

## 1. Grundlagen → Warum fliegt ein Segelflugzeug?

Umwandlung von Lageenergie

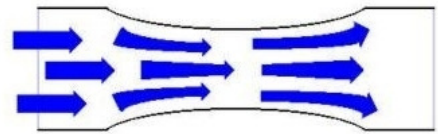
In

kinetische Energie

## 2. Das Gesetz von Bernoulli (Daniel 1700-1782, Hydrodynamica 1738)

Der Druck eines Gases (oder einer Flüssigkeit) nimmt dort ab, wo die Geschwindigkeit zunimmt.

Beispiel: Venturirohr



## 3 .Auftrieb

### 31. Das Profil

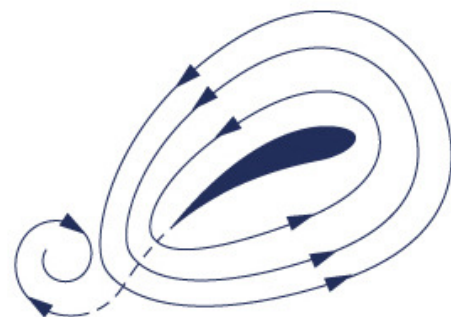
Der Weg der Luftmoleküle soll

- möglichst ungestört bleiben

- oben möglichst weit

- unten möglichst kurz

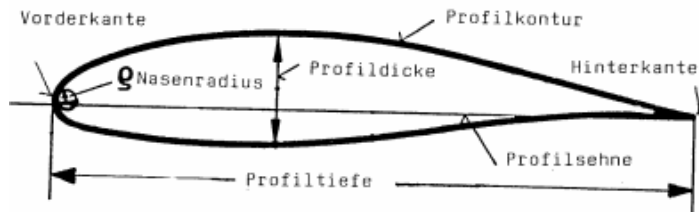
sein



Maßnahmen:

- "Stromlinienform"

- Wölbung (der Profileroberseite) nach oben



Dickenrücklage relativ klein  $\rightarrow$  langsames (orthodoxes) Profil

groß  $\rightarrow$  schnelles (Laminar-) Profil

Profildicke

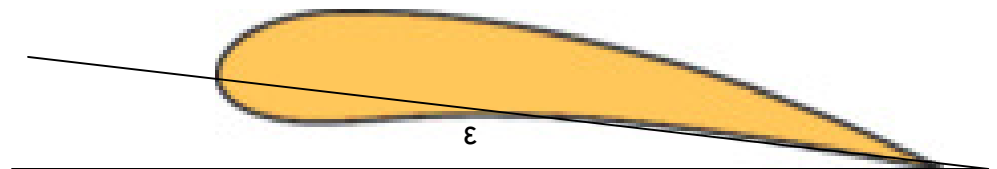
Profiltiefe

Profilsehne

Vorderkante (Nase)

Hinterkante (Endleiste)

### 32. Der Einstellwinkel



Winkel  $\epsilon$  zwischen Flugzeuglängsachse und Profilsehne.

Merke: Dieser Winkel wird durch die Konstruktion festgelegt!

Er ist während des Fluges grundsätzlich (!! ) nicht veränderbar.

(Aber: Wölbklappen!)

### 33. Der Anstellwinkel

Winkel zwischen Profilbezugslinie (= Sehne) und

Anblasrichtung (= Flugrichtung)

Merke: Dieser Winkel kann durch Ziehen oder Drücken verändert werden!

Es gilt: Je größer der Anstellwinkel, desto größer der Auftrieb und desto größer der Widerstand!!

Ab ca. 15 Grad Anstellwinkel können die Luftmoleküle der Profiloberseite nicht mehr folgen.

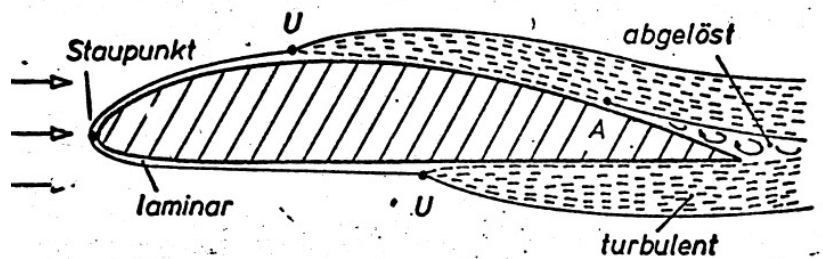
Sie lösen sich ab, bilden Wirbel

- Widerstand erhöht sich sprunghaft
- Auftrieb bricht zusammen
- Überzogen = Strömungsabriss = Stall

### 34. Umschlagpunkt U

Übergang von laminarer zu turbulenter Strömung

- "Strömung schlägt um"



### 35. Ablösepunkt A

Wird verursacht durch Wirbel an der Hinterkante

- Strömung verläuft auf der Profiloberseite gegen die Flugrichtung.

Die Strömung löst sich vom Profil, verwirbelt und wird widerstandsreich.

## 4. Der Widerstand

### 41. Formwiderstand

Beispiel: Scheibe Halbkugel Kugel Profil Stromlinienform

Luftmoleküle treffen auf die Frontpartie auf:

- + Staudruck (q)
- + Querschnittsfläche (A)
- + Widerstandsbeiwert (Labor!)  $c_w$

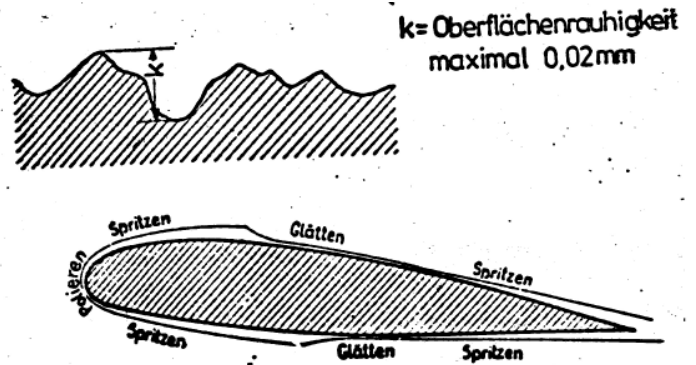
Widerstand =

## 42. Grenzschichtwiderstand (Reibungswiderstand)

Die Luftmoleküle werden durch Reibung an der Oberfläche des umströmten Körpers gebremst (Adhäsionsreibung). Der Einfluss nimmt mit der Entfernung ab.

Gegenmaßnahmen: Erhöhung der Oberflächengüte durch

- + saubere Profilierung
- + Polieren
- + Waschen (einfachste Methode!)



## 43. Induzierter Widerstand

Der Unterdruck auf der Flügeloberseite und der Überdruck auf der Flügelunterseite versuchen sich auszugleichen.

- Randwirbel
- Wirbelzöpfe
- Wirbelschleppen

Gegenmaßnahmen:

➔ Flügelgrundriss

- Streckung
- Seitenverhältnis

➔ Große Spannweite, schlanker Flügel ➔ günstiger

## + Flügelform

**44. Schädlicher Widerstand**

## ➤ Interferenzwiderstand

➔ Verwirbelung zwischen Fläche, Rumpf und Leitwerk

Maßnahmen: Saubere Übergänge, T-Leitwerk, Ritzen abkleben,  
luftdichter Rumpf

Merke:  $\Sigma$  Einzelwiderstände < Gesamtwiderstand  
(Differenz = Interferenzwiderstand)

## ➤ Restwiderstand

Widerstand der nichttragenden Teile.

Auch hier treten wieder Form- und Grenzschichtwiderstand auf.

Gegenmaßnahmen:

- + Stromlinienrumpf
- + "Wespentaille" (wegen Stirnfläche)
- + Fahrwerksverkleidung, bzw. Einziehfahrwerk

## 5. Die Lilienthalpolare (Otto Lilienthal, 1848 – 1896)

→ experimentell ermittelte Kurve, die den Zusammenhang zwischen Anstellwinkel  $\alpha$ ,  $c_a$  und  $c_w$  angibt.

Gleitwinkel  $\gamma = \angle$  zwischen Flugbahn und horizontaler Ebene.

Gleitzahl  $\varepsilon =$

→ Höhenverlust beim Durchfliegen der Distanz  $D$

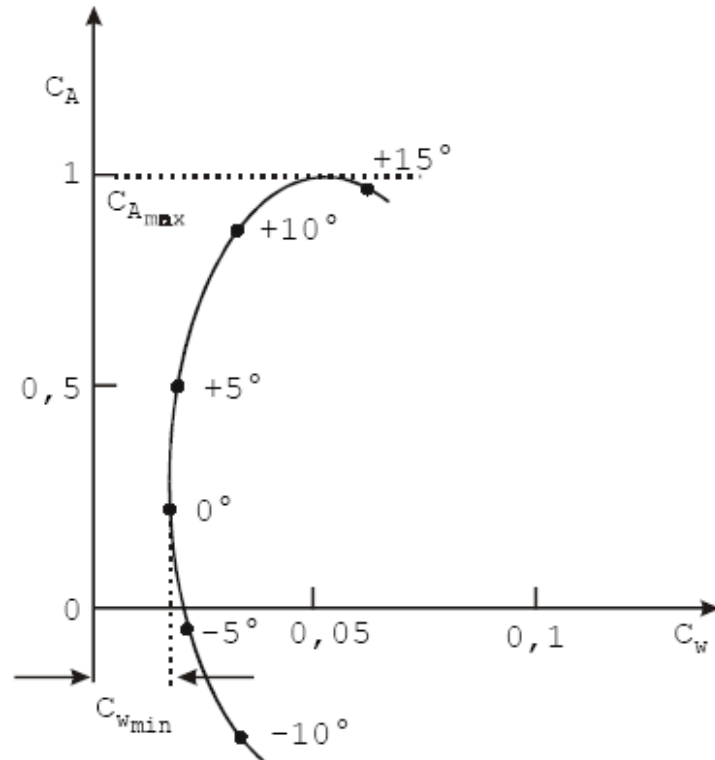
Gleitverhältnis =

→ Distanz, die bei einem bestimmten Höhenverlust geflogen werden kann

$C_a \max$  → Anstellwinkel beim Aufsetzen

$C_w \min$  → Anstellwinkel beim Schnellflug

$(C_w / C_a) \min$  → Anstellwinkel für bestes Gleiten

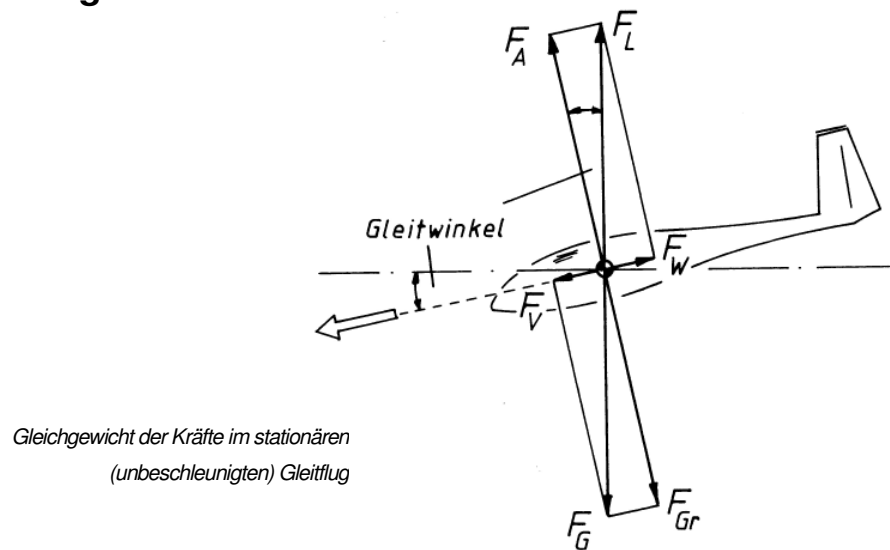


Einfluss der Anstellwinkeländerung auf den Widerstand:

Je größer der Anstellwinkel, desto größer wird der Widerstand, insbesondere auch beim Rumpf.

Abhilfe: Scheinbare Änderung des Einstellwinkels durch Veränderung des Profils, z.B. durch Wölbklappen. Dadurch kann in weiten Geschwindigkeitsbereichen der Rumpfanstellwinkel annähernd konstant im optimalen Bereich gehalten werden. (Daher die Libelle an der Rumpfsseitenwand in Längsrichtung!)

## 6. Das Luftkräftegleichgewicht



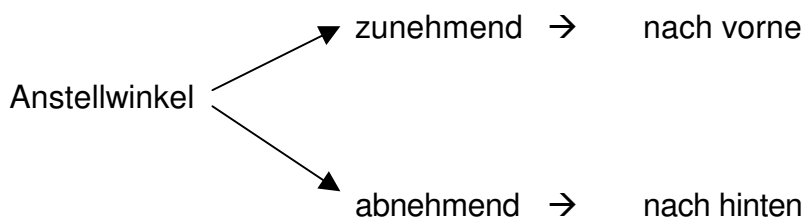
Auf ein Flugzeug wirken folgende Kräfte ( $F_{\text{orce}}$ ) ein:

Auftrieb ( $F_A$ )  $\leftrightarrow$  Gewichtskraftkomponente ( $F_{Gr}$ )

Geschw. ( $F_V$ )  $\leftrightarrow$  Widerstand ( $F_W$ )

- Die Luftkraft ( $F_L$ ) ist die Resultierende der Summe aller nach oben gerichteten Kräfte. Sie ist genauso groß wie die ihr entgegen gerichtete Gewichtskraft  $F_G$
- Der Druckpunkt ist der (gedachte) Angriffspunkt der Luftkraft  $F_L$  auf der Profilbezugslinie (Sehne)

+ Druckpunktwanderung bei



+ Nickmoment (Moment um die Querachse) entsteht, wenn der Druckpunkt nicht im Schwerpunkt ( $C_G = \text{Center of Gravity}$ ) liegt.

Normalfall: Druckpunkt liegt hinter dem Schwerpunkt

➔-negatives Nickmoment ➔ Höhenleitwerk ➔ Abtrieb

Auswirkungen: Schulmaschine, Leistungsflugzeug, Verkehrsflugzeug, Ente, Nurflügel

➤ Die Flächenbelastung

➔ Verhältnis  $G/A$  Beispiel: Fluggewicht  $G = 350 \text{ kp}$ , Fläche  $A = 8,6 \text{ m}^2$

Flächenbelastung  $\gg \frac{G}{A} = \frac{350}{8,6} = 35$

(Bei Segelflugzeugen etwa 25 - 35 (mit Ballast 45))

Die Flächenbelastung wirkt sich auch aus auf die

- + Sinkgeschwindigkeit
- + Mindestgeschwindigkeit

➔ **Merke: prozentuale Änderung der Belastung wirkt sich ca. halb auf Sink-/Mindestgeschwindigkeit aus**

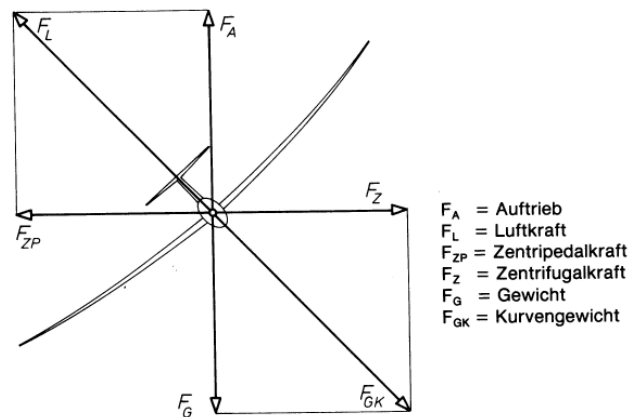
➤ Das Lastvielfache  $n$  ( $\gg g$ ) gibt an, um wie viel höher die Kraft ist, die auf einen Körper wirkt als die normale Schwerkraft. Sie wird angegeben in  $n \times g$ , z.B. 6g. Bei 6g wiegt ein Körper das sechsfache von seinem Normalgewicht.

+ sicheres Lastvielfaches (SLV): Angabe im Handbuch  $\gg$  z.B. + 4,3 bis - 2,5

+ Bruchlastvielfaches = SLV  $\times$  1,5

➤ Kräfte im Kurvenflug

Kräftegleichgewicht im stationären Kurvenflug



In der Kurve muss zusätzlich noch die Fliehkraft durch erhöhten Auftrieb ausgeglichen werden.

Beispiel für 40° Querneigung  $F_{GK} = \frac{G}{\cos \alpha} = \frac{1}{0,77} = 1,31$

Querneigung in °	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Lastvielfaches	1,02	1,06	1,15	1,31	1,56	2,00	2,92	5,76	$\infty$

Das erfordert erhöhte Geschwindigkeit:

Beispiel: Querneigung 40°, Fluggeschwindigkeit vor der Kurve 80 km/h

➔  $V_{FLK} = V_{FL} \times \frac{1}{\sqrt{\cos \alpha}} = 1,14 \times 80 = 91,4$



## 7. Beladung und Schwerpunkt

### 71. Gewichte

- Leergewicht
- Rüstgewicht
- Fluggewicht

### 72. Schwerpunkt

➔ gedachter Angriffspunkt aller Gewichtskräfte

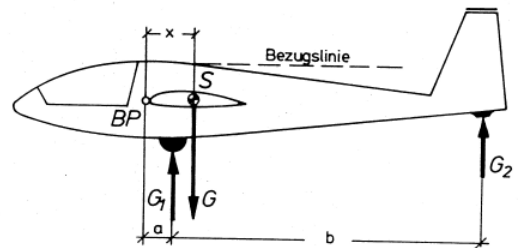
➔ Schwerpunktlage → Abstand in mm von Bezugspunkt/ Bezugsebene auf einer Bezugslinie (BL, steht im Handbuch). Die BL ist parallel zur Längsachse horizontal

+ Leergewichtsschwerpunkt

➔ wird durch Wiegen ermittelt (alle 4 Jahre neu) und ist Grundlage der Zulassung.

Er muss unter allen Umständen

innerhalb des im Handbuch angegebenen Bereichs liegen. Wenn neue Ausrüstungsgegenstände (Funk usw.) eingebaut werden, muss er erneut festgestellt werden. Event. Ballast einbauen!



+ Fluggewichtsschwerpunkt

➔ muss innerhalb der im Handbuch angegebenen Grenzen liegen.

Gewichte (Angabe im Cockpit) sind einzuhalten!!

### 73. Schwerpunktlage und Flugverhalten

- Rücklage:
- Vorlage:

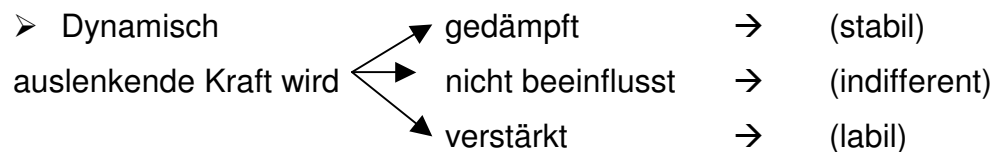
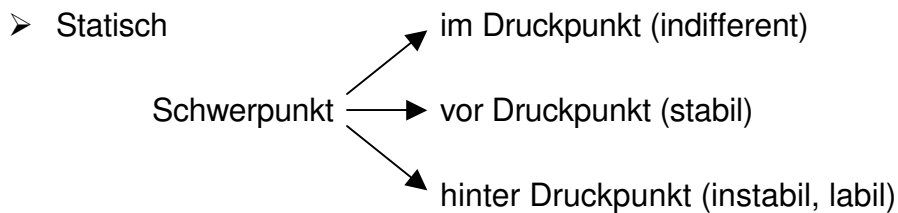
**Achtung: Wenn Höchstzuladung überschritten ➔ kein Flug**

## 8. Steuerruder und ihre Wirkung

Seitenruder	→	Hochachse	→	Gieren (Wenden)
Querruder	→	Längsachse	→	Rollen
Höhenruder	→	Querachse	→	Nicken

## 9. Konstruktive Flughilfen

### 91. Gleichgewichtszustände



### 92. Stabilität um die drei Achsen

- Längsstabilität →  
Höhenflosse wirkt gegen Nickmoment →
- Querstabilität →  
V-Form der Fläche
- Kursstabilität →  
Seitenflosse, langer Rumpf, pos. Pfeilung

### 93. Schränkung

- geometrisch → Profil bleibt gleich
- aerodynamisch → Profil ändert sich von hohem zu niedrigem Auftrieb

Folge: Strömung reißt außen später ab, Flugzeug bleibt länger steuerbar bei hohem Anstellwinkel, induz. Widerstand wird kleiner.

## 94. Trimmung

Ausgleich von Ruderkräften (Komfort!)

- mechanisch durch Federtrimmung
- aerodynamisch durch Trimmruder
  - Flossentrimmung
  - Flettnerruder
  - Bügelkante

## 95. Auftrieb- und Landehilfen

- Wölbklappen
  - Fowlerklappen
  - Spreizklappen
- Widerstandsklappen
  - Störklappen
  - Bremsklappen
  - Drehklappen

Merke: Stör- und Bremsklappen verringern auch den Auftrieb

→ Mindestgeschwindigkeit nimmt zu!!

- Bremsschirm

## 10. Die Flugleistungen

### 101. Geringstes Sinken

- geringstmöglicher Höhenverlust

Die Fluggeschwindigkeit für das geringste Sinken wird aus der Geschwindigkeitspolare abgelesen

Frage: Wie lange kann ich in der Luft bleiben, wenn ich 1000 Höhenmeter abfliegen kann?

### 102. Bestes Gleiten (Geschwindigkeitspolare)

- größtmögliche Strecke

Frage: Weit kann ich aus einer gegebenen Höhe fliegen?

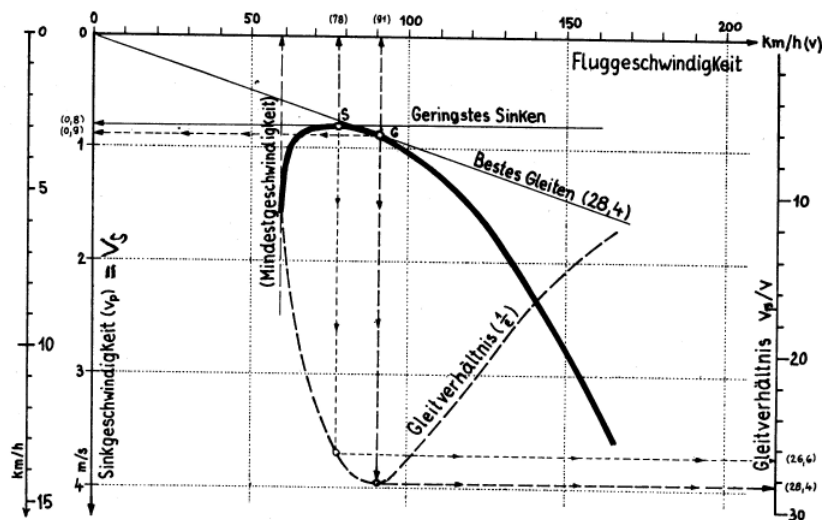
### 103. Änderung der Flächenbelastung

Höhere Belastung →  $V_s$  und  $V$  nehmen zu!

**Faustregel: Zunahme von  $V_s$  und  $V$  in Prozent ist halb so groß wie die Zunahme der Flächenbelastung in Prozent.**

### Die Geschwindigkeitspolare

Diese Polare entsteht, wenn man in der Lilienthalpolare die  $C_a$  durch  $V$  (Fluggeschw.) und  $C_w$  durch  $V_s$  (Sinkgeschw.) ersetzt und das Gebilde um  $90^\circ$  nach rechts dreht.



*Aufgabe: Distanz = 50km, Zielhöhe = 200m, Abflughöhe = ?*

# Flugzeugkunde

## 1. Einteilung der Luftfahrzeuge

- Z.B. Eindecker, [Doppeldecker](#), [Dreidecker](#) usw.
- [Tiefdecker](#), [Mitteldecker](#), [Schulterdecker](#), [Hochdecker](#)
- konventionelle Tragwerksanordnung, [Entenflügler](#), [Tandem](#)

## 2. Aufteilung des Flugzeugs (Zelle)

### 21. Flugwerk

- Rumpfwerk
- Tragwerk
- Leitwerk
- Steuerwerk
- Fahrwerk

### 22. Ausrüstung

#### Mindestausrüstung (Muss!)

- Höhenmesser, Fahrtmesser (JNP!)
- Anschnallgurte (Alter!)
- Rückenkissen oder Fallschirm
- Flughandbuch

#### Kannausrüstung (zusätzlich)

- Variometer (mech. oder elektronisch)
- Kompass, Uhr
- Wendezeiger, Libelle
- Sprechfunkgerät
- VOR
- Transponder
- Bordcomputer
- GPS/ Logger
- Sauerstoffanlage

## 3. Gewichte

- Leergewicht
- Rüstgewicht
- Fluggewicht (Ballast, Schwerpunkt, Trimmung!)

## 4. Aufbau des Flugzeugs

### 41. Rumpf

- Holzgerippe mit Stoffbespannung (Spanten, Gurte)
- Holzgerippe mit Holzbeplankung (Röhre)
- Stahlrohrgitter mit Stoff- oder Metallbeplankung
- Selbsttragende Holz- oder Metallschale
- Holz- oder Metallgerippe mit Kunststoffbeplankung
- Kunststoffschalenbauweise mit oder ohne Aussteifung

### 42. Tragwerk

- Rippenbauweise mit Holzbeplankung und Stoffbespannung
- Kunststoffschalenbauweise
- Metallflügel

### 43. Leitwerk

- Höhenleitwerk
- Seitenleitwerk
- Flügelleitwerk

### 44. Steuerwerk

- Knüppel oder Steuerhorn, Sidestick
- Pedalerie

### 45. Fahrwerk

- Kufe
- Hauptrad, Bugrad (Geschwindigkeitsbegrenzung!) -fest oder einziehbar
- Sporn (-fest, Rad, Kuller)

### 46. Bedienhebelwerk

Farbmarkierungen (Grund: Normiert in allen Flugzeugen, erleichtert Umstieg)

- Kupplung                      gelb
- Luftbremse                    blau
- Trimmung                      grün
- Haubennotabwurf            rot
- Klappen                        weiß
- Fahrwerk                        schwarz

## 5. Betrieb

Kontrolle vor Flugbeginn laut Handbuch

- Ausrüstung (Batterie, Bordbuch mit Papieren, Handbuch)
- Startcheck
- Kontrolle nach der Landung (Funk auf 121,5 wg. ELT, Schalter aus!, Schäden)
- Störungsmeldung, auch scheinbar unwesentliche!
- Nach Flugbetriebsende Reinigung innen und außen, Scheibe zuerst!
- Batterie laden
- Schonbezüge
- Bordbuch führen (und eigenes Flugbuch schreiben!)

## 6 . Instrumentierung zur Flugüberwachung

### 61 . Mindestinstrumentierung

- Der Fahrtmesser

**Prinzipaufbau:** Misst den Differenzdruck zwischen Gesamtdruck und statischem Druck, eine Membrandose ist mit dem Staurohr, Gehäuse mit der Statikleitung verbunden.

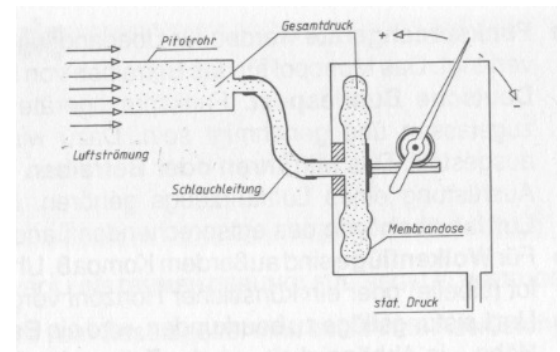
Folgende Farbmarkierung ist auf dem Skalenrand anzubringen:

Grün --> Normaler Geschwindigkeitsbereich (volle Ausschläge)

Gelb --> Vorsichtsbereich (keine vollen Ausschläge, Manövergeschwindigkeit)

Rot — > Höchstgeschwindigkeit  $V_{ne}$

Weiß — > Wölbklappenbereich



### Anzeigefehler bei Druckänderung! (Fehler: pro 1000ft 2% mehr)

- Der Höhenmesser

Prinzipaufbau: Luftarmgepumpte Membrandose (Aneroiddose) wird durch den schwankenden atmosphärischen Druck mehr oder weniger zusammengedrückt mit Anzeige auf in Metern oder Feet geeichter Skala. Einstellung auf QNH, Platzdruck (QFE) oder 1013 hPa (Kollmann- Fenster )

### Anzeigefehler bei Temperaturänderung !

### 62 . Kanninstrumentierung

- Das Variometer

Prinzipaufbau: Anzeige von Druckänderungen durch Steigen oder Sinken über **fast** dichte Membrandose. Druckausgleich ist möglich, daher geht die Anzeige auf Null, wenn keine Höhenänderung mehr statt findet. Die Anzeige ist in Meter/Sekunde oder 1000 Ft/Min.

#### Dosenvariometer

Membrandose ist mit einem Ausgleichsgefäß verbunden. Die Verbindungsleitung hat eine Kapillaröffnung zum Gehäuseinnenraum, dieser ist mit der Statikleitung verbunden ist. Ausdehnung der Dose wird angezeigt.

#### Stauscheibenvariometer

Druckausgleich zwischen Ausgleichsgefäß und Statikdruck erfolgt über einen Kapillarspalt zwischen Stauscheibe und Gehäuseinnenwand. Die Strömung versucht die Stauscheibe mitzunehmen. Die Drehbewegung der Scheibe wird angezeigt



### Elektrisches Variometer

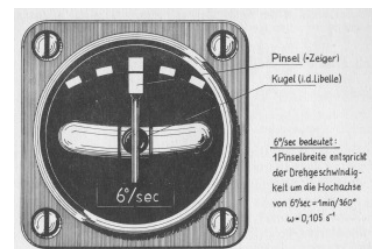
Druckausgleichsströmung zwischen Ausgleichsgefäß und Statikdruck wird elektrisch erfasst und nach Aufbereitung entweder akustisch oder /und optisch angezeigt.  
 Weitere Verarbeitung in Sollfahrtanzeige bzw. Flugdatenberechnung.

### Kreiselinstrumente zur Kontrolle der Fluglage

Prinzip: Eine relativ schwere Masse rotiert um eine Achse mit hoher Drehzahl. Sie versucht sich dann im Raum stabil zu verhalten. Versucht man nun die Achse zu kippen, entstehen Kräfte, die in einem 90° Winkel zur Kippbewegung die Kreiselachse zu drehen versuchen (Präzession). Diese Eigenschaft nützt man aus, um Bewegungen eines Flugzeugs anzuzeigen.

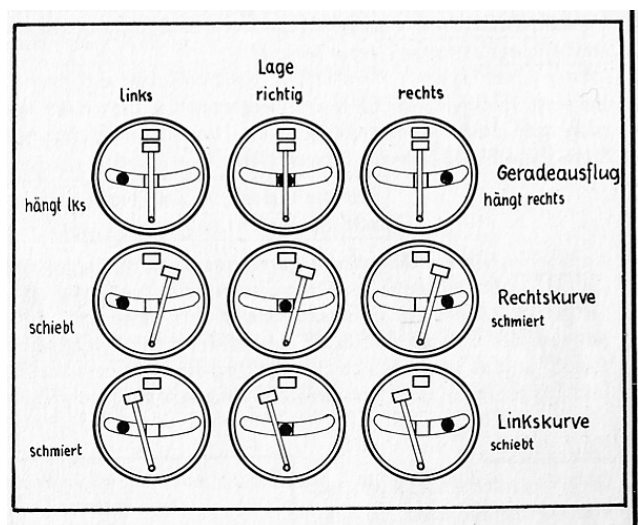
➤ Der Wendezeiger

Die Kreiselachse steht in Richtung der Flugzeugquerachse und ist um die Flugzeuglängsachse frei aufgehängt. Drehung des Flugzeugs um die Hochachse wird in eine Kippbewegung umgesetzt und



entweder als „Pinselausschlag“ oder durch Neigung eines Flugzeugsymbols (Turncoordinator) angezeigt. Die Libelle ist vom Kreisel völlig unabhängig. Sie zeigt an, ob das Flugzeug mit richtiger Schräglage fliegt.

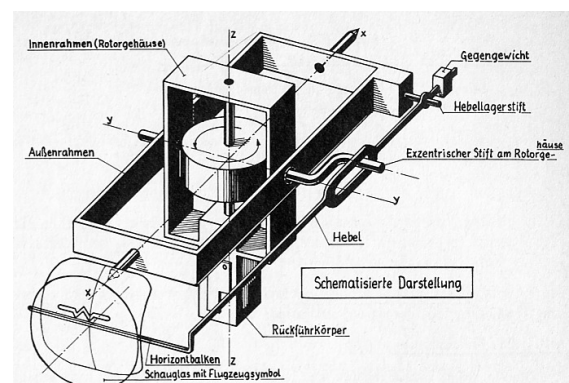
Zur Erinnerung: Zur *Verbesserung* der Fluglage tritt auf die Kugel (hit the ball) *Kurve beenden*: Pedal gegen den Pinsel



➤ Der künstliche Horizont

Ein um alle Achsen frei beweglich (voll kardanisch) aufgehängter Kreisel. Die Kreiselachse ist parallel zur Hochachse. Bewegungen des Flugzeugs um die Quer- und um die Längsachse werden mit einem Flugzeugsymbol angezeigt.

- Uhr
- Funk



## 7. Navigationsinstrumente

### ➤ Der Magnetkompass

Um eine senkrechte Achse drehbar aufgehängte Kompassnadel. Sie versucht sich in Nord-Südrichtung entlang der Kraftlinien des Erdmagnetfeldes auszurichten.

Problem: Die Ausrichtung der Magnetfeldlinien ist nicht genau geografisch Nord-Süd.

Diese Abweichung nennt man **Deklination**. Man kann sie für jeden Punkt auf der Erde auf Fliegerkarten ablesen (in Deutschland etwa

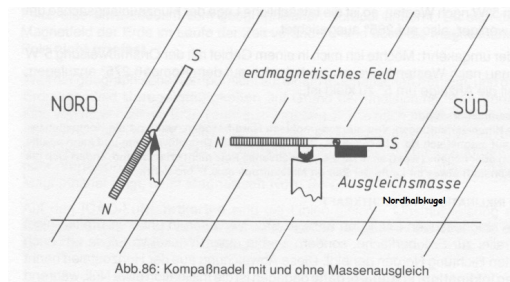
1-2°). Sie verläuft auch nicht genau horizontal,

da der magnetische Nordpol nicht auf der Erdoberfläche liegt, sondern in Mitteleuropa

schräg nach Norden unten. Diese Abweichung nennt man **Inklination**. Damit die Magnetnadel

nicht schräg hängt, bringt man auf ihrer Südseite ein Ausgleichsgewicht an oder hängt sie außermittig auf. Kurvt man nun in Richtung Nord oder Süd oder beschleunigt

Richtung West oder Ost wird durch die Massenträgheit dieser unsymmetrischen



Kompaßdrehfehler, verursacht durch Massenausgleich der Kompaßnadel (wegen Inklination)

#### Guerneigungsfehler:

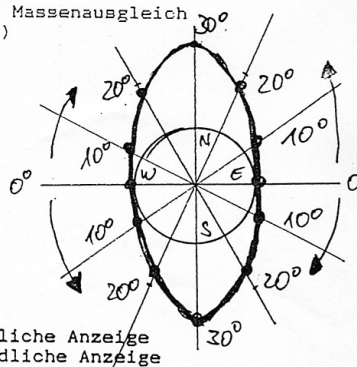
Bei Kursänderung nach Nord vorher

Bei Kursänderung nach Süd über

#### Beschleunigungsfehler:

Bei Kursen nach Ost/West

Steigen --> langsamer --> mehr südliche Anzeige  
Sinken --> schneller --> mehr nördliche Anzeige



Anordnung ein Beschleunigungsfehler der Kompassanzeige erzeugt: Der **Kompaßdrehfehler**. Durch die Anordnung von magnetischen Materialien und

elektrischen Komponenten im Flugzeug kann die Anzeige des Magnetkompasses

verfälscht werden (**Deviation**). Er muss daher regelmäßig kompensiert werden. Die

nicht kompensierbaren Fehler werden in einer Kompensationstabelle eingetragen, die gut sichtbar in der Nähe des Magnetkompass angebracht sein muss.

### ➤ Der Kurskreisel („Kreiselkompass“)

Ein wie der künstliche Horizont um alle Achsen frei beweglich (voll kardanisch) aufgehängter Kreisel. Die Kreiselachse ist allerdings parallel zum Horizont.

Bewegungen des Flugzeugs um die Hochachse werden auf einer Kompassrose

angezeigt. Durch verschiedene Einflüsse wandert die Anzeige des Kurskreisels. Er

muss daher im unbeschleunigten Flug regelmäßig nach dem Magnetkompass nachgeführt werden.

### ➤ GPS

**Quellen:**

F. Hesse und W. Hesse, Der Segelflugzeugführer (Hesse 4), Verlag Hesse,  
Winfried Kassera, Flug ohne Motor, Motorbuchverlag

Wolfgang Kühn, Der Privatflugzeugführer, Schiffmannverlag