

Abheben vom Startwagen - Auftrieb ohne Nebenwirkungen

– Modellflug und Schulphysik –

Hans Langenhagen
FAI-CIAM Meeting April 2018



Startwagen für einen Motorsegler

- unser Verein pflegt langjährige Kooperationsbeziehungen mit einem Gymnasium:
→ *Ganztagsangebot Modellflug*
- im Rahmen dieser Kooperation bauen Schüler auch einen einfachen Motorsegler



Keno mit Motorsegler
Luxx - ein Baukasten
der Fa. Aeronaut/Ger

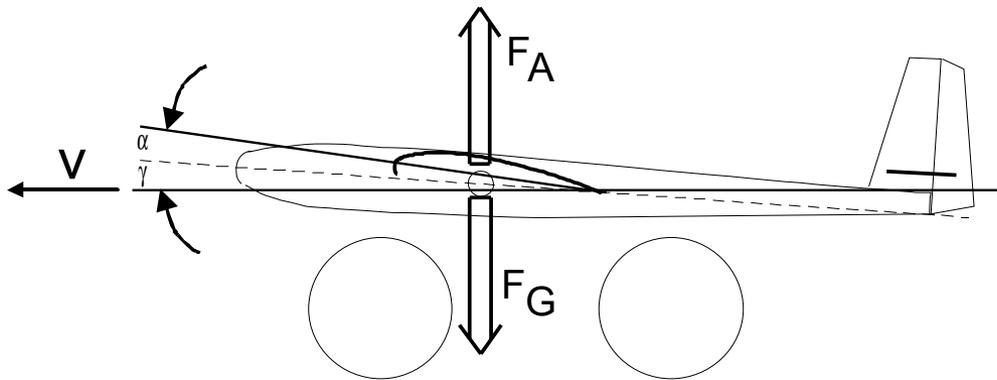
Startwagen: welche Eigenschaften?

Keno kam auf die Idee, für seine Facharbeit /8.Kl. einen Startwagen zu bauen → wie muss der aussehen?

- Rasenpiste → genügend große Räder
- geringe Achsreibung → Kugellager
- leicht und robust → Aussteifungen
- geeigneter Anstellwinkel → ausrechnen

Startwagen: welcher Anstellwinkel?

Wie groß muss die Winkelsumme $\gamma + \alpha$ sein, damit das Modell bei einer gewünschten Geschwindigkeit v des Wagens von diesem aufsteigt?



wobei:

α : Winkel zur Rumpf-Längsachse

γ : Längsachsenwinkel zum Startwagen

m : Masse kg

g : Gravit_konst $9,81\text{m}/\text{sec}^2$

A : Tragflächeninhalt m^2

ρ : Luftdichte $1,25\text{kg}/\text{m}^3$

v : Geschwindigkeit m/sec

Es steigt auf, wenn

$$F_A \geq F_G, \text{ wobei } F_G = m \cdot g$$

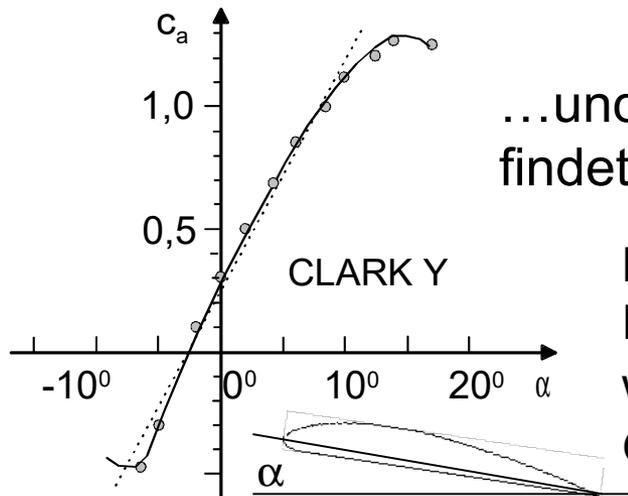
Aus der Auftriebsformel

$$F_A = \frac{\rho}{2} \cdot v^2 \cdot A \cdot c_a$$

errechnet man den Auftriebsbeiwert c_a

$$c_a \geq \frac{2 \cdot F_A}{\rho \cdot v^2 \cdot A}$$

Startwagen: welcher Anstellwinkel?



...und aus dem Verlauf c_a über dem Anstellwinkel α findet man die gesuchte Winkelsumme.

Mit den Daten des Modells Luxx

$$F_A = m \cdot g = 0,47 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/sec}^2 = 4,58 \text{ N}, \quad A = 0,21 \text{ m}^2,$$

wird die Winkelsumme für die Beispiel-

Geschwindigkeiten 6m/sec, 8m/sec, 10m/sec:

$$v = (6 \quad 8 \quad 10) \text{ m/sec};$$

$$\rightarrow c_a = 1,0 \quad 0,55 \quad 0,36$$

$$\rightarrow \gamma + \alpha = 8,2^\circ \quad 3,6^\circ \quad 1,4^\circ$$



→ die praktische Ausführung ergibt $\alpha + \gamma = 7^\circ$

→ Frage: Beschleunigung auf $v = 6 \dots 8 \text{ m/sec}$ zum Test in der Sporthalle möglich?

Der Test mit Videobeweis

3 Starts und 3 Videos mit Variation der SP_Lage:

-SP vorn-

-SP hinten-

-SP mittig-



→ Versuch ist positiv ausgegangen!!

Video-Beobachtung: das Modell hebt stets an der gleichen Stelle ab!

→ Erst wenn es frei ist und fliegt, wirken die für die Längsstabilität bestimmenden Größen: *Winkeldifferenz Flügel-Höhenleitwerk* und *Schwerpunkt_Lage*

aber wie schnell war es nun beim Abheben?

Startzeit / Video;

$$t_{ab} = 2,8\text{sec};$$

Startweg / abgemessen:

$$s_{ab} = 9\text{m}$$

Für gleichmäßig beschleunigte Bewegung gilt:

$$v_{ab} = a \cdot t_{ab}$$

$$s_{ab} = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t_{ab}^2$$

Beide Gleichungen nach a aufgelöst und gleichgesetzt:

$$\rightarrow v_{ab} = \frac{2 \cdot s_{ab}}{t_{ab}} = 6,43 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \quad \rightarrow c_a = 0,86 \quad \text{und} \quad \gamma + \alpha = 6^\circ$$

- Das Ergebnis ist plausibel, es bestätigt den eingangs abgeschätzten Geschwindigkeitsbereich von 6...8m/s;
- In Anbetracht der nur angenäherten Profildaten und einer einfachen Messmethode trifft der ausgerechnete Winkel $\gamma + \alpha = 6^\circ$ den installierten Winkel $\gamma + \alpha = 7^\circ$ (fast zu) gut!

Was wir daraus folgern können

- Mittels unkomplizierter Messungen während der Startphase können Schüler Aussagen zu den Größen *Geschwindigkeit* und *Beschleunigung* im Abhebezeitpunkt treffen. Das entspricht praxisorientierter Anwendung der Schulphysik 9. Klasse. Der Abhebevorgang selbst versinnbildlicht den aerodynamischen Begriff *Auftriebskraft* F_A .
- Der Modellantrieb steigert die Geschwindigkeit des Startwagens linear bis zu jenem Wert, bei dem gilt $F_A > F_G$ und das Modell abhebt. Mit den Werten Startzeit und Startstrecke kann nachgerechnet werden, bei welchem *Anströmwinkel* $\alpha + \gamma$ das Modell abgehoben hat. Die Schüler lernen den Umgang mit dem Diagramm *Auftriebsbeiwert* versus *Anströmwinkel*.
- Neben der Verbindung zur Theorie bringt ein Startwagen auch viel Spaß in die Fernlenkschulung.