

DYNAMISCHE SIMULATION DES KÜHLAGGREGATS EINES FLUGZEUGS



Hochschule für Angewandte
Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences



AIRBUS



Christian Müller

Dieter Scholz
Tim Giese

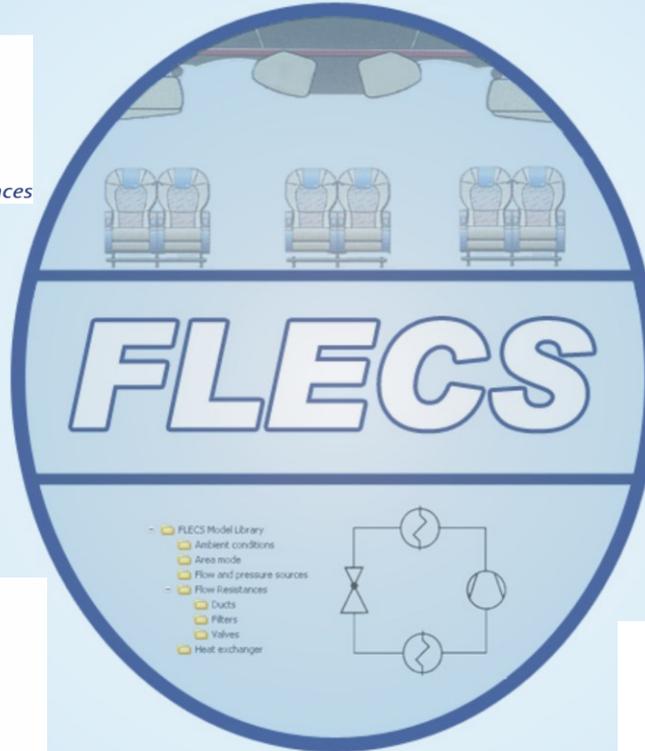
49. Fachausschusssitzung Anthropotechnik
Stand und Perspektiven der simulationsgestützten Systemgestaltung
18.-19. Oktober 2007, Airbus, Hamburg



Partner



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences



**Bremer Investitions
-Gesellschaft mbH**



Sponsoren



Freie und Hansestadt Hamburg
Behörde für Wirtschaft und Arbeit

**Behörde für Wirtschaft und Arbeit
Hamburg**



AIRBUS



1 Einleitung

FLECS-Datenbank
Klimaanlage
Luftverteilungssystem
Regelungskonzept
Kühlaggregat



AIRBUS

2 Dynamische Beschreibung des Kühlaggregats

Definition der Komponenten als Strömungswiderstände
Der Kompressor
Die Kühlmaschine

3 Dynamische Beschreibung der Wärmetauscher

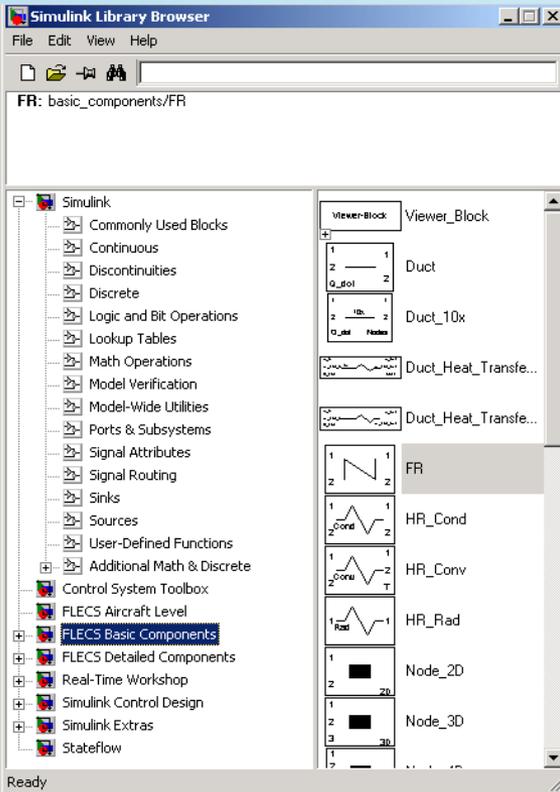
4 Validation des Simulationsmodells

5 Einfluss auf das Regelungskonzept

6 Zusammenfassung/Ausblick



AIRBUS



MATLAB/Simulink

- Dynamische Simulationen
- C-Code Generierung
- Echtzeitfähigen Code
- Teststände / Systemtests

Modularen Aufbau

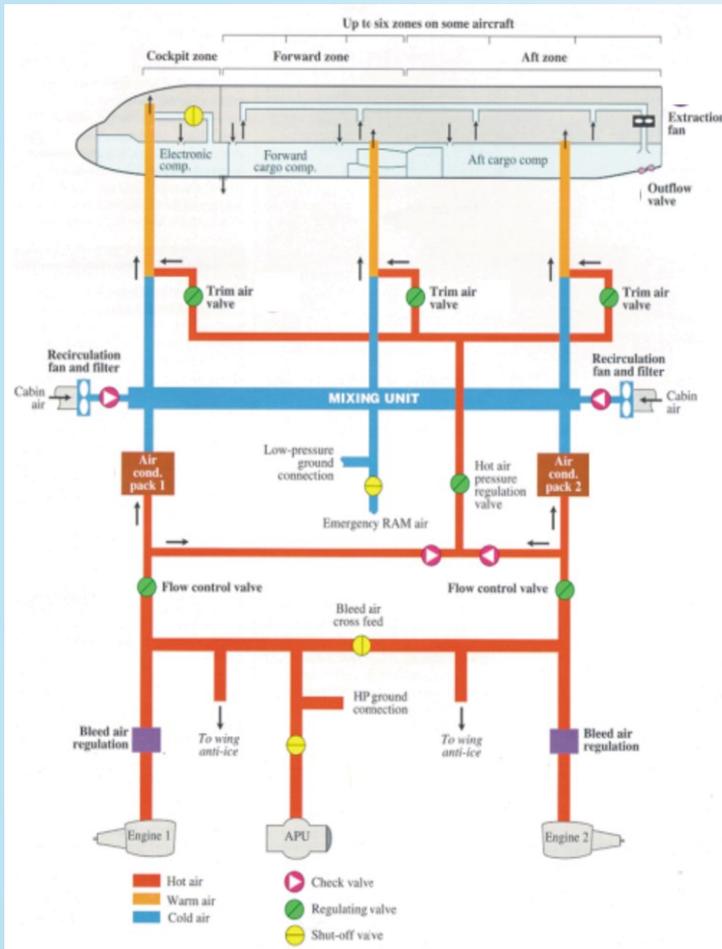
- Verschiedene Systemarchitekturen
- Verschiedenen Detailebenen

Grafische Benutzeroberflächen (GUI)

- Eingabemasken für die Parameter
- Haupt-GUI (Steuerung)
 - Cockpit-GUI, Darstellungs-GUI
 - Interaktiven Modus

- **Dynamik der Klimaanlage**
- **Wechselwirkungen zwischen den Komponenten**

Klimaanlage ↔ Große Anzahl von
Komponentenklassen



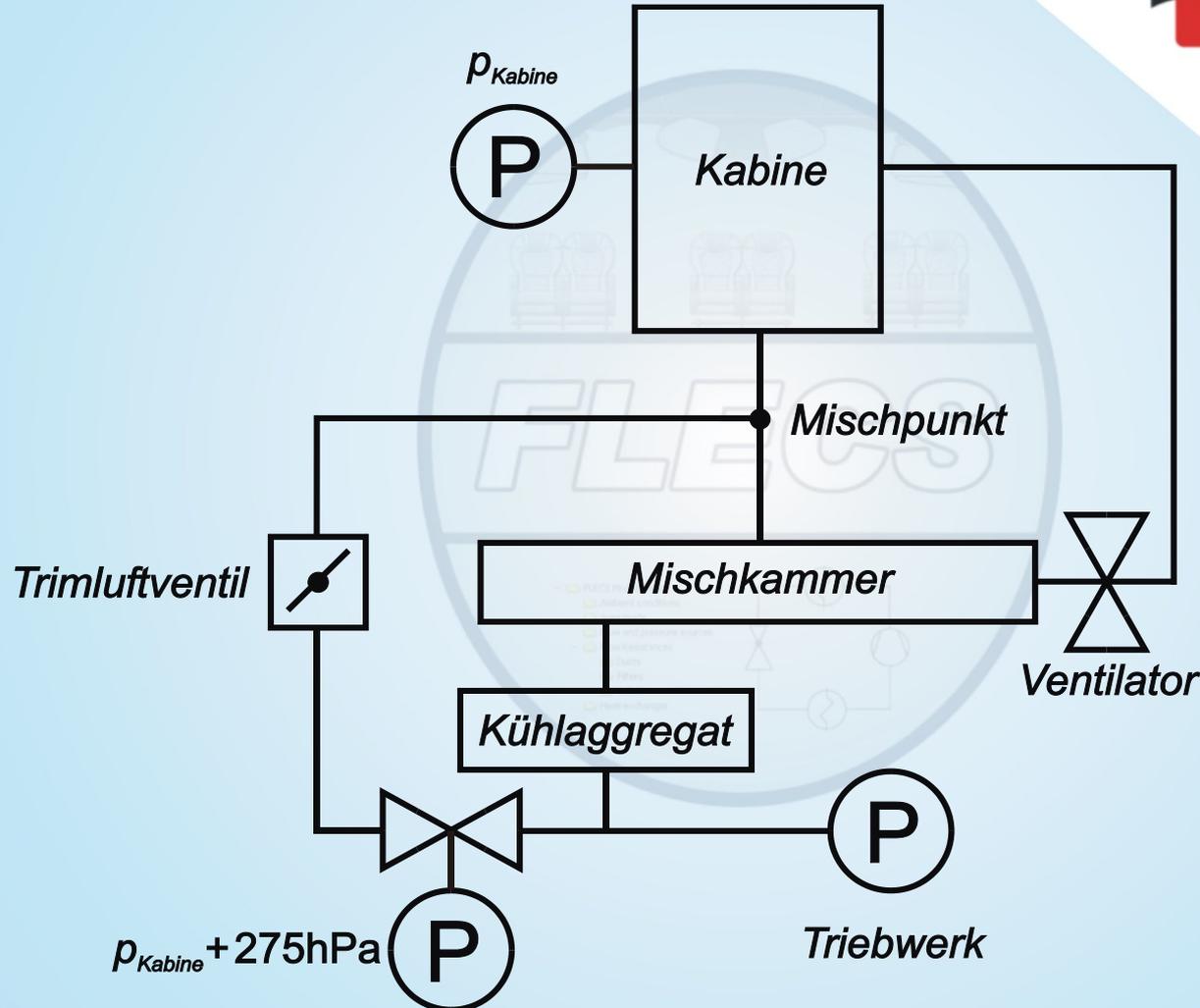
- Umgebungsbedingungen
- Randbedingungen Flugzeug
- Strömungswiderstände
- Massenstrom- und Druckquellen
- Volumen
- Kabinenmodelle
- Mischkammern
- Wärmetauscher
- **Kühlaggregat**
- Stauluft
- Kaltdampfklimasysteme
- Sensoren
- **Regler**



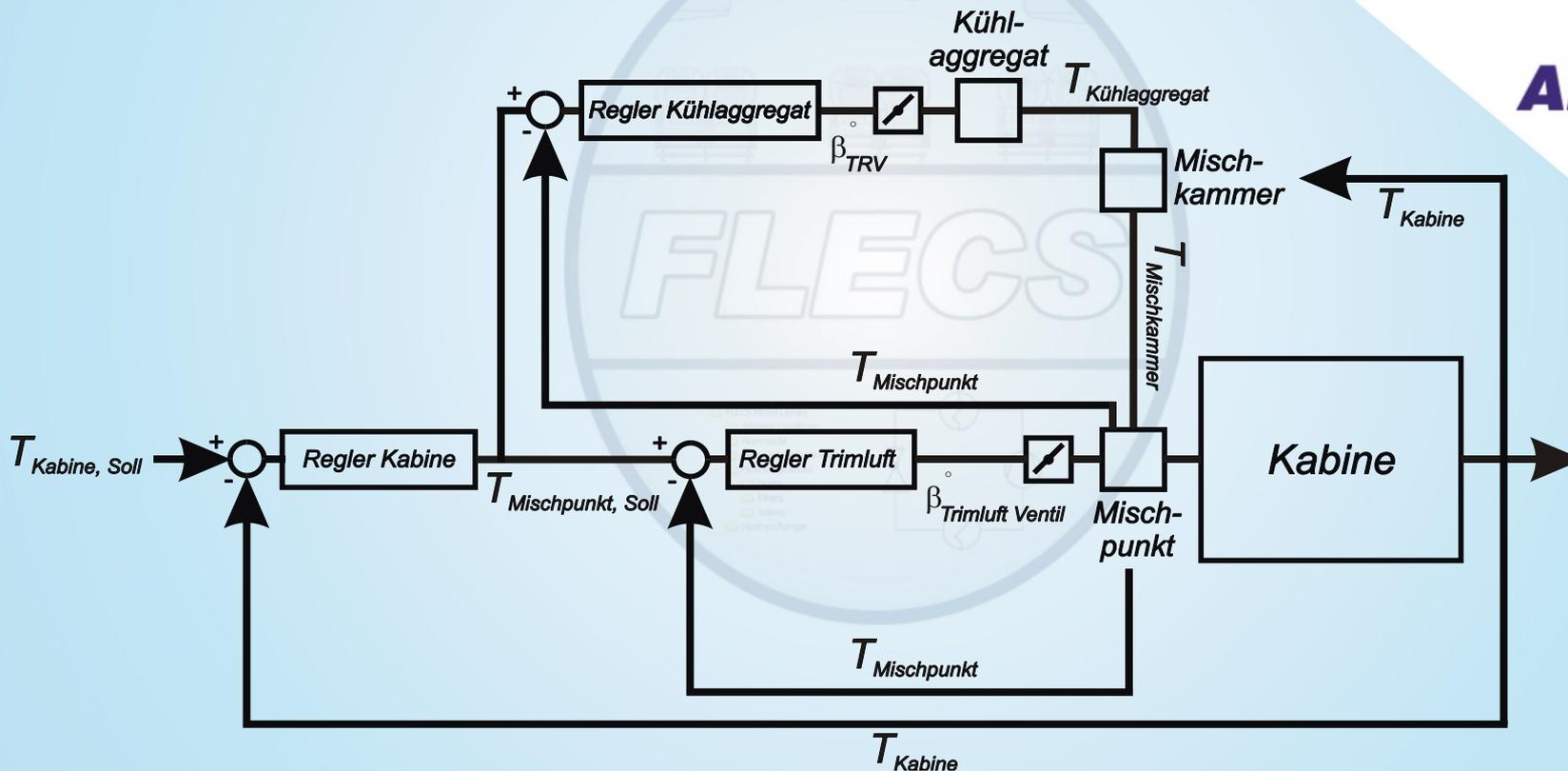
Klimaanlage ↔ Luftverteilungssystem



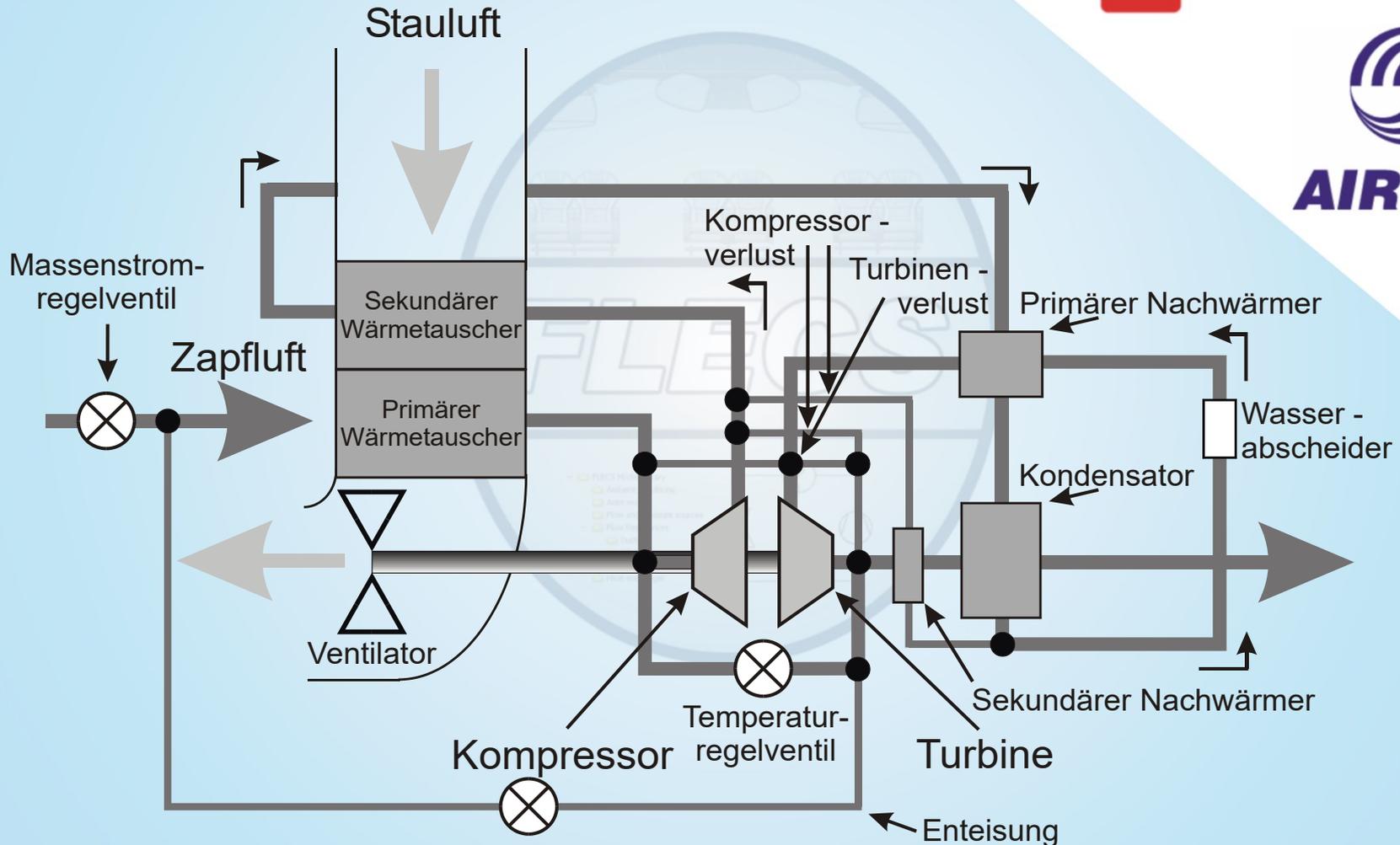
AIRBUS



Dynamische Simulation des
Kühlaggregats eines Flugzeugs



Klimaanlage ↔ Kühlen



Dynamische Simulation des
Kühlaggregats eines Flugzeugs



AIRBUS

1. Dynamisches Simulationsmodell

Reglerauslegung \leftrightarrow Dynamik

Dynamische Beschreibung

→ Dynamische Beschreibung der Wärmetauscher

FLECS

2. Validation des Simulationsmodells

3. Wie groß ist der Einfluss der Dynamik der Wärmetauscher auf das Regelverhalten?

Definition der Komponenten als Strömungswiderstände



AIRBUS

Druckgebende Elemente

Randbedingungen:

Eingang: Massenstrom + Absolutdruck

→ Ausgang: Absolutdruck

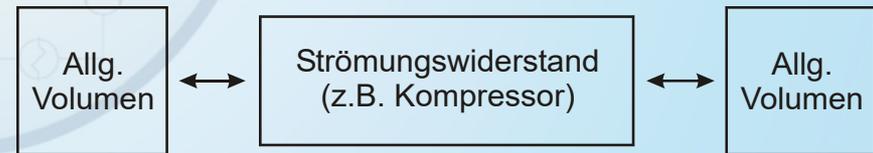
Strömungswiderstände

Randbedingungen:

Eingang: Absolutdruck

Ausgang: Absolutdruck

Simulationsumgebung:



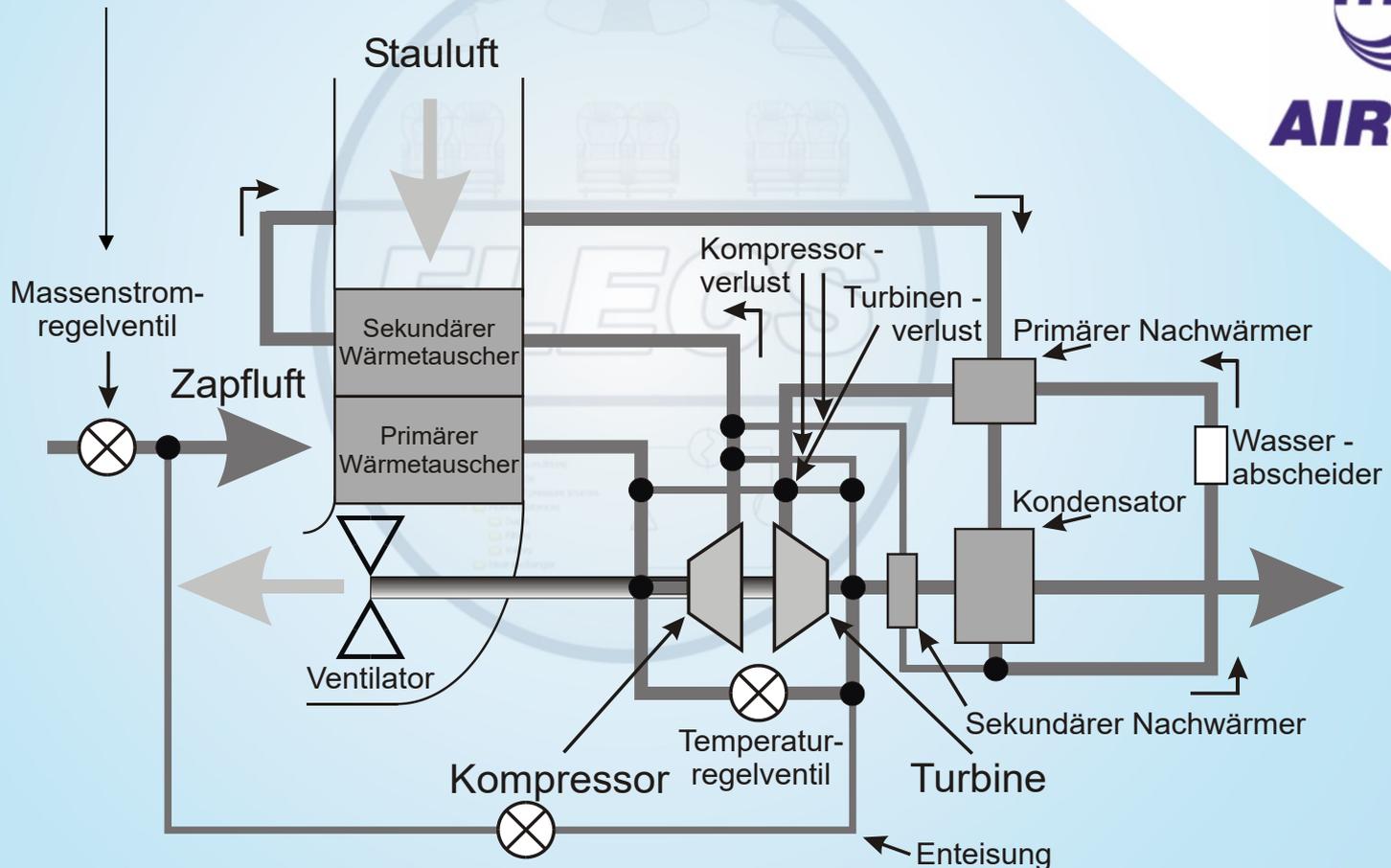
→ Eingang/Ausgang: Massenstrom

Definition der Komponenten als Strömungswiderstände

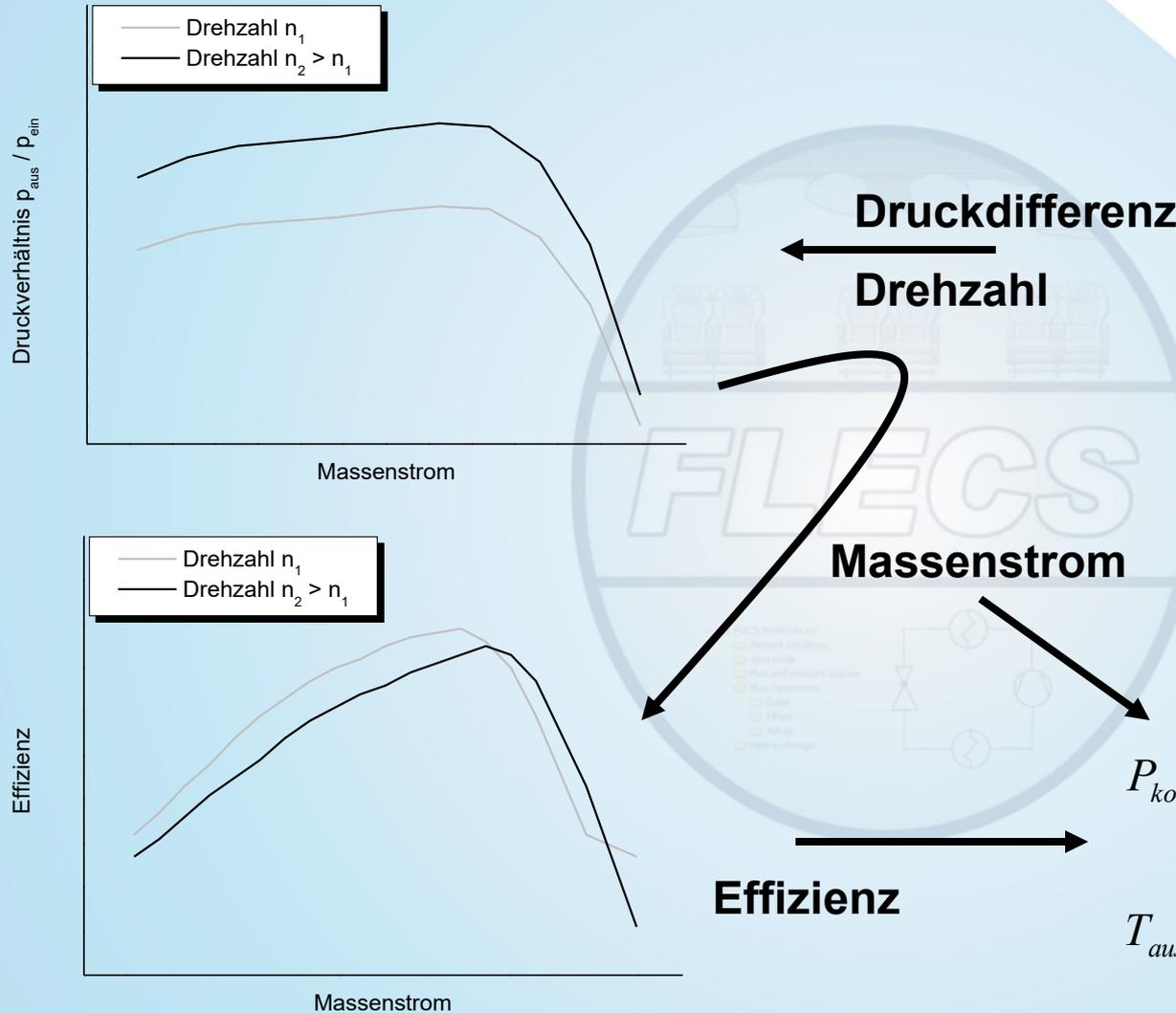


Randbedingungen:

Massenstrom + Absolutdruck



Dynamische Simulation des
Kühlaggregats eines Flugzeugs

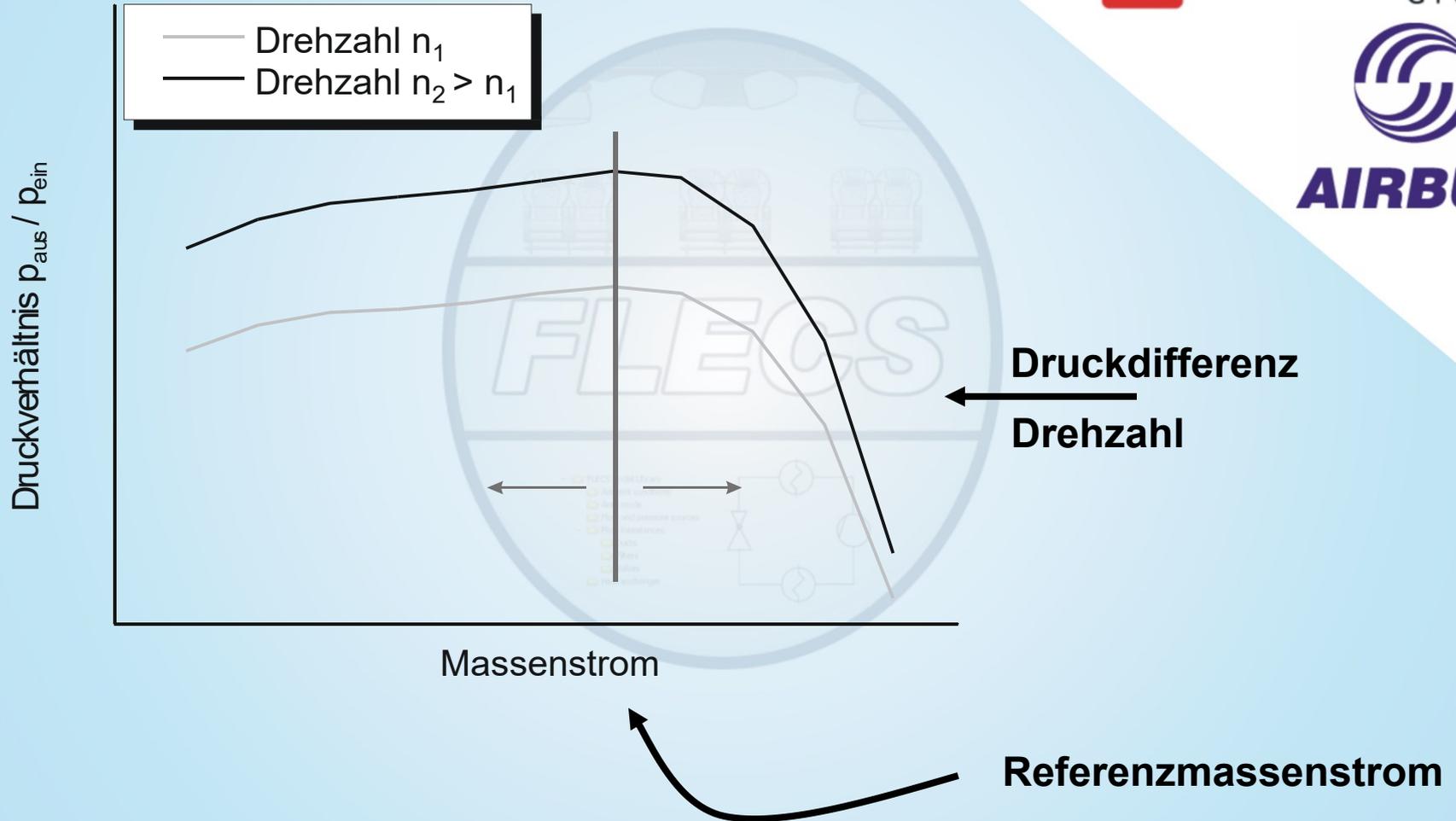


$$P_{komp} = \frac{1}{\eta} \dot{m} c_p T_{ein} \left(\left(\frac{p_{aus}}{p_{ein}} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} - 1 \right)$$

$$T_{aus} = T_{ein} + \frac{1}{\eta} T_{ein} \left(\left(\frac{p_{aus}}{p_{ein}} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} - 1 \right)$$



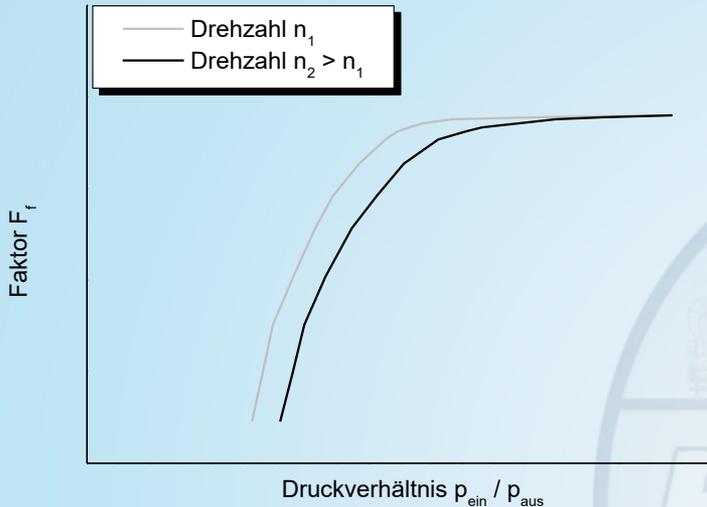
AIRBUS



Die Kühlturbine

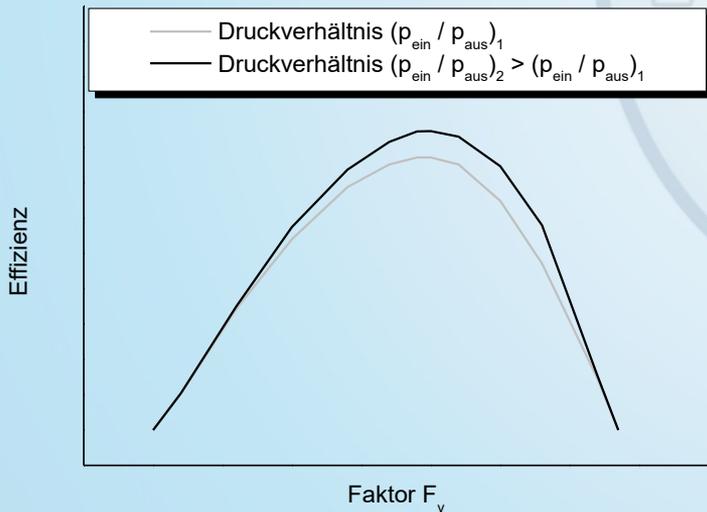


AIRBUS



← Druckdifferenz
← Drehzahl

↘ Massenstrom

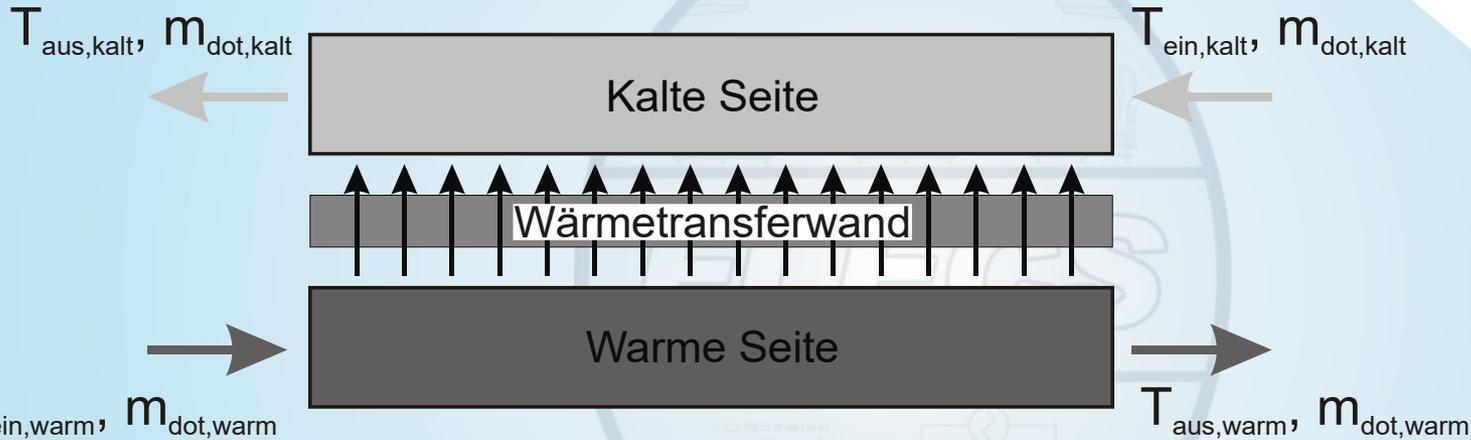


← Drehzahl

→ Effizienz

$$T_{aus} = T_{ein} - \eta T_{ein} \left(1 - \left(\frac{p_{aus}}{p_{ein}} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \right)$$

$$P_{trb} = \eta_{mech} \dot{m} c_p T_{ein} \left(1 - \left(\frac{p_{aus}}{p_{ein}} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \right)$$



Statische Beschreibung:

$$\dot{Q}_{max} = \dot{m}_{warm} c_p (T_{ein,warm} - T_{ein,kalt})$$

$$\dot{Q}_{real} = \eta \dot{m}_{warm} c_p (T_{ein,warm} - T_{ein,kalt})$$

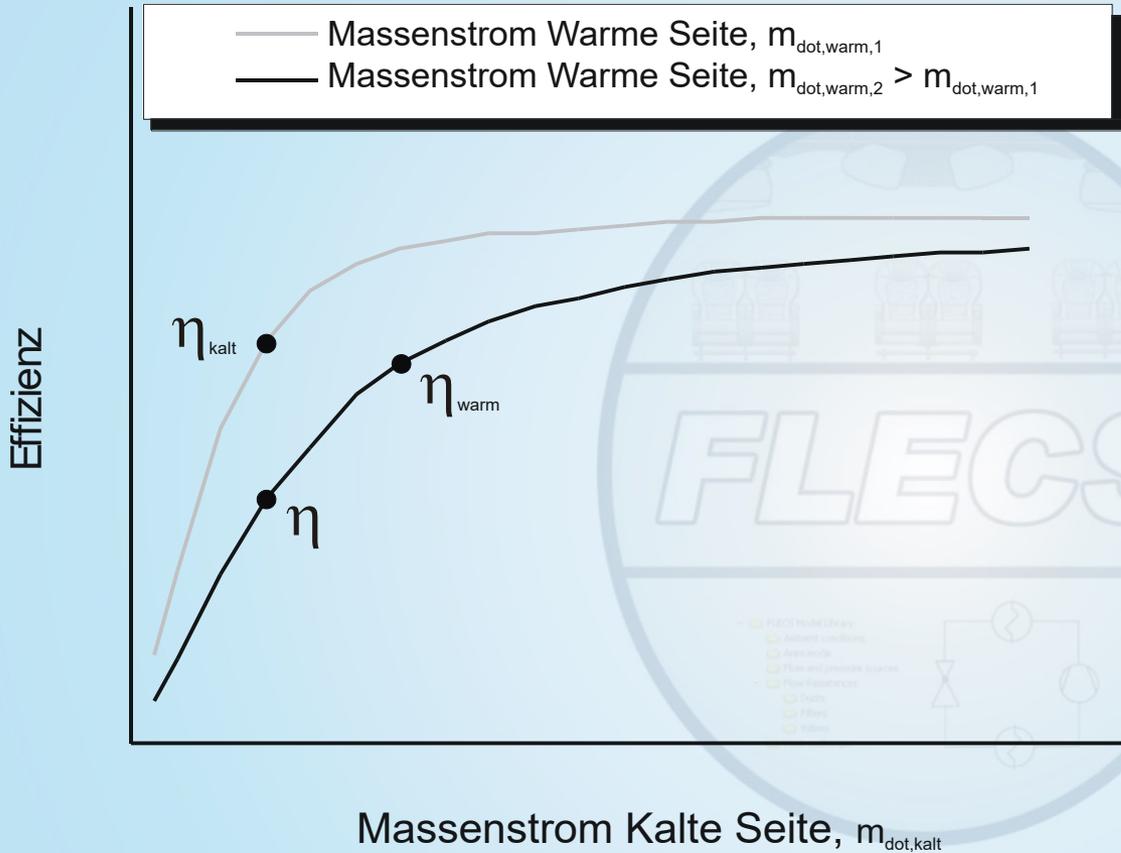
$$T_{aus,warm} = T_{ein,warm} - \frac{\dot{Q}_{real}}{\dot{m}_{warm} c_p}$$

$$T_{aus,kalt} = T_{ein,kalt} + \frac{\dot{Q}_{real}}{\dot{m}_{kalt} c_p}$$

Dynamische Beschreibung der Wärmetauscher



AIRBUS



$$\dot{m}_{\text{kalt}} = \dot{m}_{\text{warm}}$$



Zusammenhang zwischen der Effizienz η
Und dem Wärmetransferfaktor $\alpha \cdot A$ Luft \leftrightarrow Wand

$$\dot{m}_{kalt} c_p L \frac{dT_{kalt}(x)}{dx} = \alpha \cdot A_{kalt} (T_{kalt}(x) - T_{wand})$$

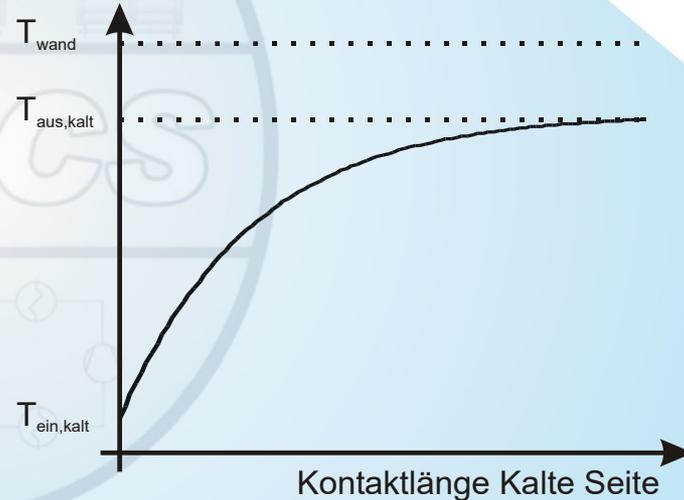
$$T_{wand} = T_{ein,warm}$$

$$\Rightarrow T_{kalt}(x) = T_{ein,warm} + [T_{ein,kalt} - T_{ein,warm}] \exp\left(-a \frac{x}{L_{kalt}}\right)$$

$$a = \frac{\alpha A_{kalt}}{\dot{m}_{kalt} c_p}$$

$$\eta_{warm} = \frac{T_{ein,kalt} - T_{kalt}(L_{kalt})}{T_{ein,kalt} - T_{ein,warm}} = \frac{T_{ein,kalt} - T_{aus,kalt}}{T_{ein,kalt} - T_{ein,warm}}$$

$$\Rightarrow a = -\ln(1 - \eta_{kalt})$$



Masse der Transferwand

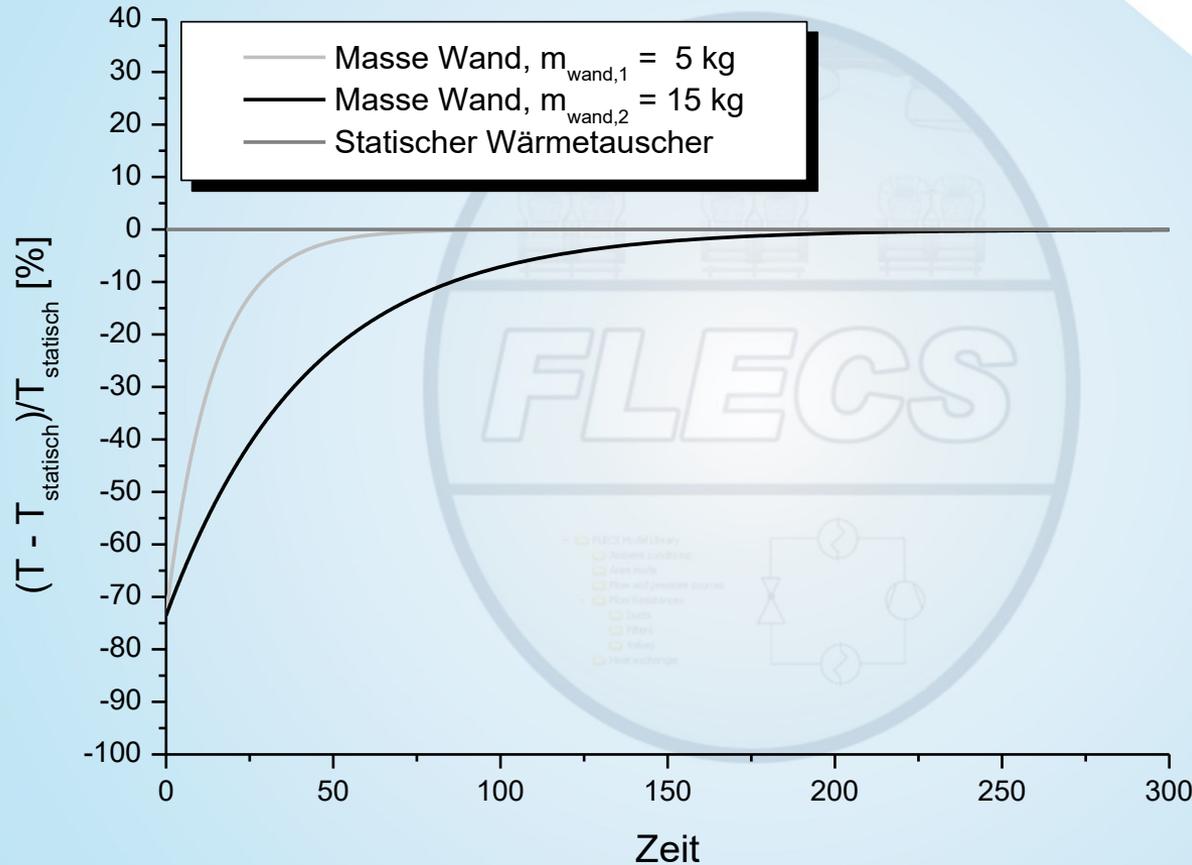
Spezifische Wärmekapazität

$$\longrightarrow \frac{dT_{wand}(t)}{dt} = \frac{\dot{Q}_{wand,warm} + \dot{Q}_{wand,kalt}}{m_{wand} c_{wand}}$$

Dynamische Beschreibung der Wärmetauscher



AIRBUS



Validation des Simulationsmodells

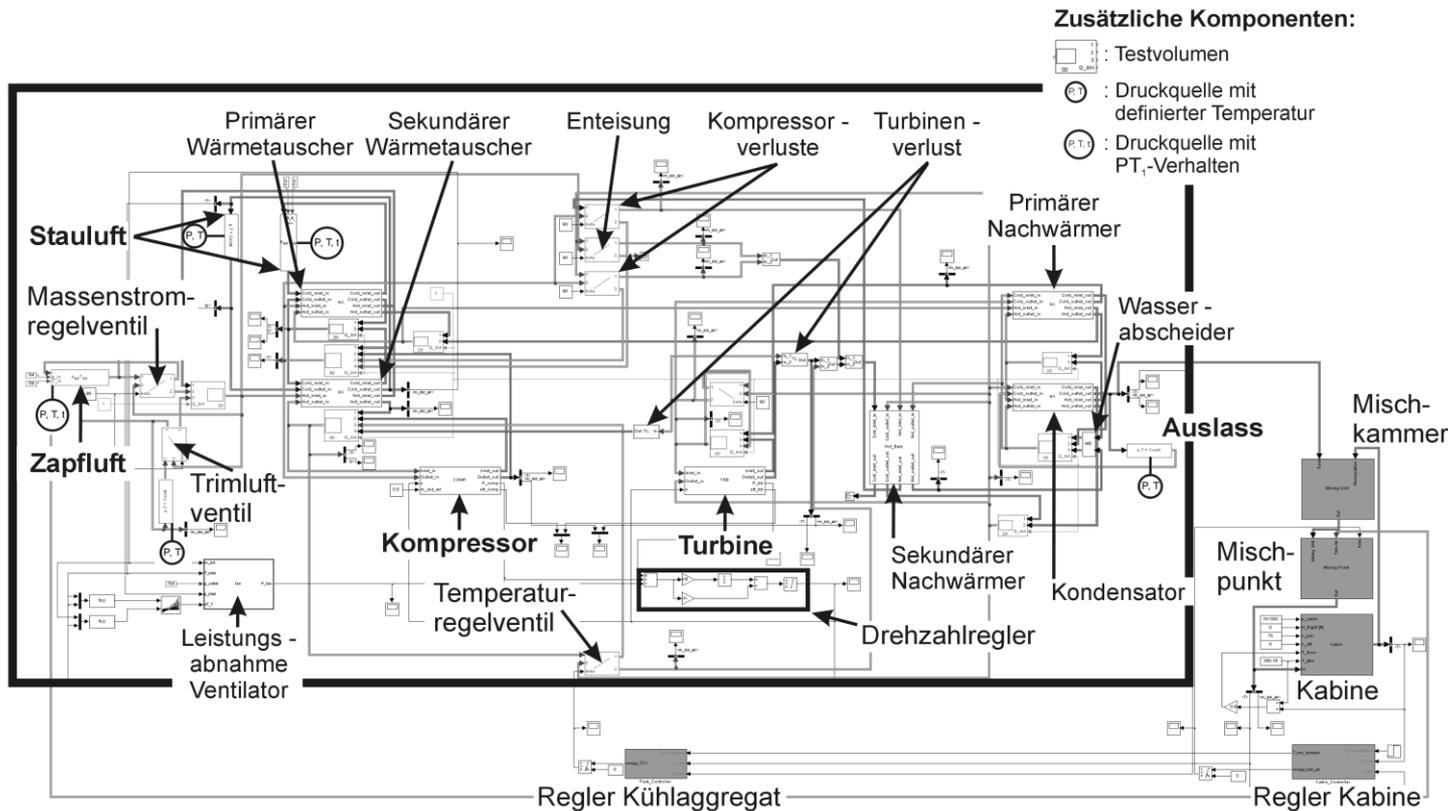
- Standardkühlaggregat A320
- Anschwingverhalten des Kühlaggregats
- Simulation ↔ Referenzdaten

Randbedingungen	Wert
Außendruck	1013 hPa
Außentemperatur	-23 °C
Druck der Zapfluft	2201 hPa
Temperatur der Zapfluft	120 °C
Ausgangsdruck des Kühlaggregats	1039 hPa
Kabinendruck	1013 hPa



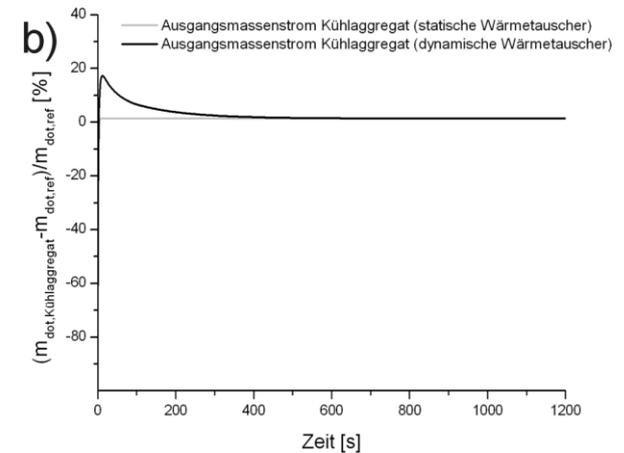
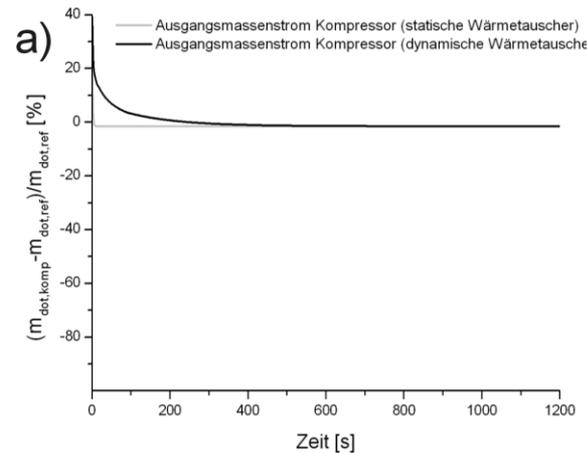
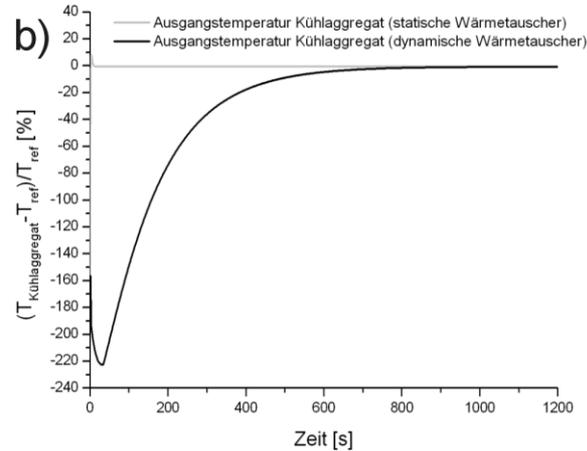
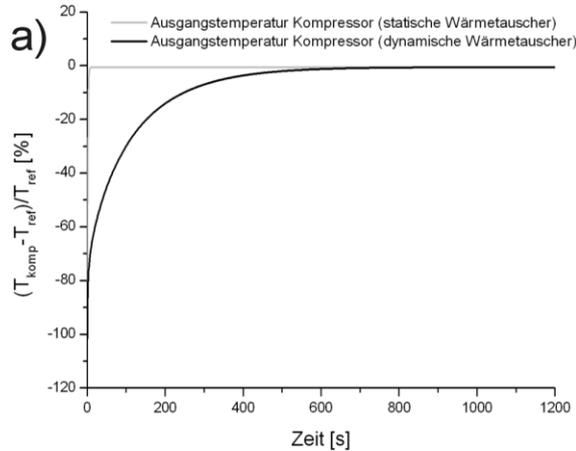
AIRBUS

**Testfall:
Kalter Wintertag**





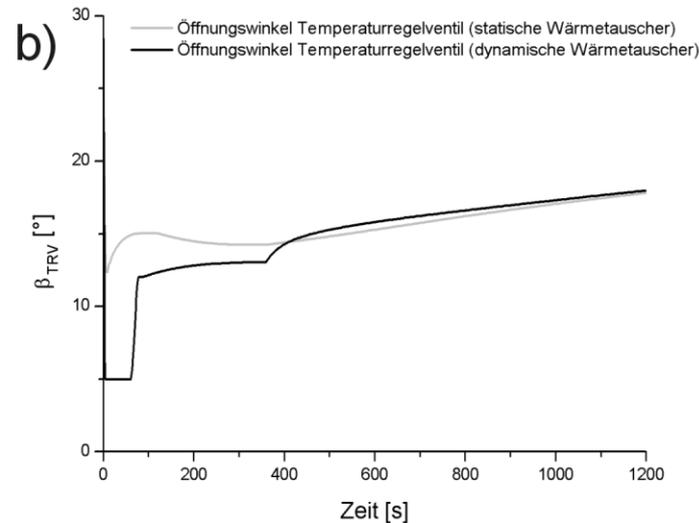
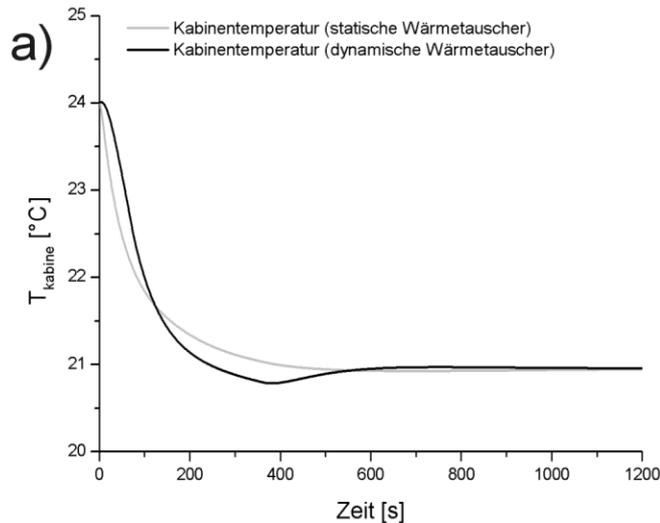
AIRBUS



**Sehr gute
Übereinstimmung.
(Relativer Fehler < 1%)**

Das Kühlaggregatsimulationsmodell → Temperaturregelung für die Kabine

Testfall: Abkühlen der Kabine von 24°C auf 21°C



Wärmetransfer zu den Kabineneinbauten
Wärmetransfer durch die Außenhaut
Wärmetransfer durch den Kabinenboden

**Kein kritischer Testfall für die Auslegung
der Regler und des Kühlaggregats**



AIRBUS

- **FLECS** : Kooperation zwischen der HAW, CeBeNetwork und Airbus. Finanziert von der BWA und der BIG.
- **Dynamische Beschreibung des Kühlaggregats:**
 - Komponenten müssen als Strömungswiderstände beschrieben werden.
 - Dynamik der Wärmetauscher kann abgebildet werden.
- **Validation:** Zur Validierung wurde Simulationsmodell eines Standardkühlaggregats einer A320 aufgebaut.
- **Validation** des Simulationsmodells mit Hilfe von Referenzdaten des Herstellers (sehr gute Übereinstimmung).
- **Die Dynamik des Kühlaggregats hat einen Einfluss auf das Regelverhalten.**

Ausblick: Dynamische Beschreibung des Stauluftventilators.

Danke für Ihre Aufmerksamkeit

Fragen?



Hochschule für Angewandte
Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences



AIRBUS



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences



AIRBUS



Freie und Hansestadt Hamburg
Behörde für Wirtschaft und Arbeit

Dynamische Simulation des
Kühlaggregats eines Flugzeugs