

# Eine neue widerstandsarme Düse zur Totalenergiekompensation von Variometern

Dipl.-Phys. D. Althaus

Institut für Aero- und Gasdynamik der Universität Stuttgart

Vorgetragen beim XII. OSTIV-Kongress in Alpine, Texas, USA (1970)

Bei den heutigen Leistungsseglflugzeugen mit ihrer hohen Geschwindigkeitsspanne werden auch an die Instrumentierung höhere Anforderungen gestellt. Gleitfluggeschwindigkeiten von 150 km/h und mehr sind durchaus üblich. Da die Flugzeuge kleinen Widerstand besitzen, kann durch Verminderung der Fluggeschwindigkeit ein grosser Höhengewinn erzielt werden, indem Bewegungsenergie in Lageenergie umgesetzt wird. Die Totalenergie (Summe aus Bewegungs- und Lageenergie) bleibt dabei konstant, wenn kein Auf- oder Abwind durchfliegen wird. Ein nicht kompensiertes Variometer würde infolge der grossen Höhenänderung eine grosse Steiggeschwindigkeit anzeigen, ein «totalenergiekompensiertes» Variometer zeigt das zur Fluggeschwindigkeit gehörige polare Sinken an, seine Anzeige ändert sich nur, wenn sich die Totalenergie des Flugzeugs durch Steigen im Aufwind oder Fallen im Abwind ändert. Durch Geschwindigkeitsänderungen (Knüppelthermik) erzielte Steig- bzw. Sinkgeschwindigkeiten werden herauskompensiert. Die mechanische Kompensation mit Hilfe von Membrandosen erfordert eine Membran, die über eine grosse Geschwindigkeitsspanne eine mit dem Staudruck lineare Volumenänderung besitzt. Die Grösse der Volumen-

änderung pro Druckänderung muss an das Volumen des Ausgleichsgefässes angepasst sein. Diese Anpassung stimmt nur für eine bestimmte Flughöhe. Abgesehen von der Schwierigkeit, Membrandosen mit der geforderten Kennlinie herzustellen, kann sich diese Kennlinie im Laufe der Zeit, z. B. durch Alterung, verändern.

Die einfachere und billigere Methode der pneumatischen Kompensation wurde bereits 1948 von Irving angewandt, der auch die dafür geeignete Düse, die sogenannte Irving-Düse, entwickelte. [F. G. Irving: Total Energy Variometer, OSTIV-Publikationen III.] Dort ist auch das Prinzip der pneumatischen Kompensation beschrieben. Eine Totalenergie-Kompensiersonde muss den Beiwert  $-1$  besitzen, d. h. der von ihr erzeugte Unterdruck muss gleich gross sein wie der Staudruck. Sie wird lediglich an den statischen Druckanschluss des Variometers angeschlossen. Die Grösse des Ausgleichsgefässes ist beliebig, die Kompensation ist in allen Flughöhen richtig.

Da die von Irving entwickelte Düse einen grossen Widerstand besitzt, ist sie zum Einbau in ein Leistungsflugzeug kaum geeignet. Aus diesem Grunde wurde eine neue, widerstandsarme Düse entwickelt, die in Abbildung 1 dargestellt ist. Zum Grössenvergleich ist eine Zigarette mit abgebildet. Abbildung 2 zeigt eine Skizze des konstruktiven Aufbaus. Zum Vergleich ist im oberen Teil die Irving-Düse, eine Venturidüse mit grosser Endscheibe im gleichen Grössenverhältnis, dargestellt. Die neue Düse besteht nur aus einem Rohr, in dem zwei zylindrische Störkörper angebracht sind. Einer dieser Störkörper ist ein Röhrchen, in welchem der Druck abgenommen wird. Bei Durchströmung der Düse entstehen an den Störkörpern Uebergeschwindigkeiten, die den Unterdruck erzeugen, hinter den Störkörpern löst sich die Strömung laminar ab. Die Anzeige der Düse ist daher nahezu unabhängig von der Reynolds-Zahl und damit der Fluggeschwindigkeit. Die Grösse des erzeugten Unterdrucks hängt vom Abstand der Störkörper ab. Er wird an jeder Düse individuell im Windkanal auf den Beiwert  $-1$  eingestellt. Der Beiwert der Düse beträgt bei einer Fluggeschwindigkeit von 80 km/h  $-0,98$ , bei 120 km/h  $-1,00$ , bei 200 km/h  $-1,02$ .

Diese geringe Geschwindigkeitsabhängigkeit macht sich in der Kompensationswirkung nicht bemerkbar. Innerhalb eines Schiebewinkelbereichs von  $\pm 10^\circ$  bleibt der Beiwert konstant. Dieser Winkelbereich reicht bei richtigem Einbau, wie die Erprobung zeigte, vollkommen aus.

Wenn man zur Abschätzung des Strömungswiderstands der Düsen ohne Haltestiel für die Irving-Düse mit Strömungsablösung an der Endscheibe einen Widerstandsbeiwert  $c_w = 1$ , bezogen auf den Durchmesser, annimmt, so hat die neue Düse mit demselben  $c_w$ -Wert  $1/5$  des Widerstands der Irving-Düse, wobei der Widerstandsbeiwert der neuen Düse sicher kleiner als 1 ist.

Am Flugzeug muss die Düse so angebracht werden, dass sie sich in einem Gebiet ungestörter Strömungsgeschwindigkeit befindet. Der geeignetste Einbauort ist am oberen Drittel der Seitenflosse. Die Düse wird dabei mit einem parallel zur Düsenachse verlaufenden Rohr befestigt. Da das parallel angeströmte Halterohr einen kleinen Widerstand besitzt, dürfte so der geringste Zusatzwiderstand entstehen. Auch an der Rumpfoberseite zwischen Flügel und Leitwerk, etwa  $2/3$  des Abstands Flügel-Leitwerk hinter dem Flügel, kann die Düse eingebaut werden. Bei Flugzeugen mit nicht eingestakter Haube kann der Einbau auch etwa 10 cm vor der Haube erfolgen. Da bei den letzten Einbauorten der Haltestiel der Düse senkrecht zu seiner Achse angeströmt wird, sollte ein möglichst dünnes und kurzes Rohr verwendet werden, um den Zusatzwiderstand gering zu halten. Ein quer angeströmtes Rohr mit 10 mm Durchmesser besitzt denselben Widerstand wie ein Stück Tragflügel derselben Länge. Die Längsachse der Düse muss so orientiert sein, dass der zulässige Schiebewinkel von  $\pm 10^\circ$  nicht überschritten wird.

Nach dem Einbau müssen das Variometergehäuse und alle Leitungen auf Dichtheit geprüft werden. Der Anschluss mehrerer Variometer an eine Düse ist möglich.

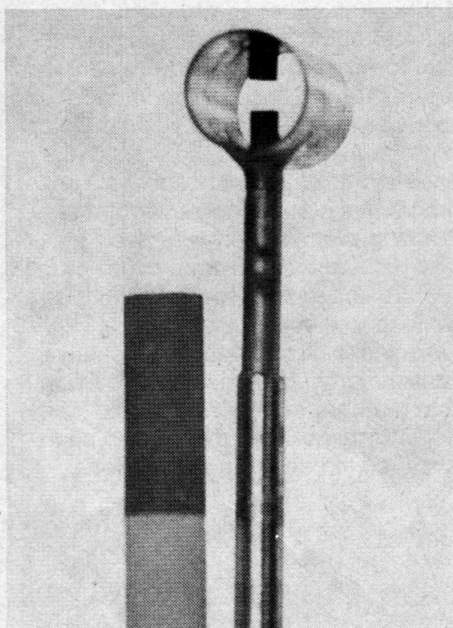


Abb. 1. Die neue Düse mit einer Zigarette zum Grössenvergleich.

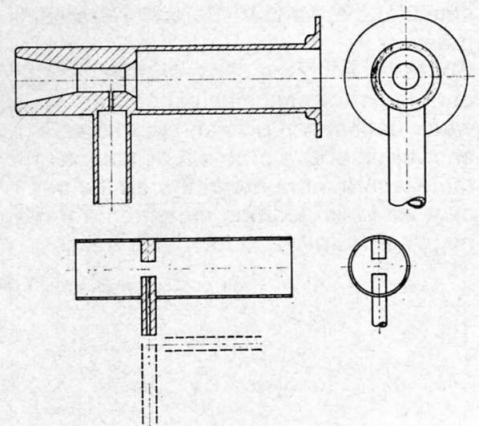


Abb. 2. Düsen zur Totalenergiekompensation.