

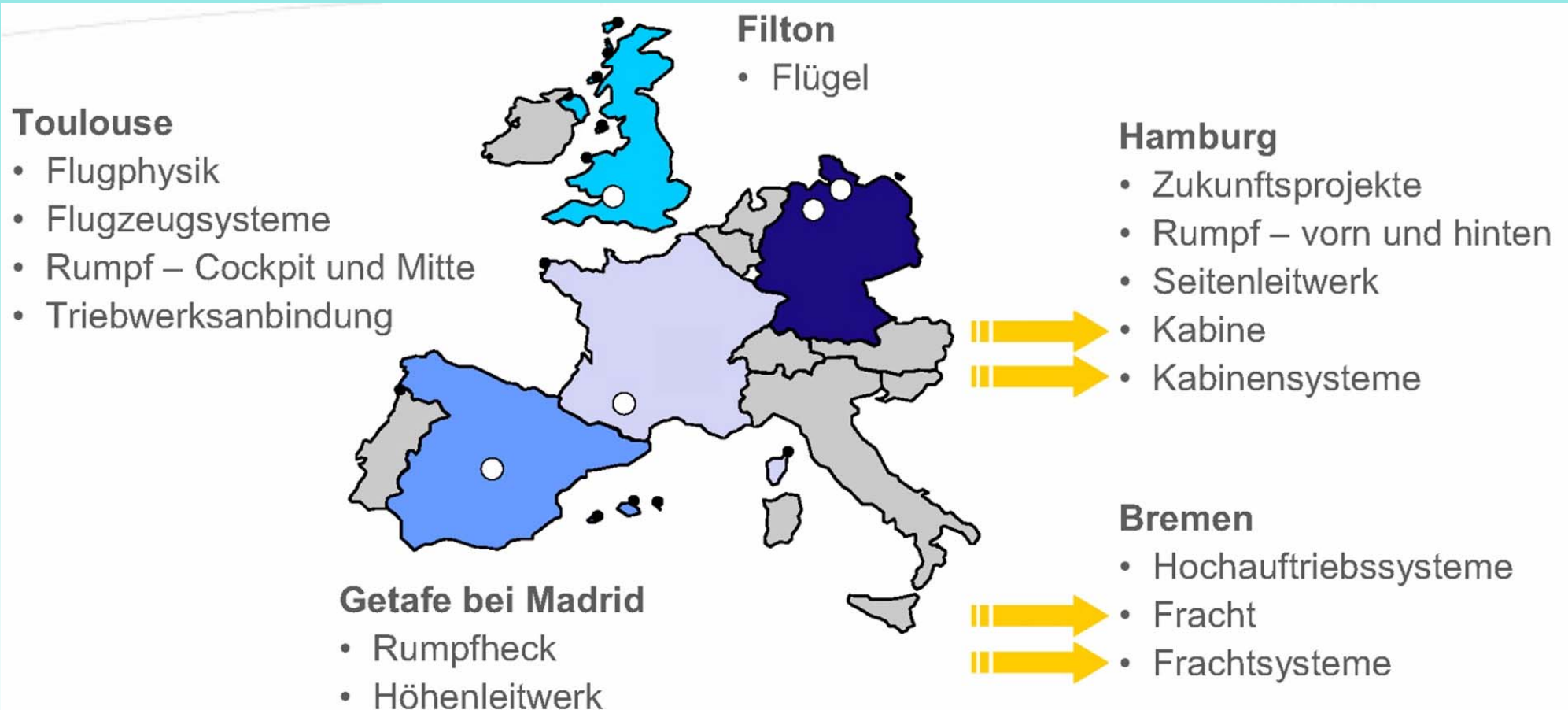
Gerhard Schmitz

Flugzeugklimatisierung unter Berücksichtigung der besonderen Bedingungen in Passagierflugzeugen



- **Einführung**
- Anforderungen an Flugzeugkabinen
- Klimatisierung von Flugzeugkabinen
- Aktuelle Forschungsarbeiten
- Zusammenfassung und Ausblick

Aufgabenverteilung Airbus



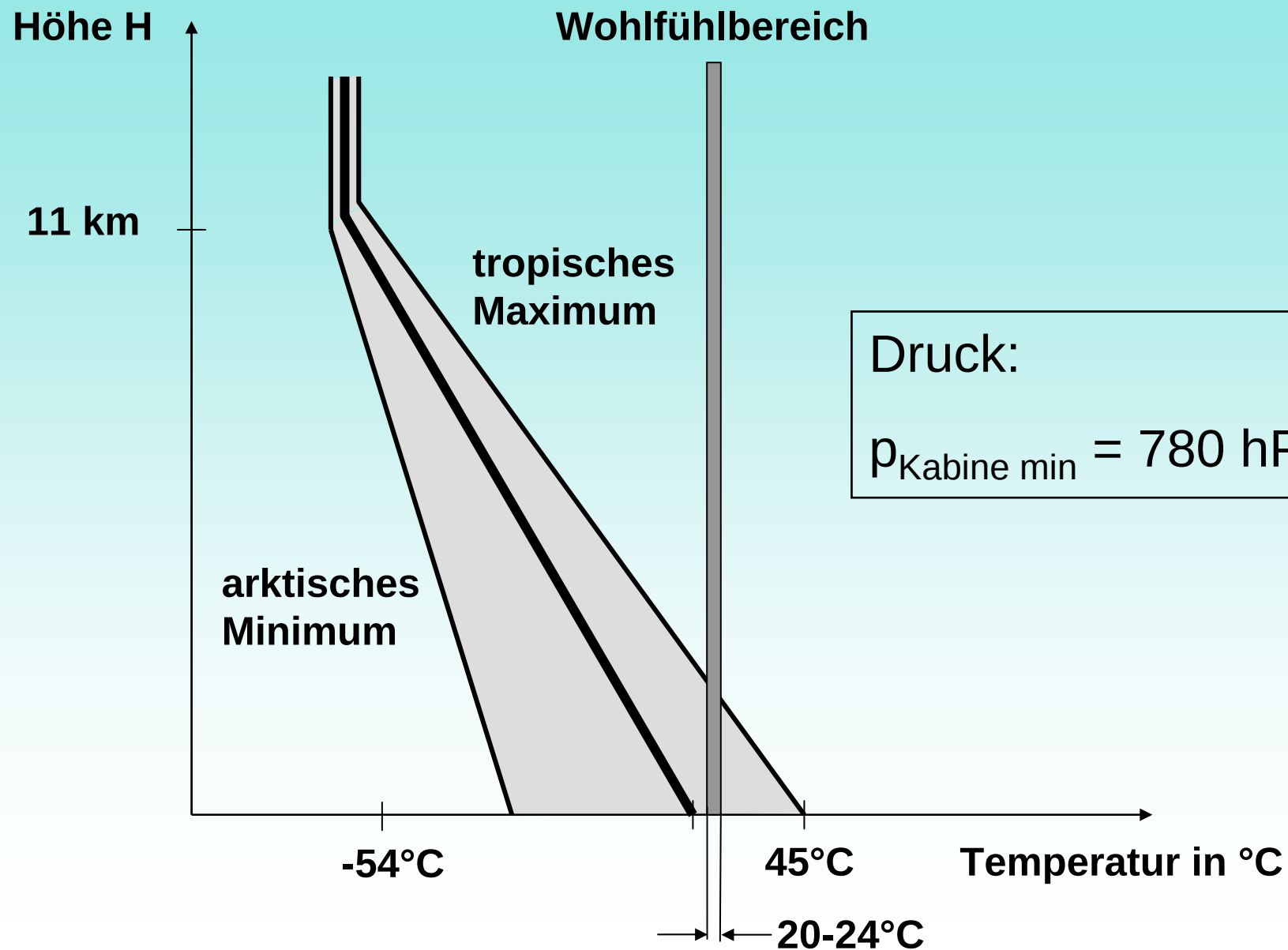
© Airbus Deutschland

- Einführung
- **Anforderungen an Flugzeugkabinen**
- Klimatisierung von Flugzeugkabinen
- Aktuelle Forschungsarbeiten
- Zusammenfassung und Ausblick

Anforderungen ECS-System

- **Temperaturhaltung**
- **Druckhaltung**
- **Belüftung**
- **Hygiene, u.a. Ozonfilterung**
- **Enteisung**
- **Avionik Kühlung**
- **Antienteisung, Antibeschlag, Regenabweiser**
- **Sauerstoffversorgung im Notfall**

Anforderungen - 1



Anforderungen - 2

Außenbedingungen:

	Boden	Luft	<u>Sonstige Bedingungen:</u> Frischlufanteil (neue Fl.): 10-20 m ³ / h /Pass (5,5 –12 cfm) Total: 15-30 m ³ /h/Pass Luftgeschw. kleiner 0,15-0,36 m/s Druckänderungsgeschw. <1,83 kPa/min (Steig) <1,10 kPa/min (Sink) Wegen Elektronik Kondensfreie Kühl- Luft notwendig Unterschiedliche Nutzer: Crew (aktiv) Passagiere (passiv), Gfs. lebende Fracht
Druck	1013 hPa	187 hPa entspr. ca. 12000 m / 40000 ft Höhe)	
Temperatur	-40°C bis +55°C	-70°C bis –35°C	
Feuchtigkeit	max. 33 g Wasser / kg tr.Luft	0,15 g Wasser / kg tr. Luft	

Innenbedingungen:

	Boden	Luft	
Druck	1013 hPa	750 hPa entspr. ca. 2450 m / 8000 ft Höhe)	
Temperatur	21°C bis 25°C (Einstellbereich 18°C - 30°C)	21°C bis 25°C (Einstellb. 18°C - 30°C)	
Feuchtigkeit	< 25 % rel. Luftfeuchte höhere Werte bei geöff. Türen	7% - 15 % rel. Luftfeuchte	
Lärm	80-85 dBA (peak 100)	80-85 dBA (peak 100)	

Anforderungen - 3

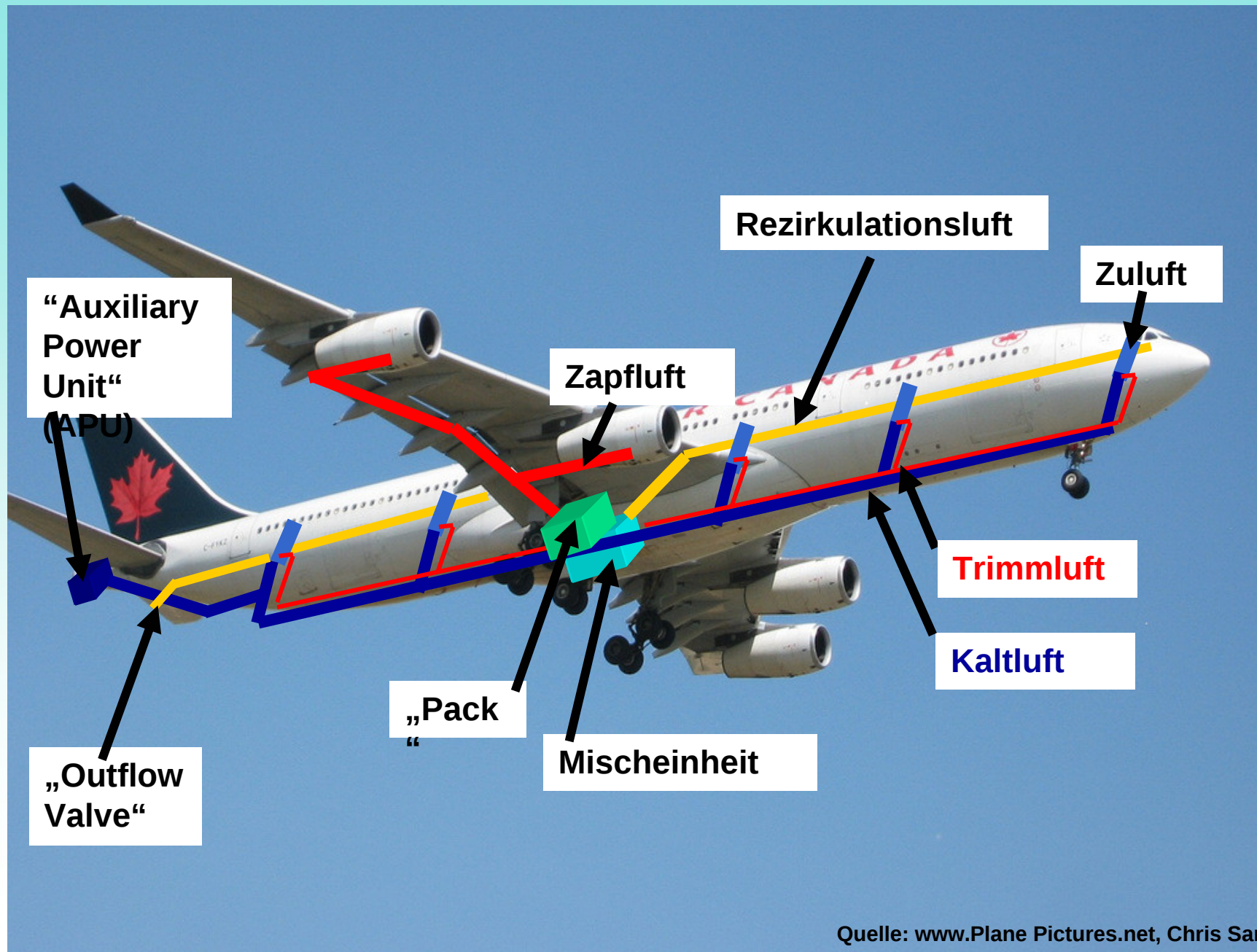
Substanz	
Frischluftaustausch	10 m ³ pro Stunde pro Person (entspr. 5,5 cfm pro Person) *
Luftgeschwindigkeit	allg. < 0,36 m/s (TWA) / < 0,15 m/s (TWA) für empfindliche Körperpartien **
CO ₂	2500 ppm ** (FAA: 5000 ppm)
CO	9 ppm**
O ₃	0,12 ppm **
Partikel	0,15 mg/m ³ **
Bioaerosole	(Anforderungen an Filter, $\eta > 95\%$ bei 0,3 μ m) **
Bacteria	1000 CFU /m ³ (ASHRAE 62-89)
Fungi	1000 CFU /m ³ (ASHRAE 62-89)
VOC	keine
Kabinenfeuchtigkeit	< 25 % rel. F. **
Kabinentemperatur	21,7° - 24,4° C *
Wand-/Flurtemperat.	Innerhalb 5,6°C der mittleren Kabinentemperatur **
Temperaturgradienten	Longitudinal < 4,4°C, Vertikal < 2,8°C **
Kabinendruck	> 564,5 mmHg (entspr. 8000 ft, 2438 m) (FAA, JAA)
Druckänderung	Steigflug: <1,83 kPa/min (152 m/min am Boden bzw.194 m/min in Flughöhe)* Sinkflug: < 1,10 kPa/min (91 m/min am Boden bzw.116 m/min in Flughöhe)*
Sauerstoffpartialdruck	> 118 mm Hg*

* VDI 6032 2003

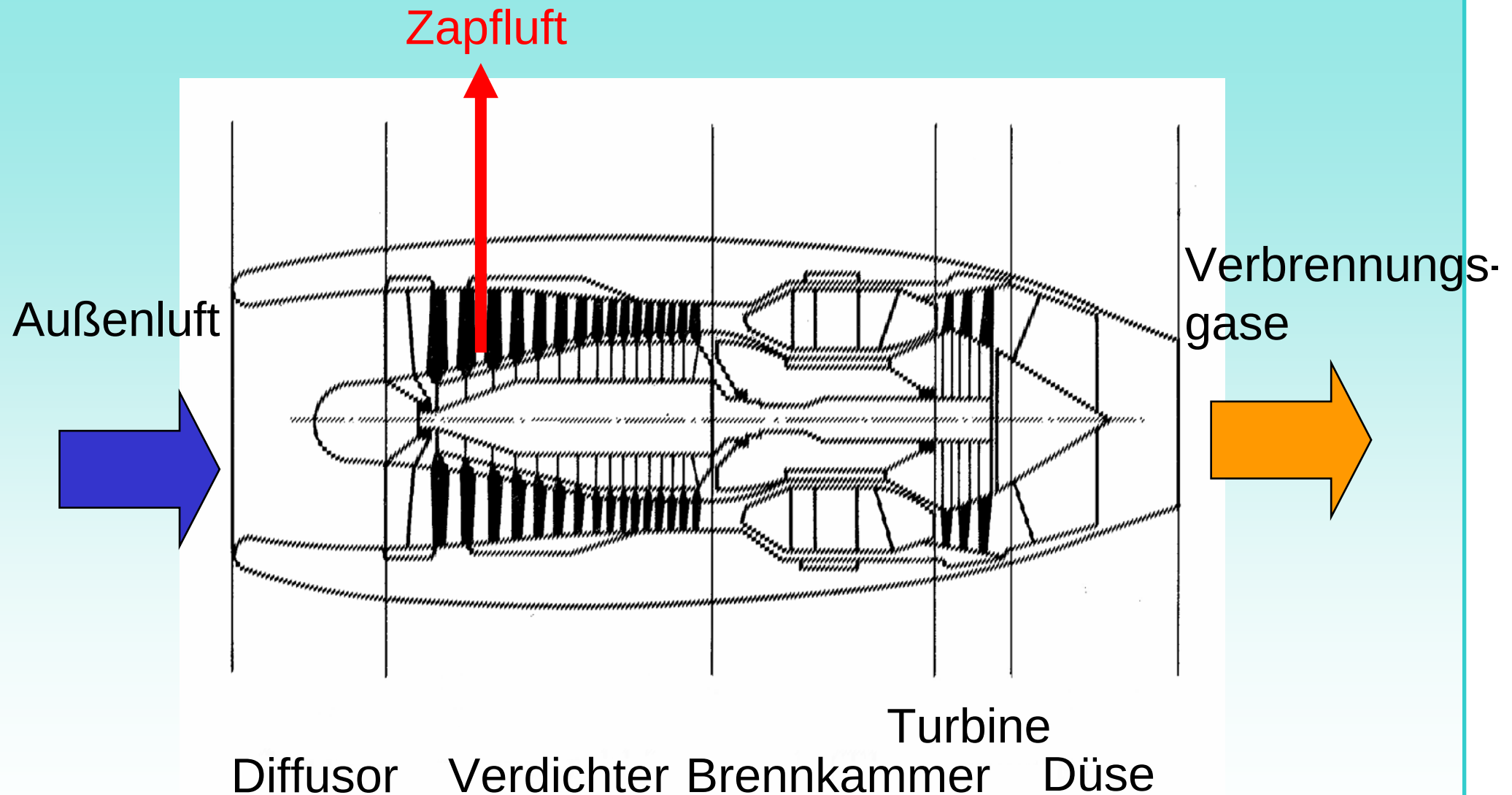
** Entwurf ASHRAE TC 161

- Einführung
- Anforderungen an Flugzeugkabinen
- **Klimatisierung von Flugzeugkabinen**
- Aktuelle Forschungsarbeiten
- Zusammenfassung und Ausblick

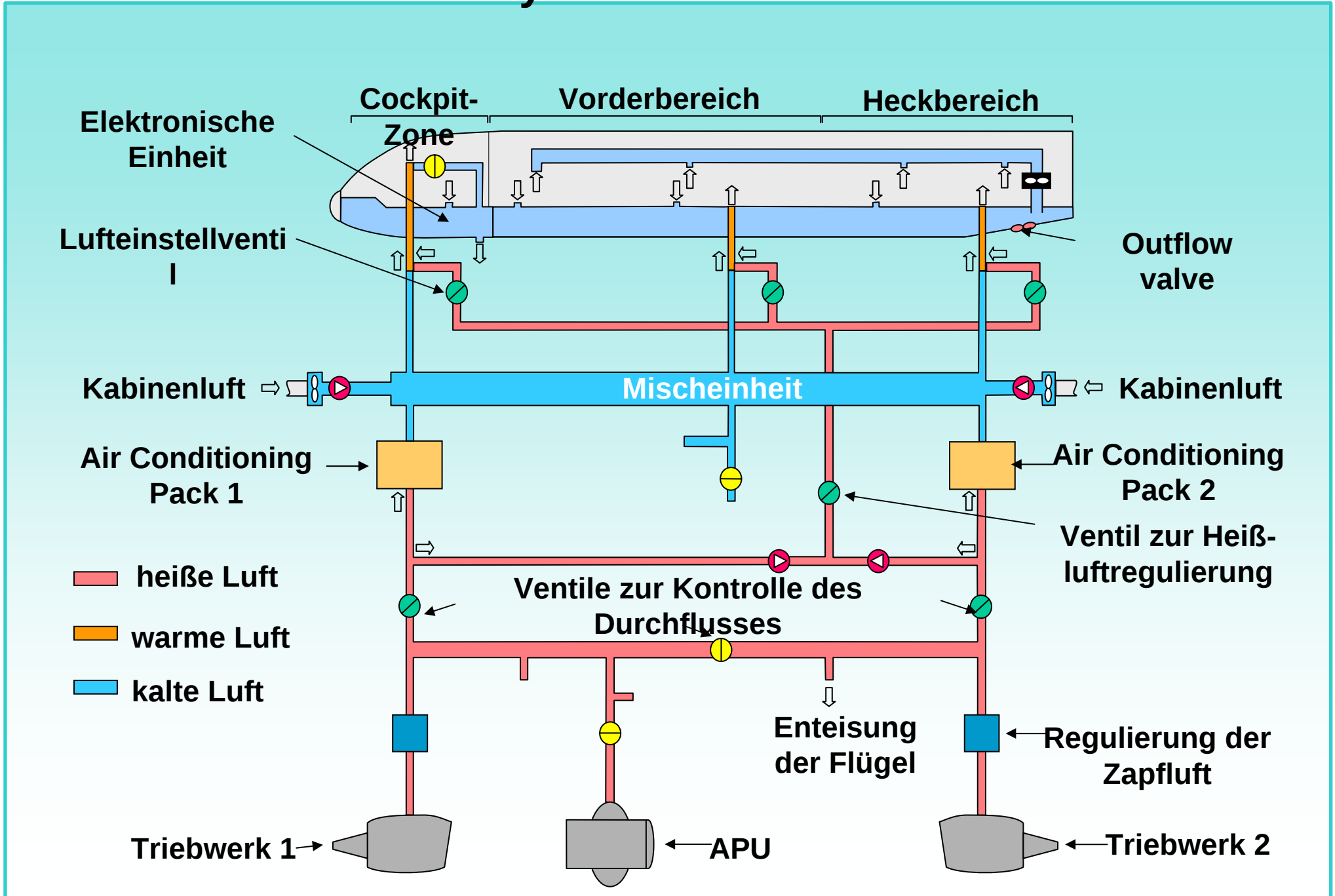
Environmental Control System - 1



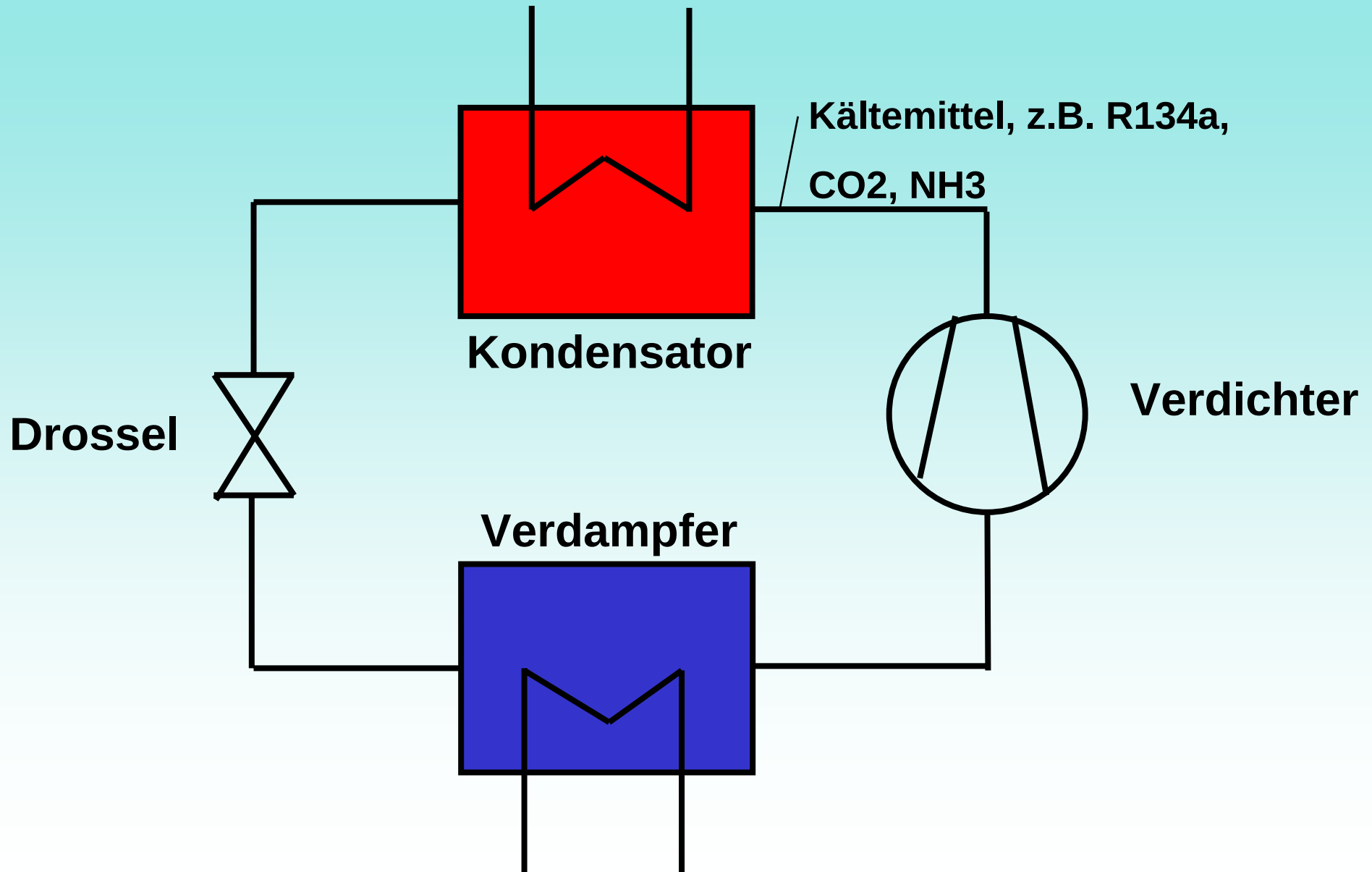
Quelle: www.Plane Pictures.net, Chris Sand



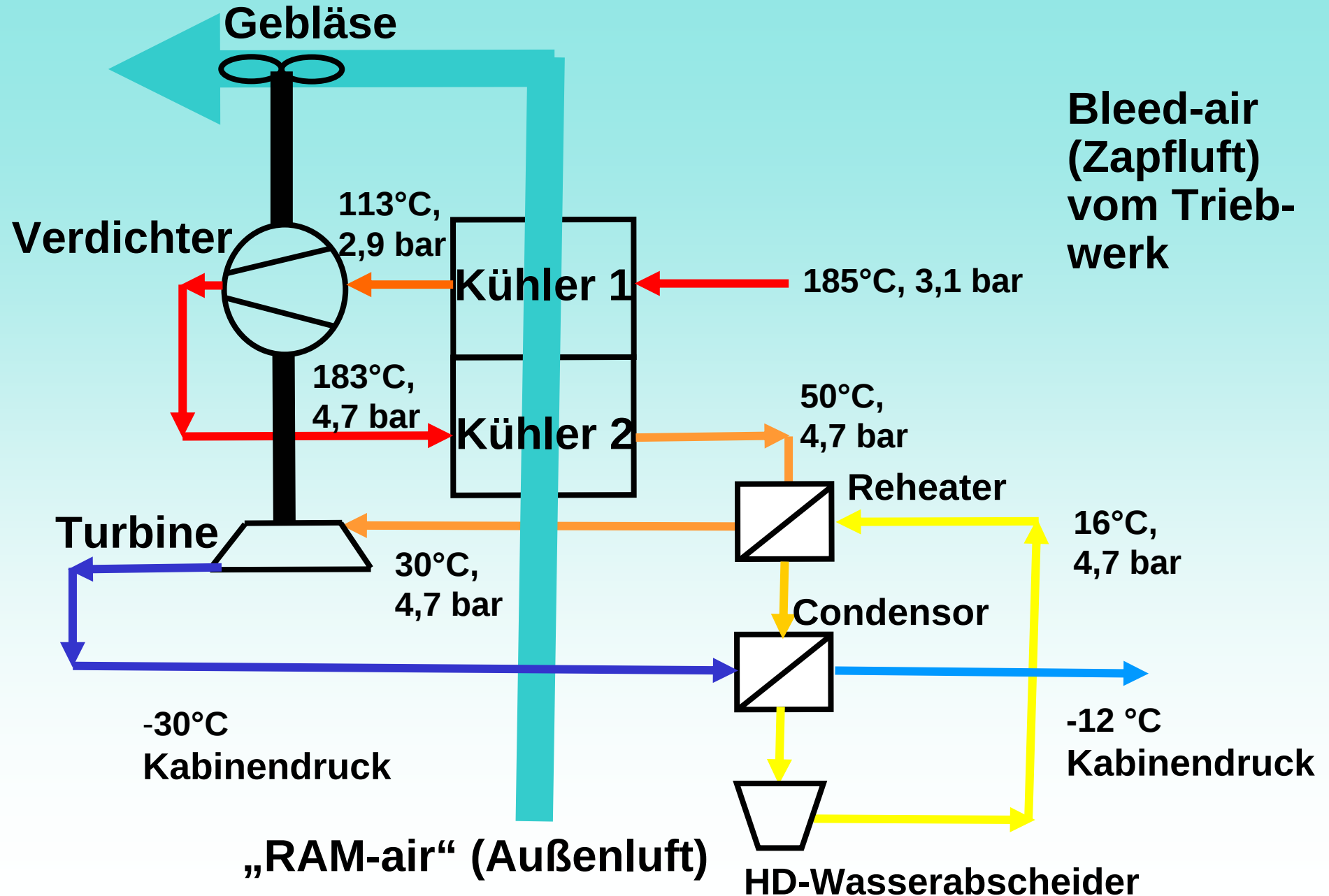
Environmental Control System - 2



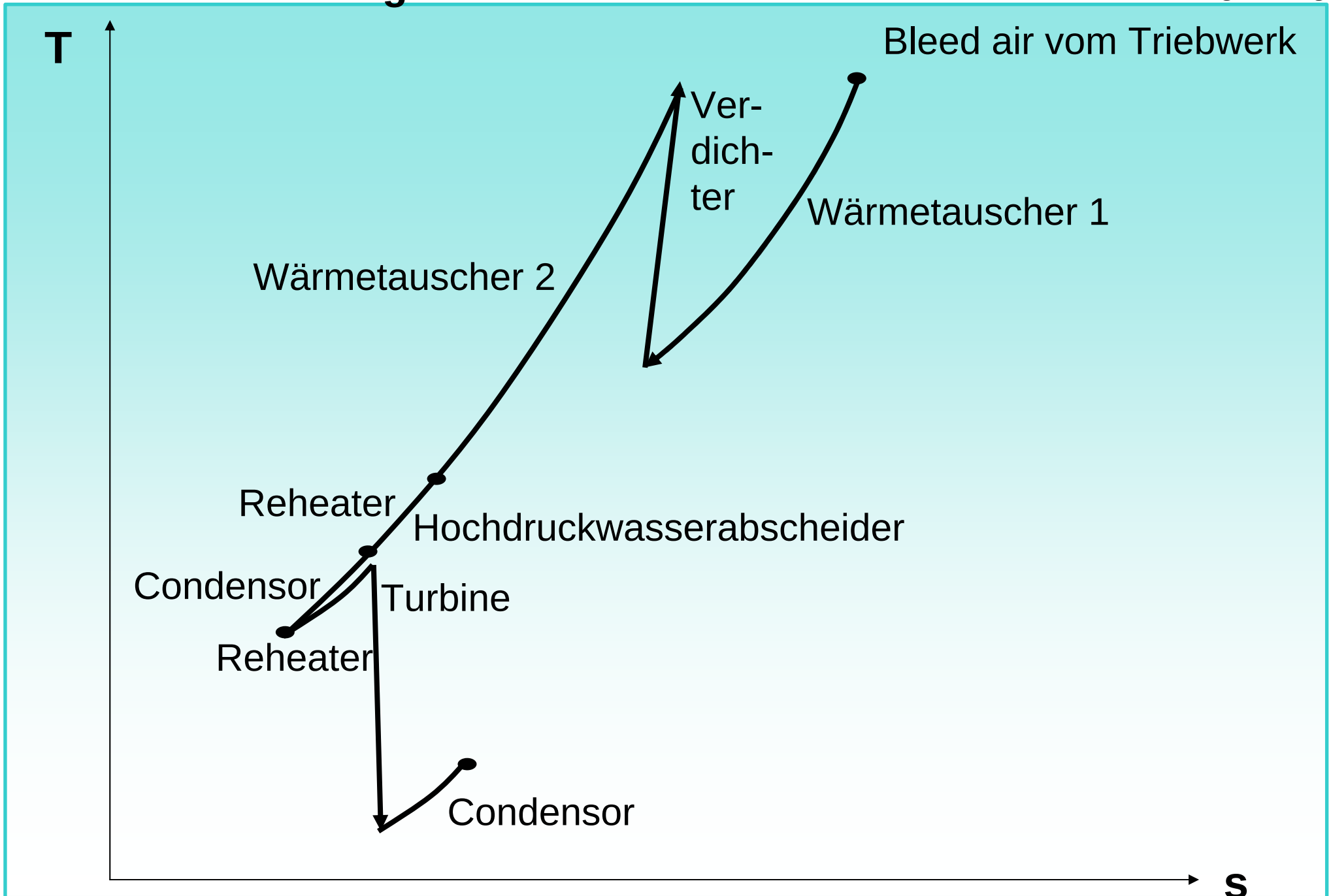
Kälteerzeugung - konventionell

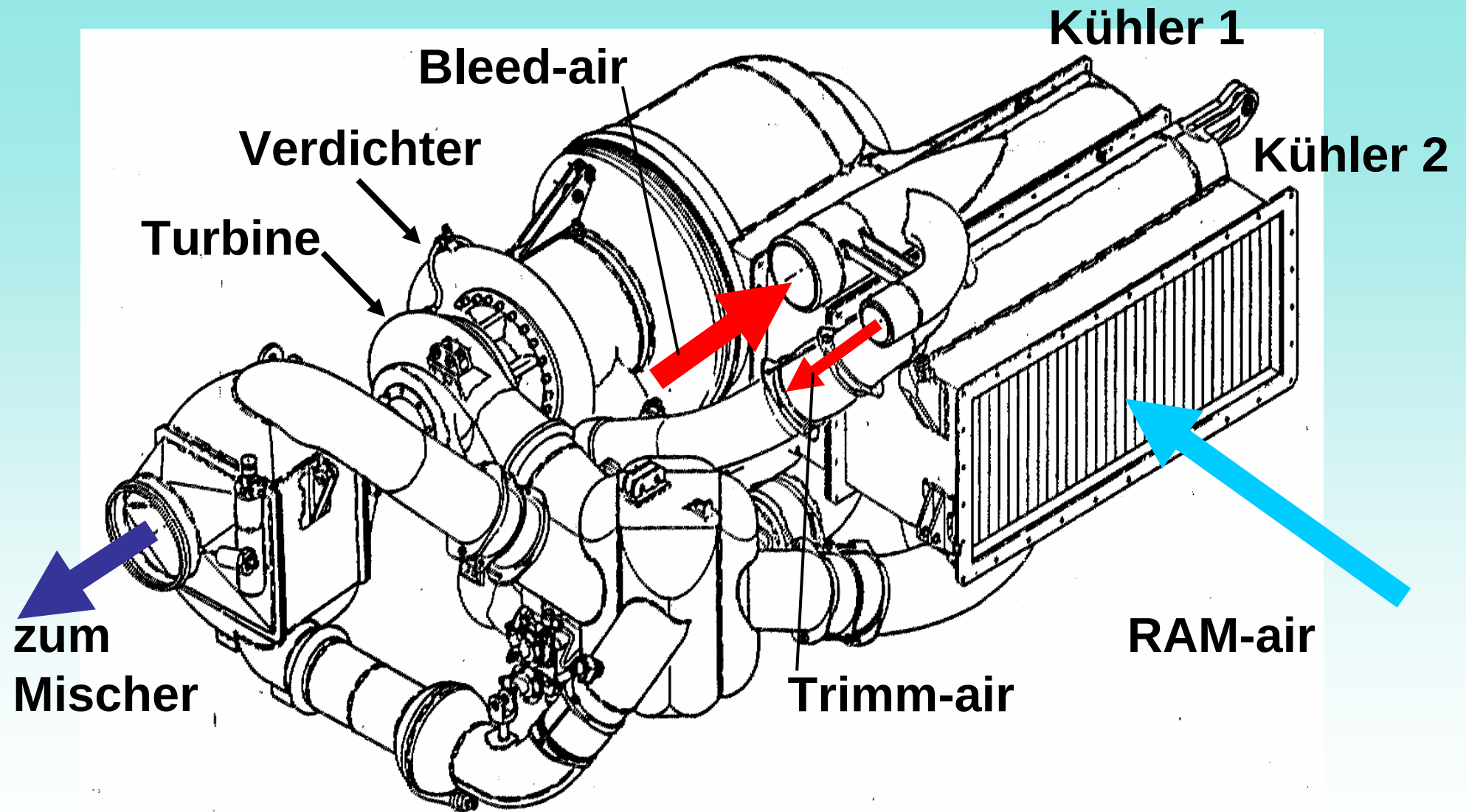


Kälteerzeugung im Flugzeug

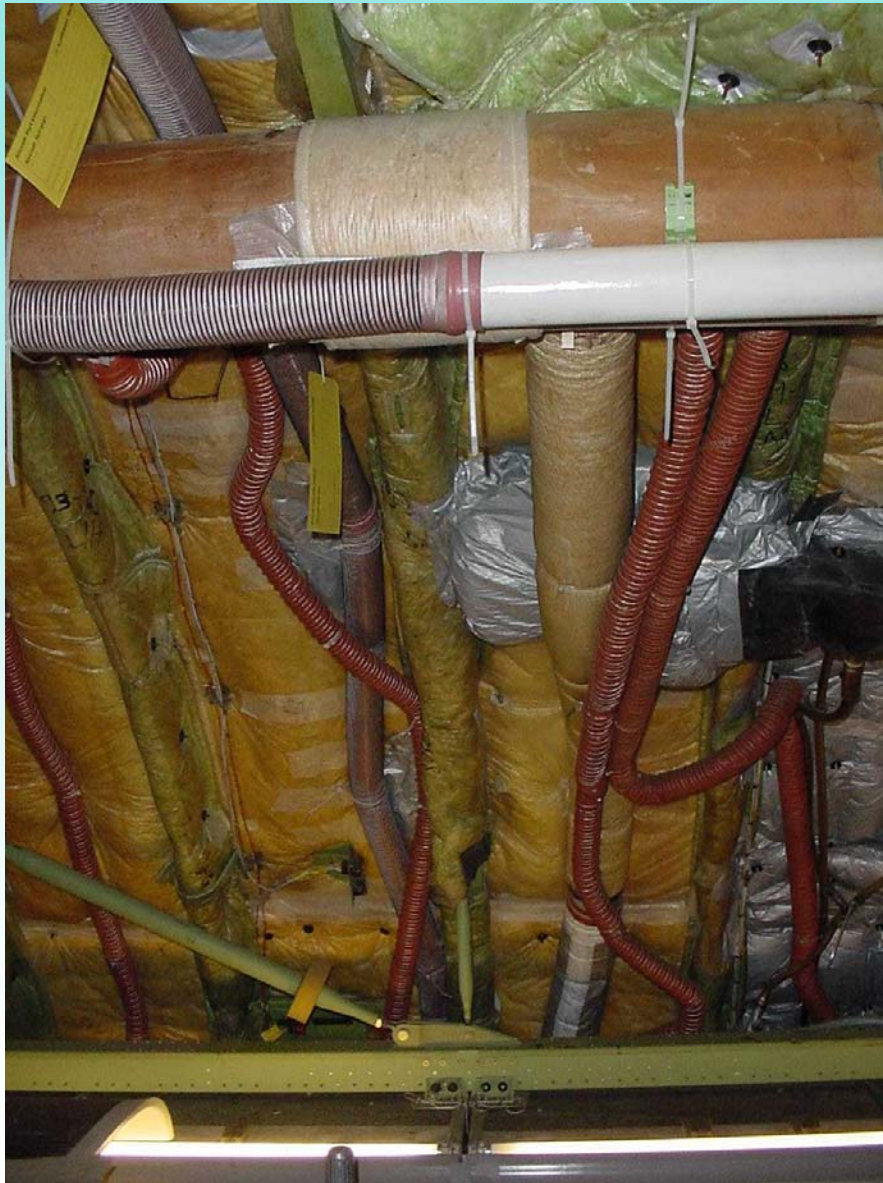


Prozess im T-s-Diagramm

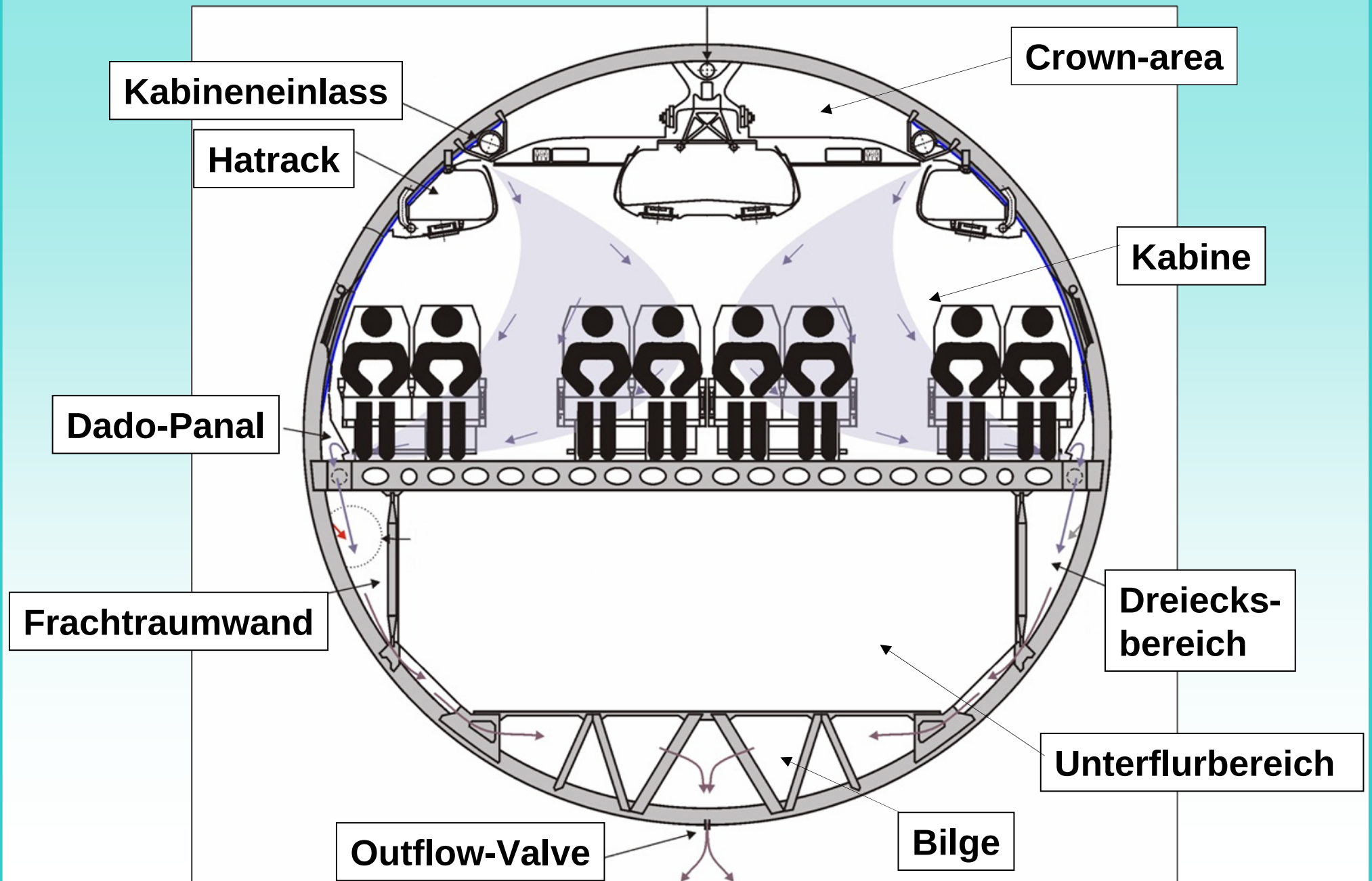




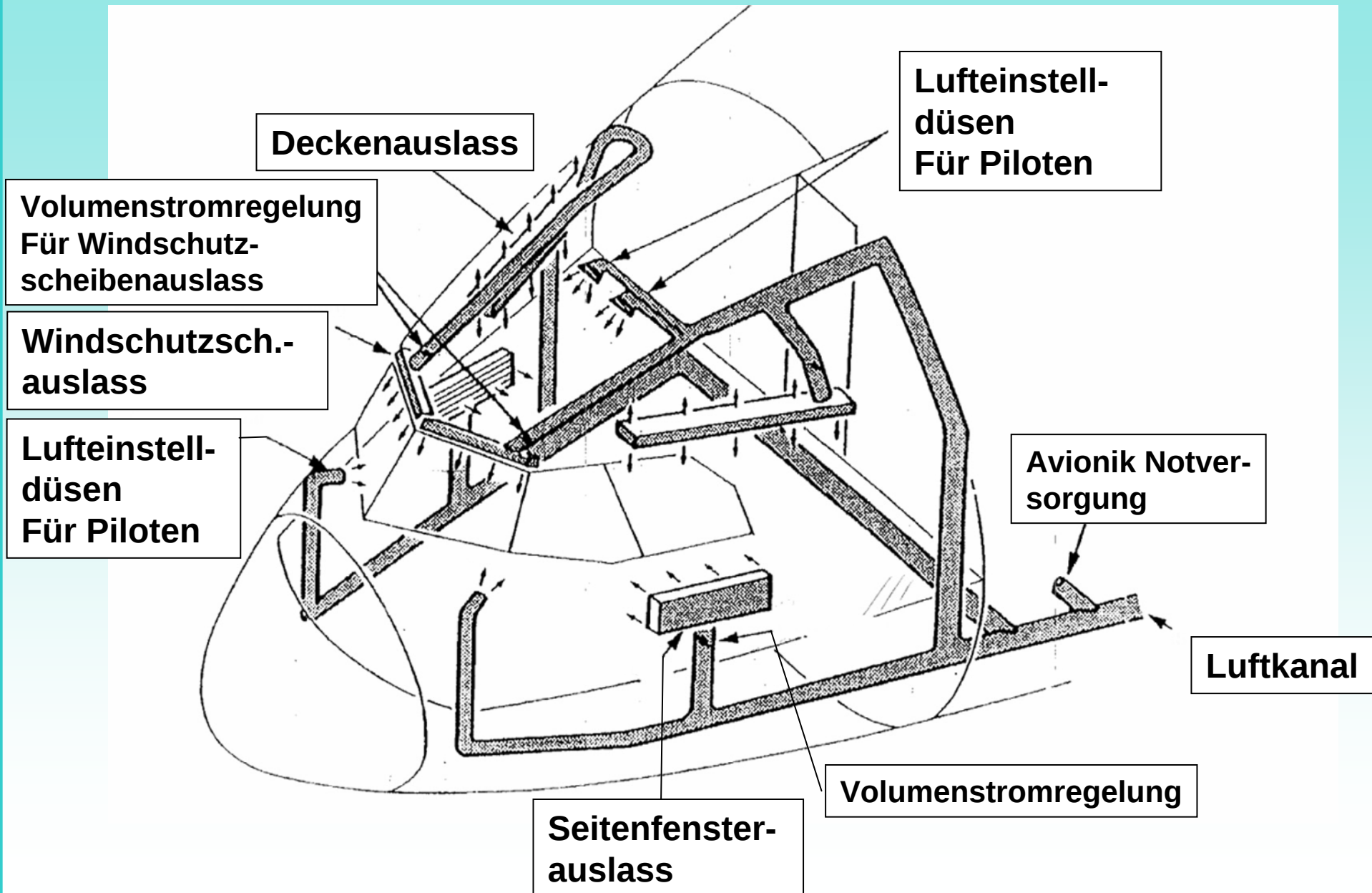
© Liebherr Aerospace



Schnitt Kabine



Pilotenkanzelbelüftung



- Einführung
- Anforderungen an Flugzeugkabinen
- Klimatisierung von Flugzeugkabinen
- **Aktuelle Forschungsarbeiten**
- Zusammenfassung und Ausblick

Der Spiegel Nr. 22 / 2003 26.05.2003 S. 192



os (2. v. l.)

Schauspie-
y zu ihrer
ngbeinige
tschriften-
takel „X-
stand, dass
um mög-
nen. Denn
g bestand
nzkörper-
n und acht
cht, so er-
chter hol-
gern Filet
ssert Eis-
läufe pro
-Prozedur
en – nennt
l.

Der Spiegel, Nr. 22/2003 (26.5.2003), S.192

Heinrich von Pierer, 62, Vielflieger und oberster Chef des Siemens-Konzerns, hat von seinem letzten Asien-Trip mit dem Kanzler eine wichtige Erkenntnis mitgebracht: Wer mit dem Regierungschef reist, verriet er nach seiner Rückkehr engen Vertrauten, sollte viel Zeit mitbringen und immer mehrere frisch gebügelte Ersatzhemden im Koffer haben. Schon auf dem Hinflug wunderte sich der Topmanager, dass die Maschine der Bundesluftwaffe zweimal zwischenlanden musste, bevor sie ihr erstes Etappenziel in Indonesien erreichte.

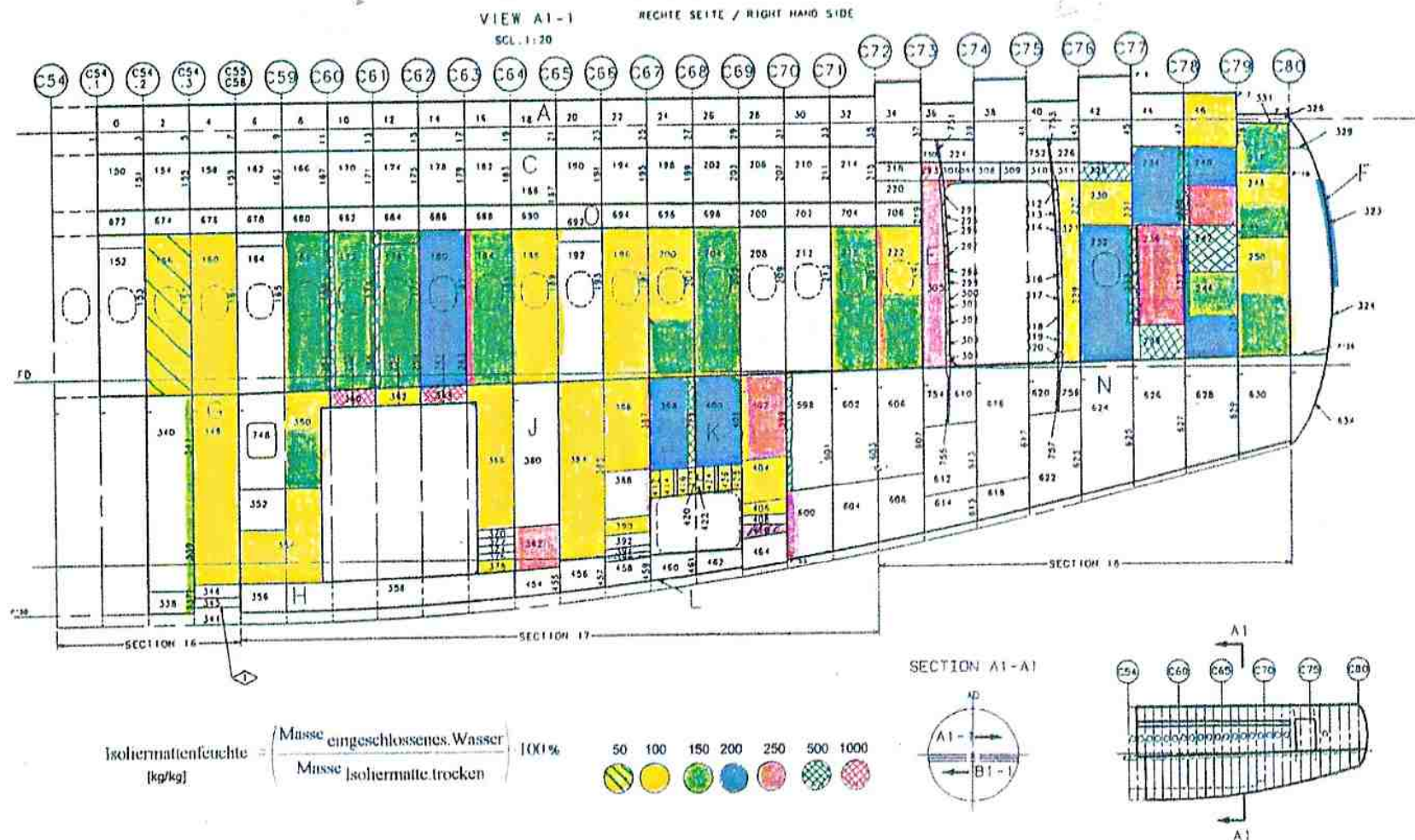
Die angejahrte Maschine vom Typ Airbus A310, in der bereits DDR-Chef Erich Honecker zu den Machthabern kommunistischer Bruderstaaten abhob, schafft längere Distanzen nur, wenn sie zwischendrin mehrmals aufgetankt wird. Als besonders lästig erwies sich das letzte kurze Teilstück von Singapur nach Jakarta. Schröder und von Pierer hatten sich bereits für den bevorstehenden Staatsempfang der indonesischen Regierung fein gemacht, da tröpfelte aus der Deckenverkleidung über dem Sitz des Kanzlers plötzlich Kondenswasser hernieder. In seiner Not hielt Schröder ein Wasserglas unter das Leck, um die Flüssigkeit aufzufangen. Der Siemens-Chef sprang dem Bundeskanzler mit einem weiteren Becher bei, leider vergebens: Der unfreiwillig geduschte Regierungschef musste das Hemd wechseln.

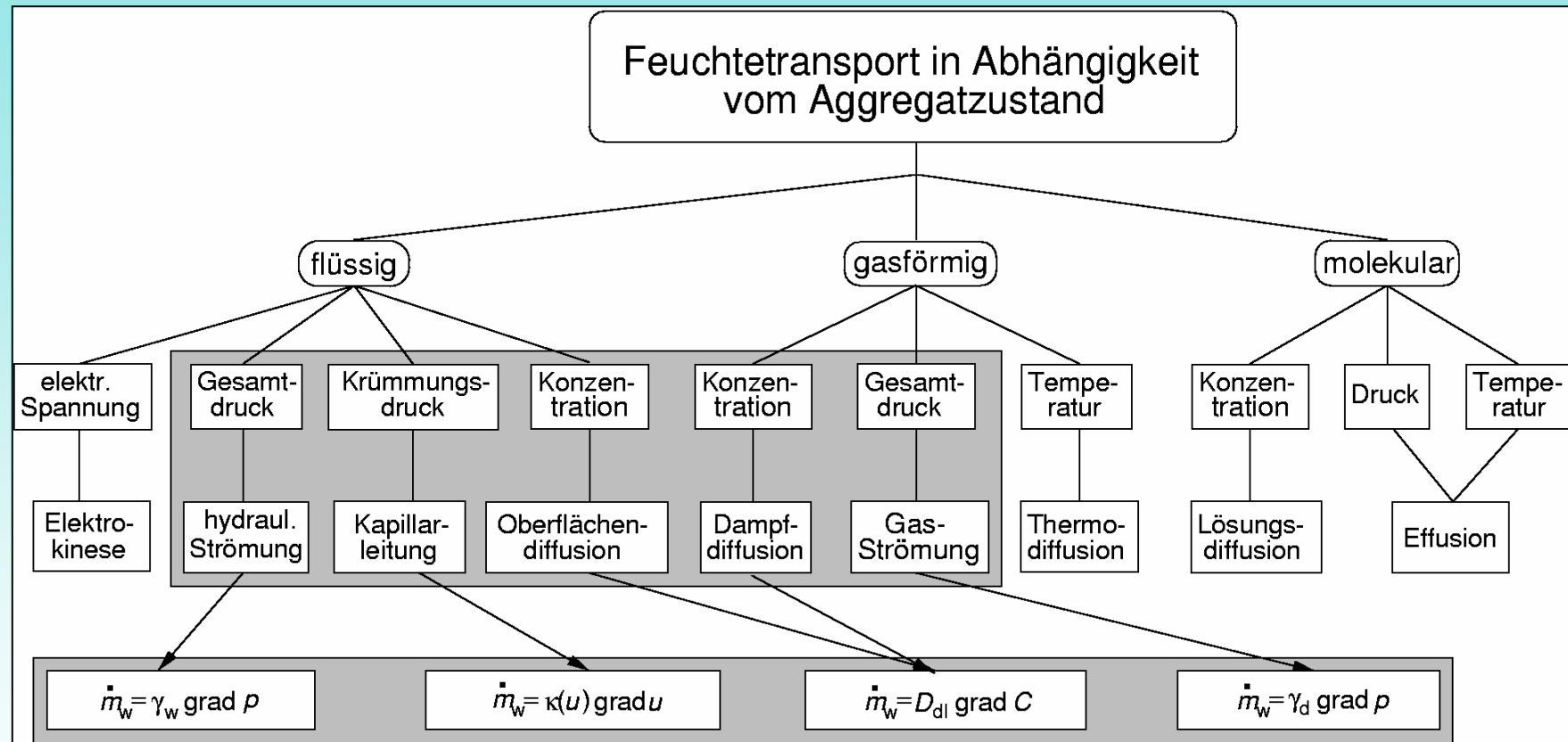
Micheline Calmy-Rey, 57, Außenministerin der Schweiz, gelang an der Demarkationslinie zwischen Nord- und Südkorea

Wasseransammlung in der Isolierung

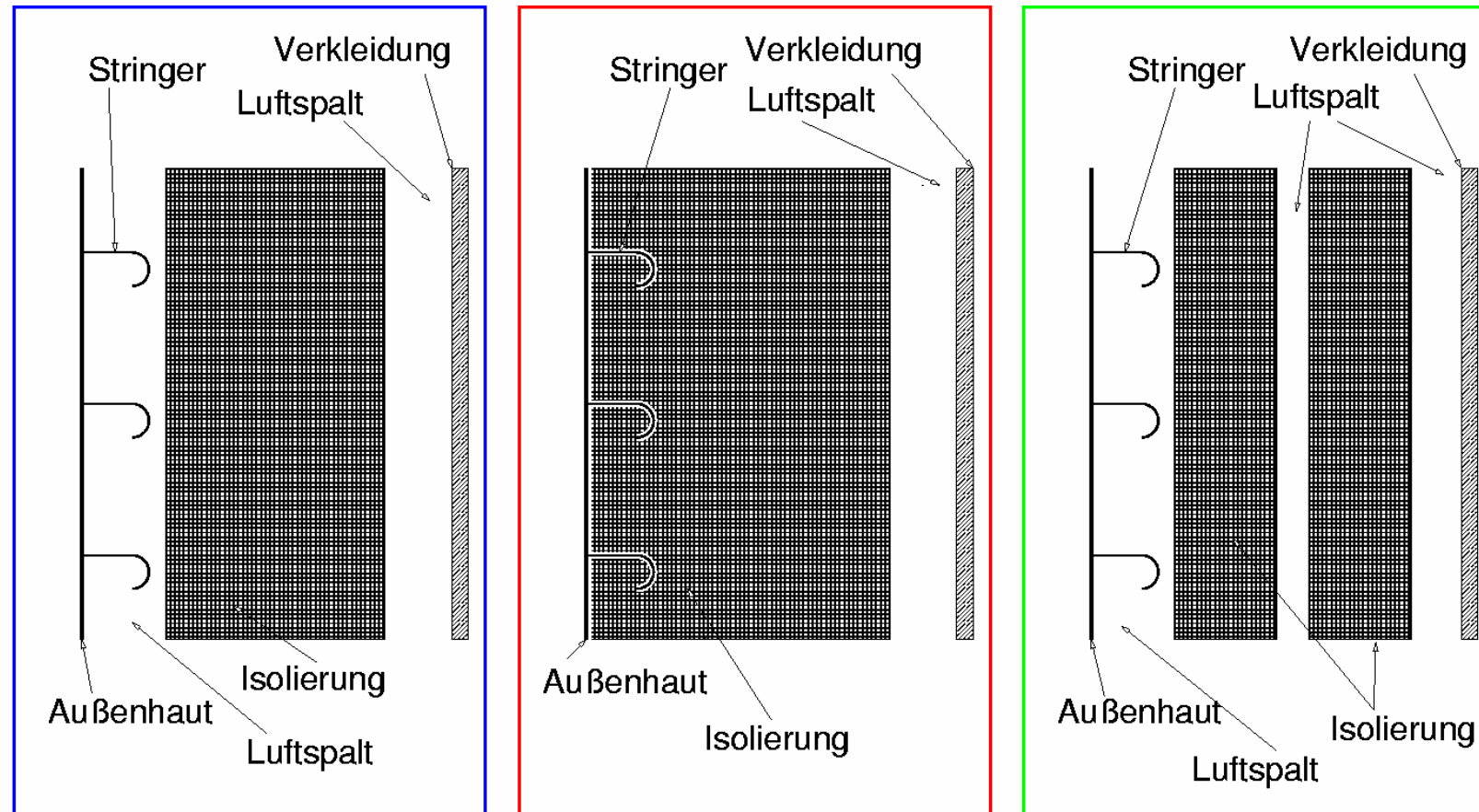
- **Korrosion der tragenden Konstruktionsteile**
- **Feuchtigkeit fördert Schimmelpilze und Bakterien**
- **unkontrollierte Wasserbewegungen “rain in the plane”**
- **gesteigertes lastunabhängiges Leergewicht des Flugzeuges $\Rightarrow$ erhöhter Kraftstoffverbrauch**
- **erhöhter Wartungsaufwand**



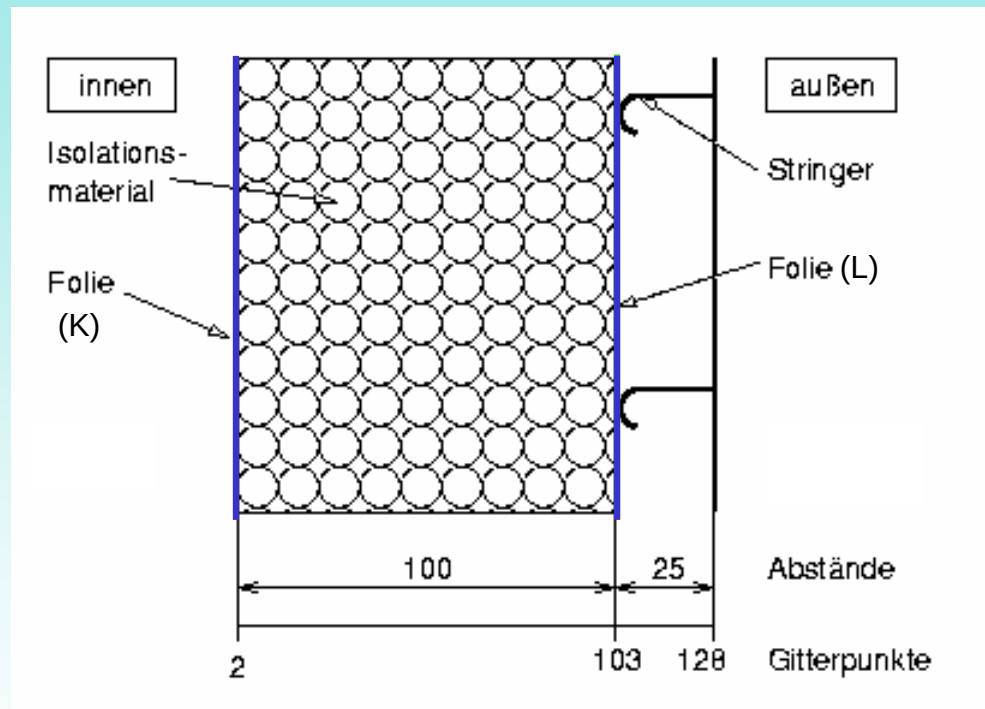




Bauweisenuntersuchung



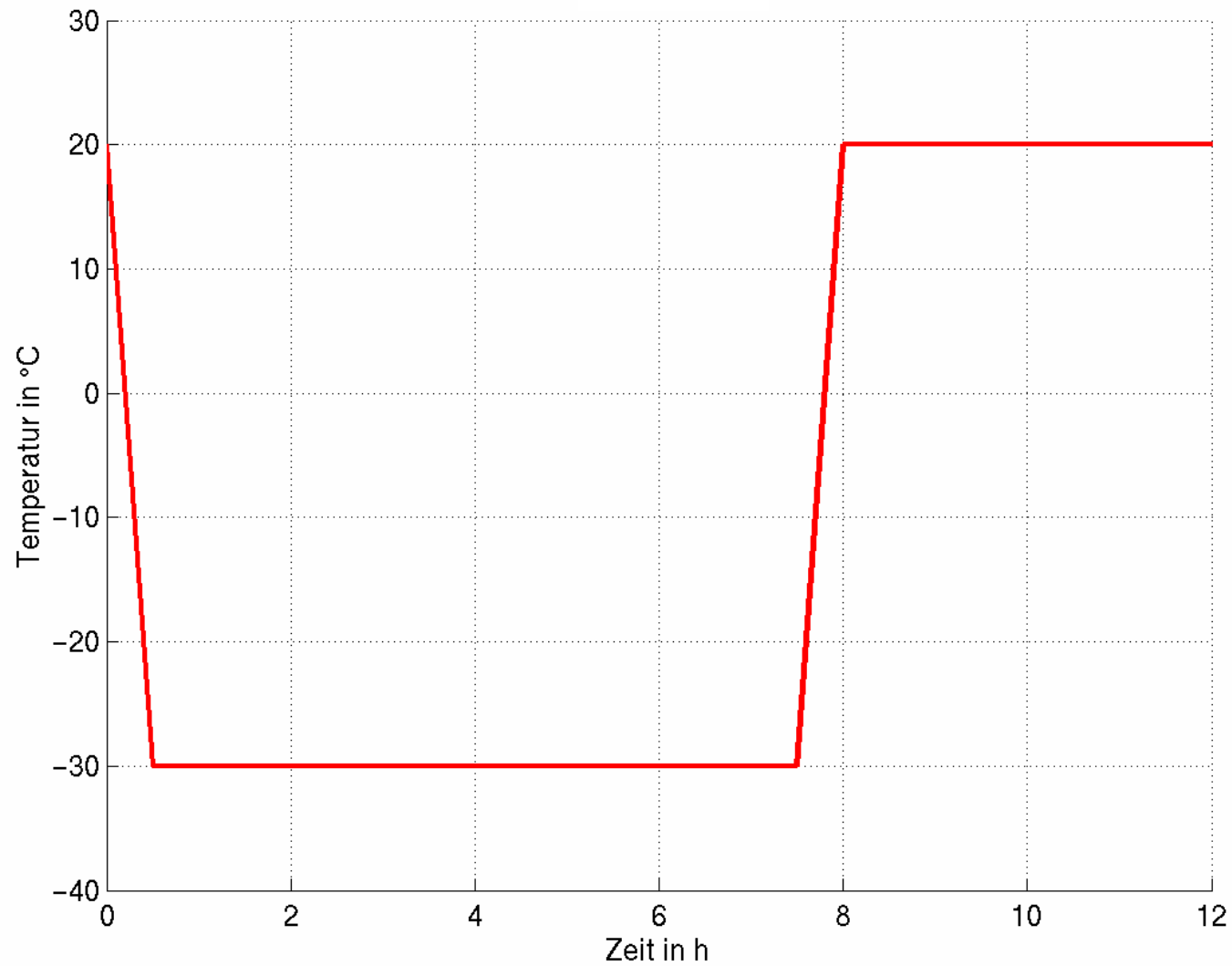
Foliendefinition

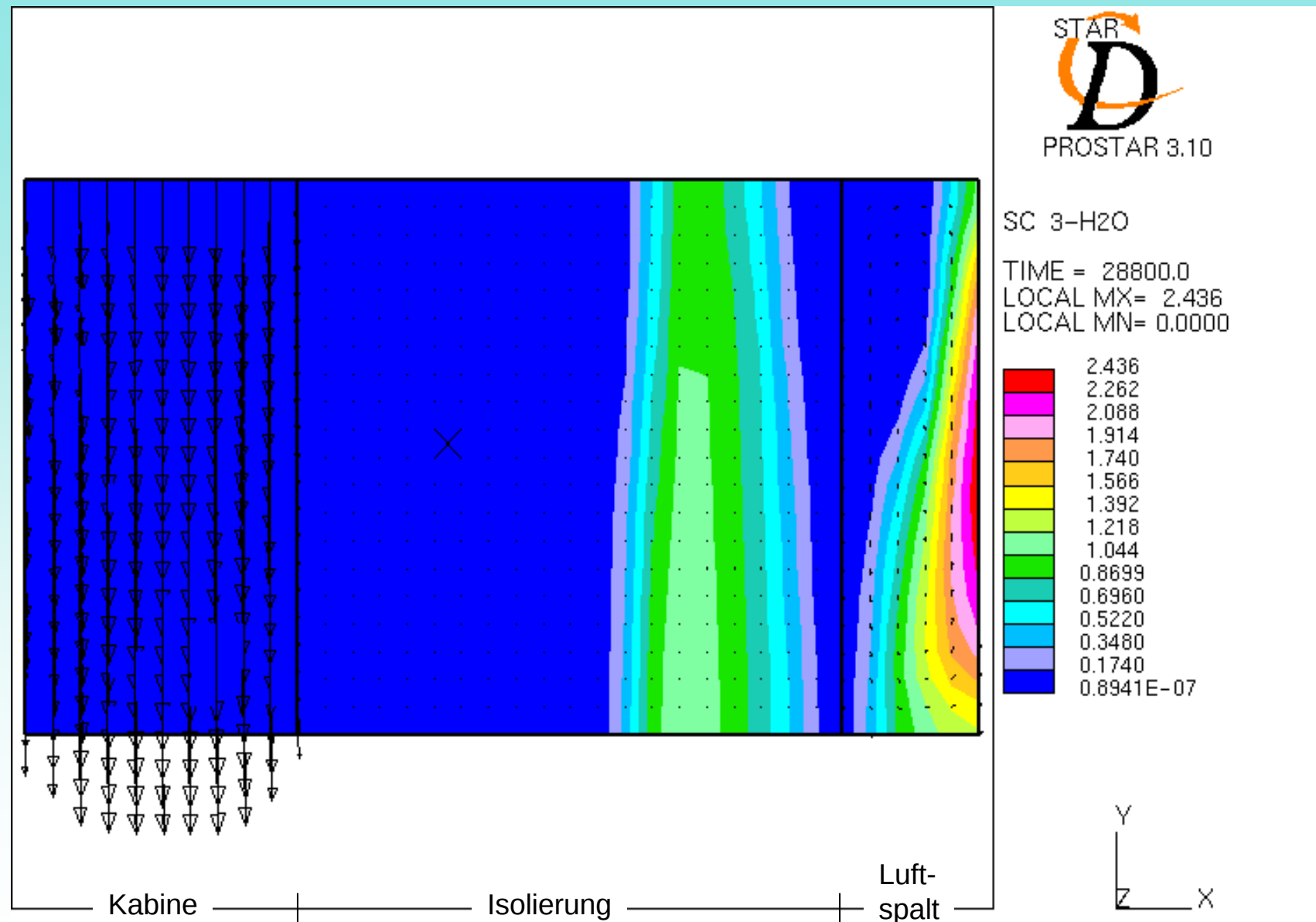


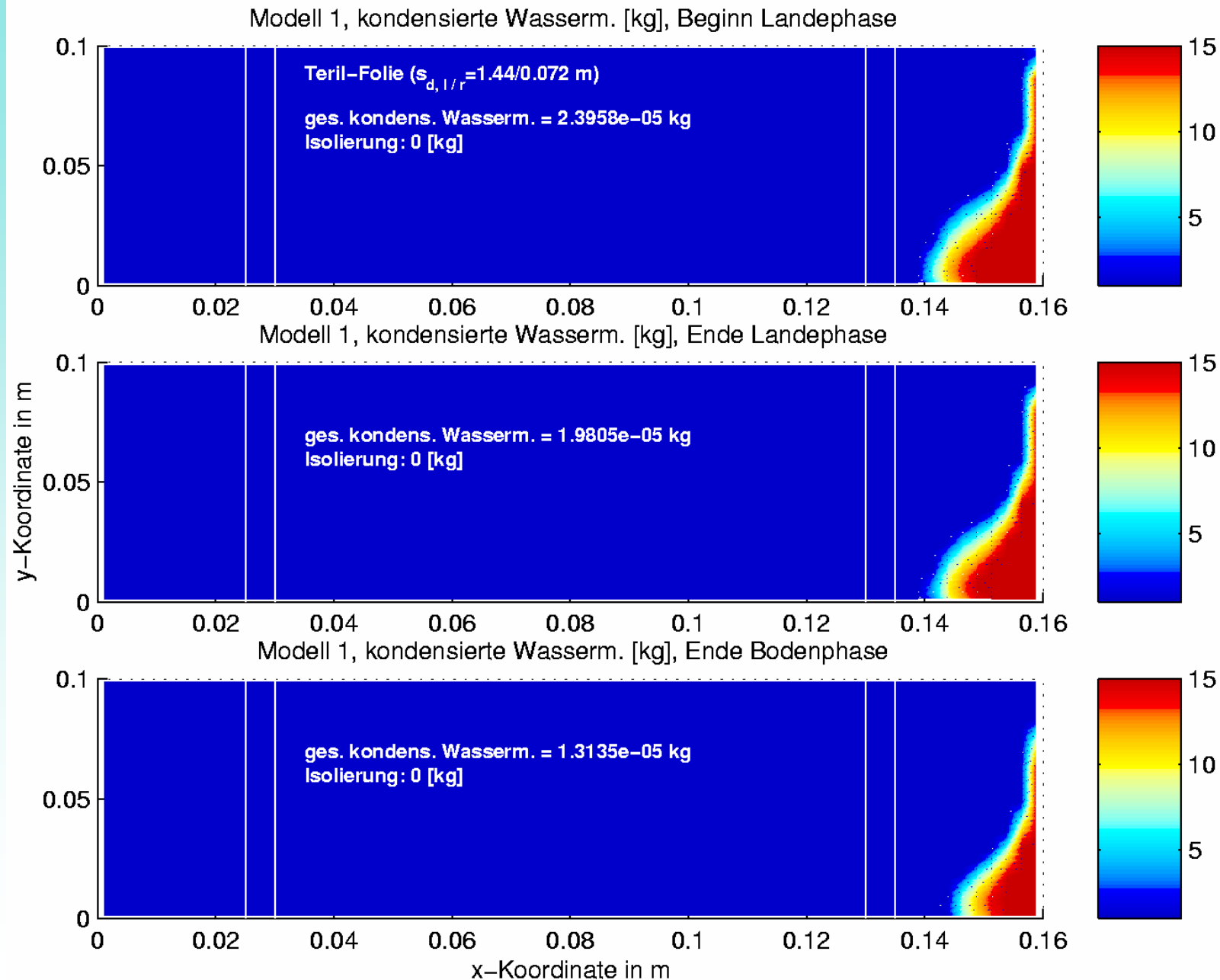
Betrachtete Umhüllfolien:

- **herkömmlich**
 $\mu = 70000 \text{ (K)} / 70000 \text{ (L)}$
- **Stringerseite durchlässig**
 $\mu = 70000 \text{ (K)} / 10000 \text{ (L)}$
- **adaptive Folie (IBP-Holzkirchen)**
 $\mu = f(p_d) \rightarrow 133750 \text{ (K)}$
 $225000 - 10000 \text{ (L)}$

Verlauf der Wandtemperatur

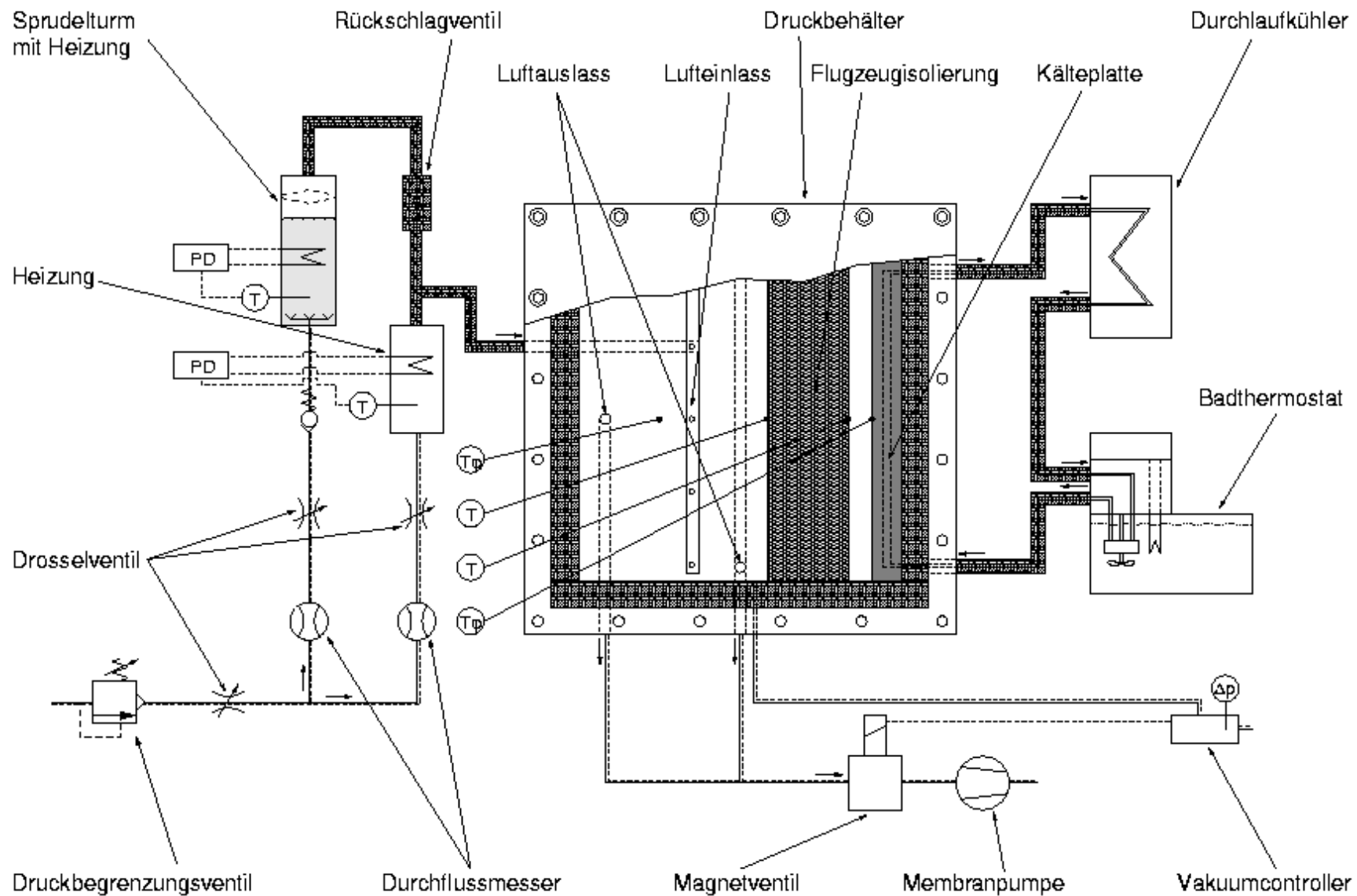


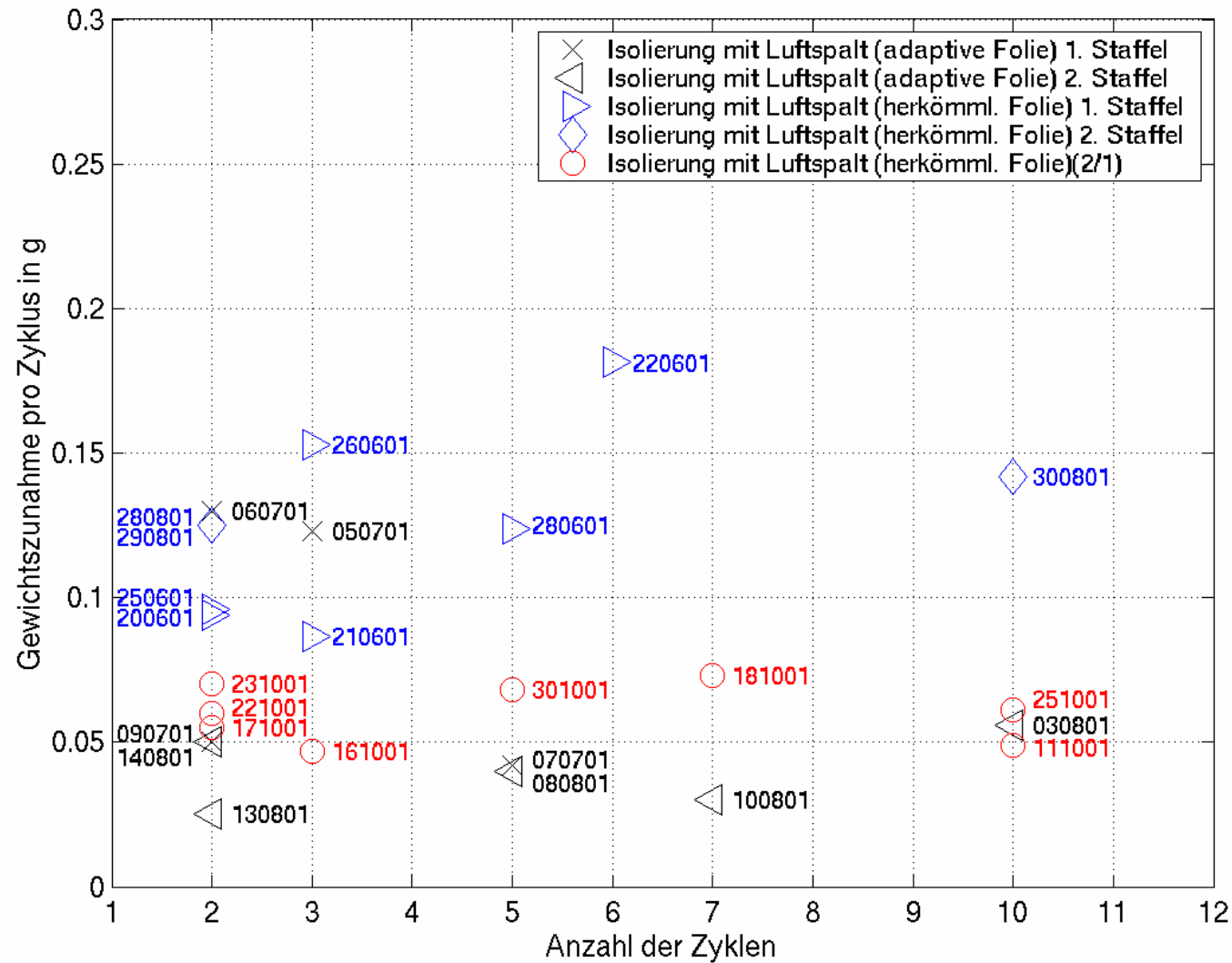






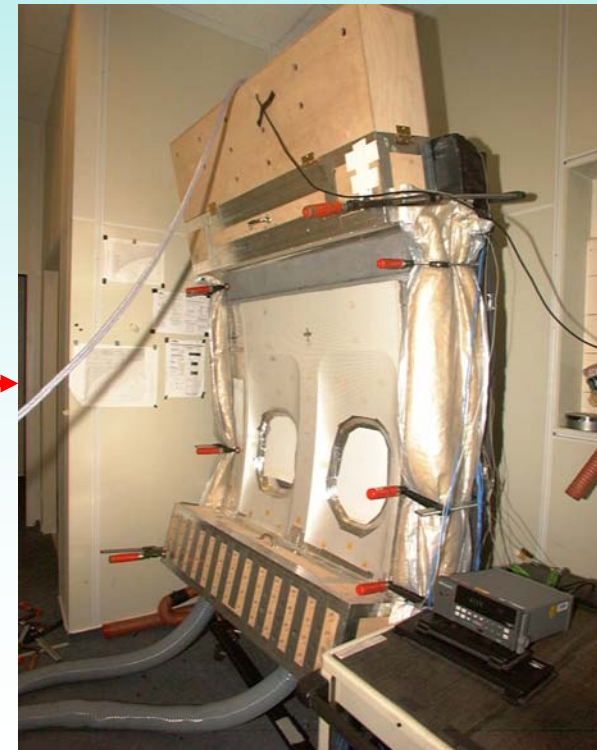
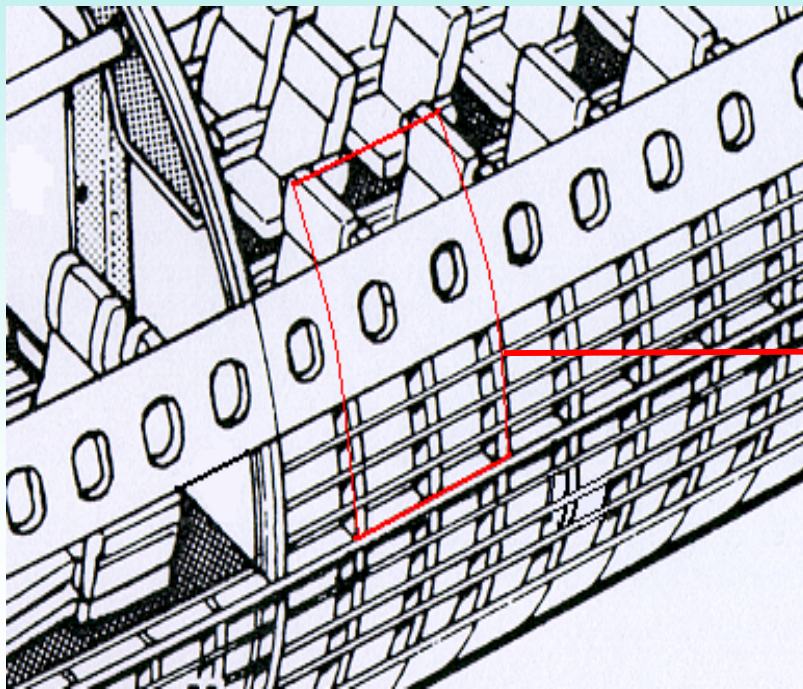
Versuchsstand (TUHH) - 2



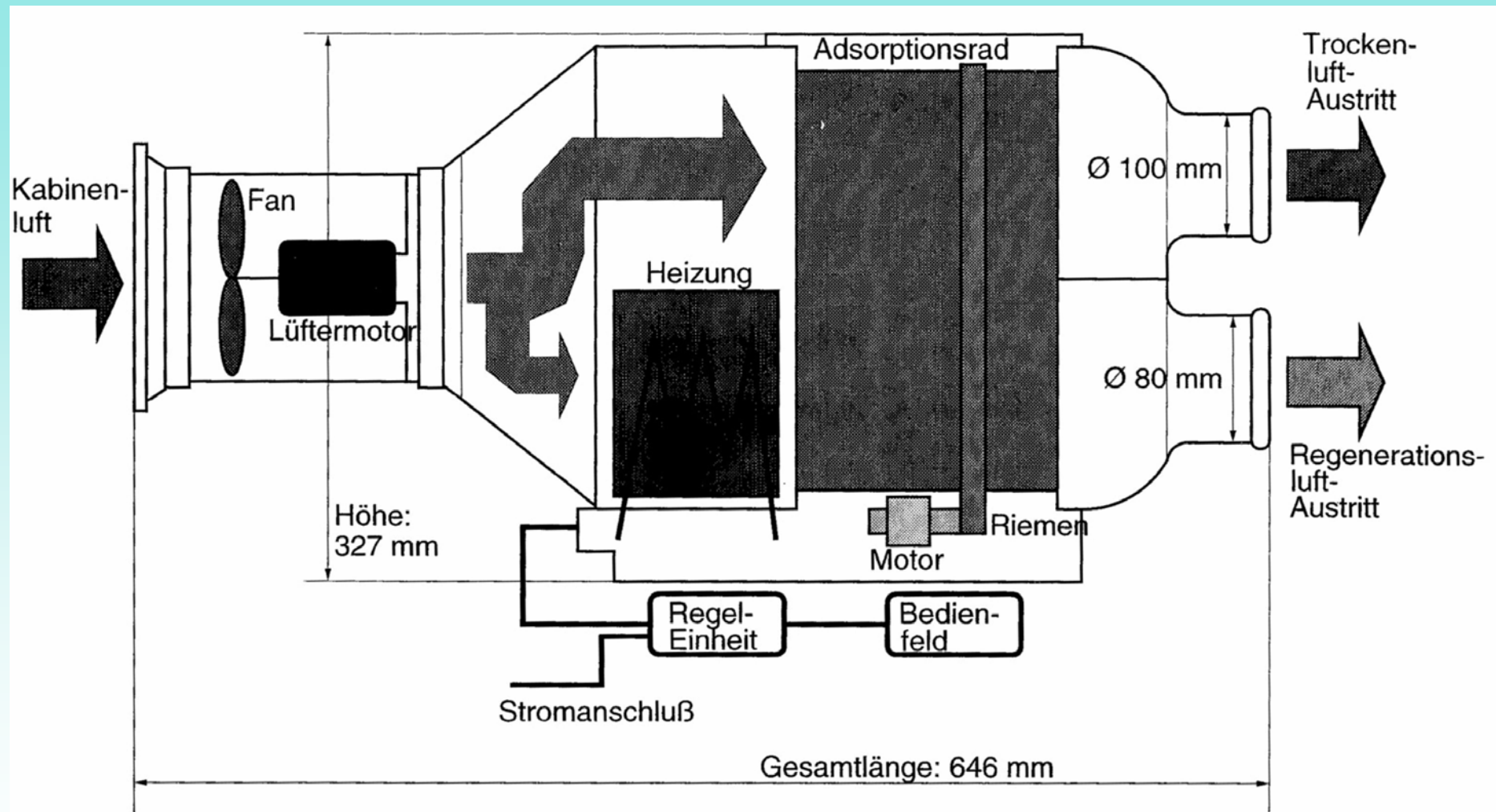


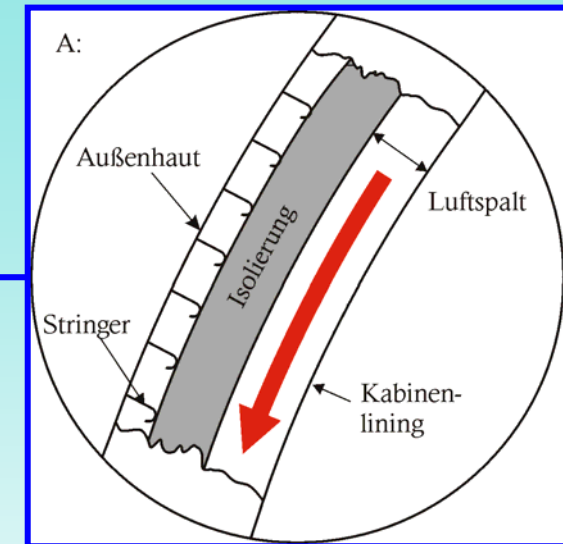
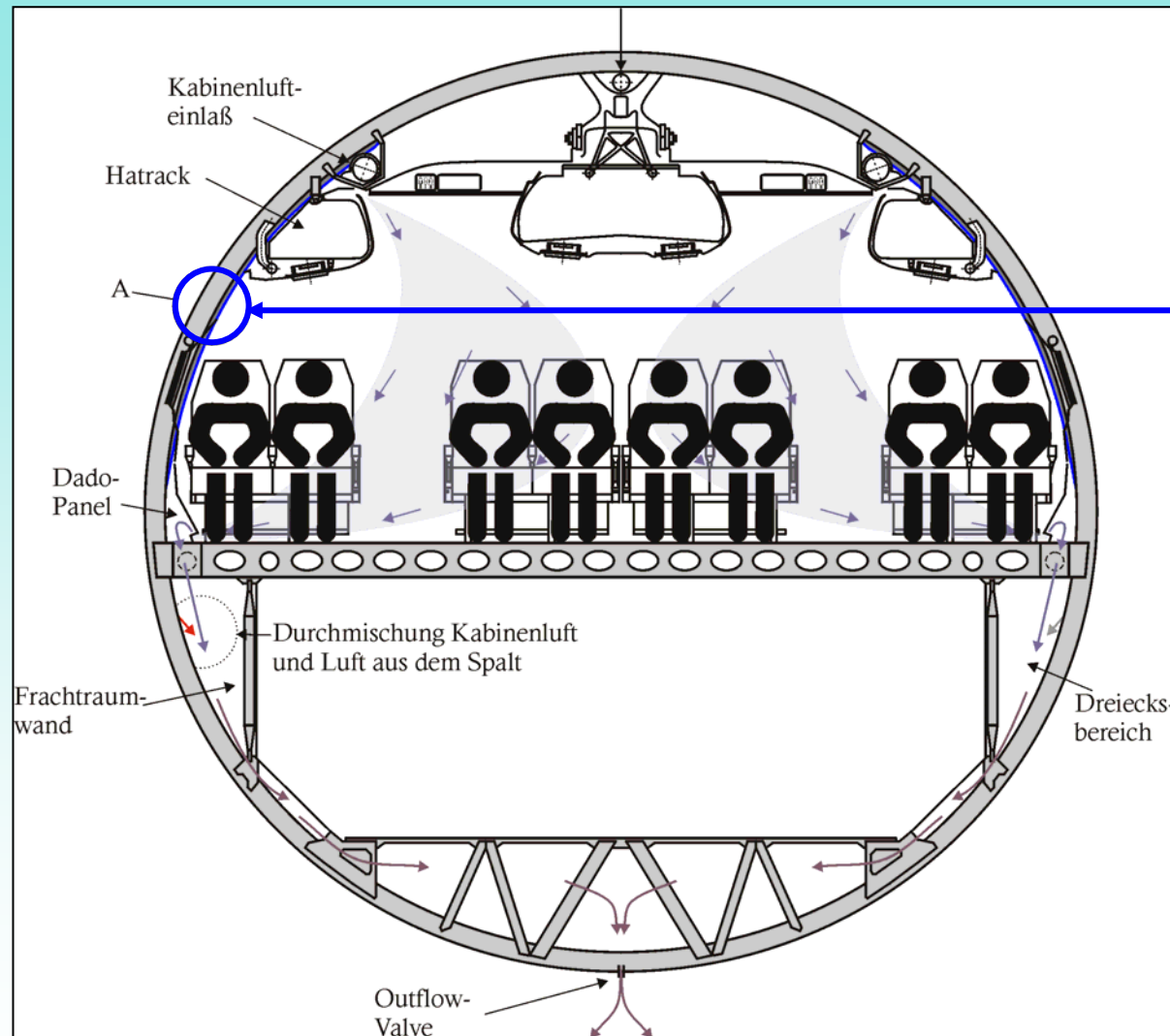
Versuchstand Airbus

- 2D und 3D Simulationen verschiedener Aufbauten
- Messungen am Modellversuchsstand unter veränderten Randbedingungen
- Messungen an einem original A340 Seitenteil



Zonal Dryer - 1





Zonal Dryer - 2

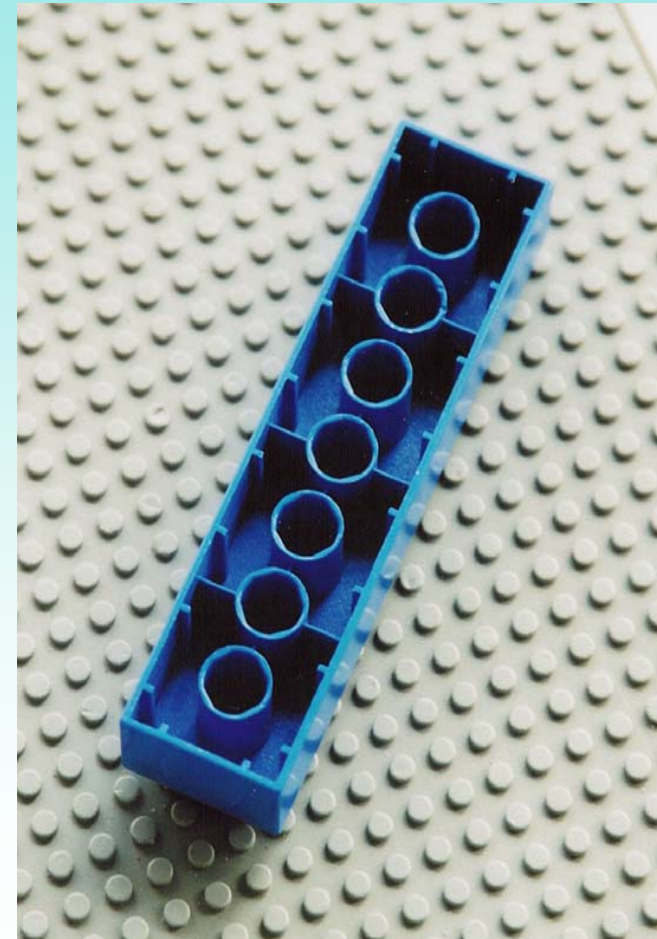


Physikalisch basierte, objektorientierte Simulation

Merkmale einer objektorientierten Programmierung:

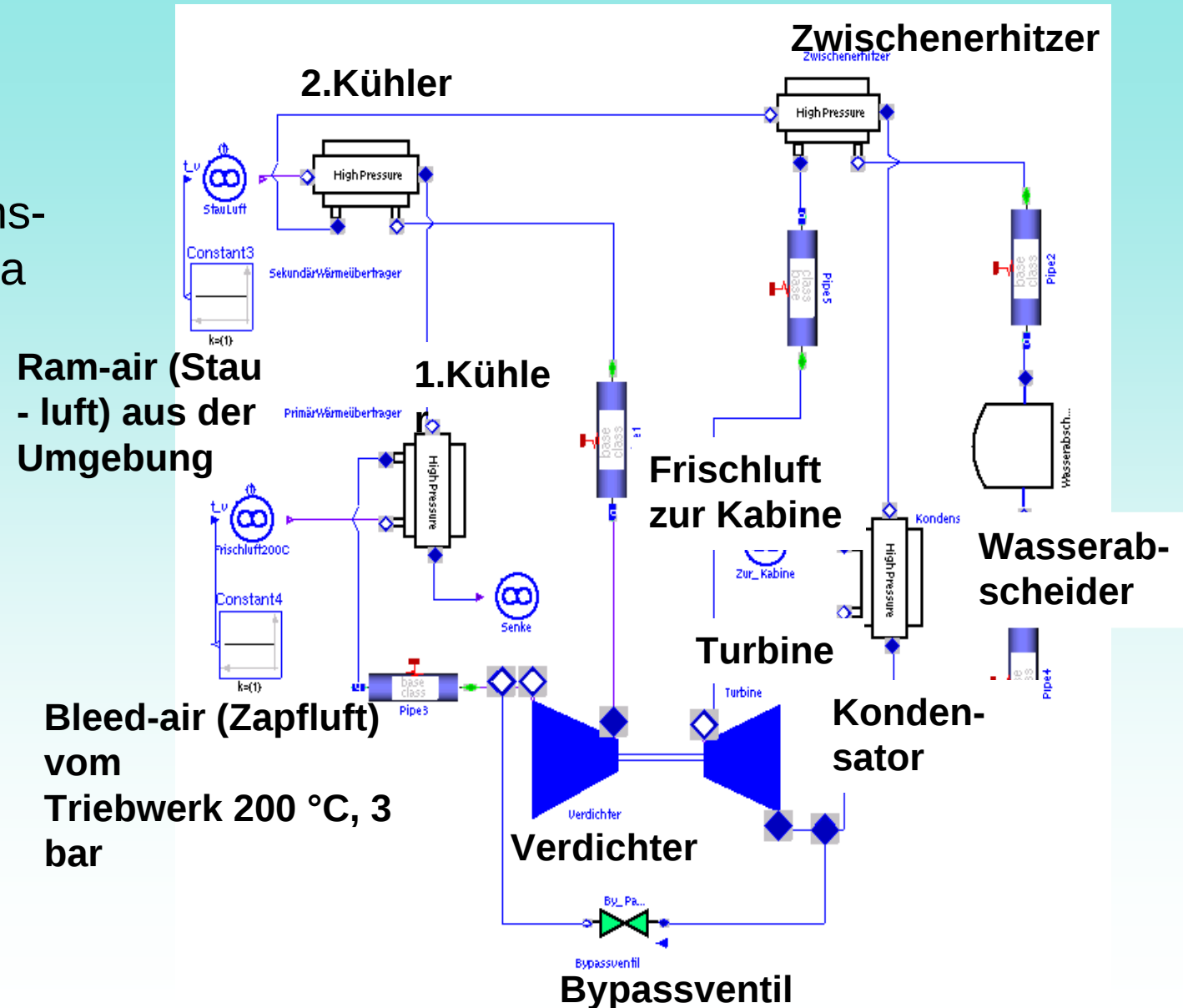
- Klassen $\xrightarrow{\text{Parameter-
zuweisung}}$ Objekte
- Vererbung
- Aggregation
- Informationsaustausch zwischen Klassen nur über definierte Schnittstellen (Schnittstellen - Klassen)

„Alles nur einmal“



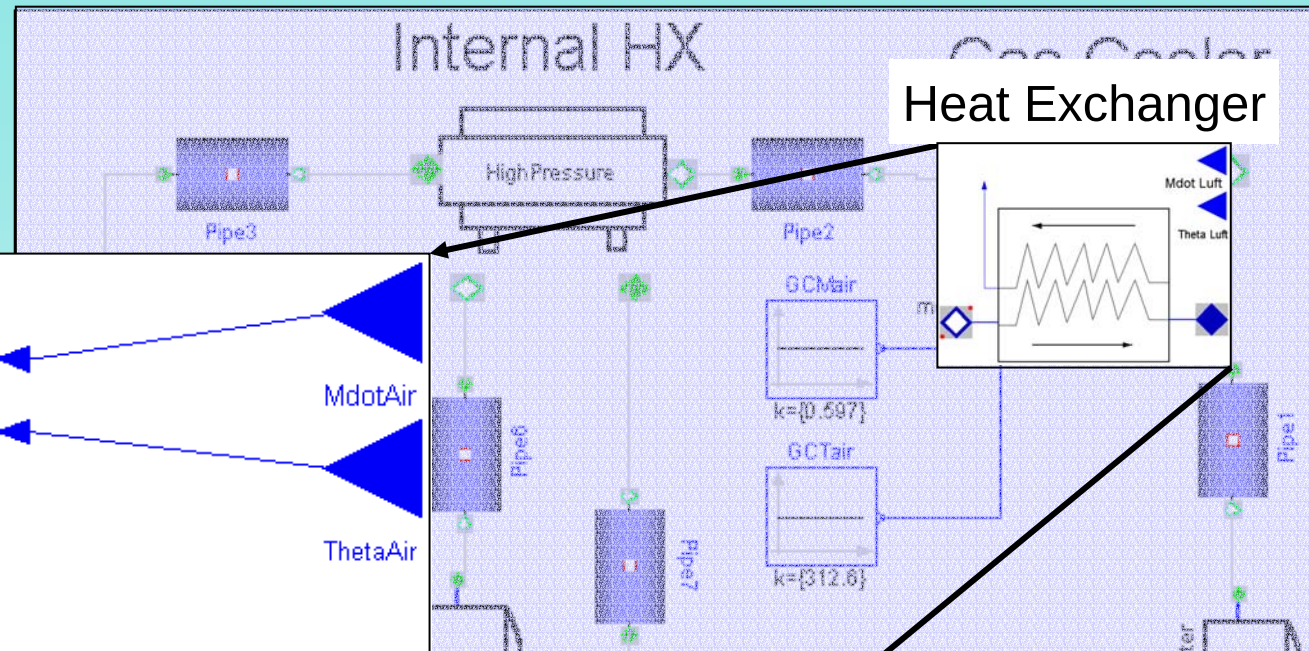
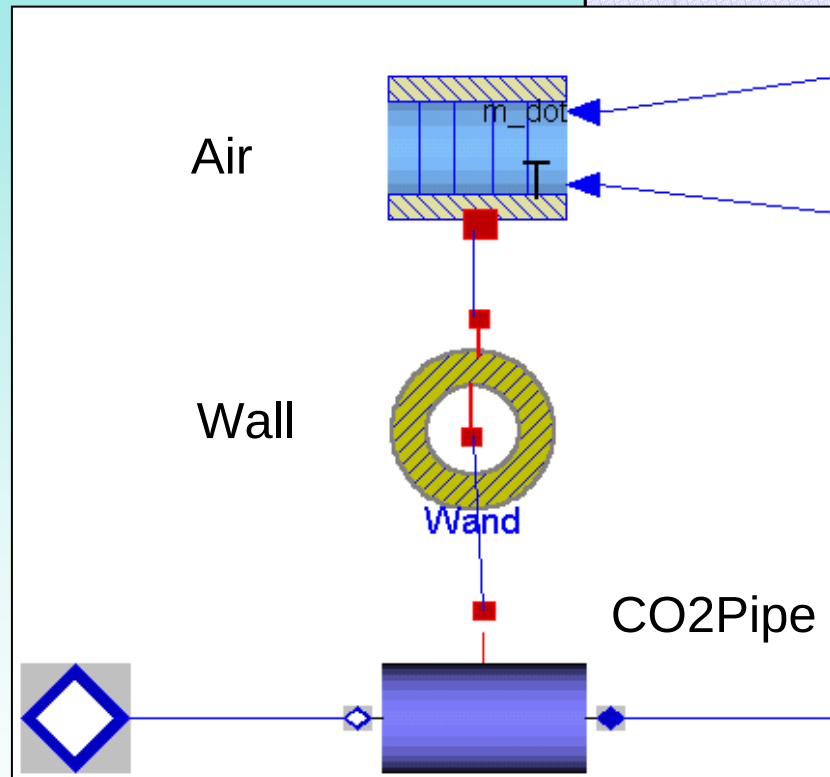
Objektdiagramm

- Objektdiagramm eines Package in der Simulationssprache Modelica



Modelica / Dymola - 1

Hierarchical Structure

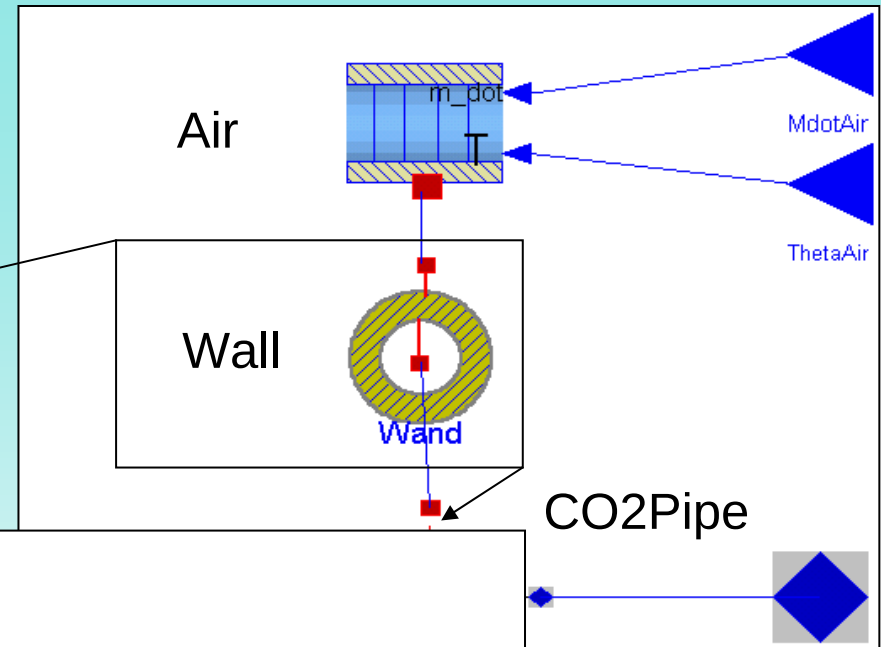


```

model C02HeatExchanger
  parameter SIunits.Length L=5;
  ...
  Pipes.FlatTubePipe C02Pipe;
  AirHeatTransfer.AirChannel Air;
  WallModels.DynamicWallCF Wall;
  ...
equation
  connect(Air.AirHeatTrans, Wall.qb);
  connect(Wall.qa, C02Pipe.q);
  ...
end C02HeatExchanger
  
```

Modelica / Dymola - 2

Non-causal modelling



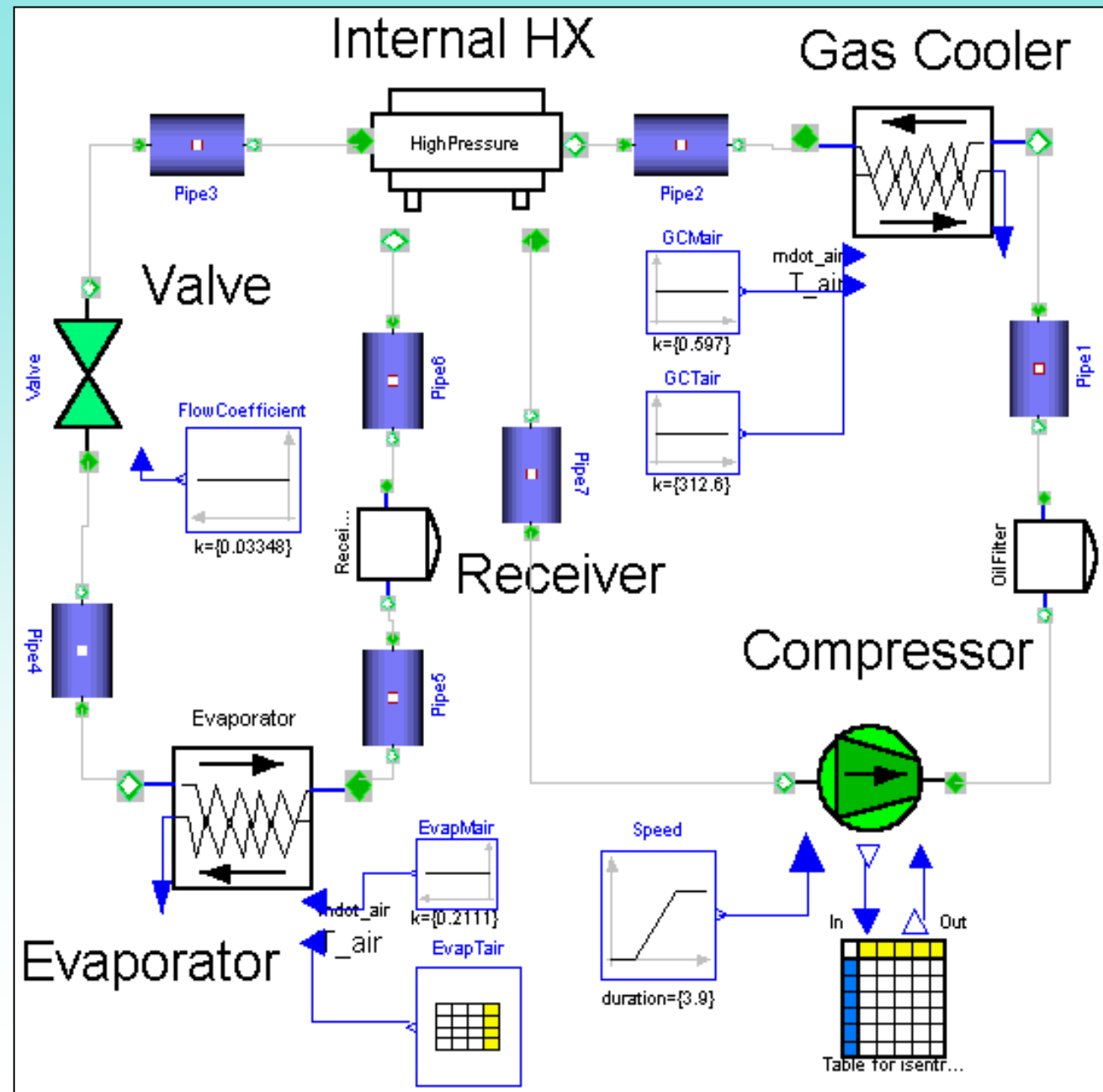
```

class DynamicWallCF
  „Cylindric, capacitive wall; cross-flow“
  parameter Integer n(min=1) = 1;
  parameter SIunits.Temperature T_wall0=273;
  ...
  ThermoFluid.Interfaces.HeatTransfer.HeatFlowD qa(n=n);
  ThermoFluid.Interfaces.HeatTransfer.HeatFlowD qb(n=n);
equation
  for i in 1:n loop
    geo.Cp*geo.m/n*der(T_wall[i]) = qa.q[i] + qb.q[n + 1 - i];
    qa.q[i] = (qa.T[i] - T_wall[i])/(geo.Rw/n/2);
    qb.q[n + 1 - i] = (qb.T[n + 1 - i] - T_wall[i])/(geo.Rw/n/2);
  end for;
end DynamicWallCF
    
```

$$C_{Wall} \cdot m_{Wall} \cdot \frac{dT_{Wall}}{dt} = \sum_{i=1}^n \dot{Q}_i$$

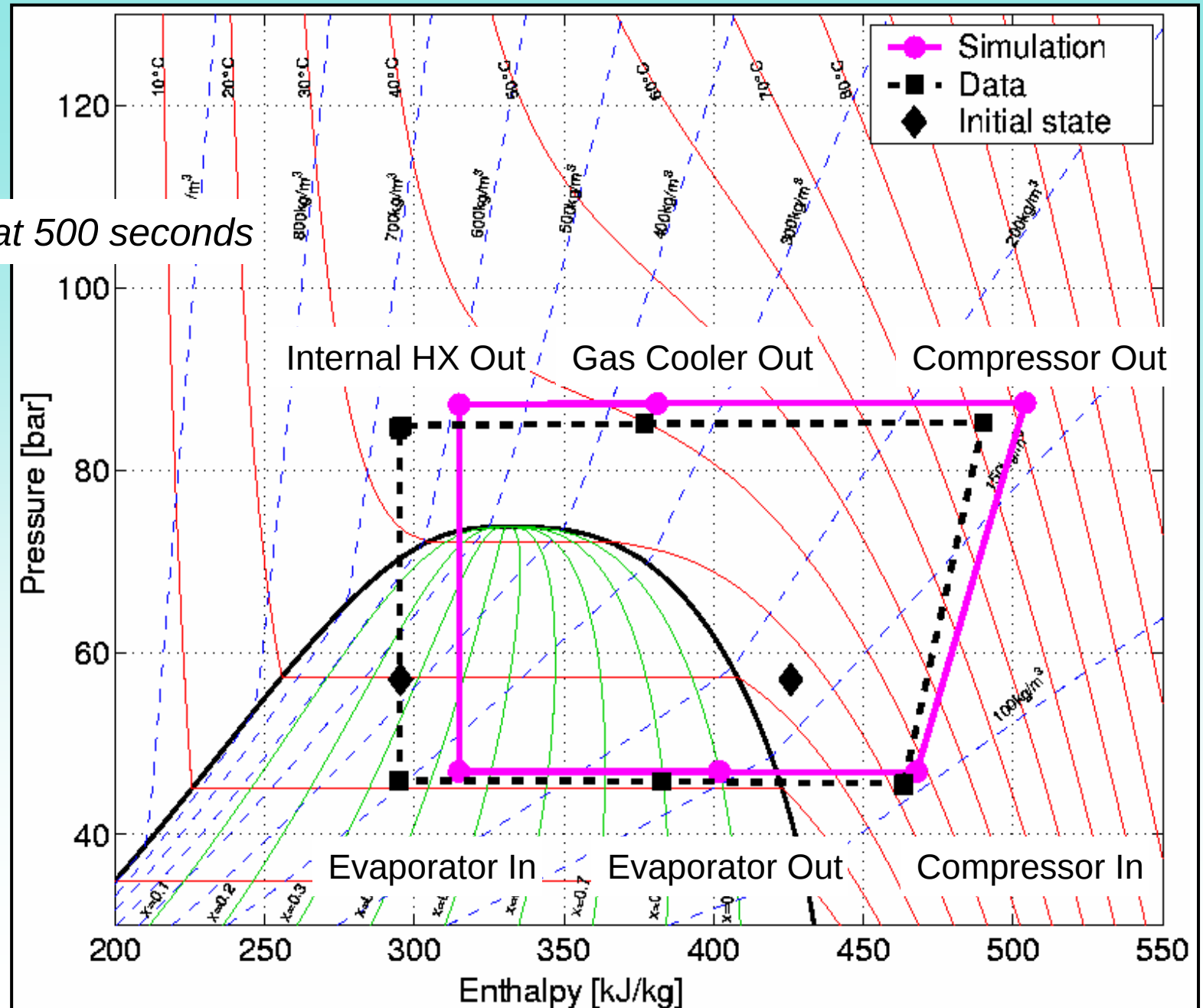
Modelica / Dymola - 4

Object Diagram of CO₂-Cycle

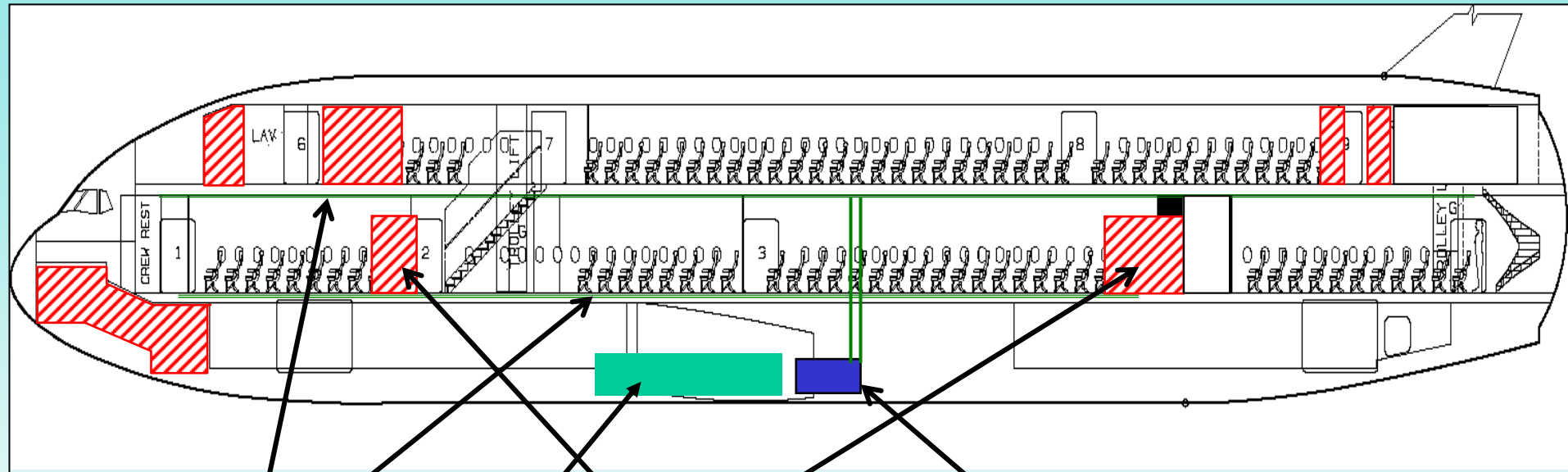


p, h -Diagram
of CO_2

Steady state at 500 seconds



System evaluation



■ Piping

■ Cooling points

■ Central components

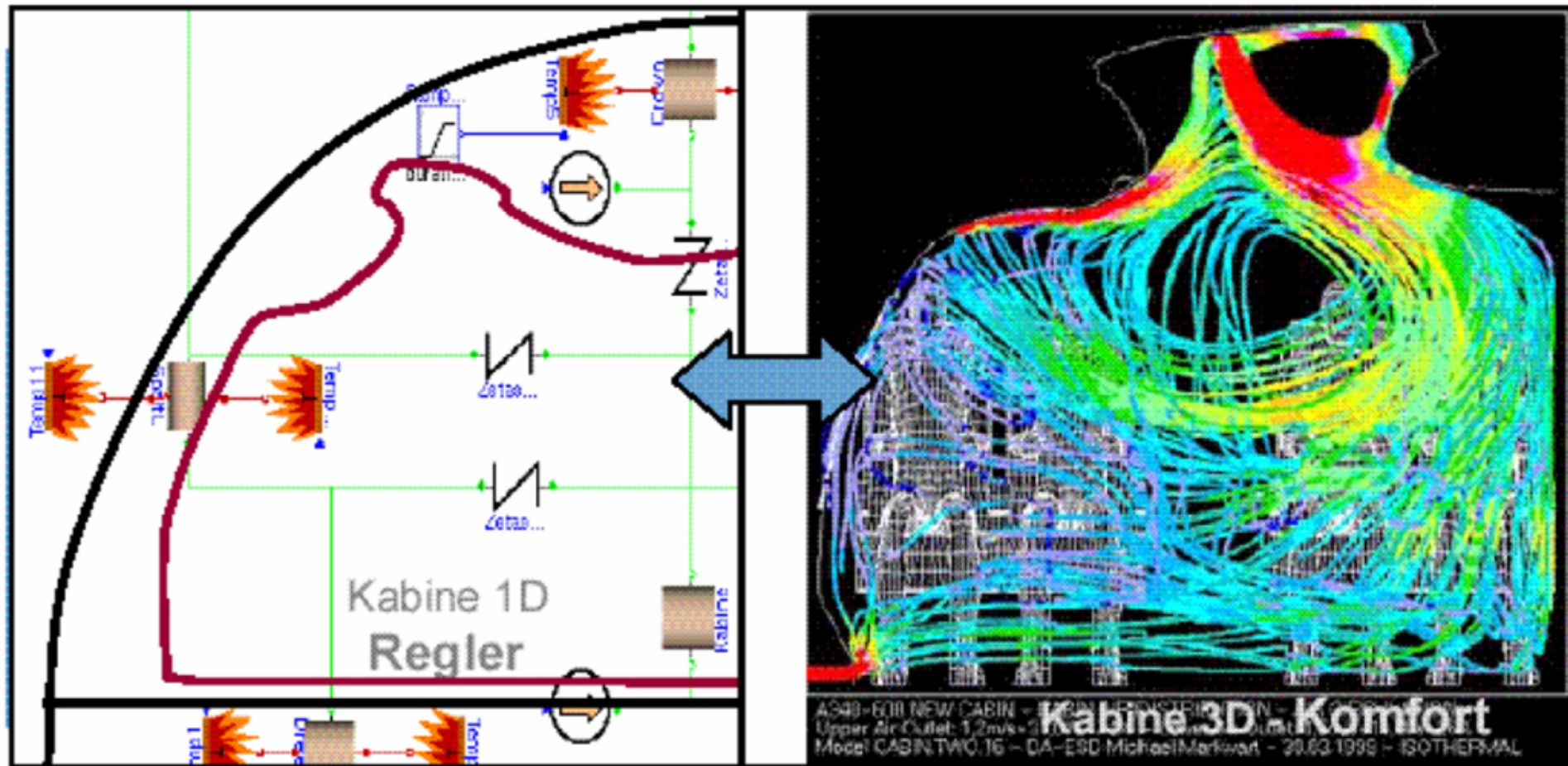
ECS-clima package

- Galleys
- Avionic
- In-Flight-Entertainment

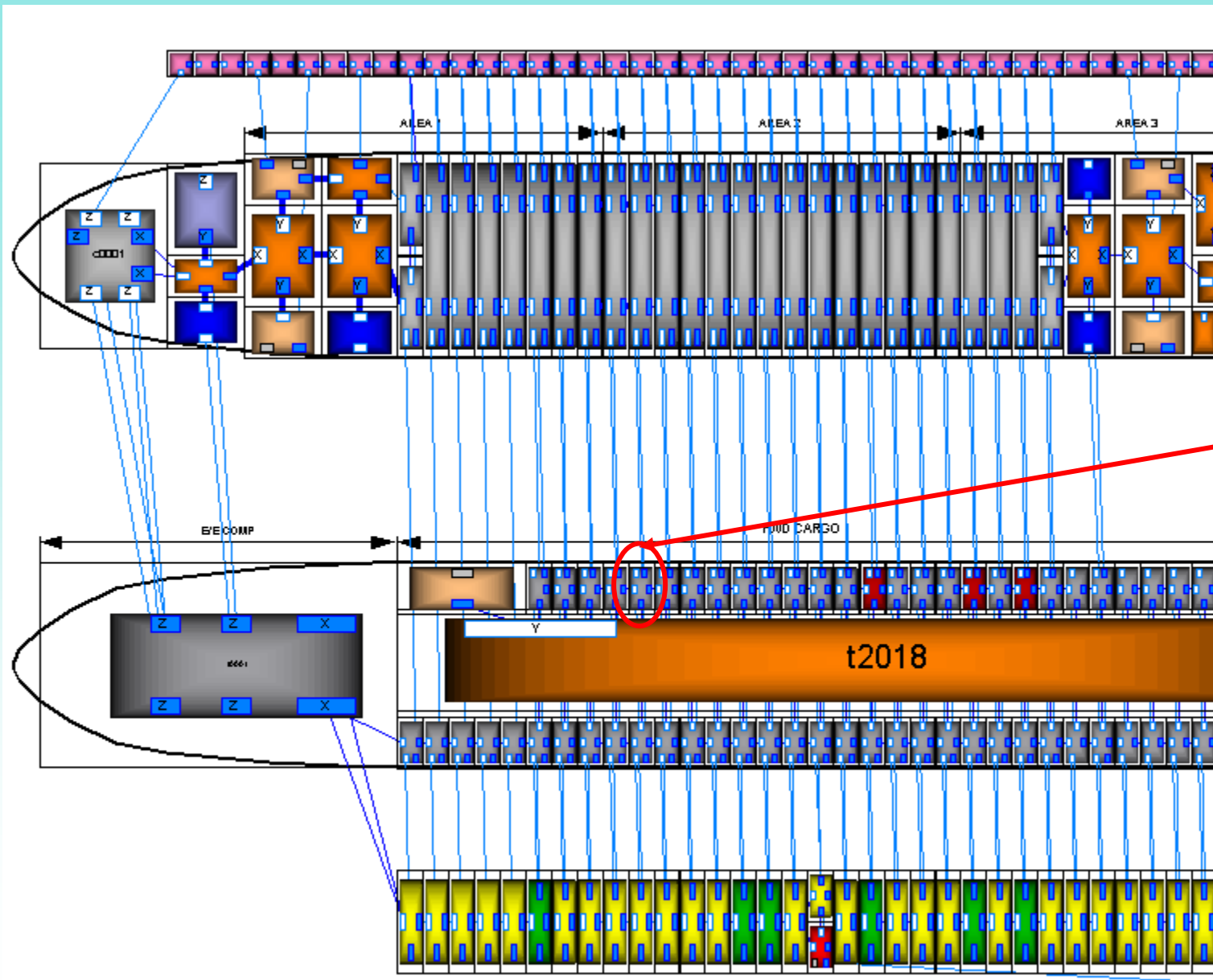
- Compressor
- Gas Cooler
- Internal Heat Exchanger
- Receiver



Strömungsuntersuchungen - 1



Strömungsuntersuchungen - 2



Crownarea

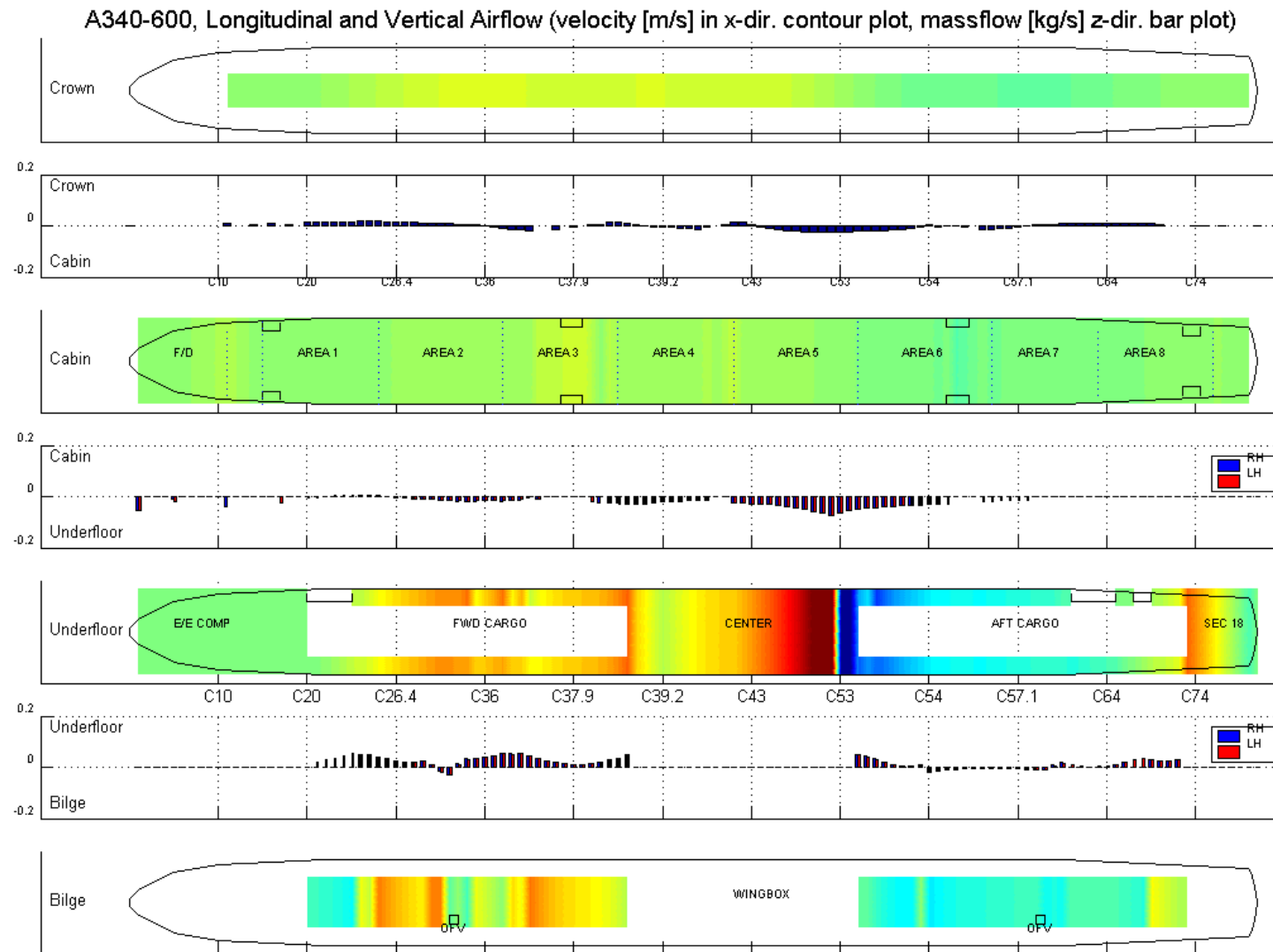
Kabine

Modul

Unterflur

Bilge

Strömungsuntersuchungen - 3



- Einführung
- Anforderungen an Flugzeugkabinen
- Klimatisierung von Flugzeugkabinen
- Aktuelle Forschungsarbeiten
- **Zusammenfassung und Ausblick**

Zusammenfassung

- Passagierkomfort ist bei Flugzeugen wichtiges Verkaufsargument
- Deutschland besitzt auf dem Gebiet Kabine und Fracht die Kernkompetenz
- Aufgaben des ECS sind Temperaturhaltung, Druckhaltung, Frischluftversorgung, Hygiene, Enteisung
- Belüftung eines Flugzeuges beruht auf Triebwerkszapfluft bzw. der APU
- Kühlung erfolgt durch Luftentspannung
- Eintritt der Luft in die Kabine über die Crown Area, Abluft im Fußraum
- Durch Forschung und Entwicklung sollen verbessert werden:
 - Feuchtezustände in der Kabine und in der Pilotenkanzel
 - Strömungssituation in der Kabine und am Sitz
 - Regelung der Komfortparameter
 - Optimierung des Energiebedarfs durch Reduktion der Zapfluft

Danke für Ihre Aufmerksamkeit!
schmitz@tu-harburg.de