

Dieter Scholz

Flugbereichsgrenzen

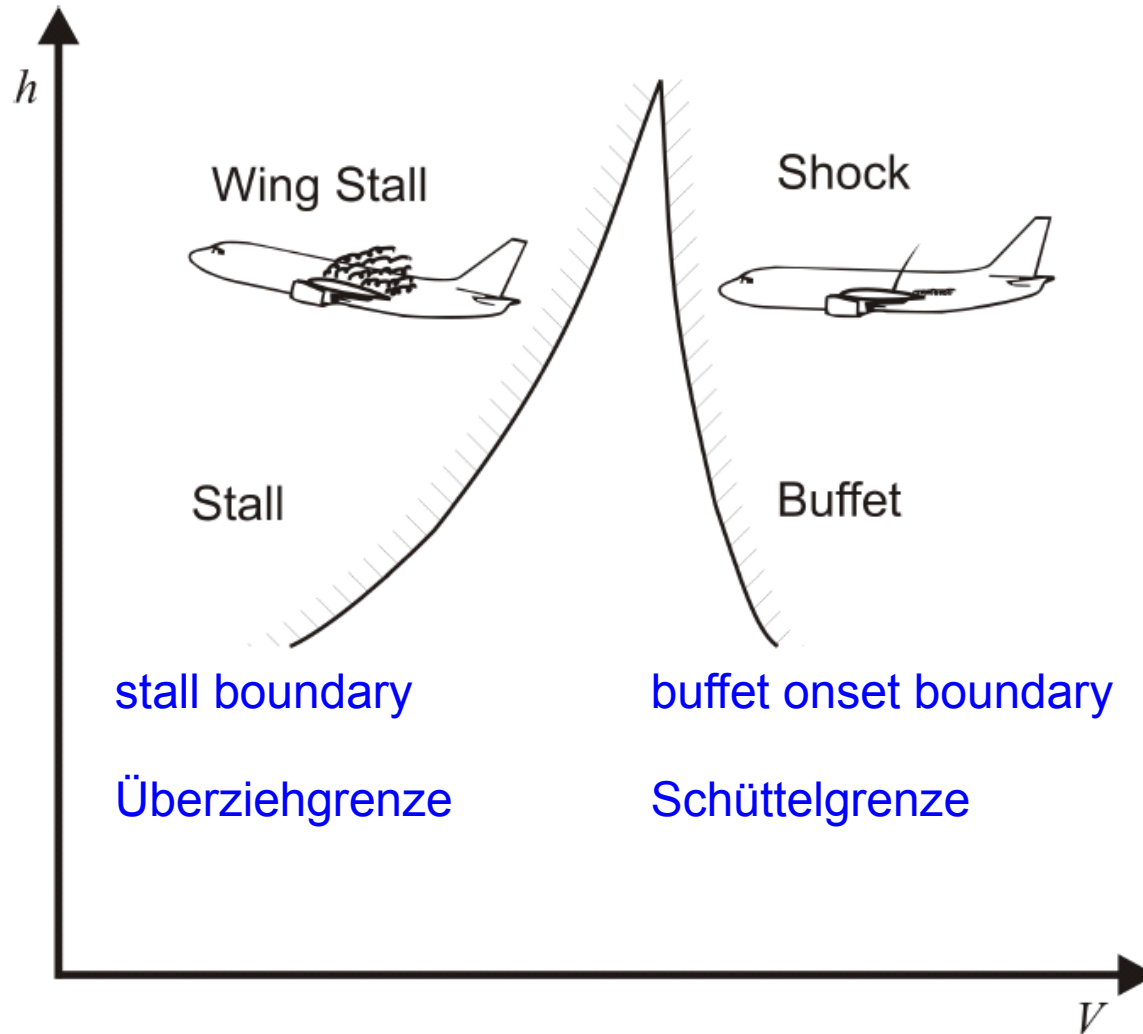
flight envelope

Flughöhe und Mach-Zahl / Geschwindigkeit

***Zusatz zum Abschnitt 10
der Vorlesung "Flugmechanik" an der
HAW Hamburg***

Höhe und Fluggeschwindigkeit: Flight Envelope

Erste Übersicht über die Flugbereichsgrenzen



Höhe und Fluggeschwindigkeit: Flight Envelope

Überziehgeschwindigkeit als Funktion der Höhe

$$V_s = V_{s,0} \sqrt{\frac{\rho_0}{\rho}} = V_{s,0} \sqrt{\frac{1}{\sigma}} \quad \sigma = \rho/\rho_0$$

Troposphäre

$$\left\{ \begin{array}{l} \zeta = \left(\frac{T}{T_0}\right)^{4,255877} \\ T = T_0 - L \cdot H \quad H \approx h \\ L = 1,9812 \cdot 10^{-3} \text{ K/ft} = 0,0065 \text{ K/m} \\ H_T = 11 \text{ km} = 36089 \text{ ft} \\ T_0 = 288,15 \text{ K} \end{array} \right.$$

Stratosphäre

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho = \rho_T \cdot e^{-K_b(H-H_T)} \\ \rho_T = 0,3639 \text{ kg/m}^3 \\ \rho_0 = 1,225 \text{ kg/m}^3 \\ \zeta = \rho/\rho_0 \quad K_b = 1,57688 \cdot 10^{-4} \text{ 1/m} \end{array} \right.$$

Höhe und Fluggeschwindigkeit: Flight Envelope

Wahre Fluggeschwindigkeit bei begrenzender Machzahl

Basisgleichungen und Aerodynamik

$$M = V/a \quad V = M \cdot a$$

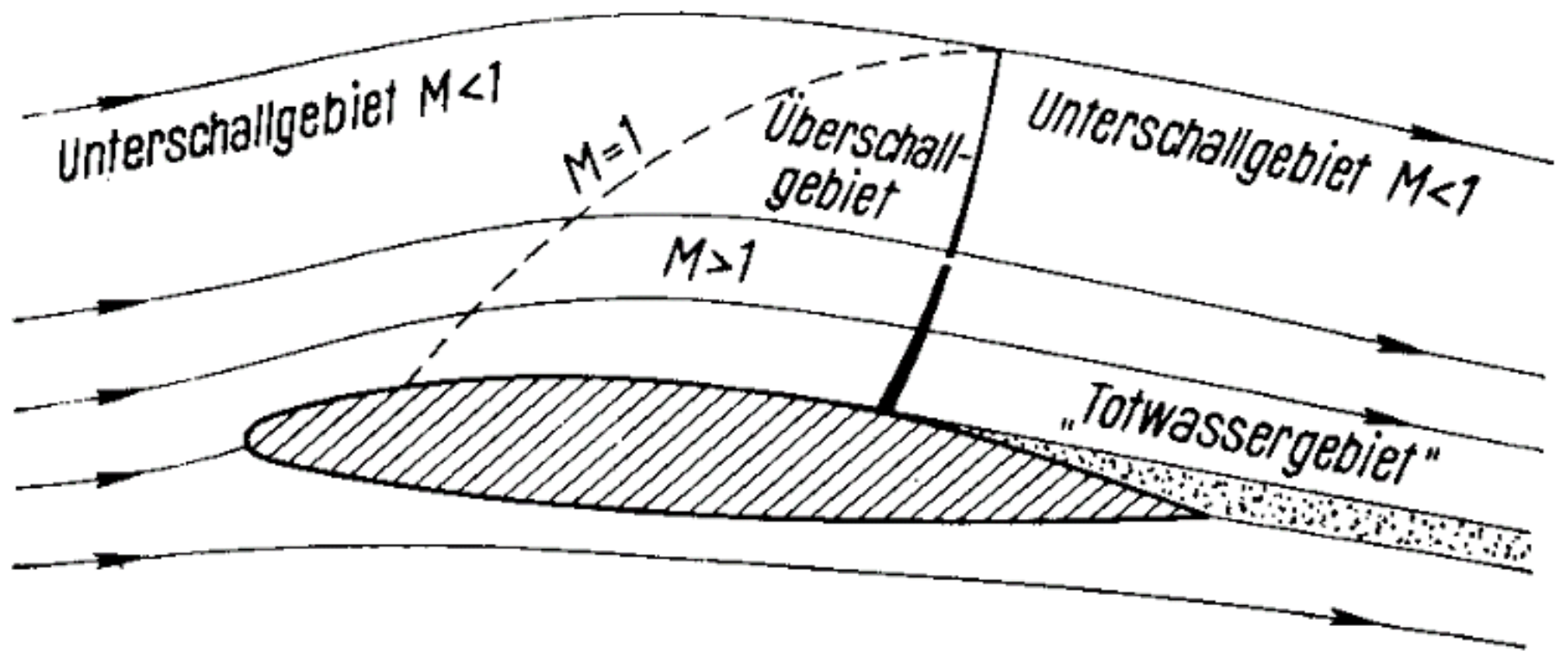
$$a = a_0 \cdot \sqrt{\frac{T}{T_0}} \quad a_0 = 340,29 \text{ m/s}$$

Dies gilt in der

→ Troposphäre und in der

→ Stratosphäre

$$a_T = a_0 \cdot \sqrt{\frac{T_T}{T_0}} = 295,07 \text{ m/s}$$



Höhe und Fluggeschwindigkeit: Flight Envelope

Wahre Fluggeschwindigkeit bei begrenzender Machzahl

Widerstandsanstieg: Mach Number of Drag Divergence, M_{DD}

Flugbetrieb: Maximum Operating Mach Number, M_{MO}

Schütteln: Buffet Onset Mach Number, M_{bo}

Notabstieg: Dive Mach Number, M_D

Nach Zulassungsvorschriften und Auslegungsprinzipien ist die

Machzahl im Reiseflug MCR

nach oben begrenzt durch Abhängigkeiten von den oben aufgelisteten Machzahlen.

Details dazu auf den nächsten Seiten ...

$M_{DD} = M_{CR} = M_{MO}$

M_{bo}

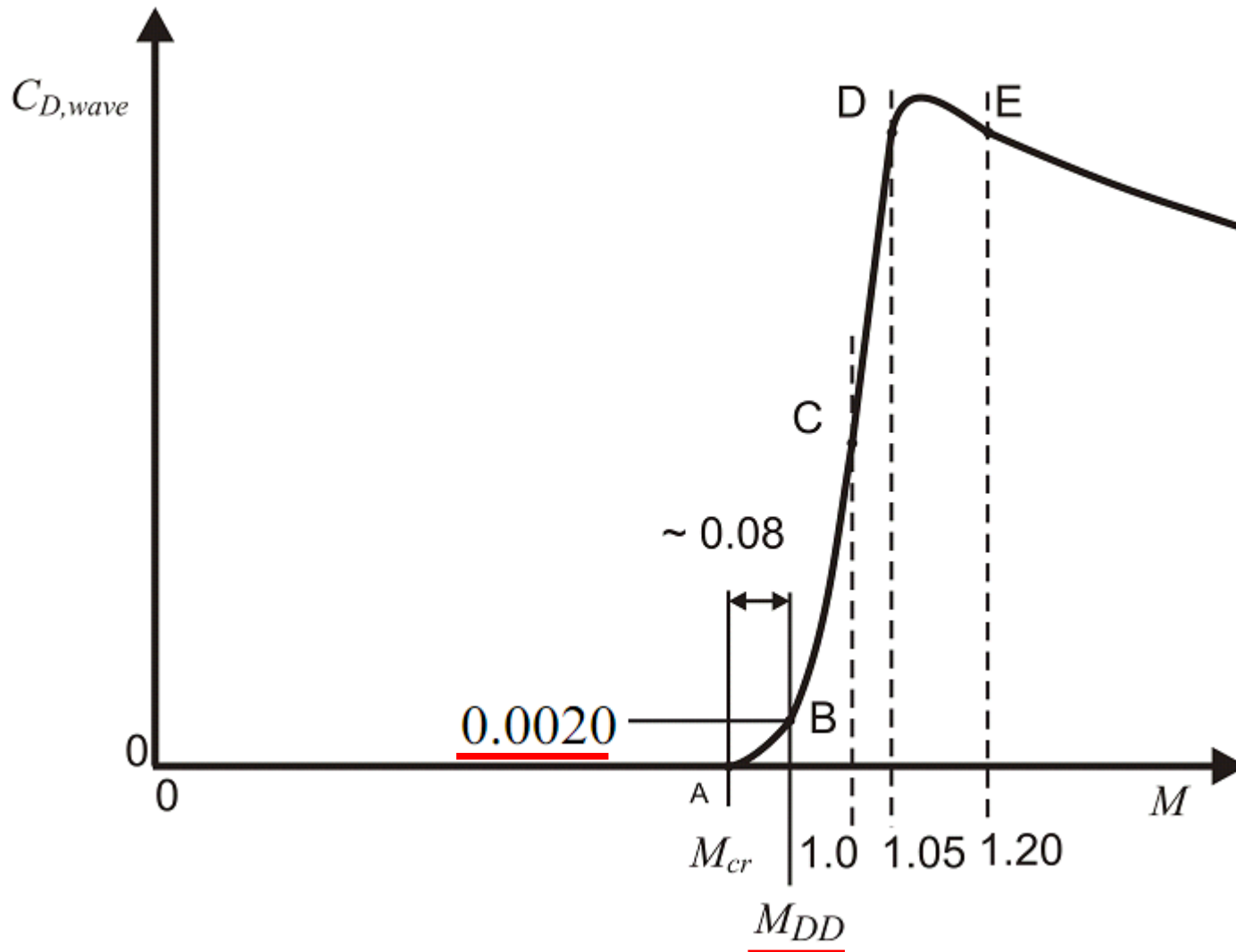
M_D



Höhe und Fluggeschwindigkeit: Flight Envelope

Wahre Fluggeschwindigkeit bei begrenzender Machzahl

Widerstandsanstieg: Mach Number of Drag Divergence, M_{DD}



Machzahl M_{DD} , relative Profildicke t/c , Auftriebsbeiwert C_L stehen über das Profil im Zusammenhang

Airbus und Boeing wählen bei der Auslegung von Strahlverkehrsflugzeugen:

$$\underline{M_{DD} = M_{CR}}$$

und erhalten dadurch (definitionsgemäß) einen Wellenwiderstandsbeiwert von

$$C_{D, wave} = 0,002 \quad (20 \text{ drag counts})$$

$$M_{DD,eff} = M_{DD} \cdot \sqrt{\cos \varphi_{25}}$$

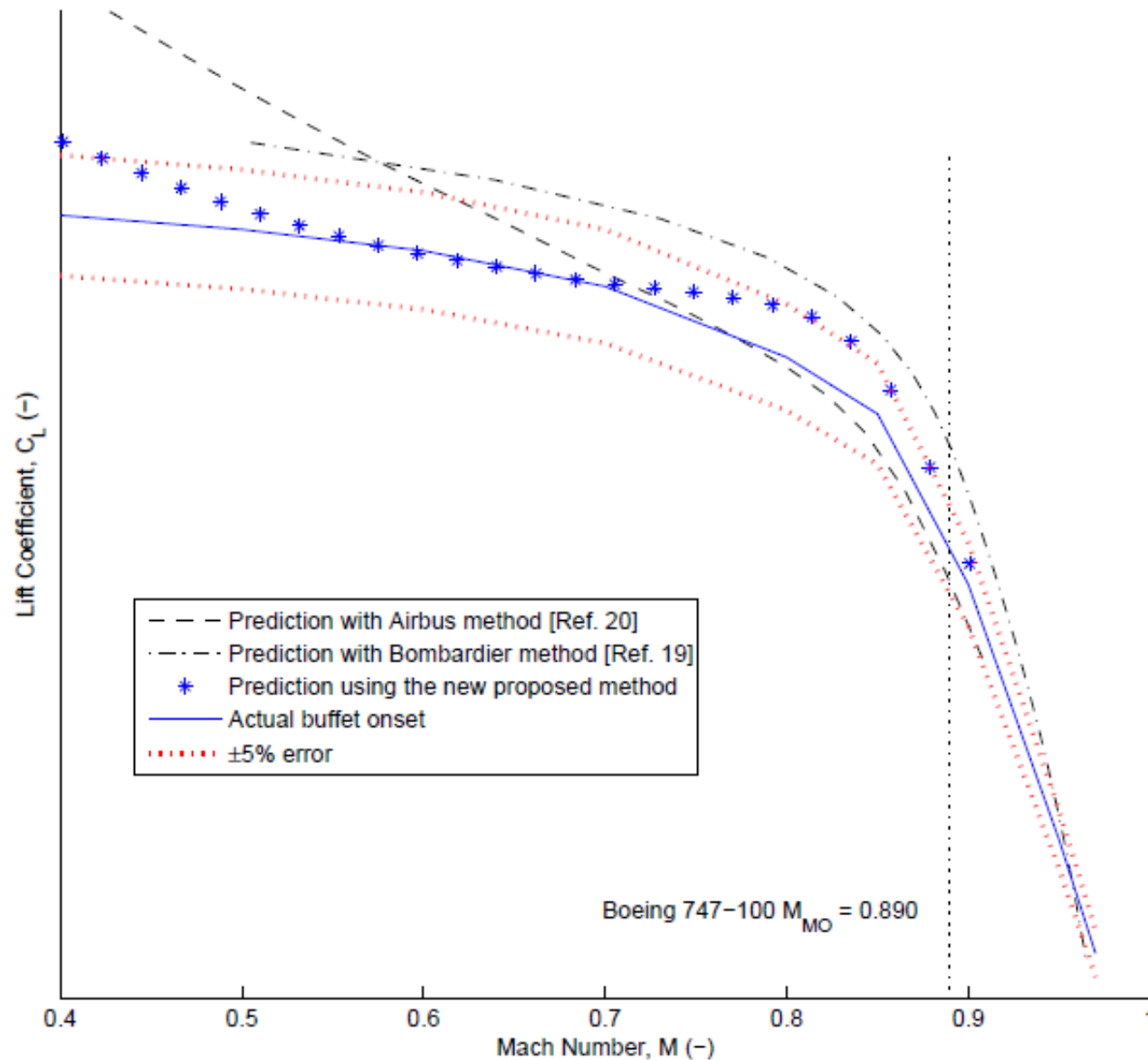
$$(t/c) = 0.3 \cdot \cos \varphi_{25} \cdot \left(\left[1 - \left(\frac{5 + M_{DD,eff}^2}{5 + (k_M - 0.25 \cdot C_L)^2} \right)^{3.5} \right] \cdot \frac{\sqrt{1 - M_{DD,eff}^2}}{M_{DD,eff}^2} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$k_M = 1.0$ für Profile der NACA-6-Serie (NACA 6-series wing sections),

$k_M = 1.1$ für ältere superkritische Profile,

$k_M = 1.2$ für neuere superkritische Profile

Schütteln: Buffet Onset Mach Number, M_{bo}



BERARD, A.,
ISIKVEREN, A.T.:
Conceptual design
prediction of the
buffet envelope of
transport aircraft.
Journal of Aircraft,
Vol. 46, No. 5,
September-
October 2009.

CS 25.251 Vibration and buffeting

(a) The aeroplane must be demonstrated in flight to be free from any vibration and buffeting that would prevent continued safe flight in any likely operating condition.

(b) Each part of the aeroplane must be demonstrated in flight to be free from excessive vibration under any appropriate speed and power conditions up to V_{DF}/M_{DF} . The maximum speeds shown must be used in establishing the operating limitations of the aeroplane in accordance with CS 25.1505.

(d) There may be no perceptible buffeting condition in the cruise configuration in straight flight at any speed up to V_{MO}/M_{MO} , except that the stall warning buffeting is allowable.

MD	max. design dive Mach number
MDF	max. demonstrated flight dive Mach number
MMO	max. operating Mach number

CS 25.1505 Maximum operating limit speed

The maximum operating limit speed (V_{MO}/M_{MO} , airspeed or Mach number, whichever is critical at a particular altitude) is a speed that may not be deliberately exceeded in any regime of flight (climb, cruise, or descent), unless a higher speed is authorised for flight test or pilot training operations. V_{MO}/M_{MO} must be established so that it is not greater than the design cruising speed V_C and so that it is sufficiently below V_D/M_D or V_{DF}/M_{DF} , to make it highly improbable that the latter speeds will be inadvertently exceeded in operations. The speed margin between V_{MO}/M_{MO} and V_D/M_D or V_{DF}/M_{DF} may not be less than that determined under CS 25.335(b) or found necessary during the flight tests conducted under CS 25.253.

CS 25.253 High-speed characteristics

(iii) Buffeting that would impair the pilot's ability to read the instruments or control the aeroplane for recovery.

CS 25.335 Design airspeeds

(b) *Design dive speed, V_D .* V_D must be selected so that V_C/M_C is not greater than $0.8 V_D/M_D$, or so that the minimum speed margin between V_C/M_C and V_D/M_D is the greater of the following values:

...

Höhe und Fluggeschwindigkeit: Flight Envelope

Wahre Fluggeschwindigkeit bei konstantem Staudruck

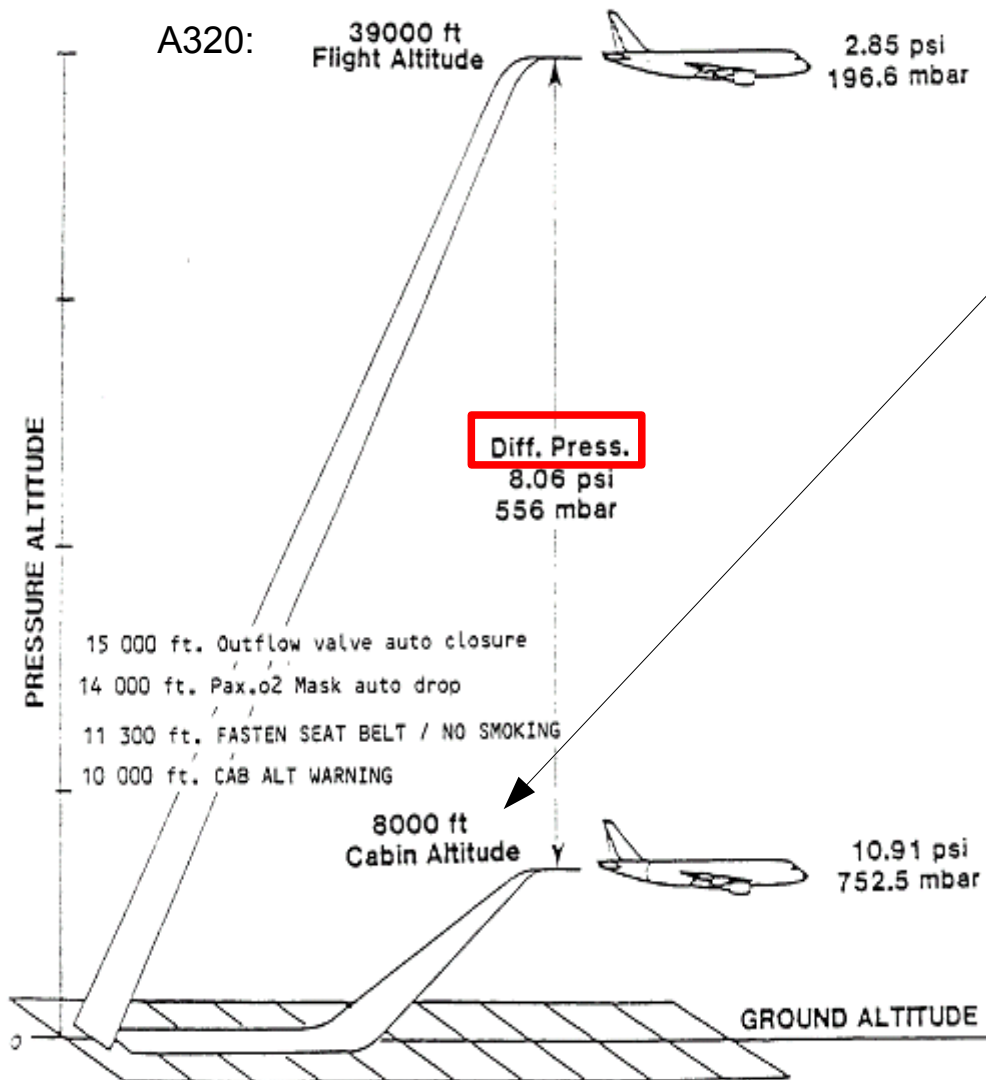
$$\frac{1}{2} \rho_0 V_E^2 = \frac{1}{2} \rho V^2$$

$$V = \frac{V_E}{\sqrt{\sigma}}$$

Die Äquivalentgeschwindigkeit V_E oder der Staudruck stellen ein Maß für die Belastung der Struktur dar.

Höhe und Fluggeschwindigkeit: Flight Envelope

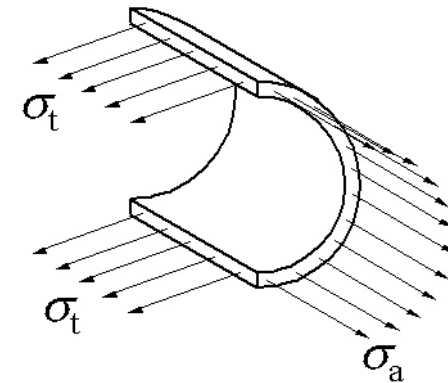
Begrenzung durch Kabinendruck



CS 25.841 Pressurised cabins

(a) Pressurised cabins and compartments to be occupied must be equipped to provide a cabin pressure altitude of not more than 2438 m (8000 ft) at the maximum operating altitude of the aeroplane under normal operating conditions.

Boeing B 787: Kabinenhöhe: 6000 ft



$$\sigma_t = \frac{p \cdot D}{2 \cdot s}$$
$$\sigma_a = \frac{p \cdot D}{4 \cdot s}$$

Kesselformel

Höhe und Fluggeschwindigkeit: Flight Envelope

Nutzbarer Geschwindigkeitsbereich bei maximaler Flughöhe

V_{MO} or M_{MO}

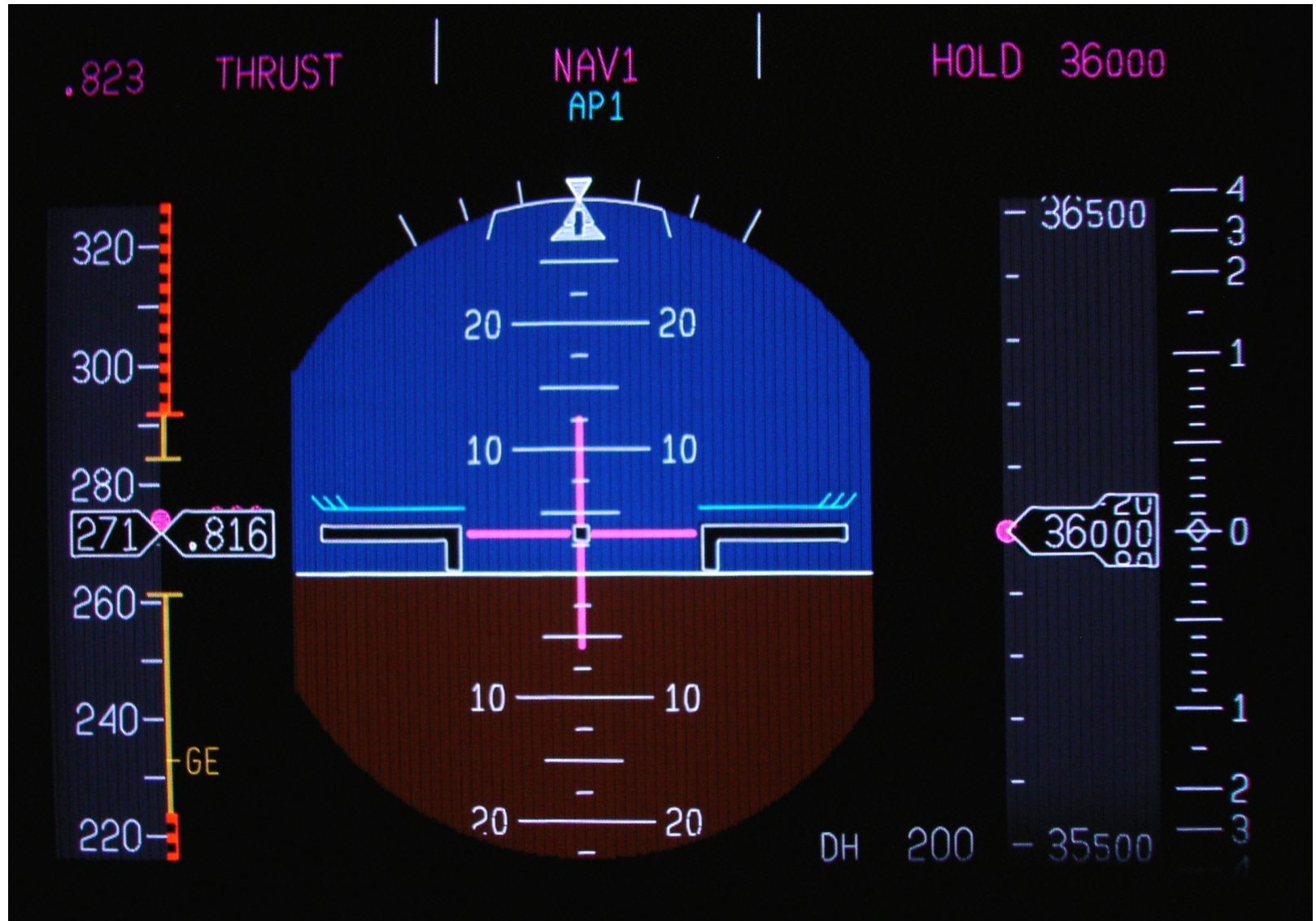
V_{max,config}
(buffet margin)

1,3 V_s

V_s = f(n)

V_{SS} = 1,15 V_s

V_{SS}: stick shaker
speed



Beispiel: Boeing MD-11

Höhe und Fluggeschwindigkeit: Flight Envelope

Zusammenfassung der Begrenzungen

