

## Die Funktion des Variometers vom Standpunkte des Segelfluges

Von B. Gumpert

Vortrag am 6. Kongreß der OSTIV, St-Yan (Frankreich), Juli 1956

Trotz aller Bemühungen, das Variometer durch auf andern Prinzipien beruhende Geräte zu ersetzen, ist es noch immer das wesentlichste Instrument des Segelfluges. Es erscheint daher angebracht, von diesem Standpunkt aus die Funktion und Leistungsgrenzen des Variometers klarzustellen. Dadurch sollen dem Segelflieger die Grundlagen für die Ausrüstung seines Flugzeuges und seine Flugtaktik, dem Konstrukteur die für eine Weiterentwicklung des Gerätes notwendigen Daten zur Verfügung gestellt oder in Erinnerung gebracht werden.

Die Veröffentlichungen über das Variometer sind wenig bekannt; es ist daher zunächst eine kurze Wiederholung der Grundlagen notwendig, um die Zusammenhänge verständlich zu machen.

Die Wirkungsweise des Variometers besteht bekanntlich darin, daß bei einer Druckänderung bzw. Höhenänderung eine Ausgleichsströmung durch eine Kapillare in ein Ausgleichsgefäß entsteht. Die dadurch hervorgerufene Druckdifferenz an der Kapillare ist dann das Maß für die Höhenänderung.

Aus der Forderung, daß erstens Kräftegleichgewicht am Anzeigesystem bestehen muß, und zweitens, daß die durch die Druckänderung im Ausgleichsgefäß und die durch die Ausgleichsströmung verursachte Volumenänderung gleich sein müssen, ergibt sich unter Verwendung äußerster Vereinfachungen die Differentialgleichung des Variometers in der Form:

$$\frac{dz}{dt} + \frac{c}{af+q} z - \frac{a}{af+q} dp = 0$$

Dabei bedeutet:

$z$  die Anzeige,

$c$  den Düsenbeiwert, der angibt, wieviel  $\text{cm}^3$  je s bei der Anzeige  $z = 1$  durch die Düse strömen,

$q$  den sogenannten Volumenbeiwert des Instrumentes, der angibt, um wie viel  $\text{cm}^3$  sich das Volumen des Anzeigesystems ändert, wenn sich die Anzeige  $z$  um 1 m/s ändert,

$f$  den Federbeiwert, der angibt, welcher Druck in  $\text{g/cm}^2$  für die Anzeige  $z = 1$  m/s notwendig ist,

$a$  einen Beiwert, der bei konstantem Druck nur von der Größe des Ausgleichsgefäßes abhängt

$$a = \frac{Va}{p}; \text{ wobei } Va = \text{Volumen des Ausgleichsgefäßes.}$$

Mit Rücksicht auf die Übersichtlichkeit der Gleichung wurden die Annahmen in dieser Form getroffen; es ist aber sorgfältig zu beachten, daß diese Beiwerte nur unter bestimmten Voraussetzungen konstant sind.

Zu beachten ist ferner, daß  $dp$  eine Funktion der Zeit ist, für die beliebige Annahmen getroffen werden können. Üblicherweise wird dafür  $p = i v_y t$  zugrunde gelegt. Der Faktor  $i$  ist der Druckgradient je 1 m Höhe und identisch mit  $100 \gamma$ . Der Verlauf der Anzeige  $z$  folgt dann der Funktion

$$z = i v_y \frac{a}{c} \left( 1 - e^{-\frac{c}{af+q} t} \right)$$

Für die Zeit  $t = \infty$ , also im Beharrungszustand, wird

$$z = i v_y \frac{a}{c}$$

Diese Formel ermöglicht eine annähernde Überprüfung der Eichgenauigkeit ohne wesentlichen meßtechnischen Aufwand, denn die Beiwerte  $a$  und  $c$  können leicht mit behelfsmäßigen Mitteln gemessen werden.

Als Maß für die Anzeigeschnelligkeit kann entweder die Zeitkonstante  $k$  oder der sinnfällige Begriff der Halbwertzeit  $t_{z=0,5}$  verwendet werden. Dabei ist bekanntlich

$$k = \frac{af+q}{c} \text{ und } t_{z=0,5} = 0,7 k;$$

die Zeit, die zum Erreichen von 95% des Endwertes notwendig ist, beträgt:

$$t_{z=0,95} = 4 t_{z=0,5}$$

Im Ansatz der Gleichung wurden die Dämpfungs- und Massenkräfte vernachlässigt; dies könnte eventuell einen unzulässigen Fehler ergeben. Bevor daher aus diesem mathematischen Ansatz irgendwelche weiteren Folgerungen gezogen werden, ist zu überprüfen, inwieweit das Resultat mit der Praxis übereinstimmt.

Die Versuchsanordnung zur Nachprüfung wurde abweichend von der üblichen Anordnung so vorgenommen, daß ein Rezipient vermieden wurde. Dies hatte den Vorteil, daß bessere Filmaufnahmen erzielt werden konnten. Die Aufnahmen erfolgten mit einer Robot Royal, wobei die Schärfe der Aufnahmen eine Ablesung der Stoppuhr auf  $1/10$  s genau erlaubte. Schmalfilmaufnahmen erwiesen sich als nicht genügend auswertbar.

Bei dieser Anordnung ist absolute Dichtheit der Instrumentengehäuse notwendig; schon die geringste Undichtheit ergibt Meßfehler. Zur Aufhebung der Reibung war ein kleiner Vibrator angebracht.

Die Auswertung ergab zunächst eine große Streuung der Eichung (Abb. 1). Die Eichkorrektur bei großen Abweichungen muß über die Variometer-Gleichung erfolgen. Die so korrigierten Werte können nun den gerechneten Werten (mit bereits korrigierten Beiwerten) gegenübergestellt werden, wobei sich eine ausreichende Übereinstimmung ergibt (Abb. 2). Dabei ist zu berücksichtigen, daß die geringe Verzögerung zu Beginn zum Teil auch auf den nicht ganz plötzlichen Einsatz der Druckänderung zurückgeführt werden könnte.

Aus der für den vorliegenden Zweck ausreichenden Übereinstimmung zwischen Rechnung und Versuch ergibt sich die Berechtigung, die weiteren Untersuchungen rechnerisch durchzuführen.

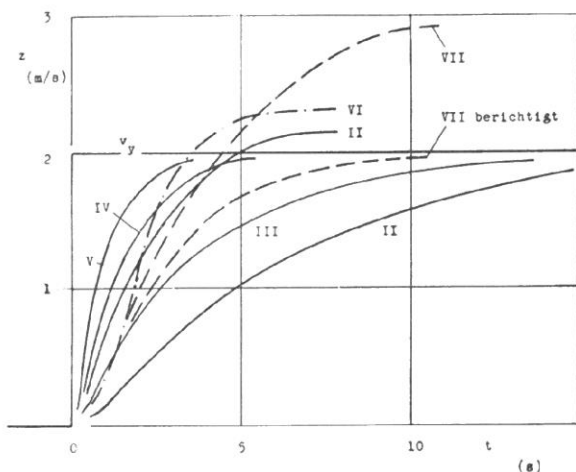


Abb. 1. Messung des Anzeigerlaufes verschiedener Variometertypen bei einer sprunghaften Änderung der Steiggeschwindigkeit: I Dosenvariometer, Normalausführung; II Drehflügelvariometer, Normalausführung; III Dosenvariometer mit empfindlichem Meßwerk und Gehäuse als Ausgleichsgefäß; IV Drehflügelvariometer, Neuausführung; V Drehflügelvariometer, Neuausführung, mit 1,3 l-Ausgleichsgefäß; VI Cosinvariometer; VII Bruns-Glasvariometer.

Das wesentliche Problem ist die Frage nach der Größe der Anzeigerverzögerung, deren Abhängigkeit und besonders der Auswirkung dieser Verzögerung unter zwar idealisierten, aber doch der Flugpraxis entsprechenden Annahmen.

Der Vergleich in Abb. 1 zeigt, daß wesentliche Unterschiede nur zwischen den Dosenvariometern und der durch Stauscheibenvariometer, Cosinvariometer und Glasvariometer gebildeten Gruppe bestehen. Die Bezeichnung «Stauscheibenvariometer» ist übrigens wenig zutreffend. In der Folge wird daher dieser Variometertyp, einem Vorschlag von Jaeck entsprechend, als Drehflügelvariometer bezeichnet.

Bevor nun die Maßnahmen zur Verbesserung der Anzeigerverzögerung besprochen werden, muß der Wert und der Einfluß der Verzögerung für die Segelflugpraxis geklärt werden.

Die vorhin zugrunde gelegte Sprungfunktion ist zwar mathematisch einfach, gibt ein klares Bild über die Zusammenhänge und ist versuchstechnisch einfach darstellbar. Sie ist aber von allen möglichen Funktionen der Aufwindverteilung die am wenigsten der Praxis entsprechende. Bessere Übereinstimmung ergibt sich durch Annahme einer periodischen Funktion. Man kann z. B. den Ansatz machen:

$$dp = i v_y \sin(nt - \gamma) dt$$

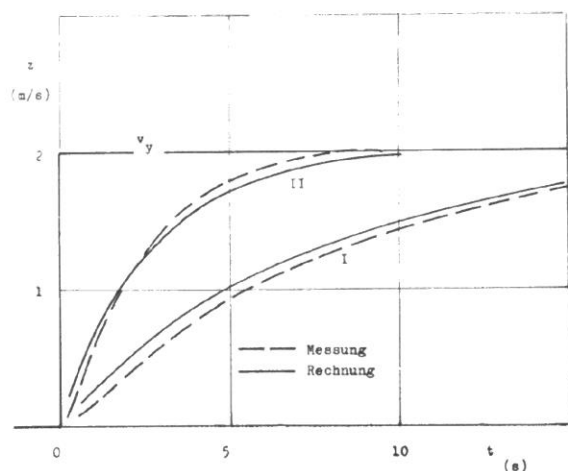


Abb. 2. Vergleich von Messung und Rechnung des Anzeigerlaufes des Variometers I und II

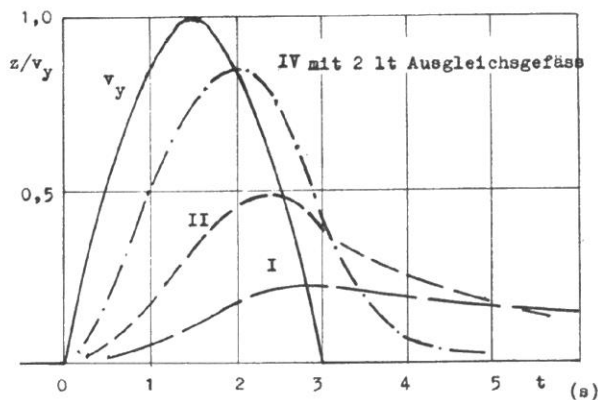


Abb. 3. Anzeige verschiedener Variometertypen bei einer Steiggeschwindigkeitsverteilung in Form einer sinusförmigen Halbperiode von 3 s Dauer. Eine Berücksichtigung der Sinkgeschwindigkeit des Flugzeuges hätte nur eine Verschiebung der t-Achse zur Folge

Eine Halbperiode entspricht dann z. B. dem Querschnitt eines Aufwindfeldes. Die Funktion des Anzeigerlaufes ergibt sich daraus mit:

$$z = \frac{a i v_y}{c^2 + A^2 n^2} \cdot e^{-\frac{c}{A} t} \cdot \frac{A n}{c^2 + A^2 n^2} + \sin(nt + \alpha + \gamma)$$

$$\sin \alpha = -\frac{A n}{c^2 + A^2 n^2}; \cos \alpha = \frac{c}{c + A^2 n^2}; A = a f + q$$

Wenn nun als Beispiel für die Breite des Aufwindgebietes 3 s angenommen werden, was bei normaler Fluggeschwindigkeit etwa 60 m Durchmesser entspricht, so ergibt sich der in Abb. 3 dargestellte Verlauf der Anzeige. Das Dosenvariometer täuscht ein viel flacheres, breiteres und in der Flugrichtung verschobenes Aufwindgebiet vor. Das normale Drehflügelvariometer liefert bereits eine interpretierbare Anzeige. Weiter ist noch die Anzeige eines Drehflügelvariometers mit einem Ausgleichsgefäß von 2 l Volumen und entsprechend geänderten Beiwerten eingetragen. Dieses Gerät liefert eine praktisch übereinstimmende Anzeige. Die Anzeigerverzögerung entspricht dann schon der Größenordnung der Reaktionszeit des Flugzeugführers.

Der Verlauf der Anzeige bei einer Halbperiode von 6 s, entsprechend dem Durchfliegen eines Aufwindgebietes von 120 m Durchmesser, ist in Abb. 4 dargestellt. Bei der Annahme größerer Aufwindgebiete würde die bereits erkennbare Angleichung des Anzeigerlaufes der beiden Variometertypen untereinander und gegenüber der tatsächlichen Sinkgeschwindigkeit noch weiter fortschreiten.

Zur Beurteilung des Zusammenhanges und des Einflusses der Anzeigerverzögerung muß noch die Flugbahn beim Anfliegen eines Aufwindgebietes einigermaßen maßstabgerecht betrachtet werden. Das in Abb. 5 zugrunde gelegte Aufwindgebiet kann entweder ein kleines, nicht anfliegbares, aber auf der Flugbahn liegendes oder ein links oder rechts der Flugbahn befindliches großes Aufwindfeld sein. Die gezeichnete Flugbahn ergibt sich unter der Annahme, daß das Variometer 2 s bis zu einer deutlichen Anzeige braucht, ferner die Entschlußzeit des Flugzeugführers 1 s beträgt und das Flugzeug zum Erreichen der stabilen Kurvenlage 4 s benötigt. Dieser Sachlage nach ist es sehr fraglich, ob bei der üblichen Taktik, entsprechend der Flugbahn a, die vorhandenen Aufwindfelder gefunden werden, bestenfalls nach einigen wahllosen Suchkurven. Dabei ist zu beachten, daß das Variometer dem Flugzeugführer ein breiteres und später liegendes Aufwindgebiet vortäuscht. Daraus ergibt sich die Zweckmäßigkeit einer Flugtaktik entsprechend der Flugbahn b. Eine Verrin-

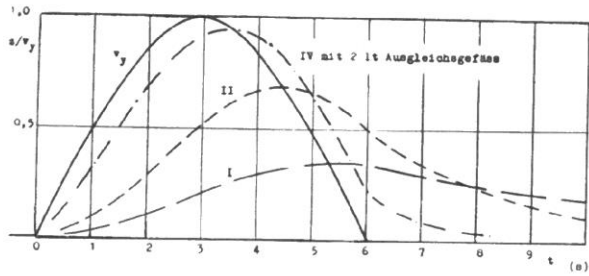


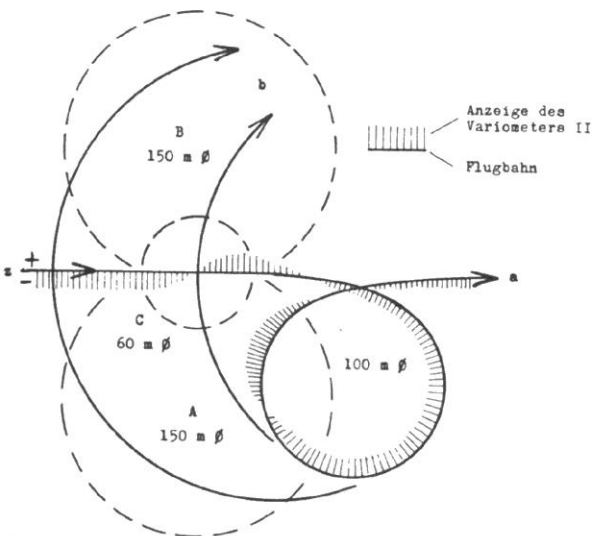
Abb. 4. Anzeige verschiedener Variometertypen bei einer Steiggeschwindigkeitsverteilung in Form einer sinusförmigen Halbperiode von 6 s Dauer

gerung der Anzeigeverzögerung des Variometers würde darauf nur von untergeordnetem Einfluß sein.

Es wäre nun noch der Fall zu untersuchen, wenn nicht ein einzelnes Aufwindgebiet, sondern ein periodischer Wechsel von Auf- und Abwind durchflogen wird. Dabei ergibt sich eine Phasenverschiebung, also eine Verzögerung und eine Verringerung der angezeigten Amplitude. Aus der graphischen Darstellung in Abb. 6 ist zu ersehen, daß die Anzeigeverzögerung des an sich trägen Dosenvariometers nicht größer ist als die des Drehflügelvariometers; die Amplitude ist allerdings nur etwa halb so groß.

Der Vollständigkeit halber wäre nun noch die Anzeige beim Übergang aus dem Steigflug des Windenstartes in den freien Flug zu untersuchen. Es ist verständlich, daß das träge Dosenvariometer vom Steigflug her einen größeren Fehlbetrag mit schleppt und schon deshalb längere Zeit zum Abklingen benötigt. Die Unterschiede zwischen Drehflügel- und Dosenvariometer prägen sich dabei deutlicher als sonst aus. Die genauen Verhältnisse sind aus Abb. 7 zu entnehmen. Das Drehflügelvariometer hat nach etwa 3 s und das Dosenvariometer nach etwa 12 s nur noch eine vernachlässigbare Fehlanzeige. Für den Flugzeugführer ist zu beachten, daß eine Anzeige von 2 m/s beim Dosenvariometer bzw. 1 m/s beim Drehflügelvariometer vor dem Ausklinken bereits Horizontalflug bedeutet.

Aus den ziffernmäßig dargestellten Zusammenhängen ergibt sich, daß die Unterschiede der Anzeigeverzögerung nicht so groß sind und vor allem keine so ausschlaggebende Rolle spielen, wie oft angenommen wird. Immerhin ist die Anzeigeverzögerung ein wesentlicher Faktor für die Beurteilung eines Variometers.



5. Flugbahn und Variometeranzeige beim Anfliegen eines Aufwindgebietes. Der ersten Variometeranzeige sind die Aufwindgebiete A, B, C möglich

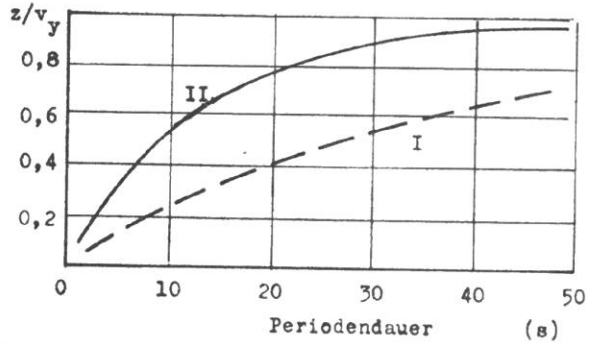
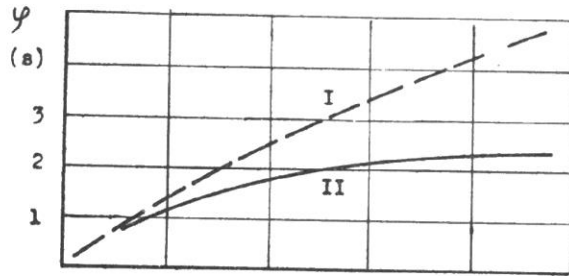


Abb. 6. Phasenverschiebung  $\varphi$  und Amplitudenverhältnis  $z/v_y$  der Anzeige des Variometers I und II bei periodischer sinusförmiger Auf- und Abwindverteilung

Es wären daher nun die Möglichkeiten zu klären, die zu einer Verringerung oder auch Vergrößerung der Anzeigeverzögerung des Variometers bestehen.

Für die Verzögerung ist die Zeitkonstante

$$k = \frac{af + q}{c}$$

maßgebend. Dabei muß wegen der Eichung  $\frac{ia}{c}$  konstant gehalten werden. Die einzelnen Beiwerte betragen für übliche Instrumente in Bodennähe z. B.:

Drehflügelvariometer:

$$\begin{aligned} a &= 0,117 \\ c &= 0,05 \\ f &= 0,002 \\ q &= 0,12 \end{aligned}$$

Dosenvariometer:

$$\begin{aligned} a &= 0,468 \\ b &= 0,056 \\ f &= 0,4 \\ q &= 0,22 \end{aligned}$$

Unter Berücksichtigung der Eichkonstanz ergibt sich dann:

$$k = \frac{1}{i} \left( f + \frac{q}{a} \right)$$

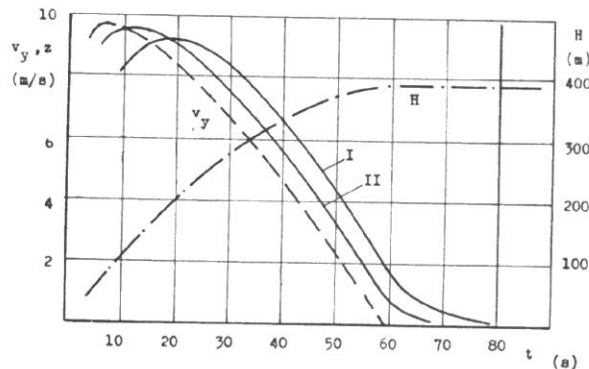


Abb. 7. Verlauf der Anzeige der Variometer I und II während eines Windenstartes

A  
luc  
lot  
re  
the  
ud  
rds  
en-  
bed  
ere  
sty  
the  
dor

or  
0),  
rds  
ate  
oll  
is  
ver  
m-  
of  
ler  
In  
tes  
he  
of  
all

ud  
de  
se  
ot  
er

KILOMETERS

Für das Drehflügelvariometer ist infolge der Kleinheit von  $f$  das Volumen des Ausgleichsgefäßes und der Volumenbeitrag des Instruments fast linear für die Zeitkonstante maßgebend. Zur Verkleinerung der Anzeigeverzögerung muß demnach der Drehflügel und dessen Weg für die Anzeige  $z = 1$  möglichst klein gemacht werden, bzw. beim Dosenvariometer die Volumenänderung des Dosensystems oder, als einfachste Maßnahme, das Ausgleichsgefäß vergrößert werden. Allerdings muß dann der Düsenbeiwert entsprechend geändert werden. Bei einer behelfsmäßigen Durchführung kann die Abgleichung durch Messung der Beiwerte  $a$  und  $c$  erfolgen. Die elegantere Lösung ist aber, das Anzeigesystem zu verkleinern. Dies kann allerdings nur bei einer Herstellerfirma geschehen. Auf diese Weise geänderte Geräte sind nun bereits seit etwa zwei Jahren in Betrieb.

Die durch diese Maßnahmen erreichte Verbesserung läßt sich, wie ersichtlich, ohne weiteres so weit treiben, daß alle, auch die extremsten Forderungen erfüllt werden können. Schon deshalb sind Sonderentwicklungen, wie z. B. eine elektrische Meßwertanzeige, nicht sinnvoll, abgesehen davon, daß dies meist zusätzliche Mängel und größeres Gewicht bedingt.

Der Vollständigkeit halber sind auch die Maßnahmen zur Vergrößerung der Zeitkonstante zu besprechen. Dies erfolgt am besten durch Einschalten einer kleinen Lochblende in die statische Druckleitung bzw. in die Leitung zur Düse beim Gesamtenergie-Variometer, möglichst nahe beim Instrument.

Eine Blende von 0,3 mm Durchmesser vergrößert die Zeitkonstante des normalen Drehflügelvariometers auf das Doppelte. Infolge des Temperatureinflusses wird die Zeitkonstante in 10 000 m Höhe um etwa 40 % größer. Die Eichung wird durch das Einschalten der Blende nicht beeinflusst.

Einen entscheidenden Fortschritt der Variometerkonstruktion oder besser der Variometeranordnung stellt zweifellos das Gesamtenergievariometer dar. Die Wirkungsweise wird aber oft nicht ganz klar erkannt. Die mathematischen Grundlagen wurden bereits 1954 bei der OSTIV-Tagung und auch in der Fachliteratur vorgebracht. Es ist dabei zu beachten, daß die mathematischen Ableitungen noch die Differentiale enthalten und daher nur für einen kurzen Zeitabschnitt gültig sind. Daraus hat sich allgemein in der praktischen Segelfliegerei die Ansicht gebildet, daß das Gesamtenergievariometer immer und ausschließlich nur den tatsächlichen Auf- oder Abwind, bezogen auf die normale Sinkgeschwindigkeit des Flugzeuges, anzeigt. Daß dies unlogisch ist, wurde oft übersehen.

Es empfiehlt sich daher, auch diesbezüglich den Verlauf der Anzeige für ein Beispiel zu rechnen. Am einfachsten ist dazu folgende Annahme:

Ein Segelflugzeug fliege zunächst mit gleichmäßiger Normalgeschwindigkeit von 20 m/s und habe dabei eine Sinkgeschwindigkeit von 0,7 m/s. Plötzlich wird es so vorgedrückt, daß die tatsächliche Sinkgeschwindigkeit 1,7 m/s beträgt. Die Fluggeschwindigkeit nimmt dann allmählich bis zum Erreichen des neuen Gleichgewichtszustandes zu.

Der sich dabei ergebende Druckverlauf läßt sich durch die Exponentialfunktion

$$p = u \left( t + \frac{m}{n} e^{-nt} \right)$$

angleichen.

Daraus ergibt sich die Lösung der Variometergleichung mit

$$z = \frac{a n}{c} \left( 1 + e^{-\frac{c}{A} t} \left( \frac{m c}{c - n A} - 1 \right) - \frac{m c}{c - n A} e^{-nt} \right)$$

Aus der graphischen Darstellung in Abb. 8 ergeben sich leicht die Zusammenhänge. Zunächst ist die volle Kompensation zur Zeit  $t = 0$  zu erkennen. Dann strebt aber langsam die Anzeige dem neuen Gleichgewichtswert zu. Allgemein entspricht die Anzeige bei nicht zu plötzlichen Änderungen mit einer größeren Verzögerung derjenigen Sinkgeschwindigkeit, die das Flugzeug bei der betreffenden Fluggeschwindigkeit im stationären Zustand haben würde, auch dann, wenn dies ein unstationärer Flugzustand ist. Dem überlagert sich unverändert mit normaler Verzögerung die Vertikalgeschwindigkeit der Luft.

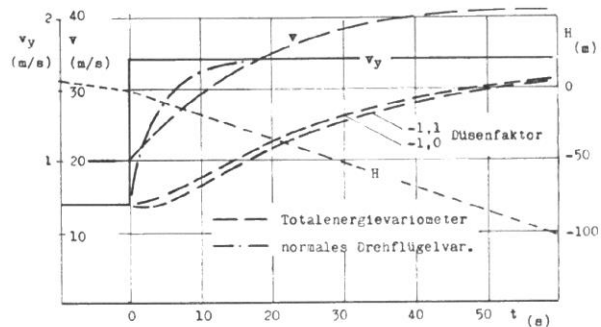


Abb. 8. Anzeigeverlauf eines Totalenergievariometers (Drehflügelvariometer II) bei einer Änderung der Sinkgeschwindigkeit

Es ist unter Umständen vorteilhaft, auch ein normal geschaltetes Variometer zur Verfügung zu haben. Da der Platz am Instrumentenbrett meist sehr knapp ist, empfiehlt sich die Verwendung eines Umschalthehns. Dieser Hahn muß zwischen den beiden Betriebsstellungen eine Ausgleichsstellung aufweisen, um das Druckniveau zwischen den beiden Betriebsweisen während des Umstellvorgangs abzugleichen.

Es kann natürlich jedes Variometer als Gesamtenergievariometer geschaltet werden, nicht nur das als solches in den Handel kommende Cosinvariometer. Auch der Düsenbeiwert ist vom Instrument unabhängig. Am besten wird die übliche Venturi-Fahrtmesserdüse mit einer Anzapfung für den Faktor  $-1$  verwendet, wie dies von Vögeli in der «Schweizer Aero-Revue» (Heft 3/55) beschrieben wurde. Dort ist auch ein Gerät beschrieben, das im Falle der Verwendung eines Pitotrohres für den Fahrtmesser an Stelle der sonst notwendigen Düse für das Variometer verwendet werden kann.

Es wären nun noch die Fehlermöglichkeiten des Variometers zu besprechen. Um unnötigen Aufwand zu vermeiden, muß die zulässige Fehlergrenze berücksichtigt werden, die für den Segelflug etwa 10 % des Meßwertes beträgt. Es ist aber wichtig, daß der Nullpunkt des Gerätes mit einer Genauigkeit von  $\pm 0,1$  m/s festliegt. Die theoretischen Grundlagen wurden ausführlich in dem Bericht von Bestelmeyer «Grundlagen und Eigenschaften des Variometers» beschrieben, so daß hier nur das Ergebnis, soweit es von praktischem Belang ist, erwähnt wird.

Vor allem muß betont werden, daß die Anzeige des Variometers in jeder Höhe richtig ist. Die möglichen Fehlerquellen liegen unterhalb der angenommenen Grenze, falls die Temperaturdifferenz zwischen Gerät und Außenluft nicht allzu groß wird. Sehr zu beachten ist aber die Fehl Anzeige, die durch Temperaturänderungen des Ausgleichsgefäßes entsteht. Die dadurch verursachte Nullpunktverschiebung kann wesentliche Werte annehmen. In Abb. 9 ist die Nullpunktverschiebung zweier extrem liegender Variometer dargestellt. Fehler dieser Größe können leicht durch Sonneneinstrahlung am Boden verursacht werden. Aber auch während eines stetigen Steigfluges mit größerer Höhendifferenz entsteht durch die Temperaturänderung eine Temperaturdifferenz und dadurch

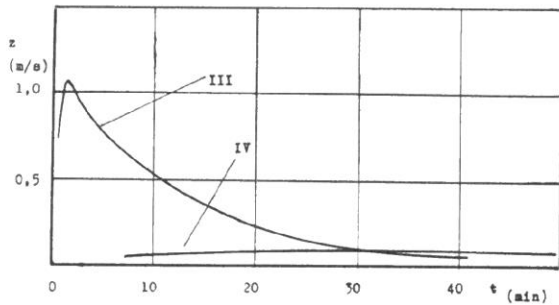


Abb. 9. Messung der Nullpunktverschiebung bei einer Temperaturdifferenz von 30°

ein Fehler. Die Größe der so entstehenden Verschiebung ist in Abb. 10 dargestellt.

Als Abänderung gegen diese sehr irreführende Nullpunktänderung, die im Fluge nicht festgestellt werden kann, muß zunächst eine starke Erwärmung des am Boden stehenden Flugzeuges vermieden werden. Ferner kann zur Erhöhung der Wärmeträgheit in das Ausgleichsgefäß z. B. 50 bis 100 g Kupferdraht eingefüllt werden. Eine Änderung der Eichung tritt dadurch praktisch nicht ein.

Es ist interessant, daß die Zeitkonstante des Drehflügelvariometers in der Höhe geringer ist als am Boden, die des Dosenvariometers aber größer. Zum Nachweis ist zu beachten, daß die bisher als konstant betrachteten Beiwerte  $a$  und  $c$  druck- bzw. temperaturabhängig sind. Es ist also

$$a = a_0 \frac{p_0}{p} \text{ und } c = c_0 \left( \frac{T_0}{T} \right)^{0,8}$$

$$\text{damit wird dann } \frac{k}{k_0} = \frac{\frac{p_0}{p} a_0 f + q}{\left( \frac{T_0}{T} \right)^{0,8} (a_0 f + q)}$$

Nun ist  $f$  beim Drehflügelvariometer 0,002 und beim Dosenvariometer 0,4. Es überwiegt daher beim Drehflügelvariometer der Temperatureinfluß und beim Dosenvariometer der Druckeinfluß. Es wird z. B. in 10 000 m Höhe

$$\text{beim Drehflügelvariometer } \frac{k}{k_0} = 0,83$$

$$\text{beim Dosenvariometer } \frac{k}{k_0} = 1,87$$

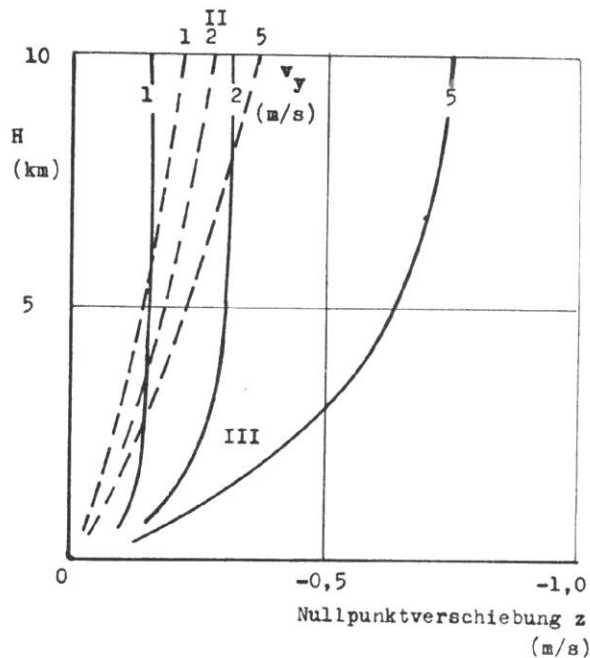


Abb. 10. Nullpunktverschiebung infolge der Temperaturänderung beim gleichmäßigen Steigen mit  $v_y = 1, 2$  und  $5$  m/s vom Boden bis zur Höhe  $H$ . Variometer II und III

Beim Drehflügelvariometer ist also in der Höhe die Anzeigeverzögerung geringer als am Boden, beim Dosenvariometer aber bedeutend größer.

Damit wären die wesentlichsten Eigenschaften des Variometers, soweit sie für den Segelflug von Interesse sind, dargestellt. Es prägt sich dabei klar die Erkenntnis ab, daß das Drehflügelvariometer ein äußerst empfindliches und auch verlässliches Instrument ist, das kaum durch irgendwelche anderen Anzeigesysteme übertroffen werden kann. Durch geringe Änderungen, wie z. B. Verkleinerung des Anzeigesystems oder Vergrößerung des Ausgleichsgefäßes und wahlweise Schaltung als Normal- und Gesamtenergievariometer, können auch die eventuell noch zu stellenden Forderungen der Praxis erfüllt werden. Für Neukonstruktionen ist daher nur die Problemstellung, nicht etwas Besseres, sondern etwas Billigeres bei gleicher Güte zu entwickeln, berechtigt.

Wichtig wäre es, das Prinzip des Luftdruckvariometers zu verlassen oder zu ergänzen und ein Thermikanzeigergerät auf gänzlich neuer Basis zu entwickeln. Damit könnten dem Segelflug neue Möglichkeiten eröffnet werden.