Über die Voraussetzungen für den wettbewerbsfähigen Einsatz von elektrischer Energie zur Raumheizung in der Bundesrepublik Deutschland

Autor(en): **Borstelmann, P.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins : gemeinsames Publikationsorgan des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins (SEV) und des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE)**

Band (Jahr): **58 (1967)**

Heft 9

PDF erstellt am: **29.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-916248

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Statistische Verteilung der Oberwellen in Spannung und Strom der 15 untersuchten Leitungen

Tabelle III

Ordnungszahl ν	Spannung		Strom	
	Mittelwert $\overline{x}$ %	Streuung σ %	Mittelwert $\overline{x}$ %	Streuung σ %
3	0,42	0,23	0,87	0,73
5	0,80	0,27	1,50	1,00
7	0,20	0,10	0,50	0,31

P/P_{max} umfasst nach Fig. 14 eine Fläche, deren Grenzkurve hyperbolischen Charakter hat und gegen kleine Werte von P/P_{max} stark ansteigt. Bei 50 % P/P_{max} beträgt der Grenzwert des Klirrfaktors k_i ca. 0,5 %, bei 10 % P/P_{max} hingegen bereits ca. 9 %.

Da, wie bereits bei der Berechnung des mittleren Stromoberwellengehaltes erwähnt, bei kleinen Werten von P/P_{max} ein gegebener prozentualer Fehler kleinere absolute Meßfehler verursacht, ist diesen überdurchschnittlich grossen Stromoberwellen im Kleinlastgebiet keine allzu grosse Bedeutung beizumessen. Von wirtschaftlicher Bedeutung ist jedoch die Tatsache, dass der Stromoberwellengehalt mit steigender relativer Leistung P/P_{max} abnimmt und bei Werten von P/P_{max} von mehr als 40 % im allgemeinen kleiner als 1 % wird.

Sehr ausgeprägt ist der Stromoberwellengehalt der 220-kV-Leitungen Mühleberg–Hauterive (Nr. 12) und Mühleberg–Bickigen (Nr. 13) bei extrem kleiner relativer Leitungsbelastung P/P_{max} von nur ca. 5 %. Die Erklärung dafür dürfte darin liegen, dass die oberwellenbehafteten Magnetisierungsströme der Transformatoren, welche natürlich lastunabhängig sind, bei kleiner Belastung relativ grösser in Erscheinung treten als bei stärker belasteten Leitungen. Dazu kommt wohl noch eine teilweise Kompensation der Magnetisierungsstrom-Grundwelle durch die Leitungskapazität.

Die in Fig. 13 und 14 graphisch aufgetragene Summenhäufigkeit der Spannungs- und Stromoberwellen lässt keine definierte Gesetzmässigkeit in der statistischen Verteilung der Oberwellen erkennen. Aus den mittleren Einzelwerten der Oberwellen der 15 untersuchten Leitungen, deren Summenhäufiigkeit in den Fig. 13 und 14 graphisch aufgetragen ist, wurden als Mittelwert $\overline{x}_\nu$ und als Streuung σ_ν auf Grund folgender Gleichungen ermittelt:

$$\overline{x}_\nu = \frac{1}{N} \sum_{1}^{N} x_{\nu i}$$

$$\sigma_\nu = \sqrt{\frac{\Sigma (x_{\nu i} - \overline{x}_\nu)^2}{N-1}}$$

worin

$x_{\nu i}$ Mittelwert pro untersuchte Leitung

N Anzahl untersuchter Leitungen (15)

und in Tabelle III zusammengestellt.

Adresse der Autoren:

M. Angst, dipl. Elektroingenieur, und Dr. sc. techn. *F. Tschappu*, Landis & Gyr AG, 6300 Zug.

Über die Voraussetzungen für den wettbewerbsfähigen Einsatz von elektrischer Energie zur Raumheizung in der Bundesrepublik Deutschland

Von *P. Borstelmann*, Essen

697.27

Die Wettbewerbsfähigkeit des elektrischen Heizens war nicht allein durch die inzwischen erfolgte Senkung der Heizstrompreise zu erreichen, sondern nur durch eine technisch-wirtschaftliche Gesamtkonzeption, die sich wesentlich von derjenigen traditioneller Heizungsarten unterscheidet. In Verbindung mit entsprechenden Wärmeschutz-Massnahmen, niedrigen Geräte- und Installationskosten, einer kostensparenden Netzbauweise und einer ausgefeilten Regel- und Steuertechnik ist es möglich, die elektrische Energie trotz ihres relativ hohen Kalorienpreises für die wirtschaftliche und voll konkurrenzfähige Beheizung von Gebäuden aller Art einzusetzen.

La faculté concurrentielle du chauffage électrique n'a pas seulement été menagée uniquement grâce à la baisse des prix du courant de chauffage survenue entre-temps, mais bien plutôt par une conception générale, tant économique que technique entièrement différente des méthodes traditionelles de chauffage. Un isolement calorifuge approprié, des frais d'acquisition et d'installation réduits, un tracé économique du réseau et une technique de commande et de réglage parfaitement au point ont, malgré son prix calorifique relativement élevé, permis l'exploitation de l'énergie électrique en vue du chauffage des immeubles les plus divers à des conditions parfaitement économiques et adaptées à la concurrence présente.

Österreich und die Schweiz dürfen zu Recht behaupten, die ersten entscheidenden Schritte auf dem Gebiete der elektrischen Speicherheizung schon in den 30er Jahren unternommen zu haben. Aber selbst in der Mitte der 50er Jahre, als man beispielsweise in Österreich bereits Speicherheizungsanlagen mit einer installierten Gesamtleistung von 120 MW registrierte und in der deutschen Bundesrepublik erste praktische Erfahrungen mit dieser Technik zu sammeln begann, war man noch weit davon entfernt, in der elektrischen Speicherheizung eine wettbewerbsfähige Lösung des Raumheizungsproblems zu sehen. Die Elektrizitätsversorgungsunternehmen tolerierten allenfalls diese Art der elektrischen Heizung im Gegensatz zur Direktheizung, die erheblich zu einer Erhöhung der jährlichen Spitzenlast beiträgt, ohne dies durch eine entsprechend hohe Benützungsdauer zu rechtfertigen. Dem Konsumenten gegenüber wurde die Speicherheizung damals zwar auch als Komfortlösung herausgestellt, für deren Betrieb er, so meinte man allerdings zumindest bis 1960, ruhig mehr als für vergleichbare Heizsysteme bezahlen könne. Abgesehen von Sonderfällen, in denen sich besonders günstige Betriebsergebnisse dadurch ergaben, dass die vorher benützten Heizsysteme oft ausserordentlich unwirtschaftlich betrieben worden waren, z. B. in Schulen, wurde es als normales Ergebnis angesehen, wenn der Betrieb einer elektrischen Speicherheizung um 20 % teurer als der einer vergleichbaren Zentralheizung war.

Bis zum heutigen Tage betrachtet ein Teil der Elektrizitätsversorgungsunternehmen die elektrische Speicherheizung

zwar als willkommenes Mittel zur Verbesserung der eigenen Benützungsdauer; anderseits möchte man jedoch möglichst ausschliesslich in Zeiten schwächster Allgemeinbelastung Energie für Heizzwecke zur Verfügung stellen, und alle netzseitigen Aufwendungen, soweit sie erforderlich sind, dem Konsumenten berechnen. So gesehen wäre die Speicherheizung für den Energielieferer zwar ein weitgehend risikoloses Nebengeschäft; er kann sie jedoch bei dieser Betrachtungsweise nicht mit grosser Aussicht auf Erfolg dort forcieren, wo ihm eine wettbewerbsfähige elektrische Heizung aus Konkurrenzgründen willkommene Hilfe sein könnte. Um dies näher erklären zu können, sei am Beispiel des heute üblichen Mietwohnungsbaues erläutert, welchen Einfluss die wettbewerbsfähige elektrische Heizung auf die Rentabilität der elektrischen Energieversorgung haben kann.

Man unterscheidet heute vier Stufen der Elektrifizierung, von denen die dritte im allgemeinen das günstigste Verhältnis zwischen den Aufwendungen im Netz und für die Lieferung der Energie einerseits und den Einnahmen anderseits darstellt.

a) Licht und Kleingeräte;
b) Licht, Kleingeräte und Elektroherd;
c) Licht, Kleingeräte, Elektroherd und ausschliesslich elektrische Heisswasserbereitung («Vollelektrische Versorgung»);
d) «Vollelektrische Versorgung» und elektrische Raumheizung («Allelektrische Versorgung»).

In den Fällen a, b und c sind die netzseitigen Aufwendungen je Wohnung in einer Siedlung etwa gleich hoch, wenn man davon absieht, dass im Fall a eine etwas geringere Transformatorenleistung erforderlich ist als in den Fällen b und c. Die längsverlegten Kabel, sowie die erforderlichen Hausanschlüsse als Hauptkostenfaktoren zeigen zumindest keine Unterschiede. Im Fall d ist beim Einsatz moderner Netzbaumittel, z. B. unter Verwendung sog. Compact-Stationen, mit einer Verdoppelung der netzseitigen Aufwendungen zu rechnen, wobei sich der installierte Spitzenanteil eines Haushaltes von 2 auf 10 kW erhöht (Fig. 1).

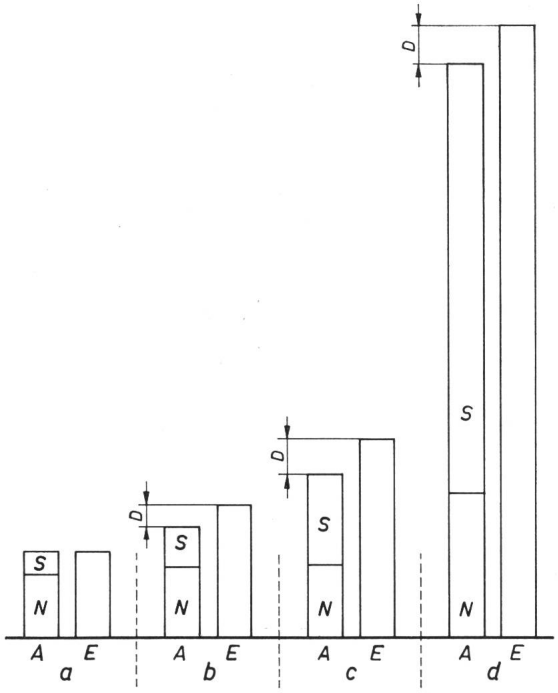

Fig. 1
Direkte jährliche Aufwendungen *A* (für den Kapitaldienst im Netz *N* und die Energielieferung *S*) sowie die Einnahmen *E* bei der Versorgung einer 3-räumigen Wohnung unter Zugrundelegung bestimmter Kostenrelationen
Versorgungsfälle:
a Licht- und Kleingeräte
b Licht, Kleingeräte und Elektroherd
c «vollelektrische Versorgung» (ohne Heizung)
d «allelektrische Versorgung» (mit Heizung)
D Differenzbetrag
Erklärungen siehe im Text

Für die zu liefernden elektrischen Energiemengen ergeben sich, wenn man *a* gleich 100 % setzt, für eine Durchschnittswohnung mit drei Räumen folgende Relationen:

$$a = 100\ \%$$
$$b = 250\ \%$$
$$c = 650\ \%$$
$$d = 3000\ \%$$

Bei den Einnahmen sieht es etwas anders aus. Setzt man wiederum $a = 100\ \%$, dann zeigt sich folgendes Bild unter Zugrundelegung von Tarifen, wie sie in der deutschen Bundesrepublik üblich sind:

$$a = 100\ \%$$
$$b = 150\ \%$$
$$c = 250\ \%$$
$$d = 650\ \%$$

Wie Fig. 1 zeigt, sind die dem Elektrizitätswerk für die Deckung allgemeiner Kosten verbleibenden Differenzbeträge zwischen Einnahmen und Ausgaben noch im Versorgungsfall *b* recht klein. Grösser werden sie im Fall *c*, also beim «vollelektrischen» Haushalt, und sie bleiben in dieser Grössenordnung auch dann, wenn elektrisch geheizt wird. Da die Entwicklung in der Praxis heute immer mehr darauf hinausläuft, dass entweder die Kleinstversorgung nach Fall a (z. B. bei günstigem Gasangebot) oder die «allelektrische» Versorgung nach Fall d in Frage kommt, immer seltener jedoch der an sich zu bevorzugende Versorgungsfall c, muss das Elektrizitätswerk das Heizen mit elektrischer Energie fördern, um die angestrebte Maximalspanne zwischen Einnahmen und Ausgaben zu erreichen. Fig. 1 kann in diesem Zusammenhang natürlich nur zur Erläuterung der Prinzipes, nicht aber zur tatsächlichen Kostenrechnung benützt werden.

Die Mehrzahl derjenigen europäischen Elektrizitätsversorgungsunternehmen, die sich heute in klarer Erkenntnis der erwähnten Zusammenhänge für die uneingeschränkte Steigerung des Heizenergieabsatzes einsetzen, ist sich darüber im klaren, dass man die Preise für elektrische Heizenergie so niedrig festlegen muss, dass sie gerade noch die Zuwachskosten zu decken vermögen, da die Konkurrenzlage eine äusserst knappe Kalkulation erzwingt. Den Vorteil des elektrischen Heizenergieabsatzes zu solchen Bedingungen sehen diese Unternehmen eindeutig darin, dass ihnen auf diese Weise die rentable Basis einer Belieferung des Konsumenten mit elektrischer Energie auch für das Kochen und die Heisswasserbereitung erhalten bleibt, die andernfalls verloren gehen würde. Hin und wieder wird sogar die Ansicht vertreten, man könne elektrische Heizenergie gegebenenfalls noch geringfügig unter den Zuwachskosten abgeben, wenn die damit verbundenen Verluste wertmässig wesentlich niedriger als der Totalverlust der ausschlaggebenden Absatzgebiete, nämlich des elektrischen Kochens und der Heisswasserbereitung lägen, da dadurch die mögliche Einbusse auf ein Minimum reduziert wird. Die Unternehmen verkaufen heute die elektrische Heizenergie allerdings üblicherweise zu Preisen, die die Erzeugungs- und Transport-Zuwachskosten gerade noch zu decken vermögen. Die Aufwendungen für entsprechende Beratung und Werbung bewegen sich dabei im

Bereich dessen, was ohnehin zur Förderung des Energieabsatzes von den Elektrizitätswerken getan werden muss; nur liegt der Schwerpunkt dieser Tätigkeit eben derzeit bei der Raumheizung, so wie er in den 30er Jahren bei der Wegbereitung für das elektrische Kochen lag.

In der deutschen Bundesrepublik haben die Heizenergiepreise seit Jahren eine trotz allgemeiner Preissteigerungen nach unten gerichtete Tendenz aufzuweisen. Noch um 1960 wurde Nachtenergie nicht unter 5...7 Pf./kWh angeboten. Heute liegt das Angebot der am Heizenergieabsatz interessierten Elektrizitätswerke im Bereich zwischen 3,6...5 Pf./kWh, also um gut 20 % niedriger. Auf der Basis dieser Preise ist der Elektroheizung der allgemeine Durchbruch auf dem Heizungsmarkt gelungen. Seit Herbst 1965 haben die Regierungen fast aller Bundesländer sowie die Städte Hamburg und Berlin das elektrische Heizen als wettbewerbsfähig und für den sozialen Wohnungsbau geeignet anerkannt. Diese Regierungen fördern den Einbau von Elektroheizungen unter bestimmten — die Bauausführung betreffenden — Voraussetzungen mit öffentlichen Mitteln. Dies ist ohne Zweifel ein grosser Erfolg für die Elektroheizung, den wohl noch vor wenigen Jahren niemand vorauszusagen gewagt hätte, denn unverändert gelten physikalische und mathematische Gesetze, die es auf den ersten Blick unmöglich erscheinen lassen, dass man mit einer relativ teuren Energie, wie der Elektrizität, wettbewerbsfähig sein kann.

Zur Erläuterung muss in diesem Zusammenhang einiges über den reinen Wärmepreis konkurrierender Energiearten gesagt werden, denn dies ist immer wieder der Ausgangspunkt für falsche Beurteilungen. Der Einfachheit halber seien Heizöl, Stadtgas und Elektrizität miteinander verglichen. Sie alle erlauben es, sowohl grosse als auch sehr kleine Objekte automatisch zu heizen und erfreuen sich infolgedessen der besonderen Gunst der Bauherren.

Heizöl kostet z. Z. etwa 10 Pfennig pro Liter bzw. 10 Pf./8750 kcal. 1 Gcal kostet infolgedessen DM 11.40. Stadtgas kostet 10 Pfennig pro Kubikmeter bei einem Heizwert von 3600 kcal. Hier ergibt sich also der spezifische Preis von 27.80 DM/Gcal. Bei Elektrizität mit einem Heizstrompreis von 4 Pf./kWh bzw. 4 Pf./860 kcal errechnet sich schliesslich ein Preis von 46.50 DM/Gcal.

Bis zum heutigen Tag wird leider immer wieder schon an dieser Stelle der Fehler gemacht, das Verhältnis dieser drei Zahlen zueinander mit dem Verhältnis der jährlichen Heizkosten zu identifizieren. Ganz davon abgesehen, dass ja zunächst der Wirkungsgrad berücksichtigt werden muss, ist festzustellen, dass die Energiekosten nur ein Teil der jeweiligen Heizkosten sind, und dass diese sich bei jeder Heizungsart aus ganz verschiedenen Faktoren zusammensetzen.

Zusammengefasst ergibt sich folgendes Bild:

a) Kosten der Rohenergie:

Heizöl	10 Pf./Lit.	bzw. 11.40 DM/Gcal
Stadtgas	10 Pf./m³	bzw. 27.80 DM/Gcal
Elektrizität (Heizenergie)	4 Pf./kWh	bzw. 46.50 DM/Gcal

Setzt man Heizöl = 100 %, dann ergeben sich für Stadtgas 244 % und für Heizenergie 408 %. Wird aber auch der Wirkungsgrad eingeführt, dann sieht die Sache schon etwas anders aus. Man kommt zu:

b) Kosten der nutzbaren Heizwärme:

Heizöl	η = 70 %	ergibt 16.28 DM/Gcal
Stadtgas	η = 75 %	ergibt 37.10 DM/Gcal
Elektrizität (Heizenergie)	η = 97 %	ergibt 47.90 DM/Gcal

Wird wiederum der Heizölpreis mit 100 % angesetzt, dann ergeben sich für Stadtgas 238 % und für Heizstrom 294 %.

Von diesen Werten muss man ausgehen, wobei die für Öl und Gas eingesetzten Wirkungsgrade ohne Zweifel nur unter sehr günstigen Bedingungen erreicht werden.

Wie bereits erwähnt, sind die Energiekosten ein bestimmter Teil der gesamten Heizungskosten und können nur im Zusammenhang mit den übrigen Kostenfaktoren gesehen werden, als da sind:

a) Die Anschaffungskosten der Heizanlage, d. h. deren jährlicher Kapitaldienst;
b) Die baulichen, heizungsgebundenen Aufwendungen, wie Schornsteine, Schächte, Öllagerung, in Anspruch genommenes Bauvolumen usw., d. h. der darauf entfallende jährliche Kapitaldienst;
c) Installationsleitungen, Zuschüsse an den Energielieferer für die Erstellung des Versorgungsanschlusses, Hausverteilungen usw., d. h. der darauf entfallende Kapitaldienst;
d) Zusätzliche Wärmeschutzmassnahmen bzw. deren jährliche Kapitalkosten.
Die Summierung der vorgenannten Positionen ergibt den jährlichen Festkostenanteil der Heizung. Dazu kommen:
e) Wartungskosten;
f) Energiekosten.

Mit anderen Heizungsarten sind also nur die Gesamtkosten vergleichbar, also die Summe aller Positionen von a) bis f). Dabei sind alle subjektiven Faktoren einer mehr oder minder grossen Wertschätzung der einzelnen Möglichkeiten ausser acht gelassen, und nur diejenigen Positionen aufgeführt worden, die sich für den wirtschaftlich denkenden Erbauer eines Hauses in Geld ausdrücken lassen.

Bei der Planung elektrisch beheizter Häuser wird heute eindeutig das Ziel angestrebt, im «üblichen» Kostenrahmen zu bleiben d.h. Anlage- und Betriebskosten wie etwa bei der Ölheizung zu erreichen. Bei elektrischer Heizung ist dazu eine Verringerung des Wärmebedarfs mittels entsprechender Wärmeschutzmassnahmen erforderlich.

In Tabelle I sind diese Zusammenhänge zusammengestellt, wobei betont werden sollte, dass es nur um eine grössenordnungsmässige Erfassung der wichtigsten Faktoren geht.

In der Praxis baut man hierzulande entweder das ölbeheizte Haus mit einem Wärmebedarf von 20 000 kcal/h oder das besser wärmegedämpfte, elektrisch beheizte Haus mit 12 000 kcal/h.

Vergleich der wichtigsten Kostenfaktoren bei Öl- und Elektroheizung für ein Einfamilienhaus in normaler Bauausführung (20 000 kcal/h) und mit besserem Wärmeschutz (12 000 kcal/h). Preise vom Herbst 1966

Tabelle I

Wärmebedarf	Ölheizung 20 000 kcal/h	Ölheizung 12 000 kcal/h	Elektroheizung 20 000 kcal/h	Elektroheizung 12 000 kcal/h
1. Anlagekosten bei Ölheizung einschliesslich Tank und Installation usw., bei Elektroheizung einschliesslich Installation usw.	12 000.–	10 800.–	7 000.–	5 500.–
2. Wärmeschutzkosten zusätzlich über die DIN 4108 hinaus	—	4 500.–	—	4 500.–
Summe:	12 000.–	15 300.–	7 000.–	10 000.–
3. Energiebezugskosten Öl 10 Pf./Lit. Heizenergie 4 Pf./kWh	600.–*	342.–*	950.–	600.–

* Hierin ist auch der Energieverbrauch von Umwälzpumpe und Ölbrenner enthalten.

Es zeigt sich in der Regel, dass es sich nicht rentiert, das ölbeheizte Haus ebenfalls besser gegen Wärmeverluste zu schützen, da der Mehraufwand dann zumeist einen höheren Kapitaldienst erfordert als er an Einsparungen bringt. (Beispiel in der 2. Zahlenspalte: Wärmeschutzkosten 4500.— DM bzw. bei 8 % Abschreibung und Verzinsung 360.— DM/a, Energiebezugskostenersparnis bei Öl 600—342=258.— DM/a, bei elektrischer Energie 950—600=350.— DM/a. Der bessere Wärmeschutz führt also bei Elektroheizung praktisch zu keiner Verteuerung, ist aber bei Ölheizung nicht wirtschaftlich.)

Die Wettbewerbsfähigkeit des elektrischen Heizens ist, wie bereits erwähnt, nicht nur vom Energiepreis, sondern von einer grösseren Zahl von Faktoren abhängig, von denen die wichtigsten hier untersucht werden sollen.

Gerätekosten

Ein sehr entscheidender Faktor sind die eigentlichen Gerätekosten, die möglichst niedrig liegen sollen, um einen günstigen Einfluss auf die Wettbewerbsfähigkeit auszuüben. Ein Schlüssel zur Senkung dieser Kosten liegt in der Hand der Energieversorgungsunternehmen, die durch Festlegen einer bestimmten täglichen Aufladedauer die Kosten der Geräte entscheidend beeinflussen können. Die Unternehmen sind hier allerdings sehr eingeengt durch den Verlauf der normalen Belastungskurve, aber immerhin gibt es Mittel und Wege, das Minimum an Aufladestunden zu erhöhen, um dadurch Gerätekosten, Geräteabmessungen und die installierten Heizleistungen zu verringern. Jedes dieser Ziele kann für sich ausschlaggebend für entsprechende Massnahmen sein. Dazu bedarf es eines Beispieles:

Geht man davon aus, dass ein Wohnhaus am kältesten Tag des Jahres 160 kWh an Heizenergie benötigt, dann würde man bei der heute üblichen minimalen Aufladedauer von 8 h, die zumeist zwischen 22.00 und 6.00 Uhr liegen, einen Anschlusswert der Speicherheizgeräte von 20 kW benötigen, deren durchschnittlicher Verkaufspreis mit 200.— DM/kW angenommen werden soll. Die noch nicht installierten Geräte kosten in diesem Fall also DM 4000.—.

Wird nun, wie es häufig geschieht, eine zweistündige Nachladung in den belastungsschwächeren Mittagsstunden zugelassen, dann stehen innerhalb von je 24 h 10 h zum Aufladen der Speicher zur Verfügung, so dass nur 16 kW installiert werden müssen. Dafür bezahlt man nur DM 3200.—. Diese Gerätekosten-Senkung um DM 800.— kann entscheidend für den notwendigen Wettbewerbsvorsprung des elektrischen Heizens gegenüber anderen Heizsystemen sein. Ausserdem sinkt die im Ortsnetz bereitzustellende Heizleistung von 20 auf 16 kW, so dass man bei gegebener Kapazität mehr Konsumenten mit Heizenergie versorgen kann. Bei neu zu bauenden Ortsnetzen für eine grosse Zahl elektrisch heizender Haushalte kann man darüberhinaus mit einer um 20 % verringerten Transformatorenleistung auskommen und damit die Netzkosten erheblich senken, auf die noch einzugehen sein wird.

Bei den in Grossbritannien und in der deutschen Bundesrepublik in den letzten Jahren erstellten Grossobjekten mit bis zu jeweils 1000 elektrisch beheizten Wohnungen ist man noch einen Schritt weitergegangen, um die Gerätekosten zu vermindern und auf diese Weise die Konkurrenzfähigkeit zu erhöhen: Man hat in den weniger stark benutzten Zimmern und in kleinen Räumen Direktheizgeräte, zumeist Konvektoren installiert, da diese viel weniger kosten als Speicherheizgeräte. Diese Geräte können, darüber war man sich von vornherein im klaren, zwar gelegentlich auch in Spitzenzeiten eingeschaltet sein und unter Umständen sogar die Jahresspitze des Elektrizitätswerkes erhöhen, jedoch ist dieser Nachteil unter Voraussetzungen, wie sie bei richtiger Vorausplanung gegeben sind, nicht schwerwiegend, wenn man folgende Überlegung anstellt:

Im Durchschnitt verfügt heute jeder im allgemeinen nicht elektrisch heizende Haushalt über ein 2-kW-Direktheizgerät, das in zwei Fällen benützt wird, nämlich in den Übergangszeiten und bei extremen Kältegraden, wenn die vorhandene Heizungsanlage nicht mehr ausreicht. Am dritten Mittwoch im Februar 1956 erfolgte beispielsweise ein ungewöhnlicher Kälteeinbruch, der in Hannover, Frankfurt und München die langjährigen Tages-Mitteltemperaturen um 11,7 °C unterschritt. An diesem Tage stieg die durch elektrische Zusatzheizungen verursachte Netzlast um rund 800 MW. In Grossbritannien gab es unter ähnlichen Voraussetzungen im Dezember 1964 erhebliche Energieausfälle, hervorgerufen durch den unkontrollierten Gebrauch vieler Millionen Direktheizgeräte, mit denen man heute rechnen muss, obwohl sie eine denkbar niedrige Benutzungsstundenzahl aufweisen und die Jahresspitzen bis über die möglichen Grenzen hinaus erhöhen können.

Was man aber dem unter solchen Bedingungen elektrisch heizenden Haushalt nicht verbieten kann, nämlich maximal 2 kW Heizleistung jederzeit einzuschalten [1]), das sollte man folgerichtig dem ausschliesslich elektrisch heizenden Haushalt in sinnvoller Form von vornherein zugestehen; so jedenfalls denkt man heute schon weithin darüber. Was hat man dabei nun unter dem Begriff «sinnvoll» zu verstehen?

Der unkontrollierbar heizende Konsument benutzt sein Gerät im Wohnraum mit Sicherheit auch in den Spitzenzeiten, wobei ein sehr hoher Gleichzeitigkeitsfaktor auftritt. Installiert man dagegen ein nicht transportables Gerät im Schlafzimmer, so wird dieses in der Regel nur morgens und abends kurzzeitig, zumindest aber mit sehr niedrigem Gleichzeitigkeitsfaktor benützt. Im regelmässig durchgehend beheizten Wohnraum und in Kinderzimmern sind daher in jedem Fall ausreichend bemessene Speicherheizgeräte vorzusehen, in kleinen Küchen ist dafür aber oft einfach kein Platz und wenn man an diesem Punkt die Anwendbarkeit der elektrischen Vollheizung nicht scheitern lassen will, muss man auch hier ein direkt wirkendes 1-kW-Gerät installieren, das zwar die Morgenspitze beeinflussen kann, die anderseits wohl niemals Jahresspitze sein dürfte. Langjährige Erfahrungen mit der elektrischen Heizung grosser Wohnsiedlungen haben im Gebiet der RWE-Betriebsverwaltung, Essen, zu einer Kombination von Speicherheizgeräten und Direktheizgeräten geführt, die ausserordentlich niedrige Gerätekosten mit sich bringt, anderseits die Netzbelastung durch die jederzeit einschaltbaren Heizgeräte in den Spitzenzeiten tragbar niedrig hält.

[1]) Die «Technischen Anschlussbedingungen» der meisten Elektrizitätswerke in der Bundesrepublik Deutschland sehen vor, dass Raumheizgeräte, deren Gesamtanschlusswert 2 kW überschreitet, nur mit besonderer Genehmigung des Unternehmens angeschlossen werden dürfen. (Dies bezieht sich nicht auf Speichergeräte!).

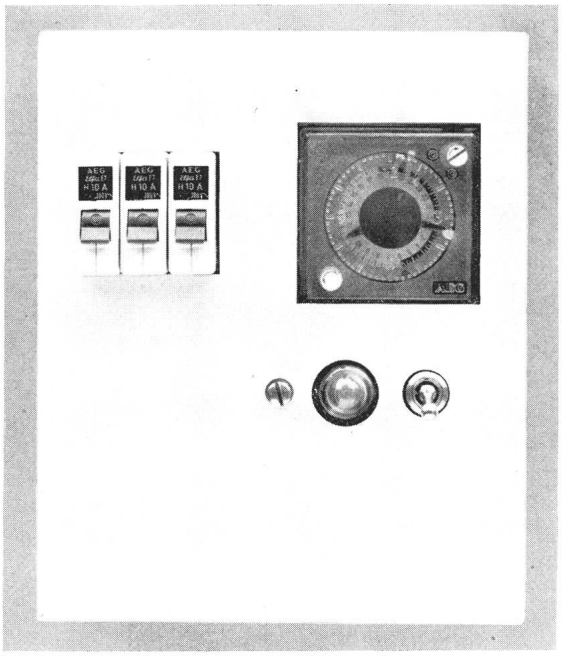

Fig. 2
Kleinverteilung für Wohnungen mit nachträglich eingebauter Heizungsanlage
Die Tafel gestattet den Anschluss von Speicherheizgeräten bis zu 10 kW. Die Schaltuhr ist vom Konsumenten verstellbar

Installationskosten

Die vorgesehenen Geräte müssen an das «Hausnetz» angeschlossen werden und natürlich sind die dafür aufzuwendenden Kosten so niedrig wie möglich zu halten, da ja immer das knapp kalkulierte Angebot der Konkurrenzenergien im Hintergrund steht. Speicherheizgeräte werden über Leitungen gespeist, die nur zu bestimmten Zeiten unter Spannung stehen. Es sind also, nicht zuletzt auch im Hinblick auf den für Haushaltsgeräte hohen Energieverbrauch, separate Leitungen erforderlich.

Jahrelang hatte man es sich, der besseren Übersichtlichkeit zuliebe, zur Gewohnheit werden lassen, jedes Heizgerät über eine eigene Zuleitung zu versorgen, die auf der Verteilungstafel entsprechend gesichert wurde. Inzwischen hat man erkannt, dass man auch hier den Hebel zu einer weiteren Kostensenkung ansetzen muss, um die Wettbewerbsfähigkeit des elektrischen Heizens zu verbessern. Die Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke empfiehlt heute, so viele Speicherheizgeräte von einer gemeinsamen 4×4-mm²-Leitung zu speisen, wie eben möglich. Das bedeutet, dass man über 35-A-Sicherungen Geräte mit einer Leistungsaufnahme von rund 23 kW versorgen kann. Für mittlere Wohnungen und Häuser sind demnach zwei Heizstromkreise mit einer Übertragungskapazität von maximal 46 kW ausreichend. Zusätzliche Stromkreise sind allerdings erforderlich, wenn in erheblichem Umfang von der Direktheizung Gebrauch gemacht wird.

Im Hinblick auf die grössere Zahl von Stromkreisen in elektrisch beheizten Wohnungen, die umfangreichere Messeinrichtung, sowie die erforderliche Schaltuhr bzw. den Netzkommandoempfänger reichen übliche Zählertafeln zumeist nicht aus. Die Industrie hat daher, namentlich in den beiden vergangenen Jahren, eine sehr gut zu verwendende Auswahl von Spezialverteilungen und Unterverteilungen für elektrisch beheizte Wohnungen entwickelt, von denen Fig. 2 ein Beispiel zeigt.

Netzbauprobleme

Im vorigen Abschnitt wurden kurz einige Probleme der kostensenkenden Installation innerhalb des elektrisch beheizten Gebäudes behandelt. Sehr kapitalaufwendig, und daher von noch grösserer Bedeutung ist die Frage nach dem möglichst kostensparenden aber betriebssicheren Verteilungsnetz für ein Bebauungsgebiet mit ausschliesslich elektrisch beheizten Wohnungen.

Während die Versorgung von Einzelobjekten innerhalb eines bestehenden Netzes mit Heizstrom auf konventionellem Wege zu lösen ist, ist die Heizenergieversorgung geschlossener Wohngebiete ein völlig neues Problem, da man jedem einzelnen Haushalt, bezogen auf die Ortsnetzleistung, einen Spitzenanteil von 10...12 kW, also das sechsfache dessen zur Verfügung stellen muss, was bei nichtelektrischer Beheizung notwendig wäre. Es versteht sich am Rande, dass die Netzkosten nicht ebenfalls auf das sechsfache anwachsen dürfen, da sonst keine Basis für die wirtschaftliche Heizwärmeversorgung vieler elektrisch heizender Haushalte gegeben wäre. Um das Ergebnis gleich vorwegzunehmen: Es ist gelungen, Ortsnetze mit ausreichender Betriebssicherheit zu entwickeln, die sechsmal soviel elektrische Energie transportieren können wie herkömmlich gebaute Netze, aber nur rund doppelt soviel kosten.

Die wesentlichste Veränderung gegenüber einem herkömmlichen Ortsnetz ist dabei die, dass man nicht mehr ein von einer Station ausgehendes, oft ausgedehntes Niederspannungsnetz baut, sondern ein Mittelspannungsnetz mit einer entsprechenden Zahl von Compactstationen. Das Niederspannungsnetz schrumpft in diesem Fall auf kurze Verbindungen zwischen den Stationen und den Hausanschlusskästen zusammen (Fig. 3). Eingehend wird ein solches Netz von *Wehn* beschrieben. An dieser Stelle sei daher lediglich auf die Compact-Station als wichtigstes Bauelement kostensparender Hochleistungsnetze hingewiesen. Es handelt sich um einen Transformator, bei dem sich der Konservator innerhalb des Hauptgefässes befindet und bei dem sich die Nieder- und Hochspannungsdurchführungen an den Stirnseiten befinden, wo gleichzeitig die erforderlichen Schalt- und Klemmeinrichtungen angeordnet sind. Bei solchen Stationen herrscht der Leistungsbereich von 200...400 kVA vor.

Ohne auf diese Netzbautechnik überzugehen, wäre es wirtschaftlich nicht tragbar gewesen, grössere Wohnsiedlungen vollständig elektrisch zu beheizen, wobei es letztlich für die Betrachtung des Gesamtproblems hier gleichgültig ist, ob und in welchem Masse sich die Betreiber der Heizanlagen an den erhöhten Netzkosten beteiligen. Im übrigen hat sich die für heizenergieübertragende Netze entwickelte Bauweise in entsprechend abgewandelter Form mit grossem Vorteil auch in Gebieten mit heute üblicher «Normalelektrifizierung» durchsetzen können.

Verbesserung der Wirtschaftlichkeit des elektrischen Heizens durch sparsame Betriebsweise

In den vorhergehenden Abschnitten ist gezeigt worden, wie man durch sinnvolle Wärmeschutzmassnahmen relativ teuere Heizenergie wettbewerbsfähig machen kann, wie man sich diesem Ziel weiterhin durch eine Verringerung der Geräte- und Installationskosten nähern kann und welche Netz-

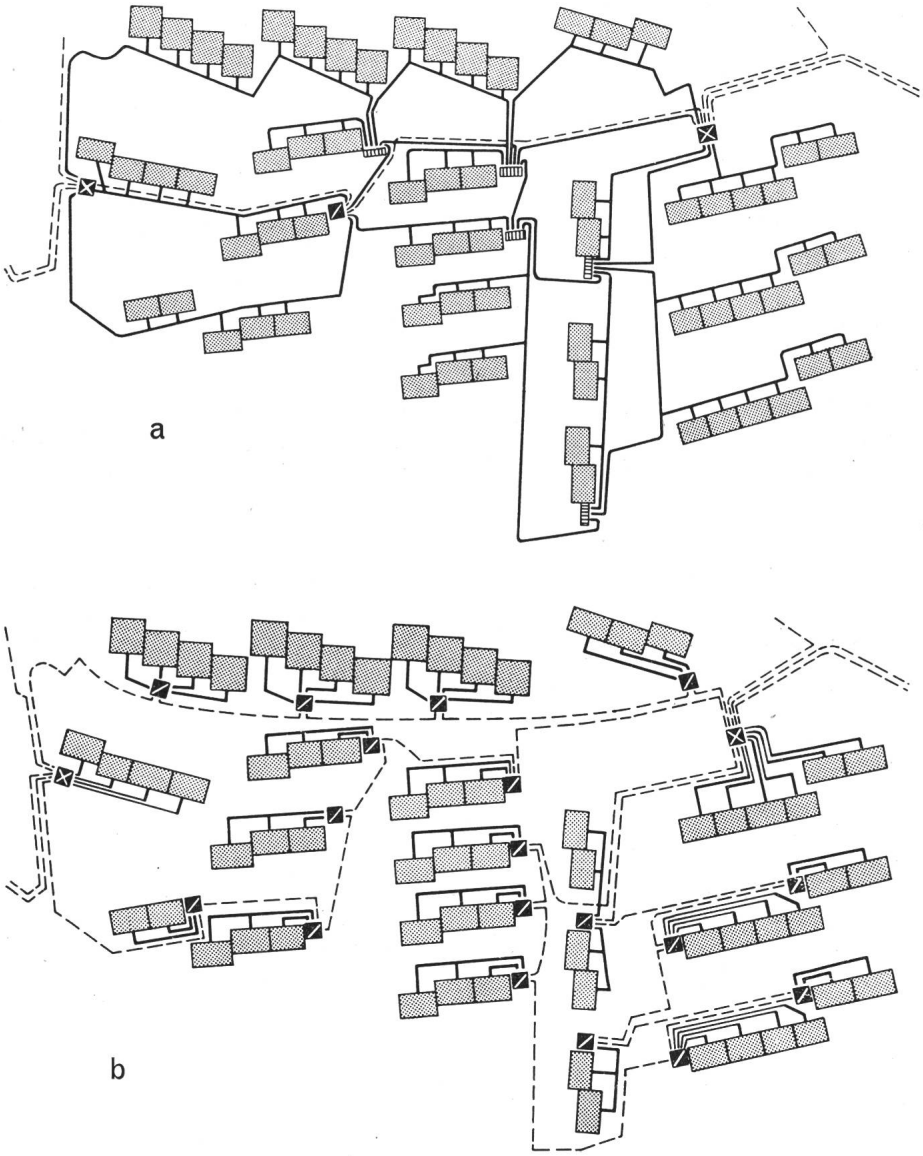

Fig. 3
Elektrische Energieversorgung von Siedlungen
a ohne Speicherheizung; *b* mit Speicherheizung
-- Mittelspannungskabel; — Niederspannungskabel; ▭ Niederspannungs-Verteilerkasten (nur in *a*); ⊠ Mittelspannungs-Verteilerstation; ◪ Compact-Station

bauformen entwickelt wurden, um kostensparende Hochleistungsnetze bauen zu können.

Der letzte Abschnitt zur Frage einer Erhöhung der Wettbewerbsfähigkeit von elektrischen Heizanlagen soll sich mit der Betriebsweise der Anlagen befassen und aufzeigen, wie man Heizenergie sparen kann ohne — und das sei ausdrücklich betont — einen Komfortverlust hinnehmen zu müssen.

Die heute dominierenden Speicherheizgeräte der Bauart III, das sind solche, die ihren Wärmevorrat überwiegend auf erzwungenem Wege mit Hilfe des eingebauten Ventilators abgeben (Fig. 4), haben eine Eigenschaft, die sie gegenüber allen anderen Heizsystemen auszeichnen: Sie können kurzzeitig ein Mehrfaches der Wärmemenge abgeben, die im Dauerbetrieb zum Aufrechterhalten einer gewünschten Raumtemperatur erforderlich ist.

Fig. 5 zeigt, in welchem Ausmasse sich die Wärmeabgabe eines Speicherheizgerätes in Abhängigkeit vom jeweiligen Ladezustand über das normale Mass hinaus steigern lässt, wenn man den Lüfter ohne Unterbrechung schnell laufen lässt.

Für ein 3-kW-Speicherheizgerät beispielsweise, das bei Dauerheizung mit Rücksicht auf den verkürzten Aufladezeitraum in seiner Heizwirkung einer Widerstands-Direktheizung von etwa 2 kW oder anderen Heizgeräten mit einer Dauerleistung von netto 1720 kcal/h entspricht, ergibt sich aus der Kurve, dass die Ausblasleistung je nach Entladezustand 6...14 kW entspricht und das Gerät damit zeitweise 3...7 mal so viel Wärme abzugeben vermag als jedes andere System, das nicht oder nur unwesentlich über seine Nennleistung hinausgeht.

Dieser Umstand kommt insofern einer Senkung des Energiebedarfs zugute, als man es sich erlauben kann, den Heizbetrieb bei jeder sich bietenden Gelegenheit einzuschränken, also die Temperatur herunterzusetzen, sobald man den Raum für längere Zeit verlässt. Mittels geeigneter Schalter «knipst» man sozusagen die Heizung wie das Licht aus, um beides wieder einzuschalten, wenn man den Raum wieder betritt, dessen Temperatur in wenigen Minuten von beispielsweise 16 °C auf den gewünschten Normalwert von 20 °C heraufgeht, sobald der Ventilator des Speichergerätes voll zu laufen beginnt.

Was diese weitgehende Möglichkeit der sinnvollen Betriebseinschränkung im Hinblick auf den Energieverbrauch bedeutet, zeigt Fig. 6.

In Fig. 6a sieht man den fast idealen Verlauf der Temperatur als rechteckige Sollkurve und darunter den dieser Temperaturkurve entsprechenden «Wärmeaufwand». Es tut nichts zur Sache, dass in der Praxis die Idealkurven nicht genau diesen Verlauf zeigen, denn hier geht es nur um das Prinzip.

In Fig. 6b sieht man nun, wie ein wenig anpassungsfähiges Heizsystem (1) und ein sehr anpassungsfähiges System (2) diesem Idealverlauf zu folgen vermögen, und wieviel Heizenergie von beiden benötigt wird. Diese ist jeweils identisch mit der Fläche unter der «Wärmeaufwand»-Kurve. Man sieht, dass das

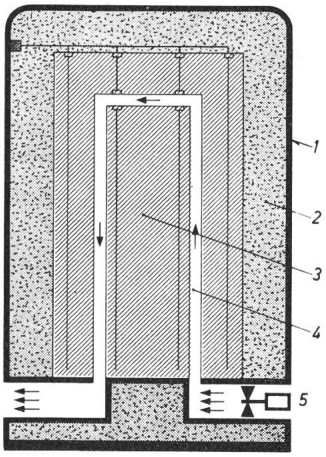

Fig. 4
Schnitt durch ein Speicherheizgerät der Bauart III
1 Mantel; *2* Wärmedämmung; *3* Speicherkern; *4* Luftkanal; *5* Gebläse (betätigt durch Raumthermostat)

anpassungsfähige System, das kurz vor Beginn der Raumnutzung mit erhöhter Leistung, während der Benützungszeit mit Nennleistung arbeitet und am Ende des Schulunterrichtes sofort auf den Wert Null zurückgenommen werden kann, wesentlich weniger Heizenergie benötigt als beispielsweise eine Zentralheizungsanlage.

Dieser Vorgang wird mathematisch in der Heizkosten-Vorausberechnung nach DIN 2067 durch den Temperatureinschränkungsfaktor e_t erfasst.

Die Industrie hat geeignete Bauelemente entwickelt, um die Betriebseinschränkung sinnvoll und bequem vornehmen zu können. An sich genügt es, den Raumthermostaten jeweils von 20 °C auf etwa 16 °C herunterzuschalten, um beim Wiedereintritt in den Raum den alten Zustand wieder herzustellen. Da aber heute möglichst alles automatisiert wird, benützt man Spezial-Thermostate mit zwei Festwerteinstellmöglichkeiten. Das Umschalten übernimmt eine Uhr, wenn es sich um stets wiederkehrende Temperatursenkungen handelt, also beispielsweise für die Nachtzeit. Ein neben dem Lichtschalter an der Tür installierter Temperatur-Bereichsumschalter wird von Hand betätigt, sobald man die Wohnung verlässt und wenn man wieder zurückkommt. Das kann auch zentral für sämtliche Räume in der Nähe der Wohnungstür erfolgen und wird, wie die Erfahrung lehrt, schnell zur Routine, durch die man viel Geld sparen kann.

In den vergangenen Jahren wurde die Technik der automatisch richtigen Aufladung von Speicherheizungsanlagen in Abhängigkeit von den jeweiligen Witterungsbedingungen und der in den Geräten noch vorhandenen «Restwärme» zu einem gewissen Abschluss gebracht. Nach dem heutigen Stand der Technik bedeutet das Anwenden einer guten Aufladeautomatik nicht nur, dass das Heizen mit elektrischer

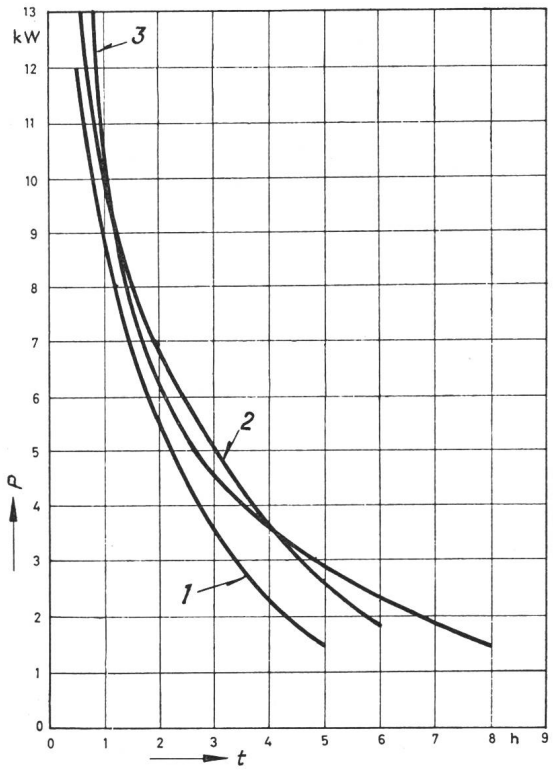

Fig. 5
Wärmeabgabe (Leistung) *P* verschiedener Speicherheizgeräte der Bauart III bei ununterbrochener Ventilation
1 Speicherheizgerät 3 kW; *2* Speicherheizgerät 4,5 kW; *3* Speicherheizgerät 6 kW
t Uhrzeit

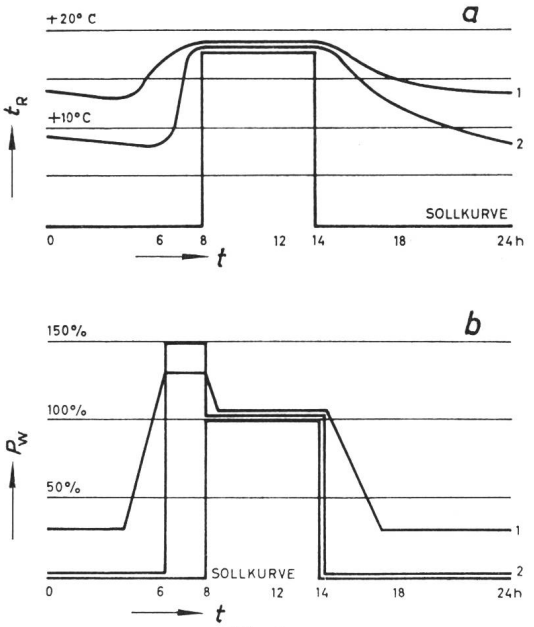

Fig. 6
Temperaturverlauf *(a)* und Verlauf des Wärmeaufwandes *(b)* in einer Schulklasse
bei einem Heizsystem mittlerer Trägheit (Kurve *1*) und einem sehr anpassungsfähigen Heizsystem (Kurve *2*)
t_R Raumtemperatur; P_W Wärmeaufwand; *t* Uhrzeit

Energie ohne jeden Handgriff und ohne die Notwendigkeit irgenwelcher Überlegungen seitens des Benützers abläuft, sondern dass es auch äusserst sparsam geschieht. Die auch hier zum Ausdruck kommende Tendenz zur Erhöhung der Wirtschaftlichkeit und damit der Wettbewerbsfähigkeit elektrischer Speicherheizungsanlagen macht es notwendig, im Rahmen dieses Beitrages auf das Thema «Aufladeautomatik» abschliessend kurz einzugehen.

Die ersten Speicherheizungsanlagen wurden mit mehrstufigen Ladeschaltern ausgestattet, die sich im Prinzip ausgezeichnet bewährten, jedoch die Elektroheizung der Ölheizung insofern unterlegen sein liessen, als man bei dieser eben keinen Schalter verstellen muss.

Auf dem Umweg über einfache Aussentemperaturfühler kam man nach insgesamt drei «Generationen» von Ladeautomatiken zur heutigen Standardlösung mit «Restwärmeerfassung». Bei älteren Schaltungen wurden die Speicher nur in Abhängigkeit von äusseren Bedingungen aufgeladen ohne Rücksicht darauf, ob am Vortag wenig oder viel Wärme entnommen worden war. Es würde hier zu weit führen, zu untersuchen, welche heiztechnischen Probleme sich daraus ergeben [1] [2]), daher sei pauschal gesagt, dass sich durch die «Restwärmeerfassung» erhebliche Vorteile in wirtschaftlicher Hinsicht ergeben.

[2]) Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

Literatur

[1] *P. Borstelmann:* Handbuch der elektrischen Raumheizung. 3. Auflage, Hüthig-Verlag Heidelberg, 1967.

[2] *W. Samwer:* Anlage- und Betriebskosten der elektrischen Raumheizung in Wohnsiedlungen. Internat. Z. f. Elektrowärme 23(1965)8, S. 391...396.

[3] *B. Stoy:* Betriebskosten der Ölheizung und der elektrischen Speicherheizung im Einfamilienhaus. Energiewirtsch. Tagesfragen 14(1964)124/125, Beilage Elektrizität und Landwirtschaft, S. 14...20.

[4] *R. Wehn:* Wirtschaftliche Stromversorgung elektrisch beheizter Wohngebiete. Internat. Z. f. Elektrowärme 21(1963)8, S. 346...350.

[5] *H. Kirn:* Aufladesteuerung elektrischer Speicherheizungsanlagen. Internat. Z. f. Elektrowärme 23(1965)8, S. 382...391.

Adresse des Autors:
P. Borstelmann, Dipl.-Ingenieur, Paul-Brandi-Strasse 5, D - 43 Essen-Margarethenhöhe.