

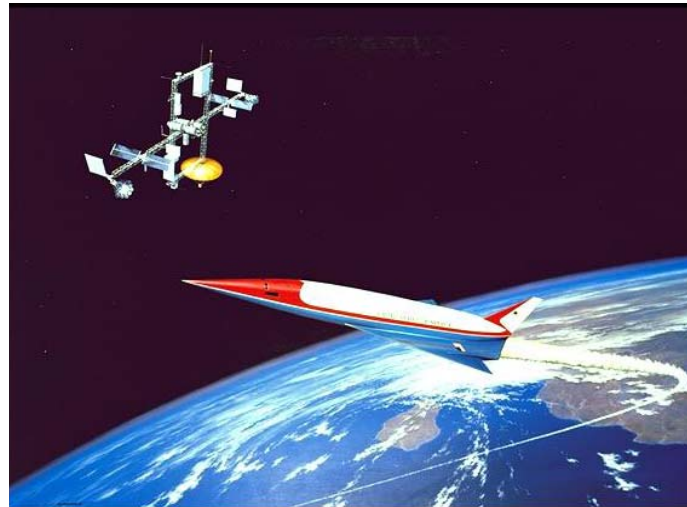
Universität Stuttgart, Fakultät Luft- und Raumfahrttechnik und Geodäsie
- Vorlesung -

Hyperschallströmung und -flug I, II

Hauptdiplom, Vertiefungsfach Strömungslehre
2 Semesterwochenstunden jeweils im SS (I) und WS (II), total 4 SWS

Dozent:
Dr. Markus J. Kloker

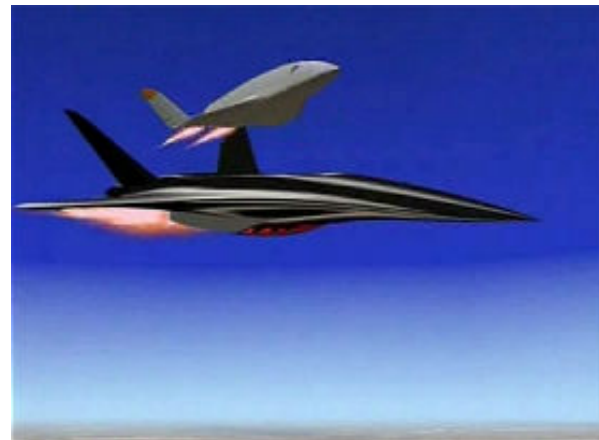
NASP-Studie (USA, 1986)



X-43 (USA, 2005)



Shuttle (USA, 1981)



Sänger-Studie (GER) 1963/88

Wann welche Körpergrundform und warum?

IReibungsfreie Hyperschallströmung (1. Semester)

I.1-4 V[km/s]-H[km]-Diagramm, Tsien-Ähnlichkeitsparameter, Wellenreiterprinzip

I.5 Druckbeiwert, Totaldruckverlust:

Definitionen und *strömungsphysikalische Bedeutung im Hyperschallbereich*

I.6 Lokale C_p -Methoden: *Newtonsche Theorie*

I.9 Konische Strömungen: *spitze Kegel, Taylor-Maccoll-Gleichung, 3-D-Effekte*

I.10 Numerische Methoden

IIReibungsbehaftete Hyperschallströmung (Ende 1. Semester; 2. Semester))

II.1 Grenzschichten: Ebene Platte, Kreiskegel, Staupunktströmung (*reloaded*)

II.2 Laminar-turbulente Transition und -vorhersage (*...glatte/raue Wand, -kühlung*)

II.3 Grenzschicht-Außenströmungs-Wechselwirkung

IIIHochtemperatureffekte (Ende 2. Semester)

III.2 Thermochemische Zustände: *Molekylvibrationsanregung, Dissoziation, Gleichgewicht, eingefrorener Zustand, Nichtgleichgewicht.*

III.2.3 Effekte bei reibungsfreier und reibungsbehafteter Strömung:

Temperaturanstiege, Stoßlagen; Diffusion; Einfluss auf den Wandwärmestrom bei Wänden mit verschiedenen Katalyzitätsgraden

III.2.3.1 Staupunktströmung: *Grenzschichtprofile und Wärmebelastung*

= f (Reaktionsraten in der Grenzschicht bei binärem Gas)

Basisliteratur

- [1] John D. Anderson Jr.: *Hypersonic and High-Temperature Gas Dynamics*.
AIAA, 2nd ed. 2006 (McGraw-Hill, 1989), ISBN-13: 978-1-56347-780-5 (ca. €95).
- [2] Ernst H. Hirschel: *Basics of Aerothermodynamics*.
Springer, 2004, ISBN 3-540-22132-8 (ca. €95).
- [3] Johann T. Heynatz: *Hyperschallströmungen – Grundlagen und Hinweise*.
Verlag Dieter Thomas, 1997, ISBN 3-931776-11-5 (ca. €34).
- [4] John D. Anderson Jr.: *Modern Compressible Flow*.
McGraw-Hill, 1990, ISBN 0-07-100665-6 (ca. €90-160).
- [5] Frank M. White: *Viscous Fluid Flow*.
McGraw-Hill, 1991, ISBN 0-07-069712-4 (ca. €85).

Newton'sche Theorie zur Bestimmung von c_p , c_D , c_L

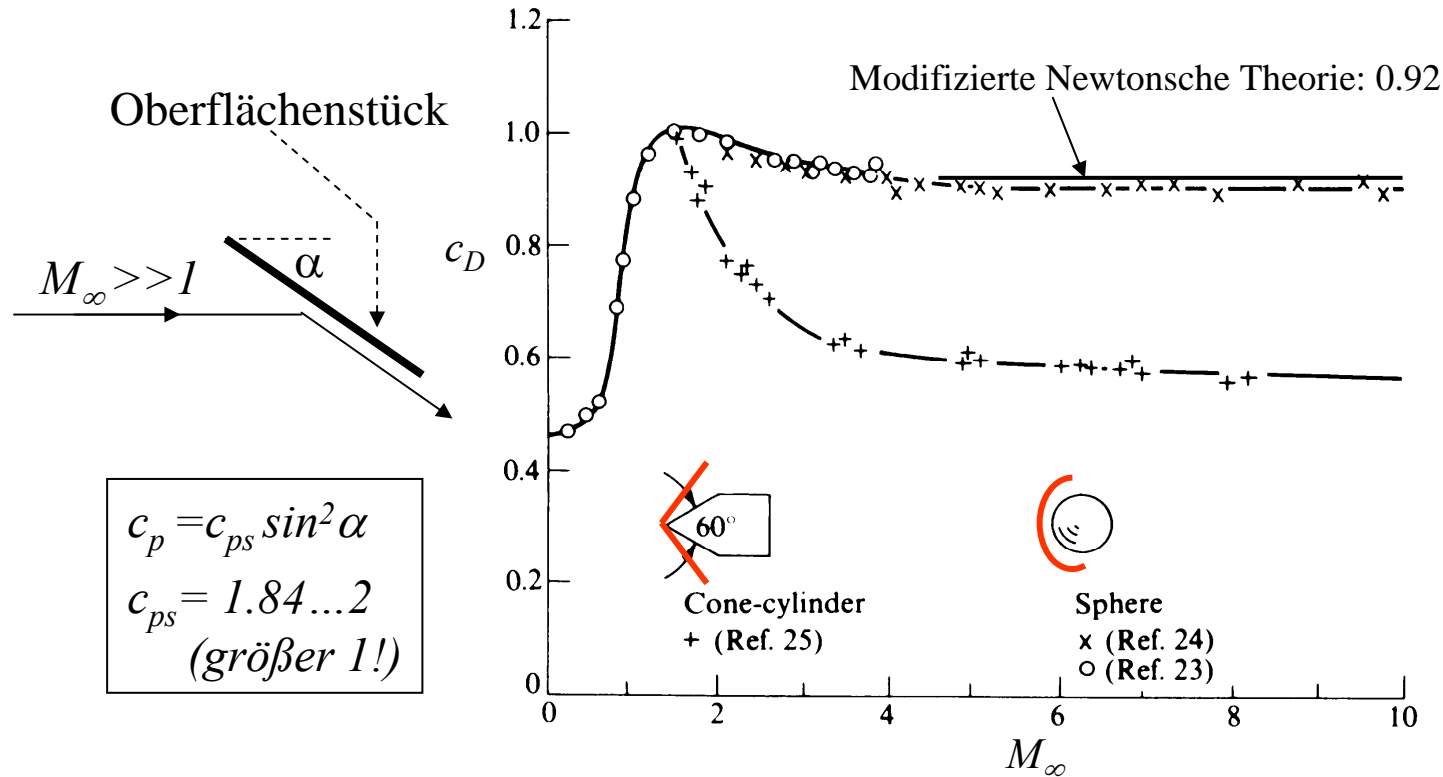
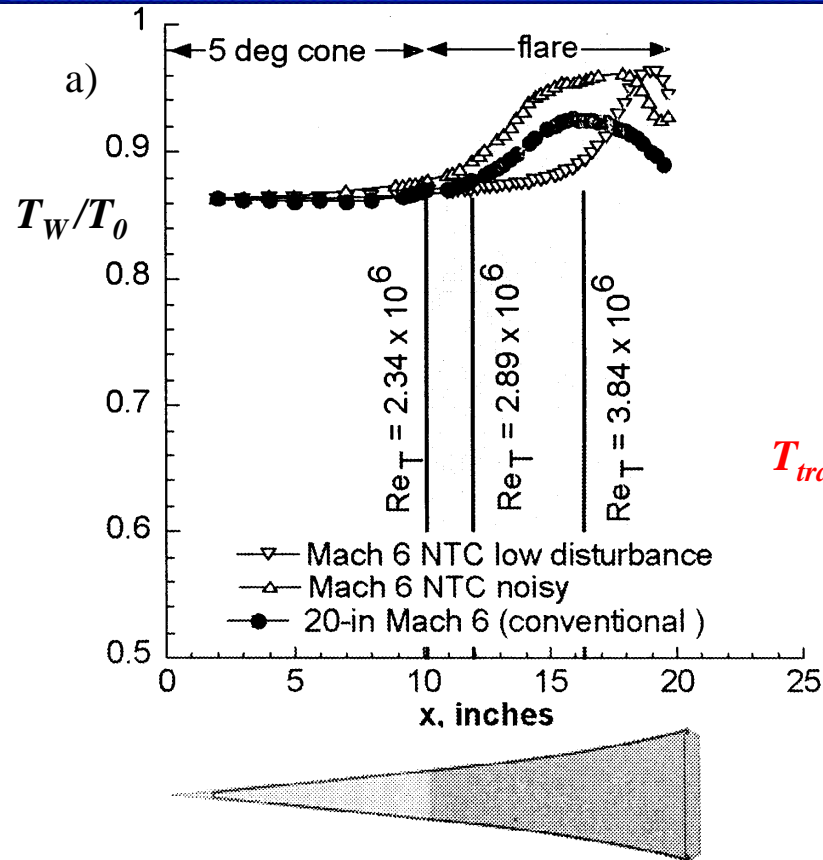
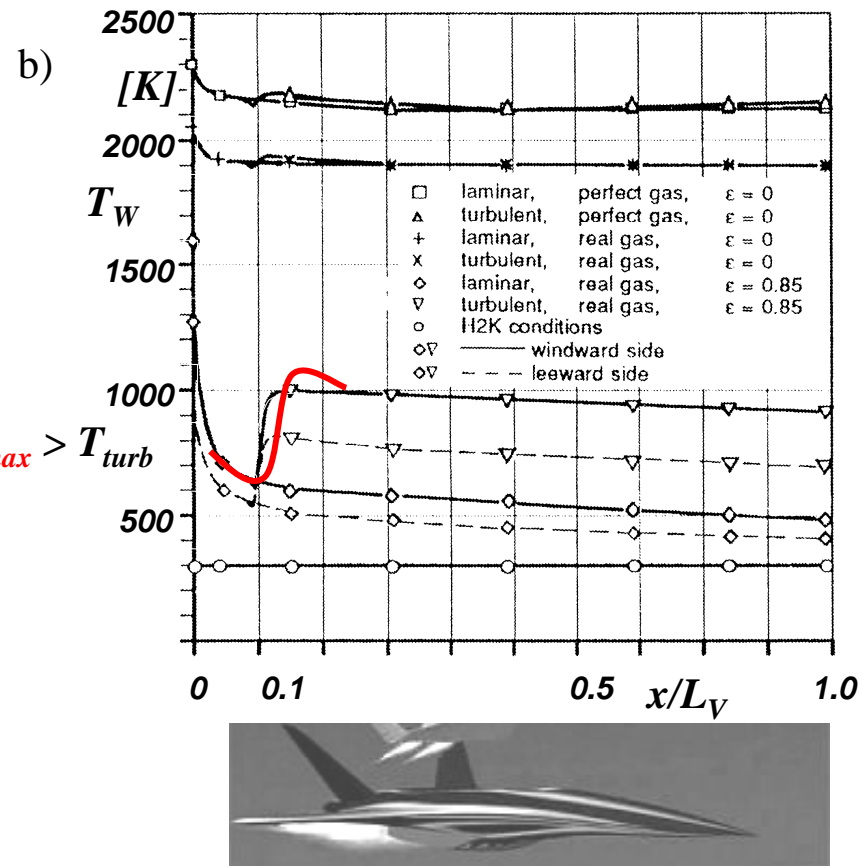


Bild I.6 Widerstandsbeiwert für eine Kugel und einen Zylinder mit Kegelspitze als Funktion der Machzahl (verbundene Symbole: Flugexperimente) [1]. Machzahlunabhängigkeit wird bei stumpfen Körpern früher erreicht.



$T_{trans, max} > T_{turb}$



Bilder II.20/23 Temperaturverlauf über die Transition

a) glatter spitzer Kreiskegel mit Aufdickung (2.-Mode-Störungen), $Re_{unit} = 9.24 \cdot 10^6/m$, $M=6$, $R_{nose} = 2.5 \mu m$

b) Symmetrielinie (unten, oben) für Sänger-Unterstufe, $Re_{unit} = 1.5 \cdot 10^6/m$, $L_V = 55m$, $M=6.8$, $\alpha=6^\circ$ bei adiabater ($\epsilon=0$) und strahlungsadiabater/-gekühlter ($\epsilon=0.85$) Wand (stationäre Rechnung mit fixierter Transition [2]). Bei $\epsilon=0.85$ ist der Temperaturanstieg besonders groß, realistischer ist **die rote Kurve**.

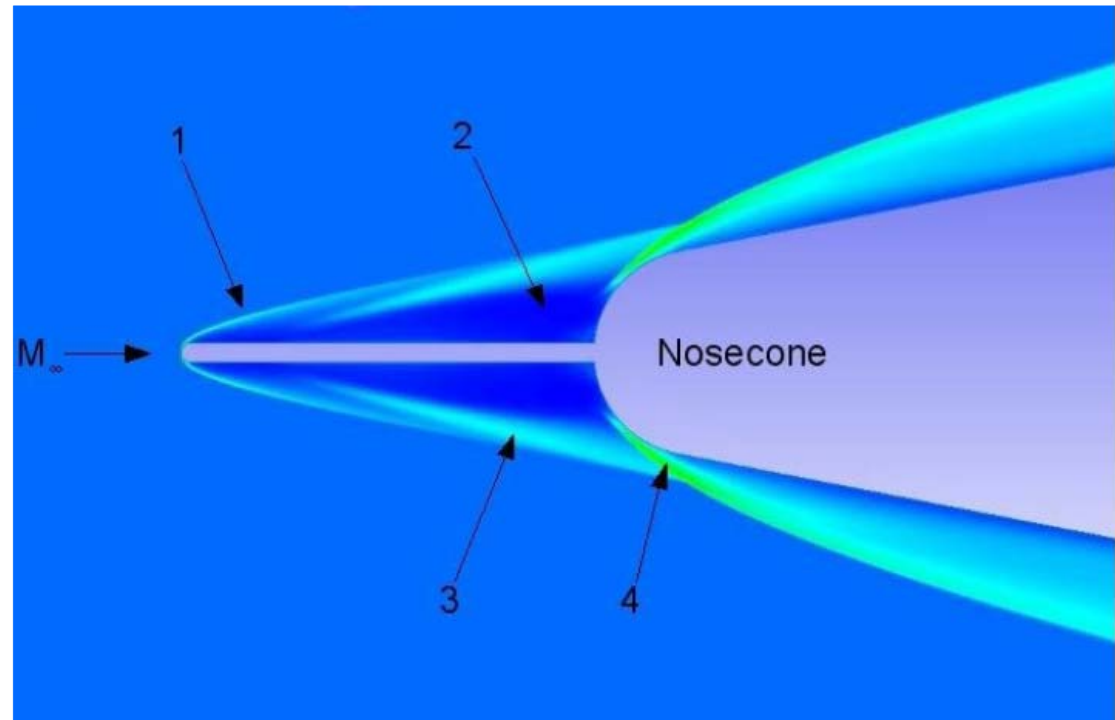


Bild II.29a Strömungsfeld vor einem stumpfen Körper mit einem Aerospike.

1 - Frontstoß durch den Spike, 2 - Rezirkulationsgebiet, 3 - Ablösestoß, 4 - Wiederanlegestoß.

Dichte, Mach 7, DA Gauer, HyShot-IAG, 2006 (2-d axisymmetrische Nav.-Stokes-Rechnungen).

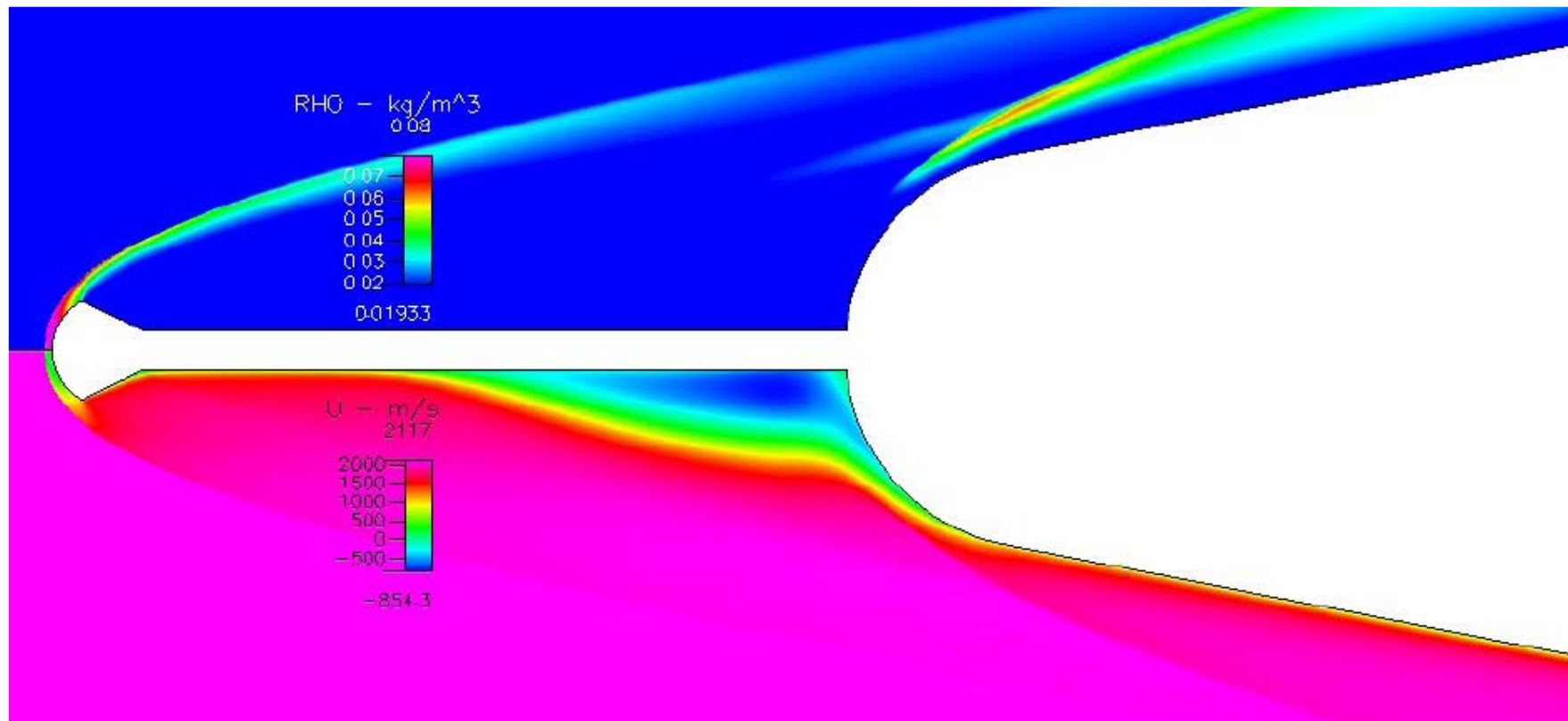


Bild II.29b Aerospike mit $L/D=2$, $D/d=4$, Dichte- und Längsgeschwindigkeitsverteilung bei $M=7$.
 L - Spikelänge, D - Nasendurchmesser Hauptkörper, d - Vorkörper. Widerstandsreduzierung: 46%.

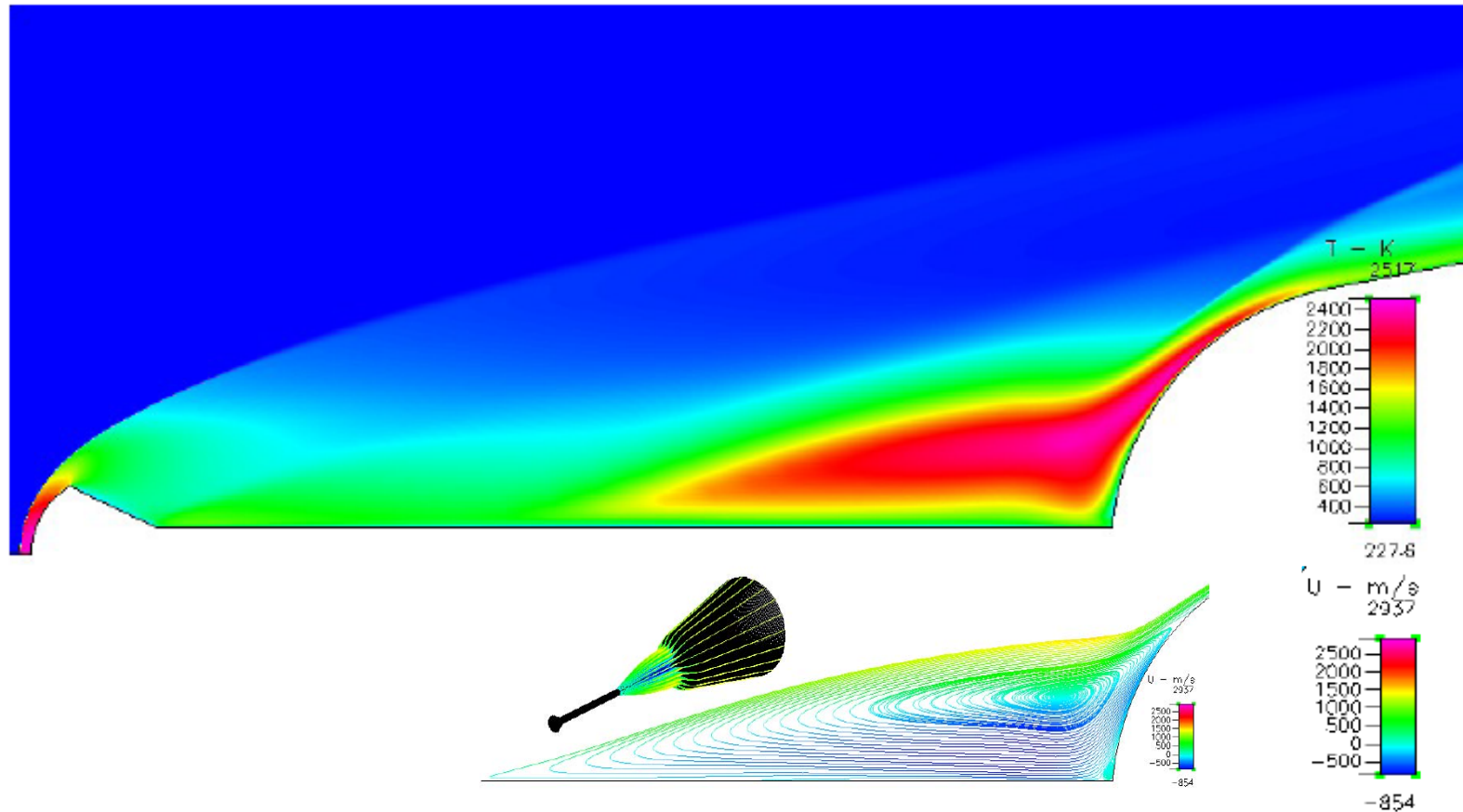


Bild II.29c Wie II.28b, Temperaturverteilung (oben) und u -Höhenlinien im Rezirkulationsgebiet im Schnitt (unten) und räumlich (Mitte).