

Triebwerks-Überwachung

Von Prof. Dr. Heinrich KOPPE, Braunschweig.

Die Überwachung der Verbrennungskraftmaschinen, die hauptsächlich als Triebwerk in Luftfahrzeugen verwendet werden, erstreckt sich auf den Lauf, die Kühlung und Schmierung und den Vorrat bzw. Verbrauch an Kraftstoff, Schmierstoff und Kühlstoff. Zur Überwachung des Laufes dienen Drehzahlmesser; der Ladedruck gibt ein Maß für die Leistung. Druckmesser für Kraft- und Schmierstoff überwachen deren richtige Förderung. Thermometer zeigen den Grad der Kühlung und Inhaltmesser für Kraft- und Schmierstoff deren Vorrat. Die für die Messung dieser Zustände gebräuchlichen Meßverfahren werden aufgezeigt und kritisch besprochen.

Einleitung

I. Lauf und Leistung

1. Nahdrehzahlmesser (biegsame Wellen)
 - a) Fliehpendel
 - b) Wirbelstrom
 - c) Zwangsläufigkeit (Stichzahl, Reibrad)
 - d) Reibung
2. Ferndrehzahlmesser
 - a) elektromagnetisch, Gleichstrom, Wechselstrom, Frequenz
 - b) elektrostatisch
 - c) pneumatisch
 - d) hydraulisch
 - e) optisch
3. Ladedruckmesser

II. Kühlung

1. Thermometer
2. Fernthermometer
 - a) Dampfdruck
 - b) elektrisch
3. Einbau
4. Kühlstoffvorrat

III. Schmierung

1. Druckmesser
 - a) Hydraulische Übertragung
 - b) Elektrische Übertragung
2. Vorrat

IV. Kraftstoff

1. Druck
2. Vorrat
 - a) Schauglas
 - b) Schwimmer
 - c) pneumatisch
3. Verbrauch

Schrifttum

Triebwerks-Überwachung

Einleitung

Die Triebwerke der Luftfahrzeuge sind im allgemeinen Verbrennungskraftmaschinen, an deren Leistung und Zuverlässigkeit sehr hohe Anforderungen gestellt werden müssen bei gleichzeitiger äußerster Einschränkung in Bezug auf Baugewicht, Raum- und Kraftstoffbedarf. Die Triebwerke der Luftfahrzeuge bedürfen daher als Spitzenleistungen technischer Entwicklung besonders sorgfältiger Behandlung und hierzu ständiger Überwachung der richtigen Arbeitsweise und wesentlicher Betriebszustände.

Als solche werden beim Triebwerk der Luftfahrzeuge angesehen: 1. Lauf bzw. Leistung; 2. Kühlung und Schmierung; 3. Vorrat und Verbrauch an Kraftstoff, Schmierstoff, Kuhlstoff. Die Zahl der zur Überwachung dieser verschiedenen Zustände erforderlichen Meßgeräte ist schon bei einer einzelnen Kraftmaschine recht hoch (Abb. 1), sie vervielfacht sich nahezu unmittelbar mit der Zahl der Triebwerke eines Flugzeuges. Die gleichzeitige abschätzende Überwachung aller Geräte auch durch den Bordwart ist dann fast unmöglich, eine teilweise Ersetzung durch Warngeräte, die nur bei außergewöhnlichen Betriebszuständen ansprechen, wird daher angestrebt. Es ist aber erwünscht, den für eine Warnvorrichtung notwendigen Aufwand gegebenenfalls auch zur genaueren Überwachung (Messung) benutzen zu können. Geräte zur Überwachung des Laufes und der Leistung der Triebwerke gehören wie die Gasdrossel unbedingt in den unmittelbaren Aufmerksamkeit- und Eingriffsbereich des Flugzeugführers, während die übrigen Triebwerks-Geräte mehr abseits oder in besonderen Tafeln für den Bordwart zusammengefaßt werden können.

1. Lauf und Leistung.

Der gleichmäßige Lauf des Triebwerkes entspricht in seiner Bedeutung dem Pulsschlag beim Menschen; er wird zur Anzeige gebracht durch Messung der Drehzahl. Bei der unmittelbaren mechanischen Übertragung der Umdrehungen auf ein Anzeigergerät verwendet man Naddrehzahlmesser; bei größeren Abständen zwischen Triebwerk und Führersitz muß man mittelbar eine Übertragung auf Ferndrehzahlmesser anwenden.

1. Naddrehzahlmesser

Die mechanische Übertragung von Umdrehungen auf Meßgeräte erfolgt durch biegsame Wellen aus mehrfach gegenläufig gewickelten Stahldrähten (Spiralen) oder Gliederketten, die in Metallschläuchen geführt werden. Dabei ist auf sorgfältige Verlegung ohne viele und enge Biegungen zu achten. Trotzdem sind die biegsamen Wellen häufig Ursache von Störungen durch Drehschwingungen, raschen Verschleiß und Bruch. Schmierstoff, der vom Motor aus durch den Metallschlauch zum Meßgerät vordringen und dieses verschmutzen kann, wird durch einen zwischengeschalteten kleinen Schleuderflügel (Entöler) abgeschleudert und abgeleitet.

Die Drehzahl einer umlaufenden Welle (Umlaufgeschwindigkeit) kann unmittelbar durch die Fliehkraft auf bewegliche Massen, Wirbelstrom-Drehmoment einer Scheibe vor einem umlaufenden Magneten oder zwangsläufig durch wiederholte Stichzählung oder Bezug auf eine bekannte, feste Drehzahl erfolgen [1].

a) Fliehpndel

In Fliehkraftdrehzahlmessern werden als Fliehkörper symmetrisch zu der mit höherer Drehzahl umlaufenden Achse angelenkte starre Pendel oder Ringe (R) verwendet (Abb. 2). Der Fliehkraft entgegen und

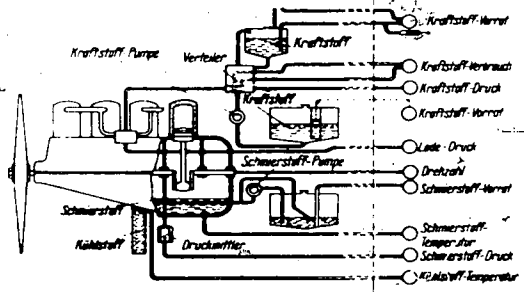


Abb. 1 Meßgeräte des Triebwerks

zur Kraftmessung dienen elastische Federn (F). Die bei Gleichgewicht zwischen Fliehkraft und Federkraft ein spielende Lage des Fliehkörpers zur Drehachse wird auf einen Zeiger (Z), übertragen, der über einem nach Uml./Min. $\times 100$ geteilten Zifferblatt spielt. Fliehkraftdrehzahlmesser haben sich infolge ihres einfachen, kräftigen Aufbaues und der großen Einstellkräfte überall bestens bewährt; sie sind unabhängig vom Drehsinn. Anzeigefehler können nur durch thermische und Zeitwirkung auf die elastische Feder oder durch Abnutzung entstehen. Die Anzeigeträgheit ist bedingt durch die Massenträgheit der Fliehkörper; diese bedingt eine geringe Anzeige-Verzögerung, die aber praktisch bedeutungslos ist.

b) Wirbelstrom

Die in einer von einem umlaufenden Magneten (M) befindlichen Scheibe (S) entstehenden Wirbelströme erzeugen in dieser ein gleichgerichtetes Drehmoment, das durch eine elastische Feder (F) gewogen und zur Anzeige der Drehzahl benutzt werden kann (Abb. 3). Die Größe des Drehmomentes ist bei gleichbleibender Feldstärke und Entfernung des Magneten von der Scheibe nur abhängig von der Drehzahl; es ist gegenüber dem Fliehpndelgerät sehr klein. Thermische Einflüsse, die den Abstand zwischen Magneten und Wirbelstromscheibe und deren elektrische Leitfähigkeit verändern, verursachen erhebliche Fehler; durch zusätzlichen Ausgleich (Bimetall) lassen sich diese teilweise einschränken. Wegen der geringen Einstellkraft, längeren Schwingungsdauer und größeren Störungsempfindlichkeit haben sich Wirbelstrom-Drehzahlmesser im Flugbetrieb wenig bewährt.

c) Zwangsläufigkeit

Für sehr genaue Messungen der Drehzahlen dient die Stichzählung, die durch selbsttätige kurzfristige und

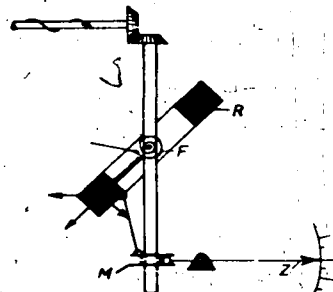


Abb. 2

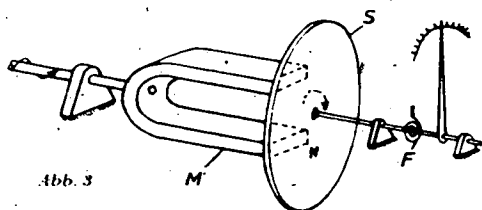


Abb. 3

dauernde Wiederholung und laufende Anzeige zu einer zuverlässigen Betriebsanzeige angewendet werden kann. Auf dieser Grundlage beruhen die zwangsläufigen Drehzahlmesser (Abb. 4). Von der umlaufenden Welle des Triebwerkes wird in einer Schleppfeder (s) ein genügend großes Drehmoment „gespeichert“, das dazu dient, ein Uhrwerk (U) in gleichmäßigem, durch Unruhe und Anker geregelter Gang zu halten. Von diesem Uhrwerk wird durch einen Nocken (N) in genau gleichen, kurzen Zeiträumen eine Kupplung (M) geschaltet, die einen Zeiger (Z) untersetzt, aber „zwangsläufig“ mit der Motorwelle verbindet und diesen mit der tatsächlichen unteretzten Drehgeschwindigkeit herumbewegt. Der Zeigerweg entspricht also unmittelbar der Drehzahl der Welle während der Kupplungszeit. Nach der selbsttätigen Entkopplung wird der Zeiger durch eine Feder mit starker Dämpfung in seine Ausgangslage zurückgezogen; ehe er aber einen größeren Weg zurücklegen kann, erfolgt schon die nächste Kupplung, die bei gleicher Drehzahl den Zeiger wieder genau bis zum gleichen Ausschlag mitnimmt; bei veränderter Drehzahl kürzer oder weiter. Der Zeiger steht also nicht ruhig, sondern springt im Zeitmaß des Schaltvorganges, der jedesmal eine neue Stützählung bedeutet. Die Messung hat also nicht nur den Vorteil „zwangsläufig“ genau zu sein, sie erfolgt auch mit äußerst geringer „Trägheit“, da unter Ausschaltung jeglicher Massenträgheit am Ende jedes Schaltvorganges ($\frac{1}{2}$ bis 2 Sekunden) der richtige Meßwert „steht“. — Die Genauigkeit der Messung kann nur beeinflusst werden durch den Gang des Uhrwerkes, der bei dem hohen Stand der Uhrentechnik auch unter den Betriebsbedingungen des Luftfahrzeuges recht zuverlässig ist und im übrigen leicht durch Auszählen der Schaltvorgänge und Vergleich mit einer anderen zuverlässigen Uhr überprüft werden kann [2].

Das Gerät hat selbstverständlich verwickelteren Aufbau, der aber recht kräftig ausgeführt werden kann, so daß Störungen kaum auftreten sind. Der Einführung als Bordgerät stehen wohl nur die höheren Herstellungskosten entgegen. Die springende Anzeige ist nur für den Neuling ein Schönheitsfehler. Dagegen ist die Zahlung der Laufzeit des Uhrwerkes als „Betriebsstunden des Triebwerkes“ (B-Z) eine sehr wertvolle Beigabe.

Als Eichgerät zur Prüfung anderer Drehzähler hat sich der zwangsläufige Drehzahlmesser bestens bewährt.

Ein anderer Weg, zu einer zwangsläufigen Drehzahlanzeige zu gelangen, beruht auf dem Vergleich mit einer bekannten Drehgeschwindigkeit durch ein Reibradgetriebe. Hierbei ist die wesentliche Aufgabe, die Erzeugung einer unabhängig von äußeren Einflüssen stets genau gleich bleibenden Drehzahl, praktisch mit Hilfe eines Fliehkraft-Bremsreglers (F), wie er in Laufwerken für Plattenspieler Anwendung findet, recht befriedigend gelöst worden (Abb. 5). Das zum Betrieb der Vergleichs-Drehgeschwindigkeit erforderliche Drehmoment wird von der Triebwerkschelle über eine „Schleppfeder“ (Sch) entnommen und ständig aufrechterhalten. Das Gerät ist in seinem Aufbau verhältnismäßig einfach, die Anzeigetragheit ist groß. Wegen der stärkeren Abnutzung zwischen Reibrad (R) und Reibfläche (RK) in den Gebieten der vorwiegend eingehaltenen Betriebsdrehzahlen und dadurch hervorgerufene Ungleichförmigkeit hat sich das Gerät für Bordzwecke nicht behaupten können.

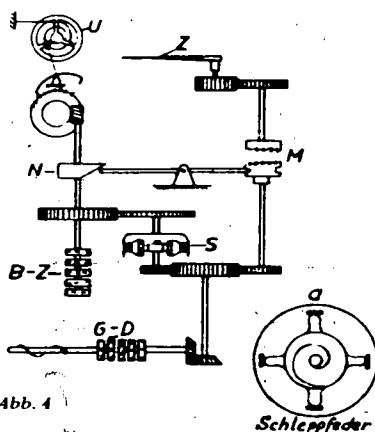


Abb. 4

d) Reibung

Versuche, die Drehzahl unmittelbar aus dem von der Antriebschelle durch Reibung in Flüssigkeit (Quecksilber) oder Luft übertragenen Drehmoment zu entnehmen, sind an technischen (Dichtigkeit) oder grundsätzlichen (Einfluß der Luftdichte) Schwierigkeiten gescheitert [3].

2. Ferndrehzahlmessung

Die Vergrößerung der Flugzeuge und Aufteilung des Triebwerkes bedingen größere Abstände zwischen den einzelnen Motoren und dem Führersitz, so daß eine mechanische Übertragung der Drehbewegung auf das Anzeigergerät nicht mehr möglich ist. Hier muß Fernübertragung der zu messenden Größen angewendet werden.

Zur Ferndrehzahlmessung liegen am nächsten die elektromagnetischen Verfahren; es kommen weiter in Frage elektrostatische, hydraulische, pneumatische und optische Verfahren.

a) elektromagnetisch (Abb. 6) [4]

Ein umlaufender elektrischer Stromerzeuger erzeugt einen Strom, dessen Spannung und dessen Stärke bei gleichem äußerem Widerstand unmittelbar verhältlich der Drehzahl sind.

Als Geber wurden zunächst kleine Gleichstrom-Erzeuger verwendet; die Messung der von diesen erzeugten geringen Stromstärken, für die unter den Betriebsbedingungen des Flugzeuges vor allem Hitzdrahtgeräte (a) als Anzeiger in Frage kamen, begünstigte wegen deren großer Trägheit und sonstigen mechanischen und thermischen Empfindlichkeit erheblichen Schwierigkeiten. Leichter ist die Messung der Spannung mit Hilfe von Drehspulgalvanometern. Voraussetzung für eine zuverlässige Messung, die ohnehin wie bei allen elektrischen Meßverfahren mit sehr geringen Einstellkräften erfolgt, ist die Beibehaltung des Gesamtweiterstandes der Anlage (Geber + Leitung + Gerät). Hier ergeben sich beim Gleichstrom-Erzeuger sehr große betriebliche Schwierigkeiten infolge Abnutzung und Verschmutzung der Bürsten von Metall oder Kohle, wodurch deren Übergangswiderstand erhebliche Änderungen erfahren kann. Aus diesem Grunde ist man zu Wechselstrom-Erzeugern übergegangen, deren Spannung durch einen kleinen Gleichrichter (Kupfer-Oxydul) (Gl.R) gleichgerichtet und gemessen wird (b). Die verwendeten Gleichrichter sind aber recht empfindlich auf Temperatur-Änderungen (Platten-Andruck). Heute verwendet man die inzwischen sehr verbesserten elektrodynamischen Anzeigergeräte zur unmittelbaren Messung der

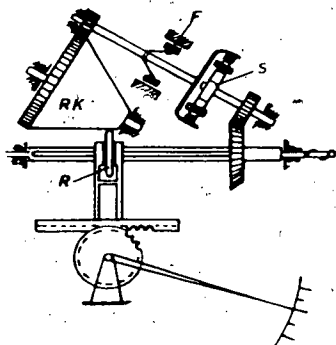


Abb. 5 Reibrad-Drehzahlmesser

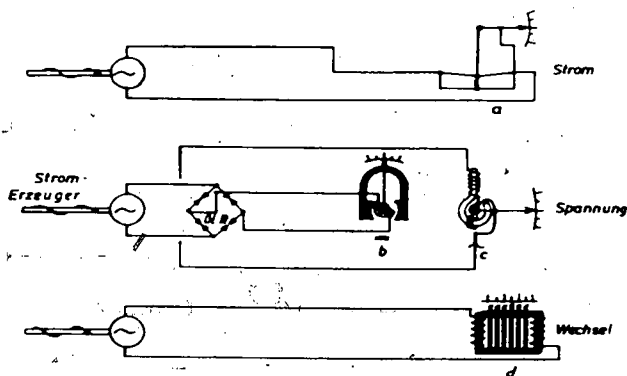


Abb. 6

Wechselspannung (c). Bei diesen Geräten dreht sich eine Spule über einem ringförmig um deren Drehachse liegenden Elektromagneten, dessen Erregung gleichsinnig mit der Spule erfolgt und daher trotz der Wechselspannung ein gleichgerichtetes Drehmoment ergibt. Da diese Geräte eine Drehung der Spule bis zu 270° gestatten, kann der Skalenbereich gut ausgenutzt werden [5].

Auf elektromagnetischer Grundlage beruhen auch die Frequenzmesser (d), bei denen elastische Blattsfedern mit gleichmäßig abgestufter Eigenschwingungszahl durch Stromstöße im Gleichtritt mit der Drehzahl zu Schwingungen angeregt werden. Die mit größter Schwingungsweite mitschwingende Feder zeigt die Drehzahl an. Diese Geräte sind nur für einen kleinen Drehzahlbereich brauchbar und sind wegen des Ansprechens bei harmonischer Erregung nicht eindeutig. Erregung durch mechanische Schwingungen ruft ebenso unerwünschte Fehlanzeigen hervor.

b) elektrostatisch

Betätigt die umlaufende Welle einen Stromwender, der einen Kondensator wechselweise an eine Gleichstromquelle zur Aufladung und dann zur Entladung über einen Widerstand durch ein Strommeßgerät schaltet, so gibt die Entladestromstärke ein Maß für die Zeitfolge des Schaltwechsels und damit der Drehzahl (Abb. 7). Dieses Meßverfahren auf elektrostatischer Grundlage gibt die Möglichkeit zu einer Fern-drehzahlmessung, die aber praktisch unter den Betriebsbedingungen des Flugzeuges viele Schwierigkeiten (Konstanz der Ladespannung, der Kapazität, des Widerstandes, Einfluß der Übertragungsleitungen) bietet [6], [7].

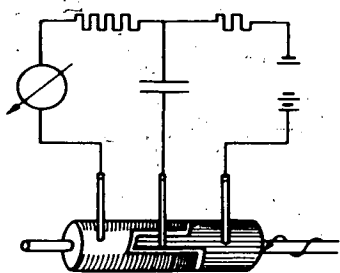


Abb. 7

c) pneumatisch

Bei dem pneumatischen Verfahren wird der Regeldruck eines in einer Luftpumpenleitung liegenden Überdruckventils unmittelbar durch Fliehkraftwirkung gesteuert; der sich in der Leitung einstellende Luftdruck gibt also ein Maß für die Drehzahl. Auf dieser Grundlage sind wohl unabhängig voneinander zwei verschiedene Ausführungen entstanden. Bei der einen (Askania) ist das Ventil als „Fliehkolben“ (FK) in dem mit seitlichen Auslaßöffnungen (St) versehenen radial angeordneten Zylinder ausgebildet und regelt den von einer kleinen Luftpumpe erzeugten Überdruck (Abb. 8). — Bei der anderen (englischen) regelt ein „Fliehdeckel“ (FD) in einer Druckkammer den dort durch eine Düse, aufrechterhaltenen Unterdruck gegenüber dem äußeren statischen Luftdruck (Abb. 9). Die Förderleistung der Pumpe bzw. der Düse muß den Luftverbrauch des Druckreglers voll decken. — Die in ihrer meßtechnischen Grundlage wie auch in der Gestaltung sehr bemerkenswerten Verfahren bieten in dem dauernd gleich zu haltenden kleinen Spiel des Regelgliedes einige praktische Schwierigkeiten (Fressen des Fliehkolbens); sie sind aber wohl hauptsächlich zugunsten der inzwischen wesentlich verbesserten elektrischen Ferndrehzahlmessung aufgegeben worden.

d) hydraulisch

Auf hydraulischer Grundlage beruht folgendes Verfahren: Eine mit der Drehzahl des Triebwerkes umlaufende Pumpe fördert Öl aus einem offenen Behälter in einen Windkessel; dann gibt der in diesem Windkessel herrschende Luftdruck ein Maß für die Drehzahl (Amvot-le Prieur). Das Gerät ist wegen der veränder-

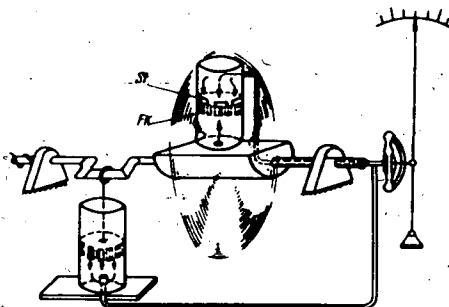


Abb. 8 Pneumatischer Ferndrehzahlmesser (Fliehkolben)

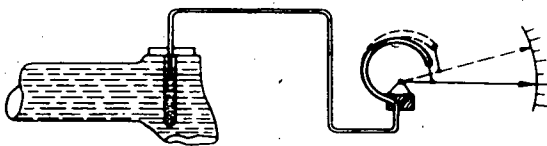


Abb. 10

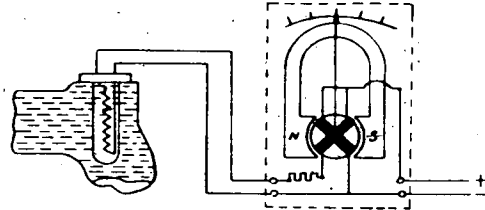


Abb. 11

schr. unständlich. Nur aus diesem Grunde zieht man neuerdings die leicht trennbaren elektrischen Übertragungen vor.

b) elektrisch

Der elektrische Widerstand eines Leiters ist abhängig von der Temperatur; auf dieser Grundlage beruhen die elektrischen Widerstandsthermometer, deren Geber aus einer Wicklung von feinem Platin- oder Nickeldraht in einer Schutzhülse besteht. Der elektrische Widerstand wird in einem Stromkreis gemessen, zur Ausschaltung des Einflusses von Spannungsschwankungen wird die Widerstandsänderung gegenüber einem festen Vergleichswiderstand in Brückenschaltung mit einem Kreuzspulgerät gemessen. Durch Umschaltung können mit einem Meßgerät mehrere Meßstellen überwacht werden, jedoch ist dabei auf sorgfältige Ausbildung der Schalter und Abgleichung der einzelnen Meßkreise zu achten. Wärmefühler und Anzeigegeräte sind bei der neuzeitlichen Reihenfertigung, untereinander austauschbar (Abb. 11).

Thermoelemente gestatten wegen ihres geringen Raumbedarfes die Messung der Temperatur des Werkstoffes in Bohrungen und Zwischenschichten; sie finden deswegen besondere Anwendung bei der Überwachung der Zylindertemperaturen, vgl. Abb. 12. Die an der Lötstelle von Eisen und Konstantan erzeugte Thermospannung beträgt je Grad nur 0,053 Millivolt, ist also trotz der hohen Temperatur (200 bis 300 Grad) recht klein und setzt daher sehr empfindliche Anzeigegeräte voraus. Die zweite Lötstelle, die den Übergang zu einer Meßleitung aus Kupfer zum Meßgerät darstellt, muß sorgfältig auf gleicher und genau bestimmter Temperatur gehalten werden und wird deshalb in eine Isolierflasche eingeschlossen. Trotz dieser für den Betriebszustand des Flugzeuges besonders großen Schwierigkeiten, die noch durch eine starke Abhängigkeit von der Zusammensetzung des Materials erhöht werden, hat sich das Verfahren zur Feststellung von Zylindertemperaturänderungen bei der Gemischregelung bewährt.

3. Einbau

Jede Temperaturmeßstelle bedingt eine Störung des normalen Temperaturverlaufs, die um so größer ist, je größer die Wärmekapazität des „Fühlers“ und seine Wärmeableitung ist. Die Wärmeableitung bei Dampfdruckfermentometern ist durch das Metallrohr und den Schutzschlauch beachtlich. Um einen guten Wärmeübergang und damit geringe Trägheit zu erzielen, werden die Wärmefühler in besonderen „Taschen“ der Kühl- oder Schmierstoffleitungen eingebaut [9].

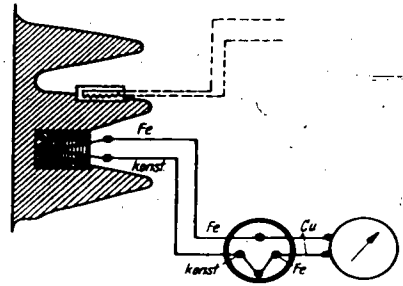


Abb. 12

4. Kühlstoffvorrat

Der Vorrat an Kühlstoff, der unter normalen Betriebsbedingungen kaum nennenswertem Verbrauch unterworfen ist, wird in sehr großen Flugzeugen überwacht. Man begnügt sich auch hier zumeist mit Warngeräten, die durch Schwimmer (s. IV, 2. b) betätigt werden.

III. Schmierung

Der zur Vermeidung hoher Reibung und Erwärmung zwischen aufeinander gleitenden Teilen erforderliche Schmierstoff-Film wird mit Hilfe einer Pumpe zwischen diese gepreßt und im Kreislauf ständig erneuert. Für den normalen Betriebszustand jedes Triebwerkes ergibt sich ein bestimmter Strömungswiderstand, der durch einen entsprechenden Schmierstoffdruck überwunden werden muß. Der Schmierstoffdruck gibt also ein Maß für das einwandfreie Arbeiten der Schmierung.

1. Druckmesser

a) Hydraulische Übertragung

Zur Messung des Schmierstoffdruckes, der etwa zwischen 6 und 8 atü liegt, dienen zumeist Federrohr-Druckkörper üblicher Bauart. Da die oft langen Leitungen zum Triebwerk aber leicht beschädigt werden können und bei Bruch nicht nur dauernder Schmierstoffverlust oder sogar feuergefährliche Überschwemmung des Führersitzes eintreten kann, überträgt man den Meßdruck durch einen „Druckmittler“ auf die mit einer nicht brennbaren Flüssigkeit gefüllte Übertragungsleitung zum Anzeigegerät. Der Druckmittler trennt also durch eine elastische Zwischenwand den Schmierstoff von der Meßdruckleitung. Die elastische Wand (Membran oder Federdruckkörper) muß aber so nachgiebig sein, daß sie der thermischen Ausdehnung der Füllung der Meßleitung voll nachgeben kann. Der Druckmittler hat weiter die wichtige Aufgabe, Überdrucke, die leicht beim Anlassen des kalten Motors auftreten und das Gerät zerstören können, durch eine Hub- und Druck-Begrenzung fernzuhalten.

b) Elektrische Übertragung

Fast alle vorher genannten Schwierigkeiten lassen sich vermeiden, wenn man den Hub eines Federdruckkörpers am Triebwerk unmittelbar zur Steuerung eines Potentiometers benutzt und damit durch elektrische Leitungen den Druck auf einem Kreuzspulgerät zur Anzeige bringt. Freilich muß man dabei wesentlich geringere Einstellkräfte in Kauf nehmen [10].

2. Vorrat

Der Schmierstoffvorrat ist im allgemeinen so bemessen, daß er der durch den Kraftstoffvorrat bestimmten Betriebsdauer entspricht. Bei der Unterteilung der Schmierstoffbehälter ist eine Überwachung aber erwünscht. Sie erfolgt mit den gleichen Verfahren wie sie zur Kraftstoff-Vorratmessung angewendet werden (s. IV, 2).

IV. Kraftstoff

1. Druck

Der Überdruck, mit dem der Kraftstoff aus den Behältern zum Triebwerk gepumpt wird, muß ebenfalls ständig überwacht werden, er liegt für die verschiedenen Baumuster zwischen 0,5 und 2 atü. Für die Kraftstoffdruckmesser gilt genau dasselbe, was für die Schmierstoffdruckmesser in Abs. III.1 gesagt wurde; infolgedessen finden dieselben Anordnungen Verwendung.

2. Vorrat

Vom Kraftstoffvorrat hängen Dauer und Reichweite des Fluges ab; seine zuverlässige Messung ist daher von besonderer Bedeutung und Gegenstand eines Preisausschreibens gewesen. Unter den physikalisch möglichen Lösungen [11] haben sich praktisch bisher nur diejenigen bewährt, bei denen die Höhe des Flüssigkeitsspiegels bei bekannter Behälterform ein Maß für den Inhalt gibt. Der Flüssigkeitsspiegel ist freilich neigungs- und beschleunigungsempfindlich und der Fehler wird um so größer, je größer das Verhältnis von Querschnitt zur Höhe ist; er läßt sich also verringern durch entsprechende Aufteilung oder Querwände.

a) Schauglas

Die Höhe eines Flüssigkeitsspiegels läßt sich am einfachsten und unmittelbar durch ein Schauglas beobachten. Zu den Schaugläsern sind auch diejenigen Vorrichtungen zu rechnen, bei denen durch einen Schwimmer mit Gestänge der Flüssigkeitsspiegel in einem durchsichtigen Rohr über oder unter dem Behälter (Flächentank) sichtbar gemacht wird. Schaugläser bedingen unmittelbar optische Ablesung; wenn sie auch aus unzerbrechlichem Werkstoff gefertigt werden, ist die Möglichkeit einer Undichtigkeit unter dem Flüssigkeitsspiegel unerwünscht (Abb. 13).

b) Schwimmer

Der Hub von Schwimmern, die senkrecht zum normalen Flüssigkeitsspiegel in einem Gestänge geführt werden, läßt sich mit (Angel-) Schnur über Rollen auf ein entferntes Anzeigergerät übertragen; jedoch muß die ganze Anordnung in Kraftstoff- und druckfeste Leitungen eingeschlossen werden.

Läßt man den Schwimmer bei seinem Hub eine Spindel drehen, so kann man diese Drehung durch einen Zeiger unmittelbar auf dem Tank in dichtem Gehäuse als Vorrat ablesen (Abb. 14).

Setzt man auf die Spindel einen Magneten, so vermag dieser in einem druckfest abgeschlossenen Gehäuse eine Magnetspule mitzuschleppen, die ein Potentiometer steuert und damit die Möglichkeit zu elektrischer Fernübertragung auf ein Kreuzpulgerät als Vorratsmesser gibt. Hierbei kann ein Anzeigergerät durch Umschaltung wieder zur Messung verschiedener Kraftstoffbehälter verwendet werden [12] (Abb. 15).

c) pneumatisch

Die Höhe einer Flüssigkeitssäule kann auch gemessen werden durch den Luftdruck, der erforderlich ist, sie vollständig zu verdrängen. Drückt man mit Hilfe einer kleinen rückfedernden Handpumpe (P) Luft in ein Tauchrohr (T), das sich dicht über dem Boden des Kraftstoffbehälters öffnet, so wirkt dieses als Überdruckventil und regelt in der Leitung einen Druck, der dem Gewicht der Flüssigkeitssäule entspricht und an einem empfindlichen Druckmeßgerät (A) als „Vorrat“ abgelesen werden kann. Meßgerät und Behälter müssen gleichen (statischen) Druck aufweisen. Die Leitung vom Kraftstoffbehälter zu Pumpe und Anzeigergerät bietet dadurch eine gewisse Gefahr, daß durch Beschleunigungs- oder Druck-Einwirkungen Kraftstoff in den Küh-

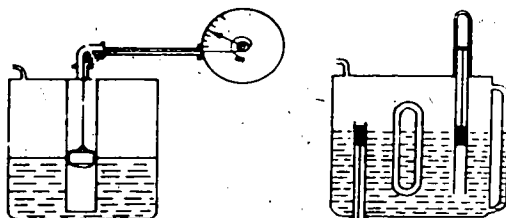


Abb. 14
Abb. 13 (rechts)

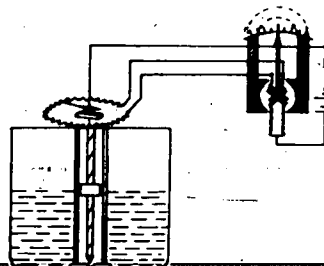


Abb. 15

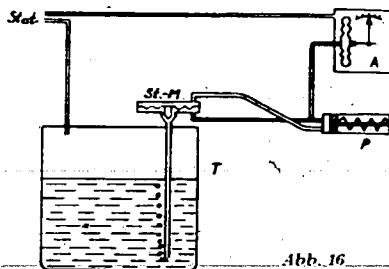


Abb. 16

resitz gelangen kann. Dem begegnet man durch ein Membran-Steuerdruckventil (St.-M), das auch die Leitung zum Anzeigergerät nur solange öffnet, als diese unter dem Überdruck der von der Pumpe ausströmenden Luft steht (Abb. 16).

Die Erzeugung des erforderlichen Meßdruckes für Dauerausgabe kann auch durch besondere kleine Pumpen oder Luftfänger in den Kraft- und Schmierstoffleitungen vor den betreffenden Behältern erfolgen.

3. Verbrauch

Die Verbrauchsmessung ersetzt nicht die Vorratsmessung, da Leckverluste nicht erfaßt werden. Die Überwachung des Verbrauches ist aber insofern von Bedeutung, als durch sparsamste Einregelung des Kraftstoff-Verbrauches der Kraftstoffvorrat und damit die Flugdauer gestreckt werden.

Die Messung des Verbrauches erfolgt auf hydrodynamischer Grundlage durch Bestimmung des Strömungswiderstandes in einem schwach kegelförmig sich erweiternden Rohr (Rotameter) oder durch Messung der statischen Druckunterschiede an einer Düse. Während die erste Messung unmittelbar abgelesen werden muß, kann die zweite hydraulisch oder elektrisch fernübertragen werden [13].

Schrifttum

- [1] E. Horn, Beurteilung neuzeitlicher Drehzahlmesser, Maschinenbau, Bd. 12 (1933), S. 98.
- [2] W. Hort, Über die Nacheilung der zwangsläufigen Geschwindigkeitsmesser.
- [3] NACA Rep. Nr. 129.
- [4] W. Hofmann, Elektrische Ferndrehzahlmesser für Flugzeuge, Luftf.-Forsch., Bd. 13 (1936), S. 25 (s. a. Forschungsbericht FB 364 bis 368).
- [5] W. Hofmann, Die Ausführbarkeit elektrischer Flugzeug-Instrumente mit 270° Ausschlag, Forschungsbericht FB 305.
- [6] C. J. Stewart, Aircraft Instruments, Chapman and Hall, London 1930, S. 105 - 109.
- [7] Journal of Optical Soc. a. Rev. of Scient. Instr., Bd. 12 (1926), S. 250.
- [8] K. Bennewitz, Flugzeug-Instrumente, Verlag Schmidt u. Co., Berlin 1922.
- [9] A. Klosterhaffen, Meßfehler bei Thermometereinsbauten, Forsch., Bd. 9 (1938), S. 279.
- [10] W. Fischer, Entwicklungsstand der Druckmesser mit elektrischer Fernanzeige, Forschungsbericht FB 488.
- [11] Hofmann und Hellwig, Die kapazitive Vorratsmessung im Flugzeug, Forschungsbericht FB 390.
- [12] Hofmann und Peschke, Die Anwendbarkeit elektrischer Vorratsmesser Schwimmer, Widerstandsender und Kreuzspul-Instrument, Forschungsbericht FB 374.
- [13] Hofmann und Peschke, Untersuchung des elektrischen Brennstoffverbrauchsmessers der Fa. Hartmann u. Braun, Forschungsbericht FB 411 und Nachtrag.

Abgeschlossen am 31. Oktober 1940