

# Saalfflugseminar 2014

## Grundlagen Saalfflug

Paul Willutzki

# Gliederung

- Theoretische Grundlagen Saalflug
  - Parameter für einen langen Flug
  - Was folgt praktisch daraus
  - Resümee

# Theoretische Grundlagen Saalflug

- Was macht ein gutes Saalflugmodell aus?
  - Der Antrieb → Gummiparameter (Gummigewicht  $m_g$ , Energiehöhe  $H_e$ )
  - Das Modell → Parameter Gewicht Zelle  $m_z$ , Aerodynamik (Sinkgeschwindigkeit  $v_s$ )
  - Die Luftschraube → Wirkungsgrad  $\eta$
- Diese Parameter lassen sich in eine einfache Formel bringen:

$$T = \frac{H_e \cdot m_g \cdot \eta}{v_s \cdot (m_z + m_g)} \quad (1)$$

T: Flugzeit [s],  $m_z$ [kg],  $m_g$ [kg],  $v_s$ [m/s],  $\eta$  [dimensionslos]

- Formel 1 ist äquivalent zu Formel 12 in [1] (Hacklinger, 1962), die wiederum letztlich aus dem Energiesatz hergeleitet wurde. Wichtig ist, dass  $v_s$  ebenfalls vom Gewicht abhängt:

$$v_s = \sqrt{\frac{2(m_z + m_g)g}{\rho F \frac{c_a^3}{c_w^2}}} \quad (2); \text{ Für einen Flugzustand ist } v_s \sim \sqrt{m_z + m_g}$$

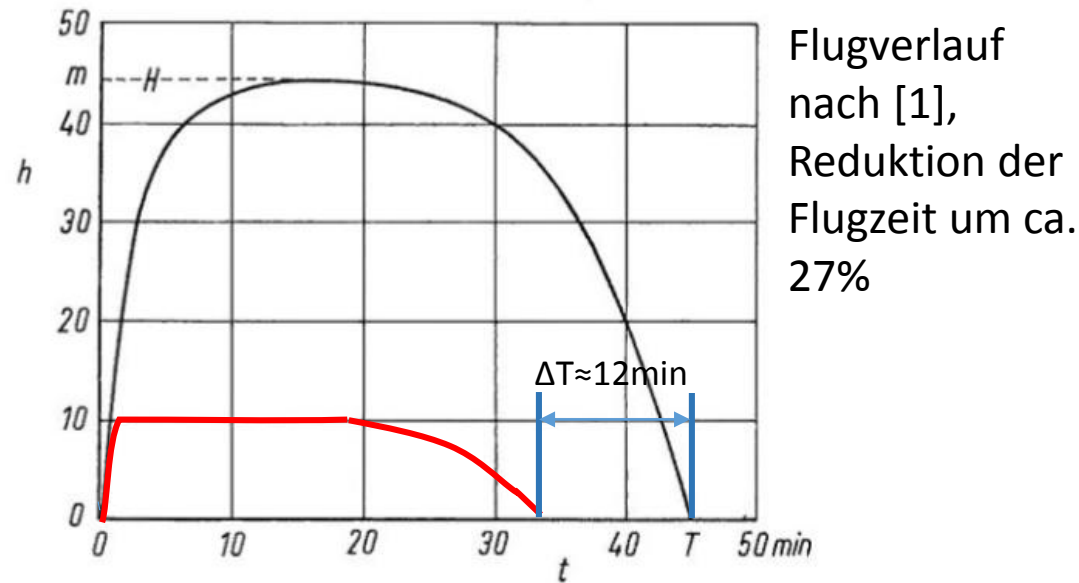
$g = 9.81 \frac{m}{s^2}$ ,  $\rho = (\text{Luft dichte}) = 1.2041 \frac{kg}{m^3}$  (Meereshöhe),  $F = \text{Fläche [m}^2]$ ,  $c_a, c_w$  [dimensionslos],  $\frac{c_a^3}{c_w^2}$  Steigzahl

# Theoretische Grundlagen Saalflug

- Randbedingungen für Formel 1
  - Formel 1 gilt streng nur bei konstanten Parametern während des gesamten Fluges, da dies bei realen Bedingungen nicht erreichbar ist, sind die erreichbaren Flugzeiten normalerweise geringer.
  - Es gibt natürlich auch weitere Einflüsse, z.B. Temperatur, Hallenkonvektion, etc. Diese sind aber deutlich geringer und bei Auslegungen von Saalflugmodellen oft von untergeordneter Bedeutung, bzw. im Wettbewerb allgemein vorhanden.
  - Formel 1 geht von einer „unendlich“ hohen Halle aus, sollte das Modell während des Flugs der Hallendecke zu nahe kommen, reduziert sich die erreichbare Flugzeit natürlich.

# Theoretische Grundlagen Saalflug

- Randbedingungen für Formel 1 – Einfluss Hallenhöhe
  - Vereinfachte Abschätzung für eine 10m hohe Halle:



Allgemeiner Flugverlauf eines FAI-Saalflugmodells.

- Die erreichbare Flugzeit bei niedrigen Hallen reduziert sich mindestens um 25-30%

# Theoretische Grundlagen Saalflug

- Einfluss Antrieb / Gummi
  - Ansatz für Energieinhalt/Arbeitsvermögen des aufgezogenen Gummis in erster Näherung\*:

$$E_g \propto m_g \cdot g$$

- Die Proportionalitätskonstante hat die Einheit [m] und wurde daher sinngemäß in [1] als Energiehöhe  $H_e$  bezeichnet:

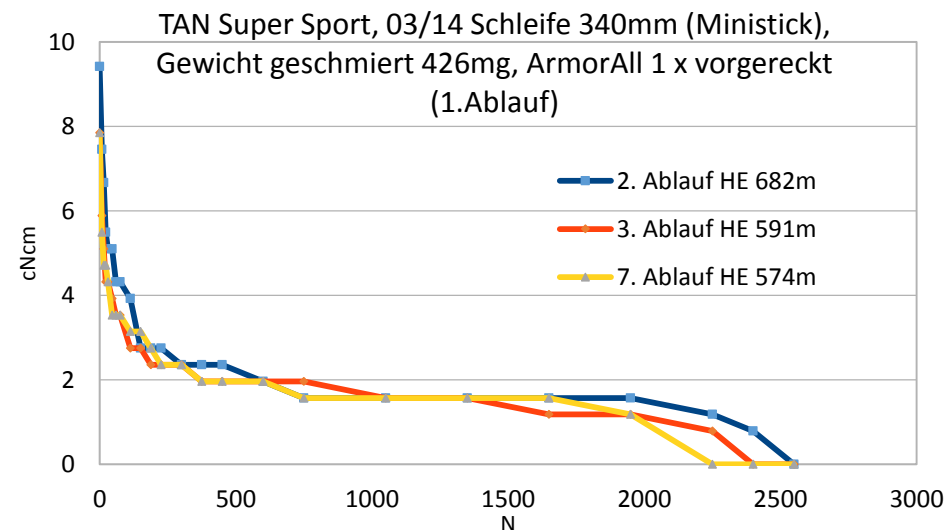
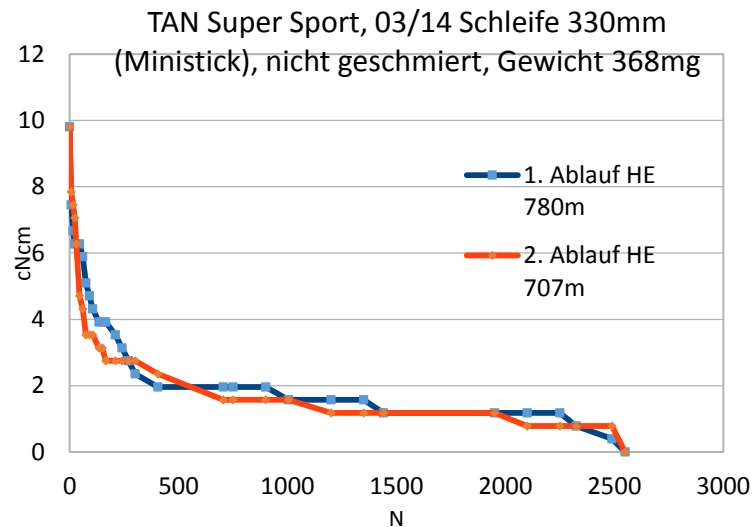
$$E_g = H_e \cdot m_g \cdot g \quad (3)$$

- Ein sinnvoller Bereich für  $H_e$  ist:  $H_e \approx 700\text{-}1000\text{m}$
- In der Literatur [1] findet man Werte für  $H_e \approx 900\text{m}$ .
- Man kann  $H_e$  relativ einfach auch messen, da  $E_g$  gleich  $2\pi$  mal dem Integral (Fläche) der Ablaufkennlinie ist.

\* Es gibt natürlich noch weitere Einflussfaktoren, z.B. Temperatur, Rauigkeit, Knotenbildung, Behandlung etc., aber der wohl größte Faktor bei einer „vernünftigen“ Gummigeometrie und Gummihandhabung ist natürlich die Masse des Gummis.

# Theoretische Grundlagen Saalflug

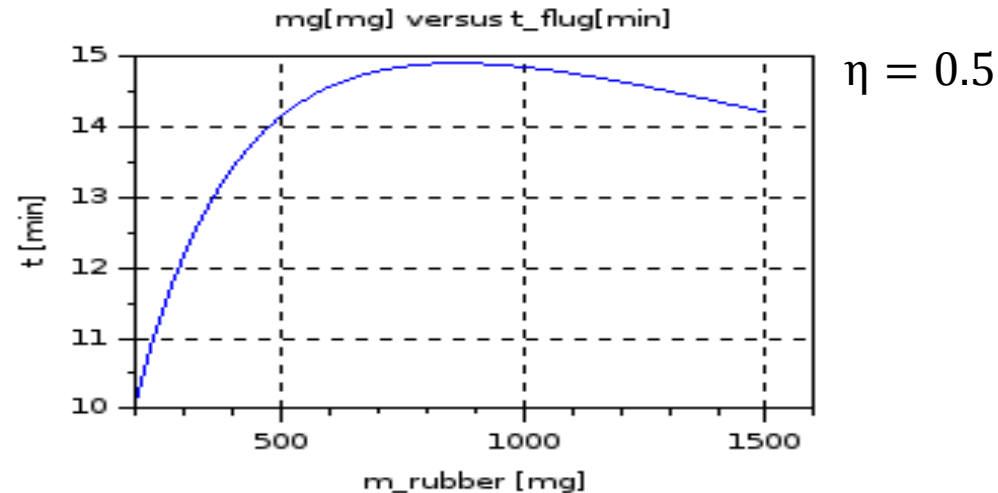
## Gemessene Ablaufkennlinien



- Startdrehmoment 6-10 cNcm; Gemessene Energiehöhen zwischen 574m und 780m, erwartete Abnahme bei mehreren Abläufen
- Zur Diskussion: Einfluss Verhältnis Schleifenlänge zu Hakenabstand auf  $H_e$ ?
- Zur Diskussion: Einfluss Schmiermittel (ArmorAll) als Schmiermittel bei diesem Gummi und dieser Konfiguration?
- Zur Diskussion: ggf. weitere wichtige Einflüsse auf  $H_e$ ?

# Theoretische Grundlagen Saalflug

- Abhängigkeit der Flugzeit vom Gummigewicht



Gleitflug-Messwerte Ministick  
(gewichtskompensiert)

$$m_z = 436 \text{ mg}$$

$$m_g = 400 \text{ mg}$$

$$v_s = 0,27 \text{ m/s}$$

$$v \approx 1 \text{ m/s}$$

$$\text{Gleitzahl } E = \frac{c_a}{c_w} = 3.82$$

$$\text{Steigzahl } \frac{c_a^3}{c_w^2} = 11.32$$

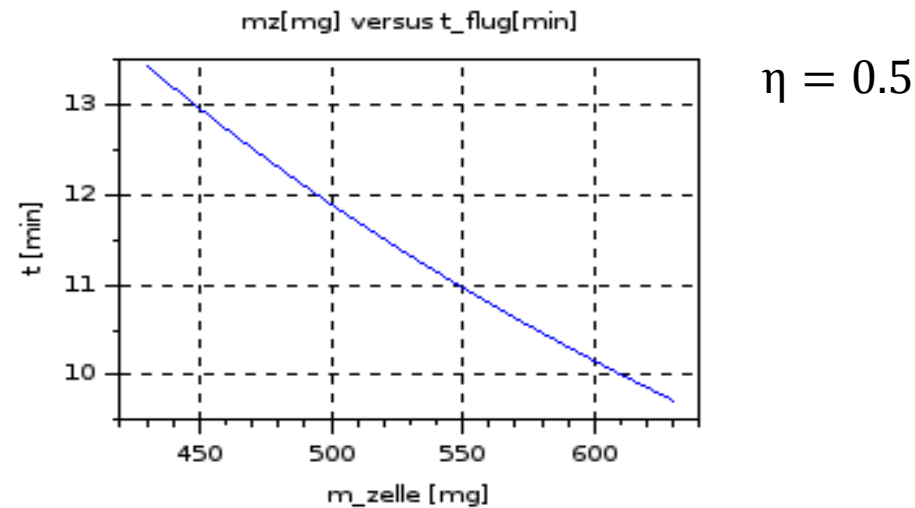
$$c_a = 0,78 \quad c_{wges} = 0.2$$

- Das theoretische Maximum liegt bei  $\frac{m_g}{m_z} = 2$ . Allerdings ist die Kurve für das Maximum in diesem Bereich flach und so hohe Gummigewichte bedingen meist strukturelle Änderungen/Verstärkungen an der Zelle. Außerdem ist in den meisten Klassen das Gummigewicht selbst bzw. der Hakenabstand (und damit ein vernünftig nutzbares Gummigewicht) begrenzt. Wenn man die Wahl hat, sollte man zum jeweils höheren Gummigewicht tendieren.



# Theoretische Grundlagen Saalflug

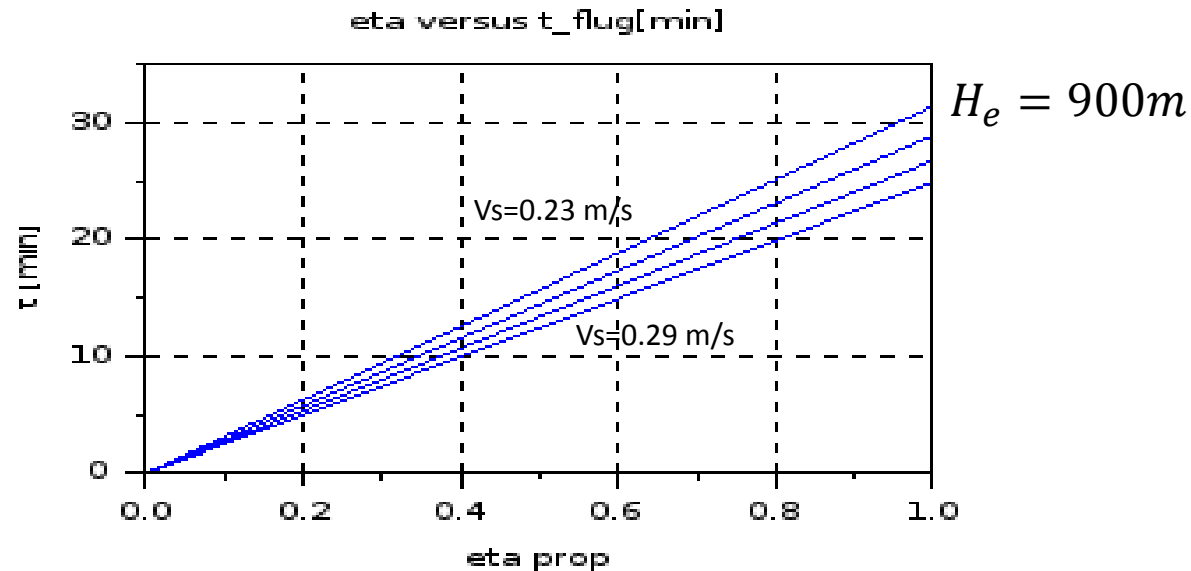
- Abhängigkeit der Flugzeit von den Modellparametern



- Die Flugzeit hängt stark vom Zellengewichts  $m_z$  ab. Anders als beim Gummi ist hier die Minimierung von  $m_z$  (innerhalb der jeweiligen Vorgaben und Regeln) extrem wichtig.
- Die Sinkgeschwindigkeit  $v_s$  hängt von der Bauausführung, der Einstellung (Schwerpunkt, Einstellwinkel, Motorzug, Kreisdurchmesser) und der Aerodynamik ab.
- Bauausführung und Einstellung lassen sich beeinflussen, die Aerodynamik selbst aufgrund der geringen Re-Zahlen nur bedingt. (siehe [2] (Eder, 2014))

# Theoretische Grundlagen Saalflug

- Abhängigkeit der Flugzeit vom Luftschraubenwirkungsgrad



- Auch vom Luftschraubenwirkungsgrad  $\eta$  hängt die Flugzeit stark ab. Hier hat man innerhalb der jeweils gegebenen Grenzen meist große Gestaltungsmöglichkeiten in Bezug auf z.B. Form, Profil, Verwindung, Gewicht, ggf. auch Verstellung, etc. Diese sollte man nutzen.

# Theoretische Grundlagen Saalflug

- Resümee
  - Auch wenn Saalflug eine komplexe Sportart ist, so lassen sich doch die grundlegenden Parameter in einen relativ einfachen Zusammenhang bringen, da große Teile des Fluges sich unter einigermaßen statischen Bedingungen abspielen (sollten 😊).
  - Die hauptsächlichen Einflüsse des Antriebs/Gummi, Modells und der Luftschraube auf die zu erwartende Flugzeit wurden dargestellt und diskutiert.

# Literaturverzeichnis

- [1] (Hacklinger, 1962): M.Hacklinger, Untersuchungen an Saalflugmodellen, Jahrbuch 1962 der WGLR, S. 237-245
- [2] (Eder, 2014): H.Eder, „Alles über Saalflug“, z.B. in Kap. 20, vth-Fachbuch, ISBN 978-3-88180-455-4