

Die Wirtschaftlichkeit der Stromversorgung des Haushalts

Dissertation

zur Erlangung der Würde

eines Doktor-Ingenieurs

der Technischen Hochschule Berlin

vorgelegt am 16. Dezember 1935

von

Willi Willing, Dipl.-Ing.

aus Berlin

Genehmigt am 21. Dezember 1935

1937

Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH

Die Wirtschaftlichkeit der Stromversorgung des Haushalts

Dissertation

zur Erlangung der Würde

eines Doktor-Ingenieurs

der Technischen Hochschule Berlin

vorgelegt am 16. Dezember 1935

von

Willi Willing, Dipl.-Ing.

aus Berlin

Genehmigt am 21. Dezember 1935

1937

Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH

Berichter: Prof. Dr. Dr. Windel

Mitberichter: Prof. Dr. Storm

ISBN 978-3-662-31396-1 ISBN 978-3-662-31603-0 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-662-31603-0

Vorwort.

Die vorliegende elektrizitätswirtschaftliche Studie über die Stromversorgung des Haushalts entstand aus Untersuchungen über die Belastungsverhältnisse beim elektrischen Kochen, die ich in den Jahren 1931 bis 1934 in gemeinsamer Arbeit mit verschiedenen Elektrizitätswerken anstellte. In der Zeit der Wirtschaftskrise und des rückgehenden Stromkonsums, wo es für die deutsche Elektrizitätsversorgung galt, neue Absatzgebiete wie die der Haushaltswärme zu erschließen, kam es in erster Linie darauf an, zu klären, wie die Kochbelastung verläuft. Die damals gefundenen Kochbelastungskurven zeigten, daß durch das elektrische Kochen ein bedeutender Ausgleich des Belastungsverlaufs erzielt wird und daß die elektrische Kochbelastung keine wesentliche Erhöhung der Spitzenbelastung der Elektrizitätswerke hervorruft.

Diese Belastungsmessungen bildeten die Grundlagen zur Klärung der Frage, ob — wie von verschiedenen Seiten behauptet wird — die Kochstromversorgung des Haushalts zu einem gegenüber Gas konkurrenzfähigen Preise zu Lasten anderer Verbrauchergruppen erfolgt; eine Frage, die entschieden verneint werden muß.

Bei der vorliegenden Arbeit hielt ich es für richtig, das Problem der Wirtschaftlichkeit der Haushaltsstromversorgung in seiner Gesamtheit zu behandeln. Ich tat dieses besonders, weil jetzt mehr und mehr der elektrischen Haushaltsstromversorgung die Bedeutung der Rolle eines Kulturträgers und auch jetzt von seiten des Reiches der Stromversorgung des Haushalts größere Bedeutung beigemessen wird. Besonderen Dank schulde ich den zahlreichen führenden Männern aus der Elektrizitätsversorgung, die mir in uneigennütziger Weise Material und Unterlagen zur Verfügung gestellt haben; nicht aber zuletzt Herrn Professor Dr. Dr. W. Windel und Professor Dr. Storm, denen ich zahlreiche Anregungen verdanke.

Berlin, im November 1935.

Der Verfasser.

Inhaltsverzeichnis.

Die Aufgaben der deutschen öffentlichen Elektrizitätsversorgung. Seite

1. Die Bedeutung der Ausnutzung der Elektrizitätswerke für ihre Wirtschaftlichkeit 1
2. Die gegenwärtige Lage der deutschen Elektrizitätsversorgung 2
3. Die Bedeutung des Haushaltsstromverbrauches 4

Die Gestehungskosten einer kWh.

1. Die Unterteilung der Erzeugungskosten 8
2. Die Kosten beim Abnehmer unter Berücksichtigung seines Höchstlastanteils bzw. seiner Höchstlast 10
3. Die Berücksichtigung der einzelnen Anlageteile und ihre Ausnutzung in der Kostenformel 12
4. Die Größenordnung der einzelnen Faktoren der Kostenformel 15
5. Der Aufbau eines Belastungsgebirges 15
6. Die Gestehungskosten bei einigen Abnehmergruppen 20
7. Grundlegende Erkenntnisse der Kostenberechnung 23
8. Die Bedeutung des Belastungsausgleichs im Niederspannungsnetz 24

Das elektrische Kochen.

1. Der Haushaltsstromverbrauch 28
2. Die Charakteristik der Kochbelastung und ihre Ermittlung 29
3. Der Einfluß der Landschaft auf die Kochbelastung 33
4. Die verschiedenen Abnehmergruppen von Kochstrom und der Einfluß der Jahreszeit auf den Stromverbrauch 34
5. Der Einfluß der sozialen Schichtung der Bevölkerung auf den Kochstromverbrauch 39
6. Der Einfluß des technischen Aufbaues des Herdes auf den Kochstromverbrauch 41
7. Die Kochbelastung an den einzelnen Werktagen 43
8. Die Heißwasserbereitung im Haushalt 44

Die Kosten der Kochstromlieferung.

1. Die Wirtschaftlichkeit der Kochstromversorgung 49
 2. Berechnung der Kosten für die Lieferung von Kochstrom 52
- Literaturverzeichnis 55

Die Aufgaben der deutschen öffentlichen Elektrizitätsversorgung.

1. Die Bedeutung der Ausnutzung der Elektrizitätswerke für ihre Wirtschaftlichkeit.

Die öffentliche Elektrizitätsversorgung hatte bei ihrer Gründung vor etwa 50 Jahren lediglich die Aufgabe, elektrischen Strom an Haushalte und Gewerbebetriebe für Beleuchtungszwecke zu liefern. Wie die Geschäftsberichte vieler Elektrizitätswerke aus dieser Zeit aber zeigen, war es fast allen Unternehmungen trotz hoher Strompreise unmöglich, den Stromverkauf wirtschaftlich zu gestalten. Nur aus der Installations-tätigkeit, für die sich die einzelnen Elektrizitätswerke das Monopol ge-sichert hatten, wurden Gewinne erzielt, die mitunter den Fehlbetrag aus dem Stromverkauf deckten und z. T. die einzelnen Unternehmungen wirt-schaftlich gestalteten.

Diese geringe Wirtschaftlichkeit der Elektrizitätsversorgung war be-dingt durch die Tatsache, daß die Ausnutzung der Anlagen sehr gering war. Nur an wenigen Stunden täglich wurde Strom für die Beleuchtung benötigt. In der Elektrizitätsversorgung spielt, wie später ausführlich gezeigt werden wird, der Kapitalsdienst die entscheidende Rolle; die reinen Arbeitskosten betragen nur einen geringen Bruchteil der Gestehungs-kosten des elektrischen Stromes.

Die Ausnutzung der Elektrizitätswerke zu vergrößern, war daher und ist noch heute die wichtigste Aufgabe in der Elektrizitätswirtschaft. Dies gelang z. T. durch die Übernahme der Kraftversorgung der Gewerbebetriebe und Industrien, welche die elektrische Arbeit für die Kraftver-sorgung überwiegend zu Tageszeiten benötigen, wo für die elektrische Beleuchtung keine Stromabgabe notwendig ist, die Maschinen der Elek-trizitätswerke also nicht belastet sind. Hierdurch, sowie durch die Kupp-lung von Versorgungsgebieten verschiedener Struktur und des durch die Verschiedenheit der Belastungsverhältnisse bedingten Ausgleichs der Spitzenleistungen, wurde eine bedeutende Steigerung der Ausnutzung bei den Elektrizitätswerken erreicht. Aber noch heute wird — abgesehen von rein landwirtschaftlichen Versorgungsgebieten mit hoher Dresch-belastung — die höchste Beanspruchung durch die Lichtbelastung her-vorgezogen. Da eine direkte Speicherung des elektrischen Stromes nicht

möglich ist, muß man die elektrischen Anlagen für diese höchste auftretende, durch die Lichtbelastung hervorgerufene Spitzenbeanspruchung auslegen. Jahrelang beherrschte das Problem der Spitzendeckung die öffentliche Elektrizitätswirtschaft. Man suchte Mittel und Wege, um einen weiteren Anstieg der Lichtspitze zu verhindern und außerdem am zweckmäßigsten und billigsten die Erzeugung der zur Zeit der Lichtspitze benötigten Arbeit vorzunehmen.

2. Die gegenwärtige Lage der deutschen Elektrizitätsversorgung.

Besonders in den Jahren 1924 bis 1928 war das Problem der Spitzendeckung auf die Entwicklung der deutschen Elektrizitätswirtschaft von maßgebendem Einfluß. Der in diesen Jahren erfolgte Anschluß nahezu aller kleineren und mittleren Gewerbebetriebe, die sich bis zu diesem Zeitpunkt durch Eigenkraftanlagen selbst versorgt hatten, verursachte einen starken Anstieg des Leistungsbedarfes in der deutschen öffentlichen Elektrizitätswirtschaft. Man glaubte, daß dieser Leistungsanstieg sich weiter fortsetzen würde und glaubte daher, durch rechtzeitige Erweiterung der Kraftwerke sowie durch Bau besonderer Spitzenkraftwerke vorsorgen zu müssen. Die Entwicklung in den Jahren 1930—1933 zeigte aber, daß — auch ohne Berücksichtigung der durch die Wirtschaftskrise dieser Jahre hervorgerufenen Schrumpfung des Stromabsatzes — der Mehrbedarf in dem erwarteten Umfange ausblieb.

Die Zahlentafel 1 zeigt die installierte Leistung und die tatsächlich in den einzelnen Jahren aufgetretene Spitzenleistung. Um deutlich zu veranschaulichen, daß das Verhältnis der installierten Leistung zur aufgetretenen Spitzenleistung sich zugunsten der installierten Leistung ver-

Zahlentafel 1¹.

Jahr	Inst. Leistung L in Mio kW	aufgetretene Spitzenleistung S in Mio kW	Reservefaktor $r = \frac{L}{S}$
1927	5,73	3,76	1,53
1928	6,200	4,10	1,53
1929	7,49	4,30	1,76
1930	7,96	4,29	1,89
1931	8,00	3,80	2,13
1932	8,00	3,70	2,19
1933	8,02	4,12	2,05
1934	8,06	4,30	1,89

schoben hat, ist noch der Reservefaktor, der als das Verhältnis von installierter Leistung zur aufgetretenen Spitzenleistung definiert ist, angegeben.

Anschaubarer als die Zahlentafel 1 zeigt diese Verhältnisse die Abb. 1, die nicht nur die installierte Leistung, sondern auch die

¹ Die Spitzenleistung wurde geschätzt nach Angaben der Vereinigung der Elektrizitätswerke in ihrer Jahresstatistik unter Berücksichtigung eines Gleichzeitigkeitsfaktors von 0,95. Die installierte Leistung ist dem statistischen Jahrbuch für das Deutsche Reich entnommen.

in den angegebenen Jahren aufgetretenen Spitzenleistungen und den Reservefaktor wiedergibt.

Viele Jahre war in der deutschen Elektrizitätswirtschaft eine, aus Zahlentafel 1 deutlich ersichtliche, bedeutende Überkapazität vorhanden. Da jetzt dank der Maßnahmen der Reichsregierung diese Wirtschaftskrise überwunden ist, wird auch der Leistungsbedarf in der Elektrizitätsversorgung in der Zukunft wieder weiter ansteigen. Selbst aber für den Fall, daß in Deutschland die im Jahre der Hochkonjunktur 1929 erreichte Spitzenbelastung von 4,3 Millionen kW überschritten wird, was hoffentlich im Jahre 1935 der Fall sein wird, sind von den jetzt in Deutschland insgesamt vorhandenen 8,06 Millionen kW bei Berücksichtigung einer 25proz. Reserve fast 3,0 Millionen kW zuviel vorhanden. Diese Übersicht zeigt also, daß auch für die Zukunft, genau so wie in der jüngsten Vergangenheit, in der deutschen öffentlichen Elektrizitätsversorgung die erste Aufgabe darin bestehen muß, den Stromabsatz zu vergrößern, um auf diese Weise die installierten Leistungen voll auszunutzen.

Eine Erhöhung des Stromverbrauchs bei den einzelnen Abnehmergruppen war in den Jahren 1930—1932 infolge der Wirtschaftskrise ohne Erschließung neuer Stromabsatzgebiete aussichtslos. Man wandte sich daher bei der Werbung für die Steigerung des Stromabsatzes neuen Anwendungsmöglichkeiten wie der gesamten Haushaltsstromversorgung, der Bahnelektrifizierung, der Elektrifizierung des Kleingewerbes usw. zu.

Trotzdem jetzt der Industriestromabsatz im starken Ansteigen begriffen ist, ist es vollkommen verkehrt, den anderen Stromabsatzgebieten für die Zukunft geringere Beachtung zu schenken. Insbesondere muß auch für die Zukunft der Haushaltsstromversorgung die größte Bedeutung zugemessen werden, nicht nur, weil sich hier bedeutende Stromabsatzsteigerungen erzielen lassen, sondern weil diese noch aus mannigfaltigen Gründen besonderer Beachtung wert erscheint.

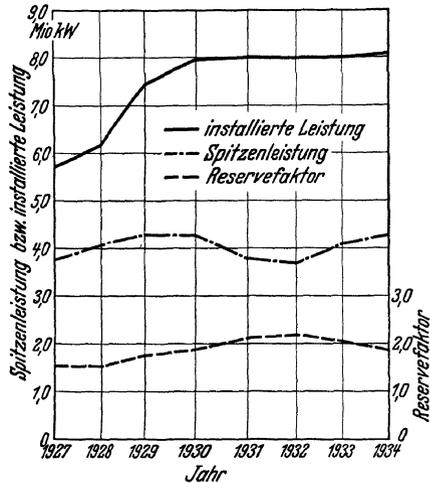


Abb. 1. Installierte und Spitzen-Leistung in der deutschen öffentlichen Elektrizitätsversorgung (1927—1934).

3. Die Bedeutung des Haushaltsstromverbrauches.

In Deutschland sind etwa 72% der Haushaltungen an¹ die öffentliche Stromversorgung angeschlossen, aber bis vor einigen Jahren wurde der elektrische Strom in den einzelnen Haushaltungen fast ausschließlich für Beleuchtung verwandt. Infolgedessen ist der Stromverbrauch für Haushaltszwecke noch heute in Deutschland sehr gering, er beträgt im Reichsdurchschnitt etwa 150 kWh je Haushalt oder etwa 40 kWh je Kopf der Bevölkerung. In welchem Umfange eine Steigerung des Haushaltsstromverbrauches möglich ist, zeigt allein die Tatsache, daß in Schweden der durchschnittliche reine Haushaltsstromverbrauch 137 kWh je Kopf der Bevölkerung beträgt und somit um das Drei- bis Vierfache größer ist als in Deutschland². Daß sogar in Großstädten der vorwiegend vom Haushaltsstromverbrauch abhängige Niederspannungsstromver-

Zahlentafel 2³. Niederspannungsstromverbrauch in den wichtigsten Kulturländern.

Stadt	kWh für allgemeine Licht- u. Kraftversorgung je Kopf der Bevölkerung im Jahr		
	1928	1930	1933
1. Basel . . .	398,7	437,8	525,5
2. Detroit . . .	—	446,1	328,5
3. Zürich . . .	—	374,1	471,6
4. Chicago . . .	301,3	320,7	278,0
5. New York . .	—	261,1	—
6. Illinois . . .	—	256,6	267,0
7. Amsterdam .	172,5	214,0	243,5
8. Philadelphia .	217,6	232,5	231,0
9. Stockholm .	164,6	195,4	236,4
10. Kopenhagen .	147,9	145,3	160,3
11. Budapest . .	140,6	—	—
12. Hamburg . .	—	123,3	124,8
13. Paris . . .	99,6	116,7	123,2
14. Berlin . . .	108,3	119,9	100,2
15. Wien . . .	134,2	82,2	84,3

brauch in Deutschland am niedrigsten von allen andern Weltstädten ist, zeigt die Zahlentafel 2.

Diese Gegenüberstellung zeigt, daß der Haushaltsstromverbrauch in Deutschland stark gesteigert werden kann. Aber auch in Deutschland selbst sind Beweise dafür vorhanden, daß eine bedeutende Steigerung des Haushaltsstromverbrauches ohne weiteres möglich ist. Die Zahlentafel 3 zeigt z. B. den Haushaltsstromverbrauch in zwei benachbarten Gemein-

indern mit gleicher sozialer Struktur. Infolge günstigerer Tarife ist der Haushaltsstromverbrauch in der Gemeinde A weit höher als in der Gemeinde B, wobei noch besonders zu beachten ist, daß hier nur solche Haushaltungen untersucht sind, wo nicht elektrisch gekocht wird. In dem Ort B ist elektrisches Kochen infolge des herrschenden Tarifs unmöglich. Würde

¹ Die Elektrizitätswirtschaft im Deutschen Reich. Spezialarchiv der deutschen Wirtschaft. Berlin: R. u. H. Hoppenstedt.

² Willing und Kogelschatz: Schwedische Elektrizitätstarifpolitik. Elektrotechn. Z. 1934, S. 118ff.

³ Jahrbücher der Verkehrsdirektion der Bcwag von 1929, 1931 und 1934.

man den Kochstromverbrauch in der Gemeinde A noch mit berücksichtigen, so würden sich noch höhere Durchschnittswerte ergeben.

Von ausschlaggebender Bedeutung ist aber die Tatsache, daß beim Haushaltsstromverbrauch die größten Durchschnittspreise und auch die höchsten Gewinne erzielt werden. Während z. B. in Deutschland der Stromverbrauch der Kleinabnehmer (Haushalt und Kleingewerbe)

in den letzten Jahren im Durchschnitt nur etwa 25% der gesamten Stromerzeugung betrug, können die Einnahmen aus der Stromabgabe an die Kleinabnehmer auf 57% der gesamten Einnahmen der Elektrizitätsversorgung geschätzt werden.

Um zu zeigen, in welcher Größenordnung sich die Einnahmen und die Verdienstspannen bei den einzelnen Verbrauchergruppen bewegen, wurden bei einigen Elektrizitätswerken, die ein größeres Gebiet versorgen, die für die Erzeugung und Verteilung einer Kilowattstunde entstehenden Kosten und die erzielten Preise ermittelt. Das Ergebnis zeigt die Zahlentafel 4, wobei aber zu berücksichtigen ist, daß die Verzinsung des Anlagekapitals und auch die Konzessionsabgaben bei den Kosten nicht berücksichtigt sind.

Zahlentafel 4².

Abnehmergruppe	erzielter Preis in Pfg/kWh	Kosten in Pfg/kWh	Gewinn in Pfg/kWh	Verdienstspanne in %
Hochspannungsabnehmer .	5,00	4,75	0,25	5,3
Niederspannungshaushalt und Lichtstromabnehmer	32,7	19,8	12,9	65,0
Niederspannungs-Kraftstromabnehmer	18,7	13,1	5,6	42,75

Hinzu kommt noch, daß der Haushaltsstromverbrauch nahezu konjunkturunempfindlich ist, d. h. er wird durch Wirtschaftskrisen bei weitem nicht in so starkem Maße beeinflußt, wie es bei anderen Abnehmergruppen geschieht. Der Haushaltsstromverbrauch ist z. B. bei vielen deutschen Elektrizitätswerken trotz der Krisenjahre von 1929—1932, wo der gesamte Stromabsatz zurückging, gestiegen, was z. T. durch die Haus-

¹ Willing: Der Einfluß eines Haushaltstarifes auf den Stromverbrauch. Öffentl. Elektr.-Werk 1934, 1. Februar 1934.

² Aus naheliegenden Gründen mußte Verfasser sich verpflichten, die untersuchten Elektrizitätswerke nicht namentlich zu nennen.

Zahlentafel 3¹.

	Haushaltsstromverbrauch in kWh pro Wohnung und Jahr	
	Im Ort A	Im Ort B
1 Zimmer-Wohnung	103	42
2 " "	144	62
3 " "	182	105
4 " "	248	132

haltsstromwerbung, zum anderen, überwiegendem Teil aber durch die Konjunkturunempfindlichkeit des Haushaltsstromes bedingt ist. Auch aus dem Stromabsatz der öffentlichen Elektrizitätsversorgung an die einzelnen Abnehmergruppen ist zu ersehen, daß bei der Gruppe Haushaltungen und Kleingewerbe der Rückgang des Stromabsatzes infolge der Konjunkturunempfindlichkeit des Haushaltsstromverbrauches prozentual am geringsten ist.

Zahlentafel 5¹. Stromverbrauch der einzelnen Abnehmergruppen in Deutschland.

	in Mio kWh		Rückgang in %
	1930	1932	
Industrielle Großabnehmer . . .	8704	6855	21,4
Landwirtschaftliche Betriebe . .	625	448	28,4
Bahnen	1127	1152	Zunahme
Haushaltungen und Kleingewerbe	2824	2479	12,2
Öffentliche Beleuchtung.	185	143	22,6

Die Zunahme des Stromverbrauches der elektrischen Bahnen ist auf die Elektrifizierung mehrerer Dampfstrecken zurückzuführen, also für die vorstehende Betrachtung ohne Bedeutung.

Viele Elektrizitätswerke hegten zuerst die Befürchtung, daß bei einem weiteren Ansteigen des Haushaltsstromverbrauches, insbesondere bei Einführung von Haushaltselektrowärme, eine so bedeutende Steigerung der Belastungsspitze erfolgen würde, daß die gesamte Haushaltsstromversorgung unwirtschaftlich werden würde². Diese Befürchtungen haben sich aber als unbegründet herausgestellt, da bei einer weitergehenden Elektrifizierung des Haushalts fast stets mit einer Steigerung der Ausnutzung zu rechnen ist.

In der vorliegenden Arbeit soll nun die Bedeutung und die Wirtschaftlichkeit der Haushaltsstromversorgung unter besonderer Berücksichtigung der Haushaltselektrowärme untersucht werden. Zu diesem Zweck wird eine Formel für die Gestehungskosten entwickelt, die den Einfluß aller strompreisbildenden Faktoren zeigt. Mit dieser Gestehungskostenformel werden dann bei einem Elektrizitätswerk für die einzelnen Abnehmergruppen die Stromkosten berechnet, um den Einfluß der einzelnen strombildenden Faktoren auf die Preisbildung bei den einzelnen Abnehmergruppen zu zeigen. Aus ihrer Anwendung erkennt man, wie sich die Veränderung der Belastungscharakteristik eines Stromabnehmers auch auf den Strompreis auswirkt.

¹ Wirtsch. u. Statist. 1934.

² Berliner Städtische Elektrizitätswerke A.-G. Denkschrift: Zur Zukunft der Berliner Elektrizitätsversorgung.

In dem folgenden Teil der vorliegenden Arbeit wird dann untersucht, wie sich die Einführung von Elektrowärme in den Haushaltungen bei den einzelnen Abnehmern auswirkt. Diese Ausführungen erlauben die Anwendung der zuerst entwickelten Gestehungskostenformel auf Haushaltsstromabnehmer in Gebieten, wo bisher noch keine Elektrowärme eingeführt ist und geben Anhaltspunkte für die zu erwartende Wirtschaftlichkeit.

Die Gestehungskosten einer kWh.

1. Die Unterteilung der Erzeugungskosten.

Um die Wirtschaftlichkeit der Haushaltsstromversorgung untersuchen zu können, ist es notwendig, die Gestehungskosten des Stromes zu analysieren¹. Die bei einem Elektrizitätswerk auftretenden Kosten gliedern sich in feste Kosten, d. h. solche, die entstehen, gleichgültig, ob in einem Geschäftsjahr gar keine, kleine oder große Arbeitsmengen erzeugt werden, und in Arbeits- oder bewegliche Kosten, d. h. solche Kosten, die bei der Erzeugung und Lieferung von elektrischer Arbeit tatsächlich entstehen.

Zu den festen Kosten gehören die gesamten Ausgaben für die Verzinsung und Tilgung des Anlagekapitals, die Ausgaben für die Abschreibung und die Besitzsteuern. Ferner gehören zu diesen Ausgaben der größte Prozentsatz der Ausgaben für Schmier- und Putzmaterial, für Versicherung, Reparaturen und Instandsetzungsarbeiten sowie Löhne und Gehälter.

Zu den Arbeitskosten sind die Kosten zu rechnen, die bei der Erzeugung der elektrischen Arbeit tatsächlich entstehen, also die gesamten Brennstoffkosten und ein Teil der Ausgaben für Reparaturen, Gehälter und Löhne usw. Dieser Teil der Ausgaben für Reparaturen, Gehälter, Löhne, Schmier- und Putzmaterial usw., der von der erzeugten Arbeitsmenge abhängig ist, beträgt nur einen ganz geringen Prozentsatz. Man kann praktisch auch diesen gesamten letzten Teil der Ausgaben als konstant annehmen und ihn somit als lediglich von der Größe des Kraftwerks abhängig ansehen². Infolgedessen sollen nur die Kohlekosten als Arbeitskosten angesehen, alle anderen Kosten aber vorerst als feste Kosten angenommen werden. Da die Konzessionsabgaben und ein Teil der Steuern vom Umsatz in starkem Maße abhängig sind, sollen diese Ausgaben später besonders berücksichtigt werden.

An einem Beispiel wird die Unterteilung in feste und bewegliche Kosten erläutert: Ein Kraftwerk mit einer installierten Leistung von

¹ Windel: Der Einfluß der festen Kosten auf den Gestehungspreis. Öffentl. Elektr.-Werk 1930, S. 225.

² Rückwardt: Selbstkostenberechnung elektrischer Arbeit, ihr Aufbau und ihre Durchführung. Verlag Oldenbourg 1933.

$L = 10\,000$ kW hat einschließlich der Verteilungsnetze einen Anlagewert $A = 10\,000\,000$ RM. Die jährlichen festen Ausgaben betragen insgesamt $P = 1\,500\,000$ RM, machen also $p = 15\%$ vom Anlagekapital A aus. Es ist lediglich ein Großabnehmer vorhanden, der den Strom abnimmt. Die höchste auftretende Spitzenleistung, die von dem Abnehmer bezogen wird, also ohne Verlustleistung, beträgt $S = 8000$ kW. Für die Erzeugung der jährlich nutzbar abgegebenen Arbeitsmenge $F = 20\,000\,000$ kWh werden insgesamt $C = 20\,000\,000$ kg Steinkohle zum Preise von $B = 400\,000$ RM gebraucht. Die gesamten Jahreskosten betragen also:

$$K = P + B = 1\,500\,000 + 400\,000 = 1\,900\,000 \text{ RM.}$$

Hieraus ergeben sich die Kosten für eine Kilowattstunde, die mit k bezeichnet werden sollen.

$$k = \frac{K}{F} = \frac{P}{F} + \frac{B}{F} \quad (1)$$

$$k = \frac{1\,900\,000}{20\,000\,000} = \frac{1\,500\,000}{20\,000\,000} + \frac{400\,000}{20\,000\,000} = 0,075 + 0,02$$

$$k = 0,095 \text{ RM/kWh.}$$

Diese Gleichung wird übersichtlicher und einfacher durch Einführung folgender spezifischer Werte:

$$c = \frac{C}{F} = \text{spezifischer Kohleverbrauch in kg/kWh} \quad (c = 1 \text{ kg/kWh}),$$

$$b = \frac{B}{C} = \text{spezifische Kohlekosten in RM/kg Kohle} \quad (b = 0,02 \text{ RM/kg Steinkohle}),$$

$$a_S = \frac{A}{S} = \text{spezifische Anlagekosten/kW Spitzenleistung} \\ (a_S = 1250 \text{ RM/kW}).$$

Es sind hier die spezifischen Anlagekosten direkt auf die Spitzenleistung bezogen, schließen also das Anlagekapital für Reserveanlagen und für die Verlustleistung ein¹. Diese Vereinfachung wurde getroffen, um den Rechnungsgang übersichtlich zu gestalten. Die Gl. (1) nimmt dann folgende Gestalt an:

$$k = \frac{a_S \cdot p \cdot S}{F} + b \cdot c \text{ in RM/kWh.} \quad (2)$$

Setzt man nun noch $F = S \cdot h_S$, wobei h_S die theoretische Belastungszeit in Stunden angibt, die das Kraftwerk mit der Spitzenleistung S

¹ Würde man das spezifische Anlagekapital auf die installierte Leistung beziehen, so müßte dieses erst durch den Wirkungsgrad der Übertragung dividiert und dann mit dem Reservefaktor r , der als das Verhältnis von installierter zur Spitzenleistung definiert ist, multipliziert werden.

belastet sein müßte, um die gesamte nutzbar abgegebene Jahresarbeit F zu erzeugen, so nimmt die Gleichung folgende Gestalt an:

$$k = \frac{a_s \cdot S \cdot p}{S \cdot h_s} + b \cdot c$$

oder

$$k = \frac{a_s \cdot p}{h_s} + b \cdot c \text{ in RM/kWh.} \quad (3)$$

Für das Beispiel ergibt sich:

$$k = \frac{1250 \cdot 15/100}{2500} + 0,02 \cdot 1,0 = 0,075 + 0,02 = 0,095 \text{ RM/kWh.}$$

Nach dieser einfachen, von Professor Dr. Dr. Windel, Berlin¹ aufgestellten Gleichung soll die Berechnung der Kosten für die Belieferung eines Abnehmers mit elektrischer Energie erfolgen.

2. Die Kosten beim Abnehmer unter Berücksichtigung seines Höchstlastanteils bzw. seiner Höchstlast.

Jetzt hat ein Kraftwerk nicht einen, sondern stets mehrere Abnehmer zu beliefern. Alle Abnehmer beanspruchen die von ihnen zur Zeit der Spitzenbelastung benötigte Leistung verschieden lang und es ergeben sich daher für die Lieferung an die einzelnen Abnehmer auch verschieden hohe Kosten. Die verschiedenen Benutzungsdauern der Abnehmer kann man dadurch berücksichtigen, daß man statt der durchschnittlichen Spitzenbenutzungsdauer des Kraftwerks h_s die theoretische Benutzungsdauer der Belastung des Abnehmers zur Zeit der Werkhöchstlast einsetzt. Diese rein rechnerische Größe, die durch Division der gesamten abgenommenen Jahresarbeit F_A des Abnehmers durch die vom Abnehmer zur Zeit der Werkshöchstlast benötigten Leistung S_A erhalten wird, soll mit h_{sw} bezeichnet werden.

Dann ist:

$$k = \frac{a_s \cdot p}{h_{sw}} + b \cdot c. \quad (4)$$

Die zur Zeit der Werksspitze S vom Abnehmer benötigte Leistung S_w wird meistens kleiner, in den seltensten Fällen gleich der Jahreshöchstlast S_A des Abnehmers sein. Die Benutzungsdauer des Höchstlastanteils wird also höchstens gleich, meistens größer als die der Jahreshöchstlast sein. Der Preis einer Kilowattstunde ergibt sich somit bei mehreren Abnehmern infolge des durch die Verschiedenheit der Belastung bedingten Ausgleichs höchstens gleich, meistens niedriger, als wenn nur ein Abnehmer beliefert wird.

¹ Windel, W.: Aufbau und Entwicklungsmöglichkeiten der europäischen Elektrizitätswirtschaft. Berlin: Verlag Schwarz, Goldschmidt u. Co.

Streng genommen, müßte die Berechnung für jeden Abnehmer erfolgen und stets seine Belastungscharakteristik zugrunde gelegt werden. Eine solche Unterteilung ist aber praktisch nicht durchzuführen. Man faßt daher gleichartige Abnehmer zu größeren Abnehmergruppen zusammen und berechnet für die einzelnen Abnehmergruppen unter Zugrundelegung ihrer Belastungsverhältnisse die Kosten, die dann innerhalb der einzelnen Gruppen nach bestimmten Schlüsseln umgelegt werden müssen.

Auf den ersten Blick scheint es, als ob durch dieses Verfahren eine gerechte Verteilung der festen Kosten vorgenommen würde. Jeder Abnehmer wird mit den Kosten belastet, die von ihm durch seinen Anteil an der Jahreshöchstlast hervorgerufen werden. Ein Abnehmer, der das Werk außerhalb der Höchstlastzeit belastet, wenn also andere Abnehmer ihre Leistung nicht benötigen, wird auch nicht mit den festen Kosten belastet. Dieser Abnehmer wird also durch diese Art der Belastung sehr begünstigt. Wären die anderen Abnehmer nicht vorhanden, so könnte auch er ihre Leistungen nicht für sich benutzen und müßte allein den Kapitalsdienst für die gesamte von ihm benötigte Spitzenleistung aufbringen. Daher erscheint es gerechtfertigt, auch diesen Abnehmer mit einem Teil des Kapitalsdienstes zu belasten. Dies kann ähnlich einer von Knight¹ entwickelten Methode geschehen, indem man den Kapitalsdienst auf alle Abnehmer, ohne Rücksicht auf den Anteil an der Jahreshöchstlast, im Verhältnis ihrer tatsächlichen Höchstlasten zueinander umlegt. Die oben entwickelte Gl. (1) nimmt dann für den Abnehmer A_1 folgende Gestalt an:

$$k_{A_1} = \frac{S \cdot a_S \cdot p \cdot \frac{S_{A_1}}{S_{A_1} + S_{A_2} + S_{A_3} + \dots + S_{A_n}}}{F_{A_1}} + b \cdot c$$

oder

$$k_{A_1} = \frac{a_S \cdot p \cdot g}{h_{S_{A_1}}} + b \cdot c \quad (5)$$

S_{A_1} = Spitzenlast des Abnehmers A_1 .

F_{A_1} = Jahresarbeit des Abnehmers A_1 .

$h_{S_{A_1}} = \frac{F_{A_1}}{S_{A_1}}$ = Benutzungsdauer der Spitzenleistung des Abnehmers A_1 .

S_{A_n} = Spitzenlast des Abnehmers A_n .

n = Zahl der Abnehmer.

$g = \frac{S}{S_{A_1} + S_{A_2} + S_{A_3} + \dots + S_{A_n}}$ = Gleichzeitigkeitsfaktor.

¹ Peak responsibility as a basis for allocating fixed costs. Electr. Wld., N. Y. Bd. 87 S. 495.

Aber auch dieses Verfahren ist nicht einwandfrei. Hier wird ein Abnehmer, der nur einige Stunden seine Leistung bezieht, dessen Leistung also vom Elektrizitätswerk zu anderen Zeiten noch an andere Abnehmer vermietet werden kann, genau so behandelt wie ein Abnehmer, der seine Leistung stetig bezieht, wo also das Elektrizitätswerk nicht die Möglichkeit hat, die von ihm bestellte Leistung noch einmal einem anderen Kunden zur Verfügung zu stellen. Es sind daher eine Anzahl Methoden entwickelt worden, um eine gerechtere Verteilung der festen Kosten zu bewirken. Diese Verfahren sind z. T. sehr kompliziert, aber wissenschaftlich auch nicht exakt¹. Hinzu kommt, daß die meisten Rechnungsunterlagen in gewissen Grenzen oft geschätzt werden müssen. Es ergeben sich daher mitunter bei geringerer Veränderung der geschätzten Werte größere Unterschiede in den Ergebnissen der Berechnungen, als sie durch die Anwendung der verschiedenen Methoden erzielt werden. Die Ergebnisse aller Berechnungen liegen meistens zwischen den durch die Anwendung der beiden vorstehend geschilderten Verfahren gefundenen Werte; daher soll auf diese Methoden hier nicht näher eingegangen werden. An einem praktischen Beispiel wird später gezeigt werden, welche Differenzen bei Anwendung der beiden vorstehend geschilderten Methoden auftreten. Der Einfachheit halber soll im übrigen stets das Verfahren der Benutzungsdauer des Anteils an der Höchstlast angewandt werden [Gl. (4)].

3. Die Berücksichtigung der einzelnen Anlageteile und ihre Ausnutzung in der Kostenformel.

Es werden aber nicht alle Anlageteile von allen Abnehmergruppen benutzt. Z. B. benötigen die Hochspannungsabnehmer das Niederspannungsnetz überhaupt nicht. Aus diesem Grunde soll eine Unterteilung des Anlagekapitals auf folgende vier Anlageteile erfolgen:

Kraftwerk,
Hochspannungsanlage zur Fortleitung,
Verteilungsanlagen mit Niederspannung,
Übergabeanlagen.

Das spezifische Anlagekapital jedes Anlageteils in RM für ein Spitzenkilowatt soll mit a_S und einem entsprechenden Index bezeichnet werden. Es ist z. B.:

a_{SK} = spezifisches Anlagekapital für das Kraftwerk in RM für 1 kW Spitzenleistung,

a_{SH} = spezifisches Anlagekapital für die Fortleitung in RM für 1 kW Spitzenleistung,

¹ Schneider: Die Verfahren für die Verteilung der festen Kosten in der elektrischen Energiewirtschaft. ETZ (1932) S. 5 u. 33.

a_{SN} = spezifisches Anlagekapital für die Verteilung in RM für 1 kW Spitzenleistung,

a_{ST} = spezifisches Anlagekapital für die Übergabe in RM für 1 kW Spitzenleistung.

Gleichzeitig muß aber, um den verschieden großen Anteil der einzelnen Faktoren bei den einzelnen Anlageteilen zeigen zu können, eine Unterteilung des Prozentsatzes p , der sich stets auf das Anlagekapital des betreffenden Anlageteils bezieht, in folgende Bestandteile erfolgen:

p_1 = Verzinsung,

p_2 = Tilgung,

p_3 = Erneuerungsrückstellung (Abschreibung),

p_4 = Instandhaltung,

p_5 = Schmier- und Putzmaterial und Sachbedarf,

p_6 = Steuern (Umsatz, unabhängige Steuern) und Versicherung,

p_7 = Gehälter und Löhne,

p_8 = Verwaltungskosten und sonstiges.

Diese Unterteilung erfolgte in Anlehnung an die Vorschläge der früheren Vereinigung der Elektrizitätswerke (VDEW)¹. Es bezeichnet also, da die Prozentsätze auf die entsprechenden Anlageteile bezogen werden müssen, z. B. p_H , den Prozentsatz des Anlagekapitals, der für die Instandhaltung der Hochspannungsanlage aufgewandt wird.

Die einzelnen Anlageteile werden nicht von allen Abnehmergruppen benutzt, es treten also zu verschiedenen Zeiten in den einzelnen Anlageteilen die Höchstbelastungen auf. Es muß daher stets der Höchstlastanteil des Abnehmers an der im Anlageteil auftretenden Höchstlast für die Berechnung der Spitzenbenutzungsdauer des Höchstlastanteils zugrunde gelegt werden. Diese Benutzungsdauer des Höchstlastanteils im Kraftwerk soll mit h_{SWK} , die der Hochspannungsanlage mit h_{SWH} und die der Verteilungsanlage mit h_{SWN} bezeichnet werden.

Da die Übergabestelle stets nur von einem Abnehmer benutzt wird, kann man hier direkt die Spitzenleistungsdauer h_{ST} des Abnehmers einsetzen.

Aber auch die veränderlichen Kosten müssen noch nach bestimmten Schlüsseln unterteilt werden. Die Arbeitsverluste, die in den Hochspannungs- und Niederspannungsleitungen sowie Übergabeanlagen auftreten, müssen auf die Abnehmer umgelegt werden. Da die Kosten für die Arbeitsverluste keine große Rolle spielen, genügt es, wenn sie mit Ausnahme der Übergabeverluste im Verhältnis der in den einzelnen Anlageteilen übertragenen Arbeitsmengen umgelegt werden. Die Unterteilung der veränderlichen Kosten ist daher folgende:

¹ PIRRUNG: Elektrizitätstarife 1932. Verlag der Vereinigung der Elektrizitätswerke.

1. $b \cdot c$ = Betriebsstoffkosten für die Erzeugung einer vom Kraftwerk abgegebenen Kilowattstunde in Reichsmark.

2. V_1 = zusätzliche Arbeitsverlustkosten durch den Arbeitsverlust in der Hochspannungsanlage in Prozent der Betriebsstoffkosten für die Erzeugung einer nutzbar abgegebenen Kilowattstunde.

3. V_2 = desgl. für die Niederspannungsanlage.

4. V_3 = desgl. für die Übergabe.

Wie bereits auf S. 8 erwähnt worden ist, spielen die Umsatzsteuern, die in Prozent des Gesamtpreises anzusetzen sind, eine besondere Rolle. Dasselbe gilt auch von den umsatzabhängigen Konzessionsabgaben, die auch meistens in Prozent der gesamten Einnahmen abzuführen sind. Um auch diese Größen zu berücksichtigen, muß zu den gesamten Kosten noch ein bestimmter Prozentsatz $p_U + c_O$ addiert werden. Berücksichtigt man jetzt alle vorgeschlagenen Unterteilungen, so nimmt die Kostengleichung (4) folgende Gestalt an:

$$k = \left[\begin{aligned} & \frac{a_{SK} \cdot (p_{K1} + p_{K2} + p_{K3} + p_{K4} + p_{K5} + p_{K6}) + a_{SK} \cdot (p_{K7} + p_{K8})}{h_{SWK}} \\ & + \frac{a_{SH} \cdot (p_{H1} + p_{H2} + p_{H3} + p_{H4} + p_{H5} + p_{H6}) + a_{SH} \cdot (p_{H7} + p_{H8})}{h_{SWH}} \\ & + \frac{a_{SN} \cdot (p_{N1} + p_{N2} + p_{N3} + p_{N4} + p_{N5} + p_{N6}) + a_{SN} \cdot (p_{N7} + p_{N8})}{h_{SWN}} \\ & + \frac{a_{SU} \cdot (p_{U1} + p_{U2} + p_{U3} + p_{U4} + p_{U5} + p_{U6}) + a_{SU} \cdot (p_{U7} + p_{U8})}{h_{SU}} \\ & + b \cdot c (1 + V_1 + V_2 + V_3) \end{aligned} \right] \cdot (1 + p_U + c_O). \quad (6)$$

Jetzt müßte eigentlich noch berücksichtigt werden, daß das spezifische Anlagekapital von der Größe der installierten Leistung abhängig ist. Daher müßte eigentlich noch ein Faktor C' in diese Gestehungskostengleichung eingeführt werden, der diese Abhängigkeit des spezifischen Anlagekapitals von der Größe der installierten Leistung berücksichtigt. Die Prozentsätze $p_1 \div p_6$ sind allein vom spezifischen Anlagekapital abhängig, während p_7 und p_8 vom spezifischen Anlagekapital unabhängig sind. Aus diesem Grunde erschien es zweckmäßig, die Gruppen $p_1 \div p_6$ und $p_7 \div p_8$ gesondert zusammenzufassen. Es wurde aber davon Abstand genommen, den Faktor C' zu berechnen, da diese Berechnung über den Rahmen dieser Arbeit hinausgehen würde¹.

¹ Eine solche Berechnung ist von Dr. Nissel aus einem anderen Grunde getätigt worden: Der Einfluß des $\cos \varphi$ auf die Tarifgestaltung der Elektrizitätswerke. Berlin: Julius Springer 1928.

4. Die Größenordnung der einzelnen Faktoren der Kostenformel.

Um einen Hinweis zu geben, in welcher Größenordnung sich die einzelnen Werte bewegen, wurde bei einigen größeren Elektrizitätswerken auf Grund der getätigten Betriebsausgaben eine Berechnung der prozentualen Ausgaben für jeden Anlageteil vorgenommen. Eine Zusammenstellung der Ergebnisse zeigt die Zahlentafel 6¹. Bei der Auswahl der untersuchten Elektrizitätswerke wurden solche mit normalen Verhältnissen gewählt, so daß die Werte für viele Elektrizitätswerke mit Dampfkraftanlagen Gültigkeit haben dürften. Bei den Anlagewerten a_S , die im ersten Augenblick sehr hoch erscheinen, ist zu berücksichtigen, daß sie sich auf die Spitzenleistung beziehen, also die Reserven einschließen und daß es sich nicht um großstädtische Versorgungsgebiete handelt.

Zahlentafel 6.

Anlageteil	Anlagekapital a_S RM/kW	p_1	p_2	p_3	p_4	p_5	p_6	p_7	p	ΣP
Kraftwerk	360	5	0	4,5	1,7	0,5	0,5	2,0	3,0	17,2
Hochspannungsfortleitung.	600	5	0	3,5	1,0	0,05	1,64	0,3	1,2	12,69
Niederspannungsverteilung	750	5	0	3,2	2,25	0,03	2,83	0,27	1,8	15,38
Übergabe	—	5	0	4,6	4,7	2,10	—	8,00	7,9	32,3

$$p_U + Co = 5\%_0$$

Da nirgends ein kostenloses Heimfallrecht festgelegt war, ist die Tilgung stets $p_2 = 0\%$.

Der Wert für die Übergabeanlage ist schwer zu bestimmen, da bei vielen Werken der Abnehmer ganz, mindestens aber z. T. die Kosten aufbringen muß. Auch ist der Wert dieser Übergabeanlage in erster Linie von der Größe der bezogenen Leistung abhängig. Hier soll angenommen werden, daß der Anschluß eines Kleinabnehmers mit einem durchschnittlichen Lichtanschlußwert von etwa 160 W zu 30 RM und der eines Großabnehmers mit einem durchschnittlichen Anschlußwert von etwa 200 kW dagegen 1250 RM kostet.

5. Der Aufbau eines Belastungsgebirges.

Mit vorstehend entwickelten Gleichungen und den einzelnen angegebenen Größen kann die Berechnung der Kosten für die Stromlieferung an die einzelnen Abnehmer erfolgen, falls die Belastungscharakteristiken der einzelnen Abnehmer bekannt sind.

Streng genommen müßte für jeden einzelnen Abnehmer der Be-

¹ Aus naheliegenden Gründen mußte der Verfasser sich verpflichten, die untersuchten Elektrizitätswerke nicht namentlich zu nennen.

lastungsverlauf ermittelt werden. Wie aber aus S. 11 ausgeführt worden ist, können zur praktischen Durchführung gleichartige Abnehmer zu Abnehmergruppen zusammengeschlossen und dann für jede Abnehmergruppe die Belastungscharakteristik ermittelt werden. Im allgemeinen genügt es, wenn alle Abnehmer eines Elektrizitätswerkes in folgenden sieben Abnehmergruppen zusammengefaßt werden:

- Hochspannungsabnehmer (Industrie),
- Großkraft-(Niederspannung)verbraucher,
- Bahnstromabnehmer,
- Kleinkraftverbraucher,
- Großlichtstromabnehmer,
- Kleingewerbelichtstromabnehmer,
- Haushaltsstromabnehmer.

Die Belastungscharakteristik eines jeden Elektrizitätswerkes ist nicht nur von der Größe einer jeden Abnehmergruppe abhängig. Außerdem ist die Belastungscharakteristik einer jeden Abnehmergruppe von der sozialen Struktur, den örtlichen Verhältnissen des Versorgungsgebiets und verschiedenen anderen Faktoren abhängig. Soll daher für ein Elektrizitätswerk eine Kostenberechnung erfolgen, so muß stets eine Analyse des Belastungsgebietes vorausgehen. Leider sind nur in seltenen Fällen genaue Unterlagen über den Aufbau der Belastungsgebiete vorhanden. Eine genaue Analyse der Belastungsverhältnisse eines Elektrizitätswerkes durch Messungen ist vor einiger Zeit von Professor Windel und Stadtbaurat Wendhut durchgeführt worden¹.

Zahlentafel 7.

Abnehmergruppe	Anzahl der Abnehmer	Gesamtanschlußwert in kW	Höchste auftretende Jahresspitze in kW ²	Abgenommene Jahresarbeit in kWh	Belastungscharakteristik am Tag der Höchstlast Abb. Nr.
Hochspannung	50	10 000	3180	16 000 000	2
Großkraft	80	4 250	860	2 580 000	3
Straßenbahn	1	5 000	720	2 640 000	4
Kleinkraft	1 200	4 000	570	840 000	5
Großlicht	80	2 625	1480	2 780 000	6
Kleingewerbelicht	3 000	2 140	2 020	1 714 000	7
Haushalt.	40 000	6 400	2800	3 950 000	8

Infolge des Fehlens einwandfreier Untersuchungen soll für die weitere Berechnung die Annahme getroffen werden, daß stets dieselben Ver-

¹ Windel, W. und Wendhut: Die Analyse eines Belastungsgebietes durch Messungen. Kommun. Elektr.-Werk 2./3. Jahrg. 1931 u. 1932.

² Diese Spitze tritt meistens auch am Tage der Höchstlast auf, es braucht aber, wie z. B. bei der Straßenbahn, nicht der Fall zu sein.

hältnisse bei den einzelnen Abnehmergruppen vorliegen, wie sie in dem von Windel und Wendhut untersuchten Versorgungsgebiet gefunden worden sind. Es werden also die von Windel und Wendhut gefundenen Belastungsverhältnisse zugrunde gelegt.

Die Zahlentafel 7 zeigt die angenommene Struktur des Versorgungsgebiets, die Anzahl und die wichtigsten Daten der sieben auf S. 16 erwähnten Abnehmergruppen.

Unter Zugrundelegung der obenerwähnten Untersuchungen von Windel und Wendhut ergibt sich für die einzelnen Abnehmergruppen ein Belastungsverlauf an der Übergabestelle (ohne Verluste), wie er in den Abb. 2—8 dargestellt ist.

Um die Belastungsverhältnisse in den einzelnen Anlageteilen zu erhalten, müssen jetzt die Belastungskurven der Abnehmergruppen, die den betreffenden Anlagenteil benutzen, übereinandergelagert werden. In Abb. 9 ist dieses geschehen. Man erkennt die durch Überlagerung der Belastungscharakteristiken der sieben Abnehmergruppen gewonnene Kraftwerksbelastung, aber auch die Belastungsverhältnisse in den Hochspannungsanlagen (alle Abnehmer ohne Straßenbahn) sowie die in der

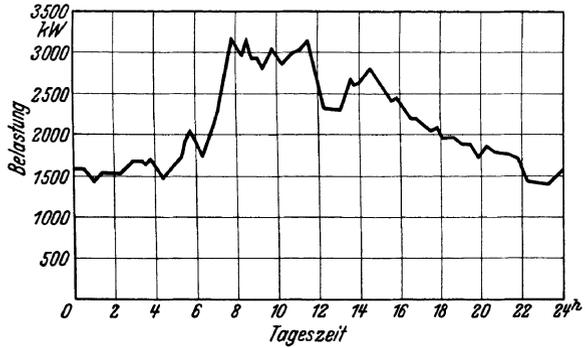


Abb. 2. Belastungskennlinie der Hochspannungsabnehmer.

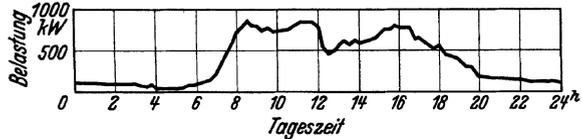


Abb. 3. Belastungskennlinie der Großkraftabnehmer.

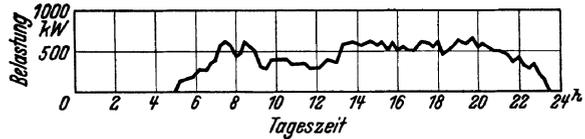


Abb. 4. Belastungskennlinie der Straßenbahn.

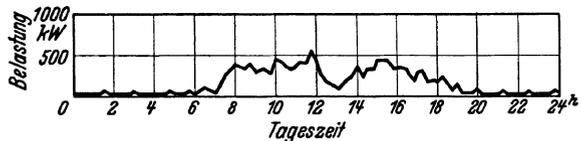


Abb. 5. Belastungskennlinie der Kleinkraftabnehmer.

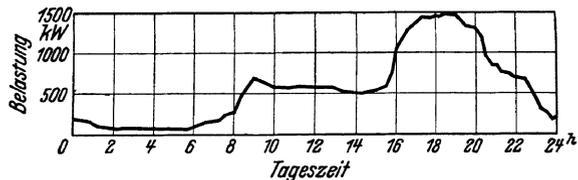


Abb. 6. Belastungskennlinie der Großlichtabnehmer.

Niederspannungsanlage (Großkraft, Kleinkraft, Groß-Licht, Kleingewerbe-Licht und Haushaltsstromabnehmer).

Da die Belastungskurven nur den reinen Belastungsverlauf beim Abnehmer darstellen und

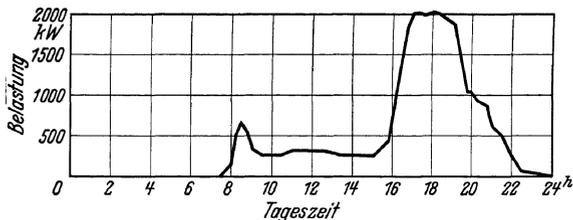


Abb. 7. Belastungskennlinie der Kleingewerbelichtabnehmer.

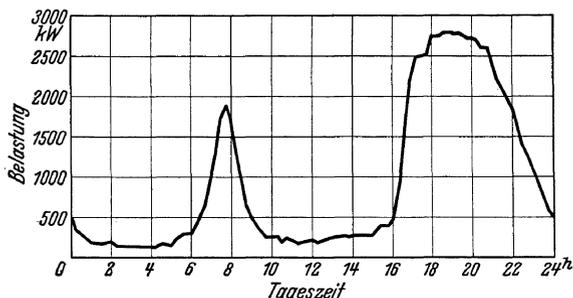


Abb. 8. Belastungskennlinie der Haushaltsstromabnehmer.

annehmer darstellen und die in der Fortleitung, Verteilung und Übergabe auftretenden Verluste nicht enthalten, müßten eigentlich für jede Abnehmergruppe die Leistungsverluste ermittelt und diese ebenso wie die Arbeitsverluste auf die einzelnen Abnehmergruppen verteilt werden. Es wurde aber bereits oben auf die hier getroffene Vereinfachung hingewiesen, die Leistungsverluste durch eine entsprechende Erhöhung des spezifischen Anlagekapitals zu berücksichtigen.

Diese Vereinfachung ist richtig, denn von den Leistungsverlusten, die man in Zähler-, Eisen- und Kupferverluste gliedern kann,

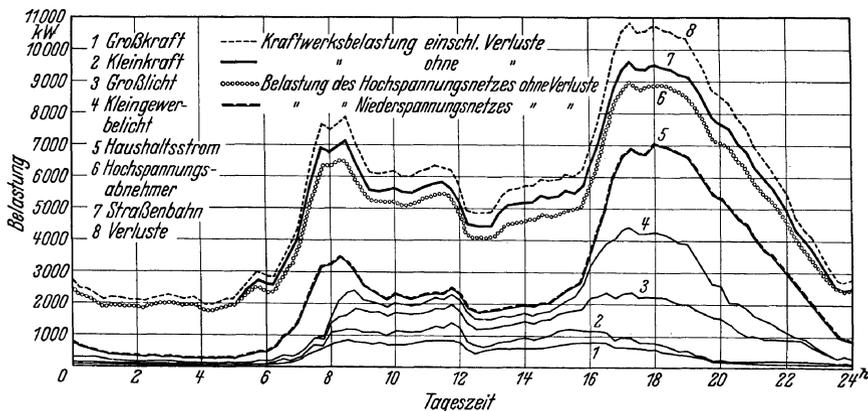


Abb. 9. Gesamte Belastung des Kraftwerkes, der Fortleitungs- und der Verteilungsanlage.

sind die Zähler- und Eisenverluste nur von der Größe der installierten Leistung und der Anzahl und Größe der Zähler abhängig, können also ohne weiteres auf die Abnehmergruppen im Verhältnis des Anteils an

der Höchstlast umgelegt werden. Dasselbe ist aber auch der Fall bei den Kupferleistungsverlusten, da die Kupferverluste ebenso wie die übertragene Leistung dem Stromquadrat proportional, also der übertragenen Leistung linear proportional sind.

Aus dieser Überlegung ergibt sich die Richtigkeit der vorhin getroffenen Annahmen, daß zur Vereinfachung der Rechnung das spezifische Anlagekapital nicht auf die tatsächlich auftretende Spitze, sondern direkt auf die nutzbar angegebene Spitze bezogen werden kann. Da das spezifische Anlagekapital bereits den Zuschlag für die Verlustleistung enthält, braucht also eine Berücksichtigung der Verlustleistung nicht mehr stattzufinden, und die in Abb. 9 dargestellten Verluste brauchen nicht auf die einzelnen Abnehmer umgelegt zu werden.

Die Abb. 9 gibt an, daß

die höchste nutzbare Kraftwerksbelastung in Höhe von 9600 kW um . . . 17¹⁵
 die höchste Belastung in der Hochspannungsanlage von 9000 kW zufällig
 auch um 17¹⁵
 die höchste Belastung von 7000 kW in der Niederspannungsanlage um . . 18⁰⁰
 auftritt.

Zahlentafel 8.

Abnehmergruppe	Anteil an der Werks-höchstlast in kW	Anteil an der Höchstlast der Hochspannungsanlage in kW	Anteil an der Höchstlast der Niederspannungsanlage in kW	Anschlußwert je Abnehmer in kW
Hochspannung. . .	2100	2100	0	200
Großkraft	600	600	550	53
Straßenbahn	650	0	0	5000
Kleinkraft	300	300	200	3,23
Großlicht	1400	1400	1450	33,0
Kleingewerbelicht .	2000	2000	2050	0,713
Haushalt	2550	2550	2750	0,160

Abnehmergruppe	Benutzungsdauer des Anschlußwert in Std.	Benutzungsdauer der höchsten auftretenden Jahresspitze in Std.	Benutzungsdauer des Anteils der Werks-höchstlast in Std.	Benutzungsdauer des Anteils der Höchstlast des Hochspannungsteiles in Std.	Benutzungsdauer des Anteils der Niederspannungsanlage in Std.
Hochspannung. . .	1600	5030	7600	7600	0
Großkraft	607	3000	4300	4300	4700
Straßenbahn	528	3660	4070	0	0
Kleinkraft	210	1475	2800	2800	4200
Großlicht	1060	1880	1980	1980	1920
Kleingewerbelicht .	800	850	855	855	835
Haushalt	615	1410	1550	1550	1435

Aus dieser Abbildung kann man ferner entnehmen, wie groß der Anteil der einzelnen Verbrauchergruppen an der Höchstbelastung des Anlageteils ist. Zur Zeit der jeweiligen Höchstbelastung beträgt er z. B. für die Gruppe der Haushaltsstromabnehmer

im Kraftwerk	2550 kW
in der Hochspannungsanlage . .	2550 „
in der Niederspannungsanlage . .	2750 „

In der Zahlentafel 8 sind alle Höchstlastanteile der sieben Abnehmergruppen in den einzelnen Anlageteilen zusammengestellt. Gleichzeitig enthält diese Zahlentafel die Benutzungsdauer der Höchstlastanteile aller Abnehmergruppen, die sich aus der Zahlentafel 7 und der Abb. 9 ergeben.

Für die Berechnung der Kosten einer Kilowattstunde fehlen jetzt nur noch die Arbeitsverlustfaktoren. Ihre rechnerische Ermittlung ist von so vielen Faktoren abhängig, daß es praktisch nicht möglich ist, eine auch nur annähernd richtige Berechnung vorzunehmen. Daher soll die Annahme getroffen werden, daß in der Hochspannungsleitung ein Arbeitsverlust von 3%, in den Niederspannungs- und Übergabeanlagen ein solcher von 10% auftritt.

6. Die Gestehungskosten bei einigen Abnehmergruppen.

Die Berechnung der durchschnittlichen Gestehungskosten einer Kilowattstunde soll jetzt durchgeführt werden für drei Abnehmergruppen und zwar: Straßenbahn, Hochspannungsabnehmer und Haushaltsstromabnehmer unter Zugrundelegung der in Zahlentafel 7 angegebenen Werte und der in Abb. 9 dargestellten Belastungsverhältnisse. Diese drei Abnehmergruppen wurden gewählt, weil ihre Abnehmerverhältnisse verschieden gelagert sind und man somit ein anschauliches Bild über den Einfluß der einzelnen Faktoren erhält. Die Straßenbahn nimmt ihren Strom im Kraftwerk ab und leitet ihn in eigenen Leitungen fort. Von den Hochspannungsabnehmern werden außerdem nur die Hochspannungsanlagen, vom Haushaltsstromabnehmer aber Hochspannungs- wie auch Niederspannungsverteilungsanlagen benutzt.

Die Berechnung der durchschnittlichen Gestehungskosten für die einzelnen Abnehmer nach Gl. (4) (Höchstlastanteil) ergibt folgende Werte:

Straßenbahn:

Die Straßenbahn nimmt ihre Arbeit im Kraftwerk an der Schalttafel ab, so daß hier weder Hochspannungs-, Niederspannungs- noch Übergabekosten entstehen.

$$\begin{aligned}
 k_{St.} &= \left[\frac{360 \cdot (5 + 0 + 4,5 + 1,7 + 0,5 = 0,5)}{4070} + \frac{360 \cdot (2,0 + 3,0)}{4070} \right. \\
 &\quad \left. + 1,3 \cdot (1 + 0,0 + 0,0 + 0,0) \right] \cdot 1,05 \\
 &= [1,08 + 0,44 + 1,30] \cdot 1,05 = \mathbf{2,96 \text{ Pfg./kWh.}}
 \end{aligned}$$

Hochspannungsabnehmer:

Hier werden die Einrichtungen im Kraftwerk und die Hochspannungsanlage vom Abnehmer benötigt. Außerdem ist eine Übergabeanlage vorhanden.

$$\begin{aligned}
 k_{Ho} &= \left[\frac{360 \cdot 12,2}{7600} + \frac{360 \cdot 5}{7600} + \frac{600 \cdot 11,19}{7600} + \frac{600 \cdot 1,5}{7600} + \frac{1250}{200} \cdot 16,4 \right. \\
 &\quad \left. + \frac{1250}{200} \cdot 15,9 + 1,3 \cdot (1 + 0,03 + 0,00) \right] \cdot 1,05 \\
 &= [0,58 + 0,238 + 0,884 + 0,1183 + 0,064 + 0,0637 + 1,34] \cdot 1,05 \\
 &= \mathbf{3,45 \text{ Pfg/kWh.}}
 \end{aligned}$$

Haushaltsstromabnehmer:

Dieser Abnehmer beansprucht alle Anlageteile des Elektrizitätswerks

$$\begin{aligned}
 k_H &= \left[\frac{360 \cdot 12,2}{7600} + \frac{360 \cdot 5}{1550} + \frac{600 \cdot 11,19}{1550} + \frac{600 \cdot 1,5}{1550} + \frac{750 \cdot 13,31}{1435} \right. \\
 &\quad \left. + \frac{750 \cdot 2,07}{1435} + \frac{30}{0,16} \cdot 16,4 + \frac{30}{0,16} \cdot 15,9 + 1,3 \cdot (1 + 0,03 + 0,10) \right] \cdot 1,05 \\
 &= [(2,84 + 1,16 + 4,37 + 0,581 + 6,95 + 1,08 + 5,01 + 4,85 + 1,47)] \cdot 1,05 \\
 &= 28,311 \cdot 1,05 = \mathbf{29,7 \text{ Pfg/kWh.}}
 \end{aligned}$$

Um zu zeigen, welche Differenzen bei der Berechnung der Gesteungskosten nach den verschiedenen Methoden für die einzelnen Abnehmer auftreten können, soll jetzt noch die Berechnung nach der Gl. (5) (Spitzenbelastung des Abnehmers) erfolgen.

Die Berechnung für die drei Abnehmer ergibt folgende Werte:

Auftretende Höchstlast im Kraftwerk	S_K	=	9 600 kW
Summe der Spitzenbelastungen aller sieben Abnehmergruppen im Kraftwerk	$\Sigma S_{K_{An}}$	=	11 575 „
Kraftwerksgleichzeitigkeitsfaktor	g_K	=	$\frac{9\,600 \text{ kW}}{11\,575 \text{ kW}} = 0,829$
Auftretende Höchstlast im Hochspannungsteil	S_H	=	8 990 kW
Summe aller Spitzen im Hochspannungsteil	$\Sigma S_{H_{An}}$	=	10 905 „
Hochspannungsgleichzeitigkeitsfaktor	g_H	=	$\frac{8\,990 \text{ kW}}{10\,905 \text{ kW}} = 0,824$

$$\begin{aligned}
 \text{Aufretende Höchstlast im Niederspannungsteil} & \cdot S_N = 7\,000 \text{ kW} \\
 \text{Summe aller Spitzen im Niederspannungsteil} & \cdot \Sigma S_{N_{An}} = 7\,735 \text{ ,,} \\
 \text{Niederspannungsgleichzeitigkeitsfaktor} & \cdot \cdot \cdot \cdot g_N = \frac{1\,000 \text{ kW}}{7\,735 \text{ kW}} = 0,905
 \end{aligned}$$

Straßenbahn:

$$\begin{aligned}
 k &= \left[\frac{360 \cdot 12,2 \cdot 0,829}{3600} + \frac{360 \cdot 5 \cdot 0,829}{3600} + 1,3 \right] \cdot 1,05 \\
 &= [0,816 + 0,408 + 1,3] \cdot 1,05 = \mathbf{2,64 \text{ Pfg/kWh.}}
 \end{aligned}$$

Die Differenz gegenüber der Methode der zentralen Höchstlast beträgt also $d = -11\%$.

Hochspannungsabnehmer:

$$\begin{aligned}
 k &= \left[\frac{360 \cdot 12,2 \cdot 0,824}{5030} + \frac{360 \cdot 5 \cdot 0,824}{5030} + \frac{600 \cdot 11,19 \cdot 0,824}{5030} + \frac{600 \cdot 5 \cdot 0,824}{5030} \right. \\
 &\quad \left. + \frac{1 \cdot 250 \cdot 16,4}{200} + \frac{1 \cdot 250 \cdot 15,9}{6100} + 1,3 \cdot (1 + 0,03) \right] \cdot 1,05 \\
 &= [0,719 + 0,295 + 1,098 + 0,147 + 0,064 + 0,062 + 1,339] \cdot 1,05 \\
 &= \mathbf{3,91 \text{ Pfg/kWh.}}
 \end{aligned}$$

Hier beträgt die Differenz $d = +11\%$.

Haushaltsstromabnehmer:

$$\begin{aligned}
 k &= \left[\frac{360 \cdot 12,2 \cdot 0,905}{1410} + \frac{360 \cdot 5 \cdot 0,905}{1410} + \frac{600 \cdot 11,19 \cdot 0,905}{1410} + \frac{600 \cdot 1,5 \cdot 0,905}{1410} \right. \\
 &\quad \left. + \frac{750 \cdot 13,31 \cdot 0,905}{1410} + \frac{750 \cdot 2,07 \cdot 0,905}{1410} + \frac{30 \cdot 16,4}{615} + \frac{30 \cdot 15,9}{615} \right. \\
 &\quad \left. + 1,3 \cdot (1,0 + 0,03 + 0,10) \right] \cdot 1,05 \\
 &= [2,8 + 1,154 + 4,31 + 0,577 + 6,41 + 0,996 + 5,0 + 4,85 + 1,47] \cdot 1,05 \\
 &= \mathbf{28,95 \text{ Pfg/kWh.}}
 \end{aligned}$$

Differenz $d = 2,3\%$.

Der Vergleich der Gestehungskosten ergibt die höchste Differenz mit $d = 11\%$. Bei den Haushaltsstromabnehmern ist die Differenz nur $2,3\%$, also praktisch ohne Bedeutung. Da in der vorliegenden Arbeit nur der Haushaltsstromverbrauch behandelt werden soll, genügt es durchaus, nur mit der Methode des Anteils an der zentralen Höchstlast zu rechnen. Nur dann, wenn grundlegende Änderungen bei der Höchstlast auftreten, z. B. die Belastungsverhältnisse des Kraftwerks sich derart ändern, daß die höchste Spitze zur Mittagszeit auftritt, erscheint eine Berechnung nach der Gl. (6) notwendig.

7. Grundlegende Erkenntnisse der Kostenberechnung.

Aus den Beispielen ersieht man deutlich, welchen Einfluß die einzelnen Glieder der Kostengleichung auf die Gesamtkosten ausüben. Während bei Hochspannungsabnehmern und bei der Straßenbahn die Brennstoffkosten einen beträchtlichen Prozentsatz (50—34%) ausmachen, spielen sie beim Haushaltsstrom nur eine untergeordnete Rolle (etwa 5,0%). Einen bedeutenden Einfluß haben aber beim Niederspannungsstromabnehmer die Fortleitungskosten — die Kapitalkosten für die Fortleitung mit Hochspannung, für die Verteilung mit Niederspannung und für die Übergabe — sowie die Kosten für die Verwaltung und Bedienung der Übergabeanlage. Diese Kosten betragen insgesamt über 70% der gesamten Aufwendungen für die Lieferung des elektrischen Stroms.

Hieraus ergibt sich eindeutig, daß diese Kosten gesenkt werden müssen, falls eine bedeutende Ermäßigung des Haushaltsstrompreises erfolgen soll. Selbst wenn beim Haushaltsstrom die Kohlekosten vollkommen fortfallen würden, würde sich nur eine Ermäßigung von 5% ergeben.

Wenn es gelänge, die Stromfortleitungsanlage vielleicht durch Einführung von hochgespanntem Gleichstrom billiger zu gestalten, so ist dieses für eine Preisermäßigung des Haushaltsstromes ohne große Bedeutung, da die gesamten Fortleitungskosten noch nicht 5 Pfg/kWh betragen. Auch eine Verringerung der auftretenden Arbeitsverluste würde keine bedeutende Ermäßigung des Strompreises bedeuten, da die Arbeitskosten zum überwiegenden Teil aus Brennstoffkosten bestehen, also bei einer Verminderung nicht erheblich ins Gewicht fallen. Es ist daher bei der technischen Vollkommenheit der Stromversorgungsanlage eine Ermäßigung der Stromlieferungskosten nur durch eine Erhöhung der Benutzungsdauer möglich.

Hierbei ist wieder besonders Wert auf eine Erhöhung der Benutzungsdauer für die Verteilung mit Niederspannung und die Übergabe zu legen, da die hierfür aufzuwendenden Kosten weit über 50% der gesamten Lieferungskosten des elektrischen Stromes ausmachen. In weiten Kreisen ist die Ansicht verbreitet, daß es für eine Stromverbilligung notwendig ist, einen vollkommenen Belastungsausgleich im Kraftwerk herbeizuführen. Dies ist aber nicht der Fall. Eine überschlägige Rechnung zeigt, daß der Hauptwert auf einen Belastungsausgleich im Niederspannungsnetz gelegt werden muß, selbst, wenn dadurch eine Verschlechterung der Belastungsverhältnisse des Kraftwerkes eintritt.

8. Die Bedeutung des Belastungsausgleichs im Niederspannungsnetz.

Ein Kraftwerk soll zwei Abnehmergruppen, Straßenbahnstromabnehmer und Haushaltsstromabnehmer beliefern. Die Straßenbahn soll ihren Strom im Kraftwerk direkt abnehmen und zwar eine Arbeitsmenge:

$$F_{St} = 5\,000\,000 \text{ kWh}$$

bei einer Spitzenleistung

$$S_{St} = 1000 \text{ kW.}$$

Die Gruppe der Haushaltsstromabnehmer soll

$$F_H = 1\,000\,000 \text{ kWh}$$

bei einer Spitzenleistung von

$$S_H = 1000 \text{ kW}$$

beziehen.

Der Kraftwerksgleichzeitigkeitsfaktor soll $g = 0,5$ sein. Die Stromabnahme der beiden Abnehmergruppen findet also zu verschiedenen Zeiten statt, so daß ein vollkommener Ausgleich vorhanden ist. Die Benutzungsdauer des Kraftwerks beträgt also $h_s = 6000$ Stunden. Nach der Methode der auftretenden Gruppenhöchstlast werden jetzt die einzelnen kWh-Preise berechnet und hierbei die vorhin angenommenen Zahlenwerte zugrunde gelegt.

Straßenbahn:

$$F_{St} = 5\,000\,000 \text{ kWh, } S_{St} = 1000 \text{ kW, } h_{SSt} = 5000 \text{ Stunden.}$$

Haushaltsabnehmer:

$$F_H = 1\,000\,000 \text{ kWh, } S_H = 1000 \text{ kW, } h_{SH} = 1000 \text{ Stunden.}$$

Kraftwerksgleichzeitigkeitsfaktor $g_K = 0,5$,

Hochspannungsgleichzeitigkeitsfaktor $g_H = 1,0$,

Niederspannungsgleichzeitigkeitsfaktor $g_H = 1,0$.

Stromkosten bei der Straßenbahn:

$$\begin{aligned} k_{St} &= \left[\frac{360 \cdot 12,2 \cdot 0,5}{5\,000} + \frac{360 \cdot 5 \cdot 0,5}{5\,000} + 1,3 (1,0 + 0,00) \right] \cdot 1,05 \\ &= [0,440 + 0,18 + 1,300] \cdot 1,05 = \mathbf{2,06 \text{ Pfg/kWh.}} \end{aligned}$$

Stromkosten beim Haushaltsstromabnehmer:

Für den Haushaltsstromabnehmer ergeben sich folgende Werte:

$$\begin{aligned}
 k_H &= \left[\frac{360 \cdot 12,2 \cdot 0,5}{1\,000} + \frac{360 \cdot 5 \cdot 0,5}{1\,000} + \frac{600 \cdot 11,19 \cdot 1,0}{1\,000} + \frac{600 \cdot 1,5 \cdot 1,0}{1\,000} \right. \\
 &+ \frac{750 \cdot 13,3 \cdot 1,0}{1\,000} + \frac{750 \cdot 2,07 \cdot 1,0}{1\,000} + \frac{0,16 \cdot 16,4 \cdot 1,0}{1\,000} + \frac{0,16 \cdot 15,9 \cdot 1,0}{1\,000} \\
 &\left. + 1,3 (1,0 + 0,03 + 0,10) \right] \cdot 1,05 \\
 &= [2,20 + 0,9 + 6,71 + 0,9 + 9,98 + 1,55 + 3,05 + 2,98 + 1,47] \cdot 1,05 \\
 &= \mathbf{31,20 \text{ Pfg/kWh.}}
 \end{aligned}$$

Um den Einfluß und die Bedeutung der Ausnutzung der Niederspannungsverteilung zu zeigen, wird angenommen, daß eine Steigerung des Stromabsatzes an die Haushaltsstromabnehmer um das Doppelte auf $F'_H = 2\,000\,000$ kWh stattfindet. Die Spitze im Niederspannungsnetz soll sich nicht erhöhen, dagegen soll aber die Kraftwerksspitze auf $S'_K = 2000$ kW ansteigen. Es findet also jetzt kein Ausgleich im Kraftwerk zwischen den Belastungen mehr statt, so daß die Spitzenbenutzungsdauer des Kraftwerks sich von $h_s = 6000$ Std. auf $h'_s = 3500$ Std. ermäßigt. Dann ergeben sich für beide Abnehmergruppen folgende Werte von k :

Straßenbahn:

$$\begin{aligned}
 k'_{St} &= \left[\frac{3,60 \cdot 12,2 \cdot 1,0}{5\,000} + \frac{360 \cdot 5 \cdot 1,0}{5\,000} + 1,3 \cdot (1,0 + 0,00) \right] \cdot 1,05 \\
 &= [0,88 + 0,36 + 1,30] \cdot 1,05 = \mathbf{2,73 \text{ Pfg/kWh.}}
 \end{aligned}$$

Haushalt:

$$\begin{aligned}
 k'_H &= \frac{360 \cdot 12,2 \cdot 1,0}{5\,000} + \frac{360 \cdot 5 \cdot 1,0}{2\,000} + \frac{600 \cdot 11,19 \cdot 1,0}{2\,000} + \frac{600 \cdot 1,5 \cdot 1,0}{2\,000} \\
 &+ \frac{750 \cdot 13,31 \cdot 1,0}{2\,000} + \frac{750 \cdot 2,0 \cdot 1,0}{2\,000} + \frac{0,16 \cdot 16,4 \cdot 1,0}{2\,000} + \frac{0,16 \cdot 15,9 \cdot 1,0}{2\,000} \\
 &\left. + 1,3 (1,0 + 0,03 + 0,10) \right] \cdot 1,05 \\
 &= [2,20 + 0,9 + 3,355 + 0,45 + 4,49 + 0,775 + 1,525 + 1,49 \\
 &+ 1,47] \cdot 1,05 = 16,655 \cdot 1,05 = \mathbf{17,42 \text{ Pfg/kWh.}}
 \end{aligned}$$

Vergleicht man jetzt die Ergebnisse miteinander, so sieht man, daß der Preis für den Hochspannungsabnehmer um 0,67 Pfg/kWh gestiegen, bei dem Haushaltsstromabnehmer aber um 13,75 Pfg/kWh gesunken ist.

Belastet man jetzt die Gruppe der Hochspannungsabnehmer mit den-

selben Kosten, wie es zuerst der Fall war, so ergeben sich die Kosten für eine abgenommene Kilowattstunde der Haushaltsstromabnehmer zu:

$$k_H'' = \frac{k_H \cdot F_H' + k_{St}' \cdot F_{St} - k_{St} \cdot F_{St}}{F_H}$$

$$= \frac{17,42 \cdot 2\,000\,000 + 2,73 \cdot 5\,000\,000 - 2,06 \cdot 5\,000\,000}{2\,000\,000}$$

$k_H' = 19,10 \text{ Pfg/kWh.}$

Diese Berechnung beweist die überraschende Feststellung, daß bei einem bedeutenden Rückgang der Ausnutzung des Kraftwerks bei gleichzeitigem Anstieg der Ausnutzung der Niederspannungsnetze die durchschnittlichen Lieferungskosten des elektrischen Stroms in diesem idealen Falle für Niederspannungsabnehmer um fast 40 % sinken und zwar selbst dann, wenn man die Lieferungskosten für die Hochspannungsabnehmer unverändert läßt. Dieses durchgeführte Beispiel zeigt und beweist, daß der Hauptwert in der Stromversorgung in erster Linie auf die Ausnutzung der Niederspannungsnetze zu legen ist, da nur dadurch eine Ermäßigung des Strompreises für weite Abnehmergruppen erzielt werden kann.

Falls nicht so ideale Fälle wie vorstehend der Berechnung zugrunde gelegt werden, ergibt sich noch ein wesentlich günstigeres Bild. Um eine anschauliche Darstellung geben zu können, wird angenommen, daß bei den Haushaltsstromabnehmern, deren Belastungscharakteristik in der Abb. 8 dargestellt ist, eine Vergrößerung des Stromabsatzes um 50 % durch Einführung von elektrischen Haushaltsgeräten derart erzielt wird, daß die Höchstbelastung im Niederspannungsteil sich nicht erhöht. Um ungünstigere Verhältnisse zu veranschaulichen, soll die Höchstbelastung im Niederspannungsteil und die Kraftwerkshöchstbelastung zur gleichen Zeit auftreten.

Es ergeben sich dann in Abweichung von den Angaben der Zahlentafeln 7 und 8 für die Haushaltsstromabnehmer folgende Werte:

Abgenommene Arbeit in Kilowattstunden . . .	$F = 5\,925\,000 \text{ kWh}$
Anteil an der Werkshöchstlast	2800 kW
Anteil an der Höchstlast der Hochspannungsanlage . . .	2800 „
Anteil an der Höchstlast der Niederspannungsanlage . . .	2800 „
Benutzungsdauer des Anschlußwertes	923 h
Benutzungsdauer der höchsten auftretenden Jahresspitze	2115 h
Benutzungsdauer des Anteils der Werkshöchstlast . . .	2115 „
Benutzungsdauer des Anteiles der Höchstlast des Hochspannungsnetzes	2115 „
Benutzungsdauer des Anteiles der Höchstlast an der Niederspannungsanlage	2115 „

Berechnet man jetzt mit Gl. (4) (Benutzungsdauer des Höchstlastanteils die Gesteungskosten, so ändern sich die Werte für Straßenbahn und Hochspannungsabnehmer nicht, da nur eine Vergrößerung der Werkshöchstlast auftritt, die einzelnen Anteile aber dieselben bleiben.

Für den Haushaltsstrom dagegen ergibt sich folgender Wert:

$$\begin{aligned}
 k_H &= \left[\frac{360 \cdot 12,2}{2115} + \frac{360 \cdot 5}{2115} + \frac{600 \cdot 11,19}{2115} + \frac{600 \cdot 1,5}{2115} + \frac{750 \cdot 13,31}{2115} + \frac{750 \cdot 2,07}{2115} \right. \\
 &\quad \left. + \frac{30}{0,16} \cdot 16,4 + \frac{30}{0,16} \cdot 15,9 + 1,3 \cdot (1,0 + 0,03 + 0,10) \right] \cdot 1,05 \\
 &= [2,075 \cdot 0,851 + 3,17 + 0,425 \cdot 4,71 + 0,733 + 3,52 + 3,22 \\
 &\quad + 1,47] \cdot 1,05 \\
 &= 19,974 \cdot 1,05 = \mathbf{20,97 \text{ Pfg/kWh}}.
 \end{aligned}$$

Die Kosten für eine Kilowattstunde haben sich also von 29,7 auf 20,97 Pfg. ermäßigt. Eine 50proz. Absatzsteigerung hat eine 30proz. Stromkostenermäßigung zur Folge. Dieses Beispiel zeigt in anschaulicher und eindringlichster Weise, wie sich eine Erhöhung der Benutzungsdauer im Niederspannungsteil stromkostenverbilligend auswirkt.

Vorher wurde bereits darauf hingewiesen, daß bei einer größeren installierten Leistung im allgemeinen das spezifische Anlagekapital geringer wird. Da bei einer steigenden Ausnutzung meistens die Spitzenleistung auch ansteigt, also eine größere Auslegung der gesamten Kraftwerksanlage notwendig wird, erniedrigt sich das spezifische Anlagekapital. Hierdurch wird nun aber wieder eine weitere Ermäßigung der Gestehungskosten hervorgerufen, die aber aus den bereits obenerwähnten Gründen hier nicht weiter behandelt werden kann.

Das elektrische Kochen.

1. Der Haushaltsstromverbrauch.

Wie kann nun eine höhere Ausnutzung der Niederspannungsnetze erzielt werden? Eine Vergrößerung der Benutzungsstundendauer in den Niederspannungsnetzen ist möglich durch weitgehende Elektrifizierung des Kleingewerbes und durch Steigerung des Haushaltsstromabsatzes. Es steht außer jeder Frage, daß durch eine günstige Tarifgestaltung und niedrige Tarifsätze eine wesentliche Steigerung des Absatzes von Strom an Kleingewerbetreibende möglich ist. Hier soll jedoch aber besonders der Einfluß der Elektrifizierung des Haushalts, und zwar besonders durch Einführung von Elektrowärme behandelt werden. Daher wird auf das Kleingewerbe nicht näher eingegangen.

Es liegt auf der Hand, daß durch die Einführung von Haushaltsgeräten stets eine bedeutende Stromverbrauchssteigerung hervorgerufen wird, da der Lichtstromverbrauch verhältnismäßig gering ist. Um zu zeigen, wie die Einführung von Haushaltsgeräten auf den Stromverbrauch einwirkt, sind in einem Versorgungsgebiet die Stromverbrauchszahlen der einzelnen Haushalte in Abhängigkeit von der Familiengröße ermittelt zu einem Zeitpunkt, wo nur ein nennenswerter Lichtstromverbrauch vorhanden war¹. Nach Einführung von elektrischen Haushaltsgeräten wurden bei denselben Haushalten wieder der Stromverbrauch in Abhängigkeit von der Familiengröße ermittelt. Reichten die vorhandenen Haushalte nicht aus, um einwandfreie Ergebnisse zu erzielen, so wurden zur Ermittlung des durchschnittlichen Stromverbrauchs Haushalte derselben sozialen Schicht mit herangezogen. Genau so wurde der Haushaltsstromverbrauch ermittelt, nachdem bei den einzelnen Haushaltungen die vollelektrische Küche eingeführt worden war, hier ist also in dem Haushaltsstromverbrauch der Kochstromverbrauch mit enthalten.

Den spezifischen Stromverbrauch für die einzelnen Verwendungszwecke in Abhängigkeit von der Familiengröße bringt die Abb. 10. Nun darf man den Lichtstromverbrauch nicht ohne weiteres auf die Familiengröße beziehen, da dieser wohl in erster Linie von der Wohnungsgröße

¹ Diese Untersuchungen stammen ebenso wie alle in diesem Kapitel gebrachten Belastungsmessungen, falls nicht ausdrücklich etwas anderes angegeben worden ist, vom Verfasser, die dieser selbst getätigt bzw. geleitet hat.

abhängig ist. Wenn hier aber von der Familiengröße ausgegangen wird, so geschieht es, weil der Kochstromverbrauch nicht von der Wohnungsgröße, sondern nur von der Familiengröße abhängig ist. Die Abb. 10 zeigt aber überraschenderweise, daß auch der Lichtstromverbrauch von der Größe des Haushalts abhängig ist. Die Erklärung hierfür dürfte in der Tatsache liegen, daß die Wohnungsgröße in den meisten Fällen durch die Familiengröße bedingt ist. Da aber hierüber noch keine Untersuchungen vorliegen, sind Beweise für die Richtigkeit dieser Annahme nicht vorhanden.

Bei der Einführung von elektrischen Haushaltskleingeräten wie Staubsauger, Küchenmotoren u. dgl. steigt der Stromverbrauch um rd. 25 % an. Werden dagegen die Haushaltungen vollelektrifiziert, so beträgt die Steigerung des Stromverbrauchs rd. 700 % gegenüber dem gewöhnlichen Lichtstromverbrauch.

Unter den Haushaltsgeräten nehmen somit die elektrischen Herde, dem Stromverbrauch nach, eine so bedeutende Sonderstellung ein, daß gegenüber ihnen der gesamte übrige Stromverbrauch des Haushalts zurücktritt. Zu berücksichtigen ist noch, daß die elektrischen Haushaltsgeräte im Verhältnis zu den elektrischen Kochgeräten verhältnismäßig teuer sind. Da die Anschaffung von elektrischen Geräten meistens vom Elektrizitätswerk finanziert wird, ergibt sich hieraus, daß vom Elektrizitätswerk in erster Linie die elektrischen Kochgeräte propagandiert werden müssen.

2. Die Charakteristik der Kochbelastung und ihre Ermittlung.

Lange Zeit war die Frage ungeklärt, wie sich die Einführung der Elektrowärme im Haushalt auf die Belastungsverhältnisse auswirkt. Man glaubte vielfach, und noch heute ist sehr oft die Anschauung verbreitet, daß durch Einführung der Elektrowärme auch eine bedeutende Steigerung der Spitzenbelastung hervorgerufen wird. Diese Bedenken hinderten jahrelang viele Werke¹, die Elektrowärme in ihrem Versor-

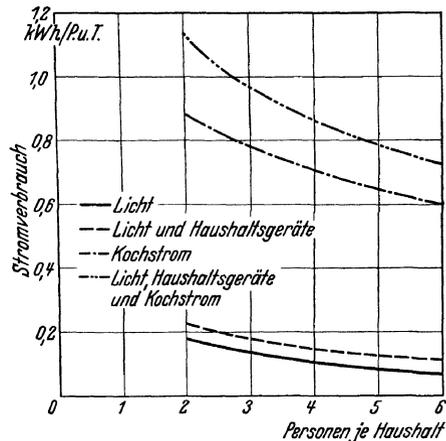


Abb. 10. Haushaltsstromverbrauch in Abhängigkeit von der Familiengröße.

¹ Siehe z. B. Denkschrift der Berliner Städtischen Elektrizitätswerke: Zur Zukunft der Berliner Elektrizitätsversorgung, 1928.

gungsgebiet einzuführen. Es bedurfte der Überwindung großer Widerstände, ehe es gelang, einige vollelektrische Siedlungen zu errichten. Die aus den vollelektrischen Siedlungen z. B. in „Schwandorf“¹ in der Siedlung „Heimat“ in Siemensstadt² und in der Siedlung „Römerstadt“³ bei Frankfurt a. M. gewonnenen Meßergebnisse zeigten, daß eine ausgesprochene Spitzenbelastung durch das Kochen nicht hervorgerufen wird, sondern vielmehr ein Belastungsausgleich erzielt wird, und daß außerdem die Hauptkochbelastung zu Zeiten niedriger Kraftwerksbelastung auftritt.

Die hier vorgenommenen Messungen zeigten aber auch, daß die gewonnenen Belastungsverhältnisse nicht verallgemeinert werden können. Mehr als bei jeder anderen Belastung ist die Charakteristik der Kochbelastungskurve durch die Lebensgewohnheiten der Bevölkerung bedingt. Infolgedessen weichen die in den verschiedenen Siedlungen gewonnenen Untersuchungsergebnisse sehr voneinander ab.

Hinzu kommt noch, daß meistens in Siedlungen Menschen einer ganz bestimmten sozialen Schichtung wohnen, deren Lebensgewohnheiten miteinander ähnlich sind, so daß man die in einer Siedlung gewonnenen Belastungsverhältnisse nicht verallgemeinern darf.

Um ein Bild der Belastungscharakteristik der Haushaltsstromversorgung und besonders der Elektrowärmeversorgung geben zu können, war es notwendig, in den verschiedenen Landesteilen mit den mannigfaltigsten sozialen Bevölkerungsschichten besondere Untersuchungen anzustellen. Hierbei bestand nun die Schwierigkeit, einwandfreie Messungen vorzunehmen. Um eine Durchschnittshaushaltskochkurve zu erhalten, ist es notwendig, die Messung bei mindestens 20—30 Familien vorzunehmen. Dieses bedingt aber, daß 20—30 gleiche Abnehmer aus einem Leitungsstrang gespeist werden müssen, der lediglich zur Kochstromversorgung benutzt wird, da nur so eine Messung der Kochbelastung möglich ist. Eine solche Messung ist aber in der Praxis nicht auszuführen, da 1. das Verteilungsnetz stets für die gesamte Haushaltsversorgung benutzt wird, 2. in den seltensten Fällen eine solche Durchsetzung mit elektrischen Herden vorhanden ist. Es wurde daher folgendes, gemeinsam mit Professor Windel entwickelte Verfahren vom Verfasser angewandt.

In den elektrifizierten Haushaltungen wurden Einzelmessungen des Kochstromverbrauchs mit registrierenden Leistungsmessern vorgenommen und dann aus den aufgenommenen Kurven eine mittlere Belastungs-

¹ Schönberg, A.: Die elektrische Küche. ETZ 1928 S. 9ff.

² Schmude, Dr.: Die erste Verwendung der Elektrizität in größerem Umfang in einer Siedlung und ihr Erfolg. Elektr.-Wirtsch. 1931 Nr. 12.

³ Laufer: Kilowatt und Kilowattstunde in vollelektrischen Wohnungen. Elektr.-Wirtsch. 1931 Nr. 12.

kurve gebildet. Dieses Verfahren ist ohne weiteres einwandfrei, wenn man z. B. in einer Stadt mit 100 elektrischen Haushaltungen zur gleichen Zeit bei allen 100 Haushaltungen eine Messung vornehmen kann. Man ist dann in der Lage, durch graphische Addition der Belastungen eine Gesamtbelastungskurve aufzustellen. Aus Mangel an der erforderlichen Zahl von Meßinstrumenten war aber ein solches Verfahren nicht durchführbar und dürfte wohl in den seltensten Fällen anwendbar sein.

Es wurden daher die Messungen in den einzelnen Haushaltungen nacheinander vorgenommen und dann aus diesen nacheinander vorgenommenen Messungen die Summationskurve gebildet. Wie die Messungen ergaben, sind die Werktagsbelastungen an den Werktagen von Dienstag bis Freitag einander gleich, am Sonnabend und am Sonntag ergeben sich

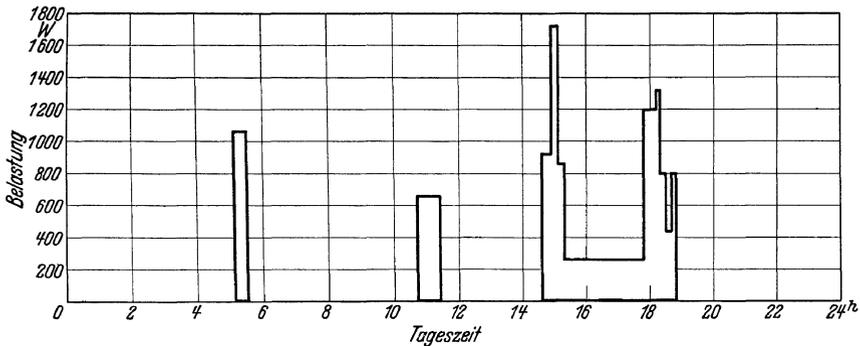


Abb. 11. Kochbelastung in einem Haushalt.

infolge der veränderten Arbeitszeit bzw. der Lebensgewohnheiten andere Belastungsverhältnisse. Am Montag machte sich der Einfluß des Sonntags derart bemerkbar, daß an diesem Tage sehr oft die Reste der Sonntagsmahlzeit verzehrt werden, so daß die Belastungsverhältnisse am Montag nicht als normal angesehen werden können. Daher wurden die Meßinstrumente am Montag stets ein- und ausgebaut, so daß immer ein Meßstreifen von Dienstag bis Sonntag, also mit allen Normaltagen, gewonnen wurde.

Die Kochbelastungsverhältnisse in einem Haushalt während eines Tages zeigt die Abb. 11. Die in den einzelnen Haushaltungen ermittelten täglichen Kochbelastungen wurden graphisch überlagert. Dieses geschah mit allen Werktagskurven (Dienstag bis Freitag), den am Sonnabend und den am Sonntag aufgenommenen Kochbelastungskurven. Auf diese Weise wurden die Kochbelastungskurven für normale Werktage, für Sonnabende und Sonntage erhalten.

Es leuchtet ein, daß eine hinreichende Genauigkeit nur bei einer genügenden Anzahl von Messungen erzielt werden kann. Es mußte daher zunächst festgestellt werden, wieviel Einzelkurven überlagert werden

müssen, um einen brauchbaren Mittelwert zu gewinnen. Zu diesem Zweck wurden in einem vollständig elektrifizierten Stadtteil Einzelmessungen vorgenommen und diese dann wie vorstehend beschrieben überlagert. Zur gleichen Zeit wurde aber auch eine Gesamtmessung der Belastung

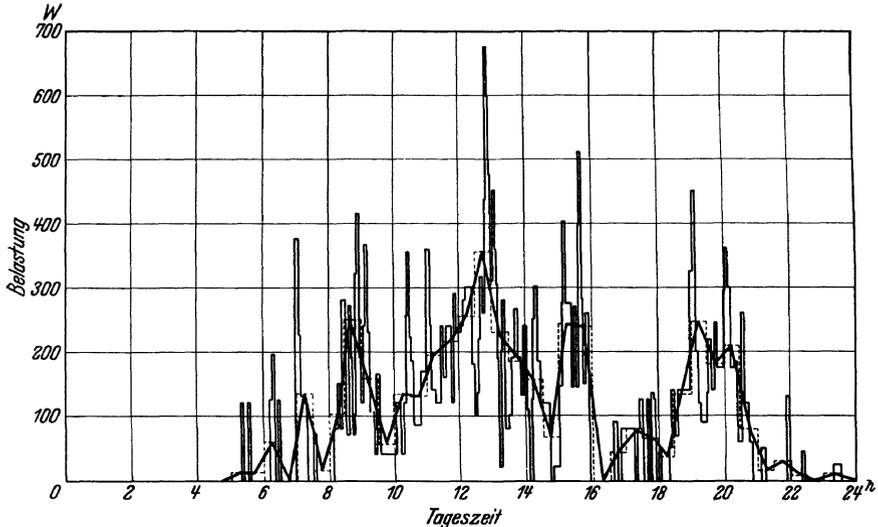


Abb. 12. Mittlere Kochbelastung eines Haushalts, gewonnen aus zehn übereinandergelagerten Einzelmessungen.

des Stadtteiles vorgenommen, in dem sich etwa 70 Herde befanden. Da die Herde fast alle gleichzeitig eingebaut worden waren, und die Belastungen vor dem Einbau der Herde bekannt waren, konnte durch einfache Subtraktion die Kochbelastungskurve unmittelbar erhalten werden.

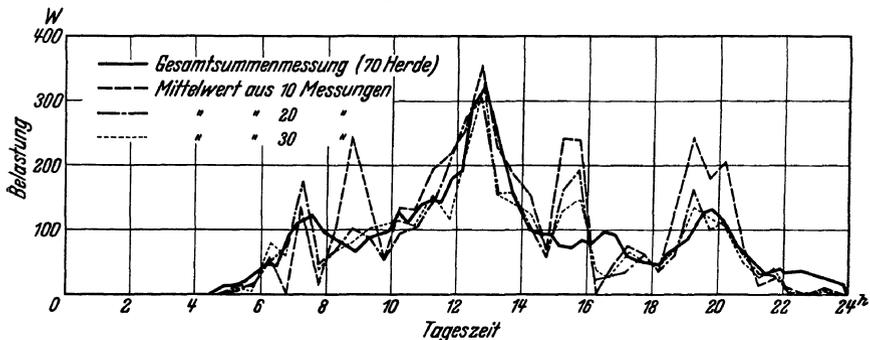


Abb. 13. Ermittlung der Kochbelastung durch Summation von Einzelmessung.

In der Abb. 12 wurden 10 Einzelmessungen übereinandergelagert und dann eine mittlere Kochkurve gebildet. Bei der Auswertung selbst wurden immer die innerhalb von sechs Minuten aufgetretenen mittleren Belastungen addiert. Die einzelnen Spitzen machen sich infolge des geringen Ausgleichs sehr unliebsam bemerkbar. Infolgedessen wurden

Mittelwerte der innerhalb einer halben Stunde aufgetretenen Belastungen gebildet, die gleichfalls eingetragen sind. Eine Darstellung in rechteckiger Form erweckt jedoch den Eindruck, als ob die Kochkurven nicht stetig verlaufen. Es wurden daher die Mittelpunkte der Ordinaten der einzelnen $\frac{1}{2}$ stündigen Belastungen miteinander verbunden, so daß ein stetiger Kurvenzug entstand. Da durch die Verbindungslinie stets die unter dem Kurvenzug liegende Fläche um den Betrag vergrößert wird, der über dem Kurvenzug liegt, wird der Flächeninhalt nicht vermindert. Dieselbe Untersuchung wurde mit 20 und 30 Herden vorgenommen. Die gefundenen Kochkurven zeigt Abb. 13, in der außerdem die durch die gemeinsame Messung aller angeschlossenen Herde gewonnenen Kochkurve dargestellt ist.

Ein Vergleich der einzelnen Kochkurven zeigt, daß bei Überlagerung von 10 Einzelmessungen infolge des geringen Ausgleichs noch große Belastungsspitzen auftreten. Ein Ausgleich macht sich jedoch bereits bei 20 Einzelmessungen bemerkbar. Die aus 30 Einzelmessungen gewonnene Kochkurve ähnelt der durch die Summenmessung aufgenommenen Kurve vollkommen, die Charakteristik der beiden Kurven stimmen vollkommen miteinander überein. Es müssen etwa also 20—30 Einzelmessungen überlagert werden, um eine allgemeingültige Kochkurve zu erhalten.

3. Der Einfluß der Landschaft auf die Kochbelastung.

Auf die vorstehende Weise wurden vom Verfasser die Kochkurven in zahlreichen Orten ermittelt, wobei gleichzeitig der Einfluß der Landschaft, die soziale Schichtung der Bevölkerung und die Jahreszeit berücksichtigt wurden. Von entscheidendem Einfluß auf den Charakter der Kurve ist die Zeit der Einnahme der Mittagsmahlzeit. In Orten, wo eine feste Mittagstischzeit Sitte ist, erhält man auch eine ausgeprägte Mittagbelastung. Dies zeigt anschaulich die Abb. 14, wo die spezifische Kochstrombelastung eines Haushalts einer Landstadt mit fester Mittagstischzeit dargestellt ist. Ähnliche Verhältnisse trifft man in den meisten Landstädten und auf Dörfern an. Anders liegen die Verhältnisse in den Großstädten, die in der Regel eine durchgehende Arbeitszeit haben und wo infolgedessen keine ausgeprägte Kochbelastung zur Mittagszeit vorhanden ist. Dies beweist die in derselben Abbildung dargestellte Kochkurve einer Großstadt. Zwecks besseren Vergleiches sind die einzelnen Kochkurven auf gleichen Flächeninhalt bezogen, und die Spitzenbelastung der Landstadt ist gleich 100% gesetzt worden. In der Großstadt beträgt die Mittagsspitze nur 53% der Kochspitze in der Landstadt. Die Nachmittagsbelastung in der Großstadt ist dagegen erheblich größer. Aber auch hier ist keine ausgesprochene Nachmittags- oder Abendspitze vor-

handen, so daß auch hier die Befürchtungen, es könnte eine bedeutende Spitzenbelastung im Kraftwerk hervorgerufen werden, unbegründet sind.

Die beiden Belastungskurven der Landstadt und der Großstadt stellen zwei extreme Fälle dar. Sie sind zwei Orten entnommen, wo einmal die Mittagstischzeit durchweg, im anderen kaum eingeführt ist. In Orten, wo die Verhältnisse nicht so extrem liegen, verläuft die Kochkurve zwischen diesen Grenzfällen. Als Beweis hierfür sind in verschiedenen Orten in immer größer werdenden Entfernungen von der Großstadt Messungen

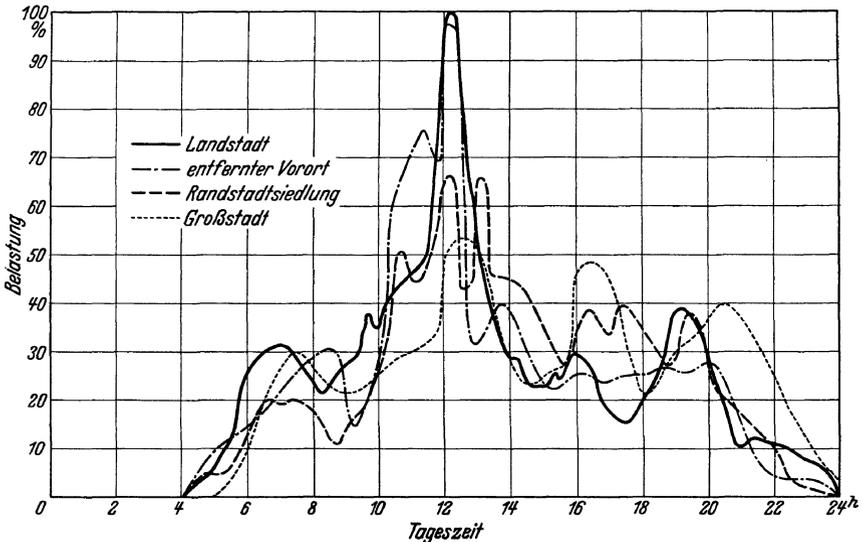


Abb. 14. Kochbelastung in einigen Orten.

vorgenommen worden. Mit zunehmender Entfernung nimmt der Einfluß der Großstadt ab, um so mehr Einwohner nehmen ihre Hauptmahlzeit zur Mittagsstunde ein. Infolgedessen wächst auch die Mittagsbelastung mit zunehmender Entfernung von der Großstadt, die Nachmittagsbelastung verringert sich. Die Kochstrombelastungskurve nimmt immer mehr die Form der Belastungskurve der Landstadt an. In der Abb. 14 sind auch die erhaltenen Belastungskurven der einzelnen Orte dargestellt, die deutlich zeigen, wie mit der Entfernung von der Großstadt auch deren Einfluß abnimmt.

4. Die verschiedenen Abnehmergruppen von Kochstrom und der Einfluß der Jahreszeit auf den Stromverbrauch.

Die Kochstromverbraucher kann man in drei Abnehmergruppen gliedern:

1. Vollverbraucher,
2. Mittelverbraucher,
3. Wenigverbraucher.

Zu der ersten Gruppe der Vollverbraucher sind alle die Abnehmer zu rechnen, die nur elektrisch kochen. Diese Abnehmer besitzen in der Küche nur einen elektrischen Herd. Die Erwärmung der Küche im Winter wird fast immer durch Zentralheizung bewirkt.

Bei den Gruppen der Mittel- und Wenigverbraucher ist neben dem elektrischen Herd in der Küche noch ein Kohleherd vorhanden. Dieser Kohleherd stammt sehr oft noch aus der Zeit, wo ein elektrischer Herd noch nicht vorhanden war. Meistens konnte er nicht entfernt werden, da er zum Erwärmen der Küche im Winter gebraucht wird. Seltener gehören zu der Gruppe der Mittelverbraucher solche Abnehmer, die einen elektrischen Herd mit einem Kohleteil besitzen, der eigentlich nur zum Erwärmen der Küche im Winter dienen soll, aber aus Ersparnisgründen vom Abnehmer auch zum Kochen benutzt wird. Bei den Mittelverbrauchern wird im Sommer fast ausschließlich der elektrische Herd gebraucht, im Winter wird dagegen der zum Erwärmen der Küche dienende Kohleherd gleichzeitig auch vorwiegend zum Kochen benutzt. Die dritte Gruppe der Wenigabnehmer wird von solchen Abnehmern gebildet, die zwar einen elektrischen Herd neben dem Kohleherd besitzen, aber Sommer und Winter fast durchweg nur den Kohleherd in Betrieb haben und den elektrischen Herd nur in Ausnahmefällen benutzen.

Bei Vollverbrauchern muß man mit einem Kochstromverbrauch von mehr als 0,7 kWh pro Tag und Person rechnen. Zu den Wenigverbrauchern sollen alle diejenigen Kochstromverbraucher gezählt werden, bei denen der durchschnittliche Kochstromverbrauch nicht mehr als 0,10 kWh pro Person und Tag beträgt. Alle anderen Verbraucher werden zur Gruppe der Mittelverbraucher gerechnet.

In jedem Versorgungsgebiet — abgesehen von vollelektrifizierten Siedlungen — sind alle drei Verbrauchergruppen vertreten. Man findet daher die Kochbelastung in einem Versorgungsgebiet durch Einzelmessungen nur dann mit genügender Genauigkeit, wenn man bei der Auswahl der Abnehmer auch den prozentualen Anteil der einzelnen Verbrauchergruppen an der Gesamtzahl der Kochstromabnehmer berücksichtigt.

Es interessiert daher stets die Frage, wie sich die einzelnen Verbrauchergruppen prozentual gliedern, welchen Einfluß die Jahreszeit auf ihre prozentuale Zusammensetzung ausübt und welche Einwirkung auf die Charakteristik der Kochbelastung hervorgerufen wird. Die prozentuale Zusammensetzung dürfte von der sozialen Schichtung der Abnehmer des Versorgungsgebietes abhängig sein. Um einen Anhalt über die Zusammensetzung der einzelnen Gruppen zu erhalten, wurden in einem süddeutschen Versorgungsgebiet ermittelt, zu welcher dieser drei Gruppen die einzelnen Kochstromabnehmer in den einzelnen Monaten zu rechnen sind (Abb. 15).

Nur bei 11% aller Abnehmer ist stets ein Kochstromverbrauch von mehr als 0,7 kWh pro Tag und Person vorhanden. Es können also nur 11% aller Abnehmer als Vollverbraucher im eigentlichen Sinne angesprochen werden. 17% aller Kochstromabnehmer benutzen den elektrischen Herd nur in Ausnahmefällen, ihr spezifischer Kochstromverbrauch liegt stets unter

0,1 kWh/Tag und Person.

Viele Verbraucher benutzen den elektrischen Herd im Sommer fast ausschließlich, so daß sich im Sommer der Prozentsatz der Vollverbraucher auf über 45% erhöht. Im Winter dagegen kehrt ein großer Teil der Verbraucher zum Kohleherd zurück, so daß bei insgesamt 46% aller Abnehmer der Kochstromverbrauch unter 0,1 kWh/Kopf und Tag sinkt.

Ein weiterer Beweis, daß die Vollverbraucher (Gruppe 1) und die Wenigverbraucher (Gruppe 3) den elektrischen Herd im Sommer und im Winter gleich viel bzw. gleich wenig benutzen, ergibt sich aus einer Gegenüberstellung der Stafefelung der Kochstromverbrauchszahlen der einzelnen



Abb. 15. Prozentuale Zusammensetzung der verschiedenen Gruppen der Kochstromabnehmer in einem süddeutschen Versorgungsgebiet.

Monate mit dem Jahresdurchschnitt. Abb. 16 zeigt den spezifischen Kochstromverbrauch im Januar und den mittleren spezifischen Jahreskochstromverbrauch. Diese Gegenüberstellung zeigt, daß bei Vollverbrauchern und bei den Wenigverbrauchern fast derselbe Kochstromverbrauch im Monat Januar je Tag und Person wie im Jahresdurchschnitt vorhanden ist. Bei den Mittelverbrauchern (Gruppe 2) wird dagegen im Januar bedeutend weniger als im Jahresdurchschnitt verbraucht. Die monatlichen Kochstromverbrauchszahlen sind also im Winter am niedrigsten und im Sommer am höchsten. Dieses ist in der

folgenden Abb. 17 dargestellt, welche zeigt, daß der mittlere Kochstromverbrauch in dem süddeutschen Versorgungsgebiet je Person

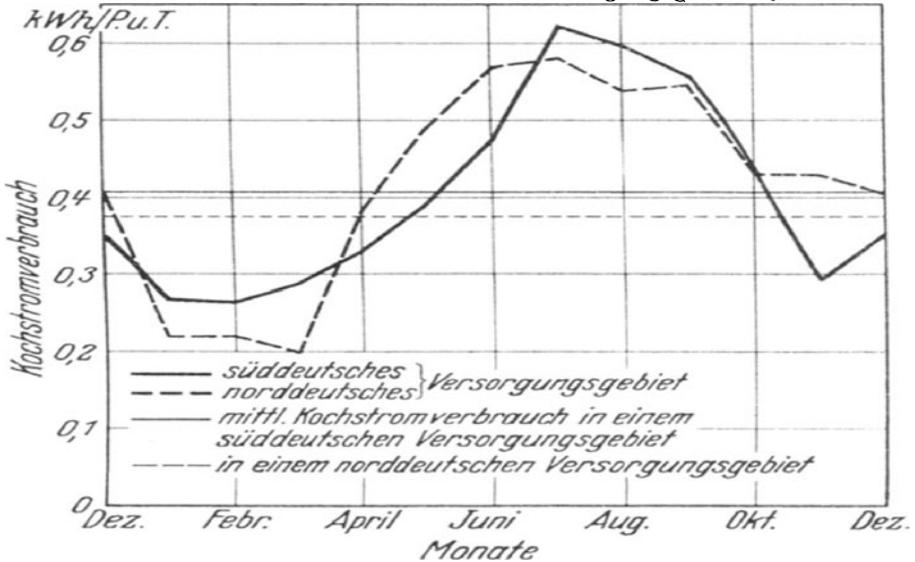


Abb. 16. Kochstromverbrauch der einzelnen Abnehmer im Januar und im Jahresdurchschnitt.

schwankt. Der stetige Kurvenverlauf zeigt deutlich die Abhängigkeit des Kochstromverbrauchs von der Jahreszeit. Die zahlreichen Feiertage im Dezember erhöhen, wie die Abbildung zeigt, den spezifischen Kochstromverbrauch im Dezember bedeutend. Zur Kontrolle wurden in einem norddeutschen Versorgungsgebiet ebenfalls die mittleren Verbrauchszahlen ermittelt. Diese Stromverbrauchs-kurve ist in der Abb. 17 gestrichelt gezeichnet. Hier schwankt der mittlere Kochstromverbrauch zwischen 0,2 kWh und 0,58 kWh pro Person und Tag.

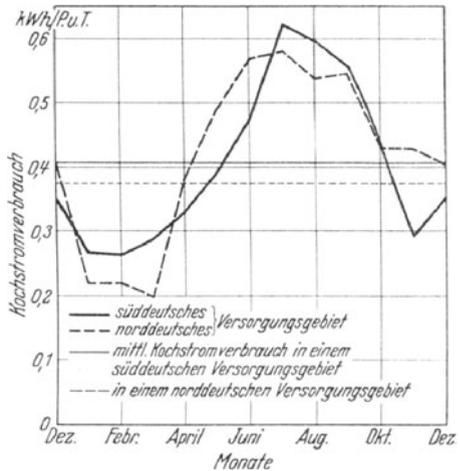


Abb. 17. Kochstromverbrauch in den einzelnen Monaten.

Also nicht nur von der Landschaft, sondern auch von der Jahreszeit ist die Kochbelastung abhängig. Nur dort, wo die Küche nicht besonders geheizt zu werden braucht, wo also Zentralheizung in der Küche vorhanden ist, ändert sich der Kochstromverbrauch nicht.

Die Minderbenutzung des elektrischen Herdes sucht man von seiten

der Elektrizitätswerke dadurch auszugleichen, daß der elektrische Herd mit einem Kohleteil geliefert wird, der nur zum Erwärmen der Küche verwendet werden kann. Da aber meistens sich die Hausfrau den Kohleteil des elektrischen Herdes derart ändern läßt, daß sie den Kohleteil auch zum Kochen benutzen kann, sucht man durch Einführung eines besonderen Küchenstrahlrofens den Kohleteil beim elektrischen Herd überflüssig zu machen und gleichzeitig durch die Übernahme der Raumheizung einen erhöhten Stromabsatz zu erzielen. Die elektrischen Strahlöfen arbeiten aber zu teuer und es sind daher nennenswerte Erfolge in ihrer Einführung nicht erzielt worden.

Aus der Tatsache, daß der Kochstromverbrauch von der Jahreszeit abhängig ist, könnte man schließen, daß sich die Belastungscharakteristik

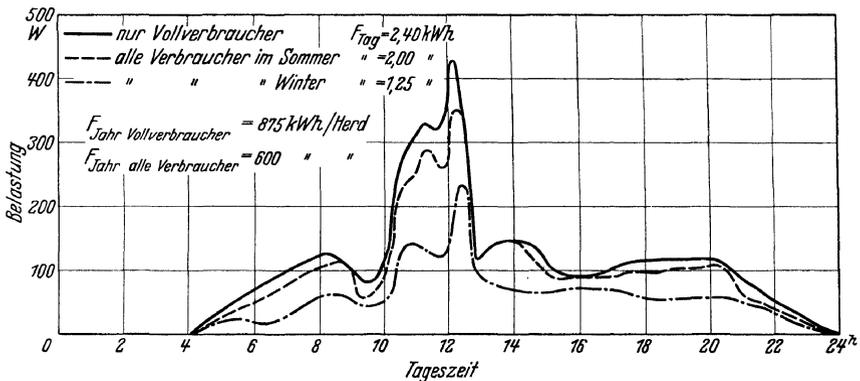


Abb. 18. Kochbelastungskurven einer Stadt in Norddeutschland.

auch grundlegend ändert. Zur Klärung der Frage, ob der Einfluß der Jahreszeit eine grundlegende Änderung der Belastungscharakteristik hervorruft oder ob durchweg mit einer proportionalen Verkleinerung der Belastungskurven zu rechnen ist, wurden die Kochbelastungscharakteristiken (Abb. 18) in einem Ort aufgenommen von:

1. Nur-Vollverbrauchern,
2. Voll-, Mittel- und Wenigverbrauchern im Sommer,
3. Voll-, Mittel- und Wenigverbrauchern im Winter.

Die beiden letzten Charakteristiken sind also die tatsächlich in dem Versorgungsgebiet aufgetretenen Belastungscharakteristiken. Ein Vergleich miteinander zeigt, daß eine nennenswerte Änderung der Charakteristiken nicht festzustellen ist. Sie sind im Gegenteil einander ähnlich, nur verkleinern sie sich proportional und haben infolgedessen auch geringere Höchstlastanteile. Dieses zeigt Abb. 19, wo die in diesem Ort aufgetretene Höchstlastanteile in Abhängigkeit von der Herdzahl für die drei vorliegenden Fälle dargestellt sind. Alle Kurven verlaufen zueinander parallel.

Die Tatsache, daß in den meisten Haushaltungen der elektrische Herd im Durchschnitt im Winter bedeutend weniger benutzt wird, wirkt sich aber — was bisher noch nicht beachtet worden ist — auf den Belastungsausgleich sehr günstig aus.

Bekanntlich sind die Elektrizitätswerke im Sommer weniger belastet als im Winter. Durch die Einführung des elektrischen Kochens wird eine höhere zusätzliche Sommerbelastung hervorgerufen.

Im Winter, wo die Elektrizitätswerke stärker belastet sind, ist die zusätzliche Kochbelastung nicht so hoch wie im Sommer, so daß die Ausnutzung der Elektrizitätswerke

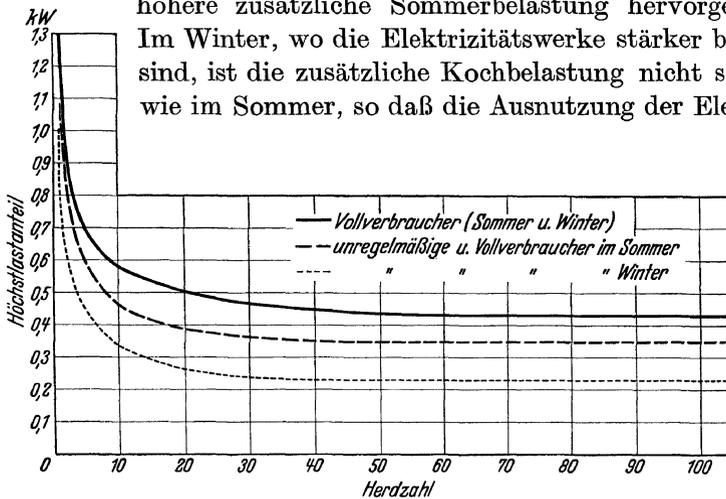


Abb. 19. Höchstlastanteil der verschiedenen Verbrauchergruppen in Abhängigkeit von der Herdzahl.

tätswerke stark gesteigert wird. Dieser Vorteil macht sich besonders bei einer größeren Durchsetzung des Versorgungsgebietes mit elektrischen Küchen angenehm bemerkbar.

5. Der Einfluß der sozialen Schichtung der Bevölkerung auf den Kochstromverbrauch.

Daß die soziale Schichtung der Bevölkerung sich auch auf die Kochkurven auswirkt, ist selbstverständlich. Der verschiedene Lebensstandard der einzelnen Abnehmergruppen wirkt sich auf den Kochstromverbrauch aus. Je höher der Lebensstandard und je besser die Lebenshaltung, um so größer ist der spezifische Kochstromverbrauch. Es ist aber nicht möglich, für die einzelnen Abnehmergruppen zutreffende Stromverbrauchscharakteristiken aufzustellen, da die Anzahl der Abnehmer derselben gesellschaftlichen Schichtung an jedem Ort sehr klein ist und daher noch nicht genügend Messungen durchgeführt werden können. Um den Einfluß der gesellschaftlichen Schichtung zu ermitteln, wurden lediglich die Kochstromverbrauchszahlen in einem süddeutschen Versorgungs-

gebiet in Abhängigkeit von der Anzahl der Personen im Haushalt für folgende fünf Berufsklassen ermittelt:

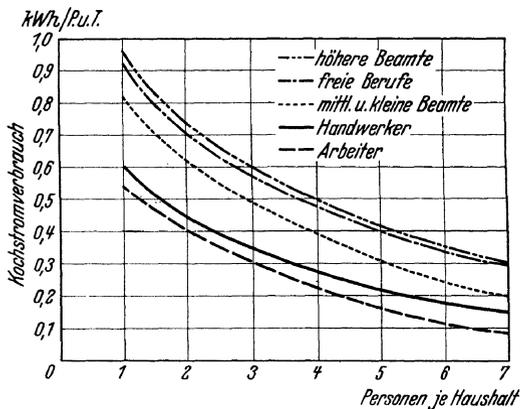


Abb. 20. Kochstromverbrauch in einem süddeutschen Versorgungsgebiet.

und Arbeitern ist er dagegen am niedrigsten. Er bewegt sich hier zwischen 0,1 kWh/Tag und 0,6 kWh pro Tag und Person. Dieselbe Untersuchung wurde in einem norddeutschen Versorgungsgebiet durchgeführt (Abb. 21). Auch hier zeigt es sich, daß der spezifische Kochstromverbrauch bei den höheren Beamten und bei den freien Berufen nahezu gleich ist. In nicht so ausgeprägtem Maße ist es bei den Hand-

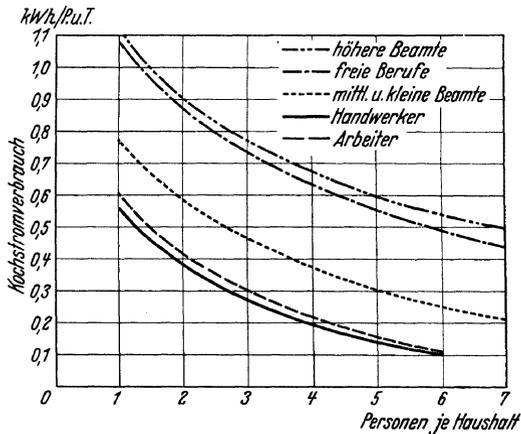


Abb. 21. Kochstromverbrauch in einem norddeutschen Versorgungsgebiet.

des Stromverbrauches etwas höher als im süddeutschen Versorgungsgebiet.

1. Höhere Beamte,
2. Freie Berufe (Ärzte, Juristen usw.),
3. Mittlere und kleine Beamte,
4. Handwerker,
5. Arbeiter.

Wie zu erwarten war zeigt sich (Abb. 20), daß bei höheren Beamten und freien Berufen der höchste spezifische Kochstromverbrauch auftritt. Er schwankt zwischen 0,44 und 1,1 kWh/Tag. Bei Handwerkern

und Arbeitern der Fall. Aber trotzdem beweisen diese Ergebnisse, daß es für weitere Untersuchungen genügt, die Abnehmer in drei Gruppen zu unterteilen.

Die Stromverbrauchskurven beider Versorgungsgebiete stimmen für die mittleren und kleineren Beamten, für Handwerker und Arbeiter fast vollkommen überein. Bei höheren Beamten und freien Berufen liegen die Zahlenwerte

6. Der Einfluß des technischen Aufbaues des Herdes auf den Kochstromverbrauch.

Für den Stromverbrauch ist auch die Größe des Herdes ausschlaggebend. Je größer der Herd ist, um so größer ist der spezifische Kochstromverbrauch. Bei kleineren Herden ist die Hausfrau gezwungen, nacheinander die einzelnen Kochplatten zu benutzen. Infolgedessen sind die Wärme- und Anheizverluste geringer. Die Abb. 22 zeigt den Kochstromverbrauch in Abhängigkeit von der Größe der Familie für verschiedene Herdtypen. Aus dem Verlauf der Kurven geht einwandfrei hervor, daß im Interesse eines sparsamen Kochstromverbrauchs der Herd möglichst klein sein muß. Also nicht nur im Interesse der Elektrizitätswerke, die nach Möglichkeit keine hohe Herdbelastung haben wollen, sondern auch im Interesse der Verbraucher ist stets ein möglichst kleiner Herd zu empfehlen.

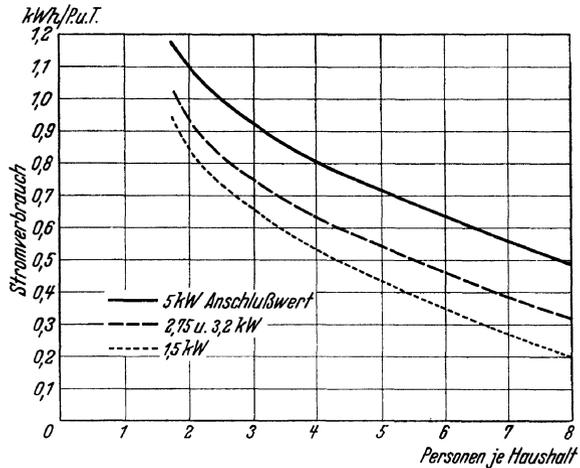


Abb. 22. Stromverbrauch in Abhängigkeit von der Herdgröße.

Auf die Kochkurve ist auch die Art des elektrischen Herdes von ausschlaggebender Bedeutung. Es sind augenblicklich zwei verschiedene Arten von elektrischen Herden im Gebrauch:

1. Plattenherde,
2. Sparherde oder Sparröhren.

Die Plattenherde ähneln den bekannten Kohle- oder Gasherden, wo der Kochtopf auf eine zu erhitzende Platte gesetzt wird. Der Kochprozeß vollzieht sich hier in der altbekannten Weise.

Bei den Sparröhren dagegen kommt der Kochtopf in eine festgeschlossene Röhre, die erwärmt wird. Hat die Röhre und somit auch das Kochgut eine bestimmte Temperatur erreicht, so wird die Stromzuführung unterbrochen. Das Kochgut dämpft und kühlt sich langsam ab, unterschreitet die Abkühlung eine bestimmte Temperatur, so wird die Stromzufuhr automatisch wieder eingeschaltet und das Kochgut wieder auf die zum Dämpfen notwendige Temperatur erwärmt.

Die Sparherde haben den Vorteil, daß sie im Gegensatz zu den Plattenherden nur einen niedrigen Anschlußwert haben (meistens 1 kW) und

der Stromverbrauch bei ihnen auch geringer als bei Plattenherden ist. Es ist allgemein die Ansicht verbreitet, daß infolge des geringen Anschlußwertes auch ein starker Belastungsausgleich stattfindet, die Kochspitze bei Sparherden also geringer als bei Plattenherden ist.

Um diese wirtschaftlichen Fragen einwandfrei zu klären, wurden in einigen Haushaltungen, die einen Sparherd und einen Plattenherd hatten, Belastungsmessungen derart vorgenommen, daß die Hausfrauen eine bestimmte Zeitlang den Sparherd und dann den Plattenherd benutzten, wobei nach Möglichkeit dieselben Gerichte von ihnen wieder gekocht wurden. Es ergab sich, daß der Kochstromverbrauch bei Sparherden durchweg niedriger war. Im Durchschnitt ergab sich ein mittlerer Kochstromverbrauch pro Mahlzeit von 1,27 kWh bei Plattenherden und von

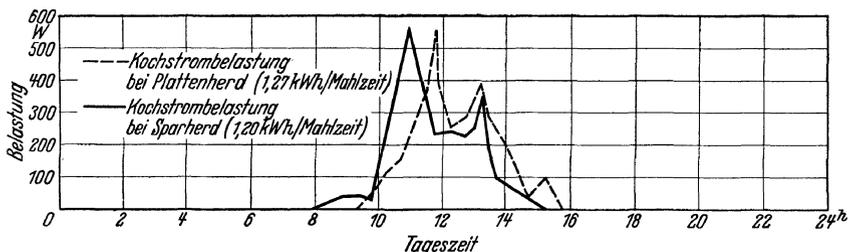


Abb. 23. Vergleich zwischen Plattenherd und Sparherd.

1,20 kWh bei Sparröhren. Die Untersuchung bewies also die Richtigkeit der allgemeinen Anschauungen, daß die Sparherde sparsamer im Stromverbrauch sind.

Ein überraschendes Ergebnis zeigten dagegen die Belastungskurven (Abb. 23). Im Gegensatz zu der landläufigen Ansicht stellte sich heraus, daß die Spitzenbelastung jedesmal gleich hoch ist und 550 Watt/Herd betrug. Der einzige Unterschied ist der, daß bei der Sparröhre die Spitzenbelastung bereits kurz vor 11 Uhr, bei dem Plattenherd dagegen kurz vor 12 Uhr auftritt.

Eine Überlegung hätte auch zu demselben Ergebnis führen müssen. Bei einer Sparröhre muß das Essen bereits früher aufgesetzt werden, so daß auch die Spitze früher auftreten muß. Bei einer Sparröhre ist die benötigte Leistung nicht so groß wie beim Plattenherd. Sie wird aber eine längere Zeit benötigt, so daß ein Ausgleich der Belastungen der Sparröhren untereinander nicht so gut möglich ist wie beim Plattenherd, wo die jeweils benötigten Leistungen stets größer, aber von geringerer Zeitdauer sind. Infolgedessen ist bei den Plattenherden ein größerer Ausgleich möglich.

Aus der Untersuchung ergibt sich also eindeutig, daß die Einführung von Sparherden mit Rücksicht auf die Belastungscharakteristik nicht

notwendig ist. Da die Spitzenbelastung beim Sparherd bereits zu früheren Vormittagszeiten auftritt, wo im allgemeinen die Kraftwerke noch höher belastet sind als zur Mittagszeit, wirkt sich mitunter die Einführung von Sparröhren sogar ungünstiger als die von Plattenherden aus. Auf die Auslegung der Niederspannungs-Verteilungsnetze hat die Frage, Plattenherd oder Sparherd, keinen Einfluß. Bei Sparherden entsteht lediglich der Vorteil, daß die Hausleitungen geringer bemessen werden können.

7. Die Kochbelastung an den einzelnen Wochentagen.

Es wurde bereits auf S. 31 bemerkt, daß die Kochbelastung am Sonnabend und am Sonntag erheblich von den übrigen Kochbelastungen abweicht. Infolge der frühen Beendigung der Arbeitszeit am Sonnabend ist die Mittagsspitze und die frühe Nachmittagsbelastung höher. Oft werden am Sonnabendnachmittag die Sonntagsgerichte vorbereitet, so daß die späte Nachmittags- und die Abendkochbelastung größer wird. Um den Einfluß zu klären, wurden in einem Ort die Kochbelastungskurven an den Werktagen und auch am Sonnabend und am Sonntag ermittelt

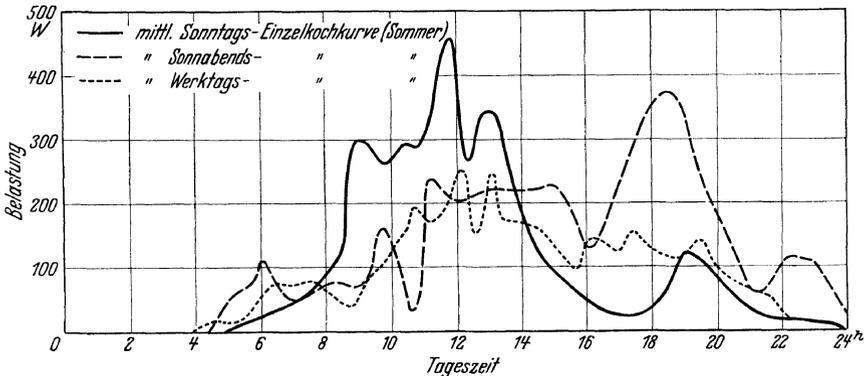


Abb. 24. Einzelkochkurven an verschiedenen Wochentagen.

(Abb. 24). Aus den Kochbelastungskurven geht eindeutig hervor, welchen ungeheuren Einfluß insbesondere die Vorbereitung der Sonntagsmahlzeit auf die Kochbelastung ausübt. Die Belastung um 19 Uhr erhöht sich am Sonnabend um den dreifachen Betrag. Am Sonntag dagegen tritt, wie ja zu erwarten ist, eine ausgeprägte Mittagsspitze auf. Die Mittagsbelastung an einem Sonntag ist beinahe noch einmal so groß wie an einem Sonnabend.

An Festtagen wird die Sonntagskochbelastung noch größer als an gewöhnlichen Sonntagen, da die Zubereitung der Festtagsmahlzeiten einen erhöhten Strombedarf verursacht. Am größten ist die Kochbel-

stung fast immer am 1. Weihnachtsfeiertag, wo sie den 1,4fachen Wert einer gewöhnlichen Sonntagsbelastung erreicht¹.

Man hat früher der Sonnabends- und Sonntagskochbelastung keinerlei Bedeutung beigelegt, da an diesen beiden Tagen die Kraftwerksbelastung bedeutend geringer ist. Dieses trifft zwar für die Kraftwerksbelastung ohne weiteres zu, zum großen Teil wohl auch für die Hochspannungs-Verteilungsanlage. Bei der Niederspannungs-Verteilungsanlage macht sich jedoch der Einfluß der Kochbelastung am Sonnabend und Sonntag sehr stark bemerkbar. Ist im Niederspannungs-Verteilungsnetz keine Belastung von Gewerbebetrieben, deren Fehlen am Sonnabendnachmittag und am Sonntag eine Entlastung des Niederspannungsnetzes bedeutet, vorhanden, so wird die höchste Beanspruchung im Niederspannungsnetz durch die Sonnabends- und Sonntagskochbelastung hervorgerufen. Besonders ist das bei reinen Siedlungen der Fall, wo innerhalb des Netzes kein Ausgleich durch Gewerbebetriebe vorhanden ist. Hier wird sehr oft die Kochbelastung am Sonnabendnachmittag oder am Sonntagmittag von ausschlaggebender Bedeutung für die Bemessung der Netze.

8. Die Heißwasserbereitung im Haushalt.

In jedem Haushalt wird heißes Wasser benötigt. Die Art und Weise, in der die Heißwasserbereitung erfolgt, wirkt sich auch auf die Kochstrombelastung aus. Bisher wurden nur Haushaltungen behandelt, wo keine besonderen Warmwasserbereiter vorhanden waren. Die Warmwasserbereitung erfolgte durchweg auf dem elektrischen Herd. Meistens reicht die Nachwärme der elektrischen Platte nach dem Kochen noch aus, um das benötigte Wasser auf die erforderliche Temperatur zu erwärmen. Wird daher das Warmwasser in besonderen Heißwasserspeichergeräten bereitet, so sinkt der reine Kochstromverbrauch erfahrungsgemäß nur um 10—15%. Die gesonderte Heißwasserbereitung erfolgt — von Schnellkochen abgesehen — in Speichern. Das Wasser wird zu bestimmten Zeiten erwärmt und dann derart gespeichert, daß bedeutende Wärmeverluste nicht auftreten.

Sind aber in einem Haushalt Heißwasserspeicher vorhanden, so wirkt das stets vorhandene Wasser anreizend zum Warmwasserverbrauch. Der Gesamtheißwasserverbrauch einer Familie bei einer vorhandenen zusätzlichen Warmwasserbereitung steigt daher bedeutend an. Die folgende² Zahlentafel 9 zeigt den Heißwasserbedarf in Abhängigkeit von der Familiengröße, der im allgemeinen für die Bemessung der Speicher zugrunde gelegt werden muß.

¹ Über 1300 vollelektrische Wohnungen in der Siedlung „Heimat“. Berlin: Pick, Selbstverlag des S.S.W., Berlin-Siemensstadt 1932.

² Mörtzsch, Fr.: Elektrisches Kochen. Berlin: Julius Springer 1932.

Für die Erwärmung von 10 Liter Wasser normaler Temperatur auf die übliche Temperatur von etwa 85° kann im Durchschnitt ein Stromverbrauch von 1 kWh angenommen werden. Erfolgt daher die Warmwasserbereitung in elektrischen Heißwasserspeichern, so tritt eine bedeutende Steigerung des Verbrauchs an elektrischer Arbeit je Haushalt auf. Es ist erklärlich, daß der spezifische Stromverbrauch für die Heißwasserbereitung ebenso wie der Kochstromverbrauch durch verschiedene Faktoren, Familien-

Zahlentafel 9.

Personen	spezifischer Wasserverbrauch ohne Badewasserbedarf in Liter/Tag	ges. Heißwasserbedarf mit Badewasser in Liter/Tag
2	18	30,3
3	27	45,3
4	34	58,6
5	39	69,6
6	45	80,6

größe, Lebensstandard u. dgl. bedingt ist. Bei Überschlagsrechnungen kann man den spezifischen Stromverbrauch für die Heißwasserbereitung mit 1,3 bis 1,1 kWh pro Kopf und Tag je nach Familiengröße einsetzen. Bei der Heißwasserbereitung in Speichern hat man die Möglichkeit, zu Zeiten niedriger Kraftwerksbelastung, also besonders nachts, das Wasser in wärmeisolierten Gefäßen zu erhitzen. Auf diese Weise kann man einen bedeutenden Belastungsausgleich im Kraftwerk und in den Verteilungsnetzen herbeiführen. Da die Schaltuhren bei den einzelnen Abnehmern auf jede beliebige Zeit eingestellt werden können, ist es theoretisch möglich, einen nahezu vollkommenen Belastungsausgleich herbeizuführen. Infolgedessen üben die Heißwasserspeicher keinen maßgebenden Einfluß auf die Belastungsverhältnisse aus, so daß einwandfreie Untersuchungen nicht notwendig sind. Es dürfte zwar wahrscheinlich sein, daß bei gesonderter Warmwasserbereitung sich die reinen Kochbelastungen ändern, da ja der reine Kochstromverbrauch um 10—15% sinkt. Die Kochstromspitze dürfte sich aber nicht verändern, da das heiße Wasser im allgemeinen vor dem, bzw. nach dem Kochen benötigt wird. Untersuchungen hierüber konnten aber nicht angestellt werden, da eine genügende Anzahl von Abnehmern, bei denen Messungen hätten vorgenommen werden können, nicht vorhanden war.

Die folgende Abb. 25 zeigt, wie sich die elektrischen Heißwasserspeicher, die lediglich mit Nachtstrom betrieben werden, auf die Belastungsverhältnisse einer Siedlung auswirken. Die gesamte Haushaltsbelastung ohne Heißwasserspeicher erreicht den Höchstwert zur Mittagszeit. Die Abendspitze, die überwiegend durch die Lichtbelastung hervorgerufen ist, beträgt 200 W. Durch die Heißwasserspeicher wird nun eine zusätzliche Nachtbelastung verursacht, die bewirkt, daß die Spitzenbelastung in der Siedlung nachts auftritt. Die Belastung durch Heißwasserspeicher je Haushalt ist also größer als die Kochbelastung. Die Spitzenbelastung wird durch den Speicher hervorgerufen und es kann

bei einer starken Durchsetzung eines Versorgungsgebietes mit elektrischen Speichern der Fall eintreten, daß die Spitzenbelastung durch die Speicher nachts hervorgerufen wird.

Es sei daran erinnert, daß in der Schweiz bei verschiedenen Elektrizitätswerken die Belastungsspitze nicht am Tage, sondern in der Nacht durch die Heißwasserbereiter hervorgerufen wird. Augenblicklich macht sich in Deutschland dieser Nachteil der Heißwasserspeicher noch nicht bemerkbar, da vorläufig eine so hohe Durchsetzung mit Heißwasserspeichern in keinem Versorgungsgebiet erreicht ist. Bei Planung von Siedlungen wird aber, falls jeder Haushalt einen elektrischen Heißwasser-

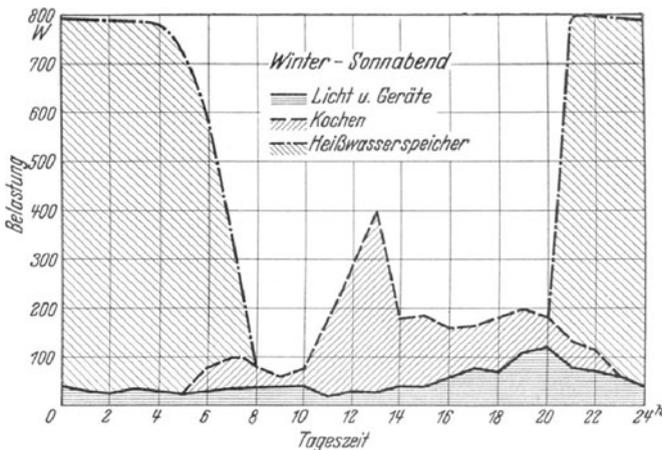


Abb. 25. Haushaltsbelastung in einer großstädtischen vollelektrifizierten Siedlung.

bereiter erhält, die Speicherspitze ausschlaggebend für die Dimensionierung der Netze.

Diese Nachtspeicher haben außerdem noch den Nachteil, daß sie verhältnismäßig früh eingeschaltet werden müssen, praktisch am Tage vorher, damit eine hinreichende Erwärmung des Wassers nachts stattfinden kann. Da eine Hausfrau nie voraussehen kann, ob bzw. wieviel Heißwasser sie am nächsten Tage braucht, ist sie gezwungen, stets den ganzen Speicher vorher zu erwärmen, um am anderen Tage genügend warmes Wasser zu haben. Reicht nun das warme Wasser nicht aus, so muß die Hausfrau bis zum nächsten Tage warten, um wieder warmes Wasser dem Speicher entnehmen zu können. Außerdem treten natürlich stets Wärmeverluste infolge der Abkühlung auf. Das Bestreben der elektrische Geräte herstellenden Industrie ist es, einen elektrischen Durchlauferhitzer zu entwickeln, der ähnlich wie die bisherigen Gasdurchlauferhitzer im Augenblick des Bedarfs das Wasser erwärmt. Bisher haben sich aber die entwickelten Konstruktionen noch wenig bewährt. Hinzu kommt, daß

auch die Elektrizitätswerke dem Durchlauferhitzer ablehnend gegenüberstehen, da bereits für die schnelle Erwärmung von geringen Mengen Wasser bedeutende Anschlußwerte notwendig sind.

Durchgesetzt hat sich dagegen besonders für den Gebrauch in Küchen eine Kombination zwischen Speicher und Durchlauferhitzer, der Durchlaufspeicher, der wie folgt arbeitet: In einem wärmeisolierten Gefäß von etwa 3—8 Liter Inhalt befinden sich zwei übereinander angeordnete Heizelemente mit einem Anschlußwert von je 1 kW. Wird der Speicher eingeschaltet, so wird zuerst durch das oben befindliche Heizelement das Wasser erwärmt, welches sich im oberen Teil des Speichers befindet. Hat dieses Wasser eine bestimmte Temperatur erreicht (85°C) und wird das Wasser dem Speicher entnommen, so schaltet ein Regler automatisch das obere Heizelement aus und das untere ein, so daß jetzt der gesamte Speicherinhalt erwärmt wird. Man hat z. B. bei einem 8 Liter-Durchlauf-

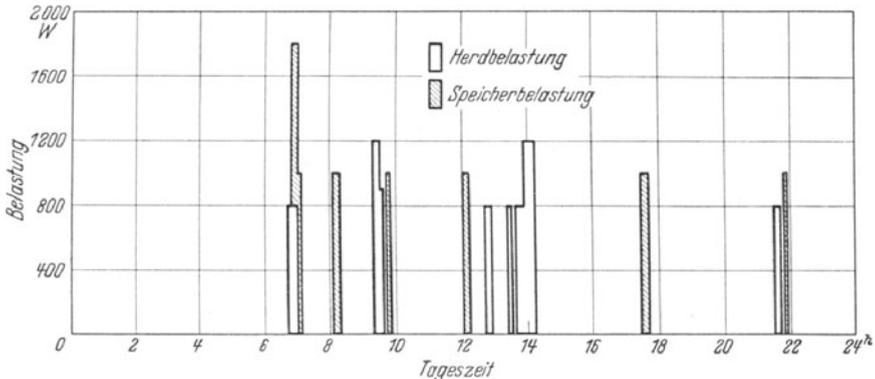


Abb. 26. Herd- und Durchlaufspeicherbelastung in einem Haushalt.

speicher die Möglichkeit, schon nach etwa 12 Minuten zwei Liter Wasser, oder nach etwa 45 Minuten acht Liter heißes Wasser von 85°C dem Speicher zu entnehmen.

Dieser Speicher hat den Vorteil, daß man das Wasser fest im Augenblick des Bedarfs herstellen kann, also stets das benötigte Wasser vorhanden ist. Hinzu kommt, daß Wärmeverluste nicht auftreten können und infolgedessen der Strombedarf für die Erwärmung einer bestimmten Wassermenge geringer ist, als bei Nachtspeichern. Im ersten Augenblick scheint aber dieser Speicher den Nachteil zu haben, daß ein Belastungsausgleich nicht künstlich herbeigeführt werden kann. Daher stieß die Einführung dieses Speichers zuerst auf den Widerstand der Elektrizitätswerke, der heute noch nicht voll überwunden ist.

Um die Frage zu klären, wie sich die Belastungscharakteristik eines derartigen Speicher praktisch auswirkt, wurde die Belastungscharakteristik von Tagesspeichern¹ aufgenommen und gleichzeitig in den betref-

¹ Die Messungen wurden in Zusammenarbeit mit der Firma Eltron ausgeführt.

fenden Haushaltungen die Kochbelastung gemessen. Hierbei stellte sich heraus, daß der Durchlaufspeicher fast stets vor dem bzw. nach dem Kochen benutzt wird. Dieses ist auch verständlich, da das Wasser vor dem Kochen für die Zubereitung der Speisen bzw. nach dem Kochen für Spülzwecke gebraucht wird. Es ist klar, daß bisweilen eine gleichzeitige Benutzung des Herdes und des Heißwasserbereiters auftreten kann, wie es auch der Belastungsverlauf auf Abb. 26 zeigt. Die Auslegung der Hausleitung muß daher für den gemeinsamen Anschlußwert von Herd und Speicher erfolgen. Im Verteilungsnetz macht sich dagegen der Ausgleich der Herdbelastung mit der Speicherbelastung günstig bemerkbar (Abb. 27). Die durch die Heißwasserbereitung hervorgerufene Spitzen-

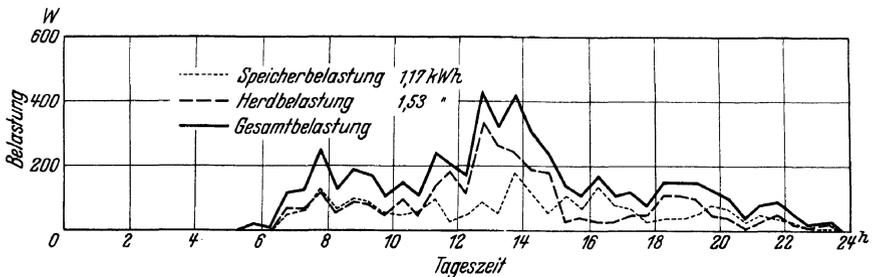


Abb. 27. Mittlere Gesamtbelastung eines Haushalts durch Herd und Speicher (Winterwerktag).

belastung liegt am frühen Nachmittag (13.45 Uhr), während die höchste Kochbelastung um 12.45 Uhr auftritt. Der besseren Übersicht wegen ist noch in Abb. 27 die Herdbelastung und die Speicherbelastung übereinander gelagert gezeichnet. Durch den Heißwasserspeicher wird die Kochbelastung nur um 80 W erhöht. Der Stromverbrauch des Herdes beträgt 1,53 kWh, der des Speichers 1,77 kWh. Die tägliche Belastungsdauer der Spitzenbelastung im Haushalt erhöht sich somit von

$$h_s = \frac{1,520 \text{ kWh}}{340 \text{ W}} = 4,5 \text{ Std. auf } h_s' = \frac{1,530 + 1,170 \text{ kWh}}{420 \text{ W}} = 6,43 \text{ Std.}$$

Die Befürchtungen, daß durch Durchlaufspeicher eine ausgeprägte Erhöhung der Kochspitze hervorgerufen wird, sind also unbegründet. Der Tagesspeicher bewirkt vielmehr ebenso wie der Nachtspeicher einen Ausgleich im Netz und Kraftwerk. Dieser Gesichtspunkt ist besonders für vollelektrifizierte Siedlungen von Bedeutung, wo die gleichzeitige Anwendung von Tagesspeichern und Nachtspeichern die Möglichkeit gibt, einen idealen Belastungsausgleich zu erzielen, während bisher aus Furcht vor der Speicherspitze nur ein bestimmter Prozentsatz der Wohnungen mit elektrischen Speichern ausgerüstet wurde.

Die Kosten der Kochstromlieferung.

1. Die Wirtschaftlichkeit der Kochstromversorgung.

In den vorstehenden Untersuchungen wurde gezeigt, welche Faktoren einen Einfluß auf die Belastungscharakteristik bei der Versorgung eines Haushalts mit Kochstrom und somit auf die Wirtschaftlichkeit ausüben. Da diese Faktoren zum überwiegenden Teil durch die soziale Struktur der Bevölkerung des Versorgungsgebietes bedingt sind, ist es nicht möglich, ein allgemeingültiges Urteil über die Wirtschaftlichkeit der Kochstromversorgung abzugeben. Wohl aber erlauben die angestellten Untersuchungen für Versorgungsgebiete, deren Struktur hinreichend bekannt ist, Betrachtungen über die Wirtschaftlichkeit der Kochstromversorgung anzustellen, und die Fragen zu klären, ob eine Kochstromversorgung wirtschaftlich erscheint. Falls bei einer geringen Anzahl von Abnehmern elektrische Herde vorhanden sind, können mit der geschilderten Methode der Einzelmessung durch Auswahl bestimmter Abnehmer und Tage mit hinreichender Genauigkeit die charakteristischen Kochstrombelastungen in diesem Gebiet ermittelt werden. Mit diesen Belastungsmessungen können dann einwandfreie Untersuchungen über die Wirtschaftlichkeit der Kochstromberechnung angestellt werden.

An einem Beispiel soll der Verlauf einer solchen Untersuchung gezeigt werden. Dasselbe Versorgungsgebiet, das bereits auf S. 17 mit den Belastungscharakteristiken der einzelnen Abnehmergruppen geschildert worden ist, wird der Betrachtung zugrunde gelegt. Ausgegangen wird von der Charakteristik der Niederspannungsverbraucher (Abb. 28) am Tage der Höchstlast. Auf diese Belastungskurve werden soviel Kochstromabnehmer überlagert, daß der größte mögliche Ausgleich im Niederspannungsnetz erzielt wird. Dieses ist der Fall, falls die Abendspitze gleich der Mittagsspitze ist. Für die Überlagerung wurde die auf S. 38 dargestellte Kochkurve von Vollverbrauchern benutzt, da angenommen wurde, daß hier ähnliche Verhältnisse in der Zusammensetzung der Bevölkerung vorhanden sind, wie in dem Ort, dessen Kochcharakteristik in Abb. 18 dargestellt ist. Es können 15 000 Vollverbraucher angeschlossen werden, ehe ein vollständiger Ausgleich im Niederspannungsnetz auftritt. Da nach Zahlentafel 7 40 000 Haushaltsabnehmer im Versorgungsgebiet vorhanden sind, tritt also eine Sättigung erst ein, wenn 37,5%

aller Haushalte elektrisch kochen. Da nun aber nur ein Teil der Kochstromabnehmer Vollverbraucher sind, können tatsächlich mehr Abnehmer mit Kochstrom beliefert werden, bis diese Sättigungsgrenze erreicht ist. Der Höchstlastanteil bei allen Verbrauchern beträgt nur 350 W gegenüber 430 W bei Vollverbrauchern. Es könnten also tatsächlich 18 500 Abnehmer mit Kochstrom beliefert werden, ehe eine Sättigung eintritt.

Für die Überlagerung hätte eigentlich die Winterkochbelastung genommen werden müssen. Das Niederspannungsnetz ist aber für die Höchstbelastung im Winter ausgelegt. Würde man einen vollständigen Belastungsausgleich im Winter durch Kochstrombelastung herbeiführen,

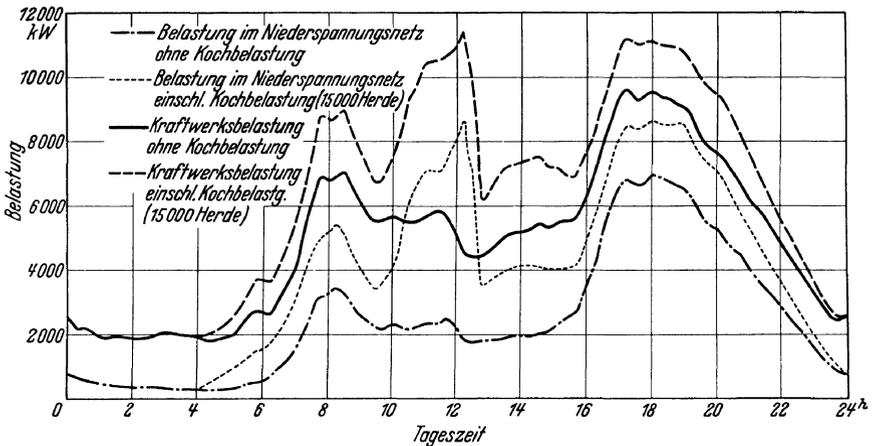


Abb. 28. Kraftwerksbelastung und Belastung im Niederspannungsnetz mit und ohne Kochbelastung.

so würde infolge des erhöhten Stromverbrauches im Sommer eine ausgesprochene Kochspitze entstehen.

Überlagert man daher, wie hier geschehen, die Sommerkochbelastung auf die Höchstbelastungskurve im Winter, so hat man eine genügende Sicherheit dafür, daß keine neue Belastungsspitze entsteht. Wenn man, wie hier geschehen, die Kochbelastungskurve von Vollverbrauchern statt der tatsächlichen Kochbelastung nimmt, hat man die Sicherheit, daß an Tagen mit einer ausgesprochenen Kochbelastungsspitze (z. B. Sonntags) keine übermäßigen Höchstbelastungen auftreten. Die Niederspannungsbelastung ist ja meistens am Sonntag und am Sonnabendnachmittag geringer, so daß auch die erhöhte Kochbelastung keine Spitzenbelastungen hervorruft.

Die Kochbelastung muß jetzt auch auf die Belastungskurve des Kraftwerkes und der Hochspannungsanlage übertragen werden. Um die Darstellung übersichtlich zu gestalten, und da die Unterschiede zwischen der Kraftwerks- und Hochspannungsbelastung sehr gering sind, ist dieses

nur für das Kraftwerk geschehen. Es zeigt sich, daß durch die Kochbelastung eine bedeutende Erhöhung der Spitzenbelastung nicht hervorgerufen wird. Die Kochbelastung gleicht viel mehr auch die Kraftwerks-

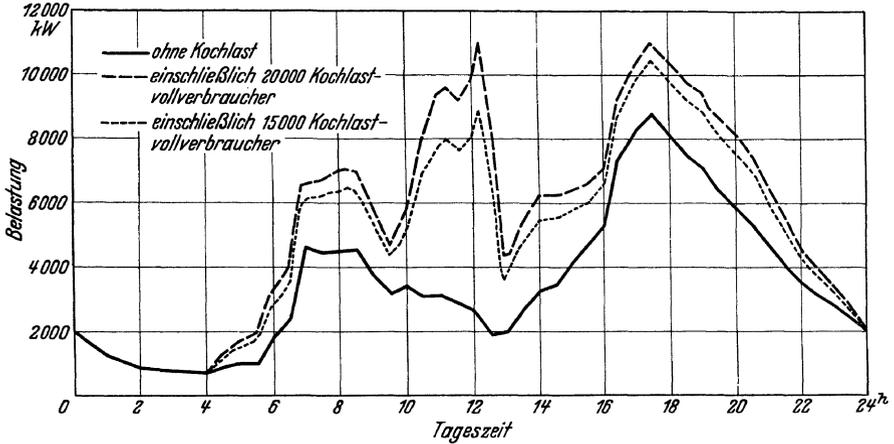


Abb. 29. Belastung im Niederspannungsnetz.

belastung in idealer Weise aus. Zu berücksichtigen ist ferner, daß ja der Kochbelastungsverlauf im Winter bedeutend geringer als im Sommer ist, so daß die Überlagerung der Sommerkochkurve von Vollverbrauchern

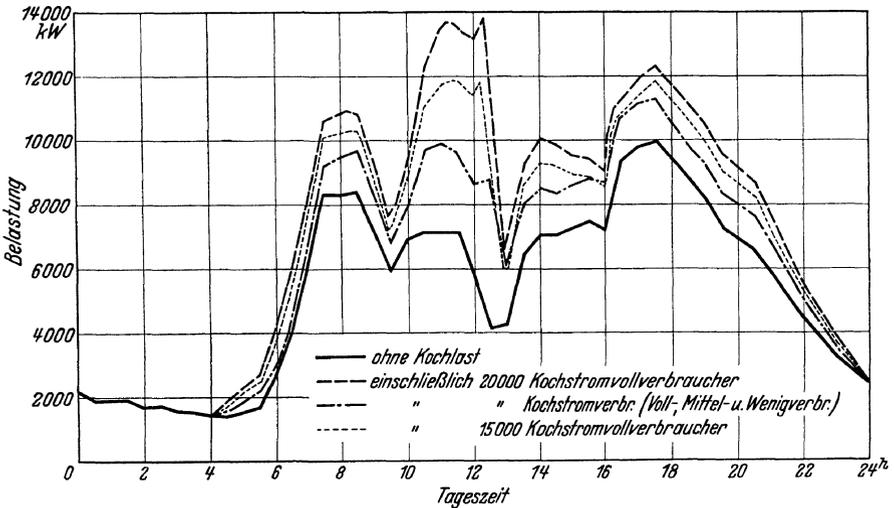


Abb. 30. Belastung eines Kraftwerkes am Tage der Winterhöchstlast.

auf die Winterbelastung eine Erhöhung der Spitze hervorruft, wie sie tatsächlich nicht auftritt.

Um zu klären, ob vielleicht bei einem vollständigen Ausgleich im

Verteilungsnetz durch Kochstrom bedeutende Erhöhungen der Kraftwerksbelastungen hervorgerufen werden können, wurde eine Überlagerung für mehrere Versorgungsgebiete vorgenommen. Den ungünstigsten Fall, der gefunden wurde, zeigen die Abb. 29 u. 30. Hier ist die Überlagerung für das Versorgungsgebiet vorgenommen worden, von dem R. Schneider¹ einmal die Belastungscharakteristiken veröffentlicht hat. Ein vollkommener Ausgleich wird im Kraftwerk bereits bei 15 000 Abnehmern erreicht, während die Sättigung im Niederspannungsnetz dagegen erst bei 20 000 Abnehmern erreicht wird. Aber selbst für diesen ungünstigen Fall ist bei vollständigem Ausgleich durch Kochbelastung im Niederspannungsnetz keine Kraftwerksspitze zu erwarten, da ja die Kochstrombelastung im Winter bedeutend geringer ist. In der Abb. 30 wurde noch der Verlauf der Kochbelastung im Winter für 20 000 Herde, wie er infolge der Durchsetzung von Vollverbrauchern mit Mittel- und Wenigverbrauchern zu erwarten ist, auf die Kraftwerksbelastung überlagert. Es zeigt sich, daß die Mittagsspitze im Kraftwerk noch nicht einmal die Abendbelastung erreicht.

2. Berechnung der Kosten für die Lieferung von Kochstrom.

Wenn auch diese Ergebnisse eine Wirtschaftlichkeit der Kochstromlieferung im allgemeinen erwarten lassen, so sollen jetzt noch, um die Wirtschaftlichkeit zu zeigen, die Kosten für die Kochstromlieferung ermittelt werden. Um ungünstige Verhältnisse zu untersuchen, soll angenommen werden, daß lediglich Vollverbraucher vorhanden sind, aber ihre jährliche Stromabnahme soll der von Mittelverbrauchern entsprechen und nur 600 kWh/Jahr und Herd betragen.

Um die Berechnung vornehmen zu können, wird die Annahme getroffen, daß eine neue Abnehmergruppe, die Kochstromabnehmer, zu den in Abb. 9 dargestellten Abnehmergruppen hinzutreten. Für diese Abnehmergruppe sollen dann die Kosten für die Lieferung von 1 kWh nach der Gl. (6) berechnet werden. Es folgt zuerst eine Zusammenstellung der benötigten Werte, die der Abb. 28 entnommen sind. Es ist:

$$S_{Koch} = 6450 \text{ kW}$$

$$S_{Kk} = 1600 \text{ ,,}$$

$$S_{Hk} = 1600 \text{ ,,}$$

$$S_{Nk} = 1600 \text{ ,,}$$

¹ Schneider, R.: Die Verfahren für die Verteilung der festen Kosten in der elektrischen Energiewirtschaft. ETZ 1932 Heft 2 S. 34.

Anschlußwert der Herde 41 250 kW.

Zusätzliche Anschlußkosten für einen Herd von 2,75 kW. Anschlußwert 20 RM.

Die Jahresarbeit von 15 000 Herden beträgt:

$$F_{Koch} = 15\,000 \cdot 600 \text{ kWh} = 9\,000\,000 \text{ kWh.}$$

Die Benutzungsdauern des Anteils an der Werkshöchstlast ergeben sich für die Gruppe Kochstromabnehmer zu:

$$h_{sWk} = 5620 \text{ Std.}$$

$$h_{sWH} = 5620 \text{ ,,}$$

$$h_{sWN} = 5620 \text{ ,,}$$

$$h_{\ddot{u}} = 218 \text{ ,,}$$

Die Kosten für die Stromlieferung ergeben sich dann unter Benutzung der Zahlentafeln 7 u. 8 für die Kochstromabnehmer nach Gl. (6) zu:

$$\begin{aligned} k_{Koch} &= \left[\frac{360 \cdot 17,2}{5620} + \frac{600 \cdot 12,69}{5620} + \frac{750 \cdot 15,38}{5620} + \frac{2,75}{20} \cdot 32,3 \right. \\ &\quad \left. + 1,3 (1 + 0,03 + 0,10) \right] 1,05 \\ &= [1,1 + 1,352 + 2,05 + 1,08 + (1,3 \cdot 1,13)] 1,05 \\ &= 7,4 \text{ Pfg/kWh.} \end{aligned}$$

Die Gesamtkosten für 1 kWh Kochstrom ergeben sich für den angenommenen ungünstigsten Fall somit zu 7,4 Pfg/kWh. Der Preis einer Ware wird bestimmt durch die Wertschätzung beim Abnehmer und durch die Konkurrenzfähigkeit gegenüber anderen Fabrikaten. Der elektrische Strom für Kochzwecke hat sich in erster Linie gegen das Haushaltsgas durchzusetzen, welches im allgemeinen für 20 Pfg/m³ geliefert wird. Da die Verbrauchszahlen von Gas und Elektrizität für das Kochen sich wie 1:2,5 verhalten, darf der Preis einer Kilowattstunde nicht mehr als 8 Pfg/kWh betragen, also 1/2,5 des Gaspreises. Die Untersuchung beweist, daß eine Kochstromlieferung zu einem konkurrenzfähigen Preis von 8 Pfg. pro Kilowattstunde durchaus auch in ungünstigsten Fällen möglich ist. Nur in den seltensten Fällen sind Bedenken gegen die Einführung von Elektrowärme im Haushalt aus allgemeinwirtschaftlichen Gesichtspunkten gerechtfertigt. Zu erwähnen ist noch, daß erst ein Überschreiten der Sättigungsgrenze und eine Mittagsspitze zu befürchten ist, wenn mehr als vier Millionen Haushalte in Deutschland elektrisch kochen.

Aus der vorliegenden Studie geht somit einwandfrei hervor, daß die Kochstromversorgung des Haushalts die Belastungen im Niederspannungsnetz und auch im Kraftwerk in idealer Weise ausgleicht und außerdem fast immer zu durchaus wirtschaftlichen Bedingungen möglich ist.

Die Übernahme der Wärmeversorgung der Haushaltsküche durch die Elektrizitätswerke war daher keine durch die Wirtschaftskrise bedingte Notmaßnahme, sondern lediglich durch die wirtschaftlichen Vorteile derselben bedingt. Die vorliegende Untersuchung zeigt aber auch die günstigen Aussichten, die für die weitere Übernahme der Elektrowärmeversorgung des Haushalts durch die Elektrizitätsversorgung bestehen und die auch aus volkswirtschaftlichen Interessen im Rahmen des wirtschaftlich Möglichen durch eine günstige Tarifgestaltung besonders zu fördern ist.

Literaturverzeichnis.

- Berliner Städtische Elektrizitätswerke, A.-G., Denkschrift: Zur Zukunft der Berliner Elektrizitätsversorgung.
- Hoppenstedt, R. und H.: Die Elektrizitätswirtschaft im Deutschen Reich. Berlin: Spezialarchiv der deutschen Wirtschaft.
- Jahrbücher der Verkehrsdirektion der Bewag 1929, 1931 und 1934.
- Jahresstatistik der Vereinigung der Elektrizitätswerke.
- Knight: Peak responsibility as a basis for allocating fixed costs. Elektr. Wld., N. Y. Bd. 87 S. 495.
- Laufer: Kilowatt und Kilowattstunde in vollektrischen Wohnungen. Elektr.-Wirtsch. 1931 Nr. 12.
- Mörtzsch, Fr.: Elektrisches Kochen.
- Nissel: Der Einfluß des $\cos \varphi$ auf die Tarifgestaltung der Elektrizitätswerke. Berlin: Julius Springer 1928.
- Pick, Berlin: Über 1300 vollektrische Wohnungen in der Siedlung „Heimat“. Selbstverlag des SSW Berlin-Siemensstadt 1932.
- Pirrung: Elektrizitätstarife, 1932. Verlag der Vereinigung der Elektrizitätswerke.
- Rückwardt: Selbstkostenberechnung elektrischer Arbeit, ihr Aufbau und ihre Durchführung. Verlag Oldenbourg 1933.
- Schneider: Die Verfahren für die Verteilung der festen Kosten in der elektrischen Energiewirtschaft. ETZ 1932 S. 5 u. 33.
- Schmude, Dr.: Die erste Verwendung der Elektrizität in größerem Umfang in einer Siedlung und ihr Erfolg. Elektr.-Wirtsch. 1931 Nr. 12.
- Schönberg, A.: Die elektrische Küche. ETZ 1928 S. 9ff.
- Statistisches Jahrbuch für das Deutsche Reich.
- Willing: Der Einfluß eines Haushaltstarifes auf den Stromverbrauch. Öffentl. Elektr.-Werk 1934, 1. Februar 1934.
- Willing und Kogelschatz: Schwedische Elektrizitätstarifpolitik. ETZ 1934 S. 118f.
- Windel: Der Einfluß der festen Kosten auf den Gestehungspreis. Öffentl. Elektr.-Werk 1934 S. 225.
- Windel, W.: Aufbau und Entwicklungsmöglichkeiten der europäischen Elektrizitätswirtschaft. Berlin: Verlag Schwarz, Goldschmidt u. Co.
- Windel, W. und Wendhut: Die Analyse eines Belastungsgebietes durch Messungen. Kommun. Elektr.-Werk 2. bis 3. Jahrg. 1931 und 1932.
- Wirtschaft und Statistik 1934.

Weitere Angaben über die benutzte Literatur und die getätigten Untersuchungen befinden sich:

- Bauermeister, Diplomarbeit: Es ist in Randstadtsiedlungen die Wirtschaftlichkeit der Einführung von Elektrowärme zu untersuchen.
- Buch, Berlin: Neuere Betriebswerte und wirtschaftliche Erkenntnisse über den Einfluß des elektrischen Kochens auf die Netzbelastung im MEW-Versorgungsgebiet. Fortschritte in der Elektrifizierung des Haushalts, S. 77. Berlin: VDEW-Verlag 1931.

- Dettmann, Diplomarbeit: Unter welchen wirtschaftlichen Bedingungen können die deutschen Elektrizitätswerke den Absatz von Elektrowärmestrom fördern unter Beachtung der Struktur des jeweiligen Versorgungsgebietes.
- Eisenmenger-Arnold: Die Stromtarife der Elektrizitätswerke. München und Berlin: Oldenbourg 1929.
- Götze, Diplomarbeit: Es sind durch Messungen die Kochbelastungen in Randstadtsiedlungen zu ermitteln und Untersuchungen über die Wirtschaftlichkeit des elektrischen Kochens in Randstadtsiedlungen hinzustellen.
- Härry: Der Verbrauch von Gas und Elektrizität für den Kochherd. Zürich (Schweiz): Brulletin des SEV 1928, S. 477.
- Haßler: Belastungsverhältnisse beim elektrischen Herd und Heißwasserspeicher. Zürich (Schweiz): Brulletin des SEV 1929, S. 736.
- Heitmeier und Zanke, Diplomarbeit: Es ist das Belastungsgebirge der Stadt Belgard (an der Peranthe) unter besonderer Berücksichtigung der Heißwasserspeicher und der elektrischen Herde zu analysieren; Vorschläge für die Beeinflussung des Belastungsgebirges sind aufzustellen.
- Kittler, Eßlingen: Erfahrungen in der Einführung von elektrischen Haushalteküchen. Elektr.-Wirtsch. 1930 S. 483.
- Ludewig: Grundlagen, Entwicklung und Stand der Lieferpreise für elektrische Arbeit. Berlin: Karl Heymann 1932.
- Mörtzsch, Fr.: Belastungsverhältnisse beim elektrischen Kochen. Elektr.-Wirtsch. 1930 S. 625.
- Mörtzsch: Vereinfachtes Annäherungsverfahren zur Bestimmung der Höchstlast beim elektrischen Kochen. Elektr.-Wirtsch. 1931 S. 359.
- Pfister: Über die Einführung der elektrischen Küche im Versorgungsgebiet der Gesellschaft des Aar- und Emmentals, A.-G. Elektr.-Verwertg. 1931 S. 134.
- Rappold, Diplomarbeit: Es sind einwandfreie Kochstromverbrauchszahlen zu ermitteln.
- Schönberg: Bericht über Schwandorfer und Schweinfurth elektrische Siedlungen, S. 23. Berlin: Elektr. Kochen, VDEW-Verlag 1929.
- Siegel: Verkauf elektrischer Arbeit.
- Stiefel, Basel (Schweiz): Maßnahmen zur Förderung der Nachtstromverwendung in der Stadt Basel. Werbeleiter 1929 S. 218.
- Vinding: Beiträge zur Lehre der Elektrizitätstarife. Kopenhagen: Danmarks Naturvidenskabelige Selskab 1933.

Lebenslauf.

Eduard Willi Willing, geboren am 8. Februar 1907 zu Berlin als Sohn des Werkzeugdrehers Eduard Willing und seiner Ehefrau Bertha, geb. Kreuzner.

Schulbesuch: Gemeindeschule in Berlin, Volksschule in Sachsenhausen, Realgymnasium in Oranienburg. Reifeprüfung als Extraner an der Kirschner-Oberrealschule in Berlin.

Studium der Elektrotechnik an der Technischen Hochschule zu Berlin, von 1926 bis zur Diplomhauptprüfung 1931. Praktische Tätigkeit bei den Firmen: Bergmann A.-G., Knorrbremse A.-G. und Siemens-Schuckert-Werke A.-G.

Weitere Tätigkeit: Assistent für Elektrizitätswirtschaft bei Professor Dr. Dr. Windel, stellvertretender Leiter der Abteilung Energiewirtschaft des Amtes für Technik, Reichsleitung NSDAP. und stellvertretender Leiter des Elektroverbandes für weltwirtschaftliche Aufbauarbeit e. V. Seit dem 1. April 1935 Oberingenieur an der Technischen Hochschule Berlin und Hilfsarbeiter im Reichs- und Preußischen Ministerium für Wissenschaft, Erziehung und Volksbildung.

Berlin, den 16. Dezember 1935.

Willing.