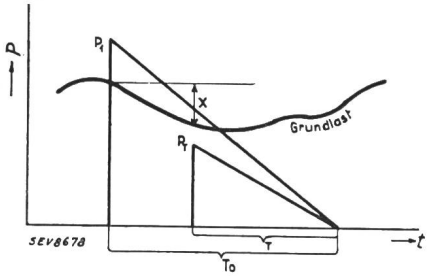

Fig. 6. Aufteilung der Gesamtlast in Grundlast und zwei überlagerte Dreiecke für Heisswasserspeicher.

Bei gestaffeltem Anschluss nehmen auch die Belastungen der einzelnen Speichergruppen linear ab, so dass, wie Fig. 6 zeigt, der gesamte Belastungsverlauf beispielsweise als Summe aus einer Grundlast und zwei Dreiecken betrachtet werden kann. Die sich mit der Einschaltdauer T ändernden Anfangsleistungen P_T der verschiedenen Gruppen sind nun so zu wählen, dass die aus der Grundlast und den Speicherlasten entstehende Höchstleistung möglichst klein ausfällt. Dies tritt offenbar dann ein, wenn die aus der Ueberlagerung der verschiedenen Belastungsdreiecke hervorgegangenen Spitzen alle gleich gross sind und wenn also die Anfangsbelastung P_1 möglichst klein ist. Für den Ausnahmefall, wo die Grundlast rascher ansteigt, als die Speicherlast abnimmt, gelten diese Betrachtungen nicht. Da aber hier Grundsätzliches bestimmt werden soll, so darf die Behandlung dieses Ausnahmefalles vernachlässigt werden.

a) Aufteilung in eine beliebige Anzahl Gruppen.

Bevor das Problem der zweckmässigsten Aufteilung der Speicherlast für eine beliebig verlaufende Grundlastkurve behandelt wird, soll zuerst der einfache Fall untersucht werden, wo die Grundlast während des Aufheizens konstant bleibt. Die unter dieser Voraussetzung gefundenen Resultate geben bereits brauchbare Anhaltspunkte über die zweckmässige Aufteilung und den zu erwartenden Leistungsgewinn. Die Fig. 7 zeigt den Belastungsverlauf von Speichergruppen unter diesen Voraussetzungen.

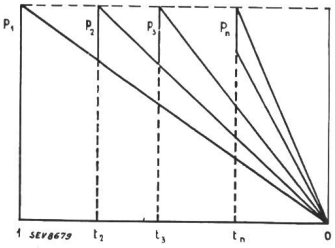

Fig. 7. Aufteilung der Gesamtlast in (konstante) Grundlast und eine beliebige Anzahl Gruppen.

Zur Verallgemeinerung der Untersuchung werden die Leistungen im Verhältnis zur gesamten Speicherlast P_0 und die Einschaltdauer im Verhältnis zur maximalen Einschaltzeit T_0 ausgedrückt. In Fig. 7 bedeutet also:

$p_n = \frac{P_n}{P_0}$ = relative Speicherlast der $n$ten Gruppe mit der relativen Einschaltdauer

$$\frac{T_n}{T_0} = t_n$$

Die relative Leistung p_n muss nun so gross sein, dass die Speicher innerhalb der relativen Einschaltdauer t_n voll aufgeheizt werden können; d. h. es muss sein:

$$p_1 + p_2 \cdot t_2 + p_3 \cdot t_3 + p_4 \cdot t_4 + \ldots p_n \cdot t_n = 1$$

(Energiebedingung)

Ferner sollen die durch die einzelnen Gruppenzuschaltungen hervorgerufenen Leistungsspitzen so gross wie die Leistungsspitze der ersten Gruppe sein; d. h. es ist:

$$p_2 + p_1 \cdot t_2 = p_1$$

$$p_3 + p_1 \cdot t_3 + p_2 \cdot \frac{t_3}{t_2} = p$$

$$p_4 + p_1 \cdot t_4 + p_2 \cdot \frac{t_4}{t_2} + p_3 \cdot \frac{t_4}{t_3} = p_1$$

$$\vdots$$

$$p_n + p_1 \cdot t_n + p_2 \cdot \frac{t_n}{t_2} + p_3 \cdot \frac{t_n}{t_3} + p_4 \cdot \frac{t_n}{t_4} + \dots p_{n-1} \cdot \frac{t_n}{t_{n-1}} = p_1 \text{ (Leistungsbedingung)}$$

Aus diesen n Gleichungen lässt sich nun p_1 in Funktion der relativen Zeiten t_2 bis t_n berechnen, und zwar ist

$$p_1 = \frac{1}{1 + t_2 + t_3 + \dots t_n - t_2^2 - \frac{t_3^2}{t_2} - \dots \frac{t_n^2}{t_{n-1}}}$$

Es sind nun diejenigen Werte für t_2 bis t_n zu suchen, für welche p_1 ein Minimum wird, denn in diesem Fall tritt die günstigste Verteilung der n Gruppen ein. Setzt man diese günstigsten Werte für t_2 bis t_n in die Gleichung für p_1 ein, so wird

$$p_1 = \frac{1}{1 + t_2^2}$$

wobei t_2 aus den partiellen Differentialquotienten von p_1 zu berechnen ist. In Fig. 8 ist für verschiedene Gruppenzahlen die nach dieser Gleichung berechnete Reduktion der Leistung $(1 - p_1)$ aufgetragen.

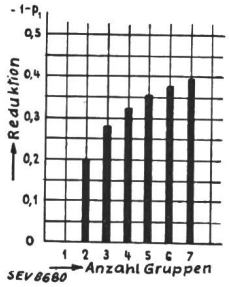

Fig. 8.
Reduktion der Leistungsspitzen bei Aufteilung in Gruppen.

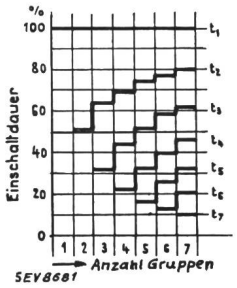

Fig. 9.
Einschaltdauer der verschiedenen Gruppen.

Man erkennt, dass die Verkleinerung der Leistungsspitzen im Gebiet der grössern Gruppenzahlen nur wenig zunimmt und dass die Bildung von mehr als 3 Gruppen keine wesentlichen Verbesserungen mehr bringt. Ausserdem wird die günstigste Einschaltdauer der letzten Gruppe bei grössern Gruppenzahlen bereits so klein (Fig. 9), dass die spezifische Leistung der Speicher Werte annimmt, mit denen Schwierigkeiten in der Konstruktion der Speicher zu erwarten sind. Ist die spezifische Leistung beispielsweise bei der grössten Einschaltdauer t_1 gleich 100% (bei 9 Stunden Einschaltdauer gleich ca. 0,012 kW/Liter), so steigt diese, wie Fig. 10 zeigt, mit wachsender Gruppenzahl sehr stark an. Sie ist beispielsweise für die 4. Gruppe, wenn in 4 Gruppen eingeschaltet wird, bereits etwa 4,5mal grösser als die ursprüngliche spezifische Leistung, d. h. als die der ersten Gruppe. Aus diesem Grunde wird man, wenn immer möglich, kleine Gruppenzahlen wählen müssen und selten über 3 Gruppen hinaus gehen dürfen.

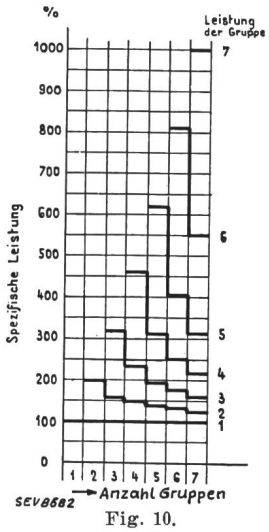

Fig. 10.
Anwachsen der spezifischen Leistung mit der Gruppenanzahl.

In den folgenden Abschnitten wird deshalb nur die Aufteilung in 2 und 3 Gruppen, aber für beliebig verlaufende Grundlast eingehender untersucht.

b) Aufteilung in 2 Gruppen.

Zur Verallgemeinerung der Rechnung sind auch hier die Leistungen im Verhältnis zur gesamten Speicherlast P_0 und die Einschaltdauer im Verhältnis zur maximalen Einschaltzeit T_0 ausgedrückt. Von der Grundlast ist nur deren Aenderung x gegenüber dem Grundlastwert zu Beginn der allgemeinen Speichereinschaltung massgebend. Fig. 11 zeigt dementsprechend den Belastungsverlauf der Speichergruppen, wenn die Belastungsspitzen nicht über den zu Beginn der Speicherzuschaltung auftretenden Wert hinausgehen sollen; darin bedeuten:

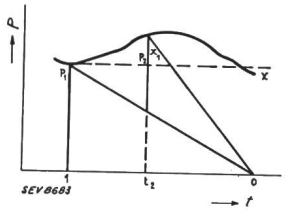

Fig. 11.
Aufteilung in zwei Gruppen.

$p_1 = \frac{P_1}{P_0}$ relative Speicherlast der ersten Gruppe mit der relativen Einschaltdauer $\frac{T_1}{T_0} = t_1 = 1$

$p_2 = \frac{P_2}{P_0}$ relative Speicherlast der zweiten Gruppe mit der relativen Einschaltdauer $\frac{T_2}{T_0} = t_2$

$x = \frac{X}{P_0}$ relative Grundlaständerung gegenüber dem Anfangswert

Die relative Leistung p_2 muss nun so gross sein, dass innerhalb der relativen Einschaltdauer t_2 die Speicher voll aufgeheizt werden können, d. h. es muss sein

$$p_2 \cdot t_2 = (1 - p_1) \cdot 1 \qquad (1)$$

(Energiebedingung)

Die Bedingung, dass die Leistung nicht über den Anfangswert p_1 hinausgehe, lässt sich in die Form bringen:

$$p_1 + x = p_2 + p_1 \cdot t_2 \qquad (2)$$

(Leistungsbedingung)

Mit diesen beiden Gleichungen lässt sich nun p_1 in Funktion von x, t_1 und t_2 darstellen; es ist:

$$p_1 = \frac{1 - x t_2}{1 + t_2 - t_2^2}$$

Durch Differention von p_1 nach t_2 wäre nun die Einschaltdauer für die zweite Gruppe zu bestimmen, bei welcher p_1 ein Minimum wird. Da man aber den zeitlichen Verlauf von x nicht formelmässig ausdrücken kann, betrachtet man vorläufig x als Parameter. In Fig. 12 ist der Zusammenhang zwischen diesen 3 Grössen p_1, t_2 und x graphisch dargestellt.

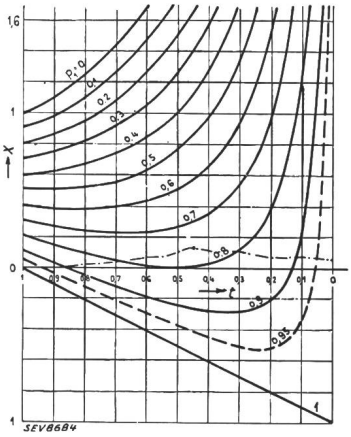

Fig. 12.
t Einschaltdauer.
x Aenderung der Grundlast.
p_1 Speicherleistung der ersten Gruppe.

Mit Hilfe dieser allgemein gültigen Figur ist nun die günstigste Aufteilung der Speicherlast äusserst einfach zu finden. Ist für eine beliebige Belastungskurve die günstigste Aufteilung zu suchen, so ist nur der x-Verlauf dieser Belastungskurve im Massstab dieser Fig. 12 aufzutragen. Der Schnitt- oder Berührungspunkt mit der kleinsten p_1-Kurve gibt sodann die günstigste relative Einschaltdauer t_2 und damit auch den günstigsten Einschaltmoment. Die tatsächliche Leistung der zweiten Gruppe lässt sich mit der Gl. (1) auf einfache Weise aus den nun festgelegten Werten von p_1 und t_2 bestimmen. An einem Beispiel, und zwar am Winterbelastungsverlauf der untersuchten Leitung wird noch das praktische Vorgehen gezeigt. Die Speicherlast beträgt nach Tabelle 1:

Tabelle II.

Speicherart und gegenwärtige Einschaltdauer	Nennleistung kW	Auf 9 h Einschaltdauer reduziert kW	Zu erwartende höchste Speicherlast bei 9 h Einschaltdauer
Kleinspeicher			
9 h . . .	240	240	240 kW
Grofsspeicher			
9 h . . .	626	626	0,5 · 626 = 313 kW
8 h . . .	180	160	0,5 · 160 = 80 „
7,5 h . . .	23	19	0,5 · 19 = 9 „
7 h . . .	111	86	0,5 · 86 = 43 „
6 h . . .	168	112	0,5 · 112 = 56 „
Total			P_0 = 741 kW

Die x-Kurve lässt sich nun aus Fig. 5 leicht bestimmen: man dividiert die Abweichungen der Grundlast von dem um 21 Uhr auftretenden Wert (600 kW) durch die in Tabelle II errechnete Leistung P_0 = 741 kW. Die derart gefundenen Werte sind in Fig. 12 als strichpunktierte Linie eingetragen. Der niedrigste Wert von p_1 beträgt darnach etwa 0,75 und wird mit einer Einschaltdauer von 0,45 erreicht. Das heisst also: die maximal auftretende Belastung ist gleich der Grundlast um 21 Uhr (600 kW) plus der Speicherlast P_1 = 0,75 · 741 = 556 kW, also gleich 1156 kW. Tatsächlich wird dieses Maximum noch etwas kleiner ausfallen, da infolge der bereits erwähnten Gangdifferenzen der Schaltuhren kein plötzlicher Anstieg der Speicherbelastung erfolgt und deshalb noch ein gewisser Ausgleich auftritt. Die Einschaltdauer der zweiten Gruppe beträgt 0,45 · 9 h = ungefähr 4 Stunden; die zweite Gruppe ist also erst um *ca. 2 Uhr* einzuschalten. Ihre tatsächliche Nennleistung ist entsprechend der Einschaltdauer zu vergrössern; sie ist also $\frac{9}{4} \cdot (741 - 556)$ = 410 kW. Durch die Aufteilung in zwei Gruppen wird die Leistungsspitze bereits rund 185 kW kleiner als ohne Staffelung. Nach Fig. 5 beträgt die Höchstleistung bei der heutigen Aufteilung in 4 Gruppen 1210 kW. Mit bloss 2, aber zweckmässig aufgeteilten Gruppen kann man also diese Höchstleistung noch um ca. 50 kW verkleinern. Wenn man mit einem Leistungsbedarf von 0,012 kW pro Liter Speicherinhalt bei 9stündiger Aufheizdauer rechnet, so heisst das, dass man ohne Erhöhung der Leistungsspitze rund

$$\frac{50}{0{,}012} + \frac{50}{0{,}012} \cdot 0{,}5 = 6200 \text{ Liter}$$

oder rund 5 % mehr Speicherinhalt anschliessen kann als bei der bisher bestehenden Staffelung. Die Belastung auf der untersuchten Leitung würde bei dieser Zweiteilung ungefähr nach Fig. 13 verlaufen.

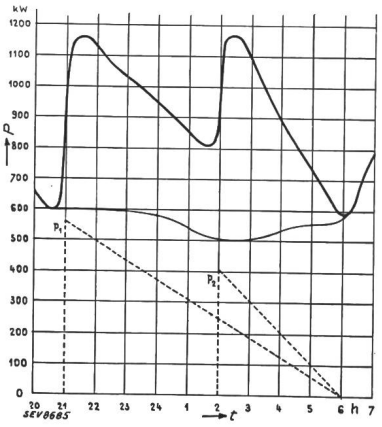

Fig. 13.
Vermutlicher Verlauf der Belastung im Winter bei zweckmässiger Aufteilung der Speicherlast in 2 Gruppen.
----- Theoretischer Verlauf der Gruppen.
—— Grundlast.
▬▬ Vermutlicher Gesamtlast-Verlauf.

Da im allgemeinen die Grundlast nur wenig ändert, die Grösse x also angenähert konstant gleich Null ist, so gilt angenähert folgender, an Hand der Fig. 12 feststellbarer Grundsatz: *Bei Zuschaltung einer Speicherlast in 2 Gruppen ist die zweite Gruppe nur mit etwa der halben Einschaltdauer der ersten Gruppe zu betreiben, wenn die Leistung möglichst klein bleiben soll.*

c) Aufteilung in 3 Gruppen.

Aehnlich wie in Fig. 11 sind in Fig. 14 die einzelnen Belastungsverlaufe bei einer Aufteilung der Speicherlast in 3 Gruppen dargestellt. Darin ist wieder die Einschaltdauer t in Teilen der grössten

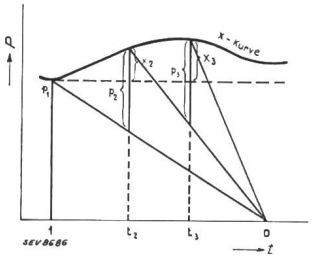

Fig. 14.
Aufteilung in drei Gruppen.

möglichen Einschaltdauer (in unserem Fall 9 Stunden) und die Leistung in Teilen der Speicherlast, die bei gleichzeitigem Einschalten aller nicht voll aufgeheizten Speicher auftreten würde, aufgetragen.

p_1 relative Speicherlast der ersten Gruppe,
p_2 relative Speicherlast der zweiten Gruppe,
p_3 relative Speicherlast der dritten Gruppe,
x_2 relative Grundlaständerung gegenüber dem Anfangswert im Einschaltmoment der zweiten Gruppe,
x_3 relative Grundlaständerung im Einschaltmoment der dritten Gruppe.

Die relativen Leistungen p müssen nun wieder so gross sein, dass innerhalb der relativen Einschaltdauer t die Speicher voll aufgeheizt werden können, d. h. es muss sein:

$$p_1 + p_2 t_2 + p_3 t_3 = 1$$

Die Bedingung, dass die Leistung nicht über den Anfangswert p_1 hinausgehe, ist in Fig. 14 bereits erfüllt, d. h. es ist:

$$(p_2 - x_2) + p_1 t_2 = p_1 \qquad (3)$$

und

$$(p_3 - x_3) + p_1 t_3 + p_2 \frac{t_3}{t_2} = p_1 \qquad (4)$$

Mit Hilfe dieser Gleichungen lässt sich p_1 in Funktion von x_2, x_3, t_2 und t_3 darstellen, und zwar ist:

$$p_1 = \frac{1 - x_2\left(t_2 - \frac{t_3^2}{t_2}\right) - x_3 t_3}{1 + t_2 + t_3 - t_2^2 - \frac{t_3^2}{t_2}} \qquad (5)$$

Die Werte von t_2 und t_3 sind nun so zu wählen, dass p_1 ein Minimum wird, denn dann ist die Höchstleistung möglichst klein. p_1 nimmt nun dort extreme Werte an, wo die partiellen Differentialquotienten nach t_2 und t_3 gleich Null sind. Da aber die Grössen x_2 und x_3 ebenfalls von t_2 bzw. t_3 abhängen, diese Abhängigkeit aber wegen dem willkürlichen Verlauf der Belastungskurve sich nicht formelmässig ausdrücken lässt, so können die Zeiten t_2 und t_3 nicht ohne weiteres gefunden werden. Die Lösung der Aufgabe ist aber auf folgende Weise möglich:

Den Grössen x_2 und x_3 werden bestimmte Werte zugeschrieben, wobei es vorläufig gleichgültig ist, ob diese praktisch vorkommen. Nun lassen sich für diese Werte die Grössen t_2 und t_3 ermitteln, die ein Minimum für p_1 ergeben. Die partielle Differentiation bei konstanten x_2 und x_3 liefert nämlich folgende Beziehungen zwischen x und t:

$$x_2 = \frac{2 t_2 - 1 - \frac{t_3^2}{t_2^2}}{1 + t_2^2 + t_3^2 + \frac{t_3^2}{t_2^2}}$$

$$x_3 = \frac{4 t_3 - 1 - \frac{t_3^2}{t_2^2}}{1 + t_2^2 + t_3^2 + \frac{t_3^2}{t_2^2}}$$

Daraus kann man nun die Zeiten t_2 und t_3 für alle möglichen Werte von x_2 und x_3 errechnen, so dass zu jedem Wert von x_2 und zu jedem Wert von x_3 je zwei bestimmte Werte für t_2 und t_3 gehören. Die derart erhaltenen Werte sind in Fig. 15 und 16 graphisch dargestellt.

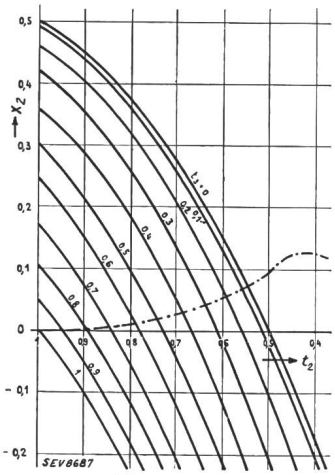

Fig. 15.

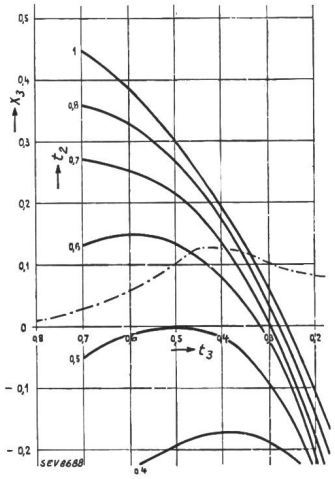

Fig. 16.

Diese beiden Kurvenscharen gelten allgemein für jede beliebige Belastungskurve, und die günstigsten Werte von t_2 und t_3 lassen sich nun auf einfache Weise feststellen.

Ist nämlich eine Belastungskurve gegeben, so ist in jedem Zeitpunkt der Wert von beispielsweise x_2 bestimmt; aus Fig. 15 kann man also den zu diesem x_2 und diesem t_2 gehörenden Wert von t_3 ablesen. Ob dieses derart ermittelte t_3 bei der gegebenen Belastungskurve möglich ist, ist anhand der Fig. 16 zu kontrollieren. Der zu diesem t_3 und t_2 gehörende Wert x_3 muss nämlich, wenn die günstigste Verteilung erreicht sein soll, mit dem durch die vorhandene Belastungskurve zur Zeit t_3 gegebenen Wert von x_3 übereinstimmen. Da dies in der Regel nicht der Fall sein wird, ist die Ausgangsgrösse solange zu verändern, bis diese Bedingung erfüllt ist. Praktisch wird dieses Suchen auf bekannte Art und Weise derart durchgeführt, dass man die durch die Grundlast gegebene x-Kurve in Fig. 15 und 16 einträgt und dann alle praktisch möglichen Werte von t_3 und t_2 abliest und in Abhängigkeit von t_2 bzw. t_3 graphisch darstellt. Man

erhält so 2 Kurven, deren Schnittpunkt nun die gesuchten, eindeutig bestimmten Werte von t_2 und t_3 ergibt.

Ein Beispiel, und zwar wieder die Winterbelastungskurve der untersuchten Leitung zeigt nochmals das praktische Vorgehen:

Die x-Kurve der Grundlast (wie im Abschnitt b ermittelt), ist strichpunktiert in Fig. 15 und 16 eingezeichnet. Die daraus abgelesenen, zusammengehörenden Werte von t_2 und t_3 sind als zwei Kurven in Fig. 17 aufgetragen. Der Schnittpunkt dieser

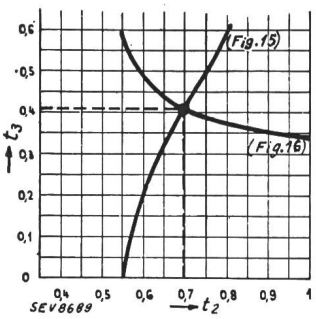

Fig. 17.

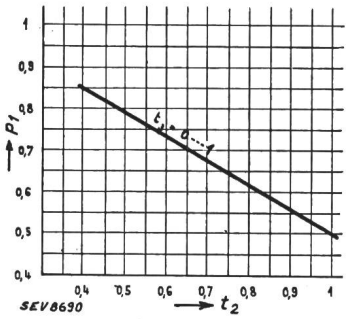

Fig. 18.

beiden Kurven ergibt die Werte $t_2 = 0{,}7$ und $t_3 = 0{,}4$. Bei der üblichen Einschaltdauer der zweiten Gruppe $0{,}7 \cdot 9 = 6{,}3$ Stunden und die der dritten Gruppe $0{,}4 \cdot 9 = 3{,}6$ Stunden. Die Leistungsverteilung auf die einzelnen Gruppen ist mit Hilfe der Gl. (3), (4) und (5) zu bestimmen. Trägt man in der Gleichung für p_1 die Werte von x_2 und x_3 ein, so erhält man für p_1 Werte, die in Fig. 18 in Abhängigkeit von t_2 und t_3 dargestellt sind. Wie die Figur zeigt, ist die erreichte Reduktion der zusätzlichen Speicherlast in den praktisch vorkommenden Grenzen von t_3 weitgehend unabhängig. Die Werte für p_2 und p_3 werden mit Hilfe der Beziehungen

$$p_2 = p_1 (1 - t_2) + x_2$$

und

$$p_3 = p_1 (1 - t_3) + x_3 - p_2 \frac{t_3}{t_2}$$

ausgerechnet.

Im Beispiel der untersuchten Leitung ist dann nach Fig. 18

$p_1 = 0{,}67$ und

$p_2 = 0{,}67\ (1 - 0{,}7) + 0{,}02 = 0{,}22$ und

$$p_3 = 0{,}67\ (1 - 0{,}4) + 0{,}12 - 0{,}22 \cdot \frac{0{,}4}{0{,}7} = 0{,}4;$$

d. h. also, dass die Speicherlast wie folgt zu verteilen ist:

Die 1. Gruppe mit einer Leistung von $0{,}67 \cdot 741 =$ 497 kW ist um 21 Uhr einzuschalten.

Die 2. Gruppe mit einer Leistung von $0{,}22 \cdot 741 =$ 163 kW ist um ca. 23 h 30 einzuschalten.

Die 3. Gruppe mit einer Leistung von $0{,}4 \cdot 741 =$ 296 kW ist um ca. 02 h 30 einzuschalten.

Der mit dieser Aufteilung entstehende mittlere Belastungsverlauf nimmt die in Fig. 19 gezeigte Gestalt an. Die Leistungsspitze wird durch die Aufteilung in 3 Gruppen rund 245 kW kleiner als ohne Staffelung.

Ein Vergleich mit Fig. 5 zeigt, dass man durch zweckmässige Aufteilung der Speicherlast die Leistungsspitze auch gegenüber dem heutigen Zustand um ca. 100 kW herabdrücken kann. Wenn man wie-

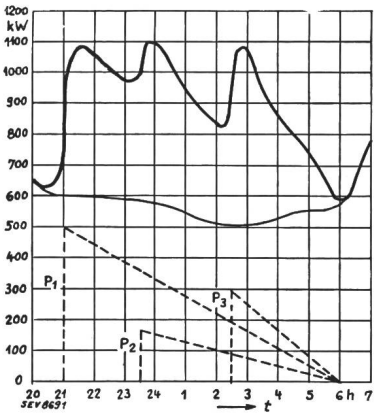

Fig. 19.
Vermutlicher Verlauf der Belastung im Winter bei zweckmässiger Aufteilung der Speicherlast in 3 Gruppen.
----- Theoretischer Verlauf der Gruppen.
——— Grundlast.
▬▬ Vermutlicher Gesamtverlauf.

der damit rechnet, dass bei einer 9stündigen Aufheizdauer 0,012 kW pro Liter Speicherinhalt nötig sind, so heisst das, dass es möglich ist, ohne Leistungserhöhung gegenüber der bisher bestehenden Staffelung

$$\frac{100}{0{,}012} + \frac{100}{0{,}012} \cdot 0{,}7 + \frac{100}{0{,}012} \cdot 0{,}4 = 17\,500 \text{ Liter}$$

oder rund 10% mehr Speicherinhalt anzuschliessen.

Wegen den gewöhnlich nur geringen Grundlaständerungen gilt allgemein die Regel: *Bei Aufteilung in 3 Gruppen ist die Einschaltdauer der zweiten Gruppe ca. 60% und die Einschaltdauer der dritten Gruppe ca. 30% der ersten Gruppe zu wählen, wenn die Leistung möglichst klein bleiben soll.*

3. Einschaltzeiten in Abhängigkeit von der Speicherbenützung.

Eine zweite Möglichkeit, die durch die Heisswasserspeicher hervorgerufenen Höchstleistungen zu verkleinern, besteht in einer Aufteilung der Speicher in zwei besondere Gruppen. Davon wird die erste Gruppe zu Beginn der Nachtsenke wie bisher eingeschaltet. Ihr Leistungsverlauf nimmt ebenfalls wie bisher ungefähr linear mit der Zeit ab und die spezifische Heizleistung hat der grössten möglichen Einschaltdauer (9 Stunden) zu entsprechen. Die Heisswasserspeicher der zweiten Gruppe sollen derart eingeschaltet werden, dass der Leistungsverlauf mit der Zeit ungefähr linear zunimmt und am Ende der Nachtsenke den Höchstwert erreicht, d. h. er soll sozusagen umgekehrt wie der der ersten Gruppe aussehen. Die spezifische Heizleistung auch dieser zweiten Gruppe ist nur so gross, wie sie der maximalen Einschaltdauer entspricht. Fig. 20 zeigt die alsdann entstehenden Belastungsverhältnisse unter der vereinfachenden Annahme, dass die Grundlast konstant sei. Macht man die Anfangsleistung der ersten Gruppe und die Endleistung der zweiten Gruppe gleich gross, so

geht die gesamte Speicherbelastung auf die Hälfte derjenigen Speicherbelastung zurück, die beim Einschalten in nur einer Gruppe auftreten würde. Mit dieser Art der Speicherzuschaltung lässt sich also ohne weiteres eine Reduktion der Leistung um etwa 50 % erreichen, was bei einer staffelweisen

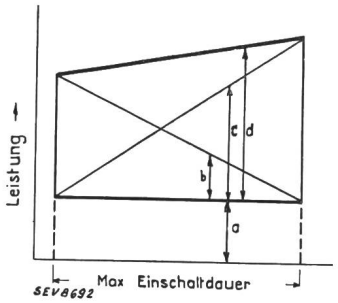

Fig. 20.
a Grundlast.
b Last der 1. Gruppe.
c Last der 2. Gruppe.
d Gesamtlast.

Einschaltung der Speicher praktisch nie möglich ist, weil eine solche Reduktion, wie Fig. 8 zeigt, erst mit einer unendlich grossen Gruppenzahl erreichbar wäre.

Die beispielsweise zur Grundlast der untersuchten Leitung hinzukommende Speicherlast würde also bei einer derartigen abhängigen Schaltung $\frac{741}{2} \sim 370$ kW betragen; die heutige Maximalleistung von etwa 1220 kW würde damit auf 600 + 370 = 970 kW zurückgehen, also um etwa 250 kW kleiner ausfallen. Auch dieses Beispiel zeigt, dass mit diesem Speicheranschluss wesentlich grössere Leistungsreduktionen zu erzielen sind als mit dem staffelweisen Anschluss.

Es ist nun die Frage zu beantworten, wie eine derartige Zuschaltung, wo die Leistung ungefähr linear ansteigt und die Speicher am Ende der Aufheizdauer mehr oder weniger gleichzeitig abgeschaltet werden, praktisch erreicht werden kann. Einen derartigen Leistungsverlauf erhält man, wenn man die Speicher entsprechend ihrer vorangegangenen Benützung, also entsprechend dem Wärmeverbrauch einschaltet. Die Einschaltung muss um so früher erfolgen, je mehr Wärme in Form von Heisswasser und Verlusten am vorangegangenen Tage gebraucht worden ist; durch eine Schaltuhr ist ferner das Einschalten erst zu Beginn der Nachtsenke (21 Uhr) freizugeben und am Ende der Nachtsenke (6 Uhr) wieder zu sperren. Es gilt daher, vorerst ein brauchbares Mass für den Wärmeverbrauch des Speichers zu finden. Dazu können dienen: die mittlere Wassertemperatur im Speicher, oder die Menge des entnommenen Heisswassers, oder die zugeführte Frischwassermenge. Diese Grössen können sowohl bei Druck-, bei Durchlauf- als auch bei Entleerungsspeichern zur Steuerung herangezogen werden. Sie haben in allen Fällen ein Zeitelement zu beeinflussen, das eine der Benützung der Speicher umgekehrt proportionale Wartezeit (Zeit von 21 Uhr bis zum Einschaltmoment) der Heisswasserspeicher festlegt. Diese Wartezeit muss bei vollständig entleertem Speicher gleich Null und beim vollkommen unbenützten Speicher gleich der maximalen Einschaltdauer (9 Stunden) sein. Da ein genaues Zeiteinhalten nicht nötig ist, können als Zeitelemente ganz einfache mechanische oder elektrische Uhren benützt werden.

Die Benützung der zugeführten Frischwassermenge als Mass für die Einschaltdauer ist der Benützung der entnommenen Heisswassermenge vorzuziehen, weil bei Speichern mit mehreren Anzapfungen (z. B. Kombination von Durchlauf- und Entleerungsspeicher) die Messung der Heisswassermenge kompliziert wird.

Bei Verwendung der zugeführten Wassermenge ist aber zu beachten, dass bei vollständig unbenützten Speichern (keine Wasserzuführung) ständig Verlustwärme abgeführt wird und dass sogar nach längerem Stillstand der Speicher gleich wie ein vollkommen entleerter Speicher wieder voll aufgeheizt werden muss. Die zugeführte Wassermenge gibt also nur bei regelmässig und oft benutzten Speichern eine einwandfreie Vergleichsgrösse.

Die täglichen Wärmeverluste von Heisswasserspeichern betragen je nach Grösse und Fabrikat etwa 0,02 kWh [1]) auf den Liter Speicherinhalt. Bei einer spezifischen Heizleistung von 0,012 kW/Liter ist also ein Speicher täglich mindestens $\frac{0{,}02}{0{,}012} = 1{,}7$ Stunden aufzuheizen, wenn seine Verluste gedeckt werden sollen. Wenn also die zugeführte Frischwassermenge als Mass der Wartezeit benützt wird, so muss das Zeitelement eine Grundzeit besitzen, die gestattet, auch den unregelmässig benützten Speicher voll aufzuheizen. Diese Grundzeit muss nach obiger Rechnung mindestens etwa 1,7 Stunden betragen und dem Speicher angepasst werden können. Unterbricht der Bezüger die Energiezuführung für mehrere Tage, so ist ferner durch entsprechende Ausbildung der Schaltung dafür zu sorgen, dass beim Wiedereinschalten trotz Ausbleiben der

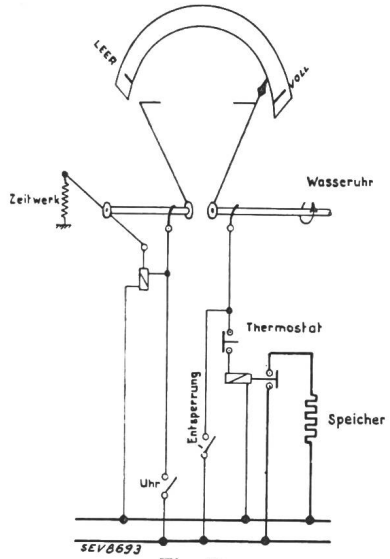

Fig. 21.

Frischwasser-Zuführung der Speicher voll aufgeheizt wird. Fig. 21 zeigt, wie beispielsweise eine solche Schaltung ausgeführt werden könnte. Die Wirkungsweise ist in groben Zügen: Durch eine in

[1]) Siehe Mörtzsch, ETZ 1935, Nr. 8.

die Frischwasserleitung eingebaute Wasseruhr wird je nach der Benützung des Speichers der Zeigerkontakt rechts mehr oder weniger von «Voll» nach «Leer» geschoben. Zur Zeit der allgemeinen Speicherzuschaltung (21 Uhr) bringt der Schaltuhren-Kontakt das Zeitwerk und den damit verbundenen Zeiger links zum Laufen. Das Zeitwerk muss so bemessen sein, dass dieser Zeiger wegen den Wärmeverlusten in weniger als 9 Stunden (volle Aufladezeit) von «Leer» auf «Voll» läuft. Entsprechend der Speicherbenützung verstreicht nun eine gewisse Zeit, bis die beiden Kontakte geschlossen werden und damit der Speicher über die heute üblichen Hilfseinrichtungen eingeschaltet wird.

Die mittlere Wassertemperatur gibt theoretisch ein einwandfreies Mass für die Einschaltdauer. Die veränderte Temperatur des Frischwassers ist ohne Nachteil, da ja deren Einfluss im angestrebten Sinne dieser Art der Speicherheizung verläuft. Auch besondere Massnahmen für Nichtbenützung der Speicher sind hier nicht nötig. Dagegen werden praktische Schwierigkeiten in der nötigen kontinuierlichen Uebersetzung der Temperaturen in mechanische oder elektrische Grössen auftreten. Wird auf die kontinuierliche Uebersetzung verzichtet, d. h. werden die Speicher entsprechend ihrer Benützung in wenige Gruppen sortiert, so ist eine Lösung eher möglich. Es könnten beispielsweise die im Handel erhältlichen, sogenannten Multipelthermostate eingebaut werden; allerdings ist auch diese Lösung nicht ohne weiteres anwendbar, da der unter der Abdeckhaube der bestehenden Speicher vorhandene Raum für einen solchen Einbau zu klein ist. Ausserdem wird bei einer derartigen Lösung die Leitungsinstallation kompliziert.

Es ist nun Sache unserer Industrie, brauchbare Einrichtungen, die diesen Gedanken zu verwirklichen erlauben, zu finden. Ein solcher Apparat darf natürlich die Anschaffungskosten einer Heisswasserspeicher-Anlage nicht wesentlich verteuern.

Immerhin wird der Bezüger gerne einen gewissen Ueberpreis bezahlen, wenn diese Einrichtung so ausgebildet wird, dass vom Benützer auch noch die «Ladung» des Speichers abgelesen werden kann. In der in Fig. 21 vorgeschlagenen Lösung wird dies beispielsweise ohne weiteres möglich sein. Damit würde dann gleichzeitig ein am elektrischen Heisswasserspeicher heute öfters empfundener Mangel verschwinden.

Hochfrequenztechnik und Radiowesen — Haute fréquence et radiocommunications

Das Fernsehbild.

621.397.62

Aus der Verschiedenheit der technischen Möglichkeiten beim Fernsehen und beim Tonfilm ergeben sich auch verschiedene Aufgaben, was bisher von Aussenstehenden zu wenig beachtet wurde und deshalb oft zu unangebrachter Kritik führte. Die bisherige Entwicklung der Fernsehtechnik richtete sich naturgemäss vorläufig nur auf die technische Vervollkommnung in bezug auf Bildhelligkeit, Schärfe, Grösse, Flimmerfreiheit und Wirtschaftlichkeit. Erst heute ist es berechtigt, die Aufgaben und Zwecke gegenüber dem Tonfilm abzugrenzen und klarzustellen.

Von den vom Tonfilm herkommenden Kritikern wird dem Fernsehen oft der Einwand gemacht, dass das aus technischen Gründen immer kleine Bild, dessen Vergrösserung für Heimempfänger wohl kaum mehr weiter getrieben werden kann, im Verhältnis zu dem mit normaler Lautstärke wiedergegebenen Ton unnatürlich wirkt. Um zu untersuchen, ob sich dieser Einwand physiologisch und psychologisch rechtfertigen lässt, sollen die prinzipiellen Unterschiede zwischen dem Fernseh- und dem Kinobild näher beleuchtet werden. Weil das Fernsehbild immer aus einem Zeilenraster aufgebaut sein muss, dessen Feinheit oder Auflösung aus verstärkertechnischen Gründen (grosse Bandbreite) gewisse Grenzen gesetzt bleiben, ist es im Prinzip immer unscharf im Gegensatz zum Kinobild, dessen Schärfe bedeutend grösser ist. Immerhin ist die Schärfe eines Fernsehbildes noch weit grösser als diejenige eines impressionistischen Gemäldes, dessen Unschärfe in vielen Fällen auch von künstlerisch ungebildeten Leuten nicht störend empfunden wird. Das liegt daran, dass der Maler eben solche Motive darstellt, die sich in dieser Technik darstellen lassen. Man muss deshalb auch beim Fernsehbild die Auswahl des Stoffes der Technik des Fernsehbildes im eben genannten Sinne anpassen, das heisst solche Motive und Begebenheiten darstellen, bei denen die geringe Unschärfe nicht stört. Da beim Fernsehen der Qualität der Tonwiedergabe viel weitere Grenzen gesteckt sind, spielt das Bild eine mehr begleitende Rolle. Beim Tonfilm indessen liegen die Verhältnisse gerade umgekehrt. Bis heute liegt die Daseinsberechtigung des Sehrundfunks erstens in der Gleichzeitigkeit zwischen Sehen und Geschehen, zweitens in der Möglichkeit, durch Ueberblenden augenblickliches Geschehen in ein vorher vorbereitetes Bild (Film) einzuschalten, drittens in der Möglichkeit, bei Hörspielen das an sich schon durch den akustischen Vorgang stark angeregte Miterleben durch das Bild zu unterstreichen.

Kehren wir zur Frage des Missverhältnisses zwischen Bildgrösse und Schallintensität zurück, so stossen wir auf das Problem, zwei eigentlich unvergleichbare Grössen zueinander in Beziehung, d. h. in ein zahlenmässiges Verhältnis zu

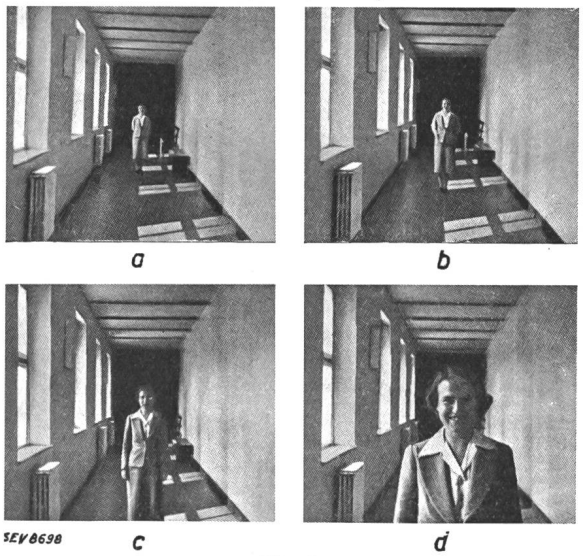

Fig. 1.
Abstandwirkung durch räumliche Bezugsgegengstände (Lautstärke von Bild *a* nach Bild *d* wachsend).

bringen. Wenn wir beispielsweise ein Bild mit einer Person und einem Haus betrachten, so kommt es bei der Beurteilung der Grösse der Person oder des Hauses nicht so sehr auf den absoluten Bildwinkel an, unter dem uns die dargestellten Objekte erscheinen, sondern vielmehr auf das Verhältnis der