

04 03 00 Winddreieck

Prinzipiell lassen sich benötigte Größen im Winddreieck auf zwei verschiedene Arten berechnen, zum einen rein mathematisch mit Hilfe trigonometrischer Formeln oder zum anderen mit Hilfe einer besonderen Rechenscheibe, die allgemein unter dem Namen „Drehmeier“ bekannt ist. Darüber hinaus lassen sich die Größen natürlich auch grafisch durch Zeichnen auf Millimeterpapier und nachträglichem Ausmessen ermitteln.

Obwohl die trigonometrische Berechnung für die Prüfung nicht verlangt wird, im Folgenden ein paar Erklärungen dazu.

Trigonometrische Berechnung

Die trigonometrische Berechnung ist nichts anderes als die Anwendung von Sinus- und Cosinussatz. In einem Dreieck der euklidischen Geometrie mit den Seitenlängen a , b , c und den Winkeln α , β , γ gilt nämlich folgender Zusammenhang:

$$\frac{a}{\sin \alpha} = \frac{b}{\sin \beta} = \frac{c}{\sin \gamma} \quad (\text{Sinussatz})$$

Dabei sind die Winkel die der jeweils gegenüberliegenden Seite. Wendet man den Sinussatz konkret auf unser Winddreieck an, so erhält man:

Winddreieck (trigonometrische Berechnung)

$$\frac{WS}{\sin(WCA)} = \frac{TAS}{\sin(WA)} = \frac{GS}{\sin(WR)}$$

WS= Windspeed; TAS = True Airspeed; GS = Groundspeed;
WCA = Wind Correction Angle; WA = Wind Angle;
WR = Relative Wind Angle = WA - |WCA oder Drift|

Die Verwendung von WA statt $180 - WA$ hat dabei rein praktische Zwecke. Sofern ausreichend viele Werte bekannt sind, lassen sich die fehlenden Größen nach diesen Formeln berechnen. Wir wollen das an folgendem Beispiel demonstrieren.

Beispiel: Es seien folgende Werte gegeben, TH und GS sind zu berechnen:
TC = 30°

TAS = 170 Knoten

W/WS = 080° / 20 Knoten

Lösung: Am besten ist es, das Winddreieck auf einem Blatt Papier aufzuzeichnen.

Wie man erkennt, sind WS und TAS gegeben und der Wind Angle WA lässt sich leicht ermitteln. Der Wind kommt aus 80°, das ergibt einen Winkel von 50° zum angenommenen Kurs (TC). Einsetzen in die linke Gleichung ergibt:

$$\frac{20}{\sin(WCA)} = \frac{170}{\sin(50^\circ)} \quad \text{oder umgestellt} \quad \sin(WCA) = \frac{20 * \sin(50^\circ)}{170}$$

Woraus man mit einem Taschenrechner mit der Umkehrfunktion des Sinus WCA ermitteln kann: WCA = 5,17°.

Damit ist auch der Relative Wind WR festgelegt: WR = 50 - 5,17° = 44,83°.

Somit lässt sich über die rechte Gleichung auch die Groundspeed ermitteln:

$$GS = \sin(WR) * \frac{TAS}{\sin(WA)} = 0,705 * \frac{170}{0,766} = 156,46 \quad \text{Knoten}$$

Nicht ganz so einfach lässt sich die Aufgabe lösen, wenn bei gegebenen Vektoren von TH/TAS und TC/GS nach Windrichtung und Windstärke gefragt wird. Hier wendet man am besten zusätzlich den Cosinussatz an. In einem Dreieck der euklidischen Geometrie mit den Seitenlängen a, b, c und den Winkeln α , β , γ gilt nämlich folgender Zusammenhang:

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2 * a * b * \cos(\alpha) \quad (\text{Cosinussatz})$$

Beispiel: Es seien folgende Werte gegeben, W und WS sind zu berechnen:

TC/GS = 120° / 140 Knoten

TH/TAS = 115° / 150 Knoten

Lösung: Es kann hilfreich sein, das Winddreieck auf einem Blatt Papier aufzuzeichnen.

Mit Hilfe des Cosinussatzes errechnet man die Windstärke in Knoten:

$$(WS)^2 = 22500 + 19600 - 41840,177 = 259,82$$

WS = 16,12 Knoten

WCA ist offensichtlich -5°, wobei wir das Minuszeichen für die folgende Rechnung nicht zu beachten brauchen.

$$WS/\sin(WCA) = 16,12/\sin(5^\circ) = 184,945$$

Daraus lässt sich WA berechnen:

$\sin(WA) = TAS / 184,945$ und mit der Umkehrfunktion folgt $WA = 54,2^\circ$.

Um die Windrichtung zu erhalten, muss man noch WA von TC abziehen (siehe Abbildung 90).

Windrichtung $W = TC - WA = 120^\circ - 54,2^\circ = \underline{\underline{65,8^\circ}}$

Berechnung mittels Rechenscheibe („Drehmeier“)

Kommen wir zur Berechnung mittels Drehmeier, die sich als Alternative anbietet. Für den hier betrachteten Zweck nutzt man die Rückseite, die aus einer verstellbaren Kursrose und einem rechteckigen Schieber besteht. Auf dem feststehenden Teil findet man den True Index, ein nach unten zeigendes Dreieck, an dem sich der jeweilige Kurs (TH,TC,W) der Kursrose einstellen lässt. Der Mittelpunkt der Scheibe gehört zu den Geschwindigkeiten (TAS,GS,WS) und wird als Grommet bezeichnet. True Index und Grommet lassen sich als zusammenhängendes Paar interpretieren, d.h. steht der True Index auf TC, muss die GS unter den Grommet, steht der True Index auf TH, muss der TAS-Wert unter den Grommet.



Abbildung 104: Spock mit dem Drehmeier. Bei dieser Genauigkeit wird man das Ziel lediglich um wenige Lichtjahre verfehlen. (Quelle: Screenshot aus ‚Raumschiff Enterprise‘)

Es gibt entsprechend der möglichen Kombinationen der Grundgrößen insgesamt sechs Typen von Aufgaben, die wir im Folgenden näher betrachten wollen. Es sind dabei

stets vier Größen des Winddreiecks gegeben und die beiden fehlenden Größen sind jeweils zu berechnen.

Berechnung des Steuerkurses (Heading)

Typ 1: Berechnung von TH und GS aus den anderen vier Größen (TC+TAS, W/WS)

Beispiel: Es seien folgende Werte gegeben, TH und GS sind zu berechnen:

TC = 30°

TAS = 170 Knoten

W/WS = $080^\circ / 20$ Knoten

Abbildung 105 zeigt die Berechnung dieses Beispiels mittels Drehmeier, die einzelnen Manipulationen der Scheibe sind in der Grafik dargestellt. Der Rechengvorgang ist in eine Sequenz von vier Einzelschritten zerlegt, die leicht zu erlernen ist. Wie man erkennt, stimmt das Ergebnis (WCA = $5,2^\circ$, GS = 156 kt) in unserem Beispiel in etwa mit der numerischen Berechnung überein.

Der True Index steht am Ende auf TC, der Grommet zeigt die GS.

Typ 2;V: Berechnung von TH und TAS aus den anderen vier Größen (TC/GS, W/WS)

Beispiel: Es seien folgende Werte gegeben, TH und TAS sind zu berechnen:

TC = 177°

GS = 160 Knoten

W/WS = $140^\circ / 20$ Knoten

Die Methode bei dieser Aufgabenstellung ist identisch zu der bei Typ 1 mit dem einzigen Unterschied, das man am Ende die Groundspeed unter den Mittelpunkt der Scheibe („Grommet“) schiebt und die TAS am markierten Punkt abliest.

Das Ergebnis ist TH = $177^\circ - 4^\circ$ (WCA) = 173° und TAS = 176 kt.

Bei diesem Aufgabentyp (V) berechnet man aus zwei vollständig gegebenen Vektoren den dritten Vektor.

Der True Index steht am Ende auf TC, der Grommet steht auf GS.

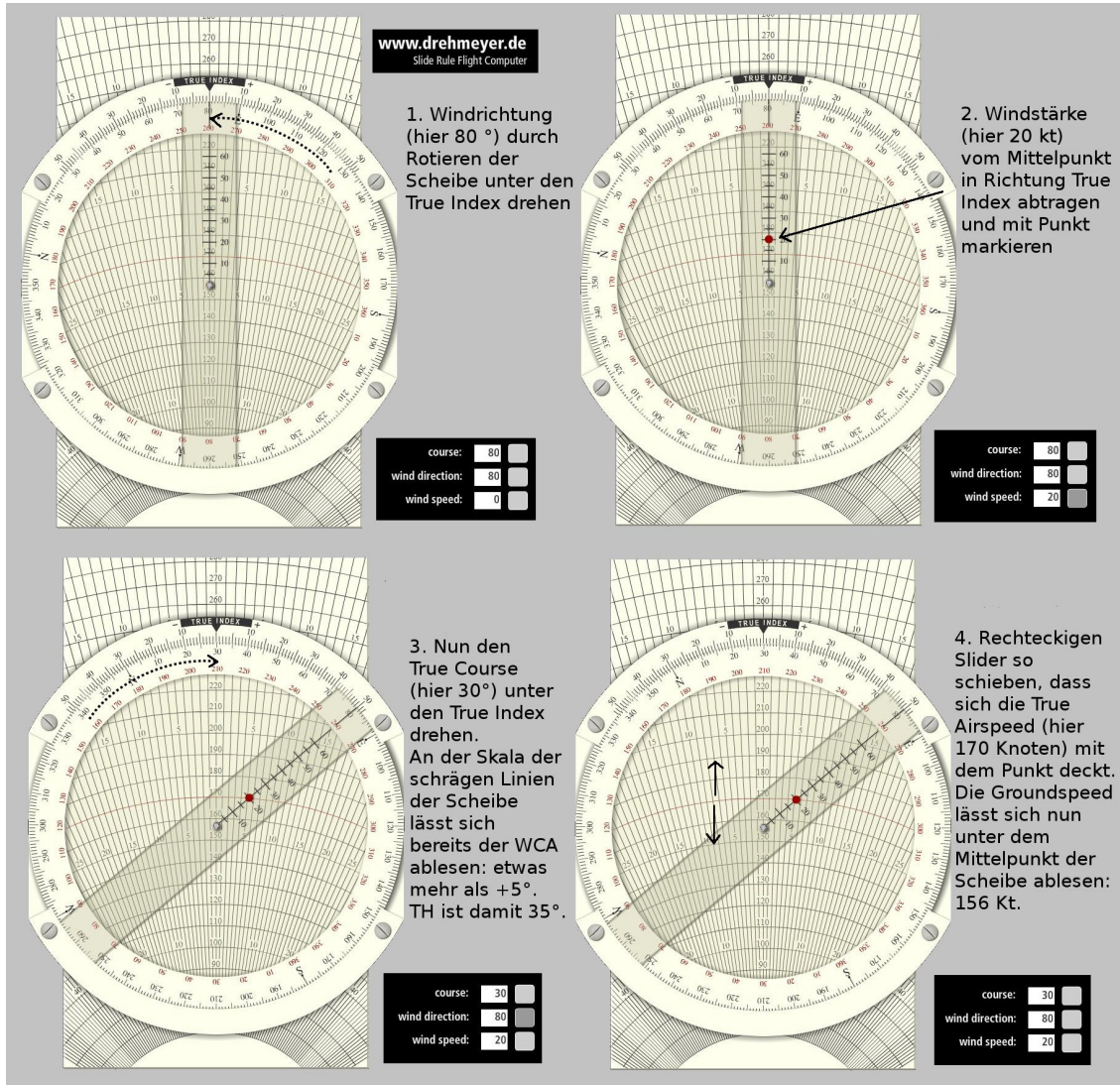


Abbildung 105: Berechnung von TH und GS mittels Drehmeier,
Basis der Grafik ist die Java-Applet Implementierung auf www.drehmeyer.de (Grafik: KLSP)

☞ Hinweis: Für die Prüfung reicht die Anschaffung eines einfachen Pappdrehmeiers, da man das Tool nach der Prüfung selten je wieder benutzen wird.

Berechnung des Windvektors

Typ 3;V: Berechnung des Vektors W/WS aus den anderen vier Größen (TC/GS, TH/TAS)

Wir wollen hierzu im Folgenden auch das zweite numerische Beispiel, bei dem nach Windrichtung und Windgeschwindigkeit gefragt war, mit dem Drehmeier berechnen.

Beispiel: Es seien folgende Werte gegeben, W und WS sind zu berechnen:

TC/GS = 120° / 140 Knoten

TH/TAS = 115° / 150 Knoten

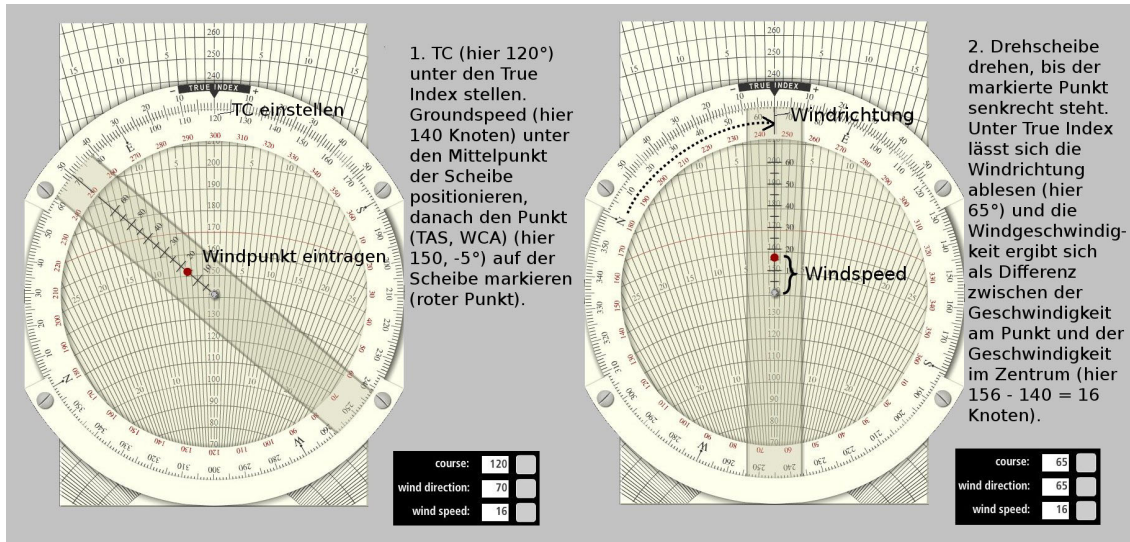


Abbildung 106: Berechnung von W und WS mittels Drehmeier,
Basis der Grafik ist die Java-Applet Implementierung auf www.drehmeyer.de (Grafik: KLSP)

Die einzelnen Schritte dazu sind in Abbildung 106 beschrieben: TC unter der Kursmarke einstellen, Windpunkt eintragen, Windpunkt in die Senkrechte drehen, Ergebnis ablesen. Als Ergebnis erhalten wir ca. 16 Knoten Windgeschwindigkeit aus 65°, was wiederum in etwa mit unserer früheren, numerischen Berechnung übereinstimmt. Bei diesem Aufgabentyp (V) berechnet man aus zwei vollständig gegebenen Vektoren den dritten Vektor. Der True Index steht am Ende auf W, der Grommet steht auf GS.

Beispiel:

The following information is displayed on an Inertial Navigation System: GS 520 kt, True HDG 090°, Drift angle 5° right, TAS 480 kt. SAT (static air temperature) -51°C. The W/V being experienced is:

Lösung:

TC/GS = 95°/480 KTS

TH/TAS = 90°/520 KTAS

Drehmeier nutzen wie oben beschrieben. Ergebnis: W/WS = 320°/60 KTS

Berechnung des True Course

Typ 4;V: Berechnung von TC und GS aus den anderen vier Größen (TH/TAS, W/WS)

Man beginnt mit dem Windvektor, Windpunkt nach oben eintragen, dreht danach das True Heading auf den True Index und bringt den Grommet mit dem TAS Wert zur Deckung. Den angezeigten Winkel (im folgenden Beispiel 5°) muss man als Drift abziehen, um TC zu erhalten. Im Weiteren dreht man nun den True Index weiter auf TC (im Beispiel 25°), bringt den Windpunkt mit der TAS zur Deckung und liest am Grommet die GS ab, siehe auch Abbildung 107.

Bei diesem Aufgabentyp (V) berechnet man aus zwei vollständig gegebenen Vektoren den dritten Vektor. Der True Index steht am Ende auf TC, der Grommet zeigt die GS.

Beispiel: Es seien folgende Werte gegeben, TC und GS sind zu berechnen:

TH/TAS = 30° / 170 Knoten

W/WS = 080°/ 20 Knoten

Drehmeier nutzen wie oben beschrieben. WCA = +5°

Ergebnis: TC = TH-WCA = 25° und GS = 157 KTS

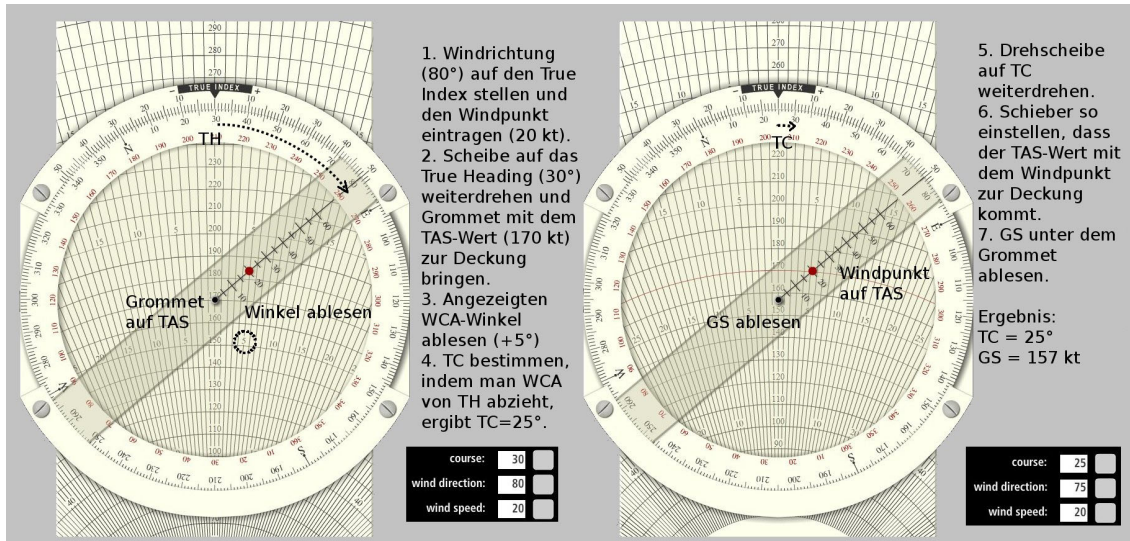


Abbildung 107: Berechnung von TC und GS mittels Drehmeier

Basis der Grafik ist die Java-Applet Implementierung auf www.drehmeyer.de (Grafik: KLSP)

Typ 5: Berechnung von TC und TAS aus den anderen vier Größen (TH+GS, W/WS)

Man beginnt mit dem Windvektor, Windpunkt nach oben eintragen, dreht den True Index auf das True Heading und bringt den GS-Wert mit dem Windpunkt zur Deckung. Den angezeigten Winkel (im folgenden Beispiel 5°) muss man als Drift abziehen, um

TC zu erhalten. Im Weiteren dreht man den True Index weiter auf TC (im Beispiel 42°), bringt GS mit dem Grommet zur Deckung und liest am Windpunkt die TAS ab. Der True Index steht am Ende auf TC, der Grommet steht auf GS.

Beispiel: Es seien folgende Werte gegeben, TC und TAS sind zu berechnen:

TH = 50°

GS = 130 Knoten

W/WS = 090°/ 30 Knoten

Drehmeier nutzen wie oben beschrieben. Ergebnis: TC = 42° und TAS = 152 KTS

Berechnung der beiden Speeds

Typ 6: Berechnung von TAS und GS aus den anderen vier Größen (TH+TC, W/WS)

Man beginnt mit dem Windvektor, dreht den True Index auf den True Course und positioniert den Windpunkt so, dass der WCA-Wert der Differenz zwischen TH und TC entspricht. Der Windpunkt liegt auf der Linie mit der TAS, der Grommet zeigt die GS. Der True Index steht am Ende auf TC, der Grommet steht auf GS.



Final Checks: 1. Bei allen Aufgabentypen außer beim Windvektor Typ 3 muss am Ende der True Index auf TC und der Grommet auf GS stehen. 2. Per Zeichnung (kleine Skizze) auf Plausibilität der Ergebniswerte prüfen.

Im Folgenden ein paar Übungsaufgaben; Ergebnisse kursiv dargestellt:

Typ	TH	TAS [kt]	TC	GS [kt]	W/WS
1	<i>106°</i>	90	090°	<i>82</i>	170°/25
2V	<i>106°</i>	<i>197</i>	100°	180	150°/25
3V	150°	130	140°	120	<i>210°/25</i>
4V	290°	150	<i>294°</i>	<i>133</i>	260°/20
5	250°	<i>102</i>	<i>237°</i>	120	010°/30
6	230°	<i>105</i>	220°	<i>110</i>	300°/20



Für das Examen sollte man Winddreiecksaufgaben mindestens solange üben, bis man man die unterschiedlichen Kombinationen der verschiedenen Größen alle einmal gelöst hat. Dazu gibt es eine Unzahl von Aufgaben zum Winddreieck in verschiedenen Sammlungen von Prüfungsaufgaben respektive der jeweiligen Softwareprodukte bzw. Websites zur interaktiven Prüfungsvorbereitung im Internet.

Auch der jeweiligen Bedienungsanleitung des Drehmeiers (z.B. Jeppesen Slide Graphic Computer o.A.) lassen sich weitere Übungsaufgaben zum Winddreieck und zu allen anderen Rechenfunktionen des Drehmeiers entnehmen inklusive deren Lösungen.