

Bedarf und Dargebot

Neuere Methoden der
elektrizitäts- und wasserwirtschaftlichen
Betriebslehre

von

Dr.-Ing. Dr.-techn. h. c. Adolf Ludin

ord. Professor an der Technischen Hochschule Berlin

Mit 31 Textabbildungen
und 1 Tafel



Springer-Verlag
Berlin Heidelberg GmbH
1932

Bedarf und Dargebot

Neuere Methoden der
elektrizitäts- und wasserwirtschaftlichen
Betriebslehre

von

Dr.-Ing. Dr.-techn. h. c. Adolf Ludin

ord. Professor an der Technischen Hochschule Berlin

Mit 31 Textabbildungen
und 1 Tafel



Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH 1932

Additional material to this book can be downloaded from <http://extras.springer.com>

ISBN 978-3-662-39241-6

ISBN 978-3-662-40255-9 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-662-40255-9

Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung
in fremde Sprachen, vorbehalten.

Copyright 1932 by Springer-Verlag Berlin Heidelberg

Ursprünglich erschienen bei Julius Springer in Berlin 1932

Vorwort.

Diese kleine Schrift will nicht die Ergebnisse neuer energiewirtschaftlicher Untersuchungen vermitteln, sondern nur ein Werkzeug zur systematischen und übersichtlichen Durchführung solcher an die Hand geben.

Die Grundlage der hier entwickelten Methoden, die Energieinhalts- oder Spitzensummenlinie, habe ich seit 1910 wiederholt zur Anwendung empfohlen; zuletzt in erweiterter Form 1917 (Lit. 1 bis 3). Die vorliegende wesentlich ergänzte Darstellung ist in der Absicht geschrieben, die vielseitigen Anwendungsmöglichkeiten der fast nur in der amerikanischen Literatur weiter benutzten Inhaltlinie auch weiteren Kreisen deutscher Elektrizitätswirtschaftler und Statistiker zugänglich zu machen. Um den Umfang der Schrift klein zu halten, habe ich die auch anderwärts behandelten Betriebspläne für Großspeicher-Wasserkraftwerke nur angedeutet und mich in der Hauptsache darauf beschränkt, zur Lösung der bei Lauf- und Kleinspeicher-Wasserkraftwerken auftretenden Aufgaben in möglichst knapper Form anzuleiten, wobei ich die Ausführung ins einzelne und den weiteren Ausbau der Entwurfspraxis überlassen zu dürfen glaubte. Daß die entwickelten graphisch-rechnerischen Methoden zur Darstellung und Untersuchung beliebiger statistisch erfaßbarer Vorgänge und Zustände — auch außerhalb der elektrizitätswirtschaftlichen — geeignet sind, ist zu erwähnen vielleicht nicht überflüssig. Aus diesem Grunde ist im Anhang eine skizzenhafte allgemeine Theorie der „graphischen Statistik“ beigegeben.

Herr Dipl.-Ing. Meischner hat mich durch sorgfältige Ausarbeitung der Zeichnungen, Herr Dr.-Ing. Presser durch Lesen einer ersten Fassung in dankenswerter Weise unterstützt.

Berlin, November 1931.

Adolf Ludin.

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
I. Maßgebende Belastungslinien	1
II. Abgeleitete der Belastungsganglinien	2
a) Belastungsdauerlinien	2
b) „Energiesummenganglinie“	3
c) Die „Energie-Inhaltslinie“	4
III. Geometrische Eigenschaften der Energie-Inhaltslinie	5
IV. Speicheraufgaben	9
Beckenbedarf S. 10. — Speicherung mit Energieverlust S. 11. — Wochen-	
speicherung (Sonntagsspeicherung) S. 12.	
V. Belastungsaufteilung im Verbundbetrieb	15
a) Grundsätze	15
1. Wasserkraftlaufwerke S. 15. — 2. Wärmegrundkraftwerke S. 15. — 3. Wärme-	
spitzenkraftwerke S. 15. — 4. Wasserkraft-Kleinspeicherwerke S. 15. — 5. Was-	
serkraft-Großspeicherwerke S. 15.	
b) Elementare Anwendungsbeispiele	16
c) Berücksichtigung schwankender Energiedarbietung	18
d) Verfahren bei Speicherung mit Energieverlust	20
VI. Zusammenfassung über das Betriebsjahr	21
VII. Belastungsgebiete und Belastungspläne	22
a) Ebene Abbildungen des Belastungsgebietes	22
b) Abgeleitete Energiepläne	24
Belastungsdauerplan	24
Dargebotsdauerplan	24
Energie-Inhaltsplan des Bedarfs und Dargebots	24
Eigenschaften des Energie-Inhaltsplans	25
Energie-Inhaltssummenplan	26
Belastungsdauersummenplan	26
VIII. Jahresbilanz von Bedarf und Dargebot im Energie-Inhaltsplan; der B-D-I-Plan	27
Anhang	32
Elemente einer graphischen Statistik	32
1. Allgemeines über Verteilungslinien.	32
2. Grundlegende Eigenschaften und Beziehungen der Verteilungslinien	34
3. Darstellung von Mittelwerten und Streuungsmaßen	36
4. Verteilungsflächen	37

I. Maßgebende Belastungslinien.

Die Form des Belastungsverlaufs ist durch den Aufbau des Abnehmerkreises, oder kurz: „den Netzcharakter“ bestimmt und für die meisten Untersuchungen als empirisch gegeben zu betrachten.

Zur Darstellung des Belastungsverlaufs eines ganzen Betriebsjahres wählt man entweder einen Satz von je 12 (oder auch 6) „Belastungsganglinien“ für je einen typischen Tag eines Monats (Monatspaares), und zwar eines Wochentags, eines Samstags und eines Sonntags. In manchen Fällen können die Samstags- und Sonntagslinien unterdrückt und durch entsprechende Bewertung der Wochentagslinien berücksichtigt werden.

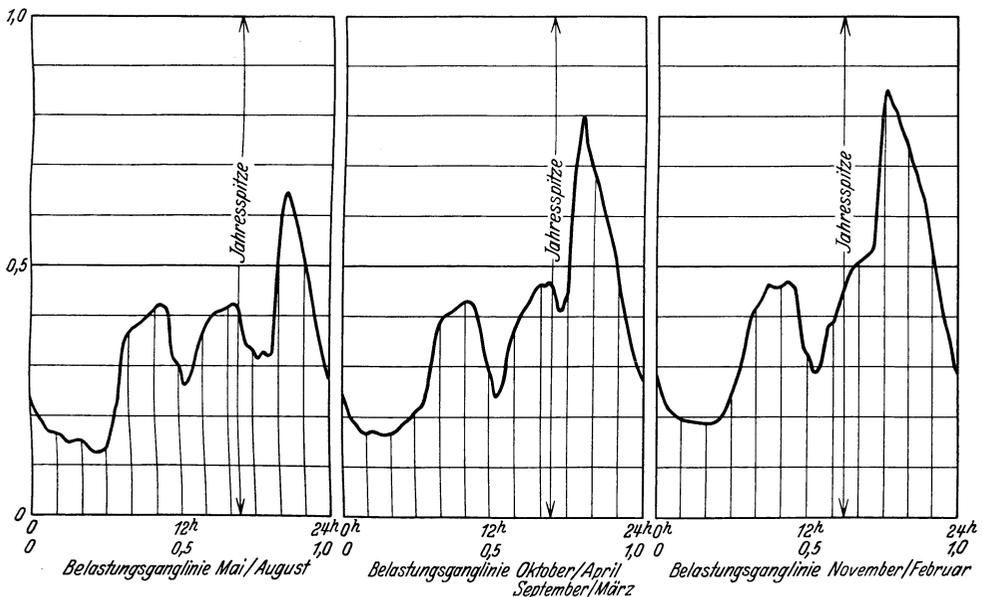


Abb. 1. Typische Belastungsganglinien für Dritteljahre.

Die Zahlen 12 oder 6 können durch Zusammenlegen der im Jahresgang symmetrisch liegenden Zeitabschnitte auf 6 bzw. 3 herabgedrückt werden. Bei Entnahme der Kurvenbilder aus Betriebsstatistiken ist nach Bedarf der Einfluß der Zunahme der Anschlußgröße während des Jahres durch Reduktion auf eine „mittlere Anschlußgröße“ auszuschalten.

Als Maßstab der Darstellung wählt man sowohl für Leistung wie für Zeit zweckmäßig einen Dezimalmaßstab mit der „Jahresspitze“ als Leistungseinheit und den vollen 24 Stunden des Tages (bzw. der Dauer des einzelnen Be-

triebsabschnittes — z. B. Monatspaar) als Zeiteinheit; diese Dezimalmaßstäbe für Zeit und Leistung können auch verschieden sein (Abb. 2), wie es in allen nachfolgenden Abbildungen aus Gründen der Raumersparnis der Fall ist.

Die Untersuchung selbst kann immer so durchgeführt werden, daß die erhaltenen 6 (oder 3) Belastungsdiagramme auf besonderen Blättern (wie Abb. 1)

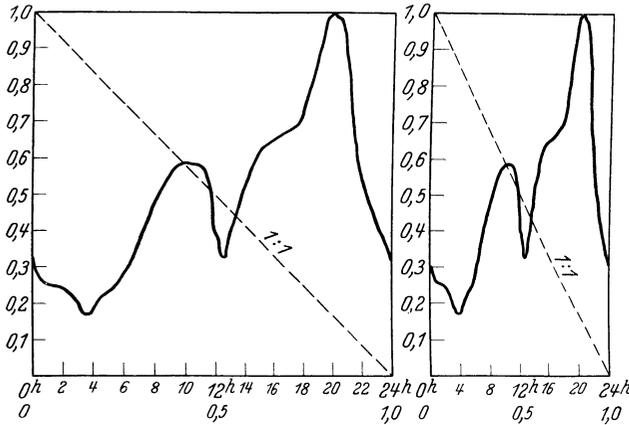


Abb. 2.

neben- oder zeitlich nacheinander behandelt und die Ergebnisse dieser Einzelbehandlung zu Jahreswerten zusammengestellt werden. Wir werden hier aber auch ein Verfahren entwickeln, das eine synoptische, zusammengefaßte Darstellung und unmittelbare rechnerische Bearbeitung des gesamten Diagrammmaterials ermöglicht und daher in vielen Fällen den Vorzug finden wird.

Geometrische, künstliche Vereinfachung der Ganglinien ist in jedem Falle unnötig, wenn die im Abschnitt II entwickelten Auswertungsverfahren angewandt werden.

II. Abgeleitete der Belastungsganglinien.

a) Belastungsdauerlinien.

Durch Ordnung aller (beliebig klein zu denkenden) Zeitabschnitte mit ihren zugehörigen Belastungen nach der Größe der letzteren entsteht (Abb. 3) die Belastungsdauerlinie (die noch anzutreffenden Bezeichnungen: geordnete Belastungslinie, symbolische Belastungslinie u. a. m. sind aus sprachlichen oder sachlichen Gründen abzulehnen). Abb. 3 deutet an, wie die Belastungsdauerlinie am übersichtlichsten graphisch aus der Ganglinie zu konstruieren ist: $t = t_1 + t_2$.

Die Belastungsdauerlinie kann zunächst für einzelne Tage, z. B. auch für jede der unter 1. eingeführten Tagestypen gezeichnet werden. Sie kann außerdem für gewisse Zeitabschnitte (Monat, Monatspaar usw.) und für das ganze Jahr aus den sämtlichen vorhandenen Tagesgang- oder Dauerlinien (nicht nur den typischen) durch Addieren aller Zeitabschnitte auf gleicher Leistungshöhe als „mittlere“ Dauerkurve abgeleitet werden. Die letztere Methode ist die genauere. Sie gestattet auch leichter die Mitberücksichtigung der Samstags- und Sonntagskurven, falls dies erwünscht ist. Für Untersuchung von Kleinspeicheraufgaben darf indes die „mittlere“ Belastungsdauerlinie nicht verwendet werden.

Bei Darstellung von Dargebotswerten, z. B. verfügbaren Wassermengen oder -leistungen einer Wasserkraftanlage, bedient man sich mit Vorteil mittlerer Dauerlinien, deren Zeitwerte (für die einzelnen Monate) über möglichst viel

Beobachtungsjahre hinweg gemittelt, größeren Wahrscheinlichkeitswert haben, als diejenigen eines einzelnen, wenn auch sogenannten normalen oder „mittleren“ Jahres.

b) Die „Energiesummenganglinie“

entsteht (Abb. 3) durch fortlaufende waagerechte Addition lotrechter Lamellen (Zeitdifferentialiale) der von der Belastungsganglinie umgrenzten Flächen (Integration nach der Zeit). Das Ergebnis ist eine fortlaufende Reihe von Energiewerten, die, als Ordinaten aufgetragen, eine ständig steigende Linie ergeben. Als Maßstabseinheit wählt man zweckmäßig die „ideelle Vollarbeit“ = Jahresspitze mal 24 Stunden m. a. W.: Den Inhalt des der Belastungsgang- und Dauerlinie umschriebenen Rechteckes mit den beiden Seitenlängen „1“ (die nach obigem, in Zentimetern gemessen, verschieden sein können).

Die Darstellung darf als bekannt vorausgesetzt werden; ihre Haupteigenschaften seien daher hier nur kurz zusammengestellt:

1. Die Tangentenneigung ist ein Maß der wirklichen, die Sehnenneigung ein Maß der mittleren Leistung. Man zeichnet daher neben dem Ordinatenmaßstab „Energie“ noch einen Neigungsmaßstab „Leistung“ (Strahlenbüschel!).

2. Eine konstante Leistung (entsprechend z. B. dem annähernd konstanten Tageszufluß eines Wasserkraftwerkes bei unveränderlicher Fallhöhe) ergibt eine gerade Dargebots-Summenganglinie. Der positive oder negative Ordinatenunterschied der Dargebots- gegenüber der Belastungssummenganglinie ergibt die mögliche Aufspeicherung „s“ und den notwendigen Verbrauch „a“ bei Vorhandensein eines Wasserspeichers (vgl. Abb. 16).

Die Speicherinhalte werden im Energiemaßstab erhalten, somit als Bruchteile des Tageszulaufs einer der Jahresspitze gleichwertigen ideellen „Vollwassermenge“.

3. Die Wasserspiegelganglinie des Kleinspeichers, d. h. der zeitliche Verlauf der Spiegelschwankungen (und damit auch der Fallhöhen), ist in einfacher Weise aus den Summenganglinien abzuleiten, wenn die Topographie des Beckens

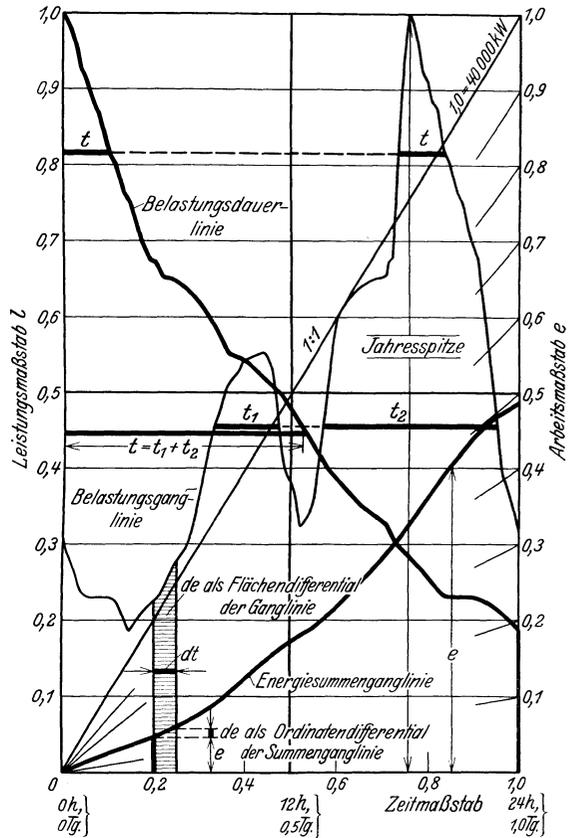


Abb. 3. Ableitung der Belastungsdauerlinie und Energiesummenganglinie aus der Belastungsganglinie.

und damit die Spiegelfläche und der Nutzinhalt als Funktion der jeweiligen Spiegelhöhe gegeben ist¹.

Für mehr als einen Tag umfassende Summenganglinien wählt man statt rechtwinkliger Koordinaten (Abb. 3) zweckmäßigerweise schiefwinklige (Abb. 16)². Die Neigung der schräg abwärts gerichteten Zeitachse wählt man vorteilhafterweise umgekehrt gleich der mittleren Jahresbelastung (oder auch: mittleren Wochenbelastung). Dadurch wird erreicht, daß die mittlere Jahres (Wochen-)belastung durch einen waagerechten Strahl dargestellt und die Papierfläche gut ausgenutzt wird. Man kann daher die Aufzeichnung dieser Form von Summenganglinien auch in der Weise vornehmen, daß man fortlaufend die Unterschiede „Energiesumme der wirklichen Belastungskurve minus Energie-

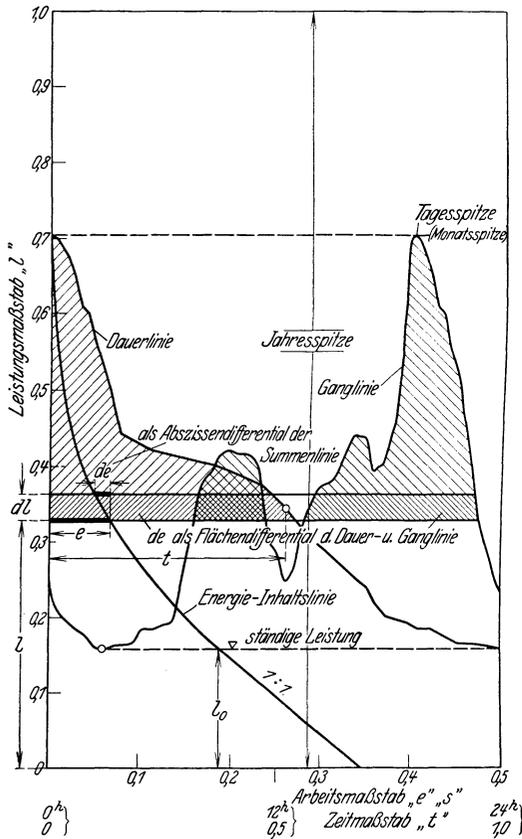


Abb. 4. Ableitung der Belastungsinhaltlinie.

Leistung. Natürlich kann auch zu jeder anderen Ganglinie (Wasserdargebot, Leistungsdargebot usw.) eine Dauerlinie und zu dieser eine Inhaltlinie in gleicher Weise gezeichnet werden.

¹ Über die Berücksichtigung stärkerer Fallhöenschwankungen bei der Umwertung von Wassermenge in Leistung und umgekehrt vgl. u. a. Lit. 6.

² Nach Lit. 1 und 2.

summe aus ständig vorhanden gedachter mittlerer Belastung“ berechnet und von einer waagerechten Zeitachse (unter Beachtung des Vorzeichens!) aufträgt. — Die Summenganglinie ist für genaue Verfolgung z. B. von längeren Speichervorgängen, etwa über eine Woche, vorzugsweise geeignet. Sie ist aber weniger anschaulich und nicht so zeitsparend wie die nachstehend beschriebenen Hilfslinien.

c) Die „Energieinhaltslinie“

entsteht durch senkrecht fortlaufende Addition waagerechter Lamellen (Leistungsdifferentiale) der Fläche unter der Belastungsganglinie [natürlich auch: der (inhaltsgleichen) Fläche unter der Belastungsdauerlinie!]. Integriert man zunächst von oben nach unten und trägt alle dabei entstehenden Zwischensummen „s“ (Spitze) oder „e“ (= Energie) vom linken Randlot (Abb. 4) als Abszisse auf, so erhält man die Spitzeninhalte als Funktion der

III. Geometrische Eigenschaften der Energieinhaltslinie.

Auf einer beliebigen Leistungsstufe „ J “ (Abb. 4) (echter Dezimalbruch) ist die Abszisse der Energieinhaltslinie gemäß ihrer Herleitung:

$$e = \int_{1,00}^l t dl. \quad (1)$$

Hieraus folgt durch Differentiation:

$$\frac{de}{dl} = t \quad (2)$$

oder:

1. Die Neigung der Tangente der Energieinhaltslinie ist verhältnisgleich der Belastungsdauer.

Hieraus folgt unmittelbar weiter, im Hinblick auf die Form von Belastungsgang- und -dauerlinie:

2. Die Energieinhaltslinie verläßt die senkrechte Nullachse entweder tangential (bei einer wirklichen Spitzenform der Belastungslinie), oder jedenfalls unter einem sehr kleinen Winkel.

3. Die Energieinhaltslinie ist nach oben konkav und sofern nicht in der Belastungsdauerlinie waagerechte Stufen vorkommen (denen in der Spitzensummenlinie Knicke entsprechen müssen) auch stetig.

4. Von der Höhe der „ständigen“ Leistung l_o ab nach untenverläuft die Energieinhaltslinie als Gerade unter der Neigung „1:1“ [bei ungleichem Leistungs- und Zeitmaßstabe ist die wirkliche Neigung zu unterscheiden von der maßstäblich verzerrten (vgl. oben, Abb. 2)].

Weiter gilt:

5. Nach der Art der Auftragung im unbenannten Dezimalmaßsystem (Dimension = 1) können die Abszissen der Energieinhaltslinie statt als Arbeitswerte auch als bezogene Leistungswerte, nämlich als „mittlere Leistung“ l_m bezogen auf die volle Zeitdauer des Betriebsabschnittes (= 1!) aufgefaßt werden. Mit dem gleichen Rechte können dieselben Abszissen e aber auch als bezogene Zeitwerte b_m

$$b_m = \frac{s = \text{Spitzenarbeit}}{l_{\max} = \text{Jahresspitze}} \quad (3)$$

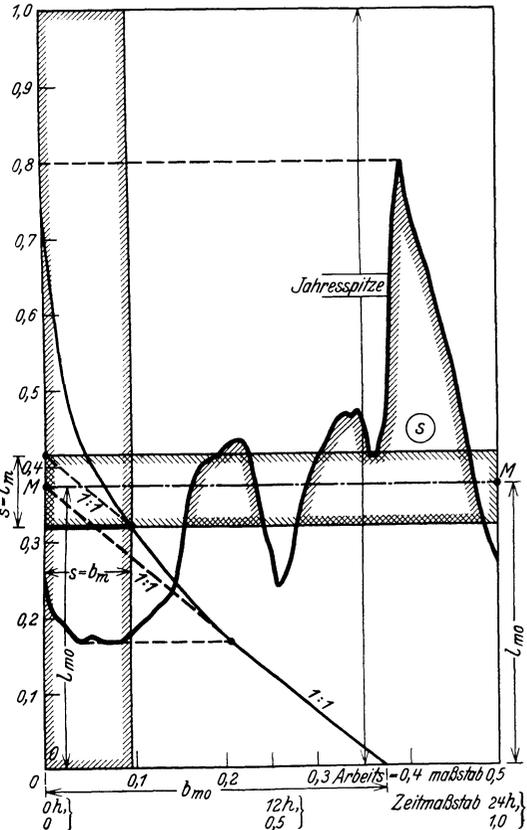


Abb. 5. Mittlere Benutzungsdauer und mittlere Leistung sind inhaltlich gleiche Werte.

aufgefaßt werden; sie haben dann die Bedeutung der auf **Jahresspitze** bezogenen mittleren Benutzungsdauer. Beide diesen Auffassungen entsprechenden, in Abb. 5 schraffierten Rechtecke sind (unter Berücksichtigung der Maßstabverschiedenheit in Abszisse und Ordinate!) inhaltsgleich dem der Spitzenhöhe entsprechenden schraffierten Diagrammteil.

Insbesondere ist infolgedessen auch die untere Schlußabszisse der Energieinhaltslinie gleich der auf Jahresspitze bezogenen mittleren Benutzungsdauer b_{m0} des ganzen Belastungsdiagramms!

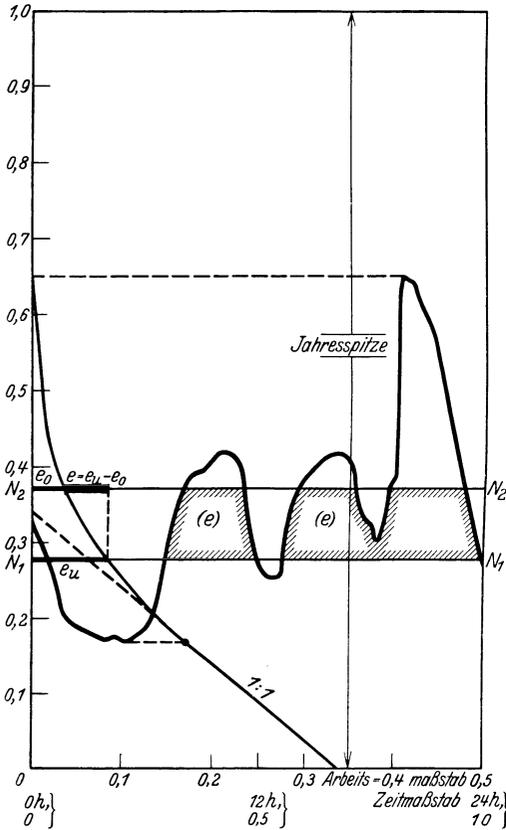


Abb. 6. Energieinhalt einer Teilbelastung.

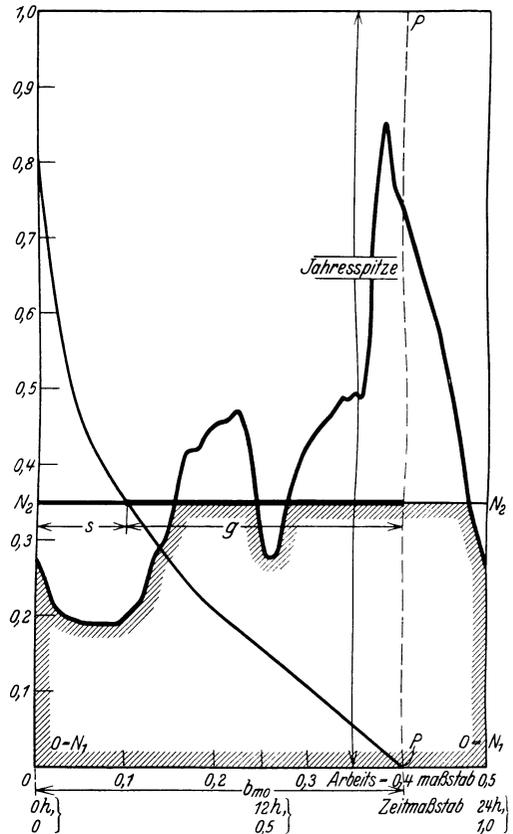


Abb. 7. Ableitung des Grundbelastungs-Inhalts.

Da ferner die Schlußtangente der Energieinhaltslinie nach obigem die Neigung „1 : 1“ (also Abszisse = Ordinate) hat, so ist ihr Abschnitt OM auf der lotrechten Nullachse (maßstäblich) gleich dem auf der waagerechten Nullachse (b_{m0}) und, wie eben gezeigt, als mittlere Leistung l_{m0} des ganzen Diagramms, bezogen auf volle Periodendauer (z. B. 24 Std.), zu bezeichnen.

An der Energieinhaltslinie lassen sich bequem auch die Inhalte e beliebiger durch waagerechte „Belastungsscheiden“ $N_1 - N_1$ und $N_2 - N_2$ begrenzter Diagrammteilstreifen abgreifen (Abb. 6). Die Richtigkeit der einfachen Konstruktion ergibt sich daraus, daß jeder waagerechte Belastungstreifen ($N_1 - N_2$) als Unterschied zweier Spitzenflächen über N_1 und über N_2 aufgefaßt werden kann: $e = e_u - e_0$.

Insbesondere ergeben sich (Abb. 7) durch Anwendung der angedeuteten Konstruktion auf alle bis zur waagerechten Nullachse ($O-O$) herunter reichenden Diagrammstreifen sämtliche Basisinhalte oder Grundarbeitswerte einfach als Unterschiede

$$b_{m o} - s = g \quad (4)$$

Diese Werte sind somit einfach zwischen der Schlußvertikalen $P-P$ der Energieinhaltslinie und dieser Kurve selbst abzugreifen („Einheit“ der Arbeit bleibt dabei nach wie vor das Produkt: Jahresspitze mal Stundenzahl des betreffenden Betriebsabschnittes!).

Jetzt kann man weiter auch nach der mittleren Benutzungsdauer von waagrecht begrenzten Teilbelastungen fragen (Abb. 8):

Sei die Teilbelastung Δl und die zugehörige Teilenergie (schraffierter Flächenstreifen im Diagramm) Δe , so ist definitionsgemäß die mittlere Benutzungsdauer der Teilbelast : g :

$$b_{m \Delta} = \frac{\Delta e}{\Delta l} \quad (5)$$

Der Bruch $\frac{\Delta e}{\Delta l}$ bedeutet geometrisch eine Neigung (Abb. 8). Um daher einen Wert b_m unmittelbar auf der waagerechten Grundlinie ablesen zu können, z. B. an der waagerechten Arbeitsgrundteilung, brauchen wir in Abb. 8 nur zum Strahl AB die Parallele (SO_A) durch den Punkt S (in Jahresspitzenhöhe gelegen) zu ziehen. Wollen wir im Sonderfall nur eine Zweiteilung des Diagramms betrachten (Aufteilung

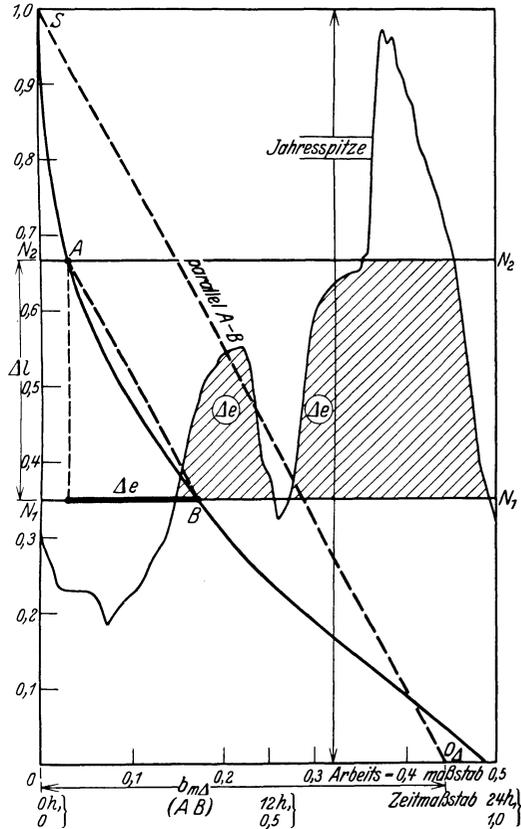


Abb. 8. Konstruktion der mittleren Benutzungsdauer einer Teilbelastung.

der Last auf nur zwei Maschinen, Werke oder Werksgruppen, jede entweder voll in Grund- oder in Spitzenleistung), so wird dieselbe Konstruktion sinngemäß auf den jeweilig oberen und unteren Teil des Diagrammes angewandt. Überträgt man (Abb. 9) die dabei erhaltenen Schnittpunkte O_1, O_2 jeweils nach oben auf die zugehörige „Belastungsscheide“ $N-N$ (Punkte P_0 und P_u), so entstehen die beiden Kurven $b_{m o}$ und $b_{m u}$ der „oberen“ und „unteren“ Teilbenutzungsdauer (diese Kurven sind für sich allein und auf Grund numerischer Berechnung erstmals von Norberg-Schulz 1905/06 in ETZ, S. 919 bzw. 849, angegeben worden).

Talinhaltslinie. Außer dem Inhalt der Spitzen- und Grundarbeitsfläche beiderseits einer beliebigen waagerechten Lastscheide ($C-C$) interessiert, na-

mentlich bei Speicherungsfragen, auch noch der Flächeninhalt f der Fehlflächen („Belastungstäler“) (Abb. 10). Bei dauernd laufenden Kraftquellen (z. B. Wasserkraften) stellen diese Flächen Abfallenergie dar, die in verschiedener Weise, z. B. zur natürlichen oder künstlichen Speicherung, ausgenutzt werden kann.

Die „oberen Talinhalte“ f_o (abwärtsintegrierte randpunktierter Flächen) werden einfach zwischen der Energieeinhaltslinie und einer durch den linken

oberen Eckpunkt S des umschriebenen Rechtecks mit der Neigung 1:1 gezogenen Geraden (Diagonalen!) abgegriffen.

Die „unteren Talinhalte“ f_u (Abb. 10, aufwärts-

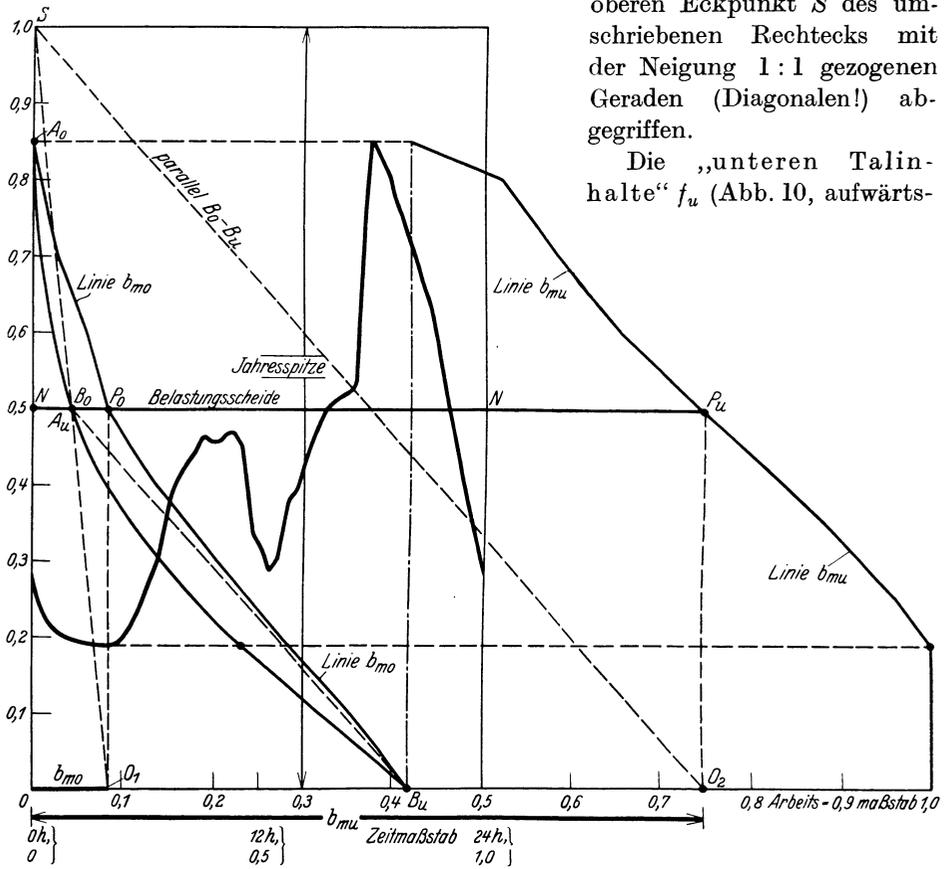


Abb. 9. Konstruktion der Schaulinie der „oberen“ und „unteren“ mittleren Benutzungsdauer bei zweigeteilter Belastungsfläche.

integrierte randschraffierte Flächen) werden in gleicher Weise abgegriffen: zwischen der Energieeinhaltslinie und deren „Fußtangente“, d. h. einer 1:1-Linie durch deren unteren Endpunkt F .

Die Genauigkeit wird aber erhöht, wenn man die Talinhalte (f) rechnerisch ermittelt mit dem Ansatz:

$$f_o = 1 - l_u - s; \quad f_u = l_u - g = l_u - b_{mo} + s. \quad (6)$$

(In den Anwendungen benötigt man die Werte f_o in der Regel nicht, um so mehr aber die Werte f_u .) Ihre Auftragung von der lotrechten Nullachse aus ergibt die „(untere) Talinhaltslinie“ (Abb. 11). Deren Schnittpunkt M_1 mit der Energieeinhaltslinie liegt natürlich ebenso hoch wie der Schnittpunkt M der unteren

und dabei die zugeordnete Teilhöchstleistung Δl (Streifenhöhe) zu entwickeln. Dabei wird der jeweils beanspruchte Speicherinhalt (kurz: der „Speicherbedarf“ oder „Beckenbedarf“) als Teiltalsumme f_{Δ} auf der Ausgleichsline des betr. Streifens abgegriffen (Abb. 12). (Hierbei ist vorausgesetzt, daß zwei aufeinanderfolgende Werktage annähernd dieselbe Belastungsganglinie haben, welche Voraussetzung im allgemeinen im Hinblick auf Zweck und Genauigkeitsgrad der Untersuchungen durchaus zulässig sein wird!).

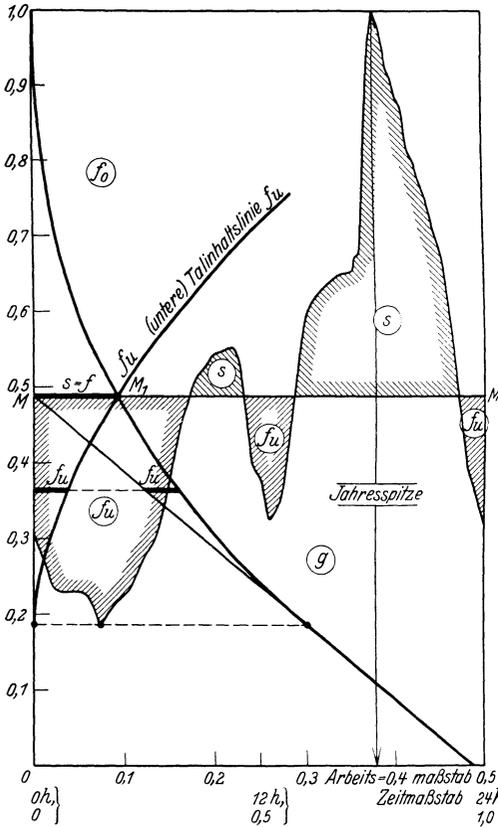


Abb. 11. Talinhalt und Ausgleichsline (M) einer vollen Tageslast.

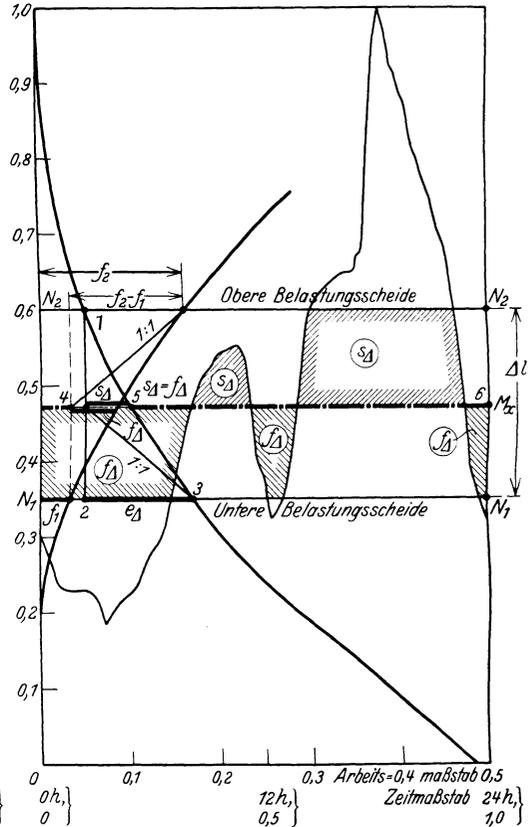


Abb. 12. Talinhalt und Ausgleichsline (M_x) einer Teilbelastung.

Genau genommen ist allerdings der wirkliche Speicherbedarf kleiner als f_{Δ} , und zwar um einen Betrag kleiner, der dem „Mittagstal“ „ f_M “ entspricht. Denn dieses bietet eine meist willkommene Zwischenauffüllungsmöglichkeit zwischen der vor- und nachmittäglichen Speicherentnahme. Will man dies berücksichtigen (was indes entbehrlich und in manchen Fällen sogar aus betrieblichen Gründen unbegründet sein kann), so braucht man nur noch eine besondere „Mittagsinhaltslinie“ „ f_M “ zu berechnen und aufzutragen (Abb. 13). Der „wirkliche“ Beckenbedarf „ f_W “ wird dann jeweils zwischen den beiden Tallinien f und f_M als Abszissenabschnitt abgegriffen. Für den Teilstreifen

N_1-N_1 ergibt sich der „wirkliche“ Speicherbedarf durch Ziehen¹ der Parallele F_1-F_2 zur F_M -Linie ($f_{W\Delta} = f_{Wm} - f_{W1}$).

Speicherung mit Energieverlust. Bei den letzten Konstruktionen ist der Wirkungsgrad der Speicherung gleich 1 angenommen, was genau nicht einmal für einfache Kraftwasserspeicherung im natürlichen Gefälle gilt (wegen des Fallhöhenverlustes bei Beckenabsenkung). Bei künstlicher Speicherung (chemische oder Pumpspeicherung) ist aber der Energieverlust zwischen Aufspeicherung und Entnahme so bedeutend, daß er jedenfalls nicht unberücksichtigt bleiben darf.

Die Berücksichtigung erfolgt in der Weise, daß man die Talinhalte f und f_M durch Multiplikation mit dem anzunehmenden mittleren Speichereffizienzwirkungsgrad η_s reduziert:

$$\eta_s \cdot f = f_\eta \quad (7)$$

Es ist unter Umständen bequem (z. B. wenn der Wirkungsgrad zunächst noch nicht genau festliegt) eine um 0,1 oder 0,05 in η_s abgestufte Schar von solchen „reduzierten Talinhaltslinien“ zu zeichnen (Abb. 14).

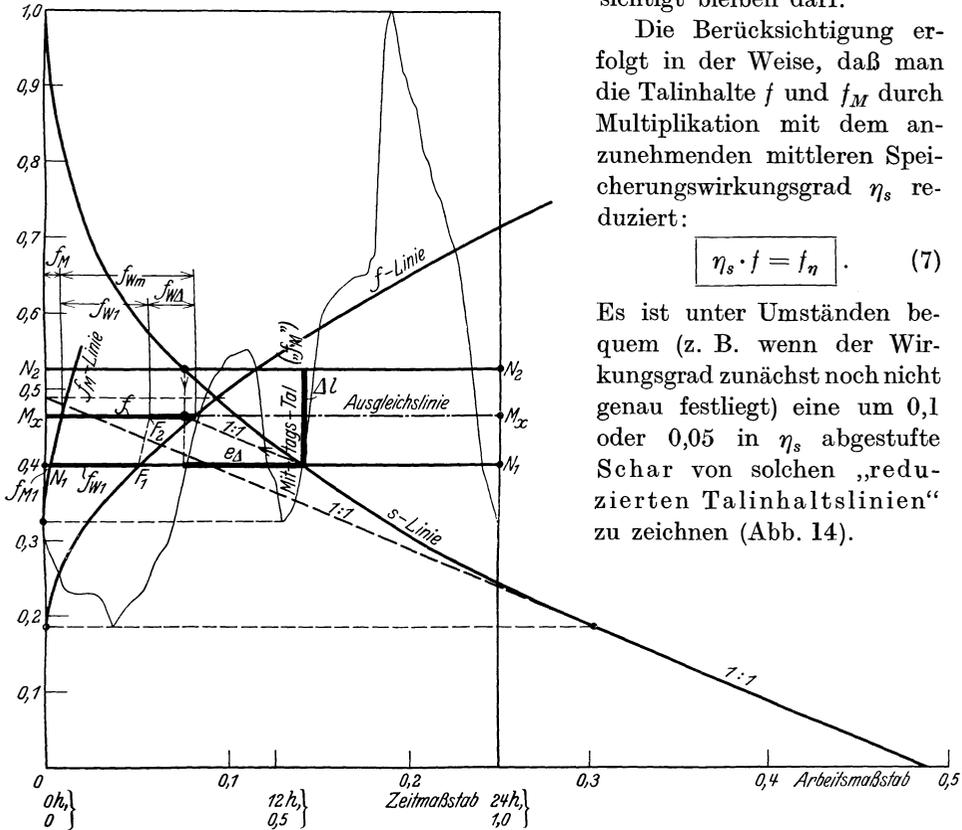


Abb. 13. Ermittlung des Belastungstalinhalts für eine Teilbelastung mit Abzug des Mittagstals.

Der Schnittpunkt M der jeweils maßgebenden reduzierten Talinhaltslinie mit der unreduzierten Energieeinhaltslinie bestimmt jetzt gemäß dem Früheren die Höhenlage der Ausgleichslinie des ganzen Diagramms; denn es muß sein und ist auch nach dieser Konstruktion:

$$\eta_s \cdot f = s \quad (8)$$

Für eine waagrecht begrenzte Teilbelastung N_1-N_2 erfolgt die Bestimmung der Ausgleichslinie (M_1-M_2) sinngemäß ähnlich der Konstruktion in

¹ Zeichentechnisch viel einfacher als das nur der Anschaulichkeit halber erwähnte Ziehen von Parallelen ist das Absetzen von f_{W1} mit dem Zirkel.

Abb. 13 derart (Abb. 14), daß man die auf ein Pauspapier herausgezeichnete reduzierte Talsummenlinie soweit nach rechts verschiebt, daß ihr Schnittpunkt $F_{1\eta}$ mit der unteren Lastscheide senkrecht unter den Schnittpunkt S_2 der un-reduzierten Energieinhaltslinie mit der oberen Lastscheide zu liegen kommt. Der Schnittpunkt M bestimmt dann die Höhe der Teilausgleichslinie¹.

Daneben ist für die Berechnung des (bezogenen) Beckenbedarfs v zu beachten:

$$v = f_1 \cdot \eta_{sv} \quad (9)$$

Hierbei ist f_1 in der Höhe von M an der un-reduzierten Talinhaltslinie abzugreifen und η_{sv} bezeichnet den Wirkungsgrad des reinen Aufspeicherungs-vorganges (ohne die zusätzlichen Ver-luste des nachfolgenden Entnahmevor-ganges), z. B. bei der Pumpspeicherung den Wirkungsgrad von Empfangs-Um-spannerklemmen bis ans obere Ende der Druckrohrleitung.

NB. Bezeichnet man mit η_{sa} den Wirkungsgrad der Speicherabmahlung — z. B. vom oberen Ende der Druckrohrleitung bis zu den Abgabe-Umspannerklemmen — so muß sein:

$$\eta_{sv} \cdot \eta_{sa} = \eta_s \quad (10)$$

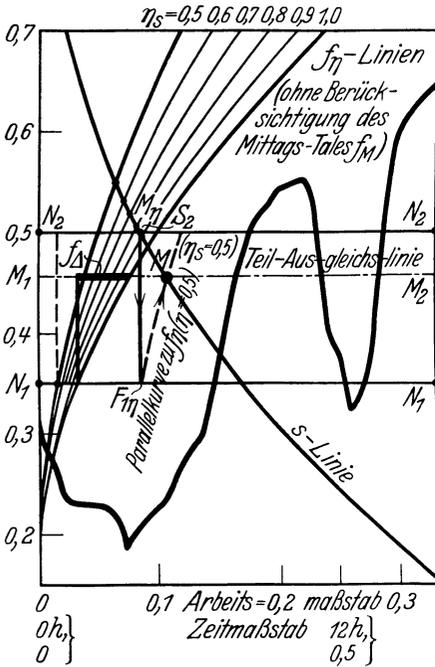


Abb. 14. Reduzierte Talinhaltslinie für Speicherung mit Energieverlust (Pumpspeicherung).

Wochenspeicherung („Sonntagsspeicherung“) läßt sich mit Energieinhaltslinien gleichfalls genügend genau behandeln (Abb. 15 bis 17). In Abb. 17 sind die einzelnen Spitzen- und Talinhaltslinien der 7 Tage einer Woche der Reihe nach aneinander angetragen. Der Schnittpunkt des siebenten Linienpaares bestimmt die „Wochenausgleichslinie“, der Schnittpunkt des ersten Linienpaares die Einzeltag-Ausgleichslinie (für Montag). Man erkennt unmittelbar am Herunter-rücken der Ausgleichslinie die günstige, und am bedeutenden Anschwellen des Speicherbedarfs die (in der Regel wirtschaftlich überwiegende) ungünstige Ein-wirkung der Wochenspeicherung gegenüber reiner Einzeltagspeicherung. Die Darstellung setzt, insoweit sie für Verbundbetrieb mehrerer Werke gleich-falls gelten soll (meist: zulässigerweise) voraus, daß über die ganze Woche an-nähernd dieselbe Lastverteilung eingehalten wird. Ferner ist (gleichfalls zu-lässig) angenommen, daß das Freitagnachtal annähernd gleich dem Sonntag-nachtal sei. Bei Aufstellung von Abb. 17 wurden überdies zwecks Abkürzung der Rechen- und Zeichenarbeit an Stelle der 6 individuellen Werktaglastlinien und ihrer entsprechenden Inhaltslinien lediglich die des Freitags, sechsmal wieder-holt aufgetragen und nur die, wesentlich abweichenden, Sonntagswerte besonders berechnet und angetragen. Auch diese Vereinfachung wird meist allgemein zu-

¹ Mit Vernachlässigung des „Mittagstals“.

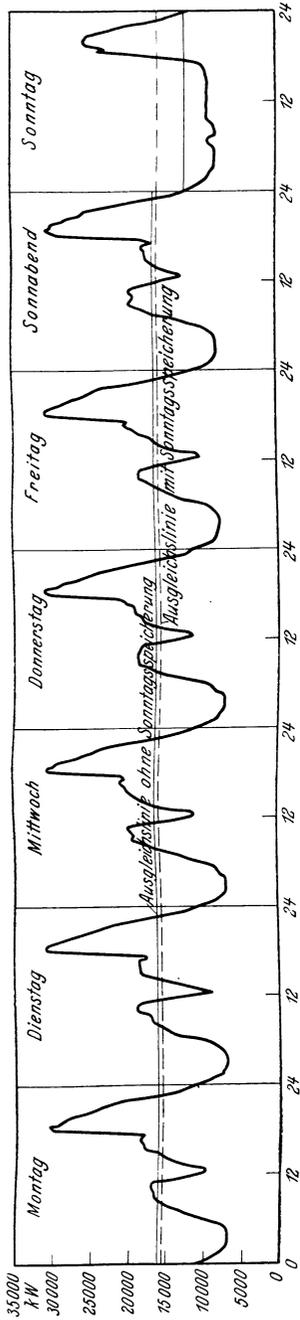


Abb. 15. Wochen-Belastungs-Ganglinie (zu Abb. 10).

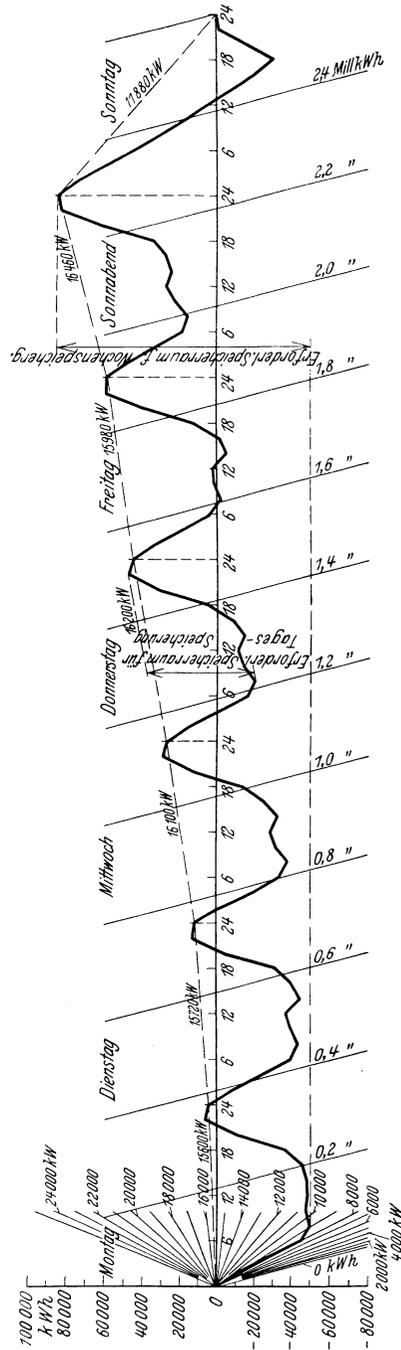


Abb. 16. Belastungssummen-ganglinie in schiefen Koordinaten (zu Abb. 15).

lässig sein, vgl. z. B. Abb. 15. (Der Darstellung liegen dieselben Belastungs-ganglinien zugrunde wie der Abb. 16, in der die Wochenspeicherung mit der Summenganglinie behandelt ist.)

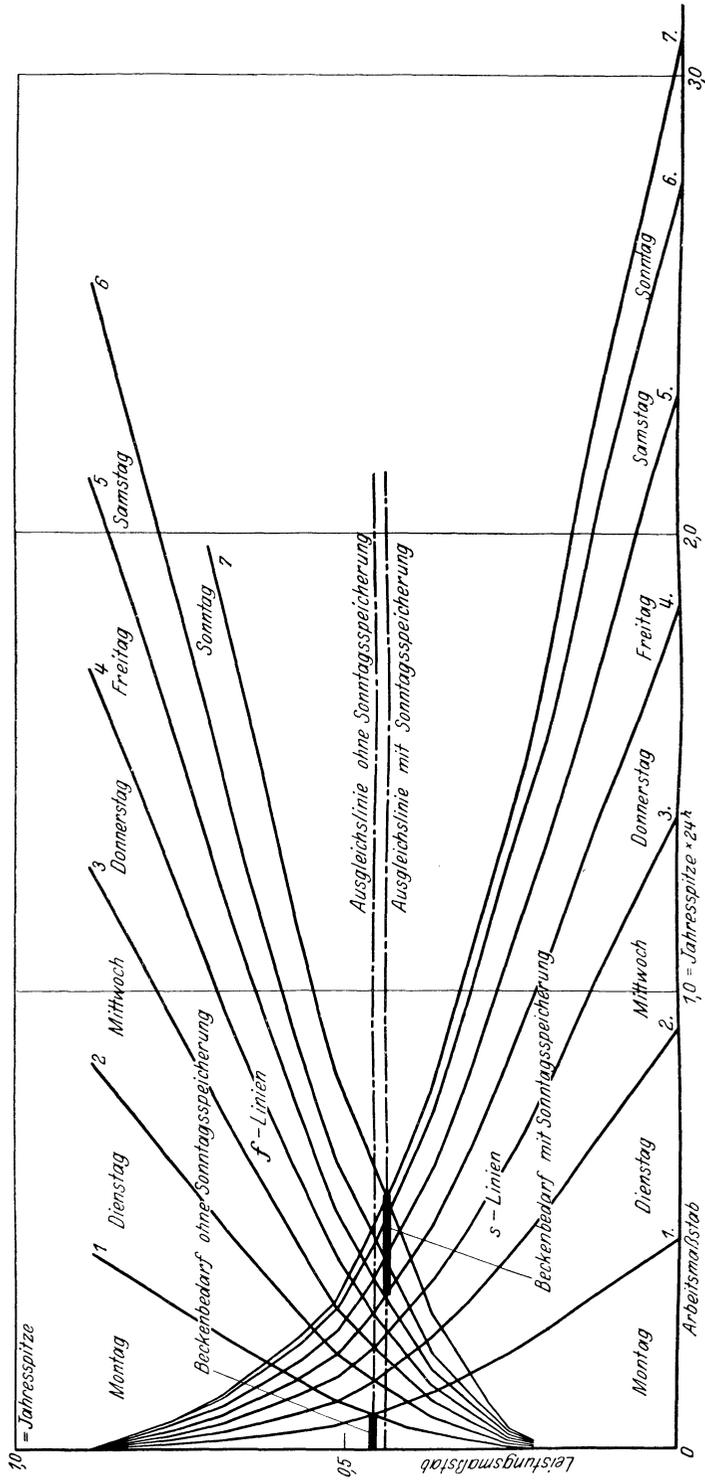


Abb. 17. Behandlung der Wochenspeicherung mit addierten Infallslinien (zu Abb. 15).

V. Belastungsaufteilung im Verbundbetrieb.

Im praktischen Fall arbeiten in der Regel mehrere Werke (oder Werksgruppen) verschiedenen Charakters parallel auf dasselbe Netz: Wasserkraft: Laufwerke, Klein- (Tages- und Wochen-) Speicherwerke, Großspeicherwerke, ferner Wärmegrund- und Wärmespitzenkraftwerke. Da nicht nur die Bedarfsform des Netzes, sondern auch das Energiedargebot der verschiedenartigen Wasserkraftwerke im Jahreslauf sich stark zu ändern pflegt, so ergeben sich wöchentlich oder täglich neue Aufgaben der Belastungsaufteilung, deren Lösung durch Benutzung der Energie- und Talinhaltslinie sehr vereinfacht wird. (Dabei wird allerdings immer mit waagerechten, ungebrochenen Belastungsscheidelinien gerechnet; doch entspricht dies meist genügend genau den praktischen Betriebsverhältnissen; andernfalls ermöglichen die angegebenen Methoden wenigstens eine rasche vorläufige Skizzierung des generellen Betriebsplans.)

a) Grundsätze.

Sowohl in der praktischen systematischen Betriebsführung wie im Betriebsplanprojekt wird man gewisse, technisch und wirtschaftlich bedingte Grundsätze der Belastungsverteilung einzuhalten bestrebt sein, deren Gewicht im Einzelfall nach Maßgabe der technischen und wirtschaftlichen Verhältnisse des Netzes abzuwägen sein wird. Unter diesen, hier nicht in ihrer vielseitigen Gesamtheit zu erörternden Grundsätzen werden immer eine wichtige Rolle die folgenden spielen:

1. Wasserkraftlaufwerke sind so einzusetzen, daß ihre jeweils verfügbare Energie möglichst vollkommen ausgenutzt wird: also in Diagrammbasis.

2. Dasselbe gilt (jedoch in zweiter Linie hinter den Wasserlaufwerken) für Wärmegrundkraftwerke, mit Rücksicht auf hohen Betriebswirkungsgrad.

3. Wärmespitzenkraftwerke sind ihrer Natur nach meist mit möglichst geringer Ausnutzungsziffer einzusetzen, also: mit möglichst hoher Spitzenleistung bei möglichst geringer Energieerzeugung: in der Diagrammspitze.

4. Wasserkraftkleinspeicherwerke sind so einzusetzen, daß auf alle Fälle ihre jeweils naturverfügbare Energie restlos ausgenutzt werden kann. Daneben können für sie als sekundäre Forderungen aufgestellt werden:

a) möglichst geringe Speicherabsenkung, um Fallhöhe zu sparen und so den Wirkungsgrad zu erhöhen oder um den Werksabfluß möglichst gleichmäßig zu gestalten, wenn z. B. das Ausgleichbecken knapp bemessen ist (vgl. Lit. 3);

b) möglichst hoher Einsatz der vorhandenen Werksleistung — um an Ausbaugröße aller übrigen Werksgruppen des Netzes zu sparen und die Diagrammflächen mit geringer Ausnutzungsziffer (die unständigeren Belastungen) den andern Werksgruppen nach Möglichkeit abzunehmen. In Verbindung mit hohem Ausbau der unständigen Naturwasserkräfte der Kleinspeicherwerksgruppe hat dieser Grundsatz große, noch nicht immer genügend gewürdigte wirtschaftliche Bedeutung (vgl. Lit. 4).

5. Wasserkraftgroßspeicherwerke sind mit ihrem jeweils planmäßig verfügbaren Energiedargebot in erster Linie auf volle Energieausnutzung und in zweiter Linie auf volle Leistungsausnutzung ins Bedarfsdiagramm einzufügen: Dabei sind zu unterscheiden:

a) Wasserkraftgroßspeicherwerke mit momentaner (automatischer) Speicherablaßregulierung, d. h.: Wasserkraftwerke dem Speicher direkt oder doch durch geschlossene Druckleitung (auch Stollen) angebaut und diesen somit zugleich als Tagesspeicher ausnutzend: Diese Werke können im Belastungsdiagramm wie Tagspeicherwerke wirken und somit auch (nach Maßgabe ihrer eingebauten Turbinenleistung) Spitzendeckung übernehmen (soweit dabei die Grundbedingung der vollen Energieausnutzungsmöglichkeit eingehalten werden kann). — Es sei eingeschaltet, daß die oft beliebte Identifizierung von Spitzenkraftwerk und Großspeicherwerk in dieser Allgemeinheit nicht begründet ist, vgl. das oben unter 4. Gesagte!

b) Wasserkraftgroßspeicherwerke ohne momentane Speicherablaßregulierung (Wasserkraftwerke in größerem Abstand von einem „ihren Zufluß regulierenden Speicher“. Sie sind hinsichtlich der Nichtanpassungsfähigkeit an schnell schwankenden Leistungs-(Stunden-)bedarf den Laufwerken ähnlich, aber von ihnen unterschieden dadurch, daß ihr tägliches oder wöchentliches Arbeitsangebot durch den „Fernspeicher“ mehr oder minder dem Ideal der völligen Anpassung an den mittleren jeweiligen Tagesbedarf angeglichen ist. Diese Werke müssen daher gleichfalls in erster Linie in „Grundkraft“ eingesetzt werden, sofern sie nicht obendrein mit einem besonderen Werkskleinspeicher ausgerüstet werden.

Im obigen ist unter Ziffer 2 als verfügbare Energie der Wärmegrundkraftwerke diejenige aufzufassen, die sich nach der jeweiligen Tages- oder Wochenenergiebilanz als nötig ergibt, um den Saldo: „Gesamtenergiebedarf des Netzes minus Gesamtdargebot aus allen Wasserkraftwerken und etwaigen Wärmekraftspitzenwerken“ zu decken. Dabei setzt sich das Gesamtdargebot aller Wasserkraftwerke zusammen aus dem naturbedingten Dargebot der Lauf- und Kleinspeicherwasserkraftwerke und dem wasserhaushaltsplanbedingten Dargebot der Großspeicherwerke. Letzteres kann nötigenfalls seiner Natur nach im Betriebsplan in mehr oder minder weiten zeitlichen Grenzen verschoben und auch durch Energie aus Wärmegrundkraftwerken z. T. ersetzt werden.

Das Energiedargebot der etwa vorhandenen Wärmespitzenkraftwerke ist in engen Grenzen dadurch festgelegt, daß diese Werke wegen ihres meist schlechteren Wirkungsgrades nicht längere Zeit auf Grund- oder Mittelkraft arbeiten dürfen, vielmehr normaler Weise auf die wenige Energie enthaltenden Belastungsspitzen möglichst ausschließlich anzusetzen sind.

b) Elementare Anwendungsbeispiele.

In den folgenden beispielsweisen Ausführungen beschränken wir uns auf die Anleitung zur Lösung weniger, der wichtigsten aus den dargelegten Grundsätzen entspringenden Elementaraufgaben der Belastungsverteilung unter Benutzung der Energie- und Talinhaltslinien (wobei der Einfachheit der Darstellung halber zunächst $\eta_s = 1$ angenommen sei):

1. *Aufgabe*: Bestimmung des Energie- und Tagesbeckenbedarfs eines Speicherwerkes bei gegebener Lage der Belastungsscheiden (N_1, N_2 in Abb. 12).

Man zeichne das Lot 1.—2.; die Strecke 2.—3. gibt die erforderliche Energie e_A . Man zeichne weiter die 1:1-Linie 3.—4. und die Ausgleichslinie 4.—5.—6. Die Strecke bei 4. oder 5. gibt den Beckenbedarf $v = s_A = f_A$ an.

2. Aufgabe: Ein Speicherwerk ist mit seiner eben verfügbaren Tagesenergie e_s einmal so einzuschalten, daß eine möglichst hohe Werksleistung beansprucht wird, und einmal so, daß die Werksleistung möglichst klein wird. Man setze (Abb. 18) die gegebene Tagesenergie e_s als Abszisse vom Nullpunkt O nach rechts und vom Fußpunkt A der Energieeinhaltslinie nach links ab, ziehe ferner die entsprechenden Lote 1.—2. und 11.—12.

Für den ersten Fall stellt die Waagerechte durch 2. die untere und $S-S$ die obere Belastungsscheide dar, die beanspruchte Leistung ist l_{max} . Für den zweiten Fall ist die Waagerechte durch 12. die obere und $O-O$ die untere Belastungsscheide; 11.—12. ist die beanspruchte Leistung „ l_{min} “. Der Beckenbedarf ist im ersten Fall $f_{max} = 3.-4. = 2' - 3'$ und im zweiten Falle $f_{min} = 12.-13. = 14.-15.$

Zwischen den beiden Grenzfällen liegen bei gleichem Energieanspruch e_s alle möglichen andern Fälle mit beanspruchten Leistungen l und Beckengrößen f innerhalb der dargestellten Grenzwerte (vgl. Abb. 19).

3. Aufgabe: Ein Speicherwerk ist mit seiner eben täglich verfügbaren Energie e_s und seiner ein für allemal gegebenen Volleistung l_s in das Diagramm unter voller Ausnutzung von Energie und Leistung so einzufügen, daß die Grundlast möglichst weitgehend für andere Werke frei bleibt; der Beckenbedarf (der dabei ein relatives Maximum werden wird) ist zu bestimmen.

Lösung: Man zeichnet (Abb. 20) eine Äquidistante s' im Lotabstande l_s über der Energieeinhaltslinie und sucht mit dem um die Strecke e_s gespreizten Zirkel diejenige Waagerechte, auf welcher die Energieeinhaltslinie und ihre Äquidistante den waagerechten Abstand e_s haben. Diese Waagerechte wird obere Belastungsscheide,

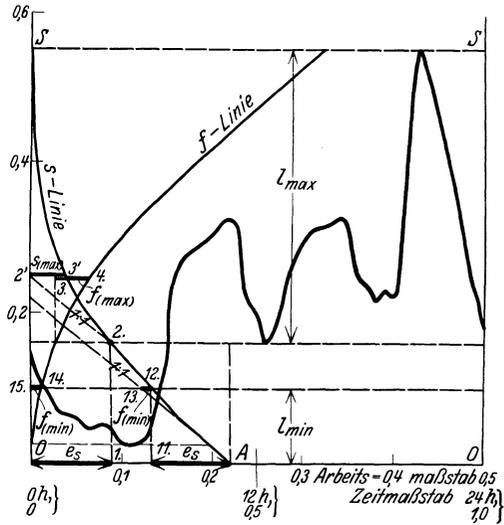


Abb. 18. Verschiedener Leistungsbedarf bei Einsatz derselben Energie „ganz in Grundkraft“ und „ganz in Spitze“.

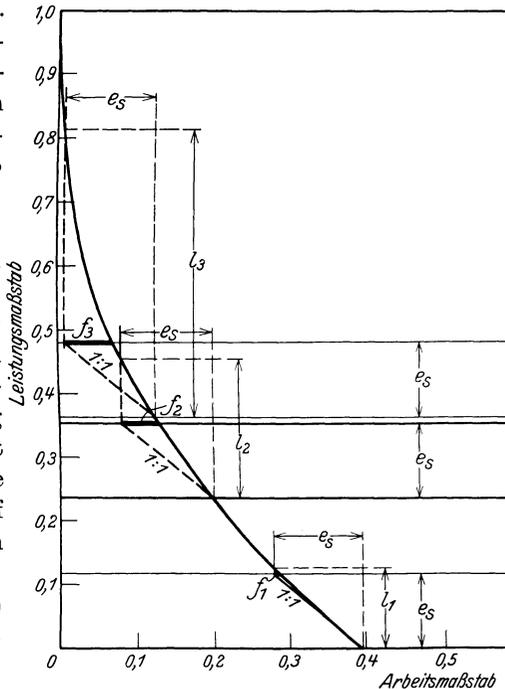


Abb. 19. Zunahme des erforderlichen Speicherinhalts mit höherem Einsatz eines gleichbleibenden Energiedargebots im Tagesgang.

scheide um l_s unter ihr zu ziehen ist. Bestimmung des Beckenbedarfs f_s wie unter Ziffer 1! (Nur eine äußerliche Variante der Lösung ist die Aufzeichnung einer um l_s nach unten verschobenen Parallellinie zu $s : s''$!).

4. Aufgabe: Ein Speicherwerk ist mit seiner eben verfügbaren Tagesenergie e_s und seiner ein für allemal gegebenen Volleistung l_s in das Diagramm unter voller Ausnutzung von Energie und Volleistung derart einzusetzen, daß der

Beckenbedarf möglichst klein wird (Umkehrung der Aufgabe 3!) (Abb. 20, eingeklammerte Bezeichnungen l_a und e_a !).

Lösung: Man berechnet die Werte der von den „anderen“ Werken insgesamt noch beizusteuern den Energie und Leistung:

$$e_a = b_{mo} - e_s$$

bzw.

$$l_a = l_{\max} (\text{Tagesspitze}) - l_s.$$

Dann zeichnet man eine Äquidistante zur Energieinhaltslinie im senkrechten (Leistungs-) Abstände l_a und sucht mit dem auf e_a eingestellten Zirkel die Belastungsscheiden. Das Speicherwerk hat die außerhalb der Belastungsscheiden verbleibende Grund- und Spitzenenergie zu decken, wobei seine (aus zwei Teilen addierte) Arbeit und Spitzenleistung gemäß der Aufgabe den Wert e_s bzw. l_s eben erreicht. Der Beckenbedarf wird gleichzeitig ein relatives Minimum, da möglichst viel von der einzusetzenden Speicherwerksenergie in Form ständiger Arbeit erzeugt werden kann. (Man beachte, daß alle unter der Grenze der ständigen Leistung eingesetzten Energien keinen Beckenbedarf ergeben!) In Abb. 20 sind

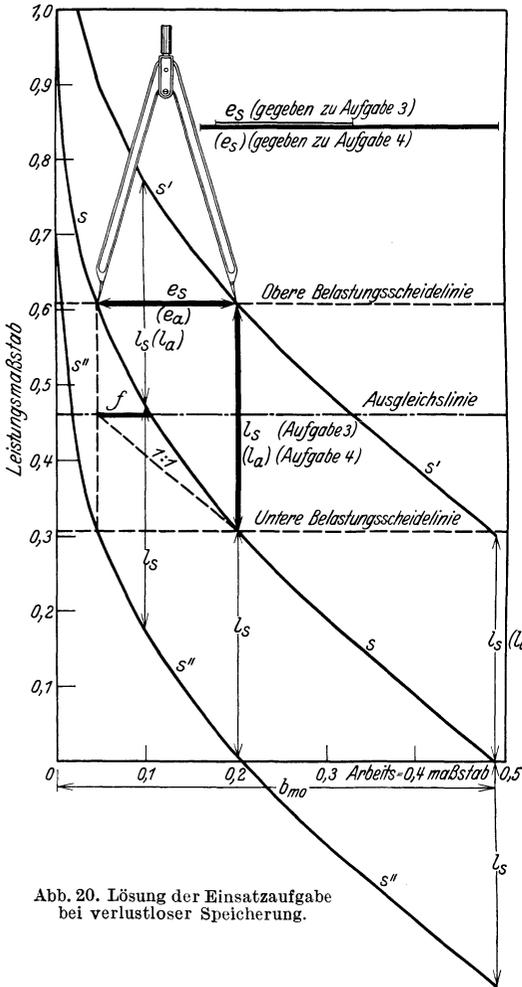


Abb. 20. Lösung der Einsatzaufgabe bei verlustloser Speicherung.

aus Gründen einfacherer Darstellung für Aufgabe 3 und 4 verschiedene Werte e_s angenommen; die resultierenden Speichergrößen wären deshalb nicht vergleichbar, weshalb ihre Darstellung für Aufgabe 4 unterlassen wurde.

c) Berücksichtigung schwankender Energiedarbietung.

Die täglich verfügbare Speicherwerksenergie wird in der Regel im Jahreslauf schwanken (bei einem Kleinspeicherwerk: gemäß der Ganglinie der natürlichen Wasserführung Q_1 , bei einem Großspeicherwerk: nach dem Wasserhaushaltsplan bzw. den Dargebotsganglinien der anderen Werke, siehe oben). Oft wird es

d) Verfahren bei Speicherung mit Energieverlust.

Die angegebenen Konstruktionen bedürfen einer Abänderung in Fällen, wo der Speicherwirkungsgrad η_s kleiner als 1 ist (Abb. 22).

Hier wird von der gesamten verfügbaren Tagesenergie des Speicherwerkes (e'_s) ein der Talfläche unterhalb der Ausgleichlinie (M_x) entsprechender Teil ($f_x - f_1$) durch den Speicher geschickt, wobei ein Energieverlust

$$(1 - \eta_s) \cdot (f_x - f_1)$$

auftritt. Die insgesamt nutzbare Speicherwerksenergie e_s ist um diesen Verlust kleiner als die „vor dem Speicher“ verfügbare:

$$e_s = e'_s - (1 - \eta_s) \cdot (f_x - f_1) \quad (11)$$

Viele Aufgaben lassen sich allein schon mittels dieser grundlegenden Beziehung und an Hand der reduzierten Talsummenlinie (vgl. Abb. 14) lösen. Dagegen erfordern Aufgaben wie Nr. 3 und 4 (s. oben) noch die Benutzung einer neuen Hilfslinie entsprechend und neben der Linie s' von Abb. 20. Die Herleitung dieser zweiten Hilfslinie (s_η) ist in Abb. 22 erläutert:

Man nimmt zwei um den gegebenen Wert l_s voneinander entfernte Lastscheiden N_1 und N_2 beliebig an, wodurch auf s - und s' -Linie die entsprechenden Punkte $S_1; S_1; S_2$ bestimmt sind. Dann legt man nach der schon mit

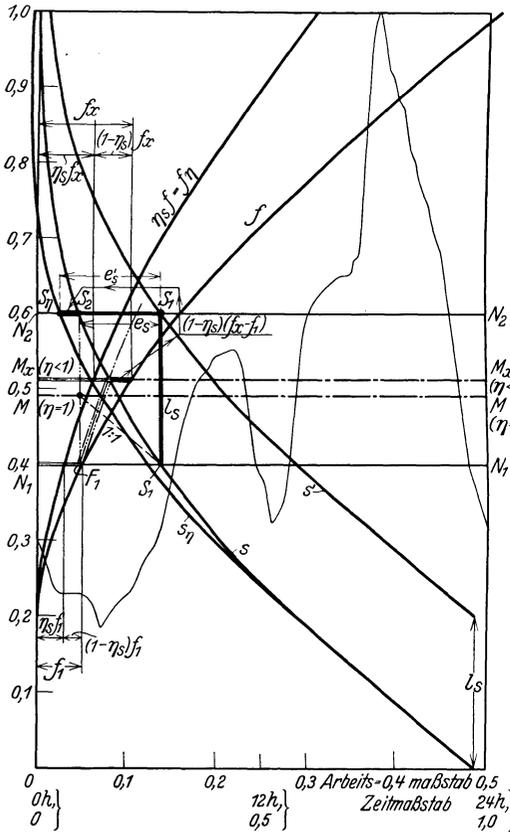


Abb. 22. Lösung der Einsatzaufgabe bei Speicherung mit Energieverlust.

Abb. 14 gegebenen Anleitung die Ausgleichlinie M_x durch den Schnitt M fest, womit auch f_x , $\eta_s \cdot f_x$ und $(1 - \eta_s) \cdot f_x$ (in der Talinhaltslinie) bestimmt sind. Nun berechnet man nach obiger Gleichung, oder einfacher: entnimmt graphisch an der als dreifache Linie signierten Parallelen zur f_η -Linie durch den Punkt F_1 , den Wert

$$(1 - \eta_s) \cdot (f_x - f_1)$$

fertig dem Diagramm und setzt ihn auf der oberen Lastscheide von der Energieinhaltslinie nach links ab (als Strecke $S_2 - S_\eta$). Durch (z. B.) 4 malige Wiederholung dieser Konstruktion mit jeweils anderer Höhenlage der (stets um l_s voneinander entfernten) Lastscheiden (N_1, N_2) erhält man 4 Punkte S_η , ausreichend zur Verzeichnung der neuen Hilfslinie „ s_η “.

Mit einem beliebigen, eben gegebenen Werte e'_s der verfügbaren Speicherwerksenergie (vor der Speicherung) geht man nach Anleitung der Abb. 20 zwischen

die zwei Hilfslinien s' und s_η der Abb. 22 ein, wodurch die obere und damit in sofortiger Folge auch die untere (um l_s tiefere) Lastscheide bedingungsgemäß so festgelegt ist, daß der Abschnitt S_2-S_1 zwischen s - und s' -Linie die nutzbare Speicherwerksenergie (hinter dem Speicher) darstellt.

VI. Zusammenfassung über das Betriebsjahr.

Die Bearbeitung zusammenhängender, z. B. ein oder mehrere Jahre umfassender energiewirtschaftlicher Aufgaben kann mit den im Abschnitt I und II angegebenen Hilfsmitteln und Methoden völlig durchgeführt werden. Man hätte dabei die einzelnen monatsstypischen Belastungsgang-, Dauer- und Energieinhaltslinien neben- oder nacheinander durchzuarbeiten und die Ergebnisse in Tabellen oder Jahresganglinien zusammenzustellen. Hand in Hand damit können ebenso die Schwankungen des Energiedargebots einer Wasserkraftanlage durch Summengang- und Ganglinien dargestellt werden, wenn Großspeicherwerke, und durch Dauerlinien, wenn nur Kleinspeicher- oder Laufwerke (von gleichem Abflußregime) beteiligt sind.

Abb. 21 veranschaulicht beispielsweise, wie für eine einzelne Jahreszeit (Winter) aus der Dargebotsdauerlinie der verfügbaren Wassermenge einzelne Zuflußwerte Q_1 (bei konstanter Fallhöhe verhältnisgleich mit verfügbarer mittlerer Tagesleistung e_1) in die Tages-Belastungsganglinie übertragen werden, um obere und untere Belastungsscheide l_o und l_u nebst Beckenbedarf J_{err} zu ermitteln. Diese Werte werden dann aus der Belastungsganglinie in die Dargebotsdauerlinie zurück — übertragen, und zwar auf die Senkrechte, die dem betrachteten Einzelwert Q_1 entspricht, siehe Pfeile der Abb. 21.

Durch Wiederholung dieser in anderem Zusammenhang S. 27 noch etwas näher erläuterten Operation für genügend viele Werte Q_1 enthält man eine Reihe von Punkten (entsprechend P_o , P_u , P_J in Abb. 21). Die drei Verbindungslinien dieser Punktreihen ergeben eine übersichtliche Darstellung der funktionellen Abhängigkeit zwischen l_o , l_u und J_{err} einerseits und Q_1 sowie der Dauer t andererseits. Diese Darstellung gestattet weiterhin, wenn versuchsmäßige Änderungen (z. B. des Beckenausbaues u. dgl. m.) in Frage kämen, eine übersichtliche, rasche Erfassung des Einflusses dieser Änderungen auf die Betriebsverhältnisse, der beteiligten Wasser- und Wärmekraftanlagen, auch in geldlicher Hinsicht (vgl. Lit. 3).

Die Durchführung der angedeuteten Untersuchungen auf alle Jahresabschnitte liefert an sich ausreichende Unterlagen für die abschließende Zusammenfassung des Gesamtergebnisses etwa in Form von Tabellen oder Jahresganglinien mit Monatsstufenwerten.

In vielen Fällen wird aber doch — sowohl zur fortlaufenden Kontrolle während der Durcharbeitung des Betriebsplans wie zur nachträglichen Veranschaulichung der Ergebnisse — noch eine das ganze Betriebsjahr synoptisch umfassende und der unmittelbaren Auswertung zugängliche graphische Darstellung erwünscht sein. Eine solche muß, da sie den Tagesgang der Belastung gleichzeitig neben dem Jahresgang des Dargebots und der Belastung unvermengt darstellen soll, drei-dimensional sein (x = Stunden des Tages, y = Tage des Jahres, z = Leistungen, Energien, Beckeninhalte, Stromgestehungskosten u. a. m.). Sie wird im folgenden Abschnitt behandelt.

VII. Belastungsgebirge und Belastungspläne.

Das in den letzten Jahren sehr viel benutzte Belastungsgebirge ist eine kartothekeförmige Zusammenstellung der (in Pappe ausgeschnittenen oder in Draht nachgebogenen) einzelnen Tagesbelastungsganglinien. Sein Hauptanwendungsgebiet ist die nachträgliche Analyse der Belastungsverhältnisse. Zur Aufstellung von vorausschauenden Betriebsplänen muß es vereinfacht, z. B. aus 12 oder 6 wochentägigen monatstypischen Belastungsganglinien zusammengesetzt werden, die als herausnehmbare Karteiblätter einzeln nach den Methoden des vorigen Abschnitts bearbeitet werden könnten.

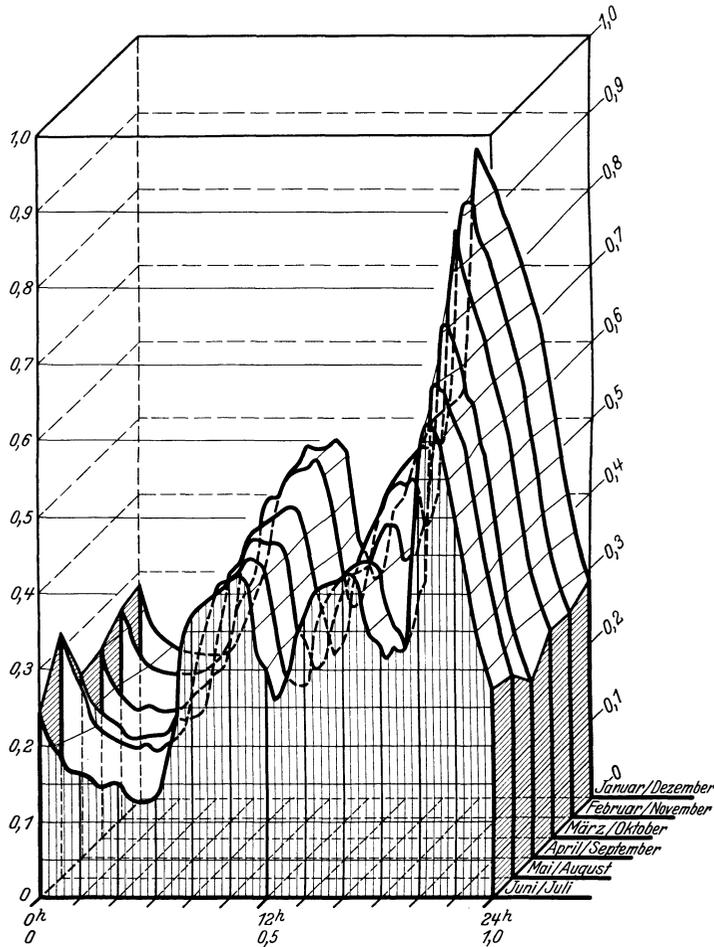


Abb. 23. Belastungsgebirge (Belastungs-Gangfläche).

a) Ebene Abbildungen des Belastungsgebirges.

Die kavalierverspektivische Abbildung des Belastungsgebirges in einer Zeichenebene (Lit. 8, Abb. 23) gestattet noch kein übersichtliches zeichnerisches Arbeiten, liefert vielmehr lediglich eine anschauliche nachträgliche Darstellung einer vorher an den Einzelkurven durchzuführenden Belastungsverteilung, im Sinne des vorigen Abschnitts.

Nicht ganz so anschaulich, dafür aber schon eher zum unmittelbaren Bearbeiten geeignet ist die topographische Darstellung des Belastungsgebirges. Der dabei entstehende Leistungs-Höhenkurvenplan (Abb. 24) ist sinngemäß als „Belastungsgangplan“ (abgekürzt B-G-Plan) zu bezeichnen. (Er stellt übrigens diejenige Form dar, in der das Belastungsgebirge — noch ohne diese Bezeichnung — erstmals in der Praxis der Elektrizitätswirtschaft erschien: im Jahresbericht des Städt. E. W. Zürich 1912¹). Die Höhenkurven werden auch bei dieser Darstellungsweise zweckmäßig nach Zehntel-einheiten der Jahresspitze abgestuft.

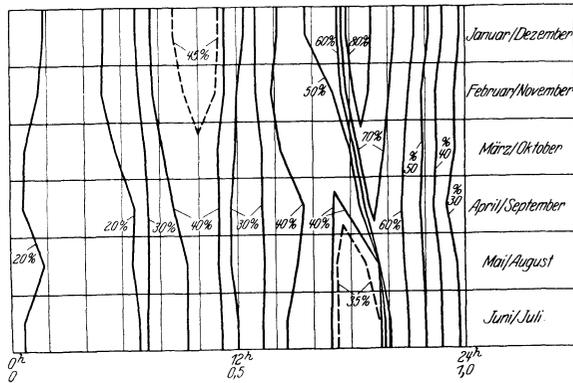


Abb. 24. Belastungsgangplan (zu Abb. 23).

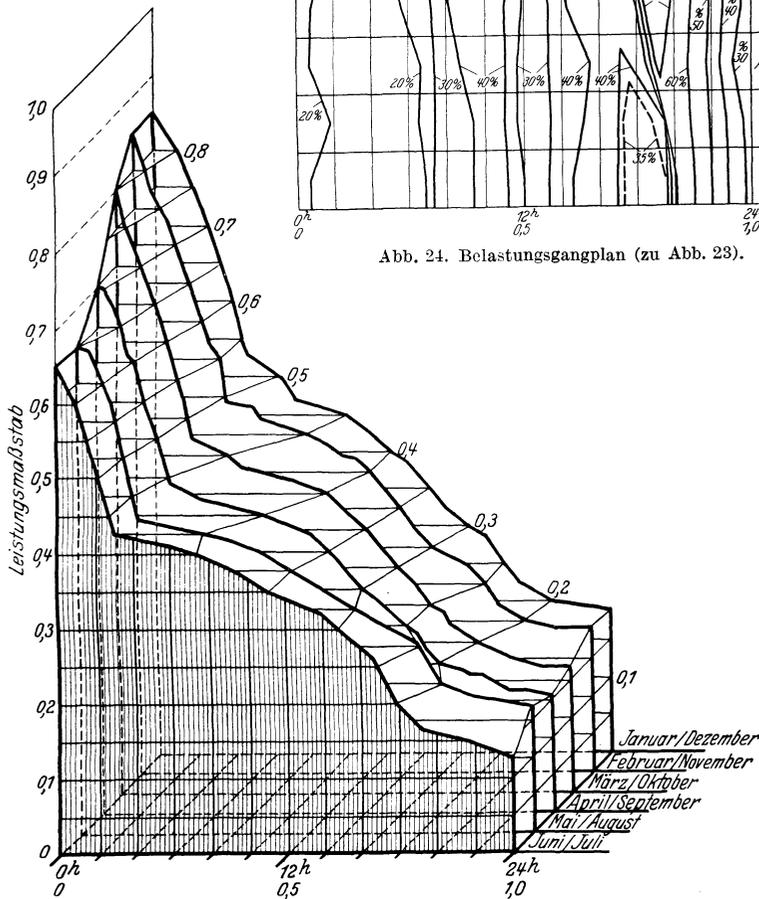
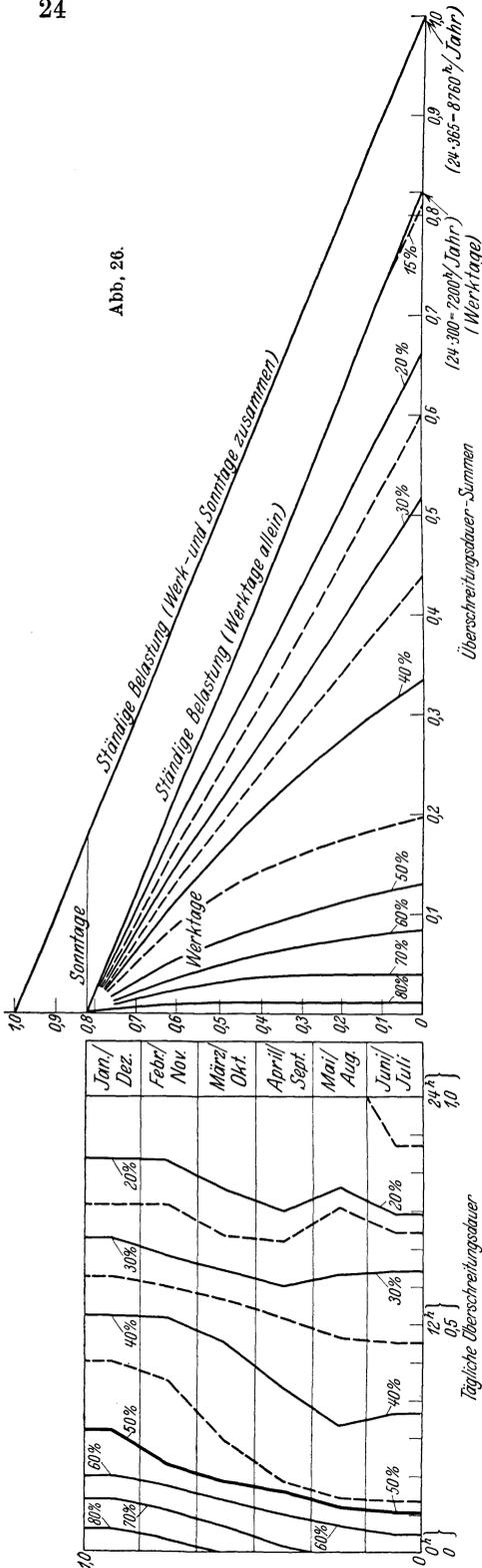


Abb. 25. Belastungs-Dauergebirge (Belastungs-Dauerfläche) (zu Abb. 23).

Die unmittelbare Auswertung des Belastungsgangplanes, der z. B. mit dem Dargebotsgangplan einer Wasserkraft (D-G-Plan oder Q-G-Plan) zur Deckung

¹ Die Darstellung dort ist mehrfarbig zur Unterscheidung der unter und über der mittleren Jahresbelastung liegenden Flächenteile, die Spitzen sind als „Gletscher“ weiß herausgehoben.



gebracht werden könnte, führt zu einfachen Aufgaben der Topographie und Volumetrie, deren Lösung keiner weiteren Erläuterung bedarf¹. An Stelle solch elementarer Behandlung empfiehlt sich aber mehr die Benutzung der nachstehend beschriebenen „abgeleiteten“ Energiepläne, die zum B-G-Plan in demselben Verhältnis stehen wie die Dauerlinie und Energieinhaltslinie zur einzelnen Belastungsganglinie.

b) Abgeleitete Energiepläne.

Der Belastungsdauerplan (B-D-Plan) (Abb. 26 links) ist die topographische Abbildung des aus den einzelnen monatstypischen Belastungsdauerlinien (Abb. 3) kartothekartig aufgebaut zu denkenden „Belastungsdauergebirges“ (Abb. 25).

Der Dargebotsdauerplan („D-D-Plan“) z. B. einer unständigen Wasserkraft (auch als „Q-D-Plan“ zu bezeichnen) ist analog die topographische Karte des aus einzelnen monatstypischen Wassermengendauerlinien aufgebaut gedachten D-D- oder Q-D-Gebirges (nicht abgebildet).

Der Energieinhaltsplan des Bedarfs (der Belastung) oder B-J-Plan (Abb. 28) ist die topographische Abbildung des aus den einzelnen monatstypischen Energieinhaltslinien (Abb. 4) aufgebaut zu denkenden Energieinhaltsgebirges Abb. 27, das zu dem Belastungsdauergebirge und -plan Abb. 25 und 26 und dem Belastungsgebirge und -gangplan

¹ Die Dargebotsgangfläche einer Wasserkraft ist, da die zufließende Wassermenge als nur von Tag zu Tag, nicht von Stunde zu Stunde schwankend angenommen werden kann, eine unregelmäßige Wellenfläche mit geraden waagerechten Erzeugenden.

Abb. 1, 23 und 24 gehört. Die „Höhenkurven“ sind von 10 zu 10% der Jahresspitze (l_{\max}) abgestuft¹.

Natürlich läßt sich auch für das Dargebot (Wasserkraft z. B.) ein Energieinhaltsplan = D-J-Plan zeichnen; doch soll darauf erst weiter unten eingegangen werden.

Eigenschaften des Energieinhaltsplanes. Wenn wir eine beliebige Höhenkurve, z. B. = 0,4 l_{\max} , ins Auge fassen, so stellen ihre Abszissen s_{4I} , s_{4II} usw., aufgetragen auf den Mittellinien der zugeordneten Jahresabschnitte I, II, III usw. (z. B. Monatspaare), die Spitzenarbeit „oberhalb“ der Waagrechten 0,4 in dem „Normalwerktag“ des betr. Jahresabschnittes dar. (Die etwa notwendige Berücksichtigung der Sonntagsarbeit kann in einer gleichartigen aus den typischen Sonntagslastlinien abzuleitenden Darstellung gesondert erfolgen, die in unseren Abbildungen nur durch Raumaussparung angedeutet ist.)

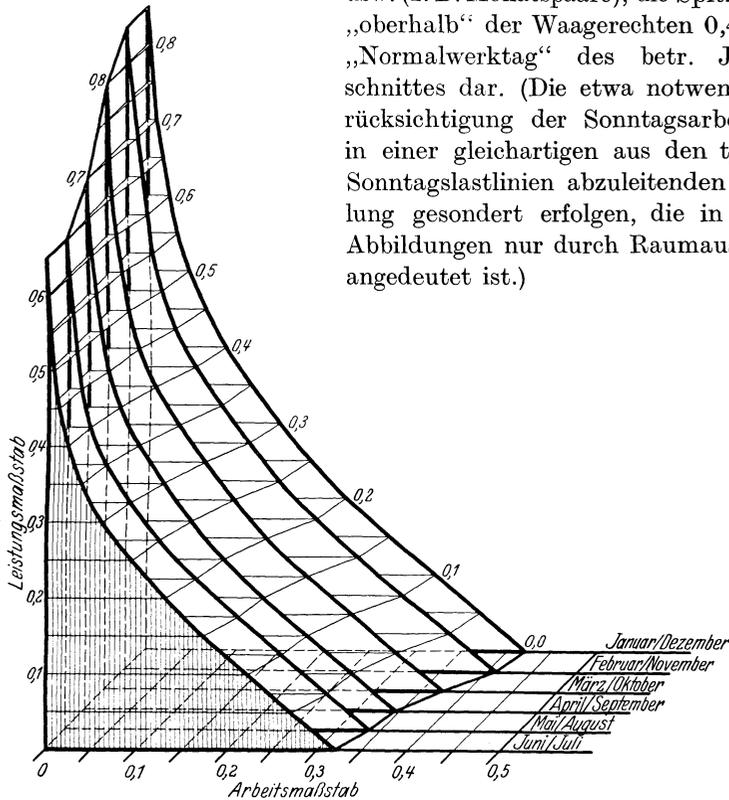


Abb. 27. Belastungs-Inhaltsgebirge (Belastungs-Inhaltsfläche) (zu Abb. 23).

Die über das ganze Jahr erstreckte Summe aller (werktäglichen) Spitzenarbeiten oberhalb $= \frac{4}{10} \cdot l_{\max}$ ist, wenn t_I, t_{II} die beziehentlichen Zeitlängen der einzelnen Jahresabschnitte sind:

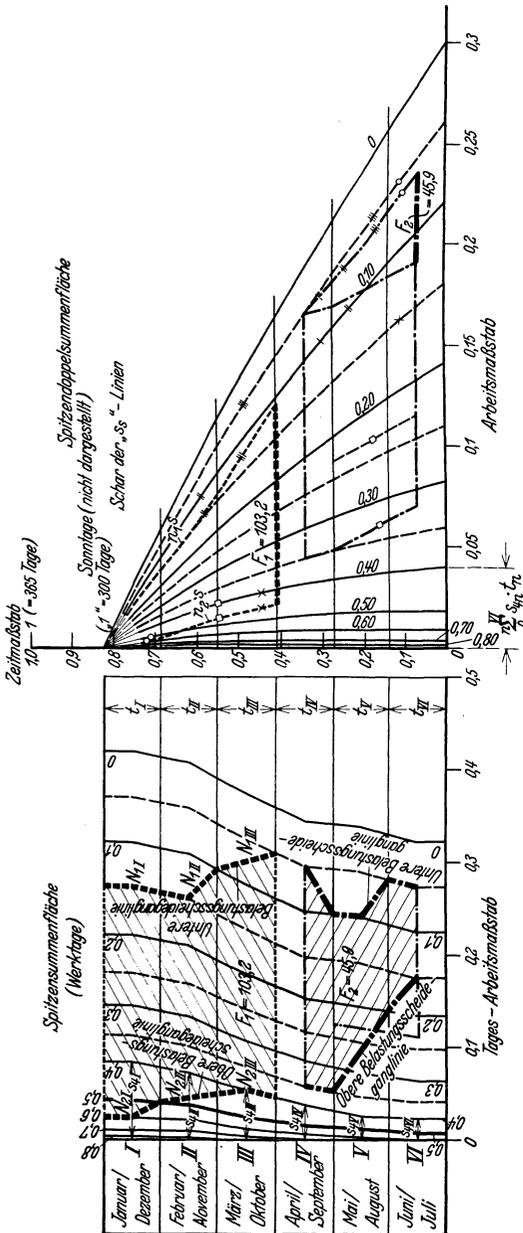
$$\boxed{n \sum_I^r s_{4n} \cdot t_n = s s_{4r}} \quad (12)$$

Diese Doppelsumme (Doppelintegral!) läßt sich geometrisch deuten als Inhalt der durch die Höhenkurve 0,4 und die Rechteckumrahmung abgegrenzten Planfläche. Daher können aber auch die Werte ss fortlaufend über das ganze Jahr durch die in bereits

¹ Abbildung auf eine zur Arbeitsachse senkrechte Aufrißebene durch Kurven gleicher Energieinhalte bietet für den Eingearbeiteten keine Vorteile.

bekannter Weise (S. 4) zu berechnende „Inhaltslinie“ der Leistungshöhenkurve z. B. „0,4“ dargestellt werden. Als Maßstabseinheit dieser „Energieinhaltssummenlinie“ wählt man zweckmäßig das Produkt:

Jahresspitze (= 1) mal 365 Tage (= 1) mal 24 Stunden (= 1), d. h. den Rauminhalt des dem Belastungsgebirge umschriebenen Würfels.



Energie-Inhaltssummenplan.

Abb. 28. Energie-Inhaltsplan (für Werttage) (zu Abb. 23).

Energieinhaltssummenplan.

Berechnet und zeichnet man so die Inhaltslinien zu allen Leistungshöhenkurven der Energieinhaltsfläche, so entsteht die Schar der Energieinhaltssummenlinien oder der „Energieinhaltssummenplan“ (Abb. 28 rechts), der übrigens wiederum als eine topographische Gebirgsdarstellung aufgefaßt werden kann.

Belastungsdauersummenplan.

Durch Berechnung und Aufzeichnung der Inhaltslinien zu den einzelnen Höhengschichtflächen des Dauerplanes (Abb. 26 links) entsteht der Belastungsdauersummenplan (Abb. 26 rechts). Er verhält sich also zum Belastungsdauerplan genau so wie der Energieinhaltssummenplan zum Energieinhaltsplan. Zur weiteren Erläuterung diene die Bemerkung, daß die Schnittkurve der räumlichen Dauersummenfläche mit der senkrechten vorderen Begrenzungsebene des umschriebenen „Würfels“ nichts anderes ist, als die bekannte Jahresdauerlinie.

Die neuen Darstellungsmittel (Abb. 26, 28) erlauben uns u. a.

zunächst, rasch und übersichtlich eine in den einzelnen monatstypischen Belastungsganglinien ermittelte (hier im einzelnen nicht wiedergegebene) Belastungsverteilung für z. B. 3 Werke oder Werksgruppen darzustellen und auszuwerten (Abb. 28, stark ausgezogene bzw. schraffierte Figuren), wie im nachstehenden erläutert:

Aus den Belastungsganglinien übertragen wir zuerst die ermittelten Belastungsscheiden als Punkte (N_1, N_2) I, II usw. in das Netz der Leistungshöhenkurven (Abb. 28 linker Teil) und erhalten durch Verbinden die „Belastungsscheideganglinien“ (genauer: deren Projektionen auf den waagerechten Plan).

Um jetzt z. B. für das Werk „zwischen“ N_1 und N_2 die anfallende Jahresenergie zu ermitteln, verfahren wir weiter folgendermaßen:

Entweder (am einfachsten): wir ermitteln den Inhalt der zwischen den beiden Belastungsscheideganglinien abgegrenzten Planfläche (durch Zirkeladdition oder mit Planimeter).

Oder: Wir übertragen interpolierend die ersten Punkte der Lastscheideganglinien $N_1 N_2$ in das Netz der Energieinhaltssummenlinien (Abb. 28 rechts) und setzen die beiden damit begonnenen Inhaltssummenlinien n_{1s} und n_{2s} in der Weise fort, daß wir jeweils innerhalb des nächsten Zeitabschnittes (Monat) Parallele zu denjenigen Energieinhaltssummenlinien ziehen, die gleiche Schichtliniennummer mit der zu übertragenden Lastscheideganglinie haben. Der zwischen den beiden so entstehenden Linienzügen n_{1s} und n_{2s} liegende Abszissenabschnitt $N_{1s} N_{2s}$ stellt unmittelbar die vom Jahresanfang her summierte Energie der Werksgruppe zwischen den Lastscheideganglinien N_1 und N_2 dar!

Die Energie der Werksgruppe über der Belastungsscheide N_2 und derjenigen unter N_1 wird, wie Abb. 28 andeutet, als Nebenergebnis dieser Konstruktion ohne weiteres mitgewonnen.

VIII. Jahresbilanz von Bedarf und Dargebot im Energieinhaltsplan.

Anstatt die grundlegende Belastungsverteilung und den Ausgleich zwischen Bedarf und Dargebot in den **einzelnen** typischen Belastungsganglinien vorzunehmen, kann man diese Arbeit auch unmittelbar im B-J-Plan und D-J-Plan selbst vornehmen, wobei man noch zur Kontrolle und Vervollständigung die „topographische Karte“ des Belastungsgang- und Dauergebirges: den Belastungsgang- und Dauerplan (Abb. 24 und 26) nebenher benutzen kann.

Das dabei einzuschlagende, nach kurzer Einarbeitung sehr rasch durchführbare und übersichtliche Verfahren wird im folgenden in der Weise erläutert, daß von der grundsätzlich schon mit Abb. 21 behandelten Durcharbeitung einer einzelnen monatstypischen Belastungs- und Dargebotsganglinie ausgegangen und in dazu paralleler Behandlung die unmittelbare Durchführbarkeit derselben Operationen im Energieinhaltsplan gezeigt wird.

Wir wollen uns dabei die Aufgabe stellen, die Belastungs- und Energieverteilung eines Verbundbetriebes darzustellen, der aus einem auf 60% der Jahrespitze ausgebauten Kleinspeicherwerk und einem ergänzenden Wärme- oder Großspeicherwerk besteht. Um die Erläuterung zu vereinfachen, begnügen wir uns damit, die Kleinspeicherenergie ganz in Grundkraft unterzubringen, statt sie (gemäß S. 17) im Interesse der Beschränkung der erforderlichen Maschinenleistung des Ergänzungswerkes bei Wassermangel in die Spitze einzuordnen. (Dieser Fall ist übrigens S. 19 mit Abb. 21 erläutert.)

In der Tafel sind oben für einen einzelnen Monat (hier November) die Lei-

stungsdauer- und Energieinhaltslinien der Belastung (links) und des Dargebots = verfügbare Wassermenge des Kleinspeicherwerks (rechts) aufgezeichnet. Im Mittelstreifen der Tafel sind die entsprechenden Energieinhaltspläne für das ganze Jahr und im Unterstreifen die Leistungsdauerpläne aufgezeichnet. Dabei ist aus sogleich zu erklärenden Gründen von der ursprünglichen Darstellungsart nach Abb. 28 insofern abgewichen, als nicht die Spitzen sondern die Fußpunkte F der 12 monatlichen Energieinhaltslinien in einer senkrechten Geraden angeordnet sind. In jedem Energieinhaltsplan ist in dünnen Linien ein zweites System von Schichtlinien — und zwar (nach der eben erwähnten Modifikation einfach:) von äquidistanten Geraden zur Null-Schichtlinie — verzeichnet, das die jeweilige von den Fußtangenten (1 : 1!) der Energieinhaltslinie erzeugte Ebene, kurz: „Fußtangentenfläche“ genannt, topographisch darstellt.

Wir geben die weitere Anleitung zur Durchführung der Auswertung in tabellarischer Übersicht:

Im oberen Streifen der Tafel.

1. Links: Punkt $B_v(J)$ in Höhe der gegebenen Volleistung Q_v auf der B-J-Linie zu suchen, wird heruntergelotet auf die Fußtangente (1 : 1!) der Inhaltslinie. Dies bestimmt den Punkt $B_{v_n}(F)$, dessen Höhe gleich der 24stündig erforderlichen und vollnutzbaren Wassermenge oder: der Vollnutzwassermenge Q_{v_n} des Kleinspeicherwerkes bei Volleistung in Grundkraft ist.

2. Der gefundene Punkt $B_{v_n}(F)$ waagerecht nach rechts hin übertragen, liefert der Reihe nach die Punkte:

$B_{v_n}(J)$	auf der	B-J-Linie
$B_{v_n}(D)$	„ „	B-D- „
$B_{v_n}(O)$	„ dem	Endlot, der B-J-Linie
$Q_{v_n}(F)$	„ der	Fußtangente der Q-J-Linie
$Q_{v_n}(J)$	„ „	Q-J-Linie
$Q_{v_n}(D)$	„ „	Q-D-Linie
$Q_{v_n}(O)$	„ dem	Endlot der Q-J-Linie.

(Der Punkt $Q_{v_n}(D)$ lotrecht auf die Waagerechte v (in Höhe Q_v) übertragen, liefert einen ausgezeichneten Punkt $Q_v(D)$, der u. a. gesuchten Dauerlinie der oberen Belastungs-

Im mittleren Streifen der Tafel.

1. Links: Punkt $B_v(J)$ in Höhe der gegebenen Volleistung Q_v , also auf einer dadurch bestimmten Schichtlinie des B-J-Plans für den gewählten Zeitpunkt (Linie $x-x$) zu suchen, bestimmt mit dem gleichzeitigen Nullpunkt $B(O)$ die mittlere 24stündige Belastung des voll eingesetzten Kleinspeicherwerkes in Grundkraft oder die erforderliche Vollnutzwassermenge Q_{v_n} .

2. Die gefundene Strecke

$$\overline{B(O)/B_v(J)}$$

wird mit dem Zirkel im Q-J-Plan (rechts) zeitgerecht von $Q(O)$ aus angetragen, wodurch der Punkt $Q_{v_n}(F)$ erhalten wird. Noch einfacher legt man den auf Pauspapier gezeichneten Q-J-Plan auf den B-J-Plan und zwar: „Zeitgerecht und Fußpunktgleich“ [d. h. Punkt $Q(O)$ auf Punkt $B(O)$] und sticht den Punkt $B_{v_n}(F) = B_v(J)$ des B-J-Plans in den darüberliegenden Q-J-Plan durch, wo er mit $Q_{v_n}(F)$ bezeichnet wird.

Die Schichthöhe (= Q_{v_n} !) des Punktes $Q_{v_n}(F)$ wird an den nächsten Fußtangenten-Schichtlinien des Q-J-Plans oder auch einfach an einem Maßstab (= Q_{v_n} !) abgelesen. Hiernach

scheide des in Grundkraft eingesetzten Kleinspeicherwerkes oder: der Q_{\max} -Dauerlinie).

3. Von den anderen erhaltenen Punkten werden folgende Energiewerte als Strecken abgegrenzt:

$$\overline{B_{v_n}(F)/B_{v_n}(J)} = \text{größter Speicherbeckenbedarf}$$

$$\overline{B_{v_n}(F)/B_{v_n}(O)} = \text{Vollnutzwassermenge } Q_{v_n} = \overline{Q_{v_n}(F)/Q_{v_n}(O)}$$

$$\overline{Q_{v_n}(J)/Q_{v_n}(O)} = \text{mittlere verfügbare Nutzwassermenge } MQ_n$$

$$\overline{Q_{v_n}(F)/Q_{v_n}(J)} = \text{mittlere fehlende Nutzwassermenge, also: vom Ergänzungswerk zu liefernde Aushilfsenergie.}$$

4. Für das Ergänzungswerk findet man außerdem noch ähnlich:

$$\overline{S_n/B_{v_n}(F)} = \text{Ergänzungsenergie (Spitzen über } Qv).$$

Somit im ganzen vom Ergänzungswerk zu erzeugen:

$$\overline{B_{v_n}(F)/Q_{v_n}(J')} + \overline{S_n/B_{v_n}(F)} = \overline{S_n/Q_{v_n}(J')}.$$

Letztere Strecke entsteht links dadurch, daß man die Q-J-Linie von rechts nach links sich selbst parallel derart überträgt, daß sie den Fußpunkt $B(O)$ und damit auch die Fußtangente mit der B-J-Linie gemeinsam hat.

wird auf der gleichbezzifferten Inhaltsflächen-Schichtlinie desselben Plans der in gleicher Höhe ($= Q_{v_n}!$) mit $Q_{v_n}(F)$ liegende Punkt festgestellt, mit $Q_{v_n}(J)$ bezeichnet und sofort mit Zirkel oder Durchstechnadel auch in den B-J-Plan übertragen und dort mit $Q_{v_n}(J)'$ bezeichnet. Danach wird im B-J-Plan für sich allein noch in gleicher Weise der Punkt $B_{v_n}(J)$ ermittelt, der auf gleicher Höhe ($= Q_{v_n}!$) wie $B_{v_n}(F)$ liegt.

3. Von den im B-J-Plan erhaltenen Punkten werden gemäß Konstruktion folgende Energiegleichwerte als Strecken abgegrenzt:

$$\overline{B_v(J)/B_{v_n}(J)} = \text{größter Speicherbeckenbedarf}$$

$$\overline{B_v(J)/B(O)} = \text{erforderliche Vollnutzwassermenge } Q_{v_n}$$

$$\overline{Q_{v_n}(J')/B(O)} = \text{mittlere verfügbare Nutzwassermenge „}MQ_n\text{“}$$

$$\overline{B_v(J)/Q_{v_n}(J')} = \text{mittlere fehlende Nutzwassermenge, bzw. vom Ergänzungswerk zu liefernde Aushilfsenergie.}$$

4. Für das Ergänzungswerk findet man außerdem noch ähnlich:

$$\overline{S_n/B(J)} = \text{Ergänzungsenergie (Spitzen); somit im ganzen vom Ergänzungswerk zu erzeugende Energie: } \overline{S_n/Q_{v_n}(J')}.$$

Wird die bisher beschriebene Konstruktion für alle Zeitabschnitte (z. B. 12 Monate) gleichartig durchgeführt, so erhält man Punktreihen oder Flächenstreifen folgender Bedeutung:

$$B_v(J) = \text{obere Belastungsscheide-Ganglinie des Kleinspeicherwerkes in Grundkraft; gleich einer bestimmten Höhenschichtlinie des B-J-Planes.}$$

$B_v(J)$ mit $B_{v_n}(J)$ zusammen = Ganglinie des größten Kleinspeicher-Beckenbedarfs.

$Q_{v_n}(J)'$ mit der linken äußersten B-Höhenkurve (1,0) zusammen = Streifen der erforderlichen Jahreserzeugung des Ergänzungswerkes mit $B_v(J)$ als Scheidelinie zwischen Spitzenenergie oberhalb der ausgebauten Volleistung des Kleinspeicherwerkes und der Aushilfsenergie unterhalb dieser Volleistung.

$Q_{v_n}(J)'$ mit der Null-Höhenschichtlinie $B(O)$ zusammen = nutzbare Energie des Kleinspeicherwerkes.

5. Die größte vom Ergänzungswerk geforderte Spitzenleistung ermitteln wir (z. B. in der Tafel links) durch Feststellung des tiefsten Punktes der oberen Belastungsscheide-Dauerlinie des Kleinspeicherwerkes. Letztgenannte Linie kann auch leicht vollständig aufgezeichnet werden. Die Konstruktion eines beliebigen Punktes $Q(D)$ ist im Grunde dieselbe wie bereits oben für den Tag der vollen Nutzwasserführung gezeigt. Sie sei kurz erläutert:

Gegeben eine verfügbare Wassermenge Q_1 [Punkt $Q_1(D)$ rechts]. Durch ihn nach links die Waagrechte q_1 zum Schnitt $B_1(F)$ mit der Fußtangente der B-J-Linie. Von hier lotrecht empor in die B-J-Linie; Punkt $B(J)$ und von da weiter waagrecht nach rechts zum Schnitt mit dem Lot aus dem Punkt $Q_1(D)$ liefert den gesuchten Punkt $Q(D)$ der oberen Belastungsscheide des in Grundkraft eingesetzten Kleinspeicherwerkes.

Der zugehörige Beckenbedarf findet sich nach früheren links als Strecke: $\overline{B_1(F)/B_1(J)}$.

Der tiefste Punkt der ermittelten oberen Belastungsscheide fällt übrigens mit dem tiefsten Punkt „ Q_{\min} “ der Q_1 -Dauerlinie immer dann zusammen, wenn Q_{\min} kleiner ist als die „ständige Belastung“ B_{\min} . In diesen Fällen ist also die größte vom Ergänzungswerk geforderte Spitzenleistung einfach gleich:

$$B_{\max} - Q_{\min}.$$

Die Übertragung der Lastscheiden in den Q-D-Plan (untere Figur der Tafel) wird dem Leser, der das vorstehende Verfahren einmal durchgearbeitet hat, keine Schwierigkeiten mehr bereiten. Ebenso wird ihm die Behandlung des Falles: „Kleinspeicherwerk möglichst hoch in Spitzen und Ergänzungswerke in Grundkraft“ oder anderer Kombinationen ohne besondere Anleitung möglich sein, da die dazu nötigen Modifikationen des im vorstehenden entwickelten Verfahrens sich bei sinngemäßer Übertragung leicht ergeben.

Der vereinigte B-D-J-Plan.

Wir haben oben im Verlauf der Operationen die D-J- (oder Q-J-) Linie und die B-J-Linie mit gemeinsamer Fußtangente zusammen aufgezeichnet (Tafel oben links). Das hierdurch gewonnene B-D-J-Linienbündel (1 Gerade und 2 Kurven) ist die einfachste und konzentrierteste Darstel-

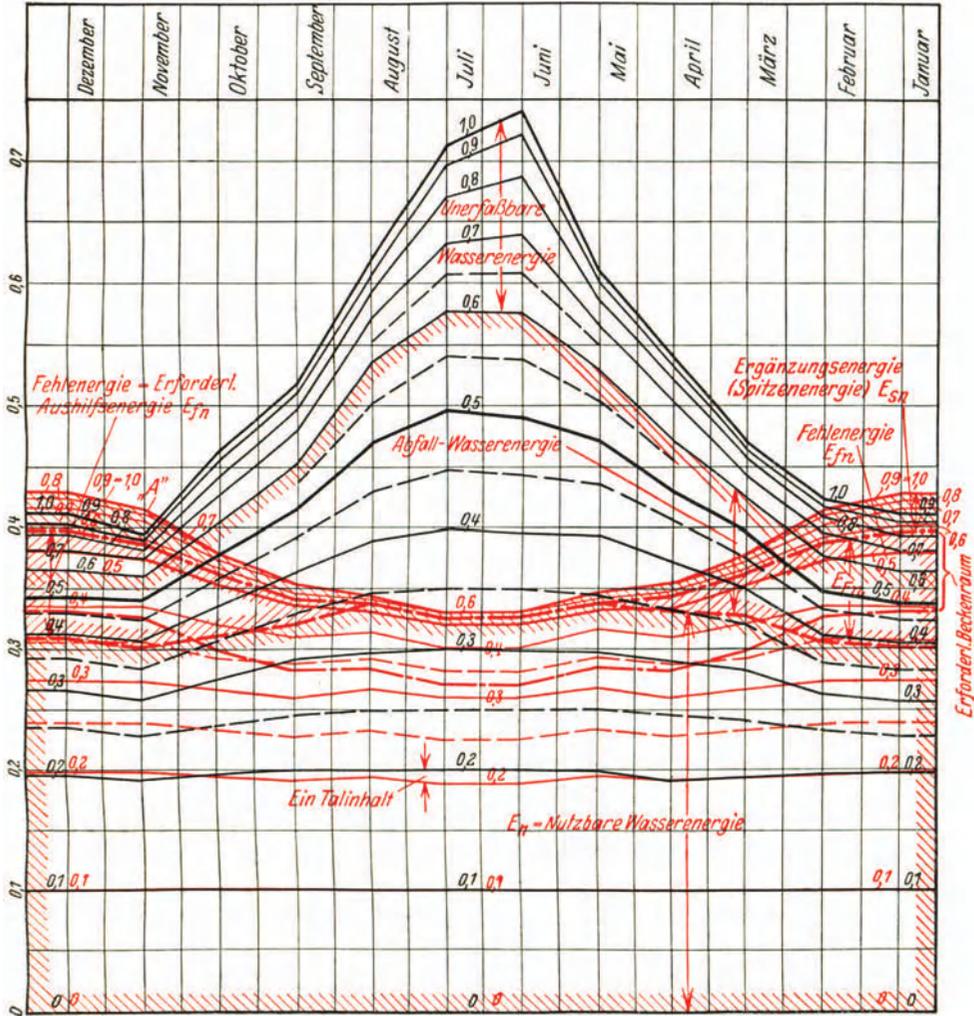


Abb. 29. Vereinigter Inhaltsplan von Bedarf und Dargebot eines Tagesspeicherwerkes mit unveränderlicher Fallhöhe.

lung aller wesentlichen für die Belastungsverteilung und Bilanzierung im einzelnen Monat notwendigen Angaben, die denkbar ist. Die Aufzeichnung der B-D-Dauerlinien und -Ganglinien ist daneben nur allenfalls zur Veranschaulichung erwünscht, aber nicht unbedingt nötig.

Es liegt nun nahe, dasselbe Prinzip auf die Energieinhaltspläne von B und D anzuwenden und sie in einem gemeinsamen Grundnetz ineinander zu zeichnen (Abb. 29). Die Waagerechten dieses Grundnetzes sind zugleich Höhenschichtlinien

der gemeinsamen Fußtangentenebene (gegenüber der Tafel ist Abb. 29 um 90° gedreht!).

Man beachte den anschaulichen geometrischen Zusammenhang zwischen den gleich bezifferten Höhenschichtlinien der Fußtangenten-, der B-J- und der D-J-Fläche [der senkrechte Abstand zwischen einer J -Höhenkurve und der gleichbezifferten F -Höhenkurve (bzw. Netzwaagerechten) ist jeweils ein Talinhalt!]. Es kann Vorteile bieten, zur Ergänzung die Inhaltssummenpläne dieser Talinhalte an Stelle der Energieinhalte gemäß Abb. 28 rechts aufzuzeichnen.

In diesem das ganze Material aufs äußerste konzentriert enthaltenden B-D-J-Plan lassen sich an Hand der vorausgeschickten Erläuterungen alle gewünschten Ermittlungen mit größter Leichtigkeit und Schnelligkeit unmittelbar durchführen. Auch die im Abschn. IV/V (S. 9 bis 20) behandelten Aufgaben lassen sich ohne Ausnahme z. T. mit überraschender Leichtigkeit unmittelbar, also ohne Zurückgehen in die einzelnen monatstypischen Inhalts- und Dauerlinien, im B-D-J-Plan lösen. Die Höhenkurven des B-D-J-Plans können dabei auch unmittelbar auf Grund der gerechneten Inhaltswerte der Belastungs- und Dargebotsdauerlinien, ohne vorgängige Auftragung dieser Linien selbst, verzeichnet werden.

Schließlich kann man mittels des vereinigten B-D-J-Planes auch Betriebspläne von Großspeicherwerken (auch im Verbundbetrieb) sehr übersichtlich bearbeiten und darstellen. Als Anhalt beachte man, daß in der Tafel rechts oben die „unerfaßbare“ und die „Abfall“-Wasserenergie des dort behandelten Kleinspeicherwerks bei Angliederung eines Großspeichers die zu dessen Füllung im Monat (November) verfügbare Freiwasserfülle darstellt. Die entsprechende Freiwasserfülle übers Jahr ist in Abb. 29 als Fläche gemäß beigeschriebener Kennzeichnung zu entnehmen, ebenso der durch Entnahme aus dem Großspeicher zu deckende Wasserbedarf der Mangelzeit. Zur Auswertung kann der (für eine Reihe von Jahren fortlaufend aufzuzeichnende!) Energieinhaltssummenplan (Abb. 28 rechts) von Bedarf und Dargebot benutzt werden; denn jede seiner Schichtlinien ist eine übers Jahr erstreckte Energie-Summenganglinie (Definition vgl. S. 3!).

Anhang: Elemente einer graphischen Statistik.

1. Allgemeines über Verteilungslinien.

Die prozentuale Zusammensetzung einer Gesamtmenge „ N “ gleichartiger Individuen, die sich in einer meßbaren und annähernd „statistisch gesetzmäßig“ abgestuften Eigenschaft „ l “ unterscheiden, läßt sich übersichtlich durch eine der Häufigkeitslinie der Hydrographie gleichartige Linie darstellen (Abb. 31 Kurve Nr. 0).

Abszisse x_0 dieser unserer „Ausgangskurve“ ist die auf das Elementargruppenintervall Δl bezogene Anzahl $\frac{\Delta N}{\Delta l}$ der Gruppenglieder oder ihre Dichtigkeit.

Im allgemeinen ist der Übergang zu beliebig kleinen Intervallen dN und dy zulässig. Von der wesensverwandten Gaußschen Fehlerkurve unterscheidet sich unsere Dichtkeitslinie in der Regel durch ihre Unsymmetrie und das

Fehlen einer analytischen Formulierbarkeit ihrer zunächst nur empirisch-graphisch in Erscheinung tretenden Gesetzmäßigkeit. Jede Teilfläche der Dichtigkeitskurve $\int_{y=l_a}^{y=l_b} x_0 dy$ zwischen zwei Waagrechten l_a und l_b stellt die Menge der Individuen dar, deren Eigenschaft y zwischen den Grenzen l_a und l_b liegt.

Die Differentialkurve der Dichtigkeitslinie [in Abb. 31 Kurve Nr. (-I)] hat bei gleicher Ordinate zur Abszisse den bezogenen Mengenunterschied von einer Elementargruppe zur nächsten:

$$x_{-1} = \frac{dx_0}{dy} = \frac{d^2N}{dy^2}.$$

Wir nennen diese Kurve „Unterschiedslinie“.

Die Integralkurve zur Dichtigkeitslinie (Abb. 31 Nr. +I) hat bei gleicher Ordinate zur Abszisse x_1 die Menge aller Individuen, deren Eigenschaft y zwischen den Grenzen $y = l_{\max}$ und $y = l$ liegt.

$$x_1 = \int_{y=l_{\max}}^{y=l} x_0 dy.$$

Diese Kurve (die Dauerkurve der Hydrographie!) heiße „Ordnungskurve“, weil sie alle Individuen der Größe nach geordnet zeigt.

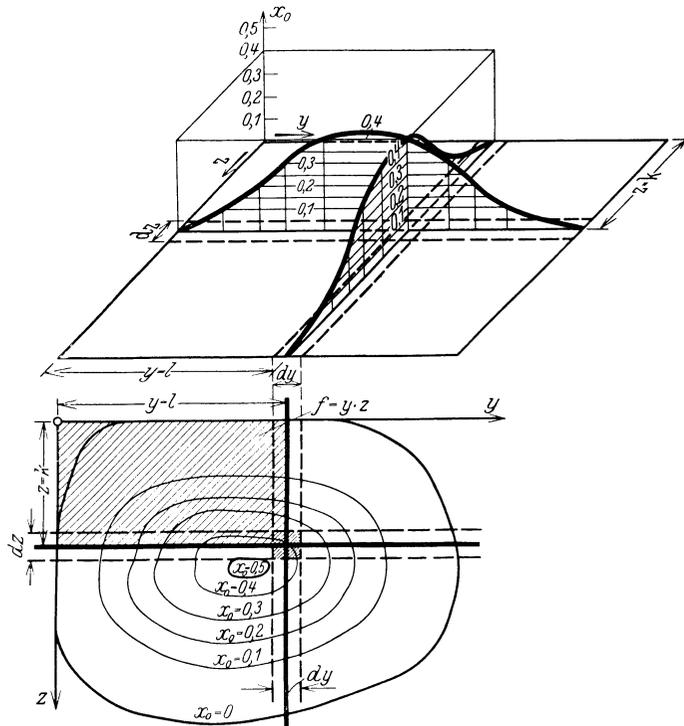


Abb. 30.

Die Integralkurve zur Ordnungslinie hat bei gleicher Ordinate zur Abszisse x_2 die Flächeninhalte der Ordnungskurve. (Wir haben diese Linie S. 4 als Energieinhaltslinie und Integralkurve der Leistungsdauerlinie kennengelernt.)

$$x_2 = \int_{y=l_{\max}}^{y=l} x_1 dy.$$

Die Gleichungen all dieser in ihrer Gesamtheit als Verteilungslinien zu bezeichnenden Differential- und Integralkurven können zwar formell angeschrieben, jedoch in der Regel nicht ohne weiteres als analytische Funktion ausgedrückt werden. Vielmehr kann man die Kurven zunächst nur punktweise durch numerische oder graphische Subtraktion oder Addition waagrechter Flächenstreifen ermitteln. Außerdem läßt sich jede Integralkurve (O.-Z. „n“) einer Ausgangskurve (O.-Z. „n“) als Seilpolygon der waagrechten Elementarstreifen der Differentialkurve (O.-Z. „n - 1“) als „Gewichten“ ($x_{n-1} \cdot \Delta y$) zeichnen.

Der allgemeine Nachweis hierfür folgt hierunter.

2. Grundlegende Eigenschaften und Beziehungen der Verteilungslinien.

Unter Beziehung auf die Numerierung der in Abb. 31 nebeneinander-gestellten Verteilungslinien schreiben wir ihre Gleichungen, beginnend mit der Unterschiedslinie, untereinander an:

Ordn.-Ziffer	Bezeichnung	Abscisse	Differential	
- 1	Unterschiedslinie . . .	$x_{-1} = \frac{dx_0}{dy}$	$dx_{-1} = \frac{d^2x_0}{dy^2} \cdot dy$	(13)
0	Dichtigkeitslinie . . .	$x_0 = \int x_{-1} dy$	$dx_0 = x_{-1} dy$	
+ 1	Ordnungslinie	$x_1 = \int x_0 dy$	$dx_1 = x_0 dy$	
+ 2	Mittelwertslinie . . .	$x_2 = \int x_1 dy$	$dx_2 = x_1 dy$	
+ 3	Streuungslinie ¹ . . .	$x_3 = \int x_2 dy$	$dx_3 = x_2 dy$	

(In vorstehenden Integralgleichungen sind genau genommen durchweg einheitliche Integrationsgrenzen angegeben zu denken, so daß die linke Seite dann als Funktion der oberen Integrationsgrenze erscheint.)

Den vorstehenden Gleichungen entspricht die Berechnung und Aufzeichnung der einzelnen Linie auf Grund numerischer oder graphischer Bildung der Summen (Unterschiede) aufeinanderfolgender waagerechter Elementarflächenstreifen der unmittelbar vorangehenden (nachfolgenden) Kurve.

Um die andere Darstellbarkeit der Linien: durch Seilpolygone zu beweisen, stellen wir das auf eine Waagerechte $W-W$ in Höhe $y_a = y - u$ bezogene statische Moment des oberhalb dieser Waagerechten liegenden Flächenstückes $F_{-1}^{(a)}$ der Unterschiedslinie (O.-Z. = -1) auf:

$$S_{-1}^{(a)} = \int_{y=l_{\max}}^{y=y_a} x_{-1} \cdot (y - y_a) dy = \int_{u=l_{\max}-y_a}^{u=0} x_{-1} u du. \quad (14a)$$

Aus Gl. (13) Nr. (-1) und (+1) folgt aber (vgl. Abb. 31):

$$S_{-1}^{(a)} = \int_{x_0=0}^{x_0=x_0^{(a)}} u dx_0 = F_0^{(a)} = \int_{u=l_{\max}-y_a}^{u=0} x_0 \cdot du = \int_{x_1=0}^{x_1=x_1^{(a)}} dx_1 = x_1^{(a)}. \quad (14)$$

Diese Gleichung gilt jeweils nur für die vollen Integrale bis zur Bezugslinie „ W “ herunter. Soll das Integral schon vor dieser Linie abgebrochen, also nur z. B. von $u = (l_{\max} - y_a)$ bis u bzw. von $x_0 = 0$ bis x_0 (z. B. bei Punkt 2 der Kurve „0“) genommen werden, so ist statt $F_0^{(a)}$: $F_{0u}^{(a)}$ zu setzen, d. h. die durch die Ordinate „ u “ begrenzte Fläche 1-2-4-5; analog: statt $x_1^{(a)}$: $x_{1u}^{(a)}$ = Abschnitt der Tangente des Punktes in Höhe u auf der Achse $W-W$.

Da wir die Ordnungsziffern der Kurven und diese selbst beliebig variieren und die Achsenkennziffer a weglassen können, gilt somit allgemein

$$\boxed{S_{n-1} = F_n = x_{n+1}} \quad (15)$$

bzw.

$$S_{(n-1)u} = F_{nu} = x_{(n-1)u}.$$

In Worten: Das statische Moment einer „Kurven-Fläche“ [O.-Z. $(n-1)$] in bezug auf eine waagerechte Achse ist gleich der Fläche ihrer Integralkurve

¹ Die Bedeutung der Bezeichnungen wird weiter unten erläutert.

(O.-Z. n) und gleich dem Abszissenabschnitt ihrer zweiten Integralkurve [O.-Z. $(n + 1)$].

(Dieser Satz unterliegt gleichfalls der obigen Einschränkung bzw. Modifikation: Tangente statt Kurve).

Der Satz läßt sich auf beliebig hohe Momente erweitern.

Beweis: Wir schreiben für das Moment „ m “ten Grades der Kurve mit O.-Z. „ n “: M_n^m . Nach Definition ist unter Weglassung der nach den Umständen einzusetzenden Integrationsgrenzen:

$$M_n^m = \int u^m x_n du. \tag{16}$$

Nach Gl. (13) ist $x_n du = dx_{n+1}$. Daher weiter:

$$M_n^m = \int u^m dx_{n+1}. \tag{17}$$

Andererseits ist, unabhängig davon, das aus senkrechten Differentialflächenstreifen berechnet gedachte Moment $(m - 1)$ ten Grades der Kurve $(n + 1)$ ter Ordnung (gemäß Abb. 31):

$$M_{n+1}^{m-1} = \int dx_{n+1} \int_{z=0}^{z=u} z^{(m-1)} dz = \int dx_{n+1} \frac{u^m}{m}.$$

Also auch:

$$m M_{n+1}^{m-1} = \int u^m dx_{n+1}. \tag{18}$$

Da die rechten Seiten von Gl. (17) und (18) identisch sind, müssen auch die linken Seiten gleich sein, also gilt allgemein:

$$\boxed{M_n^m = m M_{n+1}^{m-1}}. \tag{19}$$

Hieraus folgt durch einfache Weiteranwendung das Ergebnisses auf die folgenden Stufen:

$$\boxed{M_n^m = m M_{n+1}^{m-1} = m(m-1) M_{n+2}^{m-2} + \dots} \tag{20}$$

oder als allgemeiner Satz:

$$\boxed{M_n^m = \frac{m!}{(m-r+1)!} \cdot M_{n+r}^{m-r}}. \tag{21}$$

Als Sonderfall, mit $m = 1$ (statisches Moment) und $r = 2$ folgt:

$$M_n^1 = M_{n+1}^0 = M_{n+2}^{-1}.$$

Hiernach und mit Rücksicht auf Gl. (18) kann jede 2. Integralkurve (O.-Z. $n + 2$) auch als Seilpolygon zu den waagerechten Flächenelementen der n ten Verteilungskurve als waagerechten Gewichten verzeichnet werden! Insbesondere kann die Ordnungskurve (Dauerlinie, O.-Z. = $+ 1$) als Seilpolygon der Unterschiedsline (Häufigkeitslinie) (O.-Z. = $- 1$) aufgezeichnet werden. Und das Seilpolygon zur Ordnungskurve ergibt eine Integralkurve O.-Z. 3, die oben als Streuungslinie eingeführt wurde.

Für alle Verteilungslinien gelten alle im Haupttext (insbesondere in Kap. III) nachgewiesenen Eigenschaften der Inhaltlinie in sinngemäßer Übertragung: Hiervon kann man bei statistischen Untersuchungen mannigfaltigste Nutzenanwendung ziehen. Wir beschränken uns auf die Andeutung der am häufigsten vorkommenden.

3. Darstellung von Mittelwerten und Streuungsmaßen.

Wir wählen als Maßstabseinheit wie früher für y : die höchste vorkommende Eigenschaft l_{\max} , für x_1 : die Gesamtmenge N aller Individuen; für x_2 : das Produkt $l_{\max} \cdot N$ und analog weiter für x_3, x_0 usw.

Die Eigenschaft y ist meist ein bezogener Wert, z. B. sekundliche Wassermenge, Einzelkorngewicht, Einzelkornvolumen, Einzelpersonenalter u. a. m. Als Dichtezahl x_0 wird dabei meist die Individuenzahl, also die Bezugsbasis, angenommen, z. B. Sekundenzahl, Kornzahl, Personenzahl der Gruppe. Die manchmal gewählte Darstellung: als Abszisse den Wert $y \cdot x_0$ (absolute Mengen) aufzutragen (Wasservolumen, Korngruppengesamtgewicht usw.) soll als i. a. weniger fruchtbar hier nicht behandelt werden.

Dasselbe gilt für Abszissenintervalle Δx_2 , die einem Eigenschaftsintervall Δl und damit einer Gruppe von Individuen der Anzahl Δx_1 zugeordnet sind.

In Analogie zu Früherem (S. 6ff.) finden wir einfache graphische Darstellungen für folgende einer Gruppe eigene Mittelwerte:

1. Durchschnittliche (auf die Eigenschaftsspanne bezogene) Individuenzahl $\bar{\Delta x}_{1m} = \frac{\Delta x_2}{\Delta l}$ (vgl. mittlere Benutzungsdauer Abb. 8/9).

2. Durchschnittliche, auf die Gesamtmenge $N (= 1!)$ bezogene Eigenschaft $\bar{\Delta l}_m = \Delta x_2$.

3. Durchschnittliche, auf die Gruppenmenge (Δx_1) bezogene Eigenschaft $\bar{l}_m = \frac{\Delta l}{\Delta x_1}$.

4. Das lineare Streuungsmaß s^1 .

Formelmäßige Definition:

$$s^1 = \frac{\int_{y=l_{\max}}^{y=0} |y - y_a| x_0 dy}{\int_{y=l_{\max}}^{y=0} x_0 dy}.$$

Dies ist gemäß Gl. (14a), S. 34 auch:

$$s^1 = \frac{\int_{u=l_{\max}-y_a}^{u=0} x_0 u du + \int_{u=-y_a}^{u=0} x_0 u du}{\int_{y=l_{\max}}^{y=0} x_0 dy}.$$

(Man beachte die — absichtliche — Umstellung der Integrationsgrenzen im zweiten Zählerglied!).

Um die Werte s einfach abgreifen zu können (Abb. 31), tragen wir die Abszissenabschnitte t zwischen der Fußtangente (8—9) der zweiten Integralkurve und dieser Kurve selbst („Talinhalte“!) von der lotrechten Achse ein zweites Mal, aber nach links, auf. Die Abschnitte zwischen der dabei erhaltenen Kurve und der 2. Integralkurve sind die linearen Streuungsmaße s .

5. Das quadratische Streuungsmaß s^2 .

Formelmäßige Definition:

$$s^2 = \frac{\int_{y=l_{\max}}^{y=0} (y - y_a)^2 x_0 dy}{\int_{y=l_{\max}}^{y=0} x_0 dy}.$$

Dies ist gemäß Gl. (21), S. 35 auch:

$$s^2 = \frac{J_0}{F_0} = i_s^2 + (y_s - y_u)^2.$$

Hierin bezeichnet:
 J_0 das Trägheitsmoment der Fläche F_0 in bezug auf die Achse $W-W$,
 i_s den Trägheitsradius der Fläche F_0 in bezug auf deren waagerechte Schwerlinie (= Ausgleichsline der Fläche F_1^1),
 y_s die Schwerpunktsordinate der Fläche F_0 .

Bei Anwendung „bezogener“ Maßstäbe für die Abszissen der 1. und 2. Integralkurve ist $F_0 = 1$. Weil ferner nach S. 35 die Trägheitsmomente als Abszissen der 3. Integralkurve erhalten werden, greift man die Werte s^2 an dieser nach doppelter, gegenläufiger Auftragung ab (Abb. 31).

4. Verteilungsflächen.

Die Verteilungslinien verwandeln sich in Verteilungsflächen, wenn zu der einen statistisch variierten Eigenschaft y noch eine zweite: z hinzukommt, so daß z. B. die Dichtigkeit $x_0 = f(y, z)$ erscheint (Abb. 30).

Zerlegt man nämlich die zu untersuchende Gesamtmenge N in p Abteilungen, die sich um gleiche Intervalle Δz in der Eigenschaft z unterscheiden, so kann man die (im allgemeinen unter sich nicht gleichen) Teilmengen N_p dieser Abteilungen jede für sich nach den bisher in

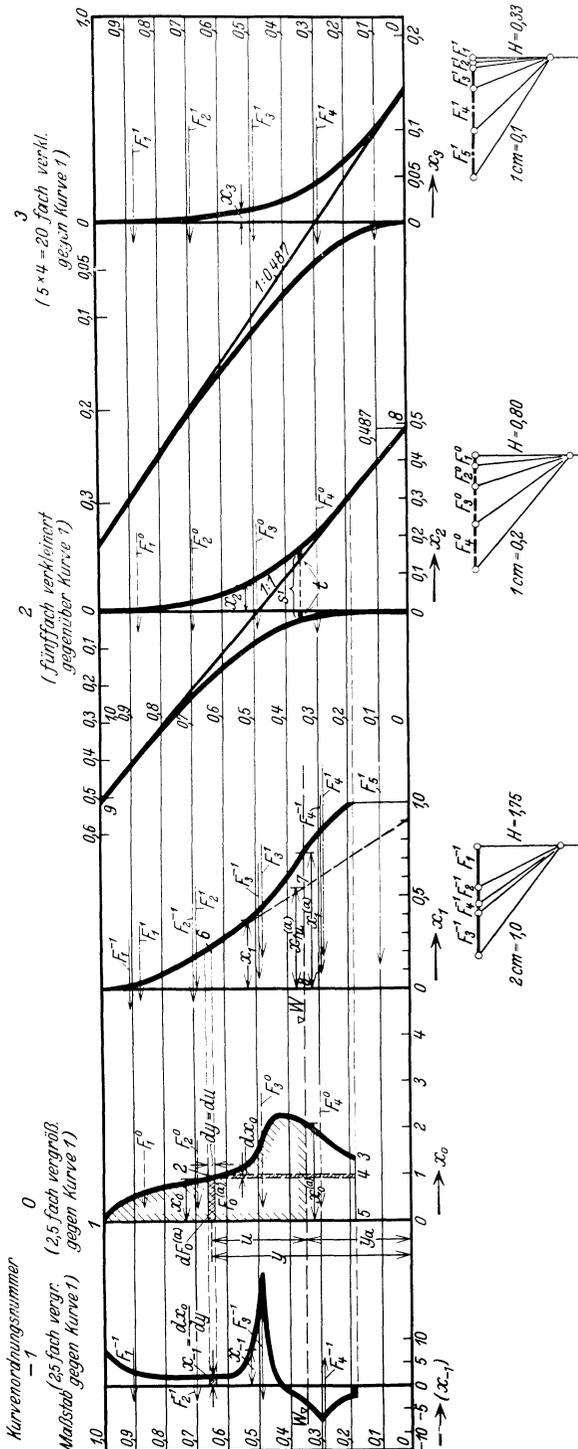


Abb. 31. Verteilungslinien auf- und absteigender Ordnung.

diesem Anhang skizzierten Methoden in je einer Unterschieds-, Dichtigkeits-, Ordnungs- usw. Linie statistisch zergliedern und darstellen. Alle (je p) hierbei erhaltenen gleichartigen Linien, kartotheekartig aufgestellt, erfüllen eine dreidimensionale Fläche (ein „Gebirge“ analog den Ausführungen S. 22). Abb. 30 zeigt beispielsweise eine Dichtigkeitsfläche, Abb. 26 eine Ordnungs-, Abb. 28 eine Mittelwertsfläche. In der Dichtigkeitsdarstellung ist jetzt analog Früherem der Häufungswert x_0 ein auf das Flächenelement oder Intervallprodukt $dy \cdot dz$ bezogener Wert. — Ist nun die eine der beiden dargestellten Eigenschaften ein auf die andere bezogener Wert, z. B. bei einem (hypothetischen) Gesteinskorngemisch aus Material stetig abgestuften spezifischen Gewichtes oder Erzfeingehaltes: $y = \text{Kornvolumen}$ und $z = \text{spez. Gewicht}$, so ist das Produkt $y \cdot z = k = \text{Einzelkorngewicht}$ und daher $k \cdot x_0 \cdot dy \cdot dz$ das Elementargewicht der Elementarkörnergruppe, die durch y und z gekennzeichnet ist.

Von dieser Einsicht ausgehend kann man ganz analoge Überlegungen und Entwicklungen zu denen der S. 22 bis 32 anstellen. Das heißt: die zweifachen Integrale $\int x_0 yz dy dz$ oder, da: $x_0 = f(x, y)$ auch $\int f(x, y) yz dy dz$ können nach den dort gegebenen Methoden graphisch gelöst und dargestellt werden. Und darauf aufbauend kann man die aufeinanderfolgenden Integralflächen der Dichtigkeitsfläche ableiten, wodurch die Ordnungsfläche 1. und 2. Ordnung (vgl. Abb. 26 rechts, weiter die Mittelwertsfläche 1. und 2. Ordnung (vgl. Abb. 28 rechts) und auch eine (nicht mehr dargestellte) Streuungsfläche 1. und 2. Ordnung erhalten werden.

Die Durchführung im einzelnen kann der Anwendung überlassen bleiben.

Benutzte Literatur.

1. Ludin: Der Ausbau der Niederdruckwasserkraft nach wirtschaftlichen Grundsätzen. Dissertation Karlsruhe 1910.
2. Ludin: Die Wasserkraft usw. Berlin: Julius Springer 1913.
3. Ludin: Betriebsplan und Ausbauentwurf für Wasserkraftwerke mit Tagesspeichern. Z. Bauwesen 1917, Sp. 367 bis 407 u. 506 bis 555.
4. Ludin: Durchlaufspeicherung an Kraftstaffelflächen. Schweiz. Wasserwirtschaft 25. 5. 1924.
5. Ludin: Die Nordischen Wasserkraft. Berlin: Julius Springer 1930.
6. Ludin: Wasserkraftausbau. Handbibliothek für Bauingenieure, herausgegeben von Otzen 6, Teil III. Berlin 1932.
7. Ludin: Systematische Auswertung von Belastungsgebirgen. ETZ 1931, H. 28.
8. Krauß: Arbeitsspeicher in den Alpen. ETZ 1930 (51. Jg.), Nr 15, 16, S. 525, 573.
9. Geschäftsberichte des Städt. E. W. Zürich 1909 ff.

Additional material from Bedarf und Dargebot,
ISBN 978-3-662-39241-6, is available at <http://extras.springer.com>



Energiewirtschaft. Eine Studie über kalorische und hydraulische Energieerzeugung. Von Privatdozent Dr.-Ing. Michael Seidner, Budapest. Mit 55 Textabbildungen. VI, 133 Seiten. 1930. RM 9.—

Österreichs Energiewirtschaft. Auf Veranlassung des Wasserwirtschaftsverbandes der österreichischen Industrie in Verbindung mit Ingenieur P. Dittes, Ingenieur H. Grengg, Ingenieur L. Kallir, Ingenieur Dr. O. v. Keil-Eichenthurn, Dr. G. Pokorny, Dr. E. Wiglitzky herausgegeben von Ingenieur Dr. J. Ornig. Mit 21 Abbildungen im Text sowie 2 farbigen Karten, 32 Tabellen und 3 Tafeln. IX, 285 Seiten. 1927. Gebunden RM 36.—

Grundlagen und Entwicklung der Energiewirtschaft Österreichs. Offizieller Bericht des Österreichischen Nationalkomitees der Weltkraftkonferenz. Verfaßt von Ing. Dr. Oskar Vas, Wien. Mit 94 Abbildungen und einer mehrfarbigen Karte. VIII, 189 Seiten. 1930. RM 20.—

Österreichs zukünftige Energiewirtschaft. Von Generaldirektor a. D. Zivil-Ingenieur Richard Hofbauer. („ÖKW-Veröffentlichung“, Band 2.) Mit 3 Tafeln. 87 Seiten. 1930. RM 2.80

Die Wasserkraft. Von Studienrat Dr. Theodor Meyer. („Technische Fachbücher“, Band 1.) Mit 35 Abbildungen im Text und 132 Aufgaben nebst Lösungen. IV, 126 Seiten. 1926. RM 2.25

Die Wasserkraftnutzung in Österreich und deren geographische Grundlagen. Von Bartel Granigg, Leoben. Mit 17 Abbildungen im Text, 4 zum Teil farbigen Tafeln und einer geographischen Übersichtskarte. IV, 123 Seiten. 1925. RM 13.30; gebunden RM 15.—

Das Bayernwerk und seine Kraftquellen. Von Dipl.-Ing. A. Menge, München. Mit 118 Abbildungen im Text und 3 Tafeln. VIII, 104 Seiten. 1925. RM 6.—

Deutschlands Großkraftversorgung. Von Dr. Gerhard Dehne, Berlin. Zweite, neu bearbeitete und erweiterte Auflage. Mit 70 Textabbildungen. VI, 142 Seiten. 1928. RM 11.50; gebunden RM 12.50

Die Elektrizitätsversorgung Sowjetrußlands. Von Professor Dr.-Ing. e. h. G. Dettmar, Hannover. (Erweiterter Sonderabdruck aus der „Elektrotechnischen Zeitschrift“, 50. Jahrgang.) Mit 31 Textabbildungen. II, 19 Seiten. 1929. RM 2.40

Die Grundlagen der elektrischen Energieversorgung. Von Dipl.-Ing. Conrad Aron, Berlin. („Technische Fachbücher“, Band 4.) Mit 36 Abbildungen im Text und 119 Aufgaben nebst Lösungen. IV, 126 Seiten. 1926. RM 2.25

Die Wirtschaftlichkeit der Energiespeicherung für Elektrizitätswerke. Eine energiewirtschaftliche Studie. Von Dr.-Ing. Ludwig Musil. Mit 89 Textabbildungen. X, 143 Seiten. 1930. RM 18.—

Die wirtschaftliche Erzeugung der elektrischen Spitzenkraft in Großstädten unter besonderer Berücksichtigung der Fortleitungskosten. Von Dr.-Ing. E. Krohne. Mit 27 Textabbildungen. IX, 66 Seiten. 1929. RM 6.—

Englische Elektrizitätswirtschaft. Von Dr. rer. pol. Günther Brandt. V, 112 Seiten. 1928. RM 6.—

Gestehungskosten und Verkaufspreise elektrischer Arbeit. Von Ing. Fr. Brock, Wien. Mit 20 Textabbildungen. V, 48 Seiten. 1930. RM 4.80

Bau großer Elektrizitätswerke. Von Professor Dr.-Ing. h. c., Dr. phil. G. Klingenberg, Geh. Baurat. Zweite, vermehrte und verbesserte Auflage. Mit 770 Textabbildungen und 13 Tafeln. VIII, 608 Seiten. 1924. Berichtigter Neudruck 1926. Gebunden RM 45.—

In diesem Werk hat der Verfasser, unbestritten die erste Autorität auf dem behandelten Gebiet, seine überaus reichen konstruktiven, betriebstechnischen und wirtschaftlichen Erfahrungen dargestellt, und entwickelt an Hand von ihm gebauter Kraftanlagen die Richtlinien, die für Planung und Ausführung von Großkraftwerken maßgebend sind.

Wahl, Projektierung und Betrieb von Kraftanlagen. Ein Hilfsbuch für Ingenieure, Betriebsleiter, Fabrikbesitzer. Von Dipl.-Ing. Friedrich Barth. Vierte, umgearbeitete und erweiterte Auflage. Mit 161 Figuren im Text und auf 3 Tafeln. XII, 525 Seiten. 1925. Gebunden RM 18.—

Die elektrischen Einrichtungen für den Eigenbedarf großer Kraftwerke. Von Oberingenieur Friedrich Titze. Mit 89 Textabbildungen. VI, 160 Seiten. 1927. Gebunden RM 12.—