

Volker Cseke
Ahrbergstraße 16
3000 Hannover 91
0511 / 451562

Totalenergiekompensation von Variometern

Vortrag zur Problematik der Kompensation
von Variometern mit Hilfe von Strömungs-
sonden

Vorwort

Wohl kaum ein anderes Thema ist in den Segelfliegerkreisen so viel diskutiert und mit so vielen Meinungen versehen wie die Totalenergiekompensation des Segelflugzeugvariometers. Veröffentlichungen zu diesem Thema lassen sich oft mit dem Ausspruch von Georg Christoph Lichtenberg belegen, der da lautet:

*Es läßt sich ohne sonderlich
viel Witz so schreiben, daß
ein anderer sehr viel haben
muß, es zu verstehen.*

Der vorliegende Zusammentrag von verschiedenen Veröffentlichungen, Vorträgen und den vom Verfasser in der Akaflieg Braunschweig und anderen Orten gemachten Erfahrungen soll dem interessierten Segelflieger Mittel und Wege an die Hand geben, sich ein Bild über die vorhandenen und benutzten Variometerkompensationen zu machen. Ferner möchte ich allen, die sich mit diesem Thema beschäftigen, Hilfen bei dem Bau und der richtigen Anpassung einer Kompensation an ihr Variosystem an die Hand geben. Der Vortrag erhebt nicht den Anspruch auf Vollständigkeit, dies ist durch die große Anzahl an verschiedenen Veröffentlichungen und Vorträgen sicher nicht möglich. Vereinfachungen wurden bewußt gewählt, um auch dem Nichtflugwissenschaftler mit Rat zur Seite zu stehen.

Gliederung

	Seite
1. Einleitung	3
2. Prinzip der Kompensation	4
3. Meßsonden zur Totalenergiekompensation	6
4. Windkanalmessungen an Meßsonden	8
5. Anbringung der Sonden am Segelflugzeug	10
6. Einstellen der Kompensationsstärke	12
7. Verzeichnis der Bilder	14
8. Bilder	15
9. Anhang	28

1. Einleitung

In den meisten unserer Segelflugzeuge sind Variometer eingebaut, die in irgendeiner Form totalenergiekompensiert sind. Dies geschieht entweder pneumatisch durch Membrankompensatoren oder Strömungssonden oder aber elektrisch. In Bild 1 sind diese Möglichkeiten in einer Übersicht dargestellt.

Im folgenden Schriftsatz wird ausschließlich auf die Kompensation von Variometern mit Hilfe von Strömungssonden eingegangen.

Nun sind zwar die Strömungssonden sehr zuverlässig und auch relativ preiswert bzw. einfach nachzubauen, nur erhält man häufig keine so recht zufriedenstellende Anzeige, insbesondere wenn sehr schnelle Variometer (Zeitkonstante $T < 1 \text{ sec}$) benutzt werden.

Da in den heutigen Hochleistungssegelflugzeugen im Regelfall ein solches Variometer eingebaut ist, ergibt sich für den Piloten der Wunsch und für den Leistungssegelflug auch der Zwang nach der einwandfreien Totalenergiekompensation des Variometers. Anzumerken ist an dieser Stelle, daß es auch für Schulungssegelflugzeuge wichtig ist, mit einem totalenergiekompensierten Variometer ausgerüstet zu sein. Nur so ist der Flugschüler in der Lage, sich beim Überlandfliegen schnell auf das Vario einzustellen. Auch sollte in einem Verein ein einheitliches Instrumentensystem mit einer einheitlichen Charakteristik in allen Flugzeugen zur Verfügung stehen, um an dieser Stelle möglichst viel Routine und Vertrautheit entstehen zu lassen. So wird Aufmerksamkeit frei und das Fliegen sicherer.

2. Prinzip der Kompensation

Zunächst soll am Beispiel einer Flugbahn, die sich durch das Wegziehen der Fahrt des Segelflugzeuges von 160 km/h auf 80 km/h ergibt, kurz die Funktionsweise und auch die Notwendigkeit der Totalenergiekompensation des Variometers erläutert werden.

In Bild 2 sind die Anzeigen eines kompensierten und eines un-kompensierten Variometers in ruhender Luft einander gegenübergestellt. Das unkompensierte Variometer zeigt mit einer gewissen Verzögerung die tatsächliche Steiggeschwindigkeit des Segelflugzeuges an. Dies ist auch als Energiegewinn an Lageenergie des Flugzeuges zu verstehen. Diese Anzeige des Variometers ist aber für die Beurteilung der Aufwindverhältnisse völlig unbrauchbar. Der Pilot ist vielmehr an einer Darstellung der örtlichen Strömungsverhältnisse im Aufwind oder Abwind interessiert. Diese sollte frei sein von den Relativbewegungen des Flugzeuges gegenüber der umgebenden Luftmasse.

Das kompensierte Variometer soll nur den Gewinn oder Verlust an Gesamtenergie ("Totalenergie") anzeigen. Die Umwandlung von Bewegungsenergie in Lageenergie soll nicht dargestellt werden. Man sagt: in der Anzeige des Variometers kompensiert werden. Wenn dies erfolgt, wird lediglich das zur Fluggeschwindigkeit gehörende Sinken angezeigt. Der Vorteil ist offensichtlich, zu jedem Zeitpunkt ist der Pilot in der Lage, die Aufwindverhältnisse zu beurteilen.

Bei erhöhtem Lastvielfachen treten aber leider physikalisch bedingte Abweichungen von dieser "idealen" Anzeige auf. Der Grund ist, daß ein Flugzeug bei erhöhtem Lastvielfachen zusätzlich Energie verliert. Umgekehrt tritt beim Nachdrücken ein verringerter Energieverlust auf. Da aber von einem gut kompensierten Variometer gerade die Energieänderungen gemessen werden, werden diese Effekte auch angezeigt (gepunktete Linien in Bild 2). Häufig werden diese Anzeigen fälschlich als Überkompensation gedeutet.

An Hand der in Bild 3 dargestellten Schaltskizze zweier sondenkompensierter Variometer soll die Funktionsweise qualitativ erläutert werden. Die Sonde ist so gebaut, daß sie einen Druck liefert, der gerade um den Betrag des Staudrucks kleiner ist als der statische Druck:

$$P_{\text{Dynam}} = P_{\text{st}} - P_{\text{stau}}$$

Statt des absoluten Druckes verwendet man meist den Druckbeiwert c_p . Man kann zeigen, daß er für eine exakte Kompensation

gerade den Wert -1 haben muß.

Zieht man nun in ruhiger Luft die Fahrt weg, so verringert sich einerseits durch den Höhengewinn der statische Druck. Durch die Fahrtverminderung wird auch der Staudruck kleiner. Die Differenz der beiden Drücke bleibt daher nahezu gleich. Für den Druckbeiwert $C_{p, \text{Düse}} = -1$ sind diese beiden Effekte so aufeinander abgestimmt, daß das Variometer gerade das zur Flugeschwindigkeit gehörende Sinken des Flugzeuges anzeigt, sofern das Lastvielfache ungefähr 1 ist.

Bei dem häufig vorkommenden Anschluß von 2 Variometern an eine Sonde muß die Gabelung der Zuführungsschläuche möglichst dicht hinter der Sonde erfolgen (Bild 3). Sollen noch Drosseln eingebaut werden, was man eigentlich einer schnelleren Anzeige zuliebe nicht tun sollte, dürfen diese auf keinen Fall zwischen Gabelung und Sonde liegen. Anderenfalls können sich die Ausgleichsströme gegenseitig beeinflussen.

3. Meßsonden zur Totalenergiekompensation

Wir haben gesehen, daß es für eine exakte Kompensation notwendig ist, eine Meßsonde zu haben, deren Druckbeiwert gerade -1 ist. Weiter muß gefordert werden, daß derartige Sonden ihren Druckbeiwert nicht verändern, wenn sie von der Seite (Schiebeflug) oder von unten oder oben (Anstellwinkeländerung) angeblasen werden.

Zwei Typen von Sonden werden derzeit hauptsächlich verwendet, und zwar düsenähnliche Sonden und senkrecht angeströmte Rohre mit Öffnungen auf der Leeseite.

In Bild 4 sind die im Augenblick gängigen Typen von Strömungs-sonden dargestellt.

Die Irving - Düse ist unter Bild 4.1 gezeigt. Sie zeichnet sich besonders durch ihre großen Abmessungen aus. An einem Segelflugzeug sollte sie nicht mehr verwendet werden, da ihre Widerstandsfläche sehr groß ist. Zum anderen hat sie den Nachteil, daß sie sehr schlecht angepaßt werden kann.

Bild 4.2 zeigt die Althaus - Düse. Sie ist sehr klein, jedoch nur schwer zu fertigen und reagiert sehr empfindlich auf Schiebeflugzustände. Auch nicht zufriedenstellend ist das Verhalten der Anzeige bei Anstellwinkeländerungen. Die Anpaßung ans Flugzeug ist sehr umständlich und langwierig.

Die Düse von Hüttner in Bild 4.3 ist zwar sehr klein und einfach zu fertigen, jedoch sehr empfindlich auf Winkeländerungen und nur sehr schwer ans Flugzeug anpaßbar.

Die Braunschweiger - Düse (Bild 4.4) ist sehr unempfindlich bei Änderungen der Fluglage und reagiert nur gering auf Schiebewinkel. Sie ist leicht an jeden Flugzeugtyp anpaßbar. Jedoch ist ihre Fertigung aufwendig und mit Schwierigkeiten verbunden.

Bild 4.5 stellt die Düse von Nicks dar. Sie ist einfach zu fertigen. Die Unempfindlichkeit gegenüber Schiebezuständen und Anstellwinkeländerungen ist gegeben. Jedoch ist sie immer unterkompensiert und wird deshalb nicht verwendet.

Die Peter - Bardowicks - Düse (Bild 4.6), auch als Russische Sonde bekannt, oder nach ihrer Form Zweischlitzdüse genannt, ist bei einer gewissen Sorgfalt

einfach zu bauen. Sie ist gering empfindlich gegenüber Anstellwinkeländerungen und wenig empfindlich auf Schiebflugzustände. Sie ist anpaßbar, jedoch oft nur durch Neubau mit Veränderung der Abmessungen.

Ein Sondertyp der Zweischlitzdüse ist die T - Düse nach Bardowiks und Schomann (Bild 4.7). Sie ist eine Zusammenstellung von zwei Zweischlitzdüsen mit dem Ergebnis, daß sich die Effekte bei Anstellwinkeländerungen aufheben. Sie ist sehr aufwendig anzufertigen und anzupassen.

Dies ist nur eine Übersicht über die gängigsten und bekanntesten Düsen. Es gibt noch weitere Sonderformen und Abkömmlinge der einzelnen Typen. Auf einige der hier vorgestellten Sonden wird in den folgenden Abschnitten gesondert und ausführlich eingegangen.

4. Windkanalmessungen an Meßsonden zur Totalenergiekompensation

Im folgenden werden Ergebnisse von Windkanalmessungen vorgestellt, die zu den einzelnen, aufgeführten Düsen angefertigt worden sind.

Bild 5 zeigt die Ergebnisse von Windkanalmessungen an der Alt-
haus - Düse. Hier weicht leider der Druckbeiwert mit fallender
Geschwindigkeit zunehmend vom Sollwert -1 ab. Dadurch ergibt
sich eine Unterkompensation bei niedrigen Geschwindigkeiten.
Das ist eine sehr unerwünschte Eigenschaft. Gegenmaßnahmen sind
nicht bekannt. Die Schiebeempfindlichkeit ist bis 10° gering,
nimmt dann aber stark zu. Dieser Verlauf ist nicht ganz befrie-
digend. Der Anstellwinkel ist bei dieser Messung nicht unter-
sucht worden, hier sind jedoch keine Probleme zu erwarten.

In Bild 6 sind die Messergebnisse einer Braunschweiger - Düse
dargestellt. Man erkennt, daß die Düse sehr unempfindlich ist,
sowohl im Hinblick auf große positive oder negative Anstellwin-
kel, wie auch gegen Schiebewinkel. Der Beiwert ändert sich
auch nicht mit der Flugeschwindigkeit. Leider ist die Braun-
schweiger - Düse nicht ohne Probleme: Es scheint schwierig zu
sein, die Düsen so exakt zu fertigen, daß alle Düsen genau den
Druckbeiwert -1 haben und alle gleich schiebeunempfindlich
sind. Auf jeden Fall darf die Düse vorn nicht abgerundet sein.
Bei stärkerer Abrundung vergrößert sich die Schiebeempfindlich-
keit. Zur Verringerung einer eventuell vorhandenen Schiebeemp-
findlichkeit ist es zweckmäßig, den Braunschweiger - Düsen
durch Rückwärtsbiegen des Rohres einen Voranstellwinkel von
etwa $+12^\circ$ zu geben.

Eine sehr einfache Sonde vom Rohrtyp zeigt das nächste Bild 7.
Diese Sonde wird als Zweischlitz - oder auch als Russische Düse
bezeichnet. Es handelt sich um ein am Ende verschlossenes Rohr
von 6 mm Durchmesser, in das hinten zwei Schlitz bis in Rohr-
mitte eingesägt sind. Der Druckbeiwert c_{pD} beträgt etwa $-1,1$
und ist von 0° - 40° Schiebewinkel praktisch konstant. Nicht so
gut sieht es hinsichtlich der Anstellwinkelempfindlichkeit aus.
Bei positiven Anstellwinkeln steigt der Druckbeiwert etwas an,
was vielleicht gerade noch tragbar ist. Bei negativen Anstell-
winkeln fällt jedoch der Druckbeiwert ab -5° sehr stark ab.
Deshalb darf man eine derartige Sonde auf keinen Fall am Leit-
werk anbringen. Man kann sich allerdings helfen, indem man der
Sonde einen Voreinstellwinkel von 10 - 15° gibt, so daß das
Rohrende etwas gegen die Strömung geneigt ist. Diese Anordnung
wurde bei der folgenden Nicks - Sonde gewählt.

Die in Bild 8 dargestellte *Nicks - Sonde* unterscheidet sich von der Russischen Düse nur dadurch, daß statt der beiden Schlitzte eine einzige Bohrung auf der Leeseite verwendet wird. Wesentlich ist, daß das verschlossene Rohrende scharfkantig ist. Bei Abrundung vermindert sich der Druckbeiwert und damit ist diese Sonde unbrauchbar. Die Meßwerte der Düse zeigen, daß aber der Beiwert von -1 noch nicht ganz erreicht wurde, daß aber der Beiwert für Anstellwinkel zwischen -10 und $+10^\circ$ ausreichend konstant ist. Hinsichtlich des Schiebewinkels ist eine gewisse unbefriedigende Asymmetrie vorhanden, die auf etwas unsymmetrisches Biegen des Rohrendes zurückzuführen ist.

5. Anbringung der Sonden am Segelflugzeug

Eine Sonde mit dem Beiwert -1 muß dort am Flugzeug angebracht werden, wo statischer Druck herrscht.

Diese lapidare Aussage wird oft gebraucht, ohne über ihre Tragweite nachzudenken. Baut man Totalenergiekompensationsdüsen mit dem Beiwert $c_{pD} = -1$ (zuvor im Windkanal bestimmt) an einer beliebigen Stelle des Flugzeuges ein, so ist keineswegs eine zufriedenstellende Totalenergiekompensation gesichert. Die Umströmung und die damit veränderte Druckverteilung am Flugzeug beeinflussen die Wirkung einer Totalenergiekompensationsdüse erheblich.

Bild 9 zeigt den Verlauf des Wanddruckbeiwertes c_{pW} eines Flügels und eines Rumpfes. Dort, wo $c_{pW} = 0$ ist haben wir den für die Sondenanbringung gewünschten statischen Druck. Am Flügel ändert sich der örtliche Druck sehr stark mit dem Anstellwinkel oder Auftriebsbeiwert, so daß die Anbringung der Sonde hier nicht zu empfehlen ist. Wenn man z.B. bei hoher Geschwindigkeit gerade die richtige Kompensation hat, hat man bei niedrigen Geschwindigkeiten Überkompensation.

Am Rumpf sind die auftretenden Druckbeiwerte wesentlich kleiner als beim Flügel. Aber auch die Rumpfnase eignet sich wenig zur Anbringung von Sonden, weil sich dort der Druck mit dem Anstellwinkel zu stark ändert. Sehr gut zur Anbringung der Sonden eignet sich das Rumpfhinterteil, wo der Druck kaum noch von Anstell- und Schiebewinkel beeinflusst wird. Hier sollte man deshalb auch den statischen Druck abnehmen.

Wird die Sonde zu weit hinten am Rumpf oder auch am Leitwerk angebracht, so kann der Beiwert vom Seitenleitwerk bzw. Höhenleitwerk verfälscht werden. Außerdem schwenkt das hintere Rumpffende bei plötzlichen Höhen- und Seitenruderausschlägen sehr schnell und führt dazu, daß die Sonde starken Anstell- und Schiebewinkeln ausgesetzt wird. Deshalb sollte man die Sonden etwa $1 - 1,5$ m hinter dem Flügel auf der Rumpfoberseite anbringen.

Wenn die Sonde an einer Rumpfstelle angebracht ist, wo nicht genau statischer Druck herrscht, ist das nicht weiter schlimm. Wesentlich ist, daß der Druck sich nicht mit dem Anstell- oder Schiebewinkel des Flugzeuges ändert. Wir haben im vorigen Kapitel gesehen, daß sich die Sonden nicht so exakt fertigen lassen, daß sie genau einen bestimmten Druckbeiwert haben. Wenn man keinen Windkanal zur Verfügung hat, ist man ohnehin auf Flugversuche angewiesen und kann dabei gleich die Kombination

Flugzeug - Sonde auf den Gesamtwert -1 eichen.

Bild 10 zeigt in einer Übersicht die verschiedenen möglichen Einbauorte von Totalenergiekompensationsdüsen an Segelflugzeugen. Bei einem Aufbau der Düse auf dem Rumpf vor der Haube ist zu bedenken, daß die Düse die Rumpfströmung stört und sehr empfindlich auf Anstell- und Schiebewinkeländerungen reagiert. Der Aufbau einer Düse in der Nähe des Flügels ist ebenfalls kritisch. Der Flügel beeinflußt die Kompensation, die Düse reagiert empfindlich auf Lageänderungen. Ein Aufbau der Düse ca 1 - 1,5 m hinter dem Rumpf ist geeignet. Dort ist die Düse gut aufgehoben. Ein ebenfalls unkritischer Einbauort ist vor dem Seitenleitwerk in ausreichendem Abstand. Dieser Abstand sollte in jedem Fall mindestens 40 cm betragen.

6. Einstellen der Kompensationsstärke

Es soll hier lediglich über die Kompensationseichung im Fluge, also am Gesamtsystem Sonde - Flugzeug berichtet werden. Flugtests sind jedoch völlig sinnlos, wenn nicht zuvor eine Dichtigkeitsprüfung des Variometersystems erfolgt ist. Bild 11 zeigt die dazu notwendige Schaltung.

Man geht in folgender Reihenfolge vor:

1. Sondenanschluß abdichten (evtl. Sollfahrtpapillare verschließen)
2. Zwischen Sonde und Vario einen Viereranschluß einschalten: einen Anschluß mit Drossel zum Aufblasen, einen Anschluß an die Meßdruckseite eines Fahrtmessers.
3. Unter Beachtung von Vario- und Fahrtanzeige langsam aufblasen. Hierfür keine Pressluft verwenden! Vario darf nicht an den Anschlag kommen.
4. Bei 150 km/h Fahrtmesseranzeige Leitung mehrere Minuten lang verschließen und prüfen, ob Fahrtmesseranzeige konstant bleibt und Varioanzeige auf Null steht.
5. Unter Beachtung der Varioausschläge langsam Luft einlassen.
6. Verschlussene Anschlüsse wieder öffnen, Viereranschluß ausbauen.

Wenn die Fahrtmesseranzeige zurückgeht oder das Vario nicht Null anzeigt, müssen neue Versuche durchgeführt werden, bis die Undichtigkeitsstelle lokalisiert ist. Fehlerquellen sind: Instrumentenglasdichtungen, Ausgleichsgefäße, Schlauchanschlüsse. Ist das System dicht, können die Flugtests erfolgen. Zur richtigen Beurteilung der Varioanzeige ist es unbedingt notwendig in völlig ruhiger und turbulenzfreier Luft zu fliegen (am besten im Winter oberhalb der dann meist sehr niedrigen Sperrinversion).

In vielen Versuchen hat sich gezeigt, daß die in Bild 12 dargestellte Flugbahn am besten für Kompensationstests geeignet ist. Wichtig ist in diesem Zusammenhang, daß beim Fahraufnehmen und beim Wegziehen der Fahrt möglichst lange mit konstanter Längsneigung, das heißt mit einem Lastvielfachen von 1 geflogen wird. Andererseits soll auch die Änderung des Lastvielfachen beim Nachdrücken und beim Abfangen möglichst klein sein, damit die schon erläuterten Abweichungen von der idealen Anzeige möglichst klein sind. Außerdem kann sich bei heftigen Ruderausschlägen die Druckverteilung am Flugzeug und die Anströmrichtung so sehr ändern, daß am Variometer Fehlanzeigen auftreten, die für den Laien nicht zu deuten sind oder fälschlicherweise

als Sondeneinfluß gedeutet werden.

Unten in Bild 12 sind die möglichen Variometeranzeigen dargestellt. Kurve (1) zeigt noch einmal den idealen Verlauf des Zeigerausschlags. Zeigt das Vario Abweichungen vom idealen Verlauf in Richtung der Vertikalgeschwindigkeit des Flugzeuges, ist das Variometersystem unterkompensiert (Kurve (2)). Sind die Abweichungen der Vertikalgeschwindigkeit entgegen gerichtet, ist das System überkompensiert (Kurve (3)).

Hat man nun festgestellt, daß die ideale Anzeige (1) nicht erreicht wird, muß die Sonde entsprechend korrigiert werden. Wie man dies an den hier besprochenen Sonden vornehmen kann, zeigt Bild 13.

Die Braunschweiger - Düse wird bei Überkompensation einfach etwas abgeklebt. Unterkompensation ist nur mühsam korrigierbar, da der Druckbeiwert sehr empfindlich von der Lage des einzusetzenen Rohrstückes abhängt.

Bei den Rohrsonden lassen sich sowohl die Schlitz- als auch die Lochform durch Verändern des Abstandes zwischen dem Rohrende und der Druckabnahmestelle relativ einfach einstellen. Es ist aber darauf zu achten, daß das Plateau am Rohrende stets senkrecht zur Rohrachse steht.

Es sei davor gewarnt, die von H. Reichmann empfohlene Methode des Düsentests mit Hilfe eines zweiten Fahrtmessers anzuwenden. Fehler in der statischen Druckabnahme, die bei allen Flugzeugen vorhanden sind, gehen in doppelter Höhe in die Fahrtmesseranzeige ein und verursachen dann ein völlig falsches Bild von der Kompensationsgüte.

Schließlich sei noch erwähnt, daß die Zufriedenheit des Piloten über die Güte der Kompensation sehr stark von der Zeitkonstante des Variometers abhängt. Langsame Varios ($T > 2 \text{ sec}$) führen dazu, daß der Pilot die verwendete Sonde hochlobt, während schnelle Varios ($T < 1 \text{ sec}$) den Piloten leicht zur Verzweiflung bringen.

Wie man sieht, ist es also nicht ganz einfach, eine gut kompensierte Variometeranzeige zu erhalten, insbesondere bei schnellen Varios. Hat man sie jedoch erst einmal zu Wege gebracht, merkt man, daß sich die Mühe durchaus lohnt. Ich wünsche allen, die sich an ihr Variometersystem begeben viel Geduld und eine glückliche Hand.

Im Anhang sind die Abmessungen und Zeichnungen für die Braunschweiger - Düse und die Zweischlitz - Düse enthalten.

7. Verzeichnis der Bilder

Bild	1:	Methoden der Kompensation von Variometern
Bild	2:	Darstellung für die Notwendigkeit der Kompensation
Bild	3:	Schaltkreis von zwei Variometern
Bild	4:	Längs- und Querschnitte verschiedener Düsen
Bild	5:	Windkanalmessungen an der Althaus - Düse
Bild	6:	Windkanalmessungen an der Braunschweiger- Düse
Bild	7:	Windkanalmessungen an der Zweischlitz - Düse
Bild	8:	Windkanalmessungen an der Nicks - Düse
Bild	9:	Druckverteilung an einem Profil und an einem Rumpf
Bild	10:	Übersicht über verschiedene Düseneinbauorte
Bild	11:	Dichtigkeitsprüfung von Variometersystemen
Bild	12:	Flugbahn für Kompensationsflüge
Bild	13:	Korrektur der Kompensationsstärke

Bild 1: Methoden der Kompensation von Variometern

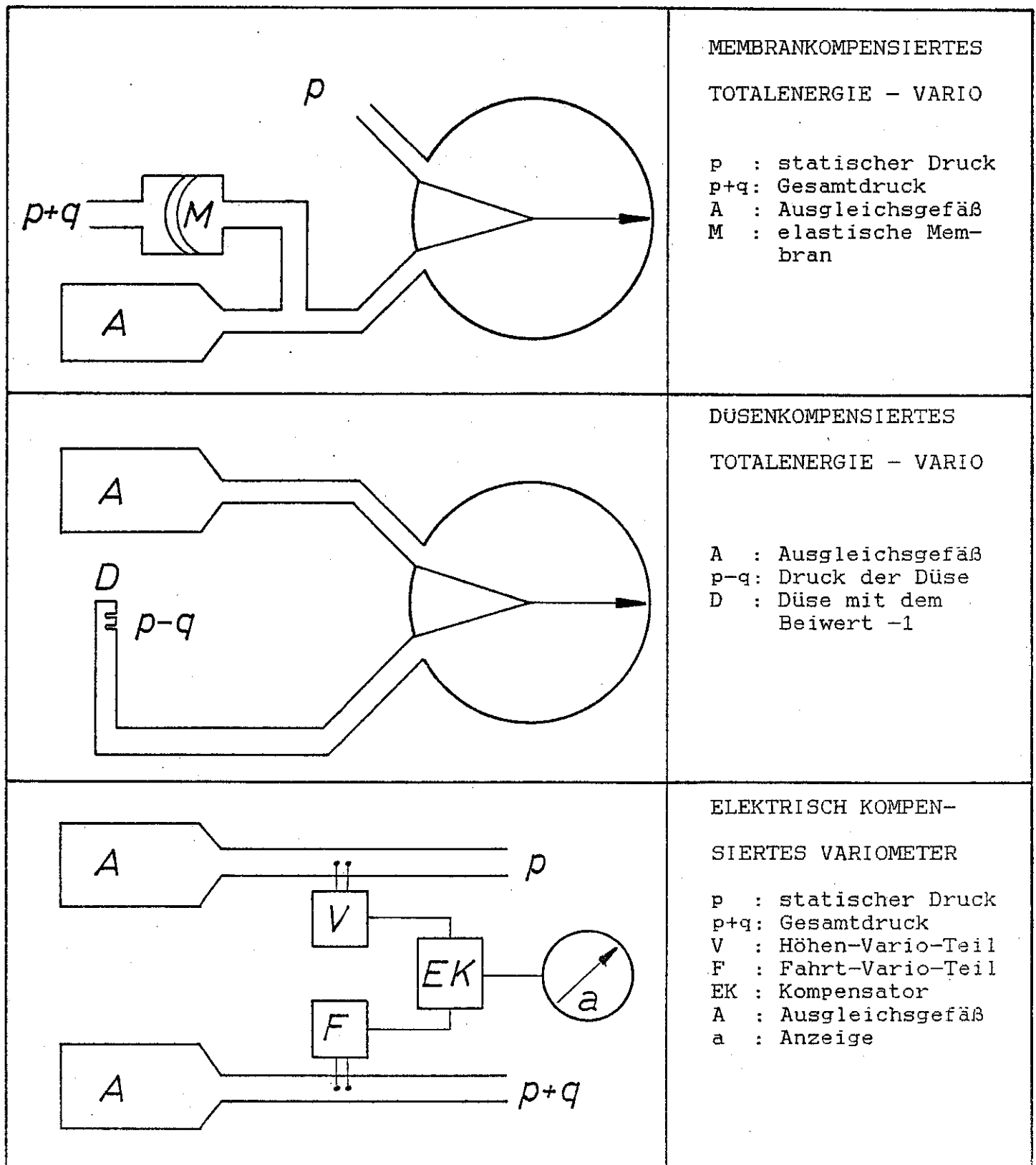


Bild 2: Darstellung für die Notwendigkeit der Kompensation

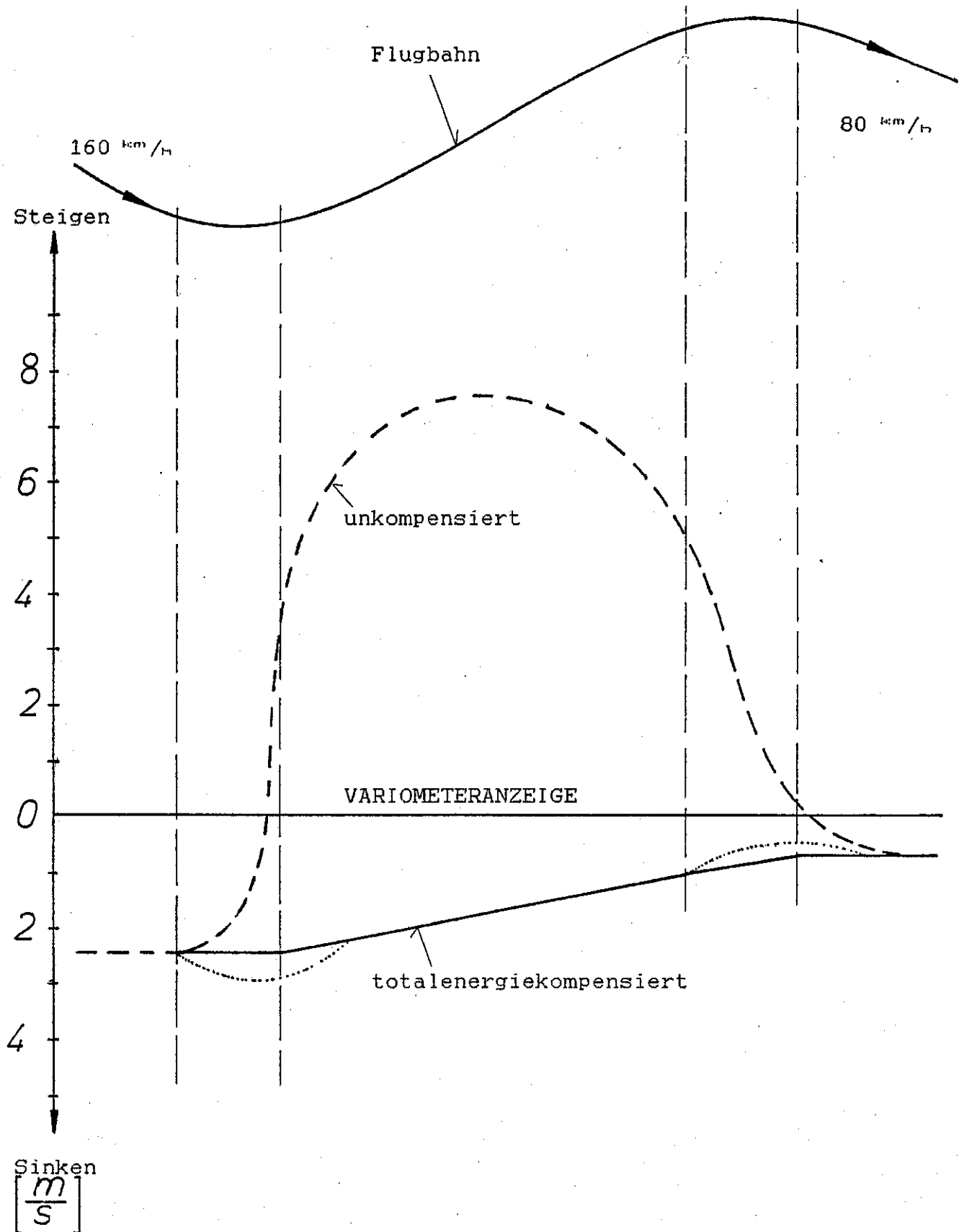
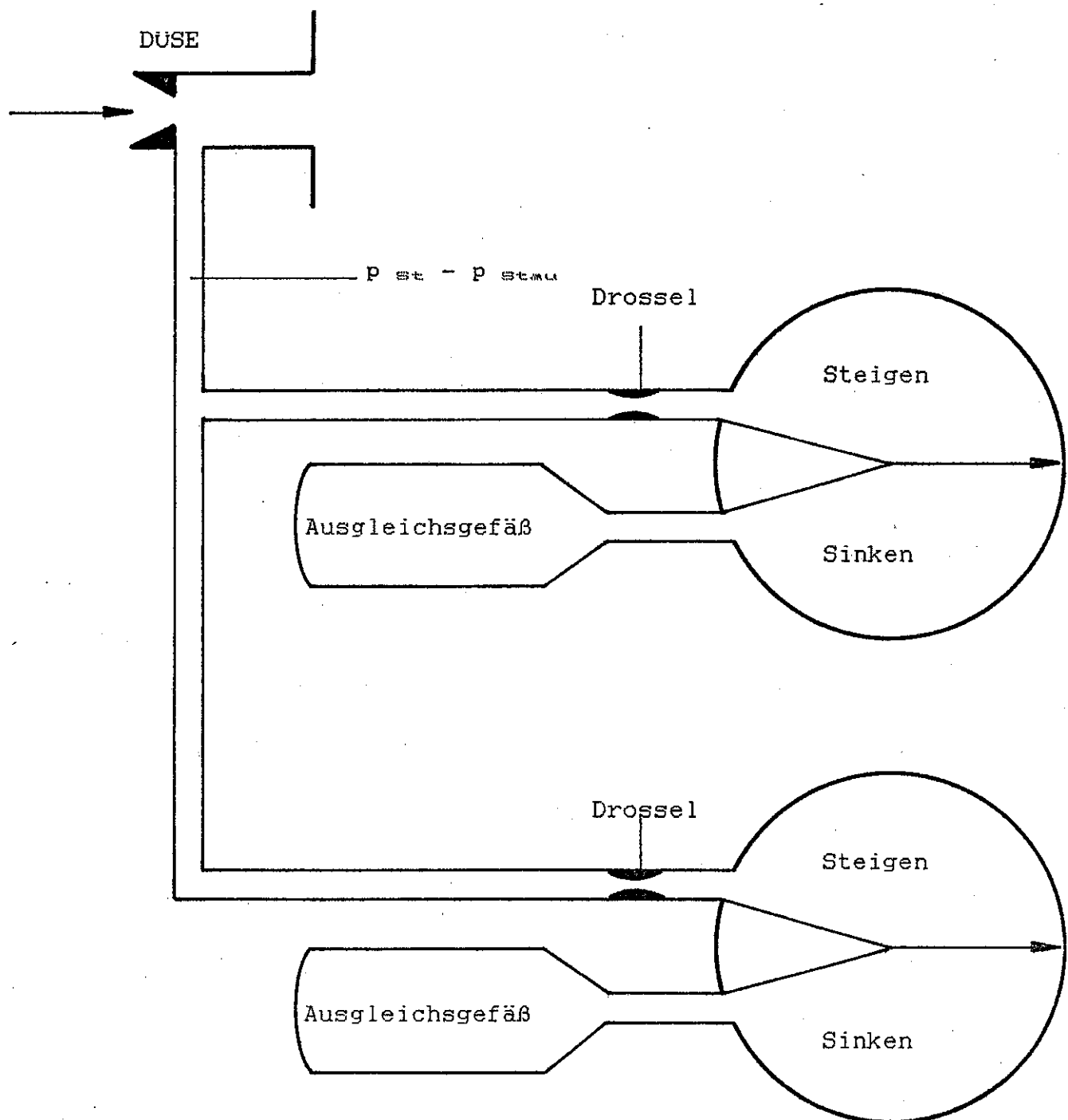
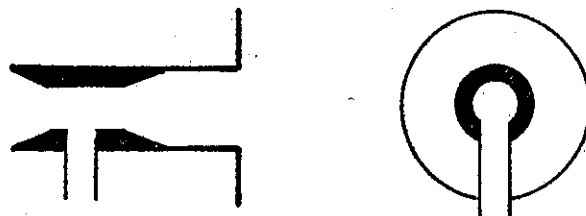


Bild 3: Schaltkreis von zwei Variometern

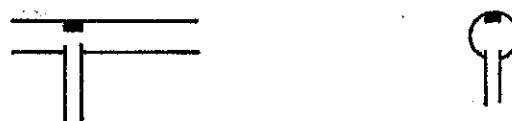
p_{st} Statischer Druck
 p_{stall} Staudruck

Bild 4: Längs- und Querschnitte verschiedener Düsen**Bild 4.1**

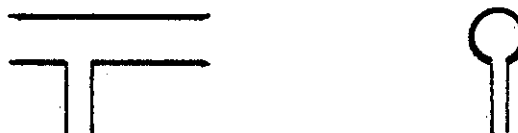
Irving - Düse

**Bild 4.2**

Althaus - Düse

**Bild 4.3**

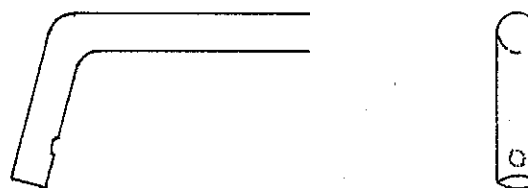
Hüttner - Düse

**Bild 4.4**

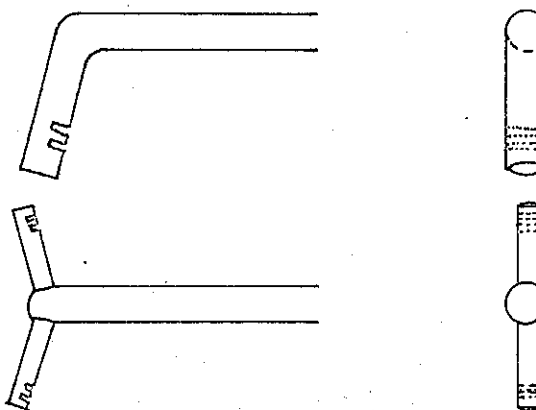
Braunschweiger - Düse

**Bild 4.5**

Nicks - Düse

**Bild 4.6**

Peter - Bardowicks - Düse

**Bild 4.7**

T - Düse

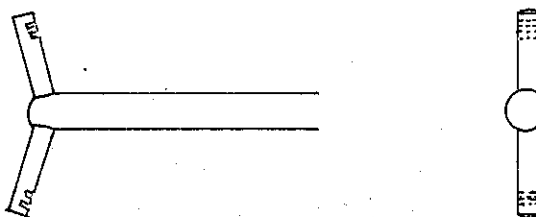


Bild 5: Windkanalmessungen an der Althaus - Düse

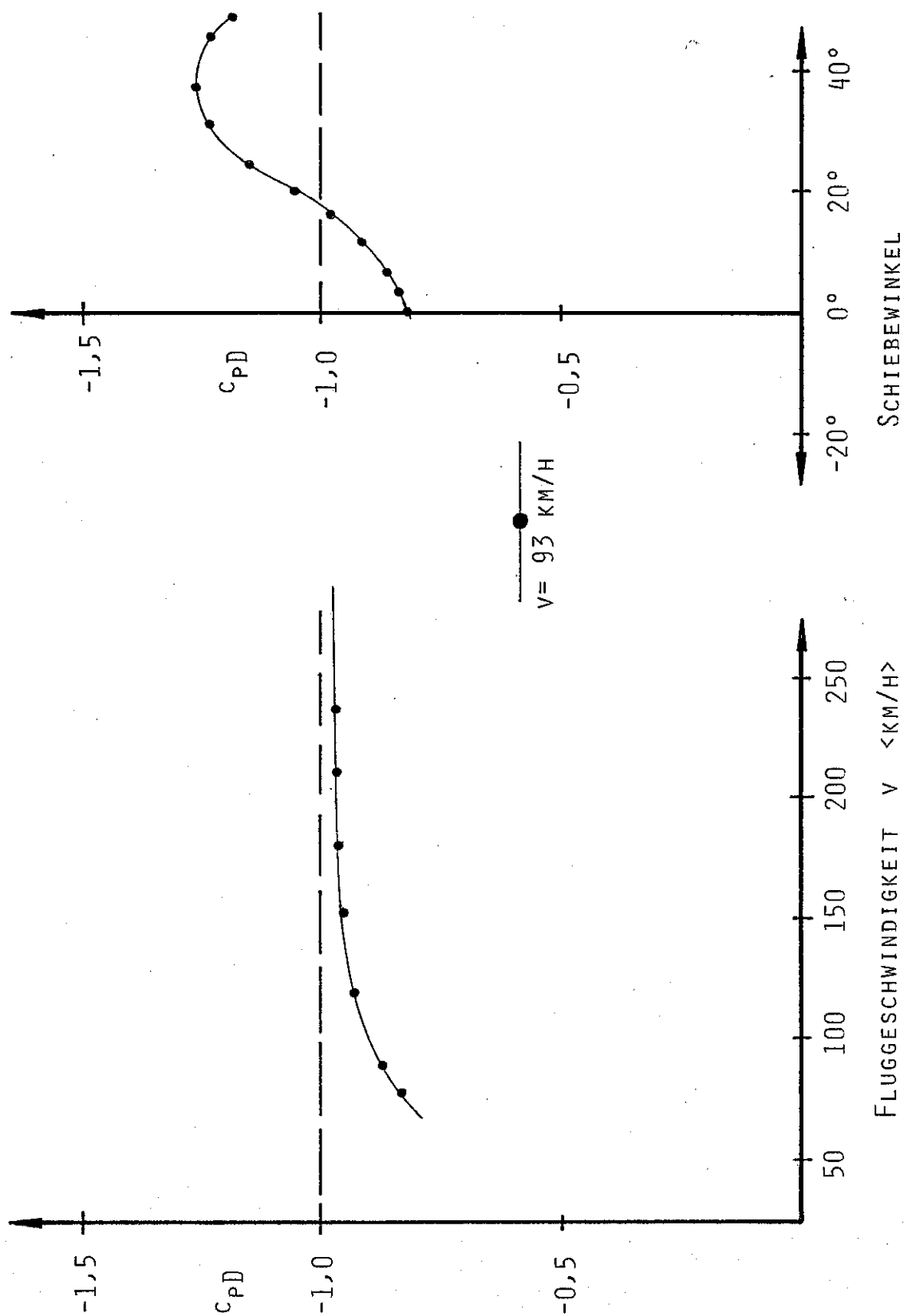


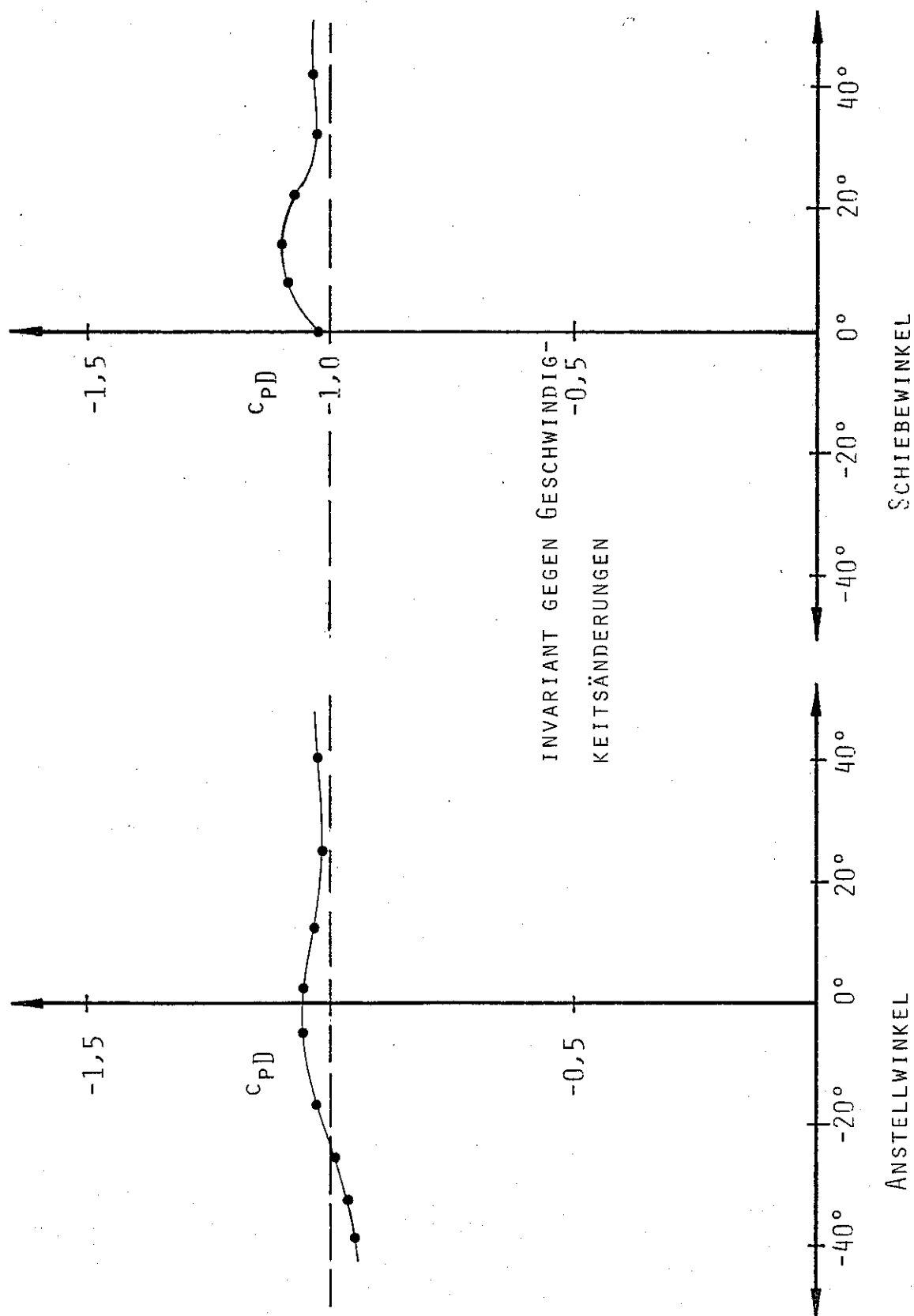
Bild 6: Windkanalmessungen an der Braunschweiger - Düse

Bild 7: Windkanalmessungen an der Zweischlitz - Düse

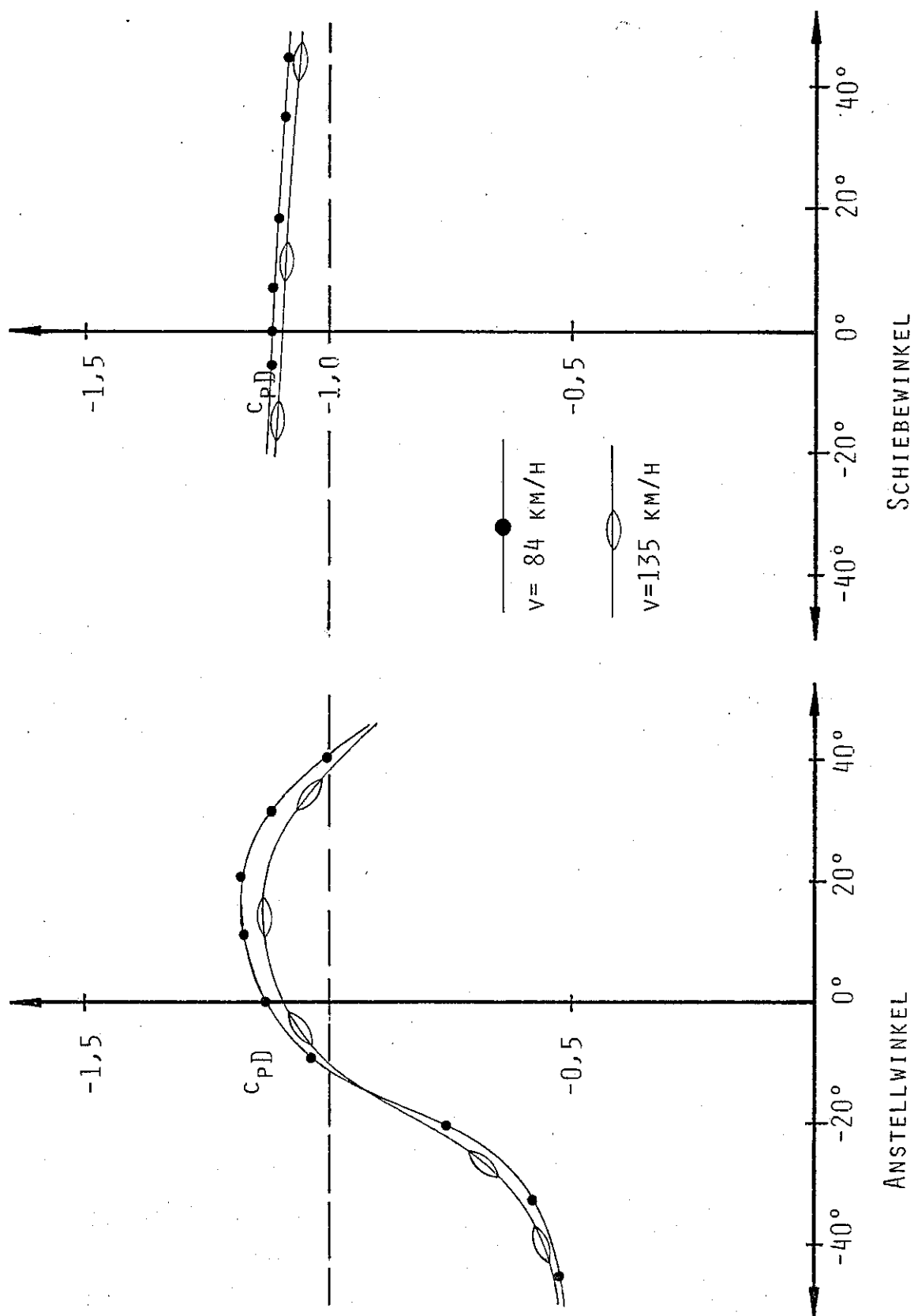


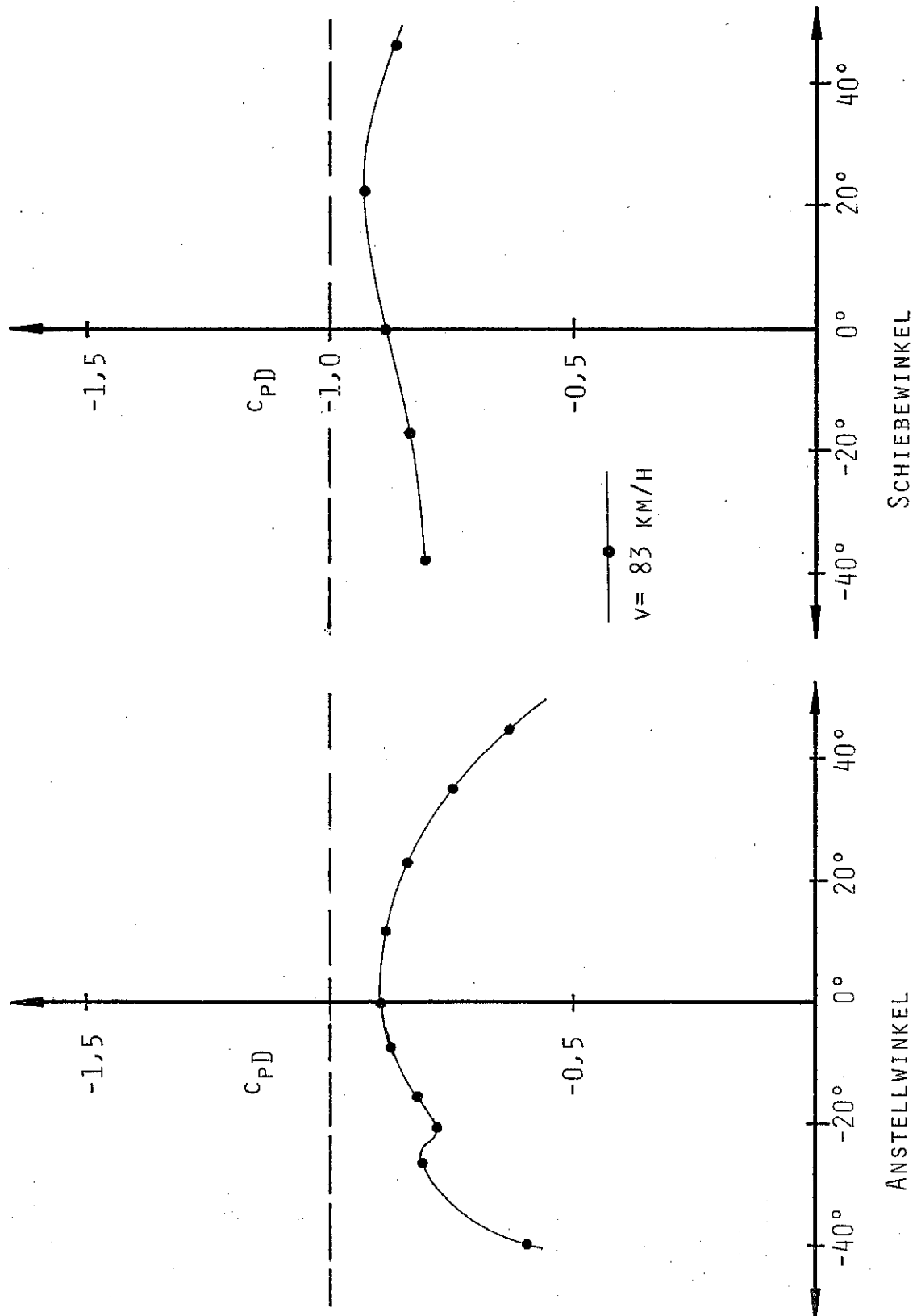
Bild 8: Windkanalmessungen an der Nicks - Düse

Bild 9: Druckverteilung an einem Profil und an einem Rumpf

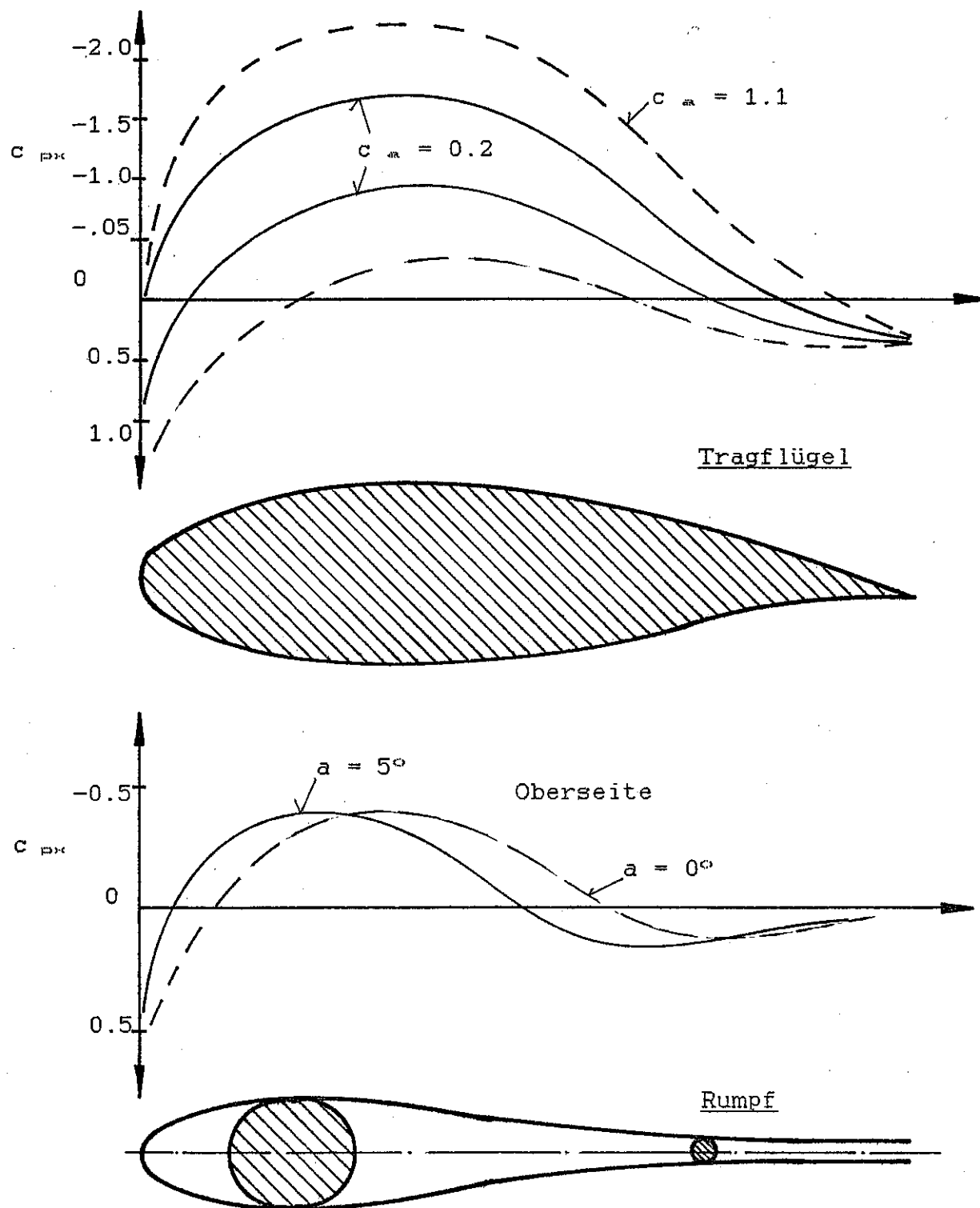
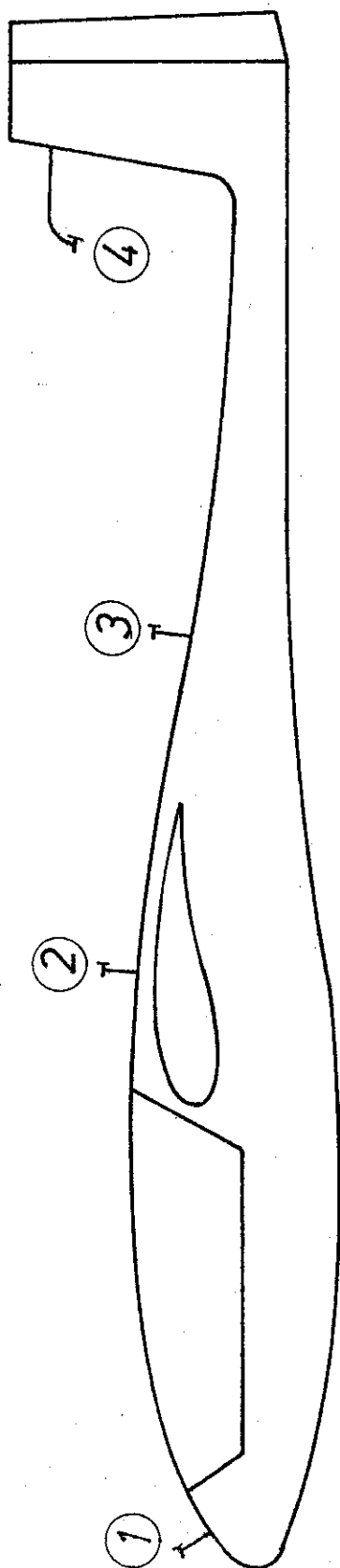
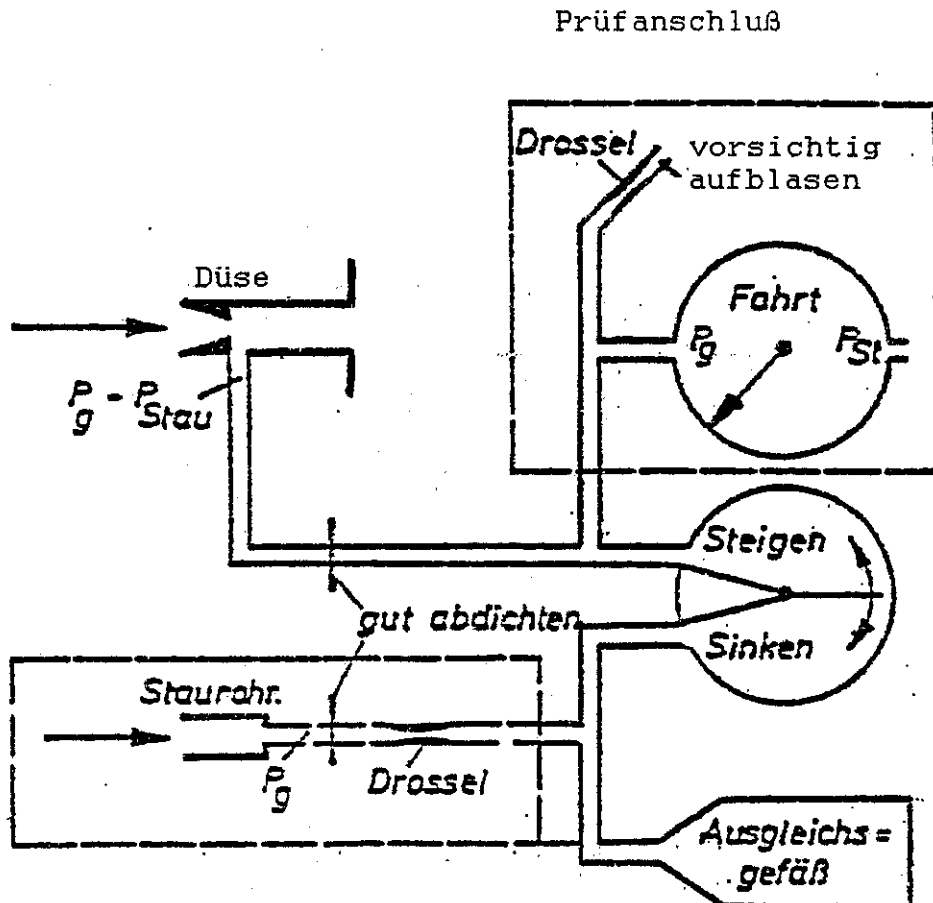


Bild 10: Übersicht über verschiedene Düseneinbauorte

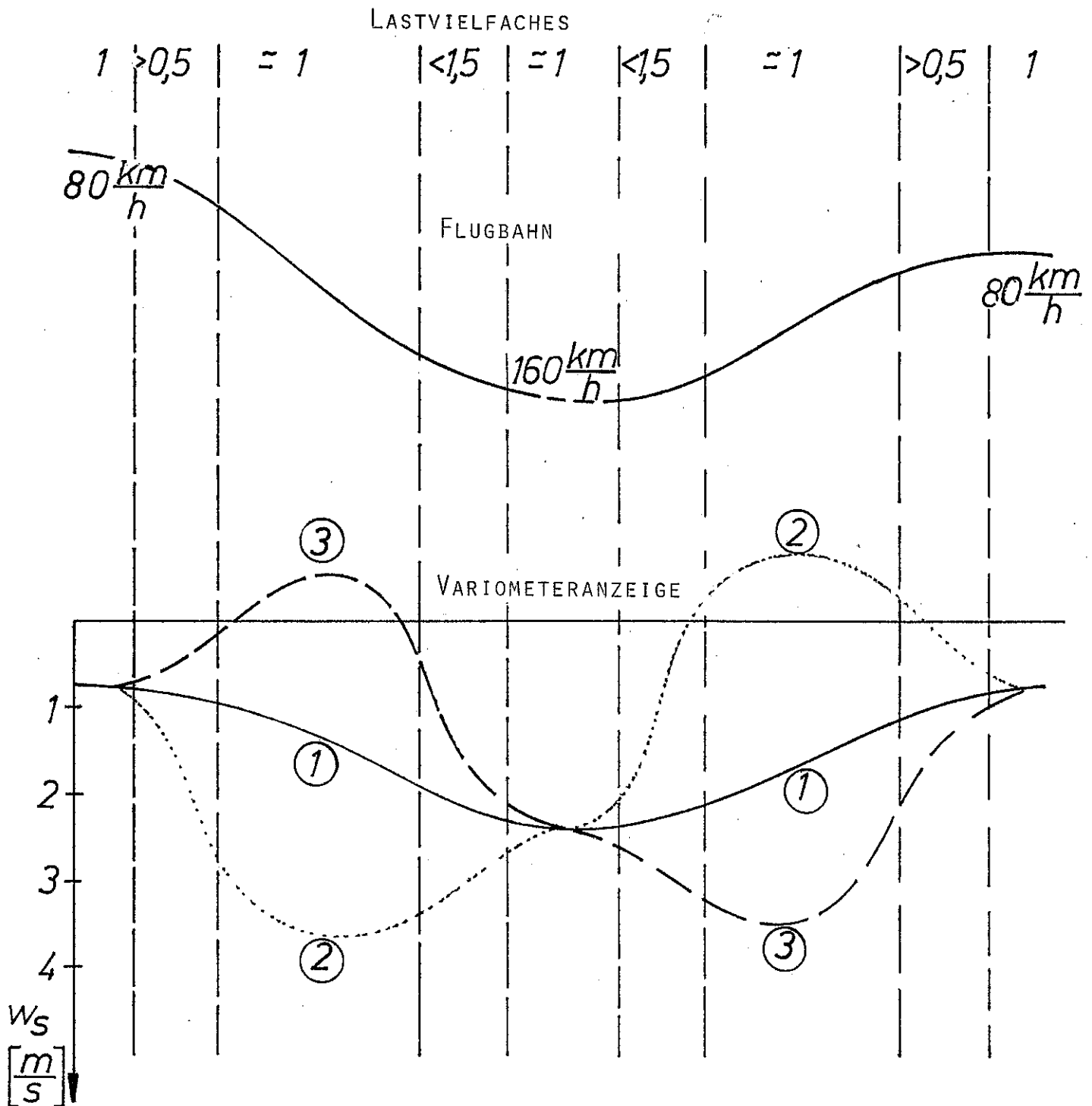


- 1) RUNPFSTRÖMUNG WIRD GESTÖRT, DÜSE IST SEHR EMPFINDLICH
- 2) FLÜGEL BEEINFLUßT DIE KOMPENSATION, EBENFALLS SEHR EMPFINDLICH
- 3) GEEIGNET, EINBAUORT CA 1- 1,5 M HINTER DEM FLÜGEL
- 4) EBENFALLS EIGNETER UND UNKRITISCHER EINBAUORT

Bild 11: Dichtigkeitsprüfung von Variometersystemen

Gesamtdruckanschluß nur bei
Netto vario oder Sollfahrtgeber

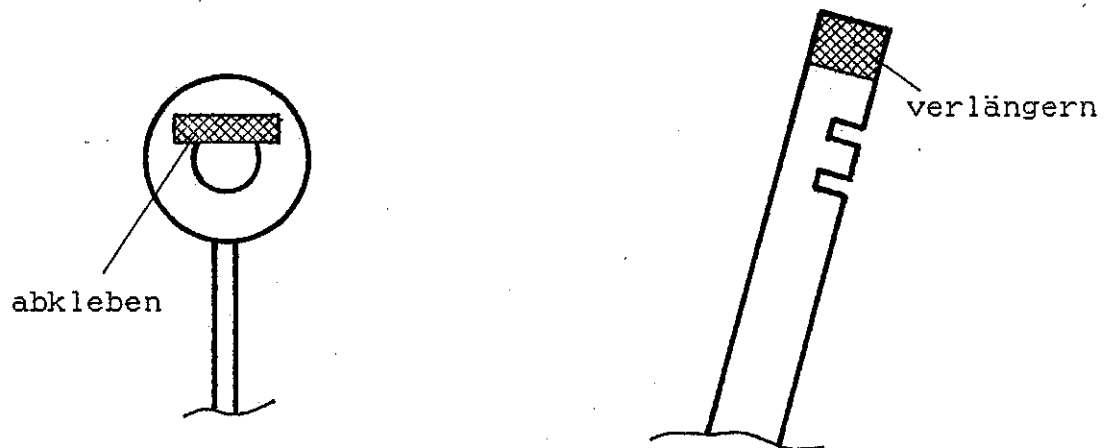
P_g	Gesamtdruck
P_{St}	Statischer Druck
P_{Stau}	Staudruck

Bild 12: Fugbahn für Kompensationsflüge

- 1) GUT KOMPENSIERT
- 2) UNTERKOMPENSIERT
- 3) ÜBERKOMPENSIERT

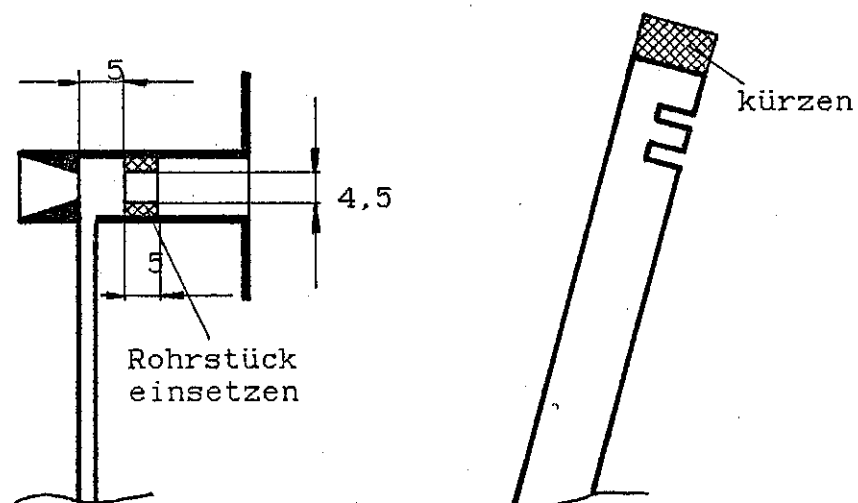
Bild 13: Korrektur der Kompensationsstärke

Abhilfe bei Überkompensation

Braunschweiger - Düse
(Ansicht von hinten)

Zweischlitz - Rohrsonde

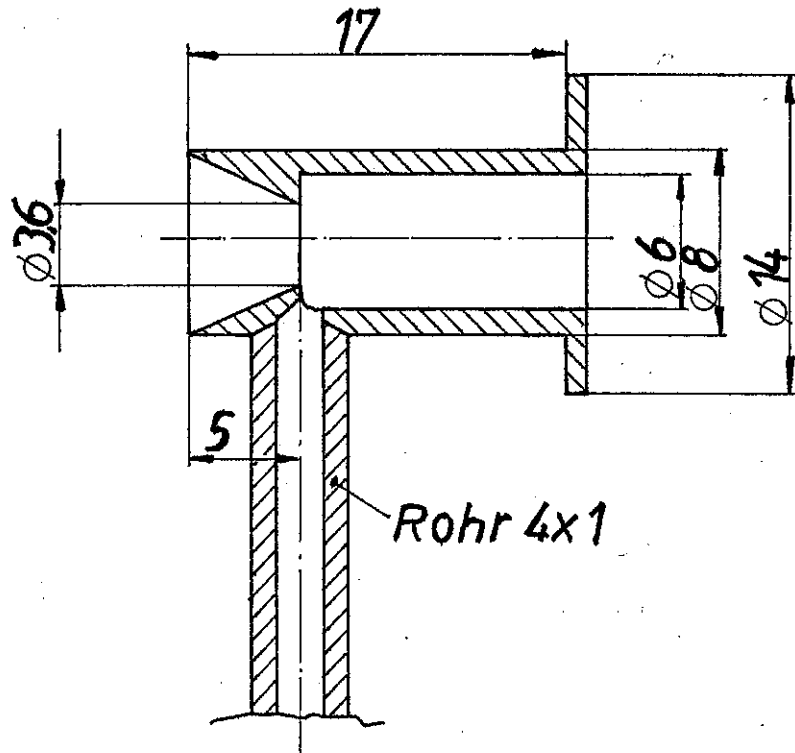
Abhilfe bei Unterkompensation



Braunschweiger - Düse

Zweischlitz - Rohrsonde

9. Anhang Braunschweiger - Düse



Zweischlitz - Düse

