



Seminar „Flugzeugkabine und Kabinensysteme“ im Rahmen der DGLR Jahrestagung 2004

Modul: Einbindung der Kabinenmodule in die Rumpfstruktur

Prof. Dr.-Ing. Michael Seibel

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Fachbereich Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau
Berliner Tor 9
20099 Hamburg

E-mail: Seibel@fzt.haw-hamburg.de
Internet: <http://www.haw-hamburg.de/pers/Seibel>

Inhaltsübersicht

Einbindung der Kabinenmodule und -monumente in die Rumpfstruktur

- Einführung und generelle Aspekte
 - Aufgaben eines Rumpfes
 - Lastfälle eines Rumpfes
 - Rumpfbauweisen
- Schalenrumpf (Semi-Monocoque Bauweise)
 - Rumpfsektionen
 - Wesentliche Strukturelemente
 - Funktion und Belastung
- Integration der Kabinenmodule
 - Lavatory / Galley
 - Overhead Stowage Bin
 - Seat

Inhaltsübersicht

Einbindung der Kabinenmodule und -monumente in die Rumpfstruktur

- **Einführung und generelle Aspekte**
 - **Aufgaben eines Rumpfes**
 - **Lastfälle eines Rumpfes**
 - **Rumpfbauweisen**
- **Schalenrumpf (Semi-Monocoque Bauweise)**
 - Rumpfsektionen
 - Wesentliche Strukturelemente
 - Funktion und Belastung
- **Integration der Kabinenmodule**
 - Lavatory / Galley
 - Overhead Stowage Bin
 - Seat

Aufgaben eines Rumpfes

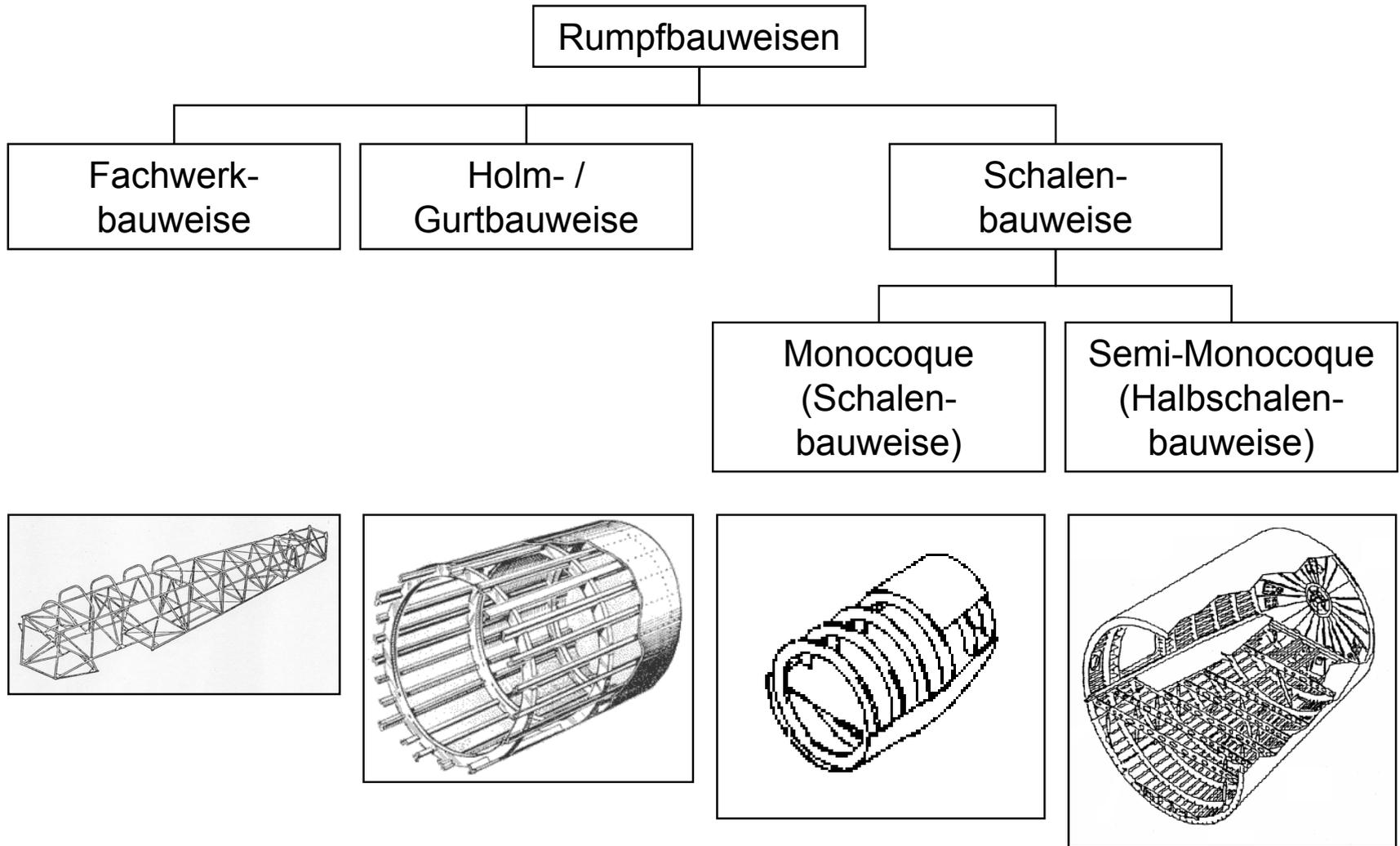
- Unterbringung von Besatzung und Nutzlast
Personen, Gepäck, Cargo
- Unterbringung von mechanischen und elektrischen Systemen sowie
Ausrüstungen und Installationen
- Schutz der Besatzung und Passagiere
z.B. Lärm, Kälte / Wärme, Luftdruck, ...
- Erfüllung von Bauvorschriften bzw. Lufttüchtigkeitsanforderungen zum
Nachweis der Flugsicherheit
- Aerodynamische Form und Gestalt
- Verbindung von Flügeln und Leitwerk (Höhen-, Seitenleitwerk)
- Anschluss bzw. Unterbringung von Fahrwerk und Triebwerk / Motor

Lastfälle eines Rumpfes

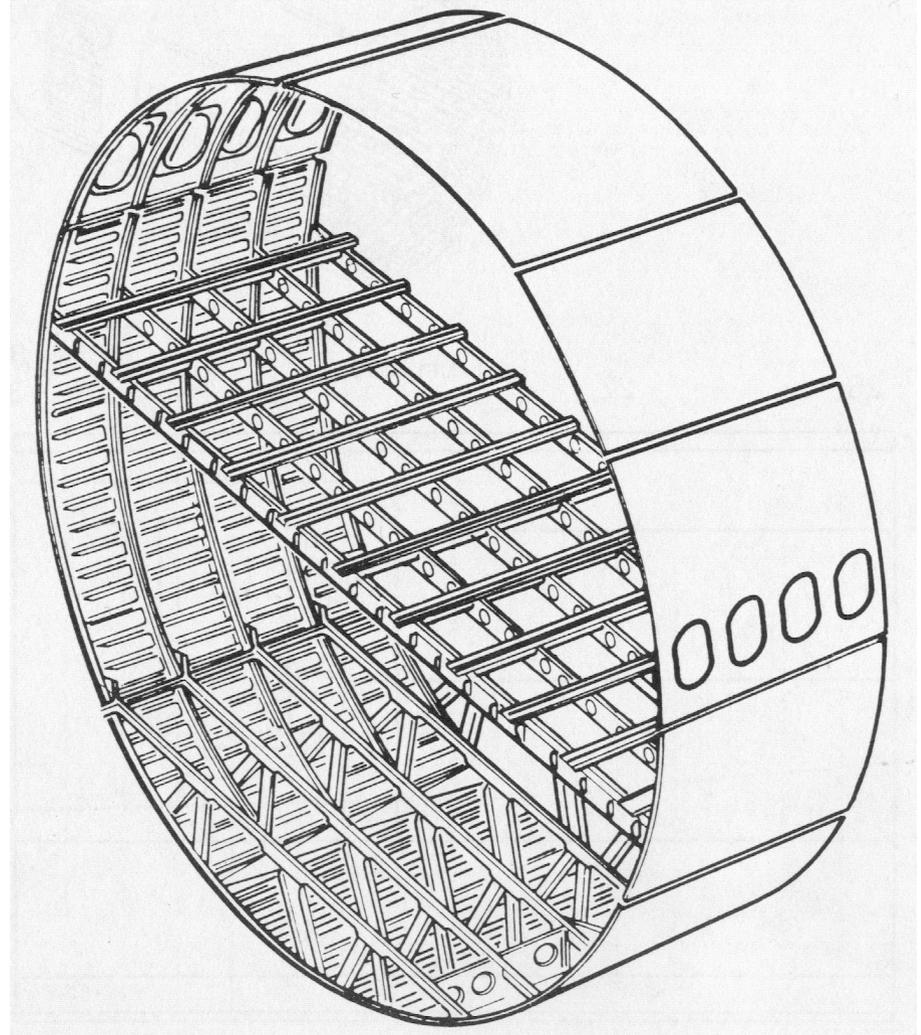
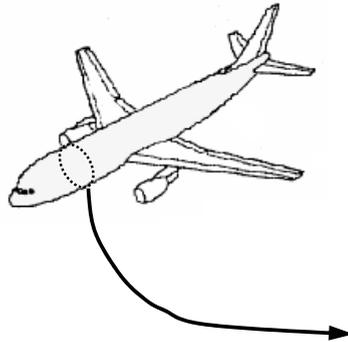
- „Einzellasten“ an den Schnittstellen zu den angeschlossenen Strukturen:
 - Flügel
 - Fahrwerk
 - Leitwerk
 - Motorträger / Triebwerk
- Trägheitskräfte durch die Nutzlast bzw. die eingebauten Systeme und Ausrüstungen
- Eigengewicht
- Kabineninnendruck bei Verkehrsflugzeugen
- Aerodynamische Lasten

- Weitere Spezialfälle wie:
 - Vogelschlag
 - Notfallszenarien bzgl. Personensicherheit

Rumpfbauweisen



Schalenbauweise: Semi – Monocoque



Bei zivilen Verkehrsflugzeugen in weiten Teilen des Rumpfbereiches eingesetzt.

Neben den Stringern nimmt auch die Behütung Belastungen aus Biegung und Längskraft auf.

Spante nehmen große Teile des Kabineninnendrucks auf.

Bauelemente und deren Aufgaben

Semi – Monocoque

Hautfeld:

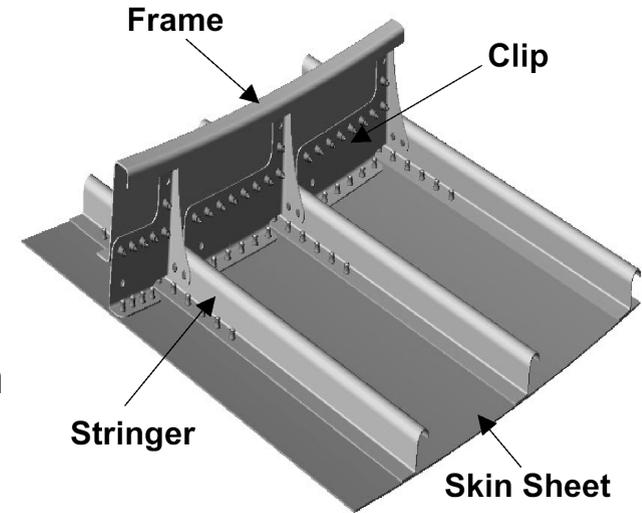
- Trägt Belastungen aus Schub, Längskräften und Biegung
- Begrenzte Aufnahme von Druckbelastungen

Stringer:

- Trägt Belastungen aus Biegung und Längskräften
- Die Längskräfte treten sowohl als Zug- als auch als Druckkräfte auf. Die Stringer sind damit das wichtigste Bauelement, welches die Druckkräfte aus Biegebeanspruchungen übernimmt.

Spante:

- Trägt die Belastungen aus Querkräften und Torsion
- Lasteinleitungselemente

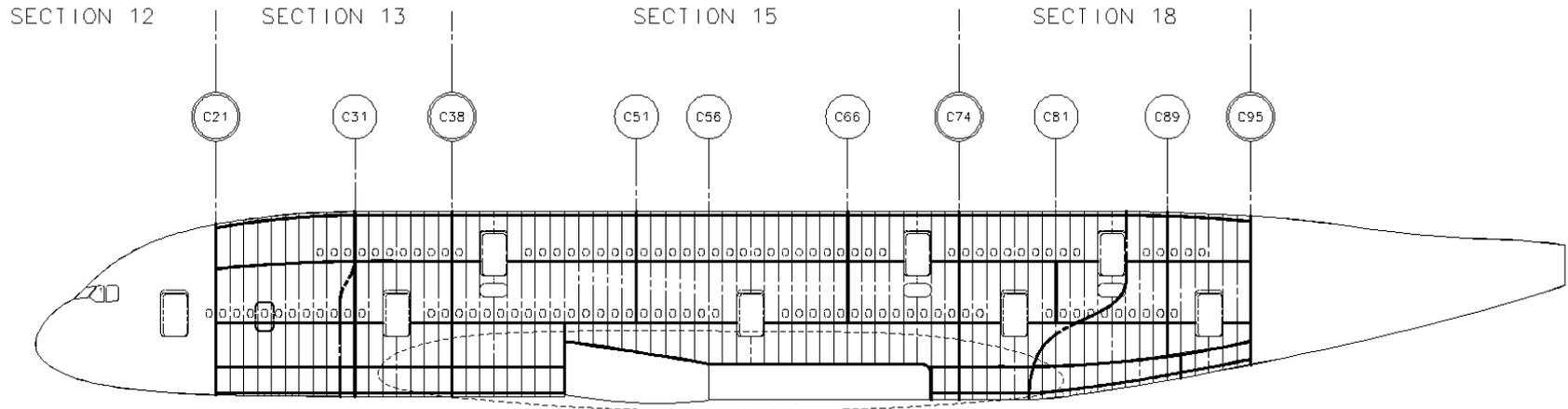


Inhaltsübersicht

Einbindung der Kabinenmodule und -monumente in die Rumpfstruktur

- Einführung und generelle Aspekte
 - Aufgaben eines Rumpfes
 - Lastfälle eines Rumpfes
 - Rumpfbauweisen
- **Schalenrumpf (Semi-Monocoque Bauweise)**
 - **Rumpfsektionen**
 - **Wesentliche Strukturelemente**
 - **Funktion und Belastung**
- Integration der Kabinenmodule
 - Lavatory / Galley
 - Overhead Stowage Bin
 - Seat

Rumpfsektionen

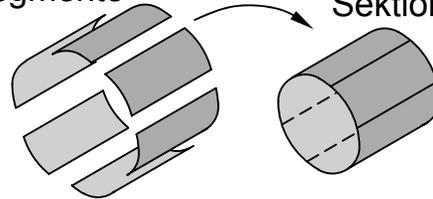


Rumpfnähte

→ Längsnähte

Segmente

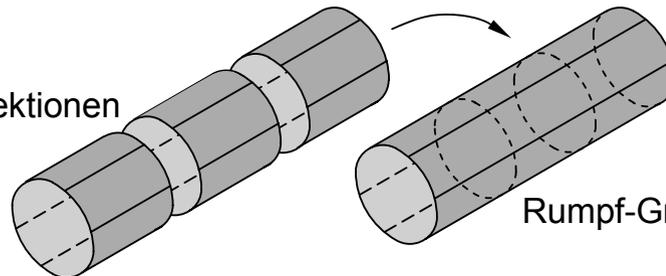
Sektion



→ Quernähte

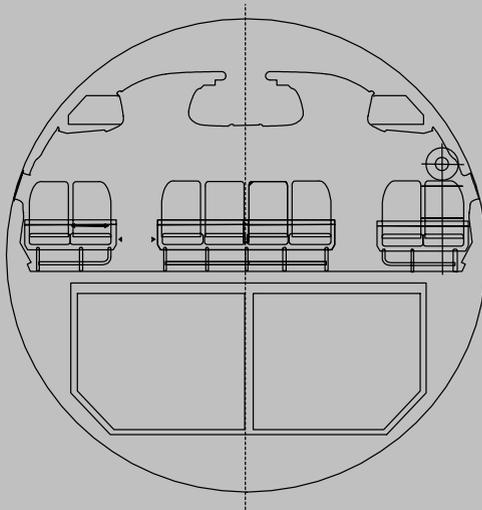
Sektionen

Rumpf-Großbauteil



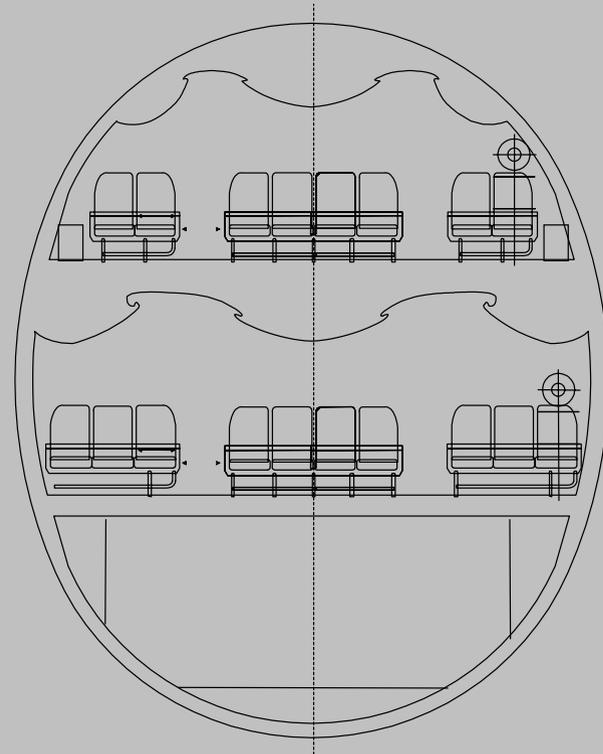
A340 vs. A380 Rumpfquerschnitt

Circular cross section
Two decks



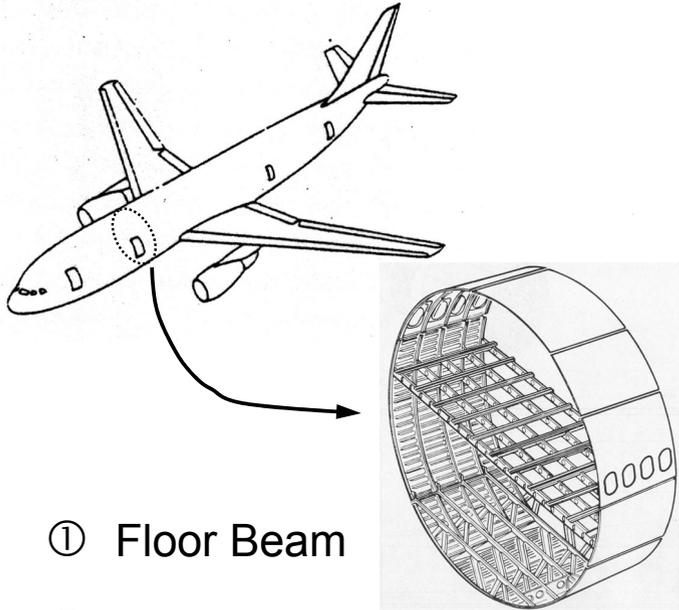
A340

Non-circular cross section
Three decks

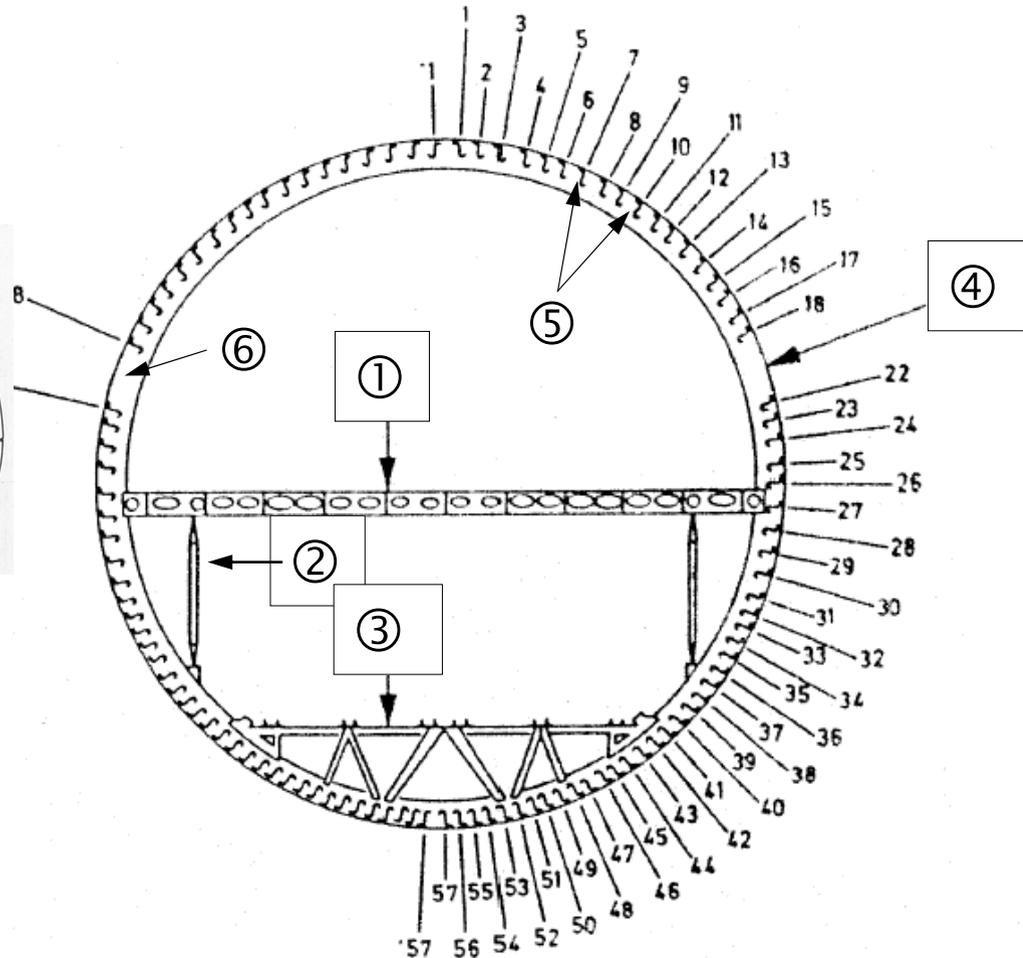


A380

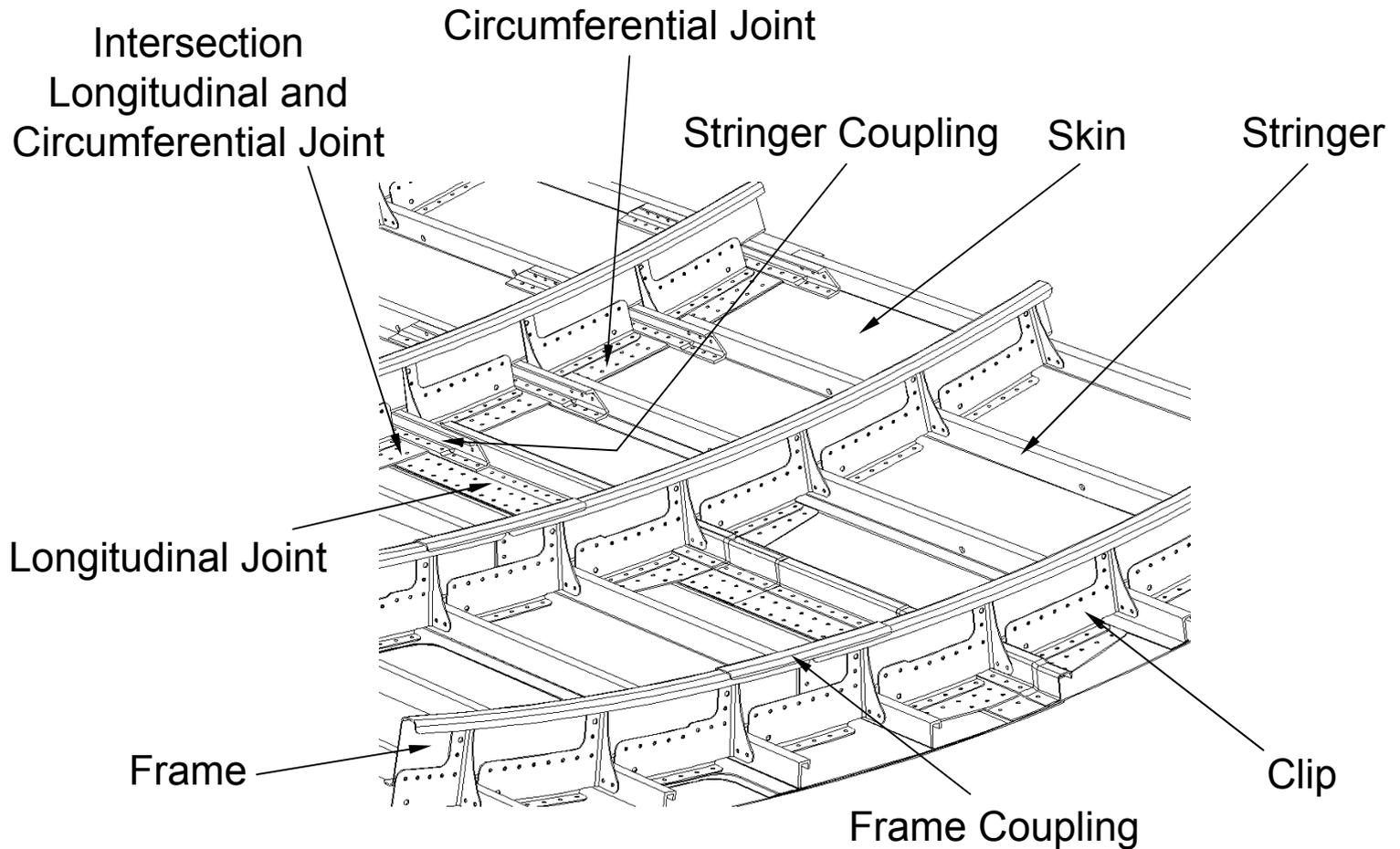
Rumpfsektionen



- ① Floor Beam
- ② Floor Struts
- ③ Cargo Floor
- ④ Skin
- ⑤ Stringer
- ⑥ Frame

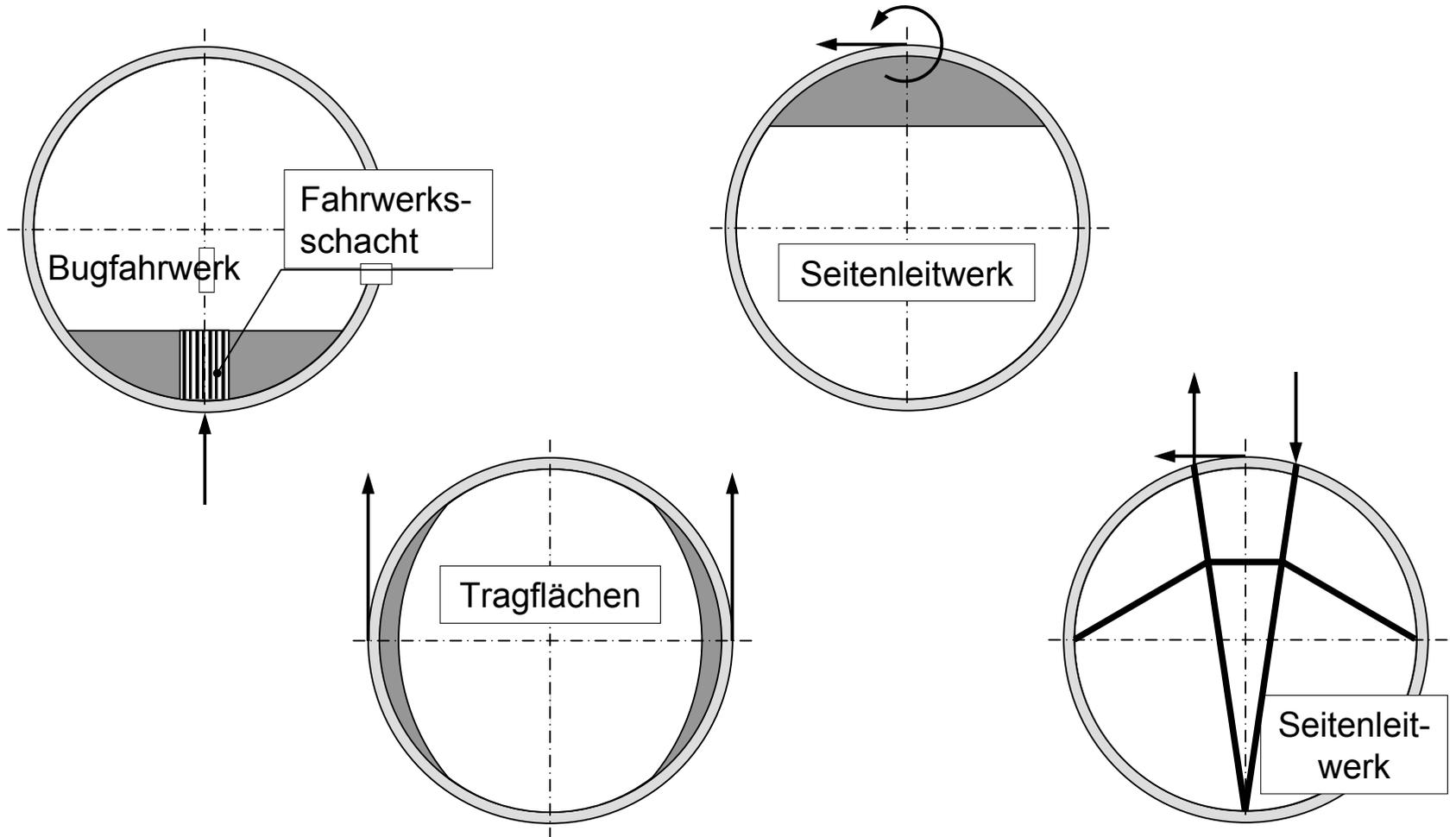


Fuselage Design Elements



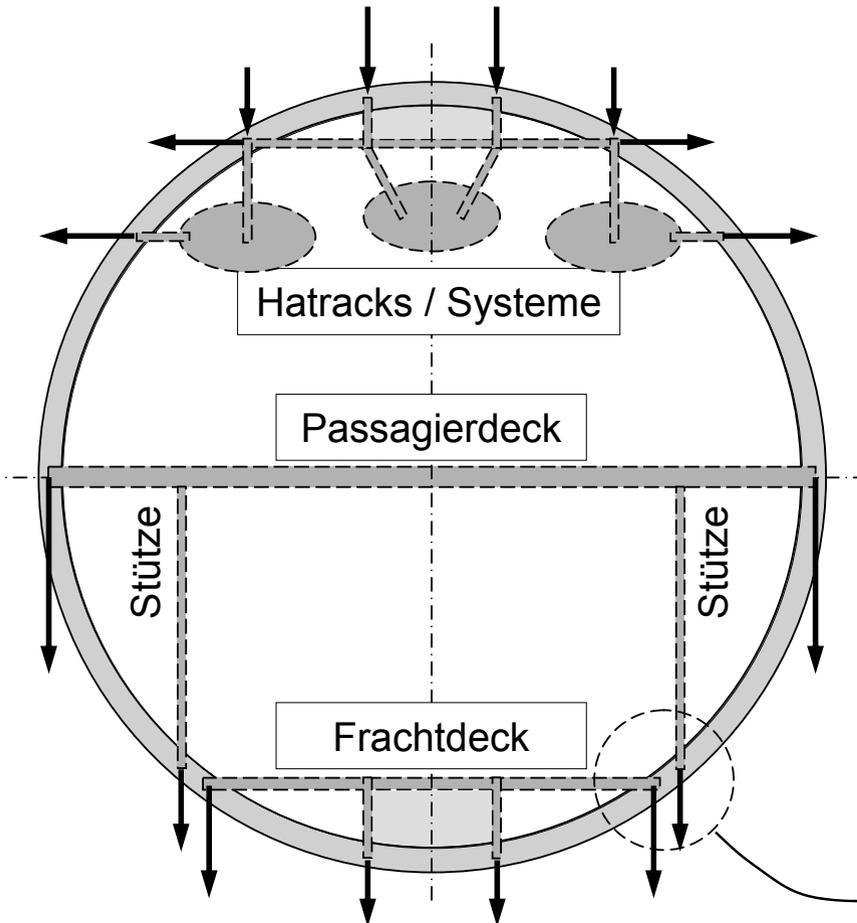
Schalenrumpf: Funktion und Belastung

Diskrete Lasteinleitungen ausschließlich in Spante

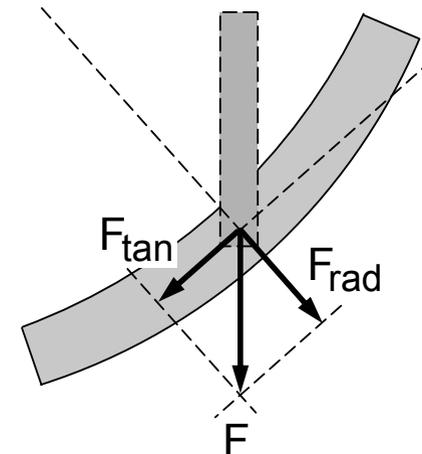


Schalenrumpf: Funktion und Belastung

Lasteinleitungen in Spante



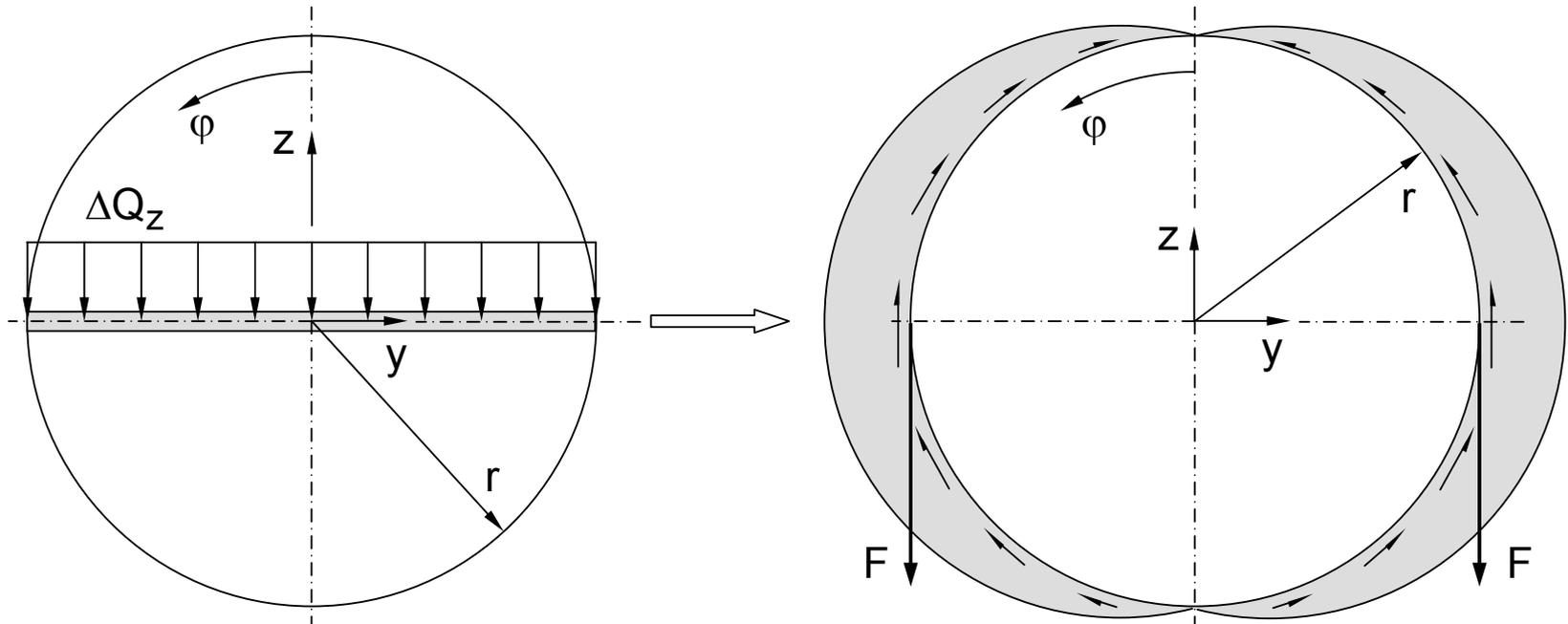
Für alle Lasteinleitungspunkte gilt:
Zerlegung der wirkenden Kraft in
eine radiale und eine tangentielle
Komponente



Schalenrumpf: Funktion und Belastung

Diskrete Lastenleitungen ausschließlich in Spante

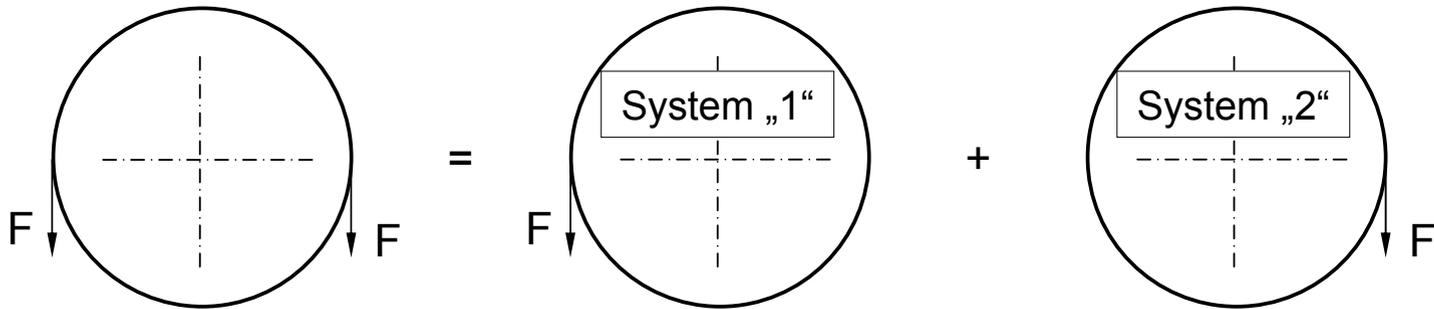
Beispiel Fußbodenträger



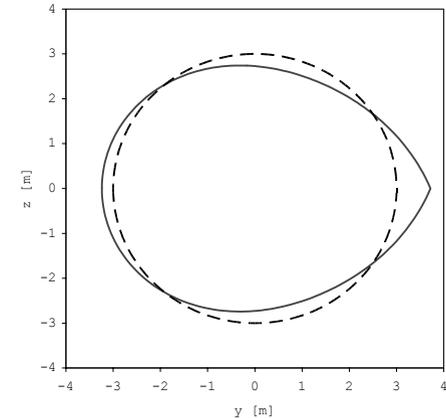
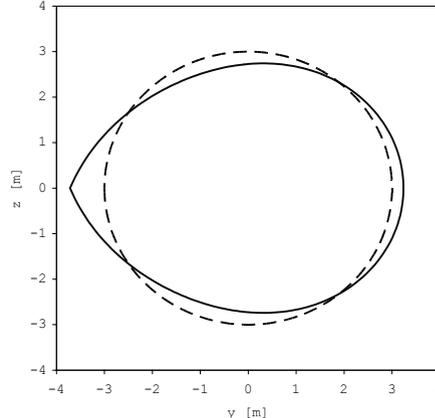
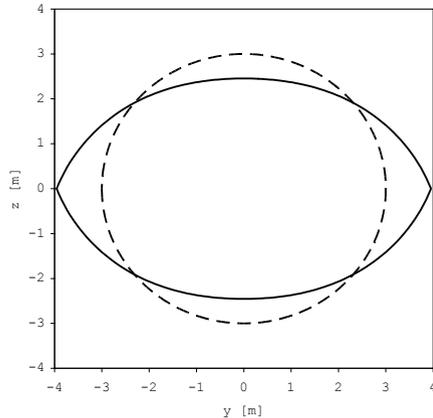
Schalenrumpf: Funktion und Belastung

Lasteinleitungen in Spante

→ Supersposition aller Einzellastfälle



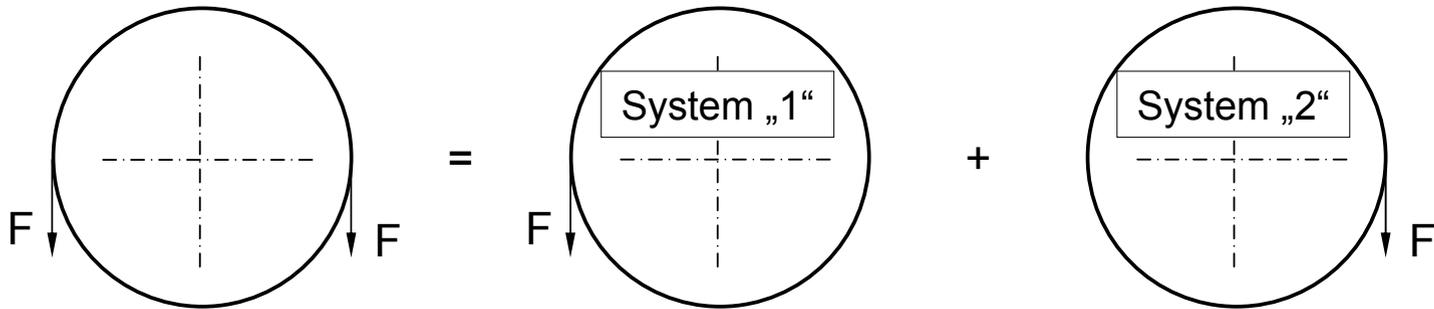
Querkraftverlauf



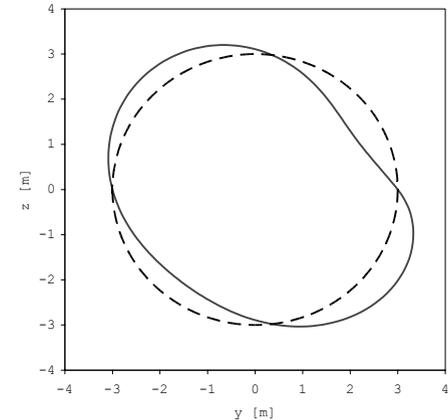
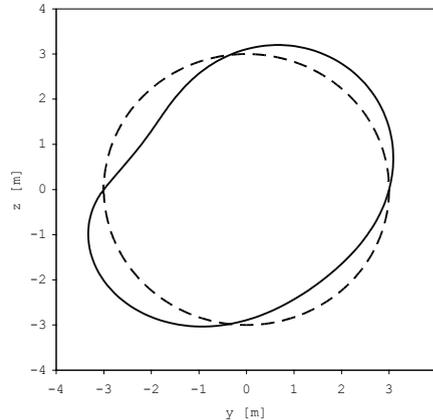
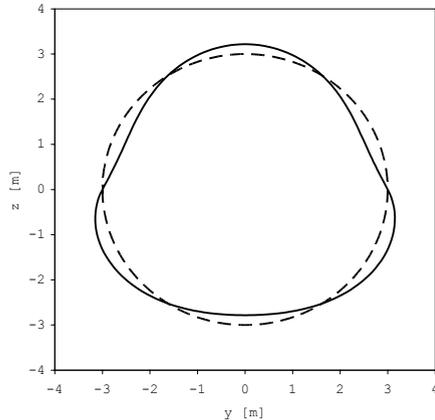
Schalenrumpf: Funktion und Belastung

Lasteinleitungen in Spante

→ Supersposition aller Einzellastfälle



Biegemomentenverlauf



Lastfall: Emergency Landing Conditions

Sec. 25.561 General.

- (a) The airplane, although it may be damaged in emergency landing conditions on land or water, must be designed as prescribed in this section to protect each occupant under those conditions.
- (b) The structure must be designed to give each occupant every reasonable chance of escaping serious injury in a minor crash landing when--
 - (1) Proper use is made of seats, belts, and all other safety design provisions;
 - (2) The wheels are retracted (where applicable); and
 - (3) The occupant experiences the following ultimate inertia forces acting separately relative to the surrounding structure:
 - (i) Upward, 3.0g
 - (ii) Forward, 9.0g
 - (iii) Sideward, 3.0g on the airframe; and 4.0g on the seats and their attachments.
 - (iv) Downward, 6.0g
 - (v) Rearward, 1.5g
- (c) The supporting structure must be designed to restrain, under all loads up to those specified in paragraph (b)(3) of this section, each item of mass that could injure an occupant if it came loose in a minor crash landing.
- (d) Seats and items of mass (and their supporting structure) must not deform under any loads up to those specified in paragraph (b)(3) of this section in any manner that would impede subsequent rapid evacuation of occupants.

Lastfall: Emergency Landing Conditions

Sec. 25.562 Emergency landing dynamic conditions.

- (a) The seat and restraint system in the airplane must be designed as prescribed in this section to protect each occupant during an emergency landing condition when--
 - (1) Proper use is made of seats, safety belts, and shoulder harnesses provided for in the design; and
 - (2) The occupant is exposed to loads resulting from the conditions prescribed in this section.
- (b) Each seat type design approved for crew or passenger occupancy during takeoff and landing must successfully complete dynamic tests or be demonstrated by rational analysis based on dynamic tests of a similar type seat, in accordance with each of the following emergency landing conditions. The tests must be conducted with an occupant simulated by a 170-pound anthropomorphic test dummy, as defined by 49 CFR Part 572, Subpart B, or its equivalent, sitting in the normal upright position.
 - (1) A change in downward vertical velocity (Dv) of not less than 35 feet per second, with the airplane's longitudinal axis canted downward 30 degrees with respect to the horizontal plane and with the wings level. Peak floor deceleration must occur in not more than 0.08 seconds after impact and must reach a minimum of 14g.
 - (2) A change in forward longitudinal velocity (Dv) of not less than 44 feet per second, with the airplane's longitudinal axis horizontal and yawed 10 degrees either right or left, whichever would cause the greatest likelihood of the upper torso restraint system (where installed) moving off the occupant's shoulder, and with the wings level. Peak floor deceleration must occur in not more than 0.09 seconds after impact and must reach a minimum of 16g. Where floor rails or floor fittings are used to attach the seating devices to the test fixture, the rails or fittings must be misaligned with respect to the adjacent set of rails or fittings by at least 10 degrees vertically (i.e., out of Parallel) with one rolled 10 degrees.

....

Lastfall: Emergency Landing Conditions

Sec. 25.562 Emergency landing dynamic conditions. (cont'd)

- (c) The following performance measures must not be exceeded during the dynamic tests conducted in accordance with paragraph (b) of this section:
- (1) Where upper torso straps are used for crewmembers, tension loads in individual straps must not exceed 1,750 pounds. If dual straps are used for restraining the upper torso, the total strap tension loads must not exceed 2,000 pounds.
 - (2) The maximum compressive load measured between the pelvis and the lumbar column of the anthropomorphic dummy must not exceed 1,500 pounds.
 - (3) The upper torso restraint straps (where installed) must remain on the occupant's shoulder during the impact.
 - (4) The lap safety belt must remain on the occupant's pelvis during the impact.
 - (5) Each occupant must be protected from serious head injury under the conditions prescribed in paragraph (b) of this section. Where head contact with seats or other structure can occur, protection must be provided so that the head impact does not exceed a Head Injury Criterion (HIC) of 1,000 units. The level of HIC is defined by the equation:

$$\text{HIC} = \left\{ \left[\frac{1}{(t_2 - t_1)} \int_{t_1}^{t_2} a(t) dt \right]^2 \right\}^{\max}$$

Where:

t_1 is the initial integration time,

t_2 is the final integration time, and

$a(t)$ is the total acceleration vs. time curve for the head strike, and where

(t) is in seconds, and (a) is in units of gravity (g).

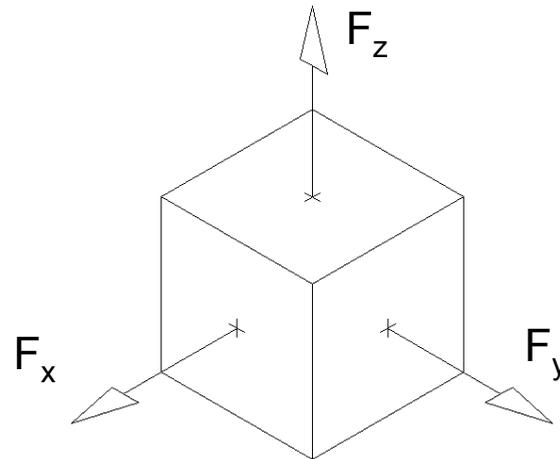
Lastfall: Emergency Landing Conditions

Sec. 25.562 Emergency landing dynamic conditions. (cont'd)

- (6) Where leg injuries may result from contact with seats or other structure, protection must be provided to prevent axially compressive loads exceeding 2,250 pounds in each femur.
- (7) The seat must remain attached at all points of attachment, although the structure may have yielded.
- (8) Seats must not yield under the tests specified in paragraphs (b)(1) and (b)(2) of this section to the extent they would impede rapid evacuation of the airplane occupants.

→ Massenkräfte in alle drei Koordinatenrichtungen

$$F = m \cdot a$$



Lastniveaus: Limit Load vs. Ultimate Load

„Limit Load“ = Sichere Last
maximaler Wert für einen Lastfall, der während des normalen Betriebs auftreten kann (i.d.R. nur einige wenige Male)

- Keine bleibende Verformung der Struktur bis Limit Load
- Kein Beulen (Knicken) der Struktur bis Limit Load

„Ultimate Load“ = Bruchlast
Ultimate Load tritt im Normalbetrieb nicht auf (Sicherheitsreserve)

- Strukturversagen ist oberhalb Ultimate Load erlaubt
- Zwischen Limit Load und Ultimate Load:
 - Bleibende Verformung erlaubt
 - Beulen (Knicken) erlaubt

Sicherheitsfaktor – allgemein

Gemäß JAR / FAR 25:

Sec. 25.303 Factor of safety.

Unless otherwise specified, a factor of safety of 1.5 must be applied to the prescribed limit load which are considered external loads on the structure. When a loading condition is prescribed in terms of ultimate loads, a factor of safety need not be applied unless otherwise specified.

"ultimate load" = $j \cdot$ "limit load"

$$j = 1.5$$

Sicherheitsfaktoren werden eingesetzt zur Abdeckung von Unsicherheiten bei

- Lastermittlung
- Berechnung
- Fertigung

Sicherheitsfaktoren – speziell

Gemäß JAR / FAR 25:

Sec. 25.619 Special factors.

The factor of safety prescribed in Sec. 25.303 must be multiplied by the highest pertinent special factor of safety prescribed in Secs. 25.621 through 25.625 for each part of the structure whose strength is

- (a) Uncertain;
- (b) Likely to deteriorate in service before normal replacement; or
- (c) Subject to appreciable variability because of uncertainties in manufacturing processes or inspection methods.

Sec. 25.621 Casting factors. $\rightarrow j_r = 1.0 \dots 2.0$

Sec. 25.623 Bearing factors. $\rightarrow j_r = \text{t.b.d.}$

Sec. 25.625 Fitting factors. $\rightarrow j_r = 1.15$

Sowie weitere Einzelfälle (z.B. control surface hinge, composites, pressurized cabin loads, usw.)

Dimensionierungslasten

Limit Load: $F_{LL} = n \cdot m \cdot g$

Ultimate Load: $F_{UL} = j \cdot j_r \cdot F_{LL}$
 $= j \cdot j_r \cdot n \cdot m \cdot g$

Sicherheitsfaktoren entfallen bei außergewöhnlichen Vorfällen:

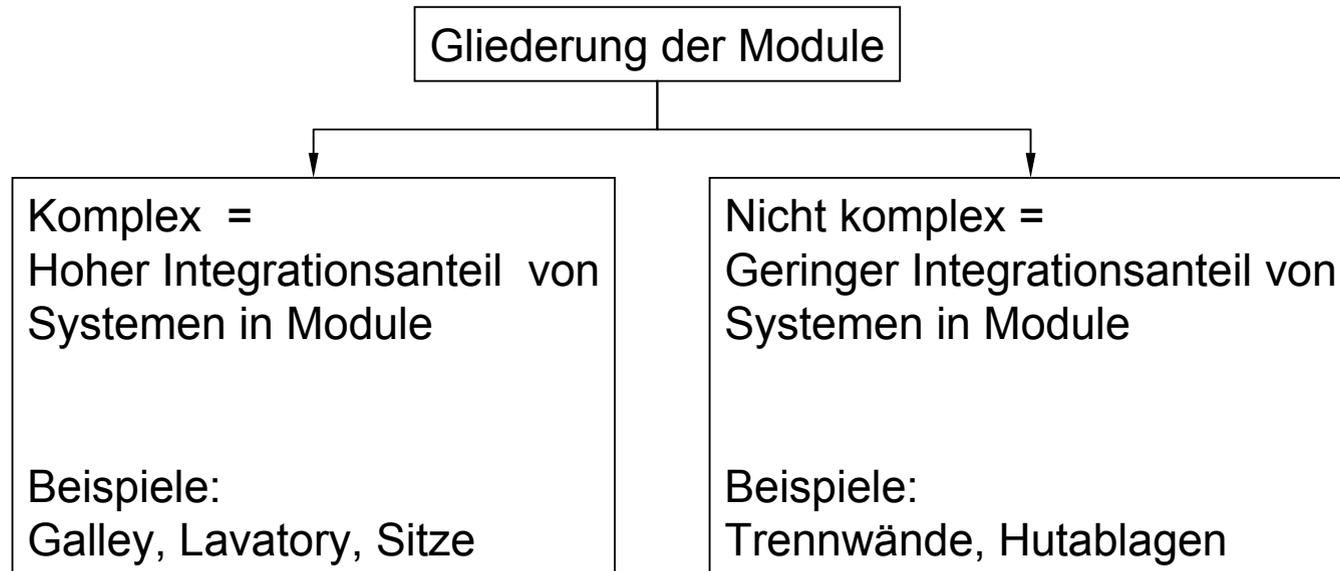
- Crashlastfälle (vgl. Sec. 25.561)
Sind als „Ultimate Load“ definiert
- Fail Safe Fälle
Werden mit $j=1.0$ nachgewiesen

Inhaltsübersicht

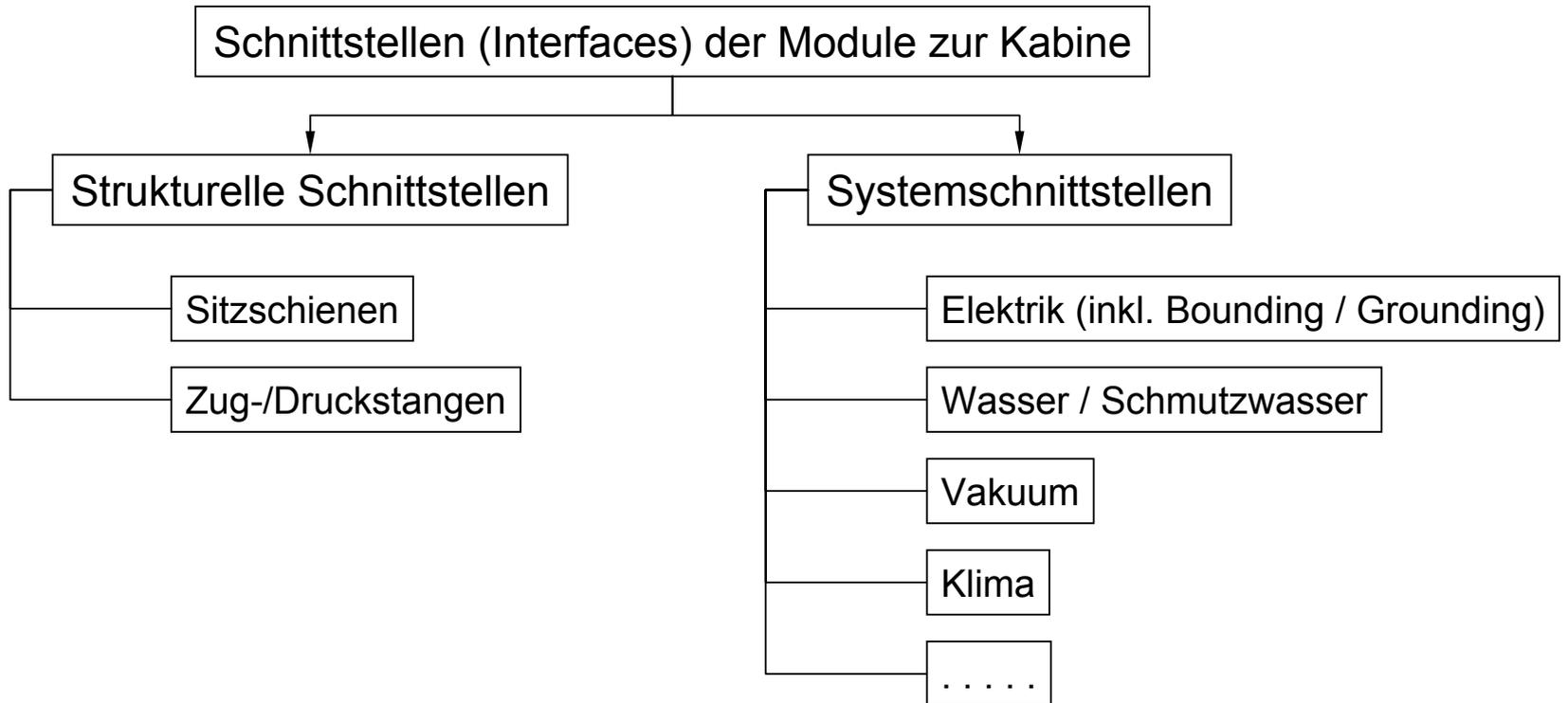
Einbindung der Kabinenmodule und -monumente in die Rumpfstruktur

- Einführung und generelle Aspekte
 - Aufgaben eines Rumpfes
 - Lastfälle eines Rumpfes
 - Rumpfbauweisen
- Schalenrumpf (Semi-Monocoque Bauweise)
 - Rumpfsektionen
 - Wesentliche Strukturelemente
 - Funktion und Belastung
- **Integration der Kabinenmodule**
 - **Lavatory / Galley**
 - **Overhead Stowage Bin**
 - **Seat**

Charakterisierung von Schnittstellen

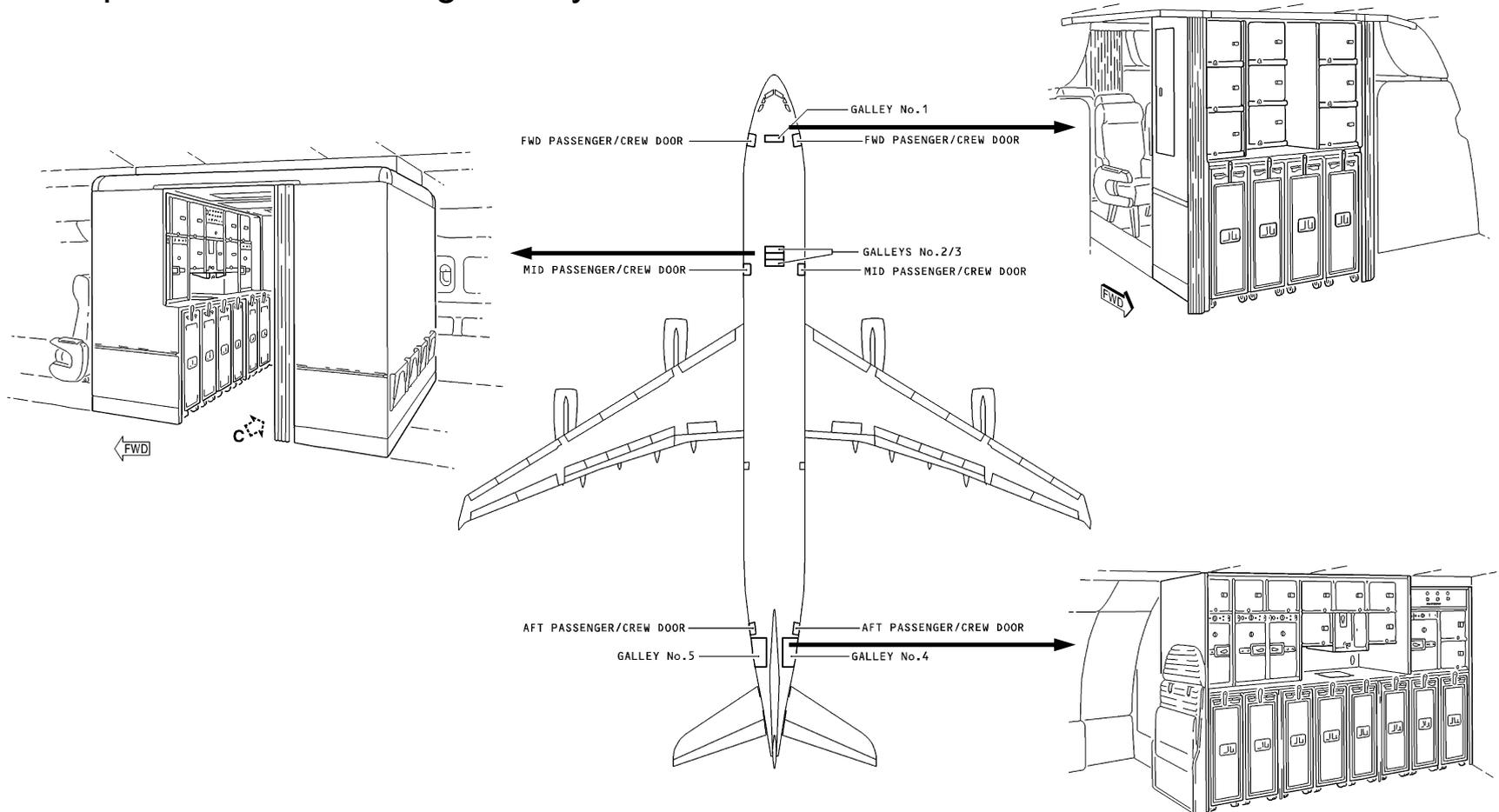


Charakterisierung von Schnittstellen



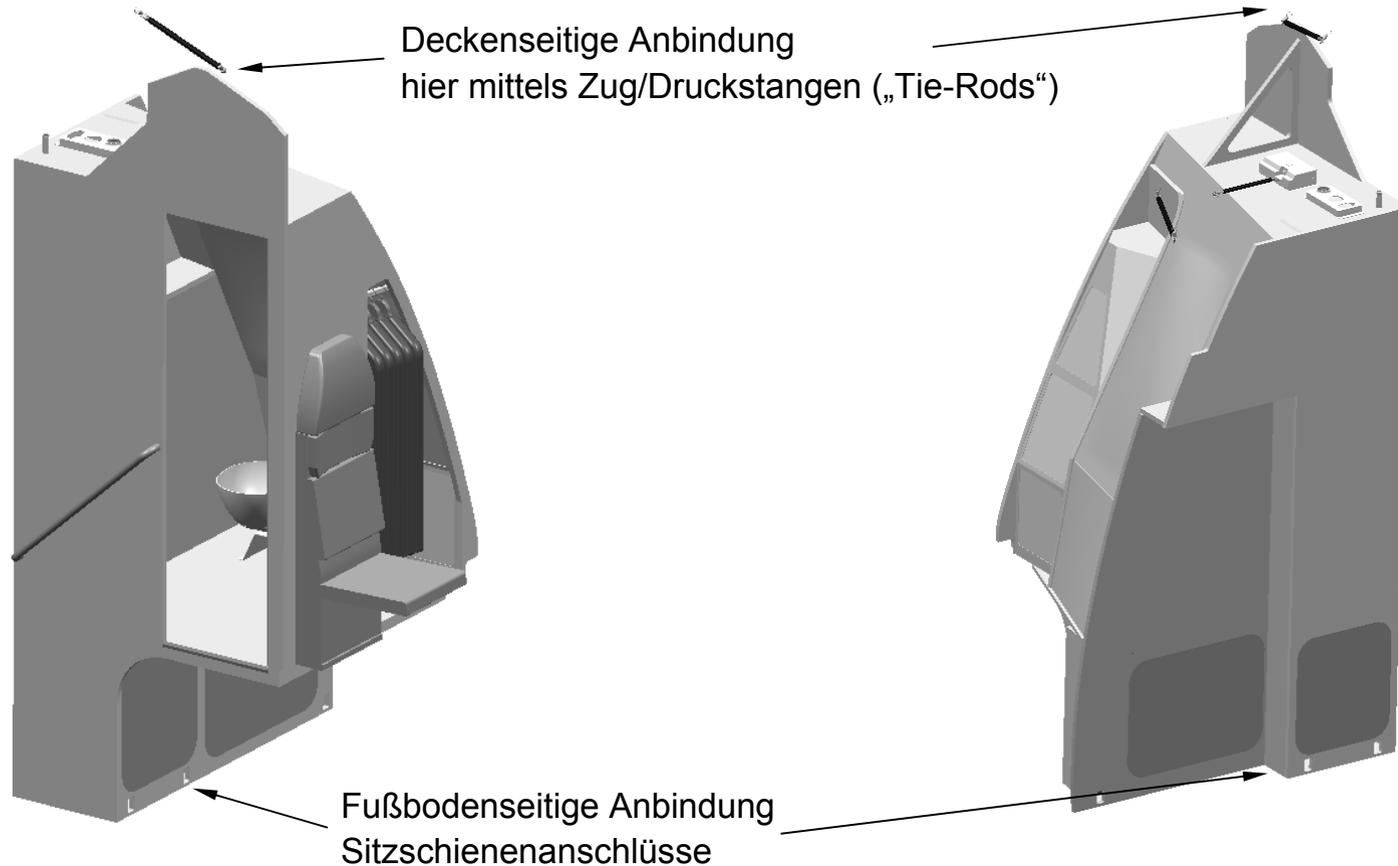
Struktur - Schnittstellen

Beispielhafte Darstellung: Galley



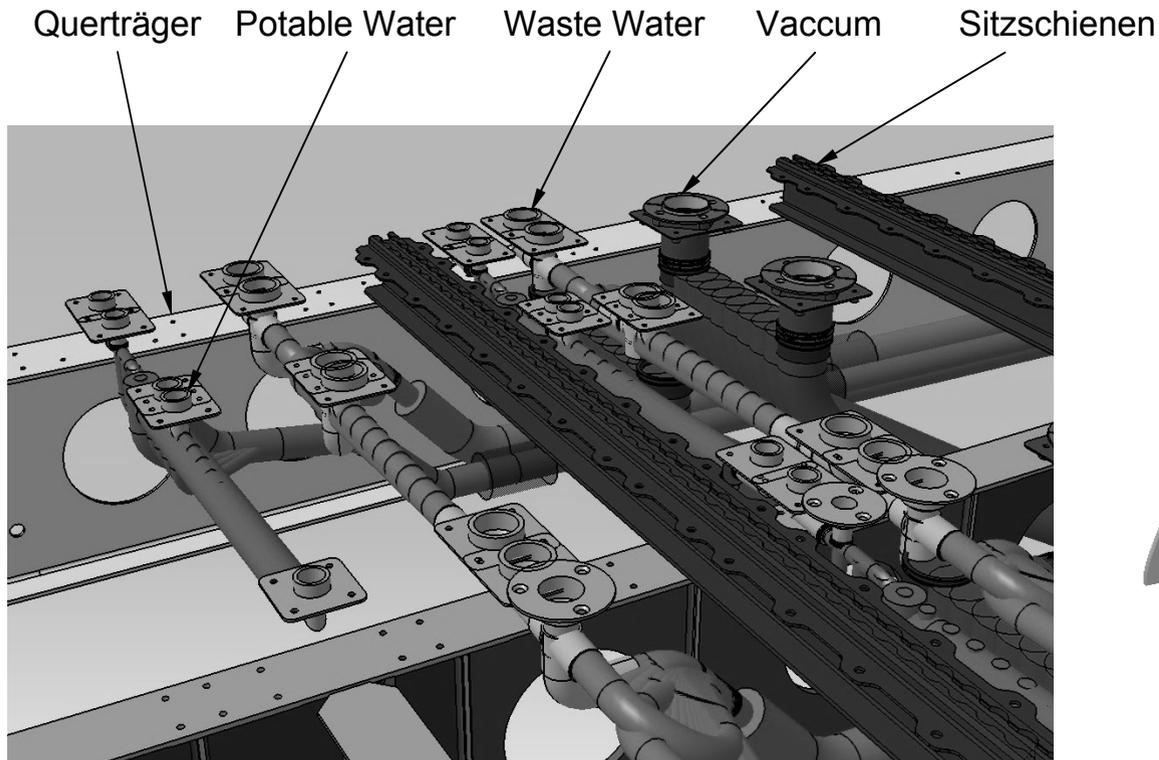
Struktur - Schnittstellen

Beispielhafte Darstellung: Strukturelle Anbindung Lavatory



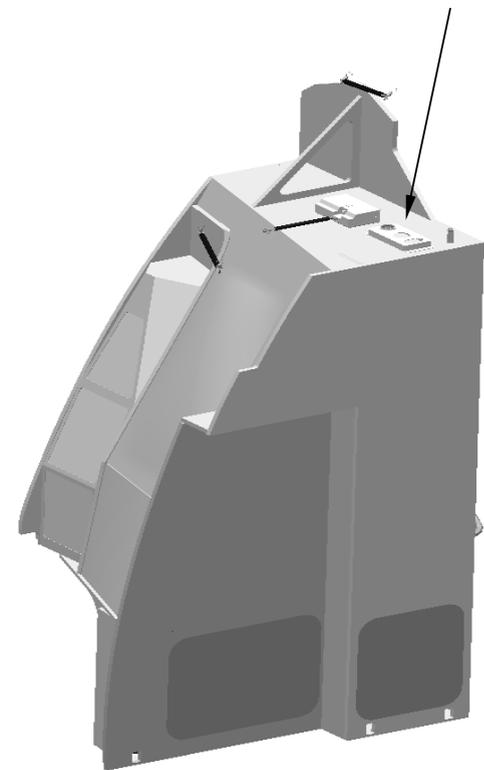
Systeme - Schnittstellen

Beispielhafte Darstellung: Systemschnittstellen Lavatory

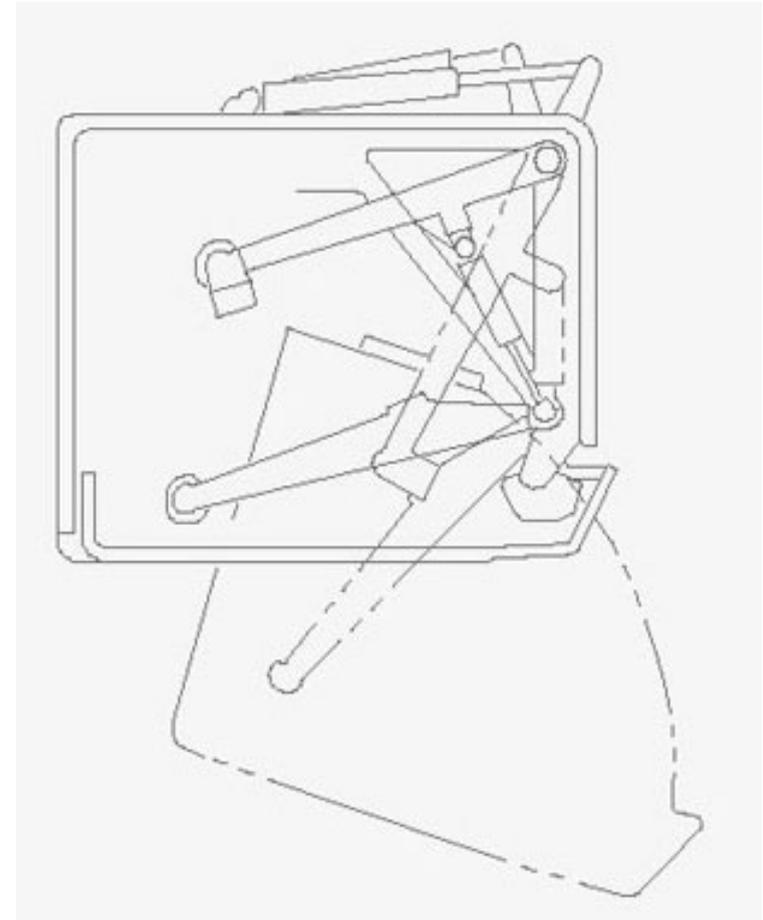
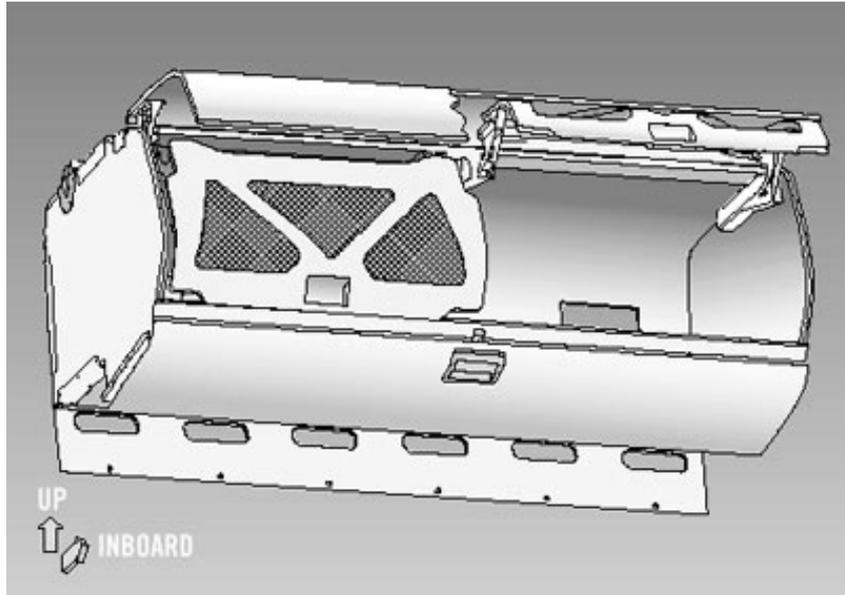


Beispielhafte Darstellung der bodenseitigen Systemschnittstellen:
Potable Water, Waste Water & Vacuum

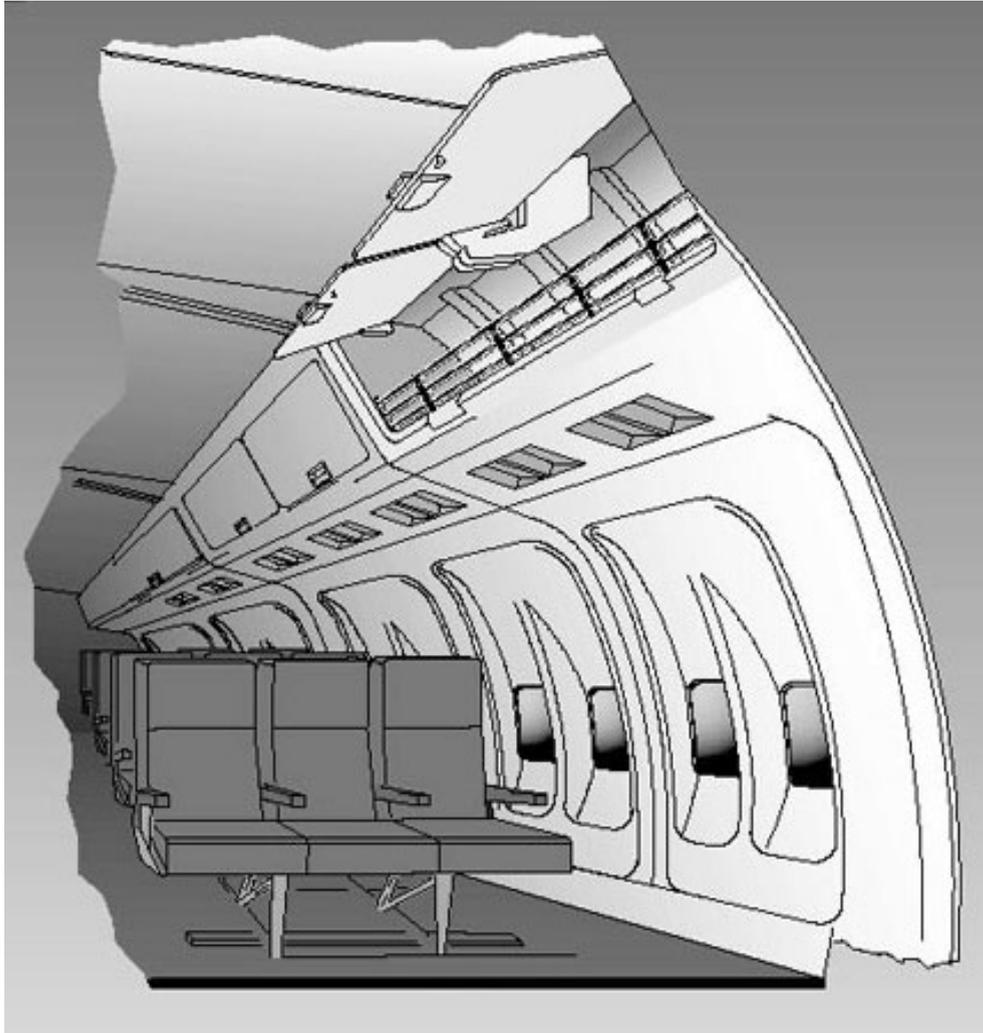
Systemseitiger Anschluß an die Luftversorgung



Overhead Stowage Bin



Overhead Stowage Bin



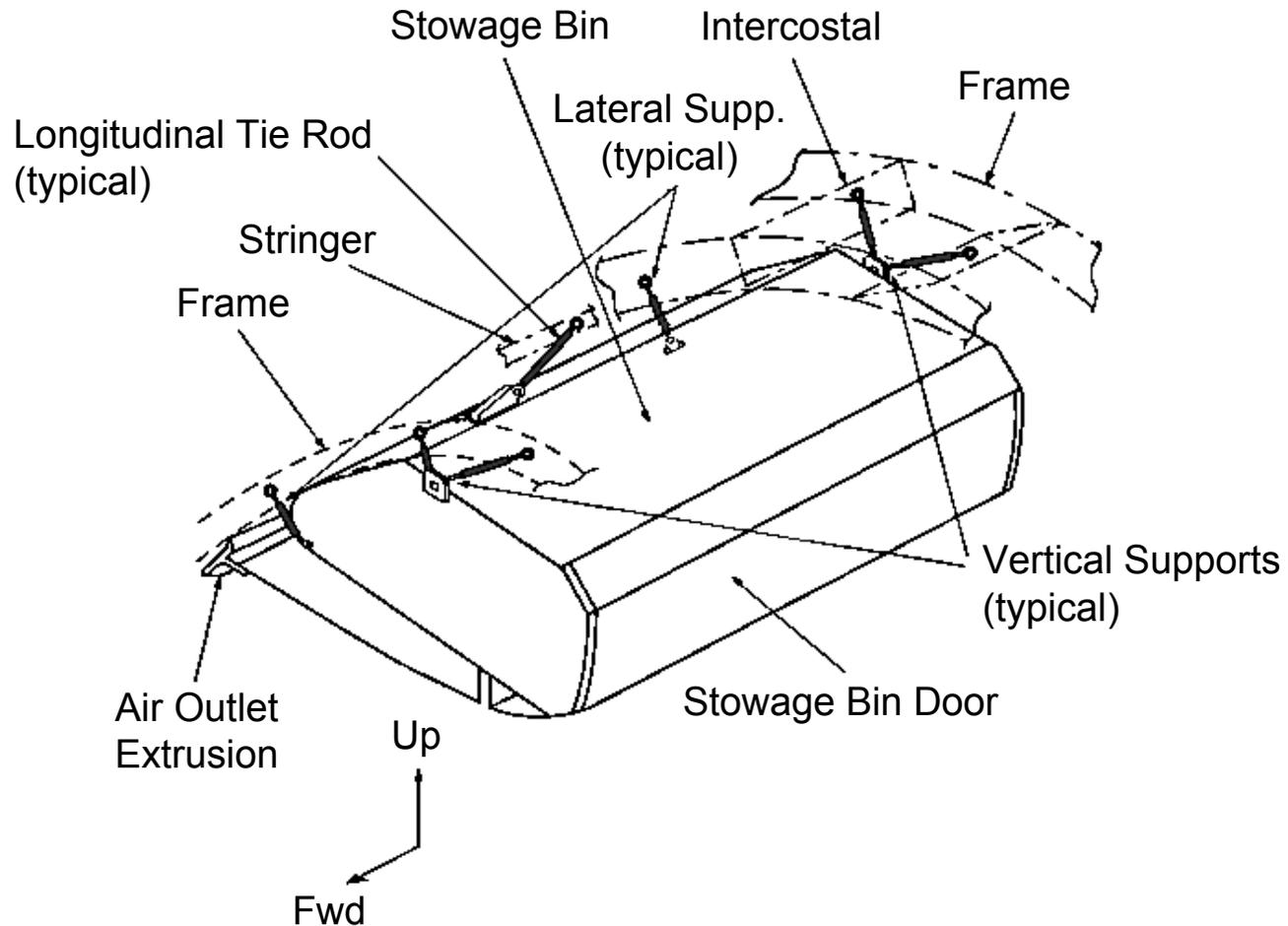
Dimensionen und Gewicht (Beispiele)

Länge	1500 mm
Eigengewicht	24 kg
Zuladung	55 kg

Länge	3000 mm
Eigengewicht	42 kg
Zuladung	95 kg

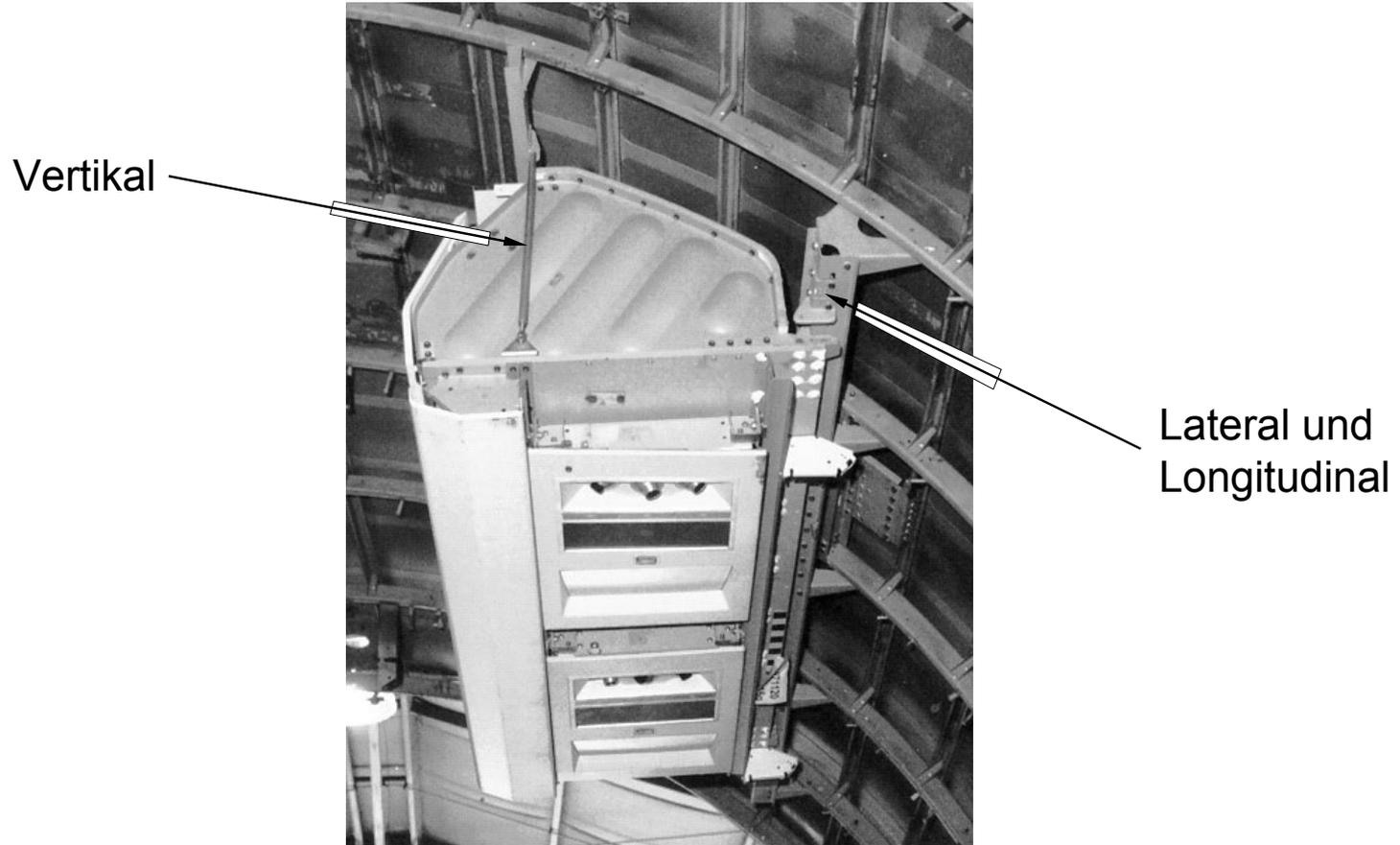
Overhead Stowage Bin

Lastaufnahme der Massenkräfte in alle drei Koordinatenrichtungen

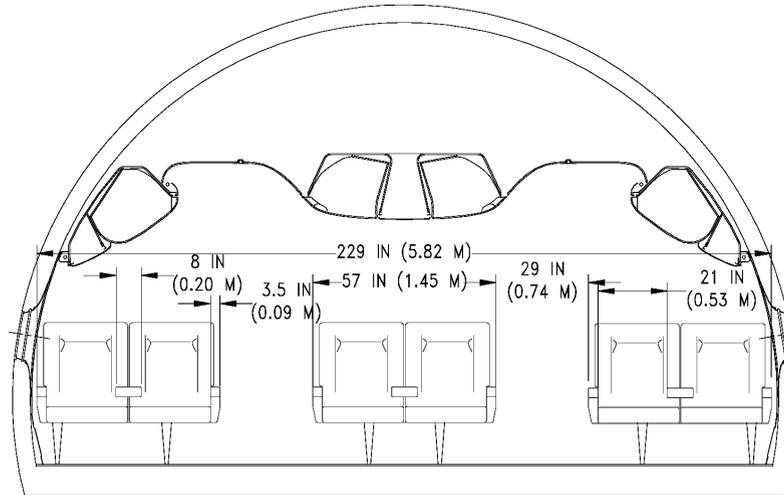


Overhead Stowage Bin

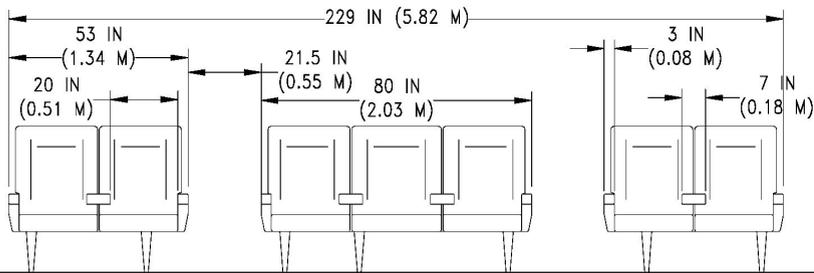
Lastaufnahme der Massenkräfte in alle drei Koordinatenrichtungen



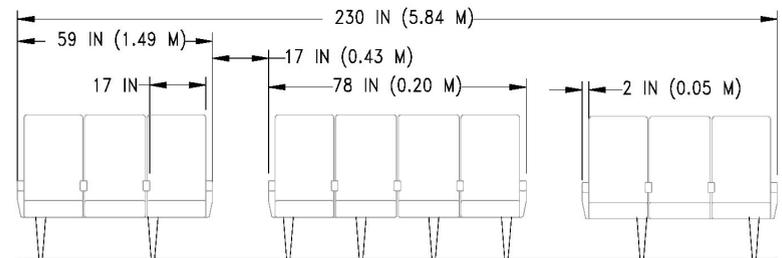
Seat Arrangements (... Boeing B777 ...)



FIRST CLASS SEATING
SIX ABREAST



BUSINESS CLASS SEATING
SEVEN-ABREAST



ECONOMY CLASS SEATING
TEN-ABREAST

Aircraft Seats

Crashlasten (Emergency Landing Conditions)



Mechanical

The seat frames will be tested to the following loads:

Static:	Forward	9,0 g
	Side	4,0 g
	Aft	1,5 g
	Down	8,6 g
	Up	5,4 g

Dynamic:	Forward/Sideward	16,0 g
	Downward/Forward	14,0 g



Transport Aircraft Passenger Flooring

