



Assessment of Numerical Models for Thrust and Specific Fuel Consumption for Turbofan Engines

Oliver Schulz

- 1. Prüfer: Professor Dr. Scholz**
- 2. Prüfer: Professor Dr. Bräunling**

**Durchgeführt in Kooperation mit der University
of Limerick**

Assessment of Numerical Models for Thrust and Specific Fuel Consumption for Turbofan Engines

Oliver Schulz



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Hamburg University of Applied Sciences

Department Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau

Inhaltsübersicht

- **Definitionen**
- **Gleichungen zur Berechnung des Schubes**
- **Gleichungen zur Berechnung des spezifischen Brennstoffverbrauches (SFC)**

Assessment of Numerical Models for Thrust and Specific Fuel Consumption for Turbofan Engines

Oliver Schulz



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Hamburg University of Applied Sciences

Department Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau

Warum dieses Thema?

- **Wichtig für Flugzeugdesign/ -auslegung**
- **Keine realen Triebwerksdaten vorhanden**
- **Viele Formeln in Literatur, aber wie gut sind die?**



Schub

$$F_N = m_{f,TW}(V_{aus} - V_{ein})$$

- **Schub nimmt mit zunehmender Geschw. ab**
(je größer BPR desto stärker dieser Effekt)
- **Schub nimmt mit zunehmender Höhe ab**



Spezifischer Brennstoffverbrauch (SFC)

$$c = m_{f,\text{fuel}} / F_N$$

- **Verschiedene TW werden vergleichbar,
Treibstoffmassenströme zu verschiedenen**
- **Umgekehrte Effizienz, je kleiner desto besser**



Spezifischer Brennstoffverbrauch (SFC)

- **SFC sinkt mit der Höhe**
- **SFC steigt mit Geschwindigkeit**
- **SFC hat ein Minimum, mehr oder weniger Schub lassen SFC steigen**

Schubveränderung über V und h

$$F_N/F_{N,0} = \sigma^x \quad (2.1)$$

$$F_N/F_{N,0} = 1 - C \cdot h \quad \text{Raymer}$$

$$F_N = C_{Tc1}(1 - h/C_{Tc2} + C_{Tc3}h^2) \quad \text{Eurocontrol}$$

$$F_N/F_{N,0,s} = (k_1 + k_2\lambda + (k_3 + k_4\lambda)M) \sigma^S \quad \text{Howe}$$

$$F_N/F_{N,0} = 1 - k_1V + k_2V^2 \quad (2.5)$$

$$F_N/F_{N,TO} = 1 - 0,45M(1 + \lambda) / ((1 + 0,75\lambda)G)^{0,5} + (0,6 + 0,11\lambda/G)M^2 \quad \text{Torenbeek}$$

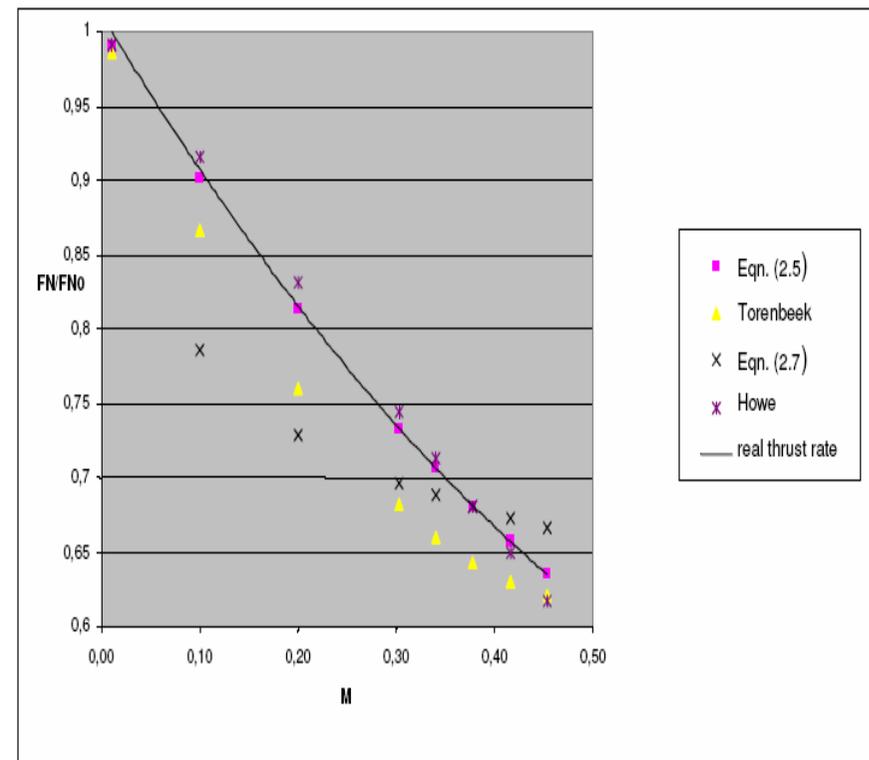
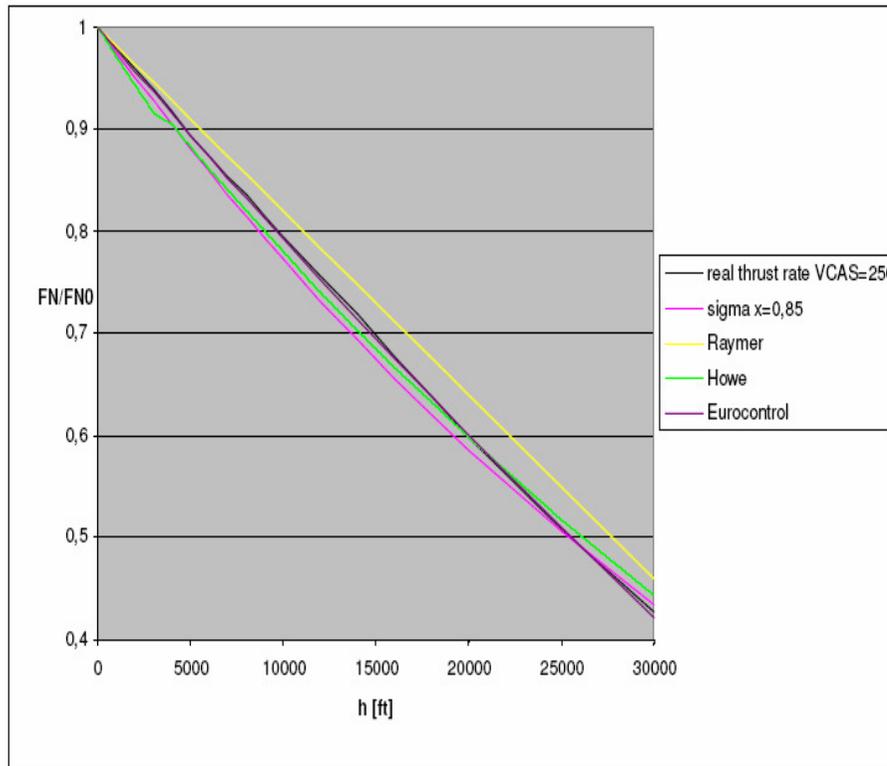
Assessment of Numerical Models for Thrust and Specific Fuel Consumption for Turbofan Engines

Oliver Schulz

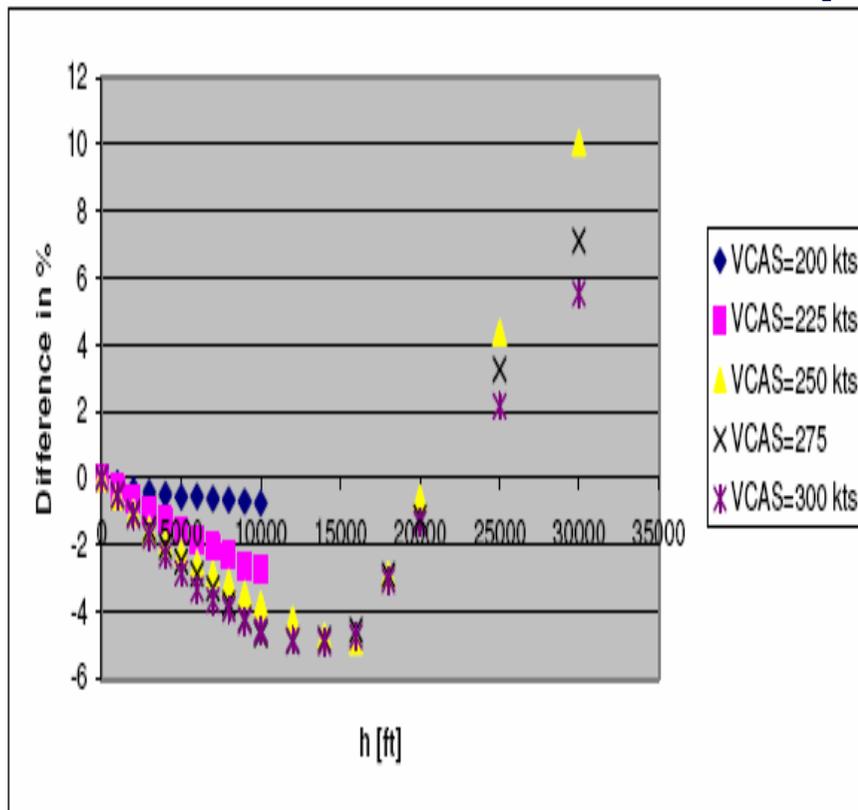


Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences
Department Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau

Verhalten der Schubgleichungen



Neues Modell (Raymer erweitert)



- $F_N/F_{N,0}=1-h/C$
- Folgt keinem Trend über BPR
- Folgt Trend über V
- $V_{CAS}=200$ kts folgt $C=47000$ ft⁻¹
- $V_{CAS}=300$ kts folgt $C=57000$ ft⁻¹
- Genauigkeit bleibt ähnlich
- Ergebnisse fokussierter



Schlussworte Schub

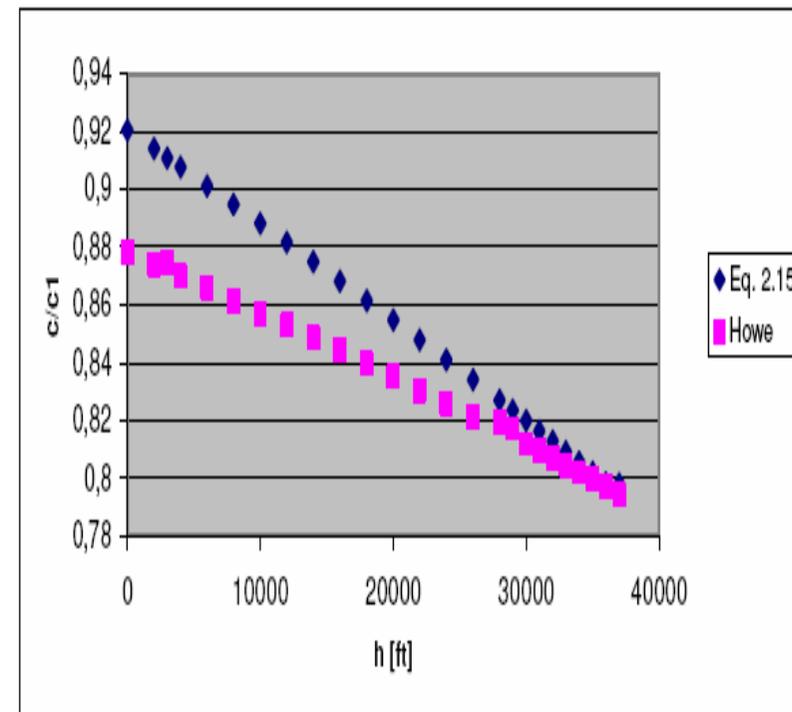
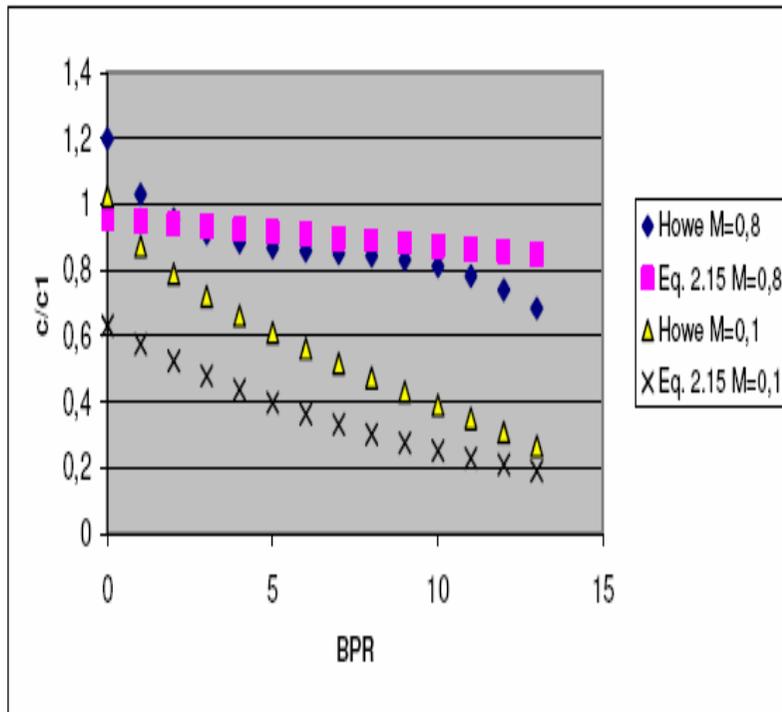
- **Howes Gleichung bringt die genauesten Ergebnisse**
- **Raymers Gleichung bringt für die Einfachheit der Gleichung sehr gute Ergebnisse**
- **Das neue Model (Raymer erweitert) fokussiert die Ergebnisse stärker**



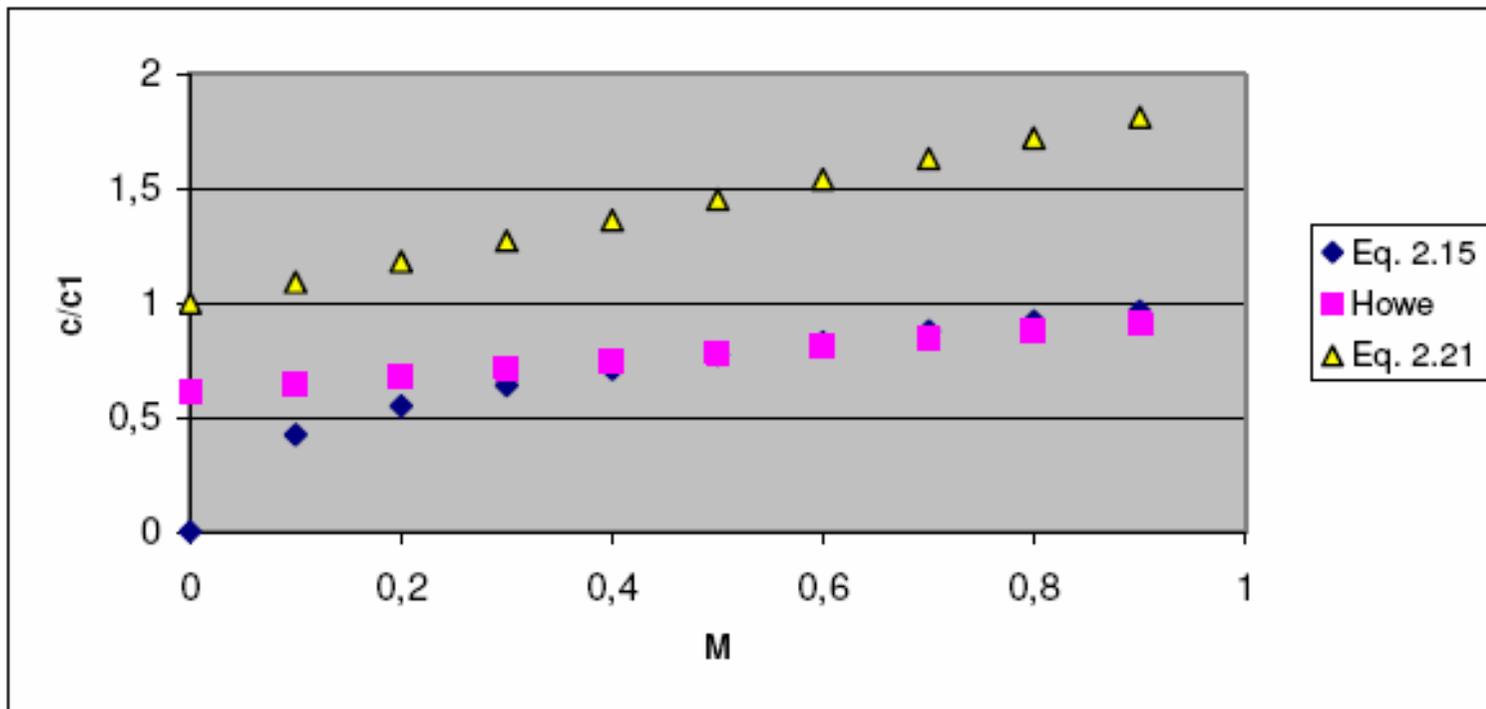
SFC-änderung mit V und h

- $c = c_2 \theta^{0,5} M^n$ (2.15)
- $c = c_1 (1 - 0,15 \lambda^{0,65}) (1 + 0,25 (1 + 0,063 \lambda^2) M) \sigma^{0,08}$ Howe
- $c = c_0 (1 + k_4 M)$ (2.21)

Verhalten der SFC-Gleichungen



Verhalten der SFC-Gleichungen





Schlusswort SFC

- **Alle Formeln sind von Trend her richtig**
- **Gute Formel von Howe**

$$c = c_1 (1 - 0,15\lambda^{0,65}) (1 + 0,25(1 + 0,063\lambda^2)M) \sigma^{0,08}$$

Assessment of Numerical Models for Thrust and Specific Fuel Consumption for Turbofan Engines

Oliver Schulz



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences
Department Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau

Ende

Vielen Dank für ihre Aufmerksamkeit!