



Variometer

wsTech Hard- u. Softwareentwicklung  
Wolfgang Schreiner Dipl.Ing.(FH)  
Rüttlenäckerstr.6  
88094 Oberteuringen

homepage: [www.wstech.de](http://www.wstech.de)

5.8.2016

## TEK-PRO-Düse für Variometer

Die **TEK-Düse PRO** von wsTech (Entwickler: Rolf Schuler) ist nach dem Prinzip der „Braunschweiger Düse“ realisiert.



Sie ist ähnlich wie die einfache Nicks-Düse sehr Anstellwinkel- und Schiebewinkel-unempfindlich, zeichnet sich aber gegenüber dieser durch eine verbesserte Kompensation aus.

Die PRO-Düse ist komplett in **Edelstahl** gefertigt und **hartgelötet**. Sie hat eine elegante Edelstahloptik.

Die Länge der Düse beträgt ca. 180mm. Sie passt zu Modellen im Maßstab 1:4 bis 1:3,5 (ca. 5m Spannweite). Für 1:3 Modelle ist sie rein optisch etwas zu klein, was aber die Wirkungsweise nicht beeinträchtigt. Piloten, welche auf Scale-

Abmessungen Wert legen, können optional die ca. 50mm längere Düse bestellen.

Der Anschluss-Durchmesser der PRO-Düse ist kompatibel mit dem der Nicks-Düse (2,5mm). Sie kann somit problemlos auch vorhandene Nicks-Düsen ersetzen. Es sind keine Umbauten oder Anpassungen am Modell oder am Variometer erforderlich.

Der spezielle längere PRO-Halter kann keine Nicks-Düsen aufnehmen, da dieser einen etwas kleineren Innendurchmesser hat, ist dafür aber sehr passgenau für die Edelstahl-PRO-Düse.

Der Kompensationswert der Düse ist im Auslieferungszustand nach unserem Empfinden optimal abgestimmt und sollte normalerweise nicht verändert werden.

Piloten, welche trotzdem etwas experimentieren oder „optimieren“ möchten, können den Grad der Kompensation ganz einfach verändern:



Wenn die Kompensation verringert werden soll, kleben sie einen Tesafilm so auf die Endscheibe der Düse, dass ein Teil der Austrittsöffnung abgedeckt wird. Je mehr verschlossen wird, desto geringer wird die Kompensation. Schneiden sie den Tesa sauber ab, so dass außen nichts übersteht (siehe Foto).

Wenn die Kompensation vergrößert werden soll, vergrößern sie den Durchmesser der Bohrung am Eingang der Düse. Dabei allenfalls 1/10mm-weise vorgehen!

## Hinweise zur Überprüfung der Kompensation im Flug

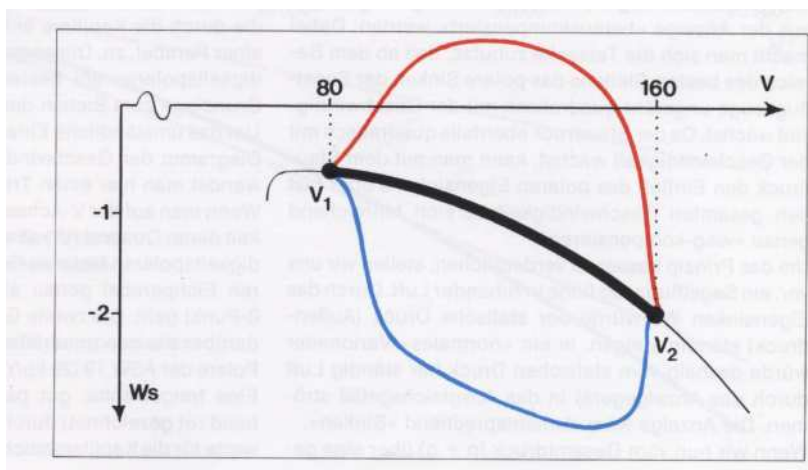
Diese Hinweise gelten prinzipiell für alle TEK-Düsen, nicht nur für die Düse PRO. Für die folgenden Hinweise wird die Kenntnis der prinzipiellen Wirkungsweise der Totalenergie-Kompensation vorausgesetzt. Grundsätzliches können sie hier unter **TEK-Theorie** auf [www.wstech.de](http://www.wstech.de) nachlesen. Die Informationen wurden zum größten Teil aus dem Buch *Steckensegelflug* übernommen.

Eine gute und sehr aufschlussreiche Auseinandersetzung mit dem Thema TEK finden sie hier: <http://www.schempp-hirth.com/fileadmin/Pdfs/TEdeutsch.pdf>

Sehr empfehlenswert, unbedingt lesen! Die Publikation ist zwar ebenfalls für den mantragenden Segelflug bestimmt, die Aussagen lassen sich jedoch auf Modellflugverhältnisse übertragen.

## Ziel der Kompensation

Ein optimal TE-kompensiertes Variometer zeigt in absolut ruhiger Umgebungsluft in jeder beliebigen Flugphase das Eigensinken des Flugzeugs gemäß seiner (für den momentanen Flugzustand gültigen!) Geschwindigkeitspolare an. Siehe folgendes Bild, welches aus *Streckensegelflug* entnommen wurde. Die angegebenen Zahlenwerte gelten für ein bemanntes Segelflugzeug und sind entsprechend anzupassen, am Prinzip ändert sich aber nichts.



Wird angedrückt, also Höhe in Geschwindigkeit umgesetzt ( $v_1 \rightarrow v_2$ ), so nimmt die Anzeige des Sinkwertes entlang der Polare (mittlere, schwarze Kurve) zu.

Wird hochgezogen, also Geschwindigkeit wieder in Höhe umgesetzt ( $v_2 \rightarrow v_1$ ), so nimmt die Anzeige des Sinkwertes entlang der Polare wieder ab. Es darf nie Steigen angezeigt werden!

Ist die Kompensation zu gering, so erhält man bei Andrücken einen Verlauf entlang der unteren, blauen Kurve, beim anschließenden Wiederhochziehen einen Verlauf entlang der oberen, roten Kurve (Steigen wird angezeigt). Ist die Kompensation zu groß, verhält es sich genau umgekehrt (beim andrücken wird Steigen angezeigt).

Sehr oft wird dabei vergessen, dass diese Polare keine Konstante ist. Sie hängt ab vom „Beladezustand“ des Flugzeugs (die gesamte Polare verschiebt sich abhängig vom Gewicht), zu dem auch das in der jeweiligen Flugphase anliegende Lastvielfache ( $g$ ) gehört! Bei Lastvielfachen  $> 1g$  muss mehr Auftrieb erzeugt werden, die Energieverluste nehmen zu und das Sinken wird größer als im normalen Gleitflug. Die Zunahme entspricht etwa der Wurzel aus dem Lastvielfachen, bei  $2g$  also ca. das 1,4-fache, bei  $4g$  das doppelte. Bei Lastvielfachen zwischen  $0g$  und  $1g$  wird es entsprechend kleiner, da weniger Auftrieb erzeugt wird. Bei negativen Lastvielfachen wird das Sinken wieder rapide größer!

Bei allen Steuerbewegungen welche zusätzliche  $g$ -Kräfte erzeugen tritt dies in der beschriebenen Weise auf. Dies ist kein Fehler oder Mangel der Kompensation, im Gegenteil, es zeigt die wahren physikalischen Verhältnisse. Die Kenntnis dieser Zusammenhänge hilft, die Varioanzeige richtig zu interpretieren.

### TEK-Pro-Düse für V-Leitwerke

Für V-Leitwerks Modelle gibt es eine Düsenvariante die senkrecht im Rumpf eingebaut werden kann. Bei V-Leitwerksmodellen, speziell mit dünnen Rümpfen von Zweckmodellen, ist es eine gute Alternative zur Seitenleitwerksvariante. Die Düse muss im rechten Winkel senkrecht zur Flugachse eingebaut werden. Um die dünne Rumpfwandung zu verstärken und dem Düsenhalter genügend Halt zu geben, sollte eine kleine ca. 2-3mm dicke Sperrholz- oder GFK-Platte innen auf die Rumpfwand geklebt werden. Danach kann das 3mm Loch für den Düsenhalter gebohrt werden.



Die V-Leitwerks-Düse kann bei kleineren, oder Zweckmodellen auf eine Länge des zweifachen Rumpfdurchmessers gekürzt werden. Hier die Montage am Beispiel einer 4.5m-Elvira mit Länge von ca. 100mm.

### Durchführung der Testflüge

Für die Testflüge einen möglichst „thermiklosen“ Zeitpunkt wählen.

Stellen sie das Variometer so ein, dass sie eine ständige Toninformation haben, ohne die eine vernünftige Einschätzung der Verhältnisse nicht möglich ist. Stellen sie die Sinkentonschwelle auf das Eigensinken des Modells, also z.B. -0,7m/s. Schalten sie alle überflüssigen Ansagen (Geschwindigkeitsansagen usw.) aus, damit sie nicht im entscheidenden Moment dadurch gestört werden!

Fliegen sie einen geraden Bahnneigungsflug (ca.20° abwärts) bis der Sinkenton verstummt (ca. -4m/s), mit anschließendem geradem Wiederhochziehen bis fast zur Trimmgeschwindigkeit während dem der Sinkenton wieder einsetzt und höher wird. Beim Nachdrücken in den Trimmflug (Lastvielfaches < 1g aber nicht negativ!) muss der Ton für den „Nullschieber“ einsetzen, aber gerade noch kein Steigenton.

Fliegen sie dieses Manöver möglichst kontrolliert und gefühlvoll mehrmals und beobachten sie den Variometer-Ton genau. Das Ergebnis sollte reproduzierbar sein.

Sollte beim Nachdrücken in den Trimmflug ein einziger „Piep“ des Steigentons kommen, so ist das noch tolerabel (minimale Unterkompensation), mehr jedoch nicht.

### Einbauhinweise

Das Variometer wird im Kabinenbereich des Modells installiert. Die beiden kurzen 2x1mm Silikonschlauch-Stücke dienen zur Verbindung des Düsenhalters bzw. des Sensors mit dem leichten und dünnwandigen Teflon-Druckschlauch. Alle Schläuche können beliebig verkürzt oder notfalls verlängert werden.

Der Düsenhalter wird in der Nase des Seitenleitwerks installiert und dient der Aufnahme der TEK-Düse. Der Düsenhalter (3mm Durchmesser) wird unterhalb des oberen Endes des Seitenleitwerks angebracht. Bohren sie ein Loch mit 3mm Durchmesser und kleben sie hier das aufgeraute Düsenhalter-Röhrchen ein. Der längere Führungsteil des Halters zeigt zur TEK Düse. Die Kerben im Halter sitzen somit in Richtung Schlauch. Den Düsenhalter vor dem einkleben mit der aufgesteckten Düse in Längsrichtung und Neigung genau ausrichten. Die Neigung sollte möglichst gut mit der Nullachse des Höhenleitwerks übereinstimmen. Verbinden sie nun Düsenhalter und Variometer mit den kurzen Silikon-Schläuchen und dem langen Teflon-Druckschlauch.

Generell sollten nach der Montage alles auf Dichtigkeit geprüft werden.

Die Düse muss nach dem Einstecken in den Halter mit dem kurzen Silikonschlauch abgedichtet werden.

Für den Einbau des Variometers gelten die Hinweise in der Bedienungsanleitung für das Variometer.

### **Tipp zum nachträglichen Einbau in ein fertiges Modell**

Bohren sie das Loch wie zuvor. Stecken sie den Schlauch auf den Düsenhalter, aber richtig herum. Die größere Öffnung dient zur Aufnahme der Düse. Vergessen sie nicht den Düsenhalter aufzurauen. Fädeln sie nun einen flexiblen isolierten Schaltdraht 1,5qmm in den senkrecht gestellten Rumpf von hinten durch das Düsenhalter-Loch nach vorne in den Kabinenbereich. Knicken sie das Drahtende so, dass es gerade noch durch den Düsenhalter geht und im Silikon-Schlauch klemmt. Ziehen sie jetzt das Ganze vorsichtig durch den Rumpf bis es am Loch im Seitenleitwerk ankommt. Fädeln sie den Düsenhalter durch die Bohrung und ziehen den Draht aus dem Düsenhalter. Stecken sie nun vorsichtig die Düse auf. Mit dem Rest ist wie zuvor beschreiben zu verfahren..

### **Historie der Düsenentwicklung**

Die TEK-Düse PRO ist das Ergebnis einer langjährigen Entwicklungs- und Optimierungsphase von Rolf Schuler.

Erste Muster dieser Düse wurden bereits 1996 aufgebaut als mit der Entwicklung der ersten Modellflug-Variometer begonnen wurde. Damals wurden verschiedene, in dem Buch *Streckensegelflug* von Helmut Reichmann beschriebene Düsenbauformen untersucht. Sogar ein kleiner Windkanal für Vergleichsmessungen wurde gebaut.

Die meisten zeigten jedoch ein unbefriedigendes Kompensationsverhalten, meistens Unterkompensation.

Auch die einfach herzustellende und deshalb oft verwendete Nicks-Düse zeigt dieses Verhalten. Anmerkung: Im bemannten Segelflug erzielt die Nicks-Düse gute Ergebnisse, was an der größeren Bauform und den höheren Fluggeschwindigkeiten liegt. Die Düse arbeitet dort bei größeren Re-Zahlen.

Mit der sog. Braunschweiger Düse wurden sehr viel bessere Ergebnisse erzielt. Sie ist etwas aufwendiger herzustellen, erreicht aber abhängig von den Abmessungen sicher den Beiwert (-1), also eine 100%ige Kompensation. Darüber hinaus kann der Kompensationswert bei dieser Düse sehr einfach abgeglichen werden, wodurch eine individuelle Anpassung an das Modell möglich wird.

### **Technische Daten**

Düsen-Typ:	„Braunschweiger-Düse“ für Seitenleitwerke
Kompensations-Beiwert:	sehr nahe 1 (kann angepasst werden)
Modellgröße:	geeignet für Modelle ab ca. 3m Spannweite
Abmessungen der SLW Düse, normal:	ca. 180mm lang und 40mm hoch
Abmessungen der SLW Düse, lang:	ca. 235mm lang und 40mm hoch für Modelle $\geq$ M3:1
Abmessungen der VLW Düse:normal	ca. 100mm hoch
Abmessungen der VLW Düse lang:	ca. 150mm hoch

Abmessung des PRO-Halters: 30mm lang, 3mm Außendurchmesser

Verbindungsschlauch: 2x Silikon 2x1mm Verbinder u. 2.5mm Teflon-Druckschlauch (2m, optional länger) ca. 5g/m.

Gewicht: TEK-Düse mit Halter wiegt ca. 5g

Selbstverständlich funktioniert die PRO-Düse auch mit allen anderen Modellflug-Variometern sofern ein Düsenanschluss vorhanden ist.

### **Gewährleistung**

Die Gewährleistung beträgt 2 Jahre ab Auslieferung und bezieht sich auf die Funktionen des in der Anleitung beschriebenen Produktes in Hinsicht auf auftretende Mängel, die auf Fabrikations- oder Materialfehler zurückzuführen sind. Alle weitergehenden Ansprüche, insbesondere für Personen- oder Sachschäden und deren Folgen sind ausgeschlossen. Bei Schäden durch unsachgemäße Behandlung oder Fremdeinwirkung besteht kein Gewährleistungsanspruch.

Der reklamierte Artikel muss zusammen mit einer Kopie der Rechnung, ausreichend frankiert, eingeschickt werden.

Geräte die außerhalb der EU bei einem Händler gekauft wurden, müssen auch über diesen wieder zum Service oder Garantieleistung entsprechend deklariert an wstech geschickt.

### **Sicherheitshinweise**

Das Gerät darf nur für die hier in der Bedienungsanleitung beschriebene Anwendung eingesetzt werden.

Beachten Sie auch die Sicherheitshinweise und die Bedienungsanleitungen der Zusatzgeräte an die das Gerät angeschlossen wird.

Der Hersteller übernimmt keine Verantwortung für Schäden, die bei der Benutzung des Gerätes auftreten, sowie für Beanstandungen Dritter.