

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 111/112 (1938)
Heft: 14: Lehr- und Forschungsinstitute der Eidgenössischen Technischen Hochschule: Sonderheft zum 60. Geburtstag des Schulspräsidenten Arthur Rohn

Artikel: Aus dem Institut für Aerodynamik: neue Untersuchungen über Autorotation von Flugzeug-Leitwerken

Autor: Ackeret, J. / Haller, F. de / Pfenninger, W.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-49812>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 09.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

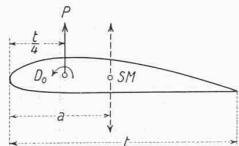


Abb. 2. Reduktion der Luftkraft P und des Luftkraftmomentes D_0 vom aerodynamischen Zentrum ($1/4$ der Flügeltiefe) nach dem Schubmittelpunkt SM . Für die Beanspruchung sind wesentlich die im Schubmittelpunkt angreifende Querkraft $P = nG$ (n = Lastvielfaches, G = Fluggewicht) und das Verdrehmoment $D = D_0(q)$ ($a = t/4$) P (q = Staudruck)

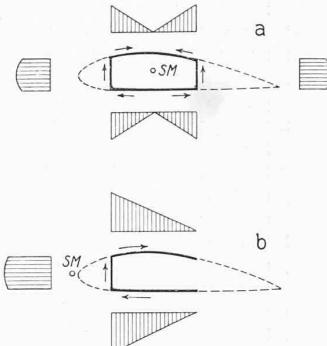


Abb. 3. Schubverteilung bei reiner Querkraftbiegung und Schubmittelpunkt SM für einen geschlossenen (a) und einen einseitig offenen (b) Flügelkasten mit tragender Haut

äussere Kräfte und Momente zu suchen: Durch Anpassung der Lage der elastischen Axe im Flügel lässt sich die Auswirkung der aus der aerodynamischen Charakteristik folgenden Luftkräfte und -momente beeinflussen (Abb. 2). Ein Verschieben der elastischen Flügelaxe, d. h. der Verbindungsline der Schubmittelpunkte der Flügelquerschnitte, längs der belastet der Flügel nur auf Biegung, nicht aber auf Verdrehung beansprucht wird, ist allerdings nicht so leicht möglich. Wohl zeigt Abb. 3 zwei sehr weit auseinanderliegende Grenzlagen für den Schubmittelpunkt eines geschlossenen und eines einseitig offenen Flügelkastens mit voll tragender Haut. Der Uebergang von einer Grenzlage zur andern erfolgt jedoch nicht kontinuierlich. So lange der in Abb. 3b ausgefallene Steg noch einigermassen

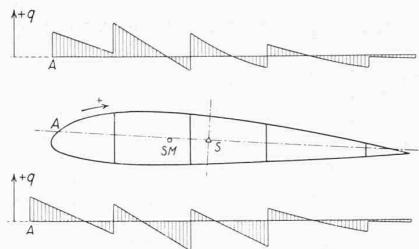


Abb. 4. Schubfluss q bei reiner Querkraftbiegung, Schubmittelpunkt SM und Schwerpunkt S für einen 4-steigigen Schalenflügel. Die Abmessungen entsprechen dem Flügel eines Douglas DC-2 Verkehrsflugzeuges, knapp ausserhalb der Flügeltrennstelle.

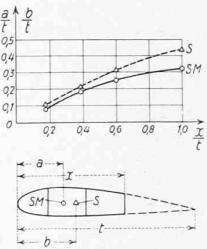


Abb. 5. Wanderung von SM und S bei Verschmälerung des als tragende Schale ausgebildeten Anteils der Flügeltiefe

schubsteif ist, wandert der Schubmittelpunkt bei der allmählichen Schwächung des Steges nur wenig, höchstens etwa 12 bis 20 % der Kastentiefe, nach vorn, um dann plötzlich umzuspringen, wenn der Steg ganz ausfällt. Abb. 3 ist aber ein warnendes Bild für die Gefahren, die aus der unvorsichtigen Schwächung eines Steges — etwa durch Kontrollöffnungen — entstehen können und die besonders schwerwiegend sind, weil gleichzeitig die Verdrehsteifigkeit des nicht mehr geschlossenen Kastens sehr stark abfällt. Auch der Schubmittelpunkt des mehrsteigigen Flügelkastens nach Abb. 4 lässt sich durch Änderung der Stegquerschnitte, trotz den daraus folgenden starken Umlagerungen der eingezzeichneten Schubverteilung, nur sehr wenig beeinflussen und es bedarf eines ziemlich radikalen Vorgehens (Abb. 5), um erhebliche Schubmittelpunktwanderungen zu erzielen. — Trotz der gezeigten Erschwerung, die ähnlich auch für die Holmgrüstflügel gilt, wird sich das Studium der angedeuteten Möglichkeiten für den Konstrukteur lohnen.

ED. AMSTUTZ

Aus dem Institut für Aerodynamik: Neue Untersuchungen über Autorotation von Flugzeug-Leitwerken

Vorbemerkung. Zum Aufgabenkreis des Institutes für Aerodynamik gehört die Mitwirkung bei Untersuchungen von Flugunfällen, soweit es sich um aerodynamisch-konstruktive Ursachen handelt. Nach langwierigen Vorarbeiten ist es dem Schulratspräsidenten gelungen, eine «Studienkommission für Flugwesen an der E.T.H.» zu schaffen, die neben den Vertretern der Wissenschaft auch solche aller am Flugwesen beteiligten Amtstellen aufweist und die Koordination der wissenschaftlichen flugtechnischen Untersuchungen in der Schweiz bezweckt. Dank der Unterstützung durch diese Kommission ist es z. B. möglich gewesen, Unfalluntersuchungen weiter zu verfolgen, um, wenn möglich, zu *allgemeingültigen* Schlüssen zu gelangen, die auch für andere Fälle von Bedeutung sind. So entstand in unserem Institut u. a. eine umfangreiche Arbeit über Flügelschwingungen¹⁾; die nachfolgenden Ergebnisse stammen gleichfalls aus der Weiterführung von Kommissionsaufträgen.

*

Unter den Flugunfallursachen weisen die auf Trudeln (Vrille, spin) zurückzuführenden immer noch einen beträchtlichen Prozentsatz auf. Manche Flugzeuge können bei grossen Anstellwinkeln (beim «Ueberziehen») plötzlich in rasche Drehbewegung geraten und sich in Schraubenlinien nach unten bewegen. Das Gefährliche dieses nahezu stationär verlaufenden Absinkens ist die Unwirksamkeit aller Ruder, sodass bei geringer Ausgangshöhe der Boden erreicht ist, bevor die normale Fluglage wieder hergestellt werden kann. Unfälle dieser Art treten besonders häufig bei Schul- und Trainingsflügen auf. Die Luftfahrtforschung hat sich naturgemäß mit diesen Erscheinungen stark befasst, wobei es sich gezeigt hat, dass das Problem ungemein komplex ist. Immerhin hat man im Prinzip verstanden, dass die hohen Anstellwinkel, die sonst nicht aufrecht zu erhalten sind, durch Kreiselreaktionen des Flugzeuges während der Drehbewegung erzwungen werden. Die Drehursache selbst, die sog. Autorotation, ist aber noch nicht völlig geklärt. Eine dieser Ursachen liegt nun nach unseren Untersuchungen in merkwürdigen Strömungsvorgängen am Leitwerk. In einer kurzen Note²⁾ hat der eine von uns mitgeteilt, dass das Leitwerk, im Gegensatz zur bisherigen Annahme, durchaus nicht immer die Drehbewegung bremst, sondern diese sogar an-

fachen kann. Die Untersuchungen über diesen Effekt wurden nun weitergeführt und es soll hier kurz über die wichtigsten Resultate berichtet werden.

Die Messeinrichtung besteht im wesentlichen aus einer horizontalen, freigelagerten Welle, an deren Ende ein einstellbarer Arm bei verschiedenen Anstellwinkeln befestigt wird (Abbildung 1). Dieser Arm trägt das zu untersuchende Leitwerk, in einem Abstand R von der Drehaxe, der dem normalen Abstand zwischen Leitwerk und Schwerpunkt des Flugzeuges entspricht. Bei einer Drehung wird die Höhenflosse schräg von unten angeströmt, dadurch entsteht überraschenderweise auf der Oberseite des Höhensteuers eine Strömung in Richtung der Rotation, die auf das Seitenleitwerk trifft und so eine *antreibende* Kraft entwickelt. Die Grösse dieser Kraft und damit auch die Autorotationsdrehzahl hängt von der Lage und Anordnung des Seitensteuerns und von der Form der Höhenflosse ab. Den Einfluss dieser verschiedenen Faktoren zu ermitteln, war der Zweck der Untersuchungen. Gemessen wurde hier die freie Autorotationsdrehzahl, bzw. das Verhältnis u/V der Umfangsgeschwindigkeit $U = \omega R$ eines festen Punktes zur Windgeschwindigkeit V . Dieser Punkt ist in Abb. 2 angegeben, er befindet sich in 40 % der Profiltiefe t des Höhensteuerns, 0,47 m von der Drehaxe entfernt. Die Grundrissfläche der Höhenflosse war bei allen Versuchen gleich gross, nämlich $0,048 \text{ m}^2$. Geändert wurde die Grundrissform der Höhenflosse, sodann Grösse, Form und Lage des Seitenleitwerkes, das hier durch einfache Blechscheibe dargestellt wurde.

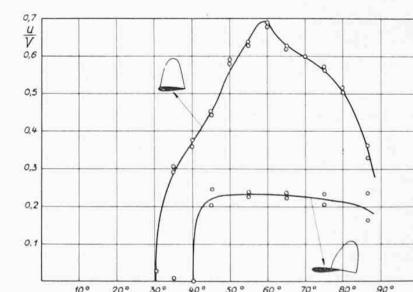


Abb. 3. Autorotations-Drehzahlen u/V in Abhängigkeit vom Anstellwinkel α

In Bild 3 ist nun für zwei typische Beispiele das Verhältnis u/V der freien Autorotation in Abhängigkeit des Anstellwinkels α aufgetragen. Die Messungen sind für beide Drehsinne durchgeführt, wobei auftretende Unterschiede sich durch geringe Unsymmetrien des Modells erklären lassen. Bei den weiteren Versuchen wurde der Anstellwinkel α auf 60° eingestellt,

¹⁾ H. L. Studer: «Experimentelle Untersuchungen über Flügelschwingungen.» Mitteilungen aus dem Institut für Aerodynamik E. T. H. Heft 4/5, Verlag Gebr. Leemann & Co. A.-G., Zürich.

²⁾ F. de Haller: «Note sur l'autorotation d'un fuselage.» «SBZ», Bd. 110, Nr. 1 (3. Juli 1937).

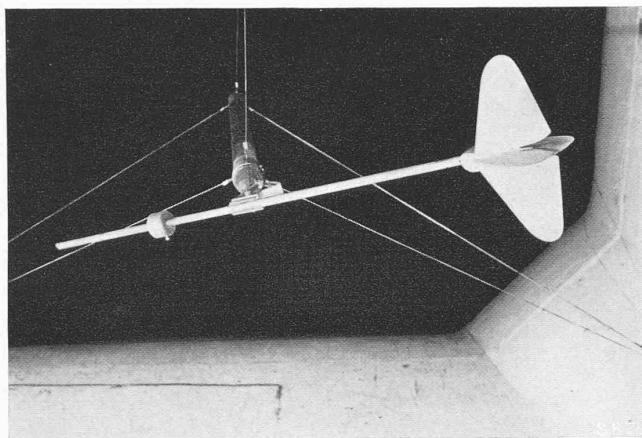


Abb. 1. Messeinrichtung im Windkanal der E. T. H.

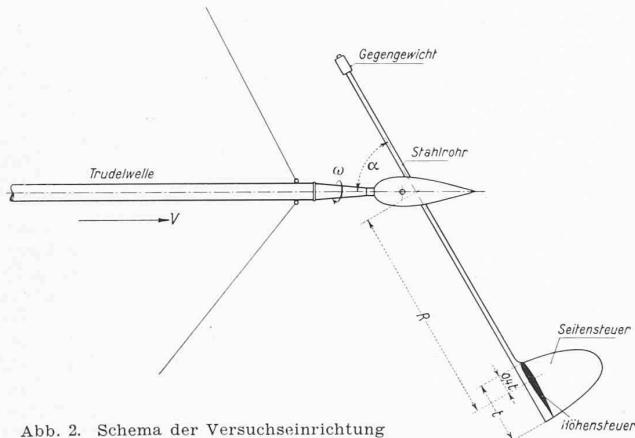


Abb. 2. Schema der Versuchseinrichtung

da sich ergeben hatte, dass die Drehgeschwindigkeit ungefähr bei diesem Winkel ein Maximum aufweist. Die in Abb. 4 und 5 neben den verschiedenen Varianten angeschriebenen Zahlen geben also das Verhältnis u/V bei 60° Anstellwinkel an:

In Abb. 4, Ziff. 1, ist der Einfluss der Vor- und Rücklage des selben Leitwerkes dargestellt. Extreme Vor- oder Rücklage ergeben kleine Drehzahlen, sind also günstig. Die normale Lage, direkt oberhalb des Höhenleitwerkes, gibt hohe Drehgeschwindigkeiten.

Ziff. 2 zeigt den Einfluss der Vergrösserung der Flossenfläche bei gleichzeitiger Variation der Vor- und Rücklage. Auch hier ist das günstige Verhalten vor- und rückgelegter Leitwerke zu bemerken.

Aus Ziff. 3 ist der Einfluss verschiedener Seitenleitwerks-höhen und Vorderkantenneigungen zu entnehmen. Hier ergibt

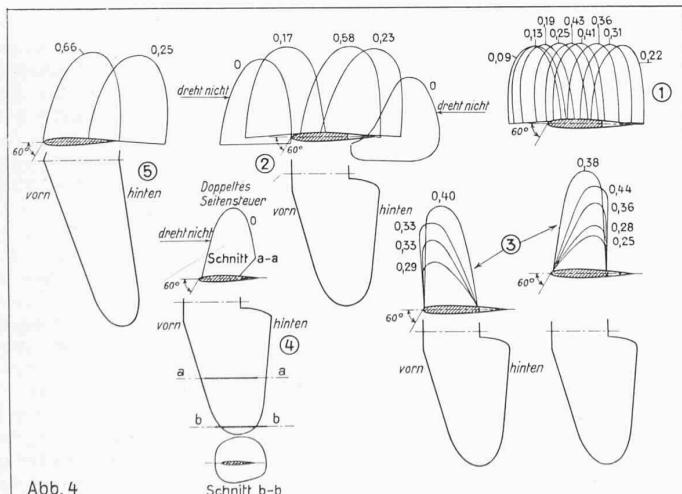


Abb. 4 und 5. Autorotations-Drehzahlen verschiedener Leitwerke. — Nach Versuchen des Instituts für Aerodynamik an der E. T. H.

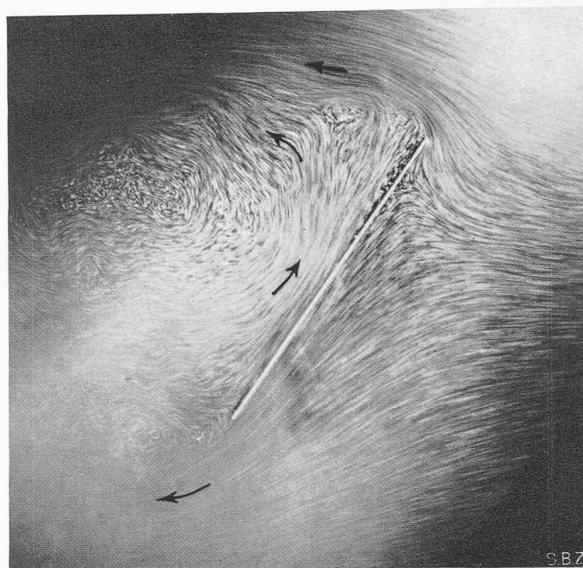


Abb. 6. Sekundäre Strömung an der Höhenflosse

sich das wichtige Resultat, dass eine Erhöhung der Flosse zunächst schädlich wirkt und erst extrem hohe Flossen stärker bremsen. Rückneigung der Eintrittskante des Seitenleitwerkes ist ungünstig, Vorneigung ist besser.

Ziff. 4: Teilt man das Seitenleitwerk, bringt also seitliche Scheiben an, so gelingt es, die Drehung vollständig aufzuheben. Es ist aber nicht möglich, mit Hilfe solcher Endscheiben die Drehdistanz eines in der Mitte vorhandenen normalen, also ungünstigen Seitenleitwerkes gänzlich zu kompensieren. Ob die Seitenleitwerke ganz am Ende, oder etwas mehr nach innen angebracht werden, hat nach diesen Versuchen keinen wesentlichen Einfluss.

Alle diese Messungen wurden mit dem selben Höhenruder durchgeführt. Es war zu vermuten, dass mit verschiedenen Höhenleitwerken, bei gleichen Seitenleitwerken, auch verschiedene Autorotationsdrehzahlen sich ergeben, wie aus Abb. 4, Ziff. 5, und Abb. 5 ersichtlich ist:

Hier sind Höhenleitwerke mit gleicher Grundrissfläche und gleicher Spannweite zusammen mit Seitenleitwerken von verschiedener Form und verschiedener Lage untersucht worden, wobei die Höhenflossen verschiedene Pfeilform und Spitzendigkeit aufweisen, bei gleichbleibender Fläche. Allgemein kann gesagt werden, dass stärkere Pfeilform günstig, starke Zuspritzung dagegen schlechter ist. Eine Vor- oder Rücklage des Seitenruders wirkt immer im günstigen Sinne. — Aändert man den Grundriss des Höhenleitwerkes bis zu extremen Formen, so zeigt sich, dass die altmodische Form 10 in bezug auf Autorotation recht günstig, dagegen die gerade Eintrittskante 11 bedeutend weniger gut ist.

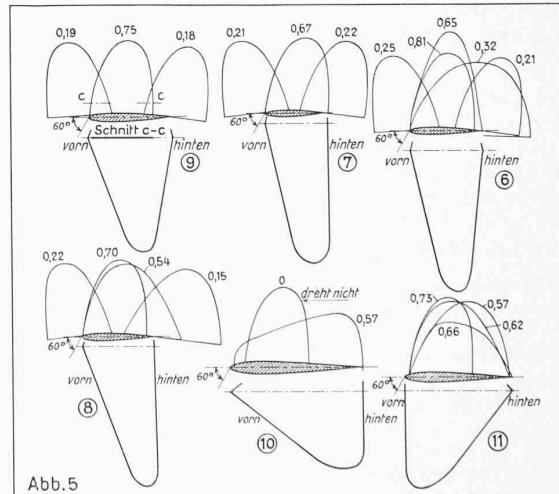


Abb. 5

Aus dem Betrieb des Fernheizkraftwerks 1932 bis 1937
im Maschinenlaboratorium der E. T. H. Zürich

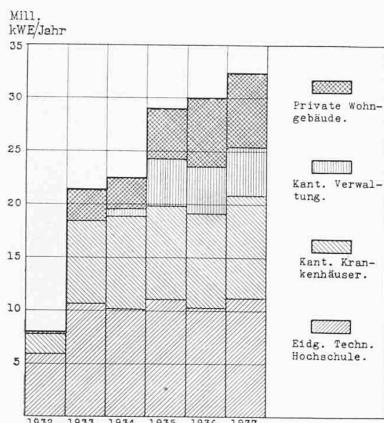


Abb. 1. Wärmeabgabe an die Bezüger

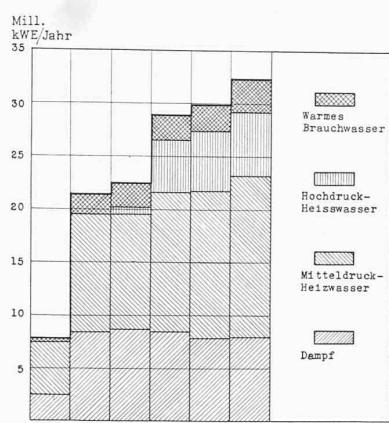


Abb. 2. Wärmeabgabe nach Transportmitteln

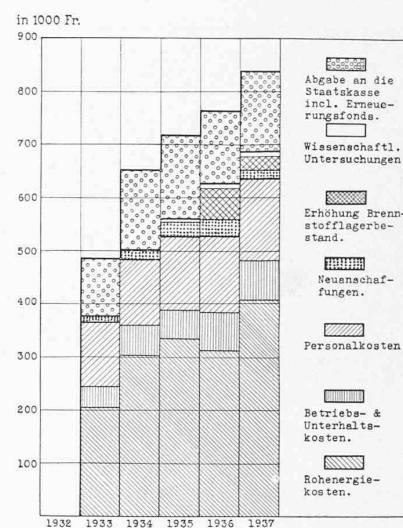


Abb. 4. Verwendung der Jahreseinnahmen

Ganz allgemein geht aus diesen Versuchen hervor, dass die Lage der Seitenflosse genau oberhalb des Höhensteuers hohe Drehzahlen ergibt. Die grössten Drehzahlen liefert eine Flosse, deren Tiefe gleich und deren Höhe annähernd gleich der Tiefe des Höhensteuers ist. Hohe, nach vorn verschobene und geneigte Seitensteuer sind in bezug auf Autorotation des Leitwerkes günstig. Aehnliche Leitwerke werden bei modernen Flugzeugen auch oft angewendet.

Es ist noch notwendig, einige Worte über die Entstehung der antreibenden Kraft zu sagen. In der erwähnten Note ist die Vermutung ausgesprochen worden, dass die, durch die Drehbewegung bedingte, schräge Anströmung der Höhenflosse eine sekundäre Strömung im abgerissenen Gebiet oberhalb der Fläche erzeugt, die im wesentlichen *in Richtung* der Rotation verläuft und eine senkrecht stehende Fläche mitreisst. Diese sekundäre Strömung ist nun im Wassertank näher untersucht und dort sehr deutlich beobachtet worden, wie aus Bild 6 ersichtlich. Das in der kürzlich (in Nr. 7 u. 8) hier erschienenen Beschreibung des Institutes für Aerodynamik als Abb. 23 (Seite 89) gezeigte Strömungsbild stellt ebenfalls diese sekundäre Strömung und ihre Wirkung auf das Seitenleitwerk dar.

J. ACKERET, P. DE HALLER und W. PFENNINGER

Die wirtschaftlichen Grundlagen der Fernheizung Ein Beitrag aus Betrieb und Forschung des Fernheizkraftwerks (FKH) der E.T.H.

Die technischen Einrichtungen unseres Instituts sind in dieser Zeitschrift früher schon ausführlich beschrieben worden¹⁾. Sie umfassen, unter gesonderter selbständiger Verwaltung, jene Anlageteile des neuen Maschinenlaboratoriums, die neben ihrer Zweckbestimmung als Lehrobjekt für die industrielle Erzeugung, Umwandlung und Verteilung von Wärme und zur Umformung von Wärme in elektrische Energie erforderlich sind. Unser Werk dient demnach einem doppelten Zweck: der Lehre und der Forschung auf dem Gebiet der Wärm 技术 and des thermischen Kraftwerksbetriebs einerseits, und der gewerbsmässigen Lieferung von Wärme und elektrischer Energie an Dritte anderseits. Selbstverständlich ist auch diese Aufgabe in den Dienst der technisch-wirtschaftlichen Forschung gestellt, indem in der Auswahl der technischen Mittel und der zur Energiebelieferung vorgesehenen Anschlussobjekte grösseres Gewicht auf die Reichhaltigkeit der Typen zwecks Schaffung vielseitigsten Erfahrungsmaterials gelegt wird, als auf die Erzielung des bestmöglichen finanziellen Ertragnisses. Wir erblicken im Studium der Grundlagen und in der Verbesserung der Mittel zur Anstrengung einer rationalen Wärmewirtschaft eine bedeutungsvolle Aufgabe, weil unser Land trotz des Reichtums an Wasserkräften auf die Heranziehung des ausländischen Brennstoffs zur Energiebedarfsdeckung angewiesen ist. Hierbei muss darnach getrachtet werden, die Brennstoff-Wärmebetriebe so weit möglich in den Energiehaushalt der Wasserkraftnutzung im Sinne eines Verbundbetriebes der beiden wichtigen Energieträger einzubeziehen. Die Fernheizung bietet eine dieser möglichen Lösungen, deren technische und wirtschaftliche Probleme mit zum Aufgabenkreis unseres Instituts gehören. Der vor-

liegende Bericht beschränkt sich allein auf diesen Teil unserer Tätigkeit.

Wir wollen zunächst mit Hilfe der nachfolgenden Abbildungen über die Entwicklung des Wärmeabsatzes des FHK berichten. Abb. 1 zeigt die Vermehrung der jährlich an das Heiznetz abgegebenen Wärmemengen seit Betriebsbeginn, unterteilt nach Art und Besitzstand der belieferten Liegenschaften. In Abb. 2 ist die gleiche Entwicklung nach Art des Wärmetransportmittels unterteilt. Demnach sind im Betriebsjahr 1937 32,3 Mio kWE an unsere Wärmeabnehmer geliefert worden ($1 \text{ kWE} = 1000 \text{ WE}$); hierunter wurden 25,5 Mio kWE aus Brennstoff erzeugt und 6,8 Mio kWE aus Hydro-Elektrizität. In Abb. 3 ist der zeitliche Verlauf der Wärmeabgabe an das Heiznetz für das Jahr 1937 dargestellt (Kurve 1), der auf die Elektrowärme entfallende Anteil ist durch Kurve 2 umgrenzt. Der Linienzug 3 umfasst die während der Winterperiode an das Elektrizitätswerk der Stadt Zürich gelieferte elektrische Energie. Unser Fernheizwerk steht demnach insofern mit der Elektrizitätsversorgung der Stadt im Verbundbetrieb, als wir in der Übergangszeit und während der Sommermonate Bezieher überschüssiger hydro-elektrischer Energiemengen sind (im Jahre 1937 7,9 Mio kWh), während wir zur Zeit des Wintermangels unserer Wasserkräfte thermisch erzeugte elektrische Energie (im Jahre 1937 4,5 Mio kWh) an die städtische Stromversorgung abgeben. In Abb. 4 ist die Entwicklung unserer Jahreseinnahmen aus dem Wärme- und Elektrizitäts-Verkauf und deren Unterteilung auf die verschiedenen Ausgaben-Positionen dargestellt. Wie ersichtlich, liefert das FHK jedes Jahr, nach Deckung aller Betriebsausgaben und übrigen Kosten des Instituts, eine namhafte Summe an die Staatskasse ab.

Die Fernheizung bietet, vom energie-wirtschaftlichen Standpunkt aus betrachtet, ein reizvolles Problem. Was liegt näher, als den mengenmässig gewaltigen Bedarf an geringwertiger Wärme, wie sie die Raumheizung eines dicht bewohnten Gebietes erfordert, in Nachschaltung zur Energie-Umformung von hochwertiger Wärme in mechanische Arbeit bzw. elektrische Energie zu erzeugen, um damit die thermodynamisch bestmögliche Ausnutzung des Wärmegefälles zu erreichen, das bei der Verfeuerung des Brennstoffes frei wird. Wir kuppeln aber mit diesem Verfahren zwei Versorgungsbetriebe mit ganz verschiedener Bedarfscharakteristik. Da weder die elektrische Energie noch die Raumheizungswärme mit wirtschaftlich tragbaren Mitteln aufzuspeichern ist, kann ein solcher Verbundbetrieb selbstständig nicht beide Versorgungsgebiete zugleich beliefern. Man wird daher das Fernheizwerk bei gleichzeitiger Gegendruck-Krafterzeugung entweder mit besonderen Maschineneinheiten ausrüsten, die auf Kondensation arbeiten, oder die Heizzentrale mit Krafterzeugung als Zubringerwerk eines selbständigen Kraftwerksystems betreiben. Die zweite Kombination bietet besonders für jene Elektrizitätsversorgungs-Betriebe ein Interesse, die den Energiebedarf durch Wasserkräfte aus Flussläufen mit alpinem Charakter der Wasserführung decken. Hier bringt der Fernheizbetrieb mit Krafterzeugung im Gegendruck nicht nur eine willkommene Ergänzung des verminderten hydraulischen Winter-Energie-Angebotes der Natur, sondern auch die Möglichkeit der Verwertung hydraulischer Energie-Ueberschüsse während der Übergangszeit und zur Wärmeerzeugung im

¹⁾ Vergl. Band 106, S. 141* (23. Sept. 1935) und 205* (2. Nov.).