

Elektrotechnik und Maschinenbau

Zeitschrift des Elektrotechnischen Vereines in Wien

Schriftleitung: Ing. A. Grünhut

Nachdruck nur mit Bewilligung der Schriftleitung, auszugsweise Wiedergabe nur mit Angabe der Quelle „E. u. M. Wien“ gestattet.

Heft 18

Wien, 6. Mai 1934

52. Jahrgang

Vektordiagramm und Energiebilanz des elektrischen Stromkreises.

Von Ing. Albert von Brunn, Zürich — Oerlikon.

Inhaltsübersicht: In dieser Arbeit wird gezeigt, daß man bei der Leistungsberechnung von Wechselstromkreisen zu unrichtigen Resultaten gelangen kann, wenn man bei dieser Berechnung den durch die DIN-Normen festgelegten Spannungsbegriff (U) benützt. Es wird ein neuer Spannungsbegriff: die „dynamische Klemmenspannung (V)“ entwickelt, mit dessen Verwendung eine einwandfreie Leistungsberechnung in allen Fällen durchführbar ist. In dieser dynamischen Klemmenspannung V ist der wichtige Begriff der „induzierten elektromotorischen Kraft“ (der in dieser Arbeit genau definiert wird), enthalten. Am Beispiel des Transformators wird gezeigt, in welcher einfacher Weise Vektordiagramme unter Verwendung des neuen Spannungsbegriffes aufgebaut werden können.

Einleitung.

Bei der Berechnung elektrischer Maschinen, Anlagen und Apparate ist neben der Kenntnis der Spannungen, Ströme und Phasenverschiebungen ein klarer Einblick in die Strömungsverhältnisse der Wirk- und (bei Wechselströmen) auch der Blind-Energien von besonderem Interesse. Der Berechner will wissen, wieviel elektrische Energie in den einzelnen Teilen eines Stromkreises erzeugt oder vernichtet wird, um die Energiebilanz des ganzen Kreises aufstellen zu können.

Die zur Darstellung stationärer elektrischer Zustände so häufig und mit Vorteil benützten Vektordiagramme eignen sich nun sonderbarer Weise zur Aufstellung der Energiebilanzen im allgemeinen recht schlecht, wofür sich die folgenden Gründe angeben lassen:

In vielen Lehrbüchern der theoretischen Elektrotechnik findet man die generatorisch arbeitenden Maschinen gegenüber den motorischen insofern grundsätzlich verschieden behandelt und im Vektordiagramm dargestellt, als man bei den Motoren (stillschweigend) die Spannung gemäß den D. I. N.-Normen definiert, bei den Generatoren jedoch den negativen Wert dieser Größe als „Spannung“ bezeichnet. Im Diagramm erscheint dann die Generator-„Spannung“ als der um 180° gedrehte Vektor der Motorspannung, auch wenn beide Maschinen an die selben Sammelschienen angeschlossen sind. Daß aber zwischen zwei gegebenen Sammelschienen nur eine Spannung und nicht, wie es bei dieser Darstellungsweise erscheint, zwei entgegengesetzt gleiche Spannungen herrschen können, ist selbstverständlich.

Diese grundsätzlich entgegengesetzte Darstellungsweise der Spannungen von motorisch und generatorisch arbeitenden Objekten tritt uns am deutlichsten beim Transformator diagramm, und

zwar in der Form, wie wir es in den meisten Lehrbüchern über Transformatoren finden, entgegen. Jene Darstellungsart hat die unrichtige aber weit verbreitete Vorstellung geweckt, daß beim Transformator die sekundäre Spannung gegen die primäre um ungefähr 180° phasenverschoben sei, während in Wirklichkeit die beiden Spannungen nahezu in Phase liegen (vorausgesetzt, daß diese Spannungen auf gleichen Wicklungssinn bezogen werden, was bei der Konstruktion des Transformator diagramms stillschweigend immer so gemacht wird).

Diese durchaus willkürliche und unkorrekte Aufzeichnung der Spannungen hat eine besondere Eigentümlichkeit bei der Darstellung der Phasenwinkel zur Folge. Während nämlich in Wirklichkeit alle möglichen Phasenwinkel zwischen 0° und 360° auftreten können, erscheint in jenen Diagrammen der Phasenwinkel immer als ein spitzer Winkel, der höchstens die Werte $+90^\circ$ oder -90° erreichen kann. Stumpfe Winkel kommen also überhaupt nicht vor. Daß man solchen Diagrammen nicht entnehmen kann, ob das dargestellte elektrische Objekt generatorisch oder motorisch arbeitet, ist selbstverständlich.

Dieser Fehler läßt sich sehr leicht beseitigen, wenn man sowohl für die Verbraucher, als auch für die Erzeuger elektrischer Energie die Spannung ganz einheitlich (zum Beispiel nach den D. I. N.-Normen) definiert.

Eine prinzipielle Schwierigkeit bei der Konstruktion energetisch einwandfreier Diagramme liegt jedoch in der Definition der Spannung selbst begründet. Jede Energiebilanz stützt sich nämlich auf das Naturgesetz, daß die algebraische Summe der in jedem einfachen geschlossenen Stromkreise erzeugten und verbrauchten elektrischen Energien gleich Null ist. Das Induktionsgesetz jedoch besagt, daß die Umlaufspannung nicht gleich Null, sondern gleich dem magnetischen Schwund ist, folglich kann eine Energieberechnung, die lediglich mit Spannungen, Strömen und ihren Phasenverschiebungen arbeitet, im allgemeinen nicht zur Aufstellung von Energiebilanzen verwendet werden.

In dieser Arbeit wird gezeigt, daß man durch die Einführung eines neuen Spannungsbegriffes, nämlich der „dynamischen Klemmenspannung“, Diagramme erhält, die sich zur Aufstellung von Energiebilanzen recht gut eignen.

Die „dynamische Klemmenspannung“ unterscheidet sich von der durch die D. I. N.-Normen definierten Spannung dadurch, daß in ihr auch die sogenannte „induzierte EMK“ im energetisch richtigen Sinn enthalten ist. Um daher diese dynamische Klemmenspannung definieren zu können, muß vor allem der dunkle Begriff der „induzierten EMK“ geklärt werden. Dies geschieht in einem besonderen Abschnitt dieser Arbeit.

Um die grundlegenden Begriffe wie: Spannung, Spannungsabfall, EMK, über die man sich vielerorts noch recht unklare Vorstellungen macht, anschaulich erfassen zu können, soll vorerst der einfache Fall des Gleichstromkreises behandelt werden. Am Schluß der Arbeit wird unter Benützung des neuen Spannungsbegriffes für ein praktisches Beispiel (Transformator) das energetisch richtige Vektordiagramm aufgezeichnet und dieses Diagramm zur Aufstellung der zugehörigen Energiebilanz benützt.

Die Spannungsgleichung des Gleichstromkreises.

Es sei in Abb. 1 ein Gleichstromkreis gezeichnet, in welchem eine Akkumulatorenbatterie AB durch eine gewöhnliche (galvanische) Batterie B geladen werde. Der Ohmsche Widerstand der Batterie B sei durch R_2 , derjenige der Akku-

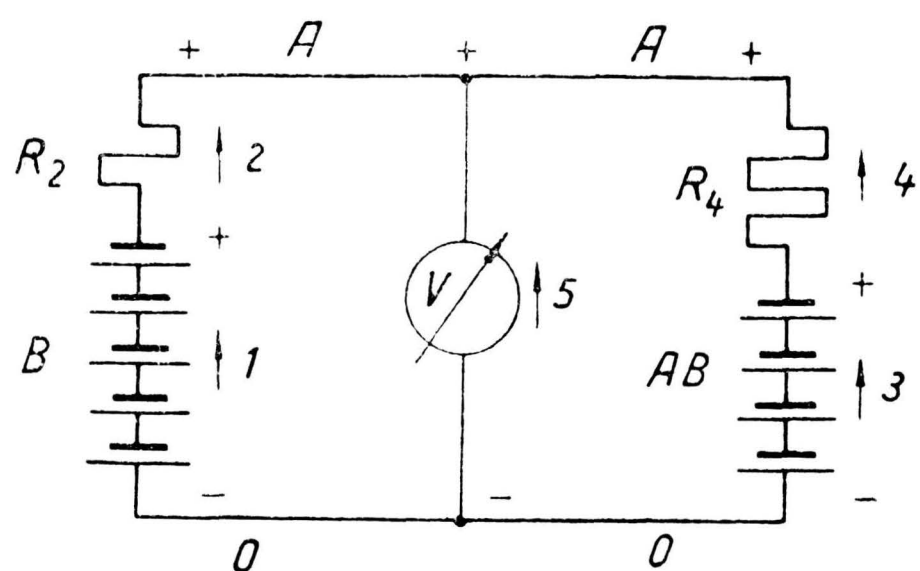


Abb. 1. Schema eines Gleichstromkreises.

mulatorenbatterie AB , sowie eines Vorschaltwiderstandes zusammen durch R_4 dargestellt. Ein Voltmeter V soll die Spannung zwischen den Sammelschienen O und A messen.

Da wir den Strom sowie die Spannungen und EMKe durch (ruhende) Vektoren darstellen wollen, so müssen wir vor allem Bezugssysteme festlegen, auf welche sich diese Vektoren beziehen sollen. Prinzipiell ist es gleichgültig, wie man diese Systeme wählt, doch tut man im Interesse der Klarheit gut, wenn man sich (wie es hier geschieht) an die Grundregel hält: Strom, Spannung und EMK jedes einzelnen Leiterelementes immer nur auf eine einzige, gemeinsame Bezugsrichtung zu beziehen, da andernfalls die physikalische Deutung der Diagramme sehr erschwert wird. Für ein bequemes Arbeiten und eine gute Übersicht soll man die Bezugssysteme möglichst geordnet wählen, wie diese zum Beispiel in Abb. 1 angenommen und durch die Bezugspfeile 1—5 festgelegt worden sind.

Die in den Batterien wirkenden sogenannten „eingepprägten“ elektromotorischen „Kräfte“ haben die Richtung von den negativen zu den positiven Klemmen, also auch die Richtung der betreffenden

Bezugspfeile und erscheinen somit als positive und deshalb nach oben weisende Vektoren E_1 und E_3 in Abb. 2. (Elektromotorische Kräfte bezeichnen wir mit dem Buchstaben E und die Spannungen mit U ¹⁾). Da die EMK E_1 größer als E_3 ist, so wird das System von einem Strom J im Sinne des Uhrzeigers durchflossen. Bezogen auf die Bezugspfeile 1 und 2 erscheint J positiv ($J_{1,2}$ ist nach oben gerichtet), bezogen auf die Bezugspfeile 3 und 4 jedoch negativ ($J_{3,4}$ ist nach unten gerichtet).

U-Diagramm.

Da die Sammelschiene A auf Seite der positiven Pole der Batterien angeschlossen ist, so liegt sie auf einem höheren elektrischen Potentiale

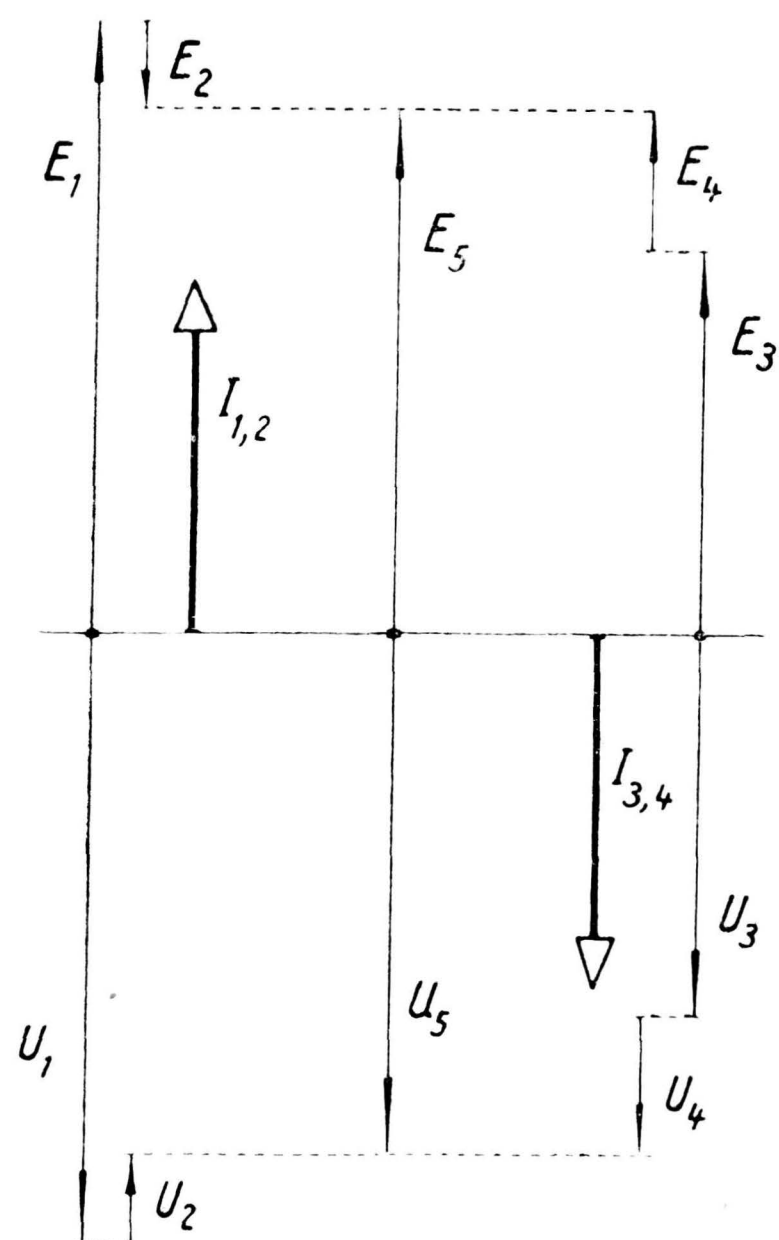


Abb. 2. Strom-, Spannungs- und EMK-Diagramm des Gleichstromkreises.

als die Schiene O . Das elektrostatische Feld zwischen den Sammelschienen O und A hat also die Richtung von A nach O und somit²⁾ müßte die Spannung zwischen den beiden Schienen, bezogen auf die Richtung von A nach O , als ein positiver Vektor erscheinen. (Die Spannung zwischen zwei Punkten 1 und 2 wird bekanntlich definiert als das Linienintegral der elektrischen Feldstärke zwischen diesen beiden Punkten:

$$U_{1,2} = \int_1^2 \mathcal{E} \cdot d\mathbf{s} \quad \dots \quad (1).$$

Da aber der Bezugspfeil von 5 (in Abb. 1) nach oben weist, so stellt sich in unserem Diagramm (Abb. 2) die Spannung des Voltmeters als der nach unten gerichtete Vektor U_5 dar. Weil wir schematisch die inneren Ohmschen Widerstände

¹⁾ Siehe Deutsche Normen „DIN“-Normen 1323.

²⁾ Nach den „DIN“-Normen wird die Spannung zwischen zwei Punkten als die spezifische Arbeit definiert, die die Feldkräfte leisten, wenn der positiv geladene elektrische Einheitskörper von einem Punkt zum andern bewegt wird. Die Spannung wird daher positiv gezählt in der Richtung vom höheren zum tieferen Potentiale.

der Batterien vor diese letzteren geschaltet haben, so treten in unseren Diagrammen die fiktiven Spannungen U_1 und U_3 auf. Trotzdem diese Spannungen der Messung nicht zugänglich sind, eignet sich ihre Einführung für unsere Untersuchung recht gut. Hätte nämlich die Batterie B tatsächlich keinen inneren Widerstand, so würde zwischen ihren Klemmen die Spannung U_1 herrschen. Durch das Vorschalten des Widerstandes R_2 , dessen Klemmenspannung $U_2 (= J_2 \cdot R_2)$ ist, vermindert sich die Spannung U_1 um den Betrag von U_2 auf den Wert von U_5 , der mittels des Voltmeters V gemessen werden kann. Durch den Widerstand R_4 wird die Spannung U_5 um den Betrag $U_4 (= J_4 \cdot R_4)$ auf den Wert U_3 verkleinert. U_3 ist die (fiktive) Spannung der Batterie A (ganz analog wie U_1 die fiktive Spannung der Batterie B ist). Wir nennen die Zusammenstellung aller Spannungsvektoren (Abb. 2) unserer Schaltung (Abb. 1) das Spannungs- oder U -Diagramm dieser Schaltung.

E-Diagramm.

Wir können nun in ganz analoger Weise das Diagramm der elektromotorischen Kräfte, das man kurz E -Diagramm nennt, aufstellen, wenn wir den Begriff der elektromotorischen Kraft erweitern.

Damit ein Ohmscher Widerstand von einem elektrischen Strom durchflossen werden kann, muß im Innern des Widerstandes eine elektrische Feldstärke herrschen, das heißt es muß auf die Elektrizität eine treibende Kraft ausgeübt werden, die dazu dient, die beim Durchfluß des Stromes durch den Widerstand entstehenden intermolekularen Gegenkräfte zu überwinden. Da diese hemmenden Kräfte nach dem Prinzip von Aktion und Reaktion entgegengesetzt gleich den treibenden Kräften sein müssen, so muß auch das zwischen zwei Punkten berechnete Linienintegral der auf den elektrischen Einheitskörper wirkenden Gegenkräfte entgegengesetzt gleich sein dem Linienintegral der auf diesen Körper antreibend wirkenden Kräfte. Nennen wir das Linienintegral der Gegenkräfte die Ohmsche Widerstands-„Kraft“³⁾ oder die Ohmsche Gegen-„Kraft“⁴⁾ kurz: O. G. K., so gilt die einfache Beziehung:

$$\text{O. G. K.} = -J \cdot R = -U \quad . \quad . \quad . \quad (2).$$

Da bei unseren Batterien die Beziehungen gelten:

$$E_1 = -U_1 \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

bzw.

$$E_3 = -U_3 \quad . \quad . \quad . \quad (4).$$

so können wir in formal gleicher Weise auch schreiben:

$$\text{O. G. K.} = E_R = -J \cdot R = -U_R \quad . \quad . \quad (5)$$

und dabei gedanklich soweit gehen, daß wir uns den Leiter widerstandslos und in ihm eine EMK

E_R wirksam denken⁵⁾. Die Größe E_R nennen wir die Ohmsche Widerstands-EMK.

In analoger Weise können wir uns auch in unserem Voltmeter 5 (Abb. 1) eine EMK E_5 (Abb. 2) wirkend denken. Wenn wir das, als Drehspulinstrument angenommene Voltmeter durch ein elektrostatisches ersetzen, so haben wir im Prinzip einen Kondensator vor uns. Auch hier können wir von einer EMK der Ladung sprechen, welche der Netzspannung entgegen gerichtet ist. Wird nämlich einem Kondensator eine Spannung aufgedrückt, so erfahren unter dem Einfluß der Feldkräfte die im Dielektrikum eingebetteten Elektronen eine „elastische“ Verschiebung, welche soweit geht, bis die entwickelten elastischen Gegenkräfte des Dielektrikum den durch das Feld erzeugten primären Kräften das Gleichgewicht halten. Das Linienintegral der dielektrischen „Gegenkräfte“, gebildet von einem Kondensatorbelag zum andern, nennen wir die EMK der Ladung (E_c). Es gilt die Gleichung:

$$E_c = -\frac{Q}{C} = -U_c \quad . \quad . \quad . \quad (6),$$

worin Q die Ladung und C die Kapazität des Kondensators bedeuten.

Für jedes Leitungselement können wir ganz allgemein die Beziehung:

$$\Sigma(E + U) = 0 \quad . \quad . \quad . \quad (7)$$

aufschreiben. In Worten ausgedrückt lautet die Gl. (7): „In jedem Leitungselement ist die algebraische Summe aller Spannungen und elektromotorischen Kräfte gleich Null“.

Für unseren Stromkreis (Abb. 1) gelten die Gleichungen:

$$U_1 + U_2 = U_3 + U_4 = U_5 \quad . \quad . \quad . \quad (8)$$

und analog:

$$E_1 + E_2 = E_3 + E_4 = E_5 \quad . \quad . \quad . \quad (9)$$

Kehren wir die Bezugspfeile von 3 und 4 um, so erhalten wir die Gleichungen:

$$U_1 + U_2 + U_3' + U_4' = 0 \quad . \quad . \quad (10)$$

und

$$E_1 + E_2 + E_3' + E_4' = 0^6) \quad . \quad . \quad (11)$$

oder ganz allgemein:

$$\Sigma(U) = 0 \quad . \quad . \quad . \quad (12),$$

$$\Sigma(E) = 0 \quad . \quad . \quad . \quad (13).$$

Die Gl. (10) und (12) drücken die bekannte Tatsache aus, daß in jedem Gleichstromkreis⁷⁾ die Umlaufspannung gleich Null ist.

Aus den Gl. (11) und (13) folgt die analoge Tatsache, daß in jedem Gleichstromkreis die Umlauf-EMK (im erweiterten Sinne) gleich Null

⁵⁾ Siehe M. Kloss: „Vorzeichen- und Richtungsregeln für Wechselstrom-Vektordiagramme“. Wissensch. Veröff. aus dem Siemenskonzern. 2 (1922) S. 168.

⁶⁾ Wenn wir mit U' bzw. E' den auf die entgegengesetzte Bezugsrichtung bezogenen Vektor U bzw. E bezeichnen.

⁷⁾ Unter „Gleichstromkreis“ verstehen wir hier diesen Begriff im engsten Sinne, nämlich einen Stromkreis, in dem der umschlungene Flux seine Größe zeitlich nicht ändert, also auch die Stromstärke einen konstanten Wert besitzt.

³⁾ Siehe O. Bloch: „Die Ortskurven der graphischen Wechselstromtechnik“. Verlag Rascher & Cie., Zürich 1917, S. 11.

⁴⁾ Siehe A. von Brunn: „Die Bedeutung des Bezugssinnes im Vektordiagramm“, Bull. SEV 13 (1922) S. 390.

sein muß. (Selbstverständliche Voraussetzung für diesen Satz ist natürlich, daß alle Spannungen und EMKe auf Bezugssysteme bezogen werden, die einem einheitlichen Umlaufsinn zugeordnet sind.)

Energetische Betrachtung.

Wir wollen nun eine energetische Betrachtung an unserem Stromkreis (Abb. 1) anstellen. Da die Batterie B die andere Batterie A/B auflädt, so ist sie im ganzen Stromkreis der einzige Energie-Erzeuger, während die Batterie A/B sowie die Ohmschen Widerstände R_2 und R_4 Energie-Verbraucher sind.

In unserem E -Diagramm (Abb. 2) kommt diese Tatsache darin zum Ausdruck, daß E_1 und J_1 in Phase liegen, während E_2 und J_2 , E_3 und J_3 sowie E_4 und J_4 je in Gegenphase sind. Allgemein gilt der Satz:

In E -Diagrammen liegen Strom und EMK bei Generatoren (Erzeugern) in Phase, bei Motoren (Verbrauchern) in Gegenphase.

Bei U -Diagrammen gilt genau das Umgekehrte. Jedes dieser Diagrammsysteme erteilt uns somit den gewünschten Aufschluß über die Frage, in welchen Leitelementen eines Stromkreises Energie erzeugt und in welchen Energie verbraucht wird. Auch die Größe dieser Energiebeträge kann dem Diagramm entnommen werden, denn das Produkt $+E \cdot J$ bzw. $-E \cdot J$ und $-U \cdot J$

bzw. $+U \cdot J$ gibt bekanntlich den Betrag der in der Zeiteinheit erzeugten bzw. verbrauchten elektrischen Energie (in Watt) an.

Daß natürlich (nach dem Energieprinzip) die algebraische Summe aller in der Zeiteinheit erzeugten elektrischen Energien in einem geschlossenen Stromkreis gleich Null sein muß, folgt auch aus den Gl. (12) und (13), wenn wir diese mit $-J$ bzw. $+J$ multiplizieren. (Verbrauchte elektrische Energien zählt man dann als negative erzeugte Energien.)

Unsere Untersuchung hat ergeben, daß sich die Energiebilanz des Gleichstromkreises sowohl mit E - als auch mit U -Diagrammen sehr leicht aufstellen läßt. Welche Diagrammart vorzuziehen ist, soll vorerst noch unentschieden bleiben. Es geht aus dem Vorhergehenden klar hervor, daß man zweckmäßigerweise entweder nur mit U - oder nur mit E -Diagrammen arbeiten soll, und daß Diagramme, die sowohl E - als auch U -Vektoren nebeneinander enthalten, zu vermeiden sind, da sie die Interpretation der energetischen Verhältnisse eines Stromkreises sehr erschweren⁸⁾.

⁸⁾ Auf die Zweckmäßigkeit entweder nur U - oder nur E -Diagramme zu gebrauchen, macht auch M. Landolt in seiner Arbeit „Die symbolische Rechnung der Wechselstromtechnik und die ebene Vektorrechnung“ aufmerksam. Bull. SEV 22 (1931) S. 85.

(Fortsetzung folgt.)

Die Darstellungsarten für die Jahresbelastung.

Von Dipl.-Ing. G. Schnaus, Darmstadt.

Inhaltsübersicht: In den letzten Jahren sind einige neue Darstellungsarten der Belastung von Elektrizitätswerken (Topographie, Energieinhaltslinien usw.) bekannt geworden, welche die älteren (Belastungskurve, -gebirge, Dauerlinie) ergänzen oder ersetzen sollen. Der folgende Versuch will sie von einem gemeinsamen Gesichtspunkt sehen und miteinander vergleichen. Er soll zur Auswahl der geeignetsten Darstellung anregen; es erscheint unzweckmäßig, alle Möglichkeiten nebeneinander zu verwenden, weil dadurch die Austauschbarkeit und der Vergleich von Aufzeichnungen verschiedener Stellen im Rahmen größerer planmäßiger Arbeiten erschwert wird. Es wäre zu begrüßen, wenn er Meinungsäußerungen über praktische Erfahrungen auslösen könnte.

Alle Probleme, die mit den graphischen Darstellungen der Belastung gelöst werden, lassen sich auf zwei Grundaufgaben zurückführen:

1. Addition und Subtraktion von Belastungen,
2. Berechnung des Arbeitsinhaltes ganzer Kurven und beliebiger durch Leistungen und Zeiten begrenzter Teile.

Ein Vergleich der verschiedenen Darstellungsarten muß in erster Linie ihre Eignung zur Lösung dieser Grundaufgaben als Maßstab wählen.

I. Leistungskurven.

Die Reihe dieser Darstellungen entsteht aus der Tagesbelastungskurve — (Abb. 1a) $L_t = f(t)$ — die für den Zeitraum des Tages alle Aufgaben befriedigend beherrscht. Das für längere Zeiträume übliche „Belastungsgebirge“ mit den drei Achsen „Leistung“, „Tageszeit“ und „Jahreszeit“ ist jedoch bekanntlich zur Lösung der Aufgaben nicht geeignet. Aus ihm können drei zweidimensionale Darstellungen gewonnen werden, von denen jedoch die Projektion in der „Leistungs-Tageszeit“-Ebene für den praktischen Gebrauch ausscheidet.

Die beiden anderen Abbildungen in der „Tageszeit-Jahreszeitebene“ und in der „Leistungs-Jahreszeitebene“ sind in der Abb. 1 aus einer Tageskurve (1. Jänner) entwickelt. Die Konstruktion durch Fortsetzung für alle Tage des Jahres ist ohne weiteres verständlich. Dabei sind die Leistungen als Teile der Spitze $S=1$ und die Zeiten als Teile der Jahreszeit $T=8760 \text{ Std.} = 1$ ausgedrückt. Für gegebene Verhältnisse werden besser tatsächliche Werte genommen.

1. Bei der Aufstellung der „Leistungstopographie“¹⁾ (Abb. 1b) als Abbild des Gebirges in der „Tageszeit-Jahreszeit“-Ebene genügt es, mit „charakteristischen“ Tagen als Mittelwerten, zum Beispiel der Monate, zu arbeiten. Zweckmäßig werden die Werktage, Samstage und Sonntage getrennt gezeichnet, um Sprünge in den Linien gleicher Leistung zu vermeiden. Die Grund- (Zeit-) fläche umschließt dann für die Werktage 254/365, für die Samstage 52/365 und für die Sonntage 59/365, was bei der Inhaltsbestimmung zu beachten ist. Die Abbildung wird um so genauer, je kleiner der Leistungsunterschied ΔS zwischen den Leistungslinien (Schichthöhe der Topographie) ist: eine Unterteilung in runden Absolutwerten von etwa $5 \div 10 \text{ vH}$ der Spitze ist ausreichend, um eine Genauigkeit von etwa 3 vH einzuhalten.

Addition und Subtraktion: Zeitgleiche Leistungen werden am einfachsten gefunden, indem man die zu bearbeitenden Topographien auf Pauspapier

¹⁾ Literatur: R. F. Ascher, Die topographische Darstellung des Belastungsgebirges, ETZ 52 (1931) S. 12; R. Schneider und M. Wolf, Die topographische Darstellung der Belastungsverhältnisse von Elektrizitätswerken, ETZ 52 (1931) S. 235 (vgl. beide auch E. u. M. 49 (1931) S. 868); El.-Wirtsch. 31 (1932) S. 31; F. Pflugmacher, Belastungskurven als Hilfsmittel für Elektrizitätswerke, E. Wirtsch. 30 (1931) S. 106.

zeichnet; Addition bzw. Subtraktion der Leistungen in den Schnittpunkten der Linien ergibt Leistungsknoten der gesuchten Topographie. Die Schnittpunkte, die man bei etwa 10...20 Linien in jeder Topographie erhält, genügen.

Bestimmung von Arbeitsinhalten: Bezeichnet f_i die von der Leistungslinie i in der Topographie eingeschlossene Fläche in h , sind L_p und $L_q > L_p$ die Leistungsgrenzen der gesuchten Arbeit F_{pq} und ist

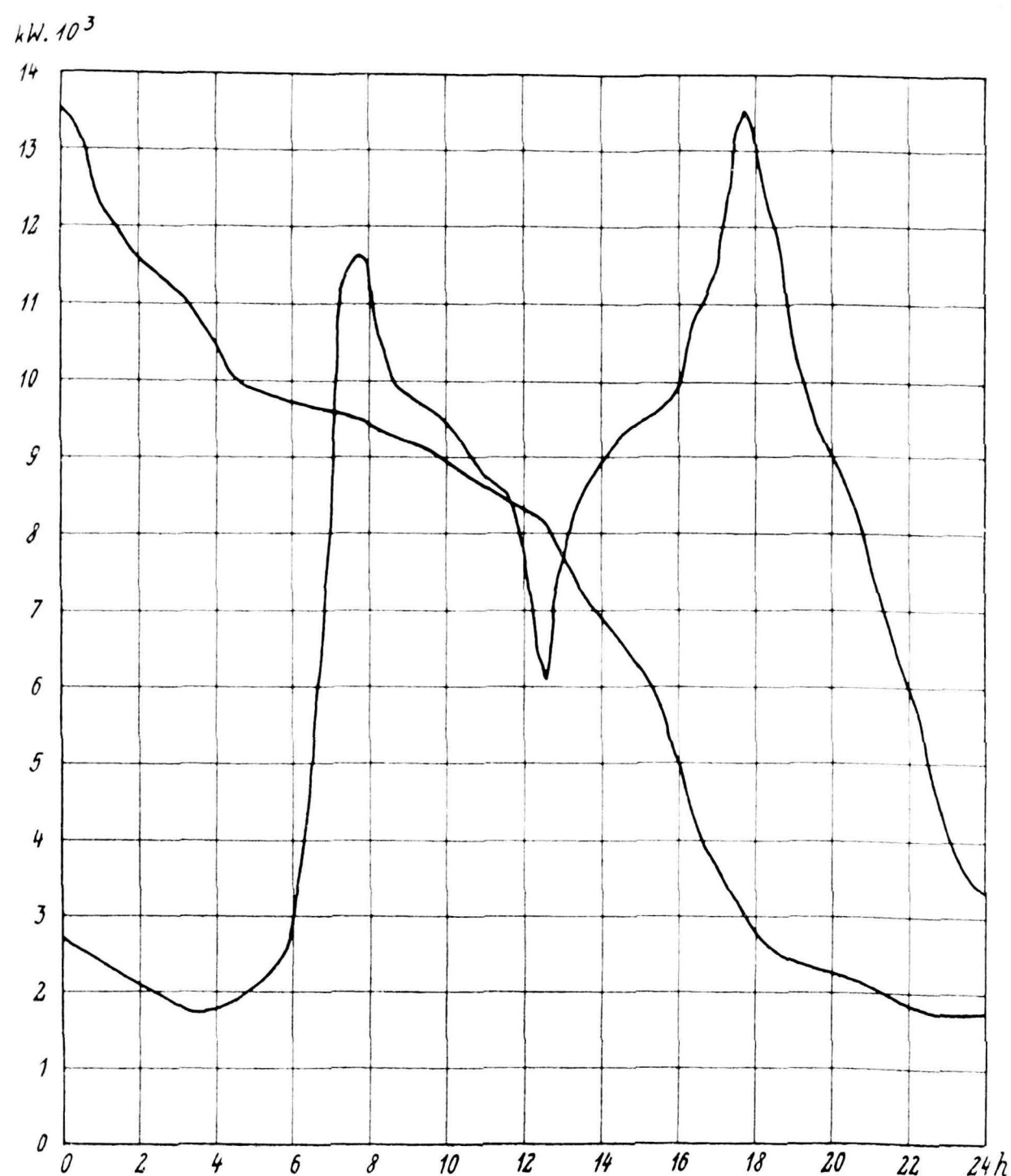


Abb. 1 a. Tagesbelastungskurve und Leistungsdauerlinie (1. Jänner).

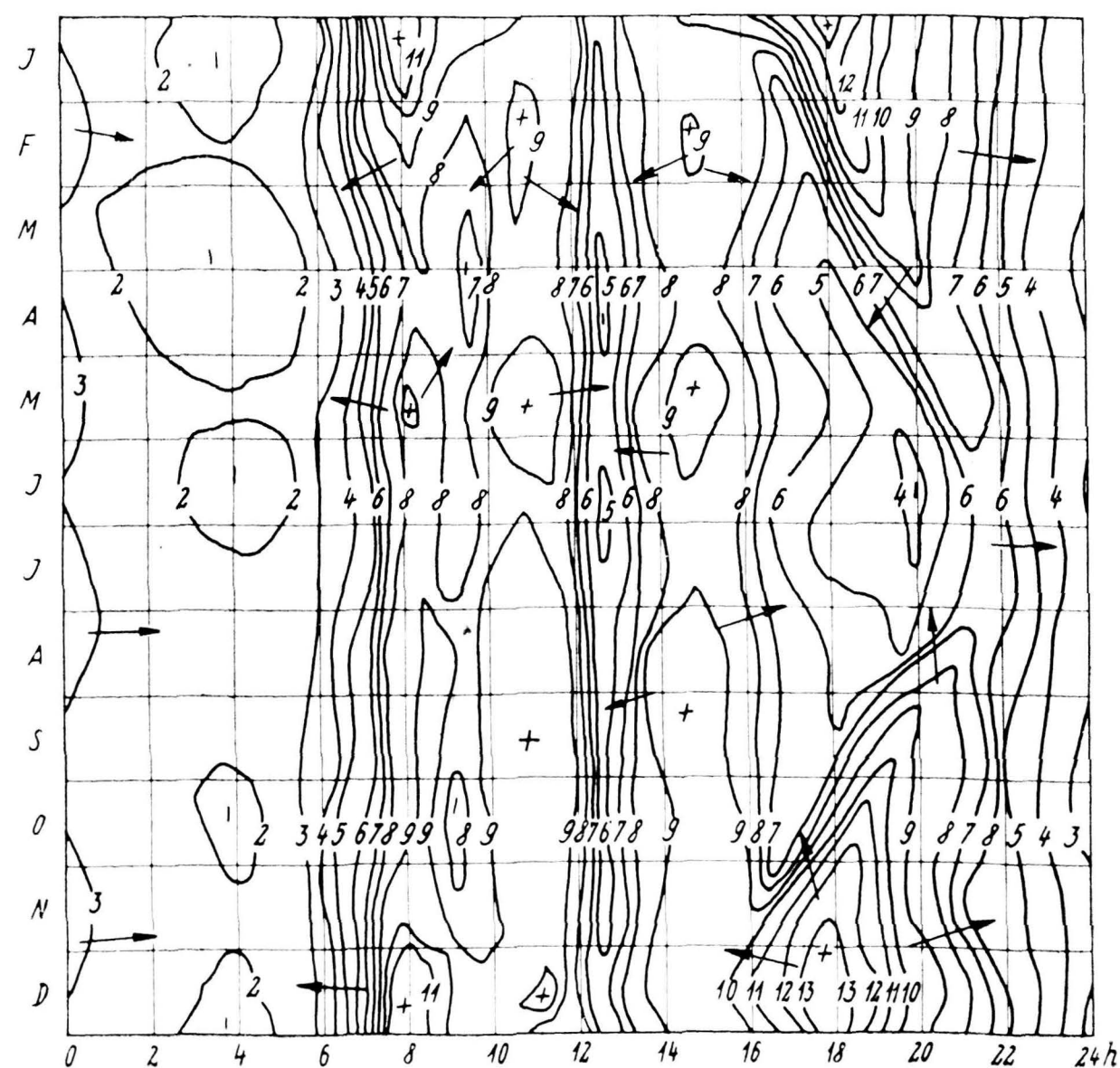


Abb. 1 b. Leistungstopographie.

ΔS der in kW gemessene Abstand zwischen zwei Leistungslinien, so ist

$$F_{pq} = \Delta S \sum_{p}^{q-1} f_i - \frac{\Delta S}{2} (f_p - f_q) \text{ kWh.}$$

Man hat also nur die Summe der Zeitflächen durch Planimetrieren zu bestimmen. Sie können nach Tages- und Jahreszeit beliebig begrenzt sein. Man kann also

beliebige Leistungsintervalle annehmen — zum Beispiel bei Bestimmung der Arbeit, die von einem Spitzenkraftwerk gedeckt wird — und jeden gewünschten Zeitabschnitt herausgreifen — zum Beispiel bei Tarifen mit gesonderter Abrechnung der Nachtzeit usw. Die angegebenen Fehlergrenzen gelten auch hier.

2. Die „Benutzungsdauer topographie“. Das Bild (Abb. 1 c) des Gebirges in der „Leistungs-Jahreszeit“-Ebene²⁾ gibt an, wie lange an jedem Tag

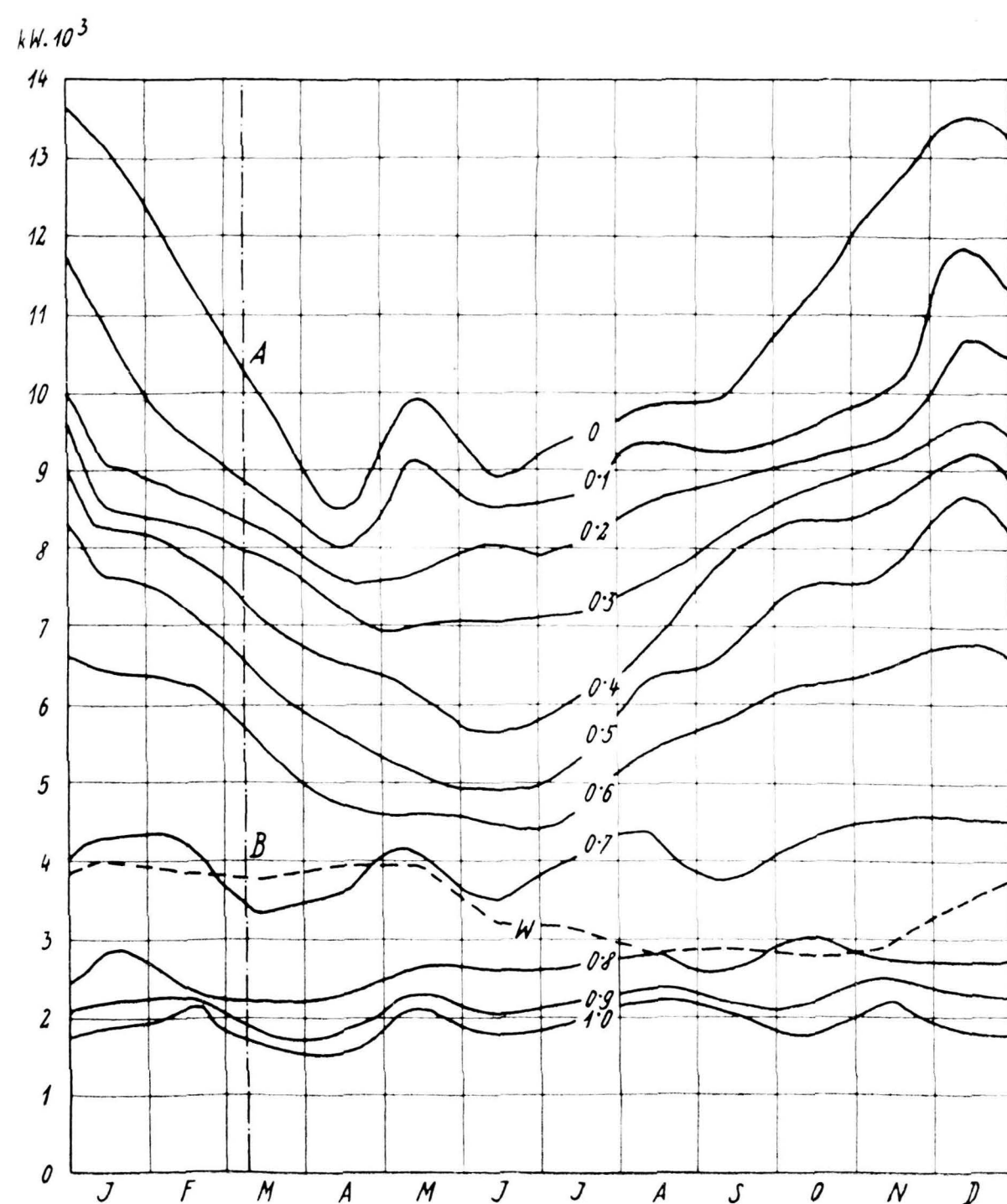


Abb. 1 c. Benutzungsdauerdiagramm.
----- Wasserdargebot.

die Leistungen auftreten, praktisch in Linien ganzer Stunden oder einfacher Teile von 24 Std. Getrennte Bilder für Werkzeuge, Samstage und Sonntage sind zweckmäßig.

Addition und Subtraktion sind nicht allgemein zu lösen, weil man den genauen Zeitpunkt, an dem eine Leistung auftritt, nicht kennt, sondern nur, wenn die eine der beiden Leistungen die Benutzungsdauer 24 Std. am Tage hat. Bei der Addition tritt die durchgehende Leistung als Grundlast hinzu, die Benutzungsdauern verschieben sich nach entsprechend höheren Leistungen; umgekehrt bei der Subtraktion einer konstanten Leistung. Eine variable Leistung wird von einer konstanten subtrahiert, indem die Dauerlinien die Benutzungsdauer „1 minus eingeschriebener Dauer“ erhalten.

Auf diesem Wege kann der Vergleich eines Energiebedarfes mit einem im Verlauf des Jahres unständigen Wasserdargebot durchgeführt werden (Abb. 1 c). Man weiß aber nicht, an welchen Tageszeiten die Fehl- oder Überschubleistungen liegen, was unter Umständen für die Ladung von Speichern wichtig ist.

Bestimmung des Arbeitsinhaltes: Bezeichnen: Δl_i die zwischen den Linien mit den Benutzungsdauern t_i und t_k Std. liegende Leistung in kW, t_p und $t_q > t_p$ die Grenzen der Benutzungsdauern in Std. (s. den eingezeichneten Tag A—B) und a und $b > a$ die Grenzen der Jahreszeit, so ist die Arbeit:

$$F_{pq}^{ab} = \sum_p^q \left[\sum_a^b (\Delta l_i) \frac{t_i + t_k}{2} \right] \text{ kWh.}$$

In dieser Methode liegen zwei Nachteile gegenüber der Leistungstopographie: Erstens muß jede planimetrierte

²⁾ Vgl. P. Attilmayr, E. u. M. 47 (1929) S. 1025.

Fläche $\sum_{a}^b (\Delta l_i)$ mit der mittleren Benutzungsdauer $\frac{t_i + t_k}{2}$ multipliziert werden. Zweitens ist die Genauigkeit verringert, wenn die Arbeit von bestimmten Leistungen (nicht Benutzungsdauern) begrenzt wird, was praktisch meistens zutrifft. Für die hierbei entstehenden schrägen Teile der Streifen ist die mittlere

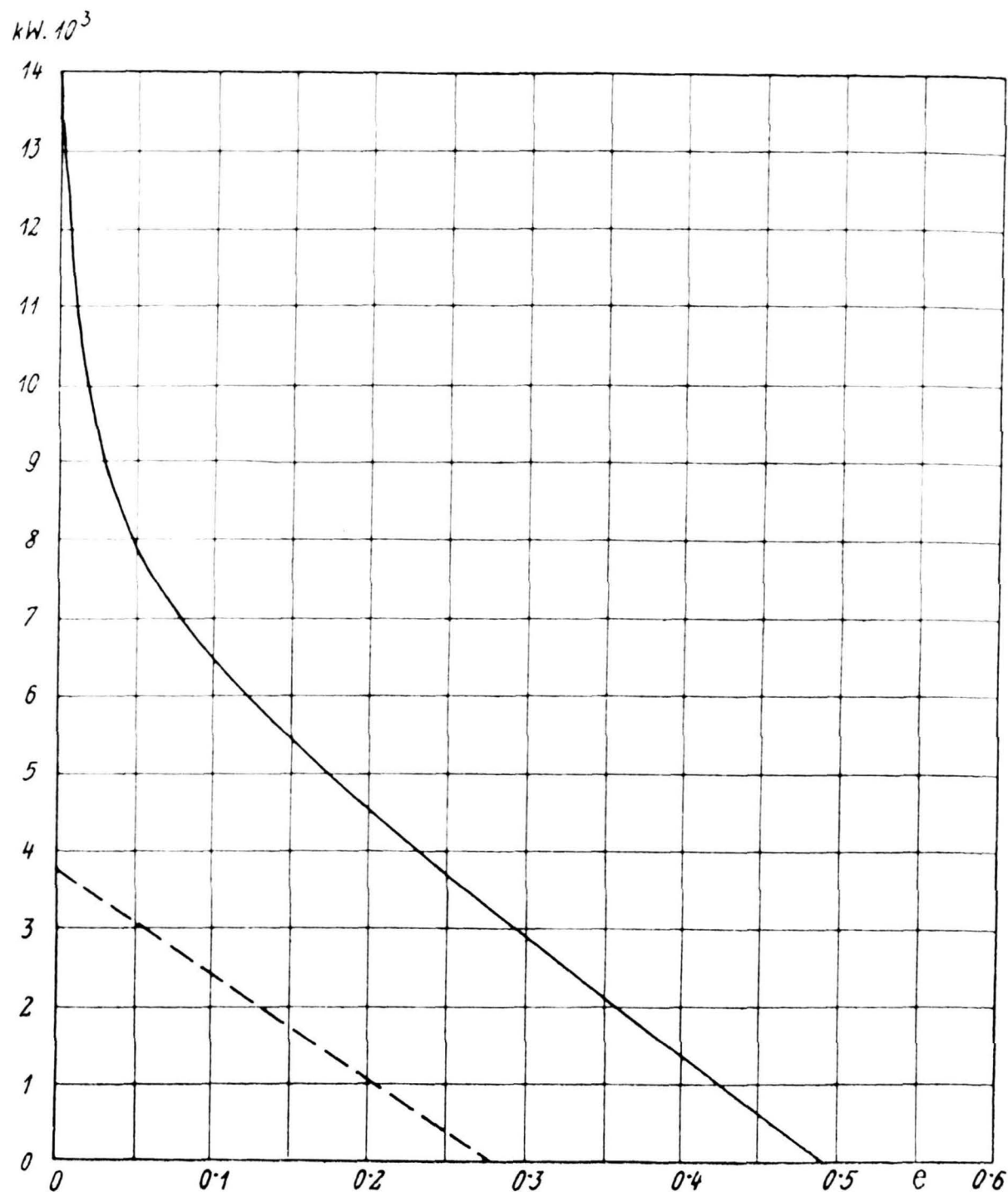


Abb. 2 a. Tagesenergieinhaltslinien.
—— Belastung, — — — Wasserkraft.

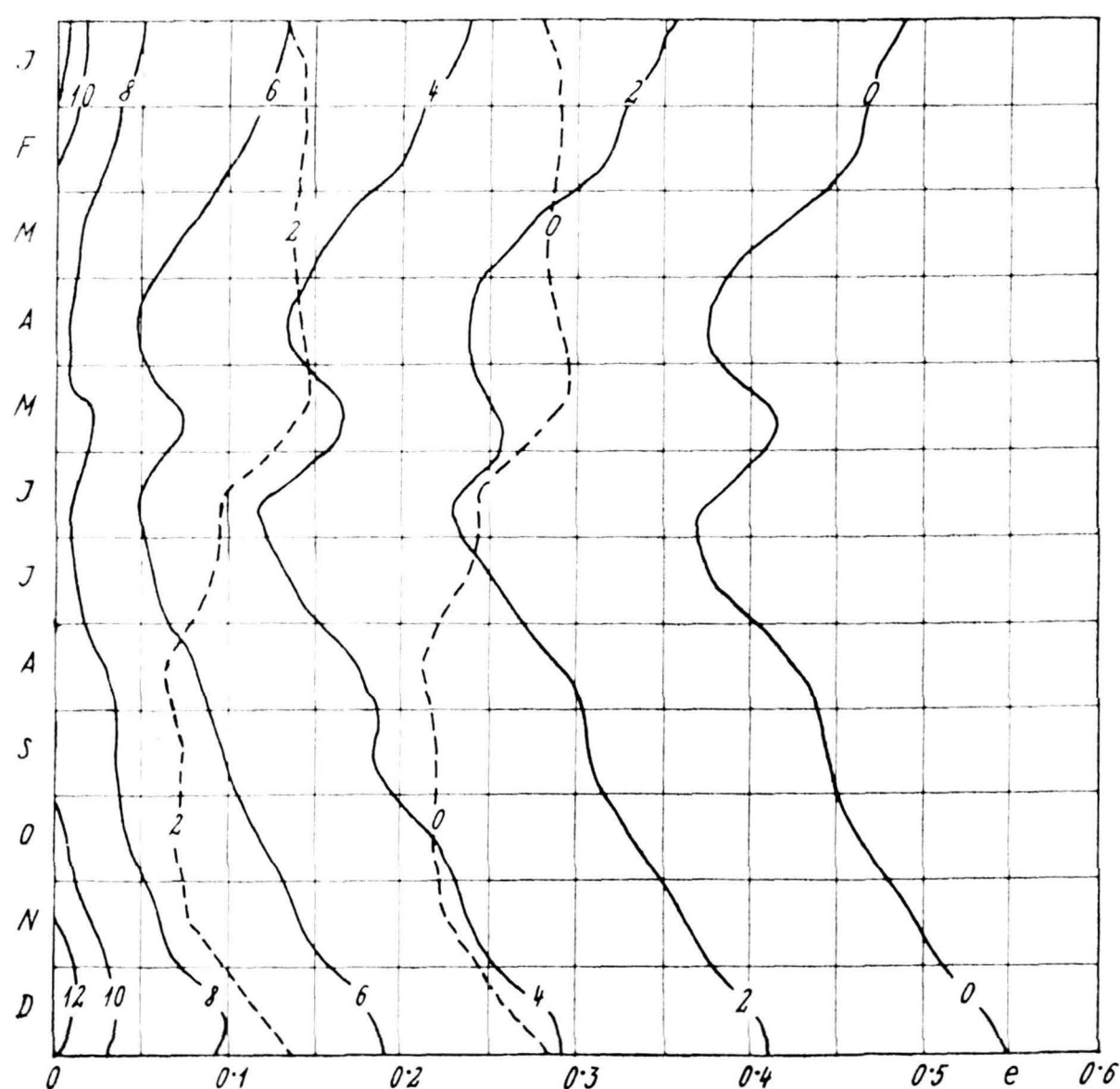


Abb. 2 b. Energieinhaltstopographie.
—— Belastung, — — — — Wasserkraft.

Benutzungsdauer nicht mehr richtig. Die Fehler heben sich bei dem üblichen Kurvenverlauf auch nicht gegenseitig auf. Sie sind am größten bei schiefen Schnitten, also bei Linien gleicher Leistung und in der Nähe der Grundlast. Man kann nicht bestimmte Tageszeiten allein

betrachten, sondern müßte für sie ein neues Diagramm aufstellen.

3. Zusammenfassung: Zur Lösung der den Leistungskurven gestellten Aufgaben ist die Leistungstopographie besser geeignet als das Benutzungsdauerdiagramm. Addition, Subtraktion und Inhaltsbestimmung sind einfacher, rascher und genauer durchzuführen, die Aufstellung geht schneller, weil man keine zusammengesetzten Größen (Benutzungsdauern!) benötigt und die Abbildung des Gebirges ist anschaulicher.

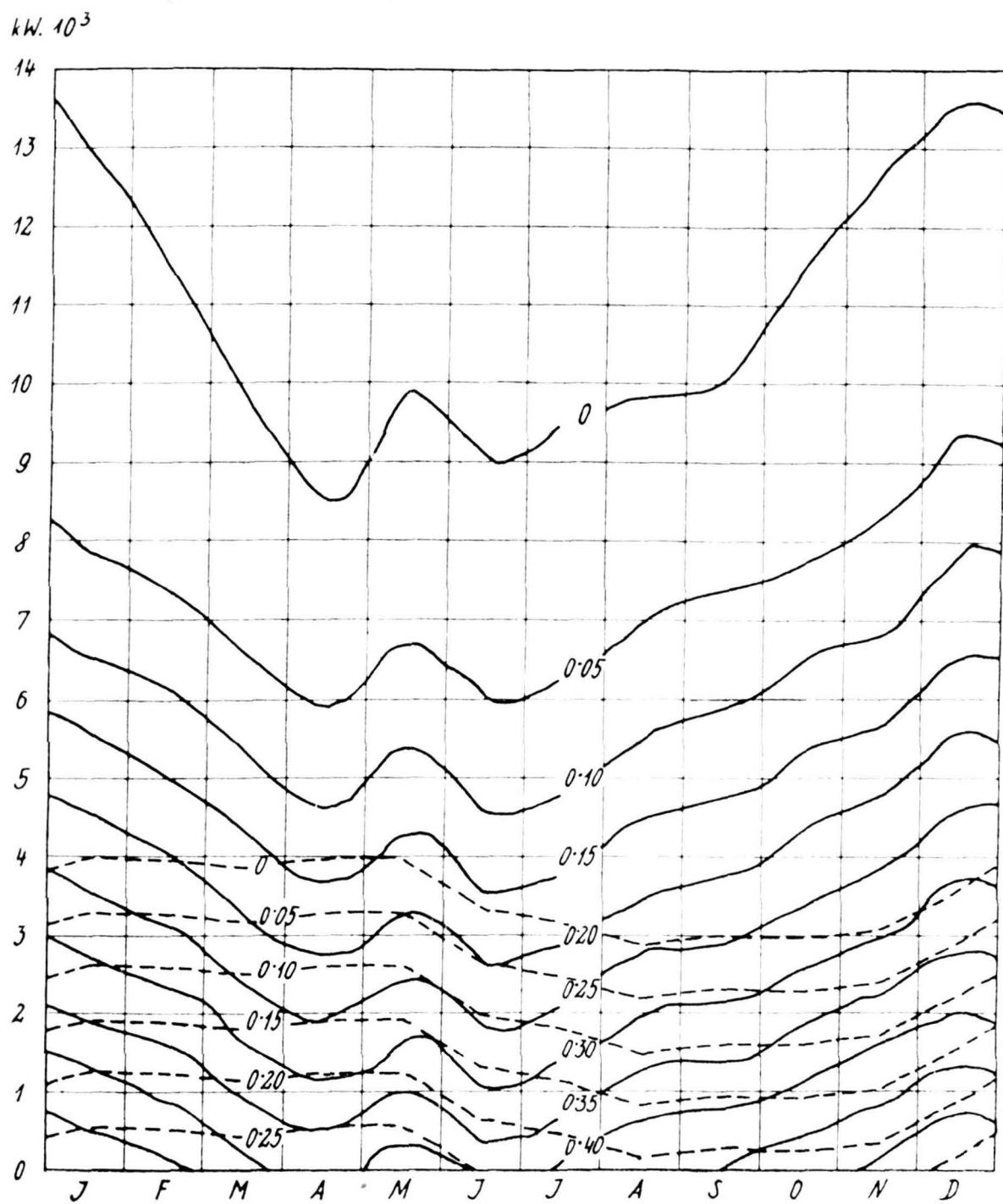


Abb. 2 c. Niveauliniendiagramm.
—— Belastung, — — — — Wasserkraft.

II. Arbeitskurven.

Die Reihe dieser Darstellungen ergibt sich aus der Energieinhaltslinie (Spitzensummenkurve³⁾, der Integralkurve zur Belastungskurve nach der Leistung⁴⁾. Man ermittelt — Abb. 2 a — die über einer Leistung L_t liegende Arbeitsfläche durch Planimetrieren und trägt diesen „Energieinhalt“ e in Abhängigkeit von der Leistung L_t auf. Als Maßstab können entweder (theoretisch) Teile der mit Jahresspitze S zu leistenden Tagesarbeit $S \cdot 24 = 1$ oder (praktisch) kWh gewählt werden. Man kann aus ihr alle durch konstante Leistung (waagrecht) begrenzten Arbeiten sofort abgreifen, wodurch die weitere Bearbeitung vereinfacht ist — man verliert aber wieder die Übersicht über die Tageszeiten.

Die Energieinhaltslinien aller Tage des Jahres kann man zu einem „Energieinhaltsgebirge“ mit den Achsen „Energieinhalt“, „Jahreszeit“ und „Leistung“ zusammenstellen. Es liefert wieder drei zweidimensionale Darstellungen, von denen hier das Bild in der „Leistungs-Energieinhalts“-Ebene ausscheidet. Von den beiden anderen ist wieder die vorteilhafteste auszusuchen.

1. Die Entwicklung der „Energieinhalts-topographie“³⁾ (Abb. 2 b) ist wohl ohne weiteres verständlich. Sie zeigt Linien gleicher Leistung in der „Energieinhalts-Jahreszeit“-Ebene.

³⁾ A. Ludin, Systematische Auswertung von Belastungsgebirgen, ETZ 52 (1931) S. 893, 1587, ders. Bedarf und Dargebot, Verlag Springer, Berlin 1932. Weitere Literaturangaben s. E. u. M. 51 (1933) S. 551.

⁴⁾ Die durch die Integration nach der Zeit entstehende „Arbeitssummenkurve“ (s. a. Hruschka, E. u. M. 51 (1933) S. 309, a. S. 551) und ihre möglichen Ableitungen eignen sich für diese Zwecke nicht, weil in ihnen die Leistungen entfallen.

Addition und Subtraktion können nur gelöst werden, wenn eine der beiden Leistungen an einem Tag konstant ist (hauptsächlich Wasserkräfte). Man stellt die Topographien in gleichem Maßstab auf und legt sie übereinander (Abb. 2b gestrichelt). Bei der Addition erhöhen sich alle Leistungskoten um die konstante Leistung, während in der Grundlast neue Linien (in gleichen Abständen) bis zur Grundebene hinzutreten. Bei Subtraktion der konstanten Leistung werden alle Koten um diese vermindert — negative Werte bedeuten dauernden Überschuß derselben. Bei Subtraktion der variablen Leistung vermindern sich die Koten der konstanten Leistung um die Grundlast jener.

Bestimmung von Arbeitsinhalten: In den Leistungsgrenzen $L_p(e_p)$ und $L_q(e_q)$ und den Zeitgrenzen a und b wird

$$F_{pq}^{ab} = \sum_a^b (e_p - e_q)$$

durch einfaches Planimetrieren ermittelt. Die kleinste Zeiteinheit ist der Tag. Über Genauigkeit und Zahl der Linien gleicher Leistung gelten die früheren Angaben.

2. Das „Niveauliniendiagramm“ (Abb. 2c) stellt in der „Leistungs-Jahreszeit“-Ebene Linien gleichen Energieinhaltes e dar; es wird in der bekannten Weise gezeichnet.

Addition und Subtraktion: Eine der beiden Leistungen muß wieder am Tage konstant sein. Bei der Addition verschieben sich die Linien an jedem Tag um die konstante Leistung nach oben, während innerhalb derselben Linien gleiche Abstände auftreten. Bei Subtraktion einer konstanten Leistung werden alle Koten um diese verringert. Bei Subtraktion der variablen Leistung II vermindern sich die Koten der e -Linien der konstanten Leistung I um die Grundlast jener. Man weiß nicht, an welchen Tagesstunden Fehl- oder Überschußleistung auftritt.

Bestimmung von Arbeitsinhalten: Mit den bekannten Grenzbezeichnungen ist für einen Tag:

$$F_{pq} = (e_p - e_q).$$

Für längere Zeiträume kann nur die Arbeit zwischen e -Linien direkt planimetrisch bestimmt werden. Anders begrenzte Arbeiten sind nur indirekt zu gewinnen, indem man für jeden Tag die Arbeit in den gegebenen Grenzen bestimmt und diese dann summiert.

3. Zusammenfassung: Die Aufstellung beider Bilder erfordert für gleiche Genauigkeit gleiche Arbeit; die eingangs erwähnten Linienzahlen und Fehlergrenzen gelten auch hier etwa. In der Auswertung sind Unterschiede: In der Energieinhaltsstopographie werden Energieinhalte direkt abgelesen und Leistungen müssen unter Umständen interpoliert werden — im Niveauliniendiagramm werden Leistungen direkt abgelesen und Energieinhalte unter Umständen interpoliert. Interpolationen sind zwar besser im Niveauliniendiagramm durchzuführen, weil die Linien da, wo sie in der Grundlast teilweise verschwinden, gleichen Abstand haben. Aber in der Energieinhaltsstopographie kann man den Arbeitsinhalt längerer Zeiträume in beliebigen Grenzen durch einfaches Planimetrieren bestimmen. Da diese Aufgabe meist auftritt, ist von den Arbeitskurven die Energieinhaltsstopographie vorzuziehen.

III. Schlußbetrachtungen.

Nun sind Leistungstopographie und Energieinhaltsstopographie miteinander zu vergleichen. Die Energieinhaltsstopographie löst Additionen und Subtraktionen nur dann, wenn eine der beiden Leistungen am Tage konstant ist, während sie Arbeiten am Tage sofort und während längerer Zeiträume durch einmaliges Planimetrieren ergibt. Das ist nützlich, wenn man die Arbeit von Kurventeilen unter variablen Bedingungen zu untersuchen hat (mehrere Ausbauleistungen einer Laufwasserkraft, verschiedener Einsatz von Spei-

chern hinsichtlich Leistung und Fahrplan usw.); hier ist die Energieinhaltsstopographie für die Auswertung vorzuziehen. Dieser Vorteil wird durch Mehraufwand an Planimetrierarbeit gegenüber der Leistungstopographie gewonnen; für die Aufstellung einer Topographie aus zwölf mittleren Tagen müssen bei 10 Punkten für jede Tageslinie (ausreichend genau) 120 Flächen bestimmt werden. Diese Arbeit kann durch Hilfskräfte erledigt werden, muß aber auch dann erfolgen, wenn man nur an einzelnen Arbeitswerten (in bestimmten Leistungsgrenzen usw.) interessiert ist. In dieser Hinsicht ist die Leistungstopographie günstiger, indem sie zuerst die Addition oder Subtraktion vornimmt und nachher nur die Inhalte planimetriert, die wirklich gesucht sind. Man hat zum Beispiel zur Bestimmung des Inhaltes eines ganzen Gebirges nur etwa 60 Flächen zu ermitteln, selbst wenn man die Staffelung der Leistungslinien von 5 vH enger als bei der Energietopographie wählt; diese Zahl verringert sich erheblich, wenn man nur bestimmte Teilinhalte sucht. Daß diese Flächenbestimmungen innerhalb der Untersuchung vorgenommen werden, muß nicht störend wirken. Vergleiche haben ergeben, daß man auch dann mit der Leistungstopographie schneller zum Ziele kommt, wenn die Bedingungen (Ausbauleistung der Wasserkraft, des Speichers o. ä.) von vornherein nur annähernd bekannt sind; einige Versuche oberhalb und unterhalb der angenommenen Größen genügen und erfordern immer noch geringere Arbeit.

Die Energieinhaltsstopographie unterscheidet die einzelnen Tageszeiten nicht mehr; man kann dagegen mit einer Leistungstopographie auch dann auskommen, wenn man die Arbeit in der Nachtzeit, zum Beispiel bei Fremdbezug besonders abrechnen und daher ermitteln muß. Sie gibt auch an, wo innerhalb des Tages die Überschußflächen liegen, wie also etwa die Lade- und Entladeflächen von Speichern aussehen, wie sie denn überhaupt die Belastungsverhältnisse anschaulicher und vollständiger darstellt.

Mithin sollte die Leistungstopographie zur allgemeinen Darstellung der Belastungsverhältnisse allein Verwendung finden, die Energieinhaltsstopographie dagegen nur für die wasserwirtschaftlichen Aufgaben, bei denen sie nach dem Vorhergehenden als Rechenmethode unter Umständen schneller zum Ziel führen und besser zu handhaben sein kann.

Die Jahresdauerlinie (geordnete Jahreskurve) und die daraus entwickelte Jahresenergieinhaltslinie sind gegenüber den Topographien dadurch beschränkt, daß mit ihnen Additionen und Subtraktionen überhaupt nicht mehr durchgeführt werden können. Ihre größere Anschaulichkeit macht sie geeignet für die Erörterung und Berechnung einiger Probleme über Verluste, Einsatz mehrerer Werke und Maschinen, Kosten und Kostenverteilungen aller Art und endlich zur raschen, näherungsweise Bestimmung von Fahrplänen, Betriebszeiten und Arbeitsinhalten gegebener Belastungen.

An Vielseitigkeit der Verwendung und Genauigkeit der Auswertung ist die Leistungstopographie auch diesen Darstellungen überlegen oder mindestens gleichwertig. Zumal alle anderen Bilder aus ihr entwickelt werden können und sie die umfassendste Auskunft über alle Einzelheiten gibt, ist sie die geeignetste Form der zweidimensionalen Aufzeichnung der Belastung. Es ist daher anzustreben, daß sie von den Werken als einheitliche und austauschbare Darstellung allgemein eingeführt wird.

Man sollte möglichst bald, wie auch seiner Zeit für das Belastungsgebirge, einheitliche Maßstäbe festlegen. Der Verfasser schlägt nach praktischen Erfahrungen und im Anschluß an das bei Gebirgen übliche Zeitmaß eine Grundfläche von 240.240 mm und je nach der Höchstleistung S gestaffelte Abstände der Leistungslinien ΔS vor:

$$\begin{aligned} S < 10\,000 \text{ kW} : \Delta S &= 500 \text{ kW} \\ < 25\,000 \text{ „} : S &= 1\,000 \text{ „} \\ < 50\,000 \text{ „} : S &= 2\,000 \text{ „ usw.} \end{aligned}$$

Es wäre zu begrüßen, wenn Erfahrungen und Vorschläge hierzu ausgetauscht werden könnten.

⁵⁾ Siehe L. Musil, Die Auswertung von Belastungsgebirgen für die Untersuchung von Speicherfragen, ETZ 52 (1931) S. 1416, 1587.

Rundschau.

Elektrische Maschinen, Transformatoren.

Kompensierung der Gleichstrom-Vormagnetisierung bei Eisendrosseln. Von F. Vilbig. Die in der Sender- und Fernsprechtechnik für den Betrieb benötigten starken Gleichströme sind meistens wellig und müssen zur Erzielung eines störungsfreien Betriebes durch Drosseln hoher Induktivität erst geglättet werden. Der in diesen „Glättungsdrosseln“ fließende Gleichstrom — in der Größenordnung von 100 A — magnetisiert den Eisenkern sehr stark vor und verringert dadurch die Permeabilität und mithin die Wirkung der Drossel empfindlich. Deshalb baut man derartige Drosseln mit Luftschlitzen, um die Vormagnetisierung zu begrenzen, vermindert aber dadurch gleichzeitig die Wechselstrom-Induktivität der Drossel. Einen Ausweg aus diesem Dilemma ist der Vorschlag, die Drossel ohne Luftspalt auszuführen, dafür aber die Vormagnetisierung durch eine Ausgleichswicklung zu kompensieren, die von reinem Gleichstrom durchflossen wird. Die Wicklung besteht zweckmäßig aus vielen Windungen, da man dann nur den Strom von einigen Ampere zur völligen Kompensierung braucht. Die Induktivität einer Versuchsdrossel konnte durch Speisung der Ausgleichswicklung rund auf das zehnfache erhöht werden, wenn bei genauer Kompensierung die Stromstärken in den beiden Wicklungen sich umgekehrt verhielten wie deren Windungszahlen (140 : 8000). Dr. B. g.

(TFT 22 1933) S. 237.)

Schaltanlagen, Schaltgeräte.

Neuartige Zellschaltung bei Akkumulatorenbatterien. Von W. Hollatz. Um Zellschalter, vor allem aber die schweren Zuleitungen zu ersparen, wurde im E. W. Stuttgart eine Einrichtung entwickelt, bei der die Schaltkontakte und ein von Hand verschiebbarer Schaltschlitten direkt an den Batteriekästen angebracht sind, die notwendigen Schaltungen also an den Batterien selbst vorgenommen werden. Bei einer Hilfsbatterie von 120 Zellen wurden die an der Wand liegenden Zellenverbindungsleisten mittels Kupferstützen an eine zwischen zwei Zellen durch Isolierstücke unterbrochene Gleitkontaktschiene angeschlossen. Über dieser befinden sich zwei blanke Kupferleitungen, die die Verbindung mit der Schalttafel herstellen. Zwischen der Gleitkontaktschiene und jeder dieser Kupferleitungen ist ein Kontaktschlitten angebracht, der von Hand verschoben werden kann. Die Kontaktschlitten sind in der bei Zellschaltern üblichen Weise mit Übergangswiderständen zur unterbrechungsfreien Schaltung versehen. Verzichtet man auf die Doppelzellenschaltung, so ergibt sich eine noch viel einfachere Anordnung, besonders wenn die Batterie aus zwei Reihen einander genau gegenüberstehender Zellen besteht. So wurden bei einer 136zelligen Batterie für rund 1000 A Dreistundenstrom in die Verbindungsleisten der zu schaltenden Zellen (die Zellen jeder Reihe sind hintereinander geschaltet) Kupferschienen eingelötet, die zu Gleitschienenstücken längs des Mittelganges führen. Im Mittelgang läuft ein Gleitschlitten an den Gleitschienenstücken, der die beiden Reihen hintereinanderschaltet. Somit sind immer die (von den Endklemmen der Batterie gesehen) jenseits des Schlittens befindlichen Zellenpaare abgeschaltet. Diese Einrichtungen haben sich infolge ihrer Billigkeit und Einfachheit sehr bewährt; natürlich bedürfen die im säuredampferfüllten Batterieraum befindlichen Kontakte einer gewissenhaften Pflege. H. S.

(ETZ 54 (1933) S. 1264.)

Meßkunde.

Messung des Leistungsfaktors von Asynchronmotoren kleiner Leistung ohne Wattmeter. Von Ing. J. W. Gorochow, Moskau. In die Zuleitung zu einer Ständerphase werden zwei Amperemeter gelegt. Parallel zum Netz werden drei gleiche in Stern geschaltete

Ohmsche Widerstände angeschlossen. Ein Amperemeter in einer Verbindungsleitung zu einem der drei Widerstände mißt den Strom J_2 . Dasjenige der zwei Amperemeter in einer Zuleitung zu einer Ständerphase, das vor dem Anschluß der drei Ohmschen Widerstände liegt, zeigt den Strom J an, das andere Amperemeter hinter dem Anschluß der Widerstände mißt den Strom J_1 . Der Leistungsfaktor ist dann

$$\cos \varphi_1 = \frac{J^2 - (J_1^2 + J_2^2)}{2 J_1 J_2},$$

weil der Strom die Vektorsumme aus den Strömen J_1 und J_2 sein muß, die gegeneinander um φ_1 phasenverschoben sind. Die Messung wird genauer, wenn $J_1 = J_2$ ist, was leicht durch Regeln der Widerstände erreicht werden kann. Der Leistungsfaktor ist dann

$$\cos \varphi_1 = \frac{1}{2} \left(\frac{J}{J_1} \right)^2 - 1.$$

Squ z.

(Elektritschestwo (1933) H. 10, S. 33.)

Vereins-Nachrichten.

Dr. Carl Breitfeld, o. ö. Professor der theoretischen Elektrotechnik an der Deutschen Technischen Hochschule in Prag ist am 13. April d. Jahres nach längerer Krankheit im Alter von 66 Jahren gestorben. Nach Absolvierung der Maschinenbau-Abteilung in seiner Vaterstadt Prag studierte er in Zürich (bei H. F. Weber) und wurde dort im Jahre 1897 zum Dr. phil. promoviert. Durch Veröffentlichung der seitdem vielbenützten Tangens-Formel zur Ermittlung der Phasenverschiebung bei Drehstrom in der ETZ 1899 wurde sein Name allgemein bekannt. Nach praktischer Tätigkeit bei den Kraftwerken Rheinfelden für die AEG, Berlin, und bei der AEG-Union El. Ges., Wien, wurde Breitfeld Assistent bei Kittler in Darmstadt, und ließ sich später als Privatgelehrter und Elektroingenieur-Konsulent in Prag nieder. Es erschienen in der Folge von ihm sein grundlegendes Werk „Die Berechnung der Wechselstrom-Fernleitungen“ (1922 in zweiter Auflage), ferner wertvolle Aufsätze in den großen Zeitschriften deutscher Zunge. In der Z. hat Breitfeld seit 1920 eine Reihe von bemerkenswerten Aufsätzen veröffentlicht, so über das Sinus- und Tangens-Relief, über Leitungsprobleme, Induktionsmotoren u. a. m. 1918 habilitierte sich Breitfeld an der Deutschen Technischen Hochschule Prag als Privatdozent, 1920 wurde er zum außerordentlichen und 1924 zum ordentlichen Professor der Elektrotechnik ernannt. 1927 gab Breitfeld ein Werk „Analysis der Grundprobleme der theoretischen Wechselstromtechnik“ heraus. 1928/29 vertrat er seine Hochschule als Rektor magnificus. Ein vornehmer Charakter, ein treuer, edler Mensch, der bei seinen Studenten ungemein beliebt war, ist mit ihm dahingegangen. Der Elektrotechnische Verein in Wien, dem Breitfeld seit 1907 angehörte, betrauert in dem Dahingegangenen den Verlust eines langjährigen treuen Mitgliedes, die Z. den eines ausgezeichneten Mitarbeiters.

F. Niethammer.

Metallmarkt.

Berlin (Nach Neue Freie Presse) Mk. je 100 kg.

Kupfer	24. IV.	25. IV.	26. IV.	27. IV.	28. 4.
Electrolytic	47 1/2	47 3/4	48	48 1/2	48 1/2

London (Nach „Mining Journal“ v. 27. IV.) je t (1016 kg)

Kupfer:	Pf.	sh	d	Pf.	sh	d
Electrolytic	36	0	0	36	10	0
Wire bars	36	10	0	—	—	—

Blei:

Engl. pig common	12	15	0	—	—	—
------------------	----	----	---	---	---	---

Aluminium: 98—99 vH home and export p. T. 100 Pf.