



Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling

Mechanische Kabinensysteme

Klimaanlagen (ATA 21)

Feuerschutzanlagen (ATA 26)

Sauerstoffanlagen (ATA 35)

**Pneumatikanlagen und Kabinendruckregelanlagen
(ATA 36 und ATA 21)**



ATA 21

Klimaanlagen

Air Conditioning

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Klimaanlage

Nach DIN 1946 ist eine Klimaanlage eine sog. **lüftungstechnische Anlage**, die es ermöglicht, in einem oder mehreren Räumen einen gewünschten Luftzustand, **unabhängig von den Außenbedingungen**, aufrecht zu erhalten

Der Luftzustand ist dabei gekennzeichnet durch

- **Temperatur**
- **Bewegung (Luftaustausch)**
- **Reinheit**
- **Feuchtigkeit**



Klimatisierung im Flugzeug



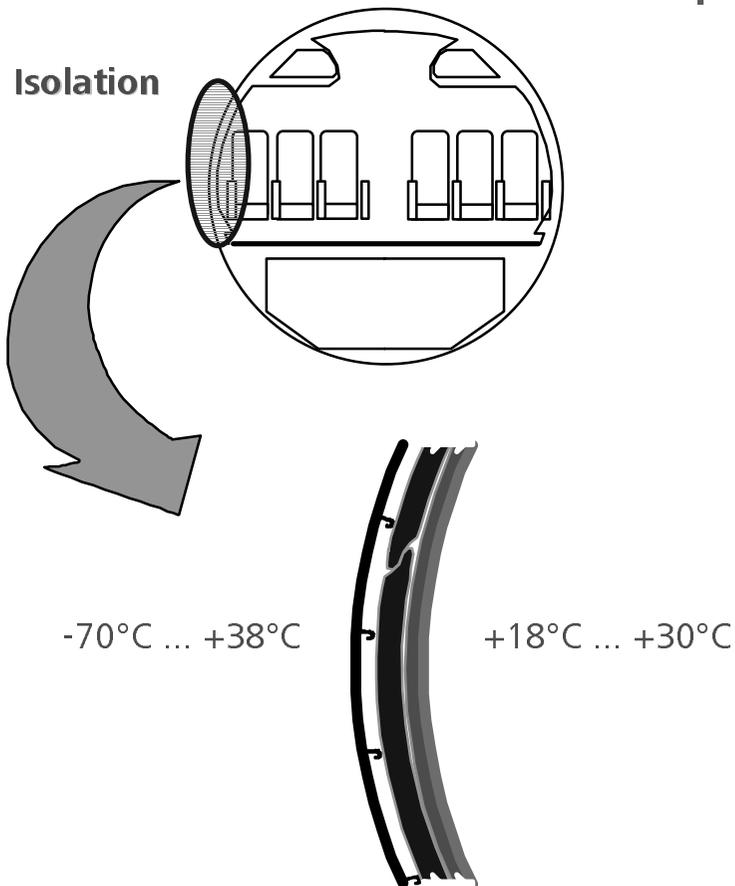
Für den Betrieb von Klimaanlage in Flugzeugen kommt erschwerend hinzu, dass die äußeren Gegebenheiten sowohl am Boden (extrem heiße, feuchte und kalte Gebiete) als auch in großen Flughöhen (niedriger Luftdruck mit extremer Kälte) sehr unterschiedlich sind.

Über den Luftzustand in Verkehrsflugzeugen (Temperatur, Luftbewegung, Reinheit, Feuchtigkeit und Druck), der von einer Klimaanlage und einer Druckregelanlage erzeugt wird, lässt sich folgendes sagen

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Klimatisierung im Flugzeug Temperatur und Reinheit



Temperatur

Die Klimaanlage soll eine individuelle Raumtemperatur – unabhängig von äußeren Einflüssen – herstellen.

Dabei soll die Frischluft aus den speziellen Düsen über den Sitzen geringfügig kühler sein als die Zuluft zur Kabine.

Reinheit

Die Reinheit der Luft soll sehr hohen Ansprüchen genügen, da schon geringste Beimischungen von Öl zu Unwohlsein führen.



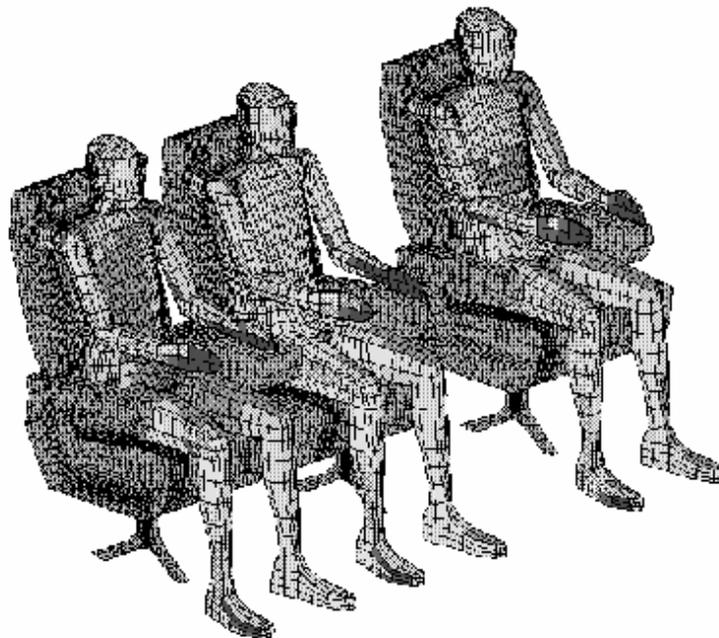
Klimatisierung im Flugzeug Temperatur/Isolation



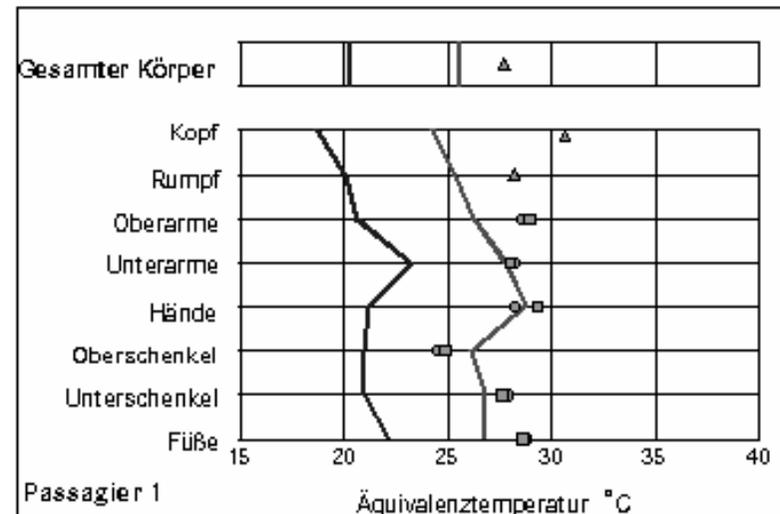
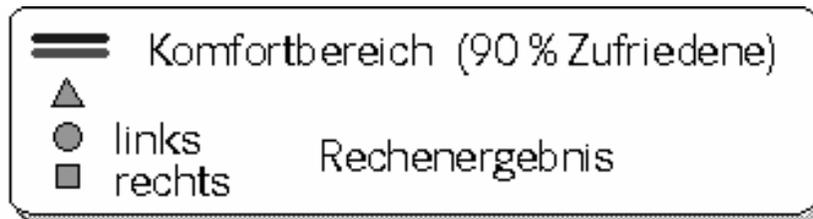
Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Klimatisierung im Flugzeug Temperatur

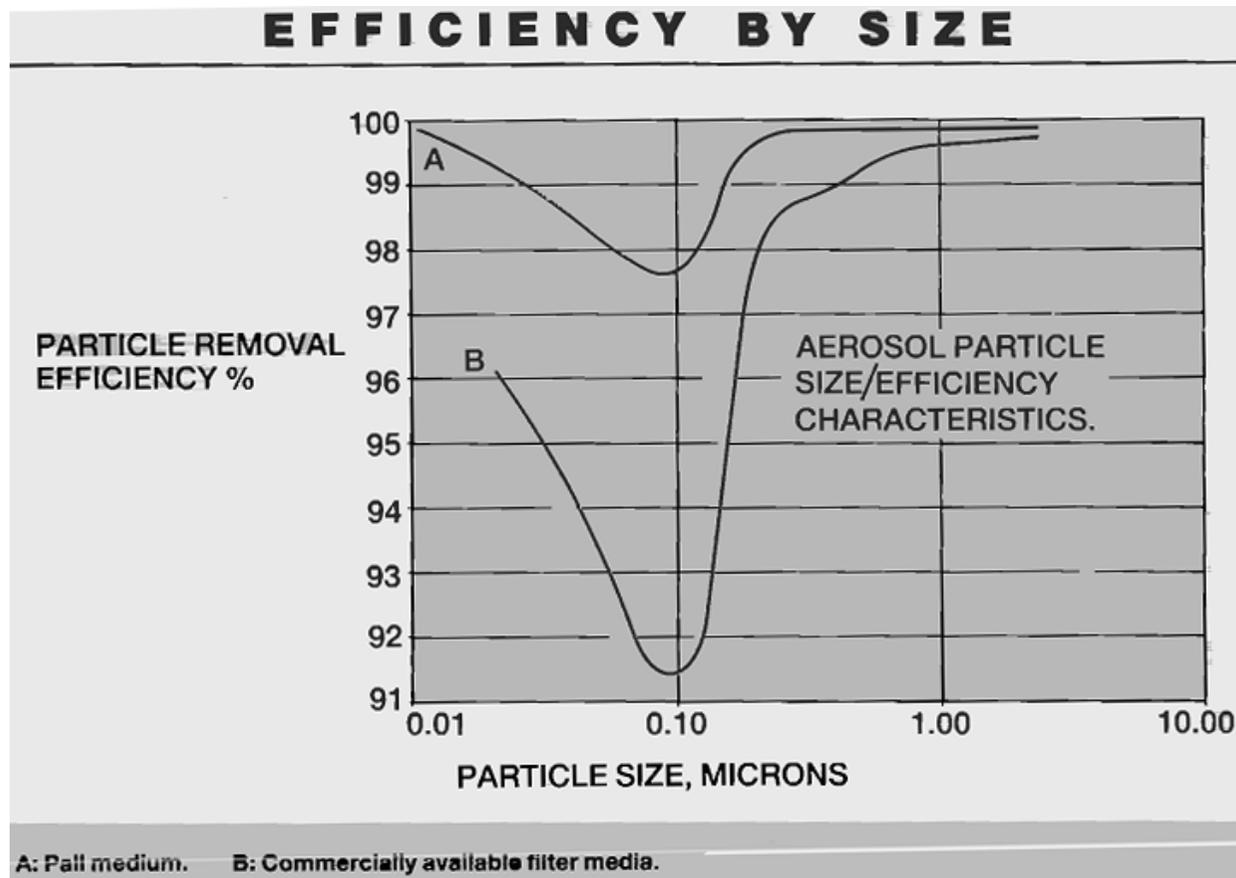


Wärmestrom-Verteilung an den Passagieren





Klimatisierung im Flugzeug Reinheit

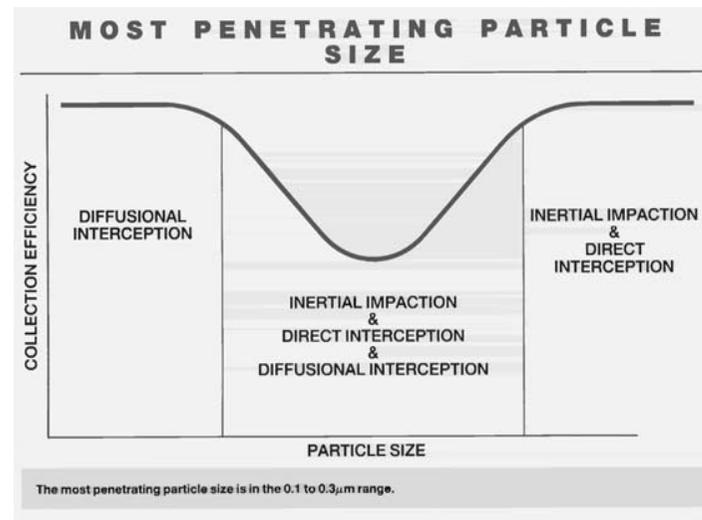
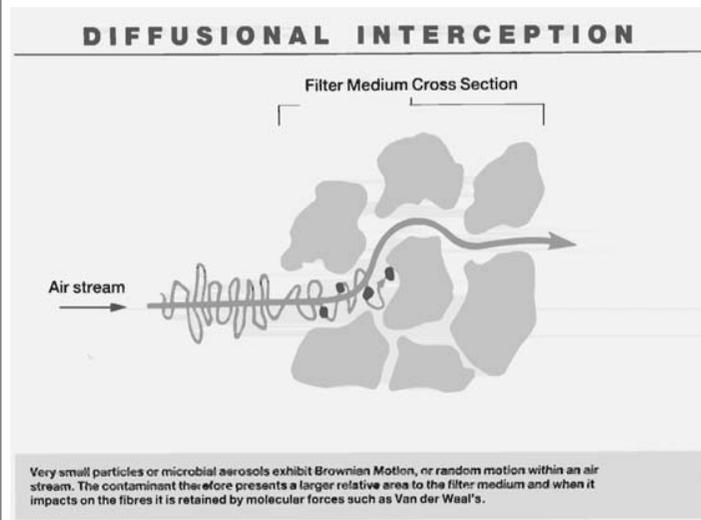
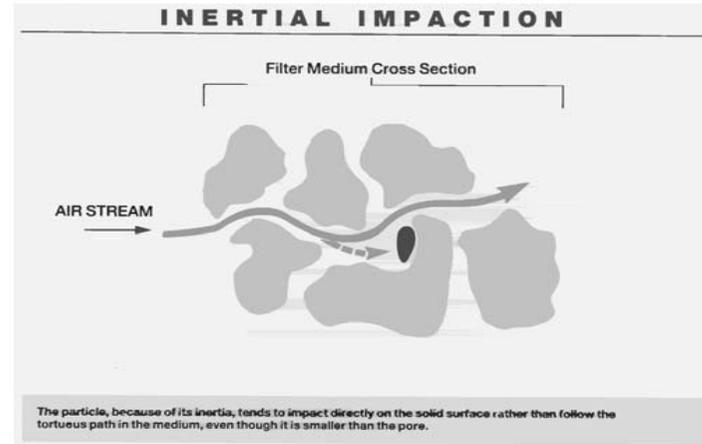
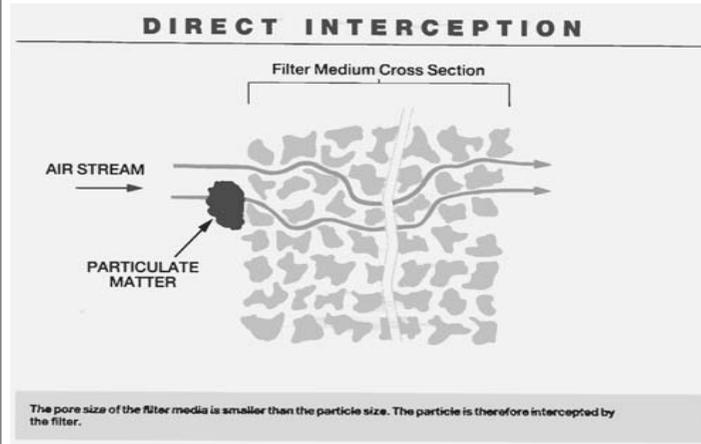


Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Klimatisierung im Flugzeug

Reinheit

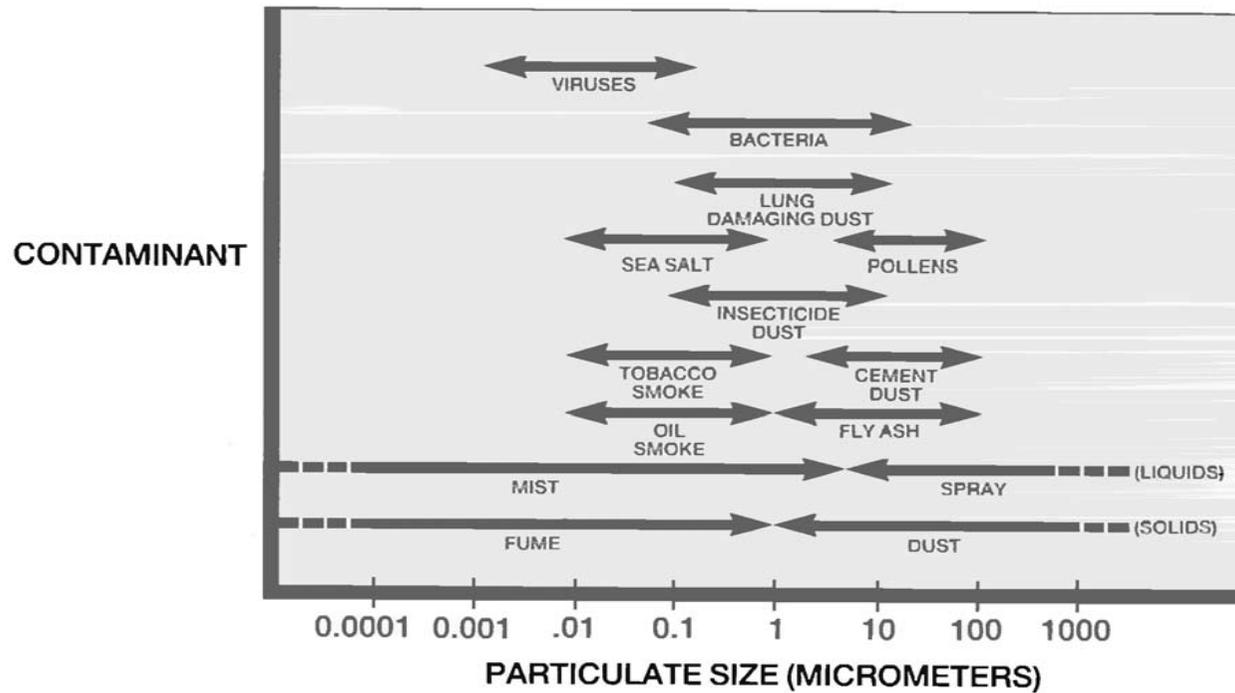


Proj. Dr.-Ing. Willy J.G. Brauning



Klimatisierung im Flugzeug Reinheit

PARTICLE SIZE RANGES



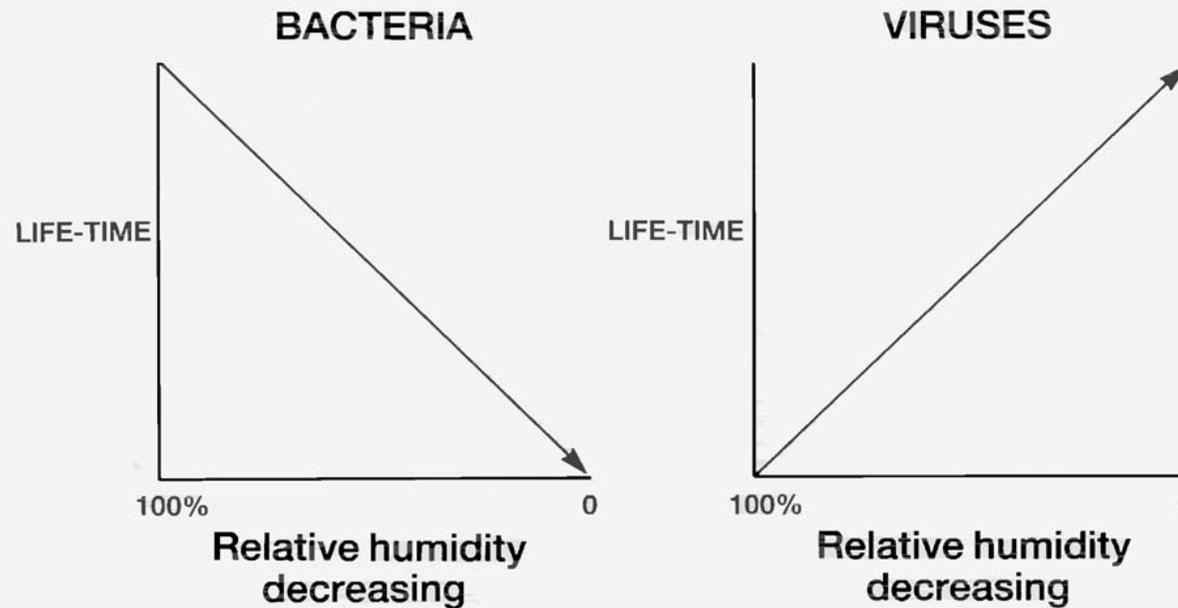
The range of particle sizes which cabin air filters should be capable of removing.

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Brauning



Klimatisierung im Flugzeug Reinheit

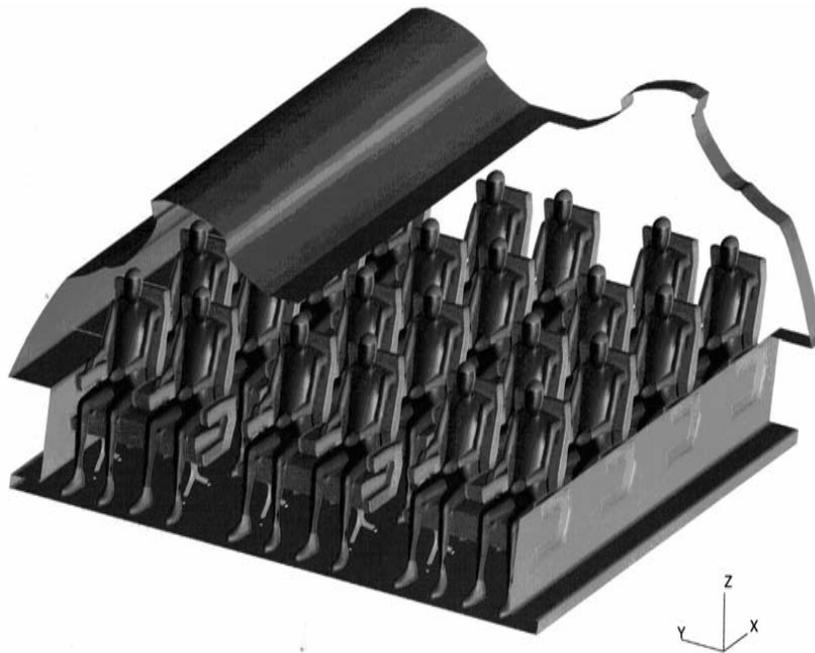
LIFE-TIME VS RELATIVE HUMIDITY



Humid conditions favour bacterial growth. This is why humid ducts and liquid water are potential sources of bacteria. Dry conditions favour viruses so infectious disease-carrying viruses remain viable in the air.

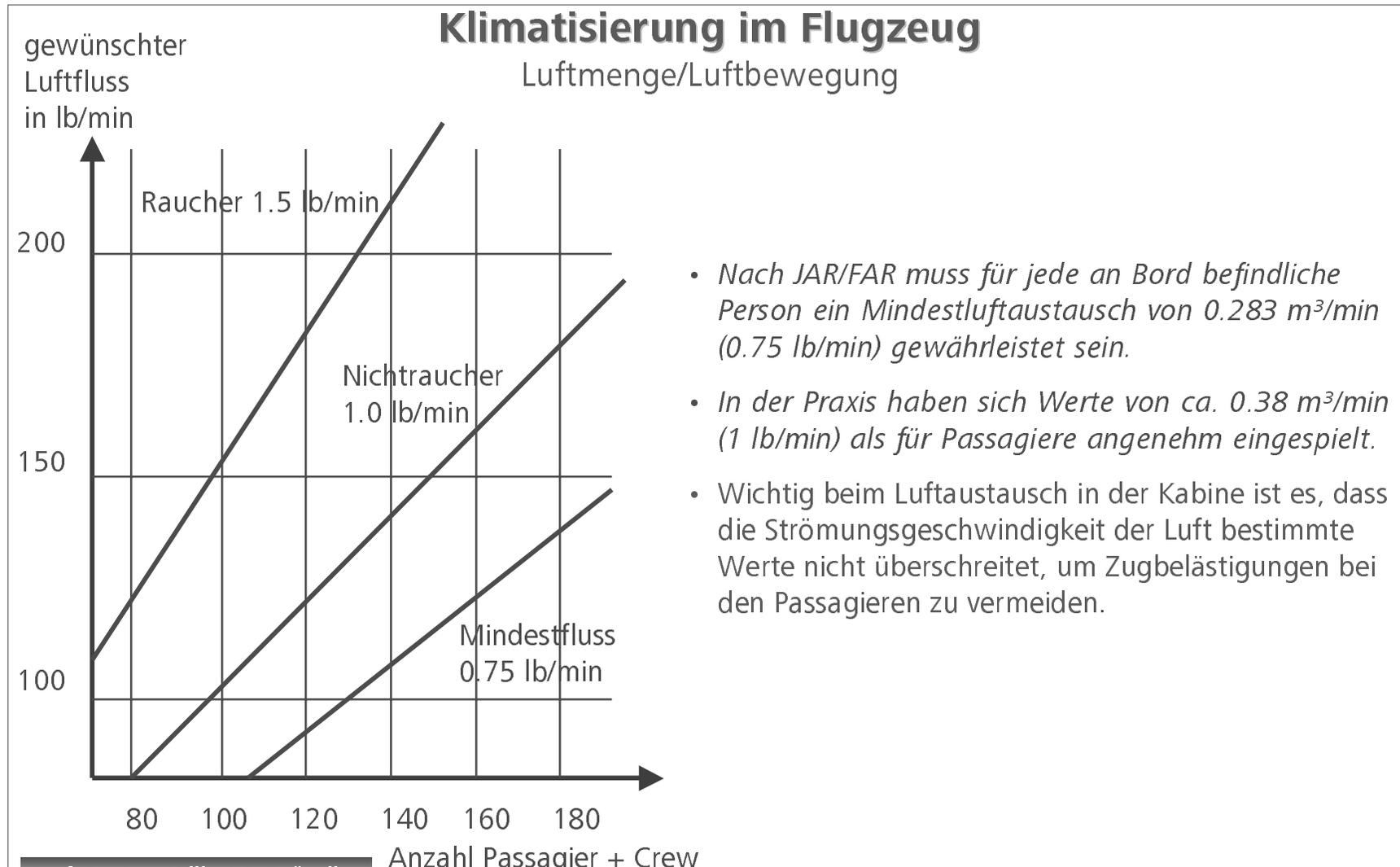


Klimatisierung im Flugzeug Vorschriften/Luftmenge

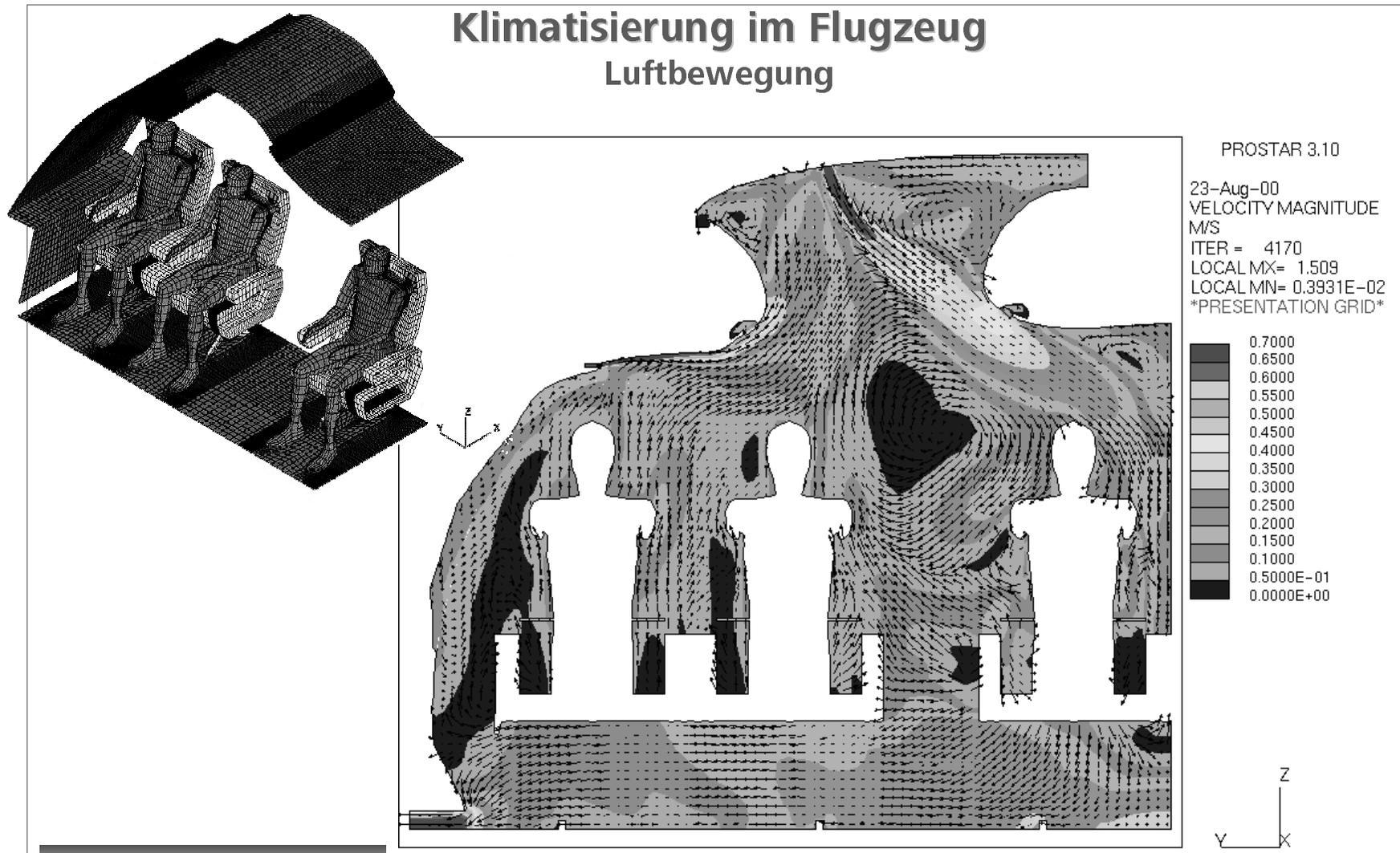


- Nach JAR/FAR § 25.831 muss für jede an Bord befindliche Person ein Mindestluftaustausch von $0.283 \text{ m}^3/\text{min}$ ($0.75 \text{ lb}/\text{min}$ bzw. $10 \text{ ft}^3/\text{min}$) gewährleistet sein. In der Praxis haben sich Werte von ca. $0.38 \text{ m}^3/\text{min}$ ($1 \text{ lb}/\text{min}$) als für Passagiere angenehm eingestellt.
- Im Falle eines Schadens an der Klimatisierung, der länger als 5 Minuten andauert, müssen pro Person an Bord immer noch $0.4 \text{ lb}/\text{min}$ garantiert werden können.
- Es dürfen nicht mehr als 0.005% Kohlenmonoxid (CO) in der Luft enthalten sein
- Es dürfen nicht mehr als 3% Kohlendioxid (CO_2) in der Luft enthalten sein. Zukünftig sind sogar 0.5% geplant.
- Nach JAR/FAR § 25.832 dürfen nie mehr als 0.25 ppm Ozon in der Luft enthalten sein. Bei einer Flugzeit von mehr als 3 Stunden reduziert sich dieser Wert auf 0.1 ppm

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



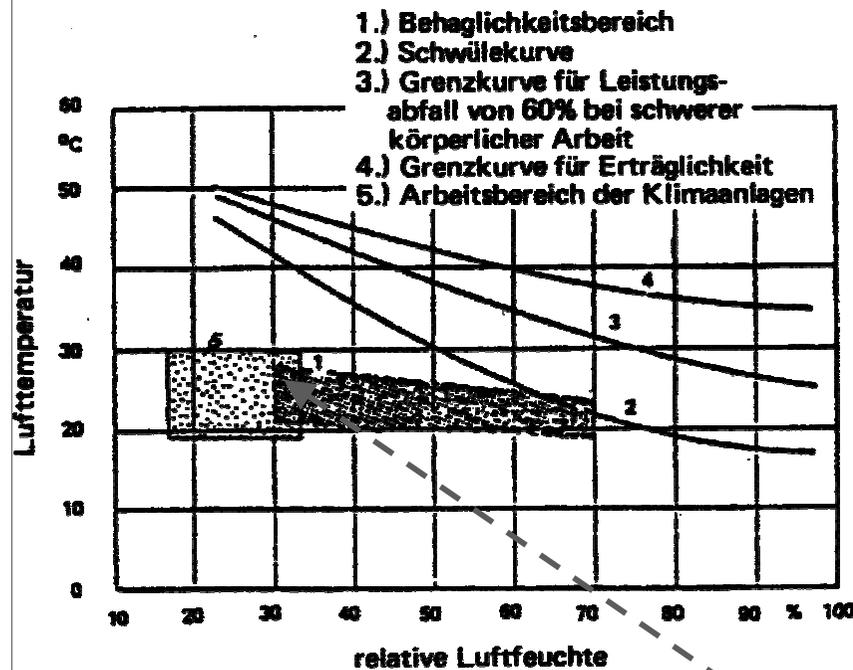
Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Klimatisierung im Flugzeug Feuchtigkeit/Behaglichkeit



- Eine **Befeuchtung** der Luft ist bisher in Klimaanlagen von Flugzeugen nicht vorgesehen.
- Eine Befeuchtung der Luft wäre technisch möglich, wird aber z.T.:
 - als unwirtschaftlich angesehen, da in Tanks größere Wassermengen mitzunehmen wären
 - als nicht erstrebenswert angesehen, da eine erhöhte Kondenswasserbildung nachteilig für die Flugzeugstruktur sein könnte, wo sich dieses Wasser absetzt.
- Auf Langstreckenflügen geht die relative Feuchtigkeit in einer Flugzeugkabine auf 20 bis 30% zurück, da in den Klimapacks die Feuchtigkeit beim Abkühlen ausgeschieden wird.

- In Flugzeugkabinen lässt sich das, was man unter **BEHAGLICHKEIT** versteht, am ehesten über die Temperatur bereitstellen.

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



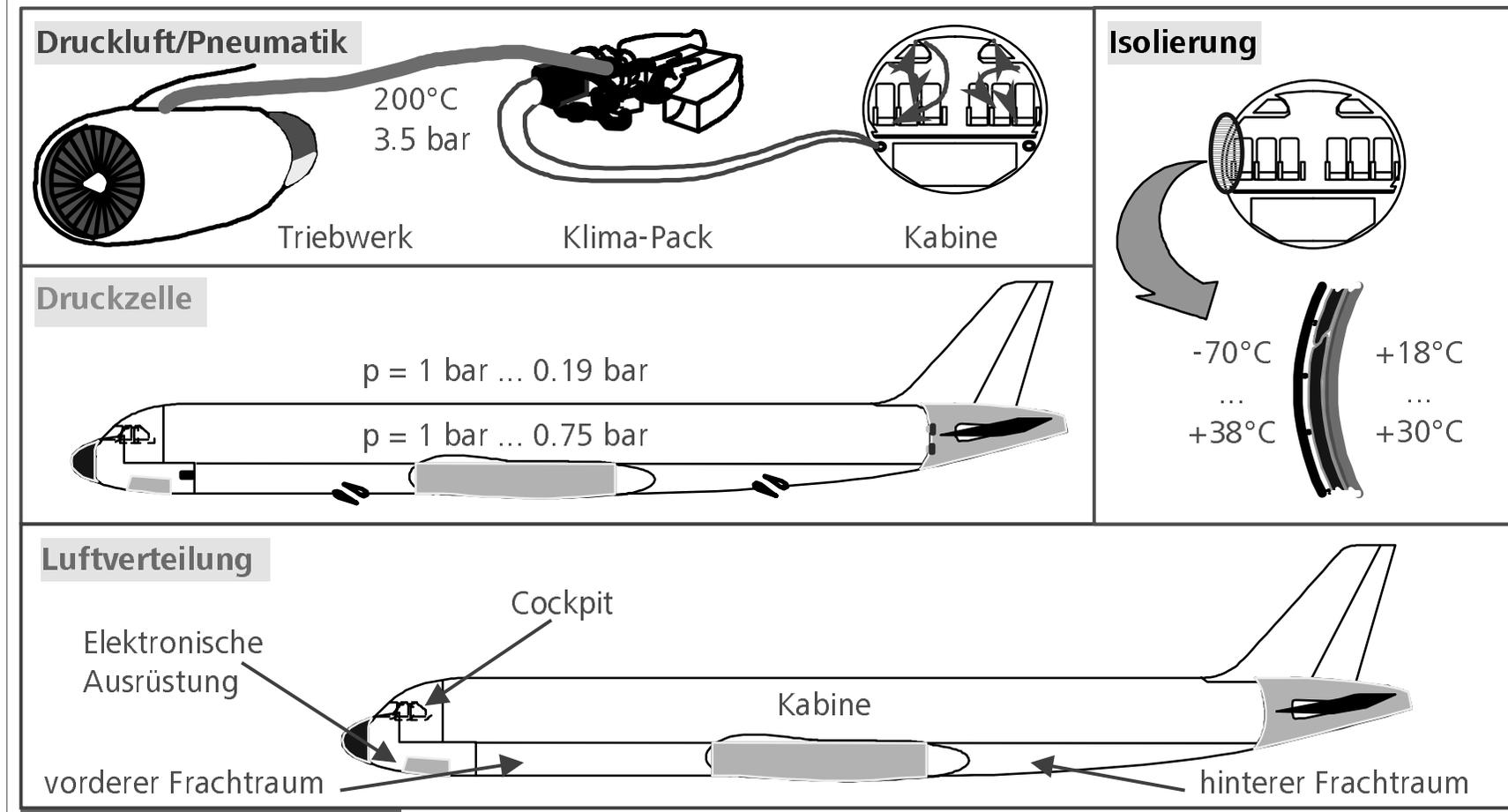
Klimatisierung im Flugzeug

Wünsche – Vorstellungen – Tendenzen

- Von Seiten der Passagiere werden folgende Wünsche gestellt
 - gleichmäßigere Temperaturverteilung
 - kein Zug und keine Strahlung durch warme Bordgeräte und/oder Fenster
 - höhere Feuchtigkeit
 - mehr Behaglichkeit (Komfort)
- Fluggesellschaften möchten unter dem Gesichtspunkt geringer Fertigungs- und Betriebskosten:
 - geringeren Druck und geringeren Volumenstrom bei der Zapfluft (wirtschaftlichere Triebwerke)
 - geringere Wartungskosten
 - geringere Entwicklungs- und Produktionskosten beim Flugzeug



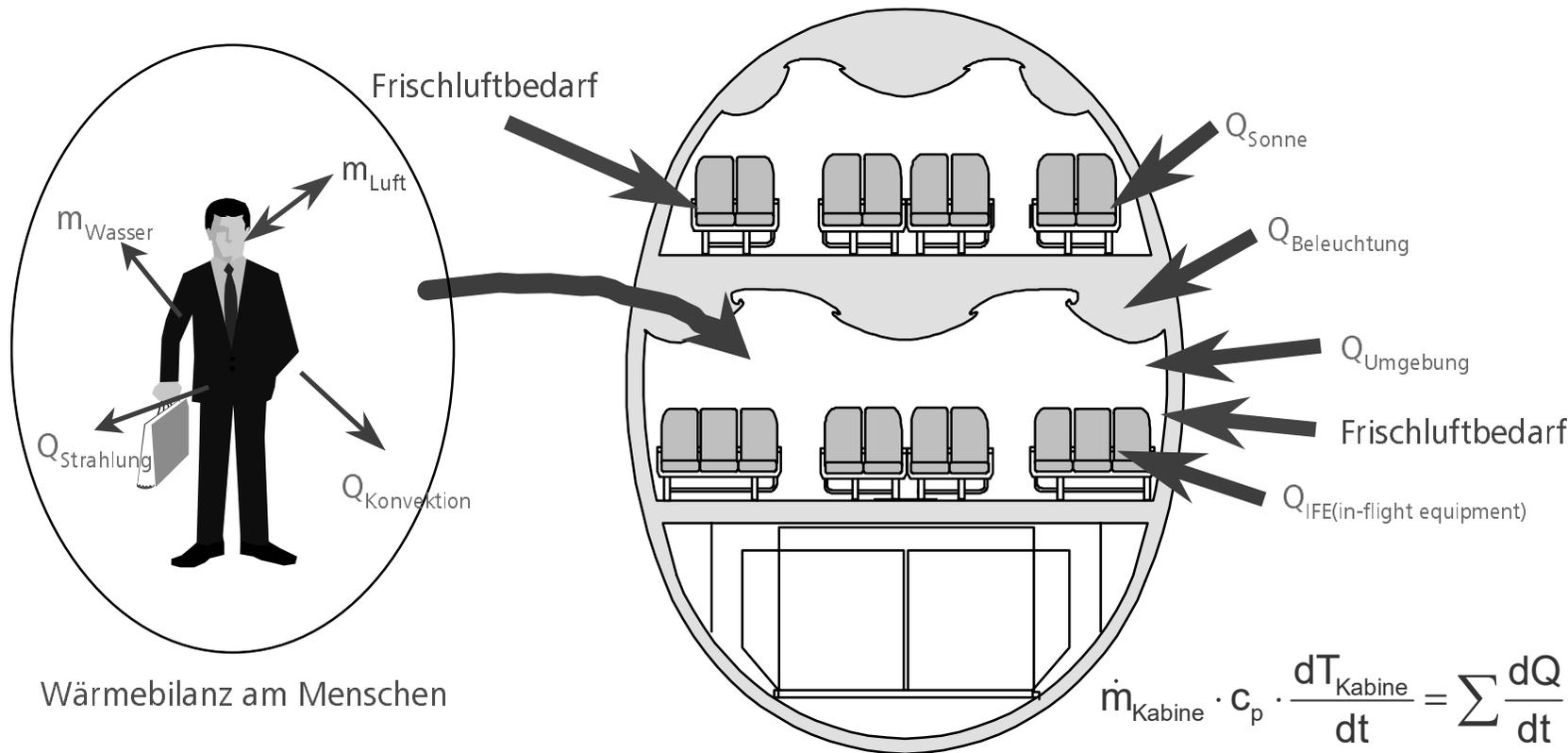
Klimatisierung im Flugzeug ein Zusammenwirken verschiedener Baugruppen



Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Klimatisierung im Flugzeug



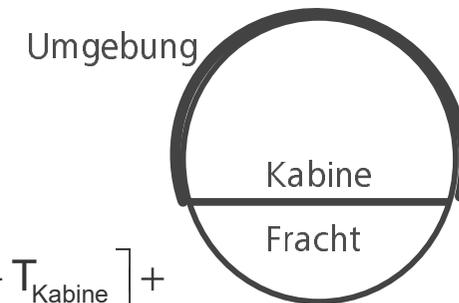
Wärmebilanz + Frischluftbedarf => Leistungsanforderungen für die Klimatisierung



Klimatisierung im Flugzeug

Wärmebilanz für die Kabine

$$\begin{aligned} \dot{m}_{\text{Kabine}} \cdot c_p \cdot \frac{dT_{\text{Kabine}}}{dt} &= \sum \frac{dQ}{dt} = \\ &= (\alpha \cdot A)_{\text{Kabine/Umgebung}} \cdot [T_{\text{Umgebung}} - T_{\text{Kabine}}] + \\ &+ (\alpha \cdot A)_{\text{Kabine/Fracht}} \cdot [T_{\text{Fracht}} - T_{\text{Kabine}}] + \\ &+ \dot{Q}_{\text{Sonne}} + \dot{Q}_{\text{elektr. Ausr., stung}} + \dot{Q}_{\text{biologisch}} + \\ &+ c_p \cdot [(\dot{m} \cdot T)_{\text{Klimaluft EIN}} - (\dot{m} \cdot T)_{\text{Klimaluft AUS}}] \end{aligned}$$



mit $\dot{Q} = \alpha \cdot A \cdot (T_{\text{aussen}} - T_{\text{innen}})$ Newtonsches Gesetz, α den Wärmeübergangskoeffizienten
 α = Wärmeübergangskoeffizient
 c_p = spez. Wärmekapazität

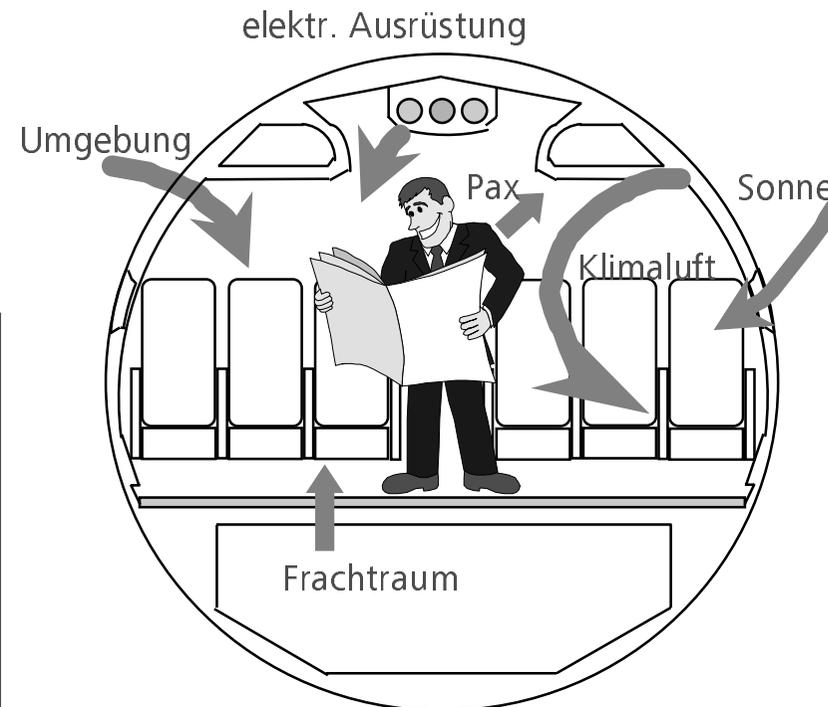


Klimatisierung im Flugzeug

Wärmebilanz für die Kabine

Numerisches Beispiel

Beispielfall	cruise	ground/hot
Passagieranzahl	341	341
T_{Kabine}	22 °C	27 °C
T_{Umgebung}	-50 °C	+38 °C
$T_{\text{Außenhaut}}$	-30 °C	+38 °C
Umgeb. → Kabine	-24 600 W	+9 500 W
Fracht → Kabine	-3 900 W	+900 W
Sonne	+8 800 W	+7 200 W
elektr. Ausrüstung	+13 000 W	+10 000 W
Passagiere	+25 400 W	+22 000 W
klimatisierte Luft	-18 700 W	-49 600 W



- Die Wärmebilanz am Boden (*ground*) und während des Reisefluges (*cruise*) ergibt deutlich voneinander abweichende Ergebnisse.
- Praktisch muss aber – speziell in Großraumflugzeugen – immer Wärme aus der Kabine abgegeben werden → KÜHLUNG

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Klimatisierung im Flugzeug

Behaglichkeit (Komfort) bedeutet im Flugzeug im Wesentlichen Temperatur!

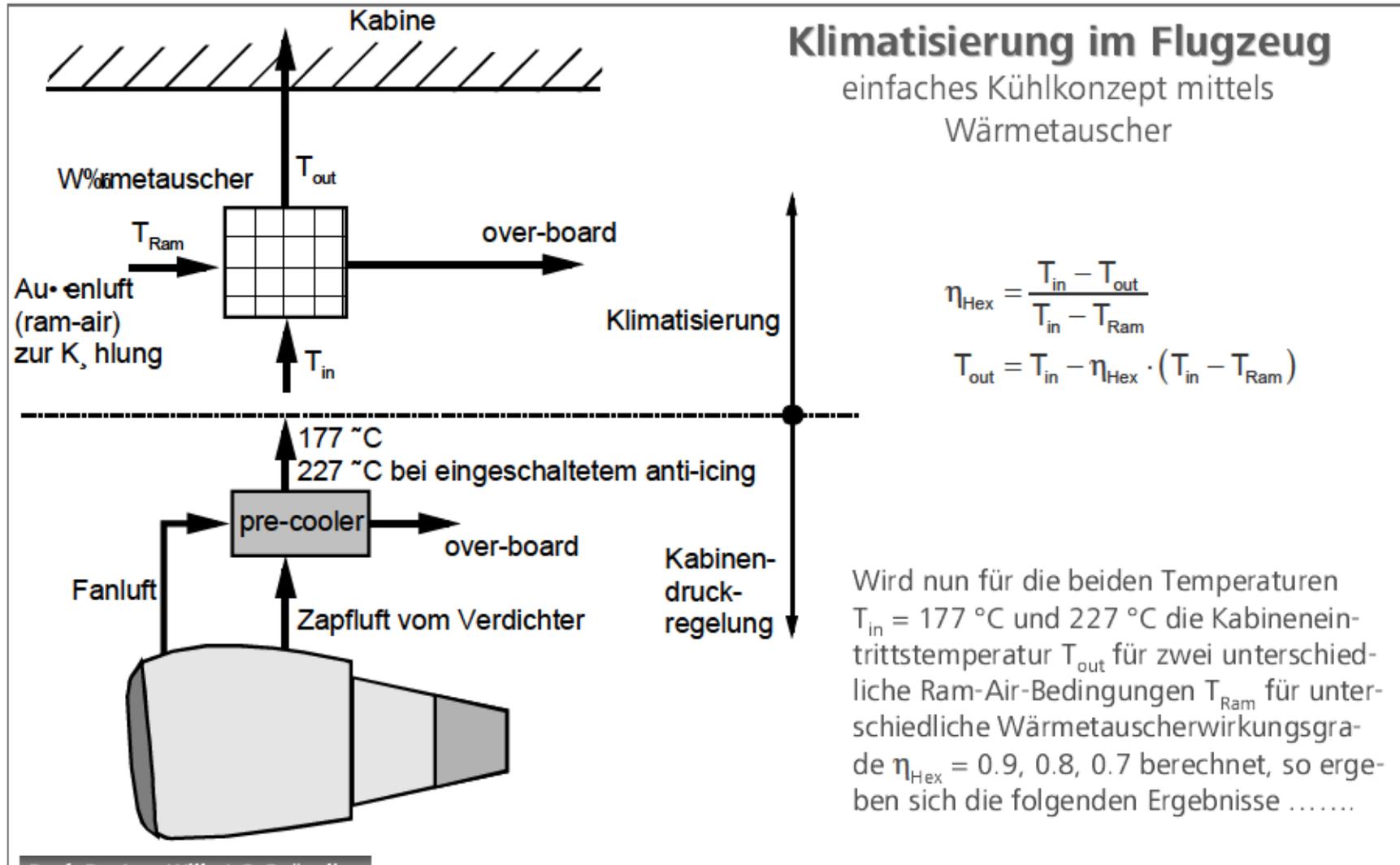
- Zu diesem Zweck müssen Einzelanlagen für **Kühlung, Heizung und Belüftung** vorhanden sein, da sich die Luft in der Kabine durch verschiedene Einflüsse verändern kann:
 - sinkende Luftqualität mit steigender Passagierzahl
 - verschieden dichte Bestuhlung in den unterschiedlichen Klassen
 - Abkühlung der Flugzeugzelle in großer Flughöhe
 - Aufheizung der Flugzeugzelle am Boden auf heißen Flugplätzen



Klimatisierung im Flugzeug

Behaglichkeit (Komfort) bedeutet im Flugzeug im Wesentlichen Temperatur!

- Die von den Triebwerken kommende Luft enthält beachtliche, nicht vermeidbare Wärmemengen (180 °C bis 230 °C bzw. 453 K bis 503 K), so dass eine Temperaturregelung vor allem ein Problem der Abfuhr von übermäßiger Wärme aus der Triebwerkszapfluft ist.
- Mit zunehmender Flughöhe (kältere Umgebung) geht der erforderliche Wärmeabbau jedoch immer weiter zurück, so dass es u.U. (kleinere Flugzeuge, wenig Passagiere, elektrische Ausrüstung) sogar zum Einsatz verschiedener Möglichkeiten einer Luftherwärmung kommt.
- Bei der Beschreibung einer Flugzeugklimaanlage unterscheidet man deswegen nach: Kühlung, Heizung, Luftverteilung und Temperaturregelung.
- Bei der Kühlung unterscheidet man im Wesentlichen zwischen
 - Verdampferkühlung („Kühlschrankprinzip“, nur in kleiner Flugzeugen – wie z.B. bei Biz-Jets – üblich)
 - der **Expansionskühlung** (das gängige Kühlprinzip in allen größeren Verkehrsflugzeugen)





Klimatisierung im Flugzeug

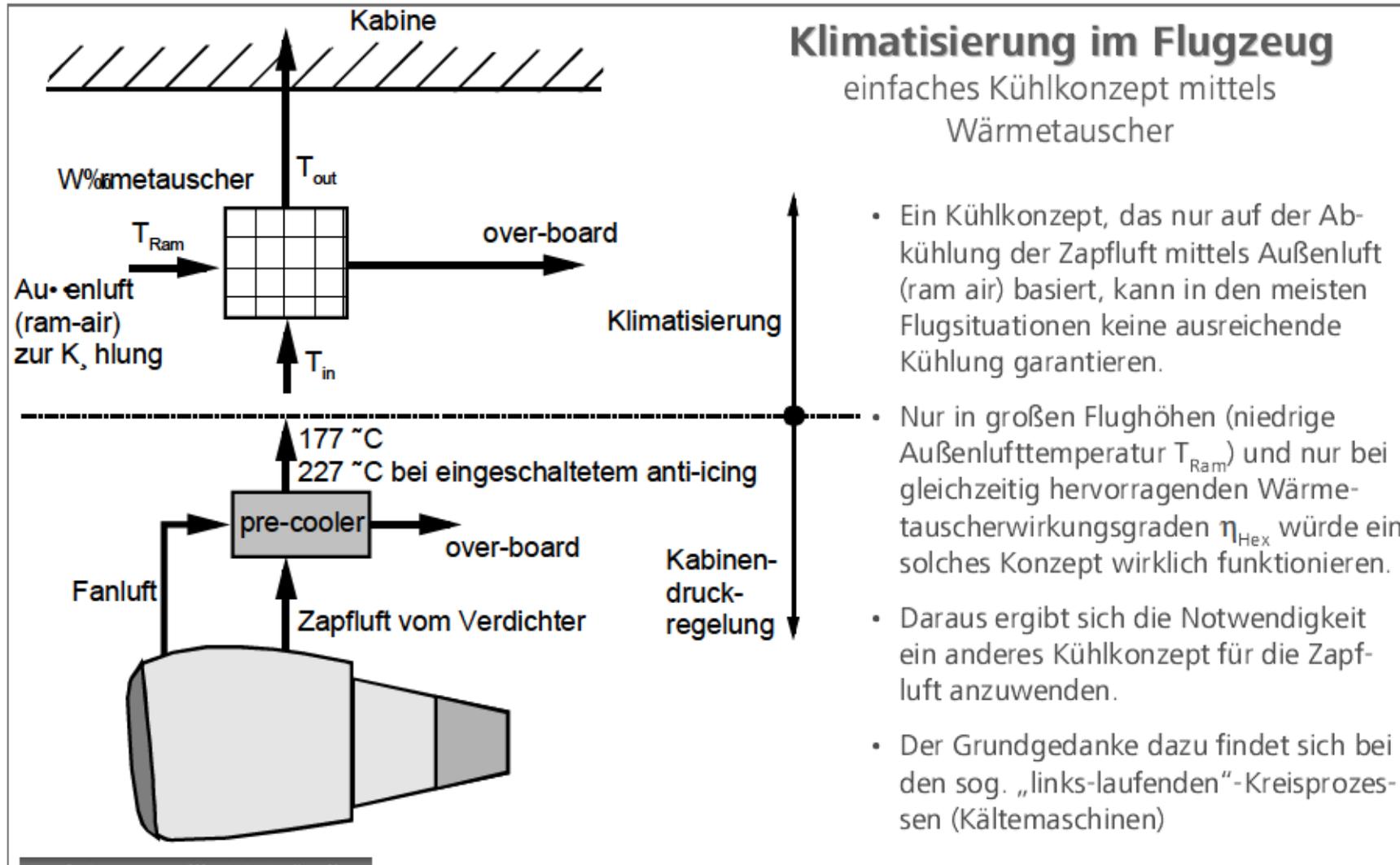
einfaches Kühlkonzept mittels
 Wärmetauscher

$$\eta_{\text{Hex}} = \frac{T_{\text{in}} - T_{\text{out}}}{T_{\text{in}} - T_{\text{Ram}}}$$

$$T_{\text{out}} = T_{\text{in}} - \eta_{\text{Hex}} \cdot (T_{\text{in}} - T_{\text{Ram}})$$

$T_{\text{in}} = 177 \text{ } ^\circ\text{C}$				$T_{\text{in}} = 227 \text{ } ^\circ\text{C}$			
	η_{Hex}				η_{Hex}		
	0.9	0.8	0.7		0.9	0.8	0.7
T_{Ram}	T_{out}	T_{out}	T_{out}	T_{Ram}	T_{out}	T_{out}	T_{out}
+40 °C	54 °C	67 °C	81 °C	+40 °C	59 °C	77 °C	96 °C
+20 °C	36 °C	51 °C	67 °C	+20 °C	41 °C	61 °C	82 °C
0 °C	18 °C	35 °C	53 °C	0 °C	23 °C	45 °C	68 °C
-20 °C	0 °C	19 °C	39 °C	-20 °C	5 °C	29 °C	54 °C
-40 °C	-18 °C	3 °C	25 °C	-40 °C	-13 °C	13 °C	40 °C

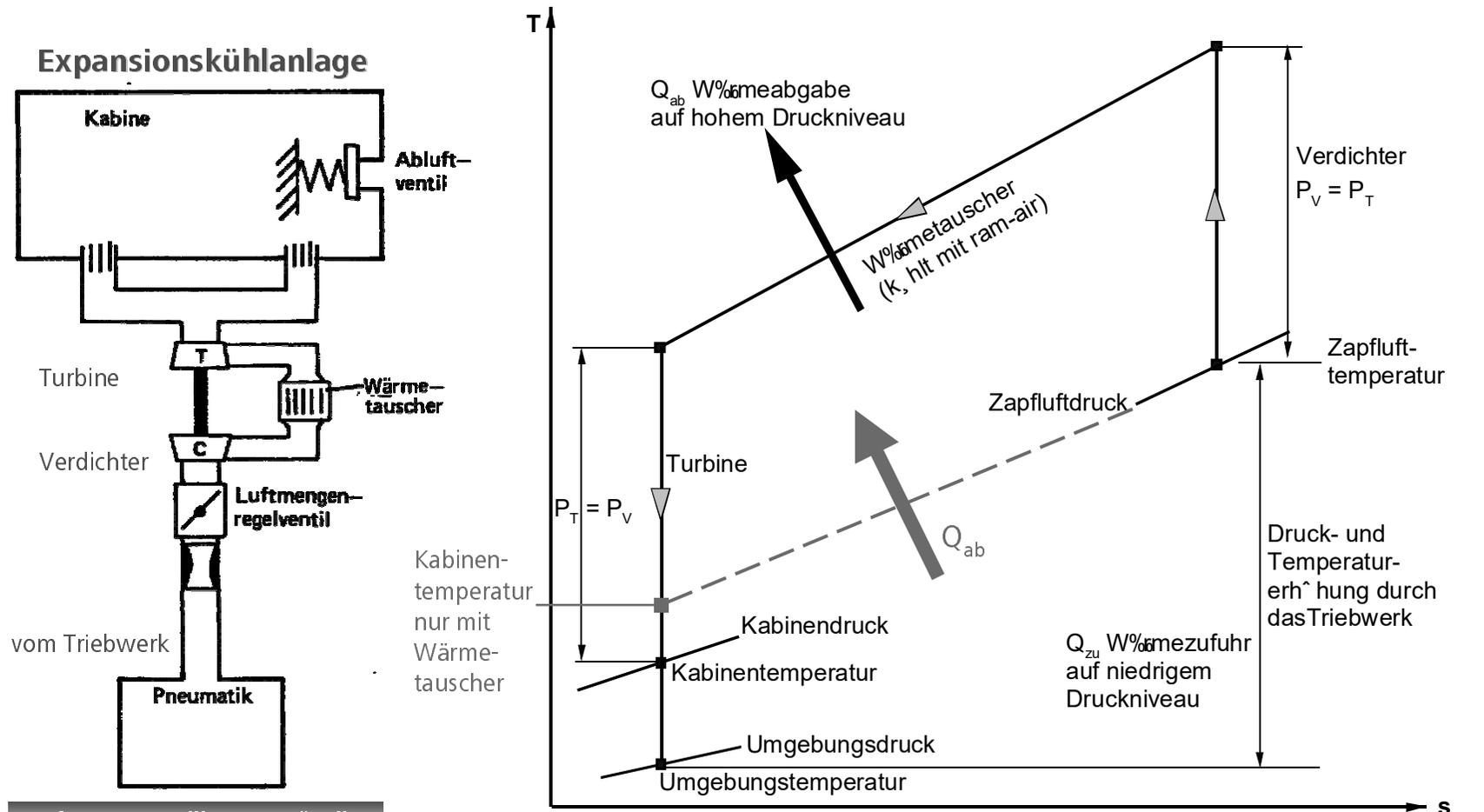
Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling





Klimatisierung im Flugzeug

der links-laufende Joule-Prozess (Kaltluft-Kälteprozess)

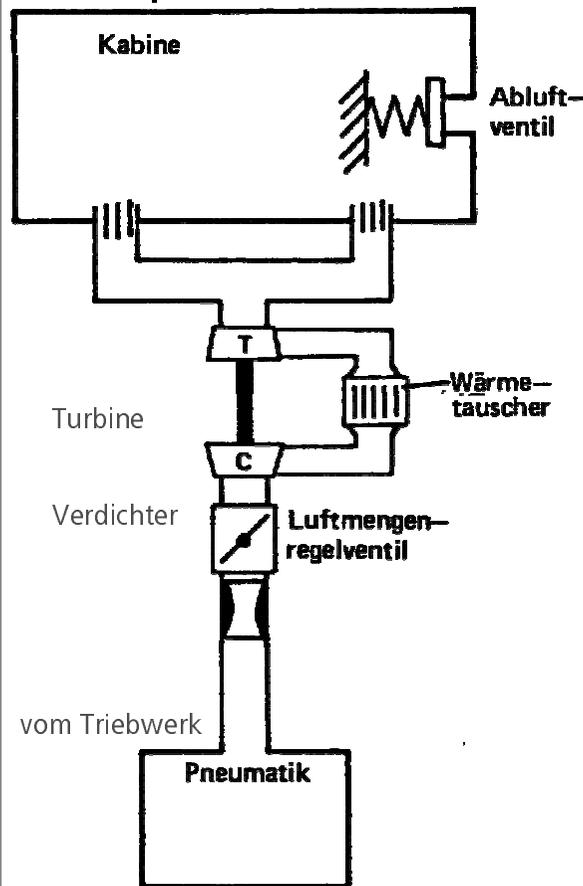


Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Klimatisierung im Flugzeug

Expansionskühlanlage



- Die Kühlwirkung der Turbine ist umso wirkungsvoller, je höher der Druck der ihr zugeführten Luft ist (*Prinzip der Kälteprozesse: Wärmeabfuhr auf möglichst hohem Druckniveau*).
- Der Temperaturabbau in der Turbine wird in Bewegungsenergie (Turbolenleistung P_T) gewandelt, die zum Antrieb des Verdichters genutzt wird: $P_T = P_V$. Verdichter und Turbine sitzen dazu auf einer gemeinsamen Welle.

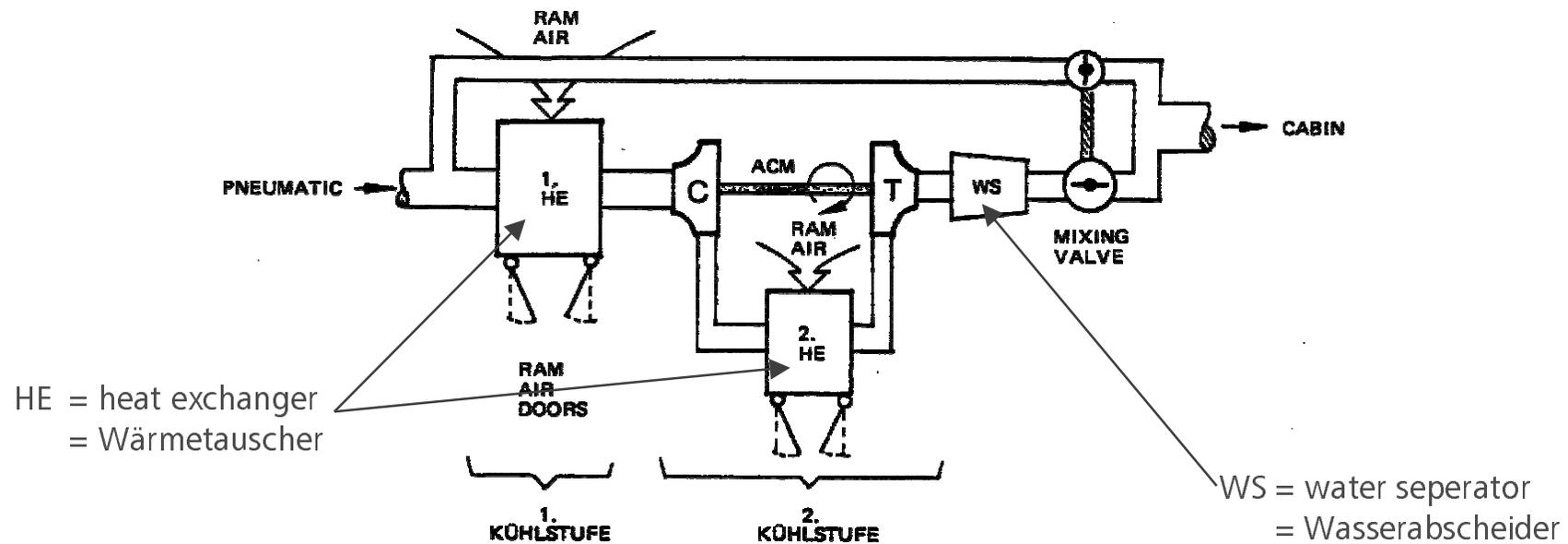
$$P_T = P_V = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T \quad \text{adiabat und reibungsfrei}$$

- Dieses Expansionsprinzip (*bootstrap air cycle system*) funktioniert nur dann (und funktioniert umso besser), wenn zwischen Kompressor und Turbine ein effektiver Wärmetauscher angeordnet ist, der die vom Kompressor kommende Luft abkühlt.
- Die Kühlluft ist Stauluft (*ram air*), die von der Atmosphäre kommt. Am Boden versorgt ein Gebläse den Wärmetauscher mit Außenluft.
- Die gesamte Kühlanlage nennt man *air conditioning unit* oder kurz einfach nur **PACK**.

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling

Klimatisierung im Flugzeug

Expansionskühlanlage

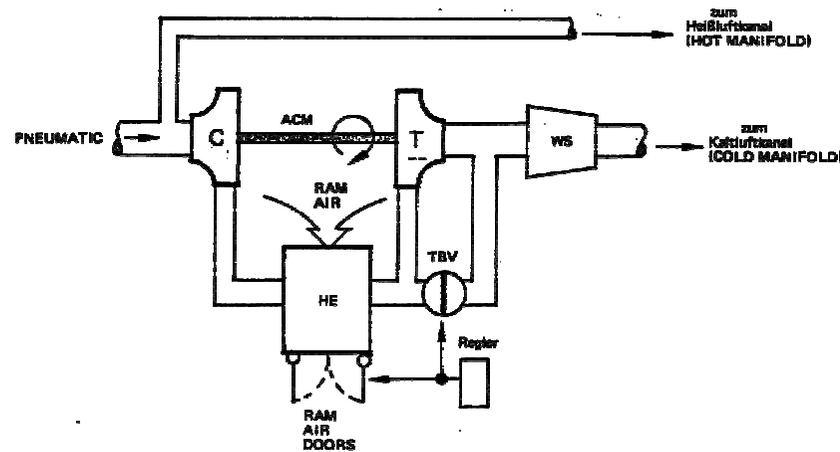
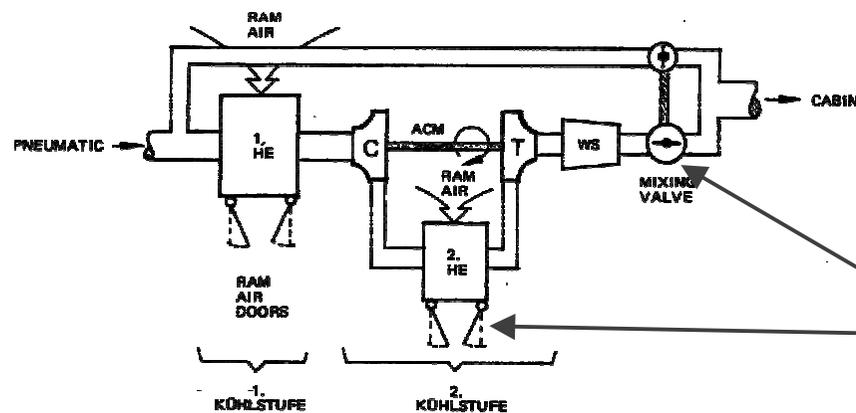


- Die Luftkühlung erfolgt praktisch immer in zwei Kühlstufen:
 - 1. Stufe: Wärmetauscher zum Vorkühlen der Luft
 - 2. Stufe: Kompressor/Wärmetauscher/Turbine zum weiteren Abkühlen (diesen Teil nennt man ACM = Air Cycle Machine)



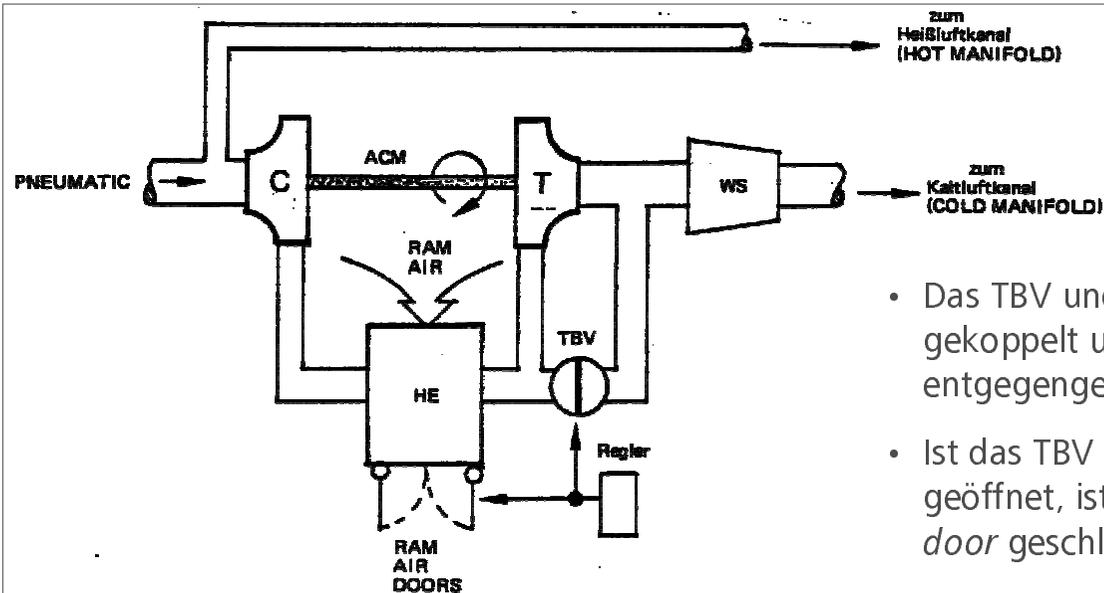
Klimatisierung im Flugzeug

Expansionskühlanlage



- Als Kühlmittel für die Wärmetauscher wird im Fluge Stauluft (*ram air*) verwendet, am Boden wird über ein Gebläse Atmosphärenluft angesaugt.
- Bei den meisten Anlagen sind sowohl die erste als auch die zweite Kühlstufe ständig in Betrieb, so dass die gewünschte Kühlwirkung durch Verstellen eines Mischventils (*mixing valve*) und/oder der Stauluftklappen (*ram air doors*) erzielt wird.
- Meist bei Großraumflugzeugen wird ein anderes Prinzip der Expansionskühlung angewendet.
- Diese Anlage besitzt kein Mischventil, dafür aber über ein Turbinenumgehungsventil (TBV = *turbine bypass valve*).
- Bei vielen dieser Anlagen entfällt auch der erste Wärmetauscher.

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Klimatisierung im Flugzeug

Expansionskühlanlage

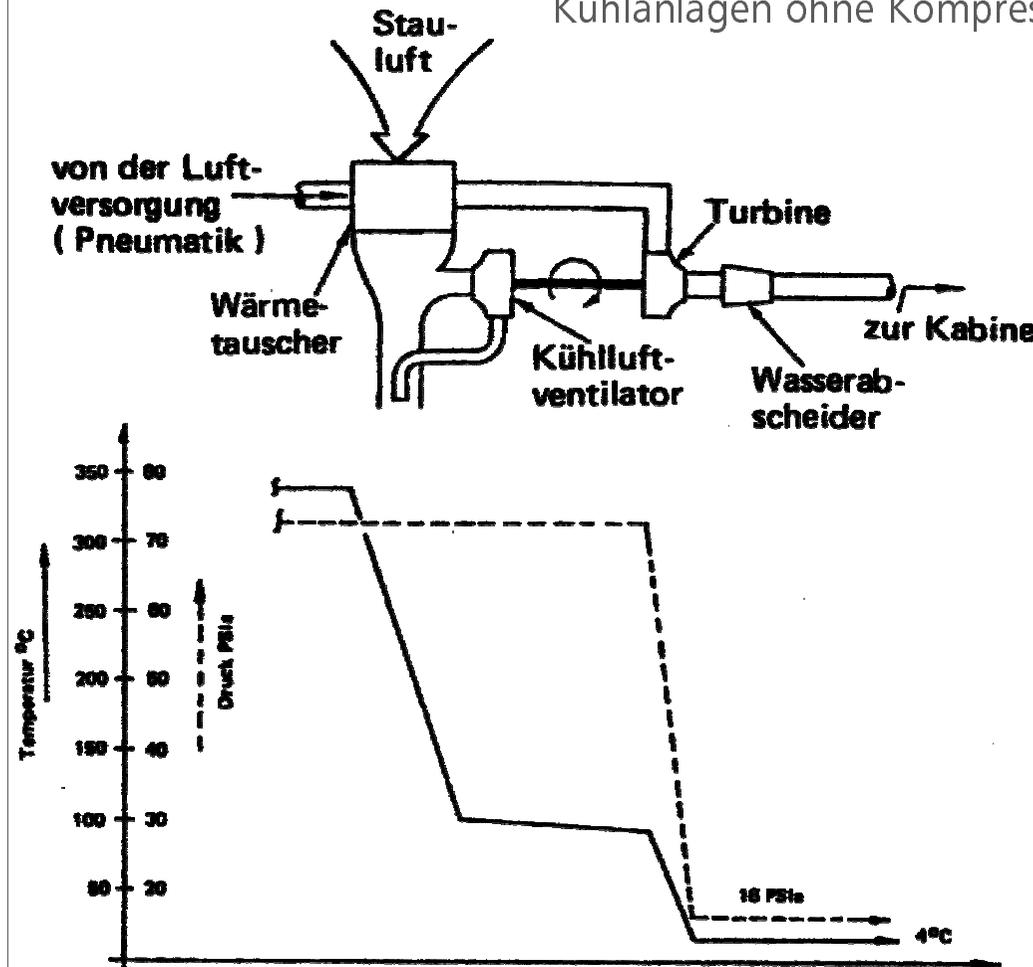
- Das TBV und die *ram air doors* sind miteinander gekoppelt und fahren bei der Regelung stets in entgegengesetzte Richtungen.
- Ist das TBV geschlossen, so sind die *ram air doors* geöffnet, ist das TBV offen, so sind die *ram air door* geschlossen.
- In der „voll kalt Position“ (ram air full open – TBV full close) wird die Luft der Druckluftanlage praktisch auf 2 °C abgekühlt (theoretisch wären –30 °C) möglich.
- In der „voll warm Position“ (ram air full close – TBV full open) dagegen wird die Luft der Druckluftanlage praktisch auf bis zu 40 °C aufgewärmt (theoretisch wären +80 °C) möglich.
- Durch automatisches Verstellen der *ram air doors* und des TBV kann somit jede Temperatur zwischen –30 °C und +80 °C im „cold manifold“ eingestellt werden.
- Eine individuelle Raumtemperatur in der Kabine (Zonentemperatur) dagegen erhält man, indem der Kaltluft gegebenenfalls etwas Heißluft beigemischt wird.

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Klimatisierung im Flugzeug

Kühlanlagen ohne Kompressorstufe



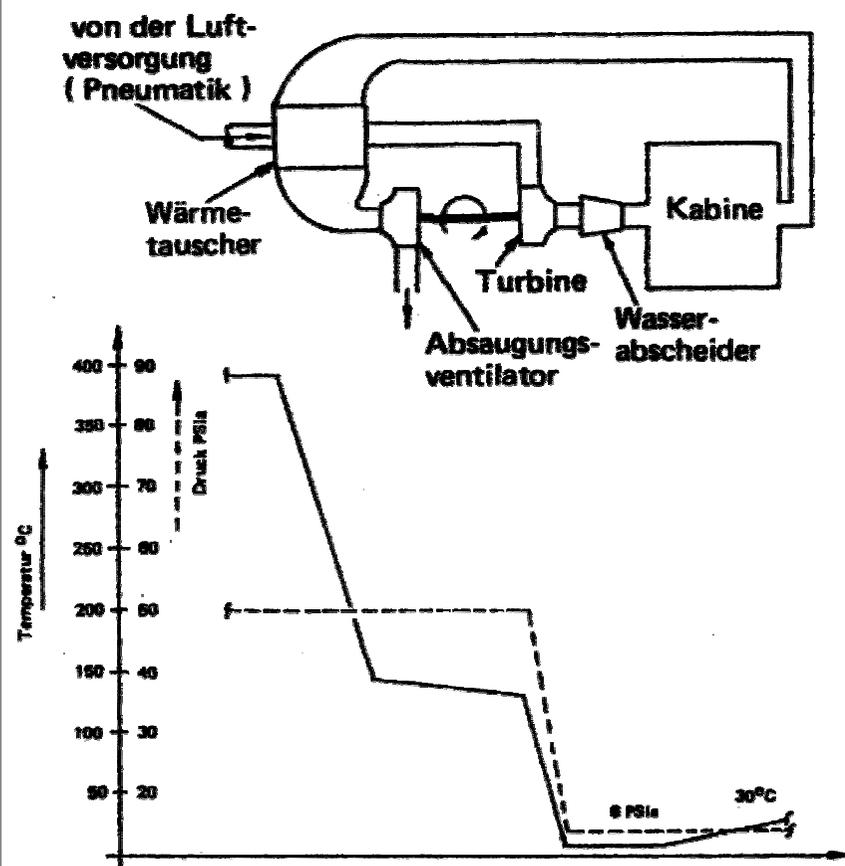
- Bei diesem System wird der Kompressor durch einen von der Turbine angetriebenen Ventilator ersetzt, der wie eine Strahlpumpe (Injektorprinzip) wirkt und so den Durchfluss durch den Wärmetauscher intensiviert und dadurch zu einer besseren Kühlung der Luft im Wärmetauscher beiträgt.
- Das System arbeitet auf einem höheren Druckniveau als andere Systeme (hier 73 psi bei sonst 35-50 psi)
- Der Wärmetauscheranteil an der Kühlung ist im Vergleich zur Turbine sehr hoch.
- Aufgrund des hohen Druckabbaus bewirkt die Turbine eine größere Temperaturabsenkung

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling

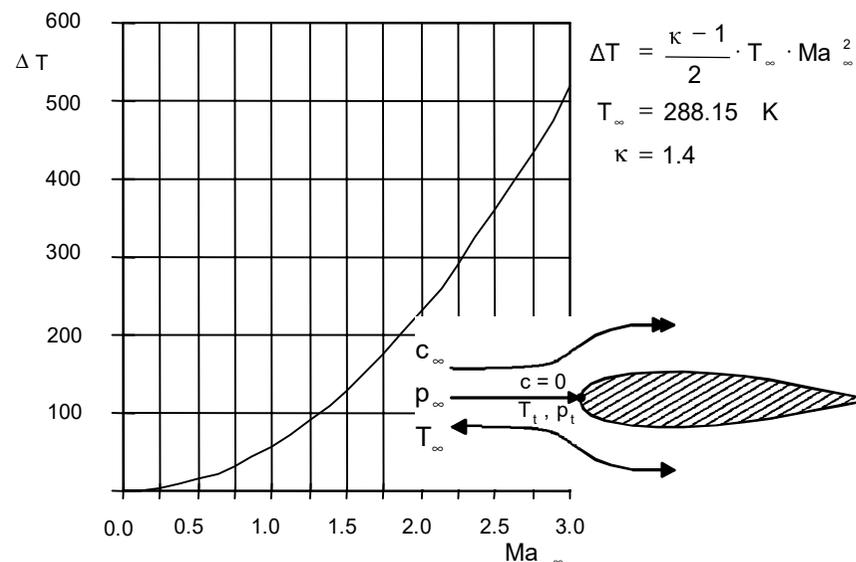


Klimatisierung im Flugzeug

Kühlanlagen in militärischen Überschallflugzeugen



- Im Überschallflug kann Stauluft nicht verwendet werden, da diese bei solch hohen Geschwindigkeiten zu stark erwärmt wird.



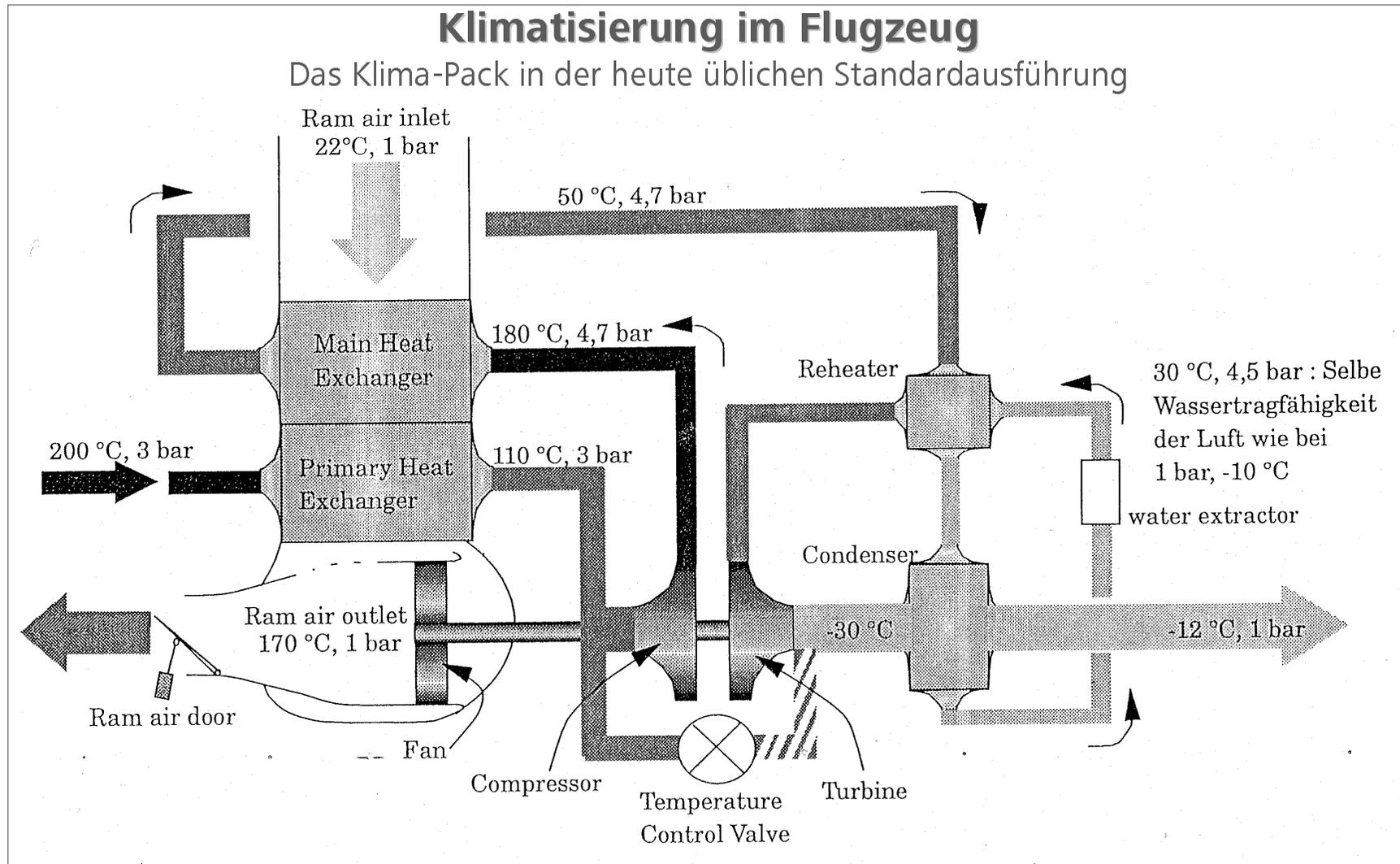
- Im Wärmetauscher wird deswegen Umluft aus der Kabine zur Kühlung verwendet, die von einem Absaugventilator angesaugt und anschließend in die Atmosphäre gefördert wird.

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Klimatisierung im Flugzeug

Das Klima-Pack in der heute üblichen Standardausführung

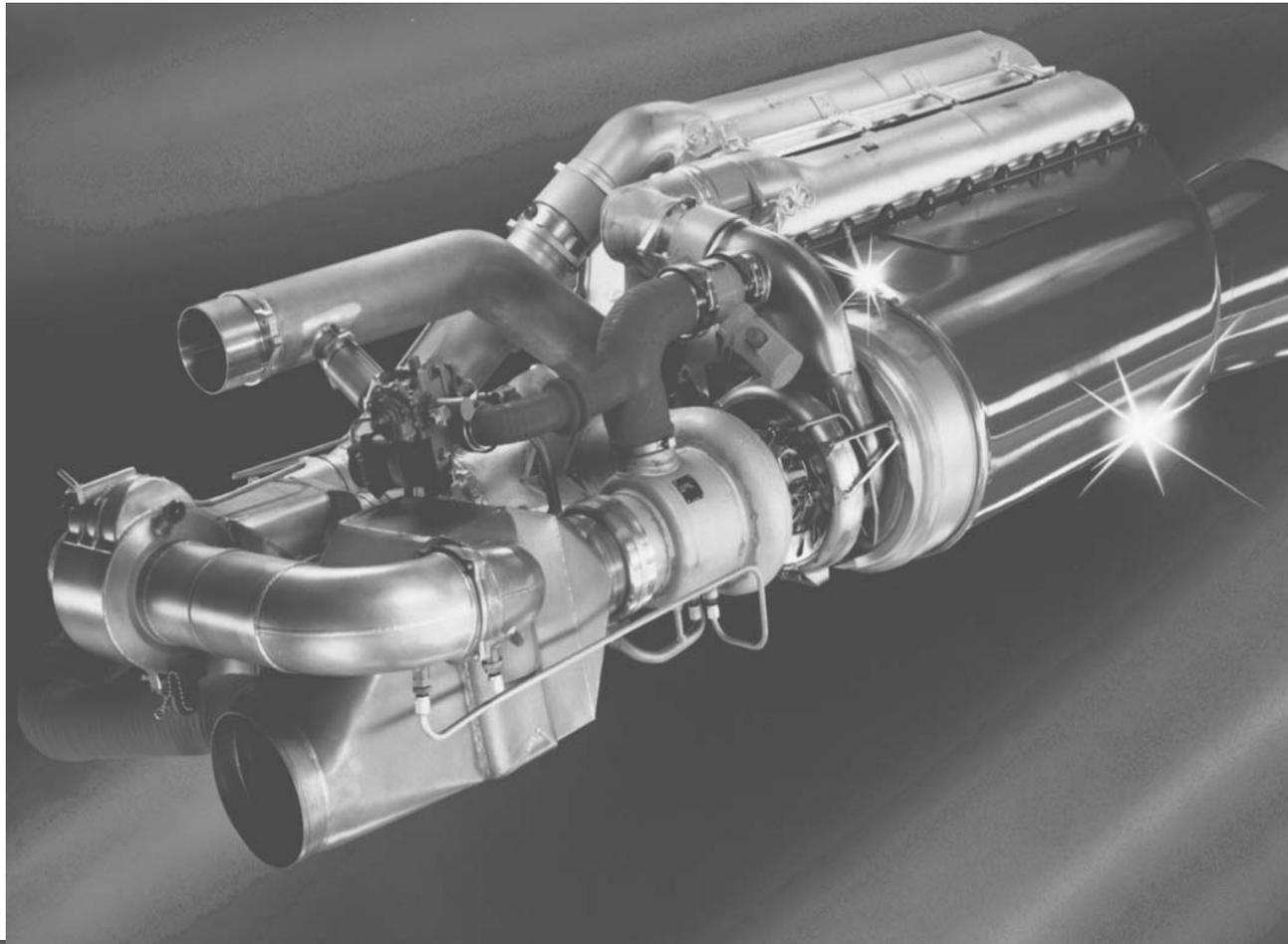


Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Klimatisierung im Flugzeug

The Pack



Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Klimatisierung im Flugzeug

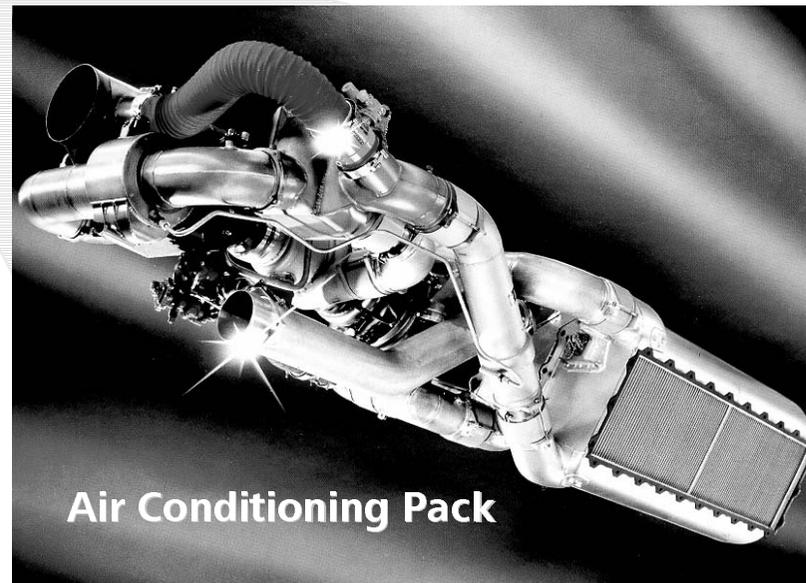
The Pack

Hauptaufgaben:

- liefert die Kabinendruckregelung
- liefert die Frischluft für die Passagiere
- kühlt die Zapfluft auf die gewünschte Temperatur
- Entzieht der Zapfluft die Feuchtigkeit

Charakteristika des Airbus A340 Pack:

Installation: vorderer Frachtraumbereich
Gewicht: ca. 180 kg
Max. Luftmenge: 1,65 kg/s
Lufttemperaturbereich: -50°C to + 50°C

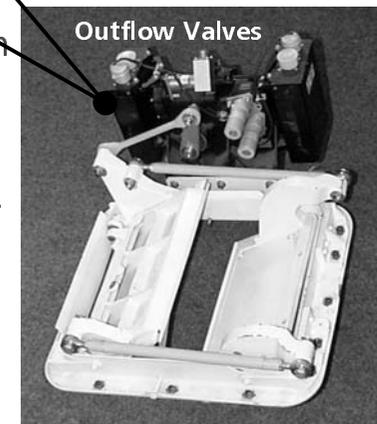
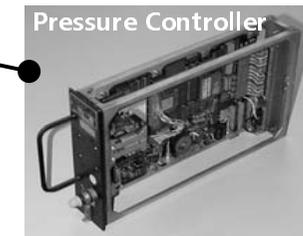


Air Conditioning Pack

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Klimatisierung im Flugzeug – der Kabinendruck



Hauptaufgaben:

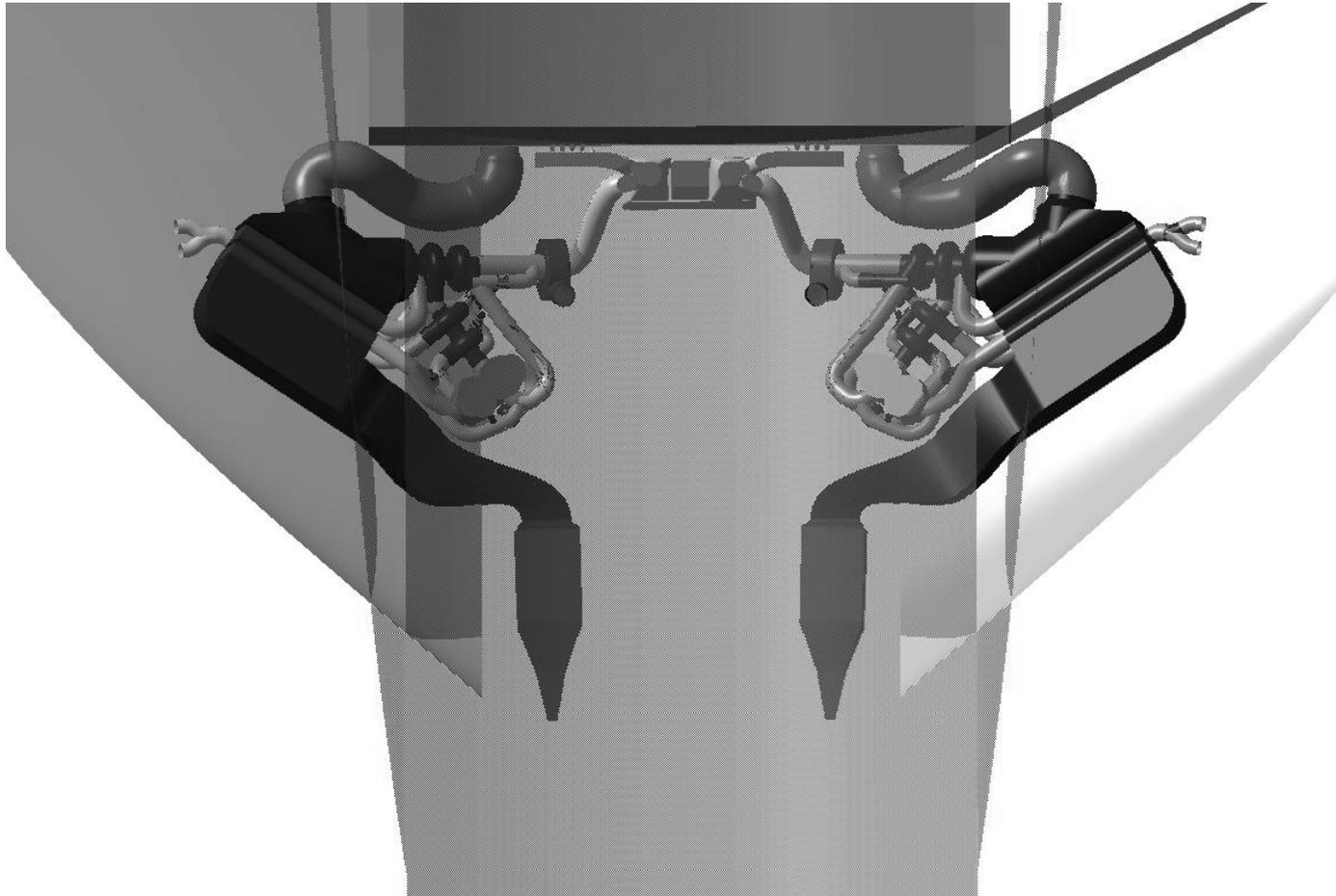
- Vollautomatische Kabinendruckregelung unter allen Flug- und Bodenbedingungen
- Kabinendruckregelung entsprechend der Atemluftefordernisse der Passagiere
- Kabinendruckbegrenzung zu Vermeidung von Strukturüberbelastungen
- Überwachen des Systemzustandes, um Fehler zu bemerken und entsprechend darauf zu reagieren.
- Bereitstellung von Redundanzen hinsichtlich der Sicherheiten bei Überdruck und negativen Differenzdrücken
- Kommunikation mit den anderen Flugzeugsystemen

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling

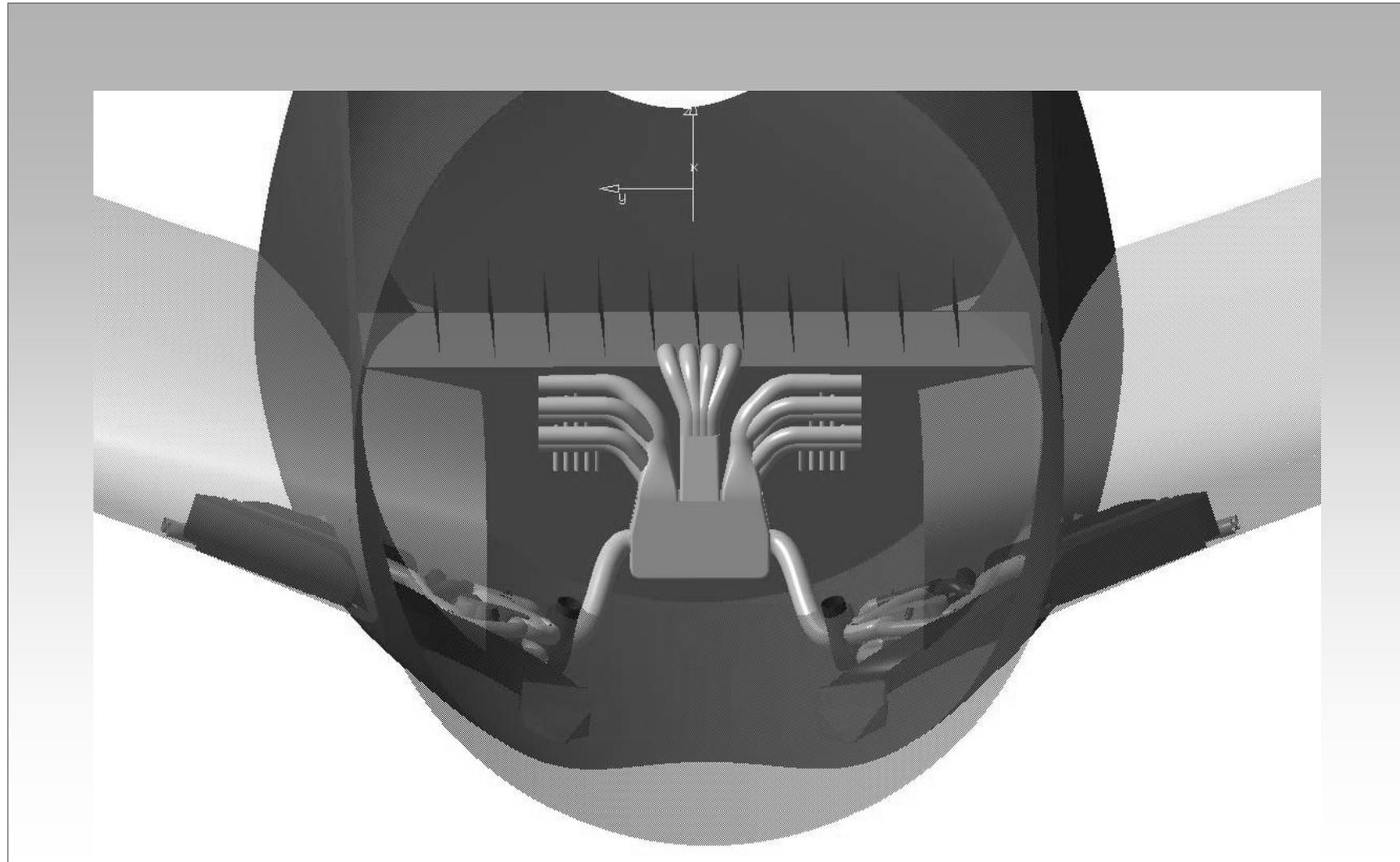


Klimatisierung im Flugzeug

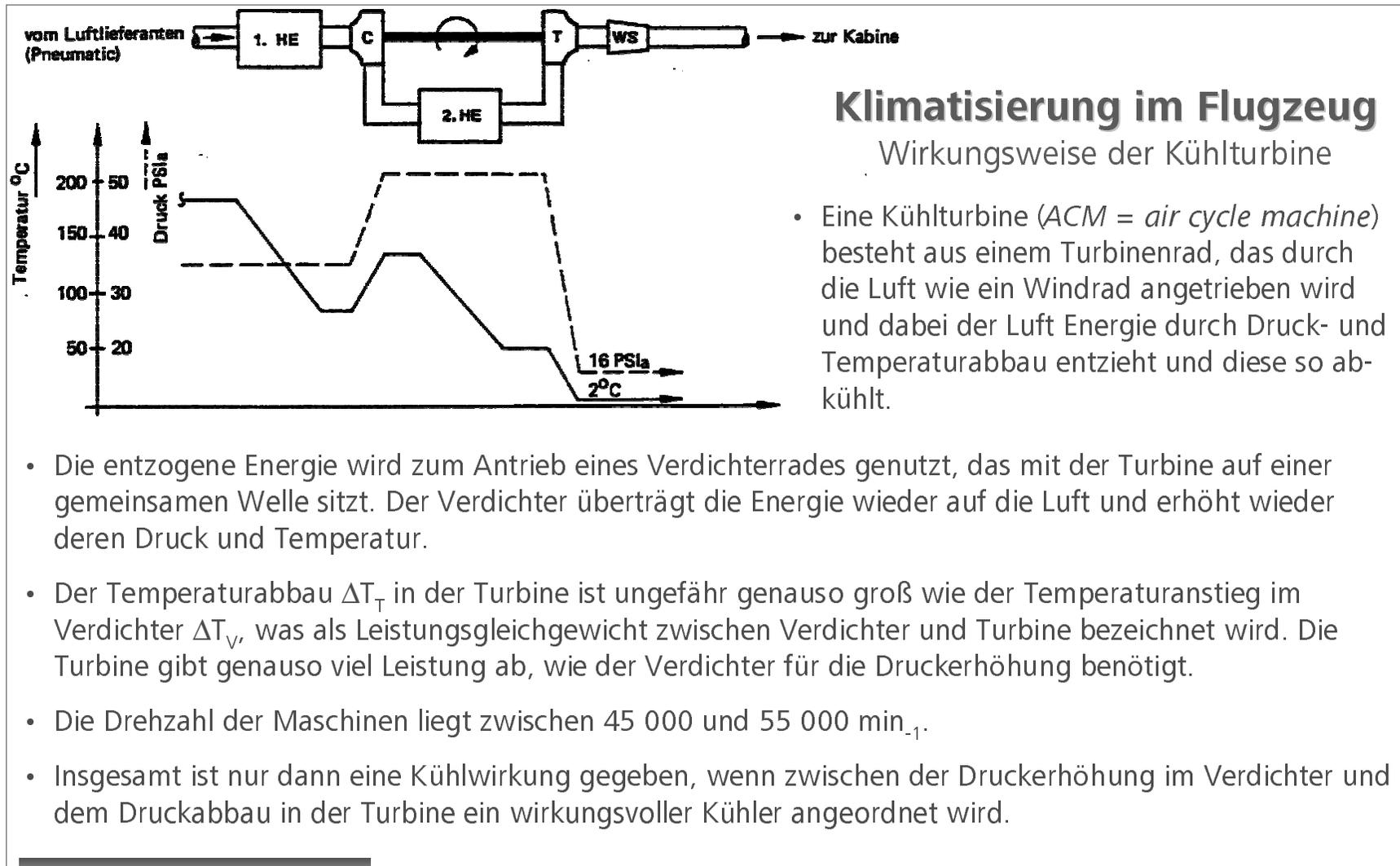
The Pack



Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Proj. Dr.-Ing. Willy J.G. Braunling

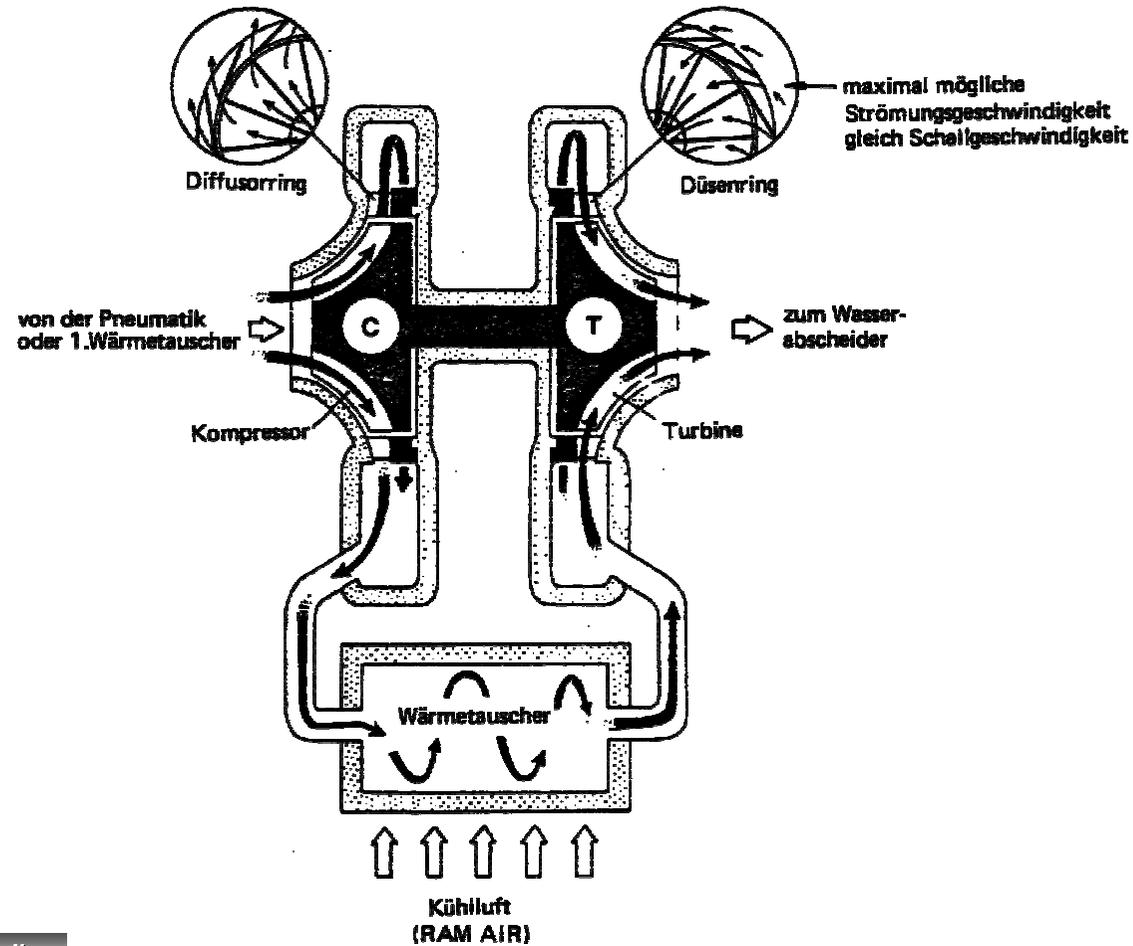


Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Klimatisierung im Flugzeug

Wirkungsweise und Luftverlauf durch eine Kühlturbine

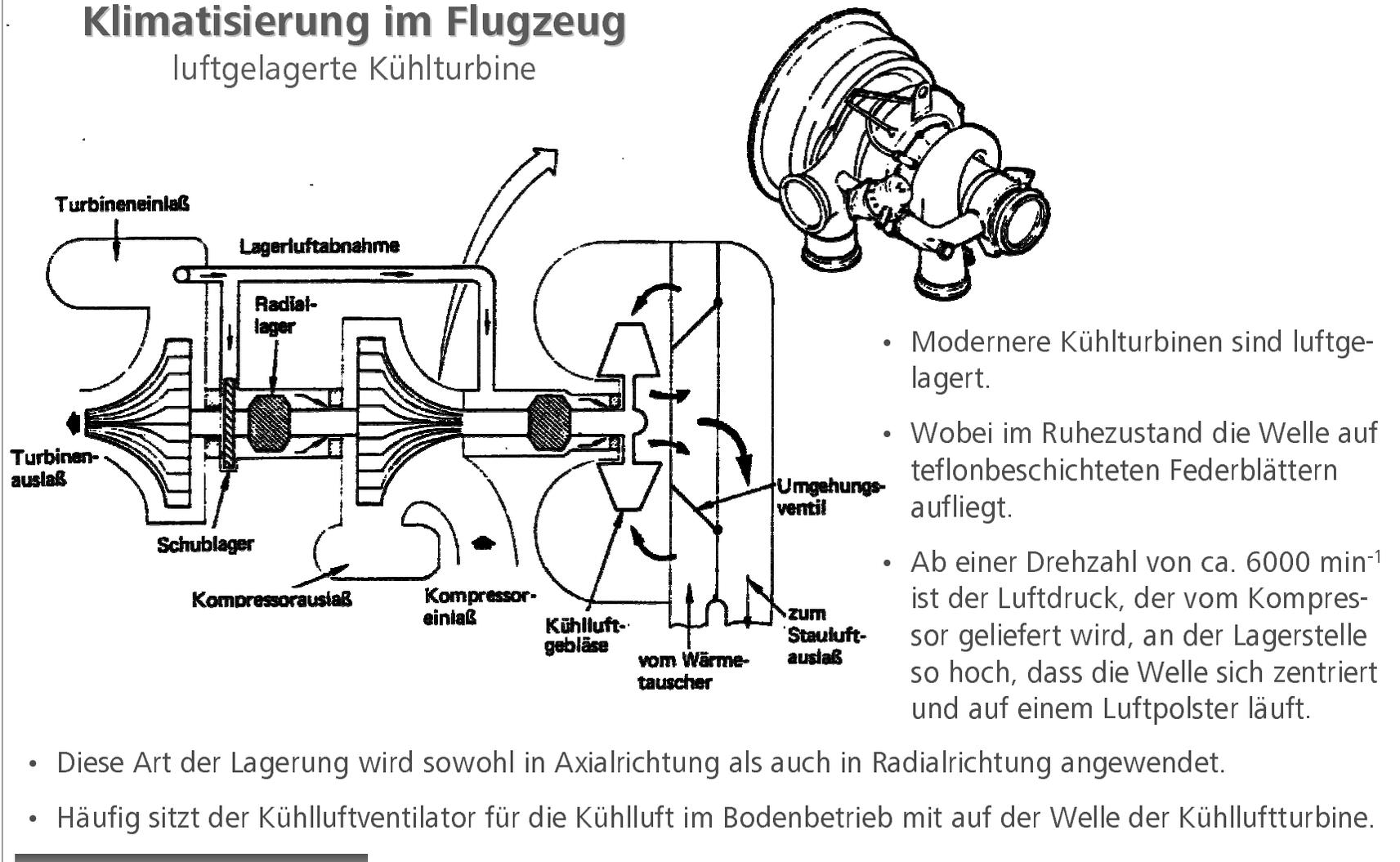


Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling

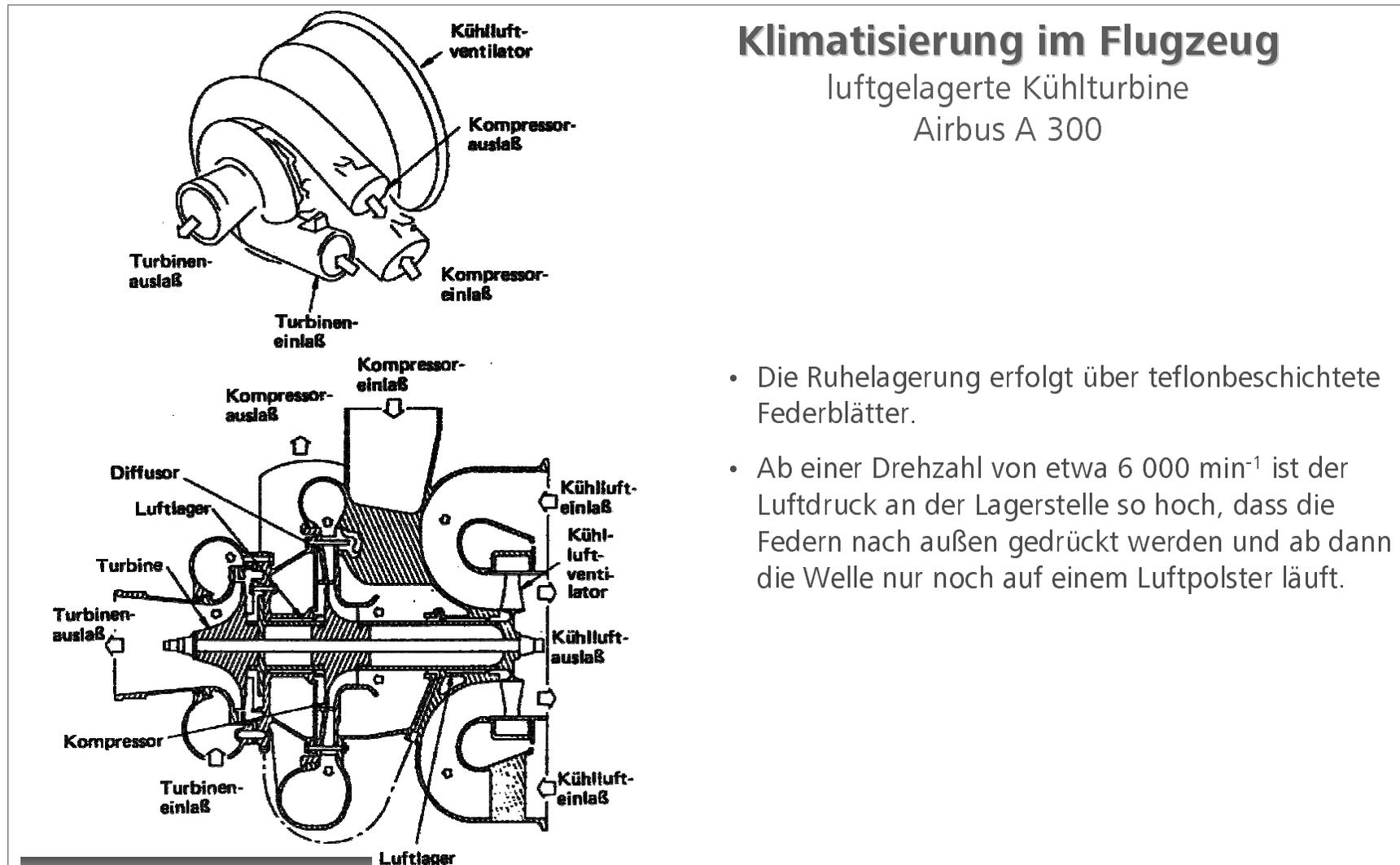


Klimatisierung im Flugzeug

luftgelagerte Kühlturbine



Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Klimatisierung im Flugzeug

luftgelagerte Kühlturbine

Airbus A 300

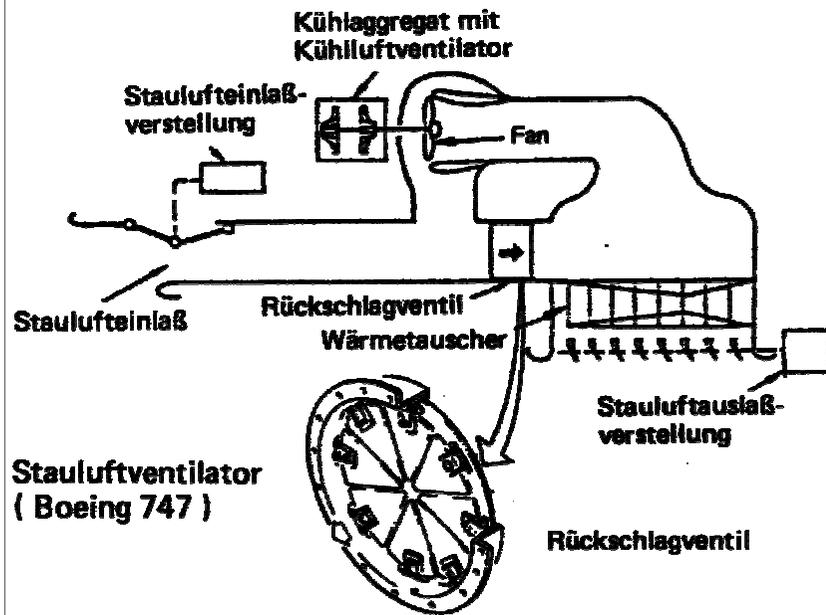
- Die Ruhelagerung erfolgt über teflonbeschichtete Federblätter.
- Ab einer Drehzahl von etwa $6\,000\text{ min}^{-1}$ ist der Luftdruck an der Lagerstelle so hoch, dass die Federn nach außen gedrückt werden und ab dann die Welle nur noch auf einem Luftpolster läuft.

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling

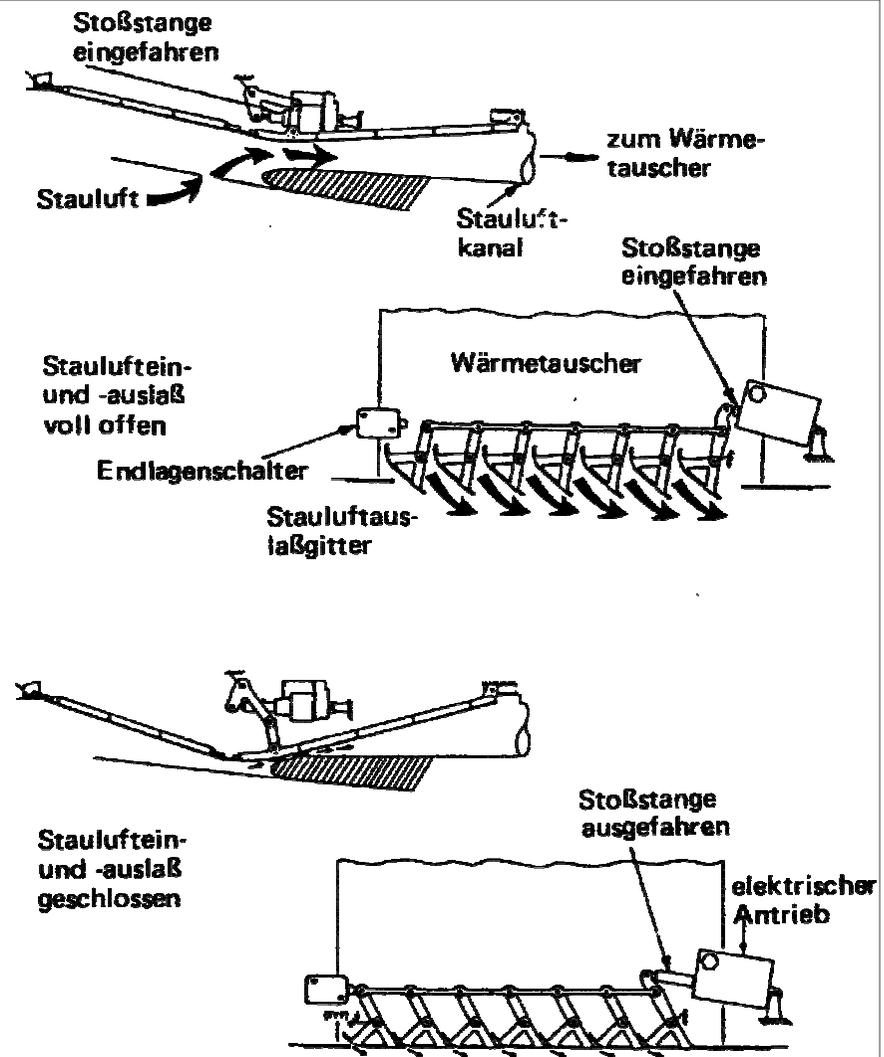


Klimatisierung im Flugzeug

Stauluftsteuerung



- Die Steuerung der Stauluft erfolgt entweder über
 - den Staulufteinlass
 - den Stauluftauslass
 - über gemeinsame Regelung von Ein- und Auslass

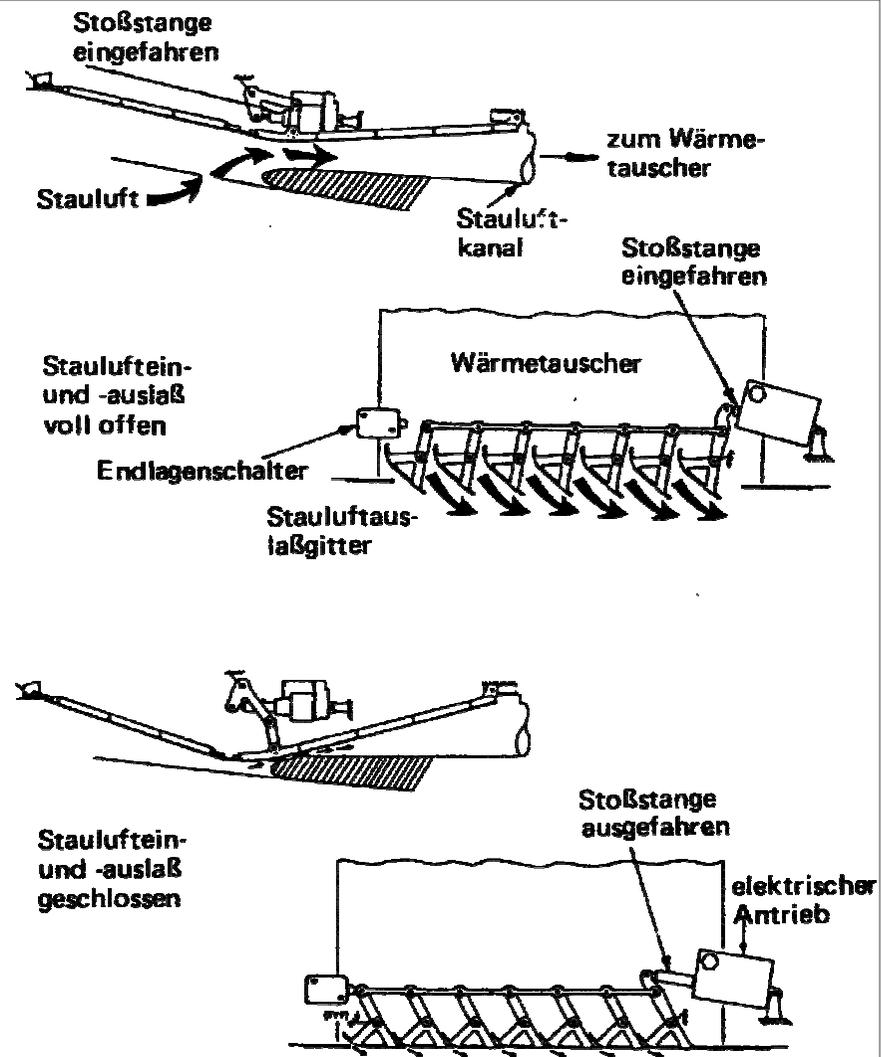


Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling

Klimatisierung im Flugzeug

Stauluftsteuerung

- Der Staulufteinlass besteht meist aus verstellbaren Klappen, die den Einströmquerschnitt verändern.
- Der Ausströmquerschnitt des Stauluftauslasses wird durch verstellbare Jalousienklappen verändert.
- Sind zwei Wärmetauscher im Kühlsystem enthalten, so werden sie von der Stauluft praktisch immer parallel durchströmt.
- Die Steuerung für den Ein- und Auslass erfolgt normalerweise in Abhängigkeit der Temperatur der zu kühlenden Luft. Dafür befindet sich im Strömungskanal hinter dem Wärmetauscher i.allg. ein Temperaturfühler.
- Häufig wird zusammen mit der Ein- und Auslassverstellung auch das Turbinenumgehungsventil gesteuert.
- Es gibt Flugzeuge, bei denen die Stauluftklappenverstellung auch manuell aus dem Cockpit heraus vorgenommen werden kann.

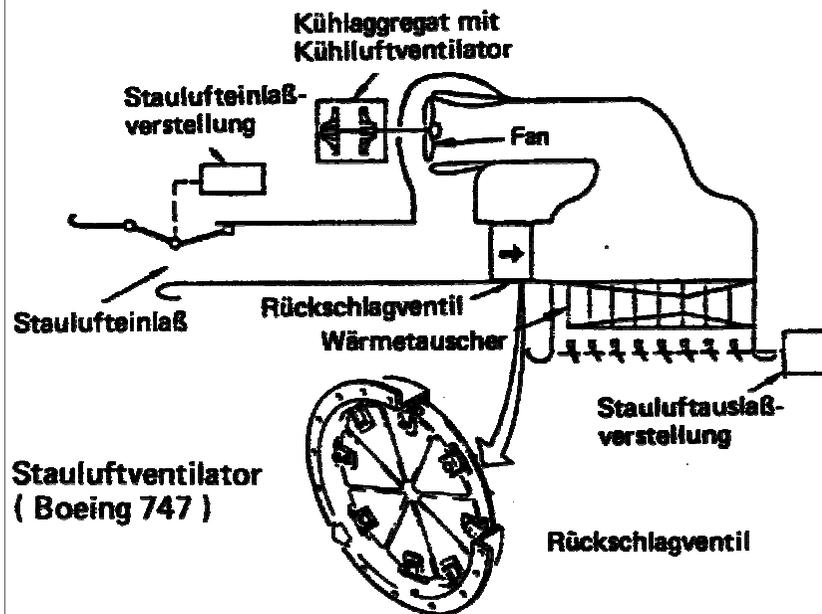


Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Klimatisierung im Flugzeug

Stauluftsteuerung

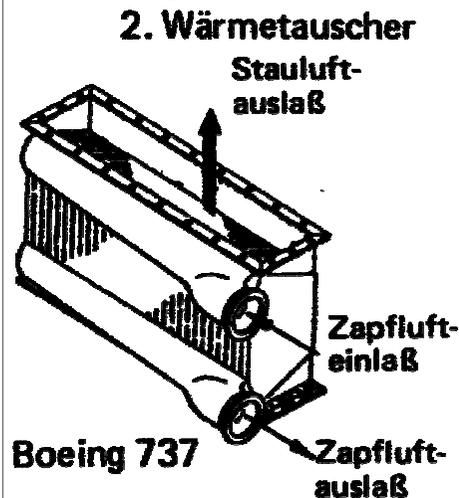


- Für den Bodenbetrieb oder während der Start- und Landephase saugt oder drückt ein Ventilator Kühlluft durch den/die Wärmetauscher.
- Wenn die Stauluft zusätzlich durch einen Ventilator, der sich auf der Welle der Kühlturbine befindet, durch den/die Wärmetauscher bewegt wird, so befindet sich in der Stauluftleitung noch ein zusätzliches Rückschlagventil, das ein Rückströmen der vom Ventilator bewegten Luft – in den Staulufteinlass hinein – verhindert.
- Es gibt auch Ventilatoren, die nicht auf der Welle des Kühlaggregats sitzen, und deswegen extern, d.h. elektrisch, hydraulisch oder pneumatisch angetrieben werden.

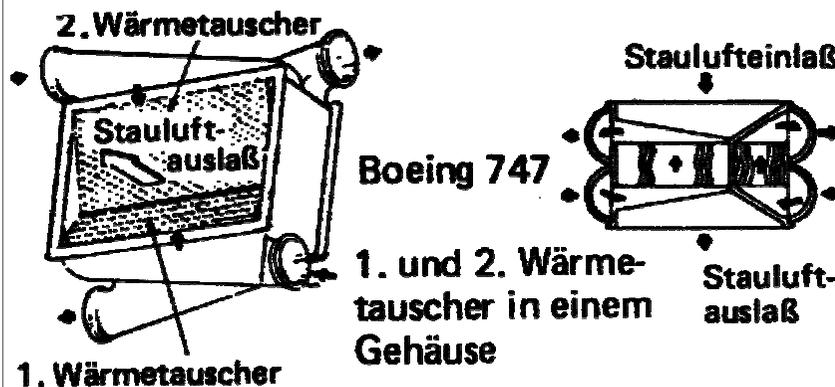
Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling

Klimatisierung im Flugzeug

Wärmetauscher



- Wärmetauscher sind sehr verschieden aufgebaut. Sie bestehen i.allg. aus einem Metallgehäuse in das entweder Röhren oder Kanäle eingebaut sind, durch die die zu kühlende Luft strömt.
- Quer (Kreuzstrom) oder entgegengesetzt parallel (Gegenstrom) dazu strömt die Kühlluft (Stauluft – *ram air*) um die Röhren/Kanäle herum und führt so die Wärme durch Konvektion ab.
- Der Wärmetauscherwirkungsgrad kann 80 bis 90 % erreichen, das heißt, dass die zu kühlende Luft auf eine Temperatur gebracht wird, die um 10 bis 20 % über der Temperatur der Kühlluft liegt.



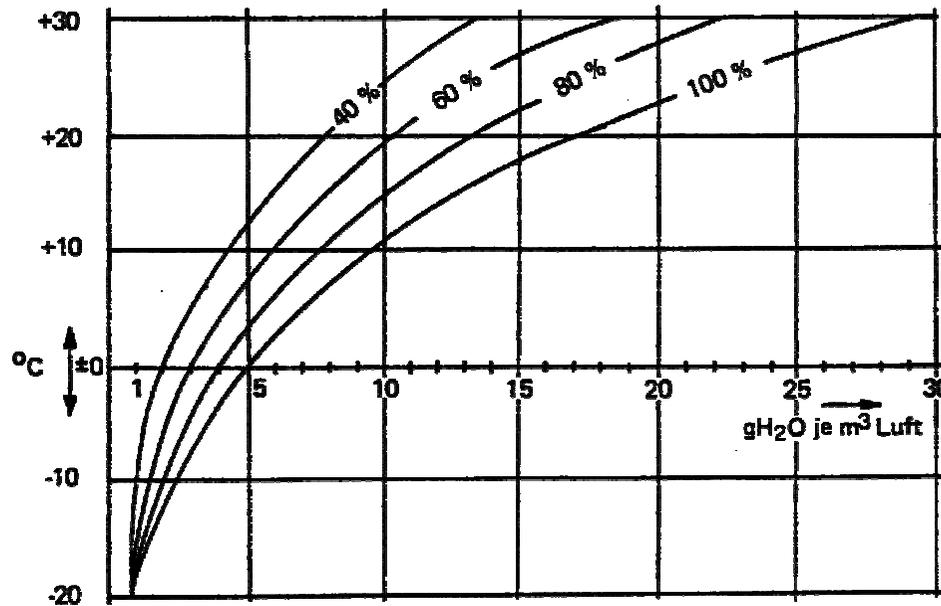
- Die Wärmetauscherwirkungsgrade verschlechtern sich merklich, wenn es im Staulufteinlass zu Verschmutzungen, Eisansatz oder ähnlichem kommt.
- Es gibt Sonderausführungen von Wärmetauschern bei denen anstelle von Stauluft Kraftstoff benutzt wird (Concorde).



Klimatisierung im Flugzeug Wasserabscheidung

Mit Wasserdampf gesättigte Luft enthält folgende Mengen Wasser in 1 m^3
 (bezogen auf Normaldruck) :

°C	-20	-10	±0	+10	+20	+30
$\frac{\text{gH}_2\text{O}}{\text{je m}^3}$	1,0	2,3	4,9	9,3	17,2	30,0



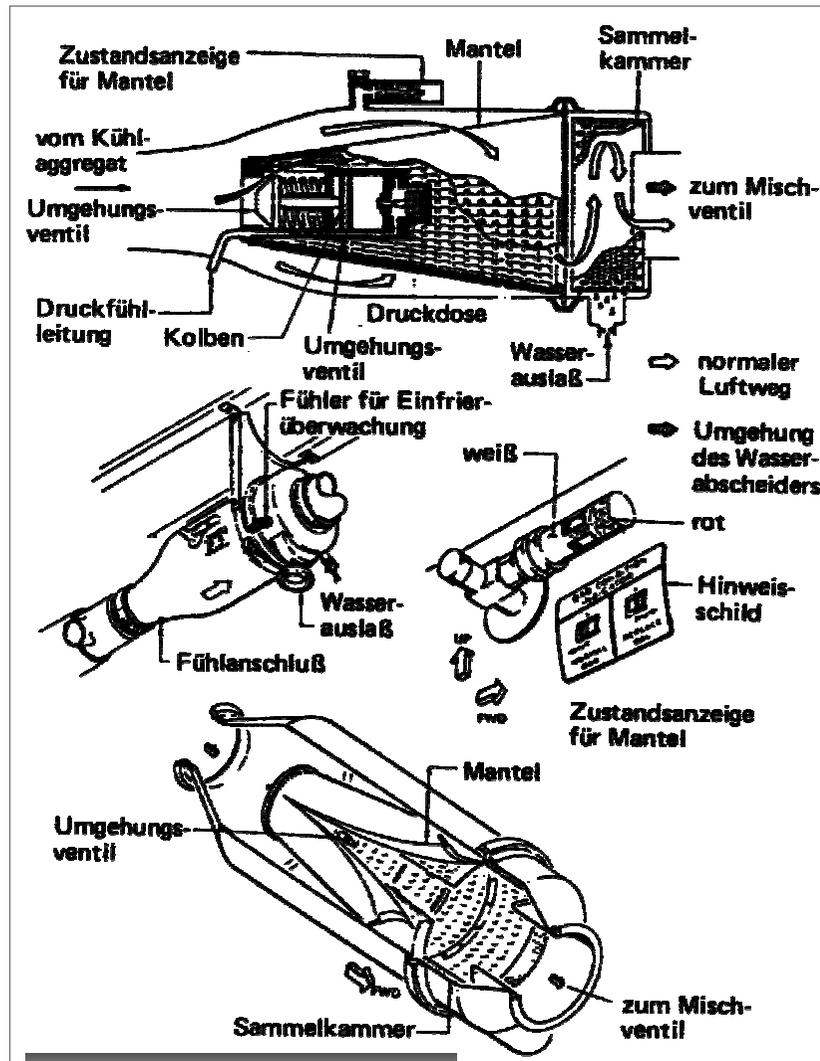
- Luft besitzt die Eigenschaft Feuchtigkeit aufzunehmen und sie als Wasserdampf zu speichern.
- Die Menge des aufgenommenen Wasserdampfes ist direkt abhängig von der Lufttemperatur.

Beispiel:

Bei +30 °C kann die Luft maximal 30g Wasser pro m^3 Luft aufnehmen.
 Dagegen bei 0 °C nur maximal 5 Gramm.

- Andererseits kann die Luft überschüssige Feuchtigkeit abgeben, falls die Temperatur unter den Sättigungswert sinkt.
- Die Sättigungstemperatur ist die Temperatur, bei der die Luft zu 100 % mit Wasserdampf gesättigt ist.
- In einer Klimaanlage wird die Luft das meiste Wasser dort abscheiden, wo sie am kältesten ist.

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling

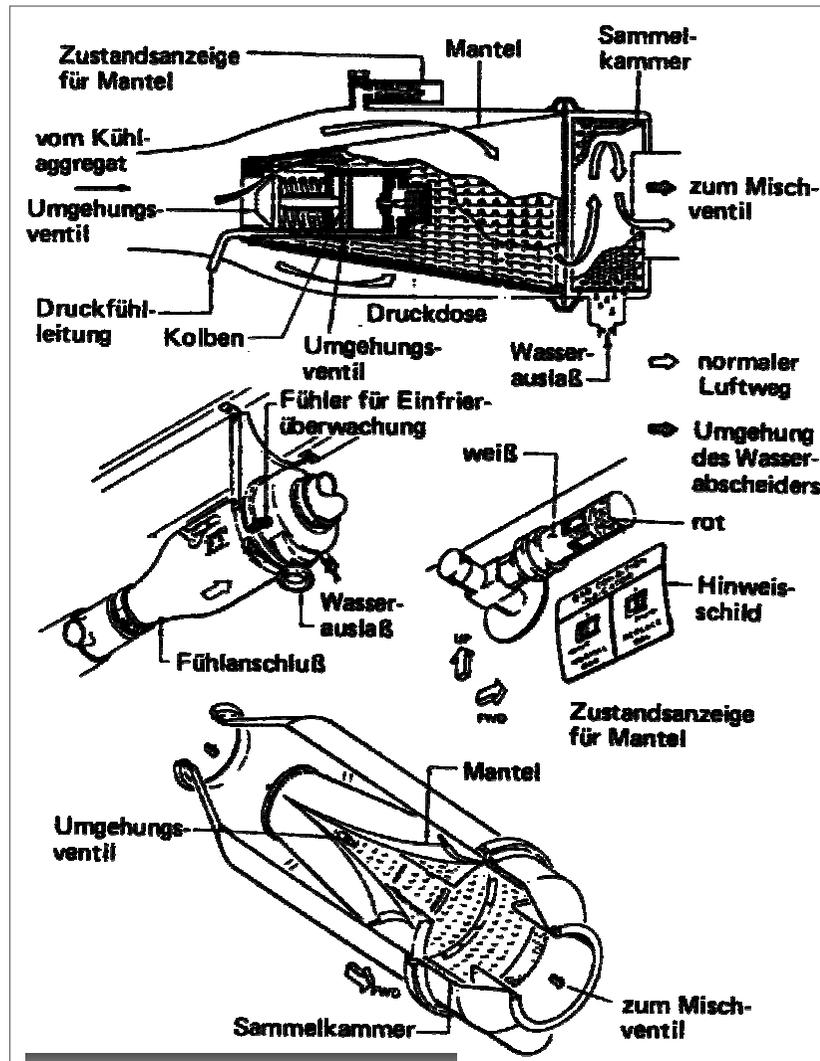


Klimatisierung im Flugzeug

Wasserabscheidung

- In den meisten Klimaanlage befindet sich am Auslass des Kühlaggregats (kältester Teil des Systems) ein Wasserabscheider, da hier die meiste Feuchtigkeit anfällt.
- Im Wasserabscheider wird die Luft durch einen stoff-ähnlichen Mantel und durch schräg stehende Schaufeln geleitet, dabei die Luft in eine drehende Bewegung versetzt und so schließlich die Feuchtigkeitsteilchen aus der Luft heraus zentrifugiert.
- Das Wasser sammelt sich in einem Auffangbereich und wird von hier aus entweder
 - nach außenbords geleitet oder
 - über Rohrleitungen zum Staulufteinlass vor dem Wärmetauscher geleitet, wo es die Kühlwirkung unterstützen soll.
- Sollte der Wasserabscheider verschmutzt oder vereist sein, so garantiert ein Überdruckventil im Zentrum des Wasserabscheiders die Luftversorgung zur Kabine.

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Klimatisierung im Flugzeug

Wasserabscheidung

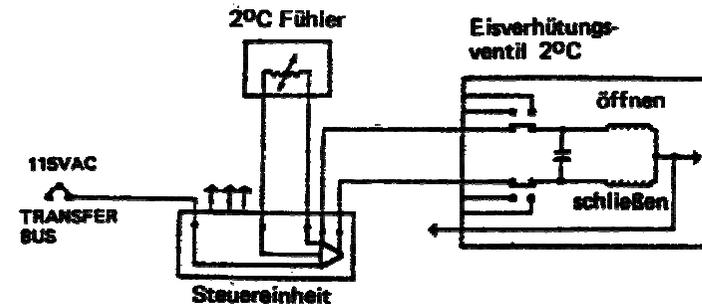
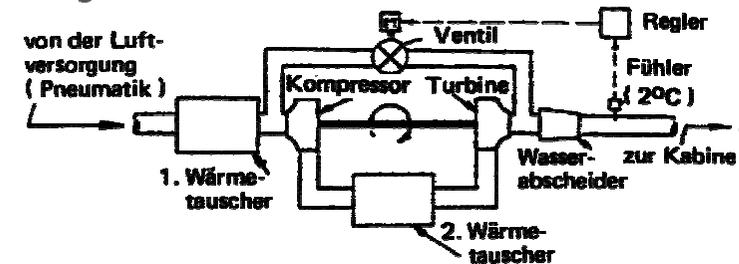
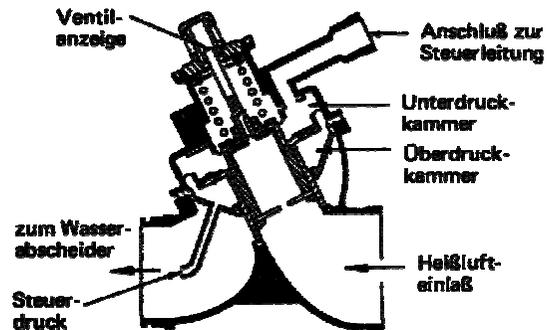
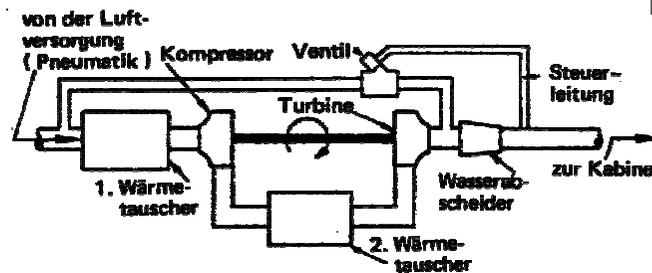
- In manchen Wasserabscheidern befinden sich ein Umgehungsventil, das ab einer Flughöhe von ca. 7000 m anspricht. Das Ventil lässt die Luft durch den Abscheider, ohne dass dieser aktiv arbeitet, da in solchen Flughöhen das in der Luft enthaltene Wasser ohnehin gering ist.
- Am Gehäuse des Wasserabscheiders befindet sich eine Anzeige, die Auskunft über die Verschmutzung des Stoffmantels gibt, indem es den Differenzdruck zwischen Ein- und Auslass des Wasserabscheiders ausnutzt.
- Damit der Wasserabscheider nicht einfrieren kann, wird zusätzlich etwas wärmere Luft zugeführt, sobald am Ausgang des Wasserabscheiders weniger als etwa +2 °C Lufttemperatur herrschen.

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Klimatisierung im Flugzeug

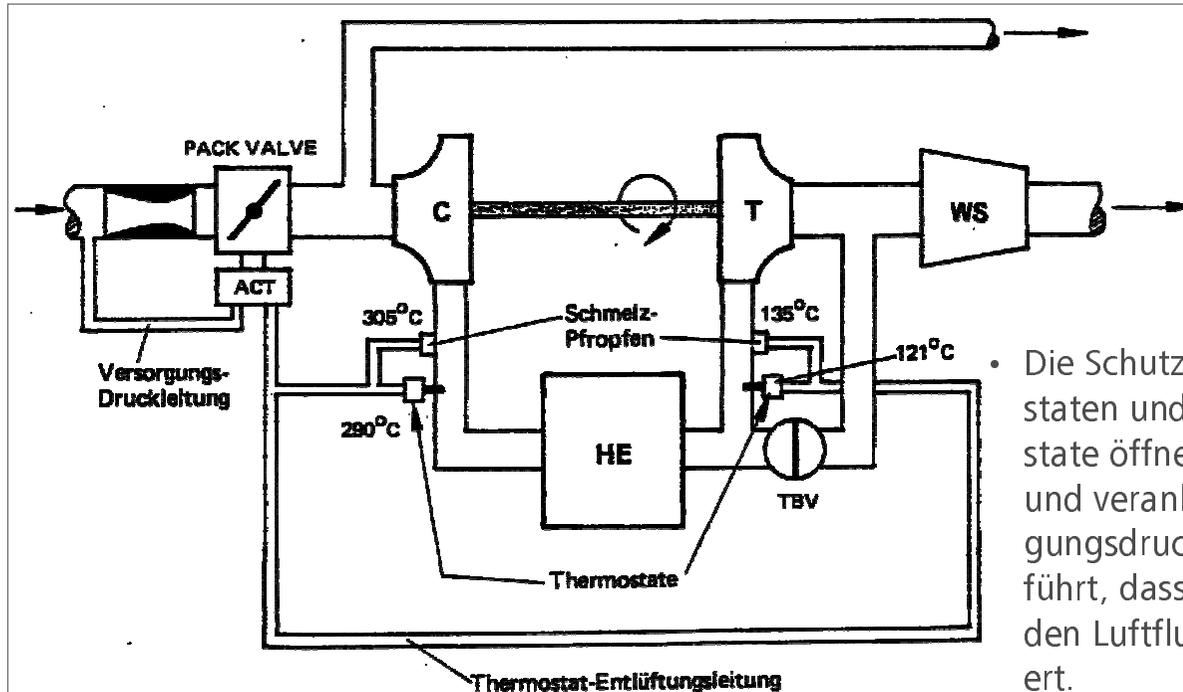
Einfrierüberwachung



- Bei beginnender Vereisung im Wasserabscheider wird zwischen Aus- und Einlass ein höherer Differenzdruck auftreten. Über den Druck in der Steuerleitung wird das pneumatisch betätigte Ventil öffnen und lässt dadurch wärmere Luft zum Wasserabscheider gelangen und so Vereisung verhindern.

- Die Normalposition des Ventils ist immer teilweise geöffnet, so dass die Temperatur hinter dem Wasserabscheider ständig 2 bis 4 °C beträgt. Sinkt dort die Temperatur unter diesen Wert, so lässt ein elektronischer Regler das Ventil weiter auffahren, steigt die Temperatur, so lässt er es weiter schließen.

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Klimatisierung im Flugzeug Überhitzungsschutz

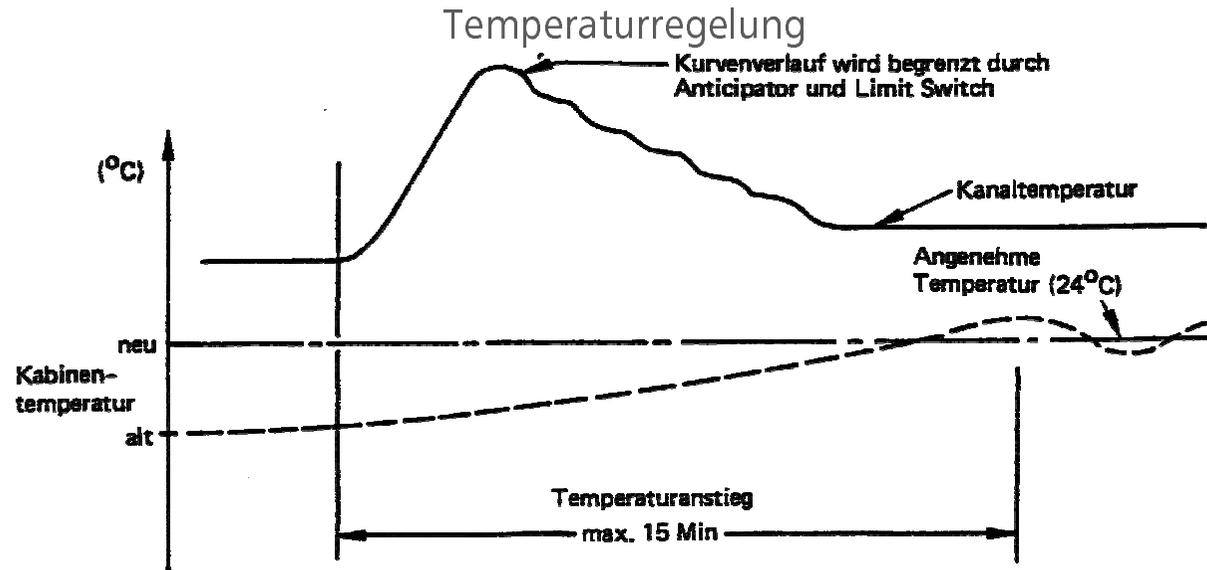
- Alle Expansionskühlanlagen besitzen eine Schutz-einrichtung, deren Aufgabe es ist, die gesamte Anlage zu sperren, wenn übermäßig hohe Temperaturen auftreten.
- Ursächlich hierfür sind meist verschmutzte und/oder ungenügend kühlende Wärmetauscher.

- Die Schutz-einrichtung besteht aus Thermo-staten und aus Schmelzstopfen. Die Thermo-state öffnen bei bestimmten Temperaturen und veranlassen eine Belüftung der Versor-gungsdruckleitung am Pack-Valve, was dazu führt, dass das Ventil weiter schließt und so den Luftfluss durch die Kühlanlage verringert.
- Die Schmelzpfropfen (*fuse plugs*) sprechen an, wenn die Thermostate versagen bzw. wenn die Temperaturen am Kompressoraus-lass oder Turbineneinlass weitersteigen und bestimmte Grenzwerte überschreiten. Spre-chen die Schmelzpfropfen an, wird die ge-samte Kühlanlage abgeschaltet.

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Klimatisierung im Flugzeug

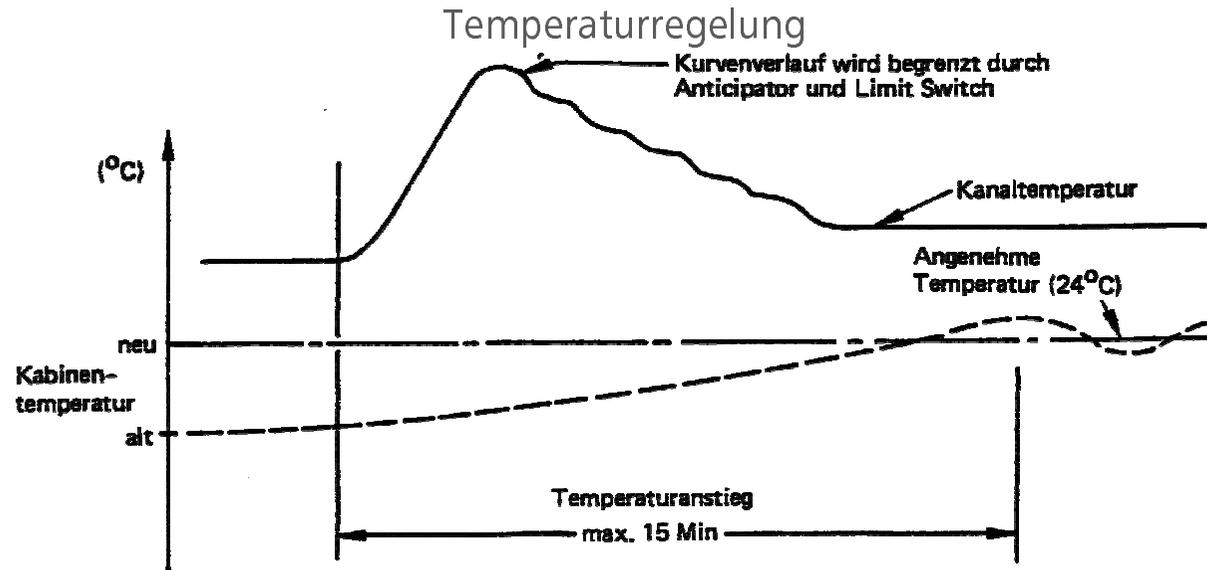


- Das Herstellen von Behaglichkeitstemperaturen in der Kabine und im Cockpit wird durch das Mischen von Warmluft aus der Pneumatik mit Kaltluft aus der Kühlanlage (*packs*) erreicht.
- Grundsätzlich ist im stabilisierten Zustand der Temperaturregelanlage die Temperatur im Zuluftkanal zur Kabine immer höher als die Temperatur in der Kabine selbst.
- Wird z.B. eine Temperaturerhöhung von 2 °C gewünscht, so sorgt die Regelanlage zusammen mit einer Steuereinheit für die Verstellung der Ventile. Dabei wird ein nahezu sprunghafter Anstieg (max. 60 °C) der Zuluftkanaltemperatur herbeigeführt, um schließlich nach 10 bis 15 Minuten Regelzeit einen stabilisierten Zustand zu erreichen.

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Klimatisierung im Flugzeug



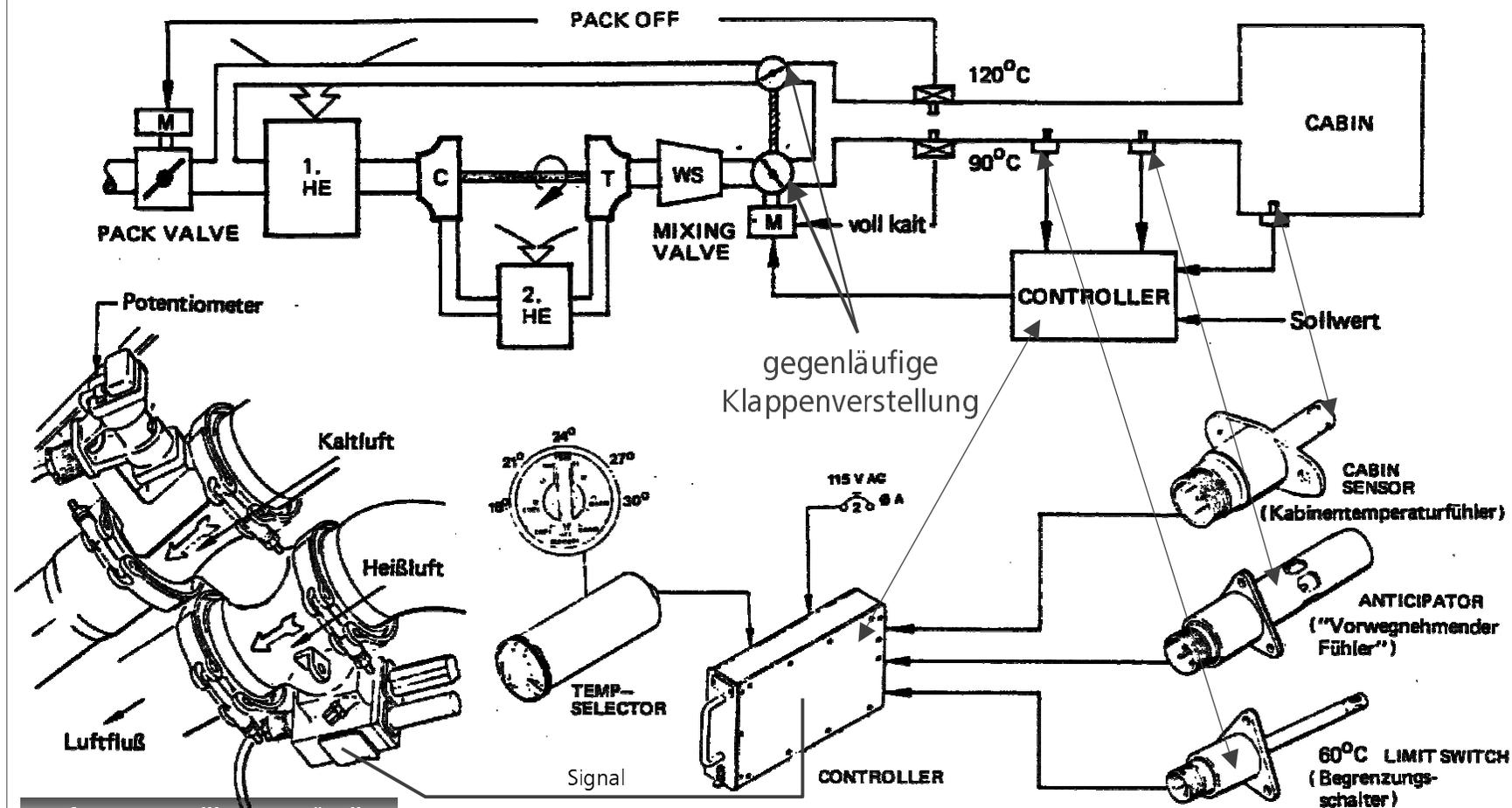
- Um eine möglichst schnelle Regelung auf die gewünschte Kabinentemperatur zu erreichen ohne die gewünschte Temperatur selbst zu überschreiten, wird in der Kabinenzuleitung ein sog. *anticipator* installiert. Dies ist ein Temperaturfühler, über den die in der Kabine zu erwartende Temperatur vorgeschätzt wird.
- Für die Eingrenzung der Ausgangstemperatur ist zusätzlich noch ein Begrenzungsschalter (limit switch) eingebaut, der die Temperatur in der Kabinenzuleitung auf maximal 60 °C einschränkt.
- Aus diesen Signalen, die zum Regler geleitet werden, wird das Stellsignal für das Mischventil gebildet und dessen Stellmotor zugeleitet.

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Klimatisierung im Flugzeug

Mischen von Kalt- und Warmluft durch das Verstellen eines Mischventil (*mixing valve*)

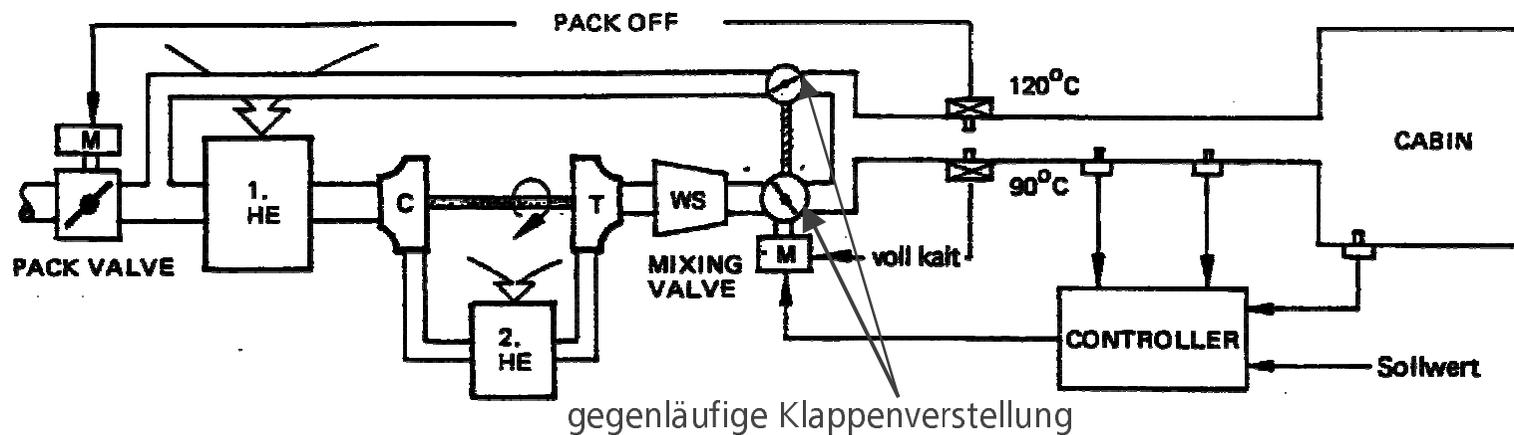


Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Klimatisierung im Flugzeug

Mischen von Kalt- und Warmluft durch das Verstellen eines Mischventil (*mixing valve*)

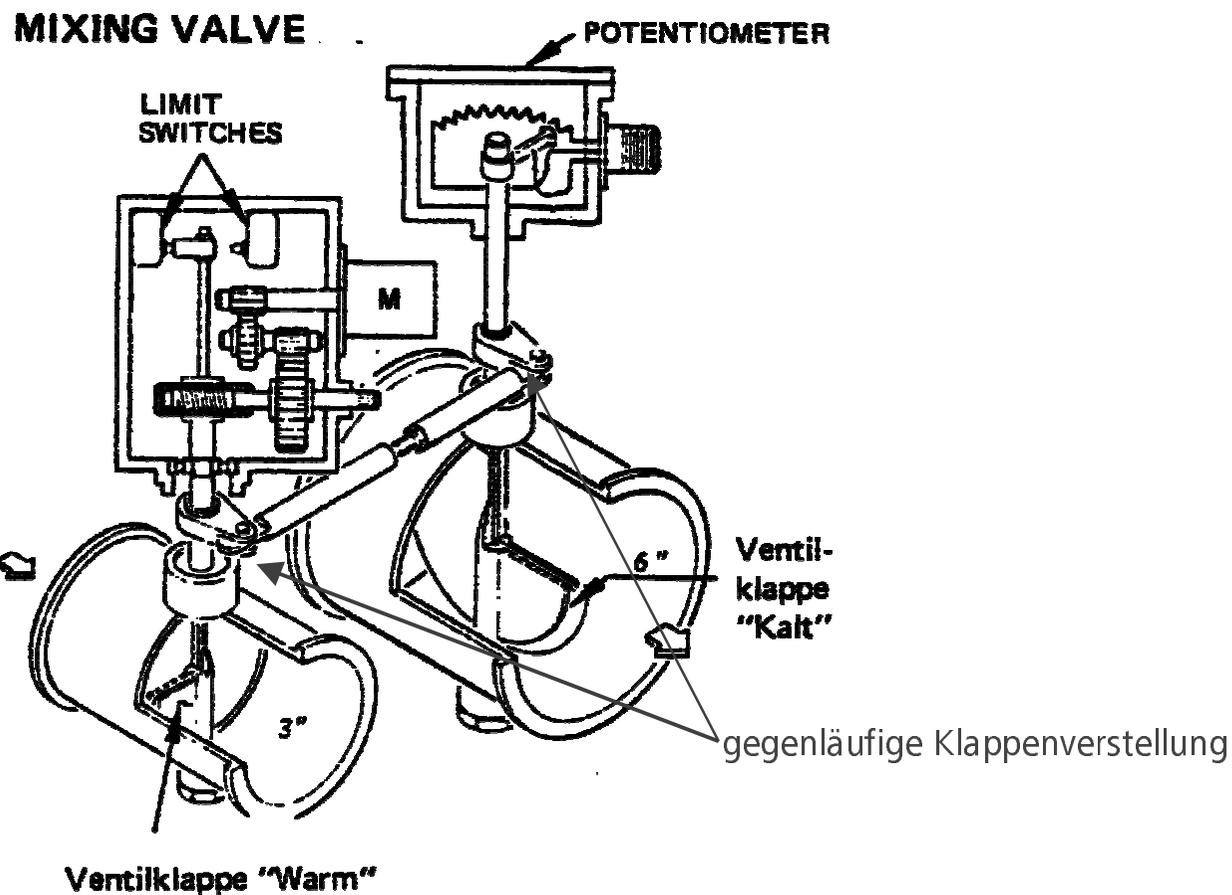


- Die Klappen des *mixing valve* sind so angeordnet, dass sie sich gegenläufig verstellen, d.h. die eine Klappe fährt auf und die andere schließt oder vice versa. Es wird also jeweils eine unterschiedliche Luftmenge eingestellt.
- Das bedeutet, dass in Regelposition praktisch aus dem Kaltluftkanal Temperaturen um 2 °C und aus dem Heißluftkanal Temperaturen um 100 °C herauskommen – ABER IN UNTERSCHIEDLICHEN MENGEN.
- Das Zusammenführen bzw. Vermischen dieser unterschiedlichen Luftmengen ergibt schließlich der erforderliche Temperatur im Versorgungskanal zur Kabine hin.
- Bei Überhitzung im Versorgungskanal wird eine Schutzeinrichtung wirksam, die entweder das *mixing valve* in „voll kalt“-Position fahren lässt oder aber die gesamte Anlage abschaltet.

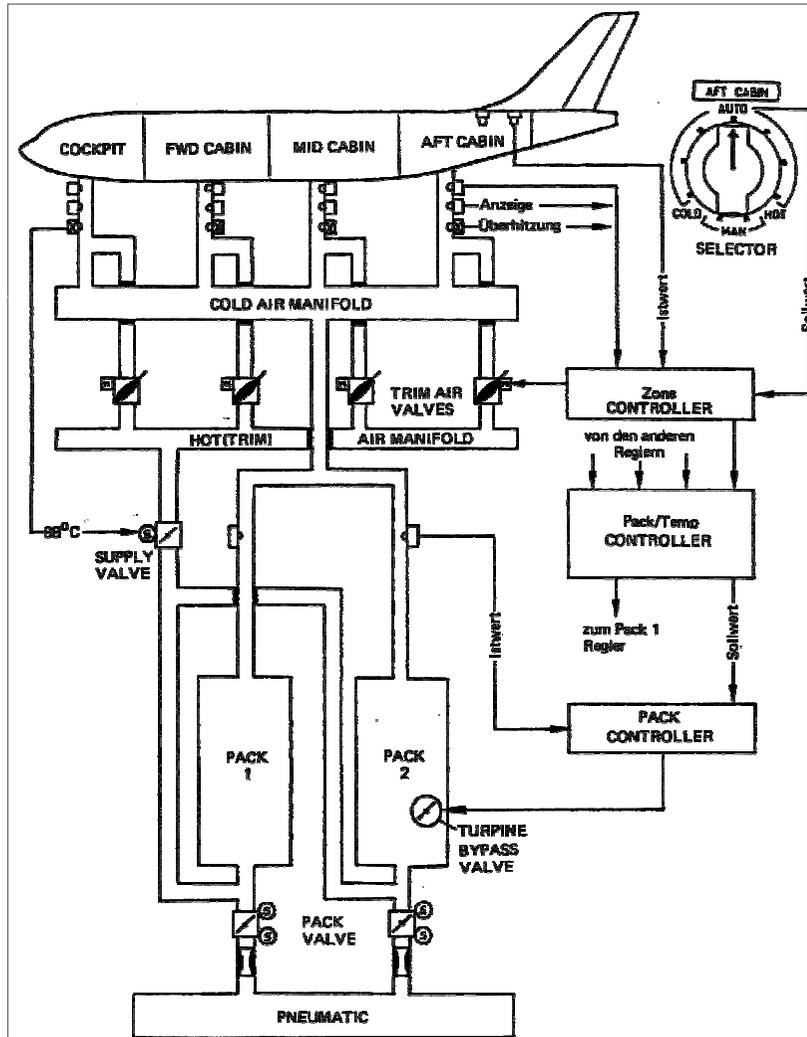
Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling

Klimatisierung im Flugzeug

Mischen von Kalt- und Warmluft durch das Verstellen eines Mischventil (*mixing valve*)



Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Klimatisierung im Flugzeug

Zonentemperaturregelung

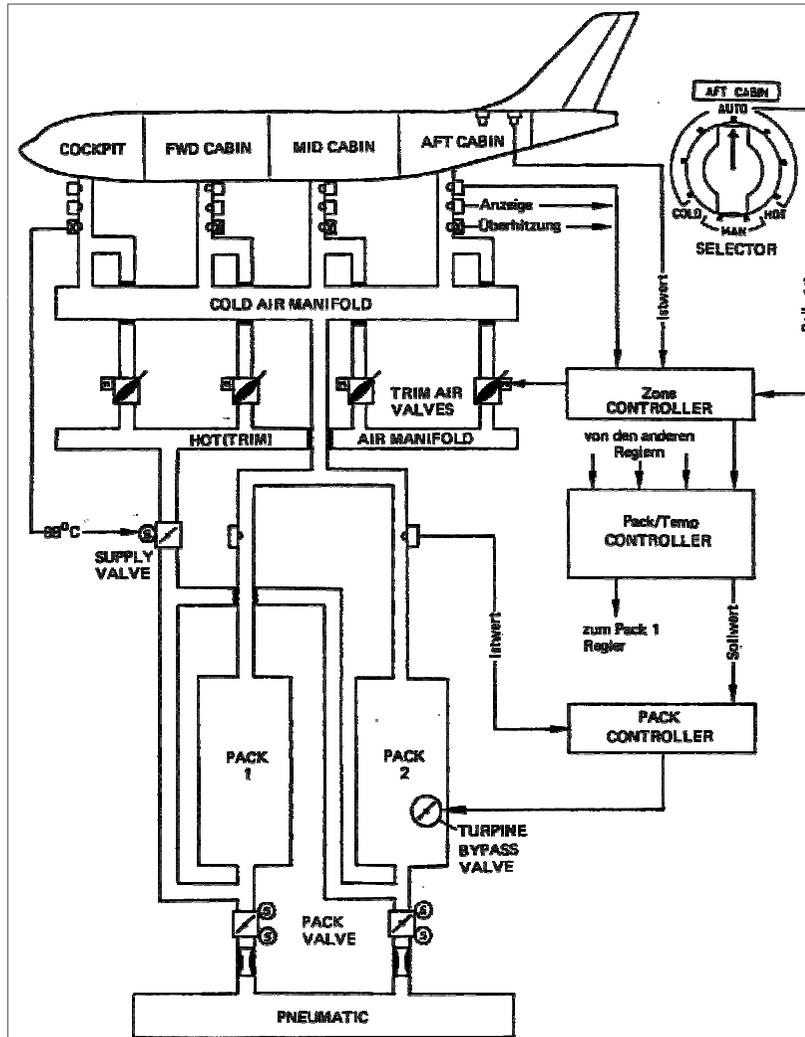
- Bei Klimaanlage in Großraumflugzeugen, in denen für verschiedene Räume unterschiedlicher Wärmebedarf notwendig ist, spricht man von einer sog. **Zonentemperaturregelung**.
- Hierbei wird im stabilisierten Temperaturzustand von den Kühlanlagen diejenige Temperatur geliefert, die von der Kabinenzone mit der kleinsten Temperaturvorwahl gewünscht wird.
- In die Zonen mit einer höheren Temperaturvorwahl wird aus einem Heißluftsammelkanal über einzelne Ventile Heißluft zugemischt, um die gewünschte Temperatur zu erreichen.
- Bei einer solchen Anlage bildet jede Zone für sich einen eigenen Regelkreis mit Vorwahlknopf, Regler und Temperaturfühler.
- Alle Zonenregler melden ihren Kühlbedarf an eine zentrale Regeleinheit (*pack/temp-controller*), die so die Ausgangstemperatur aller Kühlanlagen entsprechend steuert.

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Klimatisierung im Flugzeug

Zonentemperaturregelung



- Um die Rohrleitungen in jeder Betriebsart vor Überhitzung zu schützen, sind weitere Temperaturschalter installiert. Diese lassen entweder das Mischventil in die „voll-kalt“-Position fahren oder die Heißluftversorgung absperren.
- Kann die Klimaanlage des Flugzeuges am Boden aus irgendeinem Grund nicht zur Temperierung des ver-wendet werden, so kann über genormte 8"-Bodenanschlüsse klimatisierte Luft über das vorhandene Rohrleitungssystem in die Kabine eingespeist werden.
- Die Anschlüsse befinden sich am Kaltluftsammlerkanal und sind mit Rückschlagventilen ausgestattet, um ein Rückströmen zu verhindern.

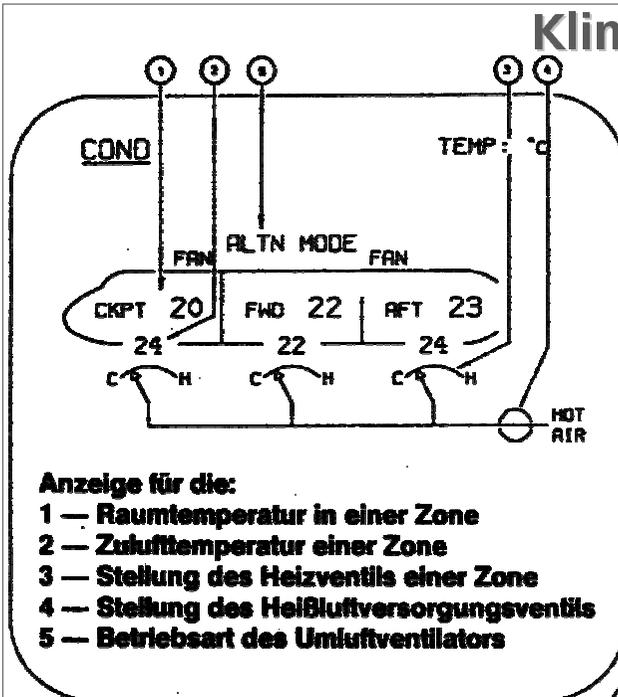
Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Klimatisierung im Flugzeug

Temperaturanzeigen

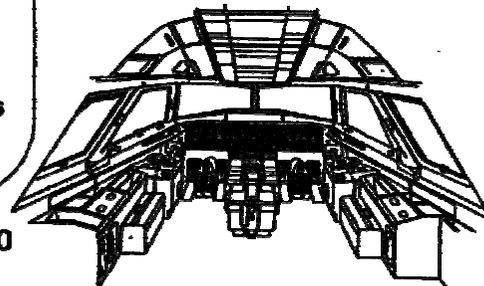
- Um dem Cockpitpersonal jederzeit die herrschenden Temperaturen anzuzeigen, befinden sich im Cockpit entsprechende Anzeigeeinstrumente.
- Hierauf können entweder nur die in der Kabine herrschenden Temperaturen angezeigt werden oder auch die in den Rohrleitungen jeweils vorliegenden. Die Übertragung erfolgt über elektrische Fühler



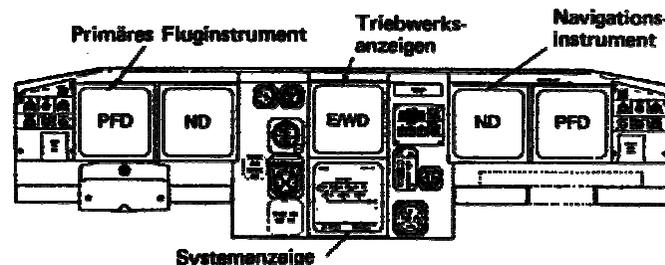
Anzeige für die:

- 1 — Raumtemperatur in einer Zone
- 2 — Zulufttemperatur einer Zone
- 3 — Stellung des Heizventils einer Zone
- 4 — Stellung des Heißluftversorgungsventils
- 5 — Betriebsart des Umluftventilators

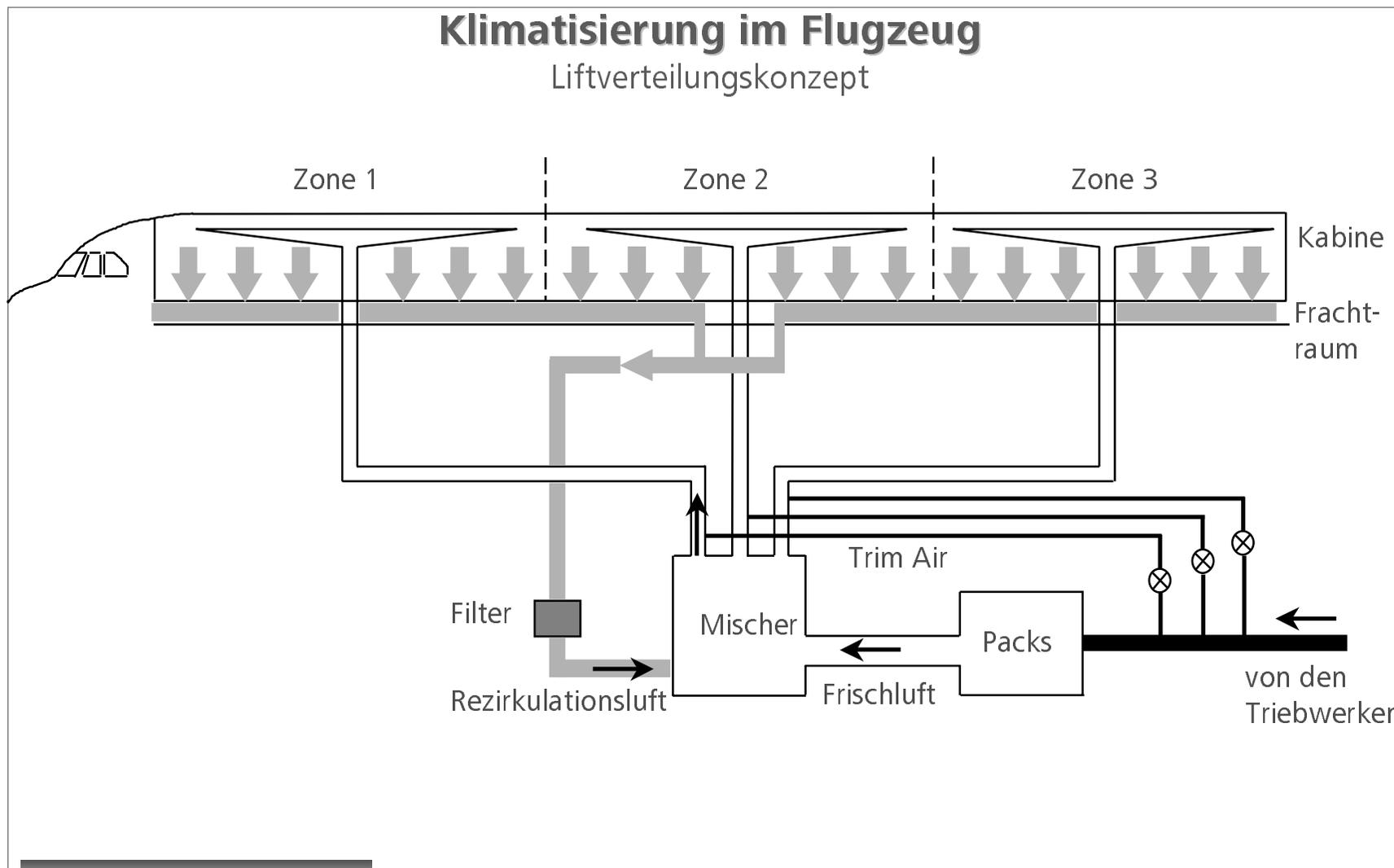
Airbus A 320



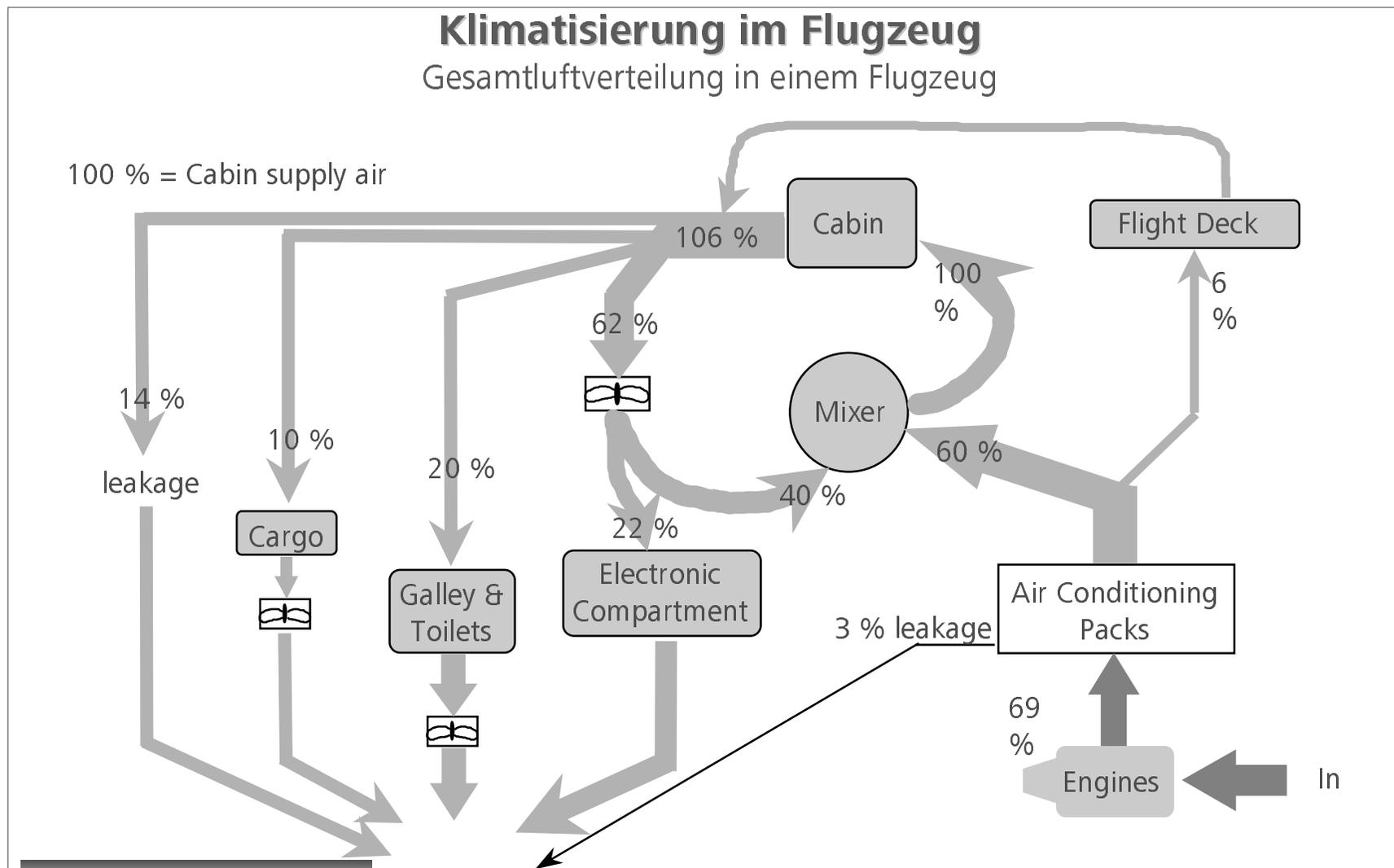
- Um möglichst die genaue Temperatur zu erhalten wird Luft aus der Kabine abgesaugt und zu dem Fühler geleitet.
- Hierzu werden elektrisch angetriebene Ventilatoren verwendet.



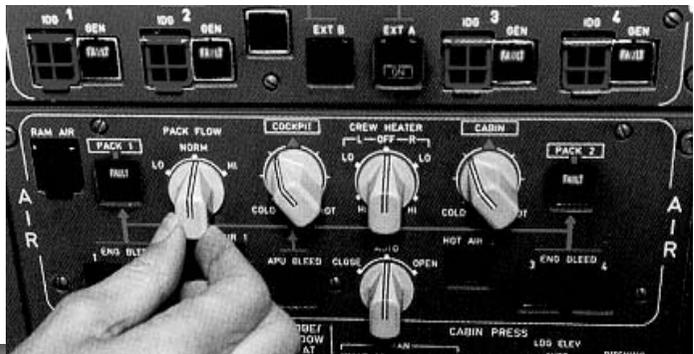
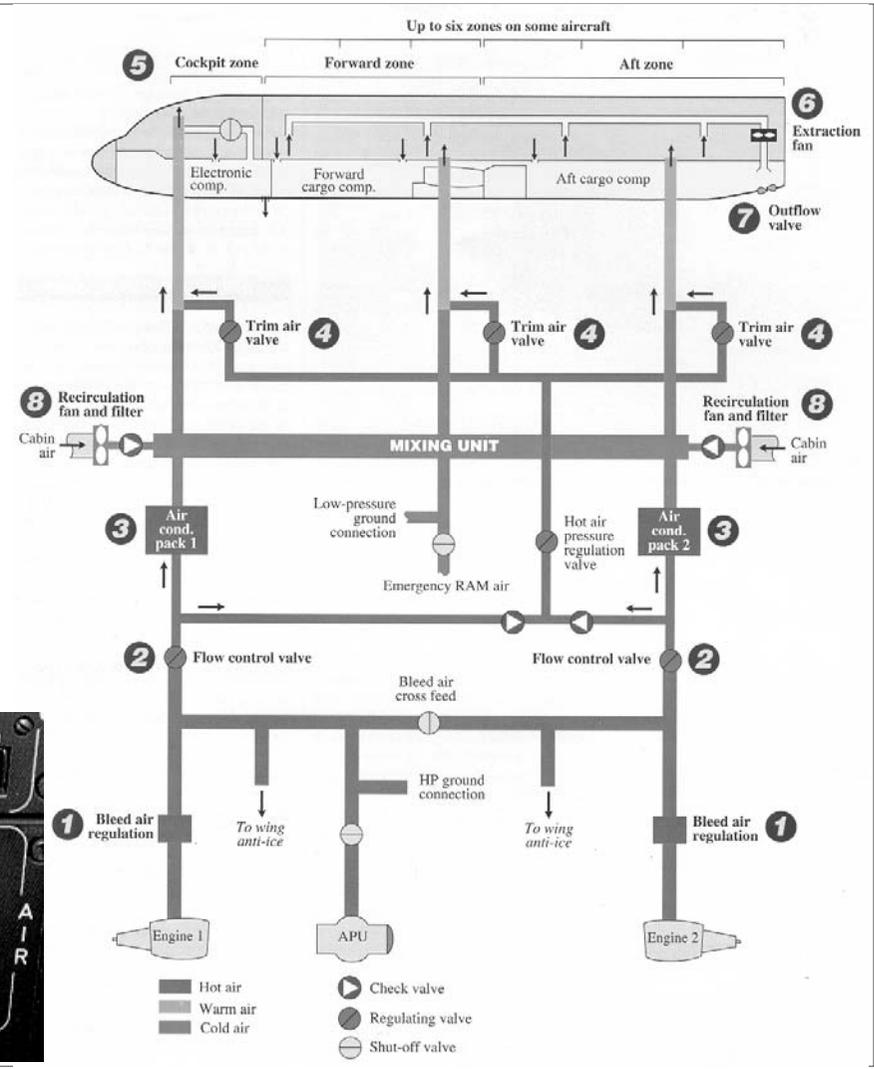
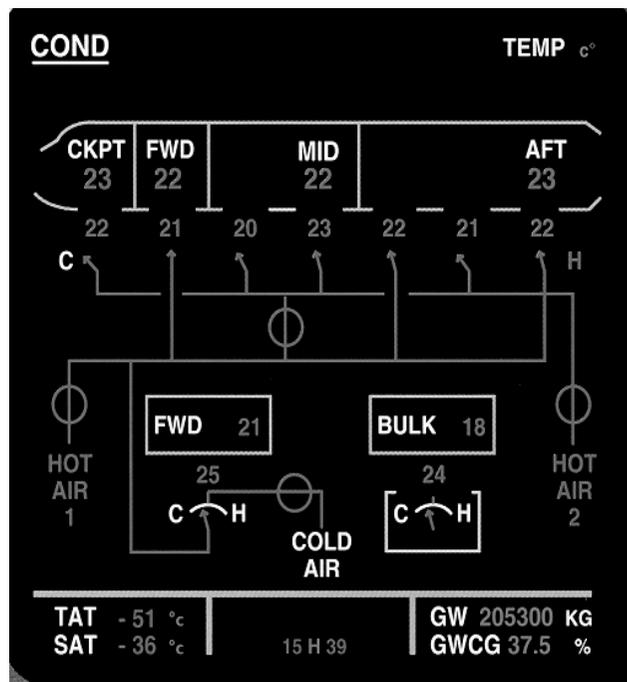
Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



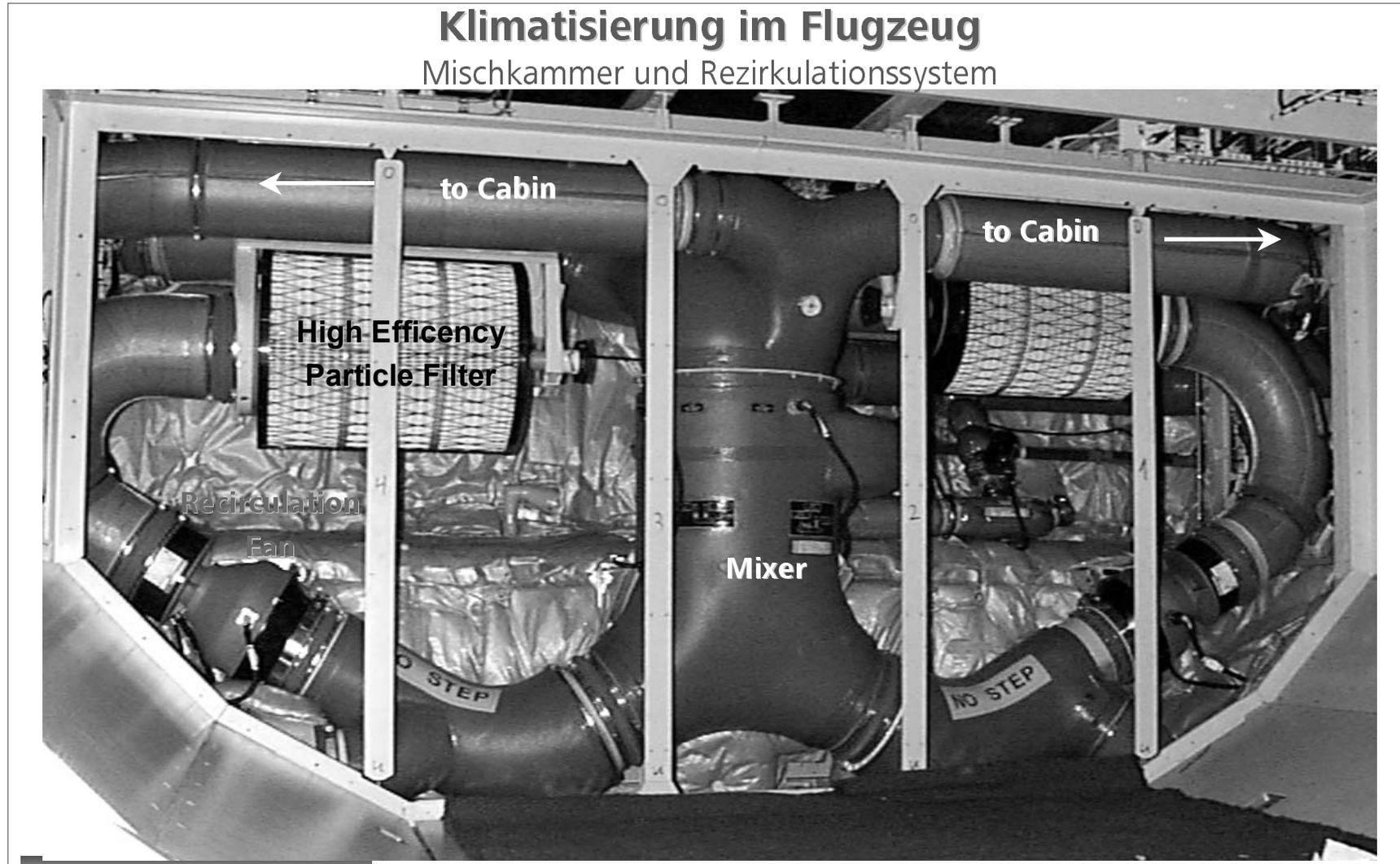
Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling

Klimatisierung im Flugzeug

Mischkammer und Rezirkulationssystem

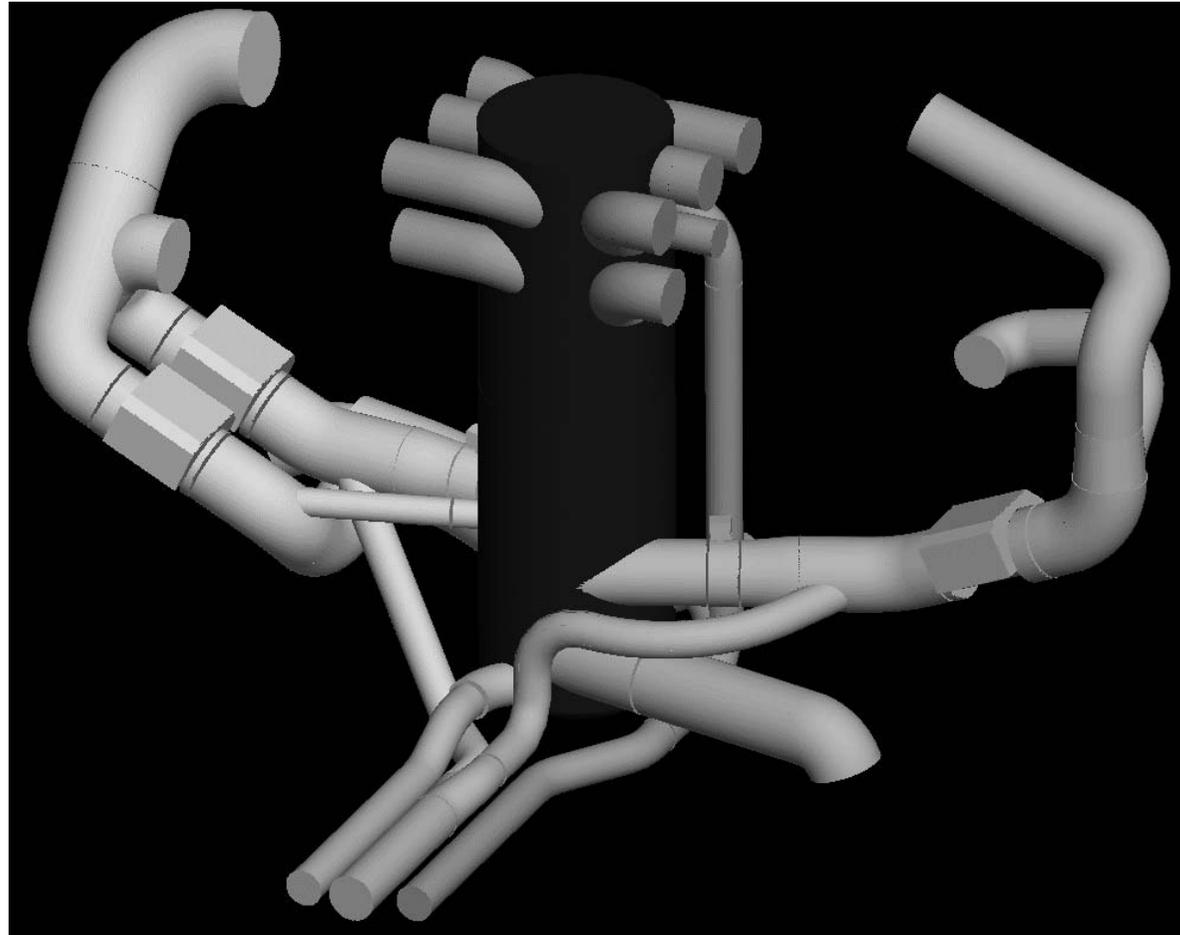


Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Klimatisierung im Flugzeug

Mischkammer Airbus A340-600



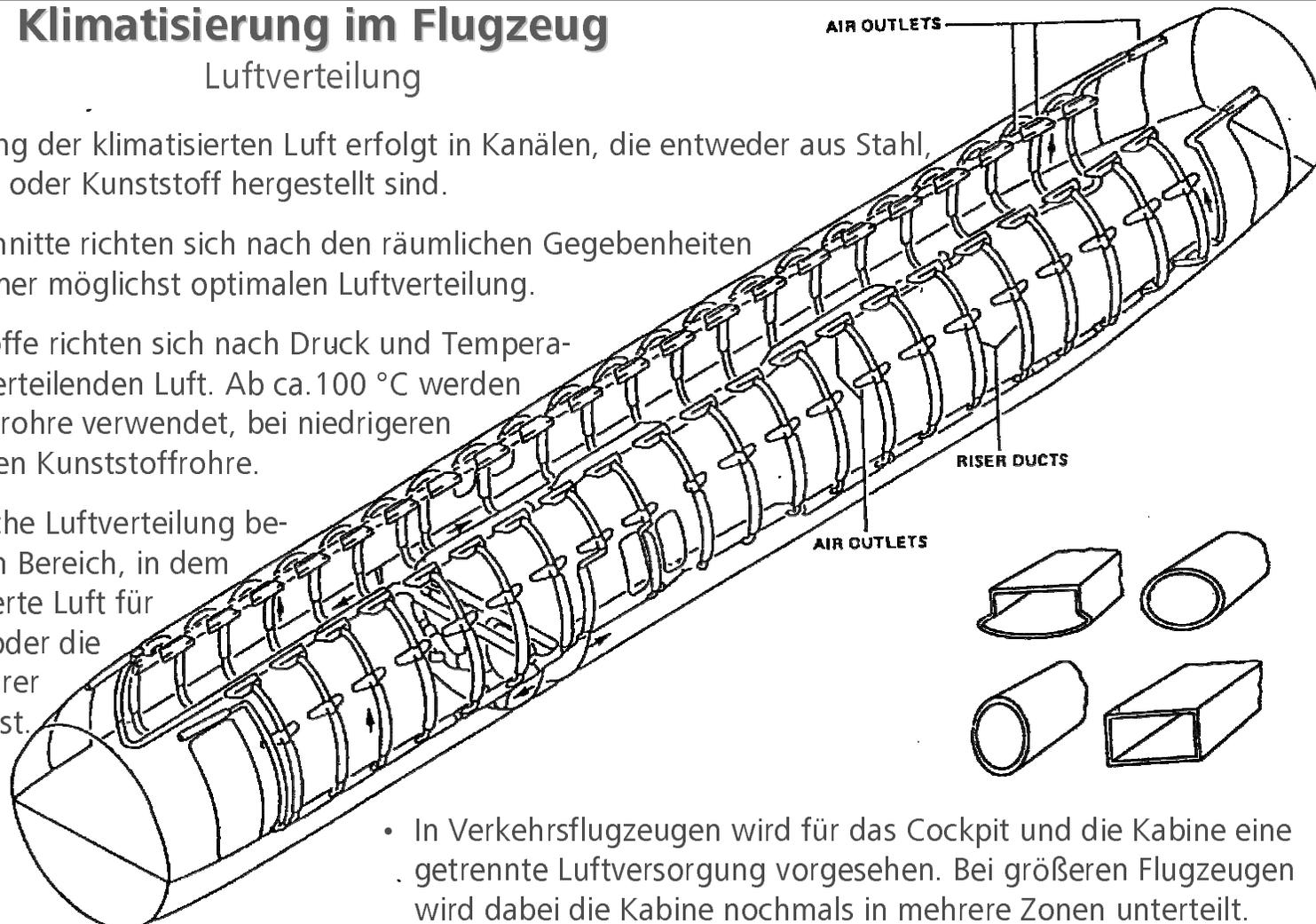
Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Klimatisierung im Flugzeug

Luftverteilung

- Die Verteilung der klimatisierten Luft erfolgt in Kanälen, die entweder aus Stahl, Leichtmetall oder Kunststoff hergestellt sind.
- Ihre Querschnitte richten sich nach den räumlichen Gegebenheiten und nach einer möglichst optimalen Luftverteilung.
- Die Werkstoffe richten sich nach Druck und Temperatur der zu verteilenden Luft. Ab ca. 100 °C werden Leichtmetallrohre verwendet, bei niedrigeren Temperaturen Kunststoffrohre.
- Die eigentliche Luftverteilung beginnt in dem Bereich, in dem die temperierte Luft für die Kabine oder die Flugzeugführer aufbereitet ist.



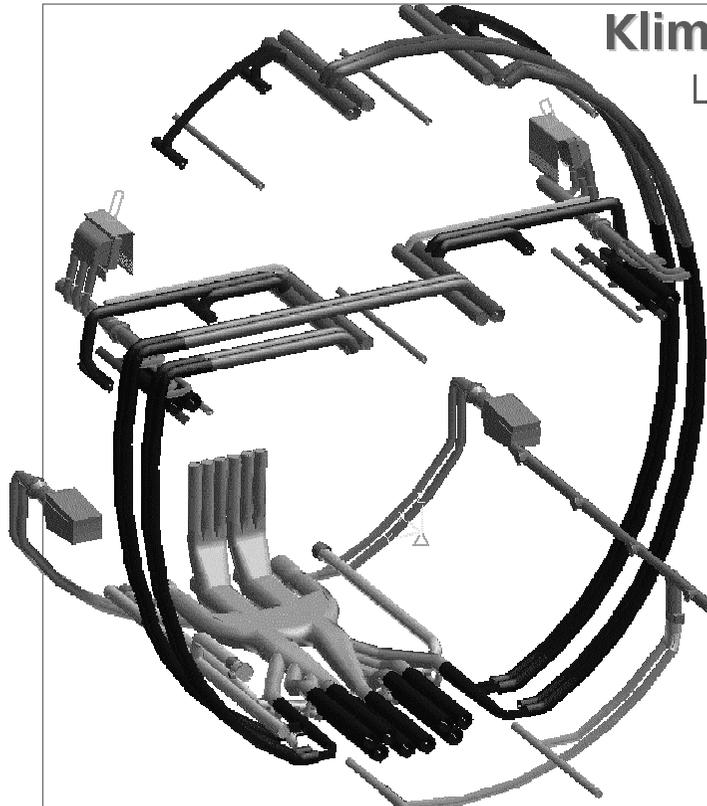
- In Verkehrsflugzeugen wird für das Cockpit und die Kabine eine getrennte Luftversorgung vorgesehen. Bei größeren Flugzeugen wird dabei die Kabine nochmals in mehrere Zonen unterteilt.

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Klimatisierung im Flugzeug

Luftverteilung in der Kabine



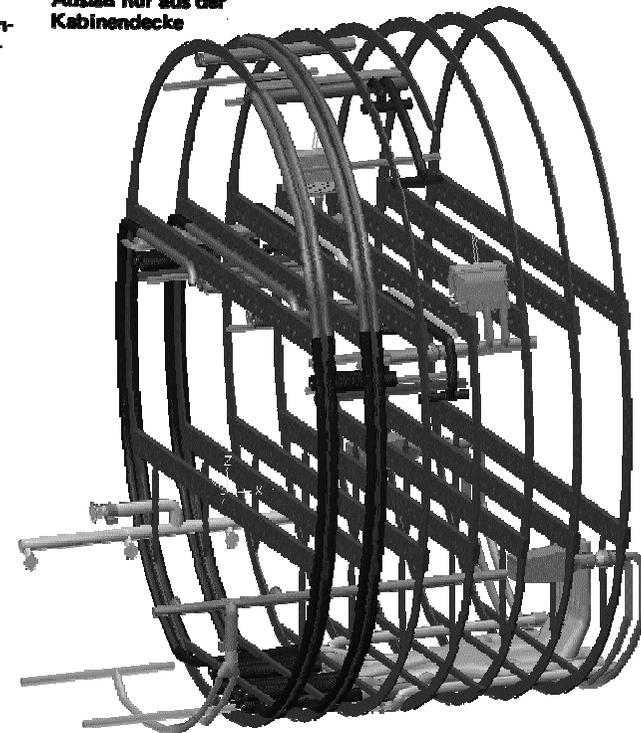
Auslaß nur im Bereich der Seitenwand



Kombination zwischen Decken- und Seitenwand-auslaß



Auslaß nur aus der Kabinendecke



- Die Luftverteilung in der Kabine erfolgt zonal aus Deckenkanälen oder aus Auslässen im Bereich der Staukästen (Hutablage – Handgepäckablage).
- Der Luftaustritt soll so konzipiert sein, dass mögliche keine Luftgeräusche entstehen und auch keine Zugluft auftritt.

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Klimatisierung im Flugzeug

Luftverteilung in der Kabine

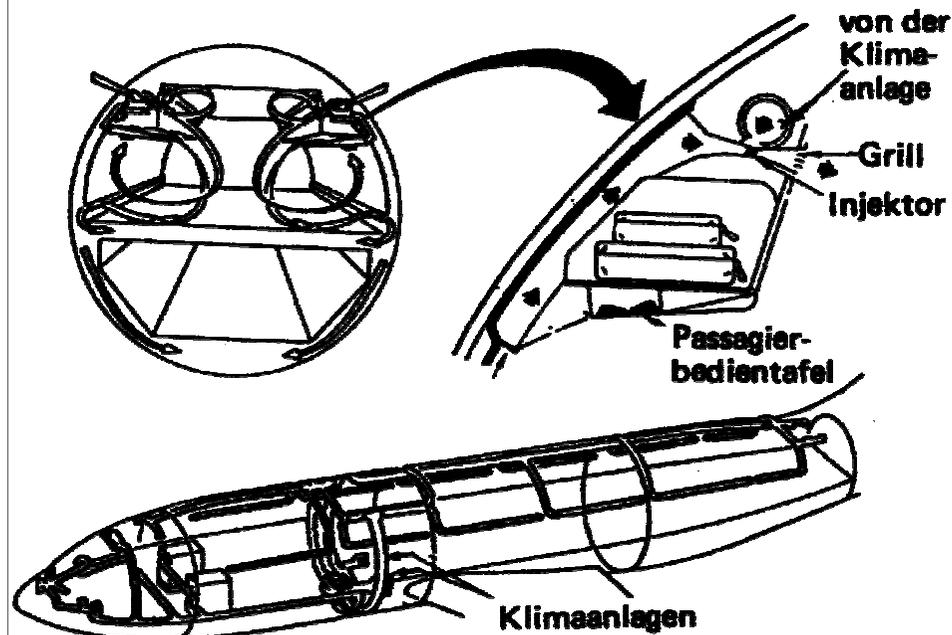


Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Klimatisierung im Flugzeug

Lufteinspeisung und Abluftgewinnung



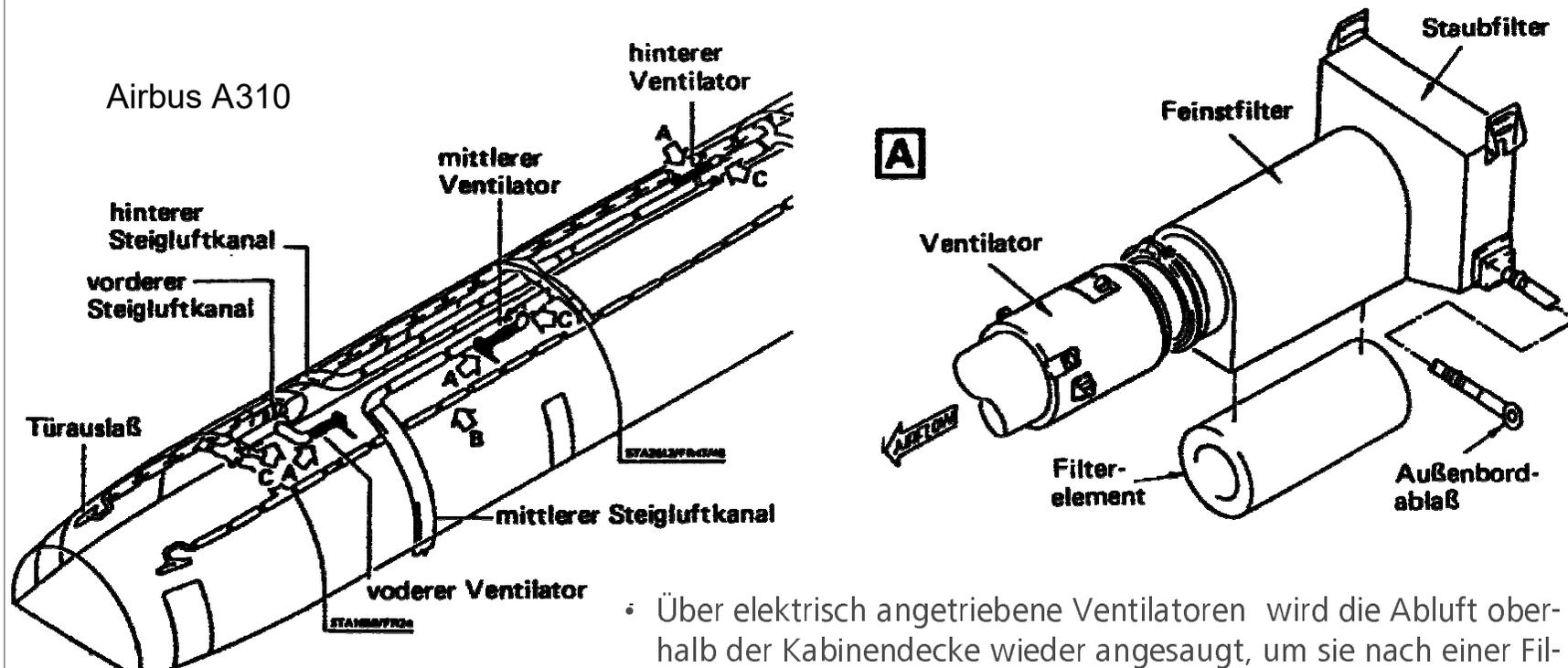
- Da die Luftlieferung von den Klimaanlage meistens nicht so groß ist, um die mindestens geforderten Frischluftmengen pro Passagier zu erreichen, ($0.283 \text{ m}^3/\text{min} = 0.75 \text{ lb}/\text{min} = 10 \text{ ft}^3/\text{min}$), bedient man sich eines zusätzlichen Umluftsystems, bei dem ein Teil der abgeführten Luft wieder mit in die Kabine eingespeist wird.
 - Es gibt unterschiedliche Methoden der Rückgewinnung.
 - Das Bild zeigt die Abluftrückgewinnung beim Airbus A300.
 - Die klimatisierte Luft wird über eine Vielzahl von Ejektorpumpen in die Kabine eingespeist.
- Durch die Ejektorwirkung (Unterdruck) wird Abluft angesaugt, mit der klimatisierten Luft vermischt und wieder in die Kabine eingespeist.

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Klimatisierung im Flugzeug

Kabinenluftumwälzung mit Komponenten



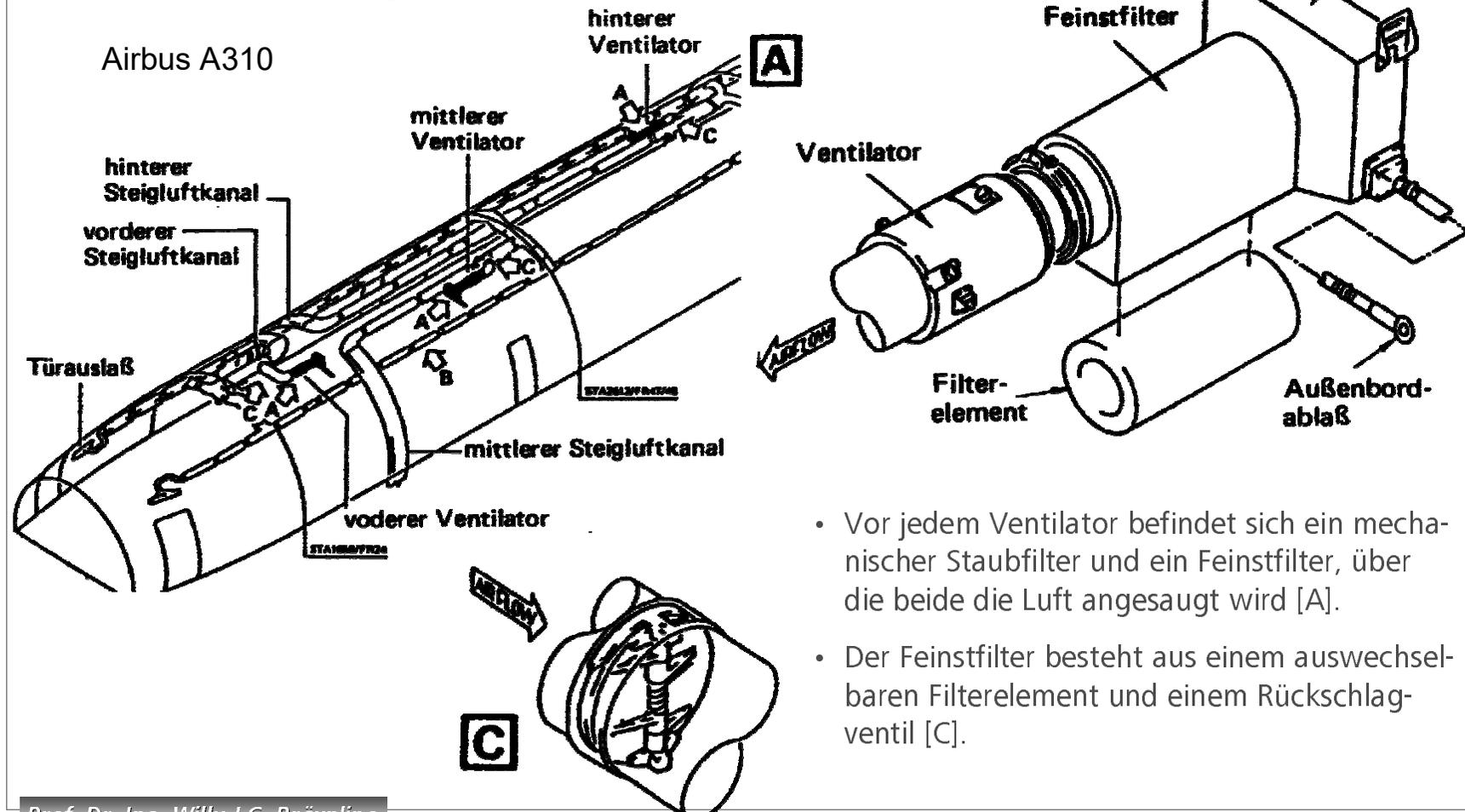
- Über elektrisch angetriebene Ventilatoren wird die Abluft oberhalb der Kabinendecke wieder angesaugt, um sie nach einer Filterung wieder mit in das normale Verteilersystem einzuspeisen.
- Bei dieser Methode wird zwischen 40 und 50 % der Kabinenzuluft ständig umgewälzt.

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Klimatisierung im Flugzeug

Kabinenluftumwälzung mit Komponenten



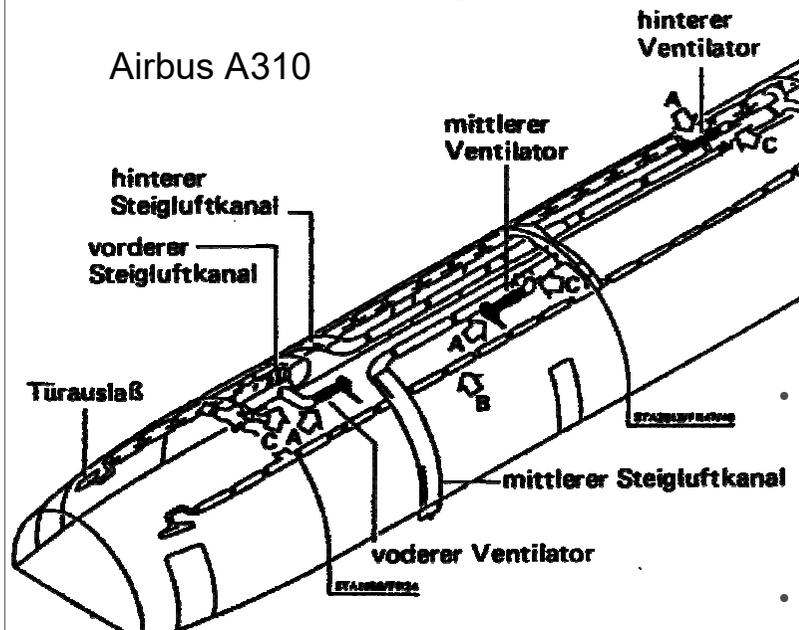
Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



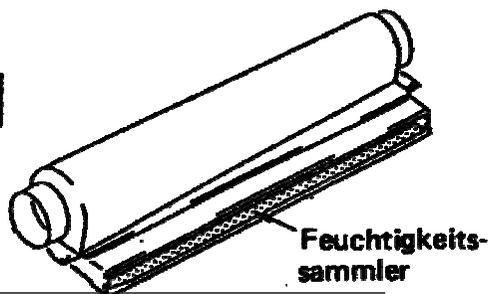
Klimatisierung im Flugzeug

Kabinenluftumwälzung mit Komponenten

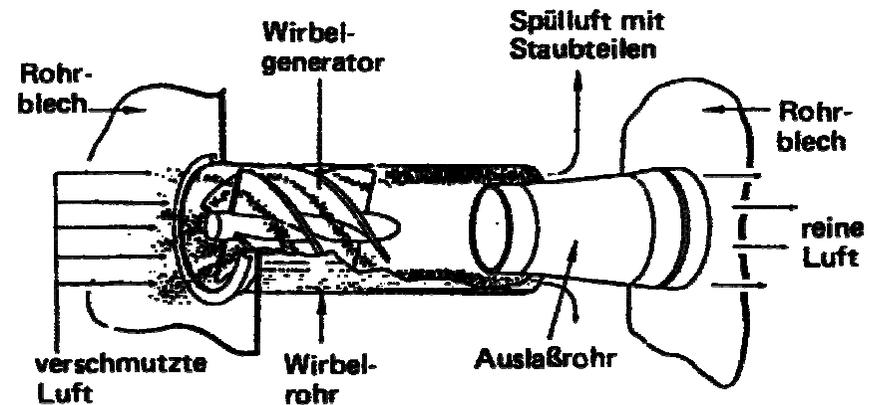
Airbus A310



B



Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling

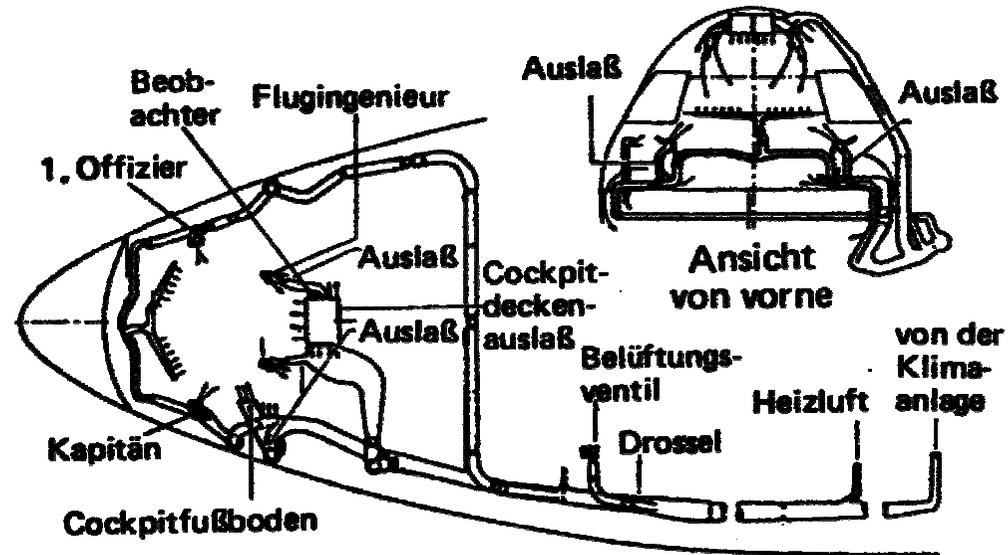


- Der Staubfilter besteht aus einer großen Anzahl kleiner Röhrcchen, in denen die durchströmte Luft in eine Drehbewegung versetzt wird, wobei die Staubteilchen nach außen geschleudert werden.
- Der so gesammelte Staub wird über einen Außenbordanschluss mittels natürlicher Druckdifferenz direkt außenbords geleitet.
- In die Luftauslässe oberhalb der seitlichen Staufächer sind zusätzlich Filzstreifen [B] eingesetzt, die eine bestimmte Menge an Kondenswasser aufnehmen können und diese beim Betrieb der Klimaanlage wieder an die Kabinenluft abgeben zu können.



Klimatisierung im Flugzeug

Luftverteilung im Flugzeugführerraum



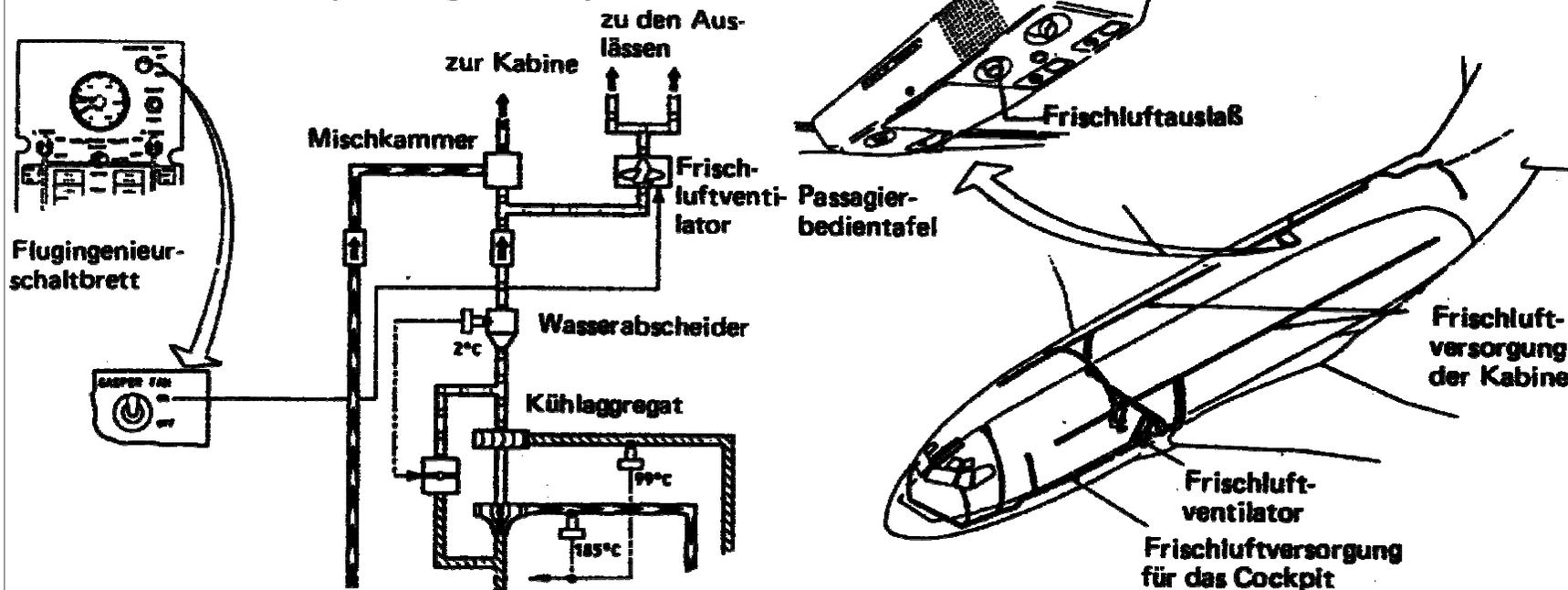
- Die Luftverteilung für das Cockpit ist meistens sehr weit verzweigt, weil hier zusätzlich noch weitere Bedürfnisse zu erfüllen sind als in der Kabine.
- Jedes Besatzungsmitglied soll direkt mit klimatisierter Luft versorgt werden.
- Das Beschlagen der Cockpit-Scheiben soll verhindert werden.
- Es soll auf keinen Fall Zugluft entstehen.
- Aus diesen Forderungen resultiert schließlich immer eine große Anzahl von Auslässen im Cockpit.

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Klimatisierung im Flugzeug

Das Frischluftsystem (*gasper system*)

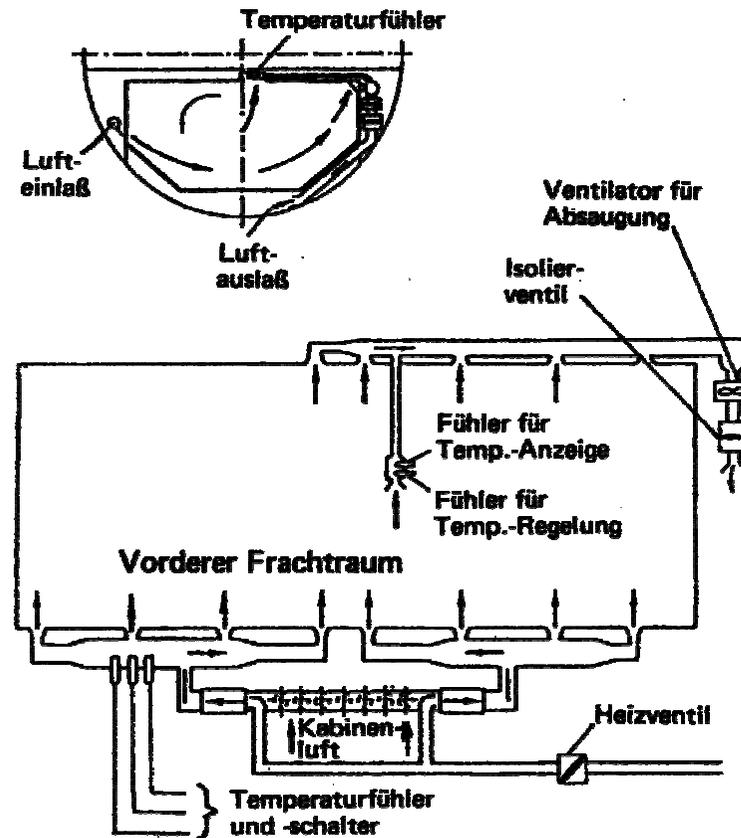
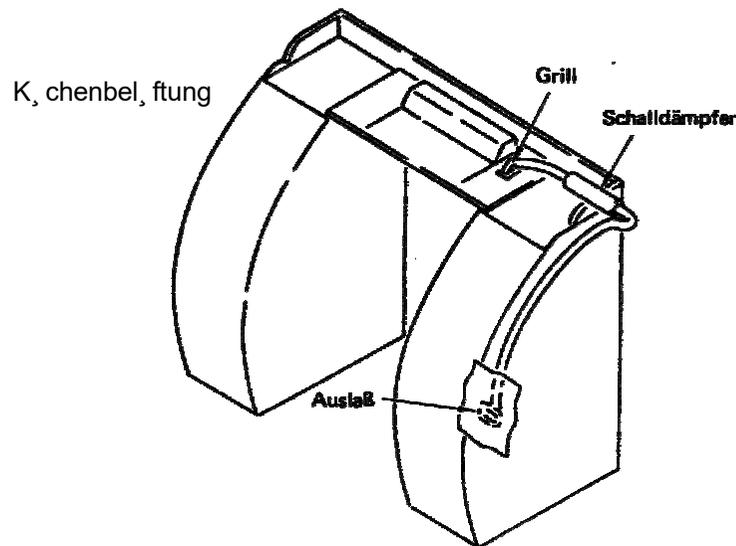


- Für das Frischluftsystem wird i.allg. die Kaltluft nach dem Wasserabscheider abgezweigt und in ein separates Rohrsystem geleitet.
- Für jeden Passagier besteht so die Möglichkeit, sich von seinem Platz aus über eine regelbare Düse mit Frischluft zu versorgen.
- Die Luftbereitstellung erfolgt direkt über die Klimaanlage, kann aber mengenmäßig über einen elektrisch angetriebenen Ventilator zusätzlich erhöht werden.

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling

Klimatisierung im Flugzeug

Belüftung von
Küchen-, Wasch- und Frachträumen



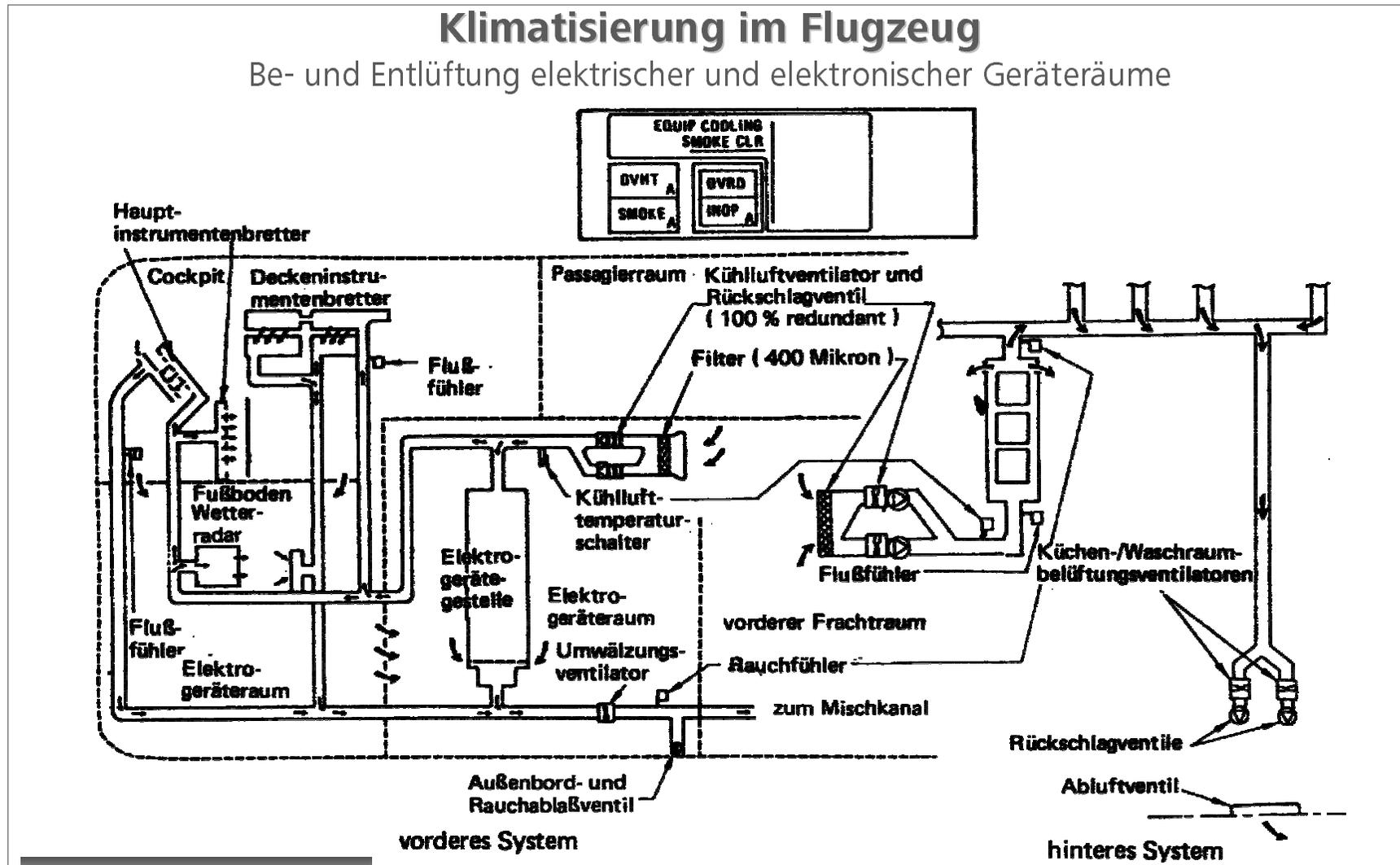
- Für das Belüften bestimmter Räume im Flugzeug verwendet man entweder
 - den Differenzdruck zwischen der Kabine und der Atmosphäre oder
 - elektrisch angetriebene Ventilatoren, wenn keine Druckdifferenz existiert (am Boden).

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling

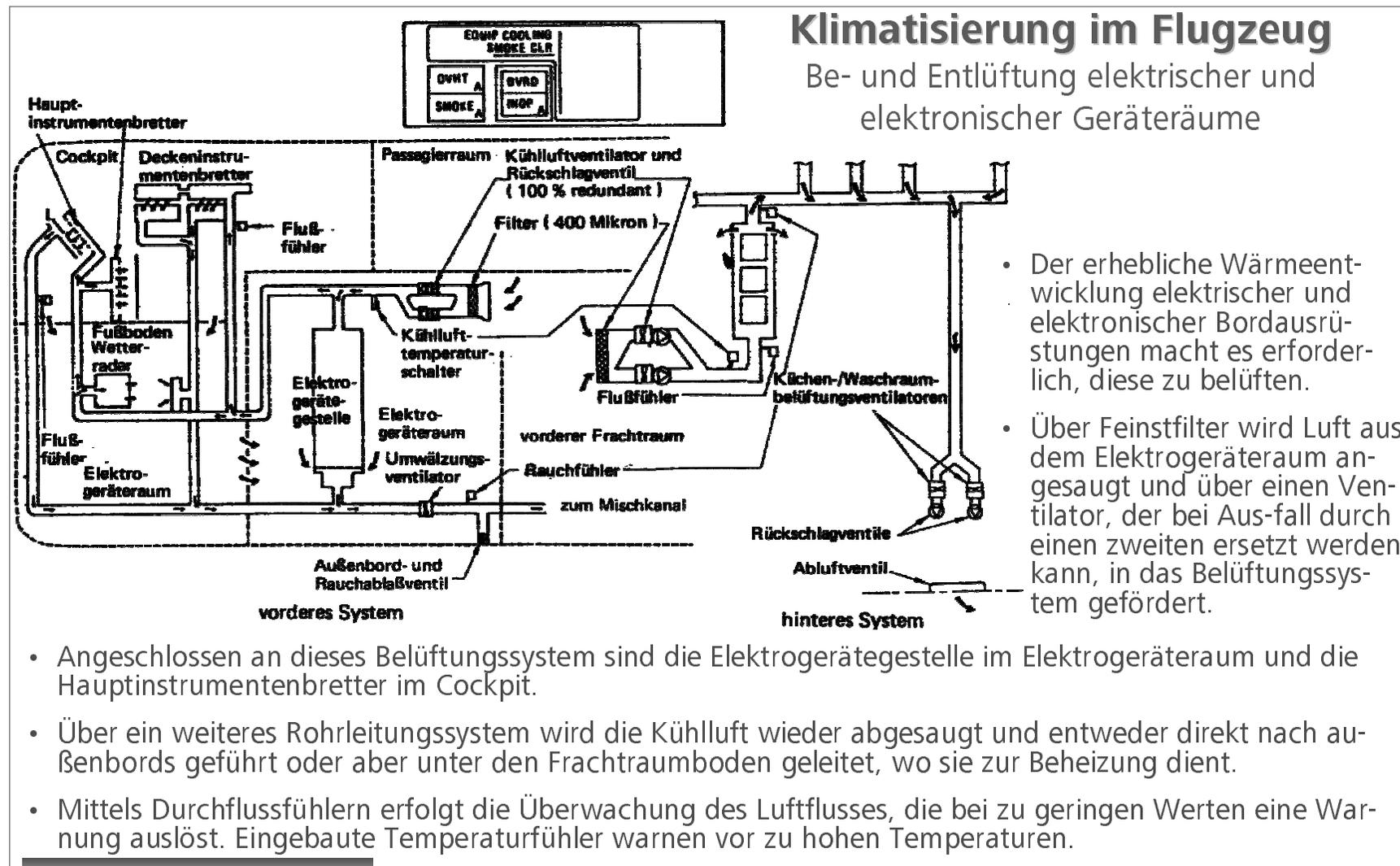


Klimatisierung im Flugzeug

Be- und Entlüftung elektrischer und elektronischer Geräteraume



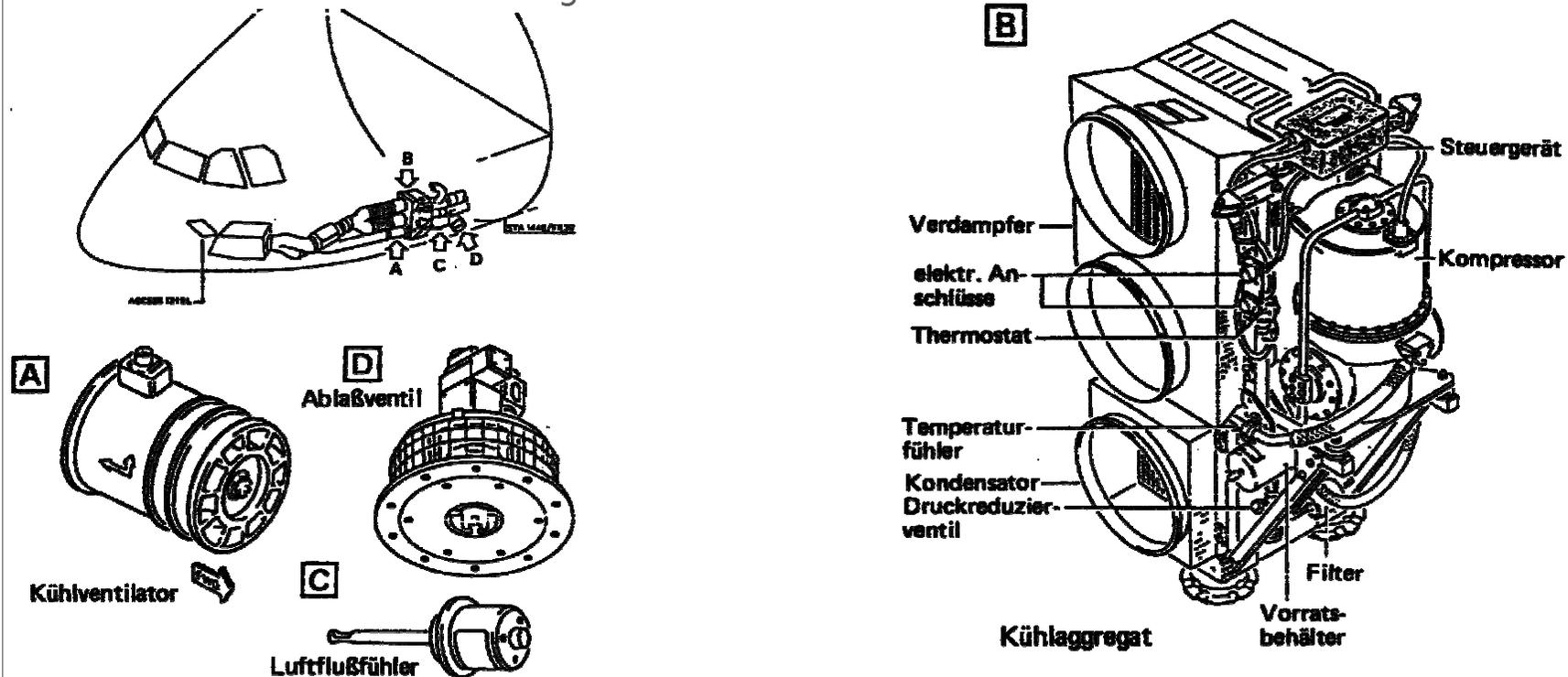
Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling





Klimatisierung im Flugzeug

Be- und Entlüftung elektrischer und elektronischer Geräteräume



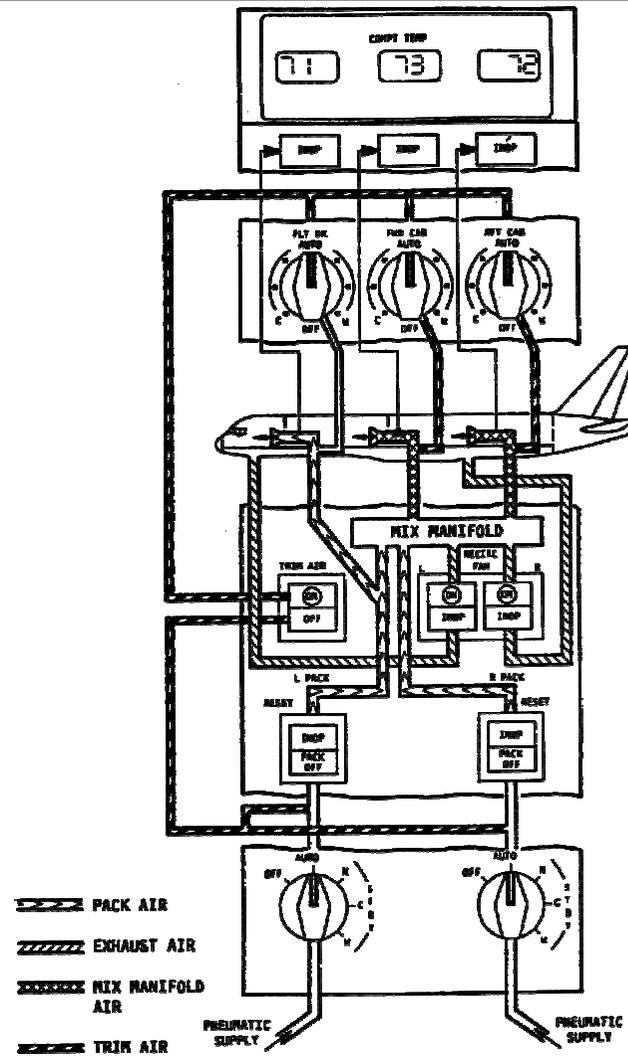
- In Flugzeugen, die hauptsächlich in heißen Gebieten eingesetzt werden, wird häufig im Bodenbetrieb für die Gerätekühlung ein eigenes Kühlaggregat eingesetzt.
- Dieses Kühlaggregat arbeitet ähnlich wie eine Verdampferkühlanlage, d.h. wie ein Kühlschrank.
- Die Kühlluft wird direkt nach außenbords gefördert

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Klimatisierung im Flugzeug

Beispiel: Klimaanlage Boeing B757



Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling

Video

„Air Conditioning“ am Beispiel Boeing B737



Abspielzeit: 11' 46"

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



ENDE
Klimaanlagen



ATA 26

Feuerschutzanlagen Feuerwarnung / Feuerlöschung

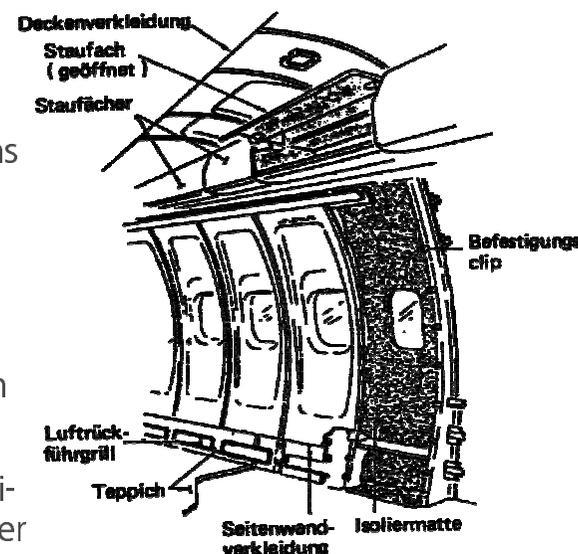
Fire Protection



Allgemeiner Feuerschutz

Kabineneinrichtung – Innenverkleidung

- Bei der Innenverkleidung der Seitenwände, Decken und des Fußbodens sind die Feuerschutzforderungen der JAR/FAR §25.853 zu beachten, d.h. es sind für solche Verkleidungen
 - nicht brennbare oder
 - selbst verlöschende Materialien zu verwenden.
- Im Anhang F dieser Vorschrift wird für alle in der Kabine verwendeten Materialien der Nachweis des Selbstverlöschens gefordert.
- Dazu werden genau spezifizierte Bauteilproben mit Bunsenbrennern eine bestimmte Zeit lang beflammt. Die Brennzeit und die Brennlänge der Proben dürfen dann bestimmte, festgelegte Höchstwerte – gemäß der nachfolgenden Tabelle – nicht überschreiten:



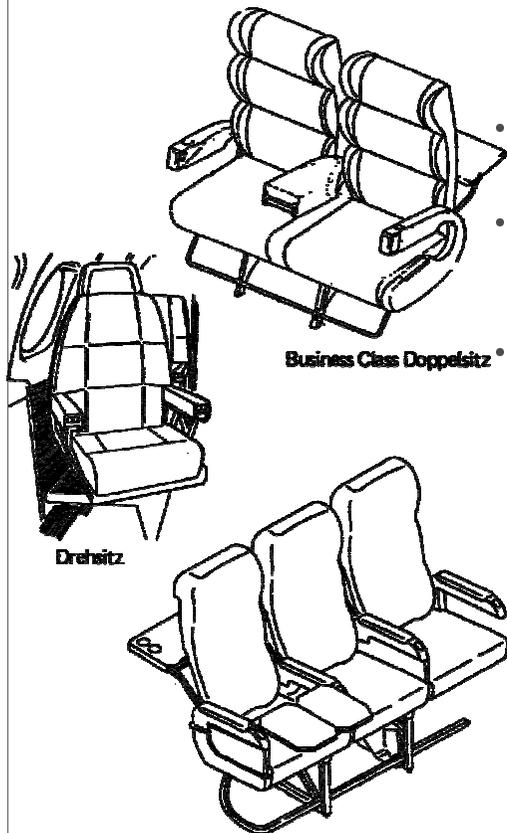
selbstlöschend nach JAR/FAR § 25.853	Kategorie (a)	Kategorie (b)	Kategorie (c)	Kategorie (d)
Beflammungszeit [s]	60	12	15	15
Lage der Probe	senkrecht	senkrecht	waagrecht	waagrecht
Verbrennungslänge [cm]	15	20	----	----
Nachbrennzeit [s]	15	15	----	----
Tropfenbrennzeit [s]	3	5	----	----
Brenngeschwindigkeit [cm/s]			6.3	10

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Allgemeiner Feuerschutz

Kabineneinrichtung – Polsterung und Sitzbezüge

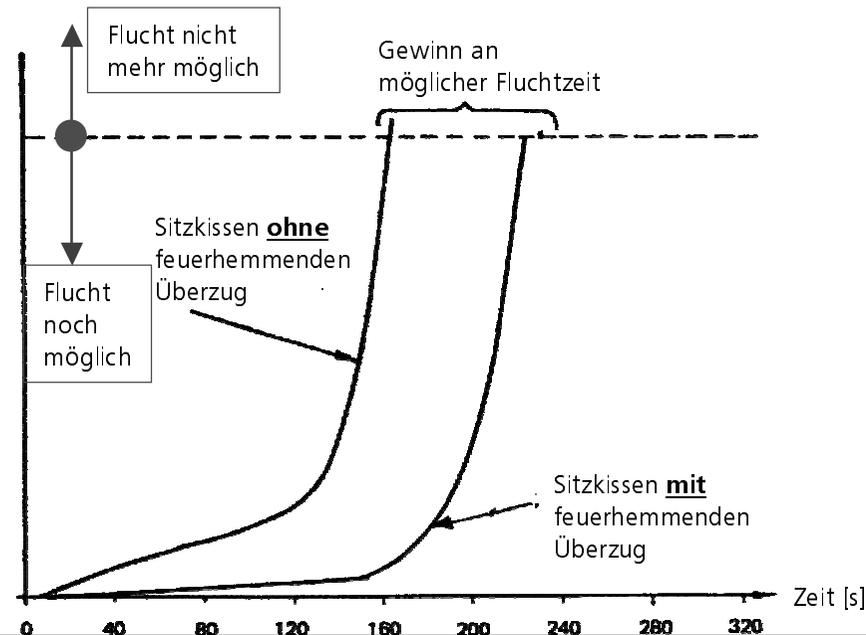


Business Class Doppelsitz

Drehsitz

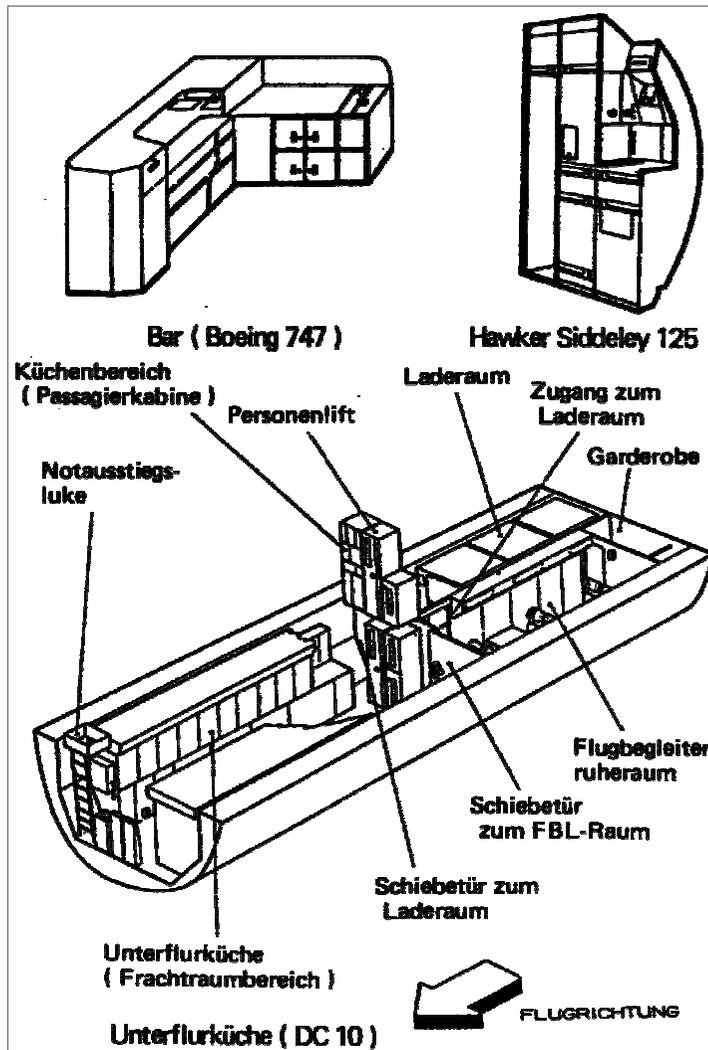
Economy/Tourist Class Dreiersitz

- Polsterungen und Sitzbezüge müssen denselben Prüfungen unterzogen werden, wie die zuvor beschriebenen.
- Dabei wird die Polsterung, die aus einem Schaumformteil mit einem feuerhemmenden Überzug besteht, als ein Bauteil betrachtet, da es zu Zeit noch keine völlig unbrennbaren Schäume gibt.
- Die folgende Skizze zeigt, wie sich ein feuerhemmender Überzug auf die Länge einer möglichen Fluchtzeit auswirken.



- Die Aschenbecher in den Armlehnen müssen in einem separaten, nicht brennbaren Gehäuse platziert werden.

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Allgemeiner Feuerschutz

Kabineneinrichtung – Küchen und Bar

- Früher wurden häufig auf Epoxydharz-Verbindungen basierende Materialien verwendet

Vorteil: gut verarbeitbar, hohe mech. Festigkeit und schwer entflammbar

Nachteil: intensive Rauchentwicklung bei größeren Bränden

- Als Ersatzmaterial werden auf Phenolharz basierende Werkstoffe verwendet

Nachteil: ungünstige Festigkeitseigenschaften

- Als Trägerschichten und Farbgrundlagen wurden früher Polyvinylchlorid (PVC) und als Kleber- und Oberflächenbeschichtungen wurde Polyvinylflourid („Tedler“) verwendet:

Vorteil: gut zu reinigen, keine Neigung zum Vergilben

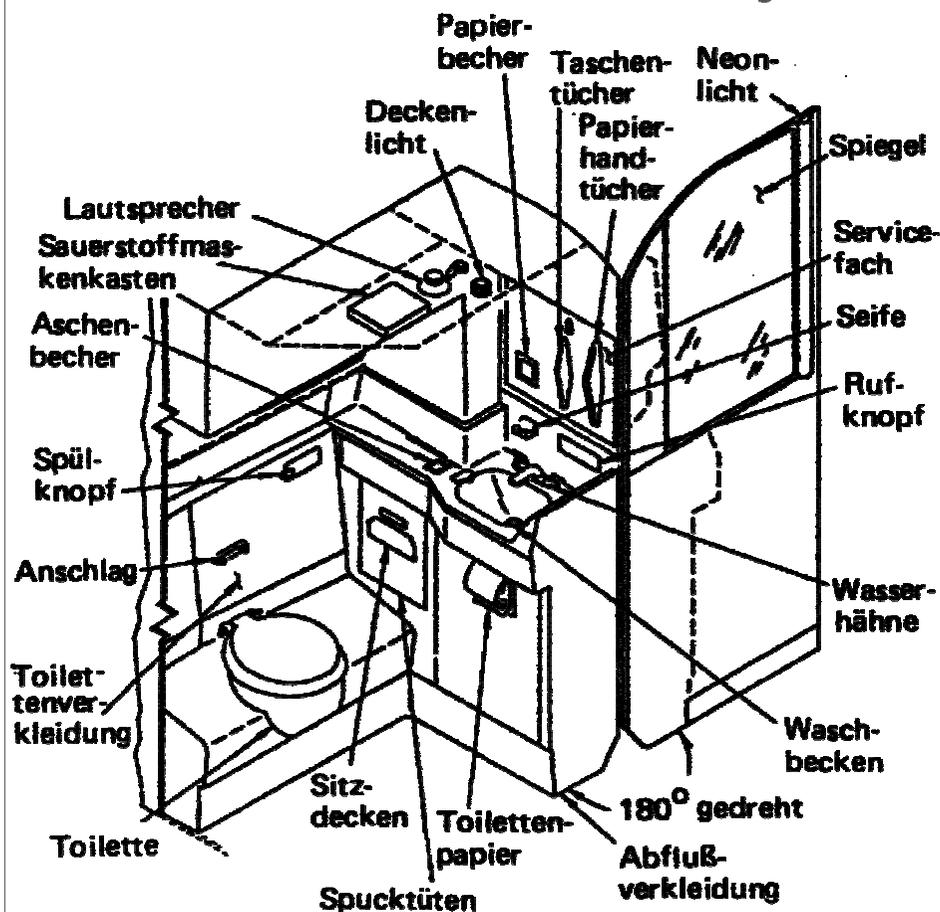
Nachteil: entwickelt unzulässige Mengen an giftigen Gasen bei Bränden

- Deswegen ist die Farbbasis heutiger Folien Acryl und die Polyvinylflourid-Kleberschichten wurden in der Dicke halbiert.



Allgemeiner Feuerschutz

Kabineneinrichtung – Toiletten und Waschräume



- In den Wasch- und Toilettenräumen besteht normalerweise Rauchverbot.
- Dennoch müssen auch hier verließ- und herausnehmbare Aschenbecher in gesonderten, feuerfesten Gehäusen eingebaut sein.
- Genauso müssen die Aufnahmebehälter für Handtücher, Papier und/oder Abfall wenigstens feuerhemmend sein und über Einrichtungen verfügen, die eine Feuerausbreitung verhindern.
- Zum Teil ist für jeden Abfallbehälter ein eigener kleiner Feuerlöscher eingebaut.

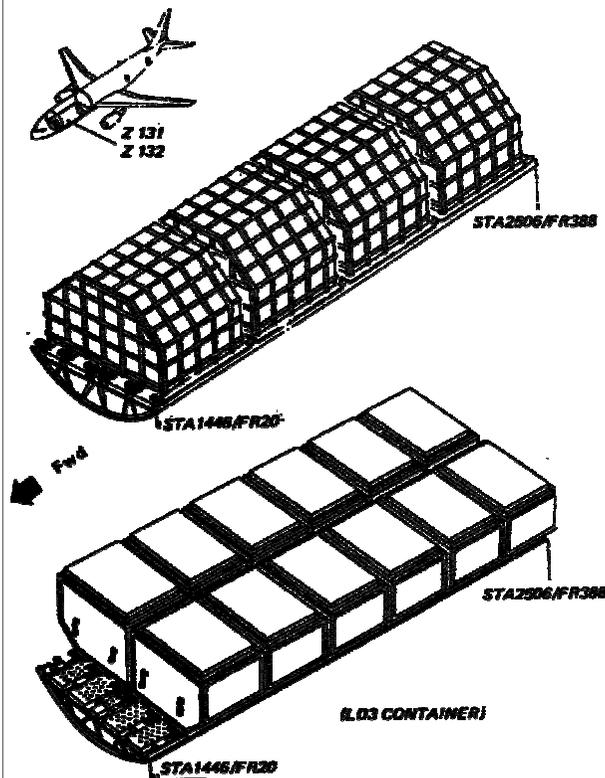
Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Allgemeiner Feuerschutz

Frachtraumausrüstung – Klassifizierung

Nach JAR/FAR § 25.857 werden alle Frachträume eines Flugzeuges in die **Klassen A bis E** eingeteilt.



- Frachtraum der **Klasse A** (Kabine und Cockpit))

Frachträume, in denen ein Brand leicht durch ein Besatzungsmitglied entdeckt werden kann. Jeder Teil eines solchen Raums muss im Fluge leicht zugänglich sein.

- Frachtraum der **Klasse B** (Frachterhauptdeck z.B. Boeing B 737F)

Ein Fracht- oder Gepäckraum, in dem im Fluge genügend Zugänglichkeit für ein Besatzungsmitglied besteht, um mit einem Handfeuerlöscher wirksam alle Teile des Raums zu erreichen.

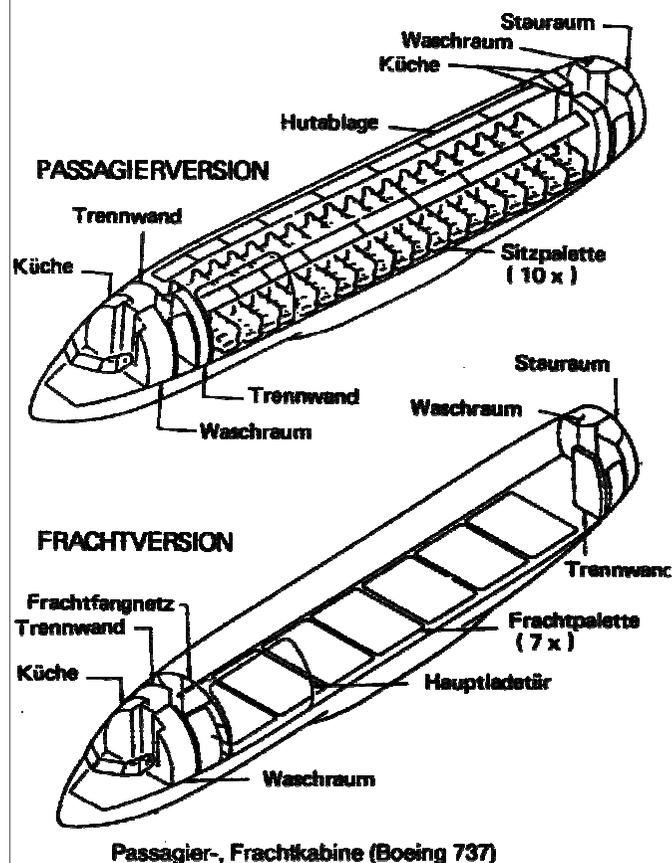
Bei Benutzung des Zugangs zum Frachtraum dürfen keine gefährlichen Mengen an Rauch, Flammen oder Feuerlöschmittel in die Kabine oder das Cockpit eindringen.

Frachträume der Klasse B müssen eine anerkannte Rauch- oder Brandfühlanlage haben, um am Platz eines Besatzungsmitgliedes eine Warnung ausgeben zu können.



Allgemeiner Feuerschutz

Frachtraumausrüstung – Klassifizierung



- Frachtraum der **Klasse C** (typischer Frachtraum von Verkehrsflugzeugen, wie z.B. A320)

Diese Frachträume erfüllen nicht die Anforderungen der Klassen A und B, jedoch besitzen sie eine anerkannte Rauch- und Brandfühlanlage, die eine Warnung im Cockpit auslöst.

Die Frachträume haben außerdem eine Feuerlöschanlage, die vom Cockpit aus bedient werden kann.

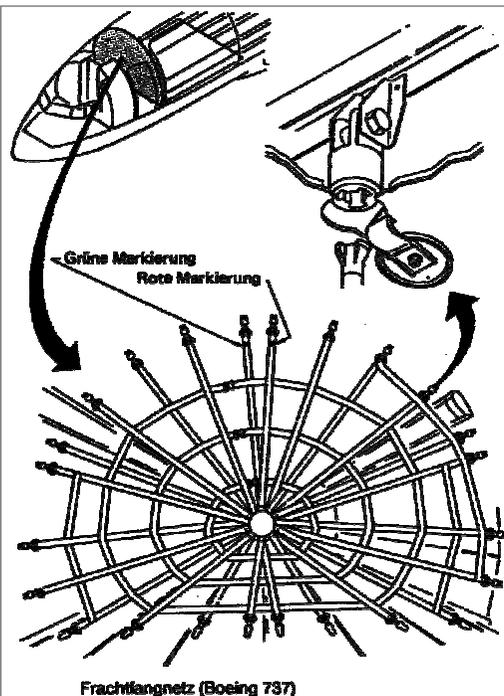
Die Frachträume müssen außerdem so verschließbar sein, dass keine Mengen an Rauch, Flammen und/oder Feuerlöschmittel in die Kabine oder das Cockpit gelangen können.

Dazu gehört auch, dass die Entlüftung und die Luftbewegung im Frachtraum so geregelt werden können, dass mittels des Löschmittels der Brand auch unter Kontrolle gebracht werden kann.

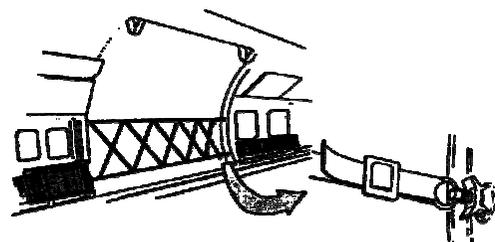


Allgemeiner Feuerschutz

Frachtraumausrüstung – Klassifizierung



Frachtlängnetz (Boeing 737)



Sicherheitsnetz (Boeing)

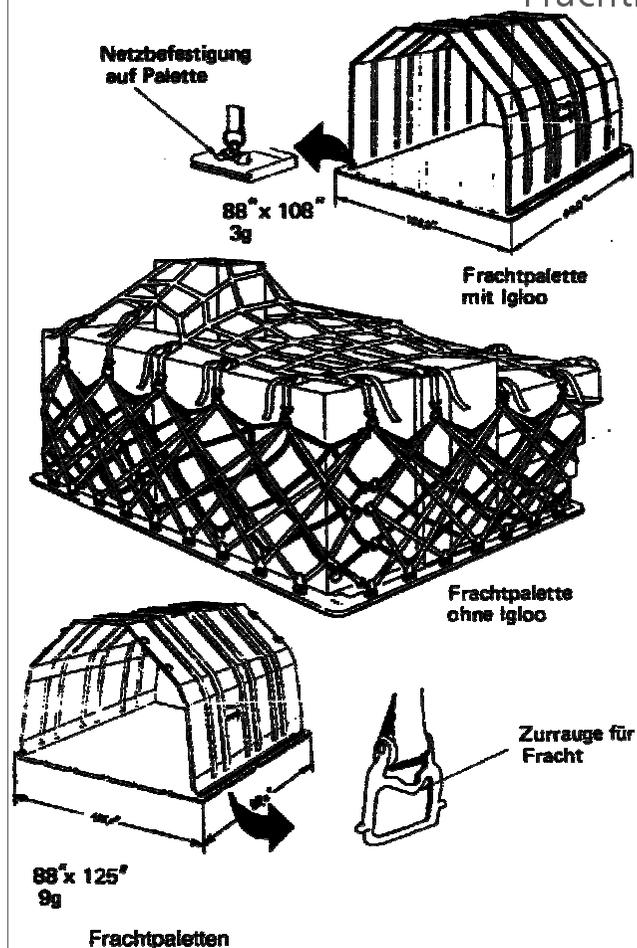
- Frachtraum der **Klasse D** (Frachträume für nicht lebende Fracht)
In Fracht- oder Gepäckräumen dieser Klasse muss ein entstehender Brand vollständig abgeriegelt werden können
Es müssen Einrichtungen vorhanden sein, die gefährliche Mengen an Rauch, Flammen und/oder Feuerlöschmittel von der Kabine oder dem Cockpit fernhalten.
Entlüftung und Luftbewegung müssen so zu regeln sein, dass ein Brand sich nicht über sichere Grenzen ausbreiten kann.
Der maximale Luftdurchsatz bei Frachträumen dieser Klasse, die weniger als 14 m³ Raum einnehmen, darf höchstens 42.5 m³/h betragen.
Hitzewirkung auf benachbarte kritische Teile des Flugzeuges dürfen nicht zu weiteren Gefahren führen.

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Allgemeiner Feuerschutz

Frachtraumausrüstung – Klassifizierung



- Frachtraum der **Klasse E** (Frachterhauptdeck z.B. Boeing B747 F)

In Frachträume dieser Art befinden sich nur in reinen Frachtflugzeugen.

Sie besitzen eine Rauch- oder Brandspüranlage, die im Cockpit eine Warnung auslöst.

Vom Cockpit aus muss die Möglichkeit bestehen, die Belüftung zu oder innerhalb des Raums abzustellen.

Es muss sichergestellt sein, dass keine gefährlichen Mengen an Rauch, Flammen und/oder schädlichen Gasen in das Cockpit gelangen kann.

Für die Besatzung müssen Notausstiege unter allen Arten der Frachtbeladung jederzeit zugänglich sein.

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Allgemeiner Feuerschutz					
Frachtraumausrüstung – Klassifizierung – Zusammenfassung					
	Klasse A	Klasse B	Klasse C	Klasse D	Klasse E
belüftet	X	X	X		X
zugänglich während des Fluges	X	X			
ausgerüstet mit Feuer/Rauchwarnsystem	X	X			X
ausgerüstet mit Handfeuerlöschgerät	X	X			
ausgerüstet mit Feuerlöschsystem			X		
Belüftung abschaltbar			X		X
Feuer, Rauch und Löschmittel kann von der Kabine ferngehalten werden		X	X	X	X
Beispiel	Passagierkabine und Cockpit	Frachterhauptdeck B 737F	normaler Frachtraum A 320	nicht lebende Fracht B 737	Frachthauptdeck B 747F

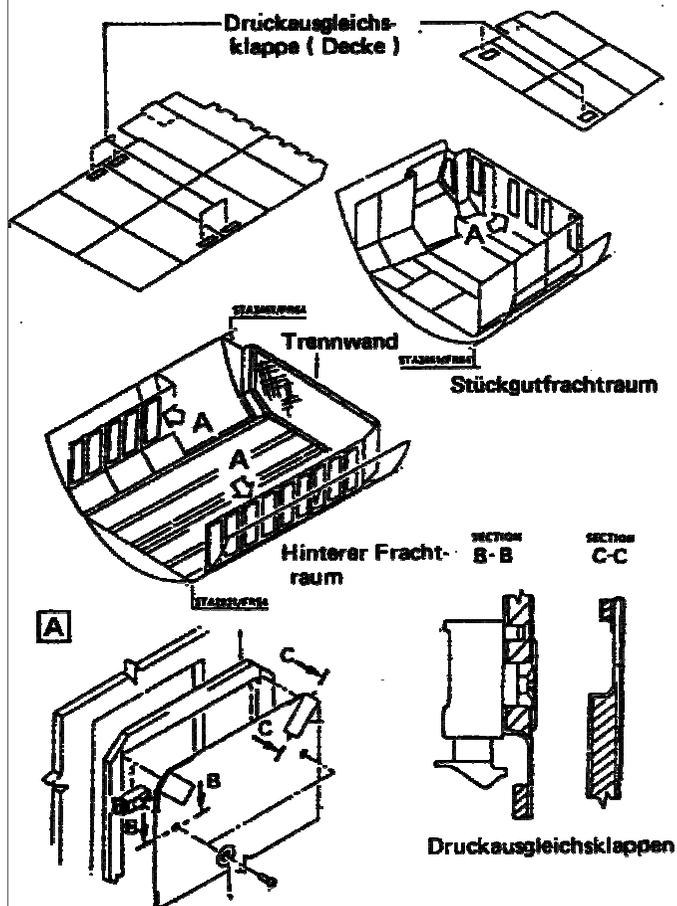
Quelle: Lufthansa – German Airlines Pilots School, Bremen

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Allgemeiner Feuerschutz

Frachtraumausrüstung – Innenverkleidung und Isolierung



- Alle Teile, die zur Wärme- oder Schallisolierung oder sonst welcher Verkleidungen in Frachträumen verwendet werden, müssen selbstlöschend sein und einer Prüfung nach Anhang F der JAR/FAR 25 unterzogen worden sein.
- Dazu gehören auch Frachtmittel, wie Kisten, Container, Planen, Netze, Paletten und Verzurreinrichtungen.
- In Frachträumen der Klassen B bis E müssen Verkleidungen vorhanden sein und sie dürfen nicht als tragender Teil der Struktur verwendet werden, aber daran befestigt sein.
- Sind Flugzeugausrüstungsteile, elektrische Leitungen, Verrohrungen, Steuerseile oder Feuerlöscheinrichtungen im Frachtraum angeordnet, so müssen diese so geschützt sein, dass sie beim Verrutschen von Fracht nicht beschädigt werden können.
- Zum Flugzeug zugehörige Wärmequellen im Frachtraum müssen so abgeschirmt und isoliert sein, dass sich Fracht daran nicht entzünden kann.
- Die Isolierung entspricht im Wesentlichen der der Kabine

Druckausgleichsklappen für hintere Frachträume (Airbus)
 Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Feuerschutzanlagen

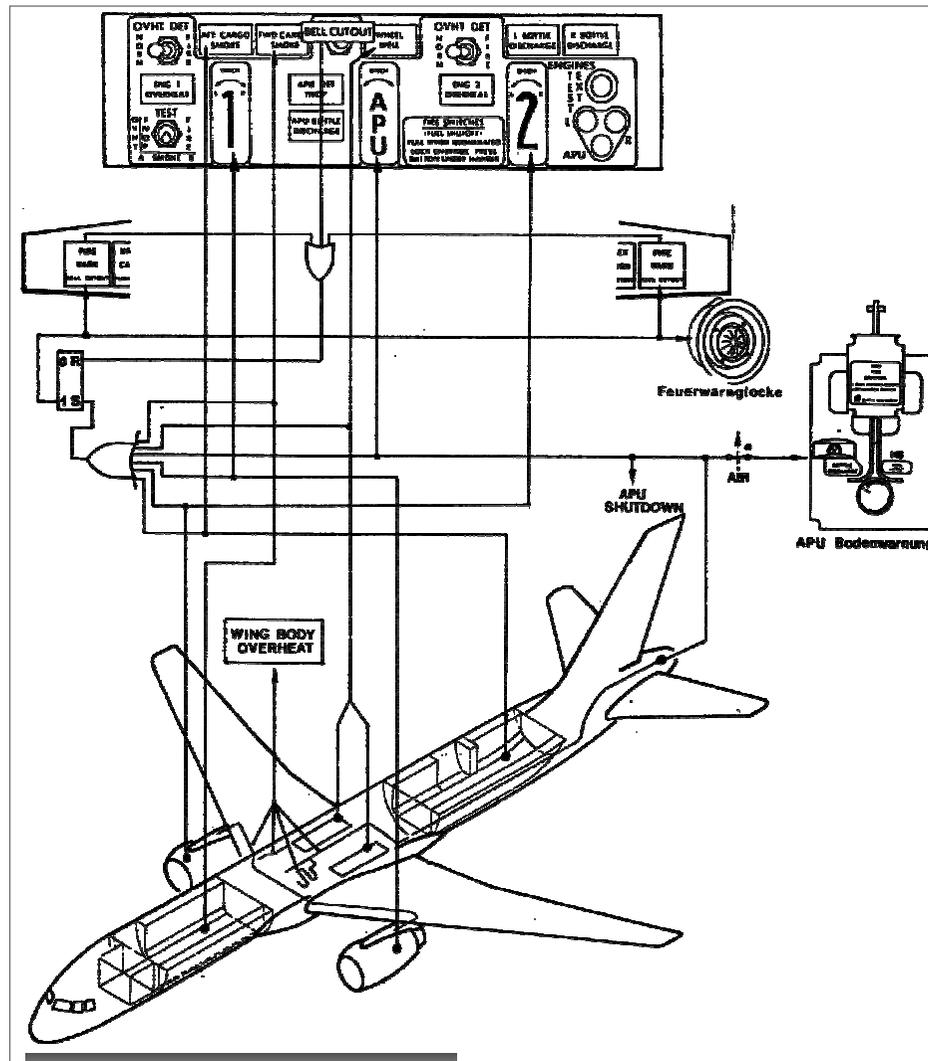
Vorbetrachtungen

- Alle Flugzeuge oberhalb eines zulässigen Gesamtgewichts von 12 500 lb (ca. 6 to) sind mit Feuerschutzanlagen ausgerüstet. Eine Feuerschutzanlage besteht aus:
 - **der Feuerwarnung**
 - **der Feuerlöschung**
- Eine **Feuerwarnanlage** besteht aus:
 - den **Brand-, Rauch- und/oder Übertemperaturfühlern** die an jeder besonders brandgefährdeten Zone installiert sein müssen
 - den **Überwachungs- und Warneinrichtungen im Cockpit**
- Eine **Feuerlöschanlage** besteht aus:
 - den **fest installierten Feuerlöscheinrichtungen**
 - den **Handfeuerlöschern**
 - den **Flammunterdrückungseinrichtungen**
- Besonders brandgefährdete Zonen sind:
 - die Hauptmotoren, d.h. die Triebwerke
 - das Hilfstriebwerk, d.h. die APU
 - Heizeinrichtungen die Brennstoff verwenden
 - Fahrwerksschächte
 - Frachträume der Klassen B, C und E
 - Bereiche in die heiße Triebwerksluft zum Enteisen oder zum Beheizen gelangt

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling

Feuerschutzanlagen

Allgemeines

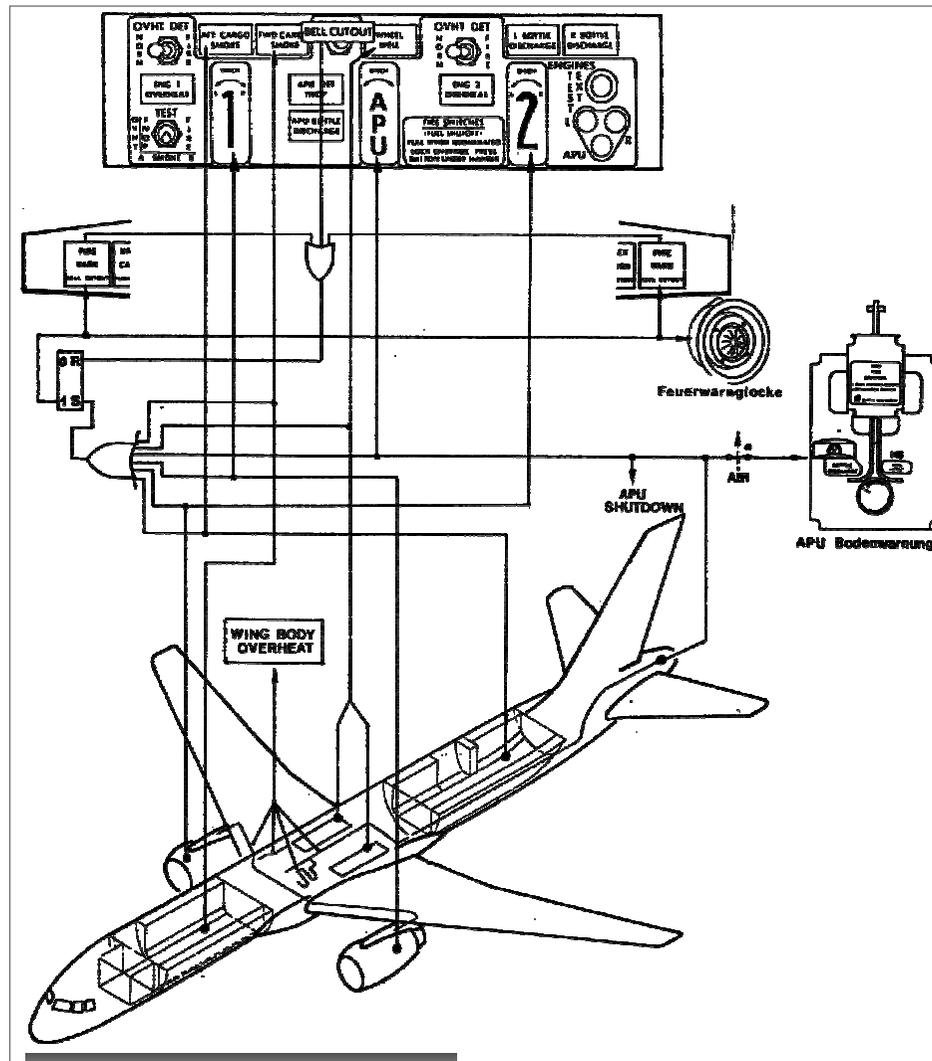


- Jedes Ansprechen einer Feuerwarnanlage löst im Cockpit eine **optische und** meist auch eine **akustische Warnung** aus.
- Die **optische Warnung** besteht aus einer **roten Systemwarnlampe**, die den Bereich des Feuers anzeigt und evtl. aus einer zusätzlichen **Hauptfeuerwarnlampe**, die immer direkt im Blickfeld des Piloten liegt.
- Die **akustische Warnung** besteht aus einer **Glocke**, die bei jeder Feuerwarnung ertönt.
- Die Hauptfeuerwarnlampe und die Glocke können vom Piloten abgeschaltet werden. Die rote Systemwarnlampe bleibt aber stets so lang an, solange vom Feuerdetektor ein Feuer gemeldet wird.

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling

Feuerschutzanlagen

Allgemeines



- Bei der Feuerwarnanlage für die APU ist zusätzlich eine Bodenwarnung installiert, die das Wartungspersonal außerhalb des Flugzeuges warnt.
- Die Bodenwarnung besteht aus einer **roten Warnlampe** und einem **sehr kräftigen Horn**, das sich **in einem der Fahrwerkschächte** befindet.
- Im Flug ist diese Warnung stets automatisch abgeschaltet.
- Im Falle einer Feuerwarnung wird die APU stets sofort automatisch abgeschaltet.
- Alle Feuerwarnanlagen müssen zu jeder Zeit auf ihre Funktionstüchtigkeit hin überprüfbar sein.
- Sollte während des Fluges ein Fehler im Feuerwarnsystem auftreten, der eine Feuerwarnung verhindert, so muss die Besatzung durch eine Anzeige davor gewarnt werden.

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Feuerschutzanlagen

Vorschriften nach JAR/FAR 25

- Eine Feuerwarnanlage muss in der Lage sein, die Besatzung eines Flugzeuges unverzüglich vor Feuer oder Übertemperaturen durch Verwendung von roten Warnlampen und akustischen Signalen zu warnen.
- Das System muss akkurat anzeigen, dass ein Feuer gelöscht wurde und darüber hinaus auch anzeigen, dass es evtl. wiederaufgeflammt ist.
- Das System muss dauerhaft haltbar und auch widerstandsfähig sein gegen alle von außen einwirkenden Einflüssen und Belastungen, die an dem jeweiligen Montageort möglich sind.
- Das System muss eine akkurate und effektive Methode zum Testen der Funktionsweise der Warnanlage beinhalten.
- Es muss einfach sein, das System zu inspizieren und es ein- und auszubauen.
- Das System und seine Komponente müssen hinsichtlich eines Fehlalarms oder eines Nichtansprechens der Anlage eine sehr hohe Ausfallwahrscheinlichkeit aufweisen.
- Das System muss ein Minimum an elektrischer Energie benötigen und es muss auf die elektrische Bordversorgung des Flugzeuges zugreifen, ohne zusätzliche elektrische Wandler oder sonstige Spezialeinrichtungen zu benötigen.



Feuerschutzanlagen

Triebwerksfeuerwarnung durch Feuerwarnschleifen

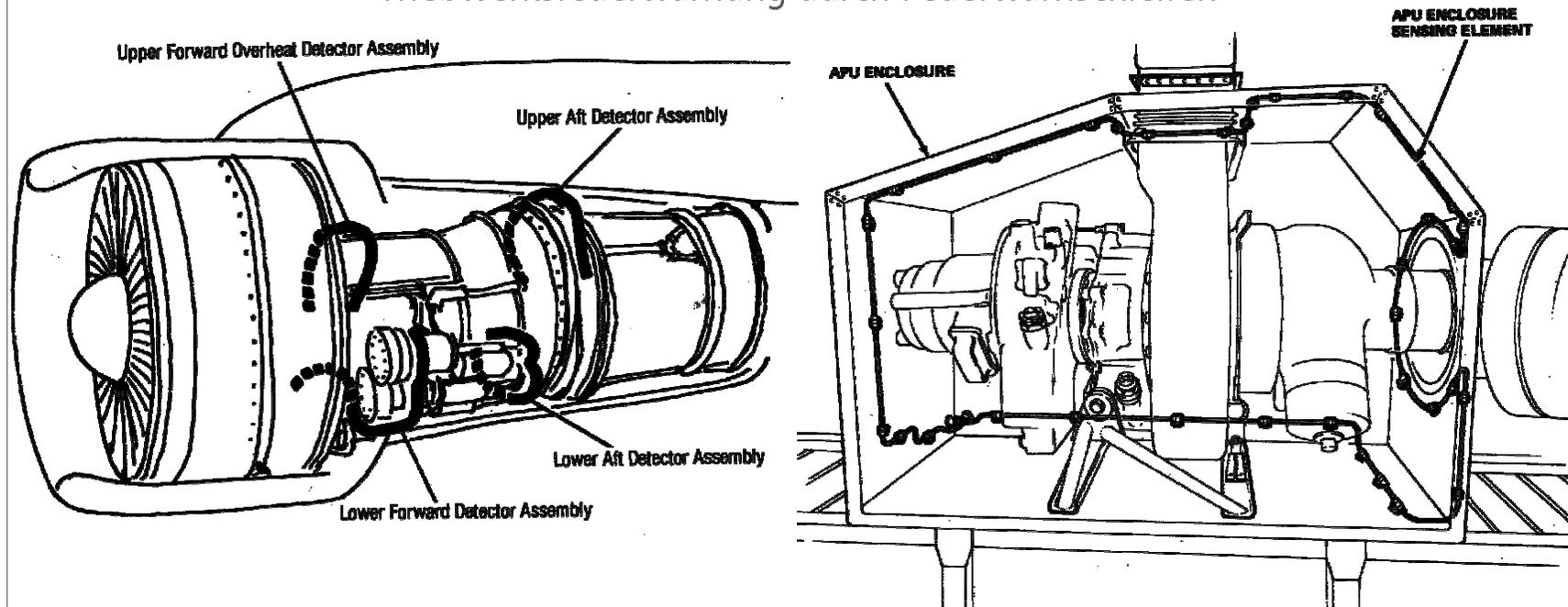
- Früher verwendete man Bimetallschalter und Thermoelemente zur Triebwerksfeuerwarnung. Heute findet man praktisch nur noch sog. **Feuerwarnschleifen**.
- Diese Warnschleifen sind so am Triebwerk installiert, dass alle gefährdeten Bereiche erfasst werden. Dieses kann sowohl mit einer längeren als auch mit mehreren kürzeren Warnschleifen erreicht werden.
- Aus Gründen der Betriebssicherheit werden fast immer zwei Warnschleifen parallel verlegt (*dual loop*). Eine Warnung wird nur dann ausgelöst, wenn beide Warnschleifen Feuer melden.
- Man unterscheidet zwei grundlegende Verfahren: die **Halbleiterschleife** und die **Gasdruckschleife**.

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Feuerschutzanlagen

Triebwerksfeuerwarnung durch Feuerwarnschleifen



- Mehrere kürzere Warnschleifen an einem Triebwerk.
- Die einzelnen Positionen markieren die besonders feuergefährdeten Stellen an einem Triebwerk.

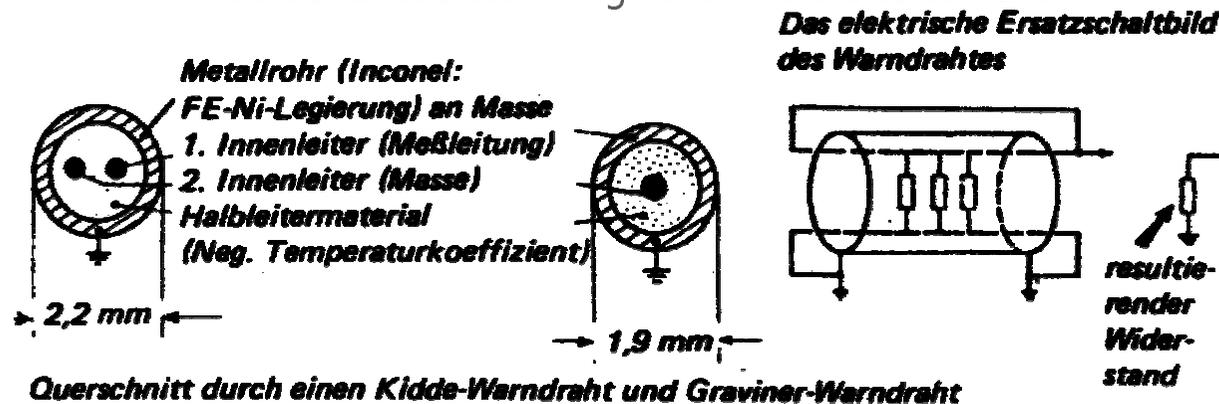
- Eine einzige lange Warnschleife zur Überwachung des Einbauraums der APU (*APU compartment*)

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Feuerschutzanlagen

Triebwerksfeuerwarnung durch Halbleiterschleifen



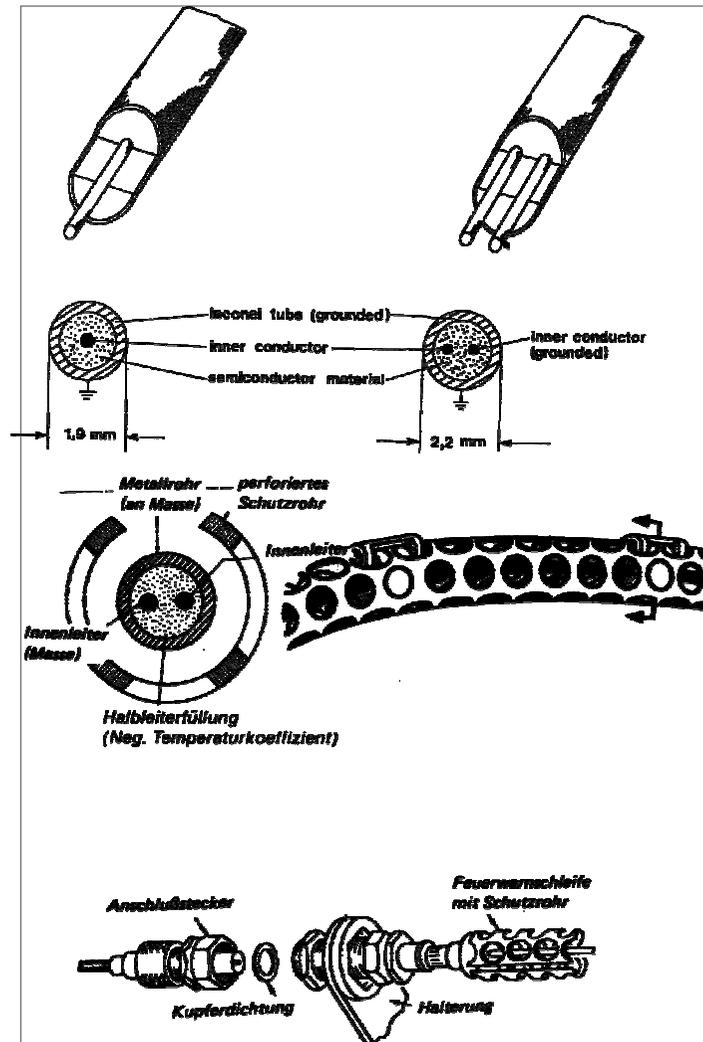
- Halbleiter haben die Eigenschaft, dass sie ihren Widerstand mit der Temperatur verändern. Der Widerstand wird kleiner, wenn die Temperatur ansteigt. Diesen Effekt nutzt die Feuerwarnschleife.
- In einem Metallröhrchen (Nickellegierung - INCONEL), das mit Halbleitermaterial (Aluminiumoxid-Keramik, eutektisches Salz) gefüllt ist und einen Durchmesser von ca. 2 mm hat, ist ein Draht aus reinem Nickel eingebettet. Eine Überwachungseinheit misst ständig den Widerstand zwischen dem Metallröhrchen und der Drahtseele, wobei das Metallröhrchen an der Masse anliegt.
- Im Bereich normaler Temperaturen liegt der Widerstand bei etwa $10^6 \Omega$. Die Feuerwarnung spricht an, wenn der Widerstand auf $10^2 \Omega$ gefallen ist.
- Schleifen mit **1 Seele** nennt man „**Gravier**“-Warndraht und Schleifen mit **2 Seelen** nennt man „**Kidde**“-Warndraht. Bei der letzteren Ausführung ist einer der inneren Drähte mit dem Metallröhrchen verbunden, so dass beide zusammen an der Masse anliegen.



Feuerschutzanlagen

Triebwerksfeuerwarnung durch Halbleiterschleifen

- Die Halbleitermaterialien in den Warnschleifen sind sehr spröde, was beim Biegen der Schleifen wesentlich ist:
 - der optimale Biegeradius ist 80 mm
 - der minimale Biegeradius ist 25 mm
- Bei Nichtbeachtung der Biegeradien kann es infolge von Vibrationen zum Kurzschluss zwischen Seele und Ummantelung kommen, was eine Feuerwarnung auslöst oder diese verhindert.
- Dieselbe Auswirkung haben Scheuerstellen an den Schleifen. Von daher muss immer ein minimaler Abstand von 13 mm zur Struktur eingehalten werden.
- Um Scheuer- und Knickstellen zu verhindern, werden die Warnschleifen in einem perforierten Schutzrohr verlegt. Der Warndraht wird dabei durch Abstandscheiben zentrisch im Schutzrohr gehalten.
- An ihren Endpunkten werden die Warnschleifen mit der Flugzeugverkabelung durch spezielle Stecker verbunden, die verhindern sollen, dass Feuchtigkeit und Schmutz (Wasser, Kraftstoff, Öl, Fett usw.) in die Warnschleifen eindringen kann, was ihren Isolationswiderstand verändern würde.
- Die Abdichtung erfolgt über Kupferscheiben, die aufgrund ihrer Verformung beim Anziehen nur einmal benutzt werden dürfen.

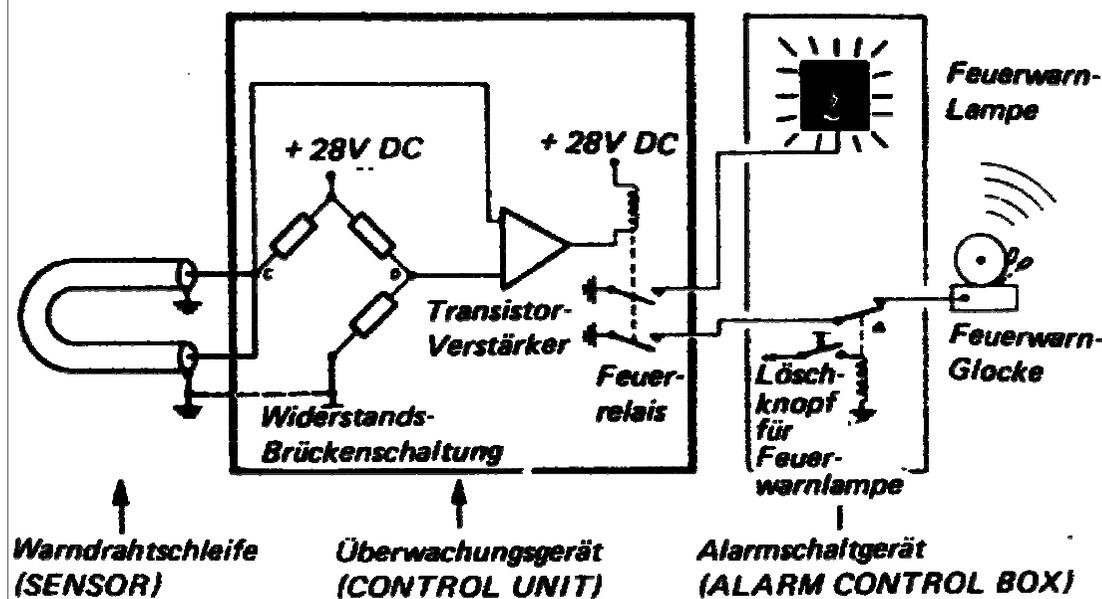


Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Feuerschutzanlagen

Triebwerksfeuerwarnung durch Halbleiterschleifen

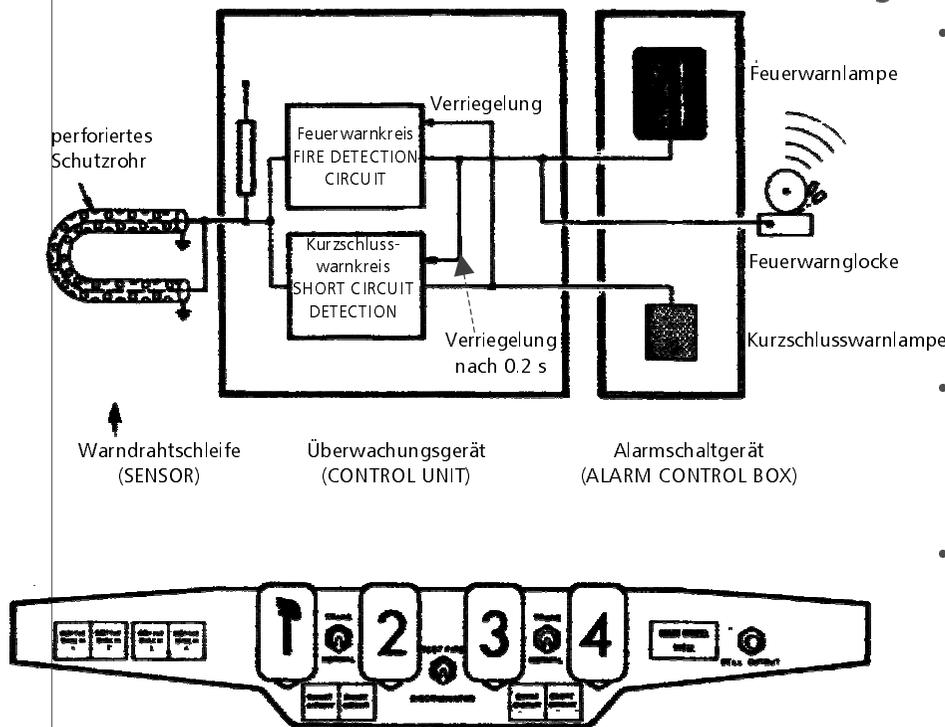


- Im einfachsten Fall wird die Feuerwarnschleife als Brückenwiderstand einer Wheatstoneschen Messbrücke gelegt.
- Sinkt der Widerstand der Schleife unter einen bestimmten Wert, so spricht ein Verstärker an, der die Brückenspannung misst und über ein Relais die Feuerwarnung auslöst.
- Ein solches Überwachungsgerät hat den Nachteil, dass es bei einem Kurzschluss zwischen der Drahtseele und der Masse ebenfalls eine Feuerwarnung auslöst.
- Heutige Überwachungsgeräte erkennen den Unterschied zwischen einem Kurzschluss und einer Feuerwarnung.



Feuerschutzanlagen

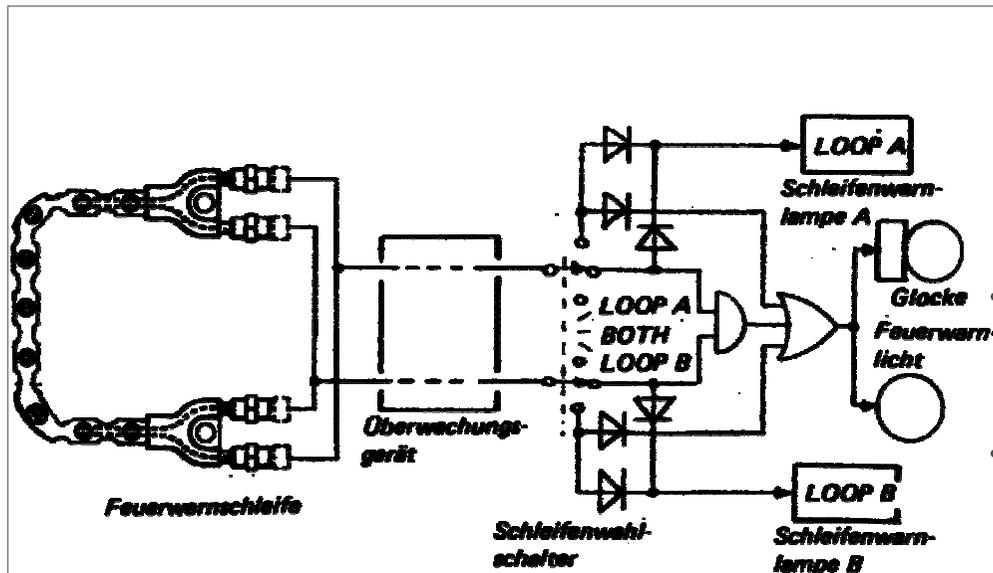
Triebwerksfeuerwarnung durch Halbleiterschleifen



- Bei der Unterscheidung zwischen Feuerwarnung und Kurzschluss macht man sich zu Nutze, dass:
 - bei echtem Feuer der Schleifenwiderstand relativ langsam auf unter 450Ω abfällt und dass dieser Zustand dann mindestens 0.2 s lang erhalten bleibt.
 - bei einem Kurzschluss ein plötzlicher Abfall des Widerstandes auf unter 100Ω auftritt.
- Fällt also der Widerstand unter 450Ω , aber innerhalb von 0.2 s nicht auch noch unter 100Ω , so heißt das, dass ein Feuer vorliegt und es wird eine Warnung ausgelöst.
- Unterschreitet aber der Widerstand in weniger als 0.2 s den Bereich zwischen 450 und 100Ω , so wird die Feuerwarnung blockiert und stattdessen eine Kurzschlusswarnung ausgelöst. Im Cockpit leuchtet eine bersteinfarbene (*amber*) mit der Beschriftung SHORT CIRCUIT auf.

- Wenn eine solche Warnlampe aufleuchtet, weiß die Besatzung, dass von dem betreffenden Triebwerk keine Feuerwarnung mehr kommen kann, auch wenn noch ein echtes Feuer auftreten sollte.
- Die Besatzung muss in einem solchen Fall die Triebwerksinstrumente permanent überwachen, um an Anomalien der überwachten Daten ein Feuer zu erkennen

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Feuerschutzanlagen

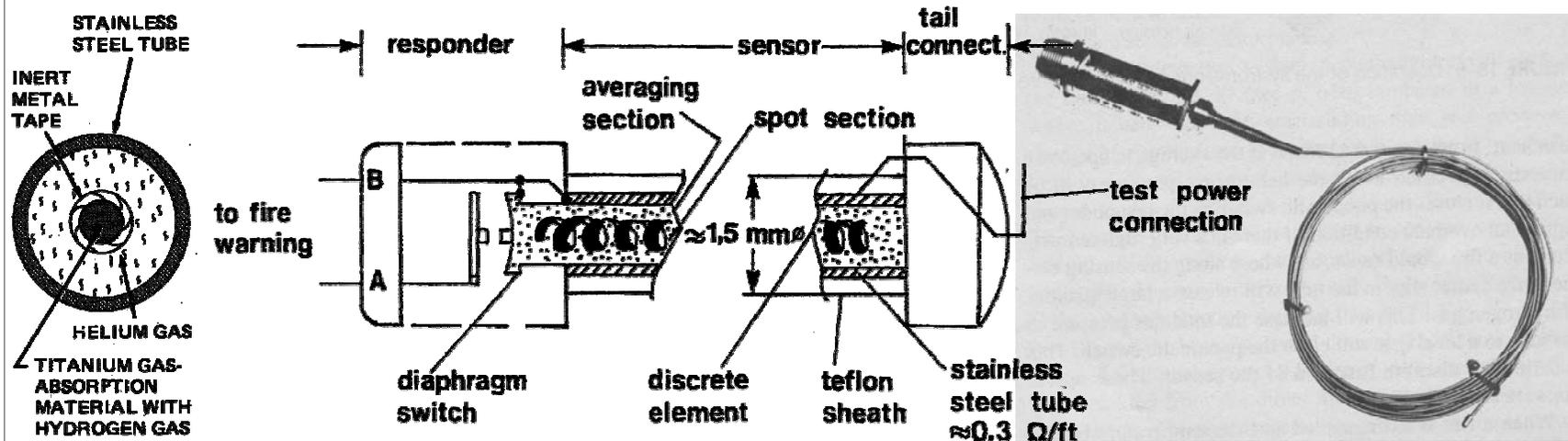
Triebwerksfeuerwarnung durch Halbleiterschleifen

- Die meisten Kurzschlüsse werden aber durch Feuchtigkeit und Schmutz ausgelöst, die in die Warnschleifen eindringen.
- Das Widerstandsverhalten der Schleifen ist in diesem Fall ähnlich wie bei einem echten Feuer, so dass ein solcher Kurzschluss nicht erkennbar ist.
- Deswegen werden – zumindest bei den Triebwerken – zwei völlig voneinander unabhängige Feuerwarnkreise installiert. Nur wenn beide den Ansprechwert der Anlage unterschreiten, wird eine Feuerwarnung ausgelöst.
- Beim Auslösen nur einer der beiden Warnschleifen leuchtet eine bernsteinfarbene Warnlampe auf. Die Besatzung prüft dann, ob der zugehörige zweite Kreis korrekt funktioniert. Ist dies der Fall, so kann man davon ausgehen, dass kein Feuer vorliegt. Die defekte Schleife kann durch einen Schalter abgeschaltet werden.
- Eine Feuerwarnung kann dann immer noch über die verbliebene zweite Schleife erfolgen.



Feuerschutzanlagen

Triebwerksfeuerwarnung durch Gasdruckschleifen



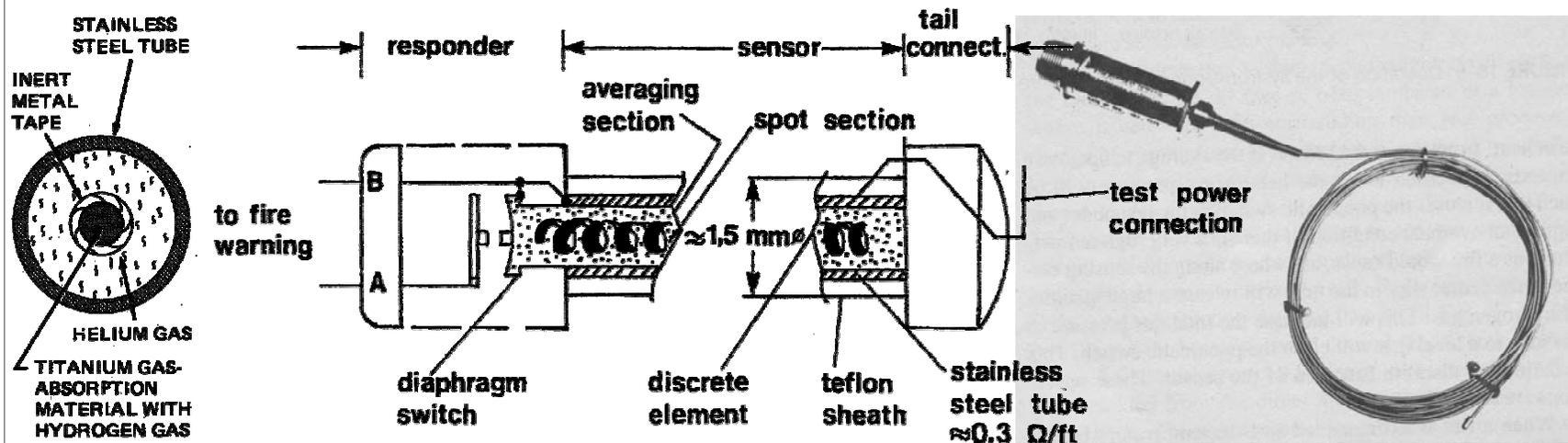
- Die Gasdruck-Feuerwarnschleife besteht aus einem von einer Teflonschutzhülle umgebenen Metallröhrchen aus rostfreiem Stahl, das im Zentrum eine spiralförmig umwickelte Seele enthält.
- Die Seele besteht aus Titan, in dem Wasserstoff chemisch gebunden ist.
- Bei einer örtlichen Erhitzung auf etwa 400 °C gibt das Titan das Gas ab, was zu einem Druckanstieg im Röhrchen führt.
- Der Druckanstieg wirkt auf einen Membranschalter am Ende der Warnschleife, der schließlich die Warnlampe und die Glocke im Cockpit auslöst.
- Nach erfolgter Abkühlung absorbiert die Titanseele das Gas wieder und der Druckschalter fällt in seine Ruhelage zurück.

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Feuerschutzanlagen

Triebwerksfeuerwarnung durch Gasdruckschleifen



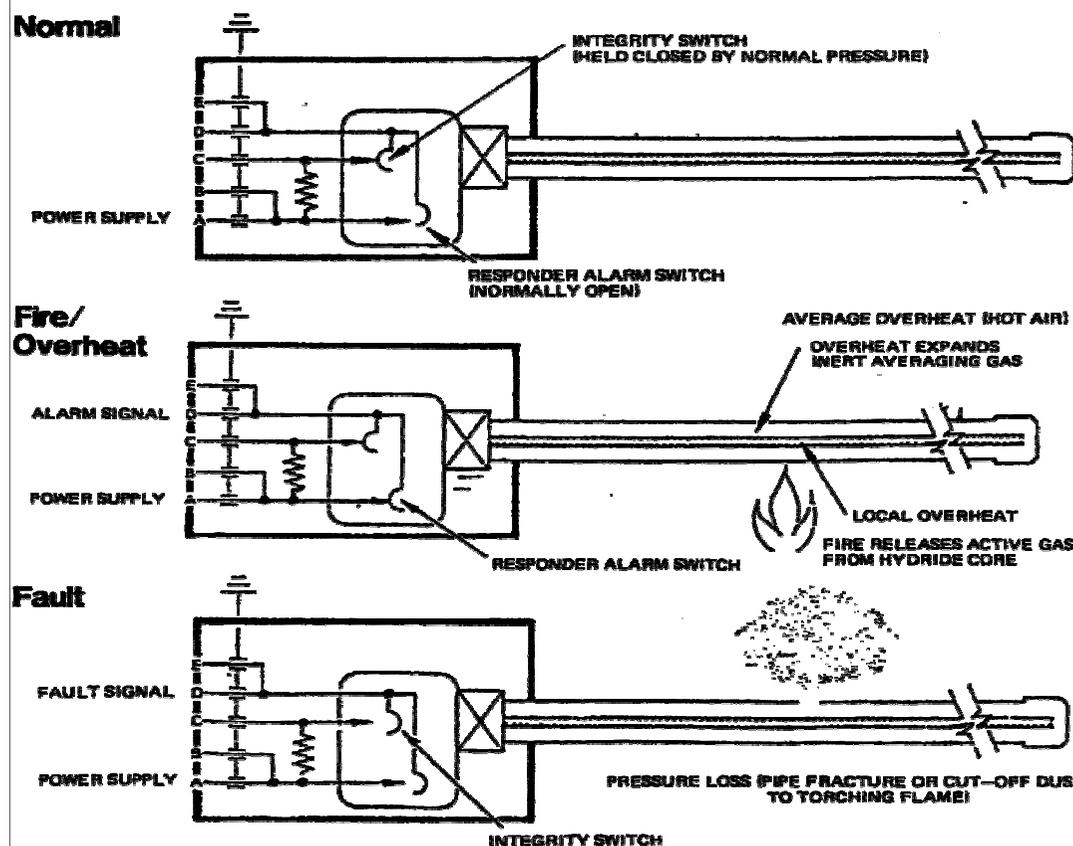
- Zwischen der Seele und dem Metallröhrchen befindet sich Helium, das einen zweiten Ansprechwert ergibt.
- Bei Erwärmung über eine größere Länge der Warnschleife auf etwa 200 °C dehnt sich das Helium-Gas derart aus, dass der dadurch verursachte Druckanstieg wiederum den Druckschalter auslöst.
- Scheuerstellen und zu kleine Biegeradien führen zu Haarrissen und lassen das Gas entweichen:
 - 13 mm Abstand der Warnschleife zu umgebenden Strukturen
 - minimaler Biegeradius ist 80 mm
- Wie zuvor bereits beschrieben werden auch die Gasdruckschleifen als zwei parallel arbeitende Warnschleifen installiert.

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Feuerschutzanlagen

Triebwerksfeuerwarnung durch Gasdruckschleifen

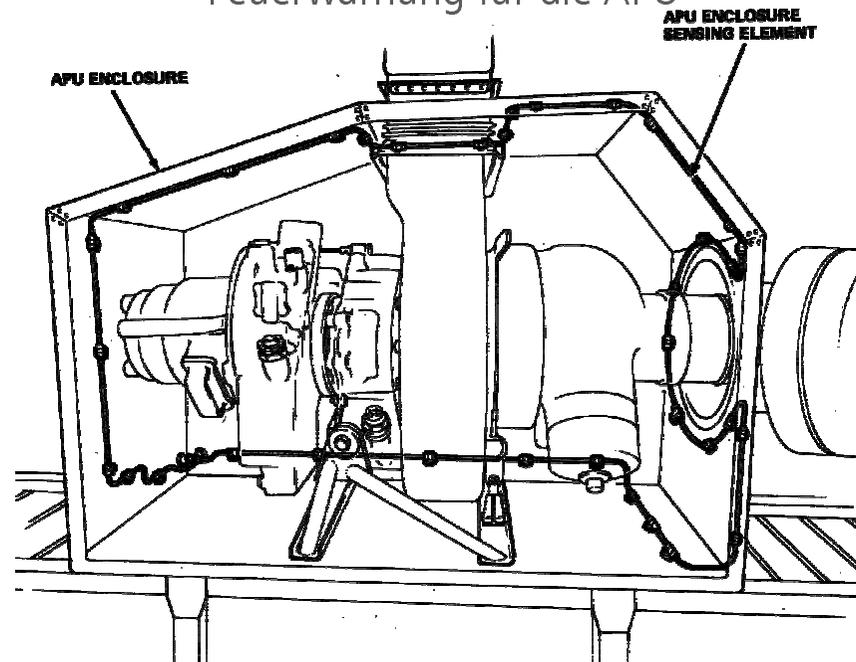


- Fehlwarnungen können praktisch nur durch Undichtigkeiten in der Warnschleife entstehen.
- Zu diesem Zweck ist die Warnschleife mit einem zweiten Druckschalter (*integrity switch*) ausgerüstet, der den Normaldruck (2 bis 3 bar) in der Schleife misst.
- Entweicht der Gasdruck durch eine Leckage, so spricht dieser Schalter an und bewirkt eine Fehleranzeige im Cockpit.



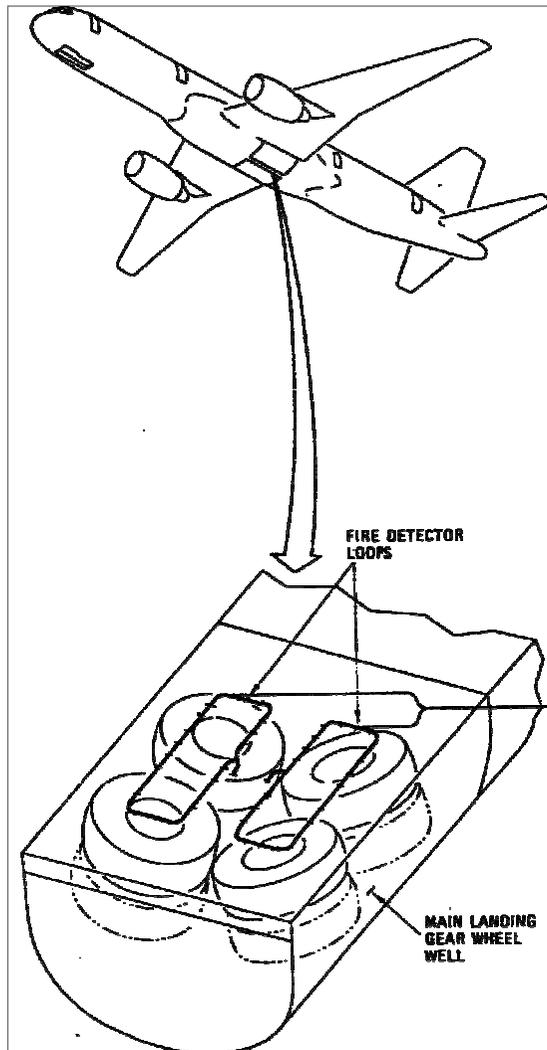
Feuerschutzanlagen

Feuerwarnung für die APU



- Für die Feuerwarnung der APU werden die gleichen Detektoren verwendet, die auch für die Triebwerksüberwachung zum Einsatz kommen.
- Es werden bei den Warnschleifen aber keine Doppelinstallationen vorgenommen, da ein hier Ausfall der Anlage durch Kurzschluss bzw. durch Undichtigkeiten als weniger kritisch angesehen wird als bei einem der Haupttriebwerke.

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Feuerschutzanlagen

Feuerwarnung im Hauptfahrwerksschacht

- Alle Fahrwerksschächte, in die gebremste Räder eingefahren werden, sind auf Überhitzung zu überwachen, da es infolge überhitzter Bremsen zu Reifenexplosionen im Fahrwerksschacht kommen kann.
- Es wird eine Feuerwarnung mit rotem Licht und Warnglocke ausgelöst. Als Gegenmaßnahme muss in diesem Fall von der Besatzung sofort das Fahrwerk zur Abkühlung ausgefahren werden.
- Die Überwachung des Fahrwerksschachts erfolgt grundsätzlich durch Halbleiterschleifen.
- Bei Flugzeugen, die eine individuelle Bremstemperaturüberwachung haben, wie z.B. Airbus A319/A320/A321/A340, kann auf eine zusätzliche Feuerwarnung im Fahrwerksschacht verzichtet werden.

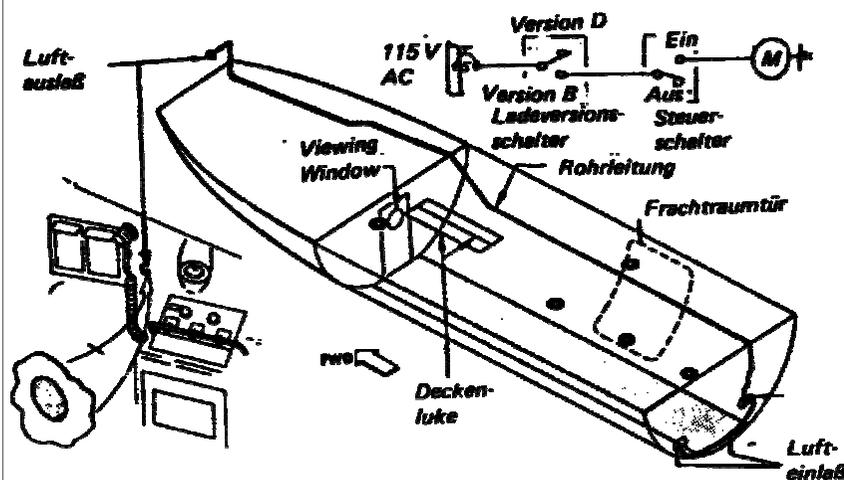
Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Feuerschutzanlagen

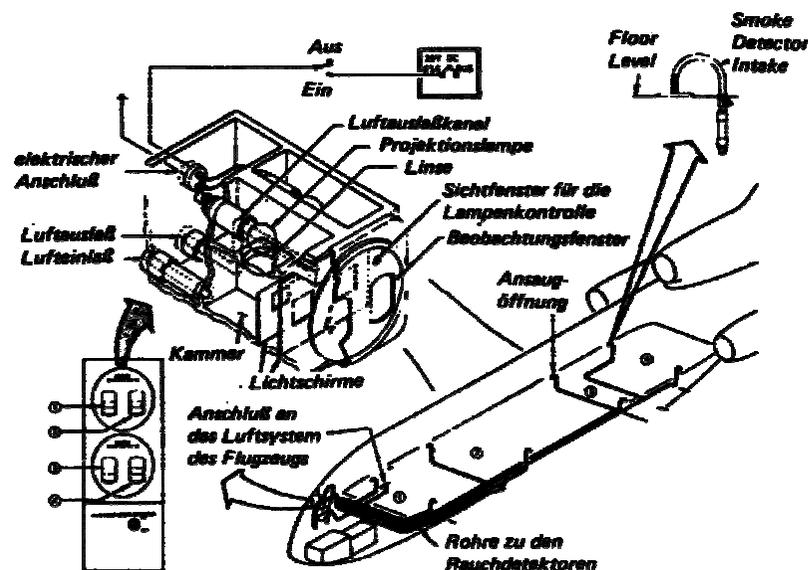
Feuerwarnung in Frachträumen – ältere Lösungen

biologische Rauchererkennung



- Über ein Rohrsystem wird ständig Luft aus dem Frachtraum ins Cockpit geleitet.
- Diese Methode kann aber zu ganz erheblichen Geruchsbelästigungen für die Besatzung führen, besonders wenn Tiere geladen sind.

optische Rauchererkennung



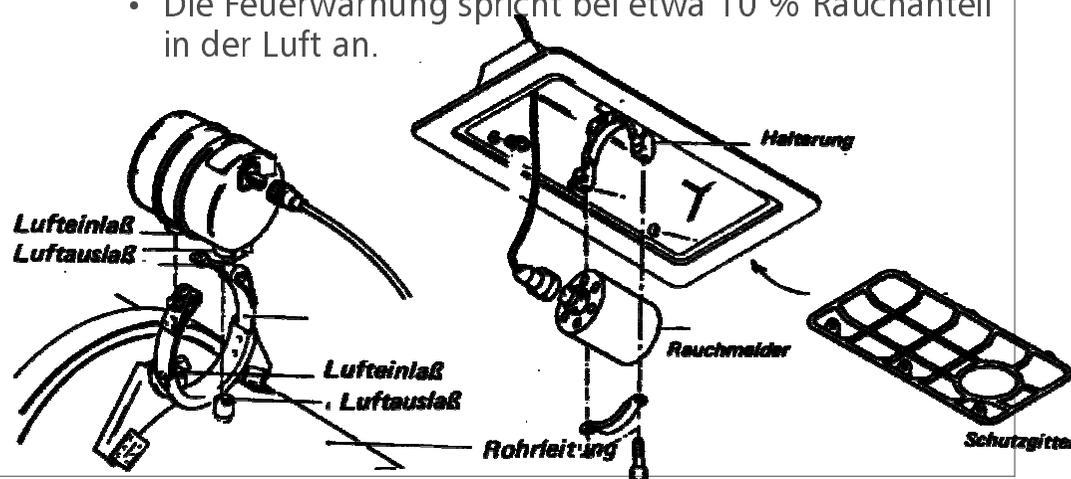
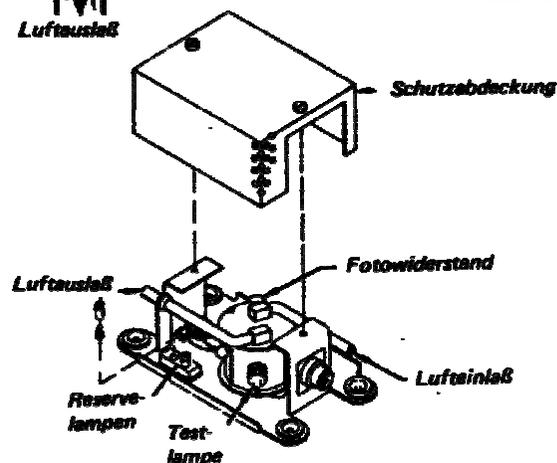
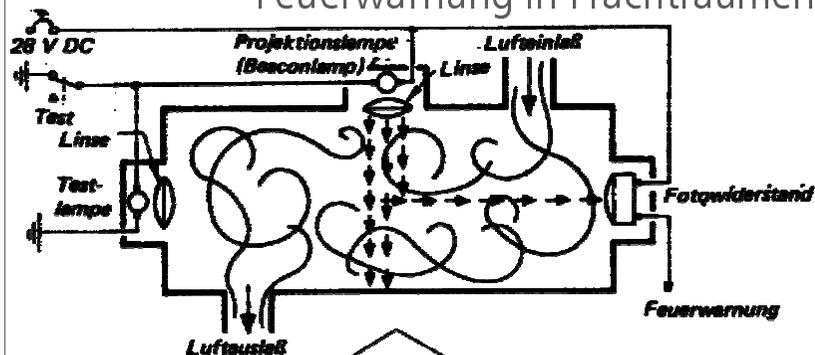
- Luft aus dem Frachtraum wird in eine vollkommen schwarze Beobachtungskammer geleitet.
- Eine zum Beobachtungsfenster hin abgeschirmte Lampe beleuchtet den Raum.
- Rauchpartikel reflektieren das Licht, so dass er von der Besatzung erkannt werden kann.

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Feuerschutzanlagen

Feuerwarnung in Frachträumen – opto-elektronischer Rauchdetektor



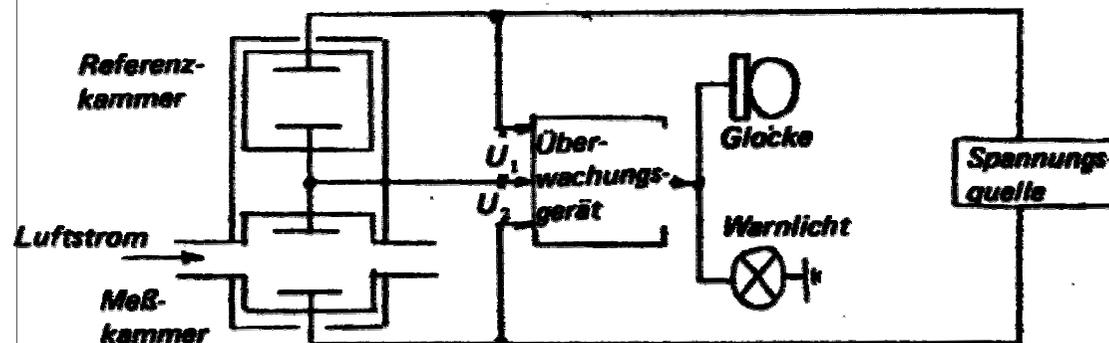
- Die Rauchmelder sind entweder im Frachtraum unter der Decke installiert oder ihnen wird die Luft (Rauch) durch Rohrleitungen zugeführt.

- Luft wird in einen Rauchmelder (*smoke detector*) geleitet.
- Enthält die Luft Rauch, so wird daran das Licht einer Lampe reflektiert, die sich im Rauchmelder befindet und das dann von einem Fotowiderstand wahrgenommen werden kann.
- Empfängt der Fotowiderstand Lichtsignale, so verringert sich sein Widerstand und ein Verstärker lässt ein Relais anziehen, das so die Feuerwarnung auslöst.
- Die Feuerwarnung spricht bei etwa 10 % Rauchanteil in der Luft an.



Feuerschutzanlagen

Feuerwarnung in Frachträumen – Ionisationsrauchmelder



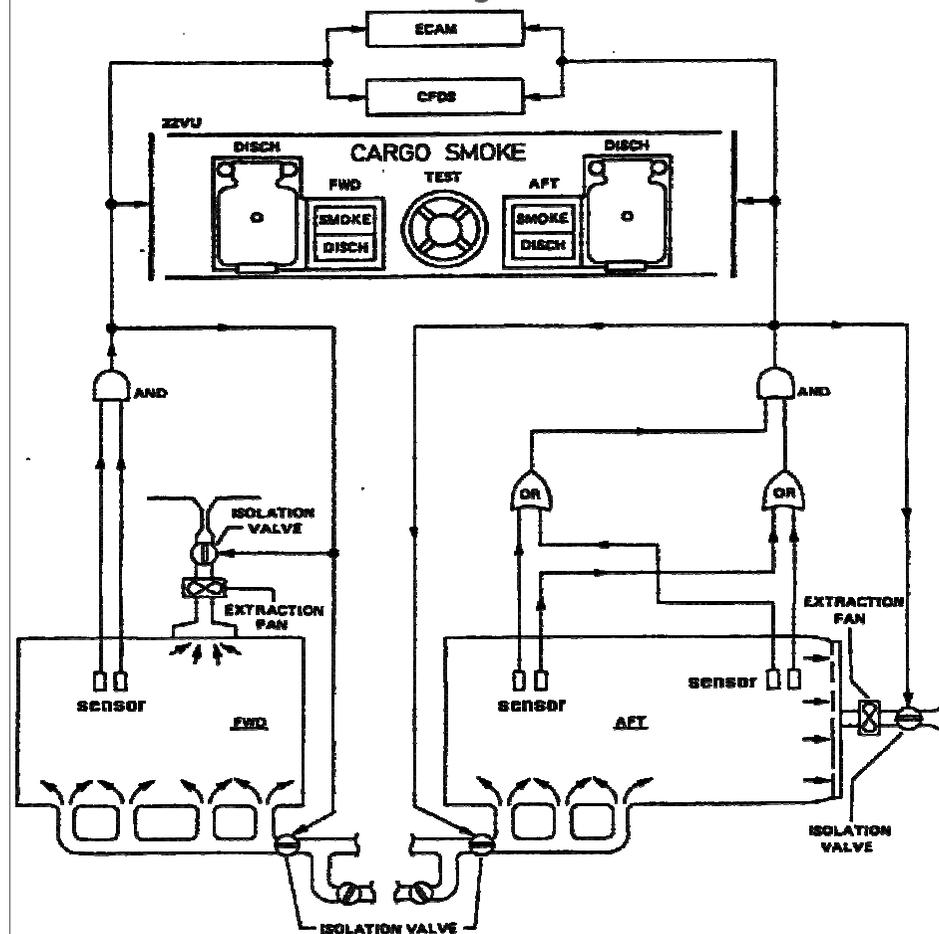
- Ein Ionisationsrauchmelder besteht aus 2 Kammern (Referenz- und Messkammer), die jeweils mit einem radioaktiven Strahler ausgestattet sind.
- Die Referenzkammer ist nach außen abgeschlossen, während die Messkammer durchströmt wird.

- Beide Kammern sind elektrisch in Reihe an eine feste Spannung angeschlossen. Der durch die Kammern fließende Strom erzeugt an den Elektroden der beiden Kammern einen definierten Spannungsabfall.
- Dringen in die offene Messkammer Rauchpartikel ein, so lagern sich die Ionen an die Rauchpartikel an, was zu einer Verlangsamung der Ionenbewegung führt. Dieses hat schließlich eine Vergrößerung des Widerstandes der Messkammer zur Folge, während der Widerstand der Referenzkammer konstant bleibt.
- Die sich ergebende Spannungsänderung durch die Kammern wird von einem Überwachungsgerät erkannt, das schließlich die Feuerwarnung auslöst.
- Die geschlossene Referenzkammer dient auch der Kompensation von atmosphärischen Einflüssen, wie Änderungen beim Druck und der Temperatur. Diese wirken sich in beiden Kammern gleich aus, so dass hierdurch keine fehlmessung entstehen kann.

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling

Feuerschutzanlagen

Feuerwarnung in Frachträumen – Ionisationsrauchmelder (Airbus A310)



- Die Rauchmelder enthalten radioaktives Americium 241 mit einer Aktivität von $3 \cdot 10^4 \text{ s}^{-1}$.
- Das Radionuklid ist von einer inaktiven Hülle umgeben, so dass nur γ -Strahlung nach außen gelangt.
- Beim Wechsel und der Instandhaltung sind deswegen solche Rauchmelder mit sehr großer Sorgfalt zu behandeln.
- Sind Beschädigungen oder Verlust des Strahlereinsatzes entstanden, so sind sofort die Strahlenschutzbeauftragten des Betriebes zu informieren.

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Feuerschutzanlagen

Feuerlöschung – Brandklassen und Löschmittel

- In allen Bereichen eines Flugzeuges, in denen durch ein Feuer eine Gefährdung für das Flugzeug und seine Besatzung entstehen kann, muss eine Feuerlöscheinrichtung vorhanden sein.
- In Cockpit, Kabine und leicht zugänglichen Frachträumen reichen Handfeuerlöscher aus.
- An unzugänglichen Stellen und speziell an den Motoren müssen fest installierte Löscheinrichtungen vorhanden sein.
- Mit welchen Löschmitteln ein Feuer zu bekämpfen ist, richtet sich danach, welcher Brandklasse ein Feuer an dem jeweiligen Ort typischer Weise zugeordnet werden kann:

Brandklasse A

alle festen und glutbildenden Stoffe, wie z.B. Holz, Textilien, Kohle usw.

Brandklasse B

alle brennbaren flüssigen Stoffe, wie z.B. Benzin, Öl, Lösungsmittel und Lacke aber auch alle Fette und teerhaltigen Produkte

Brandklasse C

unter Druck austretende Gase, wie z.B. Methan, Propan, Wasserstoff usw.

Brandklasse D

Metallbrände, wie z.B. Aluminium, Magnesium und Titan

Im Folgenden werden nun die in Flugzeugen üblicher Weise verwendeten Löschmittel aufgeführt und ihre Vor- und Nachteile angegeben ...



Feuerschutzanlagen

Feuerlöschung – Brandklassen und Löschmittel

• Wasser (auch in Verbindung mit Schaumbildern)

Löschwirkung

Wasser entzieht dem Brand große Energiemengen beim Übergang vom flüssigen in den dampfförmigen Zustand (Kühleffekt). Bei Schaumzusatz kommt es zusätzlich zum Luftabschluss (Sauerstoffentzug).

Vorteil:

sehr preisgünstig

Nachteil:

Nur für Brandklasse A geeignet.

Erzeugt große Löschsäden.

Flüssigkeitsbrände werden durch Wasser ausgeweitet.

Nicht für Brände im Zusammenhang mit Strom geeignet.

Bei Bränden mit Leichtmetallen, wie z. B. Natrium, Kalium oder Aluminium kommt es zur Bildung von brennbarem Wasserstoff.



Feuerschutzanlagen

Feuerlöschung – Brandklassen und Löschmittel

• Pulver

Löschwirkung

hängt von der Anzahl und Oberfläche der Teilchen ab. Energieverzehr an der großen Oberfläche der Pulverteilchen. Es kommen Salze wie z. B. Natriumhydrogencarbonat NaHCO_3 und Pulver auf Harnstoffbasis zum Einsatz. Manche Feuerlöscher enthalten zudem Ammoniumsalze, wie z. B. Ammoniumsulfat oder Ammoniumphosphat. Diese Salze beginnen bei Hitze zu schmelzen und sperren so den Brandherd ab. Bei Metallbränden verwendet man anstatt der Sulfate oder Carbonate (Explosionsgefahr!) Chlorid-Kunststoff-Gemische. Diese überziehen praktisch beim Schmelzen das brennende Metall mit einer Schicht und schließen es so vom Luftsauerstoff ab

Vorteil:

ist für Brandklassen A, B (auch in Verbindung mit elektrischem Strom) zu verwenden und deckt damit praktisch alle im Flugzeug vorkommenden Brandklassen ab.

Nachteil:

Starke Bildung von Verbrennungsrückständen.

Erzeugt große Löschmittelwolken, die stark sichtbehindernd sind.

Bei Metallbränden kann es bei Verwendung von Sulfaten und/oder Carbonaten im Pulver zu Explosionen kommen.



Feuerschutzanlagen

Feuerlöschung – Brandklassen und Löschmittel

- **Kohlendioxyd CO₂**

Löschwirkung

Verdrängung des Sauerstoffgehaltes in der Verbrennungsluft (Stickeffekt) und zusätzlich ein Kühleffekt bei der Verdunstung des Kohlendioxyds.

Vorteil:

es treten keine Löschsäden durch Rückstandsbildung auf.

Nachteil:

Zum Löschen sind wenigstens 30 Vol.-% erforderlich. Für Lebewesen sind aber bereits 10 Vol.-% tödlich, so dass ein Einsatz mit größeren Löschmengen im Kabinenbereich nicht möglich ist.

CO₂ hat beim Löschen sehr niedrige Temperaturen von etwa -50 °C, die zu Materialschäden und Erfrierungen bei Lebewesen führen können.

Aus den o.g. Gründen dürfen z.B. auch Reifenbänder nicht mit CO₂ gelöscht werden (Explosionsgefahr der spröde werdenden und sich zusammenziehenden Reifen).



Feuerschutzanlagen

Feuerlöschung – Brandklassen und Löschmittel

• Halone

Was sind Halone?

- Halone sind sog. halogenisierte Kohlenwasserstoffe ... aber was bedeutet das?
 - Das Grundmolekül von Kohlenwasserstoffen besteht aus Kohlen- und aus Wasserstoffatomen.
 - Beim Halogenisieren werden eine mehr oder weniger große Anzahl an Wasserstoffatomen durch Halogenatome ersetzt.
- Halogene sind z.B.: Fluor, Chlor und Brom (... Jod und Astatin werden nicht in Löschmitteln verwendet).
- Die Anwesenheit von BROM bewirkt eine hohe Löschwirkung.
- Die Anwesenheit von FLUOR führt zu ungiftigen Verbindungen.
- Tetra-**Chlor**-Kohlenstoff (CTC), Methyl-**Bromid** (MB) und **Chlor-Brom**-Methan (CB) sind hochgradige Nervengifte, die z.B. in Deutschland vollkommen verboten sind. Im Cockpit und in der Kabine von Flugzeugen dürfen sie generell nicht eingesetzt werden.
- In Flugzeugen kommen am häufigsten die folgenden Halone zum Einsatz
 - Halon 1301 (Tri-Fluor-Mono-Brom-Methan, BTM, CF_3Br) auch **Freon** genannt.
 - Halon 1211 (Bromo-Chlorid-Fluor-Methan, BCF, CBrClF_2) auch **Frigen** genannt.



Feuerschutzanlagen

Feuerlöschung – Brandklassen und Löschmittel

• Halone

Löschwirkung

In der Flammenhitze zersetzen sich die Halone und es entstehen Spaltprodukte, die mit den Trägern der eigentlichen Verbrennung reagieren und so schließlich die Verbrennung stoppen, was man als antikatalytischen Effekt bezeichnet.

Vorteil:

ungiftig – aber als umweltschädlich angesehen.

Halon 1301 und 1211 sind für die Brandklassen B, C zugelassen, auch in Verbindung mit elektrischem Strom

Halon 1211 ist auch für Entstehungsbrände der Brandklasse A geeignet.

Mit Halon 1211 werden Wurfweiten bis zu 5 m erreicht, was vorteilhaft ist, wenn eine direkte Annäherung an den Brandherd nicht möglich ist.

Halon 1301 tritt als Dampf aus und lässt sich dadurch gut verteilen, was besonders bei Motorbränden vorteilhaft ist.

Nachteil:

Zersetzungsprodukte beim Löscheinsatz sind giftig, was sich aber auch eine Reizung der Schleimhäute vorankündigt (im Gegensatz zu CO₂ oder CO). Ein kurzzeitiger Kontakt ist damit zwar eine Belästigung aber keine Gefährdung.

Halon 1301 hat einen Siedepunkt von -57.8 °C und tritt deswegen als Dampf aus dem Löschgerät aus, was die Reichweite einschränkt (zum Vergleich: der Siedepunkt von Halon 1211 liegt bei -4 °C).



Feuerschutzanlagen

Feuerlöschung – Handfeuerlöscher – Allgemeines

- Handfeuerlöscher finden Verwendung bei Bränden im Cockpit, im Passagierraum und im Frachtraum.
- Nach FAR/JAR 25 müssen in einem Flugzeug im Minimum folgende Anzahlen an Handfeuerlöschern zur Verfügung stehen:
 - Cockpit **1**
 - Kabine mit 7 - 30 Sitze **1**
 - Kabine mit 31 - 60 Sitze **2**
 - Kabine mit 61 - 200 Sitze **3**
 - Kabine mit 201 - 300 Sitze **4**
 - Kabine mit 301 - 400 Sitze **5**
 - Kabine mit 401 - 500 Sitze **6**
 - U.S.W.
- Der beste Erfolg bei der Feuerlöschung ist nur dann zu erwarten, wenn der geeignetste Feuerlöscher für die Klasse des jeweiligen Brandes gewählt wird.



Feuerschutzanlagen

Feuerlöschung – Handfeuerlöscher – Allgemeines

- Vor allem müssen die Handfeuerlöscher Brände der Brandklasse A abdecken und Brände in elektrischen Anlagen.
- Der am häufigsten verwendete Feuerlöscher für die Brandklasse A ist der Wasserfeuerlöscher (speziell in der Nähe der Garderoben angebracht).
- Der am häufigsten verwendete Feuerlöscher für Brände in elektrischen Anlagen ist der CO₂-Feuerlöscher (speziell im Cockpit, in den Küchen und in Elektroräumen angebracht).
- Die Betriebsbereitschaft der Löscher ist entweder an einem unversehrten und verplombten Sicherungsdraht zu erkennen oder an einer Druckanzeige, die im grünen Bereich stehen muss (Halonlöscher). Bei Halonlöschern ist kein Sicherungsdraht erforderlich.
- Einmal ausgelöste Feuerlöscher müssen ausgetauscht werden, auch wenn sie noch genug Wasser, CO₂ oder Pulver enthalten, da das Treibgas oder Löschgas schnell entweicht.
- Letztgenanntes gilt nicht für Halonlöscher. Solange deren Betriebsdruck im grünen Bereich steht, so lange sind sie auch einsatzbereit.



Feuerschutzanlagen

Feuerlöschung – Handfeuerlöscher – Wasserfeuerlöscher



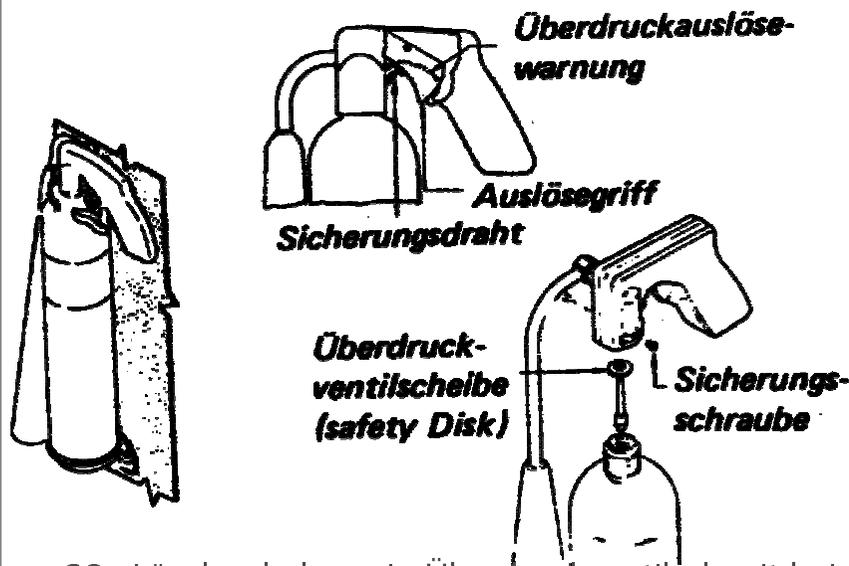
- Zum Löschen von festen und glutbildenden Stoffen der Brandklasse A – aber nicht bei der Anwesenheit von Strom.
- Durch Zusatz von Gefrierschutzmitteln kann der Löscher bei Umgebungstemperaturen von bis zu $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ eingesetzt werden.
- Das Wasser steht normalerweise nicht unter Druck. Der Förderdruck wird durch eine Kohlendioxyd-Patrone erzeugt, welche sich bei Rechtsdrehung des Handgriffes öffnet.
- Das in der Patrone unter Druck verflüssigte CO_2 entspannt sich, strömt in den Löschmittelbehälter und setzt das Wasser unter Druck.
- Nach Betätigung des Auslösehebels tritt das Wasser aus der Düse aus.
- Die ununterbrochene Löschdauer beträgt 30 bis 45 Sekunden.
- Durch das Betätigen der CO_2 -Patrone wird der Sicherungsdraht beschädigt und der Löscher muss ausgetauscht werden.

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Feuerschutzanlagen

Feuerlöschung – Handfeuerlöscher – CO₂-Feuerlöscher



- Vornehmlich zum Löschen von Bränden an und in elektrischen Anlagen.
- CO₂-Gas ist sehr kalt (etwa -50 °C), deswegen:
 - nie auf Lebewesen richten
 - keine Reifen damit löschen (Explosionsgefahr)
- CO₂ verdrängt Sauerstoff, so dass schnell Erstickungsgefahr besteht. Die Löschkonzentration muss 30 Vol.-% betragen. Erstickung erfolgt aber bereits zwischen 5 bis 10 Vol.%. Deswegen darf sich im Löschbereich kein Mensch aufhalten, der nicht eine Atemmaske trägt.

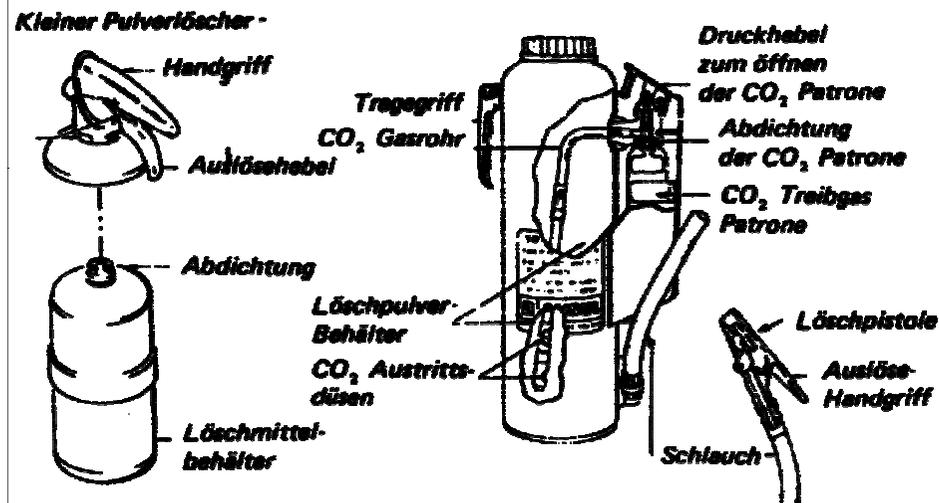
- CO₂-Löscher haben ein Überdruckventil, damit bei hohen Temperaturen der Löscher nicht explodiert. Öffnet das Ventil, so wird am Handgriff eine Markierung sichtbar: „Replace Disc“. In diesem Fall muss der Löscher ausgetauscht werden.
- Wird der Auslösegriff betätigt, so wird der Sicherungsdraht beschädigt und das Löschgas tritt aus dem trichterförmigen Löschrohr aus. Während des Löschen darf das Löschrohr nicht berührt werden, da es stark unterkühlt wird.
- Die ununterbrochene Löschdauer beträgt etwa 30 Sekunden.

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Feuerschutzanlagen

Feuerlöschung – Handfeuerlöscher – Pulver-Feuerlöscher



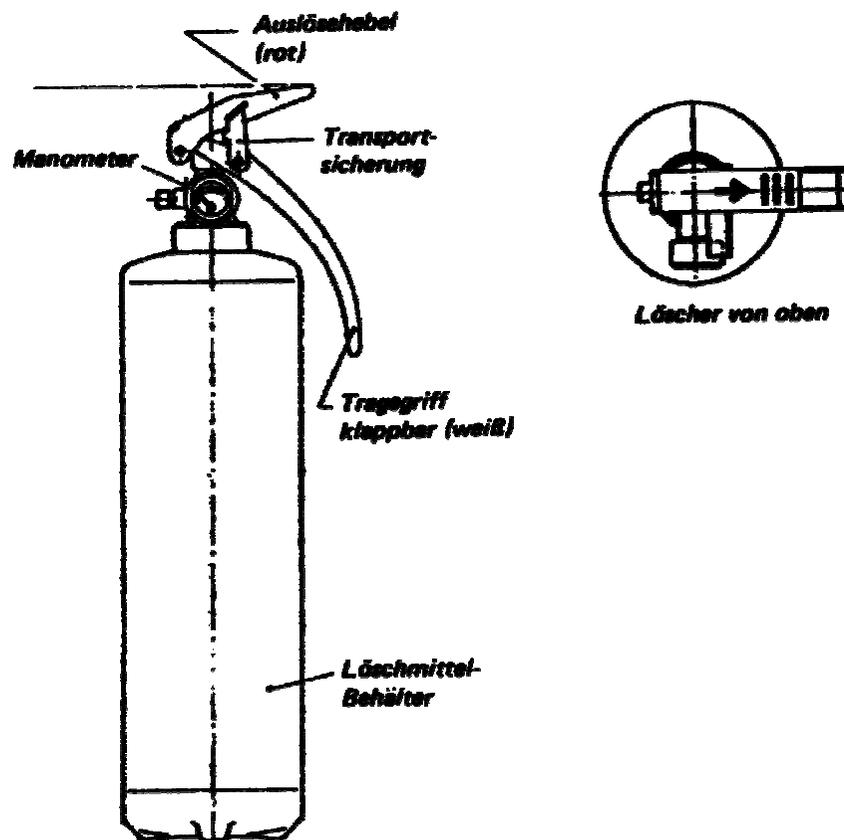
- Der Pulverfeuerlöscher ist universell einsetzbar (Brandklassen A, B, C), weshalb er hauptsächlich in Frachtflugzeugen zu finden ist.
 - Das Löschpulver wird durch CO₂-Treibgas aus dem Löscher herausgedrückt.
 - Bei kleinen Löschern (1 bis 2 kg) steht das Pulver ständig unter Druck.
 - Bei großen Löschern mit mehr als 5 kg Füllmenge muss der Löscher vor dem Löschein-satz erst noch aktiviert werden
- Das Aktivieren geschieht dadurch, dass eine am Behälter befestigte Treibgasflasche geöffnet wird, wodurch das Gas in den Behälter strömt und das Pulver unter Druck setzt. Ein Vorgang, der etwa 3 Sekunden dauert.
 - Die ununterbrochene Löschzeit beträgt nur 10 Sekunden, so dass der Löscher erst am Brandherd auszulösen ist.
 - Der Löschstrahl ist sehr stark, so dass er aus etwa 3 Meter Entfernung auf den Brandherd gerichtet werden sollte, damit das Brandgut nicht weggetrieben wird, was speziell bei Flüssigkeiten wichtig ist.

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Feuerschutzanlagen

Feuerlöschung – Handfeuerlöscher – Halon-Feuerlöscher

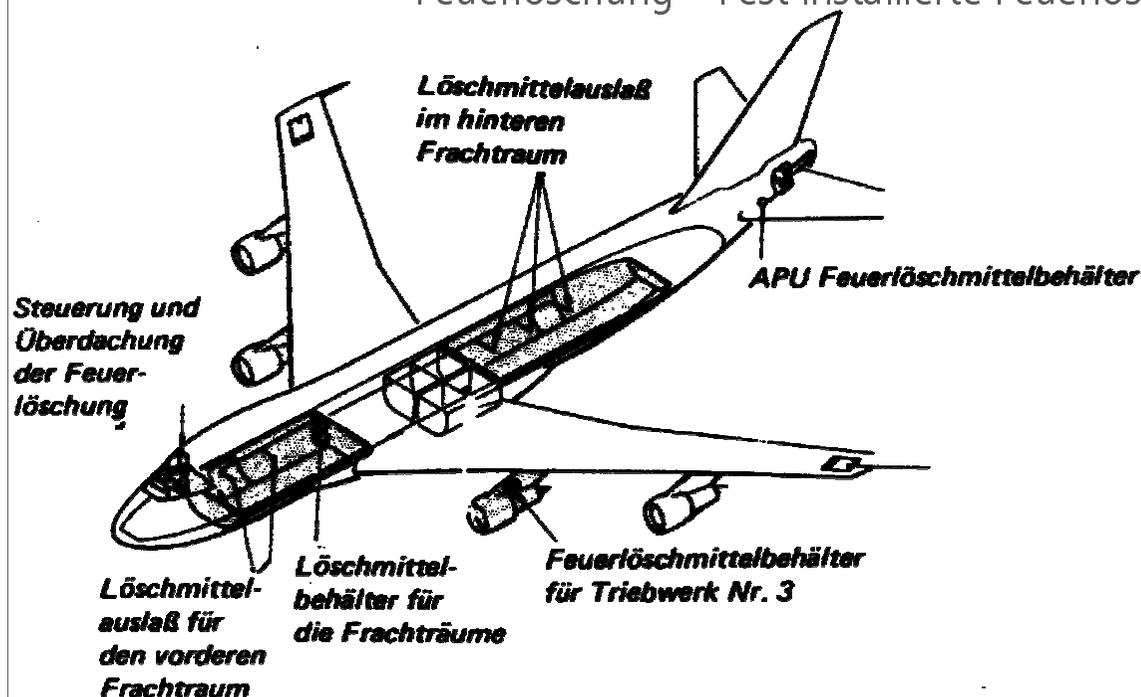


- In Flugzeugkabinen, Frachträumen und Elektrogeräteräumen werden Feuerlöscher verwendet, die das Löschgas BCF (Bromo-Chlorid-Fluor-Methan) enthalten (Halon 1211)
- Sie sind für die Brandklassen A, B, C und für Brände in und an elektrischen Anlagen zugelassen.
- Es werden Löscher mit 1 kg und 2.5 kg Füllmenge verwendet.
- Das Löschgas steht unter Stickstoffdruck von etwa 12 bar. Der Druck wird von einem Manometer angezeigt.



Feuerschutzanlagen

Feuerlöschung – Fest installierte Feuerlöschanlagen

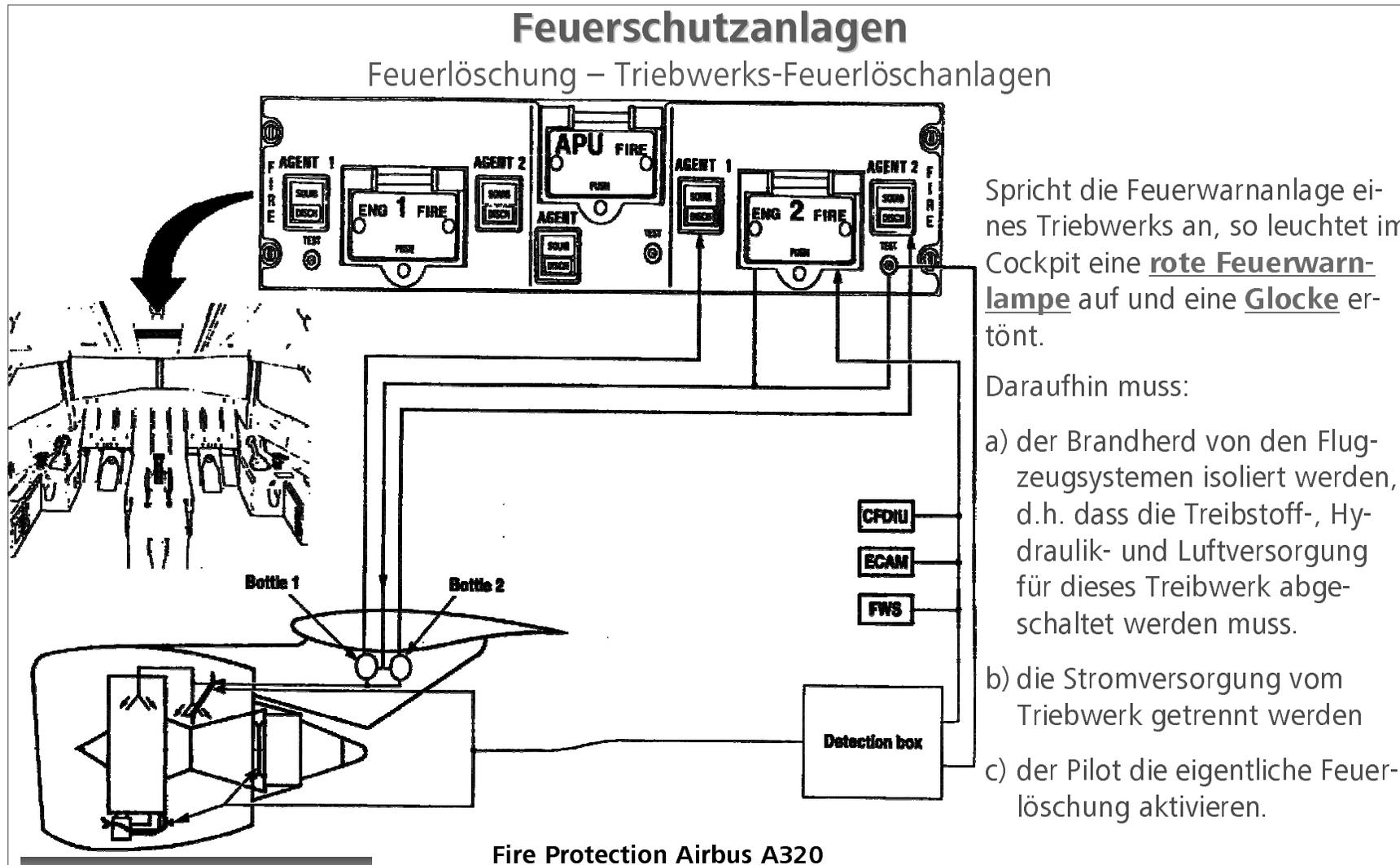


In besonders brandgefährdeten Zonen eines Flugzeuges, die von der Besatzung nicht unmittelbar erreicht werden können, müssen Feuerlöschanlagen fest installiert werden, das sind insbesondere:

- Triebwerks-Feuerlöschanlage
- APU-Feuerlöschanlage
- Frachtraum-Feuerlöschanlage

- Für alle diese Feuerlöschanlagen gilt, dass die Cockpitbesatzung die Entscheidung für den Löscheinsatz treffen muss, wenn z.B. eine Feuerwarnung in diesem Bereich erscheint.
- Es gibt aber auch vollautomatische Löschanlagen, die unmittelbar bei Ausbruch eines Feuers löschen:
 - Explosionsschutzanlagen in den Belüftungstanks
 - Feuerlöschanlagen in den Toiletten

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



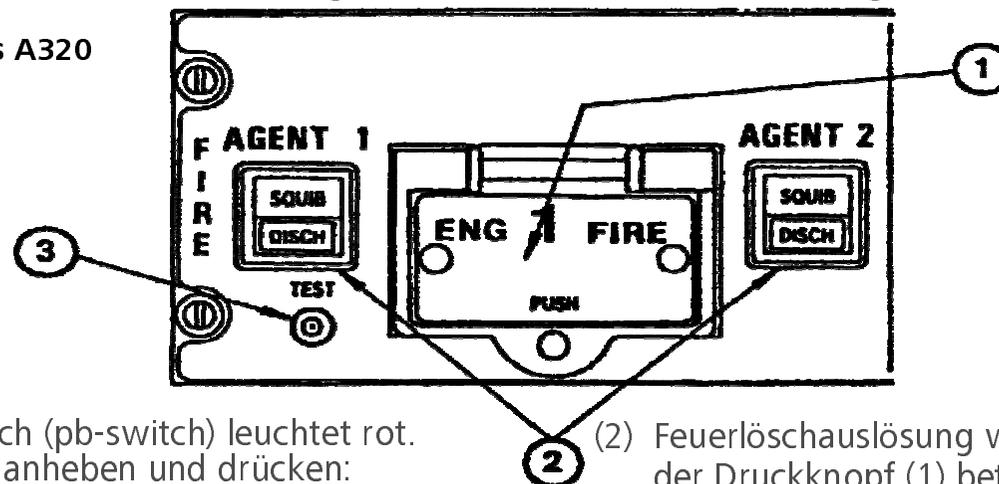
Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Feuerschutzanlagen

Feuerlöschung – Triebwerks-Feuerlöschanlagen

Fire Protection Airbus A320



- (1) Push-Button-Switch (pb-switch) leuchtet rot. Sicherheitsdeckel anheben und drücken:
- Glocke wird abgeschaltet
 - Auslöser (SQUIBS) an den Feuerlöschbehältern werden vorbereitet
 - Ventile für Kraftstoff, Hydraulik, Bleed-Air und Klimapacks werden elektrisch geschlossen
 - Sind alle Ventile geschlossen, wird der Generator am Triebwerk abgeschaltet
 - Warnlampe leuchtet weiterhin rot auf, und zwar solange, bis das Feuer gelöscht ist.

- (2) Feuerlöschauslösung wird aktiviert, wenn der Druckknopf (1) betätigt wurde
- Beide SQUIB-Lichter leuchten weiß und zeigen so, dass die Löschbehälter zur Verfügung stehen
 - Wird der AGENT-Button 1 oder 2 gedrückt, so entlädt sich der entsprechende Löschbehälter
 - Ist der Löschbehälter (AGENT) entleert, so leuchtet DISCH (discharged) in der Farbe „Amber“ auf



Feuerschutzanlagen

Feuerlöschung – Triebwerks-Feuerlöschanlagen

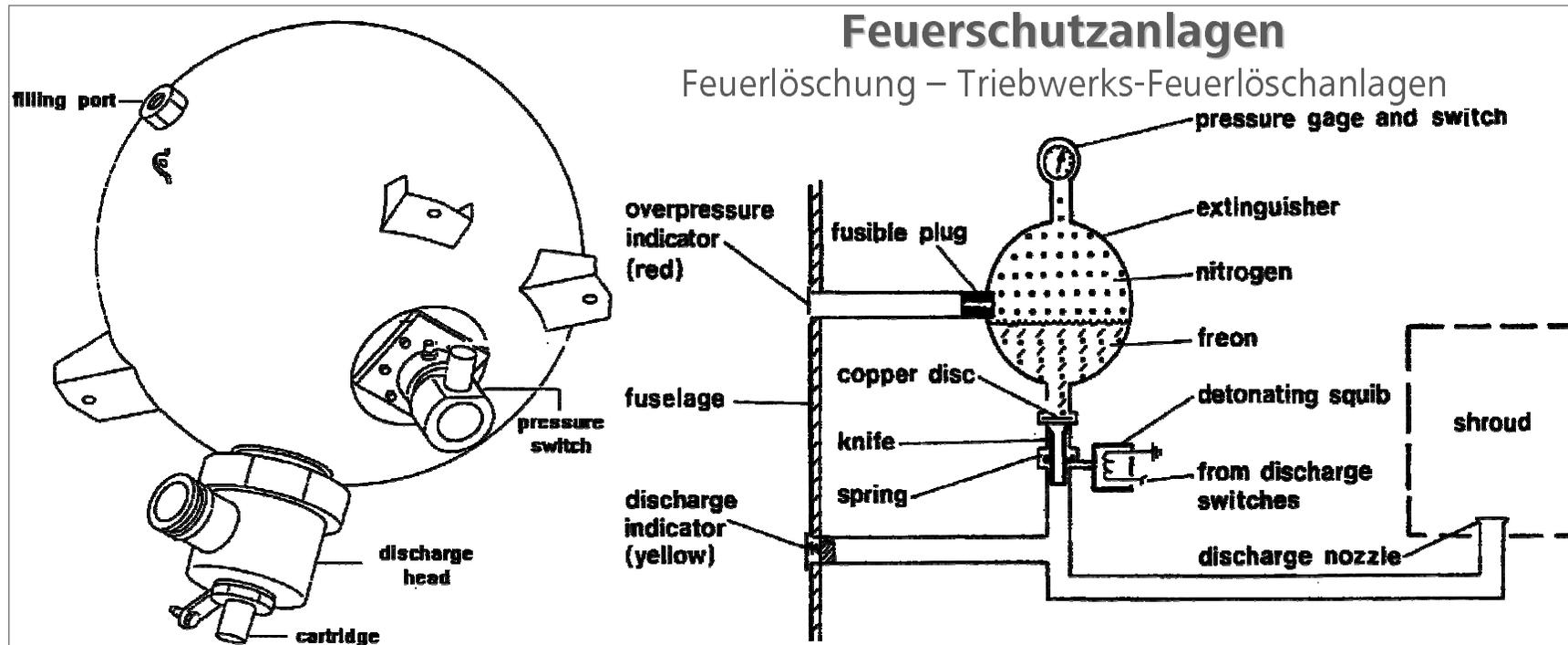
Nach JAR/FAR 25 benötigt:

- die APU und sonstige kraftstoffverbrennende Heizer zusammen 1 Feuerlöschbehälter (ein so genanntes „one shot“-System)
- jedes Haupttriebwerk 2 gleichwertige Feuerlöschbehälter (ein so genanntes „two shot“-System)

Diese Anforderungen wurden bei unterschiedlichen Flugzeugen sehr unterschiedlich nachgekommen:

- Boeing B727 2 Behälter, beide mit allen drei Triebwerken verbunden
 1 Behälter für die APU
- Boeing B737 2 Behälter, beide mit allen zwei Triebwerken verbunden
 1 Behälter für die APU
- DC 10 2 Behälter für jedes einzelne der am Flügel installierten Haupttriebwerke
 2 Behälter für das Zentraltriebwerk, die aber auch mit der APU verbunden sind
- A 310/A320 2 Behälter für jedes einzelne der Haupttriebwerke
 1 Behälter für die APU

Heute ist es die Regel, dass es an jedem der Haupttriebwerke zweimal zu einem Löscheinsatz kommen kann!



- Das Feuerlöschmittel in den Extinguishern ist: **Freon** (Halon 1301, Tri-Fluor-Mono-Brom-Methan, BTM, CF_3Br)
- Als nicht brennbares Treibgas findet Stickstoff Verwendung (400 bis 800 psi bzw. 28 bis 55 bar)
- Eine Pulverladung sprengt den Verschluss des Extinguishers auf (Squib = Knallfrosch)

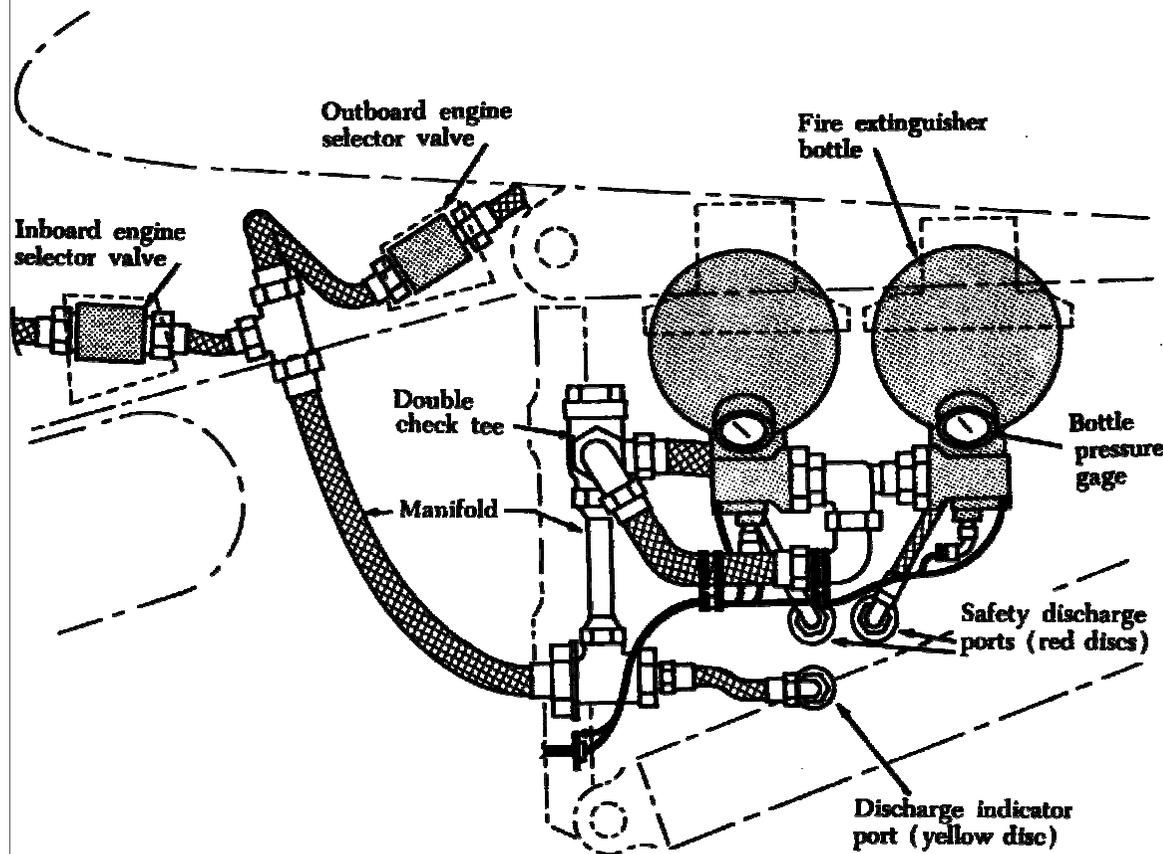
- Die Extinguisher sind gegen Überhitzung bzw. Überdruck (z.B. Leckage in den Rohrleitungen der Pneumatik/Klimaanlage) geschützt.
- Bei etwa 130 °C öffnet sich eine Schmelzsicherung, die das Löschmittel über Bord leitet.
- Am unteren Rumpf wird eine rote Signalscheibe sichtbar, die das Bodenpersonal auf den Druckverlust aufmerksam macht.

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Feuerschutzanlagen

Feuerlöschung – Triebwerks-Feuerlöschanlagen



Feuerlöschanlagen für Triebwerke sind sog. HRD-Systeme (high-rate-of-discharge), die durch hohen Druck, kurze Leitungen und große Auslassventile das Löschmittel in weniger als einer Sekunde an den gewünschten Ort bringen.

Die Löschanlage wird so kurzzeitig extrem druckbeaufschlagt, so dass jeglicher brennbarer Sauerstoff schlagartig verdrängt wird.

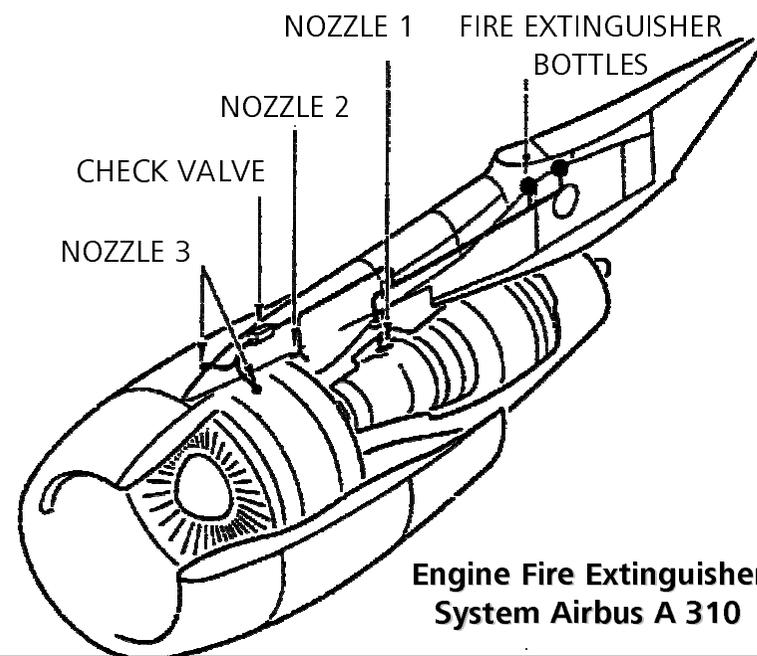
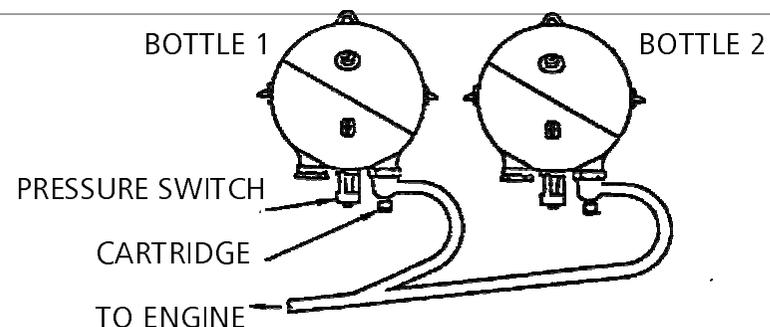
Das „Feuern“ der Löschanlage wird am Rumpf durch eine gelbe Signalscheibe dem Bodenpersonal angezeigt.



Feuerschutzanlagen

Feuerlöschung – Triebwerks-Feuerlöschanlagen

- Nach dem Drücken des Feuerlöschknopfes durch den Piloten wird ein Zünddraht in der Auslösepatrone (cartridge) von einem hohen Strom durchflossen, der ihn zum Glühen bringt.
- Dieses entzündet eine Pulverladung, die den Verschluss des Löschmittelbehälters öffnet.
- Das Löschmittel strömt nun durch eine Rohrleitung zum entsprechenden Triebwerk.
- Durch nur wenige, aber groß dimensionierte und sehr sorgfältige ausgewählte Austrittsöffnungen strömt das Löschmittel mit hoher Geschwindigkeit und hoher Verwirbelung in das Triebwerk, um sich dort gleichmäßig zu verteilen.

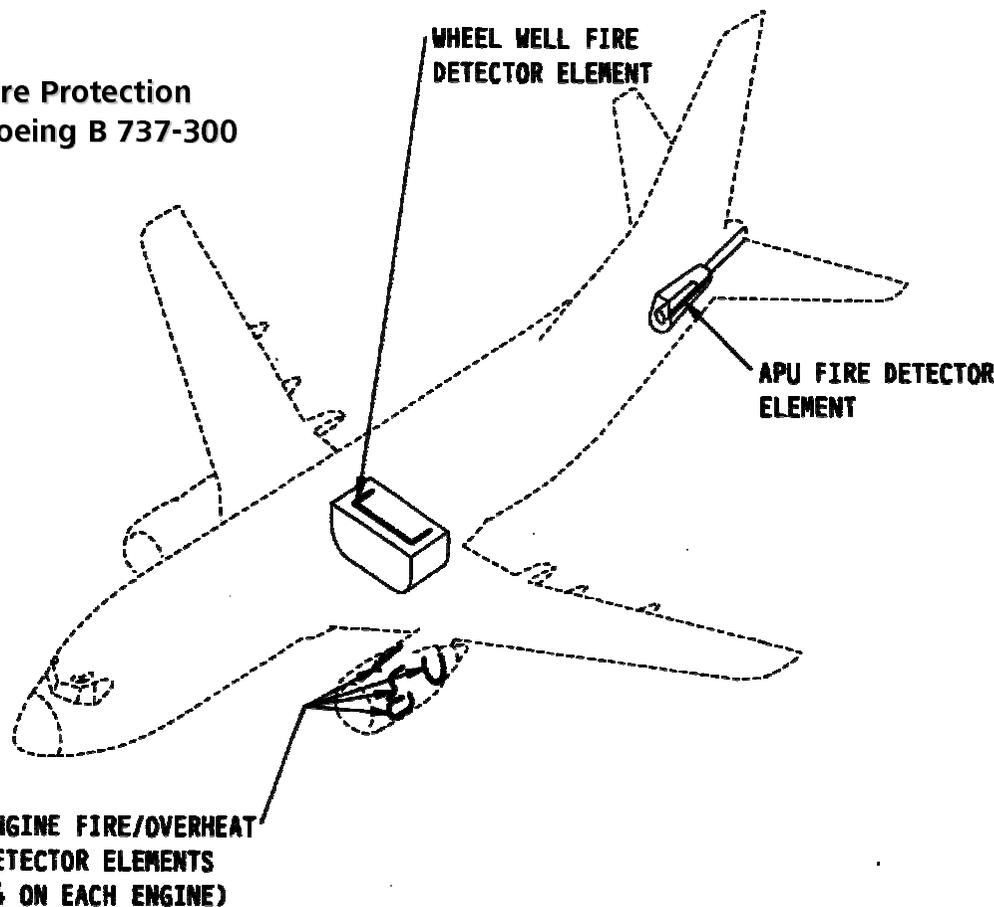




Feuerschutzanlagen

Feuerlöschung – Feuerlöschanlagen am Beispiel Boeing B737

Fire Protection
Boeing B 737-300



- Die Boeing B737 hat 2 Feuerlöschbehälter, die beide mit allen zwei Haupttriebwerken verbunden sind und 1 separaten Behälter für die APU.
- Im Hauptfahrwerksschacht befindet sich zwar eine Feuerwarnschleife, aber keine Löscheinrichtung.
- Im Fahrwerksschacht befindet sich eine Warnlampe und eine Warnhorn, die das Bodenpersonal auf ein APU-Feuer aufmerksam machen sollen.
- Die APU kann vom Fahrwerksschacht aus gelöscht werden.

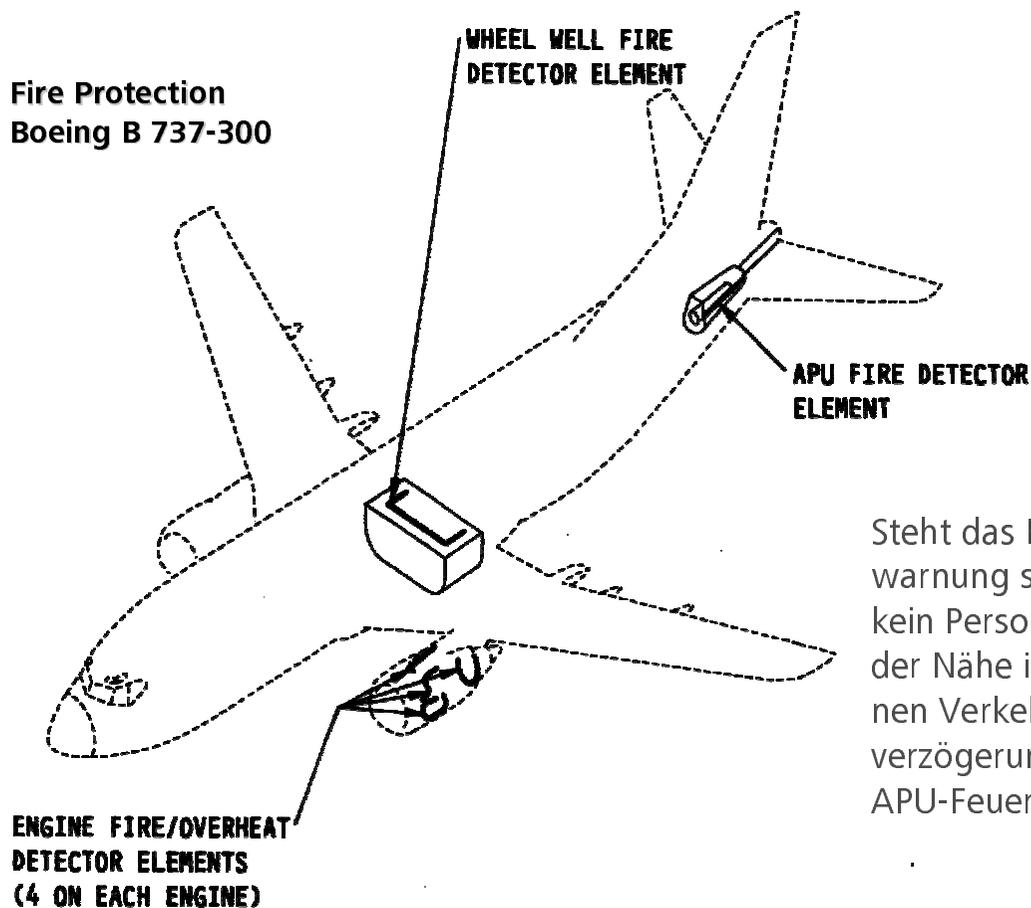
Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Feuerschutzanlagen

Feuerlöschung – Feuerlöschanlagen am Beispiel Boeing B737

Fire Protection
Boeing B 737-300



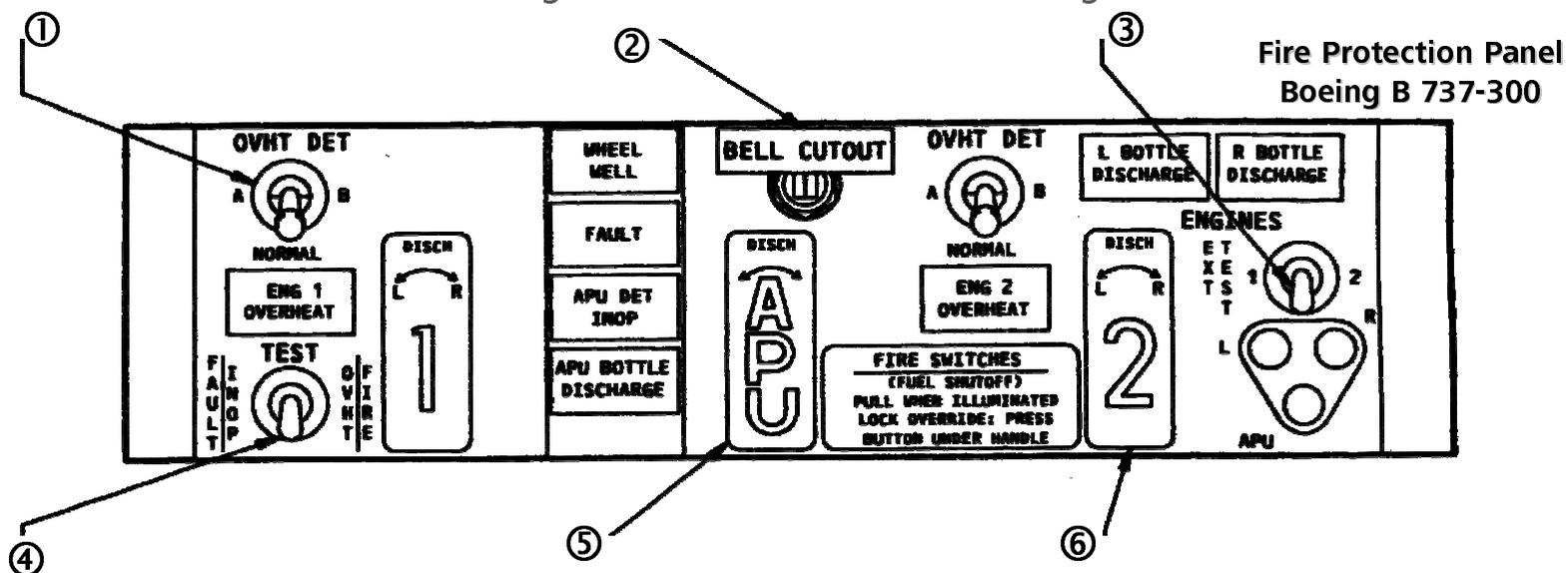
Steht das Flugzeug am Boden und die APU-Feuerwarnung spricht an, könnte es vorkommen, dass kein Personal zum Auslösen der Feuerlöschung in der Nähe ist. Daher erfolgt bei den meisten modernen Verkehrsflugzeugen nach einer gewissen Zeitverzögerung eine vollautomatische Auslösung der APU-Feuerlöschung.

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Feuerschutzanlagen

Feuerlöschung – Triebwerks-Feuerlöschanlagen

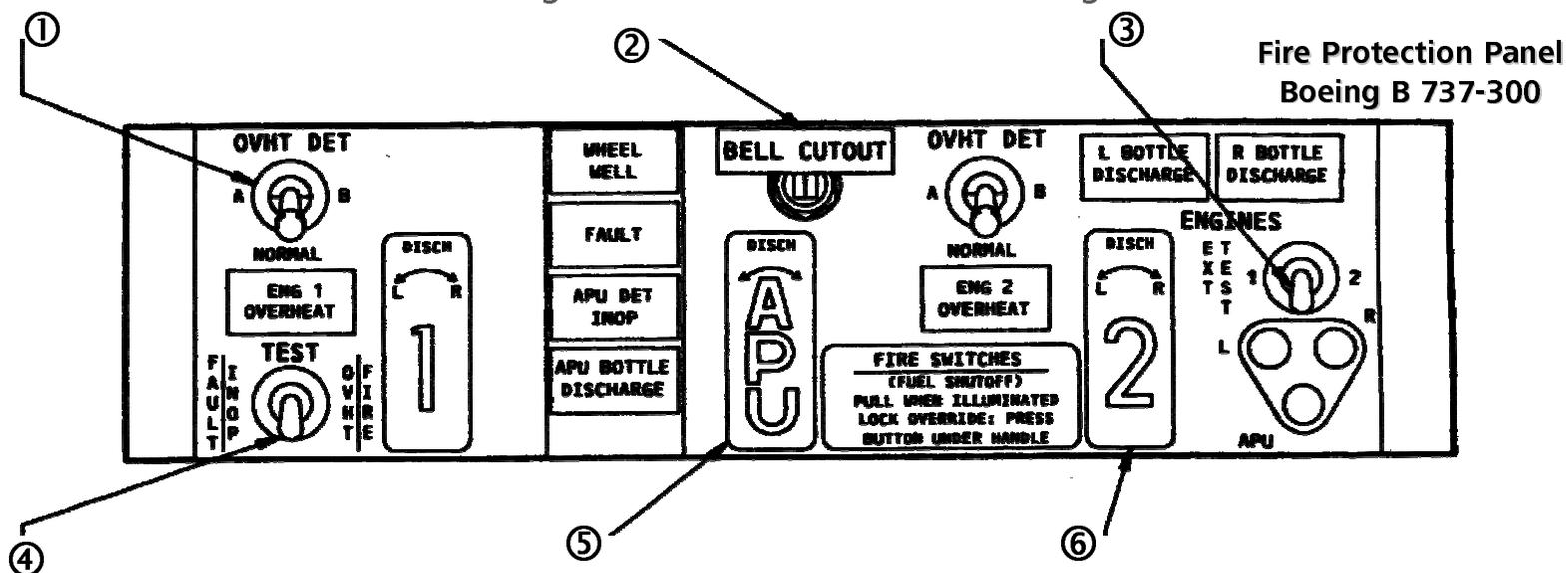


- (1) Auswahl der Feuerwarnschleifen A und B.
 In der Stellung „Normal“ müssen beide Warnschleifen (A und B) eine Feuerwarnung senden, um einen Alarm auszulösen. Durch Umschalten auf A oder B kann eine defekte Warnschleife ausgeschaltet werden.
- (2) Durch Drücken des Knopfes wird die Alarmglocke und die Haupt-Feuerwarnlampe abgeschaltet.



Feuerschutzanlagen

Feuerlöschung – Triebwerks-Feuerlöschanlagen

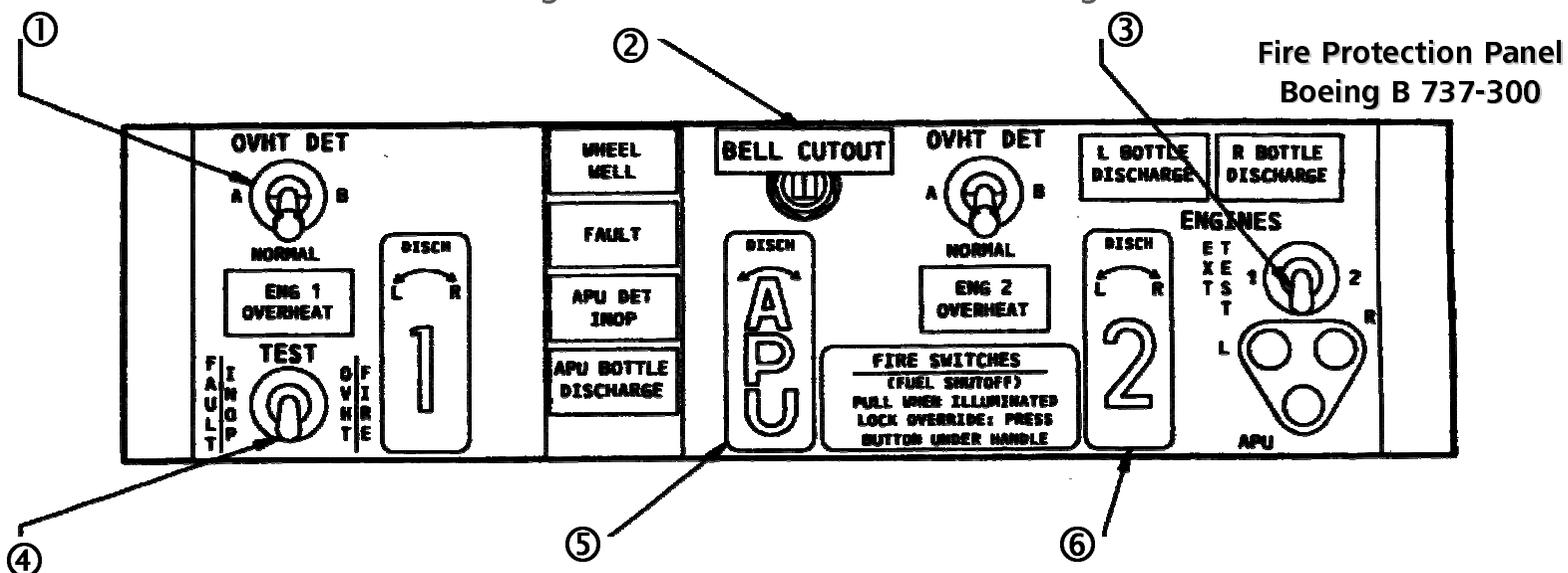


- (3) Testet die elektrische Funktion der drei Feuerlöschbehälter. In Stellung 1 und 2 müssen jeweils alle drei Kontrolllampen aufleuchten.
- (4) FAULT/INOP testet die APU-Feuerwarnung und als fehlerhaft gemeldete Schaltkreise
 OVHT/FIRE testet alle Feuerwarnschleifen an den Triebwerken, an der APU und am Hauptfahrwerk.
 Dabei müssen alle Feuerwarnlampen und alle Glocken (Cockpit und APU-Alarm im Fahrwerksschacht) auslösen.



Feuerschutzanlagen

Feuerlöschung – Triebwerks-Feuerlöschanlagen



- (5) Schalter für die APU Feuerwarnung
 (Er ist gesperrt, solange keine Feuerwarnung ausgelöst wurde)

Durch Ziehen des Hebels werden alle notwendigen Ventile (Shut-Off Valves) an der APU und die Luftansaugklappe im Heckkonus des Flugzeugs geschlossen und abschließend der Generator elektrisch von der APU getrennt. Der APU-SQUIB wird zum Feuern vorbereitet.

Durch Drehen des Hebels wird der Feuerlöschbehälter für die APU entleert. Dabei kann der Hebel links oder rechts herum gedreht werden (die Richtung ist beliebig).



Feuerschutzanlagen

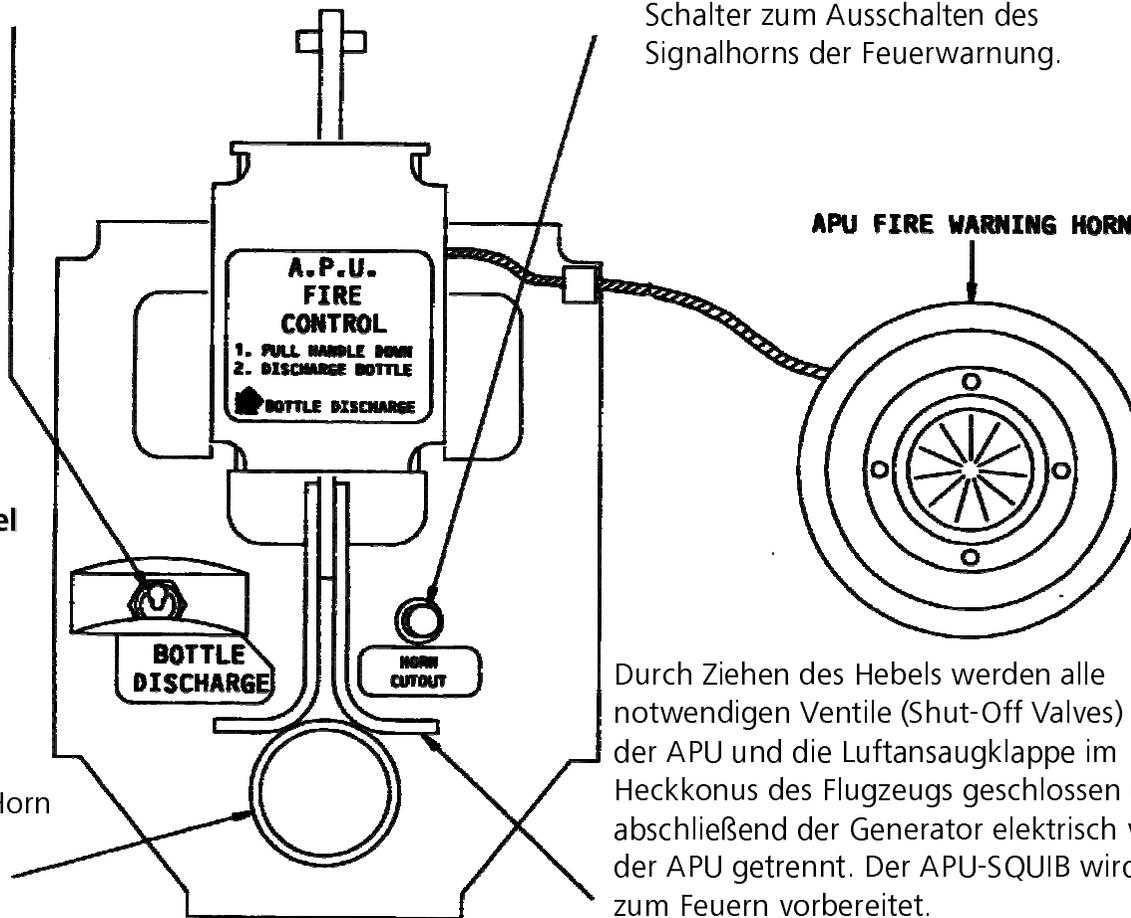
Feuerlöschung – Triebwerks-Feuerlöschanlagen

Schalter zum Aktivieren des APU-Feuerlöschbehälters. Der Schalter wird erst bei Auslösen des APU-Feueralarms freigegeben.

Schalter zum Ausschalten des Signalhorns der Feuerwarnung.

APU
Fire Protection Ground Panel
Boeing B 737-300

APU-Feuerwarnlampe
Wird zusammen mit dem Horn
ausgelöst, wenn ein Feuer
festgestellt wurde.

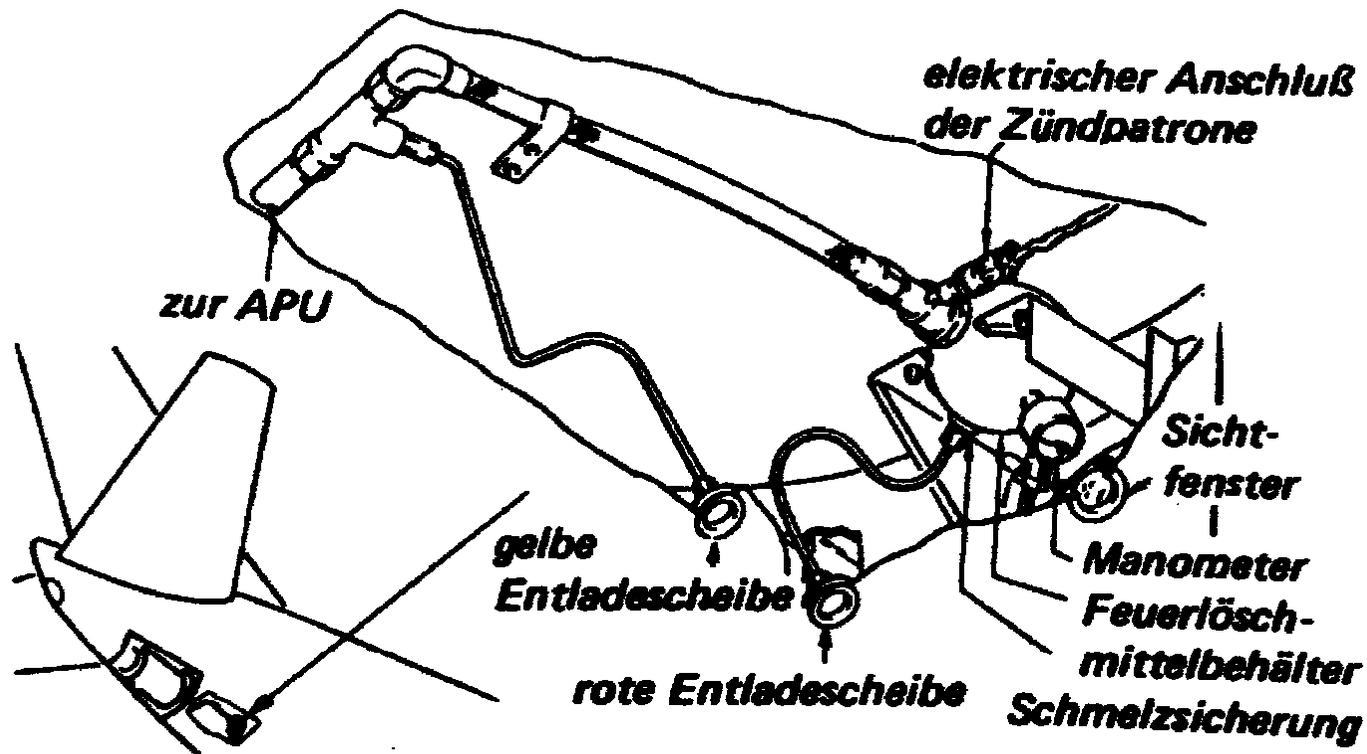


Durch Ziehen des Hebels werden alle notwendigen Ventile (Shut-Off Valves) an der APU und die Luftansaugklappe im Heckkonus des Flugzeugs geschlossen und abschließend der Generator elektrisch von der APU getrennt. Der APU-SQUIB wird zum Feuern vorbereitet.



Feuerschutzanlagen

Feuerlöschung – Triebwerks-Feuerlöschanlagen

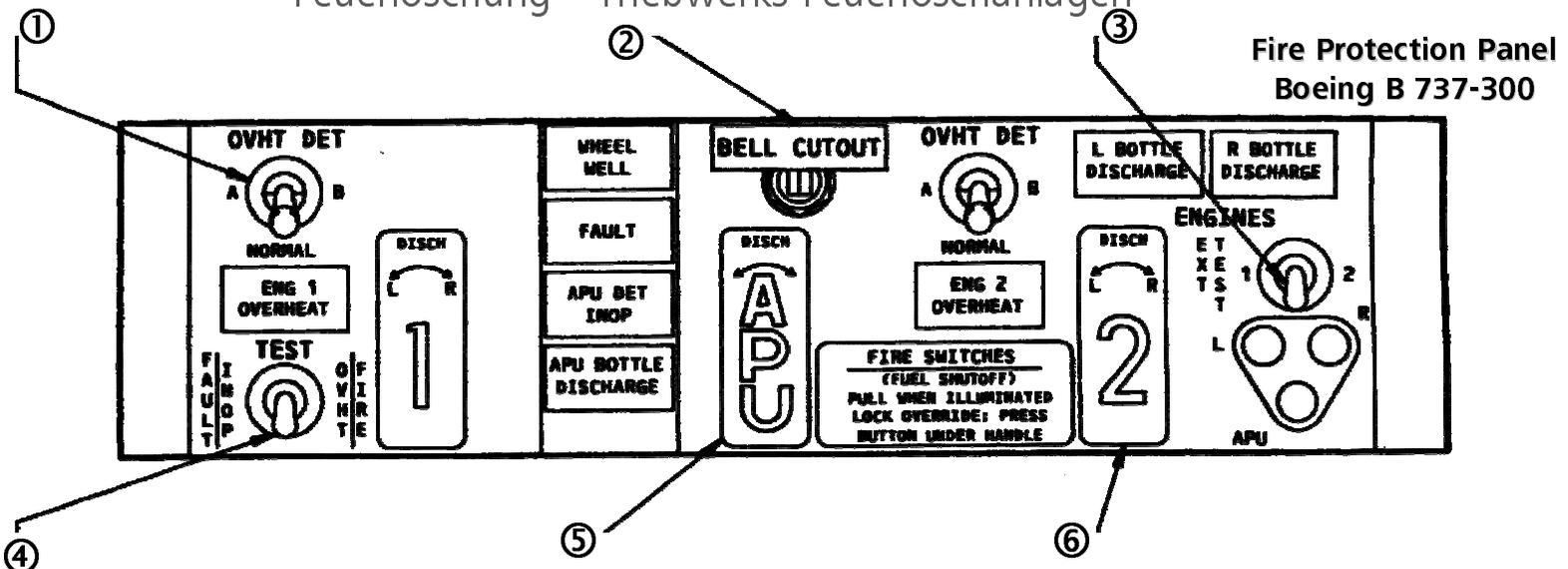


APU Fire Protection Boeing B 737-300



Feuerschutzanlagen

Feuerlöschung – Triebwerks-Feuerlöschanlagen



- (6) Schalter für die Haupttriebwerks-Feuerwarnung
 (Er ist gesperrt, solange keine Feuerwarnung ausgelöst wurde)

Durch Ziehen des Hebels werden alle notwendigen Ventile (Shut-Off Valves) am Triebwerk geschlossen und abschließend der Generator elektrisch vom Triebwerk getrennt. Die SQUIBS werden zum Feuern vorbereitet.

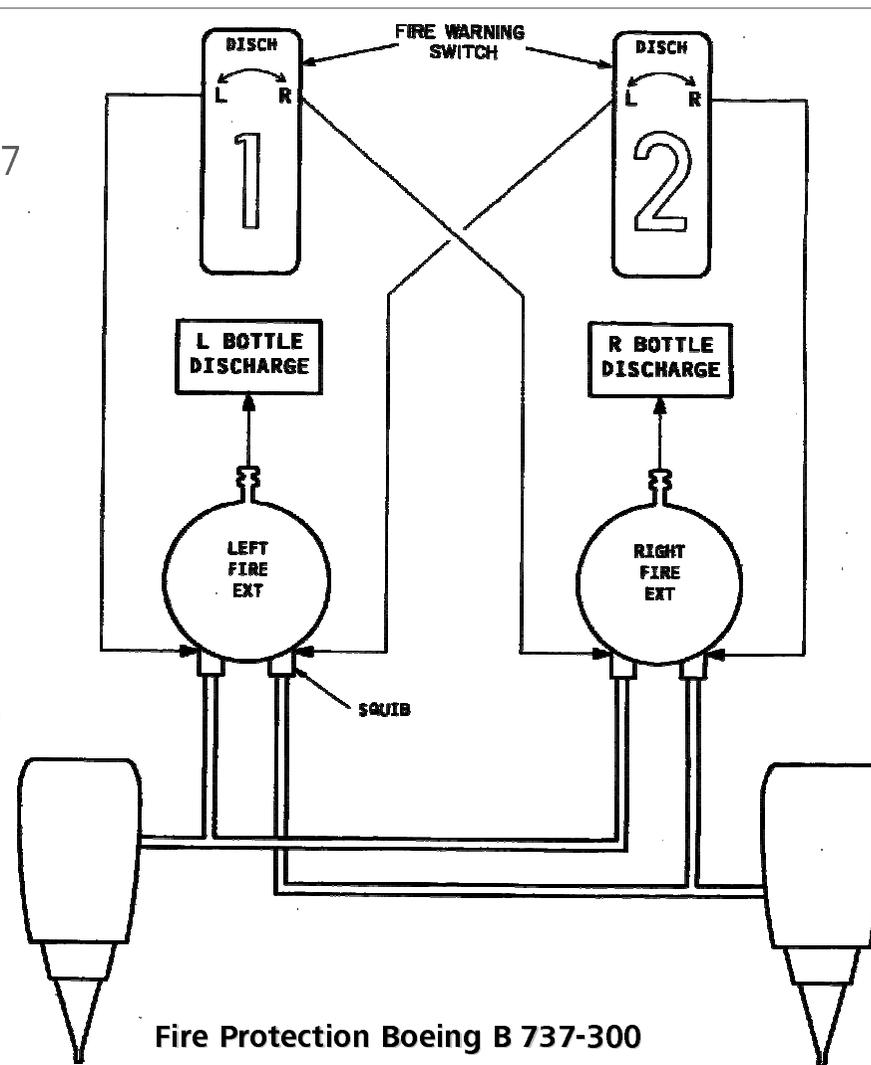
Durch Drehen des Hebels wird der dabei ausgewählte Feuerlöschbehälter ins Triebwerk entleert. Durch Links- oder Rechtsdrehen des Hebels wird der eine oder der andere Feuerlöschbehälter angewählt.

Feuerschutzanlagen

Feuerlöschung

Feuerlöschanlagen am Beispiel Boeing B737

- Alle Löschbehälter müssen regelmäßig einer Druck- **und** Gewichtskontrolle unterzogen werden.
- Alle Leitungen, Ventile und der Zündmechanismus der Squibs sind regelmäßig zu prüfen (**Vorsicht! Hochexplosives Schwarzpulver**).
- Die Zündpatronen (Squibs) haben – je nach Hersteller – eine Funktionsgarantie von 5 bis 6 Jahren. Auf den Zündpatronen ist das Ablaufdatum vermerkt. Nach Erreichen dieses Datums muss sie ausgetauscht werden.
- Squibs dürfen nur in speziellen Schutzbehältern transportiert werden. Die Entsorgung erfolgt in einer Spezialfirma.

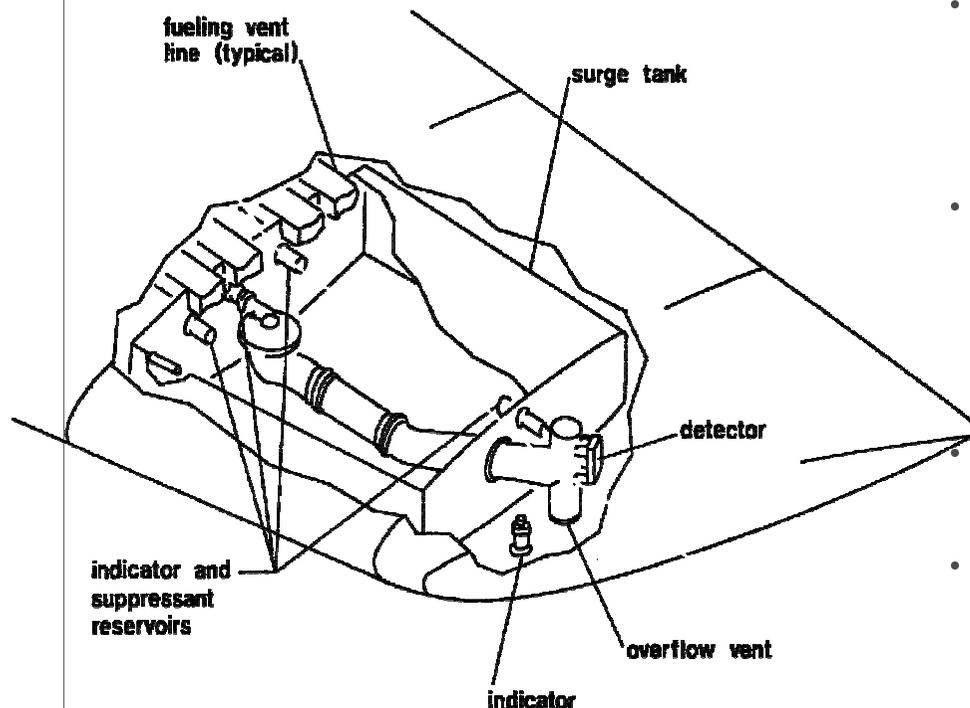


Fire Protection Boeing B 737-300



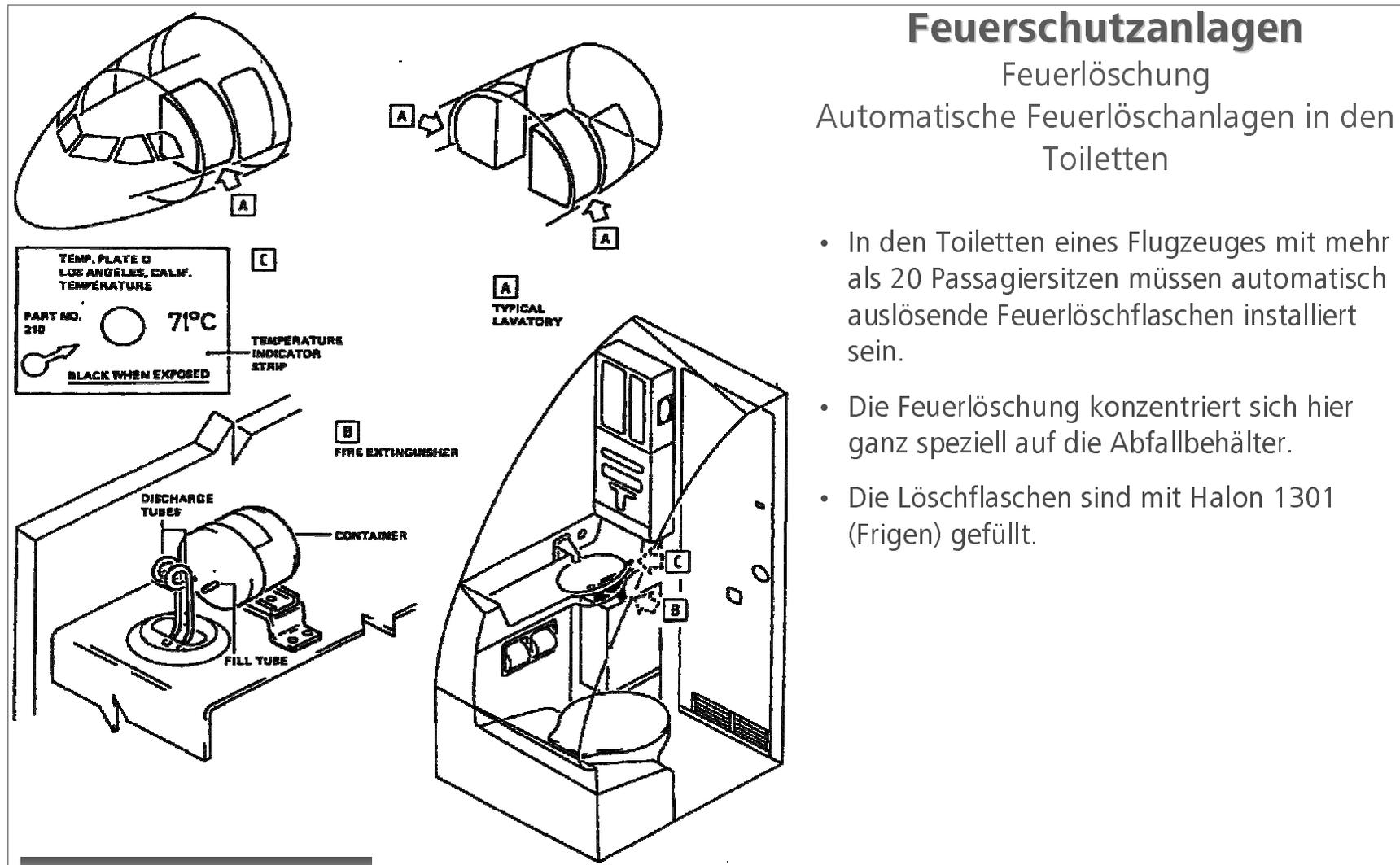
Feuerschutzanlagen

Feuerlöschung – Explosionsschutzanlage für Belüftungstanks

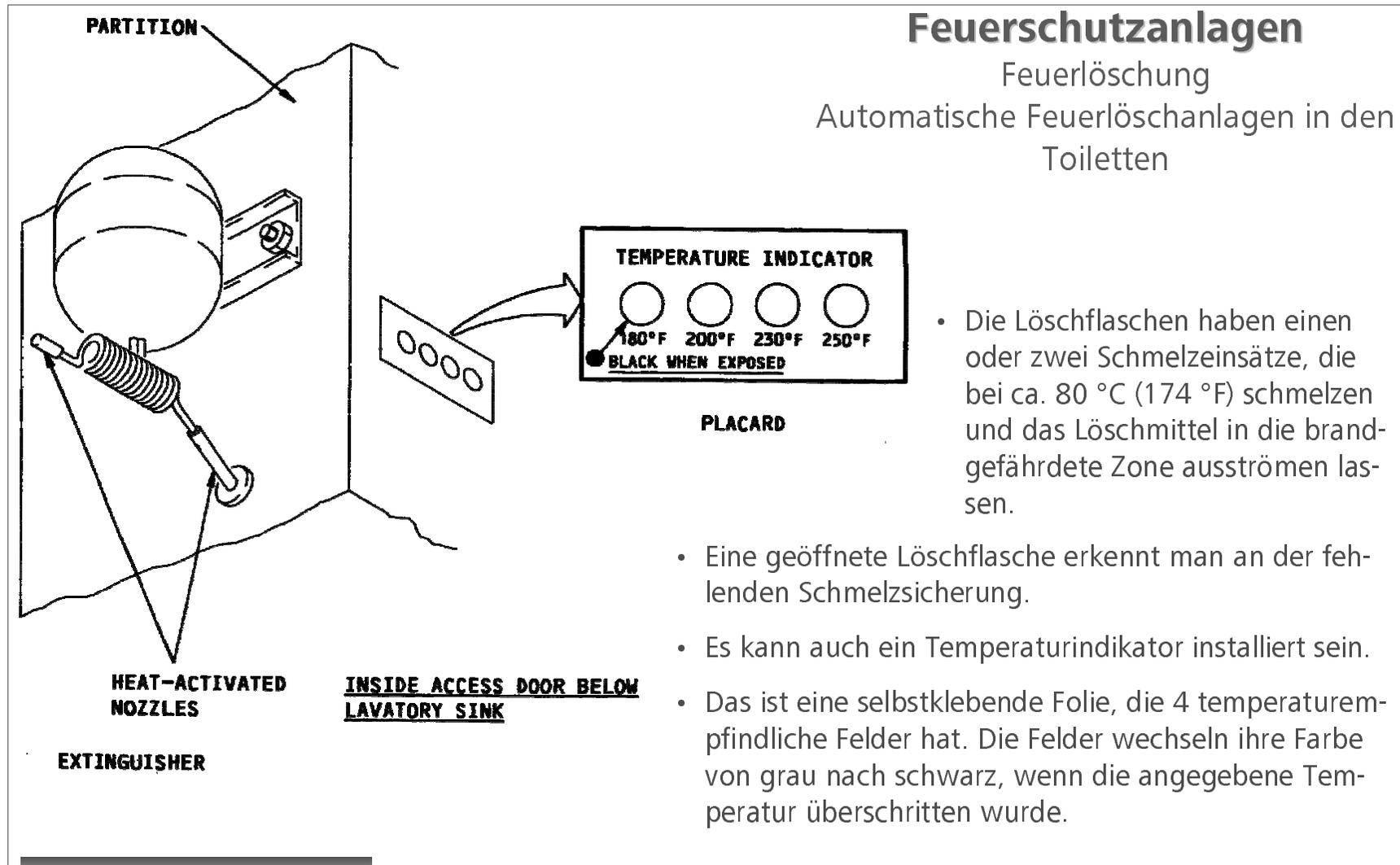


- Bei Blitzeinschlag in den Belüftungstanks (surge vent tanks) besteht Explosionsgefahr des dort befindlichen leicht entflammaren Kraftstoff-Luft-Gemisches.
- Am Austritt der Belüftungsleitung ist eine infrarotempfindliche Fotozelle (detector) installiert, die bei Blitzschlag innerhalb von 3 ms über eine Überwachungseinheit entsprechende Löschmittelbehälter mit Freon öffnet.
- Das Löschmittel strömt in den Lüftungsbehälter und unterdrückt die auftretenden Flammen.
- Ein Indikator, in dem einer fluorisierende Flüssigkeit freigesetzt wird, zeigt dem Bodenpersonal die Auslösung der Anlage an.

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling

Video

„Fire Protection“ am Beispiel Boeing B737



Abspielzeit: 14' 48"



Feuerschutzanlagen

Feuerlöschung – Feuerlöschanlagen in den Frachträumen

Anordnung der Feuerlöschbehälter
bei einer Boeing B757



- Alle Frachträume, die durch eine Rauchmeldeanlage überwacht werden und während des Fluges nicht erreichbar sind (Klasse C), müssen mit einer festinstallierten Feuerlöschanlage ausgerüstet sein.
- Da die Frachträume ein großes Volumen haben, muss auch der Löschmittelvorrat entsprechend groß sein.
- Bevor nach einer Rauchwarnung die Feuerlöschanlage ausgelöst wird, muss der Frachtraum hermetisch von den übrigen Flugzeubereichen isoliert werden.

- Die Luftzufuhr der Belüftung der Frachträume wird abgesperrt, damit kein weiterer Sauerstoff an den Brandherd gelangen kann (erfolgt vollautomatisch nach Auslösen der Rauchwarnung).
- Die Luftabfuhr der Belüftung der Frachträume wird unterbrochen, damit kein Löschmittel entweichen kann und auch Rauch/Löschmittel nicht in andere Flugzeugräume gelangen können (erfolgte ebenfalls vollautomatisch nach Auslösen der Rauchwarnung).

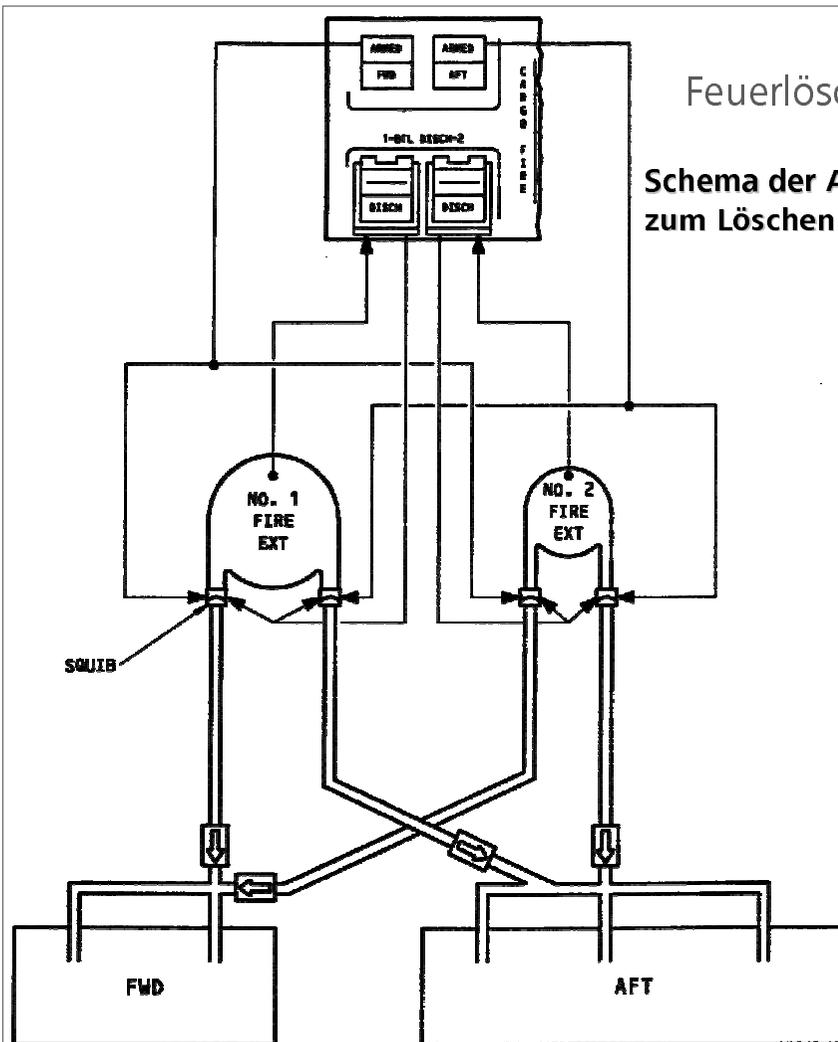
Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Feuerschutzanlagen

Feuerlöschung – Feuerlöschanlagen in den Frachträumen

Schema der Anordnung der Feuerlöschbehälter zum Löschen der Frachträume bei einer Boeing B757



- Wie schon bei den Triebwerken erklärt, so erfolgt auch in den Frachträumen die Auslösung der Feuerlöschung durch Zündpatronen (squibs).
- Das Feuer wird so gelöscht und die Löschmittelkonzentration muss sicherstellen, dass ab nun für wenigstens 30 Minuten ein erneutes Aufflammen des Brandes unterbleibt.
- Zum Verhindern von Fehlalarmen sind auch die Frachträume – genau wie die Triebwerke – mit zwei separaten Detektoren (hier: Rauchmelder) ausgestattet.
- Bei Langstreckenflugzeugen wird nach Ablauf von ca. 30 Minuten der Inhalt einer zweiten Feuerlöschflasche in denselben Frachtraum abgelassen, um so auch einen weitentfernten Ausweichflughafen noch sicher erreichen zu können.

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



ENDE
Feuerschutzanlagen
Feuerwarnung / Feuerlöschung



ATA 35

Sauerstoffanlagen

Oxygen

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Video

„Die Auswirkungen des Sauerstoffmangels auf den Menschen“ am Beispiel des Unfalls einer Boeing B747 – Flug JAL 123

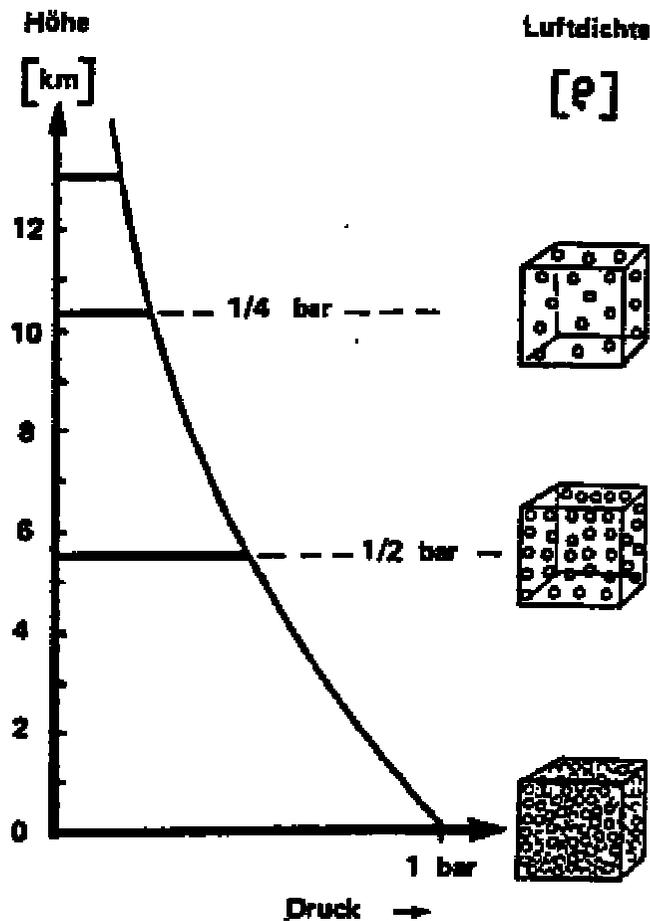


Abspielzeit: 20' 36"

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Abnahme der Sauerstoffmenge mit der Höhe



Sauerstoffmenge in der Atmosphäre		
Höhe		O ₂ -Dichte
[km]	[ft]	[g/m ³]
0	= 0	258
3	~ 10000	190
4,2	~ 14000	168
6	~ 20000	136
12	~ 40000	65

- Atmosphärische Luft ist ein Gasgemisch, das aus ca. 78 % Stickstoff N₂, 21 % Sauerstoff O₂ und 1 % Edelgasen und sonstigen Verunreinigungen besteht.
- Diese Zusammensetzung bleibt mit zunehmender Höhe gleich!
- Was sich jedoch ändert, ist die Dichte ρ der Luft und damit der entsprechende Teildruck (Partialdruck) der Gasanteile in der Luft.
- Für die Lebensfunktionen und die Leistungsfähigkeit des Menschen ist ein ausreichender O₂-Partialdruck bzw. die Menge des je Zeiteinheit vom Atmungsorganismus ausgenommenen Sauerstoffs maßgebend.

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Typische Symptome von Sauerstoffmangel beim Durchschnittsmenschen in verschiedenen Höhen Sauerstoffmangelkrankheiten

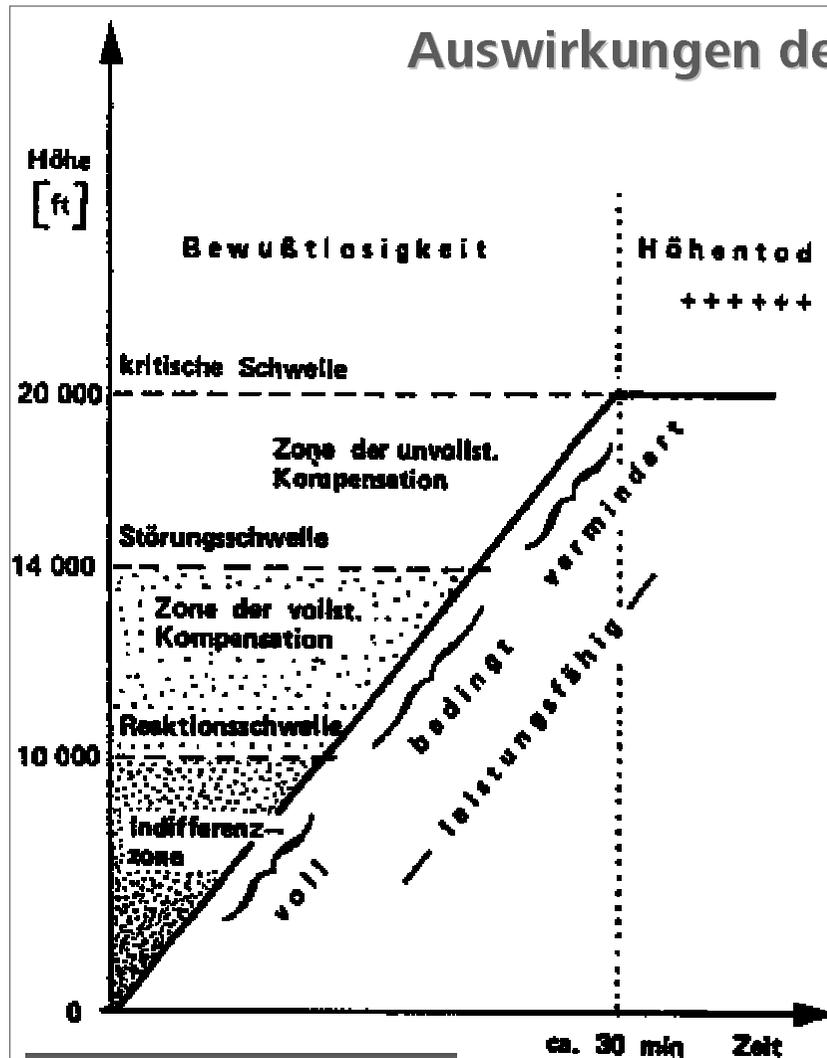
- Sauerstoffmangel lässt sich subjektiv nicht wahrnehmen (weil schmerzlos) und äußert sich deswegen heimtückisch.
- Dabei kann es zwischenzeitlich zu einer Euphorie (Rausch - subjektives Wohlbefinden) kommen, die von Sinnestäuschungen begleitet wird.
- Der Betroffene mutet sich mehr zu als er zu leisten imstande ist und kann dadurch Fehlentscheidungen treffen (gilt besonders für Flugzeugführer).

Höhe ft	Zeit bis zum Auftreten der Symptome	Typische Symptome
5 000	unbegrenzt	In einzelnen Fällen kann die Sehfähigkeit bei Nacht beeinträchtigt werden.
10 000	4 Stunden	Müdigkeit, Trägheit
15 000	2 Stunden (oder weniger)	Müdigkeit, Schläfrigkeit, Kopfschmerzen, schlechte Urteilsfähigkeit
18 000	1/2 Stunde (oder weniger)	Nachlassende Aufmerksamkeit, Beeinträchtigung der Sehfähigkeit, Gedächtnisstörungen, dabei jedoch trügerisches Gefühl des Wohlbefindens. Muskeln geraten außer Kontrolle, Gedächtnisverlust, Verlust der Urteilsfähigkeit und des Zeitgefühls, Erregungsausbrüche.
22 000	Minuten	Krampfartige Zuckungen, Bewußtlosigkeit
30 000	1–2 Minuten	Bewußtlosigkeit
38 000	30 Sekunden (oder weniger)	Bewußtlosigkeit
50 000	10–12 Sekunden	Bewußtlosigkeit

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Auswirkungen des Sauerstoffmangels



Indifferenzzone (unterhalb von ca. 10 000 ft)
 Nur geringfügige Senkung der O₂-Sättigung im Blut.
 (indifferent = wirkungslos).

Reaktionsschwelle (werden 10 000 ft überschritten)
 Der Körper reagiert mit Kompensationsmaßnahmen, wie erhöhter Atemtätigkeit. Durch diese physiologische Reaktion wird der O₂-Mangel bis ca. 14 000 ft beim gesunden Menschen voll ausgeglichen. Der Bereich zwischen 10 000 und 14 000 ft wird „Zone der vollständigen Kompensation“ genannt.

Störungsschwelle (werden 14 000 ft überschritten)
 Die Kompensationsbemühungen des Organismus werden unvollständig („Zone der unvollständigen Kompensation“), so dass erste Störungen wie Kopfschmerzen und Schläfrigkeit auftreten.

kritische Schwelle (werden 20 000 ft überschritten)
 Nach maximal 30 Minuten tritt Handlungsunfähigkeit, Bewusstlosigkeit und schließlich der Tod ein.

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



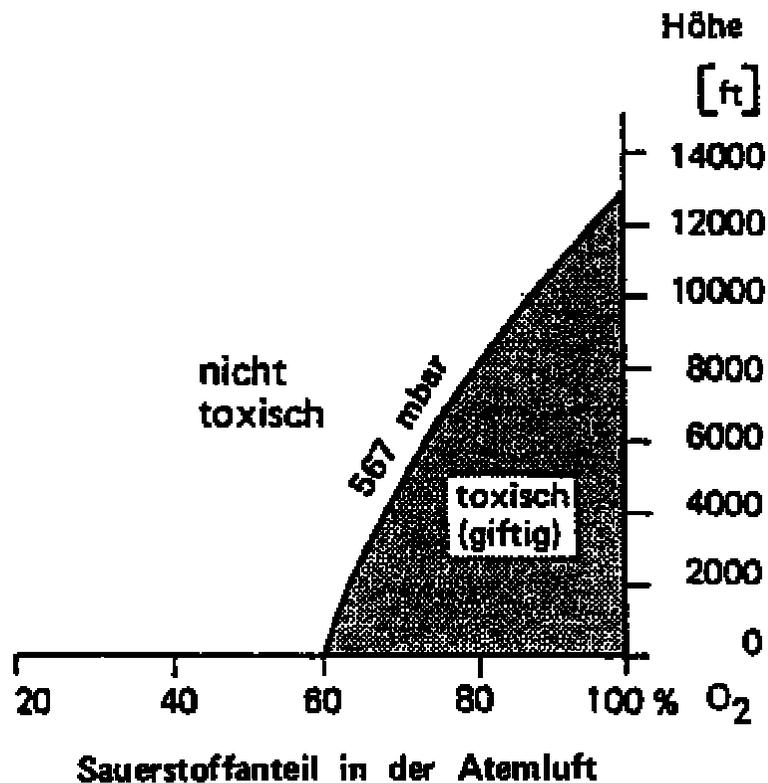
Erkenntnisse und Maßnahmen

- **8 000 ft**
in Verkehrsflugzeugen darf die maximale Einstellung für die Kabinendruckhöhe diesen Wert nicht überschreiten. Dieser Wert gewährleistet eine Sicherheitstoleranz gegenüber dem Reaktionsschwellenwert von 10 000ft. Die meisten Airlines stellen aus Gründen des Passagierkomforts in ihren Maschinen noch kleinere Werte ein.
- **10 000 ft**
Ab dieser Höhe ist Zusatzsauerstoff für die Cockpit-Besatzung notwendig, da gerade diese voll leistungsfähig sein muss. Deswegen vordern die Vorschriften (JAR/FAR 25) eine akustische Warnung im Cockpit beim Überschreiten der Reaktionsschwelle von 10 000 ft.
- **14 000 ft**
Ab dieser Höhe wird in Verkehrsflugzeugen die Passagier-Sauerstoffanlage ausgelöst, da hier die Zone der unvollständigen Kompensation beginnt.



Das Atmen von Zusatzsauerstoff

Sauerstoffvergiftung



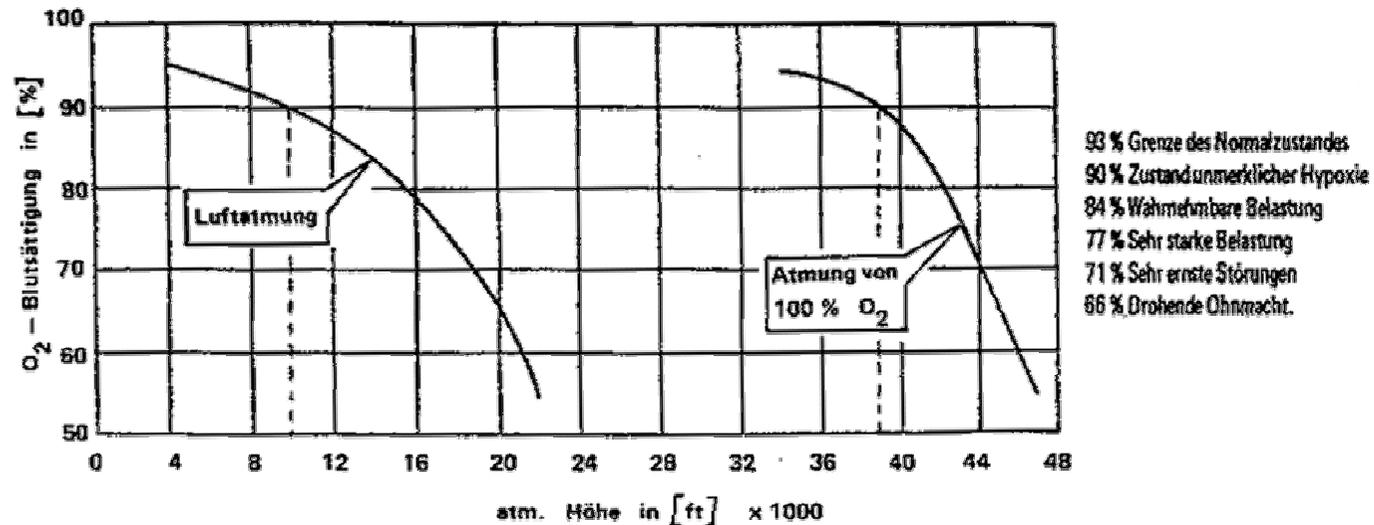
- In Höhen unterhalb von ca. 12 000 ft kann eine zu Hohe Sauerstoffkonzentration in der Atemluft toxisch wirken, wenn ein solches Gemisch für eine *längere Zeit* eingeatmet wird.
- In Höhen über 12 000 ft kann selbst reiner Sauerstoff (100 %) nicht mehr toxisch wirken.
- Sofern in der praktischen Fliegerei auch in geringeren Höhen (im Cockpit ab 10 000 ft) hochprozentige O₂-Gemische Anwendung finden, ist dies **ohne Bedeutung**, da die jeweiligen **Benutzungszeiten** für eine Vergiftung **viel zu kurz** sind.

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Das Atmen von Zusatzsauerstoff

Sauerstoff-Blutsättigung



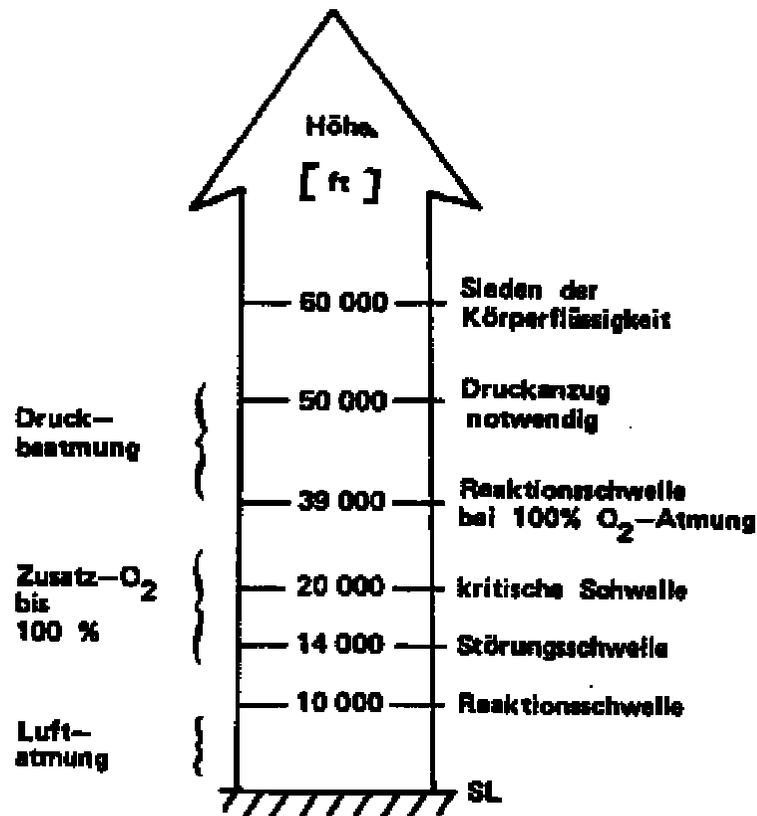
- Der menschliche Organismus sollte im Idealfall eine Sauerstoffsättigung im Blut von 90 % aufweisen.
- Diese Sättigungsgrenze wird bei der Atmung von normaler Luft oberhalb von 10 000 ft unterschritten (O₂-Mangelscheinungen = Hypoxie). Ab dann ist Zusatzsauerstoff erforderlich.
- Im Rahmen der normalen Atmung (Lungenautomatik) ist eine solche Sauerstoffzufuhr nur bis ca. 39 000 ft möglich. Ab dann muss der Sauerstoff dem Menschen mit erhöhtem Druck zugeführt werden (meist aber schon ab 35 000 ft).

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Das Atmen von Zusatzsauerstoff

Begriffe und Grenzen der Luft- bzw. O₂-Atmung



- Die normale Atmung mit reinem Sauerstoff ist nur bis ca. 35 000 ft möglich (maximal 39 000 ft), darüber hinaus ist eine Druckbeatmung mit reinem O₂ notwendig.
- Die Druckbeatmung hat ihre Grenzen bei ca. 50 000 ft, weil sich über das bisher genannte hinaus der geringe Atmosphärendruck vor allem auf Magen und Darm auswirkt.
- Wegen des Freiwerdens von Gasen aus der Körperflüssigkeit kommt es beim Menschen zu sog. **Druckfallbeschwerden** (Dekompressionskrankheit) und ab ca. 60 000 ft kommt es zum Sieden der Körperflüssigkeit.
- Deswegen ist spätestens ab ca. 50 000 ft ein Druckanzug erforderlich.

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Allgemeines über Sauerstoff

- Die künstliche Gewinnung von O₂ erfolgt nach dem sog. LINDE-Verfahren:
Aufgrund der unterschiedlichen Siedepunkte von O₂ (-183 °C) und N₂ (-196 °C) wird reiner Sauerstoff aus normaler Luft gewonnen. Das mehrfache Durchlaufen einer Kompression mit Wärmeabfuhr und einer anschließende Expansion sorgen für die erforderliche Abkühlung.
- Man unterscheidet:
 - **Technischen Sauerstoff** (zum Schweißen oder in der chemischen Industrie etc)
 - **Medizinischen Sauerstoff** (zur Beatmung – wird deswegen extra befeuchtet)
 - **Flieger-Atemsauerstoff** (Sauerstoff besonderer Güte, der vor allem nicht feucht sein soll)
Medizinischer und technischer Sauerstoff darf aufgrund seines höheren Feuchtigkeitsgehalts **nicht** in der Fliegerei verwendet werden.
- In Luftfahrzeugen installierte O₂-Flaschen sind meist **grüne Behältnisse** aus amerikanischer Herstellung (in Deutschland sind die Flaschen blau).
- Die Behältnisse stehen unter einem Druck von 1850-2100 psi (130 – 150 bar) und haben einen Gasinhalt von 11, 49, 76 und 115 ft³ (1 cuft = 1 ft³ = 18,32 dm³).



Dekompression

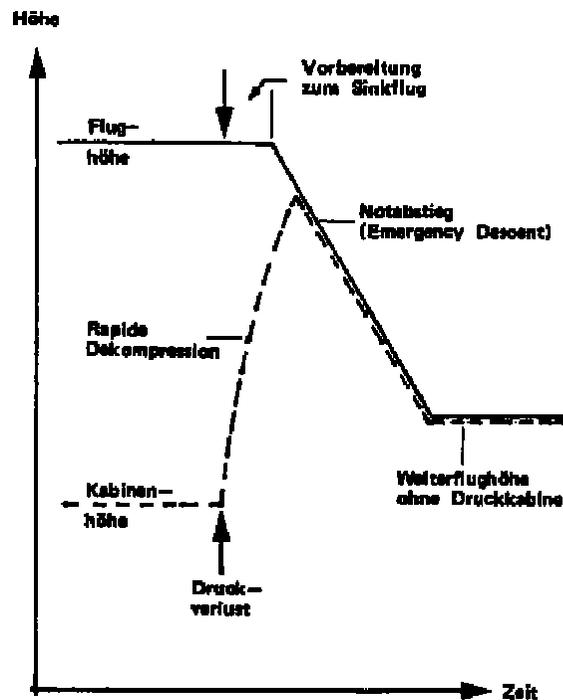
- Eine der größten Gefahren beim Höhenflug mit Druckkabine ist der **Kabinendruckverlust**, der als **Dekompression** bezeichnet wird.
- Man unterscheidet eine langsame und eine sehr schnelle Dekompression (rapide Dekompression).
- Die Faktoren, die Umfang, Schwere und zeitlichen Ablauf einer Dekompression bestimmen, sind die folgenden:
 1. **Rauminhalt der Druckkabine**
Je größer die Kabine, desto langsamer der Druckfall.
 2. **Größe des Defekts**
Je größer die Öffnung, desto rascher erfolgt der Druckfall.
 3. **Kabinen-Differenzdruck** (positiv)
Je größer der Druckunterschied $p_c - p_0$ ist, desto schwerer die Dekompression.
 4. **Flughöhe**
Je größer die Flughöhe ist, desto länger wird bei einem vorhandenen positiven Differenzdruck die Dekompressionszeit werden.
 5. **Druckverhältnis p_c/p_0**
Je größer diese Verhältniszahl ist, desto länger ist die Dekompressionszeit.



Dekompression

Physikalische Anzeichen einer Dekompression

- knallartiges Geräusch
- starker Luftstrom hin zur Leckage, der im Extremfall Schallgeschwindigkeit erreichen kann
- Temperaturabfall
- Nebelbildung (Kondensation der Kabinenfeuchte)



Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling

Physiologische Wirkungen einer Dekompression

SOFORT:

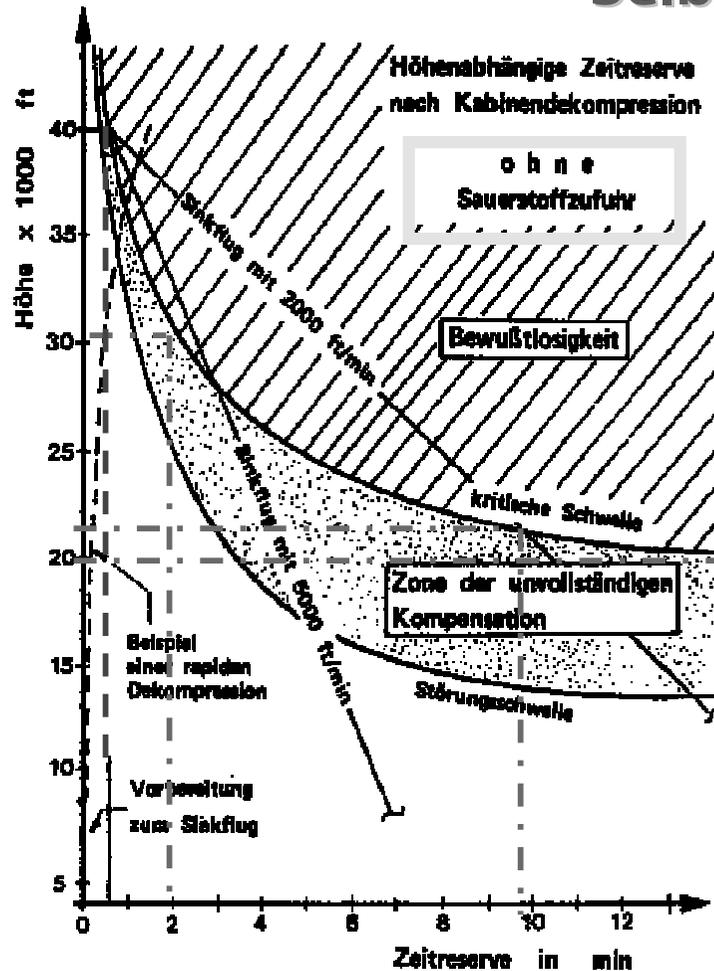
- Gasausdehnung
 - im Magen-Darm-Trakt, was zu starken Schmerzen und Unbefindlichkeiten führt
 - hat im Nasen- und Ohrenbereich kaum Folgen, da die Luft abfließt. Lediglich während des Druckfalls treten Ohrenscherzen auf, deren Stärke von der Druckfallgeschwindigkeit abhängen.
 - hat in der Lunge bei offenen Luftwegen keine Auswirkungen. Es ist zumeist ein deutlich spontaner „Ausatemvorgang“ zu verzeichnen.

NACHFOLGEND:

- Kältefluss
- Sauerstoffmangelkrankheiten
- Druckfallkrankheiten (vergleichbar mit der Taucherkrankheit), die eine sofortige Höhenaufgabe verlangen, d.h. es bilden sich Gasblasen in den Körperflüssigkeiten (vergleichbar mit dem Öffnen einer Mineralwasserflasche – es sinkt der Druck - und das gelöste Gas perlt aus)



Selbstrettungszeit

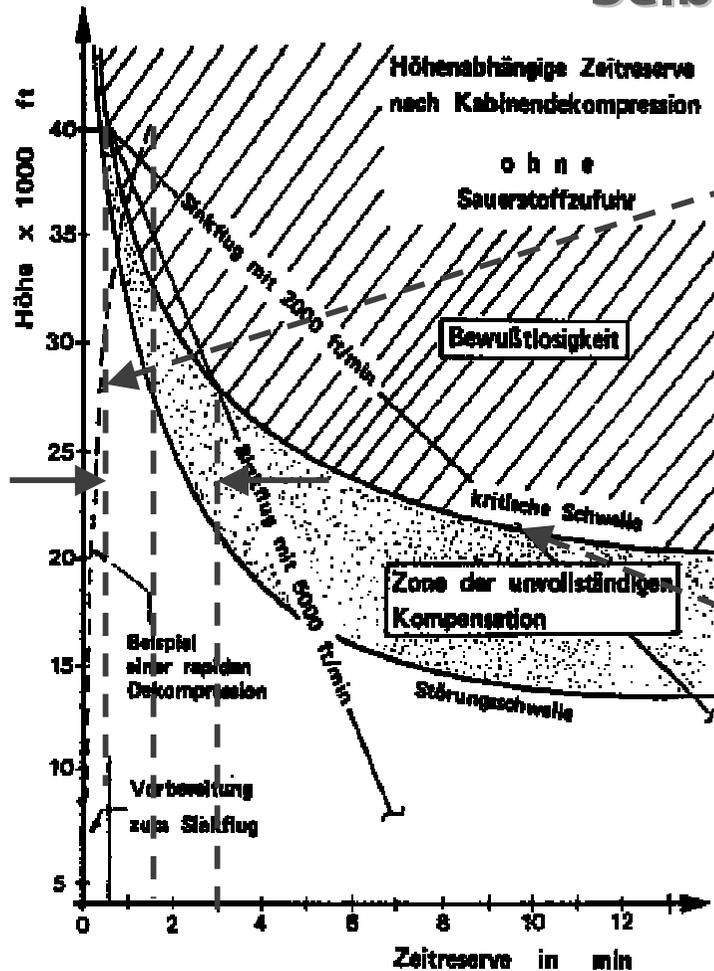


- Wird **TUC** genannt
 (Time of Useful Consciousness)
 (Zeit des noch nutzbaren Bewusstseins)
- Die Zeitspanne, die den Piloten nach einer Dekompression verbleibt, um lebensrettende Maßnahmen ergreifen zu können, bevor Bewusstlosigkeit eintritt.
- Erste Maßnahme nach einer Dekompression ist es, die O₂-Masken aufzusetzen. Ist kein Sauerstoff vorhanden, so hängt die TUC von der Flughöhe ab.
- Bis ca. 20 000 ft ist der Begriff der Selbstrettungszeit weniger von Bedeutung
- In ca. 22 000 ft Höhe beträgt die TUC noch 10 Minuten
- In 30 000 ft Höhe beträgt die TUC dann nur noch 2 Minuten und schrumpft in 40 000 ft Höhe auf „tödliche“ 20 Sekunden, die im Bereich der Zeit liegen, die für die Vorbereitung zum Sinkflug benötigt wird.

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Selbstrettungszeit



- Die gestrichelte Linie zeigt den Kabinendruckverlust eines mittelgroßen Flugzeuges (z.B. A 320) nach
 - Ausfall eines Kabinenfensters
 - in 40 000 ft Flughöhe
 - bei einer Kabinenhöhe von 7 000 ft.
- Wenn nichts geschieht, wird sich nach weniger als 2 Minuten die Kabinenhöhe auf die atmosphärischen Umgebungsbedingungen abgebaut haben.
- Wird der Notabstieg mit einer maximal zulässigen Sinkrate von 5 000 ft/min eingeleitet, so wird dabei die kritische Schwelle für ca. 2 Minuten überschritten.
- Ein Notabstieg aus noch größerer Höhe und/oder mit einer kleineren Sinkrate wird demzufolge noch erheblich kritischer werden.
- Aus dieser Erkenntnis resultieren die Bau- und Betriebsvorschriften, die besagen, dass bei Flugzeugen mit Druckkabine Sauerstoffgeräte installiert sein müssen!

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Druckfallkrankheit

Gase lösen sich in Flüssigkeiten proportional zum vorherrschenden Druck. Da der menschliche Organismus zum größten Teil aus Wasser besteht, löst sich Luft im Blut und sonstigen Körperflüssigkeiten. Hieran sind die einzelnen Bestandteile des Luftgemisches entsprechend ihres Partialdruckes beteiligt.

Der Teildruck des Stickstoffs N_2 (78 % Volumenanteile) ist besonders hoch und beträgt 760 mbar in den Lungenbläschen (Sauerstoff O_2 138 mbar).

Sinkt der Außendruck, so sinken auch die Partialdrücke, womit die Menge des in den Körperflüssigkeiten gelösten Gases kleiner wird → ein Teil der Gase muss sich entlösen (*evolved gases*).

Erfolgt die **Druckabsenkung langsam**

- das freiwerdende Gas diffundiert über die Lunge ab

Erfolgt **die Druckabsenkung schnell**

- es treten Gasblasen im Blut und Körpergewebe auf (Aero-Embolie)
- freiwerdendes O_2 wird vom roten Blutfarbstoff (Hämoglobin) abgebunden und kann deswegen kaum Schaden anrichten
- der Stickstoff N_2 dagegen wird in die Blutbahnen ausgeschwemmt, da im Körper stickstoffbindende Substanzen fehlen



Druckfallkrankheit

Das Gasentlösung tritt nicht schlagartig auf und auch noch verschieden rasch, je nachdem wo das Gas sich entlöst:

- N₂ im Blut entlöst sich relativ rasch
- N₂ in der Muskulatur entlöst sich langsamer
- N₂ im Fettgewebe entlöst sich sehr langsam;
+ aber gerade im Fett ist das meiste N₂ gelöst (Stickstoff-Reservoir),
+ deswegen sind „rundliche“ Menschen mehr druckfallgefährdet als schlanke.

Wegen der verzögerten Entlösung treten die Symptome der Druckfallkrankheit – in Abhängigkeit der Umfangs und der Schnelle des Druckabfalls – erst

- nach 10 bis 20 Minuten Latenzzeit auf (*latent = verborgen, nicht sofort erkennbar*)
- auf, wenn der Druck 50 bis 60 % des Ausgangsdruck beträgt

Voraussetzungen für die Druckfallkrankheit sind gegeben, wenn eine rapide Dekompression vorliegt,

- wie z.B. bei einem Drucksturz von Meereshöhe auf eine Höhe von 6 km (18 000 bis 20 000 ft), oder
- wie z.B. bei einem Drucksturz von 6 km Höhe auf einen Höhe von 11 km (34 000 bis 36 000 ft)

Menschen verspüren die Druckfallkrankheit durch Schmerzen in den Muskeln und den Gelenken.

Anstelle des Wortes Druckfallkrankheit sind auch die Begriffe „**Taucherkrankheit**“ und/oder „**Caisson-Krankheit**“ gebräuchlich.

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Vorschriften

Aus den bisher beschriebenen luftfahrtmedizinischen Erkenntnissen leiten sich eine Reihe von Vorschriften ab, die den Umfang und die Handhabung von Sauerstoffanlagen regeln:

- die **Bauvorschriften** (JAR/FAR 23 und/oder 25) und
- die **Betriebsvorschriften** (LuftBO = Betriebsordnung für Luftfahrtgerät und dazu die **DVO** = Durchführungsverordnung).

Die wichtigsten Vorschriften sind für Sauerstoffanlagen

- JAR/FAR §§ 23.1441 bis 23.1449 und §§ JAR/FAR 25.1439 bis 25.1453
- DVO der LuftBO §§ 17 bis 21

Nach §21 LuftBo müssen:

- Luftfahrzeuge zur gewerblichen Personenbeförderung, die oberhalb von **20 000 ft** fliegen, mit einer **Druckkabine** ausgestattet sein.
- alle Luftfahrzeuge, die über **10 000 ft** fliegen, mit einer **Sauerstoffanlage, Atemgeräten und einem angemessenen Sauerstoffvorrat** ausgerüstet sein.



Vorschriften

O₂-Verteileranlagen und O₂-Bereitstellung

- Die Sauerstoffanlagen und die Sauerstoffbereitstellung müssen in Besatzungs- und Fluggastanlage getrennt sein (JAR/FAR § 25.1445)
- Die Sauerstoffanlage muss vor gefährlichen Temperaturen geschützt sein, d.h. einen Berstschutz aufweisen (JAR/FAR § 25.1453)
- Ab einer zugelassenen Flughöhe von über 25 000 ft müssen nach JAR/FAR §25.1447c
 - 10 % mehr Abnahmestellen vorhanden sein als Sitzplätze existieren
 - 2 Entnahmestellen in jedem Waschraum/Toilette vorhanden sein
 - für jeden Flugbegleiter 1 tragbares O₂-Gerät zur Verfügung stehen.
- Eine Rauchschautzusrüstung im Cockpit vorhanden sein, zu der ein tragbares O₂-Gerät gehört (JAR/FAR §25.1439 und DVO LuftBO §21).
- Der Sauerstoffvorrat, der mitzuführen ist, richtet sich (entsprechend DVO LuftBO § 17.1) nach
 - Flughöhe
 - Flugdauer
 - Anzahl der Insassen (Passagiere + Crew)
 - die Airline (der Unternehmer) hat anhand der gültigen Vorschriften den O₂-Vorrat festzulegen.
- In diesem Zusammenhang sind folgende Begriffe zu nennen



Vorschriften

O₂-Verteileranlagen und O₂-Bereitstellung

- **Emergency Oxygen (O₂ für den Notabstieg) – DVO LuftBO §§ 20.5 und 19.3**
Sauerstoff der für Passagiere und Flugbegleiter für mindestens 10 Minuten zur Verfügung stehen muss bzw. bis zum Erreichen einer Flughöhe von 15 000 ft (*bei einer Sinkgeschwindigkeit von 2 000 ft/min braucht ein Flugzeug von 35 000 ft bis 15 000 ft eine Zeit von 10 Minuten*)
- **Sustance Oxygen (lebenserhaltender O₂) – DVO LuftBO §§ 19.2 und 19.1**
 - a) Ist der Sauerstoff, der für 30 % der Fluggäste zur Verfügung stehen muss, wenn das Flugzeug nach einem Notabstieg in einer Flughöhe zwischen 15 000 ft und 14 000 ft fliegen muss.
 - b) Ist der Sauerstoff, der für 10 % der Fluggäste bereitgehalten werden muss, wenn das Flugzeug nach einem Notabstieg zwischen 14 000 ft und 10 000 ft für länger als 30 Minuten fliegen muss.
- **First Aid Oxygen (O₂ für die Erste Hilfe) – DVO LuftBO § 20.7**
Ist der Sauerstoff, der aus physiologischen Gründen für den ein oder anderen Flugpassagier nach einem Notabstieg gebraucht wird, wenn das Flugzeug zwischen 10 000 ft und 8 000 ft fliegen muss. Die Vorratshaltung muss für 2 % der Fluggäste – aber wenigstens für 1 Person – vorgesehen werden.

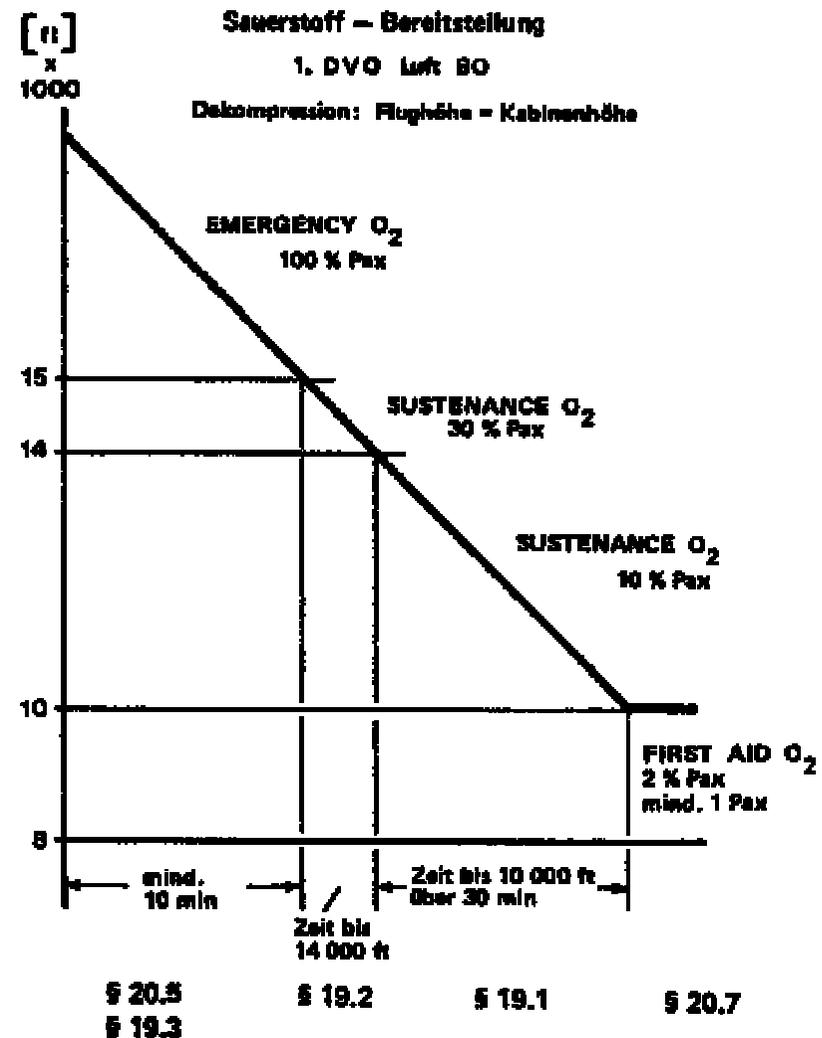


Vorschriften

Grafische Darstellung der Vorschriften zur Ermittlung der mitzuführenden Sauerstoffmenge

Installationsorte für Fluggast-Sauerstoff sind:

- über den Passagiersitzen
- in den Waschräumen/Toiletten
- an den Flugbegleiterstationen
- in den Bordküchen (*galleys*)



Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Vorschriften

O₂-Versorgung für die Besatzung

- Es muss ein O₂-Vorrat für mindestens 2 Stunden vorhanden sein (DVO LuftBO § 18.5)
- Bei zugelassenen Flughöhen über 25 000 ft ist die Verwendung lungenautomatischen Atemreglern vorgeschrieben (JAR/FAR §25.1447c) sowie schnell aufsetzbare O₂-Masken, sog. Quick Donning- oder QD-Masken (DVO LuftBO §18.2)
- Die ständige Benutzung von O₂-Masken bei Kabinendruckhöhen über 12 000 ft muss möglich sein (DVO LuftBO 18.2)
- Bei zugelassenen Flughöhen über 41 000 ft muss die ständige Benutzung einer O₂-Maske durch den Flugzeugführer gewährleistet sein (DVO LuftBO § 18.3)



Vorschriften

O₂-Versorgung für die Passagiere

- Die O₂-Minstdurchflussmengen können geringer sein als bei der Besatzung (JAR/FAR § 25.1443)
- Bei zugelassenen Flughöhen über 25 000 ft muss für jeden Insassen eine O₂-Maske SOFORT zur Verfügung stehen (JAR/FAR § 25.1447c)
- Bei zugelassenen Flughöhen über 30 000 ft muss für jeden Insassen eine O₂-Maske AUTOMATISCH dargeboten werden (JAR/FAR § 25.1447c1)



Genereller Aufbau von Sauerstoffanlagen

in Flugzeugen mit einer Gesamtmasse von mehr als 5.7 Tonnen nach JAR/FAR 25

Man unterscheidet primär in

- **Flugzeugführerraumanlagen**
- **Fluggastanlagen**

Der wesentliche Unterschied dieser beiden Anlagen besteht darin, dass

- Flugzeugführer **JEDERZEIT** Sauerstoff entnehmen können
- Fluggäste **NUR IM NOTFALL**, also nur dann, wenn die Sauerstoffanlage ausgelöst wurde (automatisch oder manuell vom Cockpit aus). Die Auslösung der Sauerstoffanlage erfolgt automatisch ab ca. 14 000 ft. Kabinendruckhöhe



Flugzeugführerraumanlage Maskenregler

Nach JAR/FAR § 25.1447c müssen Verkehrsflugzeuge die für Flughöhen über 25 000 ft zugelassen sind, -
- **lungenautomatische Atemgeräte** besitzen. Andere Flugzeuge müssen demzufolge nur mit sog.
- **Dauerflussgeräten** ausgestattet sein.

Nach JAR/FAR § 25.1443b:

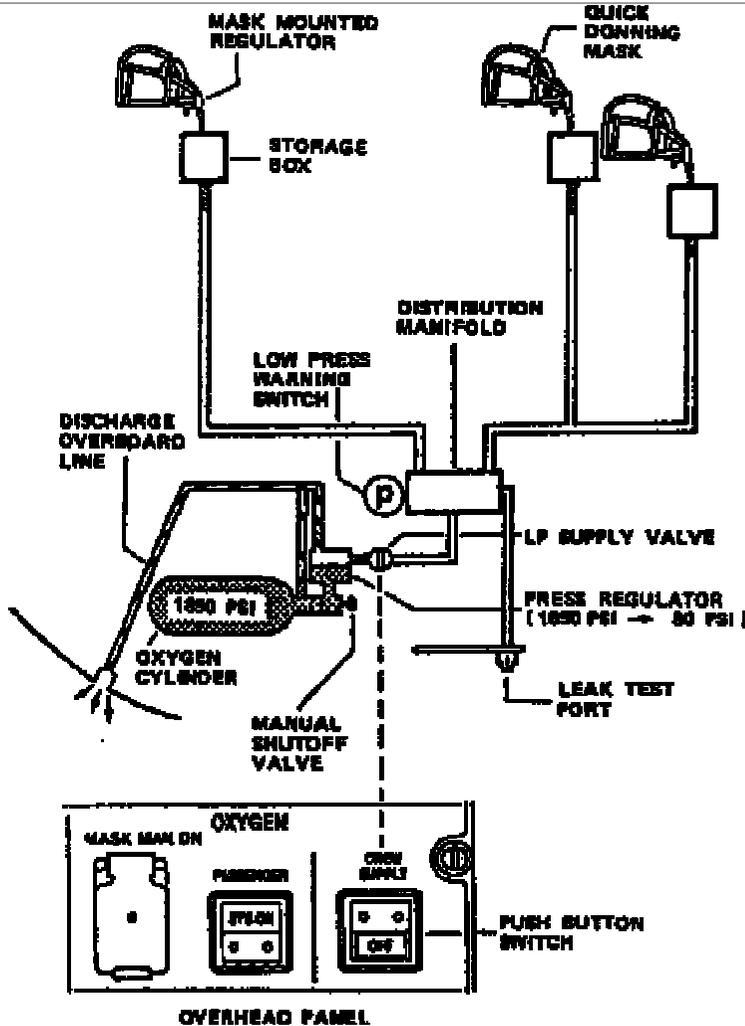
- stellen Lungenautomaten unabhängig vom Kabinendruck in der Luftröhre einen O₂-Partialdruck von wenigstens 163 mbar bereit.
- müssen Durchflussgeräte dagegen mindestens 198 mbar liefern.

Jedes Besatzungsmitglied im Cockpit hat einen eigenen Atemregler. Es bestehen die Möglichkeiten

- des An- und Abschaltens
- der Wahl zwischen Sauerstoff-Luftatmung (Lungenautomatik)
reiner Sauerstoffatmung (Dauerflussstellung)



Flugzeugführerraumanlage hier Airbus A 320



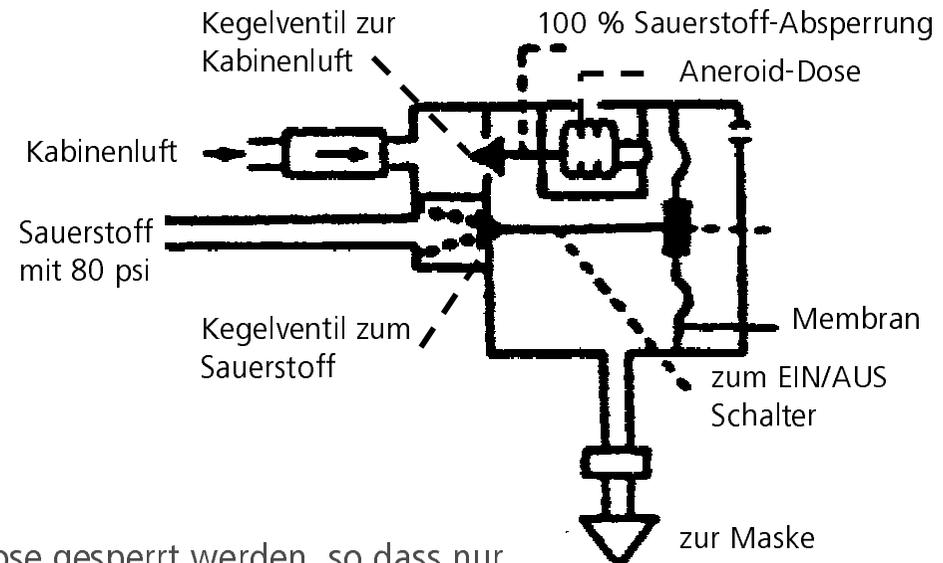
- Ein aus Aramid-Fasern (Kevlar) hergestellter Behälter (*oxygen cylinder*) beinhaltet gasförmigen Sauerstoff unter einem Normaldruck (bei 21° C) von 1 850 psi (128 bar).
- Ein direkt am Behälter angebrachter Druckreduzierer (*pressure regulator*) regelt den Druck auf 80 psi (5.5 bar) herunter.
- Über ein vom Cockpit aus elektrisch betätigbares Absperrventil (*LP supply valve*) gelangt der Sauerstoff in den Verteiler (*distribution manifold*) und von dort zu den Masken ins Cockpit.
- Zieht der Pilot die QD-Maske aus dem Staubbehälter (*storage box*), so blasen sich die Maskenbänder nach Drücken eines Ventils auf, die es ihm so ermöglichen, die Maske schnell aufzusetzen.
- Ein in der Maske befindlicher Regler (*mask mounted regulator*) liefert und regelt den Sauerstoff

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



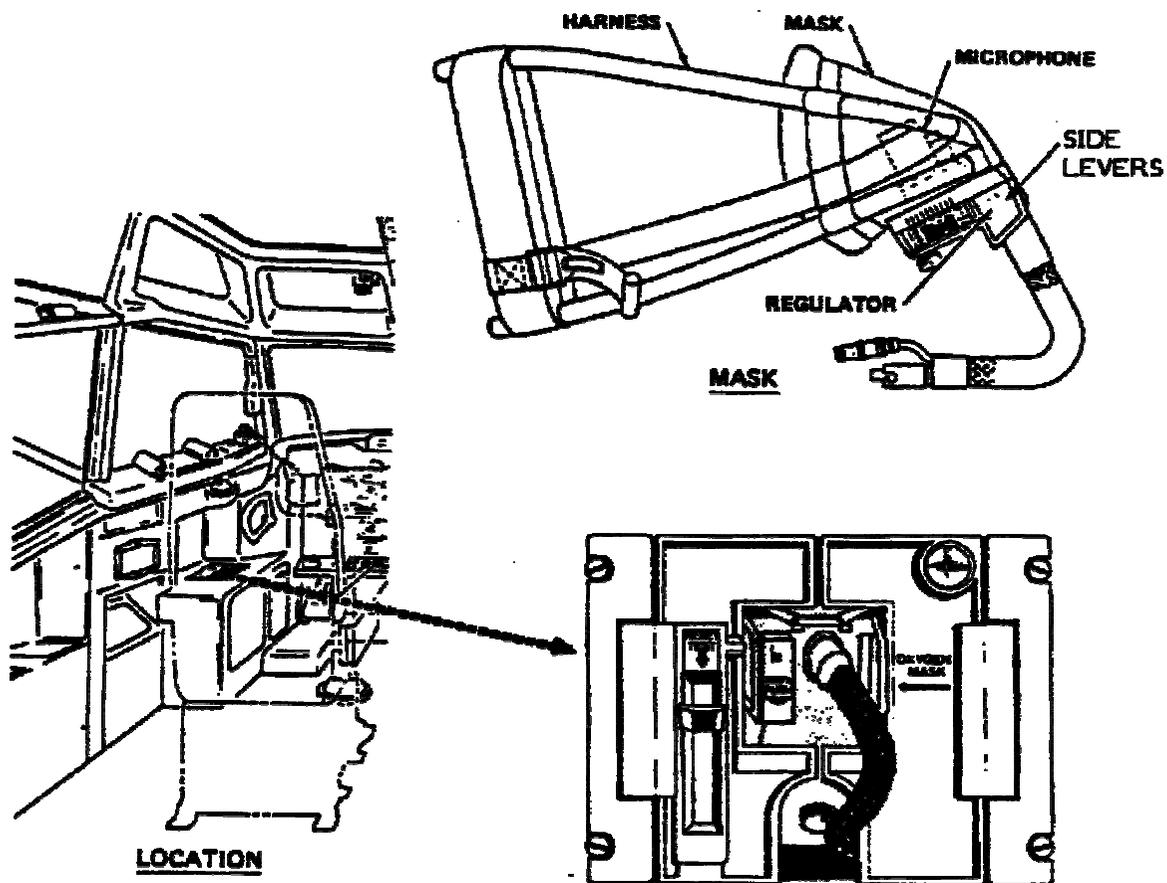
Flugzeugführerraumanlage kombinierter Regler als Lungenautomat und Dauerflussgerät

- Beim Einatmen entsteht im Innenraum des Atemreglers ein Unterdruck, der über eine Membran ein Kegelventil öffnen lässt, so dass Sauerstoff gedrosselt zur Maske gelangt.
- Ein zweites Ventil ist mit einer Aneroiddose verbunden und dosiert höhenabhängig einen zusätzlichen Luftanteil aus dem Cockpit:
 - geringer Umgebungsdruck – Dose dehnt sich aus – Ventil schließt
 - höherer Umgebungsdruck – Dose zieht sich zusammen – Ventil öffnet
- Über einen 100%-Schalter kann die Aneroiddose gesperrt werden, so dass nur noch 100%-Sauerstoff in die Maske gelangen kann.
- Wird der Notfallschalter „EMERGENCY“ eingeschaltet, so wird das „Sauerstoff-Kegelventil“ etwas aufgedrückt, so dass Sauerstoff nun ständig in die Maske strömen kann – unabhängig davon, ob geatmet wird oder nicht. Diesen Schaltzustand nennt man Dauerflussregelung und wird z.B. in sehr großen Kabinendruckhöhen und bei Rauch im Cockpit verwendet.

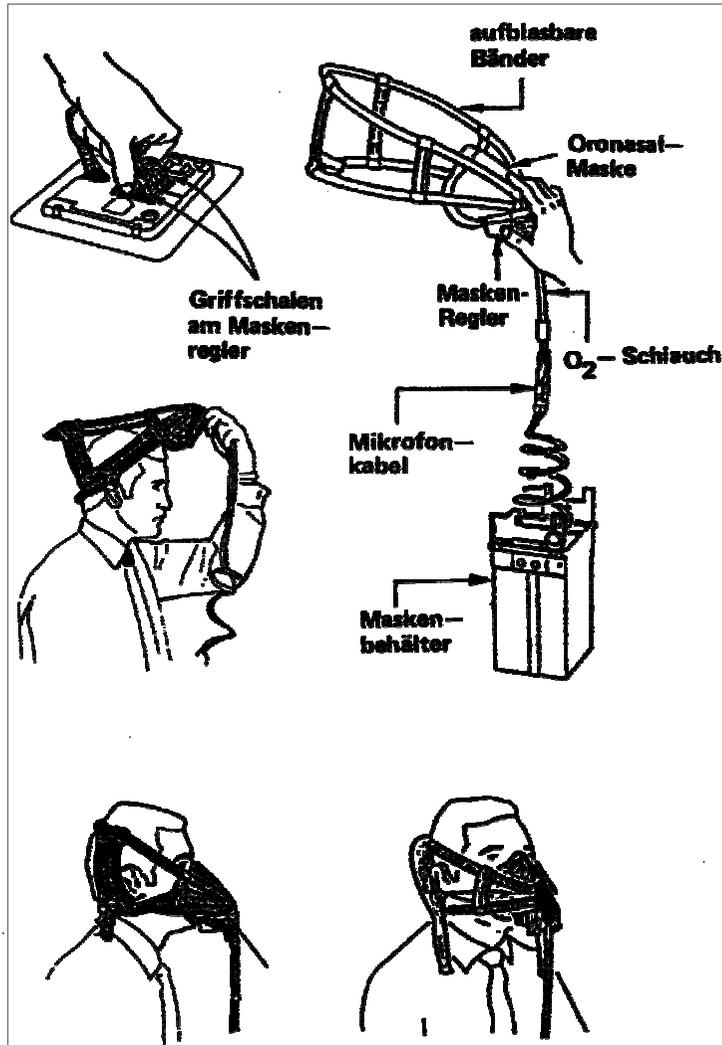




Flugzeugführerraumanlage die Maskeneinheit



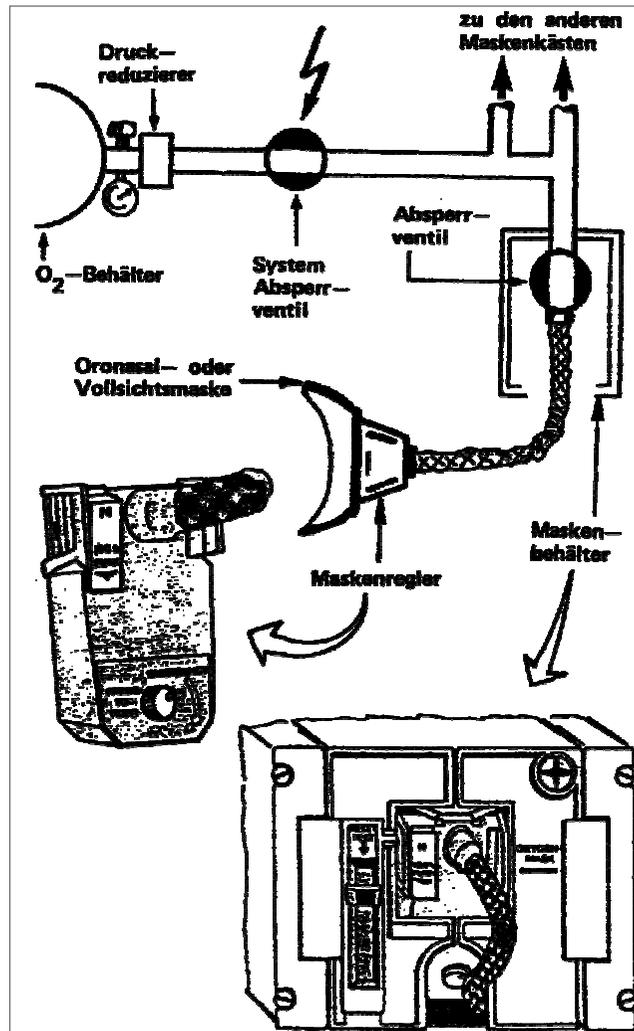
Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Flugzeugführerraumanlage die Maskeneinheit

- Für jede Sitzposition im Cockpit gibt es einen Behälter, in dem eine Maskeneinheit verstaut ist, die durch ein zusätzliches Absperrventil von der Sauerstoffanlage getrennt ist. Beim Betätigen der Behälterklappen wird das Ventil geöffnet.
- Die Maskeneinheit besteht im Wesentlichen aus:
 - dem Maskenregler
 - der sog. ORONASAL-Maske (Mund und Nase bedeckend) mit Mikrofon
 - den aufblasbaren Kopf- und Nackenbändern
- Anstelle der Oronasal-Maske kann am Regler auch eine Vollsichtmaske montiert sein, was bei Rauchentwicklungen vorteilhaft ist.

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



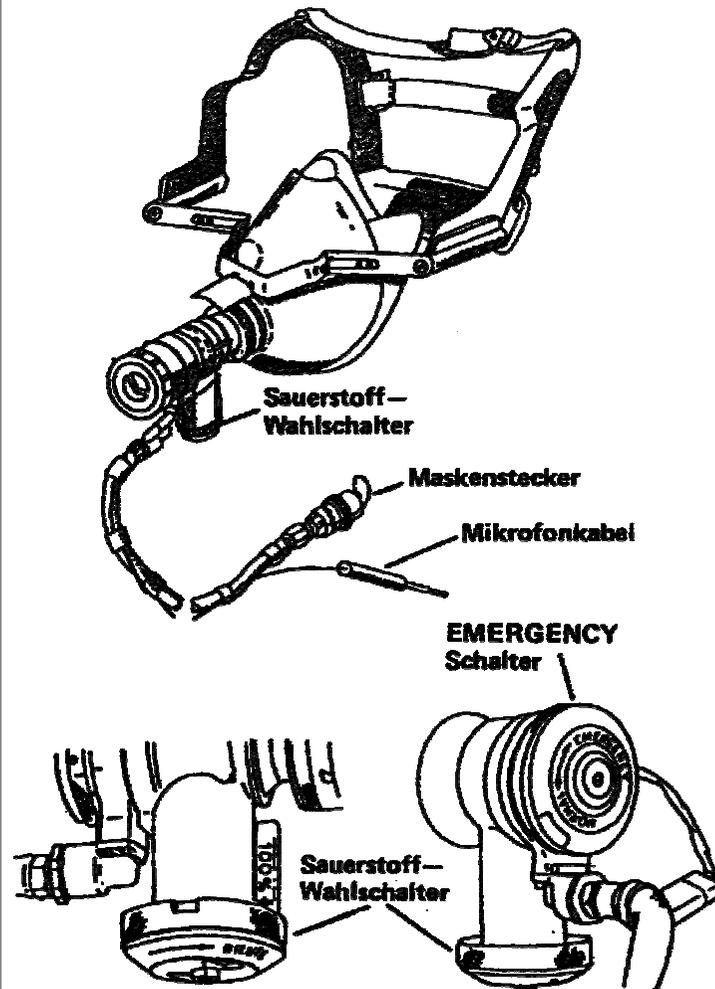
Flugzeugführerraumanlage die Maskeneinheit

- Das Absperrventil sperrt bei geschlossener Behälterklappe den O₂-Einlass zum Maskenregler. Wird durch Herausziehen der Maskeneinheit die Behälterklappe geöffnet, so öffnet das Ventil automatisch und lässt den Sauerstoff bei einem Druck von 1 850 psi strömen.
- Voraussetzung ist, dass das Systemabsperrventil zuvor per Schalter geöffnet wurde.
- Durch eine Querschnittsverengung (Drossel) gelangt der Sauerstoff denn druckreduziert (auf 80 psi gedrosselt) zum Maskenregler.
- Der erste Sauerstoff, der fließt, kann – nach Betätigung eines Ventils im vorderen Maskenbereich – in die Maskenbänder strömen und bläst diese so auf.

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Flugzeugführerraumanlage die aufblasbaren Bänder

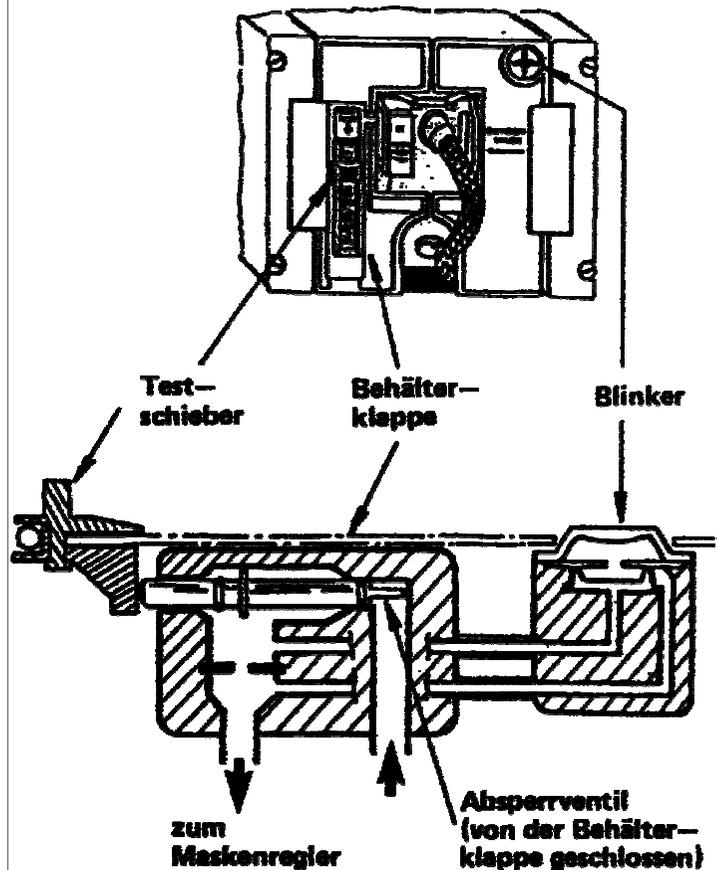


- Das Aufblasen der Maskenbänder erfolgt über einen der beiden (roten) Maskengriffe, mit der die Maske herausgezogen wird.
- Dabei wird im Maskenregler ein Kolben betätigt, der den am Reglereintritt mit 80 psi anstehen Sauerstoff zu den Bändern passieren lässt.
- Nach dem Aufsetzen der Maske wird der Maskengriff losgelassen und der Kolben geht in seine Ursprungslage zurück, d.h. er verschließt den Sauerstoffzufluss zu den Bändern.
- Dabei baut sich durch eine Bypassleitung der Druck in den Bändern ab, so dass sich die Bänder zusammenziehen und der Maske den gewünschten Halt im Gesicht geben können.

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling

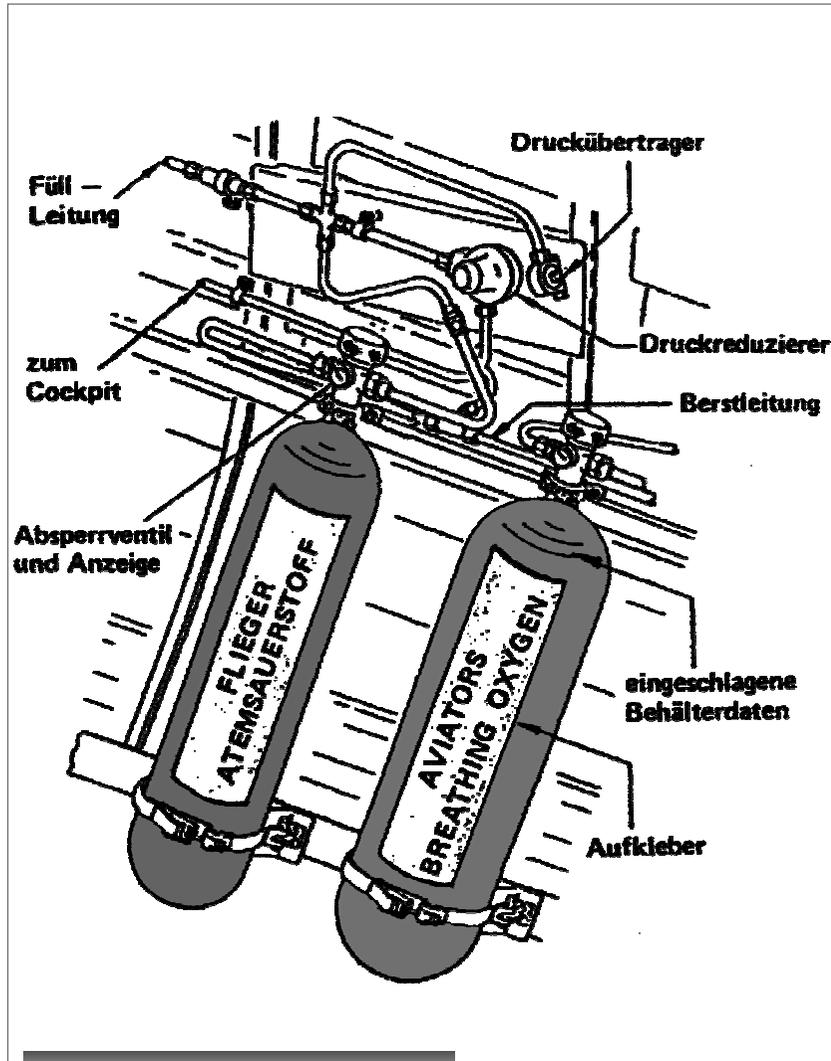


Flugzeugführerraumanlage Sauerstoffflussanzeige/Blinker



- Ein Blinker wird im zugehörigen Schaufenster sternförmig nach oben geklappt, wenn in der oberen Kammer des Absperrventils ein höherer Druck herrscht als in der unteren.
- Das ist immer dann der Fall, wenn Sauerstoff durch die Drossel fließt, die den Druck von 1 850 psi auf 80 psi reduziert. Ist kein Fluss vorhanden, so ist der Druck vor und hinter der Drossel gleich.
- Sauerstoff fließt immer dann, wenn:
 - der Ventilkolben nach Betätigung des Testschiebers öffnet
 - nach entnommener Maske (Absperrventil öffnet) mittels Lungenautomatik geatmet wird
 - nach entnommener Maske und Betätigung des Notfallschalters mittel Durchflussregelung geatmet wird.

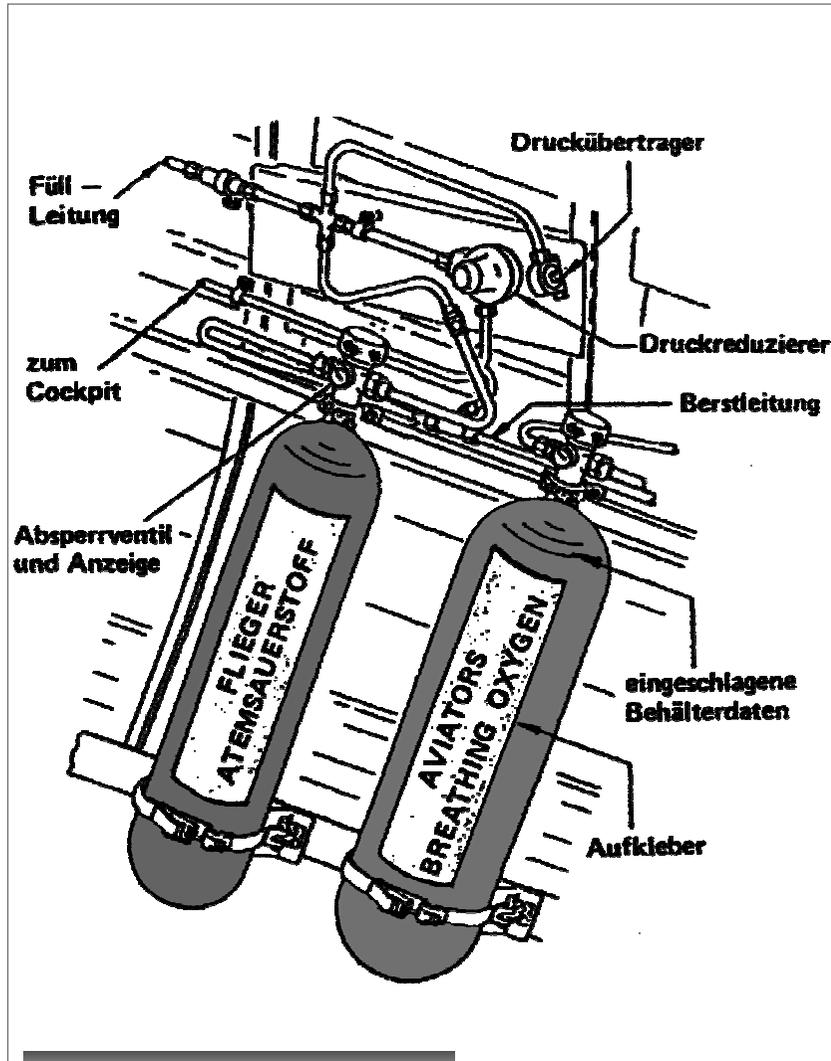
Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling

Flugzeugführerraumanlage Installation der Sauerstoffbehälter

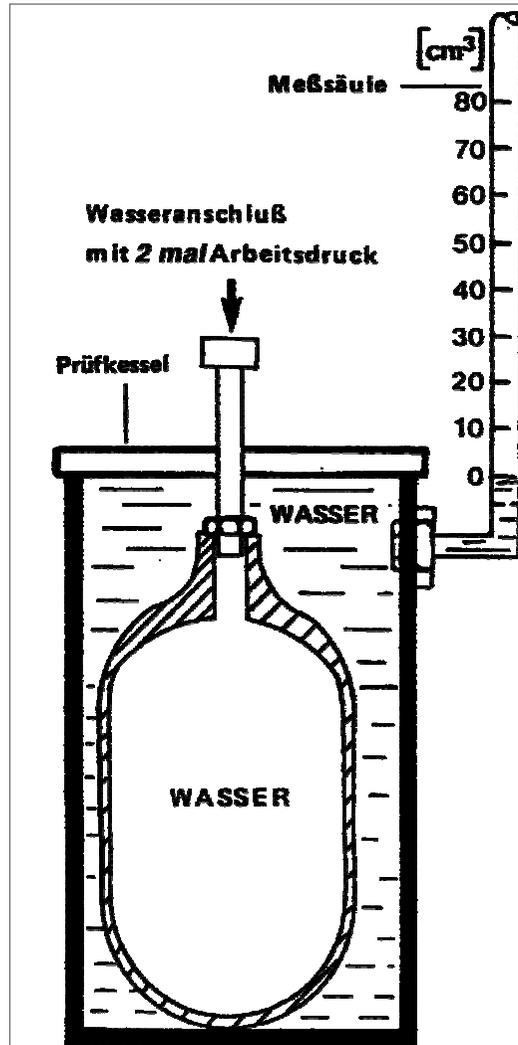
- Deutsche O₂-Behälter sind **blau** gekennzeichnet.
- Amerikanische Behälter sind **grün** gekennzeichnet.
- In amerikanischen Flugzeugen sind auch amerikanische Behälter installiert, die aber der deutschen Druckgasverordnung unterliegen.
- Im Flaschenhalsbereich befinden sich folgende Bauteile:
 - ein langsam öffnendes Absperrventil
 - eine Druckanzeige
 - Überdruckventil mit Berstscheibe
- Die Flaschen sind dünnwandige Aluminium-Behälter, die mit kunstharzgetränkten Aramit-Fasern (Kevlar) umwickelt werden (höhere Festigkeit als Stahl bei halbiertem Gewicht). Kevlar ist feuchtigkeitsempfindlich, so dass die Flaschen mit einem Speziallack (epoxy coating) behandelt werden müssen.



Flugzeugführerraumanlage Prüfung der Sauerstoffbehälter

- Die Behälter unterliegen den sog. *DOT-Regulations* (*Department of Transportation*), was in Deutschland der sog. *Druckgasverordnung* entspricht.
- Kevlar-Flaschen unterliegen der DOT E7218 (3FC), wobei FC für *full composite* steht.
 - Lebensdauer = 15 Jahre
 - Prüfzeitraum = 3 Jahre
 - Prüfdruck = $2 \times 1\,850 = 3\,700$ psi (mit Wasser)
 - Summe der bleibenden Verformungen bei den Drucktests, die nicht überschritten werden darf, beträgt 5 % (REE-Zahl = 1.05 = rejecting elastic expansion)
- Jeder Behälter hat eine Lebenslaufakte. Wird die REE-Zahl bei einem Drucktest gegenüber dem Ursprungswert in dieser Akte überschritten, so ist die Flasche Ausschuss.

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Flugzeugführerraumanlage Prüfung der Sauerstoffbehälter

- Der Wasserdrucktest erfolgt nach dem sog. „Water-Jacket“-Verfahren. Bei diesem Verfahren wird die räumliche Ausdehnung des Behälters durch Verdrängen von Wasser gemessen, das den Behälter während des Drucktests einhüllt.
- Zur Prüfung gehören auch Kontrollen auf äußere und innere Beschädigungen (Kratzer, Kerben und/oder Korrosion).
- „Leere Behälter“ dürfen praktisch nur bis zu 50 psi (ca. 3 bar) entleert werden, da bei einer völligen Entleerung Feuchtigkeit eindringen könnte.
- Volle Behälter sollen unter einem Normdruck von 1 850 psi (ca. 128 bar) stehen. Dieser Wert bezieht sich auf die für Gasanlagen gültige Normtemperatur von 21 °C. Nach der allg. Gasgleichung ergeben andere Temperaturen auch andere Gasdrücke, was speziell wichtig für das Befüllen einer Sauerstoffanlage ist.

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Flugzeugführerraumanlage

Ermittlung der verbrauchten O₂-Menge

Anfangszustand $p_A \cdot V_A = m_A \cdot R_{O_2} \cdot T_A$ mit $V_A = V_E$, d.h.
Zustand nach der Entnahme $p_E \cdot V_E = m_E \cdot R_{O_2} \cdot T_E$ das Behältervolumen bleibt konstant

$$m_E = m_A \cdot \frac{p_E}{p_A} \cdot \frac{T_A}{T_E} \quad \text{mit} \quad m = \rho \cdot V \quad \text{wird daraus} \quad V_E = V_A \cdot \frac{\rho_A}{\rho_E} \cdot \frac{p_E}{p_A} \cdot \frac{T_A}{T_E}$$

V_A und V_E sind jetzt die Volumina des Gases, die zu den jeweiligen Massen m_A und m_E gehören.

Für die Ermittlung des O₂-Verbrauchs schreibt man vereinfachend mit $\rho_A = \rho_E$ und $T_A = T_E$

$$V_E = V_A \cdot \frac{p_A}{p_E}$$

p_A = Anfangsdruck
(meist 1 850 psi)

V_A = Anfangsvolumen
(kann auf dem Behälter abgelesen werden)

p_E = Enddruck
(kann auf dem Manometer abgelesen werden)

V_E = Restvolumen
(verbliebenes Sauerstoffvolumen im Behälter)

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Flugzeugführerraumanlage

Ermittlung der verbrauchten O₂-Menge

Beispiel:

Eine erstmals verwendete 76 ft³-O₂-Flasche (2 150 ltr) zeigt nach einmaliger Sauerstoffentnahme am Manometer einen Restdruck von 1 110 psi an. Wie groß ist das Volumen an verbrauchtem Sauerstoff?

$$p_A = 1\,850 \text{ psi} \quad p_E = 1\,110 \text{ psi} \quad V_A = 2\,150 \text{ ltr} = 2\,150 \text{ dm}^3$$

$$V_E = V_A \cdot \frac{p_E}{p_A} = 2150 \cdot \frac{1110}{1850} = 1290 \text{ ltr}$$

$$\text{Verbrauchter Sauerstoff : } \Delta V = V_A - V_E = 2\,150 - 1\,290 = 860 \text{ ltr}$$

Sollte während eines Fluges Sauerstoff verbraucht worden sein, so ist nach der Landung zu prüfen, ob die noch vorhandene O₂-Menge ausreicht, den nächsten bevorstehenden Flug abzudecken, oder ob nachgefüllt werden muss. Minimal zulässige Werte dazu stehen in den jeweiligen Flughandbüchern.



Fluggastanlage

- Die Fluggastanlage wird bei ca. 14 000 ft Kabinendruckhöhe und 5 Sekunden Verzögerung automatisch ausgelöst, kann aber auch manuell vom Cockpit aus betätigt werden.
- Eine Fluggastanlage besteht aus
 - einer O₂-Bevorratung (gasförmig oder fest)
 - einer automatischen oder manuellen Auslöseinrichtung
 - einer Flussregel- und Verteileranlage
 - 10 % mehr Zapfstellen (Masken) als es dem Sitzplatzangebot entsprechen würde

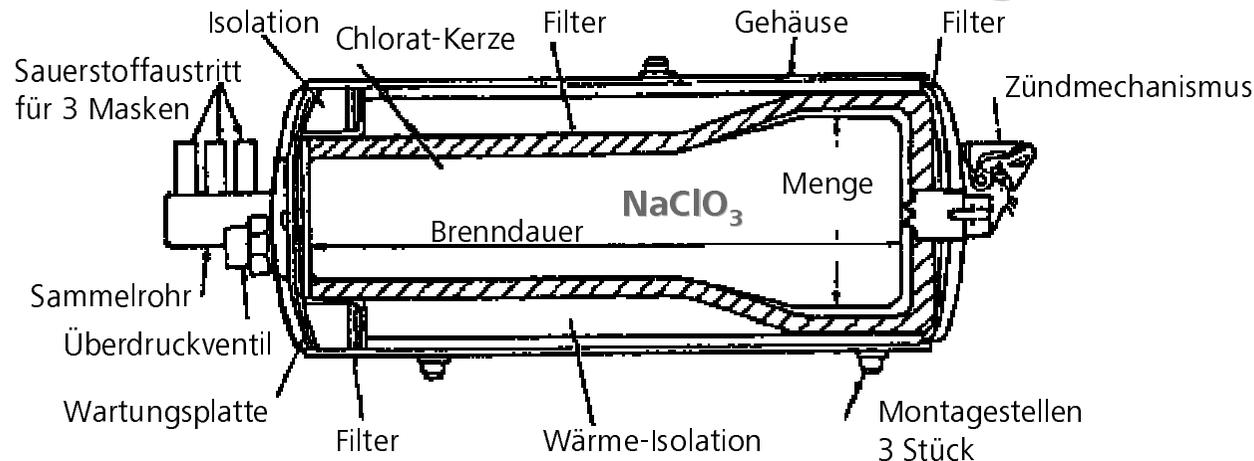
Vor- und Nachteile der alternativen O₂-Anlagen mit gasförmiger Bevorratung oder mit chemischer Generierung

	gasförmig	chemisch erzeugt
O ₂ -Bereitstellung während des Notabstieges	+	+
Benutzungsdauer	+	-
Wartungsaufwand	-	+
Gewicht der Gesamtanlage	-	+
Sicherheitskriterien beim Umgang mit O ₂	--	++

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Chemische Sauerstofferzeuger



O₂-Generatoren sind Metallbehälter mit einer Füllung, die beim Abbrennen Sauerstoff auf chemischem Wege erzeugen.

Die Füllsubstanz ist Natriumchlorat „Na Cl O₃“. Die Substanz gibt beim Abbrennen 45 % ihres Gewichts an Sauerstoff ab. Davon werden 7 % für die eigentliche Verbrennung benötigt, so dass schließlich 38 % des Gesamtgewichtes der Füllung als reiner Sauerstoff für den Atemprozess zur Verfügung stehen:



Für die Sauerstoffversorgung der Besatzung wird immer – wegen der besseren Regelbarkeit – gasförmiger Sauerstoff verwendet.

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Chemische Sauerstofferzeuger

Für Großraumflugzeuge, die viele Fluggäste in der Kabine aufnehmen, ist das Mitführen einer Sauerstoffflaschenbatterie wie das Mitführen eines Bombenlagers, das bei Notabstiegen und/oder Unfällen eine zusätzliche Gefahr darstellt (*deswegen wurden die aus U-Booten bekannten Sauerstofferzeuger des 2. Weltkrieges für Luftfahrtzwecke weiterentwickelt*).

Die **Vorteile** einer O₂-Generatoren-Anlage liegen im Sicherheitskriterium, in der Gewichtsersparnis und in der geringeren Wartung:

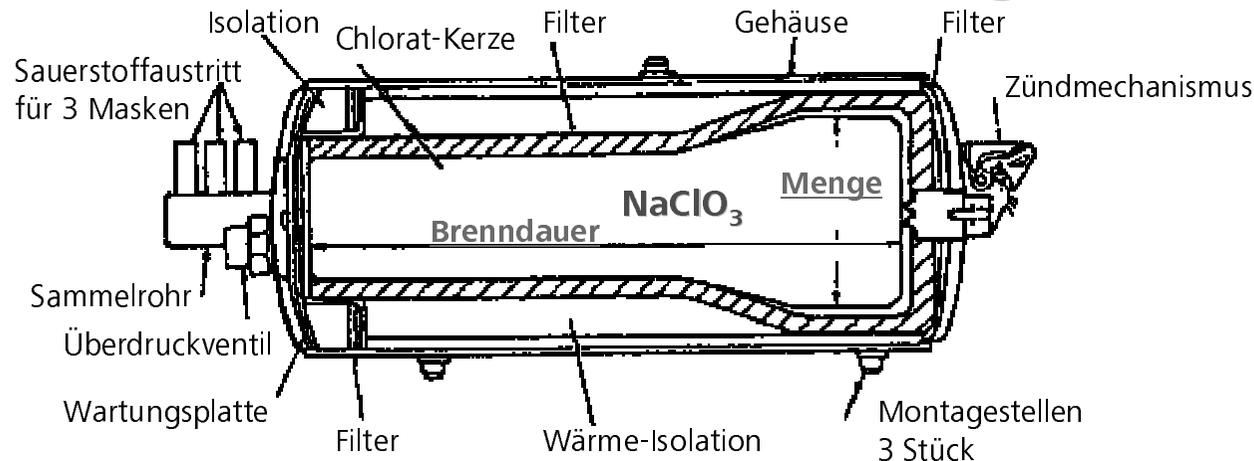
- der gefährliche Umgang mit Sauerstoff entfällt
- das gesamte Rohrleitungssystem entfällt
- die großen Sauerstoffbehälter entfallen
- ein großer Teil an Regelorganen ist nicht erforderlich

Nachteile sind:

- kurze Benutzungsdauer von maximal 15 Minuten, aber mindestens 10 Minuten
- ist der Generator erst einmal gezündet, kann der Brennvorgang nicht mehr gestoppt werden
- im Generator entstehen Temperaturen von bis zu 250 °C



Chemische Sauerstofferzeuger

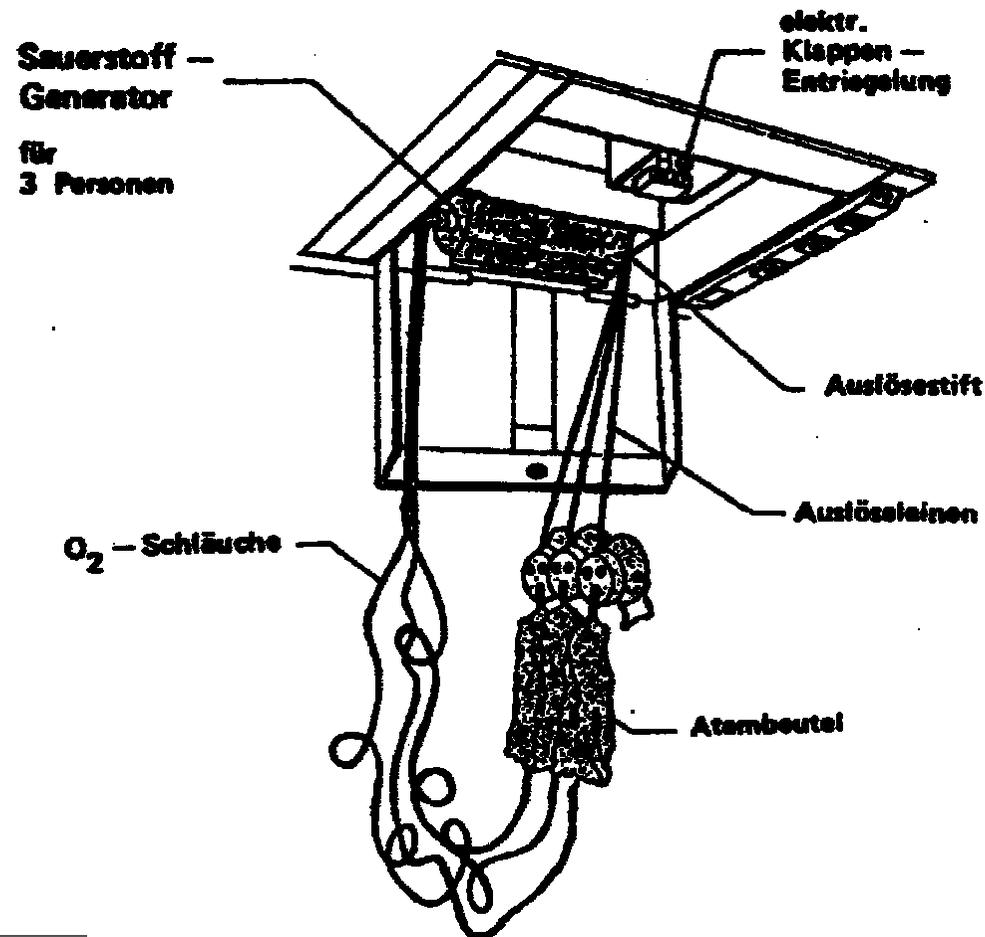


- Der Sauerstofferzeuger besteht aus einem gepressten Kern an Natriumchlorat, dessen:
 - Länge die Brenndauer proportional ist
 - Querschnitt der zu liefernde Sauerstoffmenge proportional ist
- Ausgelöst wird die Anlage durch einen Höhengeschalter, der ein elektrisches Signal an die Magnetspule zur Auslösung der Kastenklappenverriegelung der Sauerstoffmasken gibt. Diese fallen durch Schwerkraft heraus und mit ihnen eine Auslöseleine, die den Zündmechanismus betätigt, sobald ein Passagier die Sauerstoffmaske zu sich heran zieht.

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Fluggastanlage

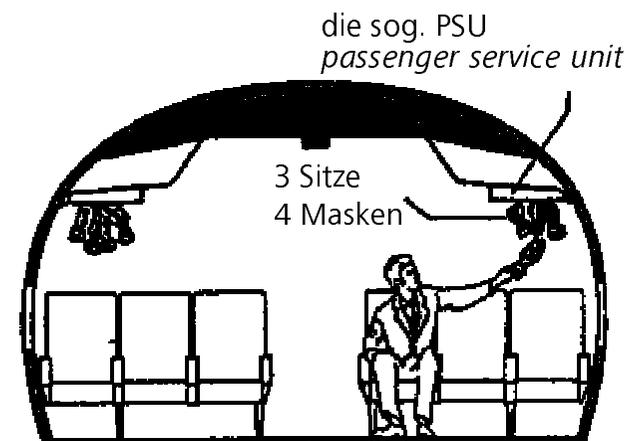
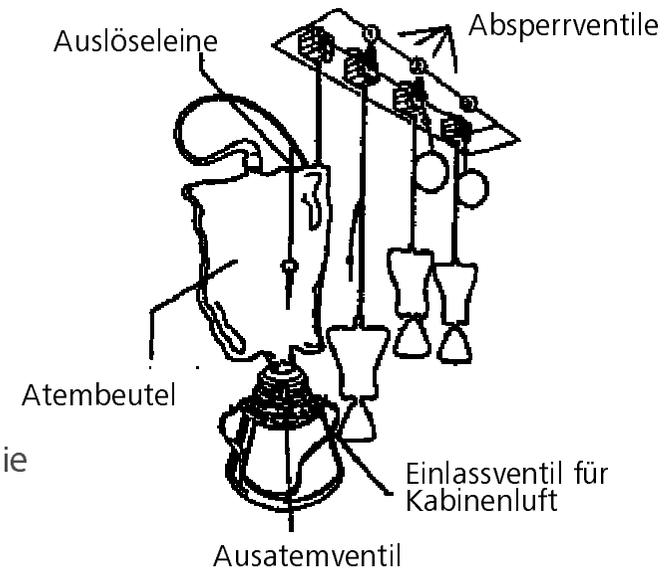


Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling

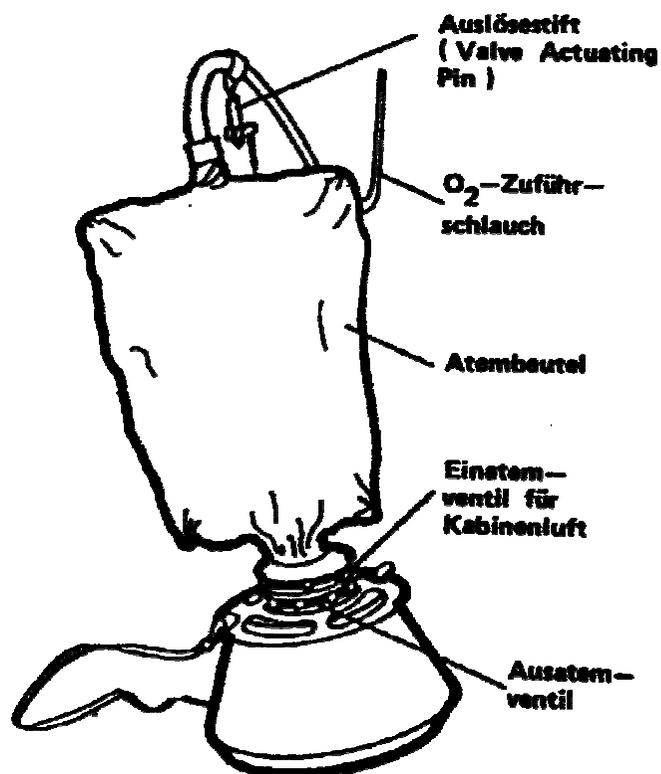


Fluggastanlage

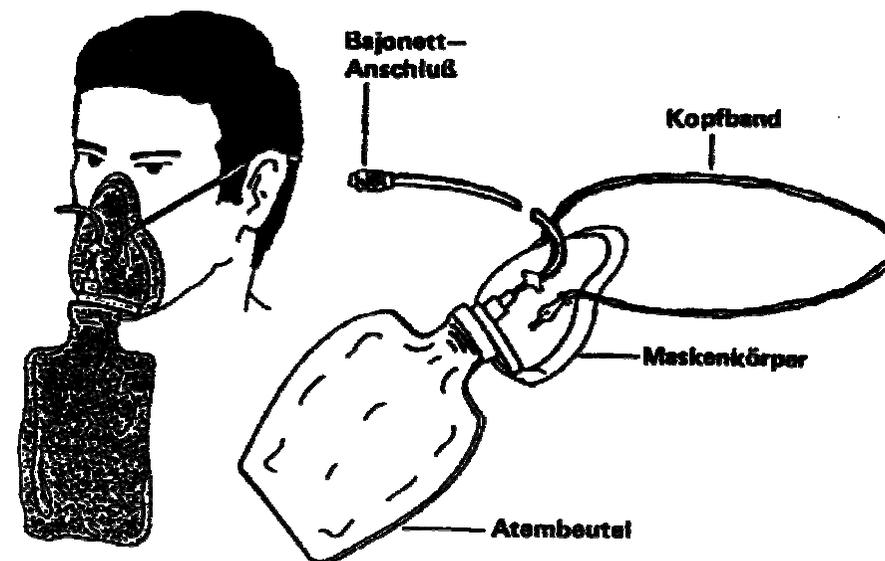
- Jede Sitzreihe verfügt über einen Sauerstoffgenerator.
- Es existiert pro Sitzreihe immer 1 Sauerstoffmaske mehr als die Sitzreihe Plätze hat.
- In heutigen Flugzeugen versorgt also 1 Generator
 - 3 Sauerstoffmasken in einer 2-er Reihe
 - 4 Sauerstoffmasken in einer 3-er Reihe
 - 5 Sauerstoffmasken in einer 4-er Reihe
- Es gibt/gab Flugzeuge, da befindet sich der O₂-Kasten (Generator und Masken) in der Rückenlehne des Sitzes des Vordermannes (McDonnell-Douglas DC-10)



Passagier-Sauerstoffmasken



Passagiermaske mit Atembeutel, angeschlossen an eine stationäre O₂-Kabinen-Anlage

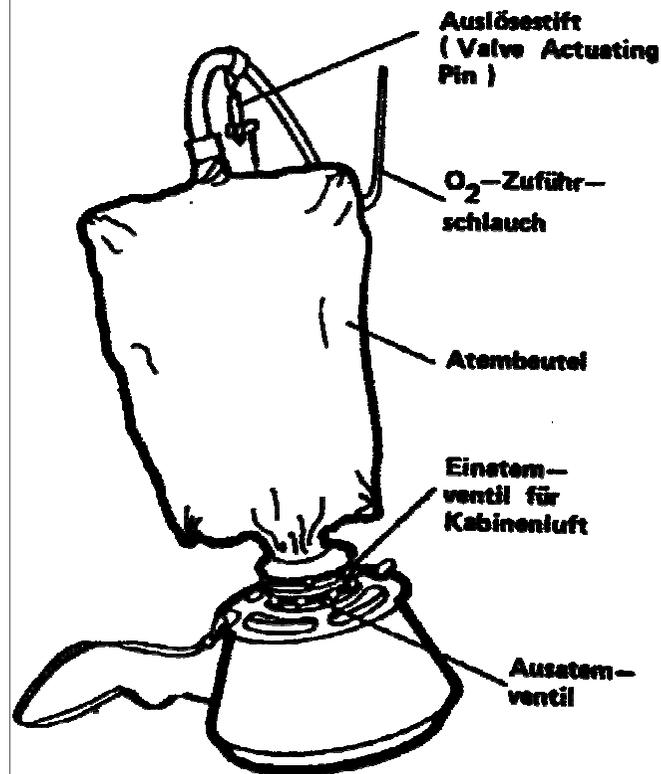


Passagiermaske mit Atembeutel für die ERSTE HILFE, angeschlossen an ein portables O₂-Gerät

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Passagier-Sauerstoffmasken



Passagiermasken sind generell Oronasal-Masken, die Mund und Nase bedecken. Sie bestehen aus:

- zylindrischem oder konischem Maskenkörper
- 3 Ventilen (Einatemventile für Sauerstoff und für Kabinenluft, Ausatemventil)
- O₂-Vorratsbeutel mit 0.5 bis 1 ltr Inhalt

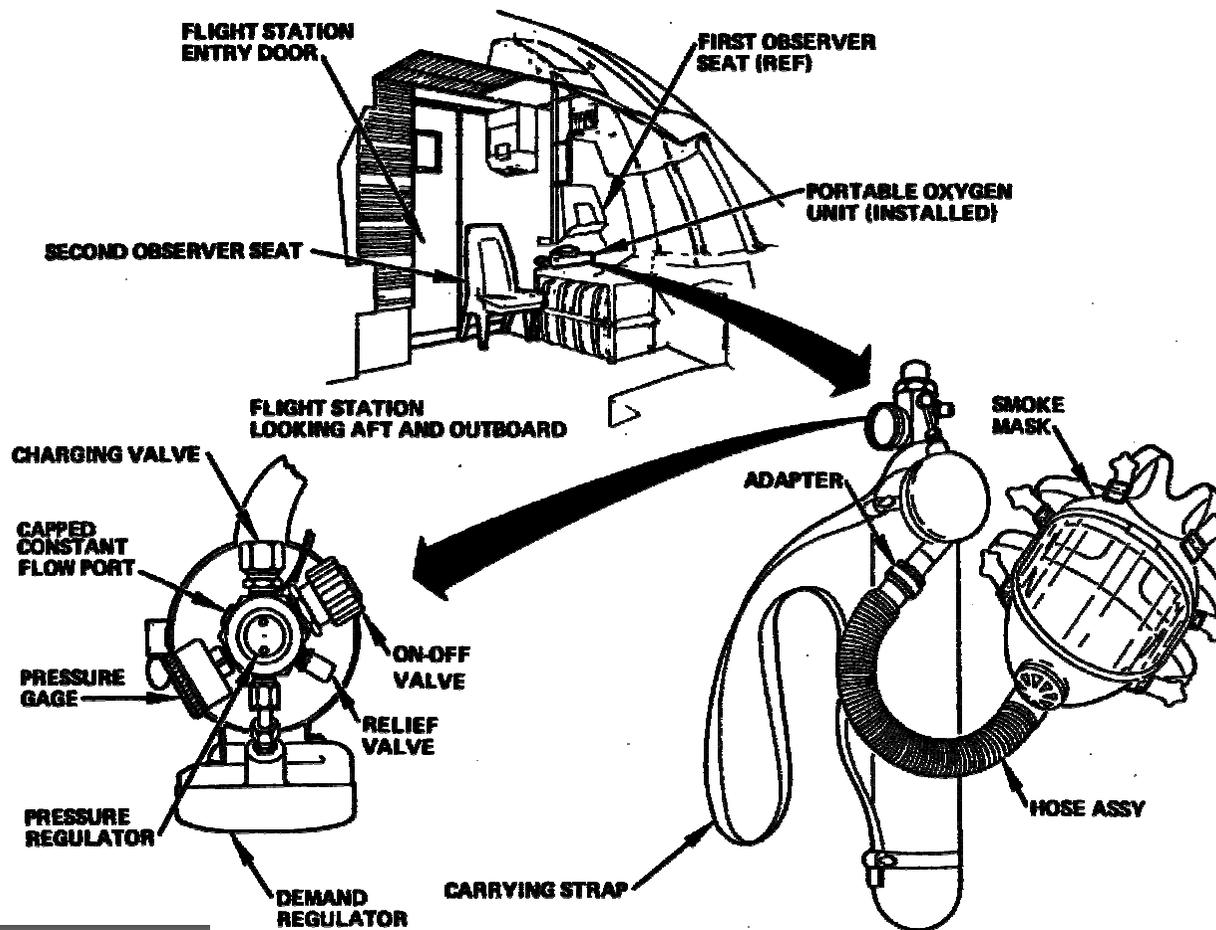
Der Beutel füllt sich laufend mit Sauerstoff (Dauerflussregelung), in dem sich der Sauerstoff sammelt, der während des Ausatmens nicht benötigt wird.

Es gibt auch Masken, bei denen die ausgeatmete Luft in den Beutel zurückfließt (*rebreather bag masks*), da ca. 80 % des eingeatmeten Sauerstoffs wieder ausgeatmet werden (*deswegen funktioniert z.B. die Mund-zu-Mund-Beatmung*). Ein solcher Beutel wird langsam und kontinuierlich mit Sauerstoff aufgefüllt.

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Tragbare Geräte



Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling

Tragbare Geräte

The diagrams illustrate three types of portable oxygen masks:

- PASSAGIER - MASKE:** A simple mask with a yellow connection point (Anschluß GELB).
- QUICK DONNING MASKE ohne Atemregler:** A mask with a red connection point (Anschluß ROT) and a microphone connector (Mikrofonstecker).
- FULL FACE MASKE mit Maskenregler:** A full-face mask with a mask regulator (Maskenregler), microphone connector (Mikrofonstecker), and a green connection point with an adapter (Anschluß GRÜN mit Adapter).

Additional diagrams show detailed views of mask components and regulators:

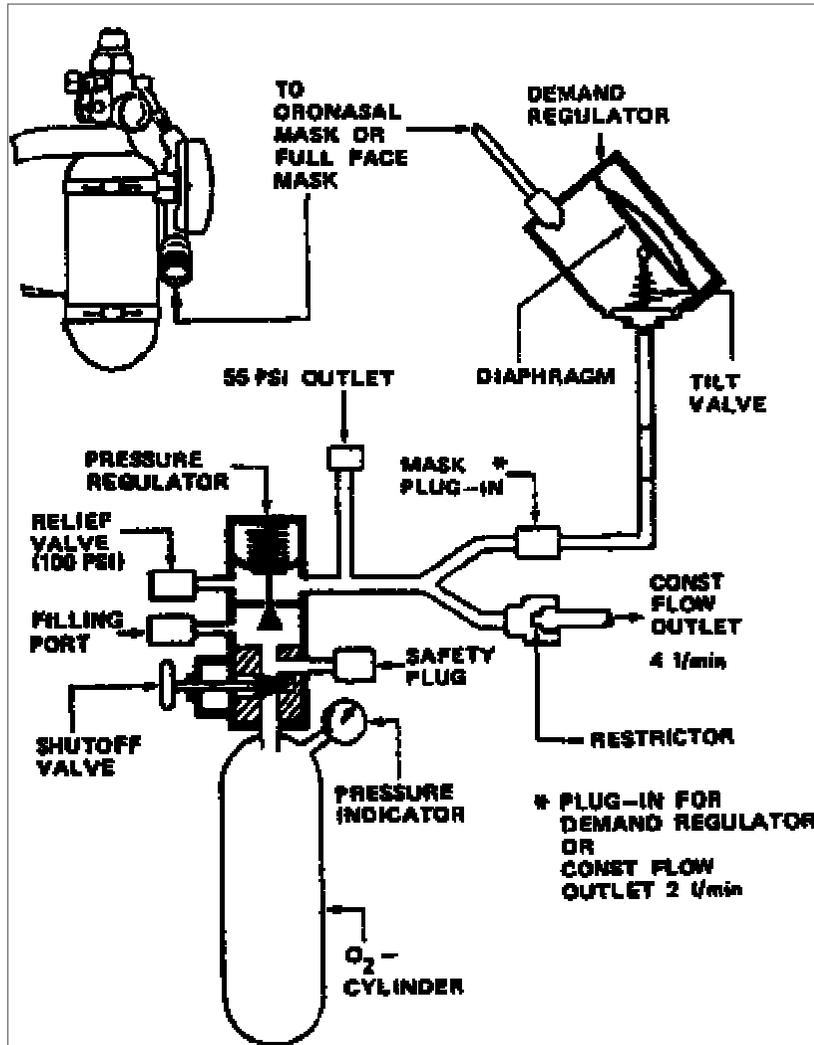
- A mask with a pressure regulator (Druckregler) showing 1850 PSI and 55 PSI, a yellow connection (Anschluß GELB), a green connection (Anschluß GRÜN), a shut-off valve (Absperrventil), a pressure gauge (Druckanzeige), and an automatic lung regulator (Lungenautom. Atemregler).
- A mask with a green connection (GRÜN), a red connection (Anschluß ROT), a shut-off valve (Absperrventil), a pressure gauge (Druckanzeige), and an automatic lung regulator (Lungenautom. Atemregler).

- In jedem Flugzeug gibt es eine Anzahl von tragbaren Sauerstoffgeräten, die sich nach der Anzahl der Passagiere richten.
- Mindestens 1 Gerät befindet sich aber im Cockpit.
- In Verkehrsflugzeugen befindet sich an jedem Flugbegleitersitzplatz ein tragbares Gerät mit Maske.
- Die tragbaren Sauerstoffbehälter haben mehrere, farbig gekennzeichnete Anschlüsse, so dass alle Maskenarten des Flugzeuges dort angeschlossen werden können.
 Vorteil:
 - die gesamte zur Verfügung stehende Sauerstoffmenge im Flugzeug wird erhöht
 - Der O₂-Bedarf der Flugbegleiter wird dadurch abgedeckt
 - Die Geräte können für Erste Hilfe und/oder für therapeutische Zwecke genutzt werden
 - Die Geräte können bei Rauchentwicklung oder bei der Feuerbekämpfung eingesetzt werden.

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



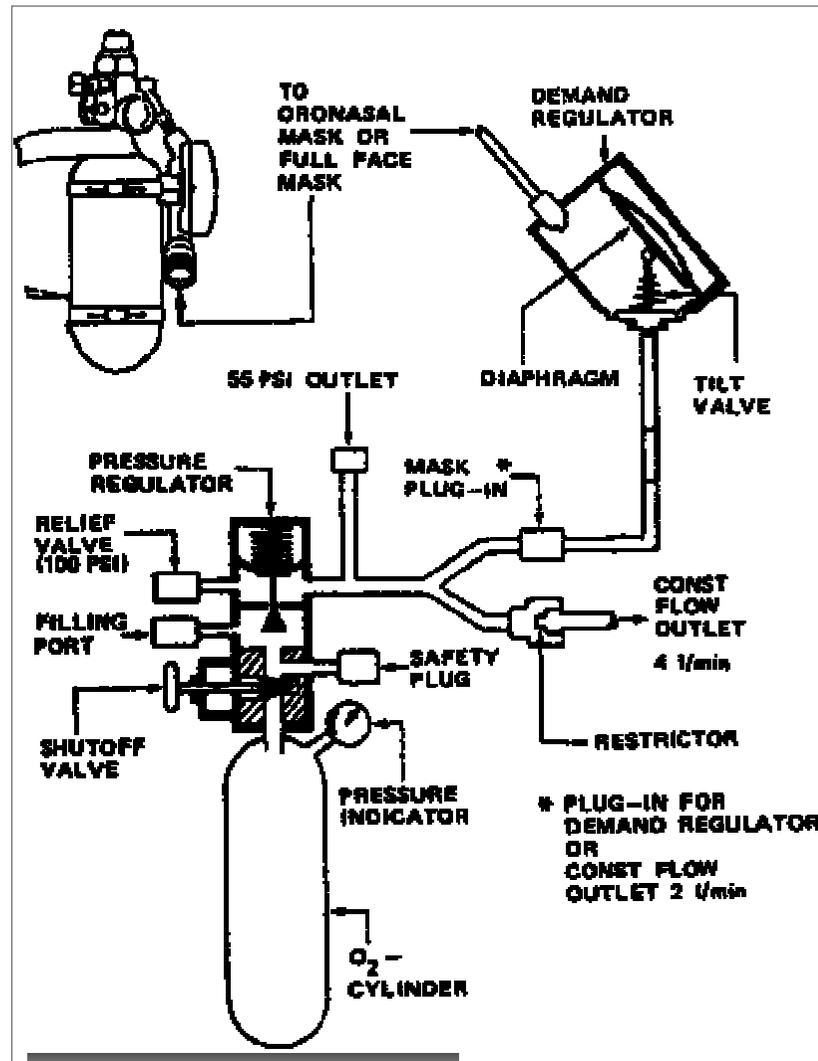
Tragbare Geräte



- Das tragbare O₂-Gerät ist eine DOT 3AA Stahlflasche mit 310 ltr Sauerstoff
- Am Kopf der Flasche befindet sich ein manuell verstellbarer Druckregler und eine Absperrvorrichtung.
- Bei Erreichen eines Drucks von 55 psi wird die Membran des Reglers soweit hoch gedrückt, dass das daran befestigte Kegelventil schließt.
- Der druckgeregelte Sauerstoff steht an folgenden Auslässen zur Verfügung:
 - 55 psi Ausgang zu einem Maskenregler
 - Konstantflussausgang für eine Passagiermaske mit einer Dosierdrossel (*restrictor*) auf 4 ltr/min
 - Konstantflussausgang (2 ltr/min) zu einem Atemregler, der an der Flasche angeschlossen werden kann, und an den dann eine Cockpit-Maske angeschlossen wird.

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling

Tragbare Geräte



Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling

- Der Atemregler (*demand regulator*) besteht im Wesentlichen aus einer großen Membran und einem angeschlossenen Kippventil (*tilt valve*).
- Beim Einatmen über die Maske wird unterhalb der Membran ein Unterdruck erzeugt und diese dadurch bewegt.
- Dabei nimmt sie das Kippventil mit, das sich so ein wenig öffnet (kippt). Sauerstoff strömt gedrosselt zur Maske.
- Im Gegensatz zu anderen Atemreglern wird hier nur reiner Sauerstoff geatmet, d.h. ein Zusatz von Kabinenluft ist nicht vorgesehen.



ENDE
Sauerstoffanlagen



ATA 36

Pneumatikanlage und Kabinendruckregelanlage

Cabin Pressurization

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Kabinendruckregelung

Vorbetrachtungen und Definitionen

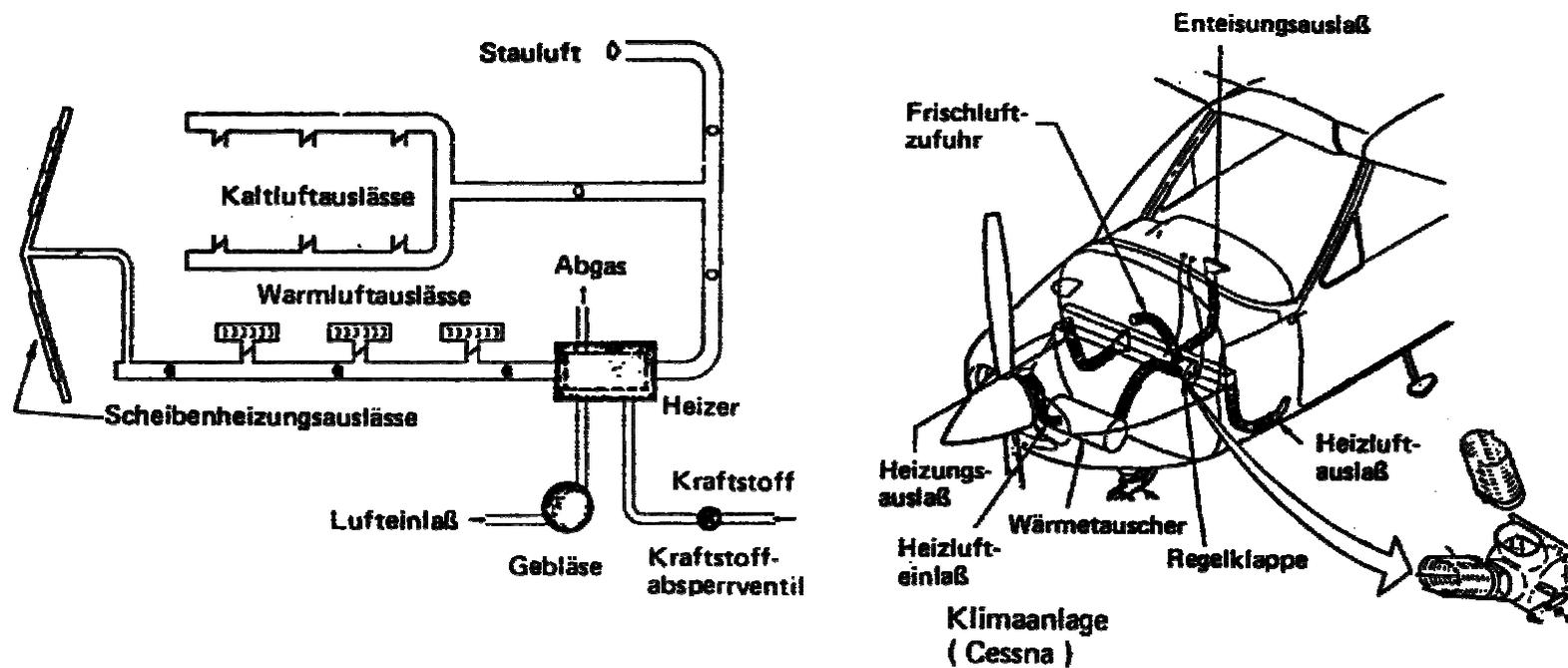
Während des Reisefluges herrscht innerhalb eines Flugzeuges höherer Druck als in der Atmosphäre

Verfahren des Druckaufbaus

- Stauluft
- mechanisch angetriebene Kabinenlader
- mechanisch getriebene Kompressoren
- pneumatisch angetriebene Turbolader
- Zapfluft von den Triebwerken

Stauluftversorgung

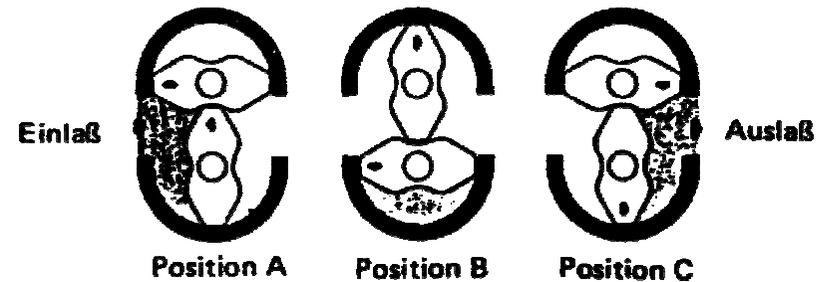
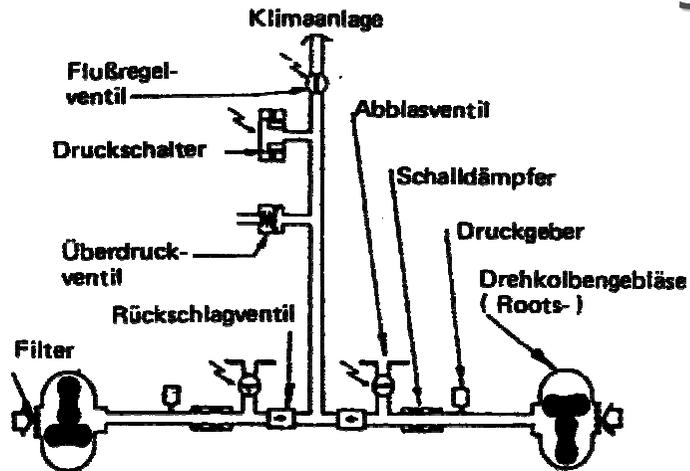
Findet man nur bei Sportflugzeugen



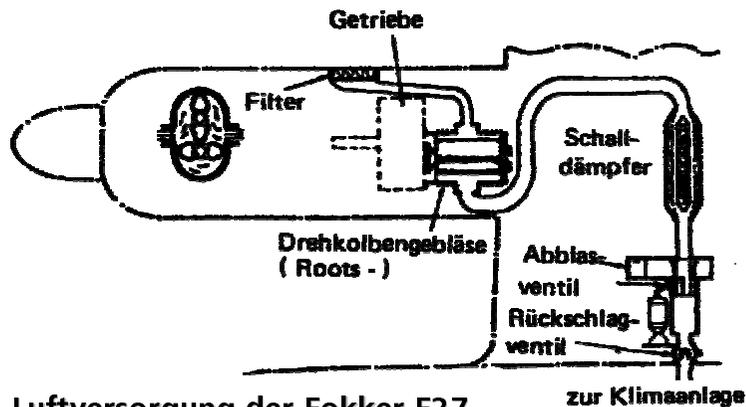
Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Mechanisch angetriebene Kabinenlader



Prinzip eines Drehkolben- oder Roots-Gebläses



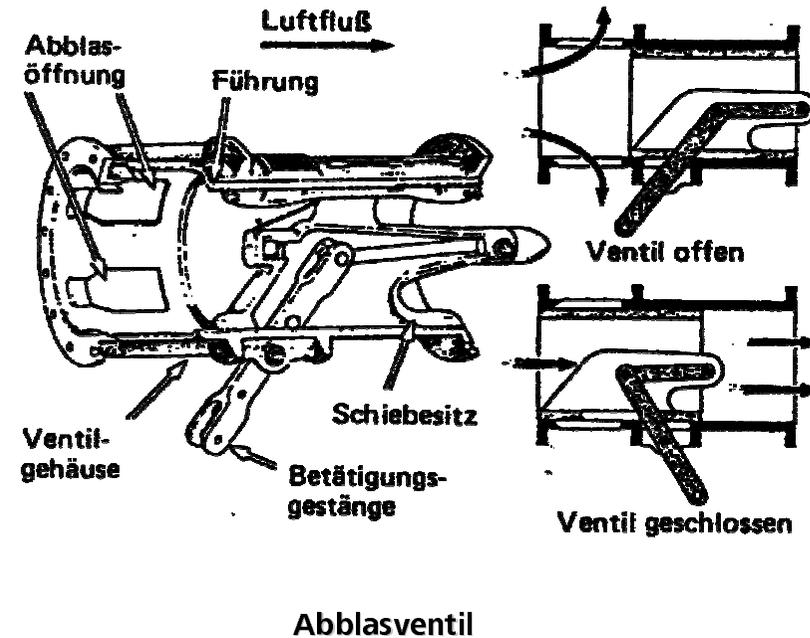
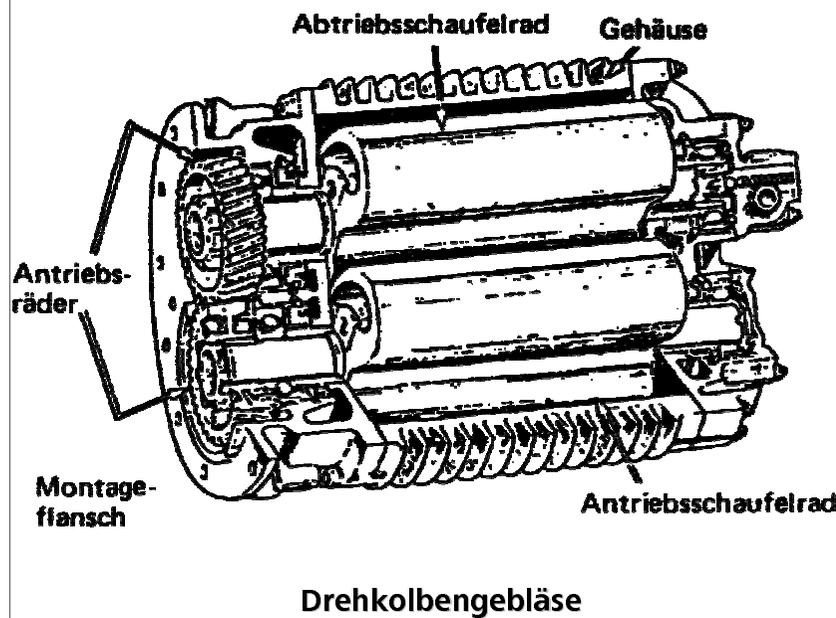
Luftversorgung der Fokker F27 über ein Drehkolbengebläse

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling

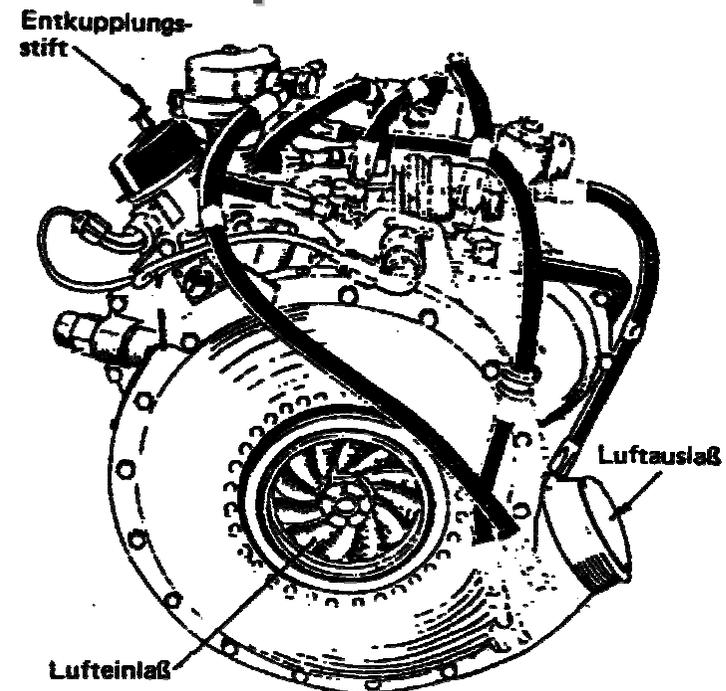
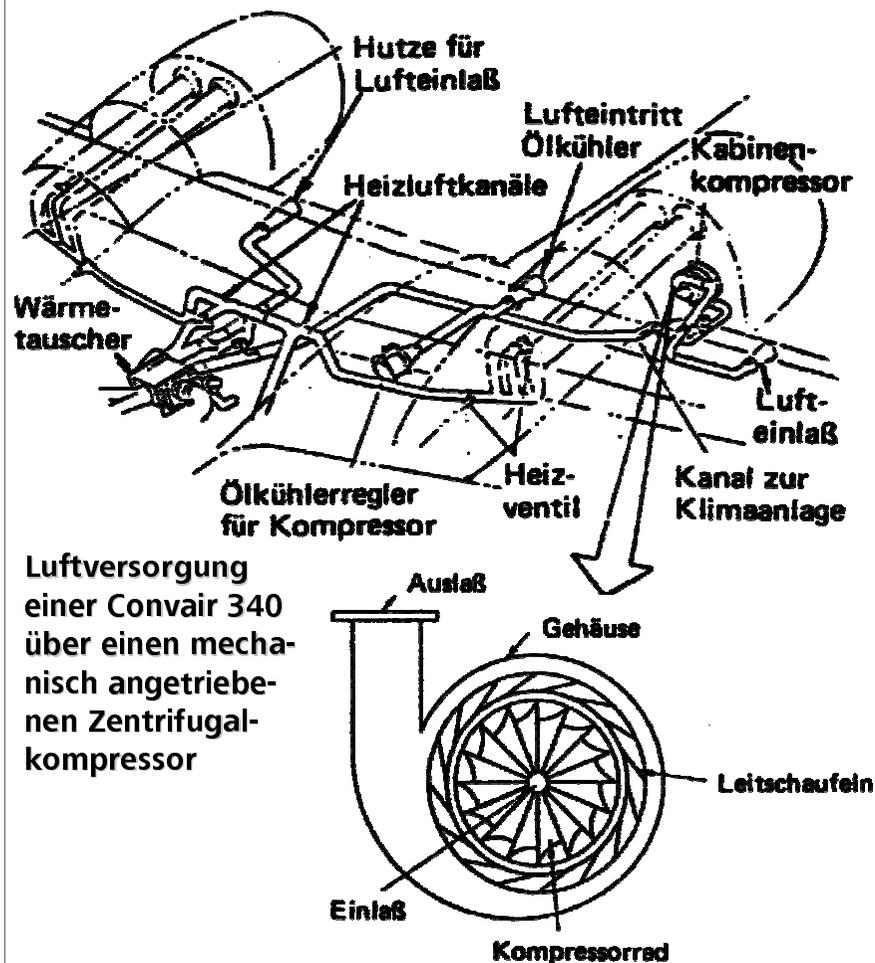
- Roots-Gebläse liefern – im Gegensatz zu anderen mechanischen Ladern – ölfreie Luft.
- Der Antrieb erfolgt über den Flugzeugmotor.
- Bei unterschiedlichen Motordrehzahlen werden auch unterschiedliche Luftmengen geliefert, so dass ein Abblasventil zur Luftmengenregelung erforderlich ist.
- Wegen der schrillen Geräusche des Roots-Gebläses ist ein Schalldämpfer erforderlich.



Mechanisch angetriebene Kabinenlader



Mechanisch angetriebene Kompressoren

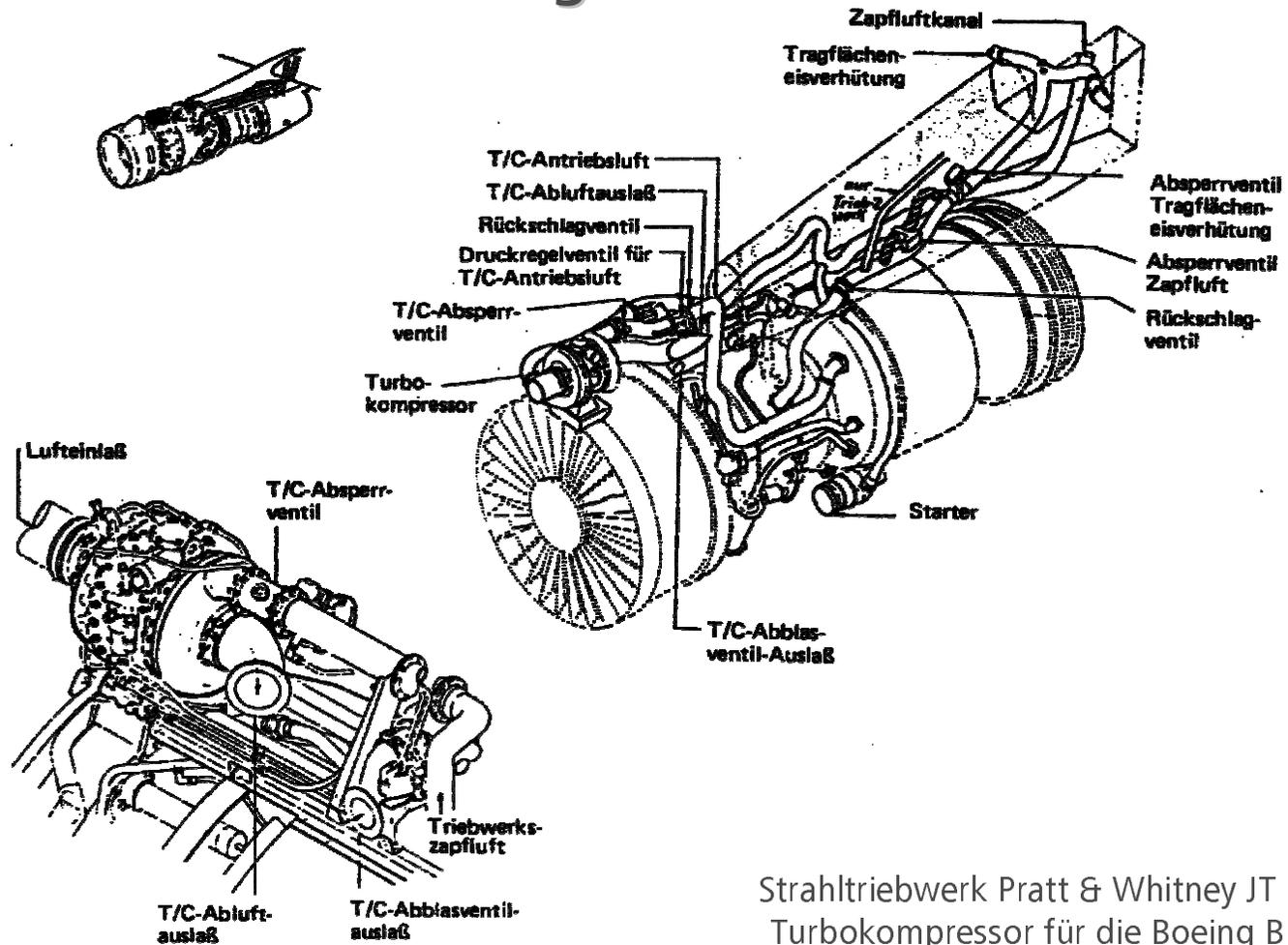


- Werden mechanisch vom Motor angetrieben.
- Über ein Getriebe kann die Drehzahl und damit die Luftmenge geregelt werden.

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Pneumatisch angetriebene Turbolader



Strahltriebwerk Pratt & Whitney JT 3 mit Turbokompressor für die Boeing B 707

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling

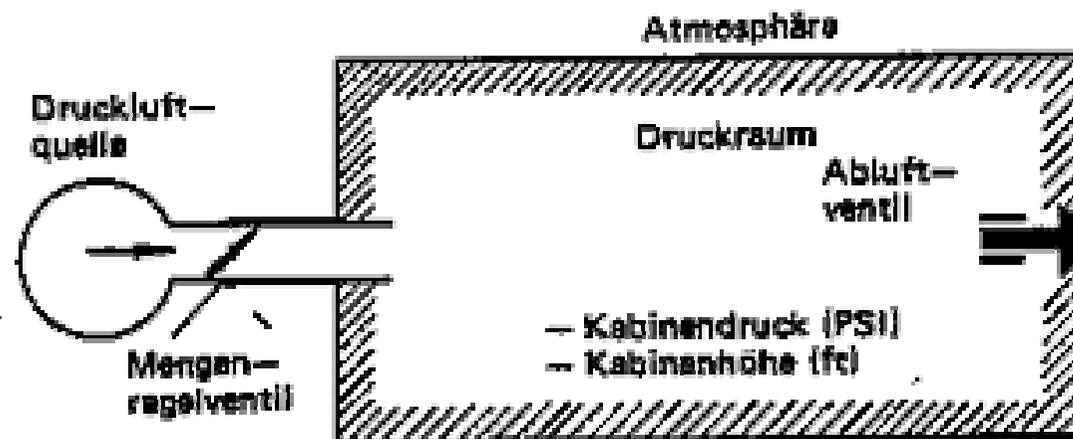


Der Kabinendruck muss geregelt werden

Man unterscheidet 2 Möglichkeiten

1. konstanter Luftauslass
mit Regelung der zugeführten Luftmenge
2. konstanter Lufteinlass
mit Regelung der abgeführten Luftmenge

Die Praxis hat gezeigt, dass die Lösung 2 günstiger ist, da sie das einfachere Regelungsverfahren – unter dem Gesichtspunkt der Lufterneuerungs-Anforderungen – ergibt.



Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Definitionen im Zusammenhang mit der Kabinendruckregelung

➤ **Kabinendruck** p_C in [psi]

absoluter Druck in der Kabine

➤ **positiver Differenzdruck** $+\Delta p$ in [psi]

Differenzdruck zwischen dem höheren Kabinendruck p_C und dem niedrigeren Atmosphärendruck p_0 : $\Delta p = (p_C - p_0) > 0$

➤ **negativer Differenzdruck** $-\Delta p$ in [psi]

Differenzdruck zwischen einem niedrigeren Kabinendruck p_C und einem höheren Atmosphärendruck p_0 : $\Delta p = (p_C - p_0) < 0$
(ergibt sich nur in Ausnahmesituationen, wie z.B. bei einem plötzlichen Sinkflug)



Definitionen im Zusammenhang mit der Kabinendruckregelung

➤ **Kabinenhöhe** H_C in [ft]

die Höhe H_0 der Standard-Atmosphäre, in der sich die Kabine hinsichtlich ihres Kabinendrucks p_C befindet.

Beispiel: * Wird mehr Luft in die Kabine geführt als sie verlässt, so steigt der absolute Kabinendruck an und die Kabinenhöhe nimmt ab.
* Wird umgekehrt mehr Luft aus der Kabine abgelassen als ihr zugeführt wird, so sinkt der absolute Kabinendruck ab und die Kabinenhöhe steigt analog dazu an.

➤ **Druckwechselgeschwindigkeit** v_Δ in [ft/min]

ist die Änderung der Kabinenhöhe mit der Zeit : $v_\Delta = \Delta H_C / \Delta t'$ bei $\Delta p_0 = \text{const.}$
Praktisch ist hiermit eine Druckänderung gemeint, die aber in Form einer Höhenänderung angegeben wird.

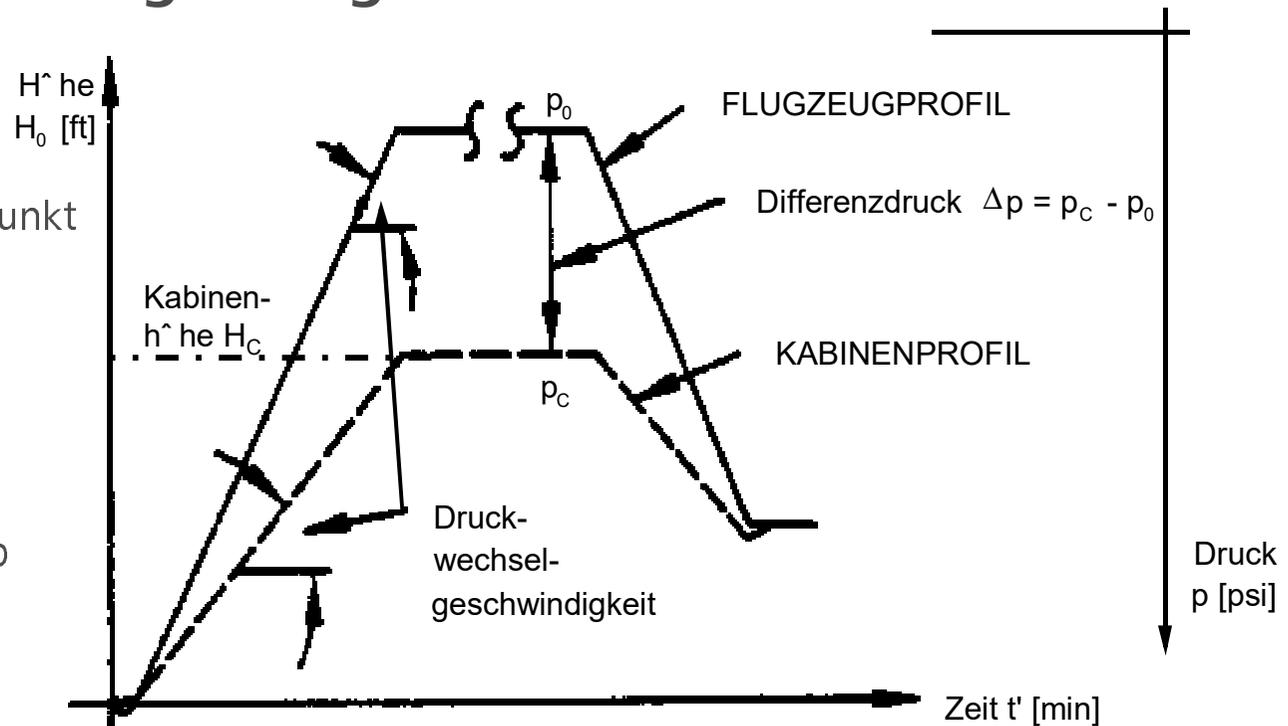


Definitionen im Zusammenhang mit der Kabinendruckregelung

➤ Kabinendruck-Regel-Diagramm

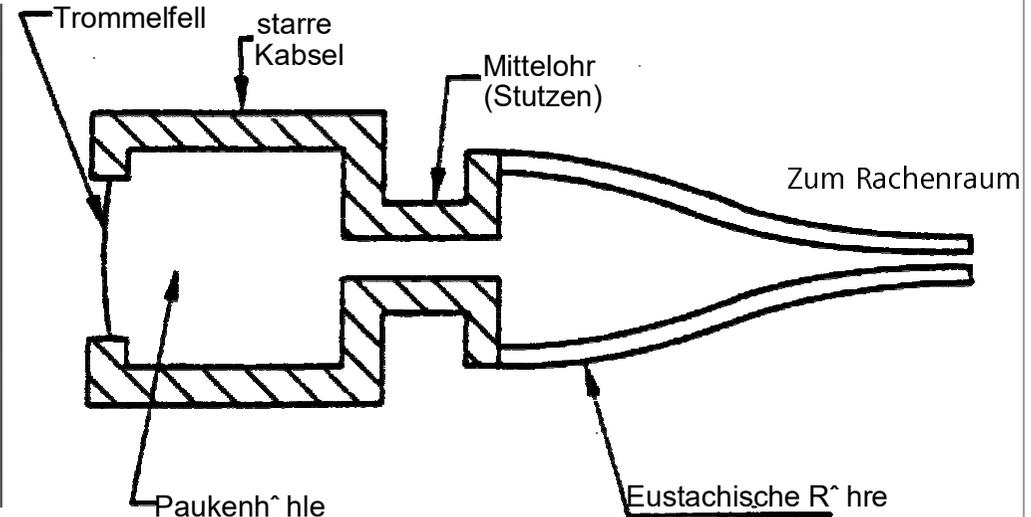
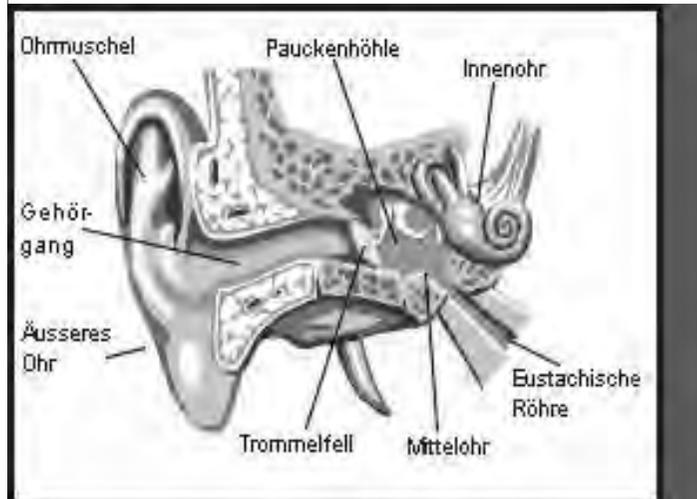
Es zeigt zu jedem Zeitpunkt des Fluges:

- die Kabinenhöhe H_C
- die Druckwechselfgeschwindigkeit v_{Δ}
- den Differenzdruck Δp



Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling

Physiologische Betrachtung zum Druckwechsel



Kabinendruck	Druckwechsel			Höhenwechsel nahe NN ft/min
	psi/min	mbar/min	mmHg/min	
steigt an (Sinkflug)	0.16	11.0	9.0	300.0
fällt ab (Steigflug)	0.26	18.0	13.0	500.0

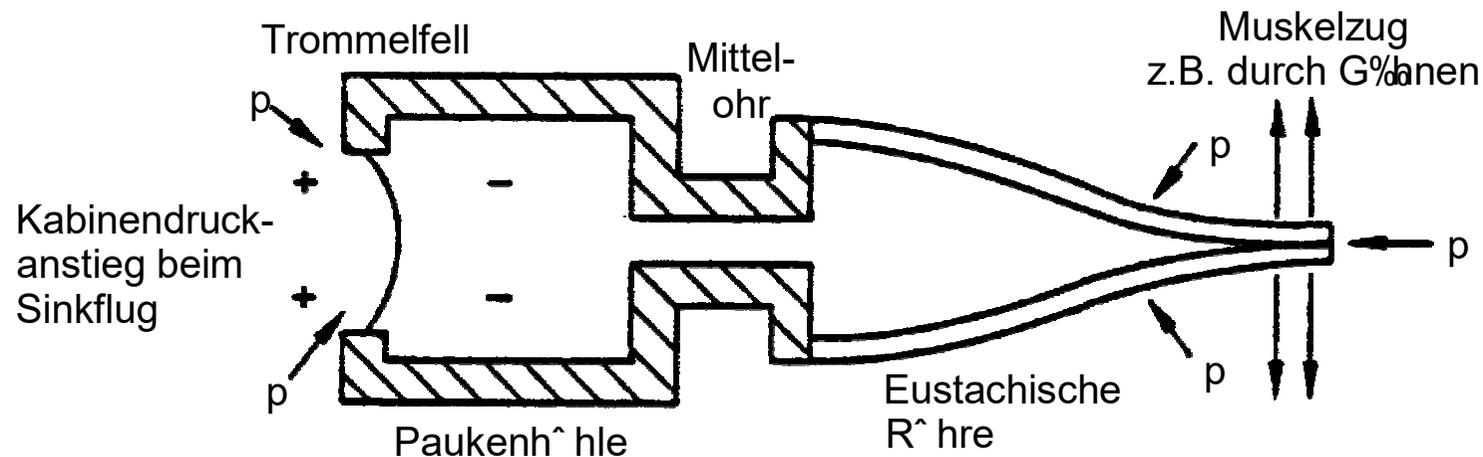
Grenzwerte für Verkehrsflugzeuge

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Physiologische Betrachtung zum Druckwechsel

Sinkflug (Kabinendruckanstieg)



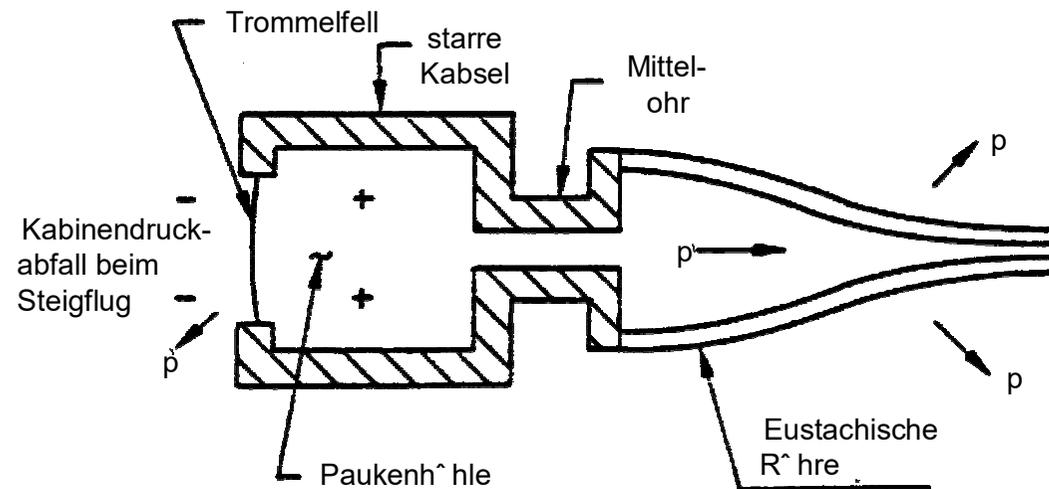
- Beim Sinkflug steigt der Druck in der Kabine an und somit auch über Mund und Nase im Rachenraum.
- Die besondere Form der Eustachischen Röhre reagiert damit zum Einschließen der Luft innerhalb der Paukenhöhle.
- Diese eingeschlossene Luft hat beim weiteren Sinken einen geringeren Druck als die Kabinenluft, wodurch sich das Trommelfell nach Innen verbiegt und beim Menschen zu Schmerzen führt.
- Durch Gähnen und/oder Schlucken kann die Eustachische Röhre geöffnet werden und ein Druckausgleich herbeigeführt werden.

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Physiologische Betrachtung zum Druckwechsel

Sinkflug (Kabinendruckanstieg)

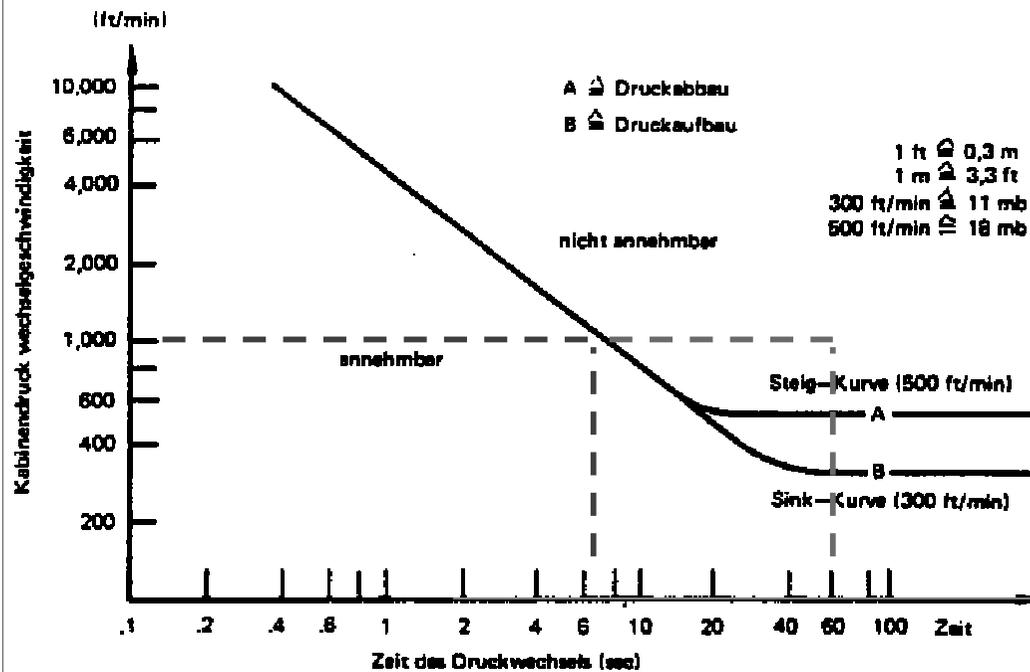


- Beim Steigflug sinkt der Druck in der Kabine an und somit auch über Mund und Nase im Rachenraum.
- Die in der Paukenhöhle eingeschlossene Luft hat dadurch praktisch stets einen Überdruck gegenüber der Umgebung in der Kabine und kann so leicht in den Rachenraum entweichen.
- Erfolgt der Druckabfall in der Kabine schneller als das Entweichen der Luft aus der Paukenhöhle, so biegt sich das Trommelfell nach außen durch und verursacht dadurch Schmerzen.
- Durch Gähnen und/oder Schlucken kann die Eustachische Röhre geöffnet werden und ein Druckausgleich unterstützt werden.

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Physiologische Betrachtung zum Druckwechsel



Die Druckregelanlagen moderner Verkehrsflugzeuge begrenzen in der Regel die Druckwechselraten automatisch auf die hier angegebenen Werte.

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling

Annehmbarer Bereich

Druckwechsel haben kaum Einfluss auf den menschlichen Organismus.

Wesentlicher Parameter ist die Zeitdauer des Druckwechsels, so kann z.B. ein Druckwechsel von 1000 ft/s über 6 sec problemlos ertragen werden, während derselbe Druckwechsel über 60 sec erhebliche Schmerzempfindungen herbeiführt.

Da sich Steig- und Sinkphasen von Flugzeugen oft über einige Minuten hinziehen, gibt es im rechten Teil des Diagramms zwei Kurvenäste:

- Steigflugkurve – Druckabbau, hinnehmbar bis zu 500 ft/min (nahe NN)
- Sinkflugkurve – Druckanstieg, hinnehmbar bis nur 300 ft/min, da hierauf das menschliche Ohr empfindlicher reagiert



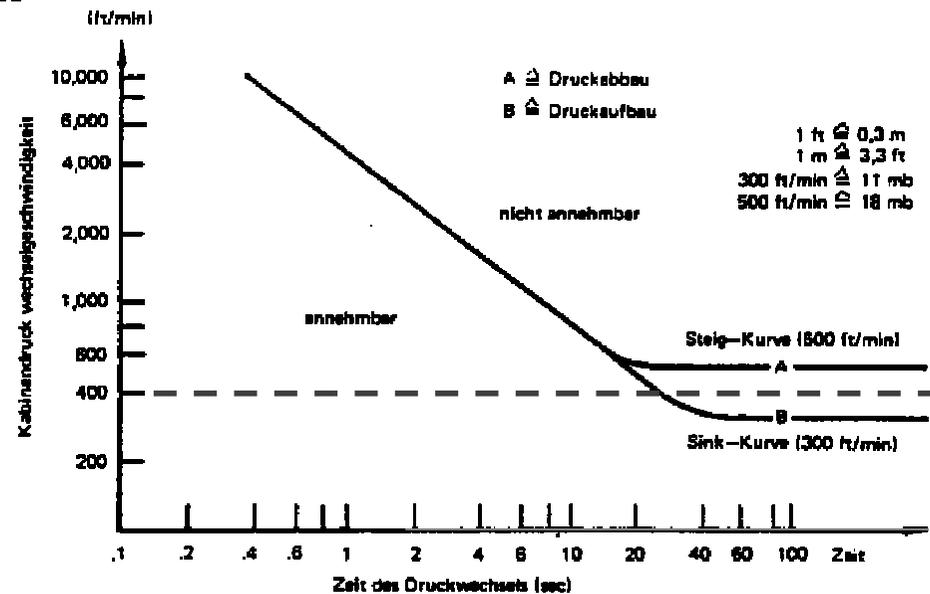
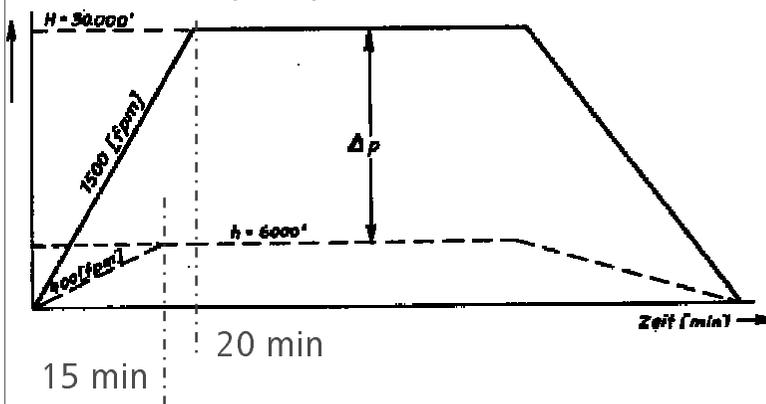
Rechenbeispiel

Bei einer für das Flugzeug angenommenen durchschnittlichen Steiggeschwindigkeit von 1500 fpm wird die Reisehöhe von $H = 30\,000$ ft nach

$$t = \frac{30\,000 \text{ ft}}{1500 \text{ ft/min}} = 20 \text{ min erreicht.}$$

Für die Kabinenhöhe seien lediglich $h = 6000$ ft als Endzustand vorgesehen. Die Druckabnahme, also die Zunahme der Kabinenhöhe möge 400 fpm betragen. Dann wird diese Veränderung der Kabinenhöhe von 0 ft auf 6000 ft in

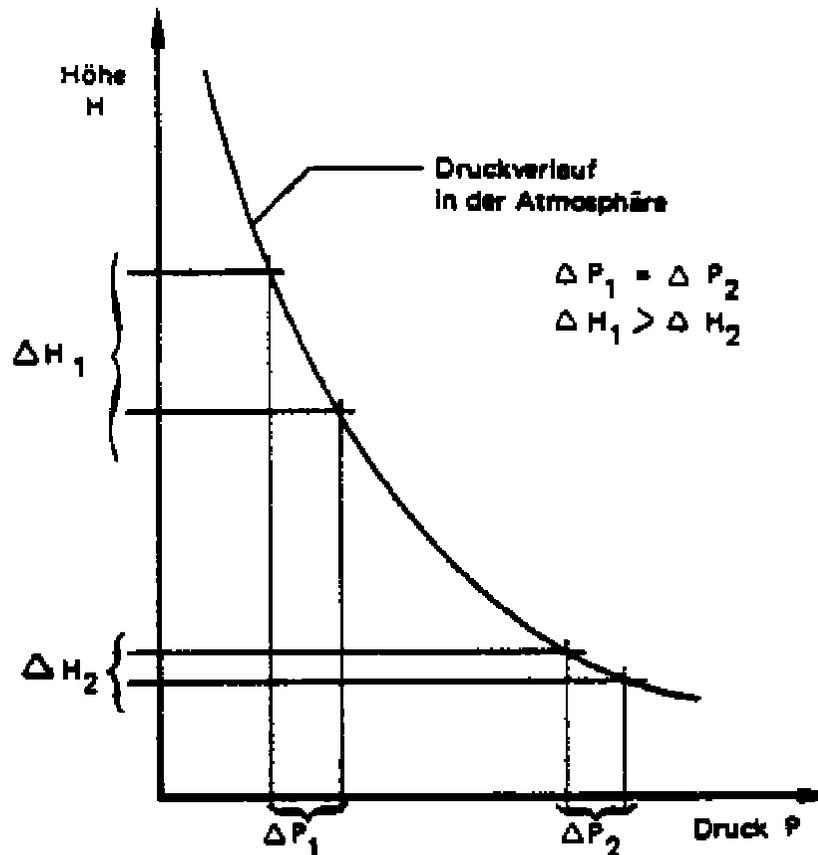
$$t = \frac{6000 \text{ ft}}{400 \text{ ft/min}} = 15 \text{ min erfolgen.}$$



Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Druckwechsel in größeren Flughöhen



Für die Druckwechselgeschwindigkeit v_{Δ} gilt:

$$v_{\Delta} = \Delta H_c / \Delta t' \text{ bei } \Delta p_0 = \text{const.}$$

Die atmosphärische Druckabnahme Δp_0 mit der Höhe H_0 erfolgt aber nicht linear.

Mit steigender Höhe H_0 bedeuten gleiche Δp_0 zunehmende Höhenänderungen ΔH_0

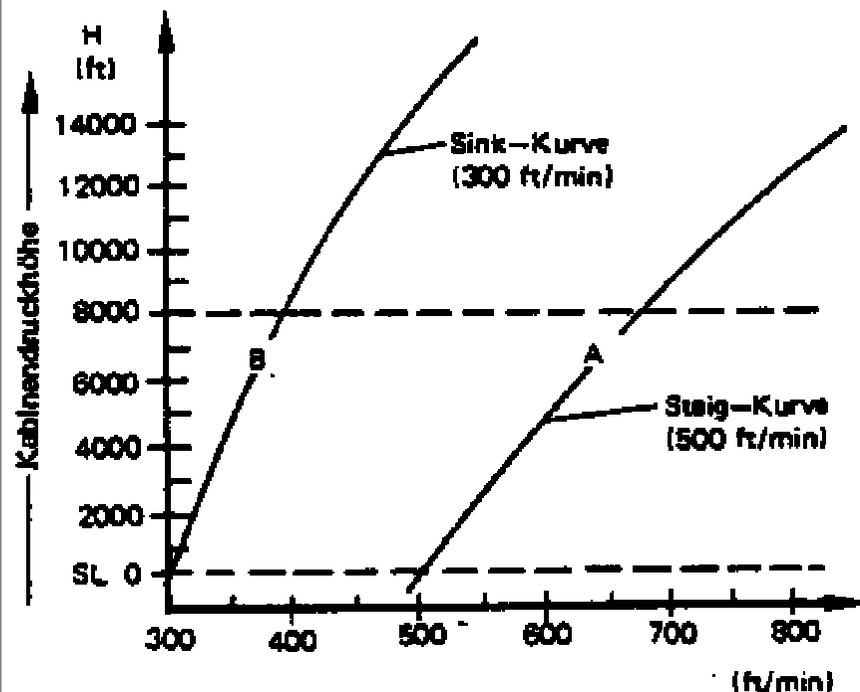
Wenn der Druckwechsel Δp_0 also konstant bleiben soll, so wird die Druckwechselgeschwindigkeit v_{Δ} mit der Kabinendruckhöhe H_c größer werden.

Die bisher genannten Grenzwerte von 300 ft/min und 500 ft/min gelten deswegen nur im Bereich der Meereshöhe (NN, *sea level*).

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Druckwechsel in größeren Flughöhen



Da die beiden Grenzwerte:

- 300 ft/min (sinken)
- 500 ft/min (steigen)

grundsätzlich auf „sea level“ bezogen sind, ergeben sich bei gleich bleibenden Druckwechseln Δp in unterschiedlichen Kabinendruckhöhen auch jeweils unterschiedlich zulässige Steig- oder Sinkraten.

Praktisch bedeutet dies, dass

in Meereshöhe eine Schmerzempfindung bei 300 bzw. 500 ft/min

beginnt, wogegen diese

bei einer Kabinendruckhöhe von 8000 ft erst bei 400 bzw. 650 ft/min

auftritt.



Vorschriften

JAR Part 25 - Verkehrsflugzeuge

Kabinendruckhöhe

- 8 000 ft – ist die maximal einstellbare Höhe
- 10 000 ft – ab hier muss eine Warnung ausgegeben werden
- 15 000 ft – die maximal zulässige Höhe beim Versagen der Regelung

Kabinendifferenzdruck

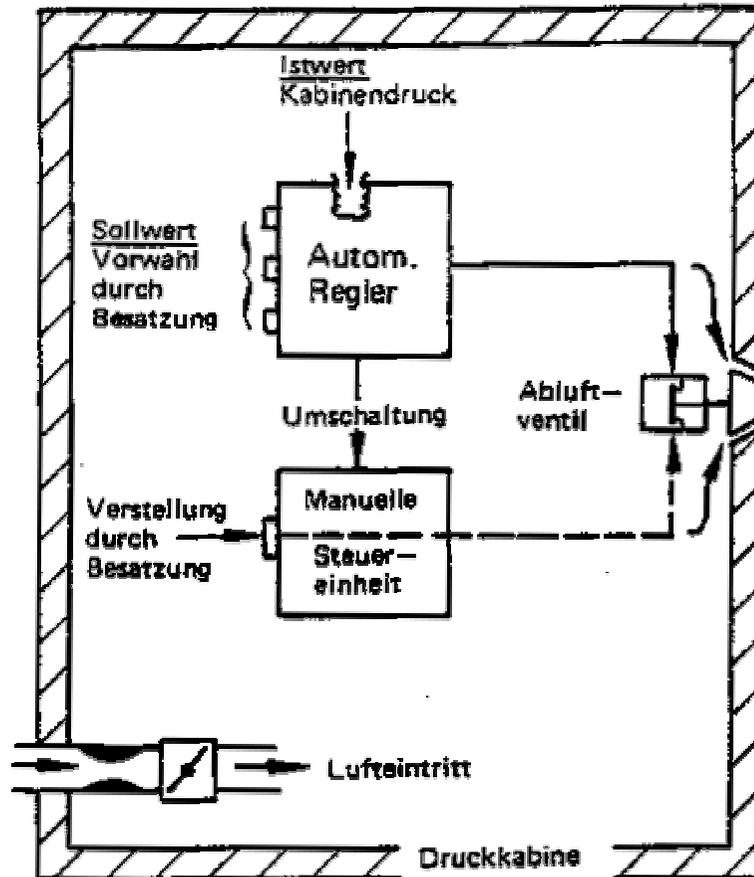
- 2 Sicherheitsventile für positiven Differenzdruck
- 1 Sicherheitsventil für negativen Differenzdruck
- 1 automatische und 1 manuelle Regeleinrichtung

Anzeigegeräte für

- Differenzdruck
- Kabinendruckhöhe
- Kabinendruckwechselgeschwindigkeit



Prinzip einer Druckregelanlage



Istwert = Kabinendruck
Sollwert = wird von der Besatzung vorgegeben

Arbeitet der automatische Regler fehlerhaft, so wird automatisch oder von Hand auf einen zweiten automatischen Regler umgeschaltet.

Fallen alle automatischen Regler aus, so wird auf eine manuelle Steuereinheit umgeschaltet.

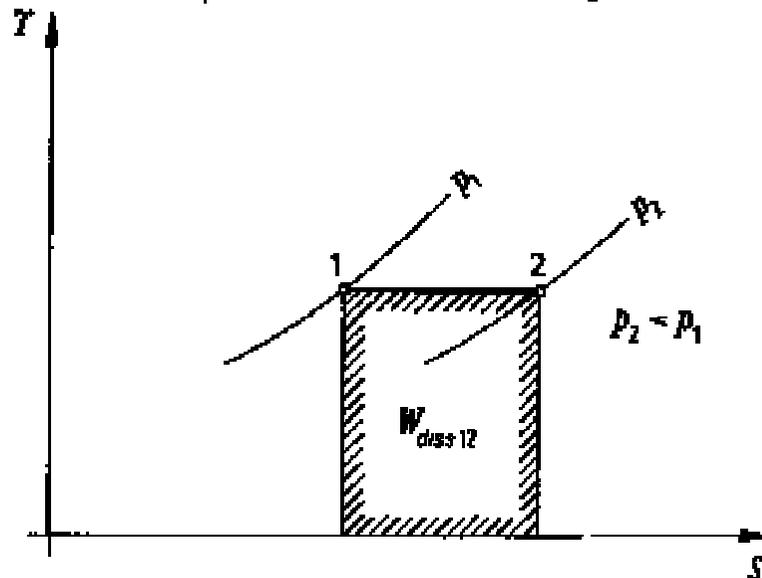
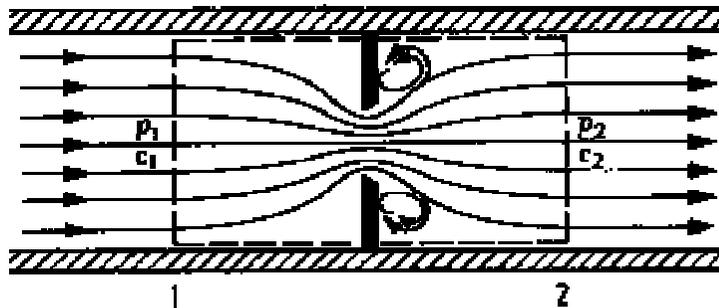
Bei diesem Handbetrieb muss die Besatzung den Kabinendruck bzw. die Druckwechselrate ständig nachregulieren.

Bei positiver Druckdifferenz (Kabinendruck liegt über dem Umgebungsdruck) beginnt das Abluftventil zu regeln, d.h. es geht in Drosselstellung.

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Zum Prinzip der Luftströmung durch eine Drossel



Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling

Beim Drosseln eines (idealen) Gases
 (adiabate Drosselung) :

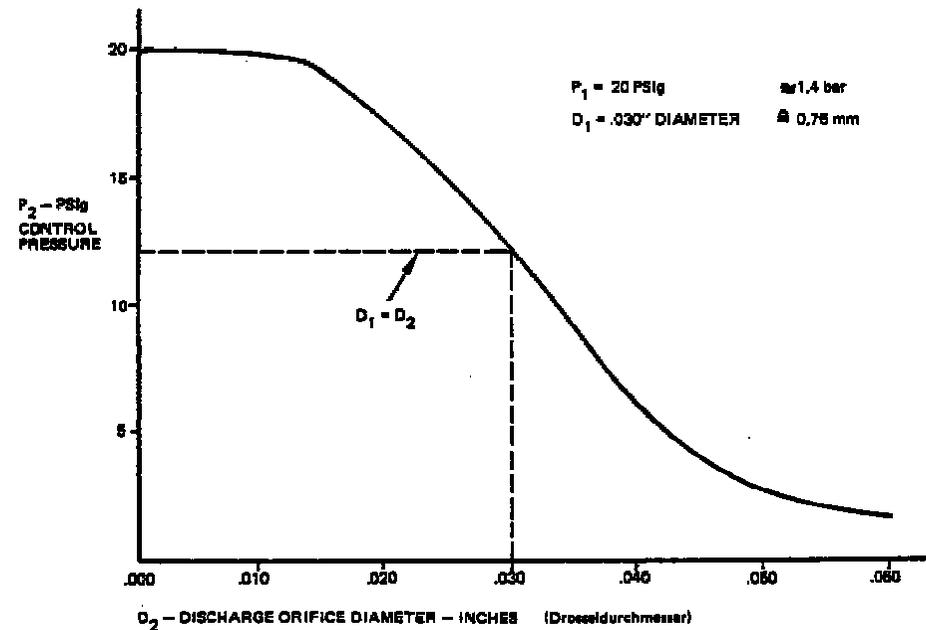
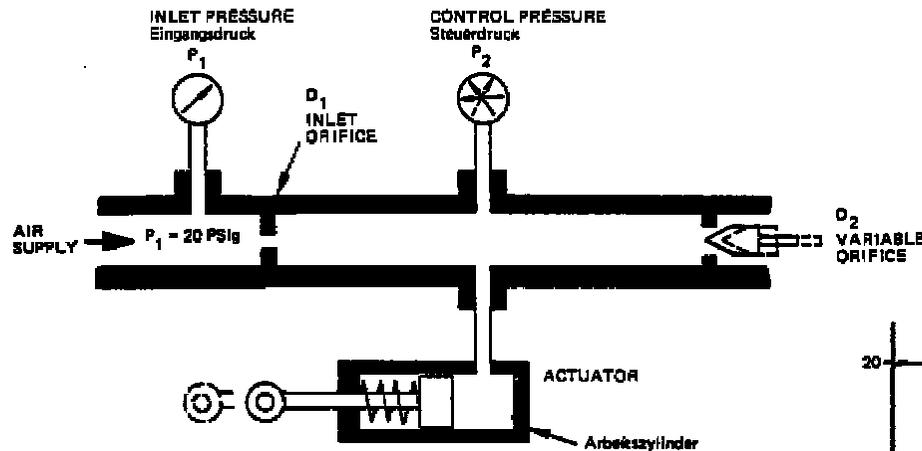
- fällt der Druck über die Drossel ab: $p_2 < p_1$
- bleibt die Temperatur konstant: $T_2 = T_1$
- bleibt die Geschwindigkeit konstant: $c_2 = c_1$

Beim realen Gas fällt beim Drosseln die Temperatur ab, was als Joule-Thomson-Effekt bezeichnet wird.

Bei sehr hohen Drücken und bei hohen Temperaturen kann durch das Drosseln eines realen Gases auch eine Temperaturerhöhung beobachtet werden.

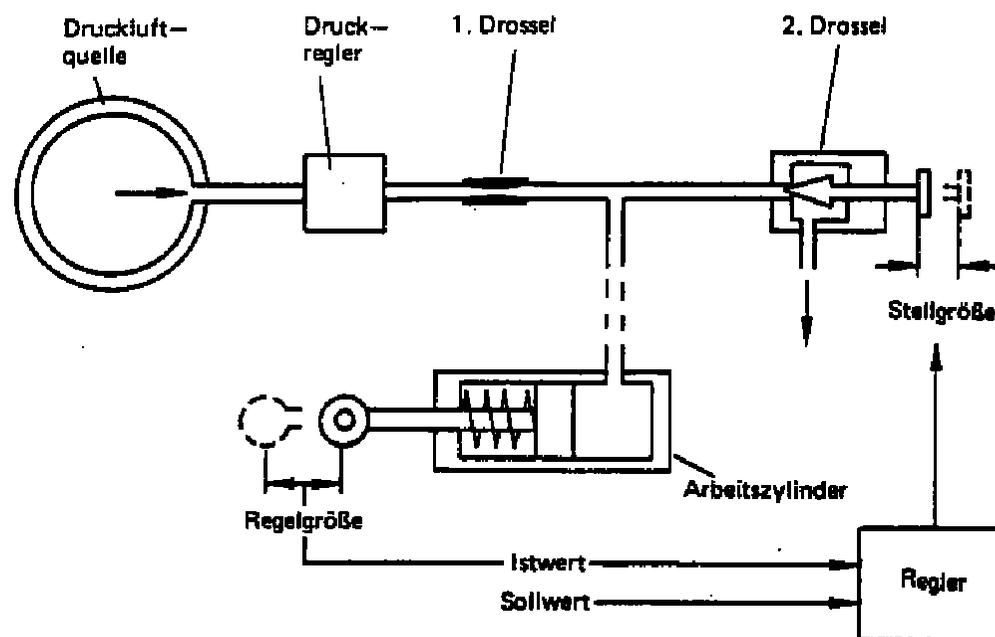


Zum Prinzip einer pneumatischen Regelung



Eine Druckluftquelle versorgt nacheinander 2 Drosseln, wobei mindestens die 2. Drossel verstellbar sein muss. Zwischen den Drosseln erfolgt die Abzapfung der Steuerluft für das zu verstellende Bauteil, das z.B. ein Arbeitszylinder, ein Ventil oder ähnliches sein kann.

Zum Prinzip einer pneumatischen Regelung



Über eine Druckluftquelle und einen Druckregler strömt Luft konstanten Drucks zu einer 1. Drossel.

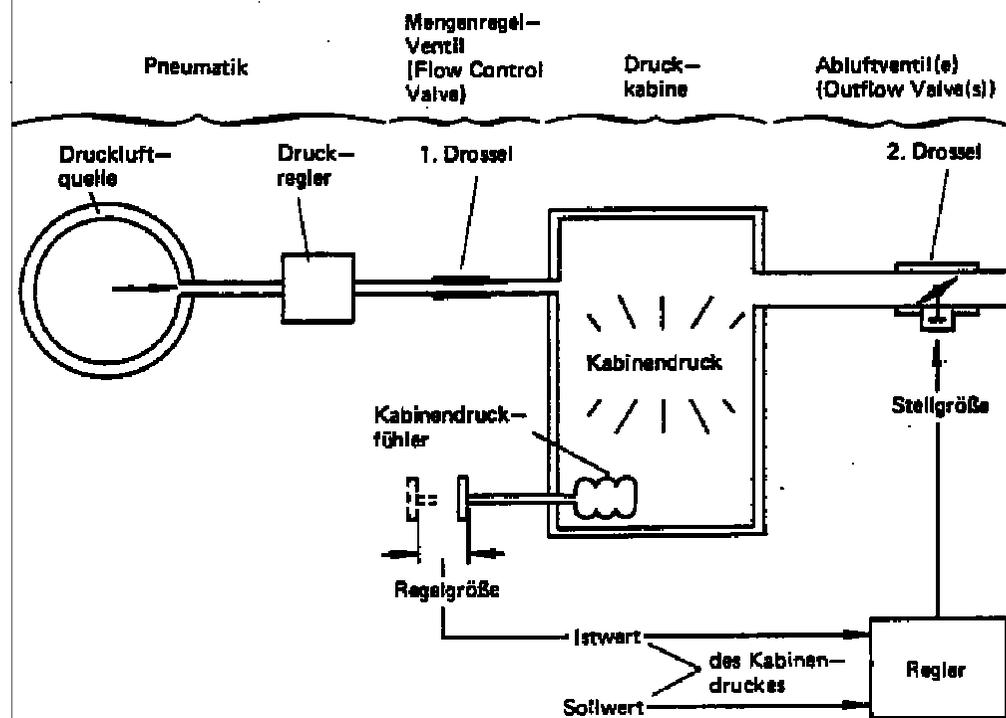
Die Stellung der 2. Drossel bestimmt den Druck zwischen den Drosseln.

- Druck sinkt, wenn über die 2. Drossel mehr Luft strömt als über die erste.
- Druck steigt, wenn über die 2. Drossel weniger Luft strömt als über die erste.

Die Druckänderungen bewegen einen Kolben, der mit einer Rückstellfeder ausgestattet sein muss.

Die Verstellung (Stellgröße) der 2. Drossel erfolgt über einen Regler, der die Position des Kolbens (Regelgröße) mit einem, von Hand vorgegebenen Sollwert vergleicht.

Zum Prinzip einer Kabinendruckregelung



Gegenüber der bisherigen Darstellung wird nun nur der Kolben des Arbeitszylinders durch die Druckkabine des Flugzeuges ersetzt.

- Druckluftquelle = Pneumatikanlage des Flugzeuges
- 1. Drossel = Mengenregelventil
- Arbeitszylinder = Druckkabine mit Druckfühler
- 2. Drossel = Abluftventil aus der Kabine

Die Verstellung des Abluftventils (weiter auf oder weiter zu) bewirkt eine Veränderung des Kabinendruckes bzw. der Kabinenhöhe)



Die Grundkomponenten zum Überleben und zum Wohlfühlen

Die Pneumatikanlage

dient der Druckluftherzeugung für

- Druckkabine und Klimaanlage
- Triebwerksstart
- Eisverhütung und Enteisung
- Tankdruckbeaufschlagung
- Hydraulik und Frischwasser

Luftlieferanten sind:

- Stauluft (Kleinflugzeuge ohne Druckkabine wie z.B. Cessna, Piper, usw.)
- Kabinenlader (Rootsgebläse und Turbokompressoren bei kleineren Business-Jets, sog. Biz-Jets)
- Zapfluft von Triebwerken oder APU (bei allen modernen Strahlflugzeugen nach Boeing B707)



Die Grundkomponenten zum Überleben und zum Wohlfühlen

Die Druckregelanlage

- soll unabhängig von der Flughöhe bodenähnlichen Druck in der Kabine bereitstellen.
- Dazu sind im Rumpf mindestens 2 geregelte Abluftventile angeordnet.
- Innerhalb von 5 Minuten kann die gesamte Luftmenge einer Druckkabine einmal ausgetauscht werden.

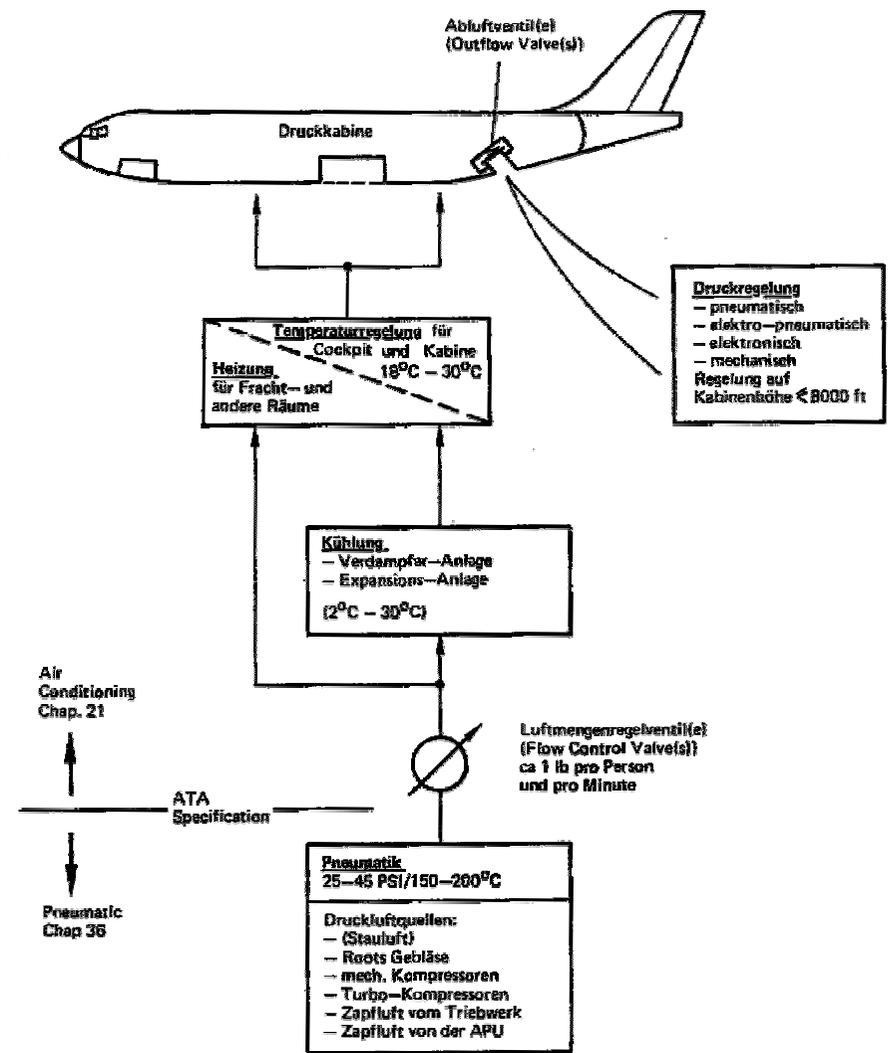
Die Klimaanlage

- dient dem Wohlfühlen von Crew und Passagieren.
- Dazu wird von der Pneumatikanlage gelieferte Warmluft auf Kabinentemperatur gebracht.
- Klimapacks kühlen die Luft auf 2° bis 30°C
- Temperaturregelung sorgt für eine individuelle Kabinentemperatur
- Heizungen können einzelne Räume separat erwärmen
- Eine Ventilation verteilt die Luft in der Kabine, in einzelne Räumen (Toiletten) und in spezielle Bauteile (Elektrogeräte)

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling

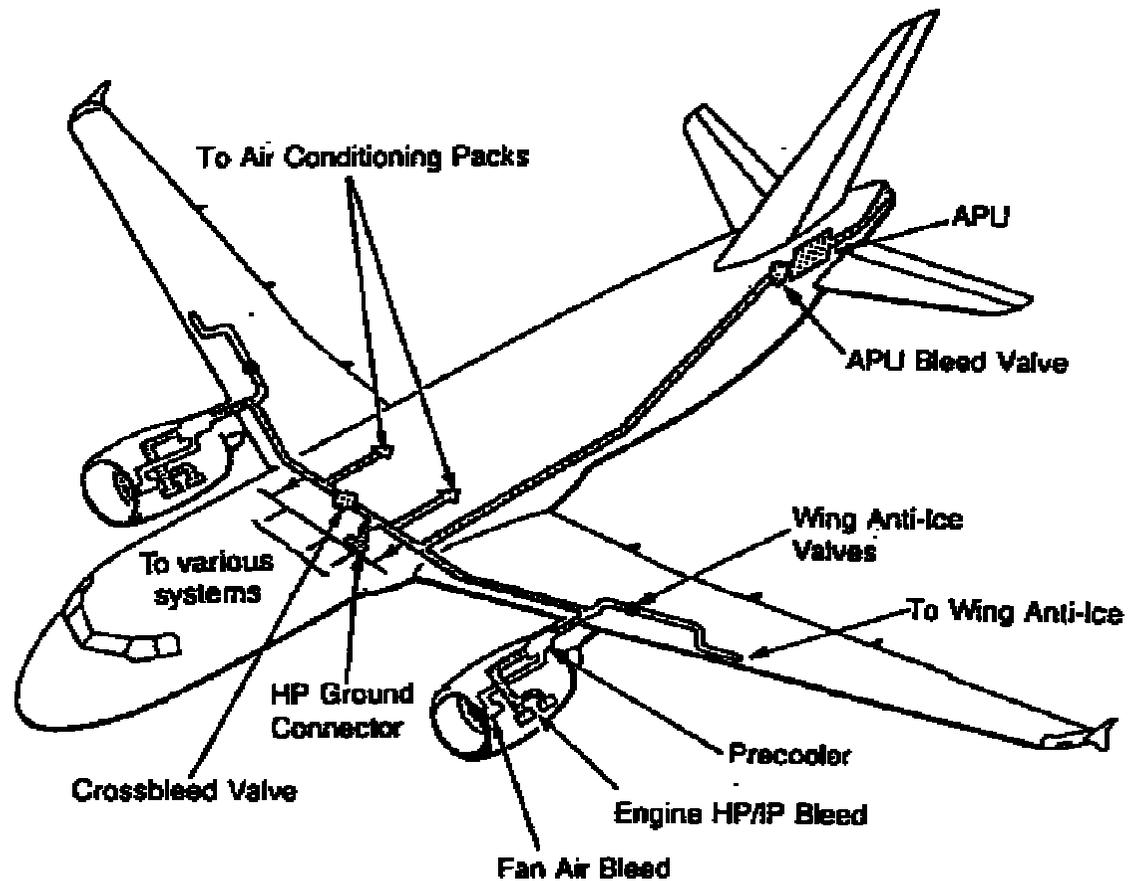


Vereinfachtes Blockdiagramm der Kombination Pneumatik-, Druck- und Klimaanlage



Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling

Prinzipskizze zum Pneumatiksystem des Airbus A 320



Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Möglichkeiten der Bereitstellung und Aufbereitung von Luft in Abhängigkeit der Flugzeuggröße

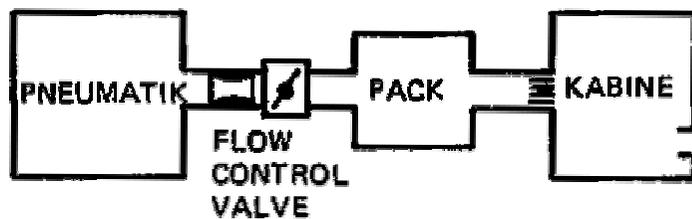
Flugzeuge	Druckluftversorgung (Pneumatik)			Kühlung	Heizung	
	Quellen	Druck	Temp			
ohne Druckkabine	—	—	—	<ul style="list-style-type: none"> – meistens mittels Stauluft während des Fluges, – mit Unterstützung eines Gebläses am Boden 	mittels <ul style="list-style-type: none"> – elektrischer Heizer – Verbrennungsheizer – Abgas – Wärmetauscher 	
mit Druckkabine	kleine	<ul style="list-style-type: none"> – Rootsgebläse – mech. Kompressor – Zapfluft 	20–30 PSI _g	max. 100°C	meist mittels Verdampferkühlanlage (Kühlschrankprinzip)	<ul style="list-style-type: none"> – meist mittels Pneumatik-Luft – zusätzlich elektrischer Heizer
	mittlere	<ul style="list-style-type: none"> – Turbokompressor – Zapfluft 	30–45 PSI _g	150–200 °C (geregelt)	<ul style="list-style-type: none"> – Verdampferkühlanlage oder – Expansionskühlanlage (Kühlturbine) 	<ul style="list-style-type: none"> – mit Pneumatik – Luft oder – Mischen von Kaltluft und Heißluft (Temperaturregelung)
	Großraum	Zapfluft	45 PSI _g geregelt	≈ 180°C (geregelt)	Expansionskühlanlage aufgrund des großen Kabinenvolumens Kühlen und Heizen mit einer automatischen (Zonen-) Temperaturregelanlage.	<ul style="list-style-type: none"> – in einigen (Fracht-) Räumen mittels Zapfluft und/oder elektrischer Heizer.

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



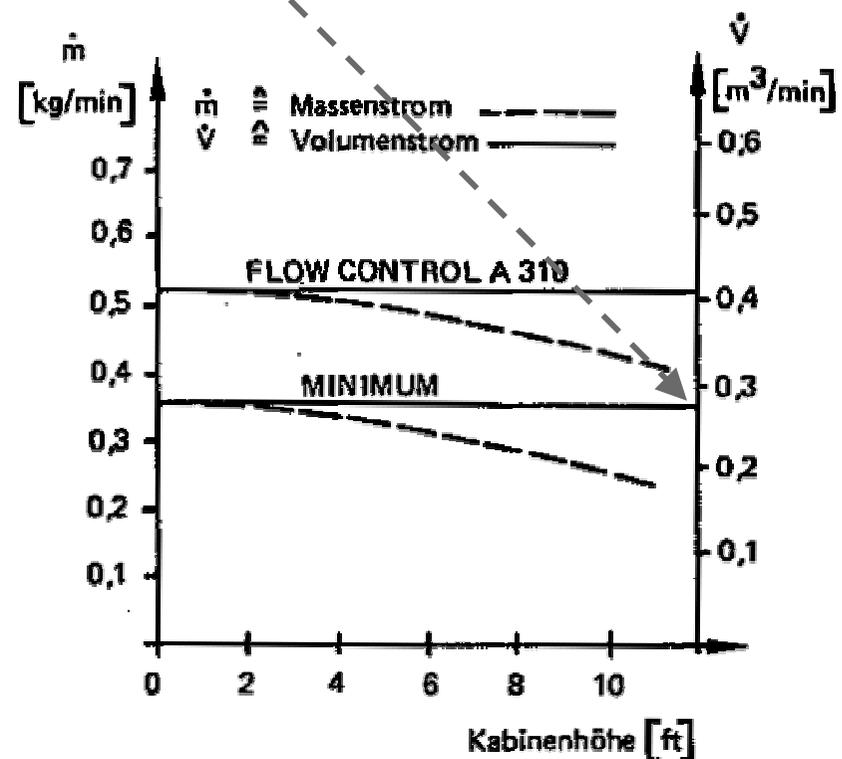
Belüftung und Luftmengenregelventil (flow control valve)

- Nach JAR/FAR 25 müssen pro Person **mindestens 0.283 m³/min Frischluft** zur Verfügung gestellt werden.
- Praktische alle Verkehrsflugzeuge stellen deutlich mehr Frischluft zur Verfügung.



- Der Volumenstrom soll möglichst konstant sein.
- Zu hohe Volumenströme erzeugen zu hohe Luftgeschwindigkeiten in der Kabine und damit Zugscheinungen.
- Mit der Kabinenhöhe nimmt die Dichte ρ der Kabinenluft ab und damit der Massenstrom, wobei der aber Volumenstrom konstant bleibt.

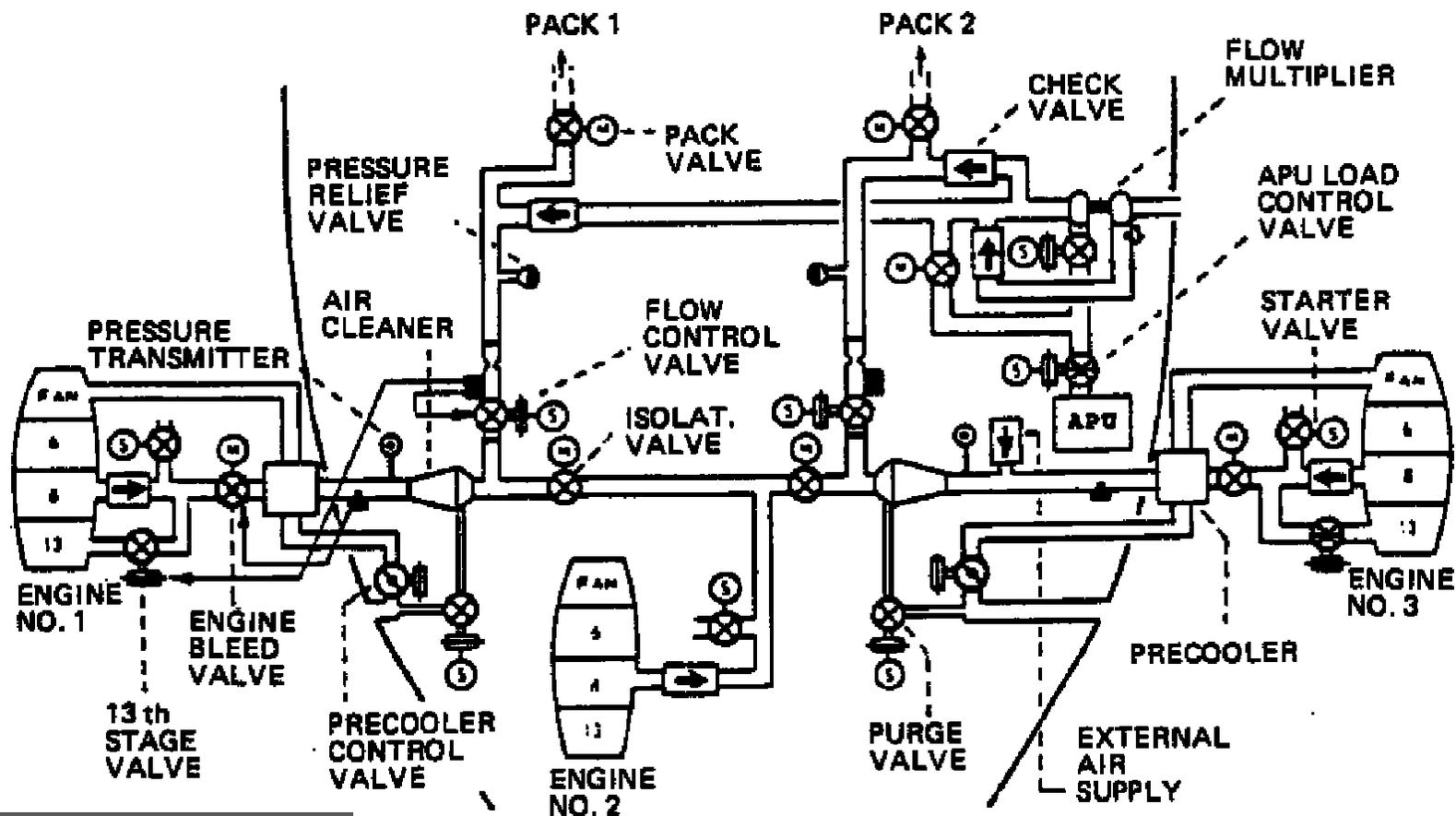
$$\dot{m} = \rho \cdot \dot{V}$$





Die Zapfluftanlage

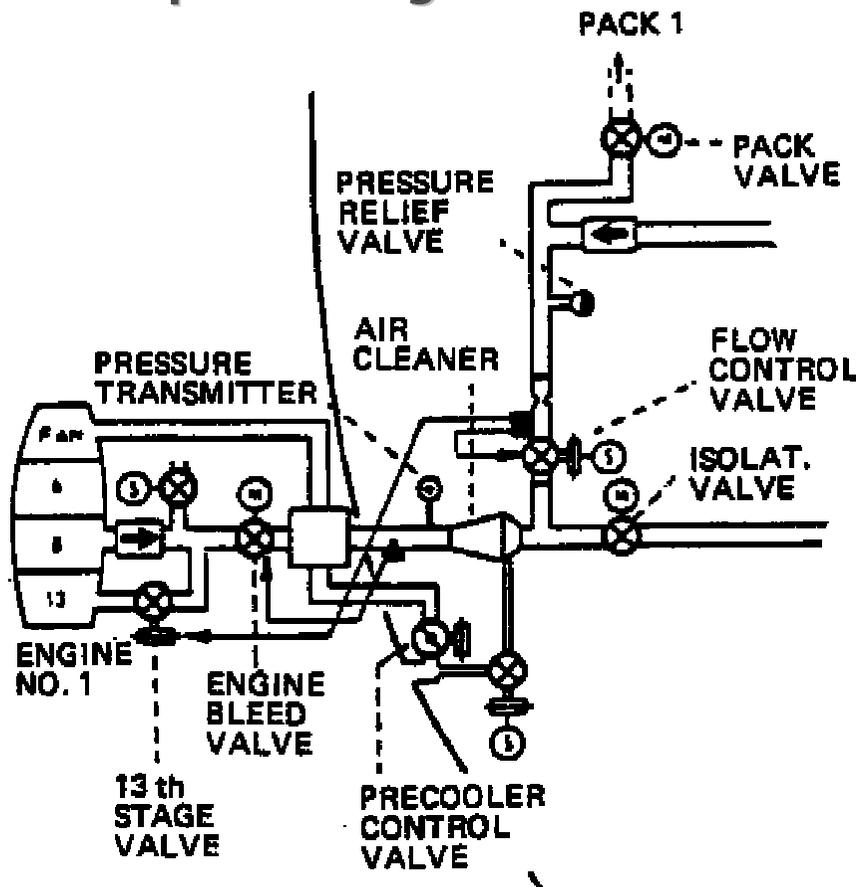
3-motoriges Flugzeug mit 3 Triebwerken, 1 APU und 2 Klimapacks



Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Die Zapfluftanlage



Die Abzapfung erfolgt je nach Triebwerksdrehzahl von einer vorderen (hier 8.) oder einer hinteren Verdichterstufe (hier 13.).

Die Umschaltung erfolgt durch Messung des Volumenstroms in einer Venturidüse.

Der höhere Druck schließt dann das Rückschlagventil vor der 8. Stufe.

Die Zapfluft wird durch Fanluft gekühlt

Die Kühlluftmenge kann geregelt werden und geht schließlich in die Atmosphäre

Die Zapfluft wird von Schmutz gereinigt.

Die Zapfluftmenge wird geregelt und zum Klimapack geführt

Ein Überdruckventil sichert die Anlage

Über Ventile bzw. Rückschlagventile kann Zapfluft zu anderen Packs abgegeben oder aufgenommen werden.

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Video

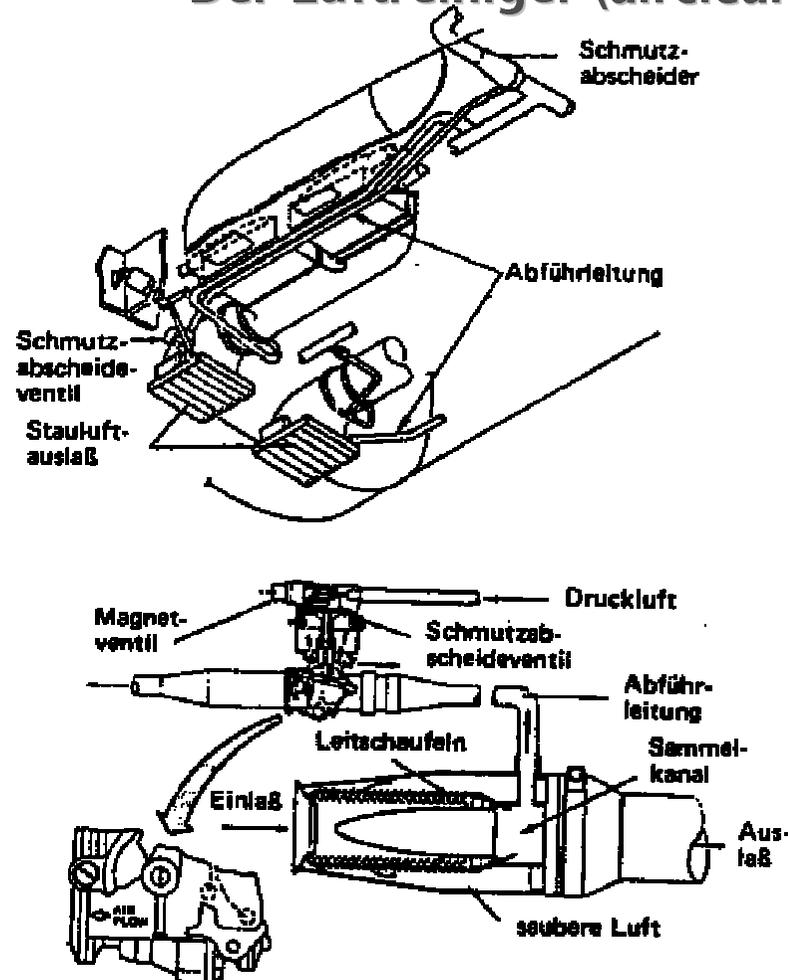
„Pneumatic System“ am Beispiel Boeing B737



Abspielzeit: 6' 26"

Proj. Dr.-Ing. Willy J.G. Brauning

Der Luftreiniger (aircleaner) am Beispiel Boeing B 737

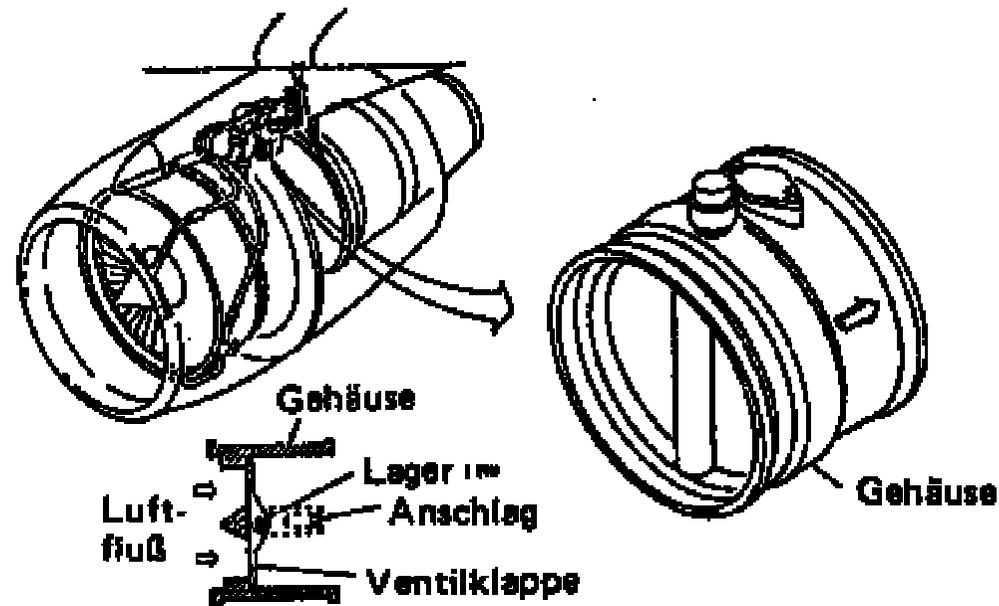


- Einsatz nur am Boden und in niedrigen Flughöhen, oder immer dann, wenn von den Triebwerken Schmutz angesaugt werden kann.
- Die Zapfluft tritt zentral in den Luftreiniger ein, in dem sich ein Kegel mit umschlossenen Luftleitschaufeln befindet.
- Durch die Richtungsänderung der Luft in den Leitschaufeln fallen die Schmutzteilchen aus, sammeln sich in einem ringförmigen Sammelkanal am Ende des Kegels.
- Mit Druckluftunterstützung wird der Schmutz dann bei geöffnetem Schmutzabscheideventil „overboard“ geblasen.

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Das Rückschlagventil (check valve) am Beispiel Boeing B 757

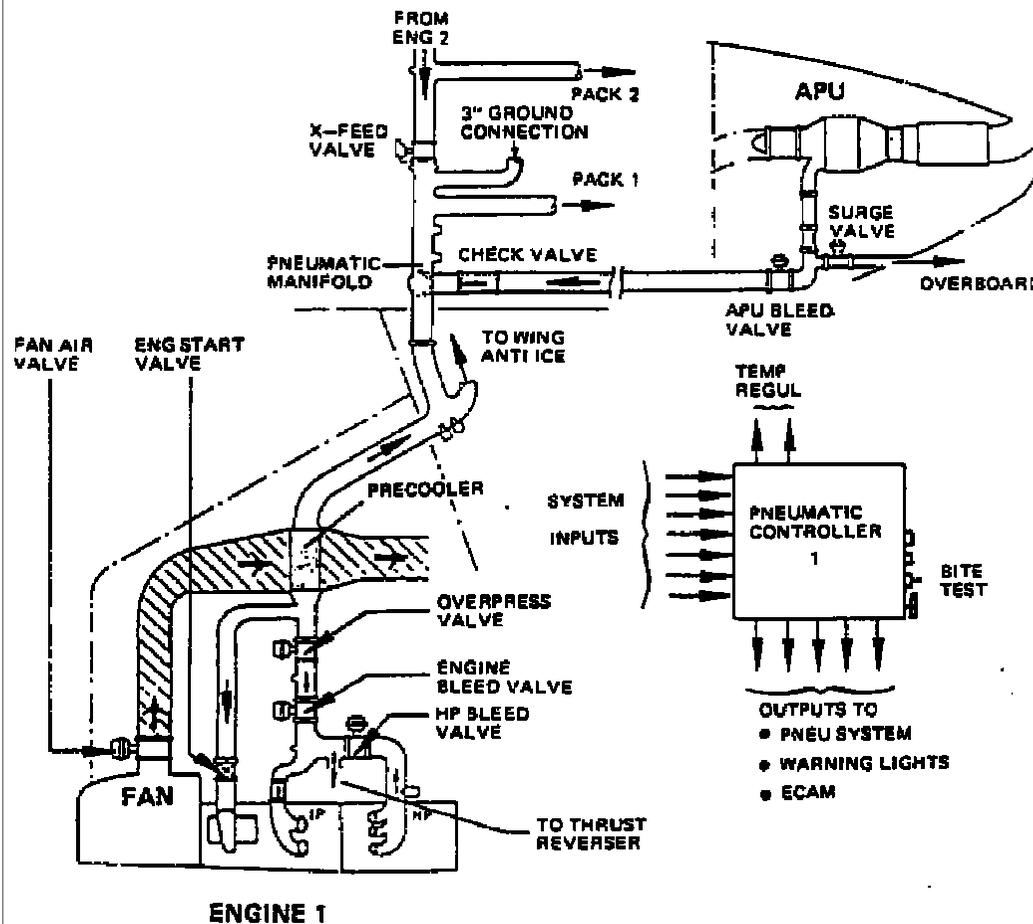


- Das „check valve“ soll das Eindringen von Luft in die „kleinere“ Verdichterstufe verhindern, wenn die „große“ Verdichterstufe die Zapfluft bei niedrigeren Drehzahlen liefert.
- Das „check valve“ besteht aus 2 Klappen, die unter Schwerkraft offen nach unten hängen.
- Bei genügend hohem Druck auf der Zuströmseite schließen die Klappen und sperren so den Durchfluss.

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Das Zapflftschema des Airbus A310

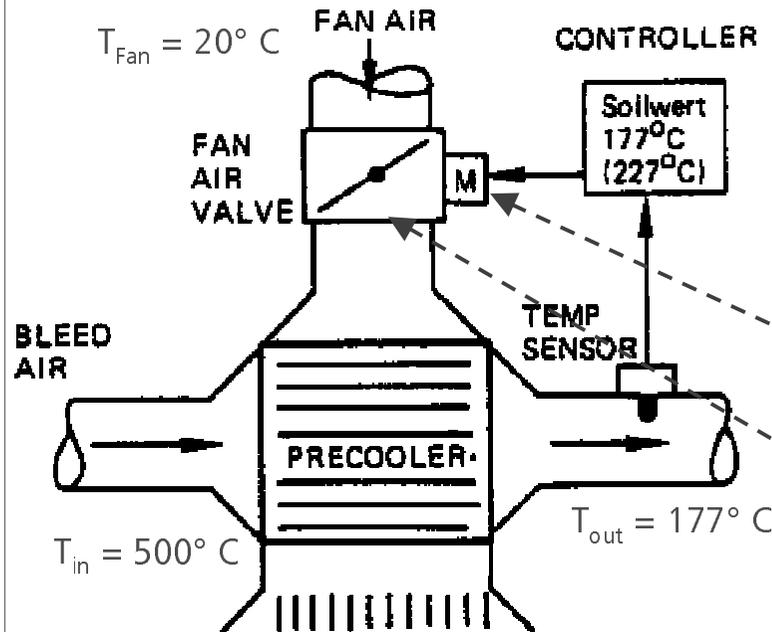


- Zapfluft wird hier aus der 8. bzw. 14 Verdichterstufe entnommen
- Ein „engine bleed valve“ regelt den Zapfluftdruck auf 45 psi (3 bar)
- Ein „overpressure valve“ schützt die nachfolgende Anlage vor Überdruck
- Ein „precooler“ kühlt die Zapfluft mit Fanluft auf 177°C bzw. auf 227°C (bei eingeschaltetem „anti-icing“) ab
- Die Temperaturregelung erfolgt über einen pneumatischen Regler, der das „fan air valve“ verstellt
- Die Kühlluft vom Fan geht „overboard“
- Ein „x-feed valve“ trennt das linke vom rechten Pneumatiksystem.
- Bei APU-Betrieb öffnet das „x-feed valve“, um beide Klimapacks versorgen zu können.

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Der Vorkühler des Airbus A310



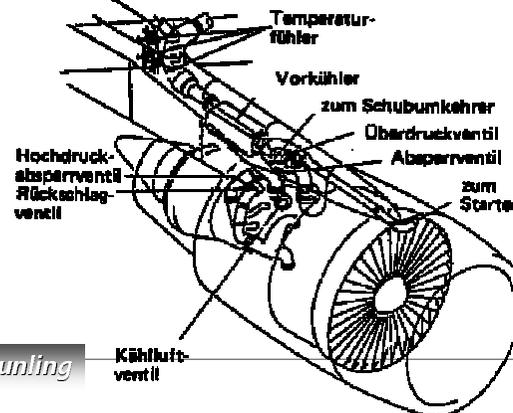
Wärmetauscherwirkungsgrad (Kühlwirkung)

$$\eta_{\text{Hex}} = \frac{T_{\text{in}} - T_{\text{out}}}{T_{\text{in}} - T_{\text{Fan}}} = \frac{500 - 177}{500 - 20} = 0.673$$

d.h. die „bleed air“ (Zapfluft) wird zu 67.3 % auf die Temperatur der Fanluft abgekühlt. In Bodennähe (höhere Fanlufttemperatur) können Wirkungsgrade von bis zu 94 % erreicht werden.

Das Fanluftventil selbst arbeitet pneumatisch, wird aber elektrisch über einen sog. „Torque-Motor“ angesteuert.

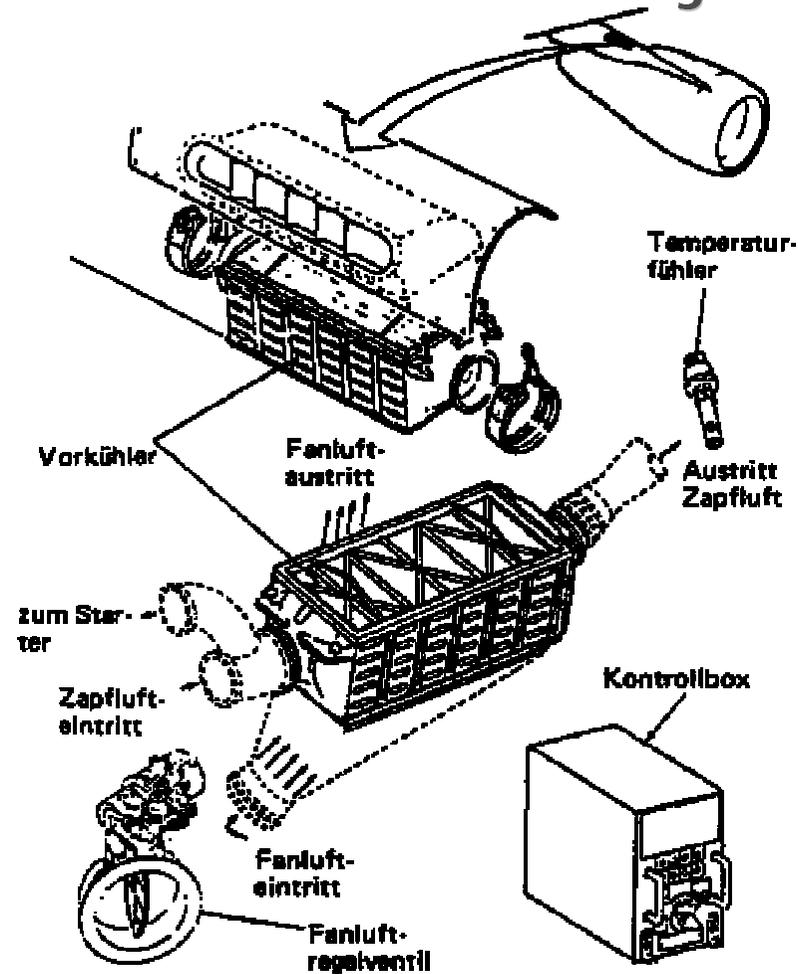
Das Fanluftventil sitzt direkt oberhalb des Triebwerks. Der Vorkühler dagegen befindet sich wegen seiner Größe innerhalb des Triebwerkpylons.



Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



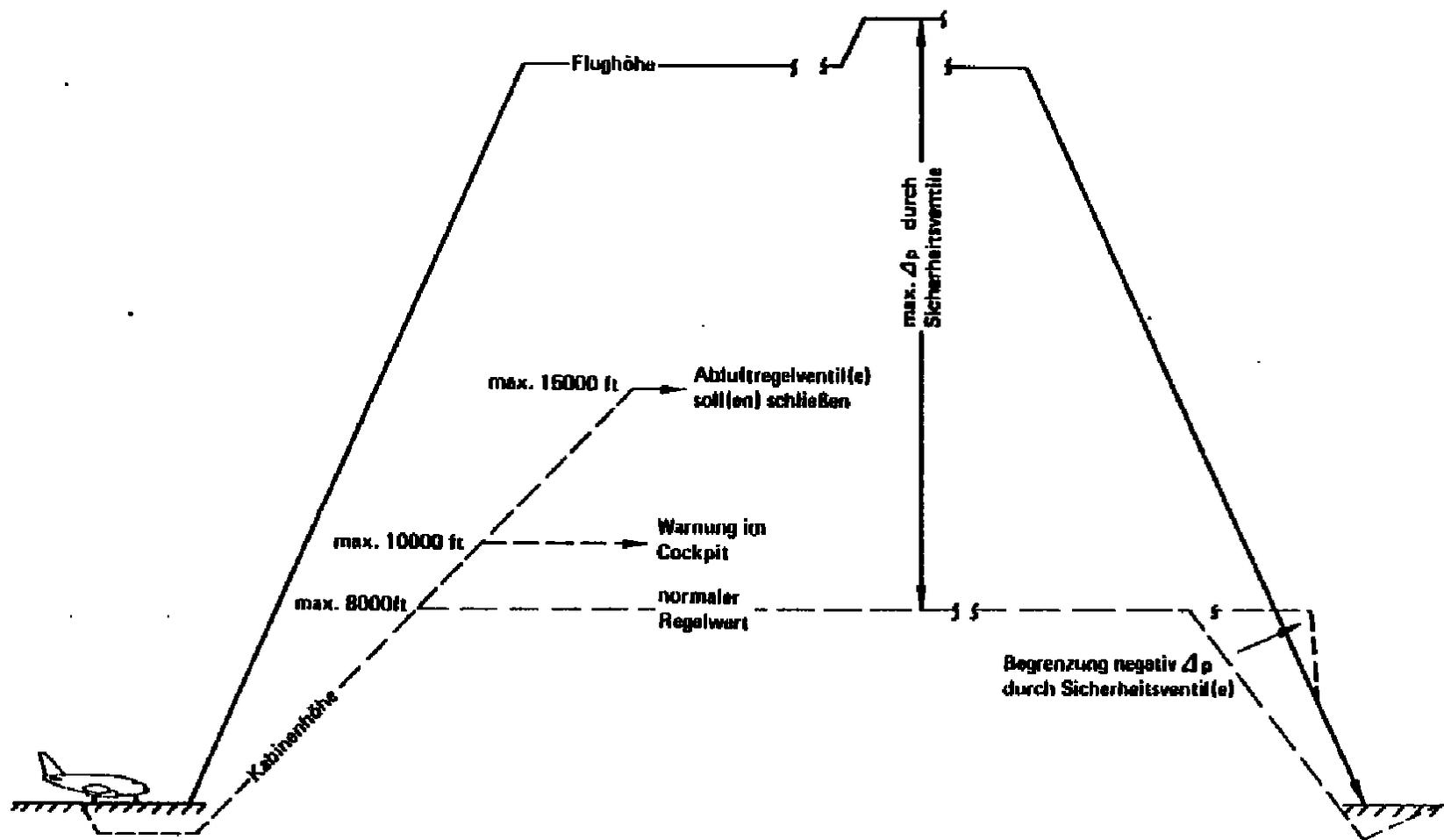
Der Vorkühler der McDonnell-Douglas MD 11



Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling

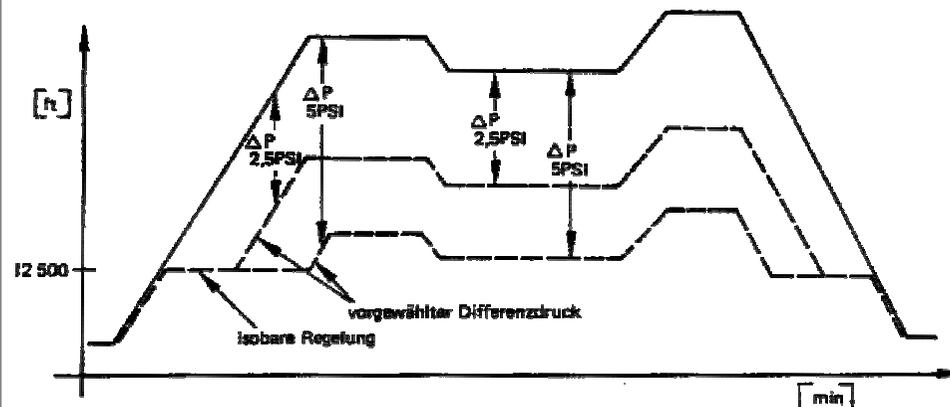


Vorschriften zur Druckregelanlage nach JAR/FAR 25



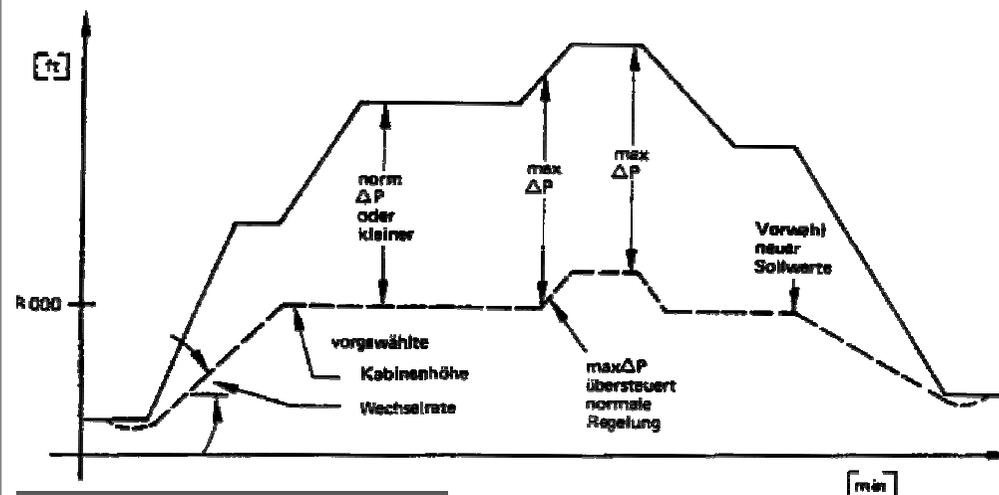
Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling

Generelle Möglichkeiten der Druckregelung



Differenzdruckregelung

- nur für militärische Flugzeuge
- oberhalb von 12500 ft kann wahlweise auf zwei Differenzdruckwerte geregelt werden
- Sinn und Zweck: bei Beschuss kommt es nicht zum Bersten der Druckkabine



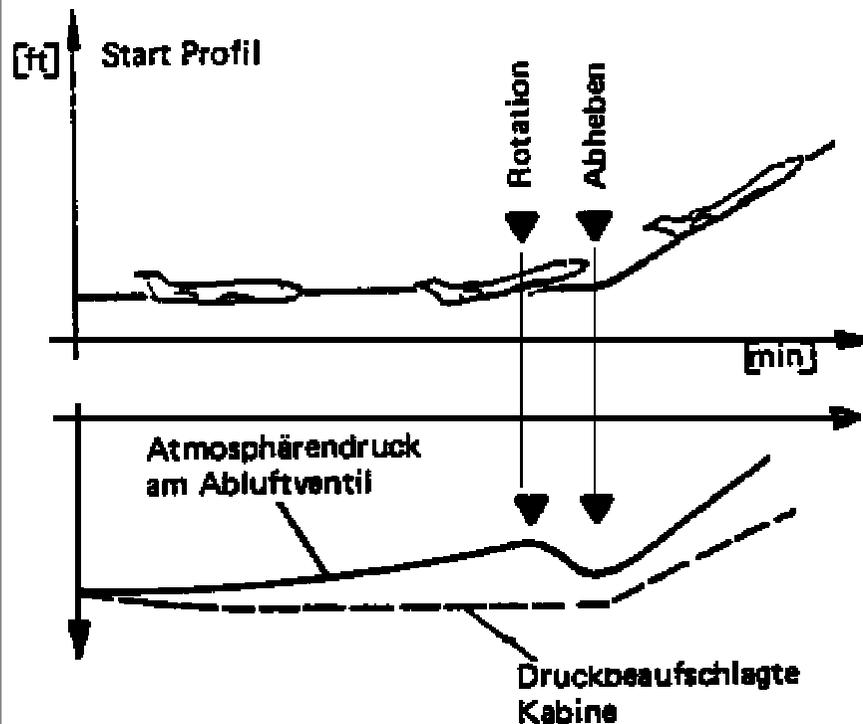
Kabinendruckhöhenregelung

- für praktisch alle Verkehrsflugzeuge
- der höchste zulässige Wert der Kabinendruckhöhe ist 8000 ft
- nur nach Erreichen eines $\max \Delta p$ zieht die Kabine aus Sicherheitsgründen (Bersten) nach
- Beim Starten und Landen wird sog. Vordruck aufgebaut

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



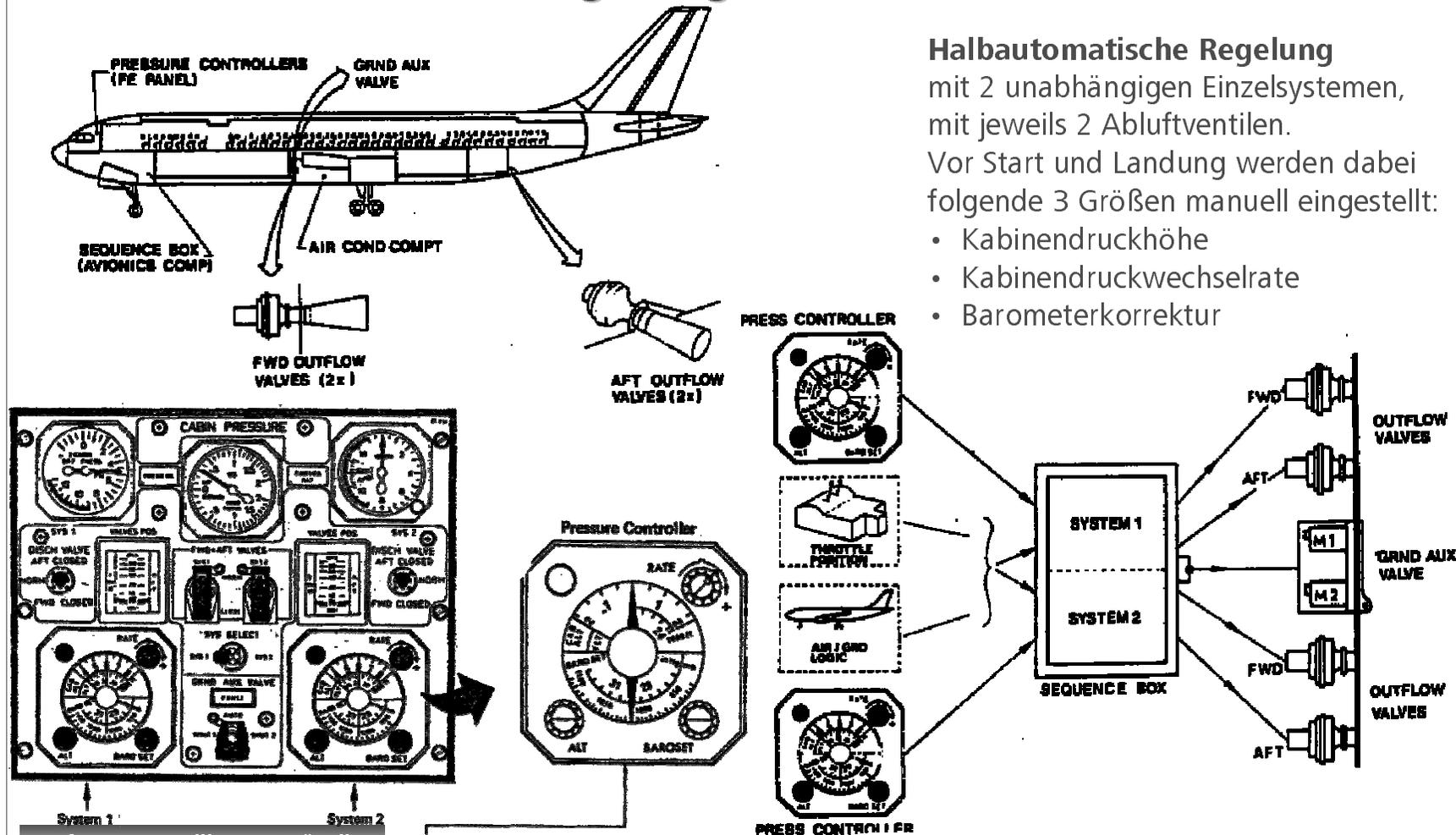
Begründung des Vordruckaufbaus beim Starten und Landen



- Die Landebahn wird „künstlich auf 200 bis 400 ft unter Platzhöhe gebracht, was einem Überdruck in der Kabine von 0.125 bis 0.200 psi entspricht.
- Der Wert ist begrenzt, um beim Startabbruch Türen und Notausstiege leicht öffnen zu können.
- D.h. die Druckanlage baut vor dem Start einen positiven Differenzdruck auf, so dass das Abluftventil in Drosselstellung fährt.
- Plötzliche Änderungen des Außenluftdrucks, besonders bei der Rotation, wirken sich so gedämpft oder gar nicht in der Kabine aus, im Vergleich zu dem Fall voll geöffneter Abluftventile.
- Durch den Vordruckaufbau erreicht man gleichzeitig auch ein gewisses „Setzen“ der Kabinentüren und einen möglichen Staudruckeinfluss auf Türen und Schiebefenster im vorderen (konischen) Rumpfbereich.



Kabinendruckregeldiagramm des Airbus A 300



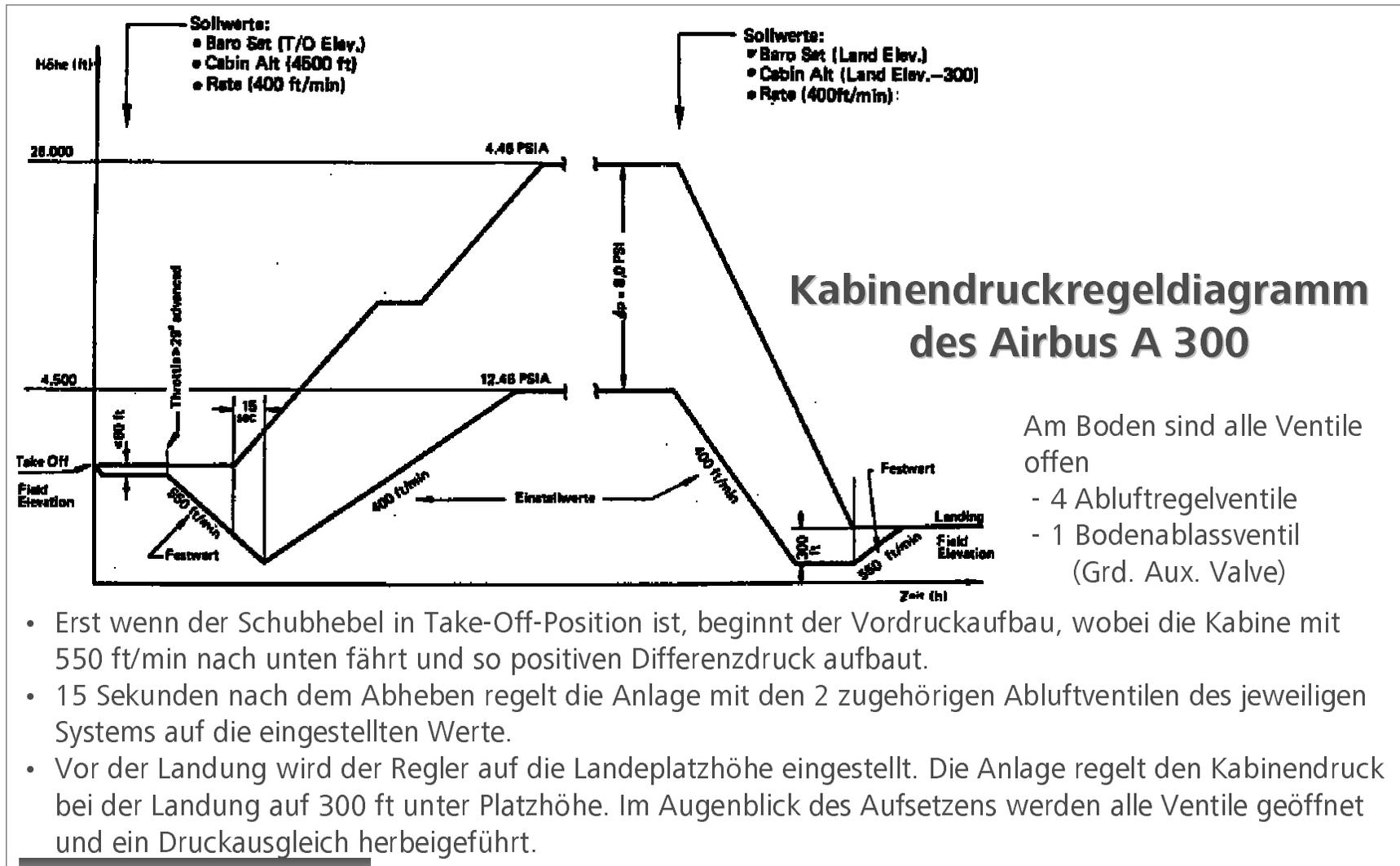
Halbautomatische Regelung

mit 2 unabhängigen Einzelsystemen,
 mit jeweils 2 Abluftventilen.

Vor Start und Landung werden dabei
 folgende 3 Größen manuell eingestellt:

- Kabinendruckhöhe
- Kabinendruckwechselrate
- Barometerkorrektur

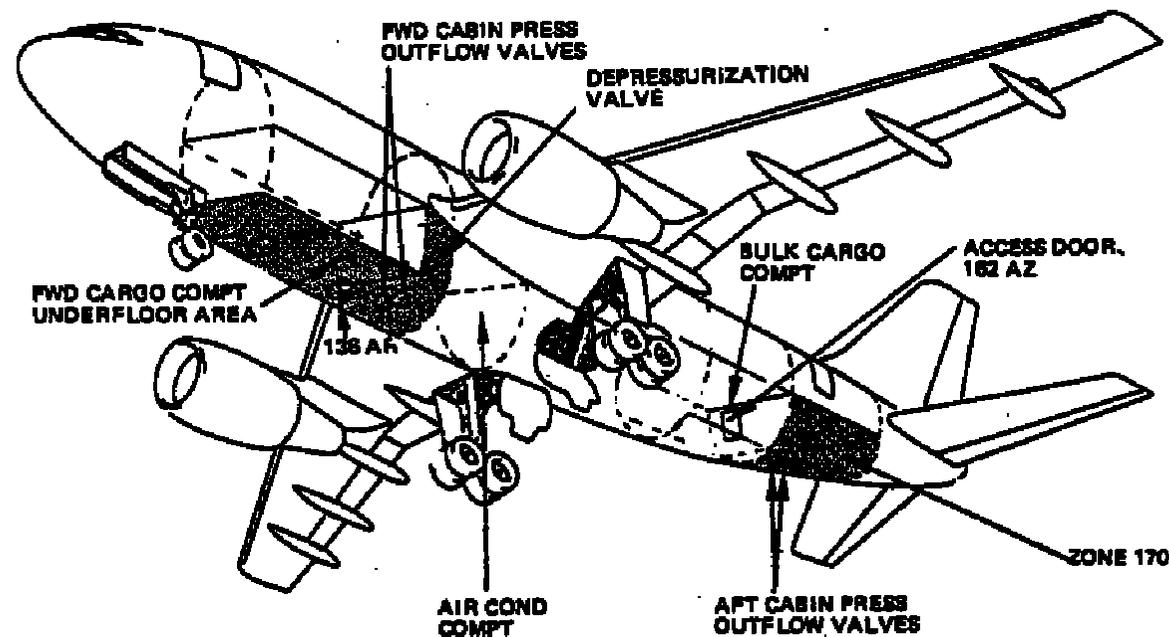
Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



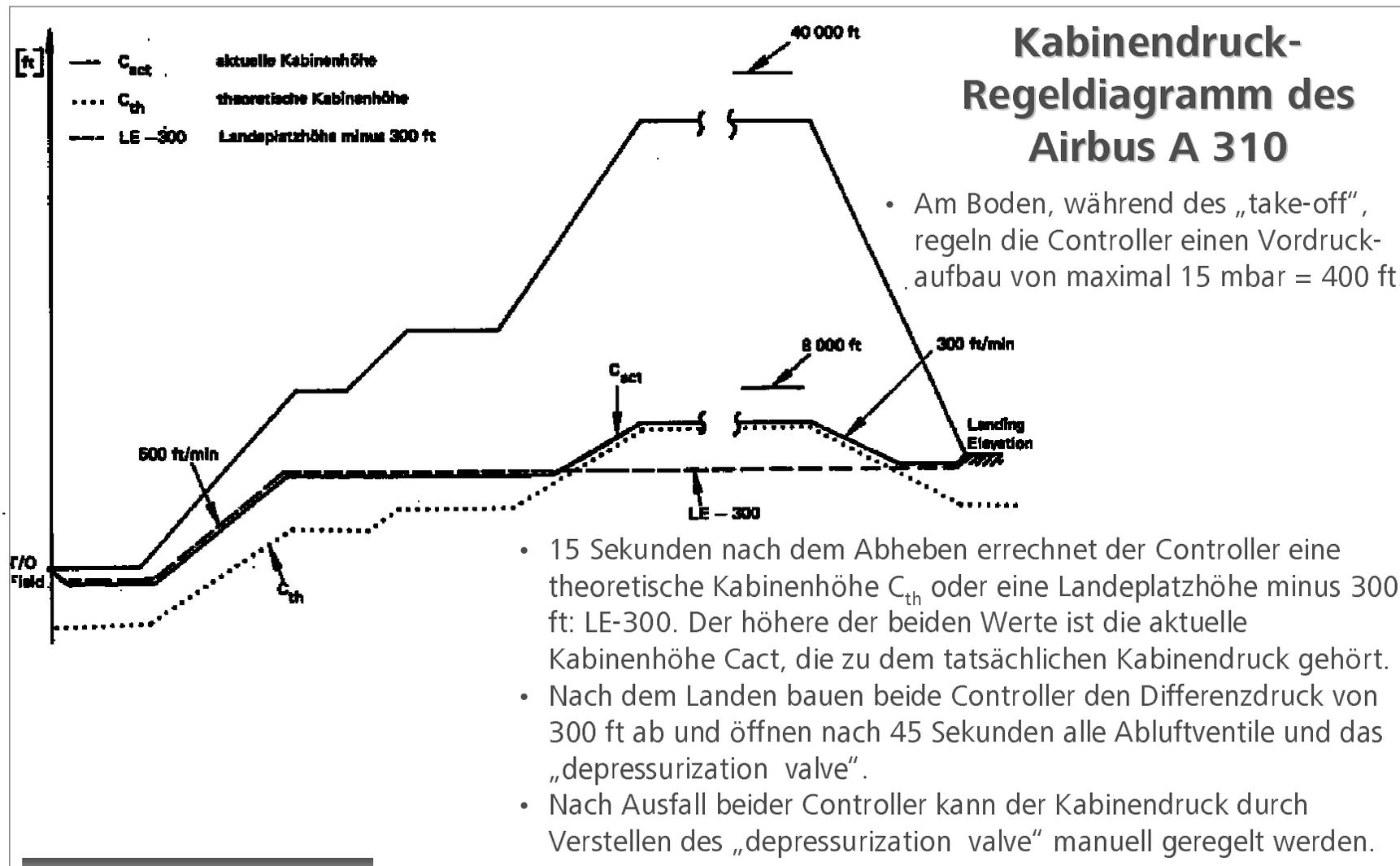
Kabinendruckregelung des Airbus A 310



Vollautomatische Regelung

mit 2 unabhängigen Einzelsystemen, mit jeweils 2 Abluftventilen.
Vor Start und Landung praktisch nur 1 Größe manuell eingestellt:

- Landeplatzhöhe, also die Höhe für das Ende des Fluges
- die Barometerkorrektur wird vom Höhenmesser übernommen



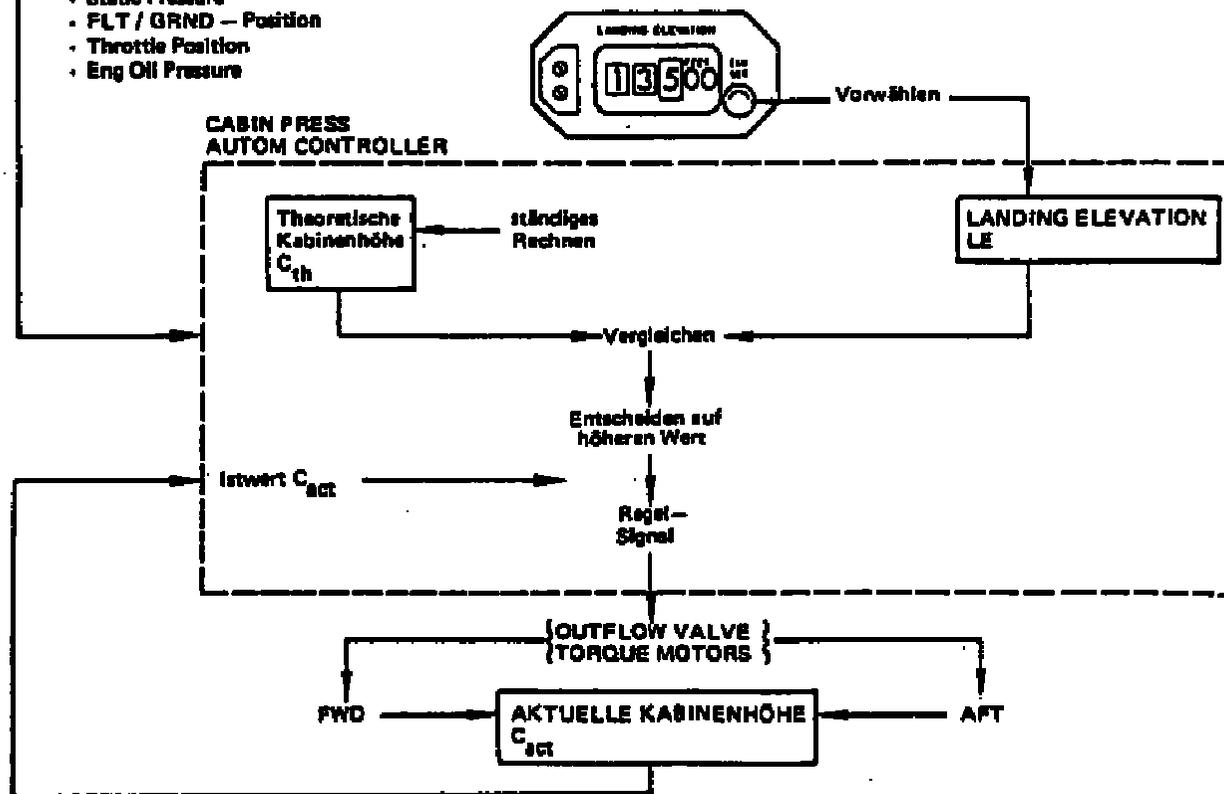
Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Regelkonzept der Druckregelung des Airbus A 310

Eingangssignale in jeden Controller

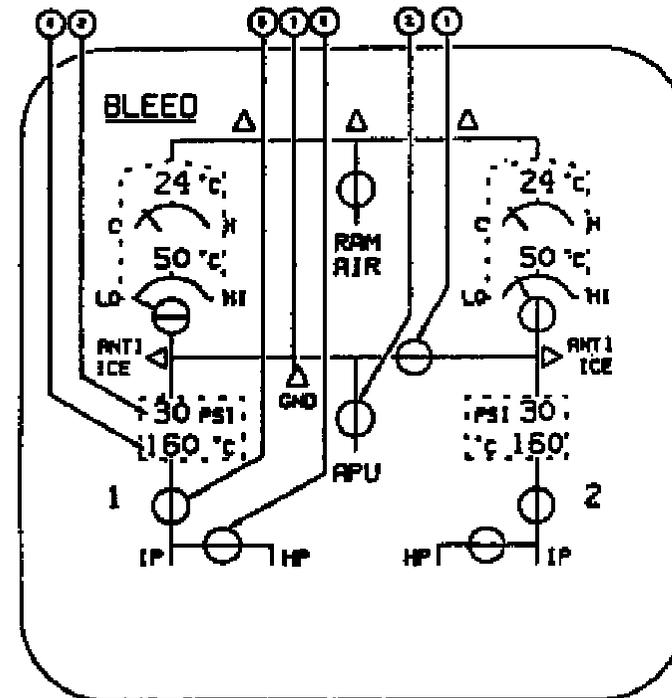
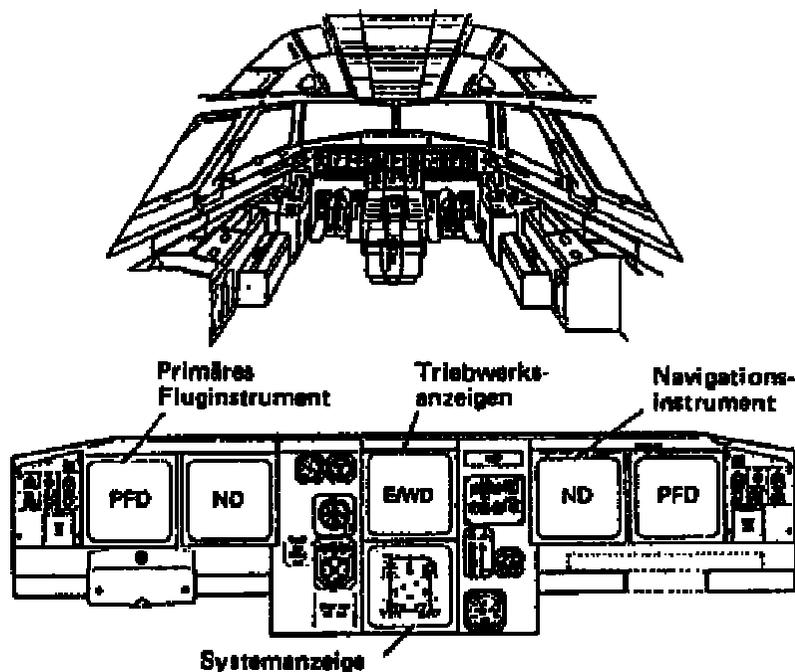
- Landing Elevation
- Baro Correction
- Cabin Rate Selection
- Cabin Pressure
- Static Pressure
- FLT / GRND – Position
- Throttle Position
- Eng Oil Pressure



Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



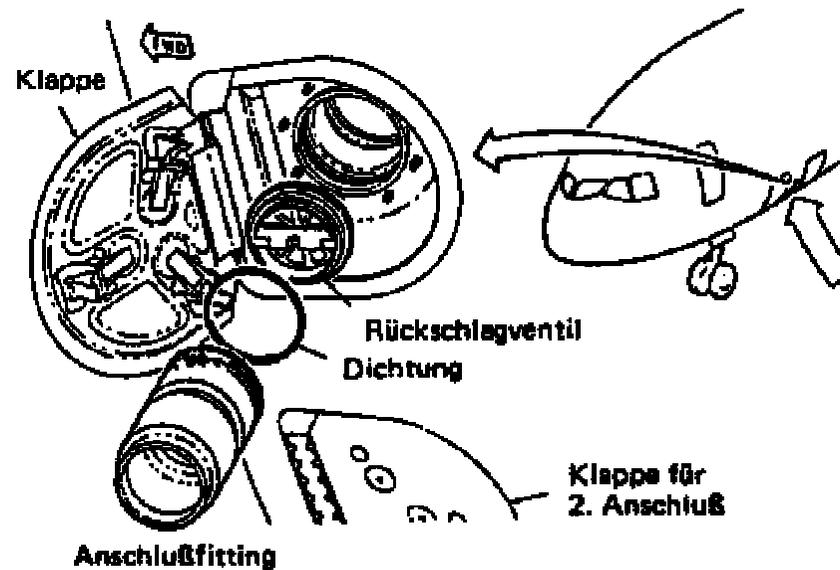
Systemanzeige der Pneumatik des Airbus A 320



- Anzeige für:
- 1 – die Stellung des Isolierventils
 - 2 – die Stellung des Luftversorgungsventils der APU
 - 3 – den Druck in der Vorkühlanlage
 - 4 – die Auslaßtemperatur der Vorkühlanlage
 - 5 – die Stellung des Druckregelventils
 - 6 – die Stellung des Hochdruckabsperrventils
 - 7 – die Bodenversorgung



Bodenanschluss der McDonnell-Douglas DC10

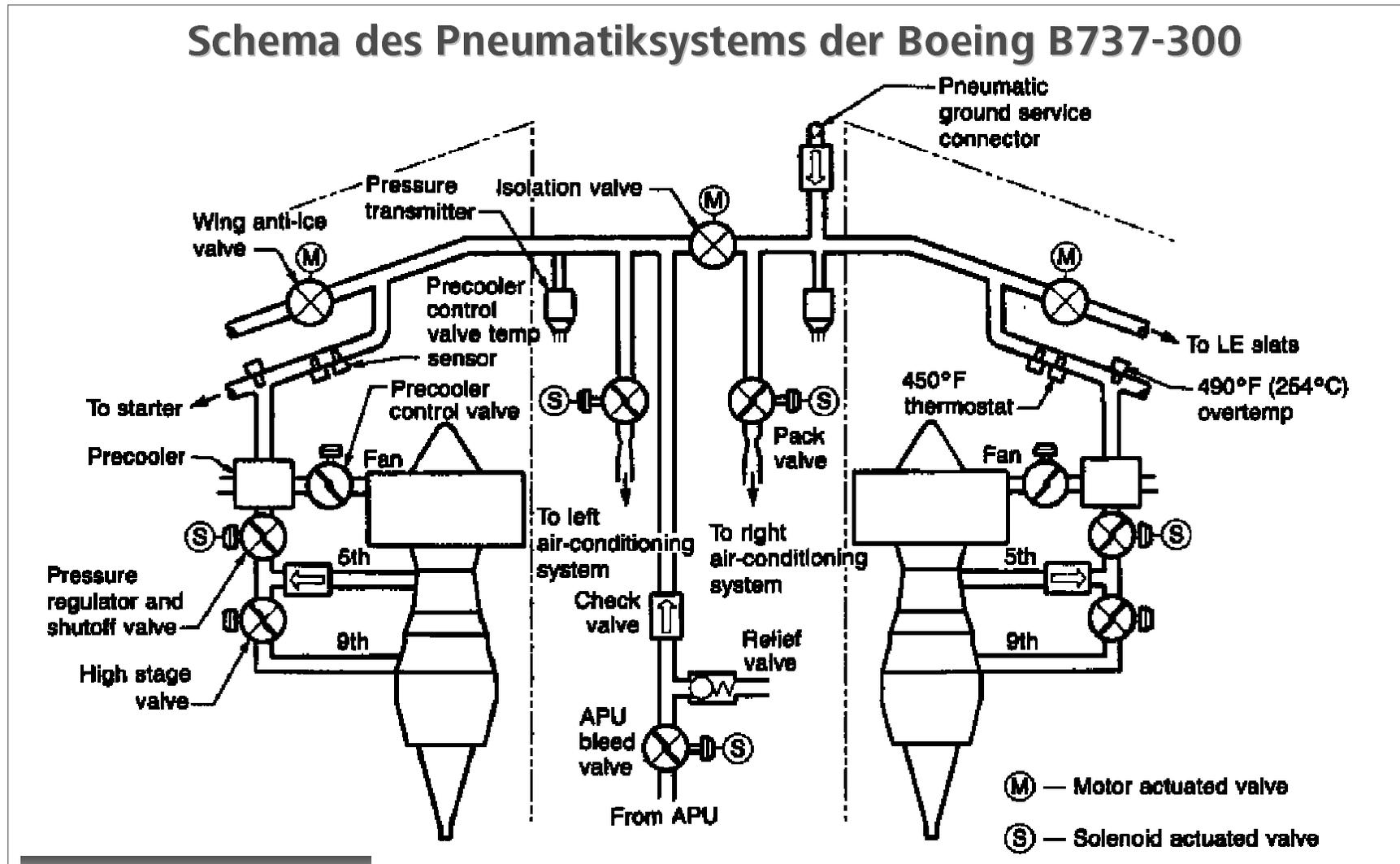


- Um eine Belieferung der Luftversorgungsanlage vom Boden aus vornehmen zu können, sind genormte Bodenanschlüsse vorgesehen, deren Anzahl zwischen 1 und 3 Anschlüssen – je nach Flugzeuggröße – schwankt.
- Die Anschlussdurchmesser sind auf 3" (≈ 100 mm) genormt.
- Da eine direkte Verbindung zu den Luftversorgungsanlagen besteht, muss jeder Anschluss mit einem Rückschlagventil (check valve) ausgerüstet sein.

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling

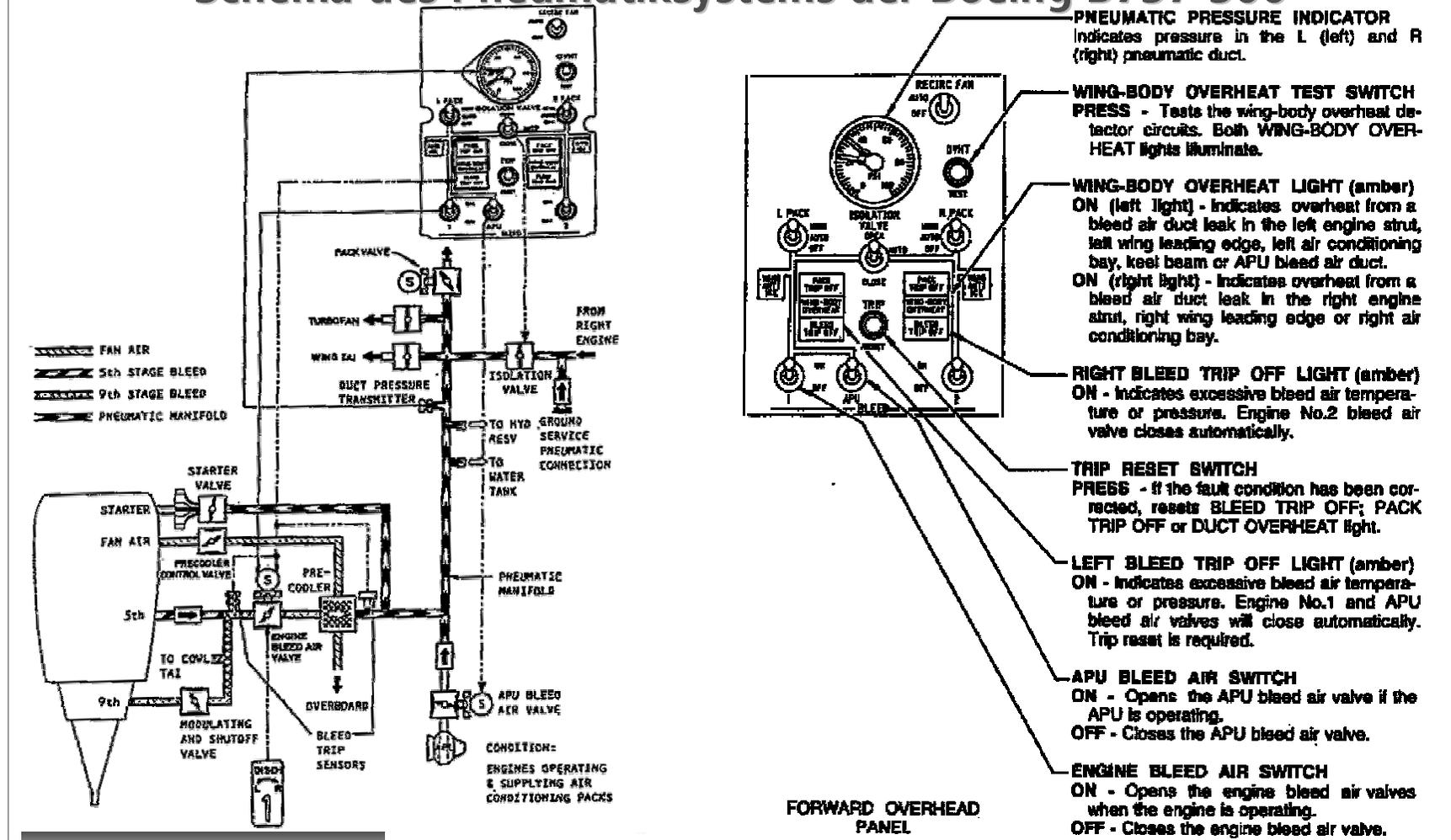


Schema des Pneumatiksystems der Boeing B737-300



Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling

Schema des Pneumatiksystems der Boeing B737-300



Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



Video

„Pressurization“ am Beispiel Boeing B737



Abspielzeit: 9' 40"

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling



ENDE

Pneumatikanlage und Kabinendruckregelanlage

Prof. Dr.-Ing. Willy J.G. Bräunling