Zur Frage des Kriteriums für die Bauwürdigkeit von Wasserkraftwerken

Autor(en): **Bauer, Bruno / Oehler, R.J.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **66 (1948)**

Heft 38

PDF erstellt am: **28.04.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-56799

Nutzungsbedingungen

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

Haftungsausschluss

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

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

http://www.e-periodica.ch

gebiete durch Rücksichtnahme auf die erhalten gebliebenen Verkehrs- und Werkanlagen von selbst eingeengt. Aber dennoch entstehen Entwürfe, die über die wirtschaftlichen Grenzen des Realisierbaren hinausgehen. Dadurch werden Widerstände ausgelöst, die dem gewiss berechtigten Planungsgedanken nicht förderlich sind.

Welche Gründe sprechen dafür, dass die analytischen und technischen Grundlagen von verschiedenen Berufsgattungen «geliefert» und vom Architekten ausgewertet werden sollen? Wie ist eine Differenzierung im Einsatz einerseits von Technikern und Wissenschaftern für mehr organisatorische Lösungen nationaler und regionaler Probleme und anderseits von Architekten für die Detailbearbeitung mehr lokaler Aufgaben erklärlich? Die Probleme der Bahnhoferweiterung Zürich und der Gestaltung des Leonhardsplatzes daselbst, die Aufgaben regionalen, wie lokalen Charakters darstellen, widerlegen eine solche Formulierung. Verkehrstechniker und Tiefbauer leisten hier grundlegende und massgebende Arbeit und treten nicht als «Lieferant» für den Architekten auf.

Mag die Resolution I der UIA für unser Land vielleicht nur als bedingt geltend betrachtet werden, so zeigt sie doch nicht das, was sie als Erzeugnis der vergangenen Jahre in sich tragen sollte, nämlich: geordnetes Arbeiten, jedoch ohne Schematismus und freies Arbeiten ohne Privileg für eine Berufsgattung. Nicht Subordination von Planungsdisziplinen und Berufsgattungen, sondern freies und gemeinschaftliches Arbeiten im Dienst einer konstruktiven Sache sollte angestrebt werden. Dies umso mehr, als die *praktische* Planung sich noch in ihrem Anfangsstadium befindet und die Erfahrung für die Aufstellung von Regeln im Sinne der Resolution fehlt.

J. Schneider, Dipl. Ing. E. T. H., Luzern

Zur Frage des Kriteriums für die Bauwürdigkeit von Wasserkraftwerken

DK 621.311.21.003

Mitteilung des Lehrstuhls für Energiewirtschaft an der E. T. H. von Prof. Dr. BRUNO BAUER und Dipl. Ing. R. J. OEHLER

In einem früheren Aufsatz[1]) berichteten wir über die Ergebnisse einer am Lehrstuhl für Energiewirtschaft an der E. T. H. durchgeführten Studie zur Frage eines allgemeingültigen Kriteriums für die Bauwürdigkeit von Wasserkraftwerken. Es wurde damals ein weiterer Bericht über unsere Untersuchungen in Aussicht gestellt, in dem erörtert werden sollte, wie sich der Einsatz eines gegebenen neuen Wasserkraftwerks in ein bestehendes Produktionssystem auf dessen Wirtschaftlichkeit auswirkt, den wir nachstehend veröffentlichen.

Wie im erwähnten Aufsatz dargelegt wurde, beruht die bisher gebräuchliche Methode zum Vergleich der Bauwürdigkeit zweier verschiedener Wasserkraftwerkprojekte — insbesondere solcher von Speicherkraftwerken — auf einem Vergleich der Gestehungskosten der Winterenergie. Es wurde gezeigt, dass das Verhältnis dieser Gestehungskosten keine eindeutige Grösse darstellt, sondern bei Aenderungen des Baukosten- und des Energiepreisniveaus Schwankungen unterliegt, ja, dass sich die so aufgestellte Rangordnung der Bauwürdigkeit sogar unter Umständen umkehren kann. Die bisher gebräuchliche Methode stellt also kein standfestes Kriterium für die Aufstellung einer Rangordnung verschiedener Kraftwerkprojekte dar.

Es wurde deshalb anschliessend vorgeschlagen, als neues, besser fundiertes Kriterium die «Wirtschaftlichkeit» f[2]) zu verwenden, definiert als das Verhältnis:

$$(1) \qquad f = \frac{m_j}{k_j} = \frac{\text{Marktwert der jährlich erzeugten Energie}}{\text{Jährliche Produktionskosten}}$$

Dieser «Marktwert» wäre dabei in der Weise zu ermitteln, dass die gesamte Jahresarbeit A_j des betrachteten Werks in einzelne, wohldefinierte Qualitätskategorien A_a, A_b, A_c ... aufgeteilt würde, von denen jede für sich einen bestimmten Preis c_a, c_b, c_c ... auf dem Energiemarkt erzielt. Man kann hierbei z. B. so vorgehen, dass man den Wert je kWh der ins Verbrauchsnetz gelieferten Tagesenergie an Winterwerktagen als Basispreis c_a festlegt und die Einheitswerte der übrigen Kategorien (Winter-Nachtenergie, Sommer-Tages- bzw. Sommer-Nachtenergie, Wochenendenergie im Winter und im Sommer) zu diesem in ein bestimmtes Verhältnis bringt (z. B. $c_a = 4$ Rp./kWh, $c_b = 0{,}7\ c_a$, $c_c = 0{,}6\ c_a$ usw.). Der Basispreis und die Verhältniszahlen sind abhängig vom Preis der Substitutionsgüter auf dem Energiemarkt und von seiner Struktur, wobei der Grad der Elektrifizierung offenbar eine wichtige Rolle spielt. Man wird die Wertigkeit der einzelnen Energiekategorien auch nach Massgabe der Häufigkeit ihrer Verfügbarkeit unterteilen, derart, dass in einer bestimmten Kategorie diejenigen Produktionsanteile eines hydraulischen Kraftwerks, auf deren Vorhandensein in allen Jahren gerechnet werden kann, höher zu bewerten sind, als jene zusätzlichen, die mit geringerer Wahrscheinlichkeit greifbar sind. Es lässt sich auch die jeweils sicher verfügbare Leistung als eine selbständige Marktwertkomponente des Werks besonders bewerten. Der totale Marktwert der Jahresproduktion eines Kraftwerks ist demnach einerseits durch die wasserwirtschaftlichen Verhältnisse seines Einzugsgebietes und anderseits durch die marktwirtschaftlichen Verhältnisse seines Absatzgebietes bedingt. Da diese letztgenannten nur in verhältnismässig beschränktem Umfang gleichartig sind, dürfen die zahlenmässigen Grundlagen der Marktwertermittlung nicht unbeschränkt verallgemeinert werden.

Die Zusammensetzung des Marktwertes m_j aus seinen einzelnen Komponenten lässt sich leicht durch eine graphische Darstellung veranschaulichen. In Bild 1 sind in der Abszisse die Arbeitsbeträge der einzelnen Qualitätskategorien, in der Ordinate deren zugehörige Marktwerte $m = c\,A$ aufgetragen. Der Tangens des Neigungswinkels γ ist gleichzeitig ein Mass für den Einheitspreis der betreffenden Qualitätskategorie. Der Durchschnittspreis der gesamten Jahresproduktion

$$(2) \qquad c_m = \frac{m_j}{A_j} = \frac{c_a A_a + c_b A_b + c_c A_c + \dots}{A_a + A_b + A_c + \dots}$$

ergibt sich dann aus der Neigung der Resultierenden unseres ganzen Vektorzuges. Berechnet man nun mit dem so erhaltenen Marktwert der gesamten Energieproduktion $m_j = c_m A_j$ und den als bekannt vorausgesetzten jährlichen Produktionskosten die Wirtschaftlichkeit f_1, f_2 ... verschiedener Kraftwerkprojekte, so bleibt das Verhältnis $\varphi = f_1/f_2$ auch bei wechselnder Konjunkturlage, d. h. veränderlichen Baukosten und Energiepreisen weitgehend konstant.

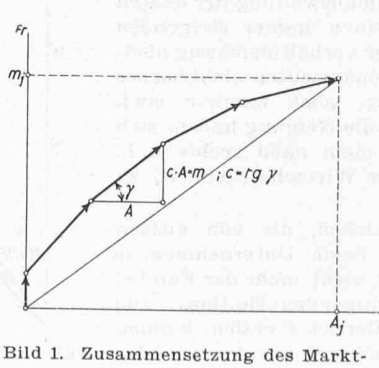

Bild 1. Zusammensetzung des Marktwertes m_j der Jahresproduktion A_j eines Kraftwerkes aus einzelnen Komponenten

[1]) SBZ 1947, Nr. 30, S. 408*.

[2]) Es sei hier ergänzend festgestellt, dass wir das Kriterium der Wirtschaftlichkeit als Auswahlprinzip in *gesamtwirtschaftlicher Betrachtung* verstanden wissen möchten. Der privatwirtschaftliche Standpunkt würde dem Kriterium der Rentabilität, definiert als das Verhältnis des Kapitalertrags zum investierten Kapital, den Vorzug geben. Natürlich hat dieses Prinzip auch in gesamtwirtschaftlicher Beleuchtung seine Bedeutung, denn Kapital ist nicht in unbeschränktem Masse vorhanden und der Volkswirtschafter ist versucht, die beschränkt verfügbare Menge dort einzusetzen, wo sie den grössten Nutzen bringt. Das gleiche gilt aber auch für andere Gütermengen, z. B. für den Brennstoff. So könnte man für die Erstellung von thermischen Kraftwerken mit gleichem Recht als Auswahlprinzip das Kriterium des geringsten spezifischen Brennstoffverbrauchs fordern. Beide, das letztgenannte und die Rentabilität sind in ihrer Wirkung exklusiv. In der Auswahl zwischen verschiedenen Lösungen für ein Brennstoffkraftwerk kann sich z. B. das Rentabilitätsprinzip für jene mit dem grössten Brennstoffaufwand entscheiden, und umgekehrt kann das Kriterium des geringsten spezifischen Brennstoffverbrauches zu einer Lösung führen, welche die bescheidenste Rentabilitätsziffer aufweist. Es vermag also weder die eine noch die andere Anschauung gesamtwirtschaftlich zu befriedigen. Aus diesem Grunde haben wir als Kompromisslösung das Kriterium der Wirtschaftlichkeit vorgeschlagen, das bei gleichem Marktwert der Produktion je auf die geringsten Produktionskosten abstellt. In diesen Kosten ist ein minimaler Kapitalertrag, zum landesüblichen Zins ermittelt, definitionsgemäss eingeschlossen. Die Auswahl nach der Wirtschaftlichkeit gibt von zwei Lösungen mit gleichem Kapitalaufwand jener den Vorzug, die den geringsten Brennstoffbedarf aufweist, und umgekehrt bezeichnet sie von zwei Lösungen gleichen Brennstoffverbrauchs jene als besser, die den geringeren Kapitalaufwand bedingt. Leider muss im knappen Rahmen dieses Aufsatzes auf eine weitere Behandlung dieser Erwägungen verzichtet werden.

Diese Methode setzt allerdings eines voraus, nämlich das Vorliegen einer detaillierten und allgemein anerkannten Bewertungstabelle für die verschiedenen anfallenden Energiequalitäten. Wie schon in unserem ersten Aufsatz erwähnt wurde, ist eine aus dem Schweizerischen Wasserwirtschaftsverband hervorgegangene Kommission mit der Aufstellung einer solchen Tabelle beschäftigt, ohne dass bisher die Ergebnisse dieser Beratungen der Oeffentlichkeit bekanntgegeben wurden. Es darf hier der Wunsch ausgesprochen werden, dass dies möglichst bald geschehen möge. Nachdem bereits 1946 durch die Eidg. Expertenkommission einheitliche Grundlagen für die Projektierung und die Berechnung der Betriebskosten von Speicherwerken aufgestellt wurden, würde dadurch endlich die ganze Diskussion um den Bau neuer Wasserkraftwerke auf eine standfeste Grundlage gestellt. — Wir machen in der Folge die stillschweigende Voraussetzung, dass eine solche Bewertungstabelle bereits vorliege, und wir wollen zeigen, wie der Begriff der damit berechneten Wirtschaftlichkeitsziffern auch noch zur Lösung verschiedener anderer Probleme herangezogen werden kann; insbesondere soll untersucht werden, wie sich der Einsatz eines neuen Kraftwerks mit gegebenem f in ein bestehendes Produktionssystem auf dessen Gesamtwirtschaftlichkeit auswirkt.

Die Wirtschaftlichkeit eines solchen Produktionssystems lässt sich darstellen durch die Lage eines Punktes P in einem Koordinatensystem, dessen Abszisse den Produktionskosten und dessen Ordinate dem Marktwert der erzeugten Energie entspricht, beides auf einen bestimmten Zeitabschnitt, beispielsweise ein Jahr, bezogen. Verbindet man den Punkt P mit dem Koordinatenursprung, so ist der Tangens des Winkels, den der Strahl OP mit der Abszissenaxe einschliesst, gleich dem Wirtschaftlichkeitskoeffizienten f des Betriebes

Bild 2 zeigt dieses Wirtschaftlichkeitsdiagramm für zwei Betriebe P und P', die bei gleichem Marktwert der erzeugten Energie verschieden hohe Produktionskosten aufweisen. Es ist

$$\operatorname{tg}\alpha = f > 1 \text{ und } \operatorname{tg}\alpha' = f' < 1$$

Das Strahlenbündel für verschiedene Werte von f = konst., das in die Figur eingelegt ist, lässt die betreffenden f-Werte leicht ablesen. Der Gewinn, den der Betrieb P in der betrachteten Produktionsperiode macht, bzw. der Verlust, den der Betrieb P' erleidet, wird durch die Ordinatendifferenzen PQ bzw. $P'Q'$ dargestellt.

Die Lage der Punkte P und P' ist nun nicht ein für allemal gegeben, sie ist vielmehr unter der Wirkung verschiedener Einflüsse im Verlauf der einzelnen Produktionsperioden Aenderungen unterworfen. Die «Kräfte», die eine Verschiebung von P und P' in der m_j-k_j-Ebene bewirken können, sind in unserer Darstellung durch gestrichelte Pfeile symbolisiert. Eine Erhöhung oder Verminderung des Marktwertes der erzeugten Energie oder eine Vergrösserung oder Verkleinerung der abgegebenen Energiemenge selber, etwa infolge der schwankenden Wasserführung der Flüsse, wird eine Verschiebung der Punkte nach oben oder unten zur Folge haben, wie dies durch die Pfeile 1 und 2 bzw. 1′ und 2′ angedeutet ist.

Der Konsum hat in seiner Gesamtheit die Tendenz zuzunehmen und dabei den Unternehmungen vermehrte Einnahmen, aber auch — infolge der zu seiner Deckung notwendigen Erweiterung der Anlagen — vermehrte Ausgaben zu bringen. Pfeil 3 bzw. 3′ symbolisiert diese Tendenz. Dabei ist zu beachten, dass an der Konsumausweitung der letzten Jahre die Elektrowärme einen immer steigenden Anteil einnimmt. Infolge der verhältnismässig niedrigen Preise, die für den Konsumenten elektrischer Energie zu Wärmezwecken noch tragbar sind, werden diese beiden Pfeile die Neigung haben, sich im Laufe der Zeit immer mehr nach rechts, d. h. in eine Richtung kleinerer Wirtschaftlichkeit, zu drehen.

Alle diese «Kräfte» wirken, als von aussen kommende Einflüsse, auf beide Unternehmen in gleicher Weise ein. Dies ist nicht mehr der Fall bei dem vierten zu berücksichtigenden Einfluss. Die Ueberschüsse PQ, die der Betrieb P erzielt, können einerseits etwa in Form höherer Dividenden oder grösserer Ablieferungen an öffentliche Kassen, dem Betrieb entzogen werden. Sie können anderseits

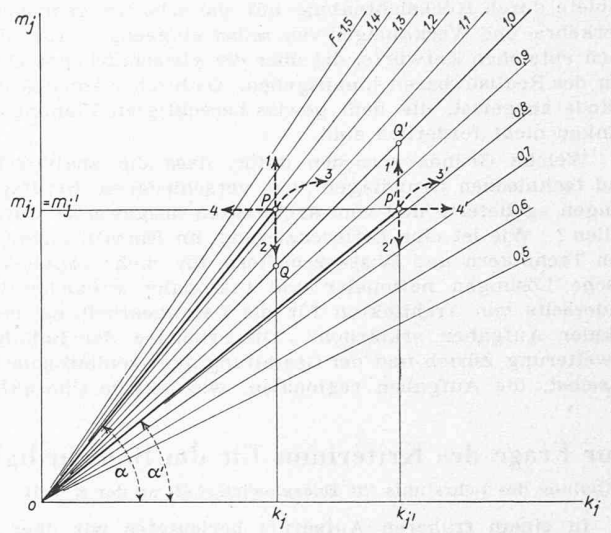

Bild 2. Wirkung verschiedenartiger Einflüsse auf die Wirtschaftlichkeit f

aber auch im Betrieb verbleiben und, z. B. in Form ausserordentlicher Abschreibungen oder erhöhter Schuldentilgung, letzten Endes zu einer Verkleinerung von k_j und damit zur Verbesserung von f beitragen.

Diese Möglichkeit fehlt dem Betrieb P'. Die Defizite $P'Q'$ werden vielmehr, wenn sie sich während längerer Perioden wiederholen, eine Vergrösserung der Schuldenlast und damit ein Anwachsen von k_j' und eine Verschlechterung des Wirtschaftlichkeitskoeffizienten f' zur Folge haben. Die beiden Pfeile 4 und 4′ haben dementsprechend entgegengesetzte Richtung. Mit andern Worten: Unter gleichen äussern Bedingungen wird der Punkt P die Tendenz haben, immer weiter nach links in das Gebiet grösserer Wirtschaftlichkeit aufzusteigen, während der Punkt P' Gefahr läuft, immer tiefer nach rechts in das Gebiet grösserer Unwirtschaftlichkeit abzugleiten.

Unter dem Einfluss der verschiedenen geschilderten «Kräfte» wird sich der Punkt P eines bestimmten Unternehmens also im Laufe der Zeit in der k_j-m_j-Ebene verschieben. Bild 3 zeigt die Bahn, die der Punkt P im Falle der Nordostschweizerischen Kraftwerke A.-G. (NOK) in der Zeit von 1945 bis 1946 beschrieben hat, wobei nur das eigentliche Elektri-

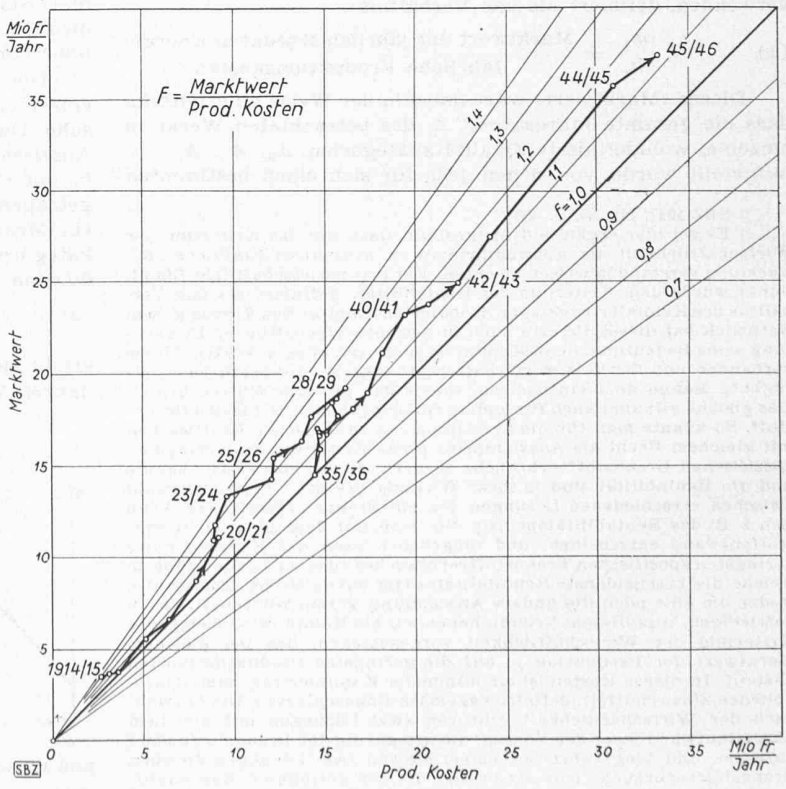

Bild 3. Entwicklung der Wirtschaftlichkeit eines Produktionssystems, gezeigt am Beispiel der NOK für die Zeit von 1914/15 bis 1945/46

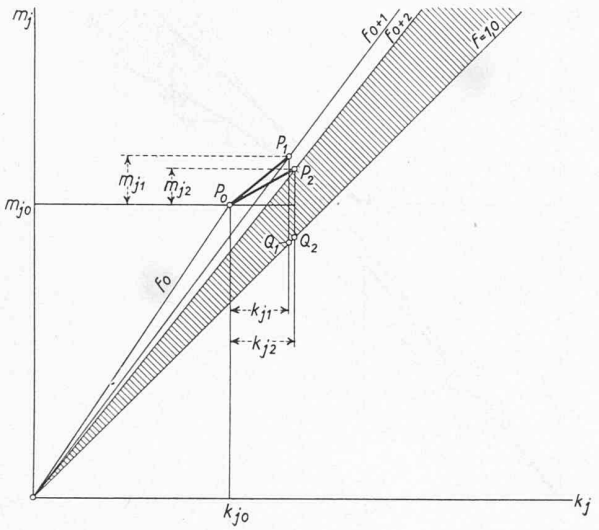

Bild 4. Auswirkung der Eingliederung von zwei neuen Kraftwerken verschiedener Wirtschaftlichkeit f in ein bestehendes Produktionssystem

zitätsgeschäft betrachtet wird. Es fällt zunächst auf, dass die verschiedenen Höchstwerte der Wirtschaftlichkeit, die im Verlaufe dieser Zickzackkurve erreicht werden, fallende Tendenz aufweisen. f sinkt von 1,4 im Jahre 1923/24 auf 1,2 im Jahre 1940/41 und bis auf 1,17 im Jahre 1944/45, eine Folge des bereits oben erwähnten steigenden Elektrowärmeverbrauchs. Die Krisenjahre 1930 bis 1935 zeichnen sich deutlich in einem sprunghaften Absinken von m_j bei nahezu konstanten Produktionskosten k_j ab, so dass der Punkt P fast senkrecht nach unten fällt, bis f im Jahre 1935/36 seinen Minimalwert $f \backsim 1$ erreicht.

Diese annähernd senkrechte Bewegung von P im Falle konjunktureller Rückschläge ist kennzeichnend für die Kostenstruktur der hydraulischen Energieproduktion. Die Betriebskosten eines Wasserkraftwerkes samt den davon gespeisten Uebertragungs- und Verteilanlagen sind eben, sobald diese Anlagen einmal erstellt sind, weitgehend konstant, d. h. von der wirklich erzeugten Energiemenge abhängig. Sie lassen sich bei einem Rückgang der Produktion oder bei einem Sinken des Marktwerts der erzeugten Energie nur in sehr engen Grenzen reduzieren.

Es erhebt sich die Frage, wie unsere Elektrizitätswerke, deren wirtschaftliche Entwicklung in den letzten Jahrzehnten in den meisten Fällen ähnlich verlief, wie vorstehend am Beispiel der NOK gezeigt, auf einen ähnlichen krisenhaften Rückgang der Einnahmen wie den der Dreissigerjahre heute reagieren würden. Wir haben weiter oben darauf hingewiesen, dass ein Unternehmen, dessen Wirtschaftlichkeit einmal auf einen Wert $f < 1$ gesunken ist, Gefahr läuft, immer tiefer in das Gebiet der Unwirtschaftlichkeit hineinzugeraten, bis es sich nicht mehr aus eigener Kraft aus ihm herausarbeiten kann. Eine solche Entwicklung, die entweder zu höheren Strompreisen oder zu Zuschüssen der öffentlichen Hand an die notleidend gewordenen Elektrizitätswerke führen müsste, kann weder im Interesse der Energiekonsumenten noch in dem des Steuerzahlers liegen. Es gilt also, ihr rechtzeitig vorzubeugen. Es ist einleuchtend, dass ein wirtschaftlicher Rückschlag umso leichter abgefangen werden kann, je höher der Punkt P im Moment seines Eintretens über der Geraden $f = 1$ liegt. Mit andern Worten: Ein Unternehmen wird umso krisenempfindlicher sein, je mehr sich seine Wirtschaftlichkeit schon vor dem Einsetzen der Krise dem Wert 1 genähert hat.

In welchem Sinne wird sich hier die Eingliederung eines neuen Kraftwerkbetriebes in ein gegebenes Produktionssystem auswirken? Die Berechnungen der Gestehungskosten der Winterenergie nach der bisher üblichen Methode vermag hierauf keine Antwort zu geben, ganz abgesehen davon, dass diese Gestehungskosten an sich schon keine eindeutige Grösse darstellen, wie dies in dem erwähnten früheren Aufsatz gezeigt wurde. Dagegen wird die Auswirkung sofort klar, wenn man sich der vorstehend beschriebenen Darstellung bedient. Bild 4 zeigt ein Beispiel hierfür. Es sei angenommen, dass ein Unternehmen, dessen schon bestehende Kraftwerke bei den Jahreskosten k_{j_0} Energie im Wert m_{j_0} erzeugen, und dessen Wirtschaftlichkeit deshalb durch die Lage des Punktes P_0 gekennzeichnet ist, genötigt sei, seine Produktion durch den Bau eines neuen Kraftwerks zu erhöhen. Es mögen zwei Varianten 1 und 2 zur Diskussion stehen, die bei verschiedenem Marktwert der erzeugten Energie $m_{j_1} \neq m_{j_2}$ verschiedene Produktionskosten $k_{j_1} \neq k_{j_2}$ aufweisen. Die Auswirkung auf die Wirtschaftlichkeit des Gesamtunternehmens wird sofort klar ersichtlich, wenn man die Werte von k_j und m_j, von P_0 ausgehend, in das Diagramm einträgt. In unserem Beispiel sind diese Werte so gewählt, dass

$$(3) \qquad f_1 = \frac{m_{j_1}}{k_{j_1}} > f_2 = \frac{m_{j_2}}{k_{j_2}}$$

ist. Durch die Angliederung des neuen Werks wandert P von P_0 nach P_1 bzw. P_2.

Es ist zunächst leicht einzusehen, dass die Wirtschaftlichkeit des Gesamtbetriebs durch den Bau z. B. von Werk 1 verbessert wird, wenn $f_1 > f_0$, und verschlechtert wird, wenn $f_1 < f_0$ ist, wobei f_0 die Wirtschaftlichkeit des Unternehmens vor dem Bau des neuen Werks bezeichnet. Allerdings wurde schon früher darauf hingewiesen, dass bei dem heutigen Baukostenniveau kaum mehr damit gerechnet werden kann, selbst bei den günstigsten neu erstellten Wasserkraftwerken eine Wirtschaftlichkeit $f > 1$ zu erreichen. Man wird nur noch zu verhüten trachten, dass der f-Wert des Gesamtunternehmens durch den Bau des neuen Werks allzusehr verschlechtert wird. Man wird also dann Werk 1 bauen, wenn

$$(4) \qquad f_{0+1} = \frac{m_{j_0} + m_{j_1}}{k_{j_0} + k_{j_1}} > f_{0+2} = \frac{m_{j_0} + m_{j_2}}{k_{j_0} + k_{j_2}}$$

wird, und umgekehrt. Im allgemeinen ist diese Bedingung erfüllt, wenn $f_1 > f_2$ ist. Bild 4 lässt jedoch erkennen, dass unter gewissen Umständen $f_{0+1} < f_{0+2}$ sein kann, obwohl $f_1 > f_2$ ist, nämlich dann, wenn der Punkt P_1 in dem schraffierten Gebiet liegt. Auf diesen besondern Fall wird später noch zurückzukommen sein.

Man wird also zur Beurteilung der Ausbauwürdigkeit nicht nur f_1 und f_2, sondern auch f_{0+1} und f_{0+2} miteinander vergleichen und dabei auch eventuelle Veränderungen des Baukosten- und des Strompreisniveau in Betracht ziehen. Eine Erhöhung der Baukosten — die sich in erster Annäherung auf beide Projekte gleich stark auswirken wird — kann dadurch berücksichtigt werden, dass die z. B. für die Preisbasis 1939 berechneten Werte von k_j mit einem Teuerungsfaktor τ multipliziert werden, der für heutige Verhältnisse etwa 1,8 betragen dürfte. Bei einer Aenderung von τ werden sich die Punkte P_1 und P_2 proportional zu τ nach rechts oder links verschieben. Ebenso kann man zur Berücksichtigung eventueller zukünftiger Aenderungen des Marktwertes der elektrischen Energie einen Preisfaktor σ einführen, mit dem m_j multipliziert wird. σ ist allerdings vorläufig infolge der Wirksamkeit der Preiskontrolle $= 1$, wenn man wieder von der Preisbasis 1939 ausgeht; die Einführung dieses Faktors — der wieder in erster Annäherung für zwei verschiedene Projekte als gleich gross angenommen werden kann — berücksichtigt also bereits eventuelle zukünftige Aenderungen. Sollten solche eintreten, so verschieben sich die Punkte P_1 bzw. P_2 proportional σ nach oben oder unten.

Bei der Einführung von τ und σ ist zu beachten, dass sich eine Aenderung der Baukosten nur auf die neu erstellten Werke bzw. deren k_j, eine Aenderung des Energiepreisniveaus aber auf die gesamte Energieproduktion auswirkt. Gl. (4) geht also über in

$$(5) \qquad \frac{\sigma\,(m_{j_0} + m_{j_1})}{k_{j_0} + \tau\, k_{j_1}} > \frac{\sigma\,(m_{j_0} + m_{j_2})}{k_{j_0} + \tau\, k_{j_2}}$$

was sich umformen lässt in

$$(6) \qquad \frac{m_{j_0} + m_{j_1}}{m_{j_0} + m_{j_2}} > \frac{k_{j_0} + \tau\, k_{j_1}}{k_{j_0} + \tau\, k_{j_2}}$$

Die rechte Seite dieser Ungleichung ist nur von τ abhängig. Es lässt sich leicht zeigen, dass unter gewissen Bedingungen, nämlich wenn $m_{j_1} > m_{j_2}$ und $k_{j_1} > k_{j_2}$, bei einem bestimmten Grenzwert von τ $f_{0+1} < f_{0+2}$ werden kann. Mit andern Worten, der Punkt P_1 kann mit wachsendem τ in das schraffierte Gebiet in Bild 4 hineinwandern. Der im Zeitpunkt des Baues massgebende Wert von τ kann jedoch als bekannt vorausgesetzt werden, so dass mit ihm ermittelt werden kann, welches der beiden Projekte beim augenblicklichen Baukostenniveau die grössere Gesamtwirtschaftlichkeit verspricht.

Es ist nun interessant, dass in der Ungleichung (6) σ nicht mehr auftritt. Ist also die wirtschaftliche Ueberlegenheit eines der beiden Projekte bei einem beliebigen, z. B. dem heutigen Energiepreisniveau, festgestellt, so bleibt diese Ueberlegenheit auch bei jeder möglichen Aenderung dieses Preisniveau erhalten.

Wir haben weiter oben gezeigt, wie sich im Falle eines konjunkturbedingten Absatzschwundes der Punkt P annähernd senkrecht nach unten bewegt. Bild 4 lässt die möglichen Folgen einer solchen Entwicklung für die beiden Projektvarianten 1 und 2 gleichfalls erkennen. Im Fall 1 können die Gesamteinnahmen um den Betrag P_1Q_1 sinken, bevor die Wirtschaftlichkeit des Gesamtbetriebs < 1 wird, im Fall 2 um den Betrag P_2Q_2. Es ist nun eine plausible Annahme, dass der wirkliche Rückgang der Einnahmen etwa proportional dem ursprünglichen Wert von m_j sein wird. Eine solche proportionale Verkleinerung von m_j hat aber keine Aenderung des Verhältnisses $\varphi = f_{0+1}/f_{0+2}$ zur Folge. Ist $\varphi > 1$, so wird also f_{0+2} schon früher den kritischen Wert 1 erreichen, als f_{0+1}. Das Gesamtunternehmen ist also tatsächlich beim Bau von Werk 1 krisenfester geblieben als beim Bau von Werk 2.

Bisher wurden die Verhältnisse betrachtet, wie sie sich bei einer Entscheidung zwischen zwei Projekten gleicher Grössenordnung gestalten können. Bild 5 vergleicht den Einfluss, den die Erstellung eines grossen Werkes von besserem f-Wert und eines kleinen Werkes von schlechterem f-Wert haben können. Der Punkt P_1 des grossen Werkes kann dann unter Umständen in das schraffierte Gebiet fallen, in dem trotz $f_1 > f_2$, $f_{0+1} < f_{0+2}$ werden kann. Dieser Umstand ist von einem gewissen praktischen Interesse. Es ist, vor allem in der Tagespresse, wiederholt die Forderung erhoben worden, anstelle von Grosspeicherwerken, deren Erstellung sich aus verschiedenen Gründen verzögert, eine grössere Anzahl von mittleren oder kleineren Werken zu bauen. Eine Reihe solcher kleinerer Projekte befindet sich tatsächlich zur Zeit in Ausführung. Von fachmännischer Seite wurde solchen Vorschlägen mit Recht entgegengehalten, dass kleine Werke im allgemeinen höhere Gestehungskosten je erzeugte kWh ergeben als Grossanlagen (vgl. z. B. Strickler, «Bulletin SEV» 1945, Nr. 17a, S. 570 ff.). In unsere Ausdrucksweise übersetzt heisst dies, dass kleine Werke im allgemeinen schlechtere f-Werte aufweisen werden als grosse. Es ergeben sich also gerade die Verhältnisse, die in Bild 5 dargestellt sind.

Aus unseren Ausführungen geht hervor, dass ein einzelnes kleines Werk trotz seines schlechten f-Wertes tragbar sein kann, solange der Punkt P_1 des grösseren Vergleichsprojekts im schraffierten Gebiet liegt und somit $f_{0+2} > f_{0+1}$ würde. Dagegen vermag ein solches Werk natürlich nicht der nachgerade dringenden Forderungen nach einer wirksamen Erhöhung der Energieproduktion zu genügen. Wollte man nun dieser Forderung durch den Bau mehrerer kleiner Werke nachkommen, so hiesse dies, wie in Bild 5 angedeutet, ein kleines Dreieck mit kleinem Winkel α an das andere reihen, und man geriete auf diese Weise rasch in ein Gebiet schlechter Wirtschaftlichkeit des Gesamtunternehmens. Der Bau kleiner, verhältnismässig unwirtschaftlicher Werke, der nur unbedenklich bleibt, so lange er sich auf wenige Fälle beschränkt, ist also kein gangbarer Ausweg aus der herrschenden Energiekrise; hierzu ist vielmehr nur der Bau grosser Anlagen tauglich, an die jedoch strengere Anforderungen hinsichtlich ihrer Wirtschaftlichkeit gestellt werden müssen als an ein einzelnes kleines Werk.

Besonders interessant stellt sich die Auswirkung des Baues thermischer Kraftwerke in unserem Diagramm dar. In Bild 6 ist ein solches Werk mit einem hydraulischen Speicherwerk verglichen. Es wurde dabei angenommen, dass das thermische Kraftwerk nur im Winter arbeitet; der Marktwert der thermisch erzeugten Energie $m_{jt} = R_tP_t$ ist also kleiner als der Marktwert $m_h = R_hP_h$ der Jahresproduktion des hydraulischen Speicherwerks. Wegen des geringeren kommerziellen Wertes der Sommerenergie ist das Verhältnis $m_t : m_h$ allerdings grösser als das Verhältnis der beidseitigen Jahresproduktion.

Die Betriebskosten $P_0R_t = k_{jt}$ setzen sich zusammen aus einem festen Anteil $k_{ft} = P_0R_t'$, der im wesentlichen den Erstellungskosten proportional ist, und einem variablen Anteil $k_{vt} = R_t'R_t$, der der erzeugten Energiemenge proportional ist, wobei der Proportionalitätsfaktor vom thermischen Wirkungsgrad der Anlage und vom Brennstoffpreis abhängt. Die Erstellungskosten thermischer Kraftwerke pro Leistungseinheit sind bekanntlich beträchtlich kleiner als die hydraulischer Speicherwerke. Auch wenn der Proportionalitätsfaktor der festen Kosten, der die jährlichen Aufwendungen für Verzinsung, Amortisation, Bedienung, Unterhalt usw. berücksichtigt, wegen der kleineren Lebensdauer höher gewählt werden muss als bei einem Wasserkraftwerk, so wird doch $k_{ft} << k_{jh}$ bleiben. Der Wirtschaftlichkeitsfaktor $f_t = m_{jt}/k_{jt}$ wird sich bei den heutigen Baukosten und Brennstoffpreisen und einer Benützungsdauer von etwa 2000 Stunden — entsprechend der Erzeugung von hauptsächlich wertvoller Winter-Tagesenergie — für ein modernes thermisches Kraftwerk in der Grössenordnung von etwa 0,7 bis 0,8 bewegen. Es sind dies Werte, wie sie ähnlich auch von den meisten der zur Diskussion stehenden Grosspeicherwerke erwartet werden müssen. (Lediglich das Dreistufenprojekt Hinterrhein mit Stausee Splügen hätte einen merklich höheren Wirtschaftlichkeitskoeffizienten erreicht.) Solange sie sich auf die Erzeugung der höchstwertigen Energiequalitäten beschränkt, ist also die thermische Energieerzeugung selbst unter schweizerischen Verhältnissen gegenüber der hydraulischen Speicherenergie mehr oder weniger konkurrenzfähig.

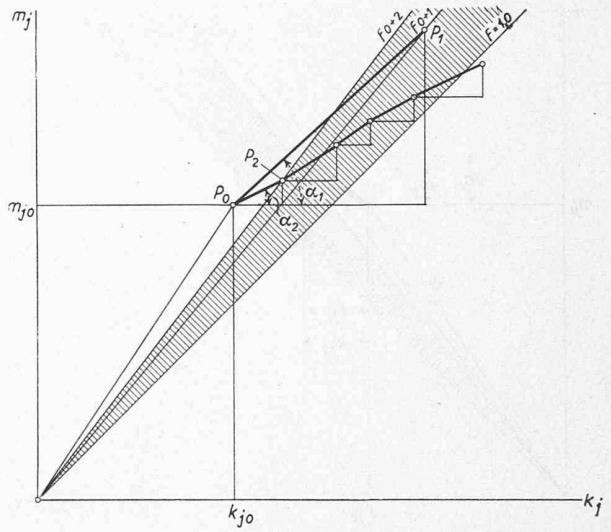

Bild 5. Auswirkung des Baues eines grossen oder mehrerer kleinerer Kraftwerke auf die Wirtschaftlichkeit des gesamten Produktionssystems

Wir wollen trotzdem der besseren Anschaulichkeit zuliebe annehmen, dass unser hydraulisches Vergleichswerk bei gleicher Jahresproduktion einen höheren f-Wert aufweise, als das thermische Kraftwerk. Der Punkt P_h in Bild 6 liegt demgemäss in einem Gebiet grösserer Wirtschaftlichkeit als der Punkt P_t. Der Bau des thermischen Kraftwerks erscheint dann zunächst, wirtschaftlich gesehen, als ein Fehler. Dieses Bild ändert sich jedoch, sobald man einen möglichen krisenbedingten Rückgang des Energieabsatzes in Erwägung zieht. Im Falle des Wasserkraftwerks steht hier der Betrag P_hQ_h zur Verfügung, um den m_j zurückgehen darf, bevor das Gesamtunternehmen defizitär wird. Ein Produktionssystem, das neben Wasserkraftwerken auch über thermische Kraftwerke verfügt, wird jedoch in einem solchen Fall zunächst die Produktion der thermischen Werke und damit deren produktionsabhängigen Kostenanteil k_{vt} reduzieren. Der Punkt P_t gleitet deshalb auf der gestrichelten Geraden P_tR_t' schräg abwärts, und erst von R_t' aus senkrecht nach unten. Der Rückgang der Einnahmen darf hier den wesentlich grösseren Betrag $P_tQ_t' = m_{jt}$ erreichen, bevor die Wirtschaftlichkeit des Gesamtunternehmens unter 1 sinkt. Obwohl diese also bei Vollproduktion beim Bau eines thermischen Kraftwerks kleiner war als beim Bau eines hydraulischen Speicherwerks, ist das Unternehmen im ersten Falle krisenfester.

Zusammenfassung

Es wurde gezeigt, wie der «Wirtschaftlichkeitskoeffizient» eines Kraftwerks, d. h. das Verhältnis des Marktwerts der erzeugten Energie zu den Produktionskosten, mit Hilfe eines einfachen Diagramms übersichtlich dargestellt werden kann. Die Wirtschaftlichkeit eines Unternehmens unterliegt im

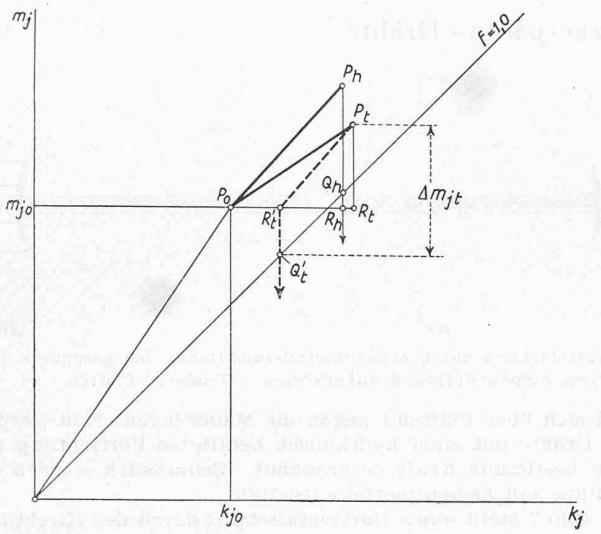

Bild 6. Vergleich zwischen hydraulischem und thermischem Kraftwerk

Laufe der Zeit verschiedenartigen Einflüssen; sie dürfen nicht dazu führen, dass der Wirtschaftlichkeitskoeffizient dauernd unter 1 sinkt. Anhand eines der Praxis entnommenen Beispiels wurde gezeigt, wie sich diese Einflüsse im Falle eines bestimmten Unternehmens in Wirklichkeit auswirken.

Die Eingliederung eines neuen Kraftwerkes von bekannter Eigenwirtschaftlichkeit in ein bestehendes Unternehmen wird besprochen. Es wird die Forderung begründet, nur Werke möglichst hoher Wirtschaftlichkeit zu bauen. Einzelne kleine Werke mit schlechten Wirtschaftlichkeitskoeffizienten können unter Umständen tragbar sein; der Bau *nur* solcher kleiner Werke ist jedoch kein gangbarer Ausweg aus der herrschenden Energieknappheit.

Ein thermisches Kraftwerk wird unter heutigen Preisverhältnissen bei Vollproduktion die Wirtschaftlichkeit eines Produktionssystems voraussichtlich verschlechtern; wegen des Fortfalls des produktionsabhängigen Kostenanteils beim Rückgang des Energieabsatzes wird das Gesamtunternehmen jedoch weniger krisenempfindlich sein als beim Bau neuer hydraulischer Speicherwerke. Ein solches thermisches Kraftwerk stellt also im Rahmen eines vorwiegend hydraulischen Produktionssystems einen wertvollen Puffer zum Auffangen konjunkturbedingter Absatzschwankungen dar.

Ueber den Ausbau des Flughafens Genf-Cointrin

DK 725.39(494.42)

Die Botschaft des Bundesrates an die Bundesversammlung über den Ausbau des Flughafens Genf-Cointrin vom 20. August 1948, durch die der Antrag eines Bundeskredites an den Kanton Genf von 30 Prozent der Baukosten der dritten Bauetappe, maximal 6 109 000 Fr., begründet wird, gibt einen interessanten Ueberblick über die Verkehrsentwicklung, die bisherigen Bauten und ihre Kosten.

Tabelle 1. Entwicklung des regelmässigen Linienverkehrs auf den Flugplätzen von Basel, Genf und Zürich

	1938	1946	1947
Zahl der Flüge	9 006	10 066	17 533
Index	100	112	195
Zahl zahlender Passagiere	43 091	147 159	267 025
Index	100	342	620
Post in t	277,3	596,7	1 354,5
Index	100	216	489
Fracht in t	230,6	948,5	2 617,2
Index	100	411	1137
Einfuhr*) Menge t	76,8	420,8	758,3
Wert Mio Fr.	16,25	23,1	46,7
Ausfuhr*) Menge t	62,3	304,2	416,4
Wert Mio Fr.	101,3	169,9	319,5

*) Aus der Zollstatistik.

Tabelle 1 zeigt die ausserordentliche Steigerung des Luftverkehrs nach dem Krieg und lässt aus der Wertsteigerung zwischen Ein- und Ausfuhr (1947 betrug der mittlere Wert der eingeführten Ware 61,5 Fr./kg, der der ausgeführten 311 Fr./kg) die hohe Bedeutung des Luftverkehrs für jenen beträchtlichen Teil der schweizerischen Industrie erkennen, der arbeitsintensive Edelgüter exportiert. Die Verwendung immer grösserer Flugzeuge, die dank des Flugplatzes Cointrin möglich war, zeigt sich in der sehr viel stärkeren Zunahme der Verkehrsleistungen gegenüber der der Zahl der Flüge.

Am 7. Mai 1941 bewilligte der Grosse Rat des Kantons Genf rd. 5 Mio Fr. für den Ausbau des Flugplatzes Cointrin. Anfangs 1945 hatte Genf hierfür aus eigenen Mitteln bereits 9 Mio Fr. investiert. Diese erste Bauetappe umfasste eine Betonpiste von 1200 m Länge und 50 m Breite, ferner 20 000 m² Vorplätze, zwei Rollwege und eine Pistenbeleuchtung. Die Arbeiten wurden Ende 1944 fertiggestellt und ermöglichten der Schweiz, sich bald nach Kriegsende mit einem vollwertigen Flughafen in den internationalen Flugverkehr einzuschalten.

Am 21. Juni 1945 genehmigten die Eidg. Räte einen Bundesbeschluss für die Subventionierung der zweiten Ausbauetappe mit 30 Prozent. Diese Etappe, deren Kosten mit rd. 8 Mio Fr. veranschlagt worden waren, sah die Verlängerung der Hartpiste auf 2000 m vor, ferner die Erstellung von Rollwegen und Abstellplätzen, den Bau eines Abfertigungsgebäudes, eines neuen Peilgebäudes, die Modernisierung der Flugfunkanlagen und die Ergänzung der Beleuchtungs- und Befeuerungseinrichtung für den Nachtflug.

Die Pistenverlängerung war schon im Sommer 1946 beendet, die übrigen Arbeiten mit Ausnahme des Abfertigungsgebäudes ein Jahr später. Das Verkehrsvolumen wuchs dadurch in Cointrin rasch an und überflügelte im Jahre 1947 das von Dübendorf bei der Luftpost um 115 Prozent, bei den Passagieren um 22 Prozent und bei der Luftfracht um 90 Prozent.

Ueber die bis Herbst 1946 ausgeführten und zum Teil noch im Gang befindlichen Bauten berichtete Ing. A. Bodmer in Bd. 126, S. 237 * (24. Nov. 1945).

Der unerwartete Aufschwung liess bald erkennen, dass der bisherige, auf das Notwendigste beschränkte Ausbau ungenügend war. Der Kanton Genf erkannte, dass nur durch sehr rasches Handeln der Aufschwung seines Flughafens nicht gelähmt wird. Der Bau der Werft, der Flugzeughalle und des Abfertigungsgebäudes, das bei der zweiten Etappe mangels genügenden Erfahrungen aus dem Ausland zurückgestellt wurde, mussten vor dem Ausarbeiten endgültiger Projekte mit Kostenvoranschlägen in Angriff genommen werden. Es ergaben sich folgende Baukosten der dritten Etappe:

Neue Warteplätze	2 890 000 Fr.
Halle	3 240 000 Fr.
Werft	1 725 000 Fr.
Werkstätten und Garagen	2 840 000 Fr.
Halle für Kleinflugzeuge	1 460 000 Fr.
Aufnahmegebäude*)	4 305 000 Fr.
Zufahrtsstrassen und Parkplätze	1 673 000 Fr.
Radioelektrische Einrichtungen	1 465 500 Fr.
Diverses**)	1 067 000 Fr.
Total	20 665 500 Fr.

*) Nach Abzug von 1,3 Mio Fr. aus dem Kredit der 2. Etappe.

**) Feuerlöscheinrichtungen, Entfernen von Flughindernissen, Ausweichplätze, Ergänzen der Nachtbeleuchtungsanlage.

Die Hallen, die auf S. 414 * und 425 * lfd. Jgs. ausführlich beschrieben wurde, sind fertig gestellt; die übrigen Bauten gehen der Vollendung entgegen. Alle Bauten und Einrichtungen stellen das Minium dar, das für einen geregelten Flugbetrieb nötig ist.

Die Behörden des Bundes und des Kantons Genf haben gemeinsam einen Voranschlag für den Betrieb des Flughafens Cointrin für das Jahr 1949 aufgestellt, wobei der selbe Verkehr angenommen wurde, wie er im Jahre 1947 ausgewiesen wurde. Darnach ergeben sich Gesamtausgaben von rd. 2,3 Mio Fr., denen Einnahmen von rd. 1,1 Mio Fr. gegenüberstehen. Das von der Volkswirtschaft des Kantons Genf zu tragende Defizit beträgt somit 1,2 Mio Fr. Obwohl sich unter dem Druck der Verhältnisse ein ungewohntes Vorgehen in der dritten Bauetappe nicht vermeiden liess, so muss doch festgestellt werden, dass die Bereitstellung der nötigen und geeigneten Flugplätze eine Sache von gesamtschweizerischem Interesse ist und die Ausbaukosten nicht allein von den regionalen Interessenten aufgebracht werden können, weshalb die Annahme des vorliegenden Beschlusses unter gewissen in der Botschaft einzeln angeführten Vorbehalten gerechtfertigt erscheint.