

Energiequellen für die chemische Industrie

In Nummer 5 des Jahrganges 1949 (S. 101—22) wiesen wir auf die kritische Versorgungslage im Energiesektor hin, und in einer ersten Artikelserie wurden die Verhältnisse in der chemischen Industrie beleuchtet. Zur Behandlung kamen «Die Atomkernreaktion als Energiequelle» (Dr. R. DISS); «Wärmewirtschaftliche Probleme in der Ciba Aktiengesellschaft, Basel» (Ing. E. ZEHNDER); «Die Wärmepumpe für Heizungen und Eindampfungen in der chemischen Industrie» (Dir. R. PETER); «Das Stadtgas in der chemischen Industrie» (Dr. H. DEFRINGER).

Die vorliegende Nummer ist der Elektrizität gewidmet. Einleitend wird die «Elektrizität in der chemischen Industrie» (Ing. N. FEIDER) behandelt. Es folgt ein Artikel über «Die elektrolytische Wasserstoffherstellung in der Industrie» (Obering. B. STORSAND). Den Abschluß bildet ein Beitrag über «Galvanische Stromerzeugung in Primär- und Sekundärelementen», zugleich Teil III der «Aufgaben und Probleme der neuzeitlichen Elektrochemie» (Prof. Dr. FR. MÜLLER). Ein Artikel über die Alkalimetallelektrolyse ist für eine spätere Nummer vorgesehen. «Die schweizerische Aluminiumerzeugung» (Prof. Dr. A. v. ZERLEDER) wurde bereits behandelt (Chimia 4, 69, 1948). Artikel über Kohle und Erdöl stehen noch aus.

Redaktion

Elektrizität in der chemischen Industrie

Von Ing. N. FEIDER, Zürich

Elektrizität ist Energieträger, eine Energieform, die sich leicht in die Nutzenergien Licht, Kraft, Wärme umwandeln läßt. In der chemischen Industrie bedarf man einerseits dieser Nutzenergien, anderseits aber auch direkt der elektrischen Energie — als Beispiel sei die Elektrolyse erwähnt. Licht und motorische Kraft werden heute fast ausschließlich elektrisch erzeugt. Anders ist es auf dem Gebiet der Wärme; der elektrischen Energie stehen Holz, Kohle, Gas, Öl gegenüber. Die Versorgung eines Verbrauchsgebietes ist schematisch in Abb. 1 dargestellt.

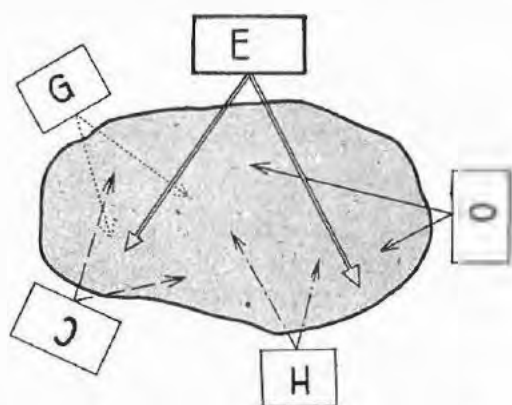


Abb. 1. Schematische Darstellung der Versorgung eines Verbrauchsgebietes mit den Rohenergien Kohle C, Gas G, Elektrizität E, Öl O und Holz H.

Die Anteile der verschiedenen Energieträger am Gesamtbedarf (Tab. 1) bestimmt der Verbraucher auf dem freien Markt. Seine Wahl hängt ab vom

Verwendungszweck, der subjektiven Wertschätzung und vom Preis. Während der Preis in einem bestimmten Zeitpunkt vom Gleichgewicht zwischen Angebot und Nachfrage bestimmt ist, wirkt die subjektive Wertschätzung als unbekannte Größe. Betriebssicherheit, gute Regulierfähigkeit, Sauberkeit, Einfachheit der Bedienung u. a. m. sind Faktoren, die sich nicht in Franken und Rappen ausdrücken lassen, die aber oft bei der Wahl des Energieträgers eine entscheidende Rolle spielen. Wie deckte die Schweiz im letzten Vorkriegs-Betriebsjahr ihren Netto-Nutzenergiebedarf von 22200 Md. kcal? Darüber geben Tab. 2 und Abb. 2 Auskunft. Ein Blick in die letzte Kolonne zeigt, daß die chemische Industrie sich schon früh der elektrischen Energie bediente — 72 %, bezogen auf ihren Gesamtenergiebedarf, deckte sie 1938/39 elektrisch. Diese 72 % entsprechen in Abb. 2 dem schwarzen Teil des Ch-Feldes, das seinerseits 5.6 % des Energiebedarfs der Schweiz ausmachte. Licht wurde fast zu 100 % elektrisch er-

Tabelle 1

Netto-Nutzenergiebedarf der Schweiz im Jahre 1938/39

Nutzenergie	Bedarf in Md. kcal	Bedarf in %
Licht	300	1,3
Motorische Arbeit	1700	7,7
Chemie	1200	5,6
Wärme	19000	85,4
Gesamtbedarf	22200	100

Table 2
Energiedeckung und Energiebedarf im Betriebsjahr 1938/39

Energiedeckung				Energiebedarf	
Energieträger		Wärmetotal verfügbare Einheit	Verfügbare Menge in Mio. kWh	Nutzenergie	Durchschnittlicher Bedarf
E	Elektrische Energie hydraulisch erzeugt	14,0	7 500	L Licht	100
O	Öl	10,5	4 120	K Kraft	71
C	Kohle	55,5	23 000	Ch Chemie	72
H	Holz	12,0	4 813	W Wärme	7

zeugt; am unansehnlichsten ist der Anteil der elektrischen Energie im Wärmesektor. Kohle (Gas), Öl und Holz deckten rund 94 % des Wärmebedarfs. Holz stammte zu 10,5 % aus dem Inland; 1,5 % mußte importiert werden. Kohlen besitzt die Schweiz nur in bescheidenem Ausmaß, Öl überhaupt nicht. Es ist deshalb nicht verwunderlich, daß sich wäh-

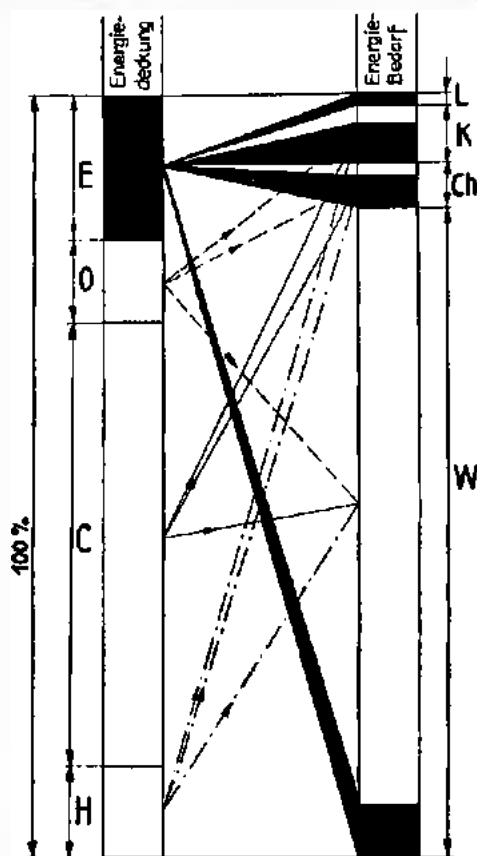


Abb. 2. Netto-Nutzenergiebedarf der Schweiz im Jahre 1938/39 und dessen Deckung. Die schwarzen Flächen stellen den Prozentsatz des Energiebedarfs dar, der mit elektrischer Energie gedeckt wurde.

E Elektrische Energie L Licht
O Öl K Kraft
C Kohle Ch Chemie
H Holz W Wärme

rend des Krieges diese Verhältnisse grundlegend änderten. Wir waren fast allein auf unsere Wasserkräfte angewiesen. Doch muß hier betont werden, daß diese, selbst wenn sie voll ausgebaut wären — schätzungsweise 25 Md. kWh —, nie ausreichen würden, um den gesamten Energiebedarf zu decken. Wir sind also stets auf Brennstoffimporte angewiesen. Daraus ergibt sich die wichtige Schlussfolgerung, elektrische Energie nur dort anzuwenden, wo ein bestimmtes Ziel nicht auch auf anderem Wege technisch und wirtschaftlich erreicht werden kann. Wie schon der große Elektrifizierungsgrad der chemischen Industrie zeigt, genügt sie dieser Bedingung. Doch kann auch hier, um zu ein und demselben Ziel zu gelangen, elektrische Energie verschiedenwertig angewendet werden. Ein Beispiel, das Herr Professor BAUER, ETH, in einer seiner Vorlesungen gab, mag das Gesagte erklären.

Soll zur Deckung des Wärmebedarfs ein Elektrokessel oder eine Wärmepumpe aufgestellt werden?

Über das Prinzip der Wärmepumpe braucht an dieser Stelle nichts ausgesagt zu werden, da wir an den Ausführungen «Die Wärmepumpe für Heizungen und Eindampfungen in der chemischen Industrie»¹ von Herrn Dir. R. PETER, Escher Wyß, anknüpfen können.

Nimmt die Wärmepumpe (WP) die Wärmemenge Q_1 bei der absoluten Temperatur T_1 ($T_1 = 273^\circ\text{C} + t_1^\circ\text{C}$) auf und gibt Q_2 bei T_2 ab, so muß ihr die Arbeit Q_e zugeführt werden. Der Index ϵ deutet auf «elektrisch» hin.

1. Hauptsatz

$$\text{der Wärmelehre } Q_2 = Q_1 + Q_e \quad (1)$$

$$\text{Entropiesatz } \frac{Q_1}{T_1} = \frac{Q_2}{T_2} \quad (2)$$

$$Q_e = Q_2 \left(1 - \frac{T_1}{T_2}\right) \quad (3)$$

$$\text{Leistungsziffer } \epsilon = \frac{Q_2}{Q_e} \quad (4)$$

Die Leistungsziffer sagt aus, wieviel mal die aufzuwendende elektrische Energie in der abzugehenden Wärmemenge enthalten ist.

$$\text{In Gleichung (3) eingesetzt: } \epsilon = \frac{T_2}{T_2 - T_1} \quad (5)$$

$$\text{Annahmen: } T_2 = 60^\circ\text{C} = 333^\circ\text{K}$$

$$T_1 = 10^\circ\text{C} = 283^\circ\text{K}$$

$$\epsilon = \frac{333}{50} = 6,66$$

Der wirkliche Wert ϵ_{eff} ist kleiner

$$\epsilon_{\text{eff}} = \eta \cdot \epsilon$$

Mit $\eta = 0,5$:

$$\epsilon_{\text{eff}} = 0,5 \cdot 6,6 = 3,33$$

$\epsilon_{\text{eff}} = 3,3$ heißt, daß von 100 Teilen des Heizwertes zwei Drittel dem Flußwasser entzogen und ein Drittel elektrisch zugeführt werden.

¹ Chimia 3, 114—8 (1949).

$$\text{Elektrokessel (EK): } Q_2 = \frac{Q_{e, EK}}{\eta_{EK}}$$

$$\text{Mit } \eta_{EK} = 0,95 \quad \frac{Q_{e, EK}}{Q_{e, WP}} = 1,05 \cdot 3,33 = 3,5$$

Daraus folgt, daß der Elektrizitätsaufwand im Elektrokessel 3,5mal größer ist als bei der Wärmepumpe. Die WP-Anlage ist aber wesentlich teurer als eine EK-Anlage. In welchen Bereichen ist eine der beiden Anlagen wirtschaftlicher?

Der finanzielle Aufwand K setzt sich zusammen aus festen Kosten K_f und betriebsabhängigen K_b , die zum Energieverbrauch proportional sind. Abb. 3 (nicht maßstäblich gezeichnet) stellt die Verhältnisse dar und vermittelt die Antwort auf unsere Frage.

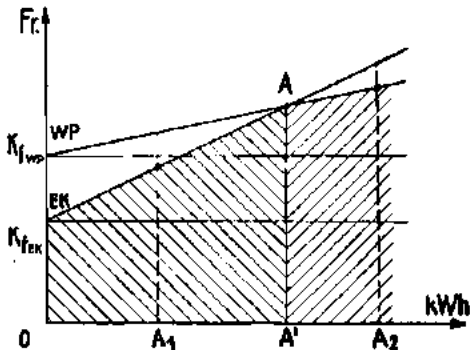


Abb. 3. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zwischen Wärmepumpe (WP) und Elektrokessel (EK). Bei einem jährlichen Verbrauch von A_1 kWh arbeitet der Elektrokessel wirtschaftlicher als die Wärmepumpe, bei A_2 arbeitet die WP wirtschaftlicher als der EK, bei A' sind sie einander gleichwertig

Im Gebiet links von A' , d. h. in einem Unternehmen, das jährlich weniger als A' kWh verbraucht, z. B. A_1 kWh, ist der Betrieb des EK billiger. Rechts von A' , z. B. bei A_2 kWh/Jahr, arbeitet die WP wirtschaftlicher.

Andererseits ist die Schweiz bestrebt, über ihren eigenen Bedarf hinaus ausbauwürdige Wasserkräfte zu nutzen, um elektrische Energie exportieren zu können, was die Energie-Einfuhr (umfaßt Brenn-

stoffe und elektrische Energie) erleichtert. Diese Forderung scheint mit der Feststellung, nicht alle Energie könne auf elektrischem Wege gedeckt werden, im Widerspruch zu stehen. Wenn man den zeitlichen Verlauf von Energie-Erzeugung I und -Bedarf II (in Abb. 4 schematisch dargestellt) vergleicht, begreift man das Gesagte. Die Kurven I (Erzeugung aus Laufwerken) und II (Bedarf) verlaufen entgegengesetzt zueinander. Nur in zwei Punkten (Schnittpunkte von I und II) herrscht Gleichgewicht zwischen Erzeugung und Bedarf. Die Differenz A müssen Speicherwerke, thermische Zentralen und Energie-Importe ausgleichen. Der Energieüberschuß B (im Sommerhalbjahr) wird benutzt, um Wasser in Stauseen hinaufzupumpen (beispielsweise im Etzelwerk), um Wärme (Elektrokessel) für Fabrikationsprozesse zu erzeugen, und zum Teil exportiert. Das ist ein idealisierter Betrieb. Während der letzten Jahre erlebten wir es, daß die Erzeugung mit dem Bedarf nicht Schritt halten konnte, was sich in Einschränkungen während des Winterhalbjahres bemerkbar machte. Die beschriebenen Maßnahmen, um das Manko A zu überbrücken, reichten nicht aus — behördliche Verfügungen stellten ein erzwungenes Gleichgewicht her, indem sie den Anschluß aller nicht lebensnotwendigen Geräte untersagten. Dank gewaltigen Anstrengungen in der Schaffung neuer Produktionsmöglichkeiten, dank der Entspannung auf dem Brennstoffmarkt, günstigen Witterungsverhältnissen und vermehrten Energie-Einfuhren (Holland) war es letzten Winter erstmals möglich, Einschränkungen zu vermeiden. Der weitere Ausbau unserer Wasserkräfte läßt erwarten, daß es in den folgenden Wintern so bleiben wird. Tab. 3 und

Tabelle 3

Erzeugung, Bezug und Ausfuhr elektrischer Energie 1948/49
Kraftwerke der SBB und Industrieanlagen sind nicht inbegriffen

Monat	Hydraulische Erzeugung in Mill. kWh	Thermische Erzeugung in Mill. kWh	Energie-Einfuhr in Mill. kWh	Energie-Ausfuhr in Mill. kWh
Winter:				
Oktober	646,0	10,0	15,5	23,1
November	600,4	20,5	25,9	22,0
Dezember	616,9	23,4	27,5	23,2
Januar	543,7	24,5	14,7	18,7
Februar	436,9	33,2	13,0	17,8
März	473,2	21,4	12,9	17,1
Sommer:				
April	608,0	2,3	6,4	29,5
Mai	726,4	3,5	2,1	52,8
Juni	730,0	0,9	4,0	75,9
Juli	702,5	1,7	5,4	85,1
August	623,9	1,8	2,5	51,2
September	637,1	2,2	4,3	53,6
Winter	3317,1	133,0	109,5	121,9
Sommer	4026,9	12,4	24,7	348,1
Jahr	7344,0	145,4	134,2	470,0

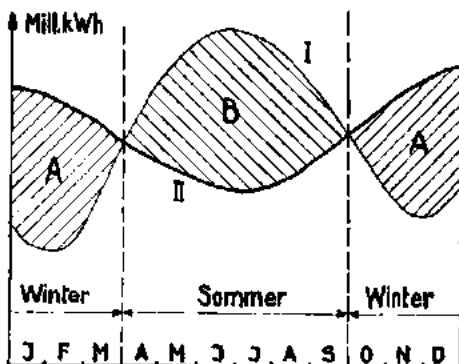


Abb. 4. Jährlicher Energieverbrauch und Energieerzeugung, schematisch dargestellt

I Energieerzeugung II Energiebedarf

Abb. 5 sollen die tatsächlichen Verhältnisse dem skizzierten Idealbetrieb gegenüber zeigen; die Ziffern² stammen aus dem Betriebsjahr 1948/49 (1. Oktober bis 30. September). Kurve II' zeigt den Bedarf (gedeckt durch Lauf- und Speicherwerke). Vom

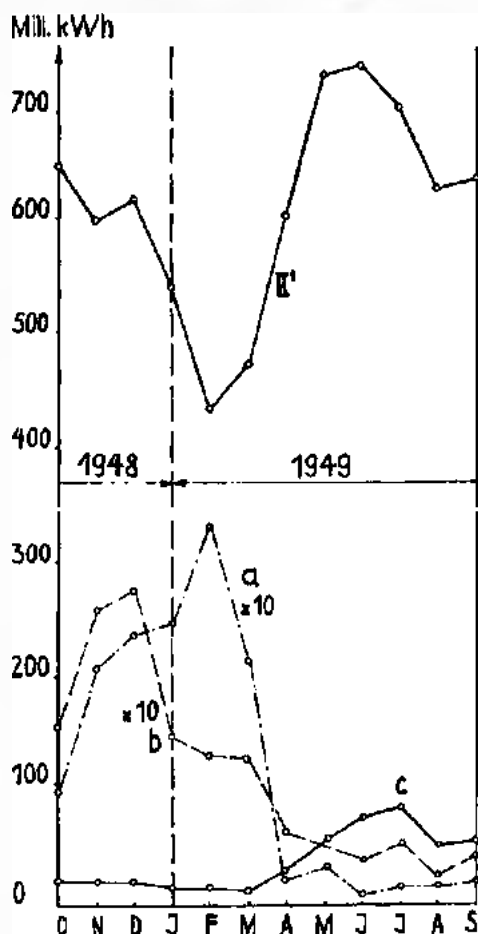


Abb. 5. Energiebedarf und Energieerzeugung im Betriebsjahr 1948/49

II' Bedarf, gedeckt durch Lauf- und Speicherwerke
a Thermische Erzeugung
b Energie-Einfuhr
c Energie-Ausfuhr

Januar (I) ausgehend, läßt sich die Kurvenform I der Abb. 4 erkennen. Die Kurven a und b stellen die thermische Erzeugung und den Import dar (Maßstab 10mal größer gewählt, d. h. die abgelesenen Ordinatenwerte sind durch 10 zu dividieren; ein Vergleich mit Tab. 3 vermittelt die genauen Werte), c die Energie-Ausfuhr. Abweichungen im Vergleich mit dem Idealzustand bestehen darin, daß auch im Sommerhalbjahr thermische Energie erzeugt (die Monatsziffern schwanken zwischen 0,9 und 3,5 Mill. kWh) und eingeführt (2,1 bis 6,4 Mill. kWh monatlich) wird. Anderseits führt die Schweiz auch während des Winterhalbjahres geringe Energiemengen

² Vom eidgenössischen Amt für Elektrizitätswirtschaft mitgeteilt.

Tabelle 4
Im Bau befindliche Anlagen

Kraftwerk	Energieerzeugung in Mill. kWh		
	Winter	Sommer	Jahr
Birstelden	160	280	440
Cleuson	66	—	66
Calancasca	29	68	97
Gondo	48	115	163
Haudeck II	100	150	250
Oberaar	220	—	220
Maggia, 1. Etappe	308	486	794
Lavey, 1. Etappe	60	190	250
Marmorera	145	70	215
Miéville-Salante	130	—	130
Wildeg-Brugg	125	175	300
Weinfelden, thermisch	60	—	60
Rheinfallwerk, 1. Etappe	19	19	38
Aletsch	24	56	80
Luchsingen II	4	10	14
Total	1492	1619	3111

aus 1948/49 betrug der Ausführüberschuß rund 3 %, bezogen auf die Gesamterzeugung von über 10 Md. kWh. Über bestehende Anlagen soll an dieser Stelle nichts gesagt werden; sie dürfen als bekannt gelten. Was die Schweiz heute tut, um die Versorgung mit elektrischer Energie sicherzustellen, geht aus Tab. 4 hervor. Die für die nächsten Jahre zu erwartende Zunahme ist daraus ersichtlich. Abb. 6 vermittelt einen Überblick über die Entwicklung der Elektrizitätserzeugung in der Schweiz von der Jahrhundertwende bis heute. Wieviel kommt aber davon der chemischen Industrie zugute? Unter «Chemie» versteht die amtliche Statistik auch Metallurgie und thermische Anwendungen, ausgenommen Elektrokessel, die sie besonders betrachtet. Nun ist es aber so, daß mehr als ein Viertel der Elektrokessel in der chemischen Industrie stehen, ein weiteres Viertel in der Papier-, Karton- und Cellulose-Industrie. Deshalb sind in Abb. 7 auch die Energiemengen für Elektrokessel aufgetragen. Der unregelmäßige Verlauf der Elektrokesselenergie kommt daher, daß sie nur als Überschussenergie zur Verfügung steht, also vorwiegend während des Sommers. Die wichtige

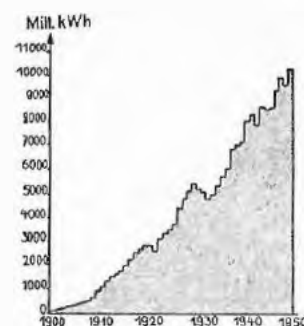


Abb. 6. Entwicklung der Elektrizitätserzeugung in der Schweiz von 1900 bis 1948

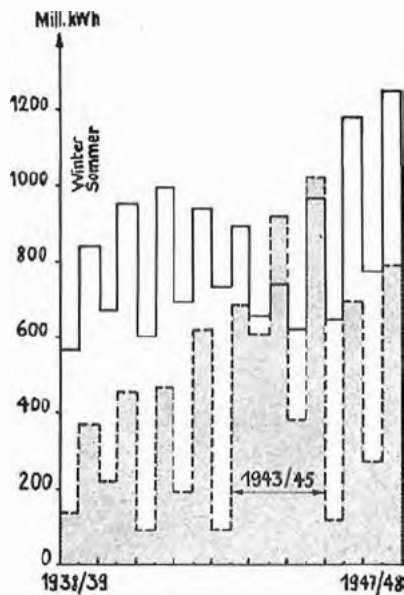


Abb. 7. Elektrizitätsverbrauch in Chemie und Elektrokesseln von 1938/39 bis 1947/48. Die wichtige Rolle, die die Elektrokessel während der zweiten Kriegshälfte (1943/45) spielten, geht aus der Darstellung deutlich hervor
 ——— Chemie - - - - - Elektrokessel

Rolle, die die Elektrokessel während der zweiten Kriegshälfte (1943/45) spielten, geht aus der Darstellung deutlich hervor. Die einzelnen Werte der Abb. 7 setzen sich aus Lieferungen der allgemeinen Werke (rund die Hälfte), der Bahn- und Industriewerke zusammen.

Hochfrequenz und Infrarot sind zu Schlagworten geworden, die sicher den Weg auch in die Chemie gefunden haben. Richtig angewendet, ermöglichen sie viele bisher undurchführbare Prozesse oder er-

lauben, Arbeiten rascher, wirtschaftlicher durchzuführen. Vergleiche mit längst bekannten Verfahren ergeben oft günstigere Resultate als beim durchgerechneten Beispiel EK—WP.

Hochfrequenzwärme läßt sich grundsätzlich auf zwei Arten erzeugen. Bekanntlich besteht ein elektrischer Schwingkreis aus Induktivität und Kapazität. Von induktiver Hochfrequenzerhitzung spricht man, wenn das Magnetfeld der Induktivität für die Wärmeentwicklung verantwortlich ist. Nur leitende Materialien lassen sich nach dieser Methode erhitzen. Die Ausnützung des elektrischen Feldes zwischen zwei Kondensatorplatten ist als dielektrische Hochfrequenzerhitzung bekannt. Diese Art dürfte in nächster Zukunft auch in der chemischen Industrie anzutreffen sein. Aus Platzgründen müssen wir an dieser Stelle auf die Beschreibung der Wirkungsweise und die Wiedergabe von Beispielen verzichten.

Infrarotstrahlung ist nur eine andere Bezeichnung für Wärmestrahlung. Wo es auf eine Oberflächen-erwärmung ankommt, beispielsweise bei der Filmbildung von Lacküberzügen, leistet Infrarot gute Dienste. Die speziellen Ansprüche der chemischen Industrie an diese Technik sind im Bulletin der Schweizerischen Vereinigung der Lack- und Farben-Chemiker und -Techniker Nr. 2 vom März 1949 sehr gut zusammengefaßt.

Die elektrische Energie war früh schon ein unentbehrlicher Helfer der chemischen Industrie. Ihre Vorzüge, von denen einige wenige in diesem Beitrag erwähnt wurden, sichern ihr immer weitere Anwendungsgebiete. Wer die Fortschritte der Elektrotechnik richtig zu verwerten versteht, erschließt sich damit neue technische Möglichkeiten und sichert sich die Wirtschaftlichkeit seines Betriebes.