

4. überarbeitete Auflage

Flugbetrieb

Kurse

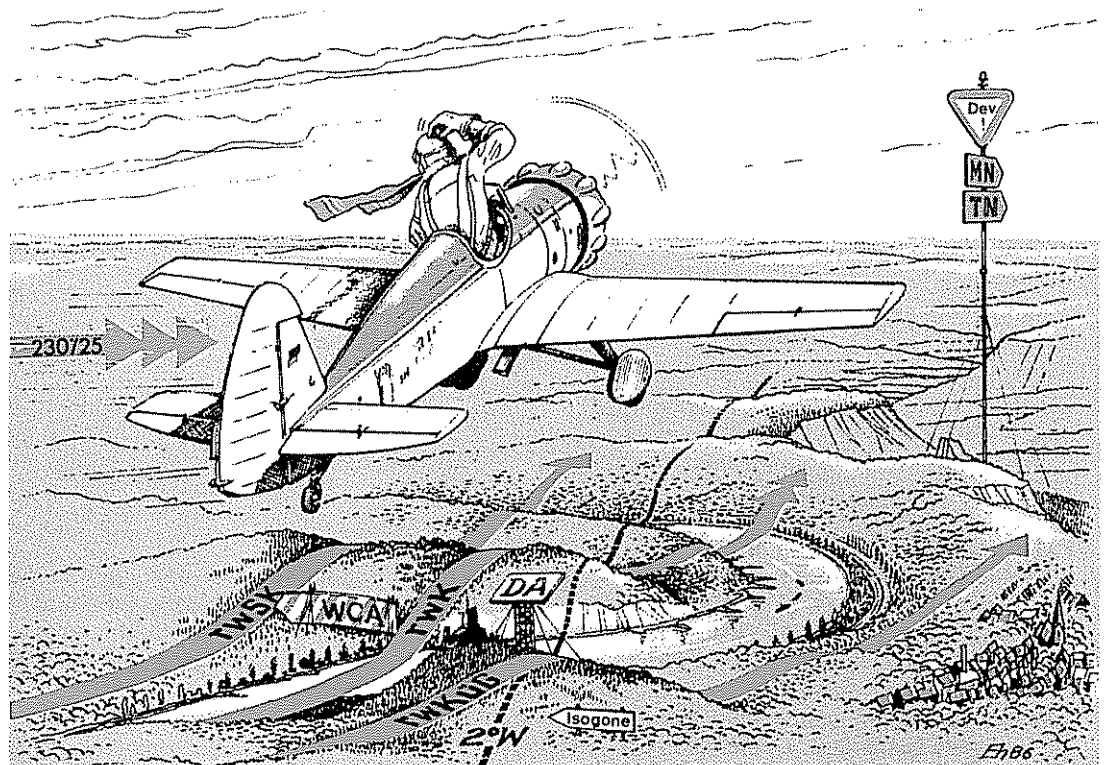
Braunschweig, 4. Auflage Nov 1993  
LBA III 511 – 985 2/86

### Dieses Kursbuch hilft zum Glück bei rwK und mwKüG!

*Piloten haben es nicht leicht. Nicht so leicht jedenfalls wie der Wandersmann im antiken Römerreich, der nach Rom wollte, denn damals führten, wie es heißt, alle Wege nach Rom.*

*Navigation heißt das Zaubermittel, mit dem es dem Piloten möglich ist, ohne Wegweiser nicht nur Rom, sondern jeden gewünschten Zielort zu erreichen. Der Zugang zu diesem Zaubermittel ist jedoch dornig, wie wir alle im Theorieunterricht leidvoll erfahren müssen. Die Navigation ist fast eine Fremdsprache. Ein Begriff und drei Vokabeln oder drei Begriffe für eine Vokabel stiften Verwirrung. Wenn es doch wenigstens ein Wörterbuch gäbe oder besser noch: ein Wörterbuch, das die Begriffe mit ihren Zusammenhängen erläutert.*

*Genau das soll diese Flugsicherheitsmitteilung sein. Und wenn sie irgendwann einmal noch zu einem einheitlichen Sprachgebrauch führte, dann wäre viel erreicht. Man versteht sich besser, wenn man eine Sprache spricht.*



## Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Das Erdkoordinatensystem	2
1.1 Längenkreis (Meridian) und geographische Länge	2
1.2 Breitenkreis und geographische Breite	3
1.3 Das Koordinatensystem und die Beschreibung eines Ortes	4
2. Bezugsrichtungen und Beschickungen	4
2.1 Bezugsrichtungen	4
2.2 Beschickungen und Magnetfelder	5
3. Geschwindigkeiten und Richtungen	6
3.1 Wahre Eigengeschwindigkeit $V_E$	6
3.2 Grundgeschwindigkeit $V_G$	6
3.3 Windgeschwindigkeit $V_W$	7
3.4 Windrichtung $W_P$	7
4. Kurse und Windeinfluß	7
4.1 Kursplanung und Kurslinie	7
4.2 Windeinfluß	9
4.3 Flugrichtung und Steuerkurs	12
4.4 Aktuelle Beobachtung und Kurs über Grund	15
5. Winddreieck	16
5.1 Konstruktion des Winddreieckes	16
5.2 Winkel des Winddreieckes	17
5.3 Windkomponenten im Winddreieck	18
5.4 Eckpunkte des Winddreieckes	20
6. Abschließende Zusammenfassung	21
6.1 Vollständiges Kursschema	21
6.2 Alphabetische Tabelle der verwendeten Begriffe	21

### 1 Das Erdkoordinatensystem

Standort- und Richtungsbestimmungen gehören zu den grundlegenden Dingen der Navigation. Um diese präzise und unabhängig von Bodenmerkmalen durchführen zu können, muß ein Bezugssystem vorhanden sein. Zu diesem Zweck ist die Erde mit einem gedachten Koordinatennetz (Gradnetz) überzogen, welches aus Längen- und Breitenkreisen besteht.

#### 1.1 Längenkreis (Meridian) und geographische Länge

Als Längenkreise oder Meridiane werden alle

Halbkreise bezeichnet, welche die geographischen Pole miteinander verbinden. Der dabei durch die Sternwarte von Greenwich verlaufende Meridian wird willkürlich **Nullmeridian** genannt.

Als Maß für die geographische Länge eines Ortes wird daher der Winkel zwischen dem Nullmeridian und dem durch den Ort verlaufenden Meridian (Ortsmeridian) benutzt, gemessen in der Äquatorebene am Erdmittelpunkt.

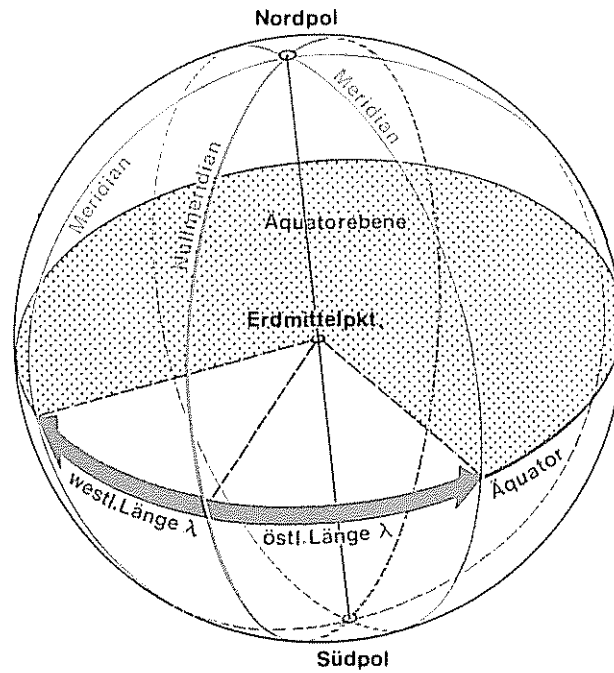


Abbildung 1: geographische Länge  $\lambda$  (Lambda)

Der Winkel wird angegeben in Grad ( $^{\circ}$ ), Minuten ( $'$ ) und Sekunden ( $''$ ). Dabei entspricht:

$$1^{\circ} = 60'$$

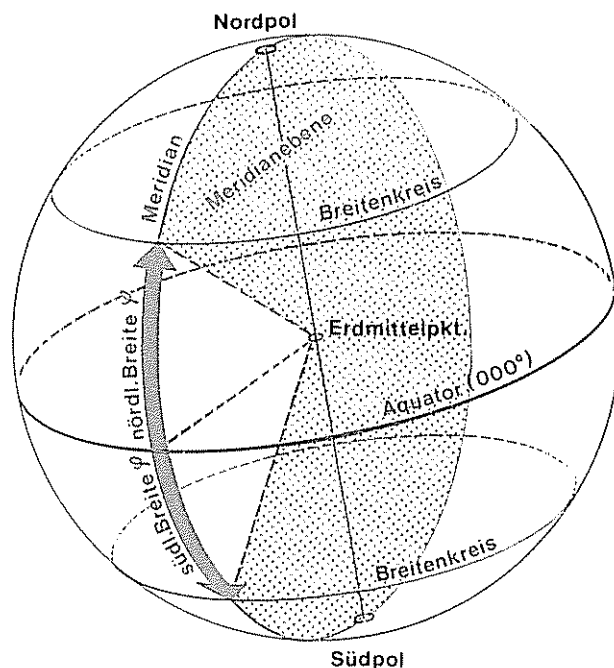
$$1' = 60''$$

Gezählt wird vom Nullmeridian aus einmal in östlicher Richtung von  $000^{\circ}$  bis  $180^{\circ}$  Ost (E) bzw. in Richtung Westen von  $000^{\circ}$  bis  $180^{\circ}$  West (W).

## 1.2 Breitenkreis und geographische Breite

Die Breitenkreise stehen senkrecht zu den Meridianen und damit zur Erdachse und verlaufen parallel zueinander, deshalb nennt man sie auch „Breitenparallele“.

Als Maß für die geographische Breite dient der Winkel zwischen der Äquatorebene und einem Breitenkreis, gemessen am Erdmittelpunkt in der Ebene eines Meridians.



3 Abbildung 2: geographische Breite  $\varphi$  (Phi)

Wie die geographische Länge, so wird auch die geographische Breite in Grad, Minuten und Sekunden angegeben

Gezählt wird hier vom Äquator aus in Richtung Norden von 000° bis 090° Nord (N) bzw nach Süden von 000° bis 090° Süd (S).

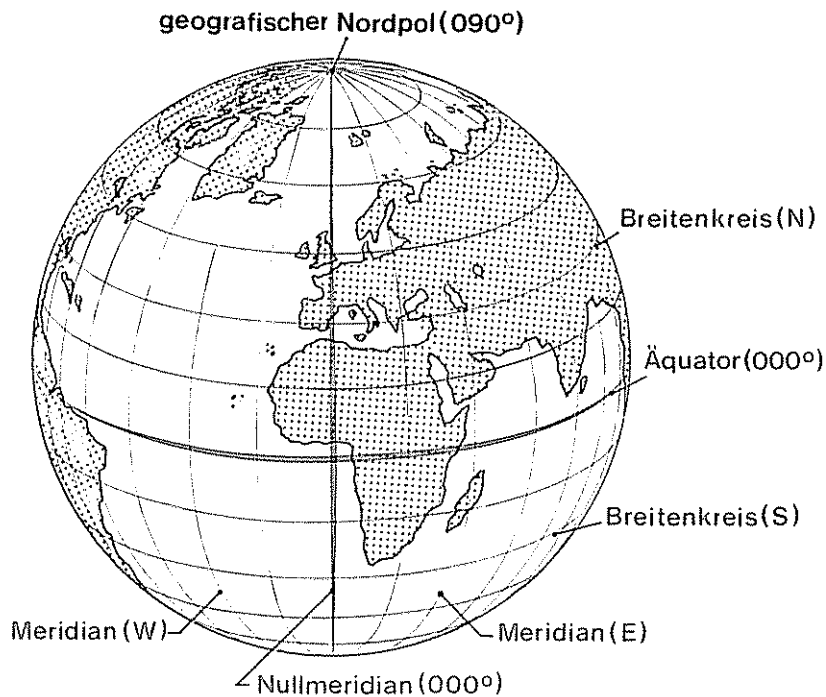


Abbildung 3: Gradnetz der Erde

### 1.3 Das Koordinatensystem und die Beschreibung eines Ortes

Die Abbildung 3 zeigt das vollständige Koordinatensystem der Erde.

Ein Ort wird beschrieben durch Angabe seiner geographischen Breite und seiner Länge, wobei die Breite immer zuerst genannt wird

Beispiel: Flugplatz Braunschweig (EDVE)  
52° 19' 14" N 10° 33' 27" E

## 2. Bezugsrichtungen und Beschickungen

### 2.1 Bezugsrichtungen

Die Nordrichtung gilt in der Navigation ganz allgemein als die horizontale Bezugsrichtung. Leider gibt es drei Nordrichtungen, was uns, die wir unseren Weg finden wollen, die Navigation erschwert.

#### 1. Rechtweisend Nord rwN (True North TN)

Die rechtweisende oder auch geographische Nordrichtung ist die Richtung, die von den Meridianen bestimmt ist.

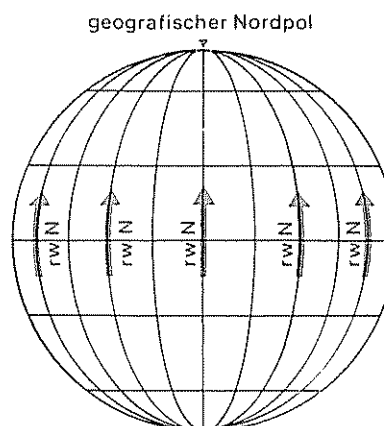


Abbildung 4: rechtweisend Nord rwN

## 2. Mißweisend Nord mwN (Magnetic North MN)

Die mißweisende Nordrichtung ergibt sich aus der Tatsache, daß das erdmagnetische Feld seinen Ursprung nicht in den geographischen Polen hat. Die magnetischen Pole liegen abseits der geographischen Pole.

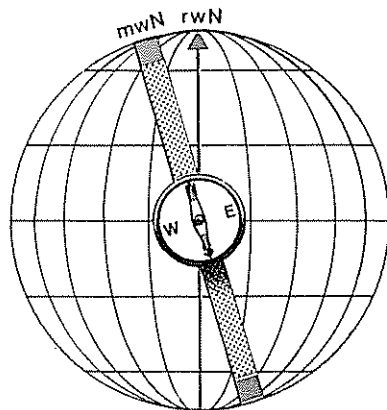


Abbildung 5a: Mißweisend Nord mwN

Ihre magnetischen Feldlinien erzeugen eine eigene Bezugsrichtung. Entlang dieser Feldlinien aber richtet sich eine horizontal frei bewegliche Magnetnadel (Kompaß) aus, sie nimmt die Richtung der Tangente zu den gekrümmten Feldlinien ein.

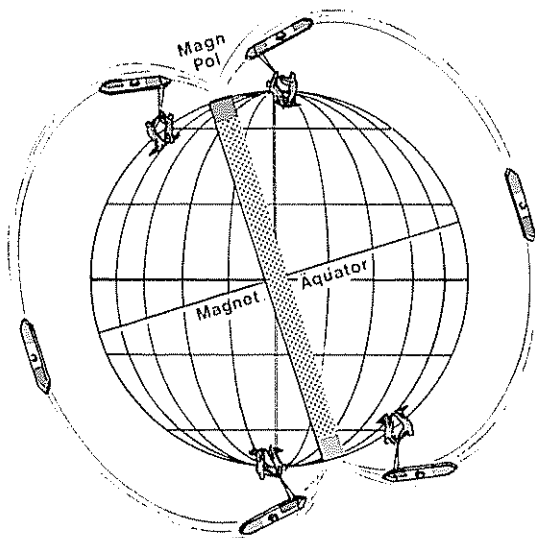


Abbildung 5b: Erdmagnetfeld

## 3 Kompaß-Nord KN (Compass North CN)

Jedes Flugzeug, das u. a. auch aus magnetisierbarem Material besteht, besitzt einen gewissen Eigenmagnetismus. Diesen Eigenmagnetismus erhält das Luftfahrzeug in erster Linie durch die Einwirkung des erdmagnetischen Feldes. Besonders während der Bauzeit, in der das Flugzeug für längere Zeit eine bestimmte Richtung auf der Erdoberfläche einnimmt, werden Magnetpole induziert. Man spricht allgemein vom „Baukurs“ des Luftfahrzeugs.

Neben den induzierten magnetischen Polen, die ein eigenes magnetisches Kraftfeld erzeugen, bewirken auch die im Flugzeug fließenden elektrischen Ströme zusätzliche magnetische Felder.

Der Magnetkompaß wird demnach nicht nur vom Magnetfeld der Erde beeinflusst, sondern auch von dem des Flugzeuges selbst.

Durch diese Einflüsse zeigt der Kompaß eine Nordrichtung an, die sowohl von der geographischen als auch von der magnetischen abweicht. Diese Richtung wird Kompaß-Nord KN genannt.

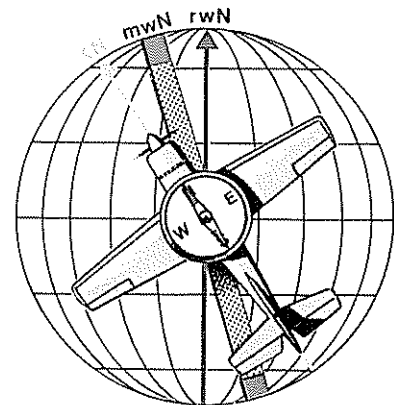


Abbildung 6: Kompaß-Nord

## 2.2 Beschickungen und Magnetfelder

Um die vorab beschriebenen Nordrichtungen rechnerisch miteinander verknüpfen zu können, sind Korrekturwerte (Beschickungen) nötig. Den Genuß des Textes der DIN-Norm hierzu wollen wir Ihnen nicht vorenthalten:

„Beschickungen sind Korrekturen, um die die jeweils gemessenen Werte berichtigt werden müssen, um erfäßbare systematische Abweichungen auszuschalten. Die Vorzeichen der Beschickungen sind so anzugeben, daß die Summe aus Meßwert und Beschickung den richtigen Wert ergibt.“

Für die Praxis reicht erst einmal folgende Merkregel:

**Nach rechts abgetragene Winkel haben immer ein positives (+), nach links abgetragene immer ein negatives (–) Vorzeichen.**

## 1 Mißweisungen MW (Variation VAR)

Der Winkel zwischen rechtweisend und mißweisend Nord wird Mißweisung Mw genannt. Das Vorzeichen ist, ausgehend von rechtweisend Nord, wie folgt festgelegt:

- Mißweisung nach Osten mit der Benennung E:  
positives Vorzeichen (+)
- Mißweisung nach Westen mit der Benennung W:  
negatives Vorzeichen (—)

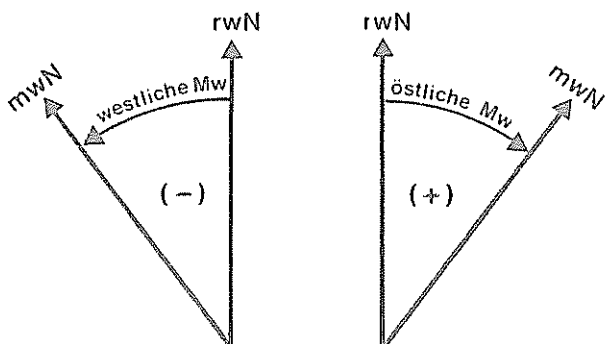


Abbildung 7: Mißweisung

In der Bundesrepublik Deutschland schwankt die Mißweisung zwischen etwa 1° bis 4° West

Die Größe der Mißweisung ist in Luftfahrtkarten dargestellt durch sogenannte Isogonen (Isogonen: Verbindungslinie zwischen Orten gleicher Mißweisung)

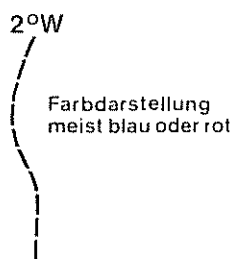


Abbildung 8: Isogonen

Als Rechengröße in der Flugplanung wird die Mißweisung benutzt, in deren Bereich die Kurslinie verläuft. Bei längeren Kurslinien müssen u. U. für Teilstrecken unterschiedliche Mißweisungen entnommen werden

Für Start-, Zwischenlande- und Zielflugplatz kann die Mißweisung dem Luftfahrthandbuch (AIP, VFR) entnommen werden, in dem folgende Darstellung benutzt wird:

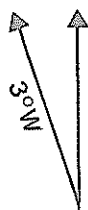


Abbildung 9: Mißweisungsangabe im Luftfahrthandbuch (AIP)

## 2 Deviation Dev (Deviation DEV)

Der Winkel zwischen mißweisend Nord und Kompaß-Nord wird Deviation Dev genannt. Für das Vorzeichen gilt, ausgehend von mißweisend Nord:

- Deviation im Uhrzeigersinn: positiv (+)
- Deviation entgegen dem Uhrzeigersinn: negativ (—)

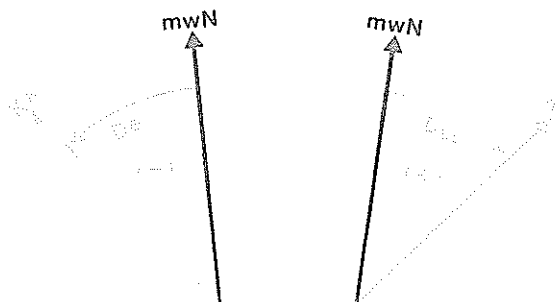


Abbildung 10: Deviation

Die Deviation ist eine flugzeugeigene Größe und somit bei jedem Flugzeug unterschiedlich. Sie ist keine feste Größe, sondern abhängig von der Richtung, in welche die Flugzeuglängsachse ausgerichtet ist.

## 3. Geschwindigkeiten und Richtungen

Die Grundelemente der Navigation sind Richtung, Entfernung und Zeit. Einen wichtigen Stellenwert haben aber auch die abgeleiteten Größen, z. B. die Geschwindigkeit.

Gerade für die Geschwindigkeit gibt es — bedingt durch die Methoden, sie zu messen — eine Anzahl unterschiedlicher Begriffe. Deswegen wollen wir an dieser Stelle noch einmal auf die Geschwindigkeitsbezeichnungen eingehen, die in der Navigation verwendet werden.

### 3.1 Wahre Eigengeschwindigkeit $V_e$ (True Airspeed TAS)

Die wahre Eigengeschwindigkeit ist die Geschwindigkeit, mit der sich ein Flugzeug gegenüber der es umgebenden Luft bewegt. Sie ist die Bezugsgröße in den entsprechenden Tabellen eines jeden Flughandbuches, die der navigatorischen Flugvorbereitung dienen.

Die wahre Eigengeschwindigkeit — dieses sei zur Erinnerung angemerkt — enthält Korrekturen der Einbaufehler des Fahrtmessersystems im Flugzeug sowie der von der Standardatmosphäre eventuell abweichenden Meßgrößen Luftdruck und -temperatur.

### 3.2 Grundgeschwindigkeit $V_g$ (Ground Speed GS)

Die Grundgeschwindigkeit  $V_g$  (oder auch Geschwindigkeit über Grund) beschreibt in der Navigation die Bewegung eines Flugzeuges gegenüber dem Erdboden.

### 3.3 Windgeschwindigkeit $V_W$ (Wind Velocity WV)

Als meteorologische Größe geht schließlich die Windgeschwindigkeit  $V_W$  in die Navigation ein. Im allgemeinen wird sie der Wetterberatung entnommen. Zweierlei sollte man dazu wissen:

Einmal ändert sich die Windgeschwindigkeit mit der Flughöhe, zum anderen wird der Höhenwind nach Stärke und Richtung aus relativ wenigen Meßwerten — die durch Radiosondenaufstiege gewonnen werden — in einem Computerprogramm errechnet

Es kommt also häufig vor, daß die tatsächliche Windgeschwindigkeit von der für die Flugplanung verwendeten Windgeschwindigkeit abweicht

### 3.4 Windrichtung $W_r$ (Wind Direction WD)

Die Windrichtung hat in der Navigation eine besondere Bedeutung. Alle Richtungsbegriffe in der Navigation sind zielorientiert, d. h. sie weisen in die Bewegungsrichtung. Anders der Wind, er wird mit der Richtung bezeichnet, aus der er kommt. Dies muß auch in der zeichnerischen Darstellung bei der Lösung von Navigationsaufgaben berücksichtigt werden, wie später noch erläutert werden wird. Zu beachten ist noch bei der Angabe der Windrichtung, daß der

— Höhenwind (zum Zweck der Flugplanung) **rechtweisend**

— Landebahnwind (als Information für Start und Landung) **mißweisend**

angegeben wird.

## 4. Kurse und Windeinfluß

### 4.1 Kursplanung und Kurslinie (Course Line)

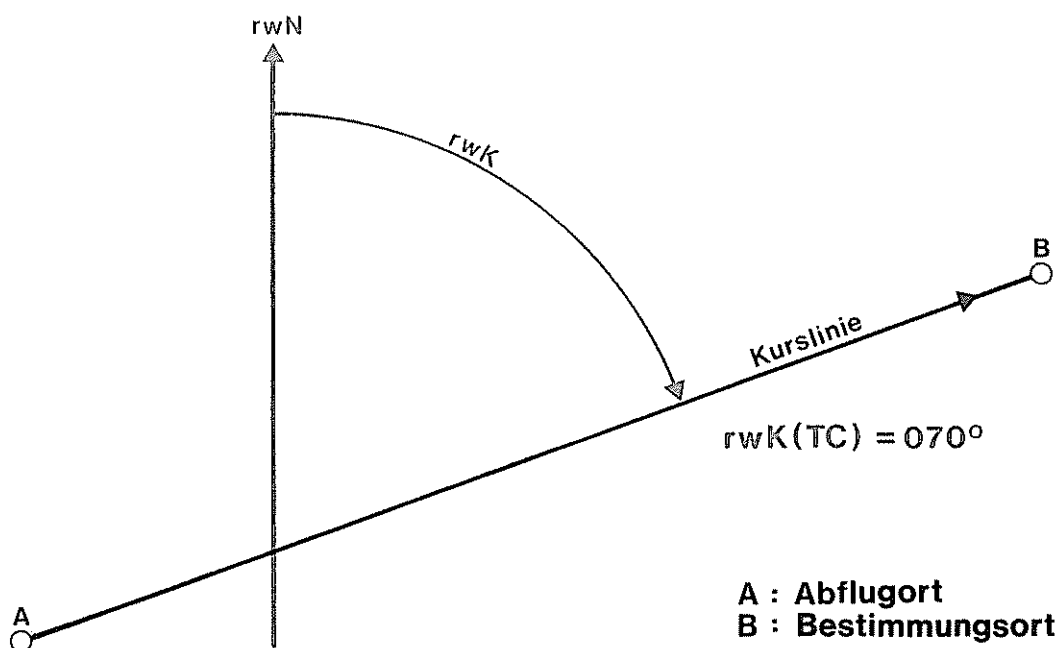
Unter Kursplanung versteht man in der Luftfahrt das Festlegen der Kurslinie. Dazu gibt es im Regelfall zwei Möglichkeiten:

- Terrestrische Navigation  
Festlegung der Flugstrecke nach bodenbezogenen Merkmalen in einer für den Sichtflug geeigneten Karte, üblicherweise in der Luftfahrtkarte ICAO 1:500 000
- Funknavigation  
Festlegung der Flugstrecke unter Benutzung von Funknavigationshilfen (VOR, NDB). Es bietet sich an, zusätzlich zur oben genannten Sichtflugkarte eine Funknavigationsskarte zu Hilfe zu nehmen, weil sich aus ihr schnell die notwendigen Informationen entnehmen lassen. Für den VFR-Piloten sehr übersichtlich ist die Streckenkarte der Deutschen Flugsicherung (DFS) im Maßstab 1:1000 000. Sie umfaßt aber nur den Luftraum der Bundesrepublik Deutschland, im Ausland muß dann auf andere Karten ausgewichen werden (z. B. Jeppesen Low Altitude Enroute Charts).

Es sollen zunächst die der Karte zu entnehmenden Kurse — üblicherweise Kartenkurs K (Course C) genannt — betrachtet werden

#### 1. Rechtweisender Kurs $rwK$ (True Course TC)

Entnimmt man die Richtung der Kurslinie aus der Karte, so ist der Bezug die rechtweisende Nordrichtung. Den Winkel zwischen dieser Richtung der Kurslinie und rechtweisend Nord bezeichnet man als rechtweisenden Kurs  $rwK$  (auch Kartenkurs  $KaK$  genannt). Er wird stets im Uhrzeigersinn gemessen.



Mit diesem Kurs beginnt die Flugplanung für einen Flug nach terrestrischer Navigation, also mit Hilfe der Sichtflugkarte

## 2 Mißweisender Kurs mwK (Magnetic Course MC)

Der mißweisende Kurs mwK läßt sich aus dem

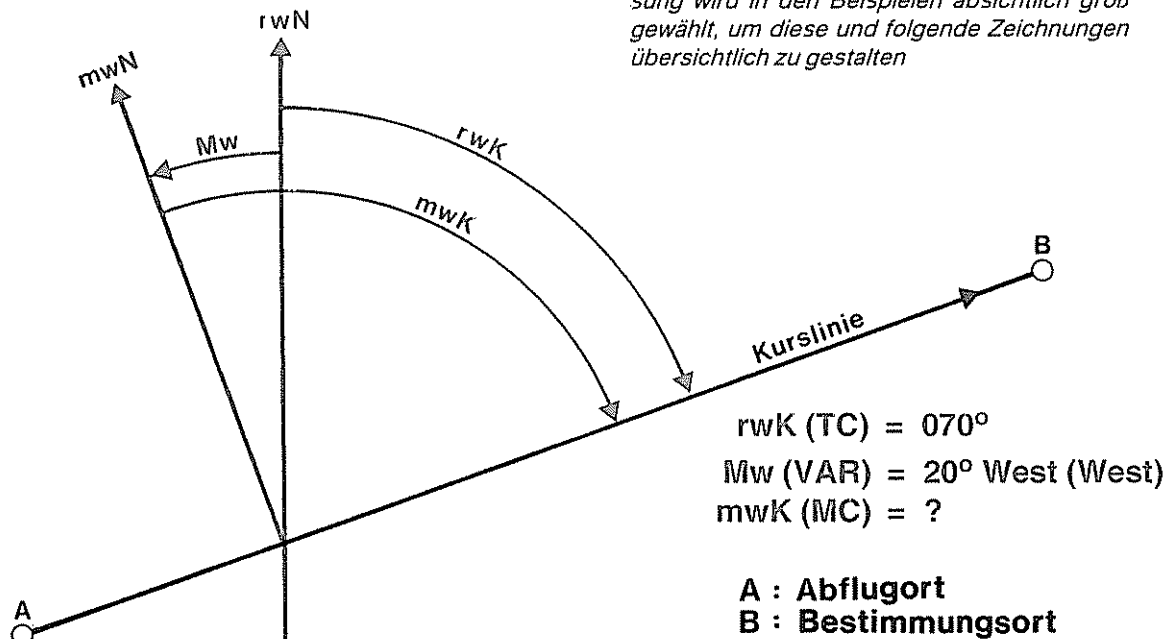


Abbildung 12a: Mißweisung West

Der graphischen Darstellung ist folgender Zusammenhang zu entnehmen:

$$mwK (MC) = rwK (TC) - Mw (VAR)$$

Der mißweisende Kurs ergibt sich also, indem man vom rechtweisenden Kurs die Mißweisung abzieht. Das überrascht zunächst etwas, denn aus dem Bild ergibt sich eigentlich deutlich, daß der mißweisende Kurs größer als der rechtweisende ist.

rechtweisenden Kurs bestimmen, indem man die Mißweisung berücksichtigt.

Die Mißweisung wird aus der Karte entnommen, zweckmäßigerweise etwa in der Mitte der Flugstrecke, und entsprechend graphisch oder rechnerisch eingearbeitet.

*Anmerkung: Der Zahlenwert für die Mißweisung wird in den Beispielen absichtlich groß gewählt, um diese und folgende Zeichnungen übersichtlich zu gestalten.*

Doch der Widerspruch löst sich rasch auf: Die Mißweisung selbst wird hier nach Westen, d. h. nach links abgetragen und damit, wie vorab vereinbart, mit negativem Vorzeichen versehen. Damit ist also zu schreiben, unsere Zahlenwerte gleich eingesetzt:

$$mwK (MC) = 070^\circ - (-20^\circ)$$

*Zur Erinnerung: Gleiche Vorzeichen miteinander multipliziert ergeben plus, ungleiche Vorzeichen ergeben minus*

$$mwK (MC) = 070^\circ + 20^\circ$$

$$mwK (MC) = 090^\circ$$

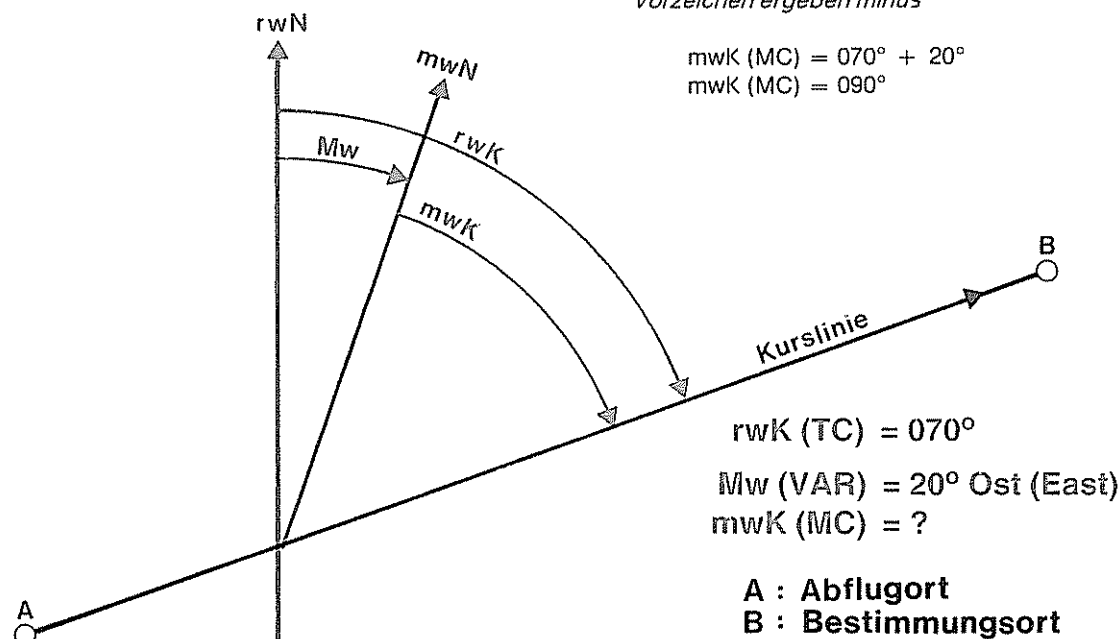


Abbildung 12b: Mißweisung Ost



$mWK (MC) = 070^\circ - (+20^\circ)$   
 $mWK (MC) = 070^\circ - 20^\circ$   
 $mWK (MC) = 050^\circ$

Die Kurse in den Funknavigationskarten sind

grundsätzlich bereits mißweisend angegeben. Die Streckenführung ist an UKW-Drehfunkfeuern (VOR) orientiert, deren Bezugssystem auf mißweisend Nord ausgerichtet ist. Die Flugplanung bei Anwendung der Funknavigation beginnt also mit dem mißweisenden Kurs.

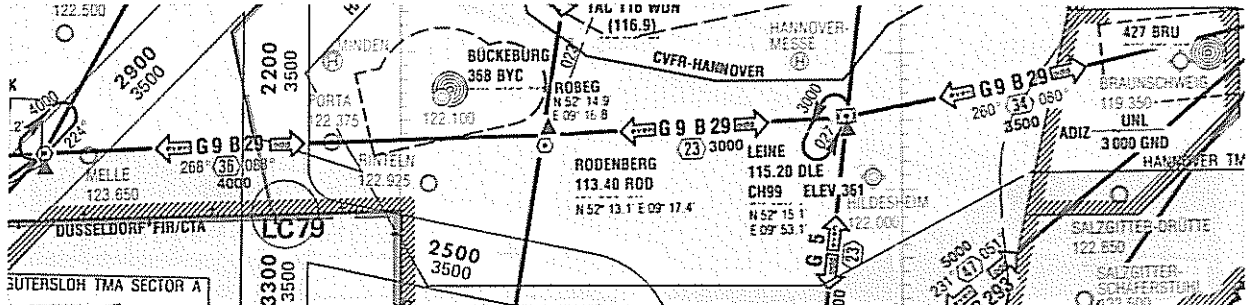


Abb. 13: Ausschnitt Streckenkarte (DFS)

#### 4.2 Windeinfluß

In der bisherigen Betrachtung ist der Wind völlig unberücksichtigt geblieben.

Drei Begriffe, die den Zusammenhang zwischen Windeinwirkung und Flugrichtung beschreiben, sollen betrachtet werden:

- Abtrieb
- Luvwinkel
- Zusätzliche Abtrieb

Dabei wollen wir vor allem Winde betrachten, die von der Seite her auf das Flugzeug einwirken. Der einfache Fall, bei dem der Wind

entgegen dem oder parallel zum Kartenkurs bläst (Gegen- oder Rückenwind), ergibt sich als Sonderfall. Eine Richtungskorrektur ist in diesen Fällen nicht erforderlich, der Wind hat nur Einfluß auf die Geschwindigkeit über Grund.

#### 1 Abtrieb A (Drift Angle DA)

Wird bei Windstille die Flugzeuggängsachse auf den Kartenkurs ausgerichtet, folgt das Flugzeug diesem ohne Abweichung. Bei einwirkendem Seitenwind tritt sofort eine andere Situation ein:

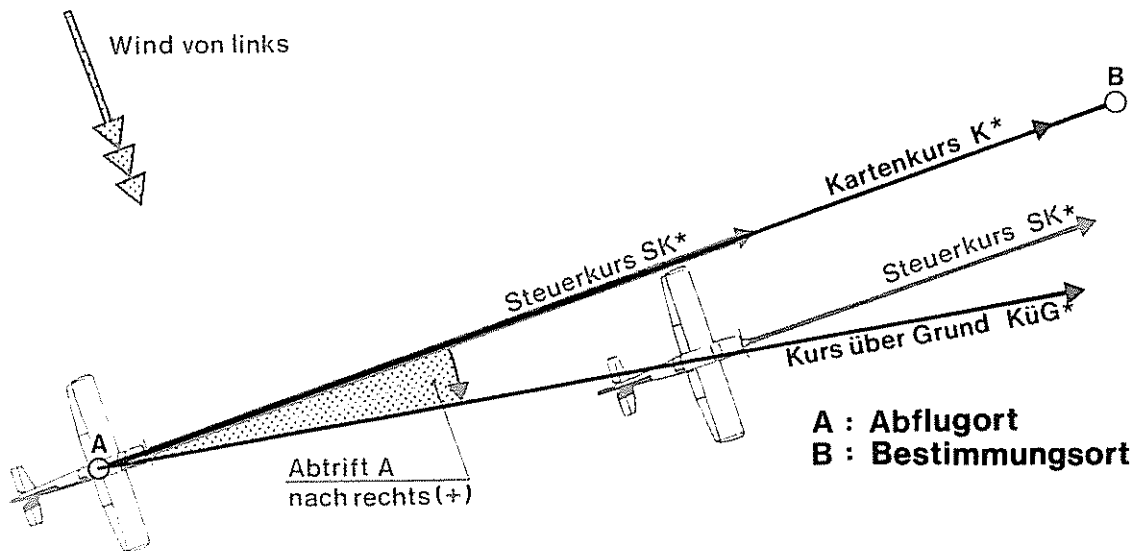


Abbildung 14a: Abtrieb nach rechts

\* Die saloppe Bezeichnung von Kursrichtungen ist streng genommen falsch. Es handelt sich bei diesen Begriffen um Winkelbezeichnungen.

Auf eine Darstellung als Winkel wurde aus Gründen der Übersichtlichkeit und der einfachen Darstellung wegen verzichtet.

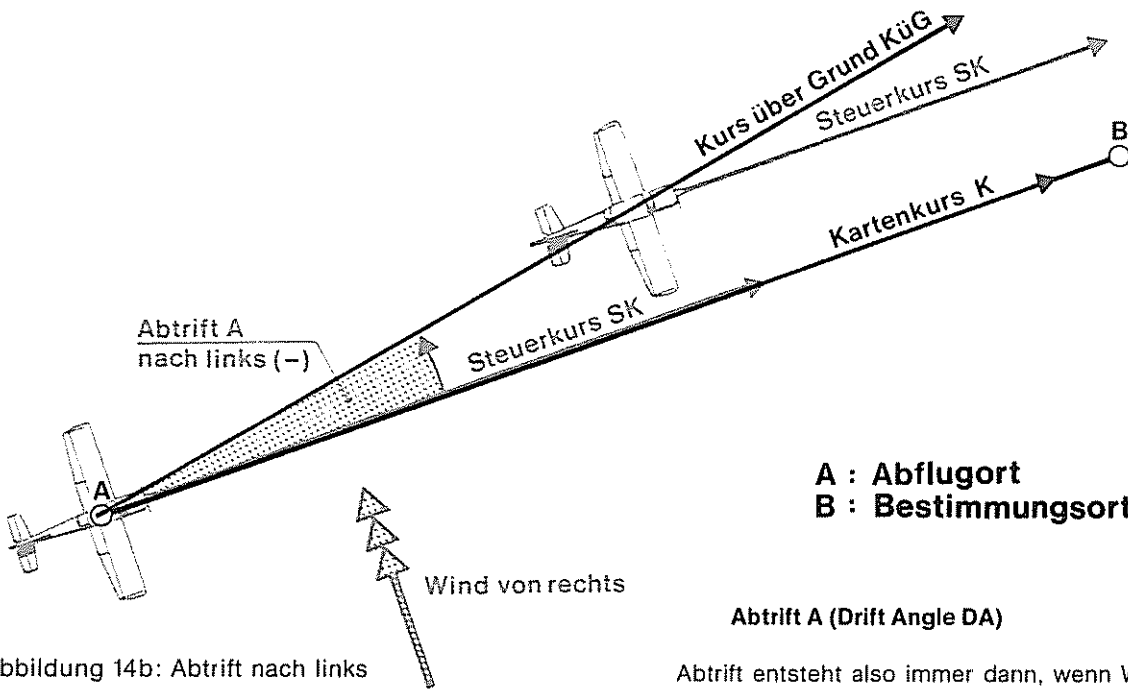


Abbildung 14b: Abtrift nach links

Das Flugzeug driftet, je nach Windrichtung und -geschwindigkeit, vom Kartenkurs ab. Es wird den Zielort B also nicht erreichen.

Der auf dem Boden projizierte Flugweg, der sich unter dem Einfluß des Windes einstellt, wird bezeichnet mit:

**Kurs über Grund KüG (Track T)**

Die Ausrichtung der Flugzeuglängsachse nennt man:

**Steuerkurs SK (Heading H)**

Dieser Kurs bezeichnet also die Richtung, in die der Flugzeugführer steuert

Der Winkel zwischen dem Steuerkurs (hier mit dem Kartenkurs zusammenfallend) und dem Kurs über Grund heißt:

**A : Abflugort**  
**B : Bestimmungsort**

**Abtrift A (Drift Angle DA)**

Abtrift entsteht also immer dann, wenn Wind von der Seite her auf die Flugrichtung einwirkt, und zwar zur windabgewandten Seite (Leeseite).

Abtriftwinkel können damit sowohl links als auch rechts des Steuerkurses liegen, es gilt die Regel:

Wind von links, Abtriftwinkel nach rechts  
rechnerisch: positives Vorzeichen (+)

Wind von rechts, Abtriftwinkel nach links  
rechnerisch: negatives Vorzeichen (—)

**2. Luvwinkel L (Wind Correction Angle WCA)**

Es ist das Interesse des Flugzeugführers, den geplanten Kartenkurs möglichst geradlinig abzufliegen. Darum bedarf es bei Seitenwind eines Vorhaltewinkels in den Wind (Luvseite), um seinen Einfluß auszugleichen, die vorher behandelte Abtrift also von vornherein zu vermeiden.

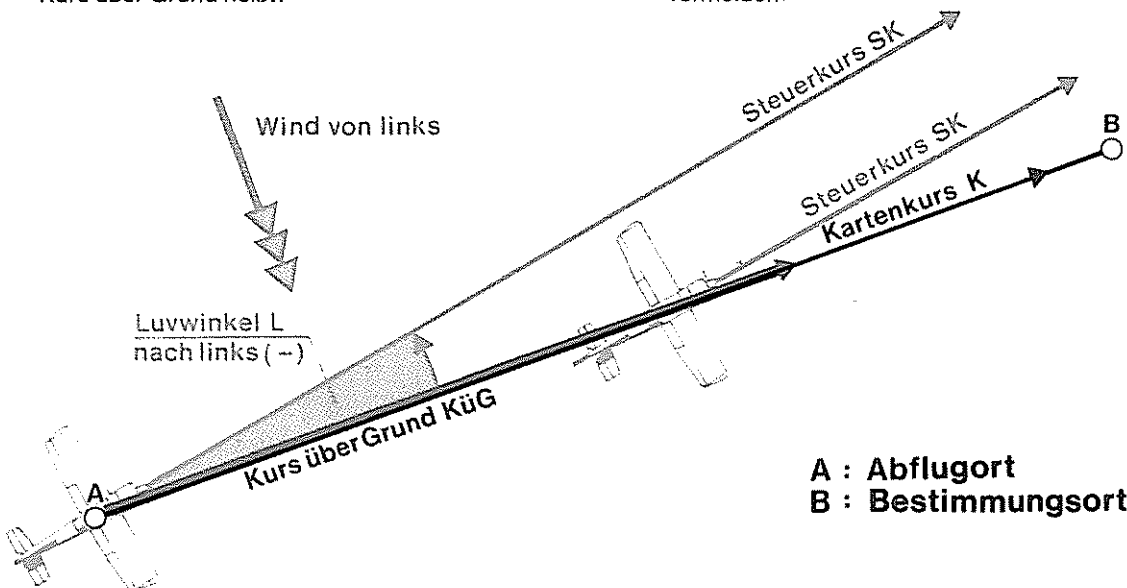


Abbildung 15a: Luvwinkel nach links

**A : Abflugort**  
**B : Bestimmungsort**

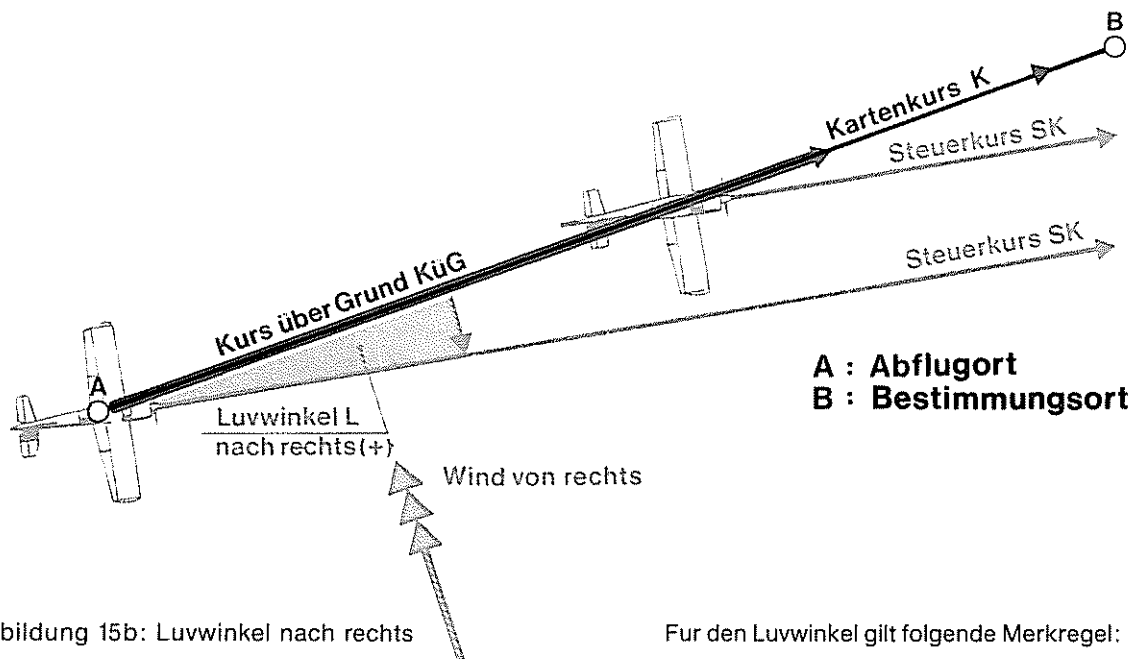


Abbildung 15b: Luvwinkel nach rechts

Der von Windrichtung und Windgeschwindigkeit abhängige Winkelbetrag, um den in den Wind vorgehalten werden muß, heißt:

**Luvwinkel L (Wind Correction Angle WCA)**

Der Luvwinkel beschreibt den Richtungsunterschied zwischen Steuerkurs und Kartenkurs. Er führt dazu, daß das Flugzeug — in den Wind gedreht — als projizierten Flugweg genau den Kartenkurs einhält, d. h. der Kartenkurs aus der Flugplanung entspricht auch dem tatsächlichen Kurs über Grund

Dies gilt allerdings nur, wenn die Information über den Höhenwind richtig war, also den tatsächlichen Verhältnissen entspricht.

Für den Luvwinkel gilt folgende Merkregel:

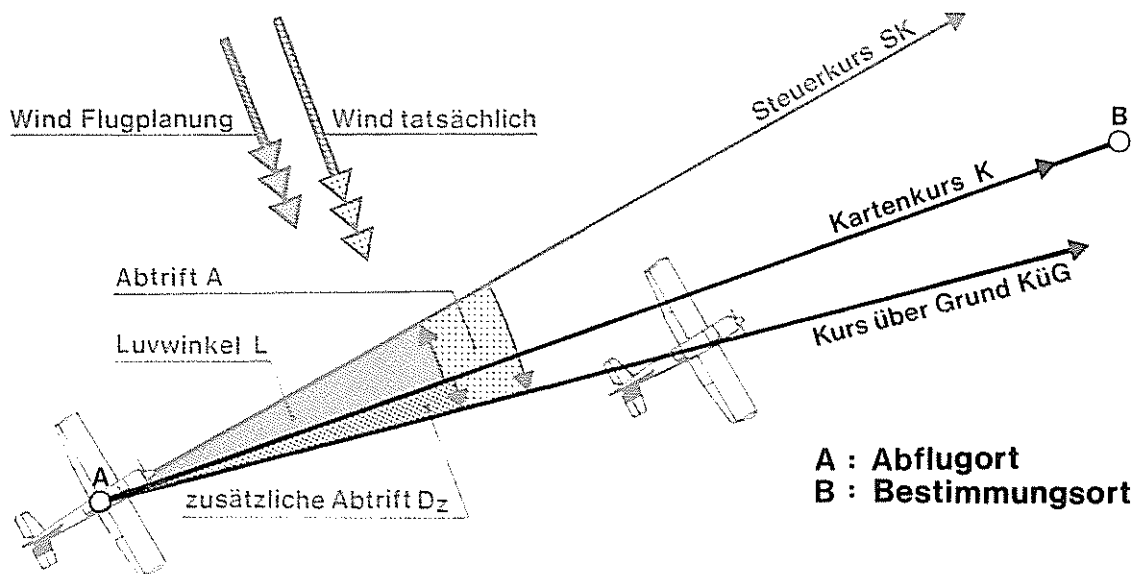
Wind von links, Luvwinkel nach links  
rechnerisch: negatives Vorzeichen (—)

Wind von rechts, Luvwinkel nach rechts  
rechnerisch: positives Vorzeichen (+)

**3 Zusätzliche Abdrift  $D_z$  (Drift additional  $D_a$ )**

Bei der Flugvorbereitung wird der Luvwinkel im allgemeinen aufgrund der Windangaben des Flugwetterdienstes errechnet. Sie weichen jedoch häufig von den tatsächlich herrschenden Windverhältnissen ab

Das bedeutet für die fliegerische Praxis, daß sich unser Flugzeug trotz Einhaltung des errechneten Luvwinkels nicht entlang des Kartenkurses bewegt, sondern versetzt davon.



Es läßt sich folgender Zusammenhang ableiten:

$$A(DA) = -L(WCA) + D_z(D_a)$$

Der projizierte Flugweg (Kurs über Grund) unterscheidet sich vom Kartenkurs um die zusätzliche Abtrift  $D_z$ .

Als Rechenregel gilt folgender Zusammenhang:

Zusätzliche Abtrift links vom Kartenkurs:  
negatives Vorzeichen (-)

Zusätzliche Abtrift rechts vom Kartenkurs:  
positives Vorzeichen (+)

Stimmt der bei der Flugplanung angenommene Wind in Richtung und Stärke mit dem tatsächlichen überein, dann fallen Kartenkurs und Kurs über Grund zusammen.

#### 4.3 Flugrichtung und Steuerkurs

Der Begriff Steuerkurs ist im vorherigen Unterkapitel als die Richtung der Flugzeuglängsachse, also als die Richtung, die der Flugzeugführer steuert, definiert worden.

Genau, wie es für den Kartenkurs notwendig war, muß nun auch der Steuerkurs auf eine Nordrichtung bezogen werden.

##### 1. Rechtweisender Steuerkurs $rwSK$ (True Heading TH)

Der rechtweisende Steuerkurs  $rwSK$  ergibt sich, wenn der rechtweisende Kurs mit einem Luvwinkel verbunden wird.

Die Berücksichtigung des Windeinflusses hat genau an dieser Stelle zu erfolgen, da der Höhenwind — als Grundlage für die Flugplanung — rechtweisend angegeben wird. Nur rechtweisende Größen können miteinander verknüpft werden.

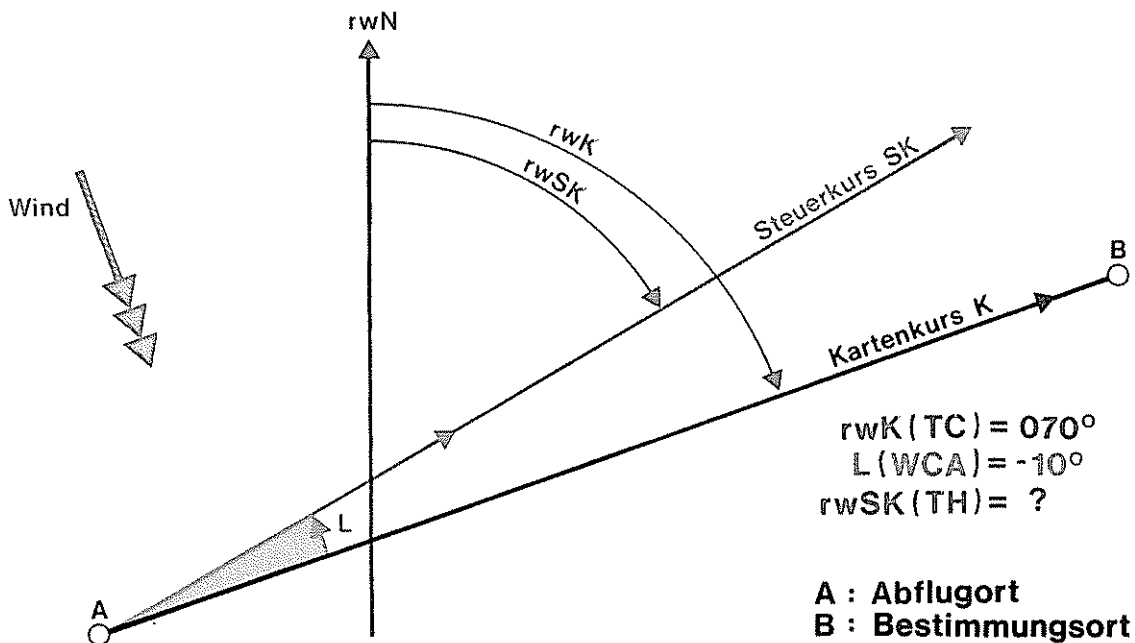


Abbildung 17: Rechtweisender Steuerkurs

Es gilt allgemein:

$$rwSK(TH) = rwK(TC) + L(WCA)$$

Hier kommt der Wind von links. Der Luvwinkel erhält also, wie im vorigen Kapitel gezeigt, ein negatives Vorzeichen.

Für unser Beispiel heißt das:

$$rwSK(TH) = 070^\circ + (-10^\circ)$$

$$rwSK(TH) = 060^\circ$$

## 2. Mißweisender Steuerkurs mwSK (Magnetic Heading MH)

Entsprechend der Verwandlung des rechtweisenden Kurses in den mißweisenden, wird der rechtweisende Steuerkurs zum mißweisenden Steuerkurs durch Berücksichtigung der Mißweisung

Es gilt allgemein:

$$\text{mwSK (MH)} = \text{rwSK (TH)} - \text{Mw (VAR)}$$

$$\text{mwSK (MH)} = 060^\circ - (-20^\circ)$$

$$\text{mwSK (MH)} = 080^\circ$$

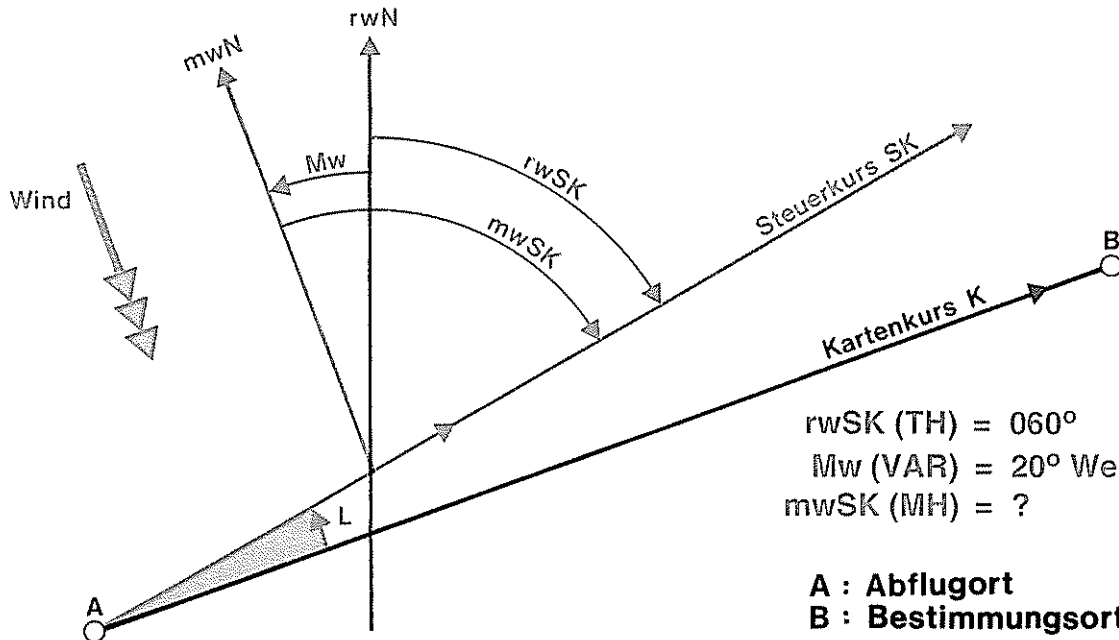


Abbildung 18: Mißweisender Steuerkurs

## 3. Kompaß-Steuerkurs KSK (Compass Heading CH) \*

Der Kompaß-Steuerkurs KSK ergibt sich aus dem mißweisenden Steuerkurs durch Berücksichtigung der Deviation. Die Größe und Richtung der Deviation wird entweder aus einer Deviations- oder Steuertabelle ent-

nommen. Die Tabelle ist üblicherweise am oder in der Nähe des Magnetkompasses angebracht und kann folgendes Aussehen haben:

Soll											
N	30	60	0	120	150	S	210	240	W	300	330
Deviation											
-1	-1	-2	0	+1	+1	+1	+2	+3	+1	-1	-2
ELEKTRON. ANLAGE		EIN		DATUM		PROFER		FL			

FOR											
N	30	60	0	120	150	S	210	240	W	300	330
STEUERE											
001	031	062	090	119	149	179	208	237	269	301	332
ELEKTRON. ANLAGE		EIN		DATUM		PROFER		FL			

Abbildung 19: Deviations- und Steuertabelle

Der Unterschied der beiden Tabellen besteht darin, daß die Werte der Deviationstabelle rechnerisch verarbeitet werden müssen, während die Steuertabelle dem Piloten direkt die Zielinformation des zu steuernden Kurses gibt.

Üblicherweise findet man in den Luftfahrzeugen heute Steuertabellen.

\* Der Begriff „Kompaß-Steuerkurs KSK“ anstatt des normgerechten Begriffes „Kompaßkurs KK“ wurde hier absichtlich benutzt, um die unterschiedliche Bedeutung der Begriffe: Kurs, Steuerkurs und Kurs über Grund hervorzuheben. Der englische Begriff Heading deutet auf diese Logik hin. Es wurde angeregt, die DIN 13312 entsprechend zu ändern.

Anmerkung: Der Zahlenwert für die Deviation wurde – wie bei der Mißweisung – in den Beispielen absichtlich groß gewählt, um diese und

folgende Zeichnungen übersichtlich zu gestalten. In der Praxis sind Deviationswerte über  $\pm 10^\circ$  unzulässig.

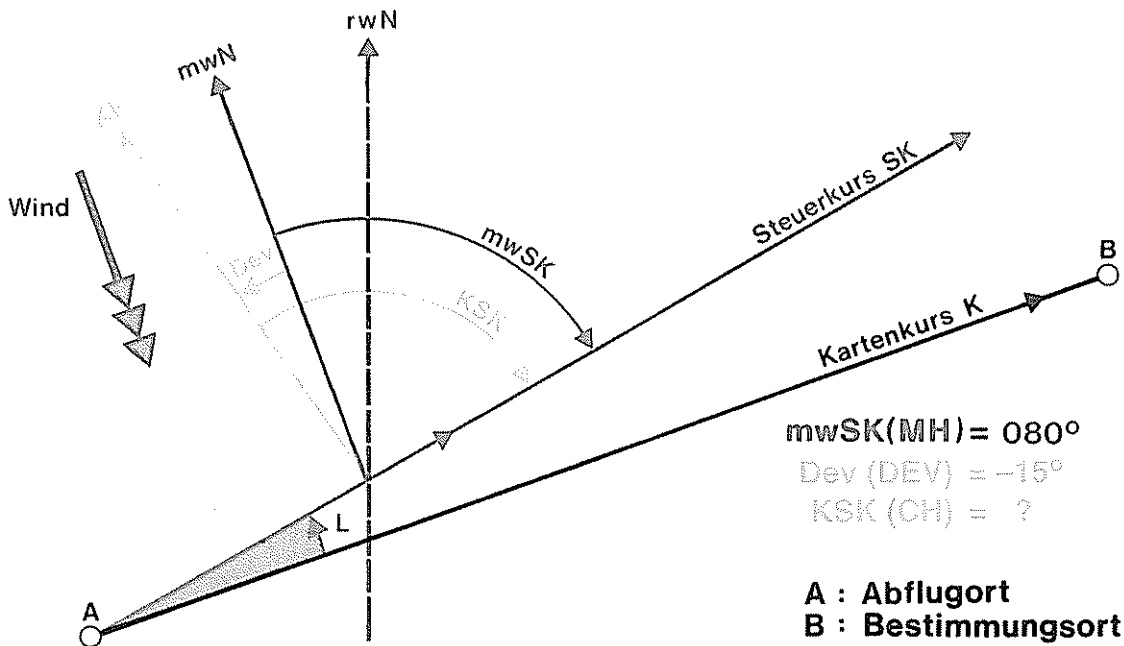


Abbildung 20a: Kompaß-Steuerkurs mit westlicher Deviation

Der in der Abbildung dargestellte Zusammenhang ergibt:

$$KSK (CH) = mwSK (MH) - Dev (DEV)$$

Die Zahlen des Beispiels eingesetzt:

$$KSK (CH) = 080^\circ - (-15^\circ)$$

Die Deviation geht hier insgesamt positiv in die Rechnung ein. Der Zusammenhang ist aus der Abbildung 20a ersichtlich, da Kompaß-Nord die neue Bezugsrichtung ist. Damit folgt:

$$KSK (CH) = 095^\circ$$

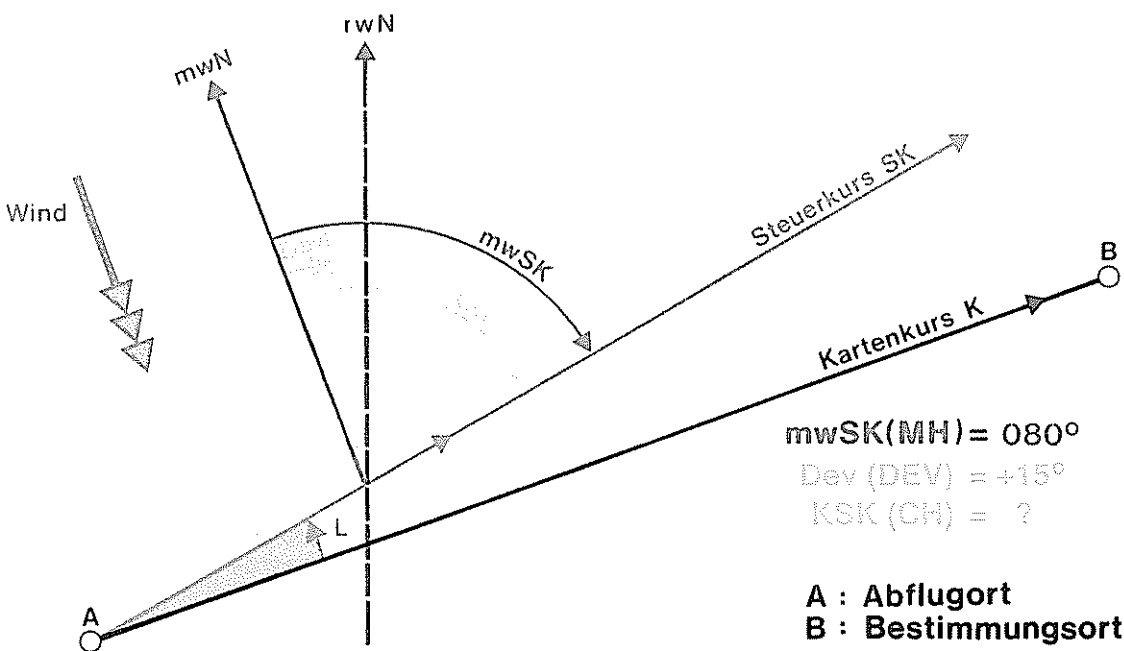


Abbildung 20b: Kompaß-Steuerkurs mit östlicher Deviation

$$KSK (CH) = 080^\circ - (+15^\circ)$$

$$KSK (CH) = 065^\circ$$

#### 4.4 Aktuelle Beobachtung und Kurs über Grund

Auch der Begriff Kurs über Grund wurde schon definiert, und zwar als der auf den Boden projizierte Flugweg. Wie allen Kursen, ist auch ihm eine Nordrichtung zuzuweisen:

##### 1. Rechtweisender Kurs über Grund $rwKüG$ (True Track TT)

Der rechtweisende Kurs über Grund  $rwKüG$  wird bezogen auf die rechtweisende Nordrichtung  $rwN$ .

Aus der Abbildung lassen sich die folgenden Zusammenhänge erkennen:

- (1)  $rwKüG (TT) = rwK (TC) + D_z (D_a)$
- (2)  $rwKüG (TT) = rwSK (TH) + A (DA)$

Zum Vorzeichen der zusätzlichen Abdrift  $D_z$  und der Abdrift  $A$  s. Kap. 4.2

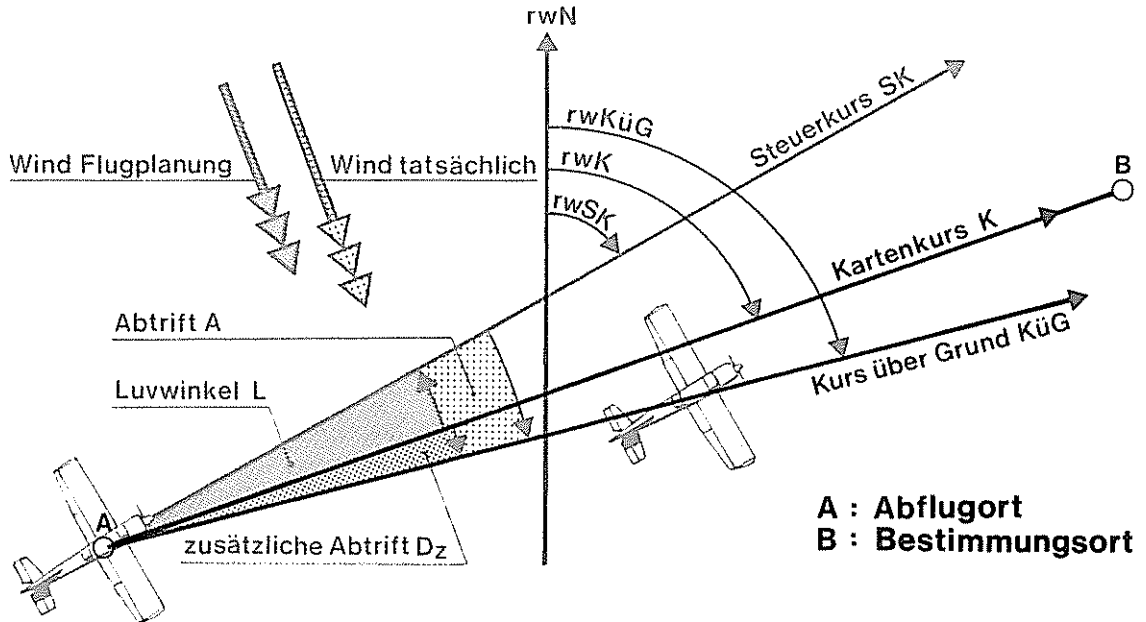


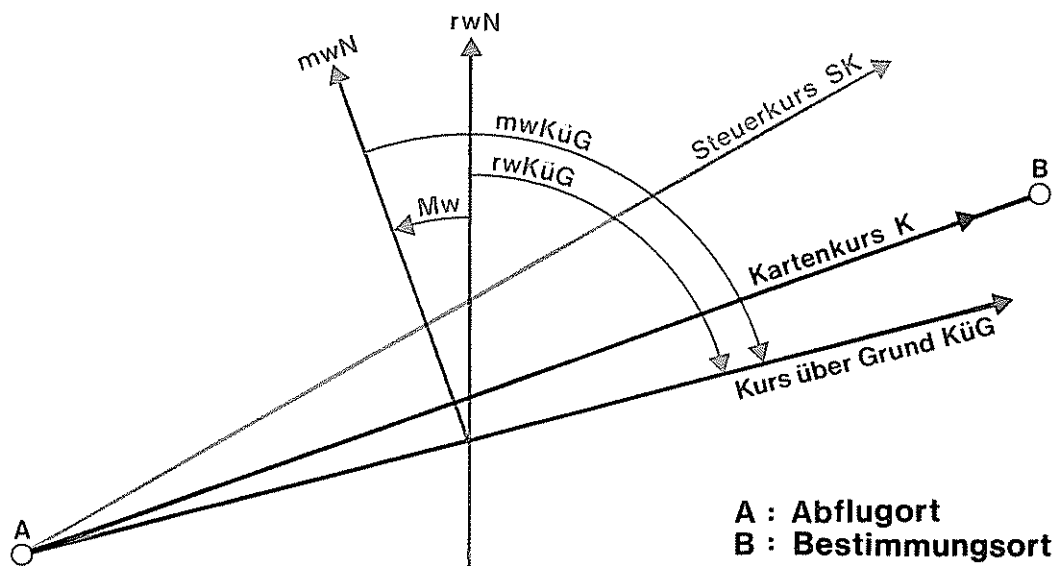
Abbildung 21: Rechtweisender Kurs über Grund

##### 2. Mißweisender Kurs über Grund $mwKüG$ (Magnetic Track MT)

Der mißweisende Kurs über Grund  $mwKüG$  wird auf die magnetische Nordrichtung bezogen.

Es gilt allgemein:

$$mwKüG (MT) = rwKüG (TT) - Mw (VAR)$$



15 Abbildung 22: Mißweisender Kurs über Grund

## 5 Winddreieck

Das sogenannte „Winddreieck“ ist ein Darstellungsverfahren, mit dem sich Kursrichtungen und Fluggeschwindigkeiten bestimmen lassen. Es kann sowohl zeichnerisch als auch rechnerisch erfolgen. Insgesamt sechs Werte bestimmen Form und Lage des Winddreiecks. Drei davon sind Richtungen bzw. Winkel:

Rechtweisender Kurs  $rwK$  (TC)  
Windrichtung  $W_r$  (WD)  
Luvwinkel  $L$  (WCA)

Die anderen drei sind Geschwindigkeiten:

Wahre Eigengeschwindigkeit  $V_e$  (TAS)  
Grundgeschwindigkeit  $V_g$  (GS)  
Windgeschwindigkeit  $V_w$  (WV)

Das Lösungsverfahren sowohl zeichnerisch als auch rechnerisch ist durchführbar, wenn jeweils vier Werte bekannt sind. Dann lassen sich die zwei unbekanntenen Werte bestimmen.

Die Seiten des Winddreiecks sind Vektoren. Sie enthalten somit zwei Informationen: die Pfeilspitze beschreibt die Richtung und die Länge der Seite, in diesem Fall maßstäblich die Geschwindigkeit.

Damit kann man die Seiten wie folgt bezeichnen:

- 1 Steuerkurs-Vektor (Air vector)  
Richtungsinformation:  $rwSK$  (TH)  
Geschwindigkeitsinformation:  $V_e$  (TAS)  
Symbol: (  $\longrightarrow$   $\triangleright$  )
- 2 Kurs über Grund-Vektor (Ground vector)  
Richtungsinformation:  $rwK$  (TC)  
Geschwindigkeitsinformation:  $V_g$  (GS)  
Symbol: (  $\longrightarrow$   $\triangleright\triangleright$  )
- 3 Wind-Vektor (Wind vector)  
Richtungsinformation: Windrichtung  $W_r$  (WD)  
Geschwindigkeitsinformation:  $V_w$  (WV)  
Symbol: (  $\longrightarrow$   $\triangleright\triangleright\triangleright$  )

Es gibt, abhängig davon, welche Werte bekannt sind, sogenannte „Grundaufgaben der Navigation“.

Die wichtigste von ihnen ist die „Flugplanungsaufgabe“.

Bekannt sind:

Windrichtung  $W_r$  (WD)  
Windgeschwindigkeit  $V_w$  (WV)  
Rechtweisender Kurs  $rwK$  (TC)  
Wahre Eigengeschwindigkeit  $V_e$  (TAS)

Gesucht sind:

Luvwinkel  $L$  (WCA)  
Grundgeschwindigkeit  $V_g$  (GS)

## 5.1 Die Konstruktion des Winddreiecks

Für diese Aufgabe soll hier das zeichnerische Verfahren zur Lösung beschrieben werden. Wir geben uns vor:

$rwK$  (TC) =  $070^\circ$   
 $V_e$  (TAS) = 100 kt  
 $W_r$  (WD) =  $300^\circ$   
 $V_w$  (WV) = 20 kt

*Anmerkung: Der Wind wird meist als zusammengefaßte Größe folgendermaßen angegeben:  $W/V = 300^\circ/20$  kt.*

Eine Variante in den Prüfungsaufgaben, auf die Sie sicherlich nicht hereinfallen werden, besteht darin, die Geschwindigkeiten in unterschiedlichen Maßeinheiten vorzugeben.

### 1 Schritte zur Konstruktion des Winddreiecks

- 1 Geschwindigkeitsmaßstab festlegen (es bietet sich an, um die Lösung noch auf einem DIN-A4-Bogen unterbringen zu können: 10 kt = 1 cm)
- 2 Geographische Nordrichtung  $rwN$  (TN) festlegen
- 3 Rechtweisenden Kurs  $rwK$  (TC) einzeichnen
- 4 In Kursrichtung Hilfsmeridian einzeichnen
- 5 Im Schnittpunkt Hilfsmeridian/rechtweisender Kurs mit Windgeschwindigkeit **Wind in Ursprungsrichtung** abtragen (Wind-Vektor)
- 6 Um den Anfangspunkt des Windvektors Kreisbogen mit wahrer Eigengeschwindigkeit  $V_e$  (TAS) auf rechtweisenden Kurs schlagen.
- 7 Schnittpunkt Kreisbogen/rechtweisender Kurs mit Anfangspunkt des Windvektors verbinden (Steuerkurs-Vektor)
- 8 Auf rechtweisendem Kurs (Kurs über Grund-Vektor) Grundgeschwindigkeit  $V_g$  (GS) ausmessen (Maßstab!)
- 9 Luvwinkel  $L$  (WCA) zwischen rechtweisendem Kurs  $rwK$  (TC) und rechtweisendem Steuerkurs  $rwSK$  (TH) entnehmen

*Anmerkung: Der Luvwinkel  $L$  (WCA) wird immer von  $rwK$  (TC) zum  $rwSK$  (TH) gemessen (Vorzeichen!).*

### 2 Graphische Darstellung des Winddreiecks

Lösung zu Abbildung 23:

- 8  $V_g$  (GS) = 112 kt
- 9  $L$  (WCA) =  $-9^\circ$



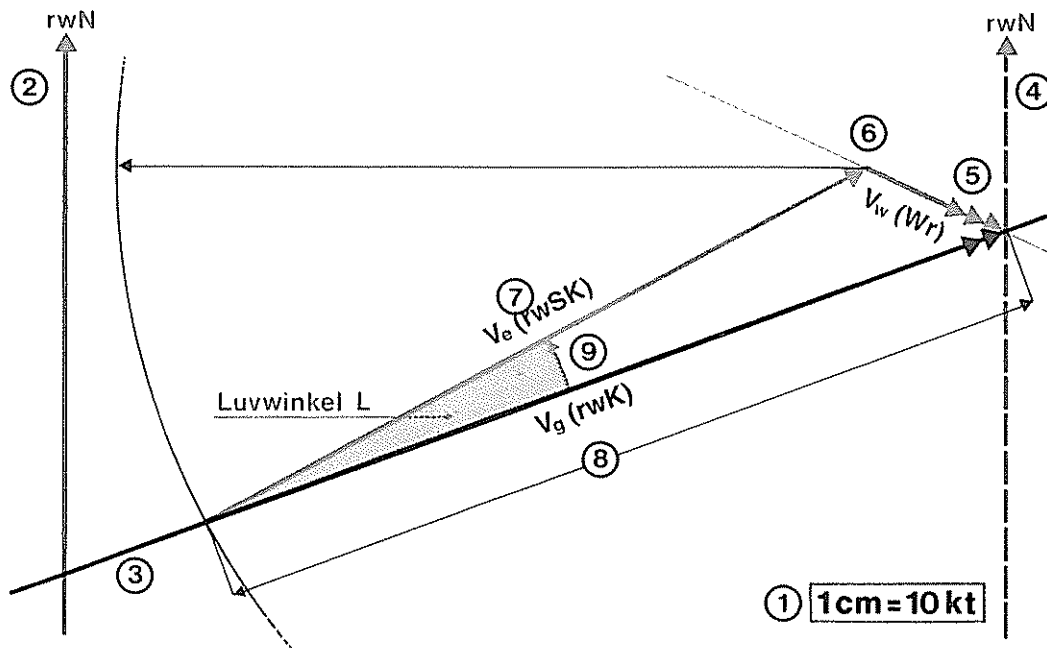


Abbildung 23: Winddreieck

### 5.2 Winkel des Winddreiecks

In der bisherigen Betrachtung wurde von den sich ergebenden Winkeln nur der Luvwinkel L behandelt. Verständlicherweise gibt es jedoch auch Bezeichnungen für die Winkel zwischen Kurs über Grund-Vektor und Wind-Vektor sowie zwischen Steuerkurs-Vektor und Wind-Vektor.

Der Vollständigkeit halber seien hier alle Winkel im Winddreieck mit den entsprechenden Definitionen aufgeführt:

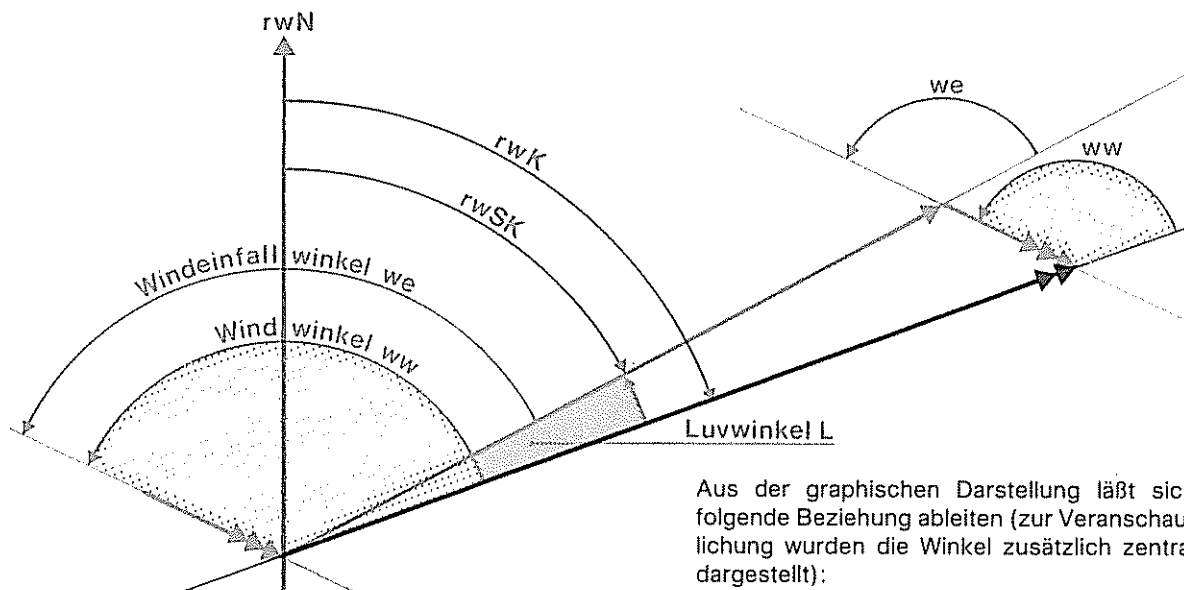
**1. Luvwinkel L (Wind Correction Angle WCA)**  
 Winkel zwischen dem rechtweisenden Kurs  $rwK$  und dem rechtweisenden Steuerkurs  $rwsK$ . Er wird vom rechtweisenden Kurs  $rwK$  aus nach rechts als positiv (+), nach links als negativ (-) gemessen.

### 2. Windwinkel $ww$ (Wind Angle WA)

Winkel zwischen der Richtung des rechtweisenden Kurses  $rwK$  und der Richtung, aus der der Wind kommt. Er wird vom rechtweisenden Kurs  $rwK$  aus nach rechts von  $000^\circ$  bis  $+180^\circ$  positiv (+) gemessen, nach links von  $000^\circ$  bis  $-180^\circ$  negativ (-) gemessen.

### 3. Windeinfallswinkel $we$ (Relative Wind Angle RWA)

Winkel zwischen der Richtung des rechtweisenden Steuerkurses  $rwsK$  und der Richtung, aus der der Wind kommt. Er wird vom rechtweisenden Steuerkurs  $rwsK$  aus nach rechts von  $000^\circ$  bis  $+180^\circ$  positiv (+) gemessen, nach links von  $000^\circ$  bis  $-180^\circ$  negativ (-) gemessen.



Aus der graphischen Darstellung lässt sich folgende Beziehung ableiten (zur Veranschaulichung wurden die Winkel zusätzlich zentral dargestellt):

$$ww = we + L$$

### 5.3 Windkomponenten im Winddreieck

Häufig ist es nützlich, den Wind in Komponenten zu zerlegen:

#### 1. Querwindkomponente QWKp (Cross Wind Component CWC)

Bezeichnung der Komponente, die senkrecht zur Richtung des Weges über Grund wirkt (Abb. 25a + 25b)

#### 2. Gegenwindkomponente GWKp (Head Wind Component HWC)

Bezeichnung der Komponente, die längs des Weges über Grund wirkt; sie gibt es bis zu einem Windwinkel von maximal  $\pm 90^\circ$ . (Abb. 25a)

#### 3. Rückenwindkomponente RWKp (Tail Wind Component TWC)

Bezeichnung der Komponente, die längs des Weges über Grund bei einem Windwinkel von  $\pm 90^\circ$  bis  $\pm 180^\circ$  wirkt. (Abb. 25b)

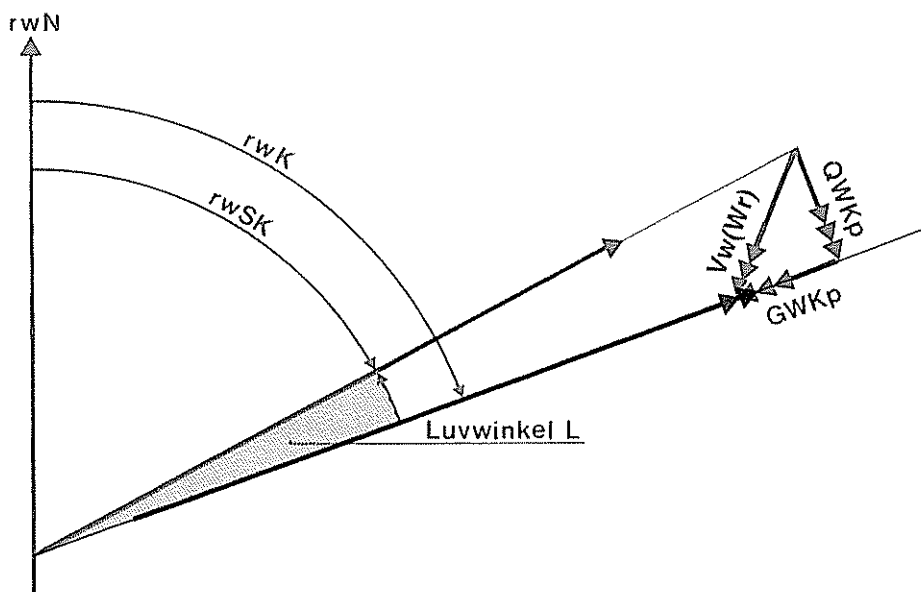


Abbildung 25a: Windkomponenten (Gegenwind)

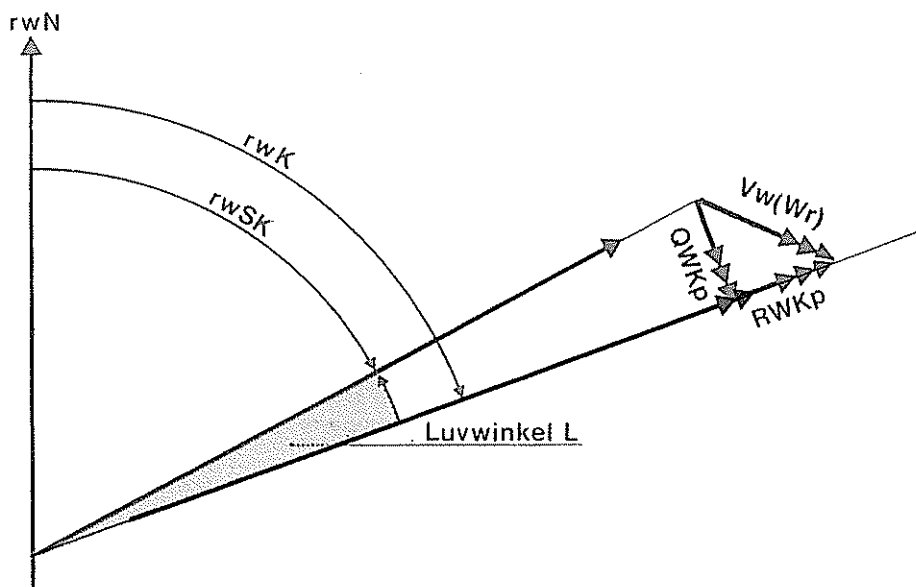


Abbildung 25b: Windkomponenten (Rückenwind)

#### 4. Windkomponenten bei Start und Landung

Da die Zerlegung des Windes in Komponenten im Fluge weniger Bedeutung hat — sie fließt in die Kursberechnung ein, ohne gesondert ermittelt zu werden — sei hier noch auf die

Ermittlung der Windkomponenten für Start und Landung hingewiesen. Es sei daran erinnert, daß sowohl Landebahnrichtungen als auch der Landebahnwind mißweisend angegeben werden.

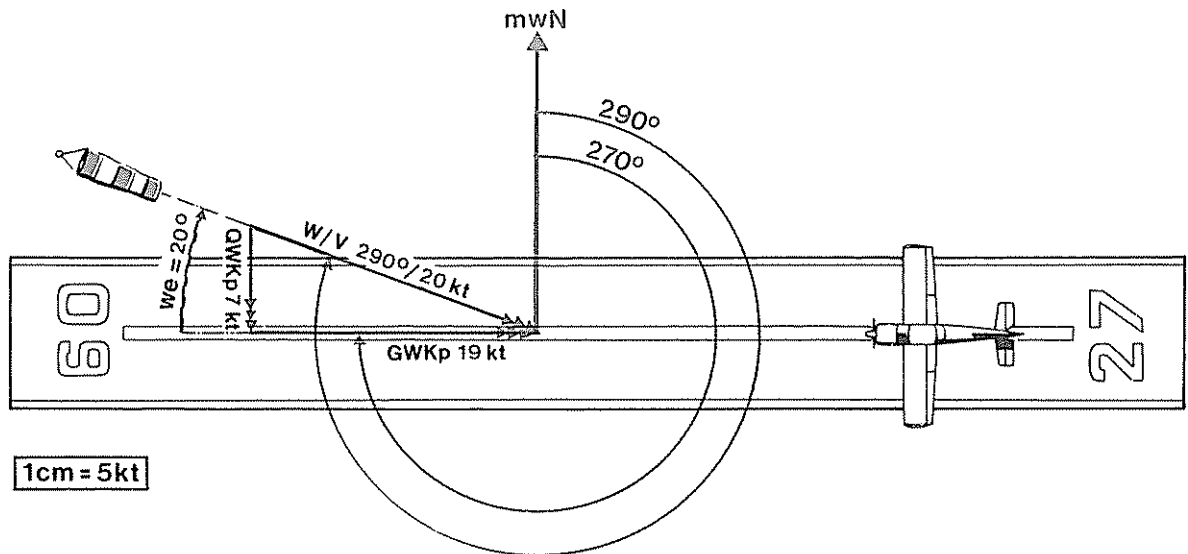
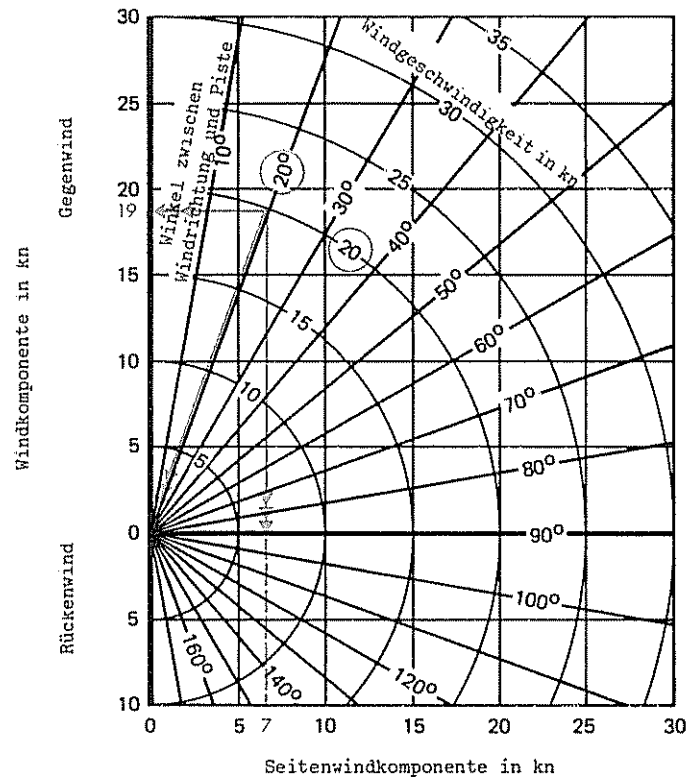


Abbildung 26a: Windkomponenten bei Start und Landung

Flughandbücher enthalten häufig ein Diagramm zur Ermittlung der Windkomponenten. Dazu ein Beispiel aus dem Handbuch der

Cessna F 172 P. Die Zahlenwerte aus Abbildung 26a sind in das Diagramm eingezeichnet.




### 5.4 Eckpunkte des Winddreiecks

In der DIN 13312 und in der einschlägigen Literatur zur Navigation werden auch die Eckpunkte des Winddreiecks und die Position des Flugzeuges im Falle einer Kursablage definiert:

#### 1 Windstillepunkt (Air Position)


Bezeichnung der Position, die das Flugzeug nach einer bestimmten Flugzeit relativ zur umgebenden Luft erreichen würde, einfacher gesagt: der Endpunkt des **Steuerkurs-Vektors**

Symbol: 

#### 2 Koppelort $O_k$ (Dead Reckoning Position DR-Pos.)


Bezeichnung der voraussichtlichen Position über Grund nach einer bestimmten Flugzeit unter Berücksichtigung des angenommenen Windes. Es handelt sich um einen Begriff aus der Koppelnavigation. Dieses Navigationsver-

fahren setzt die wirkliche Bewegung des Flugzeuges aus Komponenten (Vektoren) zusammen. In der zeichnerischen Darstellung des Winddreiecks ergibt sich der Koppelort durch Aneinanderreihung des **Steuerkurs-Vektors** und des **Wind-Vektors**, also als Endpunkt des **Kurs über Grund-Vektors**.

Symbol: 

#### 3 Beobachteter Ort/Standort $O_b$ (Fix Position, abgek.: Fix)

Bezeichnung der beobachteten Position des Flugzeuges über Grund. Dieser Punkt bewegt sich, wenn angenommener und tatsächlicher Wind übereinstimmen, entlang des rechtweisenden Kurses. Stimmen die Windverhältnisse nicht überein, weist der Punkt eine entsprechende Ablage vom rechtweisenden Kurs (Einfluß der zusätzlichen Drift  $D_z$ ) auf

Symbol: 

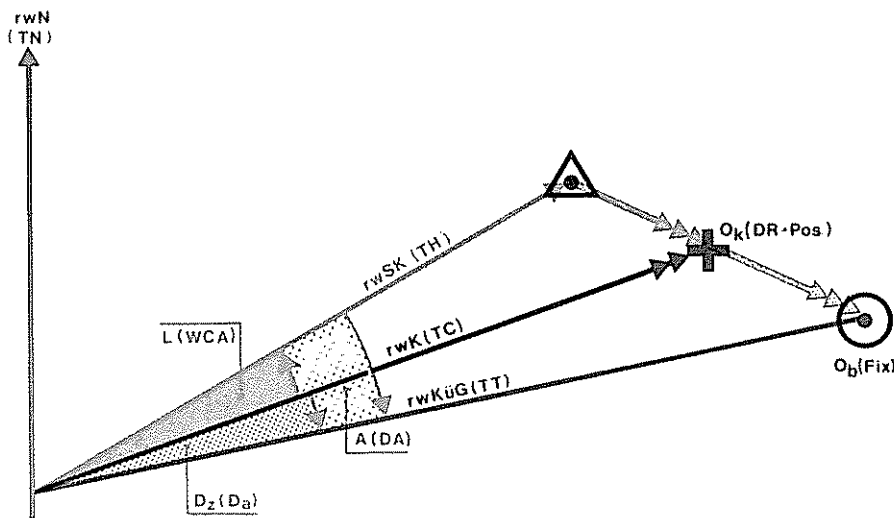


Abbildung 27: Eckpunkte des Winddreiecks

Die für den Windstillepunkt (Air Position), Koppelort  $O_k$  (Dead Reckoning Position DR-Pos.) sowie Beobachteten Ort  $O_b$  (Fix Position) verwendeten Symbole sind nach der DIN 13312 gewählt worden. Diese steht im Einklang mit ICAO Annex 6.

Daß in der Praxis die verwendeten Symbole in anderer Zuordnung gebräuchlich sind, ist bekannt. Im Sinne einer einheitlichen Bezeichnung sollten die Symbole DIN-gerecht verwendet werden.