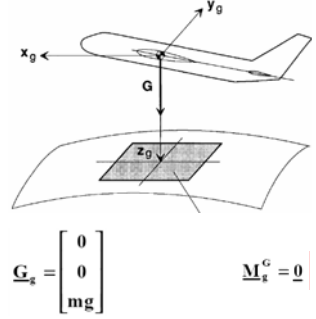
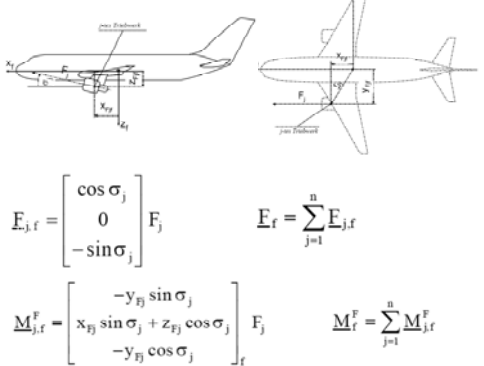


Kräfte und Momente am Flugzeug

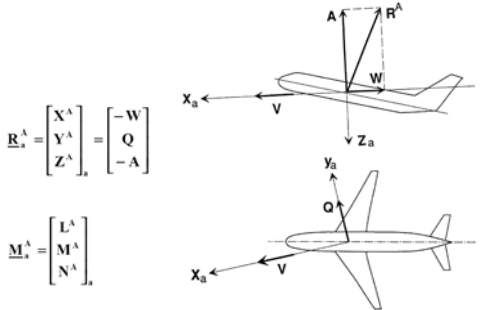
Gewichtskraft und Gewichtsmoment



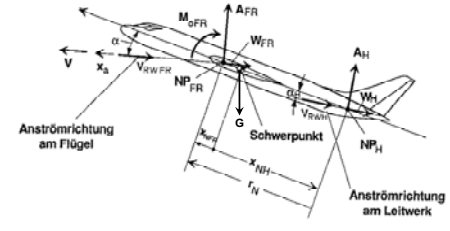
Schubkraft und Schubmoment



Luftkraft und Luftmoment

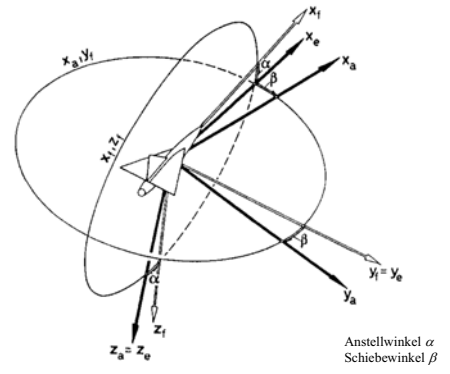


Gesamtsystem

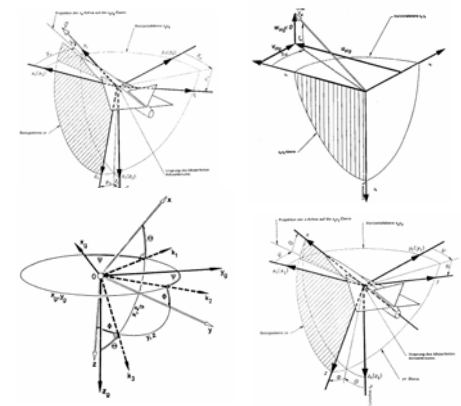


Koordinatensysteme

Aerodynamisches Koordinatensystem



Weitere wichtige Koordinatensysteme sind das geodätische und das flugzeugfeste Koordinatensystem. Eine große Vielzahl weiterer Systeme existiert. Beispiele:



Bewegungsgleichungen

Differentialgleichungen der Bewegung

$$\begin{aligned} \dot{\lambda} &= v_x^e / (r \cos \beta) \\ \dot{\beta} &= v_y^e / r \\ \dot{r} &= -v_z^e \\ \dot{\psi} &= (\omega_x^e \sin \phi + \omega_z^e \cos \phi) / \cos \theta \\ \dot{\theta} &= \omega_x^e \cos \phi - \omega_z^e \sin \phi \\ \dot{\phi} &= \omega_y^e + (\omega_x^e \sin \phi + \omega_z^e \cos \phi) \tan \theta \\ \dot{v}_x^e &= F_x^e / m - \omega_y^e v_z^e + \omega_z^e v_y^e \\ \dot{v}_y^e &= F_y^e / m - \omega_x^e v_z^e + \omega_x^e v_x^e \\ \dot{v}_z^e &= F_z^e / m - \omega_x^e v_y^e + \omega_y^e v_x^e \\ \dot{\omega}_x^e &= [M_x^e - (I_z - I_y) \omega_y^e \omega_z^e - I_{xz} \omega_y^e] / I_x \\ \dot{\omega}_y^e &= [M_y^e - (I_x - I_z) \omega_x^e \omega_z^e - I_{xz} \omega_x^e] / I_y \\ \dot{\omega}_z^e &= [M_z^e - (I_x - I_y) \omega_x^e \omega_y^e - I_{xz} \omega_x^e] / I_z \end{aligned}$$

- Position**
- Attitude**
- Speed**
- Angular Speed**

Kräftegleichung im F-KOS

$$-\underline{E}_f^k = \underline{T}_{f,k} \underline{G}_k + \underline{E}_f + \underline{T}_{f,k} \underline{R}_k^A$$

$$\begin{bmatrix} \dot{v}_{x,f} \\ \dot{v}_{y,f} \\ \dot{v}_{z,f} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} q w_{x,f} - r v_{z,f} \\ q v_{z,f} - r w_{x,f} \\ p v_{y,f} - q v_{x,f} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin \theta & \cos \theta & 0 \\ \sin \theta \cos \phi & \cos \theta \cos \phi & -\sin \phi \\ \cos \theta \sin \phi & -\sin \theta \sin \phi & \cos \phi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \cos \alpha \cos \beta & -\cos \alpha \sin \beta & -\sin \alpha \\ \sin \beta & \cos \beta & 0 \\ \sin \alpha \cos \beta & -\sin \alpha \sin \beta & \cos \alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -W \\ Q \\ -A \end{bmatrix}$$

Momentengleichung im F-KOS

$$-\underline{M}_f^k = \underline{T}_{f,k} \underline{M}_k^A + \underline{M}_f^f$$

$$\begin{bmatrix} \dot{I}_{x,f} & 0 & -I_{xz,f} \\ 0 & I_{y,f} & 0 \\ -I_{xz,f} & 0 & I_{z,f} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\omega}_{x,f} \\ \dot{\omega}_{y,f} \\ \dot{\omega}_{z,f} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} q r (I_{z,f} - I_{x,f}) - p q I_{xz,f} \\ r p (I_{x,f} - I_{z,f}) + (p^2 - r^2) I_{xz,f} \\ p q (I_{x,f} - I_{z,f}) + q r I_{xz,f} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \alpha \cos \beta & -\cos \alpha \sin \beta & -\sin \alpha \\ \sin \beta & \cos \beta & 0 \\ \sin \alpha \cos \beta & -\sin \alpha \sin \beta & \cos \alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L^A \\ M^A \\ N^A \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ M_f^f \\ 0 \end{bmatrix}$$

Dimensionslose Beiwerte

$$C_x = \frac{X}{\frac{\rho}{2} V^2 S} \quad \text{X-Kraftbeiwert}$$

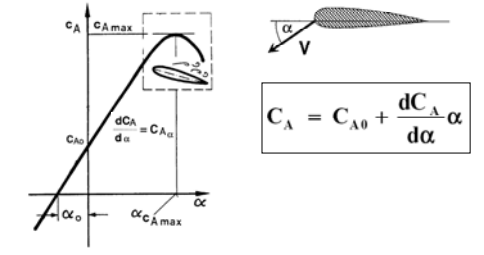
$$C_l = \frac{L}{\frac{\rho}{2} V^2 S_s} \quad \text{Rollmomentenbeiwert}$$

$$C_m = \frac{M}{\frac{\rho}{2} V^2 S l_a} \quad \text{M-Momentenbeiwert}$$

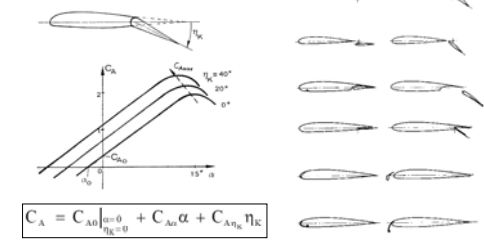
$$C_n = \frac{N}{\frac{\rho}{2} V^2 S_s} \quad \text{Giermomentenbeiwert}$$

Beispiel: Auftriebsbeiwert C_A

Einflussfaktor Anstellwinkel α



Einflussfaktor Klappensysteme



Weitere Einflussfaktoren:

- Machzahl
- Flügelgeometrie

Gesamter Auftriebsbeiwert C_A

$$C_A = C_{AFR} + \frac{q_H S_H}{q S} C_{AH}$$

$$C_A = C_{A0FR} \cdot (\alpha - \alpha_{0FR} + i_{FR} + \tau_{0k} \eta_k) \left[1 + \frac{q_H S_H}{q S} \left(1 - \frac{\partial \epsilon_{H1}}{\partial \alpha} \right) \cdot \frac{C_{A0FH}}{C_{A0FR}} \right] + \dots$$

$$+ \frac{q_H S_H}{q S} C_{A0FH} \cdot [-\epsilon_{0H} + (\alpha_{0FR} - \alpha_{0H}) - (i_{FR} - i_{0H}) - \tau_{0k} \eta_k + \tau_0 \eta]$$

Abbildungen teilweise aus: Skriptum, Prof. Dr. K. Wilhelm: Flugmechanik 1. Grundlagen und stationäre Flugzustände. Technische Universität Berlin.