



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg  
*Hamburg University of Applied Sciences*

# Diplomarbeit

## Fachbereich Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau

Entwicklung und Realisierung einer automatischen Regelung  
für die Klimaanlage des Hubschraubers EC 135

in Zusammenarbeit mit: Eurocopter Deutschland GmbH, Donauwörth

Verfasserin: Nicola Ehrig

1. Prüfer Prof. Dr.-Ing. Dieter Scholz, MSME

2. Prüfer: Dipl.-Ing. Matthias Hess, OTAM/D Eurocopter Deutschland GmbH

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

in Zusammenarbeit mit:

Eurocopter Deutschland GmbH  
OTAM/D  
Industriestraße 4  
86609 Donauwörth

Verfasser: Nicola Ehrig

Abgabedatum: 01.11.2003

1. Prüfer: Prof. Dr.-Ing. Dieter Scholz, MSME

2. Prüfer: Dipl.-Ing. Matthias Hess, OTAM/D Eurocopter Deutschland GmbH

Industrieller Betreuer: Dipl.-Ing. Matthias Hess

**Geheimhaltungsvereinbarung**

Diese Diplomarbeit, die nach der Prüfungs- und Studienordnung der Hochschule für Angewandte Wissenschaften erstellt wurde, ist gemäß den beigefügten Hinweisen zur Geheimhaltung für einen Zeitraum von drei Jahren ab dem Datum der Abgabe der Diplomarbeit vertraulich zu behandeln.

Während dieses Zeitraums werden der Bericht und alle anderen Arbeitsergebnisse der Diplomarbeit nur den Prüfern zugänglich gemacht.

Student Datum

Unterschrift 1. und 2. Prüfer Datum

Unterschrift Firmenbetreuer Datum

Korrespondenzadresse des Firmenbetreuers:

Herr  
Dipl.-Ing. Matthias Hess  
Eurocopter Deutschland GmbH

86607 Donauwörth

Tel: 0906 71-4584

E-Mail: Matthias.Hess@eurocopter.com

## Kurzreferat

Die Zunahme der Komfortanforderungen an moderne Verkehrsmittel hat auch vor dem Hubschrauber nicht Halt gemacht. In diesem Zusammenhang ist das Bedürfnis der Passagiere nach einer klimatisierten Kabine an erster Stelle zu nennen. Wie bereits in Flugzeugen seit Einführung der Druckrümpfe, ist eine Klimatisierung heute auch in Kraftfahrzeugen Standard geworden. Klimaanlage in Kraftfahrzeugen sind am ehesten vergleichbar mit den Gegebenheiten im Hubschrauber, da diese im Gegensatz zu Flugzeugen keine Druckkabine besitzen. Insbesondere bei leichten Hubschraubern, wie der EC 135, sind die Anforderungen bezüglich mechanischer Belastbarkeit, Gewicht, Energiemanagement und Zulassungskriterien wesentlich höher. Diese müssen bei der Entwicklung und Realisierung von Klimaanlage für Hubschrauber berücksichtigt werden. Vor diesem Hintergrund ist diese Diplomarbeit entstanden.

Im Rahmen dieser Arbeit werden alle notwendigen Informationen für die spätere Erstellung einer Fertigungsstückliste und die Anfertigung der Detailzeichnungen zusammengetragen.

Alle elektrischen und elektronischen Komponenten sind auf dem Markt erhältlich. Die Stellglieder für die Luftführungen müssen individuell konstruiert und gefertigt werden. Ebenso muss die elektronische Regelung selber entwickelt werden. Wenn einsetzbar, kann diese aus einer Standardlösung der Kraftfahrzeugindustrie weiterentwickelt werden. Gründe hierfür sind die getrennten Luftsysteme für Kaltluft und Warmluft im Hubschrauber, sowie das aufwendige Luftleitsystem mit zahlreichen Klappen und Ventilen.



## Abstract

The increase of the comfort requirements in modern means of transport did not paused before the helicopter. In this connection the need of the passengers for an air-conditioned cabin must be mentioned first. Even than with aeroplanes, since the introduction of the pressured trunk, an air conditioning became standard in automobiles nowadays. Air conditioning systems in automobiles are best comparable with the conditions inside a helicopter, since it does not possess a pressurised cabin, contrary to aeroplanes. In particular with light helicopters, like the EC 135, the requirements are substantially higher concerning mechanical stress, weight, energy management and permission criteria. These must be considered during the development and realisation of an air conditioning system for a helicopter. Against this background this dissertation arose.

Within the scope of this paper all information that are necessary for the manufacturing parts list and the detail drawings are gathered.

All electrical and electronically components are available on the market. The control units for the air leading system must be individually designed and manufactured. Likewise the electronically control unit must be developed. If applicable it can be developed further from a standard solution from the automobile industry. Reasons for this are the separated air leading systems for cold air and warm air inside the helicopter, as well as the complex air leading system with numerous valves.



# Entwicklung und Realisierung einer automatischen Regelung für die Klimaanlage des Hubschraubers EC 135

Aufgabenstellung zur *Diplomarbeit* gemäß Prüfungsordnung

## Hintergrund

In den letzten Jahren hat der Hubschrauber als modernes Verkehrsmittel zunehmend an Bedeutung gewonnen. Dem allgemeinen Trend folgend müssen auch Hubschrauber in zunehmendem Maße Komfort für Passagiere und Besatzung bieten. Hierzu gehört die Klimatisierung der Passagierkabine und des Cockpits. Was für die Passagiere Komfort bedeutet, stellt für die Besatzung aus arbeitswissenschaftlicher Sicht eine deutliche Verbesserung der Arbeitsbedingungen dar und führt somit zu einer Erhöhung der Sicherheit im Flugbetrieb. Klimaanlage sind heutzutage Standard in modernen Verkehrsmitteln. VIP Maschinen müssen hier besondere Anforderungen erfüllen vor allem hinsichtlich des Komforts beim Einsatz in warmen Klimazonen.

## Aufgabe

Ausgangspunkt der Diplomarbeit sind zwei vorangegangene theoretische Arbeiten, die sich zum einen mit den Möglichkeiten der elektronischen Regelung von Klimaanlage in Hubschraubern, zum anderen mit den Möglichkeiten der Luftverteilung in Hubschraubern beschäftigt haben. Das hieraus entstandene Konzept gilt es jetzt technisch umzusetzen und für die Produktion vorzubereiten. Die Aufgabe umfasst:

- Ermittlung der erforderlichen Komponenten aus dem vorliegenden Konzept
- Erstellung eines technischen Anforderungskataloges für lieferbare Standardkomponenten
- Erstellung eines technischen Anforderungskataloges für Sonderkomponenten
- Auswahl der Komponenten unter Berücksichtigung des vorhandenen elektrischen Systems der EC135
- Generierung einer Stückliste
- Ermittlung von Lieferanten
- Ermittlung der Stückkosten der Komponenten

- Festlegung möglicher Einbauorte der Komponenten
- Festlegung notwendiger konstruktiver Maßnahmen
- Bereitstellung aller Detailinformationen für die spätere Erstellung der Bauunterlagen

Die Ergebnisse sollen in einem Bericht dokumentiert werden. Bei der Erstellung des Berichtes sind die entsprechenden DIN-Normen zu beachten.

Die Diplomarbeit wird bei Eurocopter Deutschland durchgeführt. Industrieller Betreuer der Arbeit ist Dipl.-Ing. Matthias Hess.

## Erklärung

Ich versichere, dass ich die Diplomarbeit ohne fremde Hilfe selbständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich gemacht.

.....  
Datum                      Unterschrift

# Inhalt

	Seite
Kurzreferat .....	4
Abstract .....	5
Verzeichnis der Bilder.....	12
Verzeichnis der Tabellen.....	13
Liste der Symbole .....	14
Liste der Abkürzungen.....	15
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>16</b>
1.1 Motivation .....	16
1.2 Begriffsdefinitionen .....	16
1.3 Ziel der Arbeit .....	17
1.4 Literaturübersicht .....	17
1.5 Aufbau der Arbeit.....	18
<b>2 Hubschrauber EC 135</b> .....	<b>20</b>
<b>3 Klimaanlage</b> .....	<b>22</b>
<b>4 Regelung</b> .....	<b>25</b>
4.1 Regler .....	26
4.1.1 Regelung mit stetigen Reglern .....	27
4.1.2 Regelung mit unstetigen Reglern .....	28
4.1.3 Quasistetige Regler .....	29
4.2 Stellglieder .....	30
4.3 Stellantriebe.....	30
4.3.1 Motoren mit kontinuierlicher Bewegung .....	31
4.3.2 Elektromagnetische Schrittantriebe.....	32
4.3.3 Übertragungselemente.....	33
4.4 Messglieder .....	33
4.4.1 Temperaturmessung .....	34
4.4.2 Feuchtemessung .....	38
4.5 Enthalpieregulung.....	40
<b>5 Ist-Zustand Klimasystem EC 135</b> .....	<b>42</b>
5.1 Komponenten der Klimaanlage.....	42
5.2 Funktionsbeschreibung der Klimaanlage .....	44
5.3 Verteilung der Kühlluft .....	45
5.4 Energieverbrauch der Klimaanlage .....	46
5.5 Komponenten und Funktion der Heizungsanlage .....	47

<b>6</b>	<b>Automatische Klimatisierung</b> .....	49
<b>7</b>	<b>Varianten der Klimatisierung</b> .....	54
7.1	Luftauslässe .....	54
7.2	Klimazonen .....	54
<b>8</b>	<b>Technische Anforderungen</b> .....	57
<b>9</b>	<b>Systemkomponenten</b> .....	59
9.1	Bedieneinheit.....	59
9.1.1	Bedienelemente .....	60
9.1.2	Gestaltung der Bedienelemente.....	61
9.1.3	Auswahl der Bedienelemente.....	62
9.2	Stellglieder der Luftverteilung .....	65
9.2.1	Aufteilung der Luftkanäle .....	65
9.2.2	Gestaltung der Stellglieder .....	66
9.2.3	Auswahl der Stellglieder .....	68
9.3	Auswahl der Stellantriebe .....	69
9.4	Auswahl der Messglieder .....	73
9.4.1	Temperatursensoren .....	73
9.4.2	Feuchtesensoren .....	76
9.4.3	Beschlagsensor .....	77
9.5	Technische Vorgaben für die Regeleinheit .....	78
9.5.1	Versorgungsspannung .....	79
9.5.2	Regelparameter Vorgaben.....	81
9.5.3	Regelparameter Messeingänge.....	81
9.5.4	Regelparameter Sonderfunktionen.....	82
9.5.5	Regelparameter Stellausgänge .....	83
9.5.6	Betriebszustände.....	84
9.5.7	Einbauort .....	85
9.6	Verdrahtung und Montagezubehör.....	87
<b>10</b>	<b>Stückliste und Kostenabschätzung</b> .....	88
<b>11</b>	<b>Zusammenfassung</b> .....	89
	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	91
	<b>Anhang A Datenblatt Digitalanzeige</b> .....	97

<b>Anhang B Datenblätter Stellmotoren</b> .....	100
B.1 Dr. Fritz Faulhaber GmbH & Co. KG.....	100
B.2 maxon motor gmbh .....	108
B.3 ANTRIEBSTECHNIK QUIN GmbH (Dunkermotoren).....	114
B.4 Angebote .....	121
<b>Anhang C Datenblätter Temperatursensoren</b> .....	126
C.1 DC Sensorgebläse PAPST-MOTOREN GmbH & Co. KG.....	126
C.2 Temperaturfühler AD590.....	129
C.3 Temperaturfühler LM 135.....	146
<b>Anhang D Datenblätter Feuchtesensoren</b> .....	159
D.1 Feuchtesensor MiniCap 2.....	159
D.2 Feuchtesensor SHT7x .....	162
D.3 Feuchtesensor HC 103/HC 104.....	172
D.4 Betauungsfühler BTF CiS 11340 .....	175
<b>Anhang E Auszug aus Joint Aviation Requirements</b> .....	179
E.1 Auszug aus JAR 25 (Large Aeroplane).....	179
E.2 Auszug aus JAR 27 (Small Rotorcraft).....	180
E.3 Auszug aus JAR 29 (Large Rotorcraft).....	180
<b>Anhang F Hersteller- und Lieferantenverzeichnis</b> .....	181

## Verzeichnis der Bilder

<b>Bild 2.1</b>	Anordnung fünf Sitze .....	20
<b>Bild 2.2</b>	Anordnung sieben Sitze .....	20
<b>Bild 3.1</b>	Idealer Kreisprozess .....	23
<b>Bild 3.2</b>	Realer Kreisprozess .....	24
<b>Bild 4.1</b>	Aufbau einer Steuerkette .....	25
<b>Bild 4.2</b>	Schematische Darstellung eines Regelkreises.....	26
<b>Bild 4.3</b>	Kennlinie eines AD590 .....	35
<b>Bild 4.4</b>	Kennlinie eines Pt 100 und Ni 100.....	35
<b>Bild 4.5</b>	Aufbau eines Drahtsensors.....	36
<b>Bild 4.6</b>	Aufbau eines Dünnschichtensors.....	36
<b>Bild 4.7</b>	Aluminiumoxid-Sensor .....	38
<b>Bild 4.8</b>	Funktionsschema der Enthalpieregulung .....	40
<b>Bild 4.9</b>	Beispiel eines Klimatisierungsprozesses bei Außenluftbetrieb .....	41
<b>Bild 4.10</b>	Beispiel eines Klimatisierungsprozesses bei Umluftbetrieb .....	41
<b>Bild 5.1</b>	Schematische Anordnung der Komponenten der Klimaanlage .....	43
<b>Bild 5.2</b>	Schematische Darstellung der Kühlluft-Verteilung .....	45
<b>Bild 5.3</b>	Schematische Anordnung der Komponenten der Heizungsanlage .....	47
<b>Bild 7.1</b>	Blockschaltbild Ist-Zustand.....	50
<b>Bild 7.2</b>	Blockschaltbild <i>Konzept 1</i> .....	51
<b>Bild 9.1</b>	Beispiel aus der Kraftfahrzeugindustrie .....	61
<b>Bild 9.2</b>	Beispiel für Impulsgeber .....	61
<b>Bild 9.3</b>	Beispiel für Drehschalter mit Skala .....	62
<b>Bild 9.4</b>	Mittelkonsole mit Bedieneinheit .....	63
<b>Bild 9.5</b>	Overheadpanel.....	63
<b>Bild 9.6</b>	Ansicht der Digitalanzeige TAR 1004 .....	64
<b>Bild 9.7</b>	Mischung von Luftströmen .....	65
<b>Bild 9.8</b>	Aufteilung von Luftströmen.....	65
<b>Bild 9.9</b>	Eine Klappe ein Motor .....	66
<b>Bild 9.10</b>	Zwei Klappen ein Motor .....	67
<b>Bild 9.11</b>	Zwei Klappen zwei Motoren.....	67
<b>Bild 9.12</b>	Rohrstück mit Klappe und Stellantrieb .....	69
<b>Bild 9.13</b>	Einbau des Lüfters in der Bedieneinheit .....	74
<b>Bild 9.14</b>	Schematischer Einbau eines Temperatursensor AD590 in einer Tauchhülse.....	75
<b>Bild 9.15</b>	Ein- und Ausgangssignale der Regeleinheit.....	80
<b>Bild 9.16</b>	Blockdiagramm Zwei-Zonen-Klimatisierung .....	86

## Verzeichnis der Tabellen

<b>Tabelle 2.1</b>	Technische Daten des Hubschraubers EC 135 .....	21
<b>Tabelle 3.1</b>	Ablauf des Kreisprozesses.....	23
<b>Tabelle 4.1</b>	Übersicht elektromagnetischer Kleinmotoren .....	31
<b>Tabelle 4.2</b>	Genormte Thermopaare nach DIN IEC 584.....	34
<b>Tabelle 4.3</b>	Übersicht Temperatursensoren .....	37
<b>Tabelle 4.4</b>	Übersicht der Feuchtemessverfahren.....	39
<b>Tabelle 9.1</b>	Technische Daten der Digitalanzeige TAR 1004 .....	64
<b>Tabelle 9.2</b>	Abhängigkeit bei einer Klappe .....	66
<b>Tabelle 9.3</b>	Abhängigkeit bei zwei Klappen .....	67
<b>Tabelle 9.4</b>	Übersicht der Änderungen der Stellglieder gemäß Bild 9.16.....	68
<b>Tabelle 9.5</b>	Durchmesser der Luftführungen.....	69
<b>Tabelle 9.6</b>	Anforderungen an Stellantriebe.....	71
<b>Tabelle 9.7</b>	Vergleich Stellantriebe .....	72
<b>Tabelle 9.8</b>	Vergleich Temperatursensoren.....	75
<b>Tabelle 9.9</b>	Vergleich Feuchtesensoren.....	76
<b>Tabelle 9.10</b>	Übersicht Regelparameter .....	78
<b>Tabelle 9.11</b>	Betriebszustände für die automatische Regelung.....	84
<b>Tabelle 9.12</b>	Sonder-Betriebszustände .....	85
<b>Tabelle 10.1</b>	Stückliste mit Kostenabschätzung .....	88
<b>Tabelle A.1</b>	Preisinformation TAR 1004 .....	97
<b>Tabelle C.1</b>	Preisinformation AD590LH .....	129
<b>Tabelle C.2</b>	Preisinformation LM135 .....	146
<b>Tabelle D.1</b>	Preisinformation MiniCap 2 .....	159
<b>Tabelle D.2</b>	Preisinformation SHT7x.....	162
<b>Tabelle D.3</b>	Preisinformation HC 103/HC 104 .....	172

## Liste der Symbole

<i>A</i>	Fläche
<i>d</i>	Durchmesser
<i>e</i>	Abstand zwischen Schwerpunkt und Druckmittelpunkt
<i>F</i>	Kraft
<i>I</i>	Trägheitsmoment
<i>l</i>	Länge
<i>w</i>	Koordinate
<i>M</i>	Drehmoment
M	Motor
rH	Relative Feuchte
U	Spannung

## Griechische Symbole

$\vartheta$	Temperatur
-------------	------------

## Indizes

d	Taupunkt
s	Schwerpunkt

## Einheiten

°C	Grad Celsius
ft	Feets
kts	Knoten
nm	nautische Meilen
PSI	Pound-Force per Square Inch
VDC	Volt Gleichspannung

## Liste der Abkürzungen

ARIS	Anti-resonance Rotor Isolation-System
CCC	Condensate Controlled Capacitance
FADEC	Full Authority Digital Electronic Control
FLIR	Forward Looking Infrared
IC	Integrated Circuit
JAR	Joint Aviation Requirements
NTC	Negative Temperature Coefficient
OAT	Outside Air Temperature
OEM	Original Equipment Manufacturer
Pkw	Personenkraftwagen
PTC	Positive Temperature Coefficient
RLT	Raumlufttechnik
RTCA	Requirements and Technical Concepts for Aviation
SPS	Speicherprogrammierbare Steuerung
VIP	Very Important Person

# 1 Einleitung

## 1.1 Motivation

Die heutige Zeit ist geprägt durch einen ständig steigenden Wunsch nach Sicherheit und Komfort. Deutlich erkennbar sind auch die Bestrebungen in der Luftfahrt, den vorhandenen Komfort zu erhöhen. Ein Beispiel hierfür ist die Entwicklung des Airbus A380. Zahlreiche Neuerungen die ihren Ursprung in der Luftfahrt hatten, haben besonders im Kraftfahrzeugbau Einzug gefunden und sind dort zwischenzeitlich zum Standard geworden. Dieses sind z.B. Turbolader für Motoren, oder Klimaanlage ohne die man heute kaum einen Neuwagen erhält.

Diese Weiterentwicklung des Komfortangebotes hat beim Hubschrauber verspätet eingesetzt, da dort in den letzten Jahren die technischen Weiterentwicklungen (z.B. Fenestron<sup>1</sup>) im Vordergrund standen. Jetzt ist die Branche bemüht, diesen Rückstand aufzuholen, da die Kunden, verwöhnt aus der Kraftfahrzeugindustrie, eine angemessene Klimatisierung fordern.

## 1.2 Begriffsdefinitionen

### Klimaanlage

Der Begriff der Klimaanlage wird bei **Hörner 2000** (Seite 8) folgendermaßen definiert:

*[Klimaanlagen sind, Anm. d. Verf.] RLT-Anlage[n, Anm. d. Verf.] mit Lüftungsfunktion und mit vier thermodynamischen Luftbehandlungsfunktionen.*

### Hubschrauber

Hubschrauber finden Ihre Einordnung bei Luftfahrzeugen die schwerer als Luft sind. Hier werden sie unter *Drehflügler* eingegliedert. Der Begriff des Hubschraubers wird z.B. in **Polte 2001** (Seite 11) folgendermaßen definiert:

*Hubschrauber besitzen einen oder mehrere Rotoren, die von einem Kolbenmotor oder einer Gasturbine über Wellen und Getriebe angetrieben werden. Der Antrieb der Rotoren kann jedoch auch durch Strahlantrieb an den Blattspitzen erfolgen. Der oder die Rotoren erzeugen den Auf- und Vortrieb. Der Hubschrauber ist durch vertikale oder horizontale Flugmanöver in jeder Richtung hin beweglich. Der Drehmomentenausgleich erfolgt entweder durch Gegenläufigkeit bei mehreren Rotoren, durch den Heckrotor, oder aber er entfällt ganz bei Blattspitzenantrieb.*

---

<sup>1</sup> Der Begriff Fenestron beschreibt ein Heckrotorgebläse, welches einen reduzierten Durchmesser besitzt und dessen Blätter ummantelt sind. Durch den Einbau im Seitenleitwerk, bietet er Schutz für das Bodenpersonal und gegen Hindernisberührungen. Die asymmetrische Konstruktion der Heckrotorblätter führt zu einer subjektiven Verringerung der Lärmbelastung. (**von Gersdorff 1999**, S. 270, 311, 315)

### 1.3 Ziel der Arbeit

Diese Arbeit soll die Entwicklung und Realisierung einer automatischen Klimaregelung für den Hubschrauber EC 135 unterstützen. Ausgehend von einem Regelungskonzept, welches in einer vorhergehenden Diplomarbeit ausgearbeitet wurde, werden Komponenten für die Umsetzung und technische Varianten ermittelt.

Unter Berücksichtigung der technischen Anforderungen, wie z.B. Gewicht und Energiemanagement, werden die geeigneten Komponenten festgelegt. Für die ausgewählten Komponenten werden soweit erhältlich die technischen Datenblätter bei Herstellern und Lieferanten angefordert. Für alle anderen Komponenten wird ein technischer Anforderungskatalog erstellt.

Am Ende der Arbeit sollen alle notwendigen Informationen für die Erstellung einer Fertigungsstückliste, eines Kostengerüsts sowie für die Anfertigung von Detailzeichnungen vorliegen.

### 1.4 Literaturübersicht

In der einschlägigen Literatur wurden die meisten Bücher im Bereich der Kraftfahrzeugtechnik und der allgemeinen Klimatechnik gefunden. Abhandlungen über die Klimatisierung von Hubschraubern konnten in einer Literaturrecherche nicht ermittelt werden:

In **Deh 1999** werden die Grundlagen und die Funktionsweise von Pkw-Klimaanlagen beschrieben. Ebenso sind hier Anforderungen an Pkw-Klimaanlagen genannt. Aus der Tatsache, dass der Hubschrauber keine Druckkabine besitzt, ergibt sich für den Bereich Klimatisierung eine Analogie zum Kraftfahrzeug und es kann auf die Aussagen dieses Werkes zurückgegriffen werden.

Im Lehrwerk „Handbuch der Klimatechnik“ (**Hörner 2000, Engelhorn 2000, Baumgarth 2000, Reeker 1989, Lettner 1988**) werden allgemeine Grundlagen der Klimatechnik behandelt. Neben den Funktionsweisen von unterschiedlichen Klimaanlagen werden auch die einsetzbaren Bauelemente aufgeführt. Die Regelungsmöglichkeiten von Klimaanlagen werden behandelt. Das Werk befasst sich jedoch weitgehend mit der Klimatisierung von großen Räumen oder der Industrieklimatisierung. So können nur allgemeine Grundlagen dem Werk entnommen werden.

Als wesentliche Grundlage für diese Arbeit dient daher **Brinkmann 2001**. Dort werden mögliche Regelkonzepte erarbeitet. Ausgehend davon können die Ermittlung und Auswahl der erforderlichen Komponenten erfolgen.

## 1.5 Aufbau der Arbeit

Die vorliegende Arbeit beschreibt in den ersten Abschnitten den Hubschrauber EC 135 und seine Klimatisierung. Dem Leser werden die Grundlagen der Klimatechnik und der Mess- und Regelungstechnik näher gebracht. Diese sind in dieser Tiefe im Studiengang Flugzeugbau nicht behandelt worden, für die spätere Auswahl der Komponenten jedoch von großer Bedeutung. So erhält der Leser einen Einblick in die verschiedenen Möglichkeiten der einsetzbaren Komponenten.

Im Anschluss daran erfolgt eine Analyse und Auswertung der vorangegangenen Diplomarbeit zur Klimaregelung. Eine weitere Diplomarbeit zum Thema Luftverteilung brachte für diese Arbeit keine relevanten Ergebnisse und wurde daher nicht weiter verwendet.

Die nachfolgenden Abschnitte befassen sich mit den Anforderungen, der Auswahl und Gestaltung dieser Komponenten.

Die einzelnen Abschnitte beinhalten folgende Ausführungen:

- Abschnitt 2** beschreibt den Hubschrauber EC 135 mit seinen technischen Eigenschaften.
- Abschnitt 3** geht auf die theoretischen Grundlagen der Klimatechnik ein.
- Abschnitt 4** fasst Grundlagen aus der Mess- und Regelungstechnik zusammen. Hier werden die technischen Möglichkeiten aufgezeigt, auf die in den Abschnitten 9 und 10 näher eingegangen wird.
- Abschnitt 5** erläutert den derzeitigen Stand des Hubschraubermusters im Bereich Kabinenklimatisierung.
- Abschnitt 6** arbeitet die Details einer vorangegangenen Diplomarbeit in den Lösungsansatz ein und ermittelt daraus die, für die Realisierung einer Klimaautomatik, benötigten Komponenten.
- Abschnitt 7** beschreibt verschiedene Varianten der Klimatisierung und leitet daraus eine Lösung ab.

- Abschnitt 8** gibt einen Einblick in die allgemeinen und speziellen technischen Anforderungen der gesuchten Komponenten.
- Abschnitt 9** beschreibt die Auswahl und/oder Gestaltung der verschiedenen Komponenten.
- Abschnitt 10** zeigt technische Details für die Gestaltung der Regeleinheit auf.
- Abschnitt 11** stellt die Kostenermittlung für die benötigten Komponenten dar.
- Anhang A** enthält Datenblätter und Preisinformationen zu einer Digitalanzeige.
- Anhang B** enthält Datenblätter und Preisinformationen zu Stellmotoren.
- Anhang C** enthält Datenblätter und Preisinformationen zu Temperatursensoren.
- Anhang D** enthält Datenblätter und Preisinformationen zu Feuchtesensoren.
- Anhang E** enthält Auszüge aus den Zulassungsvorschriften JAR.
- Anhang F** enthält ein Hersteller- und Lieferantenverzeichnis.

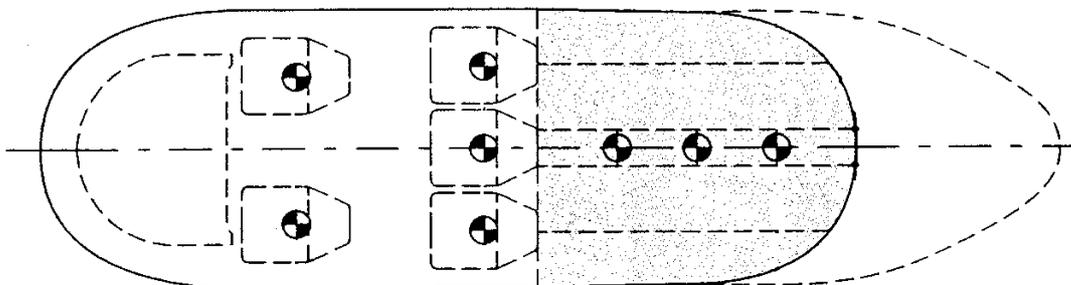
## 2 Hubschrauber EC 135

Die EC 135 ist ein leichter Vielzweckhubschrauber der von Eurocopter Deutschland GmbH in Donauwörth gefertigt wird. Er ist zugelassen nach **JAR 27** (Joint Aviation Requirements).

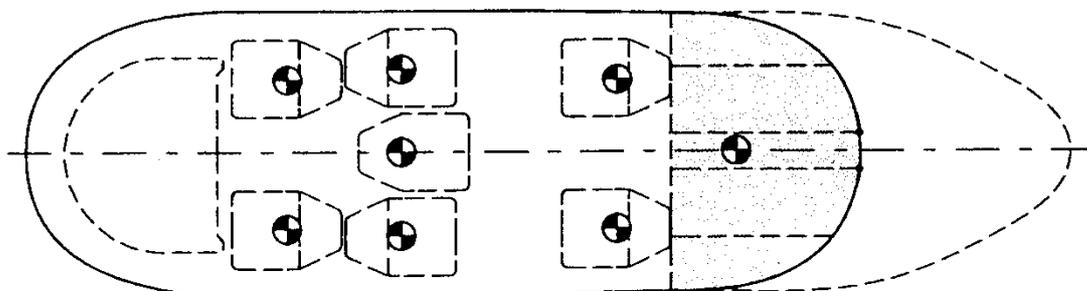
Den Antrieb liefern zwei Turbinen der 400 kW Klasse. Zur Auswahl steht das französische Triebwerk Turboméca Arrius 2B2 oder das kanadische Triebwerk Pratt & Whitney of Canada PW 206B2. Beide Triebwerkversionen verfügen über die elektronisch digitale Regelung FADEC (Full Authority Digital Electronic Control). Die Getriebe sind mit dem speziellen Schwingungsisolierungssystem ARIS (Anti-resonance Rotor Isolation-System) ausgestattet, welches die Übertragung von Vibrationen auf die Zelle verhindert und den Flugkomfort erhöht. (FLM 2003, 1-3)

Die EC 135 ist mit einem starren, lager- und gelenklosen Hauptrotor mit 4 Rotorblättern ausgestattet, der den Wartungsaufwand verringert und die Betriebskosten minimiert. Er verfügt über einen ummantelten Heckrotor in Fenestron-Bauweise mit 10 Blättern. Damit ist dieser Hubschrauber der leiseste seiner Klasse und verfügt über eine erhöhte Flugsicherheit.

Der Hubschrauber bietet je nach Ausstattung Platz für ein oder zwei Piloten im Cockpit und bis zu 6 Passagieren in der Kabine (**Technical Data**). Eine Auswahl der möglichen Sitzaufteilung ist in Bild 2.1 und Bild 2.2 dargestellt.



**Bild 2.1** Anordnung fünf Sitze (FLM 2003, Fig. 6-5)



**Bild 2.2** Anordnung sieben Sitze (FLM 2003, Fig. 6-3)

Weitere technische Daten sind in Tabelle 2.1 aufgeführt. Diese können sich je nach kundenspezifischer Ausstattung der Maschine geringfügig verändern.

**Tabelle 2.1** Technische Daten des Hubschraubers EC 135 (**Technical Data**)

Leergewicht	1490 kg
maximales Abfluggewicht	2835 kg
höchstzulässige Geschwindigkeit	155 kts
maximale Reisegeschwindigkeit	141 kts
maximale Dienstgipfelhöhe	20.000 ft
maximale Schwebeflughöhe	15.000 ft
maximale Reichweite	346 nm

Seit ihrer Markteinführung im Jahr 1996 wurden von der EC 135 bislang 300 Maschinen ausgeliefert (**Presseinfo 2003**). Ihr Einsatz erfolgt hauptsächlich bei der Polizei, dem Bundesgrenzschutz und im Rettungsdienst. Aber auch Privatkunden finden sich unter den Käufern.

### 3 Klimaanlage

Klimaanlagen werden eingesetzt, um Räume durch Kühlen, Heizen oder einen kombinierten Betrieb für die entsprechenden Erfordernisse zu temperieren sowie zu be- oder entfeuchten. Mit ihrer Hilfe kann die Luft auch gefiltert oder gegebenenfalls vollständig erneuert werden. (**Jüttemann 1973**, Seite 154)

Umgangssprachlich wird unter dem Begriff der Klimatisierung der Prozess der Kälteerzeugung verstanden, auf den in dieser Arbeit näher eingegangen wird. Die Wärmeerzeugung wird nicht näher betrachtet. Im Hubschrauber wird die Warmluft zum Heizen der Kabine an der Verdichterstufe der Triebwerke entnommen. Diese steht in ausreichender Menge zur Verfügung. Daher existiert keine eigenständige Wärmeerzeugungsanlage.

Der Einsatz von Klimaanlagen in Hubschraubern ist aus folgenden Gründen sinnvoll:

- Beim Einsatz eines Hubschraubers im VIP-Bereich ist eine Klimatisierung des Passagierbereiches und der damit verbundene Komfort eine allgemeine Anforderung der Kunden.
- Beim Einsatz eines Hubschraubers im medizinischen Bereich stellt der Einsatz einer Klimaanlage eine wesentliche Verbesserung bei der Versorgung der Patienten dar.
- Durch den Einsatz einer Klimaanlage im Hubschrauber wird die Betriebssicherheit deutlich erhöht. Zum einen wird das Wohlbefinden und die Arbeitsfähigkeit der Besatzung erhöht (**Deh 1999**, Seite 9, 11). Zum anderen spielen technische Aspekte eine Rolle: die Betriebssicherheit der elektronischen Ausrüstung wird positiv beeinflusst, der Erhalt der notwendigen Sicht aus dem Cockpit bei Betauung von innen während des Fluges wird erleichtert, nach Standzeiten wird die Vereisung von außen schneller abgebaut.

Es folgt ein kurzer Überblick über die unterschiedlichen Verfahren zur Kälteerzeugung, welche in einem offenen oder geschlossenen Kreisprozess erfolgen kann.

Ein Beispiel für einen offenen Kreisprozess ist der Einsatz von Kühltürmen, wie sie in Kraftwerken eingesetzt werden (**Engelhorn 2000**, Kapitel 6.2). Derartige Verfahren zur Kälteerzeugung können in Hubschraubern nicht eingesetzt werden.

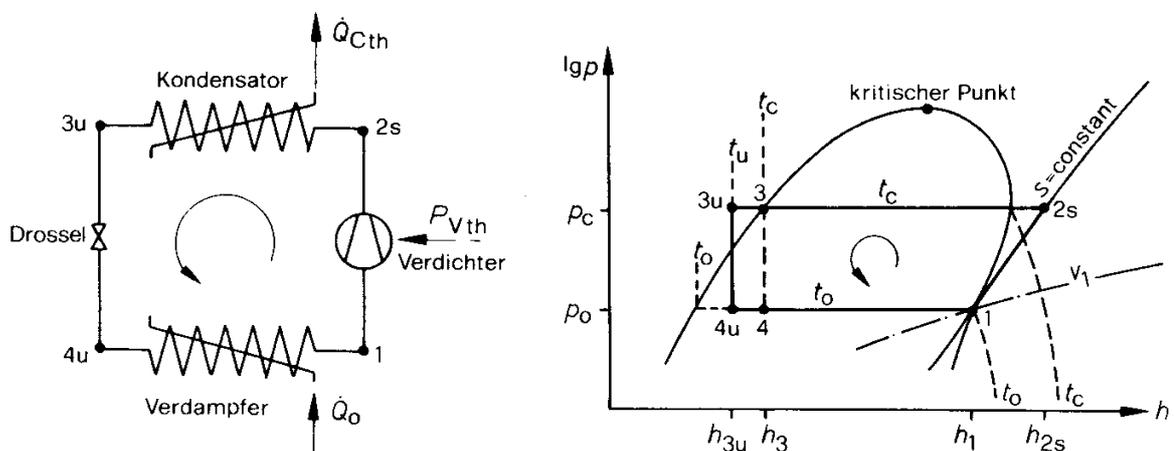
Bei den geschlossenen Kreisprozessen kommen Absorptionskältemaschinen oder Kompressionskältemaschinen zum Einsatz. Absorptionskältemaschinen verwenden als Antriebsenergie thermische Energie. Ein Beispiel hierfür ist ein gasbetriebener Campingkühlschrank (**Engelhorn 2000**, Kapitel 6.5). In Kompressionskältemaschinen durchläuft ein Kältemittel einen linkslaufenden Kreisprozess. Kompressionskältemaschinen

werden am häufigsten zur Kälteerzeugung eingesetzt (**Engelhorn 2000**, Kapitel 6.4). Nach **Deh 1999** (Seite 25) werden Kompressionskältemaschinen im Kraftfahrzeugbau eingesetzt. Aufgrund der langen Erfahrung und der Kompaktheit solcher Anlagen, sind diese für den Einsatz im Hubschrauber besonders geeignet.

Wesentliche Bestandteile einer Kompressionskältemaschine sind ein Verdichter, ein Kondensator, ein Drosselorgan und ein Verdampfer. Diese Komponenten sind miteinander durch Kältemittelleitungen verbunden. In diesen zirkuliert das Refrigerant, z.B. R 134a und durchläuft die unterschiedlichen Zustandsänderungen des Kreisprozesses. Dabei kommt es zu einem kontinuierlichen Wechsel zwischen gasförmigen und flüssigen Aggregatzustand. Die Wärme wird gegen das Temperaturgefälle transportiert (**Lettner 1988**, Seite 102). Dieser Ablauf ist in Tabelle 3.1 und Bild 3.1 dargestellt

**Tabelle 3.1** Ablauf des Kreisprozesses (nach **Engelhorn 2000**, Kapitel 6.4)

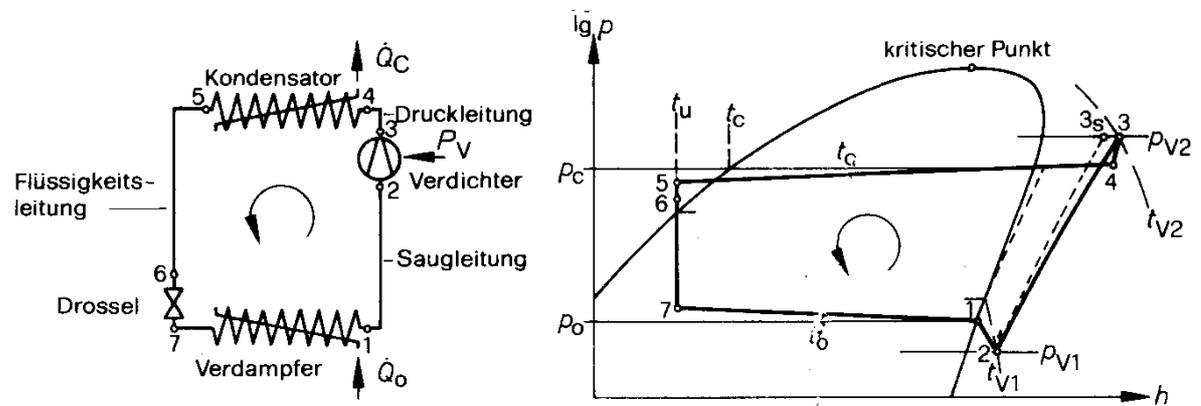
Bauteil	Aufgabe	Strecke im Kreisprozess	Aggregatzustand des Kühlmittels
Verdichter	Komprimierung des Kältemittels	1 → 2	gasförmig
Kondensator	Wärme des Kältemittels wird an die Außenluft abgegeben	2 → 3	gasförmig
Drosselorgan	Entspannung des Kältemittels	3 → 4	flüssig
Verdampfer	Wärmezufuhr durch die zu kühlende Innenraumluft	4 → 1	flüssig



**Bild 3.1** Idealer Kreisprozess (**Lettner 2000**, Bilder 3-14, 3-15)

Der oben beschriebene, ideale Kreisprozess ist verlustfrei.

Der reale Kälteprozess in einer Kompressionskältemaschine weist Druckverluste in den Leitungen und den Wärmeübertragern auf. Diese Verluste sind in der Darstellung des realen Kälteprozesses in Bild 3.2 zu erkennen.

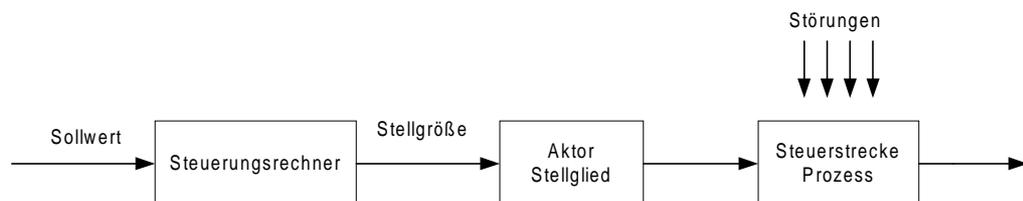


**Bild 3.2** Realer Kreisprozess (Lettner 2000, Bilder 3-16, 3-17)

## 4 Regelung

In der Regelungstechnik wird zwischen den beiden Begriffen Steuerung und Regelung unterschieden.

Nach **DIN 19226-1 1994** werden bei einer Steuerung eine oder mehrere Ausgangsgrößen durch eine oder mehrere Eingangsgrößen beeinflusst. Wesentliches Kennzeichen einer Steuerung ist der offene Wirkungsweg. Die gegebenen Befehle werden nicht kontrolliert (**Daniels 1973**, Seite 115). In Bild 4.1 ist eine Steuerkette schematisch abgebildet.



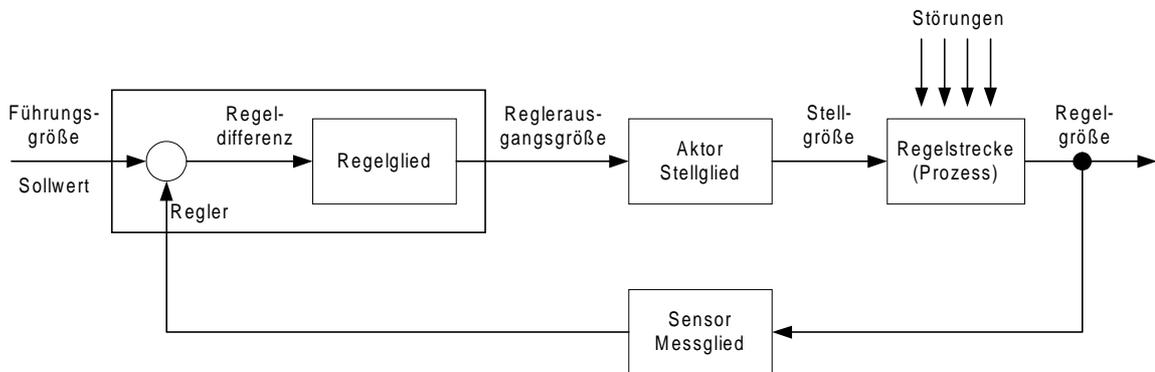
**Bild 4.1** Aufbau einer Steuerkette (nach **Uni-Passau**)

Nach **DIN 19226-1 1994** wird bei einer Regelung eine physikalische Größe, die Regelgröße (Istwert), fortlaufend erfasst und mit einem vorgegebenen Signal, der Führungsgröße (Sollwert), verglichen. Entsprechend der gemessenen Differenz zwischen Regelgröße und Führungsgröße beeinflusst der Regler die Regelstrecke mit dem Ziel den Istwert dem Sollwert Führungsgröße anzugleichen. In Bild 4.2 ist ein Regelkreis mit seinen Bestandteilen schematisch dargestellt. Die einzelnen Bestandteile sind nach **DIN 19226-4 1994** genormt:

- **Regelstrecke**  
Die Regelstrecke ist der Teil eines Regelkreises, in dem eine physikalische Größe mit einem bestimmten Ziel beeinflusst wird. Die Regelstrecke wird durch die Stellgröße beeinflusst um die Regelgröße der Führungsgröße anzupassen.
- **Regler**  
Der Regler gibt über das Regelglied seine Ausgangsgröße an das Stellglied weiter, welches die Regelstrecke beeinflusst.
- **Vergleichsglied**  
Das Vergleichsglied bildet die Regeldifferenz aus der Führungsgröße und der Rückführgröße.
- **Regelglied**  
Das Regelglied bildet aus der Regeldifferenz die Reglerausgangsgröße.
- **Stellglied**  
Das Stellglied bildet aus der Reglerausgangsgröße die Stellgröße zur Aussteuerung der Regelstrecke.

- Messglied

Das Messglied ist eine Funktionseinheit, welche die Regelgröße aufnimmt, anpasst und als Rückführgröße an das Vergleichsglied weitergibt, z.B. ein Temperatursensor.



**Bild 4.2** Schematische Darstellung eines Regelkreises (Uni-Passau)

Nach **Dümmel 1983** (Seite 81) gibt es verschiedene Arten der Regelung:

- **Stellregelung**  
Bei Stellregelungen werden Regelgrößen wie z.B. Druck, Temperatur oder Feuchte beeinflusst. Als Stellglieder kommen hier Regelventile oder Drosselklappen zum Einsatz.
- **Antriebsregelung**  
Bei Antriebsregelungen wird die Drehzahl von Maschinen beeinflusst. Durch die Drehzahländerung wird z.B. eine Mengenregelung von strömenden Medien erreicht.
- **Regelung ohne Hilfsenergie**  
Regelungen ohne Hilfsenergie werden eingesetzt, wenn die Messenergie zum Betätigen der Stellglieder ausreicht.
- **Regelung mit Hilfsenergie**  
Reicht die Messenergie nicht für die Betätigung der Stellglieder aus, so muss eine Hilfsenergiequelle eingesetzt werden. Diese kann pneumatisch, hydraulisch oder elektrisch sein.

## 4.1 Regler

Ein Regler ändert mit seiner Stelleinrichtung die Stellgröße so lange, bis wieder eine Übereinstimmung zwischen dem Istwert und dem Sollwert der Regelgröße hergestellt ist (**Weber 1973**, Seite 22).

Nach **Kaspers/Küfner 2002** (Seite 220) besteht ein Regler aus einem Vergleichsglied und einem Regelglied. Das Vergleichsglied bildet die Regeldifferenz aus der Führungsgröße und der Rückführgröße. Aus dieser Regeldifferenz wird im Regelglied die Reglerausgangsgröße gebildet. Anschließend wird die Regelgröße entsprechend dem Reglerverhalten der Führungsgröße nachgeführt.

Bei Reglern wird unterschieden in:

- Regler mit kontinuierlicher (stetiger) Stellgrößenänderung
- Regler mit schaltender (unstetiger) Stellgrößenänderung

#### 4.1.1 Regelung mit stetigen Reglern

Bei der Verwendung von stetigen Reglern läuft der Stellvorgang permanent ab. Dabei greift die Regeleinrichtung ohne Unterbrechung in den Regelungsprozess ein. Innerhalb eines definierten Stellbereiches kann die Stellgröße jeden beliebigen Zwischenwert einnehmen. (TU-Ilmenau 1)

Stetige Regler werden nach drei Geschwindigkeitstypen unterschieden:

- Proportionalregler (P-Regler)  
Bei einem Proportionalregler besteht ein direkter proportionaler Zusammenhang zwischen der Regeldifferenz und der Stellgröße (**Baumgarth 2000**, Seite 434). Dieser sehr schnelle Regler wird als Grundregler für einfache Regelvorgänge verwendet. Hierbei dürfen keine besonderen Anforderungen an die Genauigkeit gestellt werden. Bei einer auftretenden Störung wird die Regeldifferenz nicht voll ausgeglichen. Es kommt zu einer bleibenden Regelabweichung (**Meisterprüfung 1998**, Seite 220).
- Integralregler (I-Regler)  
Bei einem Integralregler ist jeder Regeldifferenz eine bestimmte Stellgeschwindigkeit zugeordnet. Sein Vorteil liegt darin, dass sich bei einer Störung die Stellgröße so lange ändert, bis die Regelabweichung wieder bei Null liegt. Es kommt daher zu keiner bleibenden Regelabweichung (**Baumgarth 2000**, Seite 435).
- Differentialregler (D-Regler)  
Bei einem Differentialregler ist die Geschwindigkeit, mit der die Stellgröße nachgeführt wird, proportional zur Geschwindigkeit der Änderung der Regeldifferenz (**Kaspers/Küfner 2002**, Seite 251). Rein differenzierend wirkende Regler sind technisch nicht realisierbar.

In der Praxis werden häufig kombinierte Regler eingesetzt. Dadurch werden die Vorteile der verschiedenen Reglertypen kombiniert. So ist es möglich die Nachteile eines Reglertyps zu

kompensieren. Die Stellgröße setzt sich aus der Summe der jeweiligen Ausgangsgrößen zusammen. Folgende Reglerkombinationen finden Verwendung:

- **PI-Regler**  
Der sehr häufig verwendete PI-Regler ist eine Kombination aus einem Proportional- und einem Integralregler. Der P-Anteil sorgt für eine schnelle Reaktion auf Änderungen, der I-Anteil dafür, dass keine bleibende Regelabweichung auftritt. Für die meisten Anwendungen besitzt er somit ausreichende Regeleigenschaften. (**Meisterprüfung 1998**, Seite 228)
- **PD-Regler**  
Der selten eingesetzte PD-Regler ist ein Proportionalregler mit differentiellem Anteil. Der D-Anteil sorgt bei starken Störeinflüssen für eine schnelle und kräftige Nachregelung. Dadurch bleibt die Regelabweichung gering. Diese Art von Reglern arbeitet jedoch ungenau. (**Meisterprüfung 1998**, Seite 232)
- **PID-Regler**  
In einem PID-Regler sind alle Vorteile der einzelnen Reglertypen vereinigt. Hierbei sorgen die verschiedenen Anteile für ein optimales Regelverhalten:

P-Anteil : sorgt für Genauigkeit  
I-Anteil : verhindert bleibende Regeldifferenz  
D-Anteil : sorgt für Schnelligkeit

Der Nachteil liegt darin, dass drei Parameter einzustellen sind. Bei falschen Einstellungen kann es zur Instabilität kommen (**Baumgarth 2000**, Seite 436). Ein PID-Regler wird verwendet, wenn an die Regelgeschwindigkeit und an die Regelgenauigkeit hohe Anforderungen gestellt werden (**Meisterprüfung 1998**, Seite 236).

#### 4.1.2 Regelung mit unstetigen Reglern

Regler mit Schaltverhalten werden bei einfachen Anwendungen eingesetzt. Sie greifen nicht ständig in die Regelstrecke ein. Sie können z.B. als Messwertgeber mit Grenzwertschaltern, mit Bimetallkontakten und als Relais realisiert werden (**TU-Ilmenau 1**). Ihre Vorteile liegen darin, dass sie robust und preisgünstig sind. Zudem können hohe Leistungsverstärkungen erreicht werden.

Unstetige Regler üben ihre Stellfunktion in einer Folge von Energieimpulsen aus. Die Einwirkzeiten mit konstanter Energiehöhe sind fest, die Einwirkdauer jedoch begrenzt (**Kaspers/Küfner 2002**, Seite 244).

Nach der Anzahl der Stellgrößen wird unterschieden in:

- **Zweipunktregler**  
Ein Zweipunktregler arbeitet in Abhängigkeit von der Regelgröße. Er kennt die Zustände Ein oder Aus (**Meisterprüfung 1998**, Seite 213). Zweipunktregler werden dann eingesetzt, wenn es um eine einfache Realisierung der Regelaufgabe geht, bei der keine besonderen Anforderungen an die Genauigkeit gestellt werden. Bei einfachen Anwendungen wird oftmals ein gewisser Toleranzbereich der Regelgröße zugelassen und der Eingriff der Stelleinrichtung erfolgt erst, wenn dieser verlassen wird. In der Praxis findet man Zweipunktregler mit einer ausgeprägten Schaltdifferenz (**TU-Ilmenau 1**). Diese Schaltdifferenz wird Hysterese genannt. Ein Vorteil der Zweipunktregler besteht in der kostengünstigen und anspruchslosen Bauweise. Als Nachteil wirkt sich der stoßartige Betrieb durch das sprunghafte Ein- und Ausschalten aus. Es kommt zu Schwankungen des Istwertes um den Sollwert (**TU-Ilmenau 1**).
- **Mehrpunktregler**  
Nach **Meisterprüfung 1998** (Seite 218) arbeiten Mehrpunktregler mit mehr als zwei Schaltzuständen. Am häufigsten kommen Dreipunktregler zum Einsatz. Hierbei handelt es sich in der Regel um die Kombination aus zwei Zweipunktreglern. Sie kennen drei Schaltzustände, z.B. bei Klimaanlage mit Heiz- und Kühlmöglichkeit die Schaltzustände: Aus - Heizen - Kühlen.
- **Zweilaufregler**  
Ein Zweilaufregler ist ein Dreipunktregler mit nachgeschaltetem Motor. Er findet Verwendung bei Ventilen mit elektrischen Antrieben. Zur Ventilsteuerung kann der motorische Stellantrieb neben dem Stillstand in zwei Drehrichtungen geschaltet werden: Rechtslauf - Linkslauf (**Baumgarth 2000**, Seite 437).

### 4.1.3 Quasistetige Regler

Quasistetige Regler arbeiten mit digitalen Signalen. Hierbei wird der Regler durch eine speicherprogrammierbare Steuerung (SPS), eine elektronische Schaltung oder einen Mikroprozessor ersetzt. Durch ein Programm wird das Reglerverhalten festgelegt. Der Vorteil besteht darin, dass das Regelverhalten und der Verlauf der Regelgröße beliebig einstellbar sind. Das Reglerverhalten ist leichter veränderbar, da dieses als Software vorliegt und nur das Programm geändert werden muss (**TU-Ilmenau 1**). Ein Nachteil sind die meist hohen Investitionskosten.

## 4.2 Stellglieder

Stellglieder wandeln die meist als elektrisches Signal vorliegende Reglerausgangsgröße in physikalische Zustandsänderungen als Regeleingriff in die Regelstrecke um (**Dümmel 1983**, Seite 156). Typische Stellglieder für Massenströme sind z.B. Ventile, Schieber oder Klappen. Plattenschieber weisen geringere Druckverluste als Drosselklappen auf (**Bohl 1991**, Seite 144). In vielen Anwendungsfällen wird die Normalstellung solcher Regelkreisstellglieder bei 50% ihrer Öffnung festgelegt. Dadurch kann das Stellglied in beide Richtungen (Öffnen und Schließen) betätigt werden und so die Regelung beeinflussen.

## 4.3 Stellantriebe

Zum Verstellen der Stellglieder werden Antriebe benötigt. Diese Antriebe werden als Stellantriebe oder Aktoren bezeichnet. Ihre Aufgabe besteht darin, die Stellgröße der Regelung in eine mechanische Bewegung umzuformen (**Dümmel 1983**, Seite 148).

Nach **Reeker 1989** (Seite 296) kommen im Bereich der Klimatechnik pneumatische und elektrische Stellantriebe zum Einsatz. Pneumatische Antriebe erzeugen eine Hubbewegung, elektrische meistens eine Drehbewegung.

In der Praxis haben sich insbesondere elektrische Antriebe durchgesetzt. Hierbei kommen Kleinmotoren zum Einsatz. Generell kann man diese nach ihrem Funktionsprinzip in zwei Arten unterscheiden (**Moczala-1 1979**, Seite 25):

- Drehfeld-Motoren (fremdgeführte Motoren)  
Bei einem Drehfeld-Motor nimmt ein sich räumlich drehendes Magnetfeld den Läufer mit.
- Kommutator-Motoren (selbstgeführte Motoren)  
Bei einem Kommutator-Motor wird die auftretende Kraftwirkung zwischen Leiterschleifen und Magnetfeld betrachtet.

Eine Aufstellung der wichtigsten Arten elektromagnetischer Kleinmotoren ist in Tabelle 4.1 dargestellt.

**Tabelle 4.1** Übersicht elektromagnetischer Kleinmotoren (**Stölting-1 2002**, Tabelle 1.1)

Selbstgeführte Motoren		Fremdgeführte Motoren		
mechanischer Kommutator		elektronischer Kommutator	lastabhängige Drehzahl	frequenzstarre Drehzahl
Wechselstrom-Motoren	Gleichstrommotoren	Elektronik-(EC-) Motoren	Asynchronmotoren	Synchronmotoren
Wechselstrom-Kommutator-motor (Universalmotor)	Reihenschlussmotor Nebenschlussmotor fremderregter Motor Doppelschlussmotor permanentmagnet-erregter Motor	Motor mit Magnetläufer: Blockstromtechnik Sinusstromtechnik  Geschalteter Reluktanzmotor	Drehstrommotor Käfigläufer  Wechselstrom-Motoren: Kondensatormotor Widerstands-hilfsstrangmotor Spaltpolmotor	Drehstrommotor Magnetläufer Hybridläufer Wechselstrom-Motoren: Magnet-, Reluktanz-, Hysteresemotor Schrittmotoren: Magnet-, Reluktanz-, Hybridschrittmotor
Drehzahl $\gg 3000 \text{ min}^{-1}$ möglich $\rightarrow$ kleine, leichte Motoren Drehzahlstellung und -regelung einfach		Drehzahl $\leq 3000 \text{ min}^{-1}$ (bei 50-Hz-Netz) Drehzahlstellung und -regelung aufwendig		
Motor: weniger robust, geringere Lebensdauer, laut, vergleichsweise teuer  Elektronik: kostengünstig		Motor: robust, mit Ferritmagneten bzw. Reluktanzläufer kostengünstig Elektronik: teuer	Motor: robust, geräuscharm, kostengünstig  Elektronik: sehr teuer	

Die elektrischen Stellantriebe können nach der Wirkung, also ihrer Stellbewegung, unterschieden werden.

### 4.3.1 Motoren mit kontinuierlicher Bewegung

- Mechanische Kommutatormotoren

Zu den Kommutatormotoren gehören Gleichstrommotoren mit elektromagnetischer und permanentmagnetischer Erregung, sowie Kommutatorreihenschlussmotoren (Universalmotor) (siehe Tabelle 4.1). Im unteren Leistungsbereich haben elektromagnetisch erregte Gleichstrommotoren nur eine sehr geringe Bedeutung. Bei niedrigen Spannungen sind permanenterregte Gleichstrommotoren kostengünstiger und kommen daher bei vielen Anwendungen zum Einsatz. Insbesondere für den Betrieb an Kleinspannungen mit  $U \leq 42 \text{ V}$  besitzen permanentmagneterregte Gleichstrommotoren vielfältige Gestaltungsmöglichkeiten. (**Weißmantel 2002**)

- **Elektronische Kommutatormotoren**  
Zur Gruppe der elektronisch kommutierten Motoren gehören geschaltete Reluktanzmotoren und bürstenlose Permanentmagnetmotoren (siehe Tabelle 4.1). Geschaltete Reluktanzmotoren sind elektronisch kommutierte Reluktanzschrittmotoren (**Hoppach 2002**, Seite 84). Ein Eisenstück richtet sich in einem Magnetfeld so aus, dass der magnetische Widerstand am geringsten ist. Zwischen den einzelnen Phasenwicklungen schaltet die Elektronik den Motorstrom um (**Apag**). Bei bürstenlosen Permanentmagnetmotoren wird durch die Wechselwirkung von Magnetfeldern eine Kraft erzeugt. Abhängig von der Bauart werden diese Motoren an einem Wechselstromnetz, einem Drehstromnetz oder einem Wechselrichter mit block- oder sinusförmigen Strömen bzw. Spannungen betrieben (**Amrhein 2002**, Seite 52). Für den Wechselrichterbetrieb mit blockförmigen Signalen werden bürstenlose, permanentmagneterregte Gleichstrommotoren eingesetzt. Für den Betrieb an sinusförmigen Signalen werden bürstenlose, permanenterregte Wechselstrommotoren verwendet. Die im Wechselrichterbetrieb eingesetzten Motoren beziehen ihre Spannung aus einer Gleichspannungsquelle (**Amrhein 2002**, Seite 52, 53).
- **Drehfeldmotor**  
Am Umfang des Motors sind drei gleiche Wicklungsstränge symmetrisch verteilt. In diesen fließen phasenverschoben drei gleiche Ströme. Diese Ströme erzeugen ein Drehfeld. Drehfeldmotoren werden unterschieden in Asynchronmotoren und Synchronmotoren. (**Stölting-2 2002**)

In der Klimatechnik werden für die Verstellung von Klappen und Schiebern bereits folgende Stellantriebe verwendet:

- permanentmagnetisch erregte Gleichstrommotoren (**Weißmantel 2002**, Seite 24)
- bürstenlose Gleichstrommotoren (**Moczala-2 1979**, Seite 185)

### 4.3.2 Elektromagnetische Schrittantriebe

Bei einem Schrittantrieb kann der Läufer bestimmte Schritte mit einem Schrittwinkel ausführen. Dadurch kann jede Umdrehung in eine bestimmte Zahl von Schritten aufgelöst werden. Ein Schrittmotor arbeitet in einer offenen Steuerkette. Im wesentlichen haben sich folgende Bauformen durchgesetzt (**Richter 2002**, Kapitel 3.1):

- **Klauenpolschrittmotoren**  
Klauenpolschrittmotoren sind permanentmagnetisch erregte Schrittmotoren. Sie sind eine einfache Lösung für Antriebe mit geringer Leistung. Er wird u.a. in der Kraftfahrzeugtechnik für Klimaanlage eingesetzt.

- Reluktanzschrittmotoren  
Reluktanzschrittmotoren erreichen nur einen geringen Wirkungsgrad. Daher sind sie trotz der kostengünstigen Fertigung von geringer Bedeutung.
- Hybridschrittmotoren  
Hybridschrittmotoren besitzen die höchsten Leistungsparameter. Sie werden für hochwertige Positionieraufgaben eingesetzt.

In der Klimatechnik wird für die Verstellung von Klappen und Schiebern bereits der Klauenpolschrittmotor verwendet (**Richter 2002**, Seite 111, 112).

### 4.3.3 Übertragungselemente

Zur Übertragung der Stellantriebskraft auf die Stellglieder wird eine mechanische Verbindung benötigt. Das mechanische Übertragungselement hat in diesem Fall die Aufgabe, die bereitgestellte Bewegungsenergie den geforderten Parametern anzupassen (**Krause 2002**, Seite 243). Ein solches Übertragungselement ist z.B. ein Getriebe.

## 4.4 Messglieder

In der Klimatechnik ist es notwendig die beiden physikalischen Größen Temperatur und Feuchtigkeit zu messen. Dieses geschieht mit Hilfe von Messgliedern (Sensoren), welche physikalische und elektrische Effekte nutzen um Temperatur- oder Feuchtigkeitsänderungen in elektrische Größen (Strom oder Spannung) umzuwandeln. Wenn der funktionelle Zusammenhang zwischen der Sensorgröße und dem elektrischen Ausgangssignal des Sensors bekannt ist, können die Messdaten elektrisch erfasst werden (**IED 1**). Diese elektrischen Signale werden dann in einer elektronischen Regelung weiterverarbeitet.

Bei der Sensormessung wird unterschieden in:

- Aktive Sensoren  
Durch die Einwirkung der physikalischen Größe erzeugen sie selbst eine Spannung oder einen Strom und benötigen daher keine externe elektrische Versorgung. Zu den aktiven Sensoren gehören elektrodynamische, piezoelektrische, thermoelektrische, fotoelektrische, magnetische und chemische Sensoren.
- Passive Sensoren  
Durch die Einwirkung der physikalischen Größe verändern diese Sensoren den für sie typischen Wert. Diese Wertänderung wird in einer elektronischen Schaltung als

Spannungs- oder Stromänderung erfasst. Zu den passiven Sensoren gehören resistive, induktive und kapazitive Sensoren.

#### 4.4.1 Temperaturmessung

Bei der Temperaturmessung werden je nach Einsatzart verschiedene Sensortypen verwendet. Diese werden im folgenden näher beschrieben. Ein Vergleich der Vor- und Nachteile dieser Sensoren, sowie ihr Einsatzbereich ist in Tabelle 4.3 dargestellt.

- Thermoelemente

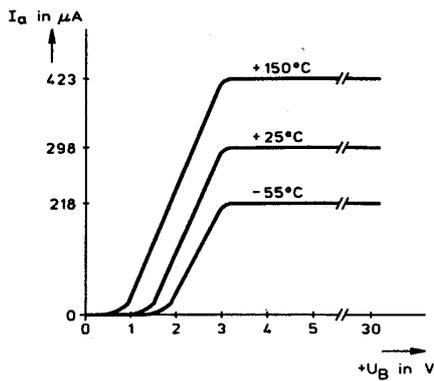
Thermoelemente gehören zur Gruppe der aktiven Sensoren. Sie nutzen den sogenannten Seebeckeffekt. In einem Stromkreis aus verschiedenen Materialien entsteht an deren Kontaktstelle eine Spannung, wenn diese unterschiedlichen Temperaturen unterworfen wird (**Hoffmann 1996**, Seite 119). Ein Thermoelement besteht somit aus zwei metallischen Leitern mit unterschiedlichen thermoelektrischen Eigenschaften. Sie bilden zusammen ein Thermopaar (**TC 2001**, Seite 4). Im allgemeinen werden Thermopaare aus edlen und unedlen Metallen unterschieden. Eine Aufstellung der genormten Thermopaare ist in Tabelle 4.2 gegeben.

**Tabelle 4.2** Genormte Thermopaare nach DIN IEC 584 (**Bernstein 1998**, Seite 369)

Thermopaar	Typ	Messbereich
Cu-CuNi	T	-270 ° C bis 400° C
NiCr-CuNi	E	-270 ° C bis 1000° C
Fe-CuNi	J	-270 ° C bis 1200° C
NiCr-Ni	K	-270 ° C bis 1372° C
PtRh13-Pt	R	-50 ° C bis 1769° C
PtRh10-Pt	S	-50 ° C bis 1769° C
PtRh30-PtRh6	B	0 ° C bis 1820 ° C

- Temperaturfühler IC's

Temperaturfühler-IC's (integrated circuit) sind moderne aktive Temperatursensoren in Form von linearen integrierten Schaltungen. Sie sind auf ein definiertes Temperaturverhalten abgeglichen (**Meisterprüfung 1998**, Seite 136). Solche Schaltungen werden als aktiver Zweipol ausgeführt und liefern je nach Bauform eine Konstantspannung (z.B. 10 mV/K) oder einen Konstantstrom (z.B. 273,5 µA/K), die proportional zur absoluten Temperatur sind. Der Einsatz eines Sensors, der als Konstantstromquelle arbeitet, ist vorteilhaft für die Fernerfassung, da die bei längeren Leitungen auftretenden Spannungsabfälle das Messsignal nicht verändern (**Bernstein 1998**, Seite 383). Bild 4.3 zeigt die Kennlinie eines typischen IC Temperaturfühler der Reihe AD590 (Konstantstromquelle).



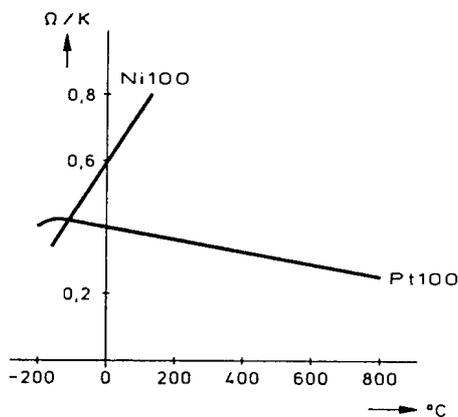
**Bild 4.3** Kennlinie eines AD590 (Bernstein 1998, Abb. 3.38)

- Widerstandstemperaturfühler

Die Widerstandstemperaturfühler gehören zu den passiven Sensoren. Sie nutzen die Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstandes in elektrischen Leitern aus. Widerstandstemperaturfühler können nach der Materialbeschaffenheit in Metall- und Halbleitertemperaturfühler unterteilt werden (Meisterprüfung 1998, Seite 130). Widerstandstemperaturfühler bestehen aus einem temperaturempfindlichen Messwiderstand in einer Schutzhülle, inneren Zuleitungen und Anschlüssen zur Verbindung an die Auswertelektronik. Sie können mit Gleich- oder Wechselstrom bis 500 Hz betrieben werden (TC 2001, Seite 12).

- Metall-Widerstandstemperaturfühler

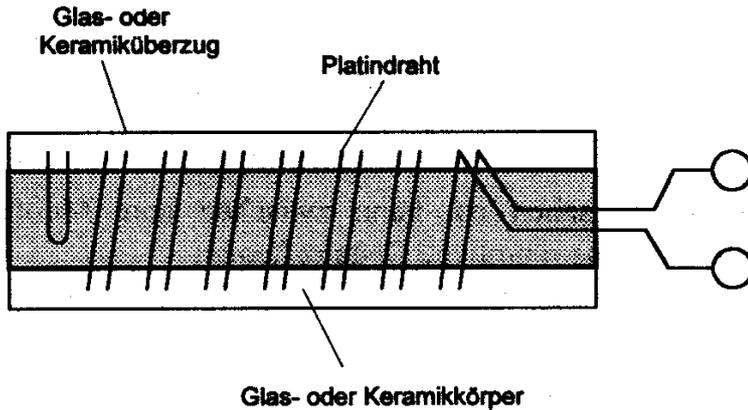
Metall-Widerstandstemperaturfühler werden aus den Werkstoffen Nickel, Kupfer, Wolfram, Molybdän oder Platin hergestellt. Mit Zunahme der Temperatur, erhöht sich der elektrische Widerstand des Metalls. Somit verändert sich mit der Temperatur auch der Spannungsabfall über dem Widerstand. In der Praxis kommen sehr häufig Platin- oder Nickel-Widerstände zum Einsatz. Bild 4.4 zeigt die Kennlinien der gebräuchlichsten Widerstandstemperaturfühler Pt 100 und Ni 100.



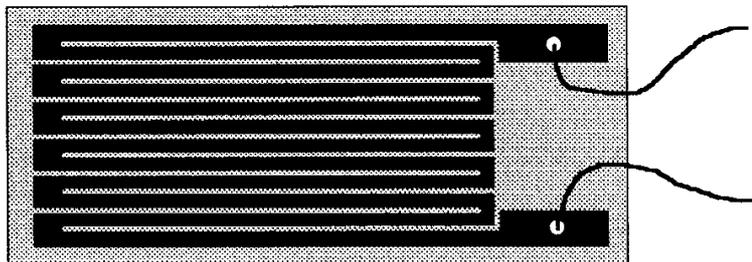
**Bild 4.4** Kennlinie eines Pt 100 und Ni 100 (Bernstein 1998, Abb. 3.52)

Es wird deutlich, dass die Empfindlichkeit eines Ni 100 Fühlers deutlich höher ist, als die eines Pt 100. Die Kennzahl 100 besagt, dass der Widerstandswert bei 0 °C 100 Ohm beträgt.

Es gibt zwei unterschiedliche Bauformen von Widerstandstemperturfühlern. Sie können als Drahtsensor auf einem Glas- oder Keramikkörper aufgebaut werden (Bild 4.5), oder sie werden als Dünnschicht-Tempertursensor gefertigt (Bild 4.6) (Hoffmann 1996, Seite 113).



**Bild 4.5** Aufbau eines Drahtsensors (Hoffmann 1996, Bild 6-1)



**Bild 4.6** Aufbau eines Dünnschichtsensors (Hoffmann 1996, Bild 6-2)

- Heißleiter

Unter Heißleitern versteht man Halbleiterwiderstände mit einem temperaturabhängigen Verhalten. Mit steigender Temperatur nimmt der Widerstand ab. Ihr Temperaturkoeffizient ist also negativ, weshalb sie auch NTC-Widerstand (Negative Temperature Coefficient) genannt werden. Auch die Bezeichnung Thermistor ist üblich. Sie werden auch als oder bezeichnet. Die Herstellung erfolgt aus Metalloxiden und oxidischen Mischkristallen. (Hoffmann 1996, Seite 124)

- Kaltleiter

Auch Kaltleiter sind temperaturabhängige Halbleiterwiderstände, jedoch mit einem positiven Temperaturkoeffizienten. Bei steigender Temperatur nimmt der Widerstand zu (Elektronik). Sie werden als PTC-Widerstand (Positive Temperature Coefficient) bezeichnet. Kaltleiter bestehen aus homogenen Halbleiterwerkstoffen, wie z.B. Bariumtitanat (TU-Ilmenau 2).

- **Silizium-Widerstandstemperatursensor**  
Silizium-Widerstandstemperaturfühler verfügen über eine höhere Linearität als andere Halbleitersensoren. Bei diesem Sensor wird die Temperaturabhängigkeit des spezifischen Widerstandes eines N-leitenden Silizium-Einkristalls gemessen. Diese werden in Planartechnologie hergestellt. (**Meisterprüfung 1998**, Seite 136)
- **Pyrometer**  
Pyrometer werden zur berührungslosen Temperaturmessung bei sehr hohen Temperaturen des Messobjektes verwendet, z.B. für Stahlschmelzen. Das Prinzip der Messung beruht auf Messungen der Wärme- und Lichtstrahlen. Ihr Messbereich liegt zwischen 300 und 3000 °C. (**Hoffmann 1996**, Seite 126)
- **Quarzthermometer**  
Bei Quarzthermometern wird die Temperaturabhängigkeit der Resonanzfrequenz eines Schwingquarzes zur Messung ausgenutzt. Das Ausgangssignal eines solchen Thermometers ist digital. Daher ist es besonders für den Einsatz in rechnergestützten Messsystemen geeignet. (**Hoffmann 1996**, Seite 127)

**Tabelle 4.3** Übersicht Temperatursensoren  
(nach **TC 2001**, **Hoffmann 1996**, **TU-Ilmenau 2**, **Bernstein 1998**)

Messart	Messbereich	Vorteile	Nachteile
Thermoelement	-270 ° C bis +1820 ° C	- kleine Bauweise - schnelle Ansprechzeit - punktförmige Messung möglich - preiswert	- geringe Empfindlichkeit und Genauigkeit
Temperaturfühler IC	-50 ° C bis +150° C	.	.
Metallwiderstands-temperaturfühler	-270 ° C bis +850° C	- gute Linearität - gute Langzeitstabilität	- langsam
Silizium-Widerstands-Temperatursensor	-50 ° C bis +200° C	- preiswert - große Empfindlichkeit	- nicht linear
Heißleiter	-50 ° C bis +350° C	- schnell - geringe Abmessungen - preiswert - große Empfindlichkeit	- nicht linear
Kaltleiter	-30 ° C bis +350° C	- preiswert - sehr hohe Empfindlichkeit	- nicht linear
Pyrometer	+300 ° C bis +3000° C	.	.
Quarzthermometer	-80 ° C bis +250° C	.	.

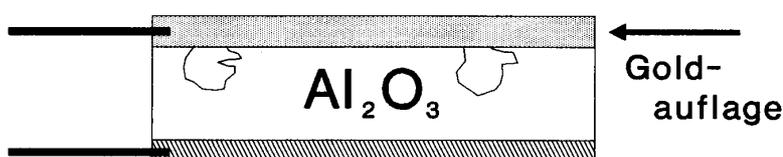
#### 4.4.2 Feuchtemessung

Der in einem Luftvolumen befindliche Wasserdampf wird als Feuchte bezeichnet (**Weber 1995**, Seite 7). Es können verschiedene Feuchtemessgrößen erfasst werden:

- Absolute Feuchte  
Die absolute Feuchte gibt das Gewicht des Wasserdampfes in einem Kubikmeter feuchter Luft an (**Weber 1995**, Seite 9).
- Relative Feuchte  
Die relative Feuchte gibt die Wasserdampfsättigung der Luft in Prozent, bezogen auf die maximal mögliche Wasserdampfmenge der Luft bei dieser Temperatur an (**Weber 1995**, Seite 18). Die Bestimmung der relativen Feuchte ist daher nur im Zusammenhang mit der Temperatur am Messort möglich.
- Taupunkt  
Der Taupunkt bezeichnet die Temperatur, bei der die in einem Gas befindliche Feuchtigkeit zu kondensieren beginnt. An diesem Punkt ist die relative Feuchte gleich 100 %. (**Hoffmann 1996**, Seite 137)

Die Feuchte kann durch verschiedene Verfahren gemessen werden, welche im folgenden näher beschrieben werden. In Tabelle 4.4 sind alle Verfahren noch einmal gegenübergestellt.

- Kapazitive Luftfeuchtemessung  
Für die kapazitive Feuchtemessung wird eine feuchteempfindliche Polymerschicht als Dielektrikum eines Kondensators auf eine stabile Glaträgerplatte aufgebracht (**Weber 1995**, Seite 80). In Abhängigkeit von der relativen Luftfeuchtigkeit lagern sich Wassermoleküle im Dielektrikum ein. Dadurch verändert sich die Dielektrizitätskonstante und somit die Kapazität des Kondensators (**Hoffmann 1996**, Seite 139). Diese Kapazitätsänderung ist proportional zur Änderung der relativen Feuchte und unabhängig vom Umgebungsdruck.
- Aluminiumoxid-Sensor  
Diese Art der kapazitiven Feuchtemessung liefert im Gegensatz zu allen anderen Messungen die absolute Feuchte. Ein Aluminiumoxid-Sensor besteht aus einer Aluminiumelektrode, welche mit einer Oxidschicht überzogen ist. Auf diese Oxidschicht wird eine Goldschicht aufgedampft. So entsteht ein Kondensator mit der Oxidschicht als Dielektrikum (Bild 4.7). Durch die poröse Oxidschicht können sich hier Wassermoleküle einlagern. Dadurch kommt es zu einer Kapazitätsänderung. (**Weber 1995**, Seite 63)



**Bild 4.7** Aluminiumoxid-Sensor (**Weber 1995**, Bild 41)

- **Psychrometrische Luftfeuchtemessung**  
Ein Psychrometer ist eine Anordnung von zwei Temperaturfühlern. Einer dieser Temperaturfühler ist ständig befeuchtet. Zur Feuchtemessung wird nun die sogenannte psychrometrische Differenz, die Temperaturdifferenz zwischen dem trockenen und dem feuchten Fühler, gemessen. Aus der Trockentemperatur und der psychrometrischen Differenz kann nun auf die relative Feuchte geschlossen werden. Diese Messungen sind abhängig vom Luftdruck. (**Weber 1995**, Seite 73)
- **Hygrometrische Luftfeuchtemessung**  
Das Messprinzip von Hygrometern beruht auf der Längenänderung bestimmter Fasern bei Änderung der Luftfeuchte. Mit Hilfe einer Mechanik kann die Längenänderung auf Zeiger übertragen werden. Ebenso ist es möglich die Längenänderung in Widerstands-, Strom- oder Spannungssignale zu wandeln. Hygrometer werden zur Messung der relativen Luftfeuchte verwendet. (**Fischer**)
- **Taupunktbestimmung mit CCC-Taupunktsonden**  
Bei CCC-Taupunktsonden (Condensate Controlled Capacitance) wird mit Hilfe von kapazitiver Kondensatdetektion der Taupunkt bestimmt. Auf einem gekühlten Streufeldkondensator ist ein Sensorchip montiert. Die Sensorfläche, welche mit dem Messmedium in Berührung steht, besteht aus einer hygroskopisch neutralen, verschleißfesten und chemisch beständigen Isolierschicht. Unterhalb dieser Isolierschicht befindet sich der Streufeldkondensator. Bei Bildung von Wasserkondensat auf der Sensoroberfläche steigt die Kapazität des Kondensators sprunghaft an. Über einen nachgeschalteten Regelkreis wird mit Hilfe der Kapazitätsänderung die Kühlleistung des Kühlelementes so geregelt, dass sich eine definierte Kondensatmenge einstellt. Die Messgröße für die Regelung ist die Oberflächentemperatur des Sensors. (**Ilmetronic**)

**Tabelle 4.4** Übersicht der Feuchtemessverfahren (nach **Fischer, Ilmetronic, Ahlborn 2003**)

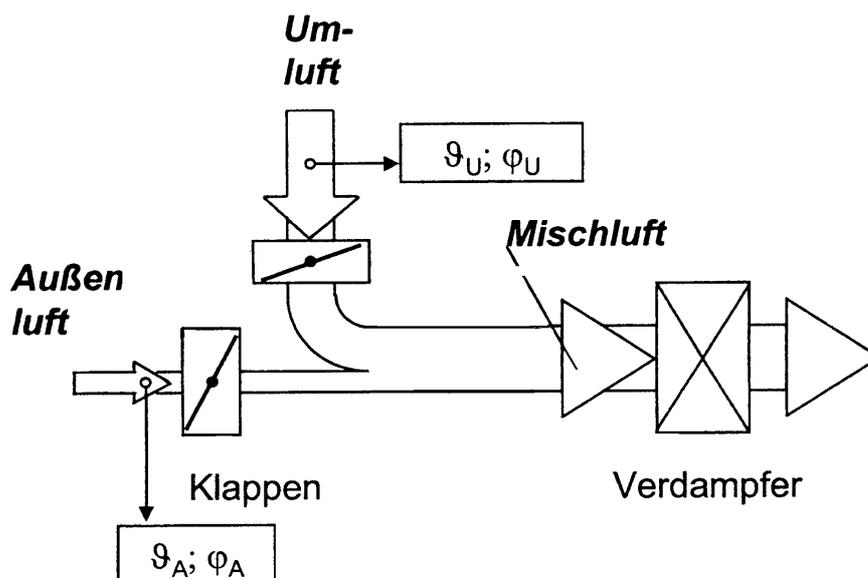
Messverfahren	Einsatzbereich	Vorteile	Nachteile
Kapazitive Feuchtemessung	-40 ° C bis +180°C	- schnell - relative Feuchte	- begrenzte Langzeitstabilität - empfindlich gegenüber Betauung
Aluminiumoxid-Sensor	-70 ° C bis +60° C	- großer Messbereich - kleine Bauweise - absolute Feuchte	- empfindlich gegenüber aggressiven Gasen
Psychrometrische Feuchtemessung	-20 ° C bis 60° C	- hohe Genauigkeit - bis 100 % rH einsetzbar	- bei negativen Temperaturen und niedrigen Feuchten schwer einsetzbar
Hygrometrische Feuchtemessung	0 ° C bis 110° C	- einfache Messtechnik - preiswert	- begrenzte Genauigkeit - langsam
CCC-Taupunktsonde	0 ° C bis 70° C	- hohe Genauigkeit, Zuverlässigkeit - schnell - unempfindlich gegenüber Staubablagerungen	- aufwendiges Messverfahren

## 4.5 Enthalpieregung

Der Primärenergieverbrauch einer Klimaanlage hängt von der aufgenommenen Leistung des Kompressors ab. Diese ist bestimmt von der Leistungsaufnahme des Verdampfers, welche in direktem Zusammenhang mit dem Energiebedarf für die Abkühlung der Luft steht. Wenn es gelingt, den Energiegehalt der abzukühlenden Luft zu reduzieren, so kann auch der Energieverbrauch der Klimaanlage reduziert werden.

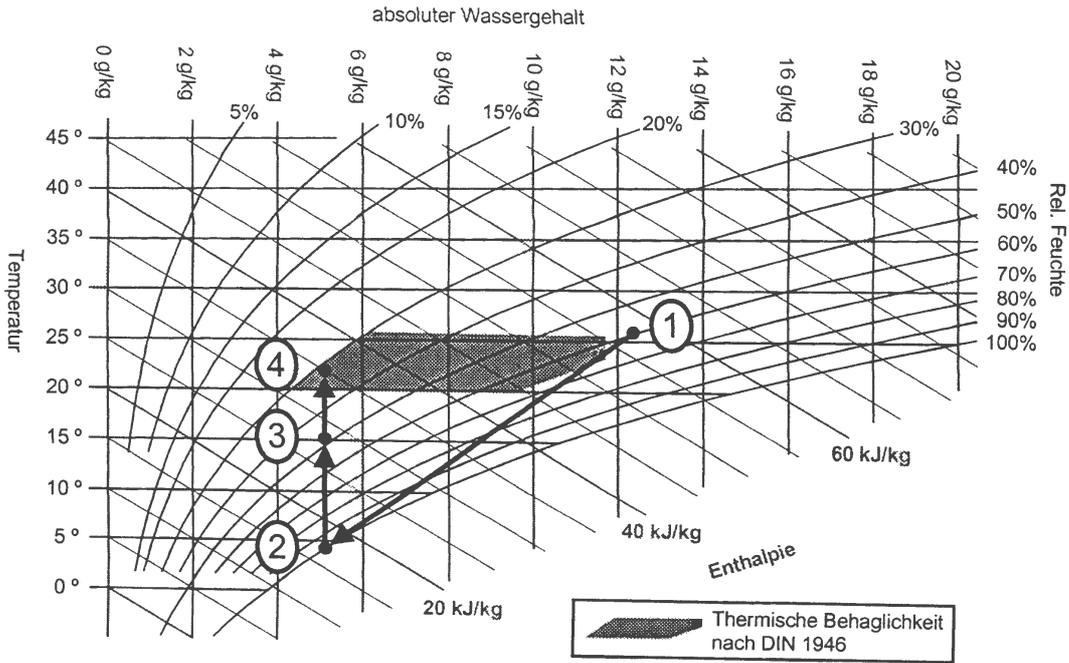
Der Energiegehalt der Luft, die sogenannte spezifische Enthalpie, ist abhängig von den Größen Temperatur, Wassergehalt und dem Luftdruck. Eine grafische Darstellung dieser Zusammenhänge findet man in den Mollier-h,x-Diagrammen.

Regelt man die dem Verdampfer zugeführte Luft so, dass diese eine möglichst geringe spezifische Enthalpie hat, so spricht man von einer Enthalpieregung (Bild 4.8). Für diese Art der Regelung stehen beim Hubschrauber die Außenluft und die Umluft zur Verfügung.



**Bild 4.8** Funktionsschema der Enthalpieregung (nach Kettner 2000, Bild 2)

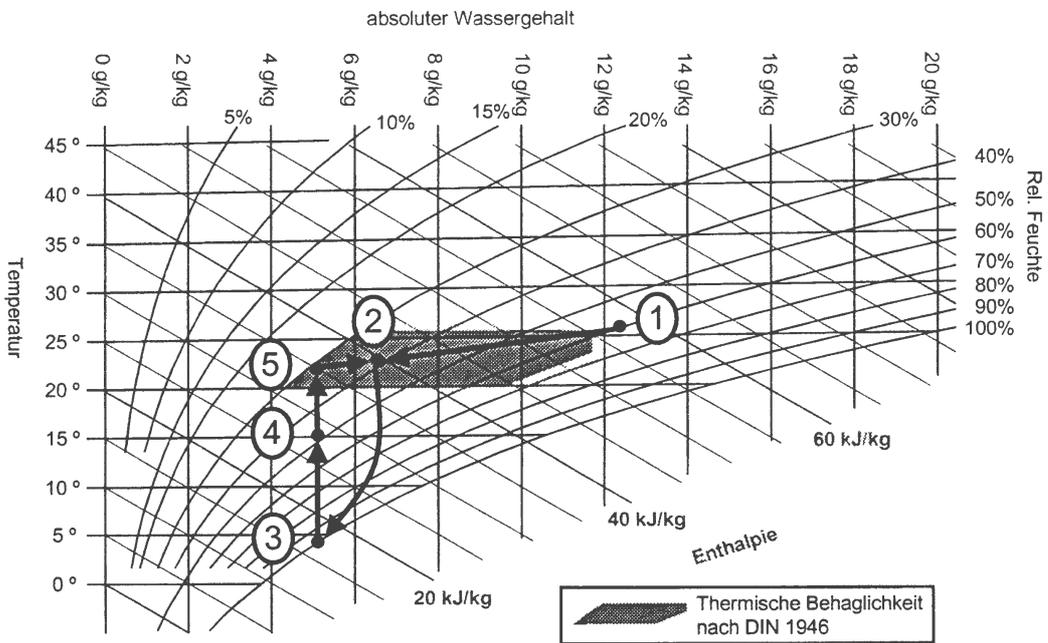
Zur Bestimmung der spezifischen Enthalpie wird die Temperatur und die Feuchte der Außenluft und der Umluft gemessen, ausgewertet und eine Mischung entsprechend des Ergebnisses dem Verdampfer zugeführt. In Bild 4.9 ist der Klimatisierungsprozess bei Zufuhr von Außenluft zum Verdampfer in einem Mollier-h,x-Diagramm dargestellt.



Mollier-h-x-Diagramm für feuchte Luft - Druck 1.013 bar

**Bild 4.9** Beispiel eines Klimatisierungsprozesses bei Außenluftbetrieb (Kettner 2000, Bild 3a)

Bei Umluftbetrieb muss ein Mindestanteil an Außenluft zugeführt werden (Kettner 2000, Seite 48) (vergleiche Abschnitt 10.1). Bild 4.10 zeigt diesen Klimatisierungsprozess.



Mollier-h-x-Diagramm für feuchte Luft - Druck 1.013 bar

**Bild 4.10** Beispiel eines Klimatisierungsprozesses bei Umluftbetrieb (Kettner 2000, Bild 3b)

Die Enthalpieregulierung wird bereits erfolgreich in der Kraftfahrzeugindustrie eingesetzt. (Kettner 2000, Seite 48)

## 5 Ist-Zustand Klimasystem EC 135

Der Hubschrauber EC 135 verfügt über unterschiedliche Systeme zur Kabinenbelüftung und Kabinentemperierung:

- Die Belüftung des Cockpits und der Passagierkabine erfolgt über eine Stauluftanlage. (SDS 2002, 21-00-00, 1)
- Die Beheizung erfolgt durch Warmluft, welche über eine Zapfluftanlage den Triebwerken entnommen wird. Die gewünschte Kabinentemperatur kann über einen Drehschalter vorgewählt werden. (SDS 2002, 21-00-00, 1)
- Zusätzlich zu dieser Basisausrüstung kann eine Klimaanlage als Sonderausrüstung eingebaut werden (SDS 2002, 21-00-00, 1). Die Einführung einer automatischen Regelung für diese Sonderausrüstung ist Gegenstand dieser Arbeit.

Die Systeme Heizung und Klimaanlage werden unabhängig voneinander betrieben. Sie besitzen getrennte Luftauslässe für Kalt- und Warmluft. Im Passagierbereich befinden sich die Kaltluftdüsen an der Kabinendecke und die Warmluftdüsen links und rechts in der Kabinenwand in Bodennähe. Die Versorgung des Crew-Bereiches mit Heizluft erfolgt durch Einspeisen von Warmluft in das Cockpit-Belüftungssystem. (SDS 2002, 21-00-00, 1)

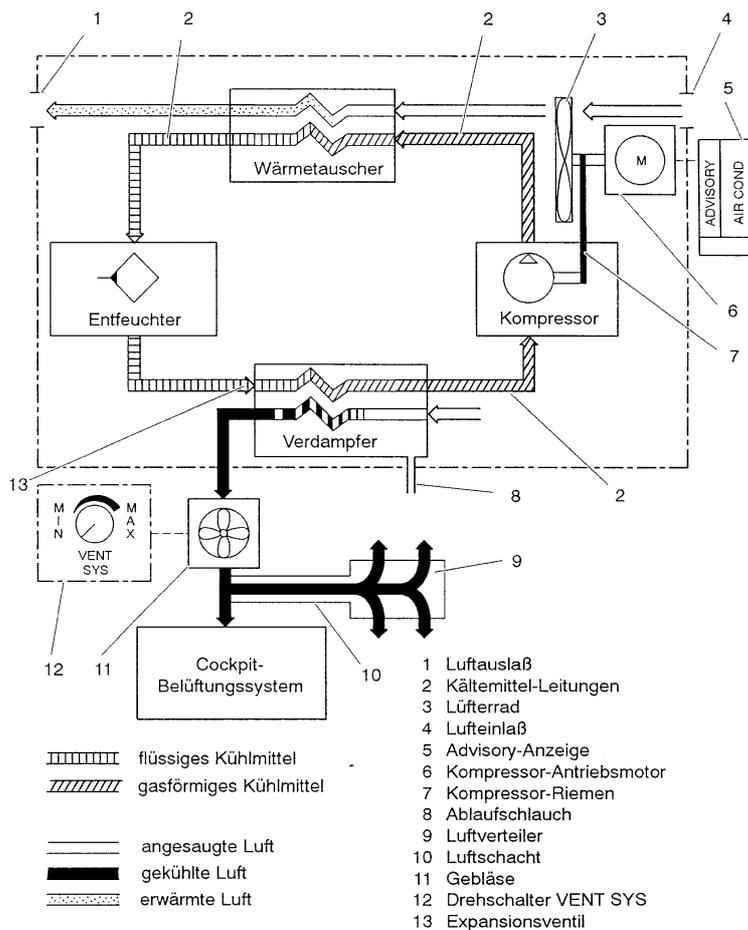
Zum Entfernen von Betauung an den Cockpitscheiben können Heizung und Klimaanlage kombiniert eingesetzt werden.

### 5.1 Komponenten der Klimaanlage

Die Klimaanlage arbeitet nach dem Prinzip einer Kompressionskältemaschine. Sie besteht aus einer Kühlausrüstung und den zugehörigen elektrischen Schaltelementen. (SDS 2002, 21-50-00, 1)

Die elektrische Versorgung der Komponenten erfolgt über das Bordnetz mit 28 V Gleichspannung. Bei laufenden Triebwerken wird die elektrische Energie von zwei Generatoren geliefert, die jeweils von einer Turbine angetrieben werden. Am Boden erfolgt die Energieversorgung über eine Bodenstromversorgung. (SDS 2002, 21-50-00, 5)

Die Kühlausrüstung besteht aus einem Kompressor, einem Wärmetauscher, einem Verdampfer mit vorgeschaltetem thermostatischen Expansionsventil, einem Filter und einem Entfeuchter sowie den entsprechenden Kältemittelleitungen (SDS 2002, 21-50-00, 2). Die schematische Darstellung in Bild 5.1 zeigt die einzelnen Komponenten und ihre Anordnung im System. In Abschnitt 5.2 wird der funktionale Zusammenhang erläutert.



**Bild 5.1** Schematische Anordnung der Komponenten der Klimaanlage (SDS 2002, 21-50-00, 5)

Der Kompressor, Wärmetauscher und Entfeuchter sind in einer baulichen Einheit auf dem linken Ausrüstungsdeck des Hubschraubers EC 135 angeordnet. Der Verdampfer ist unterhalb des Kabinenbodens eingebaut. Direkt vor dem Verdampfer ist als Drosselorgan ein thermostatisches Expansionsventil eingebaut (SDS 2002, 21-50-00, 2). Die einzelnen Komponenten sind über Kältemittelleitungen verbunden. In diesen zirkuliert das Kältemittel Refrigerant R-134a (SDS 2002, 21-50-00, 5).

Die Klimaanlage verfügt über zwei Sicherungssysteme (CMM 2000, Seite 101):

- Abschaltung der Kompressor-Steuerung durch das Motorschutz bei Überdruck von ca.  $384,0 \pm 28,4$  PSIG ( $2647,6 \pm 195,8$  kPa) oder Unterdruck
- Ableitung des Kältemittels nach außen bei Kältemittel-Übertemperatur von  $102,7 - 116,1$  °C über ein Ventil im Entfeuchter

Die Gebläseleistung beträgt  $9,91 \text{ m}^3/\text{min}$  bei  $101,6 \text{ mm}$  Wassersäule (SDS 2002, 21-50-00, 7).

## 5.2 Funktionsbeschreibung der Klimaanlage

Das Kältemittel wird unter hohem Druck in flüssiger Form im Entfeuchter gespeichert. Von dort gelangt es in das Expansionsventil. Hier wird der Kältemitteldruck gesenkt. Das Kältemittel wird in den Verdampfer zerstäubt und verdampft in den gasförmigen Zustand. Bei diesem Vorgang wird der Umgebung Wärme entzogen. Dieser Vorgang kühlt die Luft im Verdampfer ab. Als Folge dieser Abkühlung kondensiert ein Teil der Luftfeuchtigkeit am Verdampfer. Das Kondenswasser wird durch einen Ablaufschlauch direkt nach außen geleitet (SDS 2002, 21-50-00, 5).

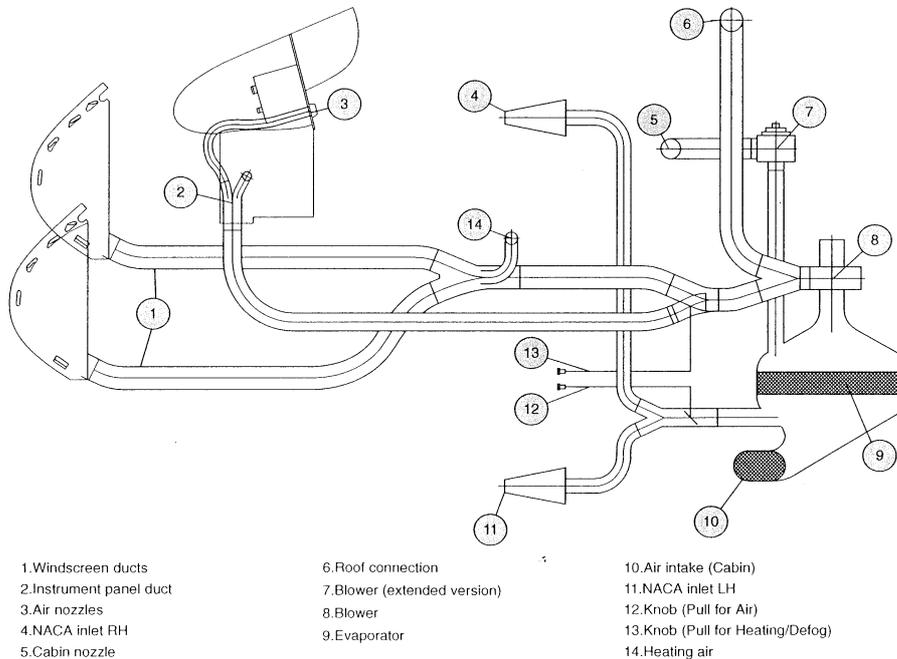
Das gasförmige Kältemittel wird vom Verdampfer in den Kompressor weitergeleitet und dort verdichtet. Hierbei kommt es zu einem Druckanstieg und einer Temperaturerhöhung des Kältemittels, das von hier aus zum Wärmetauscher weiter fließt. (SDS 2002, 21-50-00, 5)

Dort wird die entstandene Wärme an die Luft abgegeben und somit dem Kältemittel entzogen. Dies erfolgt durch vorbeiströmende Luft, die von einem Lüfterrad am Wärmetauscher vorbei geführt wird. Durch die Abkühlung kondensiert das gasförmige Kältemittel und wird in flüssigem Zustand wieder in den Entfeuchter geleitet. (SDS 2002, 21-50-00, 5)

Der Entfeuchter ist ein Flüssigkeitsbehälter in dem sich ein Filter mit Trockner befindet. Schmierstoffrückstände und Kondenswasser werden dort vom Kältemittel abgeschieden. So wird sichergestellt, dass nur gefiltertes, trockenes Kältemittel in das Expansionsventil gelangt (Deh 1999, Seite 36). Die Reinigung ist notwendig, da sich die Schmierstoffe auf dem Kältemittel ablagern und so den Verdampfungsvorgang behindern würden. Die Trocknung des Kältemittels ist notwendig, da Kältemittel stark hygroskopisch sind. Bei der Entspannung des Kältemittels im Expansionsventil würde die Feuchtigkeit zu Eiskristallen gefrieren, und es könnte zu einer Vereisung der Klimaanlage kommen (Deh 1999, Seite 36). Um der Vereisung des Verdampfers entgegenzuwirken, läuft in der EC 135 das Gebläse bei eingeschalteter Klimaanlage mindestens auf niedrigster Stufe. Der Verdampfer wird so stetig mit warmer Luft umströmt (SDS 2002, 21-50-00, 5).

### 5.3 Verteilung der Kühlluft

In Bild 5.2 wird die Verteilung der Kühlluft in der EC 135 schematisch dargestellt und im folgenden näher erläutert.



**Bild 5.2** Schematische Darstellung der Kühlluft-Verteilung (FLM 2003, 9.2-38 Fig.2)

Die zu kühlende Luft wird entweder als Frischluft von außen angesaugt oder als Umluft (10) der Kabine entnommen. Die Frischluftzufuhr erfolgt über je einen NACA Einlass rechts (4) und links (11) im vorderen Rumpfboden. Das Mischungsverhältnis von Frischluft und Umluft kann vom Cockpit aus verändert werden. Hierzu befindet sich vor dem Verdampfer (9) im Frischluftkanal eine Klappe, die per Bowdenzug (12) verstellt werden kann. Das Bedienelement hierzu ist in der Mittelkonsole angeordnet. Die gemischte Luft wird dem Verdampfer zugeführt. Die dort gekühlte Luft wird von einem manuell regelbaren Gebläse (8) angesaugt und verzweigt sich in das Cockpit-Belüftungssystem und durch einen Luftschacht zum Dachverteiler (6) (SDS 2002, 21-50-00, 5).

Im Cockpit-Belüftungssystem verteilt sich der Kühlluftstrom zum Instrumentenpult (2) und zu den Frontscheibenauslässen (1). Von der Instrumentenpult-Kühlung zweigen die Frischluft- und Kaltluftkanäle zu den Luftaustrittsdüsen (3) im Instrumentenpult ab. Diese versorgen die Besatzung. In die Kühlluftzufuhr, welche sich nach rechts und links zu den Frontscheibenauslässen aufteilt, ist ein Warmlufteinlass (14) integriert. Mit Hilfe einer Klappe, die per Bowdenzug (13) verstellbar ist, kann die Luftverteilung zwischen Instrumentenpult und Frontscheibenauslässen reguliert werden. So kann z.B. die gesamte trockene Kühlluft des Cockpits zur Entfernung von Beschlag auf der Frontscheibe verwendet werden.

Die Luft aus dem Dachverteiler (6) versorgt weitere vier Deckenauslässe im Crew-Bereich, jeweils ein vorderer und ein hinterer auf jeder Seite. Für die Versorgung der Passagiere wird die Kaltluft über einen Brückenverteiler zu den drei Luftduschen im vorderen Passagierbereich geleitet. Über zwei weitere Luftführungen gelangt die Kühlluft vom Dachverteiler auch zu den hinteren zwei Luftduschen im Passagierbereich.

Als Sonderausrüstung kann ein weiterer Lüfter (7) eingebaut werden. Er versorgt die Passagierkabine mit zusätzlicher Kaltluft. Die Luftauslässe (5) hierfür befinden sich unter den vorderen Passagiersitzen.

## 5.4 Energieverbrauch der Klimaanlage

Der Antriebsmotor für den Kompressor ist ein elektrischer Verbraucher, der das Bordnetz stark belastet. Bei Auslastung des Bordnetzes, oder wenn ein anderer elektrischer Verbraucher vorrangig mit Energie versorgt werden muss, sorgt eine automatische Überwachung für die Abschaltung des Antriebsmotors. Dieses geschieht in folgenden Fällen (**SDS 2002**, 21-50-00, 5):

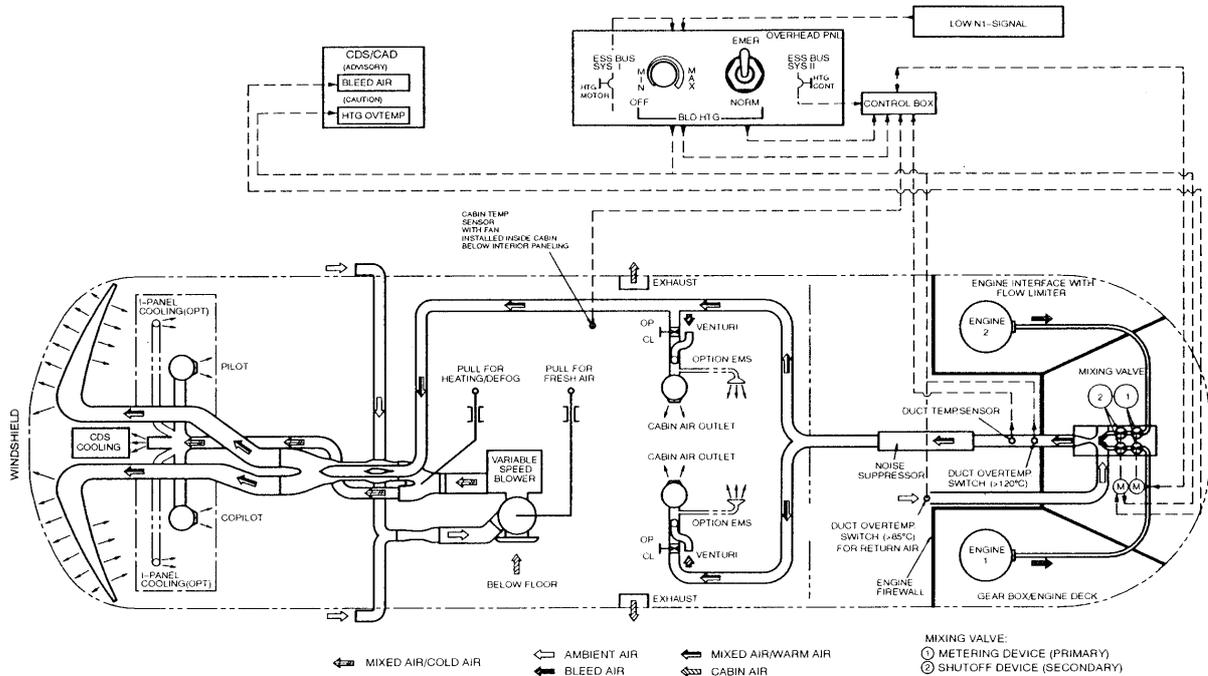
- Ausfall eines Generators bei laufenden Triebwerken
- fehlende externe Bodenversorgung bei stehenden Triebwerken
- Betriebsbereitschaft der Außenwinde

Bei Betrieb des Kühlaggregates müssen die Generatoren überwacht werden. Gegebenenfalls muss der Antriebsmotor für den Kompressor ausgeschaltet werden. Der Suchscheinwerfer SX16 und/oder die FLIR-Kamera (Forward Looking Infrared) sollten nicht gleichzeitig eingesetzt werden. (**Teichmann 2002**)

Das Gebläse (8) wird auch für die Kühlung des Instrumentenpultes eingesetzt. Deshalb wird es unabhängig vom Antriebsmotor mit Energie versorgt. Somit ist beim Abschalten des Kompressors die Instrumentenpultkühlung sichergestellt. Zusätzlich kann die Stromversorgung des Gebläses (8) zwischen zwei Sammelschienen umgeschaltet werden, die von je einem Generator gespeist wird.. Übersteigt die Temperatur im Instrumentenpult einen Wert von 45 °C wird das Gebläse von einem Temperaturschalter, der im Instrumentenpult installiert ist, eingeschaltet. Das Gebläse läuft zunächst mit minimaler Drehzahl. Sobald die Temperatur einen Wert von  $63 \pm 5,0$  °C übersteigt, wird über einen weiteren Temperaturschalter eine Kontrollleuchte aktiviert. (**SDS 2002**, 21-50-00, 5)

## 5.5 Komponenten und Funktion der Heizungsanlage

In Bild 5.3 werden die Komponenten der Heizungsanlage als Teilsystem der Belüftung in der EC 135 schematisch dargestellt. Der funktionale Zusammenhang wird im folgenden näher erläutert.



**Bild 5.3** Schematische Anordnung der Komponenten der Heizungsanlage (FLM 2003, 9.2-14-24 Fig.14)

Für die Zapflfltheizung wird den Verdichterstufen der Triebwerke heiße Zapflfl von bis zu 340 °C entnommen. Diese gelangt über Zapflflleitungen zu einem gemeinsamen Mischventil. In dieses Mischventil sind Absperrventile integriert. Über einen Durchflussbegrenzer im Zapflflanschluss wird der Luftaustritt auf maximal 5 % des Luftdurchsatzes der Triebwerkverdichter- begrenzt. Die Absperrventile geben die Zapflfl zum Mischventil frei. Sie verhindern einen Luft- und Druckverlust über ein nicht laufendes Triebwerk. (SDS 2002, 21-40-00, 1)

Über eine Ansaugleitung wird der heißen Zapflfl im Mischventil Außenluft beigemischt und so auf eine Temperatur von etwa 85 °C heruntergekühlt. Eine Heizleitung leitet die so gemischte Luft unter dem Kabinendach nach vorn zur Passagierkabine. Hier verzweigt sich der Luftstrom und wird rechts und links in einem kastenförmigen Spant zur Bodengruppe geführt. Der rechte Luftstrom verzweigt sich ein weiteres Mal zum Cockpitbelüftungssystem und zur Passagierkabine. Die Heizluft für die Passagierkabine wird auf jeder Seite nochmals mit Hilfe eines Venturieinsatzes mit Umluft gemischt. Anschließend gelangt diese Luft zu den jeweiligen Warmluftauslässen im vorderen Kabinenbereich.

Die Temperaturregelung der Heizungsanlage erfolgt halbautomatisch. Über einen Drehschalter in der Dachkonsole des Cockpits kann eine Heizleistung gewählt werden. Die Innenraumtemperatur wird durch einen Temperaturfühler in der Kabinendecke im Passagierraum, in der Nähe des Steuerungspostens, gemessen. Ein weiterer Temperaturfühler dient zur Messung der Lufttemperatur nach dem Mischventil. Eine Steuereinheit verarbeitet die Messwerte und steuert den Stellmotor des Mischventils. Diese Steuereinheit befindet sich in der Bodenschale unterhalb des Cockpits. Entsprechend der Temperaturdifferenz von Soll- und Istwert wird das Mischventil angesteuert. Auf diese Weise wird das Mischungsverhältnis von Zapfluft zu Außenluft reguliert. (SDS 2002, 21-60-00, 3)

Die Überwachung der Heizungsanlage erfolgt durch zwei Übertemperaturschalter. Einer ist in der Heizungsleitung der Mischluft montiert, der andere in der Außenluft-Ansaugleitung. Beide Zapfluftventile werden automatisch geschlossen bei (SDS 2002, 21-00-00, 3 und 21-60-00, 3):

- Überschreitung der Mischlufttemperatur von 132 °C
- Überschreitung der Temperatur in der Ansaugleitung von 85 °C
- Absinken der Drehzahl eines Triebwerkes unter 60 %

Bei Minderleistung eines Triebwerkes kann manuell der Notbetrieb der Heizungsanlage aufrechterhalten werden, indem das Absperrventil des intakten Triebwerkes notgeöffnet wird (SDS 2002, 21-60-00, 3).

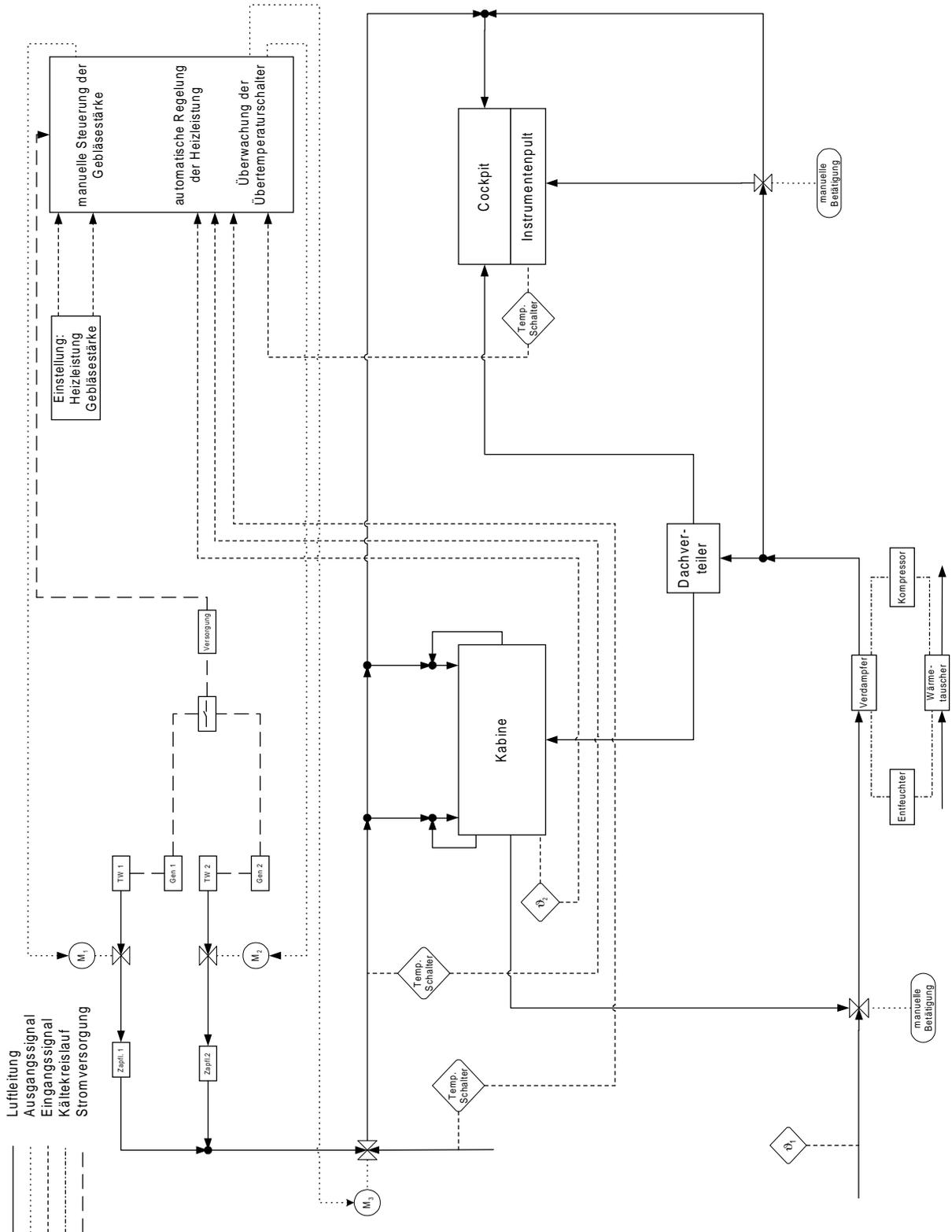
## 6 Automatische Klimatisierung

Der folgende Abschnitt basiert im wesentlichen auf der Ausarbeitung von *Konzept 1* aus der Diplomarbeit "Konzeptentwurf für eine Klimaautomatik für den Hubschrauber EC 135" (**Brinkmann 2001**, Kapitel 6).

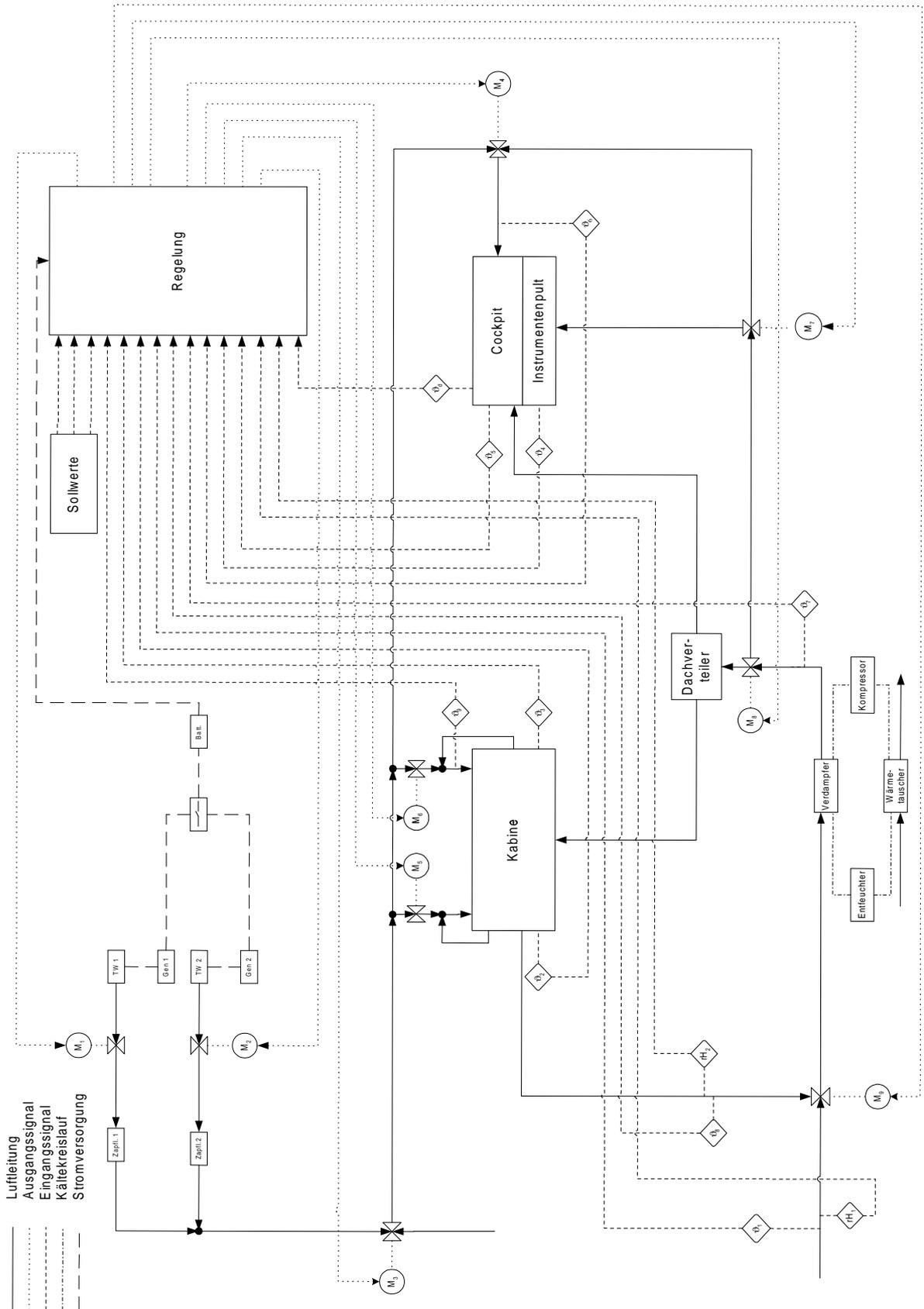
Für die automatisierte Klimatisierung wird der Einsatz einer Enthalpieregulierung angestrebt (siehe Abschnitt 4.5) (**Brinkmann 2001**, Kapitel 6).

Das Luftverteilsystem und die getrennten Luftaustritte von Kaltluft und Warmluft werden beibehalten. Die Temperaturregelung und die Mischung von Frischluft und Umluft werden automatisiert. Hierfür werden die bestehenden Klappen durch Stellmotoren angetrieben. Das bestehende System wird um weitere Stellglieder und Sensoren erweitert. Alle Sensoren und Stellglieder werden von einer zentralen Regeleinheit überwacht und gesteuert. Die Temperierung der Innenluft wird durch die Durchmischung der Luftströme aufgrund der natürlichen Konvektion erreicht. (**Brinkmann 2001**, Kapitel 6)

Für die bessere Darstellung der Zusammenhänge und die Ableitung der Ergebnisse dieser Arbeit wurden zunächst zwei Blockschaltbilder erstellt. Bild 7.1 zeigt den Ist-Zustand der Klimaanlage der EC 135 (siehe Abschnitt 5), Bild 7.2 zeigt die notwendigen Erweiterungen aus *Konzept 1* (**Brinkmann 2001**, Kapitel 6), sowie die Erweiterungen, welche sich aus Überlegungen dieser Arbeit ergeben.



**Bild 7.1** Blockschaltbild Ist-Zustand (nach SDS 2002, Kapitel 21)



**Bild 7.2** Blockschaltbild Konzept 1 (nach Brinkmann 2001, Kapitel 6)

Aus dem Vergleich der Bilder 7.1 und 7.2 wird deutlich, welche vorhandenen Komponenten übernommen und in ihrer Funktion beibehalten werden. Dieses sind:

- die zwei Absperrventile  $M_1$  und  $M_2$ , sowie das Mischventil  $M_3$  im Zapfluftsystem
- alle vorhandenen Sicherheitseinrichtungen für dieses System
- der bereits vorhandene Außenlufttemperaturfühler  $\vartheta_1$  (OAT-Aufnehmer) (Outside Air Temperature)

Somit kann auf den Einbau eines weiteren Außentemperaturfühlers verzichtet werden. Eine entsprechende Sensorleitung für die Weitergabe des Messwertes aus dem Cockpit an die Regelung muss hergestellt werden. Die Werte der Außentemperatur werden für die vorgesehene Enthalpieregulierung benötigt.

- der Sensor für die Erfassung der Kabinentemperatur  $\vartheta_2$ , welcher in der Nähe des Steuerungsposten (Center Post) angebracht ist.

Für die Umsetzung der Automatisierung nach *Konzept 1* (**Brinkmann 2001**) werden folgende manuell betätigte Klappen durch motorisch angetriebene Klappen ersetzt:

- die Mischung von Frischluft und Umluft durch Klappe  $M_9$
- die Verteilung zwischen Instrumentenpult und Frontscheibenauslässen im Cockpitbelüftungssystem durch die Klappe  $M_7$ .

Die folgenden Komponenten werden zusätzlich vorgesehen:

- die Klappe  $M_8$  vor dem Dachverteiler  
So ist es möglich die Luftmenge, welche in das Cockpitbelüftungssystem eingespeist wird, zu ändern.
- die Ventile  $M_5$  und  $M_6$  mit Stellmotoren vor den Venturieinsätzen  
Hierdurch wird die Menge der eintretenden Kabinenwarmluft reguliert.
- der Temperatursensor  $\vartheta_4$  für die Überwachung der Temperatur im Instrumentenpult  
Untersuchungen haben gezeigt, dass die Installation des Sensors im rechten Instrumentenpult erfolgen muss (**Brinkmann 2001**, Seite 62).
- der Temperatursensor  $\vartheta_5$  für die Erfassung der Temperatur im Cockpit  
Die Installation sollte an das Bediengerät gekoppelt werden.
- der Temperatursensor  $\vartheta_8$  für die Erfassung der Temperatur der Umluft  
Dieser Temperaturwert wird für die Enthalpieregulierung benötigt. Die Installation sollte hinter dem Einlass der Umluft erfolgen.
- der Temperatursensor  $\vartheta_7$  zur Erfassung der Temperatur am Verdampferausgang  
Die Installation sollte hinter dem Gebläse am Verdampferausgang erfolgen.
- der Temperatursensor  $\vartheta_9$  für die Erfassung der Temperatur der einströmenden Kabinenluft
- der Temperatursensor  $\vartheta_6$  für die Erfassung der Temperatur am Frontscheibenauslass

Für die Umsetzung der vorgeschlagenen Enthalpieregulierung werden folgende Feuchtesensoren benötigt:

- der Feuchtesensor  $rH_1$  zur Erfassung der relativen Feuchte der Außenluft  
Der Feuchtesensor kann im NACA-Einlass platziert werden.
- der Feuchtesensor  $rH_2$  zur Erfassung der relativen Feuchte der Umluft  
Der Einsatz eines kombinierten Temperatur-/Feuchtesensors in der Kabine ist denkbar.  
Eine weitere Möglichkeit ist die separate Feuchtemessung an geeigneter Stelle.

Durch diese Arbeit wird die Ergänzung des theoretischen *Konzept 1* um folgende Komponenten empfohlen:

- den Taupunktsensor  $\vartheta_d$  für die Erfassung der Taubildung auf der Frontscheibe  
Die Temperatur der Scheibe muss mit Hilfe der Regelung über der Taupunkttemperatur gehalten werden. So kann ein Beschlagen der Scheiben verhindert werden. Die Belüftung zur Vermeidung der Taubildung wird ebenfalls automatisiert, siehe folgender Punkt.
- die Einführung der zusätzlichen Klappe  $M_4$  in der Warmluftzufuhr zu den Frontscheibenauslässen  
Über diese kann die notwendige Warmluftmenge zur Entfernung von Beschlag an der Frontscheibe oder zur Beheizung des Cockpits reguliert werden. Der Vorteil besteht darin, dass warme Luft, welche im Cockpit nicht benötigt wird, im Passagierbereich zur Verfügung steht (vergleiche Abschnitt 7.2, 2. Zwei-Zonen Klimatisierung)
- den Temperatursensor  $\vartheta_3$  im Passagierbereich  
Für eine genaue Erfassung der Temperaturverteilung im Passagierbereich ist der Einsatz eines zweiten Temperatursensors zu empfehlen. Die räumliche Größe dieses Bereiches im Zusammenhang mit dem getrennten Einlass von Kaltluft von oben und Warmluft von unten sowie deren Mischung durch thermische Konvektion macht dieses notwendig.

## 7 Varianten der Klimatisierung

Im folgenden Abschnitt werden verschiedene Lösungsansätze für die Realisierung des Luftauslasses in den Innenraum des Hubschraubers aufgezeigt. Zudem wird die Realisierung unterschiedlicher Klimazonen innerhalb des Hubschraubers dargestellt.

### 7.1 Luftauslässe

Für den Auslass der Kaltluft und der Warmluft in den Innenraum des Hubschraubers sind zwei Varianten denkbar:

1. Die Kaltluft und die Warmluft werden aus getrennten Luftauslässen in den Innenraum eingeblasen. Hierzu gibt es arbeitswissenschaftliche Untersuchungen die zeigen, dass es physiologisch sinnvoll ist Kaltluft im Kopfbereich und Warmluft im Fußbereich einzuleiten. Subjektiv wird „ein kühler Kopf und warme Füße“ als behaglich empfunden (**Flik 1998**). Die Kaltluft sinkt nach unten, die Warmluft steigt nach oben. Durch diese thermische Konvektion kommt es so zu einer Durchmischung der Luft.

In der EC 135 sind die baulichen Voraussetzungen für diese Art der Klimatisierung bereits geschaffen.

2. Die fertig temperierte Luft wird aus den Luftauslässen ausgeblasen. Diese komfortablere Variante wird häufig in der Kraftfahrzeugindustrie eingesetzt. Zugscheinungen, wie sie bei der Durchmischung der Luft entstehen, werden vermieden.

Für diese Art der Klimatisierung sind in der EC 135 aufwendige konstruktive Änderungen notwendig.

### 7.2 Klimazonen

Neben den zwei Varianten zum Einlass von Kaltluft und Warmluft und in den Innenraum des Hubschraubers sind auch Überlegungen zur Realisierung von unterschiedlichen Klimazonen notwendig:

### 1. Ein-Zonen-Klimatisierung:

Die einfachste Möglichkeit ist die Realisierung einer einzigen Klimazone im gesamten Innenraum des Hubschraubers. Hierbei werden alle Luftauslässe entsprechend der gewählten Variante (vergleiche Abschnitt 7.1) mit der jeweils gleichen Luft versorgt.

Die Belastungszustände von Crew und Passagieren sind unterschiedlich. Daraus resultieren unterschiedliche Funktionsbereiche innerhalb des Hubschraubers für die eine differenzierte Klimatisierung sinnvoll und notwendig erscheinen. Daher wird die Realisierung einer Zwei-Zonen-Klimatisierung angestrebt.

### 2. Zwei-Zonen-Klimatisierung:

Der Funktionsbereich Cockpit, in dem die Crew arbeitet und einer starken Belastung unterliegt, kann als eine Klimazone angesehen werden. Hier ist ein kühles Klima wünschenswert. Die zweite Klimazone ist der Funktionsbereich Passagiere, in dem diese still sitzen. Hier werden wärmere Temperaturen als angenehm empfunden.

Die Erhöhung des Komforts ist durch die Einführung weiterer Klimazonen möglich. Folgende weitere Varianten sind denkbar:

### 3. Drei-Zonen-Klimatisierung:

Bei dieser Variante werden neben der Klimazone Cockpit für den Funktionsbereich Passagiere zwei individuelle Klimazonen vorgesehen. Eine Zone wird für die Sitzreihe in Flugrichtung realisiert, die zweite Zone für die Sitzreihe entgegen der Flugrichtung.

Für dieses Konzept ist keine bauliche Veränderung der Luftauslässe notwendig.

### 4. Mehr-Zonen-Klimatisierung:

Bei dieser Variante wird neben der Klimazone Cockpit für jeden Sitzplatz im Passagierbereich eine individuelle Klimazone vorgesehen. Diese Variante stellt die höchste Komfortstufe für die Passagiere dar.

Für dieses Konzept sind auch bauliche Veränderungen bei den Luftauslässen notwendig.

### 5. Individual-Klimazonen im Cockpit:

Bei dieser Variante wird unabhängig von der Anzahl der Klimazonen im Passagierbereich je eine individuelle Klimazone für Pilot und Copilot vorgesehen. Diese Variante stellt die höchste Komfortstufe für die Besatzung dar.

Da ein Teil der Luftauslassdüsen im Cockpit von der Instrumentenpultkühlung versorgt wird, ist hier keine individuelle Regelung möglich. Das gleiche gilt für die Frontscheibenauslässe im Fussbereich der Besatzung. Bei Vereisung oder Betauung

übernimmt dieser Luftstrom eine Sicherheitsfunktion, die Vorrang vor der gewünschten Temperierung hat.

Die Ausführungen 3. bis 5. zeigen, dass eine zusätzliche Erweiterung der Klimazonen zwar den Komfort erhöht, jedoch gleichzeitig mit erheblichen technischen Änderungen verbunden ist. Für die Realisierung von mehr als zwei Klimazonen ist die Mischung von Kaltluft und Warmluft auf die individuell gewünschte Temperatur bereits vor dem jeweiligen Luftaustritt notwendig. Hierfür muss das gesamte Luftverteilsystem, bzw. die Kalt- und Warmluftführung konstruktiv überarbeitet werden. Entsprechend der Anzahl von Klimazonen müssen Luftführungen und Mischventile vorgesehen werden. Neben den technischen Änderungen erhöht dieses auch das Leergewicht des Hubschraubers.

Aus diesen Gründen wird eine Zwei-Zonen-Klimaanlage realisiert.

## 8 Technische Anforderungen

Die Systemkomponenten müssen zahlreiche technische Anforderungen erfüllen. Diese ergeben sich aus:

- allgemeinen technischen, nationalen und internationalen Vorschriften (z.B. DIN)
- den Zulassungsvorschriften Joint Aviation Requirements (JAR)
- dem Einsatzbereich - Operating Limitations
- den Spezifikationen des Unternehmens
- den Spezifikationen Requirements and Technical Concepts for Aviation (RTCA)
- den baulichen Gegebenheiten im Hubschrauber

### 1. Temperatur

Der Hubschrauber EC 135 ist für einen Einsatzbereich von  $-35\text{ °C}$  bis  $+50\text{ °C}$  zugelassen (**FLM 2003**, 2-5). Für diesen Temperaturbereich müssen die einzelnen Komponenten spezifiziert sein<sup>2</sup>. Aus den baulichen Gegebenheiten im Hubschrauber ergeben sich weitere Anforderungen bezüglich des Temperaturbereiches. So herrschen zum Beispiel in der Warmluftleitung hinter dem Mischventil von Außen- und Zapfluft Temperaturen bis ca.  $90\text{ °C}$ . Solche Bedingungen müssen bei der Auswahl der Komponenten berücksichtigt werden.

### 2. Vibration / mechanische Beanspruchung

Weitere spezielle Anforderungen beziehen sich auf die Entstehung von Vibrationen, speziell bei Hubschraubern, unter anderem durch:

- die Triebwerke
- den Rotor
- den Heckrotor
- aerodynamische Belastungen während des Fluges

### 3. Betriebsspannung

Alle elektrischen und elektronischen Komponenten müssen für den Betrieb am Bordnetz des Hubschraubers mit einer Gleichspannung von 28 V ausgelegt sein.

### 4. Gewicht

Um das Leergewicht des Hubschraubers nur geringfügig zu erhöhen, sind Komponenten mit möglichst geringen Gewicht auszuwählen.

---

<sup>2</sup> Für die Zulassungstests von sicherheitsrelevanten Komponenten werden zum Teil weitergehende technische Anforderungen gestellt. Ein Beispiel hierfür ist die RTCA/DO-160D: Environmental Conditions and Test Procedures for Airborne Equipment, z.B. Section 4 Temperatures and Altitudes (RTCA, INC. 1997).

## 5. Betrieb

Bei ausgeschaltetem Kompressor muss die Regelung der Kühl- und Heizluft sowie, der Frischluft gewährleistet sein. Daher ist es notwendig, dass die automatische Regelung der Klimaanlage unabhängig vom Betrieb des Kompressors betrieben wird.

## 9 Systemkomponenten

Für die Realisierung des bisher vorgestellten Konzeptes werden die folgenden Systemkomponenten benötigt:

- eine Bedieneinheit für die Einstellungen der Klimaanlage
- Stellglieder für die Regelung der Luftverteilung
- Stellantriebe für die Betätigung der Stellglieder
- Messglieder für die Erfassung von Temperatur und Feuchte
- eine elektronische Einheit, welche die Regelung der Klimaanlage übernimmt
- die Verdrahtung der Systemkomponenten
- Montagezubehör

Im folgenden wird auf die Gestaltung und Auswahl dieser Systemkomponenten näher eingegangen. Bild 9.15 zeigt den endgültigen schematischen Zusammenhang aller Komponenten der automatischen Regelung nach Ergänzungen, die sich aus den folgenden Abschnitten ergeben.

### 9.1 Bedieneinheit

Für die Bedienung der Klimaanlage sind zwei Varianten denkbar:

1. Die Bedienung erfolgt ausschließlich vom Cockpit:  
Die Bedieneinheit wird im Cockpit installiert. Die Passagiere haben keine Möglichkeit in die Temperaturwahl einzugreifen. Temperaturwünsche der Passagiere müssen von der Besatzung eingestellt werden.
2. Die Hauptbedienung erfolgt vom Cockpit.  
Die Kabinentemperatur kann in der Kabine gewählt werden:  
Zusätzlich zu der Hauptbedieneinheit im Cockpit befindet sich eine weitere Bedieneinheit in der Passagierkabine. Dort können die Passagiere die gewünschte Temperatur selber wählen. Sämtliche Einstellungen für die Kabine müssen vom Cockpit aus übersteuert werden können. Dieses wird notwendig für den Fall, dass sich keine Passagiere in der Kabine befinden, dass diese die Einstellungen nicht selbst vornehmen möchten, oder wenn es die Flugsituation notwendig macht.

## 9.1.1 Bedienelemente

### 1. Bedienelemente im Cockpit

Die Hauptbedieneinheit im Cockpit muss über alle notwendigen Funktionselemente verfügen. Diese sind Schalter für:

- das Ein- und Ausschalten des Kompressors
- die Temperaturwahl im Cockpit
- die Temperaturwahl in der Kabine
- die Gebläseeinstellung
- das Entfernen der Betauung der Frontscheibe (Defoging)
- das Enteisen der Frontscheibe (Deicing)
- die Übersteuerung der Kabine

Für die wichtigen Bedienelemente Ein / Aus-Schalter, Defoging und Deicing sollten Schalter verwendet werden, bei denen der Betriebszustand einfach ablesbar ist. Die Bedienelemente für die Einstellungen der Temperaturen und der Gebläsestufe sollten gut ablesbar sein.

Die Defog-Funktion wird automatisch geregelt. Bei Ausfall des Sensors kann diese Funktion manuell über den oben genannten Schalter aktiviert werden, um die Betriebssicherheit des Hubschraubers zu gewährleisten. Bei längeren Standzeiten können die Scheiben vereisen. Zu diesem Zweck wird der Deicing-Schalter zur schnellen Enteisung benötigt.

Um die Kaltluftverteilung nach dem Verdampferauslass besser zu regulieren, kann die Bedieneinheit um ein weiteres Bedienelement erweitert werden. Bei Betätigung steht der größte Teil der Kühlluft für die Klimatisierung des Cockpits zur Verfügung. Diese Funktion kann z.B. genutzt werden, wenn die Passagierkabine nicht besetzt ist.

Bei der Gestaltung der Bedieneinheiten im Cockpit muss darauf geachtet werden, dass sie nachflugtauglich sind, sich in der Bedienart den üblichen Cockpitlelementen anpassen und gut greifbar sind.

### 2. Bedienelemente in der Passagierkabine

Die Bedieneinheit in der Passagierkabine besteht aus:

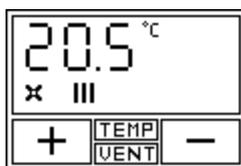
- einem Schalter für die Temperaturwahl
- der Anzeige der Einstellung

Bei der Gestaltung der Bedieneinheit in der Passagierkabine sollte darauf geachtet werden, dass sie leicht und verständlich bedienbar ist, eine für alle Passagiere gut lesbare Anzeige hat und gegebenenfalls dimmbar für Nachtflüge ist.

### 9.1.2 Gestaltung der Bedienelemente

Die Gestaltung der Bedienelemente für die Eingabe und die Anzeige der gewünschten Temperaturen und für die Gebläseeinstellung kann unterschiedlich realisiert werden:

- Eingabe über Tasten mit digitaler Anzeige:  
Diese Art der Bedienung ist bekannt von den Bedieneinheiten der Kraftfahrzeugindustrie (Bild 9.1). Über eine Plus- und eine Minus-Taste kann in definierten Schritten, üblicherweise 0,5 °C, die gewünschte Temperatur eingegeben werden. Die Einstellung wird auf einem Display angezeigt. Ebenfalls über eine Plus- und eine Minus-Taste kann in definierten Schritten die Gebläsestärke eingestellt werden. Diese wird durch eine digitale Segmentanzeige dargestellt.



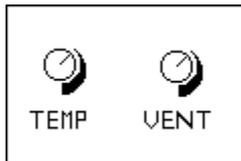
**Bild 9.1** Beispiel aus der Kraftfahrzeugindustrie

- Eingabe über einen digitalen Drehschalter (Impulsgeber) mit digitaler Anzeige:  
Alle Einstellungen werden anstelle von Tasten mit einem Drehschalter vorgenommen (Bild 9.2). Die Anzeigen sind identisch mit obiger Ausführung.



**Bild 9.2** Beispiel für Impulsgeber

- Eingabe über einen analogen Drehschalter mit angebrachter Skala:  
Über einen Drehschalter werden die gewünschte Temperatur- und Gebläseeinstellung anhand der Skala vorgenommen (Bild 9.3). Die Skala kann zusätzlich mit Zahlenwerten versehen werden.



**Bild 9.3** Beispiel für Drehschalter mit Skala

Bei der Gestaltung der Bedienelemente für Ein/Aus, Defoging- und Deicingbetrieb gibt es die verschiedenen Ausführungen als:

- Taster
- Tastschalter
- Drehschalter
- Kippschalter
- Zugschalter.

### 9.1.3 Auswahl der Bedienelemente

#### 1. Bedieneinheit im Cockpit

Für den Einsatz von Bedienelementen im Cockpit, bei denen ein Betriebszustand ein- oder ausgeschaltet wird, sind Drehschalter oder Kippschalter vorzuziehen. Sie sind bei geringerem Platzbedarf leichter zu bedienen. An der Stellung des Schalters lässt sich der momentane Betriebszustand einfach erkennen. Auf den zusätzlichen Einsatz von Kontrollleuchten kann verzichtet werden. Zudem passen sie sich besser an das Erscheinungsbild der vorhandenen Panels an.

Für die Einstellung der Temperatur sollte hier ein stufenloser Drehschalter mit fester Temperaturskala eingesetzt werden, ähnlich wie er für die Lüftersteuerung im Overheadpanel bereits vorhanden ist. Für die Einstellung der Lüfterstärke wird die bereits vorhandene Lösung in der Form eines Drehschalters mit Skala beibehalten. An beiden Skalen sind Zahlenwerte vorzusehen.

Im Cockpit wird die Bedieneinheit für Temperaturwahl und Gebläsestufe in der Mittelkonsole platziert. Dort sind zur Zeit die Bedienhebel für die Bowdenzüge zur Verstellung der Luftklappen eingebaut (Bild 9.4). So befinden sich die Bedienelemente für die Klimatisierung nach wie vor an gewohnter Stelle und bedeuten nur einen geringen Umlernungsprozess. Die wichtigen Funktionsschalter Ein-/Aus, Defoging und Deicing werden im Overheadpanel platziert, wo sich derzeit bereits Schalter zur Bedienung von Heizung und Klimaanlage befinden (Bild 9.5).

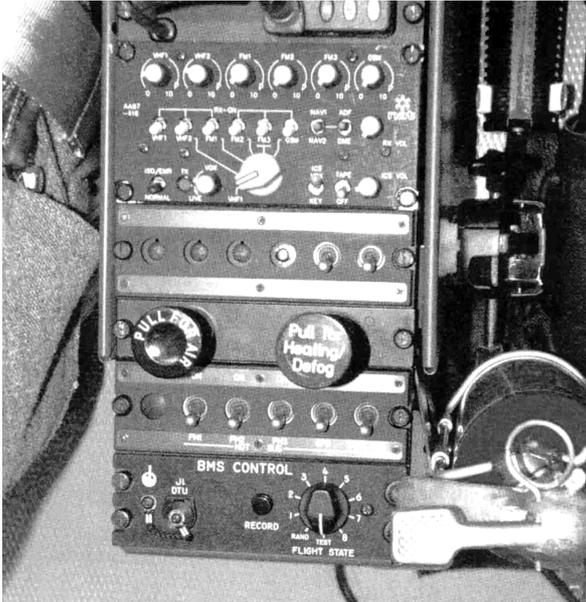


Bild 9.4 Mittelkonsole mit Bedieneinheit

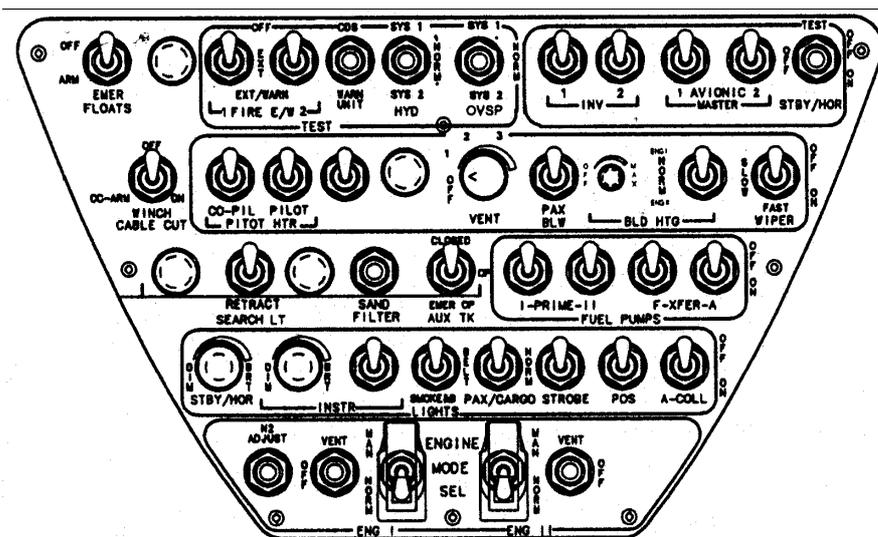


Bild 9.5 Overheadpanel (FLM 2003, Fig.7-3)

## 2. Bedieneinheit in der Passagierkabine

Für den Einsatz von Bedienelementen im Passagierbereich sollten Tastenelemente und digitale Displays verwendet werden. Die gewünschte Temperatur kann über die Tasten leicht und komfortabel eingestellt und am Display ohne große Mühe abgelesen werden. Hierfür ist ein geringfügig größerer Platzbedarf notwendig, der im Bereich der Passagierkabine keine größeren Probleme darstellt.

Sie kann in der Kabinendecke nahe der Luftauslassdüsen platziert werden. Dieses hat folgende Vorteile:

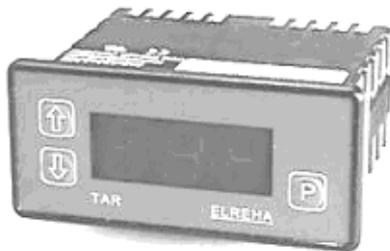
- sie ist von mehreren Sitzen aus zugänglich
- ein unabsichtliches Verstellen wird erschwert
- dort gibt es mehr Platz als in der Seitenverkleidung

Als Digitalanzeige mit Tastenbedienung wurde ein Produkt der Firma *ELREHA Elektronische Regelungen GmbH* ausgesucht. Die technischen Daten sind in Tabelle 9.1 zusammengefasst.

**Tabelle 9.1** Technische Daten der Digitalanzeige TAR 1004 (Anhang A)

Eigenschaft	ELREHA
<b>TAR 1004</b>	
Betriebstemperatur	-10 bis +55 ° C
Abmessungen	70 x 28 mm
Gewicht	...
Anzeigebereich	-99...+999 / 8 bit zwischen -20/+99 = 0,1
Betriebsspannung	12 bis 24 V AC/DC
Transformator	107-1300-0052 (bei Bedarf)
Display	LED, rot, 13 mm
Schutzart	IP 54 (von vorne)

In Bild 9.6 ist eine Ansicht der ausgewählten 3 1/2 digit Digitalanzeige für die Bedieneinheit in der Kabine zu sehen.



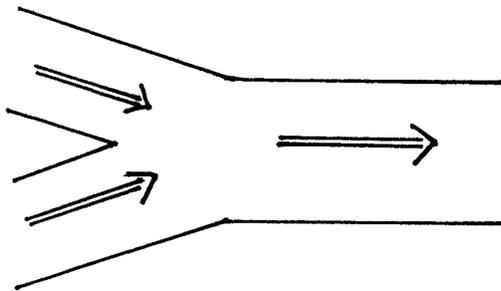
**Bild 9.6** Ansicht der Digitalanzeige TAR 1004 (Anhang A)

## 9.2 Stellglieder der Luftverteilung

### 9.2.1 Aufteilung der Luftkanäle

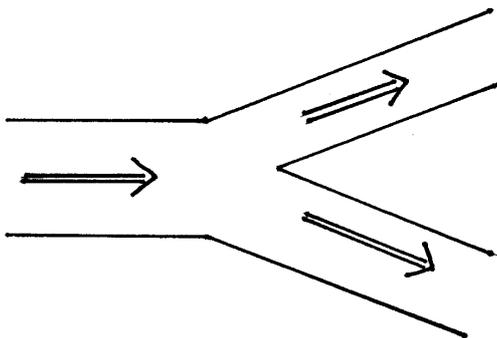
Bei der bestehenden Luftführung in der EC 135 ist zwischen der Mischung zweier Luftkanäle zu einem Luftkanal (Bild 9.7) und der Aufteilung eines Luftstromes in zwei unterschiedliche Luftkanäle (Bild 9.8) zu unterscheiden. Folgende Fälle treten auf:

1. Zwei Luftkanäle vereinen sich zu einem weiterführenden Luftkanal:
  - Mischung von Frischluft und Umluft
  - Mischung von Warmluft mit Umluft
  - Mischung von Warmluft mit Kaltluft



**Bild 9.7** Mischung von Luftströmen

2. Ein Luftkanal teilt sich in zwei weiterführende Luftkanäle auf:
  - Teilung in: Cockpit Belüftung – Dachverteiler
  - Teilung in: Frontscheibenauslass – Instrumentenpult



**Bild 9.8** Aufteilung von Luftströmen

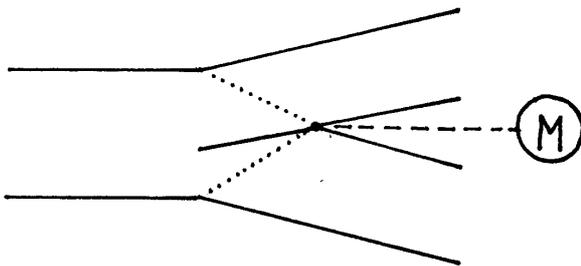
## 9.2.2 Gestaltung der Stellglieder

Als Stellglieder für die Luftstromregulierung kommen Plattenschieber und Drosselklappen in Betracht. Ein Plattenschieber benötigt für das Verschieben der Lochmaske einen seitlichen Platzbedarf und als Antrieb einen Linearantrieb. Dieses lässt sich aus Platzgründen in der EC 135 schlecht realisieren. Daher sollen Drosselklappen verwendet werden. Diese weisen zwar größere Druckverluste als ein Plattenschieber auf (vergleiche Abschnitt 4.2), jedoch steht diesen der Vorteil des geringeren Platzbedarfs und des einfacheren Antriebs gegenüber. Daher wird im folgenden die Detailrealisierung mit Drosselklappen betrachtet.

Für die in Abschnitt 9.2.1 genannten Fälle gibt es drei technische Möglichkeiten der Realisierung mit einer Drosselklappe:

### 1. Eine Klappe mit einem Motor

Hier wird eine Klappe mit ihrer Drehachse im Fußpunkt der Y-Teilung der Luftkanäle montiert (Bild 9.9). Daraus ergibt sich ein großes Drehmoment, welches einen entsprechend starken Stellmotor erfordert. Zwischen den ankommenden, bzw. fortführenden Luftkanälen besteht eine Abhängigkeit (siehe Tabelle 9.2).



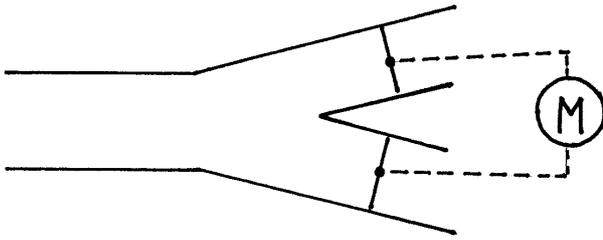
**Bild 9.9** Eine Klappe ein Motor

**Tabelle 9.2** Abhängigkeit bei einer Klappe

Klappenstellung	Luftkanal 1	Luftkanal 2
Endstellung 1	0 %	100 %
Mittelstellung	50 %	50 %
Endstellung 2	100 %	0 %

### 2. Zwei Klappen und ein Motor

Hier werden zwei Klappen mit ihrer Drehachse in der Mitte der ankommenden bzw. fortführenden Luftkanäle montiert (Bild 9.10). Durch diese Art der Aufhängung (Schmetterlingsventil) ergibt sich ein deutlich geringeres Drehmoment für die Betätigung als in Fall 1, welches die Auswahl von kleineren Stellmotoren ermöglicht. Die Klappen werden von einem Motor angetrieben und müssen deshalb gegenläufig gekoppelt sein. Dieses bedeutet einen größeren mechanischen Aufwand. Wie auch in Fall 1 besteht eine Abhängigkeit zwischen den betroffenen Luftkanälen (siehe Tabelle 9.3).



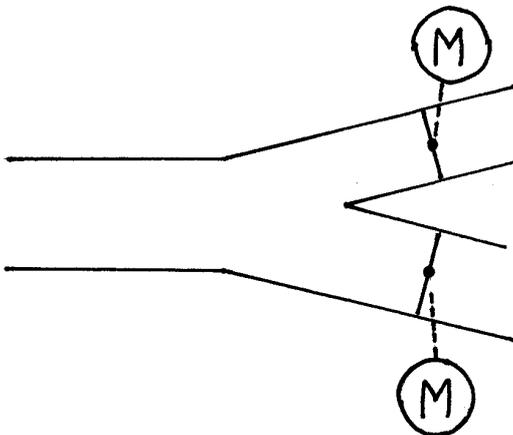
**Bild 9.10** Zwei Klappen ein Motor

**Tabelle 9.3** Abhängigkeit bei zwei Klappen

Klappenstellung 1	Klappenstellung 2	Luftkanal 1	Luftkanal 2
zu	auf	0 %	100 %
halb	halb	50 %	50 %
auf	zu	100 %	0 %

### 3. Zwei Klappen und zwei Motoren

Wie in Fall 2 werden hier zwei Klappen mit ihrer Drehachse in der Mitte der ankommenden, bzw. fortführenden Luftkanäle montiert (Bild 9.11). Daraus ergibt sich ein deutlich geringeres Drehmoment, welches die Auswahl von kleineren Stellmotoren ermöglicht. Beide Klappen werden von je einem Motor angetrieben. Im Gegensatz zu den beiden oben genannten Fällen können hier die Luftströme der Kanäle unabhängig voneinander gesteuert werden. Ist die eine Klappe z.B. zu 25 % geöffnet, kann die andere Klappe dennoch zu 100 % geöffnet sein.



**Bild 9.11** Zwei Klappen zwei Motoren

Aufgrund der geringen Eigenstabilität der flexiblen Luftleitungen ist ein direkter Einbau der Drosselorgane nicht möglich. Daher müssen diese als eigene Bauteile mit einem Rohrverbindungsstück ausgeführt sein, dass ein geringes Eigengewicht aufweist. An den Flanschen werden die Luftschläuche angeschlossen. Als Werkstoff bietet sich Aluminium, Faserverbund oder Kunststoff an. Bei der Wahl des Materials sind Umgebungsbedingungen, wie z.B. Korrosion und Temperatur, zu berücksichtigen.

### 9.2.3 Auswahl der Stellglieder

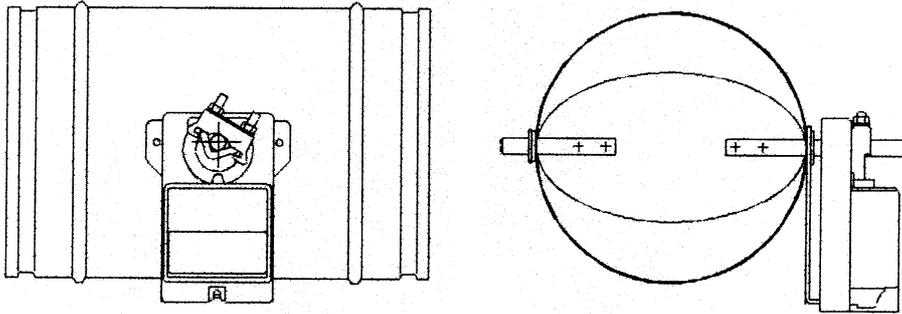
Als Ergebnis der vorhergehenden Überlegungen wird der Einbau von jeweils einer Drosselklappe in der Bauform eines Schmetterlingventils in jedem Luftzweig mit einem eigenen Stellmotor gewählt. Für alle benötigten Stellglieder wird die gleiche Konstruktion gewählt. Damit ergibt sich eine einmalige Konstruktion, bei der lediglich der jeweilige Durchmesser angepasst werden muss. Diese Auswahl führt zu einem zusätzlichen Bedarf von Klappen und Motoren, die im Blockdiagramm Bild 9.16 (Seite 86) dargestellt sind. Tabelle 9.4 zeigt den Unterschied gegenüber Blockdiagramm Bild 7.2 (Seite 51).

**Tabelle 9.4** Übersicht der Änderungen der Stellglieder gemäß Bild 9.16

Funktion	Klappe	Bild 7.2	Bild 9.16
Warmluftzufuhr Cockpit	M4	vorgesehen	modifizierter Einbauort
Kabine 1	M5	vorgesehen	bleibt
Kabine 2	M6	vorgesehen	bleibt
Instrumentenpult	M7	vorgesehen	modifizierter Einbauort
Dachverteiler	M8	vorgesehen	modifizierter Einbauort
Frischluftzufuhr	M9	vorgesehen	modifizierter Einbauort
Umluftzufuhr	M10	-	zusätzlich
Kaltluftzufuhr Cockpit	M11	-	zusätzlich
Frontscheibe	M12	-	zusätzlich

Für diesen speziellen Anwendungszweck ließen sich keine geeigneten Herstellerfirmen für Klappen ermitteln. Aus diesem Grund müssen die Drosselklappen selbst gefertigt werden. Unter Berücksichtigung der Umgebungseinflüsse, Materialeigenschaften und Kosten bietet sich der Werkstoff Aluminium für die Herstellung der Klappen an. Mit Klappen aus diesem Werkstoff gibt es bereits Erfahrungen in diesem Hubschraubermuster.

Für die Herstellung der benötigten Rohrstücke kann auf die bereits eingesetzte Fertigungstechnologie aus Kunststoff zurückgegriffen werden. Auch hier sind bei der Wahl des Materials die Umgebungsbedingungen zu berücksichtigen. In Bild 9.12 ist ein Muster einer Drosselklappe mit Schmetterlingsventil dargestellt. Die benötigten Durchmesser sind in Tabelle 9.5 wiedergegeben. Es wird deutlich, dass drei Standarddurchmesser vorhanden sind. Bei der Konstruktion der Rohrstücke sollte der Einbau der Temperatursensoren berücksichtigt werden. Auf diese wird in Abschnitt 9.4 näher eingegangen.



**Bild 9.12** Rohrstück mit Klappe und Stellantrieb (nach Trox)

**Tabelle 9.5** Durchmesser der Luftführungen (nach Schematic 1997)

Einbauort	Stellantrieb-Nr.	Durchmesser mm		
		Typ 1	Typ 2	Typ 3
Warmluftzufuhr Cockpit	M4	50,8	×	×
Kabine 1	M5	50,8	×	×
Kabine 2	M6	50,8	×	×
Instrumentenpult	M7	×	×	88,9
Dachverteiler	M8	×	×	88,9
Frischlufzufuhr	M9	×	69,9	×
Umlufzufuhr	M10	.	.	.
Cockpit	M11	×	×	88,9
Frontscheibe	M12	×	69,9	×

### 9.3 Auswahl der Stellantriebe

Für die Verstellung der Luftklappen werden elektrisch betriebene Stellantriebe eingesetzt. Diese erhalten ihr Stellsignal von der Regelung.

Aufgrund der zentrierten Lagerung der Klappe ist diese nahezu drehmomentenfrei, da sich die angreifenden Kräfte gegenseitig aufheben. Zu berücksichtigen sind jedoch die Masse der Klappe, die Lagerreibung und Luftströmung bei teilgeöffneter Klappe. Wegen der komplexen Strömungsverhältnisse in den Luftführungen ist eine genaue Berechnung schwierig. Um einen Anhaltswert für die Auswahl der Stellantriebe zu erhalten werden zwei Überlegungen angestellt:

1. Die Auslegung der Bowdenzüge für die bereits vorhandenen Klappen wird in das zugehörige Drehmoment umgerechnet. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass:
  - a) die Auslegung der Bowdenzüge Sicherheitsfaktoren enthält
  - b) die bestehenden Klappen exzentrisch gelagert sind

Die oben genannten Bowdenzüge sind für eine Belastung von 10-20 N ausgelegt (**Paschek 2003**).

Damit ergibt sich das Drehmoment

$$M = Fl \quad (9.1)$$

mit  $F = 10 \text{ N}$  (es wird der kleinste Wert angesetzt, siehe a) und  $l = 45 \text{ mm}$  zu

$$M = 0,45 \text{ Nm}$$

2. Das Drehmoment wird nach **Bohl 1999** (Seite 54) für die gewählte Art der Klappen wie folgt berechnet:

$$M = F \cdot e \quad (9.2)$$

für die angreifende Kraft

$$F = p_s \cdot A \quad (9.3)$$

ergibt sich mit  $p_s \approx 1000 \text{ Pa}$  (nach **SDS 2002, 21-50-00,7**) und  $A = 8093 \text{ mm}^2$  (nach **Schematic 1997**)

$$F \approx 8 \text{ N}$$

für den Hebelarm

$$e = \frac{I_s}{A \cdot w_s} \quad (9.4)$$

ergibt sich mit  $I_s = \frac{d^4 \cdot \pi}{64}$ ,  $d \approx 0,1 \text{ m}$  und  $w_s = 0,05 \text{ m}$

$$e = 0,012$$

Daraus berechnet sich das Drehmoment

$$M = 0,096 \text{ Nm} \approx 0,1 \text{ Nm}$$

Das Ergebnis der Überlegung 2. wird als Grundlage für die Auswahl der Motoren verwendet, weil die Grundlage für diese Berechnung genauer ist.

Bei der Auswahl der Motoren fließen verschiedene Parameter in die Betrachtung ein. Die definierbaren Anforderungen sind in Tabelle 9.6 aufgelistet. Außerdem sollte die Stromaufnahme des Motors sowie das Gewicht möglichst gering sein. Ebenso spielen die Kosten eine Rolle.

**Tabelle 9.6** Anforderungen an Stellantriebe

Auswahlkriterium	Anforderung
Verstellgeschwindigkeit	5 s
Positioniergenauigkeit	$\pm 1^\circ$
Stellweg	Verstellwinkel von $90^\circ$
Drehmoment	0,1 Nm
Versorgungsspannung	28 VDC

Für den Betrieb der Drosselklappen in der EC 135 ist ein Positionierantrieb notwendig. Für die Umsetzung der Drehzahl ist ein Getriebe notwendig. Sinnvoll ist der Einsatz eines Planetengetriebes (**Zirkel 2003**).

Die Umsetzung der analogen Sollwerte in eine entsprechende Positionierung erfolgt durch einen Servoregler. Hierfür muss die elektronische Regelung analoge Spannungswerte gemäß Spezifikation des ausgewählten Servoreglers ausgeben.

Für die Stellantriebe liegen drei Angebote (siehe Anhang B.4) vor, die in Tabelle 9.7 gegenübergestellt sind. Ein Vergleich dieser Daten zeigt, dass die technischen Eigenschaften der vorgestellten Stellantriebe der Firmen *maxon motor gmbh (Maxon)* und *Dr. Fritz Faulhaber GmbH Co. KG (Faulhaber)* nahezu identisch sind. Der Stellantrieb der Firma *Antriebstechnik Quin GmbH (Dunkermotoren)* weist abweichende Eigenschaften auf. Gewicht und Größe von Motor und Getriebe sind gegenüber den anderen beiden Produkten 3-mal so schwer. Die Motorsteuerung muss selber entwickelt werden. Daher wird dieses Angebot nicht weiter berücksichtigt. Der Vergleich der Produkte von *Maxon* und *Faulhaber* bzgl. Kosten und Gewicht zeigt erhebliche Unterschiede. Es ist festzustellen, dass die leichtesten Motoren die Teuersten sind.

Die Stellantriebe der Firma *Maxon* sind um Faktor 3 schwerer als die Produkte der Firma *Faulhaber*. Dafür sind diese um Faktor 3,5 teurer. Die angegebenen Preise sind Einzelpreise brutto zzgl. Mehrwertsteuer, Verpackung und Versand und noch verhandelbar. Eine endgültige Auswahl ist trotzdem schwierig.

Der kostenmäßige Anteil der Klimaanlage an den Gesamtkosten der EC 135 ist vergleichsweise gering. Eine Gewichtszunahme ist in Hinblick auf die Leistungsfähigkeit des Hubschraubers als kritischer zu bewerten. Daher wird die Entscheidung nach dem Kriterium

Gewicht getroffen. Aus diesem Grund wird der Einsatz der Produkte der Firma *Faulhaber* empfohlen.

**Tabelle 9.7** Vergleich Stellantriebe (Anhang B.1 bis B.4)

Eigenschaft	ATQ (Dunkermotoren)	Maxon	Faulhaber
<b>Motor</b>	G 30.2	A-max 110049	1524 024 SR
Gewicht	80 g	21 g	21 g
Temperaturbereich	.	-30 ° C bis +85 ° C	-30 ° C bis +85 ° C
Betriebsspannung	24 VDC	24 VDC	24 VDC
Typenleistung	3,04 W	2 W	1,75 W
Leerlaufstrom	145 mA	6 mA	5 mA
Leerlaufdrehzahl	4900 min <sup>-1</sup>	13800 min <sup>-1</sup>	9900 min <sup>-1</sup>
Wirkungsgrad	42 %	76 %	78 %
Anschlusswiderstand	.	76,2 Ω	79,6 Ω
Anhaltemoment	.	5,14 mNm	6,75 mNm
<b>Getriebe</b>	Planetengetriebe PLG 30	Planetengetriebe GP 16A	Planetengetriebe 15A
Gewicht	87 g	31 g	6 g
Temperaturbereich	.	-15 ° C bis +65 ° C	-30 ° C bis +65 ° C
Untersetzung	400 : 1	370 : 1	809 : 1
Stufenanzahl	3	4	4
Getriebelänge max.	47,5 mm	26,3 mm	25,6 mm
Dauerdrehmoment	1,8 Nm	0,25 Nm	0,2 Nm
<b>Steuerung</b>	-	LSC 30/2	MCDC 2805
Gewicht	-	330 g	110 g
Temperaturbereich	-	0 ° C bis +45 ° C	0 ° C bis +70 ° C
Betriebsspannung	-	12VDC bis 30 VDC	12 VDC bis 28 VDC
<b>Kosten</b> (in Euro)	brutto zzgl. MWSt., Verpackung, Versand		
Abnahmemenge	61 bis 100 Stück	4 bis 19 Stück	1 Stück
Motor/Getriebe	78,00	58,80	104,20
Steuerung	-	97,70	423,80

## 9.4 Auswahl der Messglieder

### 9.4.1 Temperatursensoren

Wie in Abschnitt 6 beschrieben, werden folgende Temperatursensoren benötigt:

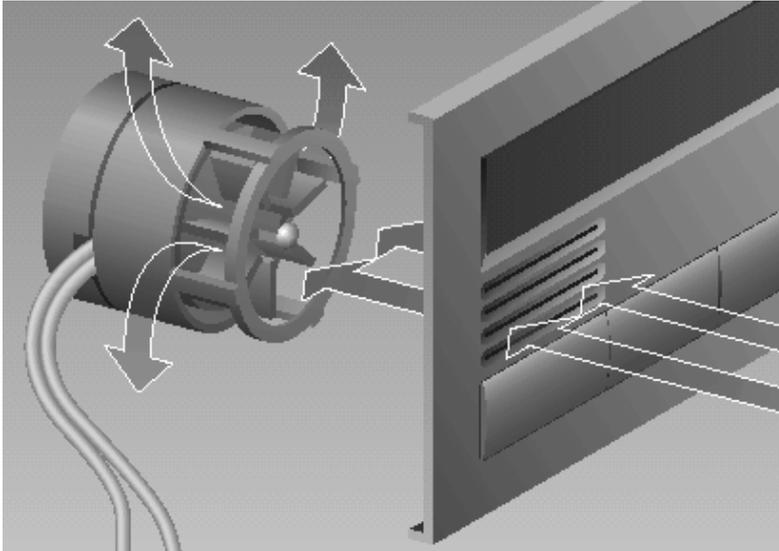
1. Für die Messung in den nicht durchströmten Bereichen, dazu zählen das Cockpit, das Instrumentenpult und die Kabine, wird ein Sensorgebläse mit integriertem Temperatursensor eingesetzt. Durch das Gebläse wird die Raumluft angesaugt, wodurch sich ein gutes Abbild der herrschenden Temperaturverhältnisse ergibt.

Als Sensor wird ein Produkt der Firma *PAPST-MOTOREN GmbH & Co. KG* ausgewählt. Die Firma liefert selbstlauffähige Sensorlüfter mit integriertem Temperatursensor. Die Temperaturmessung erfolgt mit einem NTC-Sensorelement. Der Sensorlüfter wird über eine 4-polige Leitung mit der Regelung verbunden. Zwei Adern dienen der Stromversorgung, zwei Adern liefern das Messsignal. Die Anpassung des Lüftersensors an das 28 V Bordnetz der EC 135 ist ohne Probleme möglich. Da diese Lüftersensoren auch im Nutzfahrzeugbau verwendet werden, liegen bereits Erfahrungen bezüglich der Einwirkung von Vibrationen vor. Aus dieser Sicht ist der Einsatz dieses Produktes in der EC 135 möglich. Für eine erweiterte Spezifikation kann der Lüftersensor bei Bedarf getestet oder weiterentwickelt werden. (**Maier 2003**)

Die Datenblätter für diesen Sensor befinden sich in Anhang C.1.

Einbauorte:

- Der Einbau des Lüftersensors im Cockpit erfolgt in der Mittelkonsole, integriert in die Bedieneinheit. Diese muss am Einbauort mit Luftschlitzen versehen werden, damit der Sensor hier die Luft aus dem Cockpit ansaugen kann (Bild 9.13). Hierbei muss ggf. die Wärmeabstrahlung der Mittelkonsole durch einen Korrekturfaktor in der Regelung berücksichtigt werden.



**Bild 9.13** Einbau des Lüfters in der Bedieneinheit (Papst 2003)

- Der Sensorlüfter für die Temperaturerfassung des Instrumentenpultes wird dort direkt integriert. Als wärmste Stelle hat sich der rechte Teil des Pultes herausgestellt, wo der Sensor platziert werden muss.
- Der Einbau des zweiten Sensorlüfters in der Kabine erfolgt oberhalb der Innenverkleidung im hinteren Teil der Passagierkabine. Hierfür muss eine weitere Öffnung geschaffen werden, die mit einem Schutzgitter zu versehen ist.

Wie in Abschnitt 6, Seite 53 bereits erwähnt, wird der bereits vorhandene Temperatursensor für die automatische Regelung weiterverwendet. Es wird jedoch empfohlen, diesen im Rahmen der Neugestaltung der Klimaanlage ebenfalls gegen den neuen Sensorlüfter auszutauschen. Zum einen ergibt sich damit ein einheitliches System für die Regelung, zum anderen sind die Kosten für diesen Sensor geringer.

2. Für die Messung in den Luftführungen werden Standardtemperatursensoren eingesetzt. Für die Temperaturmessung in Kraftfahrzeugen werden in der Regel NTC-Widerstände oder Widerstandstemperaturfühler wie z.B. ein Pt-Sensor verwendet. Nachteil bei dieser Messung sind auftretende Messabweichungen. Diese können durch eine entsprechende Beschaltung in der Regelung zum Teil kompensiert werden. Die Messabweichungen von Temperturfühler-IC's, z.B. LM135 oder AD590, sind deutlich geringer. Bei Verwendung einer Konstantstromquelle (vergleiche Abschnitt 4.4.1) treten keine Messabweichungen auf. Daher wird der Einsatz eines AD590 empfohlen. Als preisgünstigere Alternative kann der als Konstantspannungsquelle arbeitende LM135 eingesetzt werden. Für diesen muss in der Elektronik eine Kompensationsschaltung integriert werden, die die Messabweichungen aufgrund der Sensorleitungslänge kompensiert. Beide Sensoren können durch ihre Ausführung in Topfbauweise TO92 einfach in einer Tauchhülse installiert werden. Eine Gegenüberstellung der beiden Sensoren mit ihren wichtigsten Daten zeigt Tabelle 9.8.

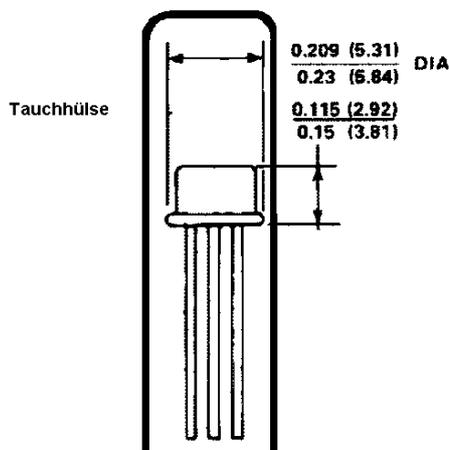
**Tabelle 9.8** Vergleich Temperatursensoren (Anhang C.2 bis C.3)

Eigenschaft	Analog Devices	STMicroelectronics
<b>Typ</b>	AD590LH	LM135
Arbeitsbereich	-55 ° C bis +150° C	-55 ° C bis +150° C
Betriebsspannung	4 bis 30 VDC	2,95 bis 3,01 VDC
Anzahl der Kontakte	2	2
Arbeitsweise	analog	analog
Kosten pro Stück	17,53 Euro	10,84 Euro
Bezugsquelle	Farnell	Farnell

Die Datenblätter für diese Sensoren befinden sich in Anhang C.2 und C.3.

Einbauorte:

Eine direkte Montage dieser Sensoren an den vorhandenen Luftführungen ist aufgrund deren Materialbeschaffenheit nicht möglich. Daher sollten die Sensorelemente in den Rohrstücken der Luftklappen, außerhalb des Wirkungskreises der Klappenverstellung montiert werden. Auf diese Weise kann ein Eigenbausensor integriert werden. Hierfür wird das Sensorelement in eine entsprechende Tauchhülse eingebracht und dort mit einem wärmeleitenden Dicht- bzw. Füllmaterial fixiert (Bild 9.14).



**Bild 9.14** Schematischer Einbau eines Temperatursensor AD590 in einer Tauchhülse

## 9.4.2 Feuchtesensoren

Für die Feuchtemessung werden gemäß Abschnitt 4.4.2 kapazitive Sensoren eingesetzt. Diese Feuchtesensoren reagieren sehr schnell auf Feuchteänderungen und sind klein in der Bauart. eine Gegenüberstellung von drei Sensoren ist in Tabelle 9.9 aufgeführt.

**Tabelle 9.9** Vergleich Feuchtesensoren (Anhang D.1 bis D.3)

Eigenschaft	GE Panametrics	Sensirion	E+E Elektronik
<b>Typ</b>	MiniCap 2	SHT 7x	HC103/104
Arbeitsbereich	0 % bis 100 % rH	0 % bis 100 % rH	0 % bis 100 % rH
Temperaturbereich	-40 °C bis +180° C	-40 °C bis +123,8° C	-40 °C bis +120° C
Betriebsspannung	2,5 VDC	2,4 V bis 5,5 VDC	5,0 VAC
Anzahl der Adern	2	4	2
Arbeitsweise	analog	digital	analog
betaubar	ja	-	ja
chemische Resistenz	ja	-	-
Kosten pro Stück	17,36 Euro	20,45 Euro	.
Bezugsquelle	Conrad electronic	Farnell	E+E Elektronik
sonstiges	OEM-fähig	kombiniert mit Temperatur	-

Als Sensor wird der kapazitive Feuchtesensor *MiniCap 2* der Firma *GE Parametrics* ausgewählt. Dieser Sensor ist beständig gegen Betauung und chemische Einflüsse. Die Einsatztemperatur liegt mit  $-40\text{ °C}$  bis  $+180\text{ °C}$  in den Grenzen der Einsatztemperatur der EC 135. Der Messbereich gibt mit 0 % bis 100 % das gesamte mögliche Messspektrum wieder. Der Sensor wird mit Gleichspannung betrieben und liefert ein analoges Messsignal. Darüber hinaus ist er OEM-fähig (Original Equipment Manufacturer) und kann in Deutschland bei *Conrad electronic* bezogen werden.

Wie in Abschnitt 4.5 und Abschnitt 6 beschrieben, werden für die Enthalpieregulierung zwei Feuchtesensoren benötigt:

### 1. Feuchte der Außenluft

Für die Messung der Außenfeuchte wird das Sensorelement im NACA Einlass montiert. Dieses sollte nicht direkt im Luftstrom geschehen. Es ist ein Schutz gegen Verunreinigungen vorzusehen.

### 2. Feuchte der Innenraumluft

Für die Messung der Umluftfeuchte wird das Sensorelement hinter dem Umlufteinlass montiert.

Die Datenblätter für diese Sensoren befinden sich in Anhang D.1 bis D.3

### 9.4.3 Beschlagsensor

Die Überwachung des Beschlages an der Cockpitscheibe kann auf zwei Arten erfolgen:

#### 1. Direkte Überwachung

Die direkte Überwachung oder auch kontaktierende Überwachung erfolgt mit der sogenannten CCC-Technik (Abschnitt 4.2.2). Hierbei wird der Sensor direkt auf die zu überwachende Fläche montiert. In der Kraftfahrzeugindustrie ist nach **Knittel** diese Technik weniger geeignet. Gründe hierfür sind Temperatureinflüsse bei Sonneneinstrahlung und die Montage im Sichtbereich. Dieses gilt dann analog auch für den Einsatz in Hubschraubern. Darüber hinaus ist diese Technik mit ca. 300 Euro pro Stück (**Hummel 2003**) vergleichsweise kostenintensiv.

Das Datenblatt zu diesem Sensor befindet sich im Anhang D.4.

#### 2. Indirekte Überwachung

Die indirekte Überwachung verwendet einen berührungslosen Infrarotsensor zur Überwachung der Frontscheibentemperatur. Parallel hierzu wird im Innenraum eine Temperatur- und Feuchtemessung durchgeführt. Daraus wird der aktuelle Taupunkt berechnet und mit der Frontscheibentemperatur verglichen. Mit Hilfe der Regelung wird die Lufttemperatur oberhalb der Taupunkttemperatur der Frontscheibe gehalten. Auf diese Weise wird ein Beschlagen der Frontscheibe verhindert.

Für die Überwachung in der EC 135 wird die Lösung 2. ausgewählt. Datenblätter für die Komponenten bei dieser Art von Beschlagsüberwachung sind derzeit aus Datenschutzgründen für diese Diplomarbeit nicht zu erhalten. Für die Projektierung steht die Firma *BEHR-HELLA Thermocontrol GmbH* (BHTC) bei einer direkten Anfrage von *Eurocopter Deutschland GmbH* mit Informationen gerne zur Verfügung. Beim Einsatz der bereits bestehenden Applikation für den Kraftfahrzeugbau belaufen sich die Kosten pro Stück auf ca. 35 Euro. Sollten Änderungen notwendig werden, kann dieses die Kosten erhöhen (**Starkulla 2003**).

#### Einbauort

Die kombinierte Temperatur- und Feuchtemessung wird in die Mittelkonsole integriert. Dafür wird in das Konzept 1 (Bild 7.2) der weitere Feuchtesensor  $rH_3$  integriert (Bild 9.15). Wird für diese Anwendung die Applikation der Firma *BHTC* verwendet, kann der hier verwendete Sensorlüfter  $\vartheta_5$  entfallen. Der Infrarotsensor  $\vartheta_{10}$  (Bild 9.15) muss in das Overheadpanel integriert werden.

## 9.5 Technische Vorgaben für die Regeleinheit

Die elektronische Regeleinheit für den automatischen Betrieb der Klimaanlage muss noch entwickelt werden. Wesentliche technische Vorgaben für die Erstellung der Spezifikation werden hier festgelegt.

Tabelle 9.10 zeigt eine Übersicht der Regelparameter, die durch die Regeleinheit berücksichtigt werden müssen. Tabelle 9.11 beschreibt die Betriebszustände der Stellglieder in Abhängigkeit der aktuellen Klimasituation. Daraus ergibt sich die Anzahl der Ein- und Ausgänge für die elektronische Regeleinheit.

In Bild 9.15 sind die Ein- und Ausgangssignale der Regeleinheit dargestellt, welche sich aus Bild 9.16 ergeben. In der Regeleinheit werden aus den gewonnenen Eingangssignalen die Ausgangssignale gebildet und die Motoren je nach gewünschtem Betriebszustand angefahren. In den folgenden Abschnitten werden die Funktion und der technische Hintergrund dieser Parameter näher erläutert.

**Tabelle 9.10** Übersicht Regelparameter

Signal	Funktion	Bezeichnung	Arbeitsweise	Verdrahtung	Zusatz 1	Zusatz 2	Abschnitt
<b>Versorgung</b>							
V1	Versorgung	Rail Switch	Umschalter	-	Notbetrieb	Umschaltung Versorgungsspannung	9.5.1
<b>Solleingänge</b>							
S1	Potentiometer	Cockpit	analog	-	18 bis 25° C	Sollwert	9.5.2
S2	Bedieneinheit	Kabine	digital	-	18 bis 25° C	Sollwert	9.5.2
S3	Temperatur	I-Pult	Festeinstellung	-	A/D Wandler 45° C = Lüfter 63° C = Warnung	Überwachung	9.5.2
<b>Messeingänge</b>							
E1	Temperatursensor	ø9	analog	2-polig	AD590	Temperatur	9.5.3
E2	Temperatursensor	ø3	analog	4-polig	S2000/1xx	Temperatur	9.5.3
E3	Temperatursensor	ø2	analog	4-polig	S2000/1xx	Temperatur	9.5.3
E4	OAT	ø1	...	...	-	Temperatur	9.5.3
E5	Temperatursensor	ø8	analog	2-polig	AD590	Temperatur	9.5.3
E6	Temperatursensor	ø7	analog	2-polig	AD590	Temperatur	9.5.3
E7	Temperatursensor	ø6	analog	2-polig	AD590	Temperatur	9.5.3
E8	Temperatursensor	ø4	analog	4-polig	S2000/1xx	Temperatur	9.5.3
E9	Temperatursensor	ø5	analog	4-polig	S2000/1xx	Temperatur	9.5.3
E9	Kombisensor	rH3/ø5	-	-	BHTC	Temperatur / Feuchte	9.5.3
E10	Temperatursensor	ø10	-	-	BHTC	Temperatur	9.5.3
E11	Temperatursensor	rH1	analog	2-polig	MiniCap 2	Feuchte	9.5.3
E12	Temperatursensor	rH2	analog	2-polig	MiniCap 2	Feuchte	9.5.3
E13	Temperatursensor	rH3	analog	2-polig	MiniCap 2	Feuchte	9.5.3
E13	Kombisensor	rH3/ø5	-	-	BHTC	Temperatur / Feuchte	9.5.3

Fortsetzung Tabelle 9.10

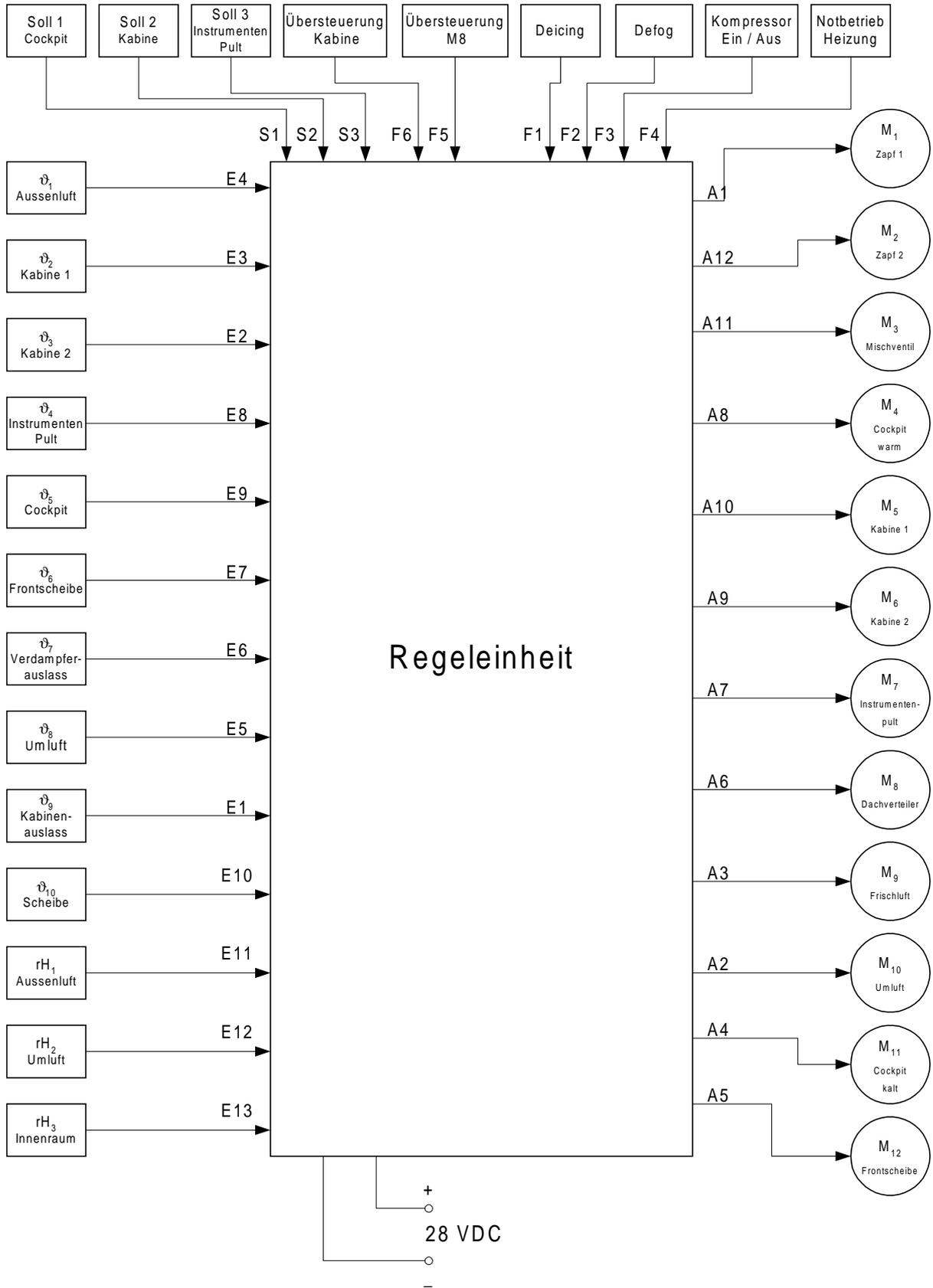
Signal	Funktion	Bezeichnung	Arbeitsweise	Verdrahtung	Zusatz 1	Zusatz 2	Abschnitt
<b>Sonderfunktionen</b>							
F1	Kompressor	Air Cond	Ein/Aus	2-polig	Betriebssituation	manuell	9.5.4
F2	Defrost	Defrost	Ein/Aus	2-polig	Vereisung	manuell	9.5.4
F3	Defog	Defog	Ein/Aus	2-polig	Beschlag	manuell	9.5.4
F4	Übersteuerung	Cabin over	Ein/Aus	4-polig	Kabine aus	manuell	9.5.4
F5	Heizluft	HTG EMER	Ein/Aus	2-polig	Notbetrieb	manuell	9.5.4
F6	Übersteuerung	Cabin off	Ein/Aus	4-polig	M8	manuell	9.5.4
<b>Ausgänge</b>							
A1	Stellmotor	M1	-	-	Zapfluft 1	automatisch	9.5.5
A2	Stellmotor	M10	Servoregler	8-polig	Umluft	automatisch	9.5.5
A3	Stellmotor	M9	Servoregler	8-polig	Frischluf	Mindest- öffnung automatisch	9.5.5
A4	Stellmotor	M11	Servoregler	8-polig	Cockpit kalt	automatisch	9.5.5
A5	Stellmotor	M12	Servoregler	8-polig	Frontscheibe	automatisch	9.5.5
A6	Stellmotor	M8	Servoregler	8-polig	Dachverteiler	automatisch	9.5.5
A7	Stellmotor	M7	Servoregler	8-polig	I-Pult	automatisch	9.5.5
A8	Stellmotor	M4	Servoregler	8-polig	Cockpit warm	automatisch	9.5.5
A9	Stellmotor	M6	Servoregler	8-polig	Kabine 2	automatisch	9.5.5
A10	Stellmotor	M5	Servoregler	8-polig	Kabine 1	automatisch	9.5.5
A11	Stellmotor	M3	-	-	Mischventil	automatisch	9.5.5
A12	Stellmotor	M2	-	-	Zapfluft 2	automatisch	9.5.5

## 9.5.1 Versorgungsspannung

Für den Betrieb der Sicherheitsfunktionen *Defrost*, *Defog* und die Mindestbelüftung des Hubschraubers (siehe auch Abschnitt 9.5.6) ist es notwendig, dass die Regeleinheit mit dem Starten des Hubschraubers den Betrieb aufnimmt und diesen während der gesamten Flugzeit aufrecht erhält.

Die EC 135 verfügt über zwei Triebwerke und zwei Generatoren für die elektrische Versorgung des Bordnetzes. Diese Systeme sind teilredundant. Bei Ausfall eines Systems müssen die sicherheitsrelevanten Betriebssysteme auf die intakte Stromversorgung umgeschaltet werden können. Die Umschaltung kann automatisch oder manuell geschehen.

Für die Regeleinheit ist eine solche Umschaltung vorzusehen.



**Bild 9.15** Ein- und Ausgangssignale der Regeleinheit

## 9.5.2 Regelparameter Vorgaben

Die Aufgabe der Regelung besteht darin, die Hubschrauberbereiche entsprechend der vorgegebenen Temperaturwerte zu temperieren. Nach **DIN 1946-2 1994** ist in geschlossenen Räumen eine Temperatur von 22 °C als behaglich anzusehen. Die Einstellmöglichkeiten sollten deshalb im Bereich von 18 °C bis 25 °C liegen (**Deh 1999**, Seite 63).

Die Eingänge für S1 und S2 müssen so ausgelegt werden, das die Signale der zugehörigen Geber (Sollwert-Vorgabe) stetig (vergleiche Abschnitt 4.1.1) verarbeitet werden können.

Der Eingang S3 muss im Sinne eines unstetigen Reglers zwei Grenzwerte verarbeiten (vergleiche Abschnitt 4.1.2), die auf das Gebläse hinter dem Verdampfer und eine Warnmeldung wirken:

- Bei Überschreitung einer Temperatur von 45 °C muss das Gebläse hinter dem Verdampfer geregelt werden.
- Bei Überschreitung einer Temperatur von 63 °C muss zusätzlich eine Warnung im Cockpit angezeigt werden.

## 9.5.3 Regelparameter Messeingänge

Für die Messeingänge E1 bis E13 gilt folgendes:

- Die Messeingänge E1, E5 bis E7 und E11 bis E12 sind analog.
- Die Messeingänge E2, E3, E8 und E9 sind ebenfalls analog. Für diese Eingänge gilt:

Wegen der getrennten Luftleitsysteme für Kaltluft und Warmluft wird die eigentliche Innenraumtemperatur erst durch die Durchmischung infolge der thermischen Konvektion im Innenraum eingestellt (vergleiche Abschnitt 7.1). Damit die Regeleinheit angemessen auf diese schwierig zu beherrschende Regelsituation reagieren kann, sind die Eingangssignale durch langsame Integralregler mit unterschiedlichem Zeitverhalten (**Gäbler 2003**) zu verarbeiten (vergleiche Abschnitt 4.1.1).

- Der Messeingang E4 erhält sein Signal vom OAT.
- Der Messeingang E9 ist bei Einsatz des ausgewählten Sensors (Abschnitt 9.4.1) analog, für den Einsatz der Applikation der Firma *BHTC* liegen keine Informationen vor. Dieses gilt sinngemäß auch für den Messeingang E13.

## 9.5.4 Regelparameter Sonderfunktionen

Für die Sonderfunktionen F1 bis F6 gilt folgendes:

Alle Sonderfunktionen werden als Ein / Aus Funktion ausgelegt.

Die Sonderfunktion F1 übersteuert die Regeleinheit mit der Funktion Kompressor *Ein* oder *Aus*.

- Bei Betrieb von bestimmten Sonderausstattungen der EC 135 ist wegen des hohen Energieverbrauches des Kompressors ein gleichzeitiger Betrieb nicht möglich (vergleiche Abschnitt 5.4). Daher muss dieser manuell abgeschaltet werden können.
- Bei bestimmten Flugsituationen, in denen im Voraus bekannt ist dass mit Wetteränderungen (Feuchtigkeit) zu rechnen ist oder das Öffnen der Tür während des Fluges (Windeneinsatz) notwendig wird, sollte im Vorwege eine Kühlung der Cockpitscheibe durch manuelles Ausschalten des Kompressors vermieden werden. So wird der Taupunkt nicht künstlich erniedrigt. Nach Eintritt des Ereignisses, kann durch manuelles Wiedereinschalten des Kompressors die eingedrungene feuchte Luft getrocknet werden. Ein Beschlag der Cockpitscheiben wird so wirkungsvoll verhindert. Dieses Verfahren sollte für alle EC 135, welche mit einer automatischen Klimaregelung ausgestattet sind, in das Flughandbuch aufgenommen werden.

Die Sonderfunktion F2 schaltet die Heizung auf Maximum für die Enteisung der Frontscheibe.

Die Sonderfunktion F3 schaltet den Kompressor ein um trockene Luft zu erhalten und regelt die Cockpitterperatur auf einen Wert oberhalb des aktuellen Taupunktes der Frontscheibe um Beschlag dort zu entfernen.

Die Sonderfunktion F4 schaltet die Bedieneinheit für die Temperaturvorwahl der Kabine aus und legt diese Funktion auf die Bedieneinheit im Cockpit.

Die Sonderfunktion F5 schaltet den Notbetrieb der Heizung ein. Das bedeutet, dass bei Ausfall eines Triebwerkes das Absperrventil M1 oder M2 des noch intakten Triebwerkes manuell wiedergeöffnet wird.

Die Sonderfunktion F6 schließt die Klappe M8. Damit wird die gesamte Kaltluft auf das Cockpit umgeleitet (vergleiche Abschnitt 9.1.1).

### 9.5.5 Regelparameter Stellausgänge

Die Regeleinheit muss die Signale für die Stellausgänge A1, A2, sowie A4 bis A12 so aufbereiten, dass die nachfolgenden Stellantriebe mit den jeweils zugehörigen Servoreglern angesteuert werden können.

Es ist zu überlegen, ob diese Servoregelungen in den jeweiligen Ausgang der Regeleinheit integriert werden können. Dieses kann zu einer Gewichtseinsparung und gegebenenfalls einer Kostenreduzierung beitragen.

Auf den Ausgang A3 wird gesondert eingegangen, weil ihm eine besondere Bedeutung zukommt:

Nach **E DIN 1946-3 2003** ist bei der Belüftung von Kraftfahrzeugen ein gewisser Anteil an Frischluftzufuhr notwendig. Auch bei großen Hubschraubern (Large Rotorcraft) ist in der **JAR 29** (JAR 29.831) ein Frischluftanteil von 0,3m<sup>3</sup>/min pro Besatzungsmitglied gefordert (Anhang E.3). Der Frischluftanteil ist notwendig, um der Besatzung für die Ausübung ihrer Tätigkeit einen Mindestkomfort zu bieten und der Müdigkeit entgegenzuwirken. Auch in der **JAR 25** (Large Aeroplane) wird eine ständige Frischluftzufuhr im Crew-Bereich (JAR 25.831 (a)) gefordert (Anhang E.1). Zusätzlich ist in der **JAR 25** ein Volumen für Cockpit und Kabine genannt. Das Luftvolumen muss mindestens 800 ft<sup>3</sup> betragen (JAR 25.831 (f)(1)). Die für die EC 135 geltende **JAR 27** (Anhang E.2) bezieht sich im Abschnitt *Ventilation* (JAR 27.831) nur auf Schadstoffkonzentrationen. Frischluftanteile werden nicht ausdrücklich erwähnt.

Bei der vorliegenden automatischen Regelung für die Klimaanlage des Hubschraubers EC 135 werden die Parameter *Temperatur* und *Feuchte* erfasst, jedoch nicht der Sauerstoff- oder Schadstoffgehalt der Luft. Daher ist es sinnvoll, im Sinn der oben genannten Vorschriften einen gewissen Anteil an Frischluft ständig zuzuführen. Dieses gilt insbesondere für den Cockpitbereich.

Der Ausgang A3 muss die Regeleinheit gemäß der obigen Ausführungen angesteuert werden. Alternativ kann ein mechanischer Endanschlag vorgesehen werden, der das vollständige Schließen dieser Klappe verhindert.

Die weitere Aufgabe einer Klimaanlage die Luft auch zu ent- und befeuchten kann nur mit Hilfe eines Befeuchters vollständig durchgeführt werden. Aus Platz- und Gewichtsgründen ist ein Einbau in der EC 135 nicht vorgesehen. Die Regulierung des Feuchtegehaltes der Luft kann somit nur indirekt über die Enthalpieregulierung erfolgen. Die Regelung der Ausgänge A1 bis A12 muss dieses berücksichtigen. Für die Regeleinheit ist eine Software zu entwickeln. Diese soll neben der eigentlichen Logik der Temperaturregelung die Ausgangssignale auf

Basis der zusätzlichen Parameter *Enthalpie* und *Behaglichkeit* für eine Luftfeuchte zwischen 30% und 60% rH (Deh 1999, Seite 21) regeln.

### 9.5.6 Betriebszustände

Für die Entwicklung der Regeleinheit und der notwendigen Software werden in Tabelle 9.11 die wichtigsten Betriebszustände für die Regelung dargestellt. Tabelle 9.12 stellt die wichtigsten Sonder-Betriebszustände dar. Den Tabelle ist zu entnehmen, bei welchem Betriebszustand der Kompressor eingeschaltet, und welche Systemkomponente geregelt werden muss.

**Tabelle 9.11** Betriebszustände für die automatische Regelung

Temperatur			Komponente												
Soll	Betriebs-	Außen	Kom-	M7	M12	M9	M10	M8	M11	M4	M5	M6	M3	M1	M2
-	art	-		pres-											
Ist		Innen	sor												
<b>Temperaturregelung</b>															
Ts < Ti	Kühlen	Ta < Ti	Frischluf + Kompressor	1				R							
Ts = Ti	Halten	Ta < Ti	Umluft + Zapfluft	0			R	R					R	R	R
Ts > Ti	Heizen	Ta < Ti	Zapfluft	0			R						R	R	R
Ts < Ti	Kühlen	Ta = Ti	Kompressor	1			R								
Ts = Ti	Halten	Ta = Ti	Umluft	0			R	R							
Ts > Ti	Heizen	Ta = Ti	Zapfluft	0			R						R	R	R
Ts < Ti	Kühlen	Ta > Ti	Umluft + Kompressor	1			R	R							
Ts = Ti	Halten	Ta > Ti	Umluft + Kompressor	1			R	R							
Ts > Ti	Heizen	Ta > Ti	Umluft + Zapfluft	0			R	R					R	R	R
<b>Verteilung Cockpit</b>															
Ts < Ti	Kühlen	Ta < Ti				R	R		R	R					
Ts = Ti	Halten	Ta < Ti				R	R		R	R	R				
Ts > Ti	Heizen	Ta < Ti				R	R		R	R	R				
<b>Verteilung Kabine</b>															
Ts < Ti	Kühlen	Ta < Ti						R			R	R			
Ts = Ti	Halten	Ta < Ti						R			R	R			
Ts > Ti	Heizen	Ta < Ti						R			R	R			

**Tabelle 9.12** Sonder-Betriebszustände

Betriebs- zustand	Betätigung	Betrieb	Komponente													
			Ge- bläse	Kom- pres- sor	M7	M12	M9	M10	M8	M11	M4	M5	M6	M3	M1	M2
Enteisung (Deicing)	manuell	Heizen	max		R	R		R		R	1			R	R	R
Beschlags- befreiung (Defoging)	automatisch / manuell	Heizen/ Kühlen	max	1	R	R	R	R		R	1			R	R	R
Notbetrieb Heizung Ausfall 1	manuell	Heizen										R	R	R		1
Notbetrieb Heizung Ausfall 2	manuell	Heizen										R	R	R	1	

### 9.5.7 Einbauort

Der Einbau der Regeleinheit kann an folgenden Stellen erfolgen:

- Einbau in der Decke  
In der Decke verlaufen die Steuerstangen. Daher steht hier nur ein geringes Platzangebot zur Verfügung.
- Einbau in der Kabinenseitenwand  
Je nach Ausstattung des Hubschraubers befinden sich in der Kabinenseitenwand bereits zusätzliche Einbauten, z.B. „Mediwand“ mit medizinischem Gerät oder die Steuereinheit für das FLIR
- Einbau auf dem Avionikdeck  
Auf dem Avionikdeck im Heck des Hubschraubers befinden sich je nach Ausstattung zahlreiche Avionik-Komponenten. Daher steht hier auch nur ein sehr begrenzt Platz zur Verfügung.
- Einbau in der Bodenunterschale  
In der Bodenunterschale ist derzeit die Steuereinheit für die Temperaturregelung integriert (Abschnitt 5.2).

Als sinnvoller Einbauort für die Regeleinheit bietet sich daher die Bodenunterschale unterhalb des Cockpits an. Diese ersetzt dann die dort befindliche Steuereinheit.

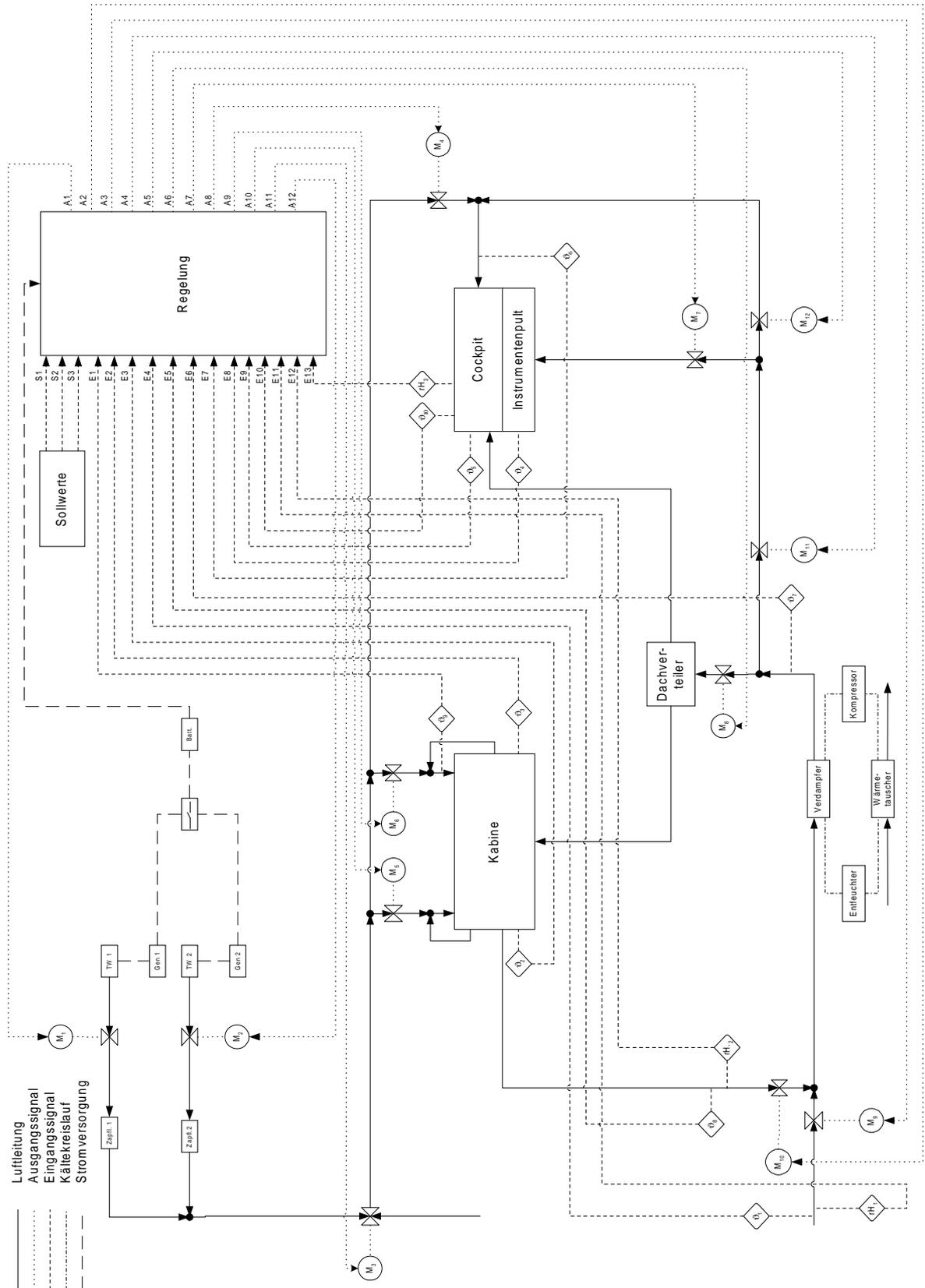


Bild 9.16 Blockdiagramm Zwei-Zonen-Klimatisierung

## **9.6 Verdrahtung und Montagezubehör**

Die Integration der Verdrahtung in das bereits bestehende elektrische System ergibt sich im Detail erst aus den noch anzufertigenden Detailkonstruktionen.

Das Komponentenzubehör für die Regeleinheit ergibt sich erst aus der tatsächlichen Ausführung mit ihrem Einbauort, ihrer Einbauposition und den verwendeten Anschlußkomponenten.

Dieses gilt analog für das mechanische Zubehör, wie z.B. Schrauben, Kabelbinder , Dichtmaterial, u.a..

## 10 Stückliste und Kostenabschätzung

Eine endgültige Stückliste kann im Rahmen dieser Arbeit nicht erstellt werden. In Tabelle 10.1 ist ein erster Rohentwurf mit den derzeit bekannten Daten zusammengestellt. Die Regeleinheit muss noch entwickelt und die Drosselklappen konstruiert werden. Aus der Entwicklungs- und Projektierungsarbeit leiten sich die fehlenden Informationen für die verschiedenen Stücklisten für Einkauf, Fertigung usw. ab, die später ergänzt werden müssen. Soweit Preisinformationen vorliegen, sind diese in der Tabelle eingearbeitet, woraus sich eine erste Kostenabschätzung ergibt. Dieses betrifft die reinen Materialkosten. Weitere Kostenarten, wie z.B. Erstellung von Fertigungsunterlagen oder Montage, sind nicht berücksichtigt.

**Tabelle 10.1** Stückliste mit Kostenabschätzung

Pos	Teilebez.	Bemerkung	Menge		Gewicht pro ME		Gewicht gesamt		Hersteller	Hersteller Bezeichnung	Lieferant	Bestell-Nr.	Preis / ME	
				St	ME	GE	GE	GE					EURO	EURO
1	Sensordlüfter	NTC	3	St		21 g	63 g		Papst	S2000 E Typ 1xx	...		50,00	150,00
2	Temperatur- sensor	IC	4	St					Analog Devices	AD590LH	Farnell	3182228	17,53	70,12
3	Feuchte- sensor		2	St					Panametrics	MiniCap 2	Conrad		17,36	34,72
4a	Sensordlüfter	NTC	1	St		21 g	21 g		Papst	S2000 E Typ 1xx	...		50,00	50,00
4a	Feuchte- sensor		1	St					Panametrics	MiniCap 2	Conrad		17,53	17,53
4a	Temperatur- sensor	IR	1	St										
4b	Beschlag- sensorik	Set	1	St					BHTC				35,00	35,00
5	Getriebe- motor	M, IP, Getr.	9	St		27 g	243 g		Faulhaber	1524A024S R IE2-16 15A 809:1		1524A024S R IE2-16 15A 809:1	104,20	937,80
6	Steuerung		9	St		110 g	990 g		Faulhaber	MCDC2805		MCDC2805	423,80	3814,20
7	Drossel- klappe	50,8 mm	3	St					Eigenkonstruktion					
8	Drossel- klappe	69,9 mm	2	St					Eigenkonstruktion					
9	Drossel- klappe	88,9 mm	3	St					Eigenkonstruktion					
10	Regeleinheit		1	St					Entwicklung					
11	Bedieneinheit	Kabine	1	St					ELREHA	TAR 1004			102,10	102,10
12	Schalter	Cockpit	2	St										
13	Drehschalter	Cockpit	2	St										
14	Schalter	Cockpit	2	St										
15	Tauchhülsen		4	St										
16	Verdrahtung			m										
17	Montage- zubehör	diverses												

Hinweis:

Diese Stückliste berücksichtigt keine Komponenten, die in der jetzigen Ausstattung bei verwendet werden

# 11 Zusammenfassung

Zunächst wurden zwei Diplomarbeiten analysiert, die vorbereitend für die Realisierung einer automatischen Regelung der Klimaanlage des Hubschrauber EC 135 durchgeführt wurden.

Eine Arbeit befasste sich mit dem Luftverteilkonzept. Diese Arbeit betrachtet in erster Linie die strömungstechnischen Gegebenheiten und notwendige mechanische und konstruktive Maßnahmen, welche den Innenausbau des Hubschraubers betreffen. Daher konnten aus dieser Arbeit keine Informationen gewonnen werden, die sich auf die Auswahl der Komponenten für eine automatische Regelung beziehen ließen.

Eine weitere Arbeit befasste sich mit Regelungsmöglichkeiten aus dem Blickwinkel der Klimatechnik. Aus dem dort entstandenen Konzept konnten wichtige Hinweise für notwendige Systemkomponenten einer automatisierten Regelung der Klimaanlage gewonnen werden. Zunächst wurde das vorgestellte Konzept in ein Blockdiagramm übertragen, aus dem das komplexe Zusammenwirken der Komponenten ersichtlich wird. Dieses Blockdiagramm stellte die Grundlage für die weitere Vorgehensweise dar und wurde im Laufe der Arbeit erweitert.

Es zeigte sich die Notwendigkeit, theoretische Grundlagen aus der Versorgungstechnik zu den Themen *Klimaanlagen* und *Regelungstechnik* für das Verständnis der technischen Zusammenhänge zu erarbeiten, da diese im Studium Flugzeugbau nicht im benötigten Umfang behandelt wurden. Aus diesen Betrachtungen entstand eine Übersicht über die benötigten Systemkomponenten für eine Automatisierung. Mit Hilfe dieser Übersicht konnten die Hauptkomponenten später ausgesucht werden.

Im Verlauf der Arbeit stellte sich das Thema Klimaregelung in der EC 135 als sehr komplex dar. Grund hierfür sind die getrennten Luftführungen der Kalt- und Warmluft, die erst bei Eintritt in die Kabine durchmischt werden. Vergleichsweise häufig wurde auf Erfahrungen aus der Kraftfahrzeugtechnik zurückgegriffen. Die Verhältnisse dort sind denen im Hubschrauber ähnlicher als die eingesetzte Klimatechnik in Luftfahrzeugen mit Druckkabine.

Aufgrund der oben genannten Komplexität der Luftführungen zeigte sich, dass eine Vielzahl von Mess- und Stellgliedern benötigt wird. Die Vielzahl der motorisch angetriebenen Stellglieder, die für eine automatisierte Regelung in diesem System notwendig sind, führen zwangsläufig zu einer Erhöhung des Leergewichtes der EC 135. Daher wurde bei der Auswahl dieser Komponenten in erster Linie auf das geringe Gewicht geachtet. Dieses wirkt sich deutlich bei den Beschaffungskosten der Komponenten aus. Zu der Energiesituation kann aufgrund der zahlreichen Stellmotoren derzeit keine Aussage getroffen werden. Es liegen keine Erfahrungen zur Gleichzeitigkeit des Eingriffes dieser Komponenten vor, und damit auch keine Einschätzung des tatsächlichen Energieverbrauchs. Für Berechnungen könnte

derzeit nur der technische Leistungswert herangezogen werden, der jedoch kein Abbild der realen Energiesituation ist.

Die eigentliche elektronische Regelung muss erst noch entwickelt werden. Wegen der bereits genannten Komplexität des Systems sind keine Standardlösungen auf dem Zuliefermarkt erhältlich. Die notwendigen Informationen für die Erstellung einer Spezifikation wurden zusammengetragen und in entsprechenden Tabellen dokumentiert.

Ein System für die Verhinderung der Betauung der Frontscheibe ist dringend notwendig. Ein solches System ist für den Einsatz in Kraftfahrzeugen bereits entwickelt worden. Der Einsatz bietet sich auch im Hubschrauber an. Leider waren aufgrund der Neuheit des Systems und aus datenschutzrechtlichen Gründen keine Informationen zu erhalten. Der Anbieter dieses System hat bei einer Anfrage einer direkten Zusammenarbeit mit *Eurocopter Deutschland GmbH* grundsätzlich zugestimmt.

Die Kostenabschätzung bleibt leider unvollständig. Gründe hierfür sind die fehlenden Informationen über die noch zu entwickelnden und selber zu fertigenden Systemkomponenten.

Grundsätzlich zeigt die Arbeit, dass die Realisierung einer automatischen Klimaregelung möglich ist. Die hierfür erforderlichen Hauptkomponenten wurden ermittelt und die Einbauorte festgelegt. Daraus entstand ein erstes Gerüst für eine Stückliste, das mit den vorliegenden Preisinformationen ergänzt wurde.

Im umfangreichen Anhang sind alle Informationen für die Detailkonstruktionen bereitgestellt. Diese werden durch eine Liste der Hersteller und Lieferanten ergänzt.

## Literaturverzeichnis

- Ahlborn 2003** AHLBORN MESS- UND REGELUNGSTECHNIK GMBH: Gesamtkatalog 2003/2004. Holzkirchen : Ahlborn Mess- und Regelungstechnik GmbH, 2003. – Firmenschrift.
- Amrhein 2002** AMRHEIN, Wolfgang: Bürstenlose Permanentmagnetmotoren. In: STÖLTING, Hans-Dieter (Hrsg.); KALLENBACH, Eberhard (Hrsg.): *Handbuch elektrische Kleinantriebe*. Ort : Carl Hanser Verlag München Wien, 2002, S.52-83
- Apag** URL: <http://www.apag.ch/html/theoriedessrsmotors.htm> (2003-09-03)
- Baumgarth 2000** BAUMGARTH, S.: Regelungstechnik für RLT-Anlagen. In: BAUMGARTH (Hrsg.); HÖRNER (Hrsg.); REEKER (Hrsg.): *Handbuch der Klimatechnik*. Bd.1 : *Grundlagen*. Heidelberg : C..F. Müller Verlag, 2000, S.429-464
- Bernstein 1998** BERNSTEIN, Herbert: *PC-Meßlabor: Praktische Anwendungen der PC.Meßtechnik in der analogen und digitalen Signalverarbeitung*. Poing : Franzis' Verlag Gmbh, 1998
- Bohl 1991** BOHL, Willi: *Technische Strömungslehre: Stoffeigenschaften von Flüssigkeiten und Gasen, Hydrostatik, Aerostatik, Inkompressible Strömungen, Kompressible Strömungen, Strömungsmesstechnik*. Würzburg : Vogel, 1991
- Brinkmann 2001** BRINKMANN, Holger: *Konzeptentwurf einer Klimaautomatik für den Hubschrauber EC 135*. Osnabrück, Fachhochschule Osnabrück, Fachbereich Maschinenbau, Diplomarbeit, 2001
- CMM 2000** KEITH PRODUCTS: *Component Maintenance Manual with Illustrated Parts List : Air Conditioning System for EC135*. Keith Products, 2000
- Conrad** URL: <http://www1.conrad.de/scripts/wgate/> (2003-10-04)
- Daniels 1973** DANIELS, K.: *Klimatechnik 1: Grundlagen, Bauelemente, Systeme und Regelung*. Bern und Stuttgart : Verlag Technische Rundschau im Hallwag Verlag, 1973
- Deh 1999** DEH, Ulrich: *Kfz-Klimaanlagen*. Würzburg : Vogel, 1999

- DIN 19226-1 1994** Norm DIN 19226 Teil 1 Februar 1994. *Leittechnik; Regelungstechnik und Steuerungstechnik; Allgemeine Grundbegriffe*
- DIN 19226-4 1994** Norm DIN 19226 Teil 4 Februar 1994. *Leittechnik; Regelungstechnik und Steuerungstechnik; Begriffe für Regelungs- und Steuerungstechnik*
- DIN 1946-2 1994** Norm DIN 1946 Teil 2 Januar 1994. *Raumluftechnik: Gesundheitstechnische Anforderungen*
- Dümmel 1983** DÜMMELE, Ulrich: *Messen und Regeln in der Heizungs-, Lüftungs- und Sanitärtechnik*. Berlin : VEB Verlag für Bauwesen, 1983
- E DIN 1946-3 2003** Norm DIN 1946 Teil 3 Entwurf April 2003. *Raumluftechnik: Klimatisierung von Personenkraftwagen und Lastkraftwagen*
- Elektronik** URL: <http://www.elektronik-kompodium.de/sites/bau/0111051.htm> (2003-04-21)
- Engelhorn 2000** ENGELHORN, H. R.: Kältetechnische Grundlagen. In: BAUMGARTH (Hrsg.); HÖRNER (Hrsg.); REEKER (Hrsg.): *Handbuch der Klimatechnik*. Bd.1 : *Grundlagen*. Heidelberg : C..F. Müller Verlag, 2000, S.221-278
- Farnell** URL: <http://www.de.farnell.com/jsp/catalog/> (2003-10-03)
- Fischer** URL: <http://www.fischer-barometer.de/index.htm> (2003-08-22)
- Flik 1998** FLIK, Markus: *Klimatisierung für Autofahrer – heute und morgen*, 1998. – URL: <http://www.behr.de/presse/archive.php> (2003-04-05)
- FLM 2003** EUROCOPTER: Flight Manual EC 135 P2 (CPDS), Revision 9, Juli 2003
- Gäbler 2003** Gäbler, Steffen : *Reglerverhalten in besonderen Betriebsituationen : persönliche Information*. Holzkirchen, 2003-08-01
- Hörner 2000** HÖRNER, B.: Einführung. In: BAUMGARTH (Hrsg.); HÖRNER (Hrsg.); REEKER (Hrsg.): *Handbuch der Klimatechnik*. Bd.1 : *Grundlagen*. Heidelberg : C..F. Müller Verlag, 2000, S.1-12

- Hoffmann 1996** HOFFMANN, Jörg: *Messen nichtelektrischer Größen : Grundlagen der Praxis*. Düsseldorf : VDI-Verlag GmbH, 1996
- Hoppach 2002** HOPPACH, Elmar: Der geschaltete Reluktanzmotor. In: STÖLTING, Hans-Dieter (Hrsg.); KALLENBACH, Eberhard (Hrsg.): *Handbuch elektrische Kleinantriebe*. Ort : Carl Hanser Verlag München Wien, 2002, S.84-87
- Hummel 2003** HUMMEL, Wolf-J.; Il-Metronic Sensortechnik GmbH, Technik: Betaungsfühler : persönliche Information per e-mail. Ilmenau-Unterpörlitz, 2003-09-02
- IED 1** IED GmbH: Einführung in die Sensormessung - URL: <http://www.alles-messen.de/frames/wissen/sensor.htm> (2003-04-21)
- Ilmetronic** URL: <http://www.il-metronic.de> (2003-04-21)
- JAR 25** JOINT AVIATION AUTHORITIES: Joint Aviation Requirements JAR 25 Large Aeroplanes. Hoofddorp, Oktober 2000.
- JAR 27** JOINT AVIATION AUTHORITIES: JAR 27 Small Rotorcraft. Hoofddorp, April 2002.
- JAR 29** JOINT AVIATION AUTHORITIES: JAR 29 Large Rotorcraft. Hoofddorp, April 2002.
- Jüttemann 1973** JÜTTEMANN, Herbert: *Elektrisch heizen und klimatisieren*. Düsseldorf : VDI-Verlag GmbH, 1973
- Kaspers/Küfner 2002** HEINRICH, Berthold (Hrsg.): *Kaspers/Küfner : Messen-Steuern-Regeln : Elemente der Automatisierungstechnik*. Wiesbaden : Friedr. Vieweg und Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig, 2002
- Kettner 2000** KETTNER, Detlef; KÜHNEL, Wolfram: Energieverbrauchssenkung von Fahrzeugklimaanlagen durch Enthaltpieregulung. In: SCHLENZ, Dieter (Hrsg.): *PKW-Klimatisierung : Klimakonzepte, Regelungsstrategien und Entwicklungsmethoden für Fahrzeuge mit deutlich reduziertem Kraftstoffverbrauch*. Renningen-Malmsheim : expert-Verlag, 2000, S.46-55

- Knittel** KNITTEL, Otto; RUF, Christoph; BEHR HELLA Thermocontrol GmbH, Klimasensorik: Von der Erfassung der Luftfeuchtigkeit zum komfortoptimierten Klimabetrieb - from humidity measurement to optimized climate-control comfort. Lippstadt. –Vortrag.
- Krause 2002** KRAUSE, Werner: Mechanische Übertragungselemente. In: STÖLTING, Hans-Dieter (Hrsg.); KALLENBACH, Eberhard (Hrsg.): *Handbuch elektrische Kleinantriebe*. Ort : Carl Hanser Verlag München Wien, 2002, S.243-283
- Lettner 1988** LETTNER, J.: Kälteanlagen. In: ARBEITSKREIS DER DOZENTEN FÜR KLIMATECHNIK: *Handbuch der Klimatechnik*. Bd.3 : *Bauelemente*. Karlsruhe : Verlag C.F. Müller GmbH, 1988, S.89-159
- Maier 2003** MAIER, Jörg : Sensorgebläse : persönliche telefonische Information. Donauwörth, 2003-08-04
- Meisterprüfung 1998** BÖTTLE, Peter; BOY, Günter; CLAUSING, Holger: *Elektrische Meß- und Regeltechnik : Die Meisterprüfung*. Würzburg : Vogel Verlag, 1998
- Moczala-1 1979** MOCZALA, Helmut: Antriebe mit Kleinstmotoren. In: MOCZALA, Helmut (Mitarb.): *Elektrische Kleinstmotoren und ihr Einsatz : Wirkungsweise, Eigenschaften, Bauformen, Bemessung und Richtlinien für den Einsatz*. Grafenau / Württ. : expert-verlag, 1979, S.15-33
- Moczala-2 1979** MOCZALA, Helmut: Bürstenlose Gleichstrommotoren. In: MOCZALA, Helmut (Mitarb.): *Elektrische Kleinstmotoren und ihr Einsatz : Wirkungsweise, Eigenschaften, Bauformen, Bemessung und Richtlinien für den Einsatz*. Grafenau / Württ. : expert-verlag, 1979, S.171-187
- Papst 2003** PAPST-MOTOREN GMBH & CO. KG: DC Sensorgebläse S2000E Typ 1xx. St. Georgen / Schwarzwald, 2003 (L896/1xx) -Firmeninformation
- Paschek 2003** PASCHEK, Markus : Betätigung der Luftklappen : persönliche Information. Donauwörth, 2003-09-19
- Polte 2001** POLTE, Hans-Joachim: *Hubschrauber : Geschichte, Technik und Einsatz*. Hamburg . Mittler, 2001

- Presseinfo 2003** EUROCOPTER DEUTSCHLAND GMBH: Presseinformation: *Schlag auf Schlag: Dreihundertste EC 135 verläßt Donauwörth*. Donauwörth, 31.Juli 2003
- Reeker 1989** REEKER, J.; SENG, G.: Regelung. In: ARBEITSKREIS DER DOZENTEN FÜR KLIMATECHNIK: *Handbuch der Klimatechnik*. Bd.2 : *Berechnung und Regelung*. Karlsruhe : Verlag C.F. Müller GmbH, 1989, S.277-342
- Richter 2002** RICHTER, Christian: Elektromagnetische Schrittantriebe. In: STÖLTING, Hans-Dieter (Hrsg.); KALLENBACH, Eberhard (Hrsg.): *Handbuch elektrische Kleinantriebe*. Ort : Carl Hanser Verlag München Wien, 2002, S.111-136
- Schematic 1997** EUROCOPTER: EC 135 Schematic Description : Ventilation incl. Heating and Basic ACS; Ref.: Keith Proposal, 1997
- SDS 2002** EUROCOPTER DEUTSCHLAND GMBH: Systembeschreibung (SDS) EC135; Kapitel 21: Kabinenbelüftung / Heizung. Donauwörth : Eurocopter Deutschland GmbH, 2002
- Starkulla 2003** STARKULLA, Friedrich-Wilhelm : Beschlagsensor : persönliche telefonische Information. Donauwörth, 2003-09-02
- Stölting-1 2002** STÖLTING, Hans-Dieter: Einleitung. In: STÖLTING, Hans-Dieter (Hrsg.); KALLENBACH, Eberhard (Hrsg.): *Handbuch elektrische Kleinantriebe*. Ort : Carl Hanser Verlag München Wien, 2002, S.13-21
- Stölting-2 2002** STÖLTING, Hans-Dieter: Einleitung. In: STÖLTING, Hans-Dieter (Hrsg.); KALLENBACH, Eberhard (Hrsg.): *Handbuch elektrische Kleinantriebe*. Ort : Carl Hanser Verlag München Wien, 2002, S.88-109
- TC 2001** TC MEß- UND REGELTECHNIK GMBH: Handbuch zur Temperaturmessung mit Thermoelementen und Widerstandsthermometern. Mönchengladbach : TC Meß- und Regeltechnik GmbH, 2001. - Firmenschrift.
- Technical Data** EUROCOPTER: EC 135 Technical Data (135.02.101.01.E). - Firmenschrift

- Teichmann 2002** TEICHMANN, Michael; Eurocopter Deutschland GmbH, EZC/D: *Energiebilanz*. Donauwörth : Eurocopter Deutschland GmbH, 2002 (EB L 240 M 0246 E02).-Firmendokument.
- Trox** URL: [http://www.trox.de/de/download/pdf/produktePdf/absperrvorrichtungen/6\\_1\\_1\\_\\_5\\_10\\_D\\_2\\_AK.pdf](http://www.trox.de/de/download/pdf/produktePdf/absperrvorrichtungen/6_1_1__5_10_D_2_AK.pdf) (2003-09-23)
- TU-Ilmenau 1** URL: [http://www.at.maschinenbau.tu-ilmenau.de/lernmodul\\_mechatronik/komponenten/regler/grundtypen\\_regler.htm](http://www.at.maschinenbau.tu-ilmenau.de/lernmodul_mechatronik/komponenten/regler/grundtypen_regler.htm) (2003-08-12)
- TU-Ilmenau 2** URL: [http://www.at.maschinenbau.tu-ilmenau.de/lernmodul\\_mechatronik/komponenten/sensoren.html](http://www.at.maschinenbau.tu-ilmenau.de/lernmodul_mechatronik/komponenten/sensoren.html) (2003-04-21)
- Uni-Passau** URL: [http://www.lrs2.fmi.uni-passau.de/skripten/SS02/EZ\\_Kap5\\_SS02.pdf](http://www.lrs2.fmi.uni-passau.de/skripten/SS02/EZ_Kap5_SS02.pdf) (2003-08-07)
- von Gersdorff 1999** VON GERSDORFF, Kyrill; KNOBLING, Kurt: *Hubschrauber und Tragschrauber : Entwicklungsgeschichte der deutschen Drehflügler von den Anfängen bis zu den internationalen Gemeinschaftsentwicklungen*. Bonn : Bernard & Graefe Verlag, 1999
- Weber 1995** WEBER, Dieter: *Technische Feuchtemessung in Gasen und Festkörpern*. Essen : Vulkan-Verlag, 1995
- Weber 1973** WEBER, Fritz: *Messen, Regeln und Steuern in der Lüftungs- und Klimatechnik*. Düsseldorf : VDI-Verlag GmbH, 1973
- Weißmantel 2002** WEIßMANTEL, Heinz; OESINGMANN, Dieter: Motoren mit kontinuierlicher Bewegung. In: STÖLTING, Hans-Dieter (Hrsg.); KALLENBACH, Eberhard (Hrsg.): *Handbuch elektrische Kleinantriebe*. Ort : Carl Hanser Verlag München Wien, 2002, S.23-51
- Zirkel 2003** ZIRKEL, Johann : Angebotsanfrage Stellantrieb : persönliche telefonische Information. Donauwörth, 2003-09-25

# Anhang A

## Datenblatt Digitalanzeige

### ELREHA Elektronische Regelungen GmbH

**Tabelle A.1** Preisinformation TAR 1004

<b>Abnahmemenge</b>	<b>Preis pro Stück in Euro</b>
1	102,10
ab 10	Mengenrabatt



Leerseite: nicht drucken

PDF-Datei: Anhang A.1: 5310923\_1605.pdf (2 Blatt)

Elreha Blatt 1

Leerseite: nicht drucken  
Elreha Blatt 2

## **Anhang B**

### **Datenblätter Stellmotoren**

#### **B.1 Dr. Fritz Faulhaber GmbH & Co. KG**



Leerseite: nicht drucken

PDF-Datei: Anhang A.1: dE16.pdf (3 Blatt)

PDF-Datei: Anhang A.1: dG15A.pdf (1 Blatt)

PDF-Datei: Anhang A.1: dM1524SR.pdf (1 Blatt)

PDF-Datei: Anhang A.1: dMCDC2805.pdf (2 Blatt)

Faulhaber Blatt 1

Leerseite: nicht drucken  
Faulhaber Blatt 2

Leerseite: nicht drucken  
Faulhaber Blatt 3

Leerseite: nicht drucken  
Faulhaber Blatt 4

Leerseite: nicht drucken  
Faulhaber Blatt 5

Leerseite: nicht drucken  
Faulhaber Blatt 6

Leerseite: nicht drucken  
Faulhaber Blatt 7

## **B.2 maxon motor gmbh**

Leerseite: nicht drucken

PDF-Datei: Anhang A.2: 101.pdf

PDF-Datei: Anhang A.2: 185.pdf

PDF-Datei: Anhang A.2: 231.pdf

PDF-Datei: Anhang A.2: Standard.pdf

Maxon Blatt 1

Leerseite: nicht drucken  
Maxon Blatt 2

Leerseite: nicht drucken  
Maxon Blatt 3

Leerseite: nicht drucken  
Maxon Blatt 4

Leerseite: nicht drucken  
Maxon Blatt 5

### **B.3 ANTRIEBSTECHNIK QUIN GmbH (Dunkermotoren)**

Leerseite: nicht drucken  
PDF-Datei: Anhang A.3: Hpds010.pdf  
ATQ Blatt 1

Leerseite: nicht drucken  
ATQ Blatt 2

Leerseite: nicht drucken  
ATQ Blatt 3

Leerseite: nicht drucken  
ATQ Blatt 4

Leerseite: nicht drucken  
ATQ Blatt 5

Leerseite: nicht drucken  
ATQ Blatt 6

## **B.4 Angebote**

Leerseite: nicht drucken  
PDF-Datei: Anhang B.4: Faulhaber.doc  
Angebot Faulhaber

Leerseite: nicht drucken

PDF-Datei: Anhang B.4: 03ZI152E.pdf

Angebot Maxon

Leerseite: nicht drucken  
Angebot Maxon

Leerseite: nicht drucken

PDF-Datei: Anhang B.4: HPDS0101.pdf

Angebot ATQ

## **Anhang C**

### **Datenblätter Temperatursensoren**

#### **C.1 DC Sensorgebläse PAPST-MOTOREN GmbH & Co. KG**



Leerseite: nicht drucken

PDF-Datei: Anhang C.1: S2000\_1X.pdf

Papst Blatt 1

Leerseite: nicht drucken  
Papst Blatt 2

## C.2 Temperaturfühler AD590

**Tabelle C.1** Preisinformation AD590LH (Farnell)

<b>Abnahmemenge</b>	<b>Preis pro Stück in Euro</b>
1 - 9	17,53
10 - 99	16,86
100 - 249	16,23
250 +	15,65

Leerseite: nicht drucken

PDF-Datei: Anhang C.2: 29748584935149AD590\_c.pdf

AD590 Blatt 1

Leerseite: nicht drucken  
AD590 Blatt 2

Leerseite: nicht drucken  
AD590 Blatt 3

Leerseite: nicht drucken  
AD590 Blatt 4

Leerseite: nicht drucken  
AD590 Blatt 5

Leerseite: nicht drucken  
AD590 Blatt 6

Leerseite: nicht drucken  
AD590 Blatt 7

Leerseite: nicht drucken  
AD590 Blatt 8

Leerseite: nicht drucken  
AD590 Blatt 9

Leerseite: nicht drucken  
AD590 Blatt 10

Leerseite: nicht drucken  
AD590 Blatt 11

Leerseite: nicht drucken  
AD590 Blatt 12

Leerseite: nicht drucken  
AD590 Blatt 13

Leerseite: nicht drucken  
AD590 Blatt 14

Leerseite: nicht drucken  
AD590 Blatt 15

Leerseite: nicht drucken  
AD590 Blatt 16

### C.3 Temperaturfühler LM 135

**Tabelle C.2** Preisinformation LM135 (Farnell)

<b>Abnahmemenge</b>	<b>Preis pro Stück in Euro</b>
1 - 9	10,84
10 - 99	9,85
100 - 249	9,03
250 - 499	8,33
500 +	7,74

Leerseite: nicht drucken  
PDF-Datei: Anhang C.2: LM135.pdf  
LM135 Blatt 1

Leerseite: nicht drucken  
LM135 Blatt 2

Leerseite: nicht drucken  
LM135 Blatt 3

Leerseite: nicht drucken  
LM135 Blatt 4

Leerseite: nicht drucken  
LM135 Blatt 5

Leerseite: nicht drucken  
LM135 Blatt 6

Leerseite: nicht drucken  
LM135 Blatt 7

Leerseite: nicht drucken  
LM135 Blatt 8

Leerseite: nicht drucken  
LM135 Blatt 9

Leerseite: nicht drucken  
LM135 Blatt 10

Leerseite: nicht drucken  
LM135 Blatt 11

Leerseite: nicht drucken  
LM135 Blatt 12

# Anhang D

## Datenblätter Feuchtesensoren

### D.1 Feuchtesensor MiniCap 2

**Tabelle D.1** Preisinformation MiniCap 2 (Conrad)

<b>Abnahmemenge</b>	<b>Preis pro Stück in Euro</b>
1	17,36
10	16,11



Leerseite: nicht drucken  
PDF-Datei: Anhang D.1: minicap2.pdf  
minicap2 Blatt 1

Leerseite: nicht drucken  
minicap2 Blatt 2

## D.2 Feuchtesensor SHT7x

**Tabelle D.2** Preisinformation SHT7x (Farnell)

<b>Abnahmemenge</b>	<b>Preis pro Stück in Euro</b>
1 - 9	20,45
10 - 24	18,05
25 - 49	17,05
50 +	16,15

Leerseite: nicht drucken

PDF-Datei: Anhang D.2: Datasheet\_SHT1x\_SHT7x.pdf

SHT7x Blatt 1

Leerseite: nicht drucken  
SHT7x Blatt 2

Leerseite: nicht drucken  
SHT7x Blatt 3

Leerseite: nicht drucken  
SHT7x Blatt 4

Leerseite: nicht drucken  
SHT7x Blatt 5

Leerseite: nicht drucken  
SHT7x Blatt 6

Leerseite: nicht drucken  
SHT7x Blatt 7

Leerseite: nicht drucken  
SHT7x Blatt 8

Leerseite: nicht drucken  
SHT7x Blatt 9

### D.3 Feuchtesensor HC 103/HC 104

**Tabelle D.3** Preisinformation HC 103/HC 104

<b>Abnahmemenge mindestens 240 St</b>	<b>Preis pro Stück in Euro</b>
HC 103	15,23
HC 104	18,09

Die Feuchtesensoren HC 103 und HC 104 können nur direkt bei der Firma *E+E Elektronik Ges.m.b.H.* bezogen werden.

Leerseite: nicht drucken

PDF-Datei: Anhang D.3: DB\_HC201\_de.pdf

DB\_HC201 Blatt 1

Leerseite: nicht drucken  
DB\_HC201 Blatt 2

## **D.4    Betauungsfühler BTF CiS 11340**

Leerseite: nicht drucken

PDF-Datei: Anhang D.4: Btf.pdf

Btf Blatt 1

Leerseite: nicht drucken  
Btf. Blatt 2

Leerseite: nicht drucken  
Btf. Blatt 3

# Anhang E

## Auszug aus Joint Aviation Requirements

### E.1 Auszug aus JAR 25 (Large Aeroplane)

#### JAR 25.831 Ventilation

(a) Each passenger and crew compartment must be ventilated and each crew compartment must have enough fresh air (but not less than 10 cubic ft per minute per crew member) to enable crew members to perform their duties without undue discomfort or fatigue. (See ACJ 25.831 (a).)

(b) Crew and passenger compartment air must be free from harmful or hazardous concentrations of gases or vapours. In meeting this requirement, the following apply:

(1) Carbon monoxide concentrations in excess of one part in 20 000 parts of air are considered hazardous. For test purposes, any acceptable carbon monoxide detection method may be used.

(2) Carbon dioxide in excess of 3% by volume (sea-level equivalent) is considered hazardous in the case of crew members. Higher concentrations of carbon dioxide may be allowed in crew compartments if appropriate protective breathing equipment is available.

(c) There must be provisions made to ensure that the conditions prescribed in sub-paragraph

(b) of this paragraph are met after reasonably probable failures or malfunctioning of the ventilating, heating, pressurisation or other systems and equipment. (See ACJ 25.831 (c).)

(d) If accumulation of hazardous quantities of smoke in the cockpit area is reasonably probable, smoke evacuation must be readily accomplished, starting with full pressurisation and without de-pressurising beyond safe limits.

(e) Except as provided in sub-paragraph (f) of this paragraph, means must be provided to enable the occupants of the following compartments and areas to control the temperature and quantity of ventilating air supplied to their compartment or area independently of the temperature and quantity of air supplied to other compartments and areas:

(1) The flight-crew compartment.

(2) Crew-member compartments and areas other than the flight-crew compartment unless the crew-member compartment or area is ventilated by air interchange with other compartments or areas under all operating conditions.

(f) Means to enable the flight crew to control the temperature and quantity of ventilating air supplied to the flight-crew compartment independently of the temperature and quantity of ventilating air supplied to other compartments are not required if all of the following conditions are met:

(1) The total volume of the flight-crew and passenger compartments is 800 cubic ft or less.

(2) The air inlets and passages for air to flow between flight-crew and passenger compartments are arranged to provide compartment temperatures within 5°F of each other and adequate ventilation to occupants in both compartments.

(3) The temperature and ventilation controls are accessible to the flight crew.

(g) Reserved

#### JAR 25.832 Cabin ozone concentration

Not required for JAR-25 at present

**JAR 25.833 Combustion heating systems**

Combustion heaters must be approved.

**ACJ 25.831(a)**

Ventilation (Interpretative Material)

See JAR 25.831(a)

The supply of fresh air in the event of the loss of one source, should not be less than 0.4 lb/min per person for any period exceeding five minutes. However, reductions below this flow rate may be accepted provided that the compartment environment can be maintained at a level which is not hazardous to the occupant.

**ACJ 25.831(c)**

Ventilation (Interpretative Material)

See JAR 25.831(c)

1 To avoid contamination the fresh air supply should be suitably ducted where it passes through any compartment inaccessible in flight.

2 Where the air supply is supplemented by a recirculating system, it should be possible to stop the recirculating system and –

- a. Still maintain the fresh air supply prescribed, and
- b. Still achieve 1.

**E.2 Auszug aus JAR 27 (Small Rotorcraft)****JAR 27.831 Ventilation**

(a) The ventilating system for the pilot and passenger compartments must be designed to prevent the presence of excessive quantities of fuel fumes and carbon monoxide.

(b) The concentration of carbon monoxide may not exceed one part in 20 000 parts of air during forward flight or hovering in still air. If the concentration exceeds this value under other conditions, there must be suitable operating restrictions.

**E.3 Auszug aus JAR 29 (Large Rotorcraft)****JAR 29.831 Ventilation**

(a) Each passenger and crew compartment must be ventilated, and each crew compartment must have enough fresh air (but not less than 0.3 cubic metres (10 cu ft) per minute per crew member) to let crew members perform their duties without undue discomfort or fatigue.

(b) Crew and passenger compartment air must be free from harmful or hazardous concentrations of gases or vapours.

(c) The concentration of carbon monoxide may not exceed one part in 20 000 parts of air during forward flight. If the concentration exceeds this value under other conditions, there must be suitable operating restrictions.

(d) There must be means to ensure compliance with sub-paragraphs (b) and (c) of this paragraph under any reasonably probable failure of any ventilating, heating, or other system or equipment.

## **Anhang F**

### **Hersteller- und Lieferantenverzeichnis**

#### **ANALOG DEVICES**

One Technology Way

P.O. Box 9106

Norwood

MA 02062-9106

USA

Tel.: +01 (0)781 329 4700

Fax.: +01 (0)781 329 8703

Internet: [www.analog.com](http://www.analog.com)

#### **ANTRIEBSTECHNIK QUIN GmbH**

Lärchenstrasse 1

D-85604 Zorneding

Deutschland

Tel.: +49 (0)8106 2471-70

Fax.: +49 (0)8106 2471-71

E-Mail: [info@atq.de](mailto:info@atq.de)

Internet: [www.atq.de](http://www.atq.de)

Ansprechpartner:

Ferdinand Quin

#### **BEHR-HELLA Thermocontrol GmbH**

Hansastraße 40

D-59557 Lippstadt

Deutschland

Tel.: +49 (0)2941 66-6000

Fax.: +49 (0)2941 66-6001

E-Mail: [info@bhtcgroup.de](mailto:info@bhtcgroup.de)

Internet: [www.bhtcgroup.de](http://www.bhtcgroup.de)

Ansprechpartner:

Friedrich-Wilhelm Starkulla

**Conrad Electronic GmbH**

Klaus-Conrad-Strasse 1

D-92240 Hirschau

Deutschland

Tel.: +49 (0)9604 408988

Fax.: +49 (0)9604 408936

E-Mail: [businessbetreuung@conrad.de](mailto:businessbetreuung@conrad.de)Internet: [www.business.conrad.de](http://www.business.conrad.de)**E+E Elektronik Ges.m.b.H.**

Langwiesen 7

A-4209 Engerwitzdorf

Österreich

Tel.: +43 (0)7235 605-0

Fax.: +43 (0)7235 605-8

E-Mail: [info@epluse.at](mailto:info@epluse.at)Internet: [www.ee-elektronik.de](http://www.ee-elektronik.de)**ELREHA Elektronische Regelungen GmbH**

Schwetzinger Str. 103

D-68766 Hockenheim

Deutschland

Tel.: +49 (0) 62 05 20 09-0

Fax.: +49 (0) 62 05 2009-39

E-Mail: [team@elreha.de](mailto:team@elreha.de)Internet: [www.elreha.com](http://www.elreha.com)

Ansprechpartner:

H. Röther, Vertriebsbüro Süd

**Dr. Fritz Faulhaber GmbH & Co. KG**

Daimlerstrasse 23

D-71101 Schönaich

Deutschland

Tel.: +49 (0)7031 638-0

Fax.: +49 (0)7031 638-100

E-Mail: [info@faulhaber.de](mailto:info@faulhaber.de)Internet: [www.faulhaber.de](http://www.faulhaber.de)

Ansprechpartner:

Reinhard Kopp

**Farnell InOne GmbH**

Keltenring 14

D-82041 Oberhaching

Deutschland

Tel.: +49 (0)89 61393939

Fax.: +49 (0)89 6135901

E-Mail: [verkauf@farnellinone.com](mailto:verkauf@farnellinone.com)Internet: [www.farnell.de](http://www.farnell.de)**GE Panametrics Germany**

Robert-Bosch-Strasse 20a

D-65719 Hofheim

Deutschland

Tel.: +49 (0)6122 809-0

Fax.: +49 (0)6122 8147

E-Mail: [gepanametrics-germany@ps.ge.com](mailto:gepanametrics-germany@ps.ge.com)Internet: [www.gepowers.com/panametrics](http://www.gepowers.com/panametrics)**maxon motor gmbh**

Truderinger Strasse 210

D-81825 München

Deutschland

Tel.: +49 (0)89 420493-0

Fax.: +49 (0)89 420493-40

E-Mail: [info@maxonmotor.de](mailto:info@maxonmotor.de)Internet: [www.maxon.com](http://www.maxon.com)

Ansprechpartner:

Johann Zirkel

**PAPST-MOTOREN GmbH & Co. KG**

Hermann-Papst-Strasse 1

D-78112 St. Georgen / Schwarzwald

Deutschland

Tel.: +49 (0)7724 81-0

Fax.: +49 (0)7724 81-309

E-Mail: [info@papst.de](mailto:info@papst.de)Internet: [www.papst.de](http://www.papst.de)

Ansprechpartner:

Jörg Maier

**SENSIRION AG**

Eggbühlstrasse 14

CH-8052 Zürich

Schweiz

Tel.: +41 (0)1 306 40-00

Fax.: +49 (0)1 306 40-30

E-Mail: [info@sensirion.com](mailto:info@sensirion.com)Internet: [www.sensirion.com](http://www.sensirion.com)**STMicroelectronics**

Werner-von-Siemens Ring 3-5

D-85630 Grasbrunn

Deutschland

Tel.: +49 (0)89 46006-0

Fax.: +49 (0)89 4605454

Internet: [www.st.com](http://www.st.com)