



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

## Bachelorthesis

Department Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau

**Konzeptionierung und Aufbau eines Prüfstandes zum  
Testen von Frischwassersystem Kompressoren und  
dessen wirtschaftliche Rechtfertigung**

**Erwin Johann Bauer**

**30. August 2011**

Hochschule für angewandte Wissenschaften Hamburg  
Fakultät Technik und Informatik  
Department Fahrzeugtechnik + Flugzeugbau  
Berliner Tor 9  
20099 Hamburg

In Zusammenarbeit mit:

Hawker Pacific Aerospace  
Product Development  
11240 Sherman Way  
Sun Valley, CA 91352  
USA

Verfasser: Erwin Johann Bauer  
Matrikelnummer: 1897009  
Abgabedatum: 30.08.2011

1. Prüfer: Dipl.-Ing. Jutta Abulawi
2. Prüfer: Prof. Alexander Piskun, M.Sc.

Industrieller Betreuer: Dipl.-Ing. Marcus Härder

### **Eidesstaatliche Erklärung**

Ich versichere hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit ohne fremde Hilfe selbstständig verfasst habe. Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche im Literaturverzeichnis genannt. Die Arbeit wurde bisher keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch noch nicht veröffentlicht.

Hamburg, den 30. August 2011

Erwin Johann Bauer

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abkürzungsverzeichnis.....</b>	<b>III</b>
<b>Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>IV</b>
<b>1 Einleitung.....</b>	<b>1</b>
1.1 Aufgabenstellung und Zielsetzung.....	1
1.2 Lufthansa Technik AG.....	1
1.3 Hawker Pacific Aerospace.....	2
<b>2 Grundlagen.....</b>	<b>3</b>
2.1 Das Frischwassersystem.....	3
2.2 Wartung.....	4
2.2.1 Grundlagen der Fluggerätewartung.....	5
2.2.2 Das Component Maintenance Handbuch.....	6
2.4 Pneumatik.....	7
2.5 Grundlagen zur Wirtschaftlichkeitsbetrachtung.....	9
2.5.1 Die Investitionsrechnung.....	9
2.5.2 Die Wirtschaftlichkeitsrechnung der LHT.....	10
<b>3. Wirtschaftliche Betrachtung.....</b>	<b>12</b>
3.1 Firmenstrategie, Marktsituation und Entwicklung.....	13
3.2 Vertragsarten und resultierende Wartungsereignisse.....	16
3.3 Wirtschaftlichkeitsrechnung.....	18
<b>4 Konzeptionierung des Prüfstandes.....</b>	<b>22</b>
4.1 Tests gemäß CMM .....	22
4.2 Testraumversorgung.....	23
4.3 Schematik des Prüfstandes / Technik.....	24

## Inhaltsverzeichnis

---

4.4 Sicherheit.....	26
4.4.1 Druckgeräterichtlinie.....	26
4.4.2 Maschinenrichtlinie.....	27
4.4.3 Gefahrenanalyse.....	29
4.5 Ergonomie und Layout des Prüfstandes.....	30
4.5.1 Makroskopischer Aufbau.....	31
4.5.2 Schalter und Anzeigen.....	34
<b>5 Spezifikation und Workshop Test Instruction.....</b>	<b>36</b>
<b>6 Zusammenfassung und Ausblick.....</b>	<b>37</b>
<b>7 Literaturverzeichnis.....</b>	<b>39</b>
<b>Anhang.....</b>	<b>43</b>

## **Abkürzungsverzeichnis**

ATA	Air Transport Association of America
CMM	Components Maintenance Manual
WiRe	Wirtschaftlichkeitsrechnung
ASME	American Society of Mechanical Engineers
ERP	Eye Reference Point
WTI	Workshop Test Instruction
MRO	Maintenance Repair and Overhaul
FAA	Federal Aviation Authority
EASA	European Aviation Safety Agency
APU	Auxiliary Power Unit
OEM	Original Equipment Manufacturer
PMA	Parts Manufacturer Approval
QiKV	Qualifizierte interne Kapitalverzinsung
SLE	Shop Load Event
TAT	Turn Around Time

## Abbildungsverzeichnis

Illustration 1: Frischwassersystem im A320.....	4
Illustration 2: CMM P/N 28823-7.....	7
Illustration 3: Absolut- und Relativdruck im Vergleich.....	8
Illustration 4: Flottenstärke nach Regionen 2011.....	13
Illustration 5: Verteilung des MRO Geschäfts 2011.....	14
Illustration 6: Lufthansa Technik Standorte weltweit.....	15
Illustration 7: Marktanteil der Airframer in Nordamerika.....	16
Illustration 8: SLE der vergangenen Jahre.....	20
Illustration 9: Flussbild.....	25
Illustration 10: Empfohlene Größen für Stehende Konsolen.....	31
Illustration 11: Entwurfsskizze 1.....	32
Illustration 12: Entwurfsskizze 2.....	33
Illustration 13: Entwurf für das Messinstrumentenpaneel.....	35

## **1 Einleitung**

### ***1.1 Aufgabenstellung und Zielsetzung***

Für das Jahr 2011 soll bei Hawker Pacific Aerospace das Portfolio für zu überholende Flugzeugkomponenten ausgebaut werden. Unter anderem ist der Capabilityaufbau für einen Frischwassersystemkompressor angestrebt, für den ein neuer Prüfstand erforderlich ist. Eine Abschätzung belegt die Wirtschaftlichkeit des Aufbaus. Neben einer differenzierten wirtschaftlichen Rechtfertigung gilt es, auf Grundlage der Testanforderungen des Component Maintenance Manuals, den Prüfstand zu konzeptionieren sowie die Überholung der Komponente bei Hawker Pacific Aerospace einzuführen.

### ***1.2 Lufthansa Technik AG***

Die Lufthansa Technik AG (LHT) ist weltweit führender, herstellerunabhängiger Dienstleister für Wartungs-, Reparatur- sowie Überholungsarbeiten (Maintenance Repair and Overhaul, kurz MRO) in der zivilen, kommerziellen Luftfahrt.

1994 ist die LHT mit Hauptsitz in Hamburg aus dem technischen Bereich der Deutschen Lufthansa AG als eigenständige Tochtergesellschaft hervorgegangen. Sie ist von den internationalen Luftfahrtbehörden als Wartungs-, Herstellungs- sowie Entwicklungsbetrieb zugelassen. Das komplette Leistungsspektrum umfasst sämtliche Bereiche der Flugzeugwartung von Komponenten-, Fahr- und Triebwerkswartung bis hin zu Modifikationsarbeiten an kommerziellen Flugzeugen – insbesondere auch die Erstausstattung und Wartung von Regierungs- sowie VIP-Flugzeugen.

Insgesamt sind rund 20.300 Mitarbeiter im Konzern in den 30 technischen Instandhaltungsbetrieben weltweit beschäftigt (LHT Group 26.000). Weiterhin umfasst das Unternehmen 54 Gesellschaften. Der Umsatz betrug im Jahr 2010 ca. 4 Mrd. Euro mit einem Gewinn von rund 270 Mill. Euro.

Neben der Deutschen Lufthansa zählt die Lufthansa Technik 750 Fluggesellschaften und andere Luftfahrtunternehmen zu ihren Kunden.<sup>1</sup>

---

1 Habel (2011), S. 2 ff

### **1.3 Hawker Pacific Aerospace**

Hawker Pacific Aerospace (HPA) ist ein 1980 gegründetes Instandhaltungsunternehmen mit Sitz in Sun Valley / Kalifornien. Im Jahr 2002 wurde HPA von LHT übernommen und arbeitet seitdem im weltweiten Verbund der Lufthansa Technik Group als Anbieter für MRO Dienstleistungen.

HPA ist spezialisiert auf die Fahrwerks- sowie Komponentenüberholung und gehört mit 350 Überholungsereignissen im Bereich Fahrwerke zu den größten Anbietern in diesem Segment.

HPA bietet Federal Aviation Authority (FAA) und European Aviation Safety Agency (EASA) zertifizierte Reparaturen für Fahrwerke an, wobei alle Prozessschritte inklusive Beschichten betriebsintern verrichtet werden. Auch der Service auf der Komponentenseite umfasst alle gängigen Flugzeugmuster inklusive der Regionalflieger.

HPA liegt in unmittelbarer Nähe zum Burbank Airport und hat eine Gesamtfläche von 18.000 m<sup>2</sup> sowie 297 Mitarbeiter.<sup>2 3</sup>

---

2 Lufthansa Technik (2011)

3 Lufthansa Technik (2010)

## 2 Grundlagen

### 2.1 Das Frischwassersystem

Der Frischwassersystemkompressor ist Teil des Water & Waste Systems eines Flugzeugs. Um die Rahmenbedingungen besser zu verstehen und die Umgebung zu kennen, soll in diesem Kapitel erläutert werden, um was für ein System es sich handelt.

Air Transport Association of America (ATA) Chapter bzw. Kapitel unterteilen das Flugzeug in 100 verschiedene Bereiche, wie Hydraulik, Fahrwerk, Wasser bzw. Abwasser etc. Im 38. Kapitel der ATA Specification 100<sup>4</sup> werden alle Subsysteme und Einrichtungen für das Water & Waste System erfasst. Nach ATA ist es definiert als:

*„Those fixed units and components which store and deliver for use, fresh water, and those fixed components which store and furnish a means of removal of water and waste. Includes wash basins, toilet assemblies, tanks, valves, etc.“<sup>5</sup>*

Das System lässt sich in drei verschiedene Subsysteme einteilen:

1. Das Frischwassersystem speichert und liefert Wasser
2. Das Dreckwassersystem führt Dreckwasser von Waschbecken und Galleys ab
3. Das Toilettensystem spült Crew- und Passagiertoiletten

Wasser wird im Flugzeug in Komposit tanks gespeichert. Die gängige Methode Wasser für z. B. Waschbecken oder die Kaffeemaschine bereitzustellen, ist es, die Wassertanks mit Druckluft zu beaufschlagen. Der relativ höhere Druck im Tank wirkt sich als Kraft auf das Wasser aus, welche dieses wiederum durch die Leitungen zu den Verbrauchern bringt.

Um den Tank mit Druck zu beaufschlagen kann man zum einen Druckluft aus dem Triebwerk nehmen, sog. Bleedair. Weiterhin kann das Hilfstriebwerk, die Auxiliary Power Unit (APU) Druckluft liefern. Diese beiden Methoden erhöhen allerdings auf Grund von weiteren Leitungen das Gewicht und nehmen vor allem Bauraum ein. Dies bedeutet einen zunehmenden Engpass – und damit gesteigerte Anforderungen im Flugzeugbau. Die dritte

---

4 ATA (1994), S. 42

5 ATA (1994), S. 42

## 2 Grundlagen

Methode ist ein Kompressor, der lediglich dazu dient, das Frischwassersystem unter Druck zu setzen. Er wird entweder nur zum Betrieb des Wassersystems am Boden, sofern noch keine Bleedair zur Verfügung steht, oder für die gesamte Flugzeit benutzt.<sup>6</sup>

Folgende Zeichnung illustriert noch einmal in vereinfachter Darstellung die Abnahmestellen im Frischwassersystem eines A320. Der Tank hat einen Druckanschluss, an dem entweder der Kompressor angeschlossen ist oder aber eine Leitung zur Versorgung mit Bleedair.

Im unteren Bereich sind verschiedene Armaturen für den Service am Boden dargestellt, auf die hier nicht eingegangen werden soll.

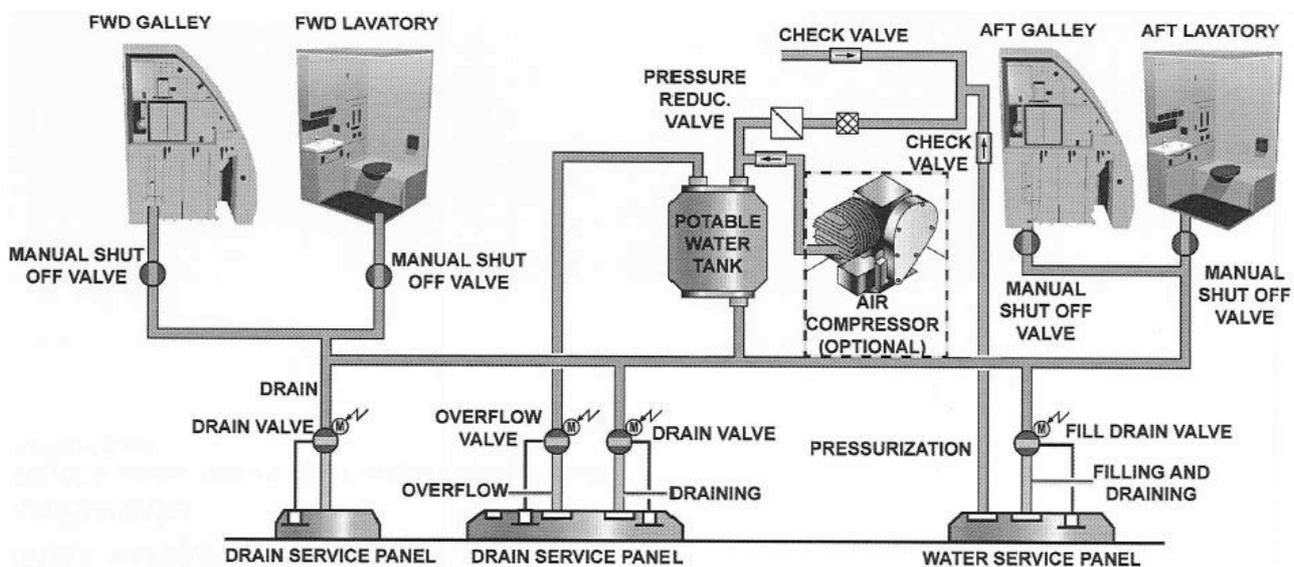


Illustration 1: Frischwassersystem im A320

Quelle: Lufthansa Technical Training (2009), S. 209

## 2.2 Wartung

In diesem Abschnitt soll kurz erläutert werden, was aus technischer Perspektive unter Wartung und Instandsetzung zu verstehen ist. Hierzu wird auch das wichtigste Dokument für diese Arbeiten an Fluggeräten, das Component Maintenance Manual (CMM), vorgestellt.

<sup>6</sup> SCHOLZ (o. J.)

### 2.2.1 Grundlagen der Fluggerätewartung

Die Gesamtheit aller Maßnahmen zur Erhaltung bzw. Wiederherstellung des flugtüchtigen Zustandes einer Flugzeugkomponente nennt man Instandhaltung. Diese lässt sich in der Regel in zwei verschiedene Arbeiten untergliedern:<sup>7</sup>

Überholung / Instandsetzung (auch Reparatur): Diese Arbeiten umfassen das **Zurückführen** von Komponenten in einen flugtüchtigen Zustand, die diesen aus technischen oder rechtlichen Gründen verloren haben.

Wartung: Diese Arbeiten dienen dem **Erhalt** des flugtüchtigen Zustandes und vermindern den Abnutzungsgrad einer Komponente. Durch sachgemäße Wartung lässt sich das ungeplante Erreichen des fluguntüchtigen Zustandes verzögern oder gar vermeiden.

Nach DIN 31051 gehören zur Instandhaltung auch noch Inspektions- sowie Verbesserungsarbeiten. Inspektionen können insbesondere auch den Testbetrieb einer Komponente beinhalten, auf deren Grundlage weiter Instandhaltungsarbeiten durchgeführt werden. Im Fluggerätegeschäft versteht man unter Verbesserungsarbeiten vor allem sog. Service Bulletins, die vorschreiben, welche Modifikationen an einer Komponente beim nächsten Instandhaltungsereignis durchgeführt werden müssen, um ihre Lebensdauer zu verbessern, oder sie neuen Regularien anzupassen.

Weiterhin wird zwischen planbarer und nicht planbarer Instandhaltung unterschieden:

- Die planbare Instandhaltung ist vorbeugend und dient dazu, einen Ausfall der Komponente zu vermeiden. Je nach Art der Komponente oder des Systems erfolgt diese Art von Instandhaltung zeitbezogen in Form von definierten Intervallen (angegeben in Flugstunden), nach Anzahl der Nutzungen (Cycles). Weiterhin kann planbare Instandhaltung aber auch durch weitere Ereignisse beeinflusst werden. Ein gutes Beispiel seien die vorgezogenen Wartungen an Triebwerken nach dem Ausbruch des Vulkans Eyjafjallajökull auf Island.<sup>8</sup>
- Als nicht planbare Instandhaltung versteht man Instandhaltungsereignisse, die auf Grund von Teil- oder Totalausfall durchgeführt werden müssen. Auch bei „perfekter“ Wartung lässt

---

7 Hinsch (2010)

8 Der Tagesspiegel vom 21.04.2010

sich die Abnutzung nicht immer genau vorhersagen. Denkbar sind unerwartete Ereignisse wie z. B. Vogelschlag.

Ein letzter wichtiger Punkt ist die Unterscheidung zwischen Line und Base Maintenance. Zur Line Maintenance zählt man alle Arbeiten, die direkt am Flieger durchgeführt werden können, ohne einen bestimmten, niedrigen Zerlegungsgrad zu überschreiten sowie keine tiefen Eingriffe in die Flugzeugstruktur darstellen. Hawker Pacific Aerospace beschränkt sich auf reinen Base Maintenance Betrieb. Fluggerät, das während einer Line Maintenance ausgetauscht (d. h. Ausgebaut und ersetzt) wird, wird an einen MRO Betrieb verschickt und dort instandgehalten. Diese Art von Fluggerät nennt man Line Replaceable Unit (LRU).

Neben dieser Arbeitsweise zählen auch große Wartungsereignisse, die das Flugzeug in seiner Gesamtheit betreffen, zur Base Maintenance.

### **2.2.2 Das Component Maintenance Handbuch**

Das Component Maintenance Manual (CMM) ist das Wartungshandbuch für Instandhaltungsarbeiten an Fluggeräten, die aus dem Flugzeug ausgebaut und in entsprechenden Werkstätten überholt werden (vgl. Kapitel 2.2.1).

Verfasst wird es durch den Original Equipment Manufacturer (OEM) mit dem Ziel, ein sachgerechtes und regelrechtes Arbeiten der Wartungswerkstätten zu garantieren. Erst das CMM ermöglicht einen wettbewerbsfähigen MRO Markt.

CMMs sind in ihren Grundsätzen immer gleich aufgebaut, was ein einheitliches, gleich bleibendes Arbeiten ermöglichen soll. Das Handbuch ist in englischer Sprache verfasst und es werden hier immer häufiger standardisierte Sätze verwandt, um auf diese Weise Verständnisprobleme zu verringern.

Jedes CMM hat zwei verschiedene Nummern – zum einen die Part Nummer (PN) der Komponente die vom OEM vergeben wird, zum anderen eine ATA Chapter Nummer.

Wie bereits erwähnt, ist auch der innere Aufbau systematisch angelegt. Zu Beginn sind standardisiert technische Randdaten, Revisionsvermerke, Herstellerangaben u. ä. beschrieben, danach folgen die eigentlichen Inhalte wie Testen, Demontage, Reparatur und Zusammenbau:

SENIOR OPERATIONS LLC  
COMPONENT MAINTENANCE MANUAL  
PART NUMBER 28823-7, 28823-9, 28823-10, 28823-14, 28823-18

TABLE OF CONTENTS

<u>SECTION TITLE</u>	<u>PAGE</u>
Introduction .....	INTRO-1
Description and Operation .....	1
Testing and Fault Isolation .....	101
Automatic Test Requirements .....	N/A
Disassembly .....	301
Cleaning .....	401
Inspection/Check .....	501
Repair General .....	601
Assembly .....	701
Fits and Clearances .....	801
Special Tools .....	901
Illustrated Parts List Introduction .....	1001
Numerical Index .....	1005
IPL Figure 1 .....	1009
IPL Figure 2 .....	1013

*Illustration 2: CMM P/N 28823-7*

*Quelle: SENIOR OPERATIONS LLC (2008), TC-1*

### **2.4 Pneumatik**

Die Pneumatik ist die Lehre des Einsatzes von Druckluft in der Technik. Unter Druckluft lässt sich nach allgemeinem Verständnis verdichtete Umgebungsluft verstehen. Druckluft wird durch unterschiedliche Methoden für verschiedene Systeme bereitgestellt, ein relevantes Beispiel sei hier der Kompressor. Weiterhin kann Druckluft in Behältern gespeichert werden, um einerseits die Fluktuation einer Druckluftquelle auszugleichen oder ein System aktiv zu halten, ohne beispielsweise einen Motor permanent arbeiten zu lassen.

Allgemein definiert bedeutet Druck das Verhältnis zwischen einer Kraft und der Fläche, auf die sie wirkt. Somit gilt:

$$P = \frac{F}{A} \quad (1)$$

Die Einheit der Kraft (F) ist Newton, die Einheit der Fläche ist der Quadratmeter (A) und die Einheit für den Druck (P) das Pascal. Ein Pascal ist ein sehr kleiner Wert, weshalb

## 2 Grundlagen

vielfach in Kilopascal gerechnet wird, oder – wie eher aus dem Alltag bekannt – in bar (0,1 kPa). Im angloamerikanischen Raum wird das psi (pound per square inch) verwendet, allerdings gibt es auch hier noch zahlreiche weitere Größen, gerade wenn Werte deutlich kleiner als ein Pascal werden.

Der atmosphärische Standarddruck auf NN bei 20°C beträgt 101,3 kPa. Neben der Angabe des Absolutdrucks dient dieser Wert häufig als Referenzwert. Nachstehende Grafik veranschaulicht deutlich, wie die zwei Bezugssysteme zu verstehen sind:

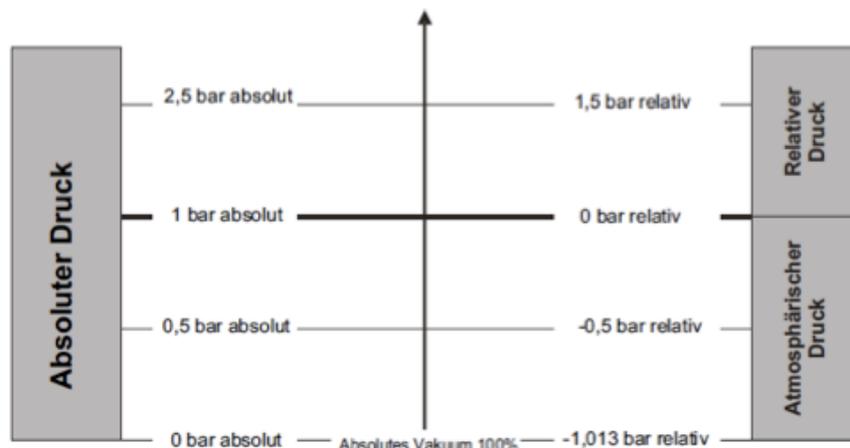


Illustration 3: Absolut- und Relativdruck im Vergleich

Quelle: [http://www.pneumax.de/pneumatik/grundlagen\\_der\\_pneumatik.pdf](http://www.pneumax.de/pneumatik/grundlagen_der_pneumatik.pdf),  
20.07.2011,01- Grundlagen der Pneumatik,

Zusätzlich ist bei 0 bar absolutem Druck die Angabe „Absolutes Vakuum 100%“ vermerkt. In diesem Bereich liegt in einem abgeschlossenen Raum Materiefreiheit vor. Umgangssprachlich ist es aber durchaus legitim, relativen Unterdruck als Vakuum zu bezeichnen, wobei die Vakuumklassen folgende sind:<sup>9</sup>

Druckbereich	Pressure Range	Druck in Pascal
Umgebungsdruck	ambient pressure	101 325
Großvakuum	medium vacuum	30 000...10
Feinvakuum	high vacuum	10 ... 0,1
Hochvakuum (HV)	very high vacuum	0,1...0,00001
Ultrahochvakuum (UHV)	ultra high vacuum	10 <sup>-5</sup> ...10 <sup>-10</sup>
extrem hohes Vakuum (XHV)	extreme ultra high vacuum	<10 <sup>-10</sup>

<sup>9</sup> Vgl. VAKUUM.ORG (o. J.)

### **2.5 Grundlagen zur Wirtschaftlichkeitsbetrachtung**

Teil einer wirtschaftlichen Betrachtung des Projektes ist stets eine Investitionsrechnung. Dazu wird im Folgenden näher auf den Begriff der Investition und der Investitionsrechnung eingegangen, sowie die bei LHT standardisierte Wirtschaftlichkeitsrechnung (WiRe) erläutert werden.

#### **2.5.1 Die Investitionsrechnung**

Investitionsentscheidungen bedingen immer mittel- oder langfristige Kapitalbindungen. Dies gilt vor allem, wenn man von Sachinvestitionen spricht. Ein kennzeichnendes Merkmal dieser Art von Investitionen ist das Auseinanderdriften der Zeitpunkte der Investitionstätigung und des Rückflusses von Erlösen. Auch wenn die Ausgaben bekannt sind, besteht Unsicherheit bzgl. der Höhe und des Zeitpunktes der Erlöse.

Um eine Investition nicht ausschließlich unter intuitiven Gesichtspunkten durchzuführen, kann man sie mit Hilfe der Investitionsrechnung transparenter machen und Risiken besser einschätzen.

Je nach Investitionsdauer, Investitionshöhe und Komplexität des Sachverhalts reicht die Bandbreite von recht einfachen Modellen zur Entscheidungsfindung bis hin zu hochkomplexen spezifischen Modellen, welche die Realität bis ins Detail abbilden.<sup>10</sup>

Prinzipiell lassen sich zwei verschiedene Modelle bestimmen, nämlich die statische und die dynamische Investitionsrechnung. Bei der statischen Rechnung können Zahlungsströme zeitlich nicht abgebildet werden. Die dynamische Investitionsrechnung hingegen berücksichtigt dies. Um Einnahmen und Ausgaben in verschiedener Höhe zu verschiedenen Zeitpunkten vergleichen zu können, werden sie auf einen gemeinsamen Zeitpunkt bezogen. Dies wird vollzogen um abbilden zu können, dass eine Geldsumme, die heute bereitsteht, in der Zukunft verzinsungsbedingt mehr wert sein wird.

Befindet sich der Vergleichszeitpunkt in der Zukunft, werden Einnahmen und Ausgaben aufgezinst, liegt er vor den Zahlungsströmen, so werden diese abgezinst. Werden zukünftige Zahlungen zur Gegenwart abgezinst, spricht man vom Bar- oder

---

<sup>10</sup> HOFFMEISTER (2007), S.5

Gegenwartswert. Werden Zahlungen auf einen Termin in der Zukunft aufgezinnt, spricht man von einem Zukunfts- oder Endwert.

### 2.5.2 Die Wirtschaftlichkeitsrechnung der LHT

Um Projekte und Vorhaben innerhalb des Konzerns bzgl. ihrer Rentabilität beurteilen zu können, nutzt die LHT (und somit auch Hawker Pacific Aerospace) eine Wirtschaftlichkeitsrechnung, die im eigentlichen Sinne ein dynamisches Verfahren der Investitionsrechnung darstellt.

Durch Anschaffen einer neuen Anlage, bzw. allgemein beim Zugang von Anlagevermögen bindet man Kapital. Mit Hilfe der Wirtschaftlichkeitsrechnung wird berechnet, ob sich das im Projekt gebundene Kapital durch die Erlöse in einer Höhe verzinst, die im Vergleich zu herkömmlichen Anlagemöglichkeiten als angemessen erachtet werden kann.

Die Wirtschaftlichkeitsrechnung beschreibt einen Betrachtungszeitraum von insgesamt sechs Jahren, wobei im ersten Jahr die Anschaffung erfolgt und die nächsten fünf Jahre als Nutzung angesehen werden. Um das Vorhaben quantitativ bewerten zu können dient die Qualifizierte interne Kapitalverzinsung (QiKV). Dieser Wert beschreibt die Effektivverzinsung des eingesetzten Kapitals. Für die Berechnung von Bar- oder Zukunftswert wird der Weighted Average Costs of Capital (WACC) verwendet. Der WACC ist ein kombinierter Wert von Zinsen aus Eigen- und Fremdkapital. Damit ein Projekt gestartet werden kann, muss der QiKV bei mind. 11.3% liegen. Dieser Prozentsatz ergibt sich aus dem WACC, dem Cash Value Added<sup>11</sup> und einem Zuschlag für Steuern.

Die WiRe liegt im Unternehmen als Excel Vorlage vor. Sie besteht aus drei wesentlichen Gruppen für die Zahlungsflüsse:

#### Preparation / acquisition period: Fund consumption

In dieses Feld sind alle in der Anschaffungs- und Erstellungsphase getätigten Ausgaben einzutragen. In den meisten Fällen betrifft dies vor allem das erste Jahr. Prinzipiell kann aber auch in den Folgejahren noch weiter investiert werden, z. B. in Form von geplanten Erweiterungen. Weiterhin gibt es Felder für den Verbrauch von internen und externen Ressourcen, etwa zugekauft Training für Mechaniker.

---

11 Der CVA ist eine von Hawker festgelegte Wertschöpfungsgröße

## 2 Grundlagen

---

### Service period: inflow and savings of resources

In diesem Bereich werden erwirtschaftete Einnahmen aufgeführt. Hierbei kann es sich z. B. um Einsparungen handeln, da Hawker Pacific Aerospace eine Fremdleistung durch eine Eigenleistung oder, wie im diskutierten Projekt, durch eine neu entstandene Einnahmequelle ersetzt. Abhängig von der Abschreibungsdauer wird im letzten Jahr noch der Restwert der Anlage aufgeführt.

### Service period: consumption of resources

Hier werden weitere Ausgaben aufgelistet; bei der Wartung von Komponenten fallen hierunter vor allem die Instandhaltungskosten, welche während der Wartung einer Komponente entstehen.

## 3. Wirtschaftliche Betrachtung

Für das Jahr 2011 hat sich Hawker Pacific Aerospace vorgenommen, sogenannte „Unique Capability“ aufzubauen: Das sind Erweiterungen des Portfolios, die nicht aus Hamburg kopiert werden können, sondern in Sun Valley neu entstehen.

Normalerweise hat Lufthansa Technik in Hamburg den am weitesten ausgebauten Technologiestand und das größte Produktportfolio innerhalb der Lufthansa Technik Group, was vor allem auf die Größe des Unternehmens zurückzuführen ist. Das Kopieren von Prüfständen und Prüfmitteln ist der effizienteste Weg, um in Sun Valley das Überholungsspektrum zu erweitern. Dadurch kann man den amerikanischen Markt bzgl. vorhandener Kapazität abdecken, erweitert aber nicht das Überholungsspektrum der Lufthansa Technik Group. Der Unique Capability Aufbau verhilft der Lufthansa Technik Group somit zu einer Erweiterung des Produktportfolios und zu einer gezielteren Reaktion auf den amerikanischen Markt, da er losgelöst von der hanseatischen Technologie entsteht.

Um eine Grundeinlastung zu gewährleisten, wurden von Lufthansa Technik in Hamburg für den Capabilityaufbau Komponenten, die zur Zeit „fremd vergeben“ werden, vorgeschlagen. Nicht alle vorgeschlagenen Komponenten gestalten sich als sinnvoll für dieses Projekt. Man muss bei der Wahl vor allem auf zwei Aspekte Rücksicht nehmen:

- Marktsituation vor Ort :

- Passt der Aufbau zum hiesigen Markt?
- Handelt es sich um einen Business Case?

- Vorhandene Ressourcen (personell sowie technisch) vor Ort :

- Ist eine Versorgung für den Prüfstand gewährleistet?
- Gibt es geeignete Mechaniker?

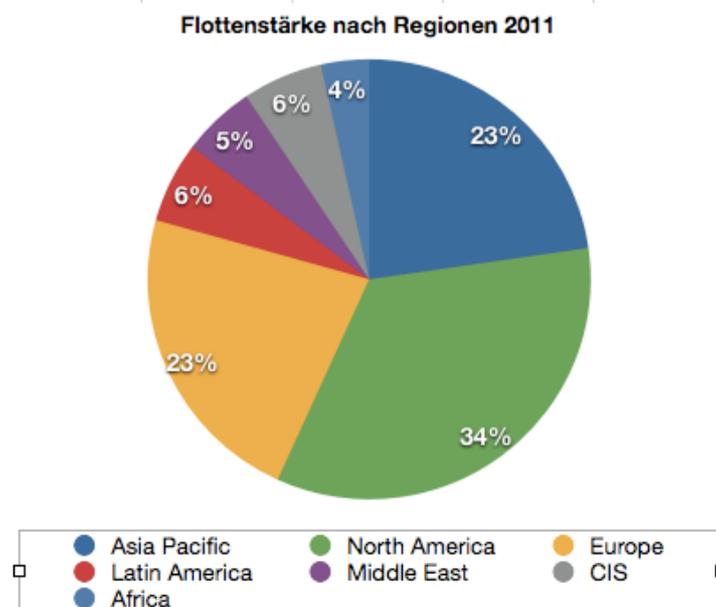
Im folgenden Kapitel soll zunächst auf die Marktsituation und die Wirtschaftlichkeit eingegangen werden.

#### 3.1 Firmenstrategie, Marktsituation und Entwicklung

Stets ist der Flugzeugmarkt starken Turbulenzen ausgesetzt - den wohl drastischsten Einbruch erlitt er nach den Terroranschlägen in New York im Jahr 2001. Der MRO Markt reagiert zeitlich als letztes Glied in der Kette der Luftfahrtindustrie und ist ein stark wettbewerbsgetriebener Markt.

Entsprechend der Kontinente teilt man den Flugzeugmarkt in mehrere Regionen ein; die bedeutendsten sind dabei Nordamerika, Europa und Asien.<sup>12</sup>

Trotz rapiden und kräftigen Wachstums des asiatischen Marktes bleibt Nordamerika mit aktuell 6.610 registrierten Flugzeugen der größte Flugzeugmarkt weltweit (2011). Der Bedarf für die nächsten 20 Jahre wird auf 9.330 Flugzeuge geschätzt, wobei der Anteil an Regional Jets stetig abnimmt.<sup>13</sup>



*Illustration 4: Flottenstärke nach Regionen 2011*

*Quelle: Eigene Darstellung auf Grundlage von: Boeing (2011)*

Entsprechend der Größe der amerikanischen Flotte lässt sich auch der Anteil des Geschäftsvolumens am MRO Markt erklären, der Nordamerika zugeordnet wird:

---

<sup>12</sup> BOEING (2011) S.14

<sup>13</sup> BOEING (2011) S.16

### 3. Wirtschaftliche Betrachtung

---

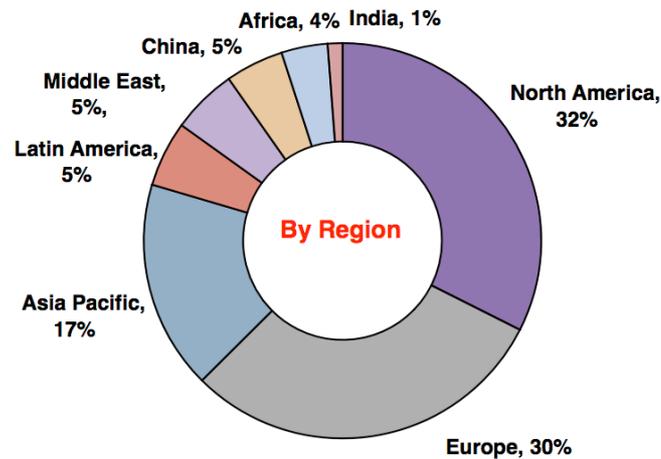


Illustration 5: Verteilung des MRO Geschäfts 2011

Quelle:

[http://www.aerostrategy.com/downloads/speeches/speech\\_100.pdf](http://www.aerostrategy.com/downloads/speeches/speech_100.pdf)  
06.07.2011, Air Transport MRO Outlook / Implications Of High Fuel Prices, Dr Kevin Michaels

Die Größe des Marktes und das einhergehende potentielle Geschäft erklären das Interesse von Lufthansa Technik, auf diesem Markt präsent zu sein.

Hawker Pacific Aerospace ist wie zuvor erwähnt eine hundertprozentige Tochtergesellschaft der Lufthansa Technik AG und deckt somit einen Teil der weltweit angebotenen MRO Dienstleistungen ab. Für die LHT lassen sich somit Angebot und Abwicklung von zahlreichen Geschäften auf dem amerikanischen Kontinent deutlich attraktiver anbieten, als wenn sämtliche Überholungsereignisse in Europa stattfinden müssten. Die großen Vorteile, auf dem nordamerikanischen Kontinent Dienstleistungen anzubieten sind:

- eine kürzere TAT (Turn Around Time) bedingt durch lokale Überholung
- günstigere Preise bedingt durch günstigere Lohnkosten und Transportkosten

Weiterhin profitiert der Standort in Sun Valley durch den Namen "Lufthansa", der ein anerkanntes und hochwertiges Image vermittelt. Andererseits kann Hawker durch seine Bekanntheit auf dem amerikanischen Markt Kunden akquirieren, die heimische Dienstleister präferieren.<sup>14</sup>

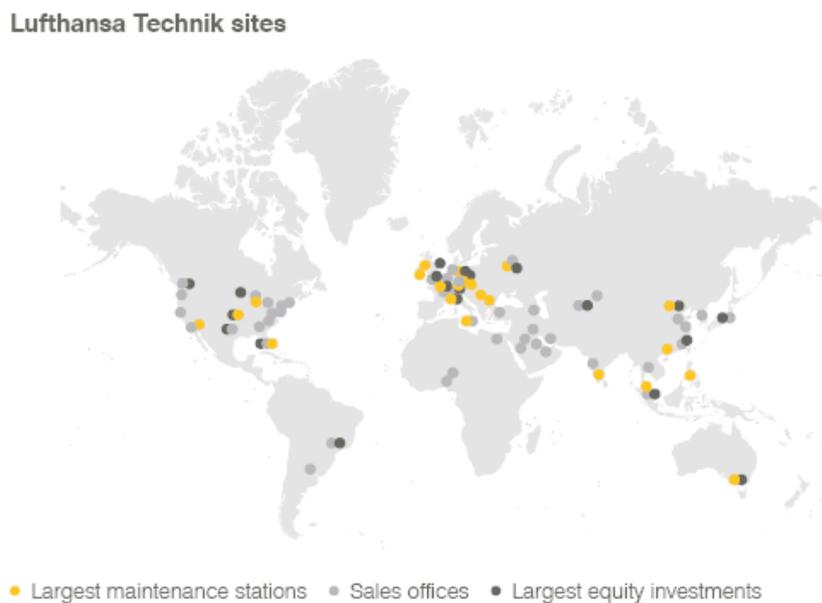
<sup>14</sup> Kirstein (2011)

### 3. Wirtschaftliche Betrachtung

---

Ein gutes Beispiel sei hier die United States Coast Guard, die ihr Geschäft nur an amerikanische Firmen vermittelt.

Vergleicht man die Verteilung von Repairshops in Nordamerika mit anderen Kontinenten, so ist auffällig, wie rar diese auf dem amerikanischen Kontinent sind. In den USA gibt es lediglich zwei Niederlassungen, die Instandhaltung und Überholung von Fluggerät anbieten – neben Hawker Pacific Aerospace im Südwesten der USA ist das Lufthansa Technik Tulsa in Oklahoma / USA.



---

*Illustration 6: Lufthansa Technik Standorte weltweit*

*Quelle:*  
*<http://reports.lufthansa.com/2008/ar/groupmanagementreport/businesssegmentperformance/mro/businessandstrategy.html>, 28.06.2011, Lufthansa Annual Report 2009 – Markets and Competition*

*(Gelb sind hier noch Heico in Florida und Spairliners in Chicago markiert, die aber keine MRO Arbeiten anbieten)*

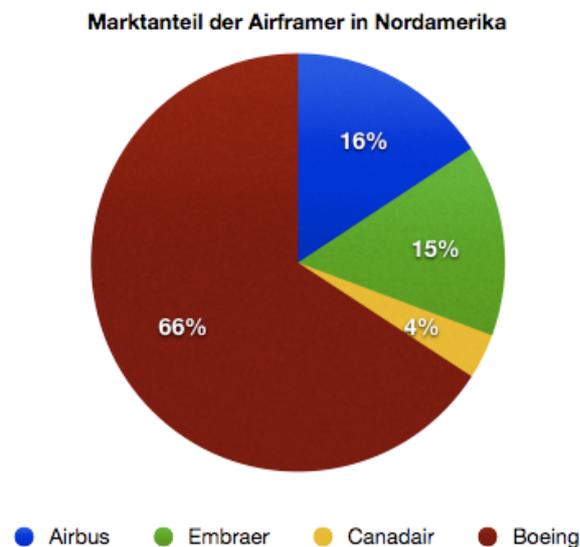
Das heißt, dass diese beiden Niederlassungen die einzigen sind, die kosteneffizient Wartungsarbeiten im amerikanischen Raum anbieten können. Für Lufthansa Technik sind diese beiden Standorte mit ihren bestehenden Infrastrukturen entsprechend strategisch wichtig und ihre Wettbewerbsfähigkeit ist von essentieller Bedeutung, um sich auf dem nordamerikanischen Markt behaupten zu können.

Betrachtet man den amerikanischen Flugzeugmarkt genauer, so stellt man fest, dass der größte Teil aller fliegenden Flugzeuge durch den Hersteller Boeing gestellt ist. Auch wenn Airbus neben Europa auch in Nordamerika einen nachweislich guten Absatz verzeichnet,

### 3. Wirtschaftliche Betrachtung

---

stellte Boeing bis zum Ende des letzten Jahrhunderts mit signifikanter Überlegenheit den größten Lieferanten des Marktes dar. Dies schlägt sich bis heute auf die Flottenstruktur nieder.



*Illustration 7: Marktanteil der Airframer in Nordamerika*

*Quelle: Eigene Darstellung auf Grundlage von: ACAS (2011)*

Das Produktportfolio von Hawker Pacific Aerospace ist in den letzten Jahren entsprechend der Expertise aus Hamburg gewachsen, d. h. dass vornehmlich Fluggeräte des Herstellers Airbus hinzugekommen sind. Das bringt viele Vorteile, denn so ließen sich Technologien von Lufthansa Technik in Hamburg „kopieren“ und es wurde bereits genug Erfahrung mit der Wartung dieser Komponente gesammelt. Dennoch sollte entsprechend Illustration 7 auch potentiell Geschäft durch Fluggerät des Herstellers Boeing nicht vernachlässigt werden und das Produktportfolio entsprechend ausgebaut werden.

### **3.2 Vertragsarten und resultierende Wartungsereignisse**

In Kapitel 3.1 wurde bereits qualitativ eine Rechtfertigung für den Ausbau der Kapazität in Richtung Boeing in Nordamerika gegeben. Doch neben dieser strategischen Rechtfertigung sei auch eine quantitative Einschätzung nötig. Die auf fünf Jahre basierende WiRe macht es notwendig zu untersuchen, inwieweit Wartungsereignisse für

### 3. Wirtschaftliche Betrachtung

---

den Frischwassersystemkompressor bevorstehen. Des Weiteren werden die Wartungsereignisse, im englischen Shop Load Events, kurz SLE, genannt.

Hawker Pacific Aerospace akquiriert auf zwei verschiedenen Wegen SLE für Komponenten. Lufthansa Technik in Hamburg ist bestrebt, möglichst viele Kunden für sich zu gewinnen. Aus diesem Grund nimmt LHT selbst Verträge an, die die Kapazitäten überfordern und vergibt dann einen Teil der Wartungen an Fremdfirmen. Der Frischwassersystemkompressor ist zurzeit „fremd vergeben“ - d. h. er wird außer Haus instandgehalten. LHT würde diese Arbeiten im Fall von Kapazitäten in Sun Valley – soweit im Einvernehmen mit dem potentiellen Kunden – nach Sun Valley abgeben. Die so generierten SLE schaffen eine Grundeinlastung für HPA.

Weiterhin schließt HPA aber auch direkt mit Kunden Verträge ab. Es gibt verschiedene Vertragsarten, die von Einzelverträgen für eine Komponente bis zu zehnjährigen Verträgen mit Festpreisen reichen. Im Folgenden seien die drei wichtigsten Verträge genannt:

#### SCM - SINGLE COMPONENT MAINTENANCE

Ein Flugzeugbetreiber kann für einzelne Partnummern einen SCM Vertrag mit HPA abschließen. Dieser Vertrag sichert HPA jedes Wartungsereignis dieser Komponente dieses Typs, die aus einem Flugzeug des Betreibers ausgebaut wird, zu. Damit sichert sich HPA auf einen längeren Zeitraum hin einen Kunden, legt sich aber vertraglich auch auf einen Festpreis sowie einen feste TAT fest. Für den Zeitraum, in dem eine Komponente bei HPA überholt wird, liegt es an dem Flugzeugbetreiber, Ersatz für sein Flugzeug zu erhalten. Dieser Vertrag bringt keinen garantierten Umsatz für HPA, da es nur bei einem Wartungsereignis dazu kommt.

Neben diesen Einzelverträgen gibt es zwei Arten von „T-Verträgen“. T steht hier für „Total“, da es sich bei beiden Verträgen um eine Art Flatrate handelt.

#### TCM - TOTAL COMPONENT MAINTENANCE

Dieser Vertrag wird ebenfalls für einzelne Partnummern bis hin zu einer Reihe von Partnummern abgeschlossen. Der Kunde zahlt hier pro Flugzeug<sup>15</sup> und pro Flugstunde einen Festpreis an HPA, der dann sämtliche Wartungsarbeiten abdeckt. Sobald eine

---

<sup>15</sup> Falls ein Flugzeug eine Komponente mehrfach enthält, wird entsprechend das Produkt aus Anzahl der Komponente im Flugzeug und Flugzeug gewählt.

### 3. Wirtschaftliche Betrachtung

---

Komponente in einem Flugzeug der Flotte ausfällt bzw. ausgebaut werden muss, kann der Kunde sie zu HPA schicken, ohne gesondert abgerechnet zu werden. Ähnlich wie beim SCM Vertrag ist die TAT hier festgelegt, was dem Kunden eine bessere Planbarkeit ermöglicht. Der Service umfasst Reparatur, Test und Überholung. Für HPA bedeutet dies einen festen Umsatz.

#### TCS - TOTAL COMOPONENT SERVICE

Mit dem TCS Vertrag erwirbt der Kunde das größte Maß an Serviceleistung bei HPA. Wie auch beim TCM Vertrag zahlt der Kunde je Partnummer pro Flugzeug und Flugstunde einen festen Preis. Der große Unterschied zu den anderen beiden Vertragsarten ist, dass der Kunde im Falle des Ausbaus einer Komponente eine Ersatzeinheit aus dem Ersatzgerätepool von HPA bzw. LHT erhält. Der Kunde muss also keinen eigenen Ersatzgerätepool vorhalten und sich auch weiterhin keine Gedanken um die Versorgung hegen, sondern kann sich um das Kerngeschäft kümmern. Der Flugzeugbetreiber hat außerdem die Möglichkeit, bei Vertragsbeginn seine Austauschgeräte an HPA zu verkaufen, was sein gebundenes Kapital verringert und die Liquidität erhöht.

Beide Arten von T-Verträgen haben zur besseren Planbarkeit lange Laufzeiten von fünf bis zehn Jahren.

Wie bereits erwähnt, stammt ein Teil des geplanten Einlastungsgeschäftes aus Hamburg. Hierbei handelt es sich nur um Komponenten, die durch T-Verträge in die Werkstätten kommen. Dadurch, dass LHT diese Verträge i. d. R. schon länger abgeschlossen hat, ist bekannt wie viele SLE aus Hamburg kommen werden. Etwas schwieriger gestaltet es sich mit dem Geschäft, das Hawker direkt erreicht. HPA vertreibt direkt an den Kunden derzeit hauptsächlich SCM Verträge, was auf die Größe der Firma zurückzuführen ist.

### **3.3 Wirtschaftlichkeitsrechnung**

In Kapitel 2.5 wurde bereits auf die Gründe zur Durchführung einer Investitions- bzw. Wirtschaftlichkeitsrechnung eingegangen.

Wie bereits erwähnt wird die WiRe erstellt, noch bevor Anschaffungen getätigt werden, da sie als Entscheidungshilfe dient und Ausgaben im Voraus rechtfertigen soll. Die hier

### 3. Wirtschaftliche Betrachtung

---

abgeschätzten Werte unterliegen oft Vereinfachungen, sollen in ihrer Gesamtheit aber dennoch die wichtigsten Kostenpunkte abdecken.

Gegenüber den anfallenden Initialkosten stehen die Erträge aus der Wartung. Zur Berechnung der WiRe wird als Umsatz nur das Geschäft herangezogen, dass durch LHT an HPA vergeben wird. Man kann über Zahlen spekulieren, die HPA durch direkte SCM Verträge erhält, allerdings wird die WiRe konservativ ausgelegt, also nur mit sicherem Geschäft aufgestellt.<sup>16</sup> Da HPA für LHT in diesem Fall als Dienstleister agiert, rechnet HPA direkt pro instandgehaltener Komponente ab. Dies gestaltet es wesentlich einfacher, die WiRe auszulegen.

Die beim Überholen einer Komponente entstehenden Kosten bestehen u. a. aus Material-, Lohn-, Gebäude- sowie Stromkosten. Die Gesamtheit dieser Kosten wird bei HPA und LHT als Herstellungskosten (HK) bezeichnet.

Die HK sind der Ausgang für den Umsatz, den die Überholung einer Komponente erzeugt. HPA geht von einer Gewinnmarge von 20% aus, womit der Umsatz pro überholter Komponente 20% über den HK liegt.

Die beiden relevanten Faktoren für die Wirtschaftlichkeit sind somit die Anzahl der SLE und die HK pro SLE. Wenn HPA Kapazitäten aufbaut, die es bereits bei LHT gibt, lassen sich die HK valide voraussagen. In einer Datenbank sind die Durchschnittswerte für die HK eingepflegt und geben somit eine Übersicht über alle möglichen SLE an, ungeachtet dessen, ob es nur zum Testing oder zur kompletten Überholung kommt.

Der Frischwasserkompressor wird wie zuvor erwähnt nicht von LHT selbst gewartet, weshalb die aufgeführten Kosten der letzten Jahre nicht intern, sondern extern verzeichnet. Diese Kosten werden durch die Materialplanung in Hamburg reduziert, da davon ausgegangen wird, dass Lufthansa Technik bzw. Hawker Pacific Aerospace auf Ersatzteile vom PMA-Markt<sup>17</sup> zurückgreifen kann, als große Firma zusätzlich günstige Konditionen beim Beziehen von Material<sup>18</sup> erhält und die Logistik (insbesondere der Transport) deutlich günstiger ausfallen. Die Voraussage über die Herstellungskosten beträgt im Mittel pro SLE ist 4.124 Euro.

---

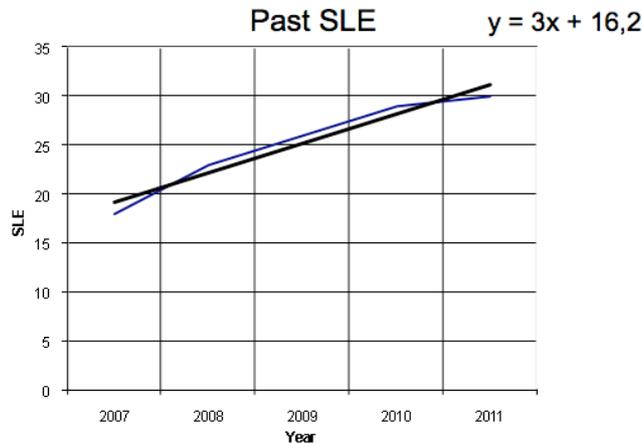
16 Haerder (2011)

17 PMA (Parts Manufacturer Approval) – Teile sind Ersatzteile, die von der amerikanischen respektive europäischen Luftfahrtbehörde als solche lizenziert zugelassen sind und deren Kosten üblicherweise nur 20 bis 50 % der original Ersatzteilkosten ausmachen.

18 Fischer (2011)

### 3. Wirtschaftliche Betrachtung

Die Anzahl der zu erwartenden SLE lässt sich im Gegensatz dazu durch eine schlichtere Betrachtung erhalten. Die SLE der vergangenen vier Jahre sind in der folgenden Darstellung zu sehen:



*Illustration 8: SLE der vergangenen Jahre*

*Quelle: Eigene Darstellung*

Für 2011 wurde die Anzahl der SLE bereits extrapoliert. Da bis Juni 2011 15 SLE angefallen sind, wurde die Zahl für das gesamte Jahr auf 30 gesetzt.

In Illustration 8 ist weiterhin eine lineare Regression zu sehen, die den Trend über den betrachteten Zeitraum verdeutlicht. Diese Regressionsgerade kann als Anhaltspunkt für eine Prognose dienen. Für den Zeitraum der nächsten fünf Jahre wird auf dieser Grundlage eine Steigerung von drei SLE pro Jahr angenommen.

Hieraus lassen sich nun die HK (vor Aufschlag der 20%) errechnen:

JAHR	SLE	HK Euro	HK Dollar
2012	33	136.092,00 €	\$195.972,00
2013	36	148.464,00 €	\$213.603,00
2014	39	160.836,00 €	\$231.603,00
2015	42	173.208,00 €	\$249.419,00
2016	45	185.580,00 €	\$267.235,00

(1 Euro = 1,44 US-\$ / Stand 22.08. 2011)

### 3. Wirtschaftliche Betrachtung

---

In der WiRe werden die HK als Kosten (Total Consumption) angenommen, der 1,2 fache Wert als Einnahmen (Inflow).

Gegenüber diesen Erträgen stehen die Ausgaben für den Prüfstand. Die Fixkosten, die durch den Prüfstand entstehen, belaufen sich nach einer vorläufigen Abschätzung auf 26.000 US Dollar. Dem Anhang A kann man Kosten für die benötigten Komponenten des Prüfstandes entnehmen. Die gesamten internen und externen Kosten sind in der WiRe eingetragen, die im Anhang B eingesehen werden kann.

Anhang B zeigt die ausgefüllte Wirtschaftlichkeitsrechnung. Mit einem QiKV von 60,3% erweist sich das Projekt als qualifizierte und nachhaltige Investition. Selbst wenn die Anschaffungskosten deutlich höher sein sollten, ist die Investition immer noch gerechtfertigt. Läge QiKV sehr nahe an den geforderten 11,3%, sollte man die geschätzten Anschaffungskosten vor weiteren Schritten nochmals verifizieren, was aber aus genannten Gründen hinfällig ist.

Abschließend ist festzustellen, dass gerade diese Partnummer eine sehr gute Investition zu sein scheint. Das kommt vor allem daher, dass die benötigte Technik zum Testen der Komponente nicht zu anspruchsvoll ist und dass es eine hohe, gesicherte Einlastung vom Mutterkonzern gibt, die das gesamte Projekt finanziell sicherstellt.

# 4 Konzeptionierung des Prüfstandes

## 4.1 Tests gemäß CMM

Um Komponenten in das Portfolio von HPA aufnehmen zu können, müssen vor allem die technischen Anforderungen erfüllt sein, um diese Komponente zu warten, reparieren und zu testen. Es wurde in Kapitel 2.2.2 bereits darauf hingewiesen, dass das CMM verschiedene Abschnitte zur ordnungsgemäßen Instandsetzungsarbeit auflistet; von Zerlegung, Reinigung, Reparatur, Zusammenbau bis zum Testen sind alle Arbeitsschritte beschrieben und erforderliches Werkzeug genannt. Die benötigten Werkzeuge sind als Standard Tool deklariert. HPA deckt ein großes Spektrum an Werkzeug ab, womit die Erfordernisse für die Instandhaltung an sich gegeben sind. Der einzige offene Punkt ist das Testen der Komponente. Das Testen ist ein elementarer Punkt, um die Flugtüchtigkeit zu belegen und Fehler beim Arbeiten zu finden bzw. auszuschließen. Jeder Mechaniker muss jeden einzelnen Arbeitsschritt durch Stempel und Unterschrift dokumentieren und kann im Schadensfall privatrechtlich verfolgt werden. Durch den aktuellen Prüfstand ist HPA in der Lage, sämtliche Formen von Ventilen zu testen. Der Frischwassersystemkompressor hat andere Erfordernisse. Im Folgenden sollen die verschiedenen Tests kurz dargestellt werden:

**Motor Insulation Test:** Hier wird bei einer Gleichstromspannung der Widerstand zwischen der Elektrik des Motors und dem Gehäuse überprüft.

**Dielectric Strength Test:** Anders als beim Motor Insulation Test wird hier mit einem Wechselstrom bei einer Hochspannung die Durchschlagfestigkeit zwischen Elektrik und Gehäuse geprüft.

Diese Tests werden mit Standardprüfmitteln durchgeführt und werden daher zunächst nicht weiter beachtet. Neben diesen elektrischen Tests gibt es noch einige weitere funktionale Tests, die sich nur schwerlich kategorisieren lassen, da sie spezifischer angelegt sind.

#### 4 Konzeptionierung des Prüfstandes

---

**Vacuum Test:** Bei diesem Test soll gezeigt werden, dass die Saugleistung des Kompressors ein gewisses Vakuum leisten kann.

**Leakage Test:** Oft werden Leckagen einer Komponente mit Gehäuse dadurch getestet, dass sie mit Druck beaufschlagt werden und der entstehende Druckverlust Aufschluss über die Dichtung des Gehäuses gibt. Beim Frischwassersystemkompressor wird die Leckage über ein Vakuum getestet: Eine Vakuumpumpe wird an den Auslass des Kompressors angeschlossen, alle anderen Öffnungen werden versiegelt. Soweit das Gehäuse des Frischwassersystemkompressors dicht genug ist, leistet die Vakuumpumpe ein bestimmtes Vakuum, da sie bzgl. ihrer Leistung genau spezifiziert ist.

**Operational Test Procedure:** Nachdem der Vakuumtest schon ein Indikator für die Leistung des Kompressors war, wird überprüft ob ein gewisser Volumenstrom erreicht wird. Weiterhin muss gewährleistet sein, dass alle drei Phasen des Motors annähernd die gleiche Stromstärke ziehen und diese nicht über 3.5 Ampere liegt. Die Spannung sollte 120 Volt per Phase nicht übersteigen.

Ein weiterer Punkt stellt die Fähigkeit des Kompressors, auch gegen einen vorhandenen Druck in einem Reservoir starten zu können, dar.

Der letzte Untertest besteht darin, zu gewährleisten, dass der Motor bei Druck im Einlass „abgewürgt“ wird und somit ausschaltet.

### **4.2 Testraumversorgung**

Die Versorgung im Testraum ist ein wesentlicher Aspekt. Wie bereits zu Beginn erwähnt, braucht das Testen mancher Komponenten z. B. „heiße Luft“ und „high flow“. Das sind Ventile, die direkt mit heißer Druckluft aus dem Triebwerk versorgt werden. Für das Testen ergibt sich somit eine Grundanforderung von 200°C heißer Luft, die unter ungefähr 250 psi Druck steht. Solche Komponenten werden aktuell und in naher Zukunft bei HPA nicht überholt. Doch selbst für den Frischwasserkompressor gilt es zu klären, inwieweit die Versorgung im Testraum ausreichend ist.

Für den letzten beschriebenen Test ist es erforderlich, den Kompressor mit gereinigter

## 4 Konzeptionierung des Prüfstandes

---

Druckluft zu beaufschlagen. Der Testraum verfügt bereits über einen Anschluss mit Druckluft, die ein Generator bei HPA zur Verfügung stellt. Prinzipiell wird diese Luft nur von Mechanikern zum Arbeiten verwendet (Druckluftpistole zum Reinigen, etc.). Für den aktuellen Pneumatik Prüfstand stehen zwei Druckluftflaschen Stickstoff zur Verfügung. Der Vorteil dieser Druckluft ist, dass sie keinen Schwankungen unterliegt, dafür aber recht teuer ist. Die Schwankungen in der Druckluftversorgung durch den Generator stammen von der ungleichmäßigen bzw. sporadischen Nutzung durch die Mechaniker.

Das Hausnetz schafft einen Maximalwert von 90 psi (ungefähr 6 bar) Druckluft. Bei vielen gleichzeitig geschalteten Verbrauchern kann dieser Wert bis auf 40 - 50 psi sinken. Betrachtet man den Testschritt im CMM genauer, ist hier nur ein Druck von 25 psi gefordert, womit man für den Prüfstand nicht an die teure Stickstoffflaschenversorgung gebunden ist, sondern auf die Hausnetzversorgung zurückgreifen kann.

Ein weiterer Punkt ist die dreiphasige 400 Hz Stromversorgung. Im Gegensatz zum Hausnetz mit 50/60 Hz benötigen elektrische Komponenten im Flugzeug 400 Hz Strom. HPA hat derzeit keine Möglichkeit, diesen Strom bereitzustellen. Im Testraum steht einphasiger Strom mit 50/60 Hz und 110/120 Volt sowie dreiphasiger Strom mit 50/60 Hz und 208 Volt zur Verfügung.

### **4.3 Schematik des Prüfstandes / Technik**

In Anhang A können die im CMM geforderten und benötigten Instrumente eingesehen werden. Mit den in Kapitel 4.1 beschriebenen Tests ergeben sich acht verschiedene Aufbauten<sup>19</sup> für die Durchführung des Testings. Aus diesen verschiedenen Aufbauten kann man entsprechend einen universellen Aufbau herleiten, mit dem alle verschiedenen Tests abgebildet werden können:

---

<sup>19</sup> siehe Anhang C

## 4 Konzeptionierung des Prüfstandes

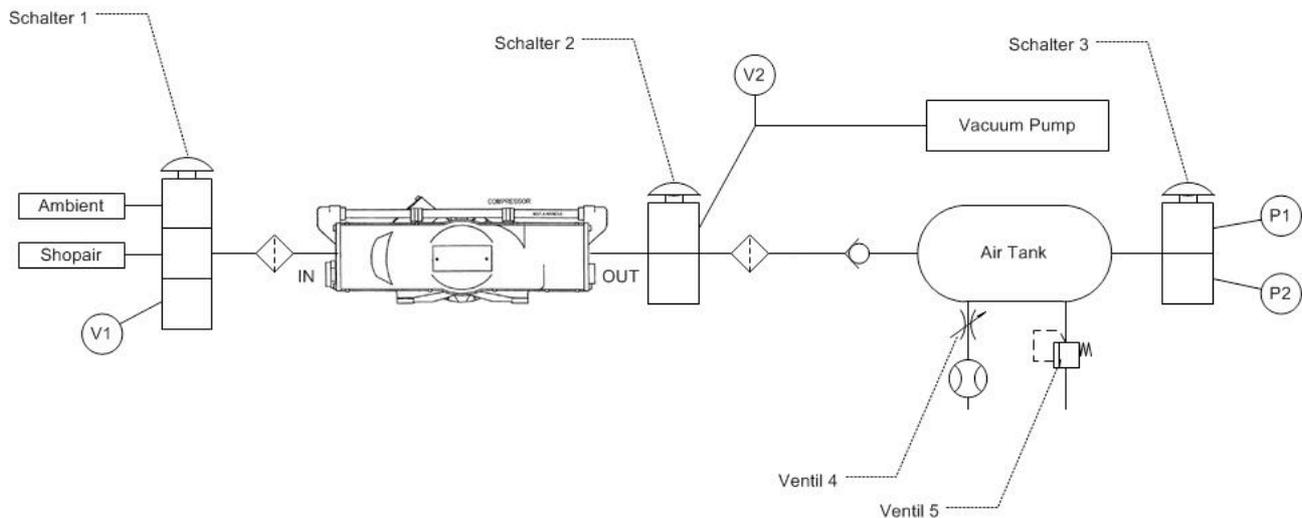


Illustration 9: Flussbild

Quelle: Eigene Darstellung, Kompressor aus Senior Operations LLC (2008), S. 104

Im Gegensatz zu den Forderungen im CMM enthält dieses Schaltbild eine gewählte Schaltung, um alle Test durchführen zu können. Dieser Aufbau enthält Schalter, die das Wählen aus verschiedenen Schaltungen möglich machen.

- Schalter 1 ist am Eingang des Kompressors hinter dem Luftfilter angebracht. Mit diesem wählt man zwischen den Eingängen „Umgebungsluft“; „Shopair“ (Druckluft) und „Vakuummeter“ aus.
- Schalter 2 ist direkt am Ausgang des Kompressors angebracht. Mit ihm kann man zwischen zwei verschiedenen Pfaden wählen; zum einen Vakuummeter und Vakuumpumpe, zum anderen Lufttank.
- Schalter 3 hinter dem Tank ist zum Wählen der beiden geforderten Druckmessgeräte vorgesehen.
- Ventil 4 ist ein verstellbares Ventil, das den Luftmassendurchsatz regelt.
- Ventil 5 ist ein verstellbares Überdruckventil.

Mit Hilfe dieser Schaltung soll im Weiteren ein geeignetes Layout für den Prüfstand entwickelt werden. Zu beachten sei ebenfalls, dass der Kompressor mit Strom versorgt

werden muss, der durch einen Stromkonverter erst zugeschaltet wird und dass die Vakuumpumpe auch erst durch Einschalten funktioniert. Diese elektrische Schaltung ist hier nicht dargestellt.

### **4.4 Sicherheit**

Bei der Konzeption eines Prüfstandes, auf dem Menschen arbeiten sollen, stellt sich grundsätzlich die Frage nach der Sicherheit der Einrichtung. Die Sicherheit für den Anwender sollte neben der Wirtschaftlichkeit und der Funktionalität das vorrangige Ziel des Entwurfs und der späteren Konstruktion sein. Im Folgenden seien daher verschiedene Aspekte zur Sicherheit betrachtet.

#### **4.4.1 Druckgeräterichtlinie**

Die Richtlinie 97/23/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 29. Mai 1997 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über Druckgeräte, auch Druckgeräterichtlinie genannt, sind Richtlinien „für die Auslegung, Fertigung und Konformitätsbewertung von Druckgeräten und Baugruppen mit einem maximal zulässigen Druck (PS) von über 0,5 bar“<sup>20</sup>. Als Druckgeräte werden unter anderem definiert:

- Rohrleitungen
- Druckbehälter (unbefeuert)
- Dampfkessel (befeuert)
- druckhaltende Ausrüstungsteile

Weiterhin wird beschrieben, dass selbst einfachste Baugruppen wie ein Schnellkochtopf unter diese Definition fallen können. Druckgeräte, die diese Richtlinie erfüllen, erhalten zur Einführung in den Europäischen Markt eine CE-Kennzeichnung. Man kann davon ausgehen, dass der Prüfstand nur zur Nutzung auf dem Firmengelände von Hawker Pacific Aerospace genutzt wird, wodurch die 97/23/EG nicht mandatorisch gilt. Dennoch bleibt der Arbeitgeber gegenüber seinen Arbeitnehmern verpflichtet, sichere Arbeitsmittel zur Verfügung zu stellen. Falls es Komponenten gibt, die nicht bereits mit CE

---

<sup>20</sup> Druckgeräterichtlinie (1997), Artikel 1 Absatz 1

## 4 Konzeptionierung des Prüfstandes

Kennzeichnung vom Hersteller des Prüfstandes zugekauft werden, sollten die Druckgeräterichtlinien erfüllt werden. Auch speziell die Kombination mehrerer Bauteile zu einer Baugruppe, wie es beim Prüfstand vorliegt, erfordert eine dezidierte Betrachtung der Gesamtheit. Abschließend bleibt zu sagen, dass viele Druckgeräte selbst nach dieser Richtlinie einfach nach „guter Ingenieurspraxis“ entworfen werden können, was speziell das Konstruieren simplerer, kleinerer Baugruppen leichter gestaltet.

Speziell in den USA ist die Occupational Safety and Health Administration (OSHA) des United States Department of Labor für Arbeitssicherheitsfragen zuständig. Die OSHA verweist in der Kategorie „Pressure Vessels“ wiederum auf den American Society of Mechanical Engineers (ASME) Boiler and Pressure Vessel Code.<sup>21</sup> Um den Arbeitsschutz sicherzustellen, sollen die verwendeten Bauteile (wie z. B. Lufttank) nach ASME Boiler and Pressure Vessel Code Section 8 Division 1 zertifiziert sein, bzw. konstruiert werden. Dieser Code sieht bspw. Richtlinien für zu verwendende Materialien und Fügeverfahren vor, abhängig vom Einsatz und den Randbedingungen.

### **4.4.2 Maschinenrichtlinie**

Die Maschinenrichtlinie (eigentlich Richtlinie 2006/42/EG über Maschinen) legt in den Mitgliedsstaaten der EU ein Schutzniveau für Maschinen einheitlich fest. Ganz dezidiert geht es um das Vermeiden von Unfällen im Umgang mit Maschinen, die konstruktionsbedingt geschehen.<sup>22</sup>

Anhang 1 der Richtlinie deckt spezifisch wichtige einzuhaltende Grundsätze und legt Grundanforderungen fest, wie bspw.:

- das Vorhandensein einer Lichtquelle wenn dies für die Sicherheit trotz normaler Umgebungsbeleuchtung wichtig ist,
- die Pflicht bei nicht handgeführten Maschinen mindestens ein NOT-HALT Eingabegerät zu verfügen,
- das Vermeiden von scharfen Ecken und Kanten.

---

21 OSHA (2006)

22 Maschinenrichtlinie (2006), Präambel Absatz (2)

#### 4 Konzeptionierung des Prüfstandes

---

Die Richtlinie erweist technischen Dokumentationen und Handbüchern einen sehr großen Stellenwert, sodass es von Vorteil ist in der Konstruktionsabteilung von Beginn an gut zu dokumentieren und nicht erst im Nachhinein zusammenzustellen.

Nach Anhang I Nummer 1.7.4.2 beinhaltet z. B. die Betriebsanleitung unter anderem:

- eine allgemeine Beschreibung der Maschine,
- die EG Konformitätserklärung,
- Zeichnungen, Schaltpläne, Beschreibungen und Erläuterungen die für die Verwendung, Wartung und Instandsetzung erforderlich sind,
- eine Anleitung für die vom Benutzer zu treffenden Schutzmaßnahmen.

Neudörfer nennt auf Grundlage der Richtlinie weitere Dokumente, die bereitzustellen sind<sup>23</sup>:

- alle relevanten Dokumente (Pläne, Berechnungen etc.), die für einen Nachweis mit grundlegenden Sicherheitsanforderungen erforderlich sind,
- eine Liste der in Betracht zu ziehenden Sicherheits- und Gesundheitsschutzanforderungen aus:
  - den angewandten EG-Richtlinien,
  - den angewandten Normen (internationale, europäische oder nationale),
  - anderen angewandten Spezifikationen,
- Ergebnisse aus der Gefahrenanalyse,
- Erklärung aller sicherheitstechnischer Vorkehrungen,
- Zertifikate sowie Berichte die für Komponenten oder Baugruppen der Maschine von dritten ausgestellt wurden.

Die Richtlinie impliziert Schutzziele der Niederspannungsrichtlinie<sup>24</sup>. Allerdings dominieren bei einigen Nieder- und Hochspannungseinrichtungen (bspw. Transformatoren) wie sie im Prüfstand benötigt werden, die Gefahren mehrheitlich von elektrischen Bauteilen. Im Zweifelsfall sei hier speziell bei Leitungen und Schaltern verbunden mit dem 400 Hz Konverter auf die eben genannte Richtlinie zu verwiesen und diese gegebenenfalls heranzuziehen.

---

23 Vgl. Neudörfer (2011), S. 32

24 Niederspannungsrichtlinie (2006)

### 4.4.3 Gefahrenanalyse

Wie bereits in Kapitel 4.4.2 erwähnt, gehört zur Dokumentation des Prüfstandes eine Gefahrenanalyse bzw. Gefährdungsanalyse. Als Gefährdung versteht man ein mögliches Zuschadenkommen von Personen mit negativen Folgen für Gesundheit oder Leben des Betroffenen infolge einer bestehenden Gefahr.

Gefährdungsanalysen sollen das Aufeinandertreffen von Gefahren und Menschen untersuchen und somit eine Möglichkeit bieten, konstruktive Vorkehrungen zu treffen um die Gefahrenquelle im besten Fall zu beseitigen, mindestens doch zu minimieren.

Gefährdungsanalysen sollte immer während der Konzeptionierungsphase durchgeführt werden, damit notwendige Änderungen an der Konstruktion möglich sind.

Weiterhin dienen Gefährdungsanalysen nur dazu, deterministisch auftretende Gefahren zu untersuchen, nicht jedoch stochastische.

Die Wichtigkeit einer fundierten Gefährdungsanalyse erkennt man, wenn man die Haftung für Unfälle betrachtet: In diesem Fall muss der Hersteller der Maschine nachweisen, dass die sachgerechte Gefährdungsanalyse durchgeführt und daraus alle relevanten Sicherheitsvorkehrungen getroffen wurden um Schaden abzuwenden.

Man kann prinzipiell zwischen prospektiver und retrospektiver Gefährdungsanalyse unterscheiden. Die prospektive, vorausschauende Analyse ermittelt vor allem Risiken und leitet daraus Gefahren ab. Die retrospektive, nachträgliche Analyse betrachtet bereits vorgekommene Unfälle. Je nach Innovationsgrad der Maschine überwiegt bei kompletten Neuentwicklungen die prospektive und bei bekannte Technologien die retrospektive Gefährungsanalyse.

### **4.5 Ergonomie und Layout des Prüfstandes**

Die Ergonomie ist die Wissenschaft, die die Gesetzmäßigkeiten menschlicher Arbeit untersucht (griechisch: ergon = Arbeit, nomos = Gesetz, Regel). Das Ziel ergonomischer Betrachtungen ist es, geeignete und effiziente Ausführungs- und Arbeitsbedingungen für den Menschen und dessen Nutzung von technischen Einrichtungen und Werkzeugen zu schaffen. Ein wesentlicher Punkt dieser Betrachtungen ist die Schnittstelle zwischen Mensch und Maschine.

Einhergehend mit dem Terminus Ergonomie steht der „menschliche Faktor“, besser bekannt als Human Factor. Im angloamerikanischen Sprachraum werden Ergonomics und Human Factors fast austauschbar füreinander verwendet, wobei speziell im deutschen Sprachraum Ergonomie eher auf die anthropometrische Auslegung eines Objektes bezogen wird, der menschliche Faktor hingegen auf die input-output-Aspekten.

Dieser Abschnitt soll beide Aspekte betrachten, sowohl die Auslegung entsprechend des menschlichen Körpers als auch die direkte Interaktion des Menschen mit der Maschine.

Durch die Betrachtungen sollen im Design vier Punkte beachtet werden, nämlich:

- 1) die Eingabe und den Einfluss des Menschen auf den Prüfstand so zu gestalten, dass die Ausgabe nicht durch menschliche Fehler gestört wird, bzw. vermieden wird,
- 2) die Arbeitsumgebung und Nutzer – Objekt Einbeziehung so sicher wie nur möglich zu gestalten, sodass gesundheitlicher Schaden am Mensch und Schaden am Prüfstand vermieden wird,
- 3) Stress auf den Nutzer durch geeignetes Design zu vermeiden; einmal durch ergonomische Auslegung aber auch durch einfache Benutzung ohne dass sich der Benutzer die Frage stellen muss, ob er das Produkt richtig benutzt,
- 4) ein Maximum an Akzeptanz zu erreichen, sodass der Anwender das Gefühl hat, mit dem Prüfstand sei gut zu arbeiten.<sup>25</sup>

---

25 Woodsen et al (1992), Introduction

### 4.5.1 Makroskopischer Aufbau

Einige Dinge sind bereits offensichtlich; z. B. benötigt man für das Testen der Einheit nur eine Person, weswegen der Prüfstand auch nur für einen Anwender ausgelegt wird.

Anders wiederum stellt sich zu Beginn die Frage, ob der Nutzer vor dem Prüfstand stehen oder sitzen sollte. Bei Hawker Pacific Aerospace sind derzeit alle verfügbaren Prüfstände für einen stehenden Anwender ausgelegt. Folgende Punkte sprechen auch beim Prüfstand für den Frischwasserkompressor für einen stehenden Arbeitsplatz:

- Die Aufgaben werden Greifen an verschiedenen Stellen und Betätigen verschiedener Bedienelemente erfordern.
- Weder extensive Schreibarbeiten, noch extensive Zeit wird benötigt um zu arbeiten.
- Zum Umbauen und Aufbauen der Prüfeinheit ist häufiges Bewegen erforderlich.<sup>26</sup>

Für einen stehenden Arbeitsplatz gibt es verschiedene Maße, die es zu beachten gilt. Der Prüfstand enthält Bedienelemente in Form von Schaltern, Knöpfen etc., Messinstrumente sowie die Testkomponente mit ihren Anschlüssen selbst. Folgende Zeichnung zeigt geeignete Positionen und Größen für diese verschiedenen Bereiche:

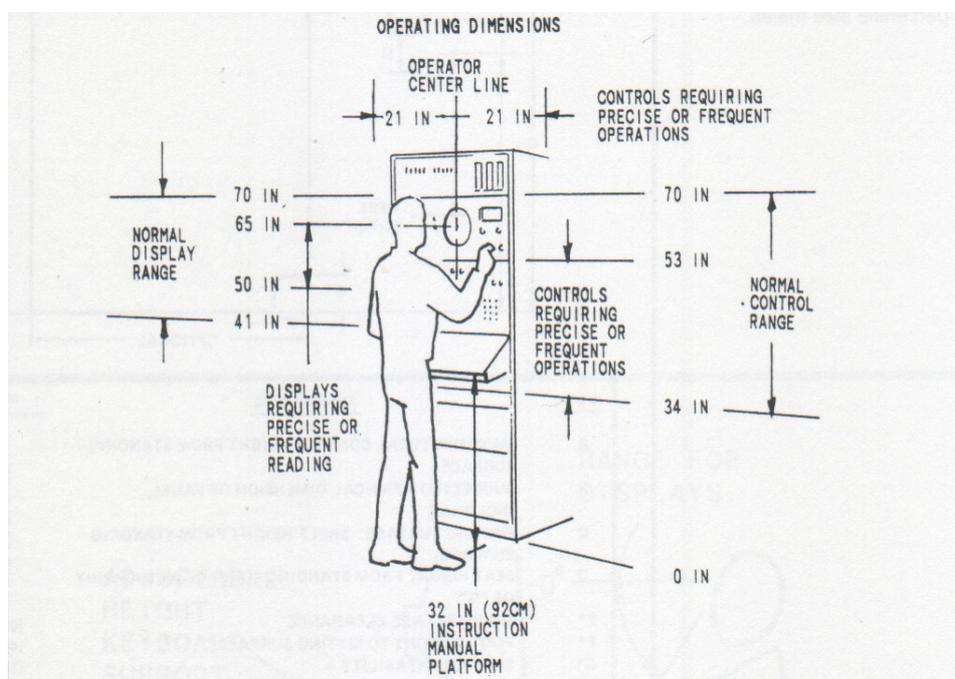


Illustration 10: Empfohlene Größen für Stehende Konsolen

Quelle: Woodsen et al (1992) S. 260

<sup>26</sup> Vgl. Woodsen et al (1992), S.249f

#### 4 Konzeptionierung des Prüfstandes

Diese Größen sind angelehnt an den Militärstandard MIL-STD-1472D und ist ausgelegt für Benutzer vom 5ten Perzentil Frau bis zum 95ten Perzentil Mann<sup>27</sup>.

Für den Prüfstand sollen somit folgende Größen verwendet werden:

Breite (maximal)	42"
Höhe für Eingabe / Steuerelemente:	34" bis 70" (34" bis 53" zu bevorzugen)
Höhe für Anzeigen:	41" bis 70" (50" bis 65" zu bevorzugen)

Weiterhin sollte die Tiefe für den Prüfstand auf 30 Zoll begrenzt werden, um keine unnatürlichen und unbequemen Positionen zu erfordern.

Wenn man nun bedenkt, dass der Kompressor zum Testen auf einer Arbeitshöhe von 40" platziert werden sollte<sup>28</sup>, erscheint es sinnvoll, die Steuerelemente vorne in niedriger Höhe am Tisch sowie die Messmittel etwas höher und mit einem gewissen Abstand zum Tester zu platzieren. In Kapitel 4.5.2 gibt es dazu genauere Erläuterungen. Ein mögliches Layout könnte dementsprechend wie folgt aussehen:

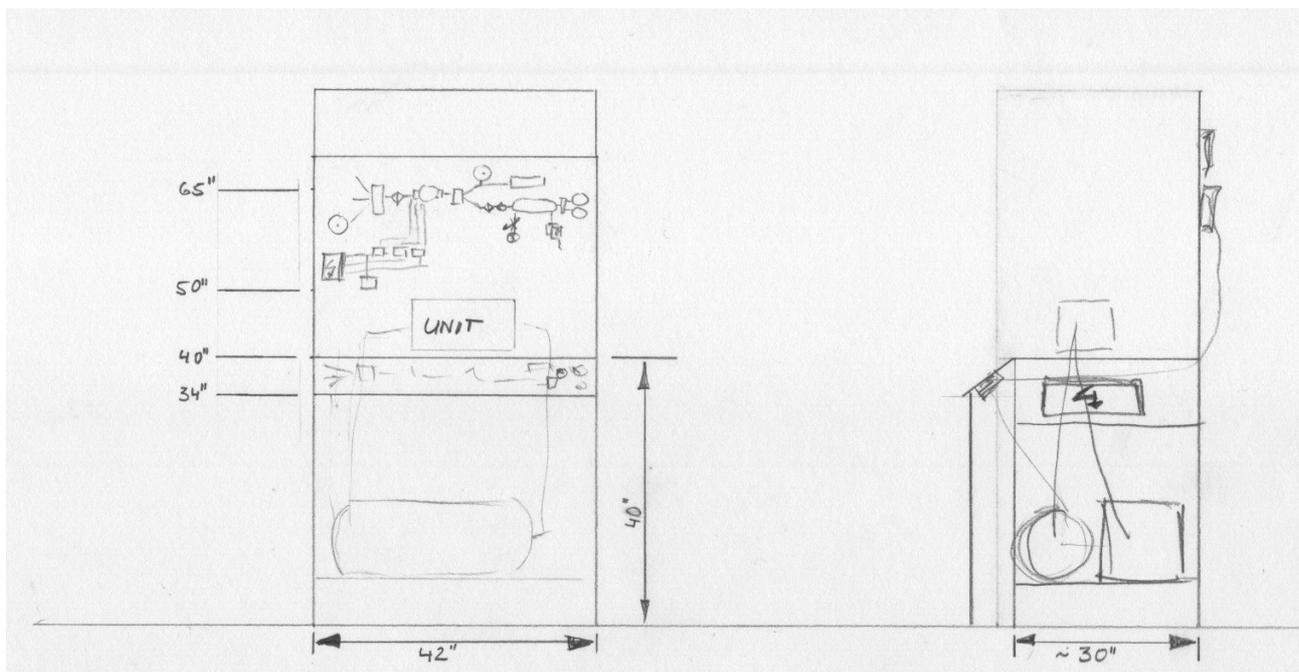
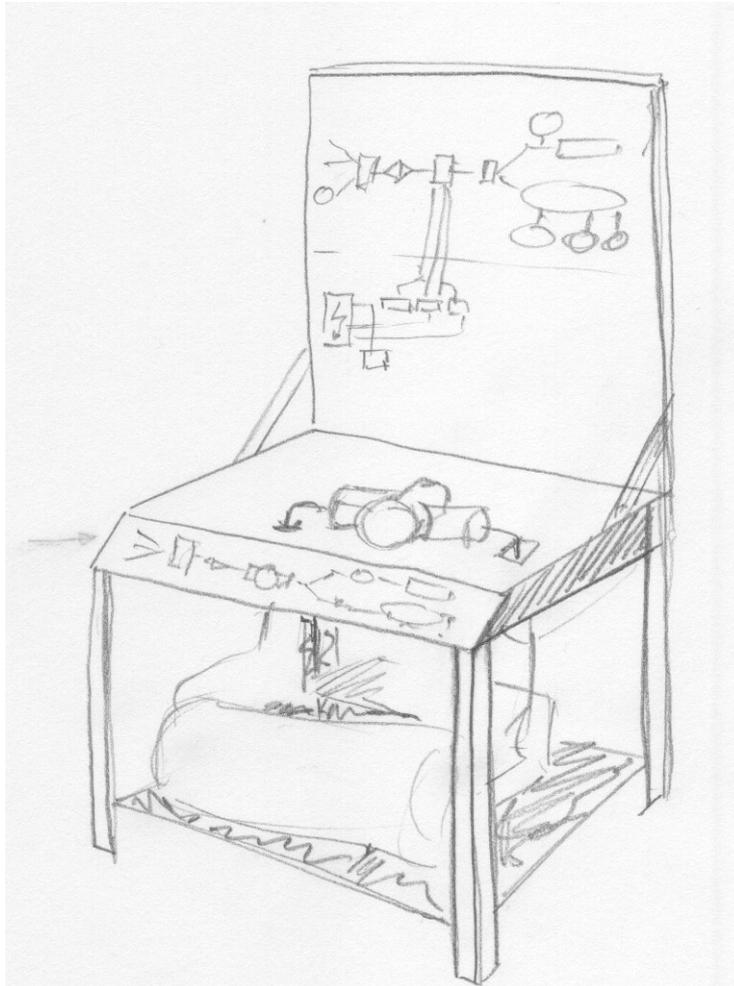


Illustration 11: Entwurfsskizze 1

27 Perzentile werden genutzt, um bestimmte Bereiche einer Gruppe zu beschreiben. So bedeutet das hier erwähnte anthropometrische 95te Perzentil, dass es nur 5% Menschen gibt, die größer sind – das 5te Perzentil entsprechend, dass es nur 5% Menschen gibt, die kleiner sind.

28 Woodsen et al (1992), S. 275



*Illustration 12: Entwurfsskizze 2*

Der arbeitende Mechaniker soll sich möglichst wenig mit der Prüfstandstechnik auseinandersetzen müssen – Vakuumpumpe und Lufttank sind deshalb in einem nichteinsehbaren Bereich untergebracht.

### 4.5.2 Schalter und Anzeigen

Neben der groben Anordnung der Elemente des Prüfstandes ist eine genaue Betrachtung der Schalter und Anzeigen notwendig.

Es ist wichtig, dass funktionelle Gruppen im Layout widergespiegelt werden und somit dem Nutzer schnell verständlich erscheint, wie die der Prüfstand zu bedienen ist. Um Übersichtlichkeit für den Anwender zu schaffen, gibt es mehrere Möglichkeiten:

- Abstand der Elemente,
- Umrandung zusammengehöriger Elemente,
- Farblich unterschiedlicher Hintergrund,
- Mehrere verschiedene Paneele.

Nach Woodsen ist bei genügend Raum erstere Methode zu bevorzugen.<sup>29</sup> Aus diesem Grund ergibt es wie bereits im vorigen Kapitel erwähnt am meisten Sinn, Steuer- und Kontrolleinheiten zu trennen.

Damit der Prüfablauf leicht vom CMM auf den Prüfstand und dessen Aufbau zu übertragen ist, sollte dieser, wie in Kapitel 4.3 beschrieben, auf den beiden Paneelen dargestellt und die Einheiten an entsprechender Stelle eingebaut werden.

Die Beschriftungsposition der Instrumente sollte abhängig vom Eye Reference Point (ERP)<sup>30</sup> des Bedieners gemacht werden. Der Referenzpunkt liegt bei unserer Anordnung etwa mittig. Bei Instrumenten die bspw. oberhalb des ERP liegen, sollten Beschriftungen unterhalb angebracht werden, um am einfachsten vom Bediener gesehen zu werden.<sup>31</sup>

Die drei Amperemeter müssen zeitnah betrachtet und verglichen werden. Es wird erforderlich sein, sie häufiger hintereinander abzulesen. Für den Menschen ist sequentielles Betrachten in horizontaler Abfolge deutlich einfacher als in vertikaler. Aus diesem Grund sollten die Amperemeter nebeneinander angebracht werden.<sup>32</sup>

Denkbar wären weiterhin leuchtende Anzeigen für die eingeschaltete Vakuumpumpe, wobei dies auch hörbar ist.

Als prinzipieller Unterschied zwischen analogen und digitalen Anzeigen kann gesagt werden, dass analoge Anzeigen den Vorteil bieten, qualitatives Ablesen zu ermöglichen.

---

<sup>29</sup> Woodsen et al (1992), S. 280

<sup>30</sup> ERP, zu deutsch etwa „Optischer Referenzpunkt“

<sup>31</sup> Vgl. Woodsen et al (1992), S. 277

<sup>32</sup> Vgl. Woodsen et al (1992), S. 262

#### 4 Konzeptionierung des Prüfstandes

Das Auge kann schnell und qualitativ Änderungen erfassen. Weiterhin ist auch quantitatives Ablesen bei entsprechender Größe und Skalierung gut möglich.<sup>33</sup> Testanforderungen im CMM bzgl. des Drucks sind sehr qualitativ, als Beispiel seien hier angeführt: „Pressure is between 70 and 110 psig“<sup>34</sup>, „adjust throttle valve to obtain 43 to 47 psig“<sup>35</sup> und „increase pressure to compressor to 15-20 psig“<sup>36</sup>. Hier bieten sich somit analoge Messmittel an.

Im Gegensatz dazu werden bei der Auswertung der Stromstärke sehr genaue Werte benötigt, weshalb Digitalanzeigen zu bevorzugen sind. Die folgende Skizze zeigt einen möglichen Entwurf des Panels mit den Messinstrumenten:

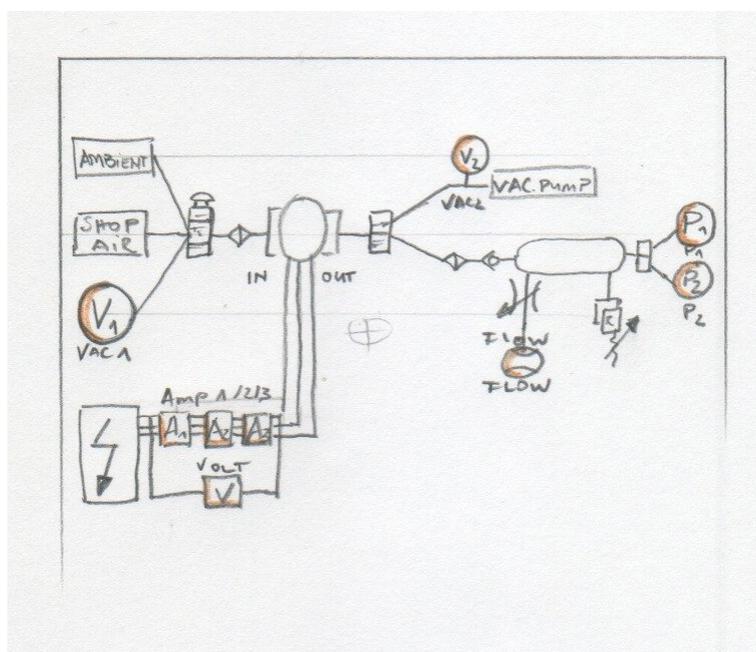


Illustration 13: Entwurf für das Messinstrumentenpaneel

Auf eine präzise Darstellung des Steuerpanels soll an dieser Stelle verzichtet werden. Es gestaltet sich analog zum Messinstrumentenpaneel. Einzig auf das Ventil vor dem Luftmassenmesser muss geachtet werden, da es eine sehr präzise Einstellung ermöglichen muss und somit ein Drehknopf mit großem Durchmesser (idealerweise zwischen 1,5" und 3,0")<sup>37</sup> gewählt werden sollte.

33 Vgl. Neudörfer (2011), S. 516

34 Senior Operations LLC (2008), S.105

35 Senior Operations LLC (2008), S.103

36 Senior Operations LLC (2008), S.105

37 Woodsen et al (1992), S. 473

### **5 Spezifikation und Workshop Test Instruction**

Um Angebote für den Prüfstand einholen zu können wurde bereits vor Abschluss dieser Arbeit ein Lastenheft (Requirements Specification) verfasst. Es folgt dem bei HPA üblichen Standard und wurde entsprechend den Anforderungen angepasst.

In der Requirements Specification stellen sich die Testaufbauten und verschiedenen Tests wie in dieser Arbeit beschrieben dar. Weiterhin sind alle Messinstrumente, die vorgeschrieben sind, genauestens beschrieben um den Prüfstand CMM konform zu gestalten.

An zwei Stellen in der Requirements Specification ist ein Vermerk über das zu beschaffende Equipment notiert: Die Anforderungen an die Vakuumpumpe sind so spezifisch, dass nur eine Vakuumpumpe der Firma Welch in Frage kommt. Da der Prüfstand sehr wahrscheinlich in Deutschland bestellt wird, bietet HPA an, diese Vakuumpumpe selbstständig zu beschaffen.

Die Requirements Specification kann im Anhang D eingesehen werden. Beim Zustandekommen eines Auftrages wird dem Hersteller Kapitel 4.5 dieser Arbeit zur Verfügung gestellt.

Nach luftfahrtrechtlichen Regelungen hat das Testen von Komponenten immer gemäß des CMM stattzufinden. Jeder Mechaniker ist verpflichtet, das entsprechende aktuelle CMM beim Testen direkt am Arbeitsplatz vorliegen zu haben. Allerdings ist es legitim eine Arbeitskarte – bei LHT und HPA Workshop Test Instruction (WTI) genannt – als Hilfsmittel beim Testen zu benutzen. Anhang E zeigt die WTI des Kompressors.

## 6 Zusammenfassung und Ausblick

Ziel dieser Arbeit war es, das Produktportfolio von Hawker Pacific Aerospace um eine Komponente der pneumatischen Fluggeräte zu erweitern, bzw. diese Erweiterung weitestgehend vorzubereiten. Es galt den Aufbau des vorgeschlagenen Frischwassersystemkompressors wirtschaftlich zu rechtfertigen.

Nachdem in Kapitel 1 zunächst die beiden relevanten Firmen – Lufthansa Technik und Hawker Pacific Aerospace – vorgestellt wurden, bildet Kapitel 2 den Einstieg in die Thematik. Der Grundbegriff Fluggerätewartung wird erklärt, ebenso wird die Umgebung der Komponente im Flugzeug erläutert. Vorbereitend für die wirtschaftliche Betrachtung, wird der Begriff der Investitionsrechnung und die entsprechende Berechnungsgrundlage der LHT erklärt.

In Kapitel 3 wurden zunächst qualitative Gründe für den Ausbau des Produktportfolios gegeben, indem der nordamerikanische Flugzeugmarkt betrachtet und die Aufstellung des gesamten LHT Konzerns erläutert wurde. Die Vorteile der Präsenz LHTs in Nordamerika zu fördern und hier auch selbstständig Technologien zu entwickeln wurde dargestellt.

Weiterhin wurden quantitative Gründe für den Aufbau der Komponente geschildert indem auf Grundlage einer Abschätzung der Investitionskosten und mit einer Extrapolation der Wartungsereignisse für die nächsten Jahre eine Investitionsrechnung durchgeführt wurde.

Kapitel 4 betrachtet die technische Seite des Vorhabens. Auf Grundlage der verschiedenen Tests im CMM wird ein Schaltbild erarbeitet, das alle erforderlichen Tests abbildet und die verlangten Messmittel einbindet. Einzuhaltende Sicherheitsaspekte und Vorgaben wie die Druckgeräterichtlinie und Maschinenrichtlinie werden erläutert. Im letzten Teil des vierten Kapitels wird ein Vorschlag für das Layout des Prüfstandes aus ergonomischer Sicht gegeben, indem äußere Abmaße sowie zu empfehlende Anzeigen diskutiert werden.

Zuletzt wird auf die Requirements Specification<sup>38</sup> verwiesen, mit dessen Hilfe HPA ein Angebot für den Prüfstand einholen kann.

Hawker Pacific Aerospace hat aktuell durch seinen administrativen Bereich einen sehr großen Overhead. Da eine Verkleinerung dieses Bereiches nicht möglich erscheint, bleibt

---

38 Ähnlich dem deutschen Lastenheft

einzig das Wachstum als Möglichkeit die Synergien der Firma zu nutzen und somit erfolgreich zu sein. Aus diesem Grund erscheint der Capability Aufbau den richtigen Weg zu zeigen. Auch ist HPA mittlerweile hinreichend etabliert und verfügt über hinreichend Expertise um unabhängig der Hamburger Ressourcen Capability aufzubauen.

Obschon in der Aufgabenstellung neben wirtschaftlicher Rechtfertigung und Konzeption auch der Aufbau des Prüfstandes genannt war, war dies im Nachhinein ein unrealistisches Ziel für drei Monate. 12 Wochen sind bei abgeschlossener Bestellung ein guter Zeitraum für eine Lieferung, jedoch nicht für einen kompletten Aufbau. Ein betriebsinterner Aufbau würde aktuell an den Ressourcen von HPA scheitern.

Dennoch wurde die Produkterweiterung erfolgreich untersucht und gesammeltes Wissen der Abteilung zur Weiterführung des Aufbaus übergeben.

Mit Hilfe der Requirements Specification lassen sich Angebote einholen und vergleichen. Bei einer Auftragsvergabe lassen sich wie bereits zuvor angeschnittene Teile dieser Arbeit als zusätzliche Information für den Hersteller zur Verfügung stellen.

Nach erfolgreicher Einführung kann ein Fragebogen an Mechaniker ausgeteilt werden, die mit dem Prüfstand arbeiten. Durch diese Rückmeldung signalisiert HPA einerseits ein Interesse an der Zufriedenheit der Mitarbeiter, weiterhin ist dies aber auch eine Möglichkeit die Konzeption im Nachhinein noch einmal zu betrachten und dem Hersteller Verbesserungsmöglichkeiten für weiteres Arbeiten zu geben.

Die Konzeption ist für Frischwasserkompressoren von Boeing Flugzeugen gedacht, allerdings lässt sich der Prüfstand durch eine leichte Modifikation auch für Kompressoren der Airbusflotte nutzen. Dies wurde bereits in einem früheren Stadium der Arbeit vorausschauend abgesichert und hält HPA somit Möglichkeiten offen, durch einen einfachen Schritt sein Portfolio zu erweitern.

## 7 Literaturverzeichnis

ATA (1994): *AIR TRANSPORT ASSOCIATION OF AMERICA: Specification for Manufacturers' Technical Data, ATA Specification 100*. Washington D.C. : ATA, 1994

BOEING (2011): *Current Market Outlook: 2011-2030*, Boeing Commercial Airplanes, Seattle USA, Internet URL: [http://www.boeing.com/commercial/cmo/pdf/Boeing\\_Current\\_Market\\_Outlook\\_2011\\_to\\_2030.pdf](http://www.boeing.com/commercial/cmo/pdf/Boeing_Current_Market_Outlook_2011_to_2030.pdf) abgerufen am 02.07.2011

DER TAGESSPIEGEL (2010): *Fluglinien: Asche kostet 1,3 Milliarden*. Internet URL: <http://www.tagesspiegel.de/wirtschaft/fluglinien-asche-kostet-1-3-milliarden/1806144.html>

DRUCKGERÄTERICHTLINIE (1997): *Richtlinie 97/23/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 29. Mai 1997 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über Druckgeräte*, Strasbourg: Europäisches Parlament

FISCHER, S. (2011): Schriftlicher Kontakt mit Sebastian Fischer, Leiter Capability Aufbau im Verbund der Lufthansa Technik, am 28.07.2011

HABEL, Bernd (2011): *Lufthansa Technik Jahresbericht 2010*. Internet URL: [http://www.lufthansa-technik.com/applications/portal/lhtportal/download.jsp?link=/bea/media-assets/references/TV\\_I/LHT\\_GB\\_10\\_d\\_screen.pdf](http://www.lufthansa-technik.com/applications/portal/lhtportal/download.jsp?link=/bea/media-assets/references/TV_I/LHT_GB_10_d_screen.pdf) abgerufen am 07.06.2011

HAERDER, M. (2011): Persönliches Gespräch mit Marcus Härder, Manager Components Department, Hawker Pacific Aerospace am 22.07.2011

HINSCH, M. (2010): *Industrielles Luftfahrtmanagement*, Heidelberg: Springer-Verlag

HOFFMEISTER, W. (2007): *Investitionsrechnung und Nutzwertanalyse. Eine entscheidungsorientierte Darstellung mit vielen Beispielen und Übungen. 2. überarbeitete Auflage*, Berlin: Berliner Wissenschafts-Verlag

KIRSTEIN, M. (2011): Vortrag von Michael Kirstein, CEO Hawker Pacific Aerospace, Hawker Pacific Aerospace am 05.05.2011

LUFTHANSA TECHNIK (2011): *Hawker Pacific Aerospace / Einer der größten Fahrwerksspezialisten weltweit*. Internet URL: [http://www.lufthansa-technik.com/applications/portal/lhtportal/lhtportal.portal?requestednode=24&\\_pageLabel=Template5\\_6&\\_nfpb=true&webcacheURL=TV\\_I/Company-new/About-us/Portrait/Group-Companies/Hawker\\_d.xml&setLang=german](http://www.lufthansa-technik.com/applications/portal/lhtportal/lhtportal.portal?requestednode=24&_pageLabel=Template5_6&_nfpb=true&webcacheURL=TV_I/Company-new/About-us/Portrait/Group-Companies/Hawker_d.xml&setLang=german) abgerufen am 07.06.2011

LUFTHANSA TECHNIK (2010): *Hawker Pacific Aerospace*. Intranet URL: [http://ebase.dlh.de/irj/go/km/docs/dctm\\_prod/en\\_US/WCM\\_LHT/LHT\\_Marketing\\_und\\_Vertrieb/Products/Brochures/Lufthansa\\_Technik\\_Group/Hawker/datasheets\\_hawker\\_110309.pdf](http://ebase.dlh.de/irj/go/km/docs/dctm_prod/en_US/WCM_LHT/LHT_Marketing_und_Vertrieb/Products/Brochures/Lufthansa_Technik_Group/Hawker/datasheets_hawker_110309.pdf) abgerufen am 07.06.2011

MASCHINENRICHTLINIE (2006): *Richtlinie 2006/42/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Mai 2006 über Maschinen und zur Änderung der Richtlinie 95/16/EG (Neufassung)*, Strasbourg: Europäischen Parlament

NIEDERSPANNUNGSRICHTLINIE (2006): *Richtlinie 2006/95/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12. Dezember 2006 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten betreffend elektrische Betriebsmittel zur Verwendung innerhalb bestimmter Spannungsgrenzen*, Strasbourg: Europäisches Parlament

NEUDÖRFER, Alfred (2011): *Konstruieren sicherheitsgerechter Produkte: Methoden und systematische Lösungssammlungen zur EG-Maschinenrichtlinie, 4. Auflage*, Heidelberg: Springer

OSHA (2006): *Pressure Vessels*, Washington D.C.: United States Department of Labor

SCHOLZ, D. (o. J.): *14 Water / Waste (ATA 38)*. Hochschule für angewandte Wissenschaften Hamburg, Hamburg

SENIOR OPERATIONS LLC (2008): *Potable Water System Compressor Assembly / Component Maintenance Manual with Illustrated Parts List Revision No. 7*, Sharon, Massachusetts, USA

VAKUUM.ORG (o. J.): *Vakuumbereiche*, Internet URL: <http://www.vakuum.org/vakuum/vakuumbereich.html> abgerufen am 20.07.2011

WOODSEN, Wesley; TILLMAN, Barry; TILLMANN, Peggy (1992): *Human Factors Design Handbook: Information and Guidelines for the Design of Systems, Facilities, Equipment , and Products for Human Use*. New York: McGraw-Hill Inc.

### Quellen der Illustrationen :

Illustration 1 : LUFTHANSA TECHNICAL TRAINING (2009): *General Familiarization, Level 1, Electrical / Airframe / Powerplant / Avionic*, Hamburg: Lufthansa Technical Training

Illustration 2 : SENIOR OPERATIONS LLC (2008): *Potable Water System Compressor Assembly / Component Maintenance Manual with Illustrated Parts List Revision No. 7*, Sharon, Massachusetts, USA

Illustration 3 : PNEUMAX (o. J.): *01 – Grundlagen der Pneumatik*, Internet URL: [http://www.pneumax.de/pneumatik/grundlagen\\_der\\_pneumatik.pdf](http://www.pneumax.de/pneumatik/grundlagen_der_pneumatik.pdf) abgerufen am 20.07.2011

Illustration 4 : Eigene Darstellung basierend auf: BOEING (2011): *Current Market Outlook: 2011-2030*, Boeing Commercial Airplanes, Seattle USA, Internet URL: [http://www.boeing.com/commercial/cmo/pdf/Boeing\\_Current\\_Market\\_Outlook\\_2011\\_to\\_20](http://www.boeing.com/commercial/cmo/pdf/Boeing_Current_Market_Outlook_2011_to_20)

[30.pdf](#) abgerufen am 02.07.2011

Illustration 5 : *Air Transport MRO Outlook : Implications Of High Fuel Prices*, AeroStrategy  
Internet URL: [http://www.aerostrategy.com/downloads/speeches/speech\\_100.pdf](http://www.aerostrategy.com/downloads/speeches/speech_100.pdf),  
abgerufen am 09.07.2011

Illustration 6 : *Lufthansa Annual Report 2009 – Markets and Competition*, Lufthansa AG,  
Internet URL:  
<http://reports.lufthansa.com/2008/ar/groupmanagementreport/businesssegmentperformance/mro/businessandstrategy.html>, abgerufen am 28.06.2011

Illustration 7 : Eigene Darstellung basierend auf: Datenbank ACAS, AirCraft Analytical System, Internet URL: <http://www.flightglobal.com/staticpages/acas.html> abgerufen am 26.07.2011

Illustration 8 : Eigene Darstellung auf Grundlage interner Daten von HAM WG14/P

Illustration 9 : Eigene Darstellung, Kompressor aus SENIOR OPERATIONS LLC (2008):  
*Potable Water System Compressor Assembly / Component Maintenance Manual with Illustrated Parts List Revision No. 7*, Sharon, Massachusetts, USA

Illustration 10 : WOODSEN, Wesley; TILLMAN, Barry; TILLMANN, Peggy (1992): *Human Factors Design Handbook: Information and Guidelines for the Design of Systems, Facilities, Equipment , and Products for Human Use*. New York: McGraw-Hill Inc.

Illustration 11 : Eigene Darstellung

Illustration 12 : Eigene Darstellung

Illustration 13 : Eigene Darstellung

## **Anhang**

## **Anhang A**

ANHANG A - Schätzung der Kosten

Testequipment 28823-7						
Description	Specifications	CMM Vendor	My Suggestion	COMMENT	LINK	Price
Pressure Source	0 to 50 psig			Hausnetz, "Filtered Shop Air", TUBING kostet	werden nur bis ca. 25 psi benötigt, laut CMM	200,00 \$
Pressure Gage	0 to 60 psig in 0.2 steps		see link.	1/4" NPT MALE	<a href="http://www.mcmaster.com/#atmospheric-pressure-gauges/=cknhun">http://www.mcmaster.com/#atmospheric-pressure-gauges/=cknhun</a>	300,00 \$
Vacuum Gage 1	0 to 101 kPa		" Vacuum Gauge 3935K52	±2% // 1/8" NPT MALE	<a href="http://www.mcmaster.com/#vacuum-gauges/=cka99c">http://www.mcmaster.com/#vacuum-gauges/=cka99c</a>	12,00 \$
Vacuum Gage 2	101 to 0.00013 kPa		Digital Vacuum Gauge - TPI® 605	geht aber nur von von 0.015 bis 12 torr	<a href="http://www.testproductsintl.com/products/manometers/index.htm">http://www.testproductsintl.com/products/manometers/index.htm</a>	110,00 \$
Air Tank	300 cubic inch		304980	2 gallons	<a href="http://www.pneumaticdepot.com/products.php?category=Horizontal+Air+Receivers+1-30+Gallons&amp;type=MT1">http://www.pneumaticdepot.com/products.php?category=Horizontal Air Receivers 1-30 Gallons&amp;type=MT1</a>	185,00 \$
Throttle Valve (Ball)	9.5mm minimum size		easy set needle valves	3/8" NPT FEMALE	<a href="http://www.mcmaster.com/#flow-control-needle-valves/=cnqwrf">http://www.mcmaster.com/#flow-control-needle-valves/=cnqwrf</a>	50,00 \$
Air Valve (Pressure Relief)	0 to 50 psig		Preciscion adjustable Valve 4703K544	1/2" NPT MALE UND FEMALE	<a href="http://www.mcmaster.com/#adjustable-pressure-relief-valves/=ck9bgb">http://www.mcmaster.com/#adjustable-pressure-relief-valves/=ck9bgb</a>	114,00 \$

ANHANG A - Schätzung der Kosten

Flowmeter	0 to 6 scfm		PANEL MOUNT FLOWMETER 0.8-8.2 standard cubic feet/minute ±3% internal female npt 1/4" and external m npt 1/2" 41945K44	we could also skip the throttle valve and buy a flowmeter with control valve	<a href="http://www.mcmaster.com/#flow-rate-meters/=ck9qc3">http://www.mcmaster.com/#flow-rate-meters/=ck9qc3</a>	65,00 \$
Pressure Gauge Air	0 to 200 psig		see link.	1/2" NPT MALE	<a href="http://www.mcmaster.com/#atmospheric-pressure-gauges/=cknfhb">http://www.mcmaster.com/#atmospheric-pressure-gauges/=cknfhb</a>	200,00 \$
Ammeter	10 amps full scale, 3 phase, 400hz				<a href="http://www.dhgate.com/three-phase-current-meter-3-phase-ammeter/r-ff8080812b29849a012b521a535f07ce.html">http://www.dhgate.com/three-phase-current-meter-3-phase-ammeter/r-ff8080812b29849a012b521a535f07ce.html</a>	80,00 \$
Voltmeter	0 to 300 VAC full scale				<a href="http://www.dhgate.com/three-phase-ac-voltmeter-combined-meter-96/r-ff8080812c070aae012c44a43ada7c5b.html?gl=1&amp;catalogid=041003001&amp;keyword=three%20phase%20voltmeter">http://www.dhgate.com/three-phase-ac-voltmeter-combined-meter-96/r-ff8080812c070aae012c44a43ada7c5b.html?gl=1&amp;catalogid=041003001&amp;keyword=three%20phase%20voltmeter</a>	150,00 \$
Vacuum Pump	5.6 cfm, 1x10 <sup>-4</sup> torr ultimate vacuum or equiv		WELCH Duoseal 1402B-01	sollte hier in den USA bezogen werden	<a href="http://www.welchvacuum.com/products/welch/welch_vacuum_products/laboratory/belt-drive_high/small.jsp">http://www.welchvacuum.com/products/welch/welch_vacuum_products/laboratory/belt-drive_high/small.jsp</a>	2.725,00 \$
Check Valve	P14-690 , 3000 psi	V1CX12			aus der Bastelstube zu entnehmen	0,00 \$
Air Filter	7510742, 1500 psi	V3K334			bei OEM beziehen	2.700,00 \$

ANHANG A - Schätzung der Kosten

Filter Element	63475-04	V3K334			bei OEM beziehen	140,00 \$
Hipot Tester	Model 414	V04237		Hipotronics, im Hydraulik Raum		0,00 \$
Megohmmeter	Model 1862 or 1863	V24655		Steht bereits im Pneumatik Bereich		0,00 \$
Power Supply	400 Hz 3 Phase		vorzugsweise bei ELGAR bestellen	sollte hier in den USA bezogen werden	see quote ELGAR	10.150,00 \$
SIGMA						<b>17.181 \$</b>

Die Summe der Komponenten beträgt 17181 USD. Für den Zusammenbau werden weitere 9000 USD angenommen, womit wir grob auf einen Wert von 26.000 USD für den Teststand kommen.

## **Anhang B**

## Economic appraisal: Projects & Investments

Enter Title

Interest rate (WACC): 6,7%

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Total
<b>figures in US-\$</b>							
<b>Preparation / acquisition period: Fund consumption</b> If investment in fixed assets are to be done, please enter asset life in year:							
• cash effective investments in fixed assets 1 (*)	26.000						26.000
• cash effective investments in fixed assets 2 (*)							
• cash effective investments in current assets, net							
• cash effective external costs (consumption of resources)							
• internal costs (consumption of resources)							
<b>Total Fund consumption within the preparation/acquisition phase</b>	<b>26.000</b>						<b>26.000</b>
<b>Service period: inflow and savings of resources</b>							
• cash in (e.g. EBIT)							
• cash out / avoided payments - depreciation							
• residual value of current assets, net		235.166	256.546	277.924	299.303	320.682	1.389.620
• residual value of fixed assets 1 Disposal proceeds							
• residual value of fixed assets 2 (**)						13.000	13.000
<b>Total inflow and savings within the service phase</b>		<b>235.166</b>	<b>256.546</b>	<b>277.924</b>	<b>299.303</b>	<b>333.682</b>	<b>1.402.620</b>
<b>Service period: consumption of resources</b>							
• cash effective external costs (consumption of resources)							
• internal costs (consumption of resources)							
<b>Total consumption of resources within the service period</b>		<b>195.972</b>	<b>213.788</b>	<b>231.603</b>	<b>249.419</b>	<b>267.235</b>	<b>1.158.017</b>
<b>Total project results during the service period</b>		<b>39.194</b>	<b>42.758</b>	<b>46.321</b>	<b>49.884</b>	<b>66.447</b>	<b>244.603</b>
<b>Cash movements within preparation and service period</b>	<b>(26.000)</b>	<b>39.194</b>	<b>42.758</b>	<b>46.321</b>	<b>49.884</b>	<b>66.447</b>	<b>218.603</b>
Net present value of the cash flow	(26.000)	36.733	37.556	38.131	38.486	48.046	
<b>cumulative net present value of the project</b>	<b>(26.000)</b>	<b>10.733</b>	<b>48.290</b>	<b>86.421</b>	<b>124.907</b>	<b>172.952</b>	<b>172.952</b>
discount factor	1,0000	0,9372	0,8784	0,8232	0,7715	0,7231	
net present value of the preparation and acquisition period	26.000	26.000	26.000	26.000	26.000	26.000	26.000
<b>cumulative net present value within the preparation and acquisition period</b>	<b>26.000</b>	<b>26.000</b>	<b>26.000</b>	<b>26.000</b>	<b>26.000</b>	<b>26.000</b>	<b>26.000</b>
accumulation factor	1,3830	1,2962	1,2148	1,1385	1,0670	1,0000	
final result of cash flow within the service period	50.802	50.802	51.941	52.735	53.226	66.447	275.151
<b>cumulative result of cash flow</b>	<b>50.802</b>	<b>102.743</b>	<b>155.478</b>	<b>208.704</b>	<b>275.151</b>	<b>275.151</b>	<b>275.151</b>
<b>Qualified internal return of capital</b>	<b>60,3%</b>	<b>required minimum return on capital = WACC + CVA + Tax =</b>					<b>11,3%</b>

(\*) Asset life are to be entered in year (row 9, column E bzw. row 10, column E) . Fixed assets with difference asset life are to be differed under fixed assets 1 and fixed assets 2

(\*\*) residual value is to be entered in year 5

## **Anhang C**

# **REQUIREMENTS SPECIFICATION**

## **OF A POTABLE WATER SYSTEM**

### **COMPRESSOR TEST BENCH**

Johann Bauer  
Hawker Pacific Aerospace  
Sun Valley / California  
United States of America

**Table of Contents**

Table of Contents ..... 2

**1. GENERAL** ..... 3

**2. DESCRIPTION** ..... 3

**3. CONCEPT** ..... 4

**3.1 OPERATION** ..... 4

**3.2 TESTS REQUIREMENTS** ..... 4

**3.3 ELECTRICAL REQUIREMENTS** ..... 5

**3.4 REQUIREMENTS GAUGES** ..... 6

**3.5 REQUIREMENTS VACUUM PUMP** ..... 7

**3.6 REQUIREMENTS TO SIMULATE A/C CONDITIONS** ..... 7

**4. DESIGN** ..... 8

**4.1 EMERGENCY SHUTDOWN** ..... 8

**4.2 ERGONOMIC ASPECTS** ..... 8

**4.3 SUPPLY** ..... 9

**5. ASSEMBLY** ..... 9

**6. INDEX OF MANUFACTURERS** ..... 9

**7. REPLACEMENT PARTS** ..... 9

**8. MAINTENANCE** ..... 9

**9. DOCUMENTATION** ..... 9

**10. SITE ACCEPTANCE TEST** ..... 10

**11. GUARANTEE** ..... 10

**12. DELIVERY PERIOD** ..... 10

**13. TRANSPORT AND TRANSPORT INSURANCE** ..... 10

**14. DEVIATION TO THIS SPECIFICATION** ..... 10

## 1. GENERAL

This requirements specification represents the basic requirements for a potable water system compressor test bench and will be contractual part of a possible purchase order.

The supplier is asked:

- To deliver a description of the unit with the main features and performance data based on this specification
- To guarantee the fulfillment of all given requirements
- To give a quotation at a fixed price

The customer, following shorted by HPA is:

Hawker Pacific Aerospace  
11240 Sherman Way  
Sun Valley, CA 91352-4942 USA

## 2. DESCRIPTION

The potable water system compressor made by Senior Operations LLC with P/N 28823-7 provides the air for pressurizing the potable water system used in aircraft. "The assembly consists of an electric drive motor, two driver assemblies, two bellows, and inlet and outlets valves that function as double piston air compressor unit.

The electric motor driven compressor assembly is a double bellows reciprocating pump that can supply a minimum of 2 scfm of clean compressed air at up to 37 psig to the water supply tanks. The compressor assembly motor is actuated automatically from a remotely located an preset pressure switch. The two bellows type pumping heads are connected in series, enabling the unit to operate as a two stage bellows compressor. The driver cams translate motor rotary motion to the reciprocating motion of the pumping bellows. Valves at the bellows end of each driver assembly have spring steel, cantilevered reeds, installed on opposite sides of a common seat to provide inlet and outlet valving. Teflon gaskets seal inlet and outlet sections.

The test bench allows to test all functions and performance of the potable water system compressor and to check its leakage. It should be a stand alone unit for one working man and contain all units to operate, test and measure the unit and its performance."<sup>1</sup>

### 3. CONCEPT

#### 3.1 OPERATION

The test stand is a stand-alone stand and should be operated autonomously. In general, the test stand should carry all necessary test equipment, controls, measuring devices and space for the test unit.

The equipment area should be in a lower part of the test stand and not in the optical range of the testing person. It includes an air tank and filters to simulate aircraft conditions, a vacuum pump to evacuate the compressor and three phase 400 Hz power supply.

The measuring devices should be positioned in the optical range of the tester and contain vacuum and pressure devices, as well as electrical gauges.

The test console should contain all levers and handles to control the flow and power.

There is no computer / automation intended. The tester must do adjustments for every test step according to the CMM / WorkshopTestInstruction.

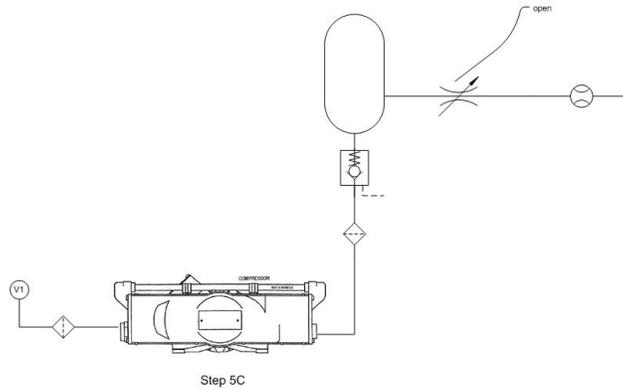
#### 3.2 TESTS REQUIREMENTS

The test stand must allow to process all tests required by the CMM. 28823-7 Important test configurations and tests are following:

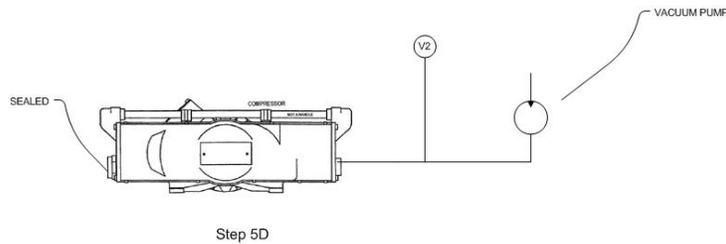
**Vacuum Test:** Operate the compressor and measure the strength of it indicated by the vacuum shown on gauge V1.

---

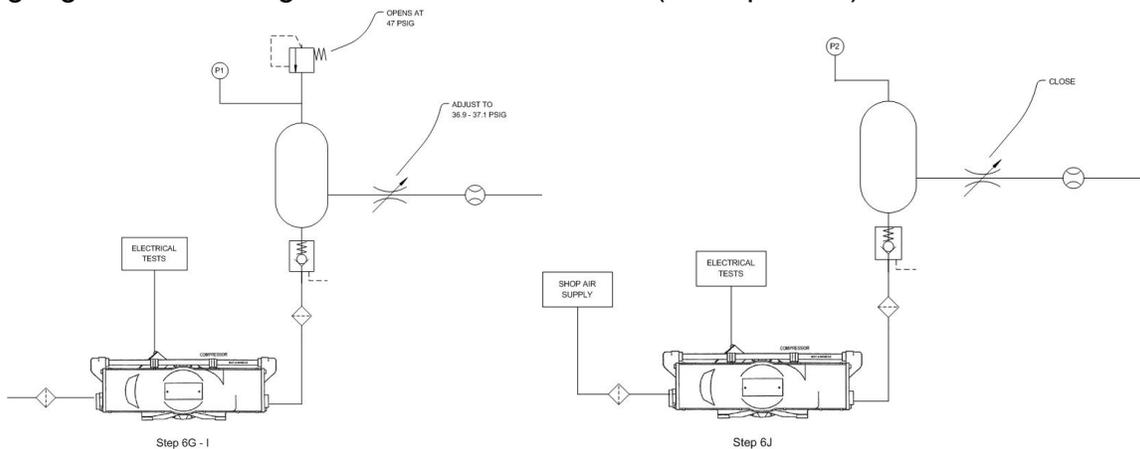
<sup>1</sup> Source: SENIOR OPERATIONS LLC (2008): *Potable Water System Compressor Assembly / Component Maintenance Manual with Illustrated Parts List Revision No. 7*, Sharon, Massachusetts, USA



**Leakage Test:** The leakage of the compressor / compressor housing is detected through the maximum vacuum achieved by a specified vacuum pump attached to the outlet.



**Operational Test Procedure:** This test procedure covers a variation of test. In general an air tank simulates the water tank of the aircraft. A throttle valve allows adjusting or closing the outflow. A relief valve secures the operation. Electrical gauges allow seeing fluctuation of the current (three phases).



### 3.3 ELECTRICAL REQUIREMENTS

The test bench must contain a power converter, to provide three phase power with variable frequency, voltage and current (for AC). Minimum requirements:

AC power supply:

- 3 phase
- Minimum up to 400 Hz
- Voltage: 115 Volt per phase
- Current: 3 Amps per phase

In order to avoid a breakdown of the system due to an high inrush current of the motor of the potable water system compressor, a soft starter should be integrated.

Preferable vendor of the power supply is *ELGAR*. In consultation with HPA, the power converter can be purchased by HPA.

### 3.4 REQUIREMENTS GAUGES

As seen in the pneumatic sketches, the test stand contains various gauges:

#### Pressure transducers

The CMM calls out for two pressure gages, to measure the pressure in the tank:

Description	Range / PN / Info	Accuracy
P1	0 to 60 psig; 0,2 psi increments	
P2	0 to 200 psig	

#### Vacuum transducer

The CMM calls out for two vacuum gages:

Description	Range / PN / Info	Accuracy
V1	0 to 101 kPa	
V2	0.00013 to 101 kPa	

#### Electrical gauges

To monitor the current and the voltage, ammeter and voltmeter are required:

Description	Range / PN / Info	Accuracy
Ammeter	3 Phase Ammeter 10 amps full scale, 400hz (Should display all three phases at the same time)	
Voltmeter	3 Phase Voltmeter 0 to 300 VAC full scale	

### Miscellaneous pneumatic devices

To monitor the outflow of the tank, a flow meter should be installed. Furthermore an adjustable pressure relief valve should limit the pressure in the air tank.

Description	Range / PN / Info	Accuracy
Pressure relief valve	0 to 50 psi adjustable	
Flowmeter	0 to 6 scfm	

### 3.5 REQUIREMENTS VACUUM PUMP

To evacuate the compressor, a vacuum pump is needed and should exactly meet those specifications:

- Flow of 5.6 cfm
- $10^{-4}$  Torr ultimate vacuum

Preferable vacuum pump is *WELCH Duoseal 1402B-01*. In consultation with HPA, the vacuum pump can be purchased by HPA.

### 3.6 REQUIREMENTS TO SIMULATE A/C CONDITIONS

The environment of the compressor should be simulated through different devices, to simulate a good test condition. An air tank simulates the potable water tank of an aircraft, connected to a throttle valve to adjust the pressure in the tank. Furthermore, filter elements should clean the air according to aircraft conditions, as well as prevent damage to the compressor.

Description	Range / PN / Info	Preferred Vendor
-------------	-------------------	------------------

Air Tank	Min. 300 cubic inch	
Air Filter	7510742	PTI Technologies
Filter Element	7585797	PTI Technologies
Check Valve	Safe up to 3000 psi	
Throttle Valve	Min. 9.5 mm / must be of good precision to adjust pressure ranges at 37 ±0,1 psi	

## 4. DESIGN

### 4.1 EMERGENCY SHUTDOWN

#### Emergency Shutdown

For the case of malfunction of the unit or the test bench or any other, an emergency shutdown should prevent further damages. The emergency shutdown should especially:

- stop the vacuum pump,
- the electric power supply as well as
- the supplied air pressure.

The button should be reached in any working position and should be overall visible.

### 4.2 ERGONOMIC ASPECTS

The test bench should be comfortable to use for mechanics with several heights. The general working position should be standing. The working should be intuitively to use, e.g.:

- directions of pulling should be the same as flow directions
- couplings which should not be removed in a test cycle, should be quite hard to remove
- couplings which need to be removed often during a test cycle, should be easy to remove

Those design aspects should prevent misuse of the test stand.

### **4.3 SUPPLY**

The test stand can be supplied by 50/60 Hz, 3 phase 208 Volt power. Furthermore shop pressure air is supplied with a maximum of 90 psi.

### **5. ASSEMBLY**

Setting up of the test stand is done by the contractor. The contractor is also responsible for the on time delivery of the test stand to HPA. An initial training has to be given.

### **6. INDEX OF MANUFACTURERS**

All used material and component manufacturers chosen by the contractor are to be stated in a manufacturer list. HPA reserves the right to choose between or reject certain manufacturers.

Standard parts should be used where possible

### **7. REPLACEMENT PARTS**

The vendor provides HPA with all replacement parts needed during the guarantee period. A list of recommended replacement parts is implemented in the documentation.

### **8. MAINTENANCE**

Maintenance and replacement of components of the test stand should be easily performable and not time-consuming. This has to be considered for the test stand design.

Easy maintenance refers to a good accessibility. That includes the vacuum pump, the air tank and the power supply.

### **9. DOCUMENTATION**

The documentation should consist of one hardcopy for each document as listed below. In addition, the scope of delivery includes one digital copy for the entire documentation.

Document type:

- Instructional manual
- Maintenance / repair instruction
- Manuals for sub parts

- Calibration instruction and certificates
- Bill of material
- Standard parts list
- Troubleshooting manual
- Subcontractor / supplier data or manuals
- Component certificates
- Drawings of parts and assemblies
- Wiring diagram
- 

This documentation has to be delivered with the test stand.

## **10. SITE ACCEPTANCE TEST**

In advance to the delivery date the vendor has to arrange a date for the site acceptance test of the test stand. The final acceptance will be on-site at HPA. It consists of:

- Testing of all functions
- Safety tests
- Entry into service

The test stand should comply with all norms and safety regulations valid in the United States of America.

## **11. GUARANTEE**

The test stand shall include vendor guarantee. It provides HPA with:

- 24 h service
- Troubleshooting
- On site service

## **12. DELIVERY PERIOD**

The delivery time has to be arranged with HPA when the order is placed.

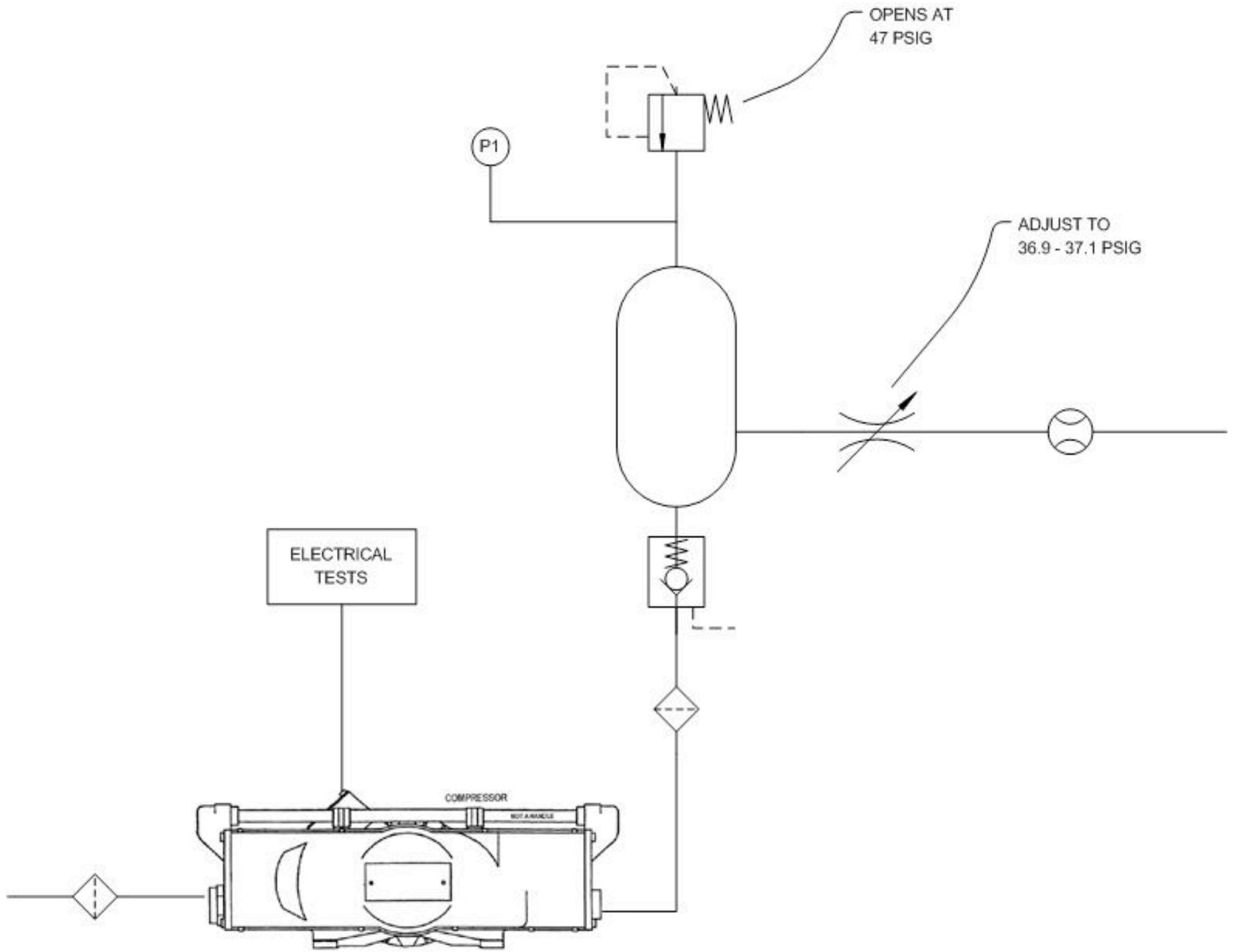
## **13. TRANSPORT AND TRANSPORT INSURANCE**

The contractor is responsible for the transport of all materials and parts to HPA. Costs for packaging and transport including taxes are paid by the contractor.

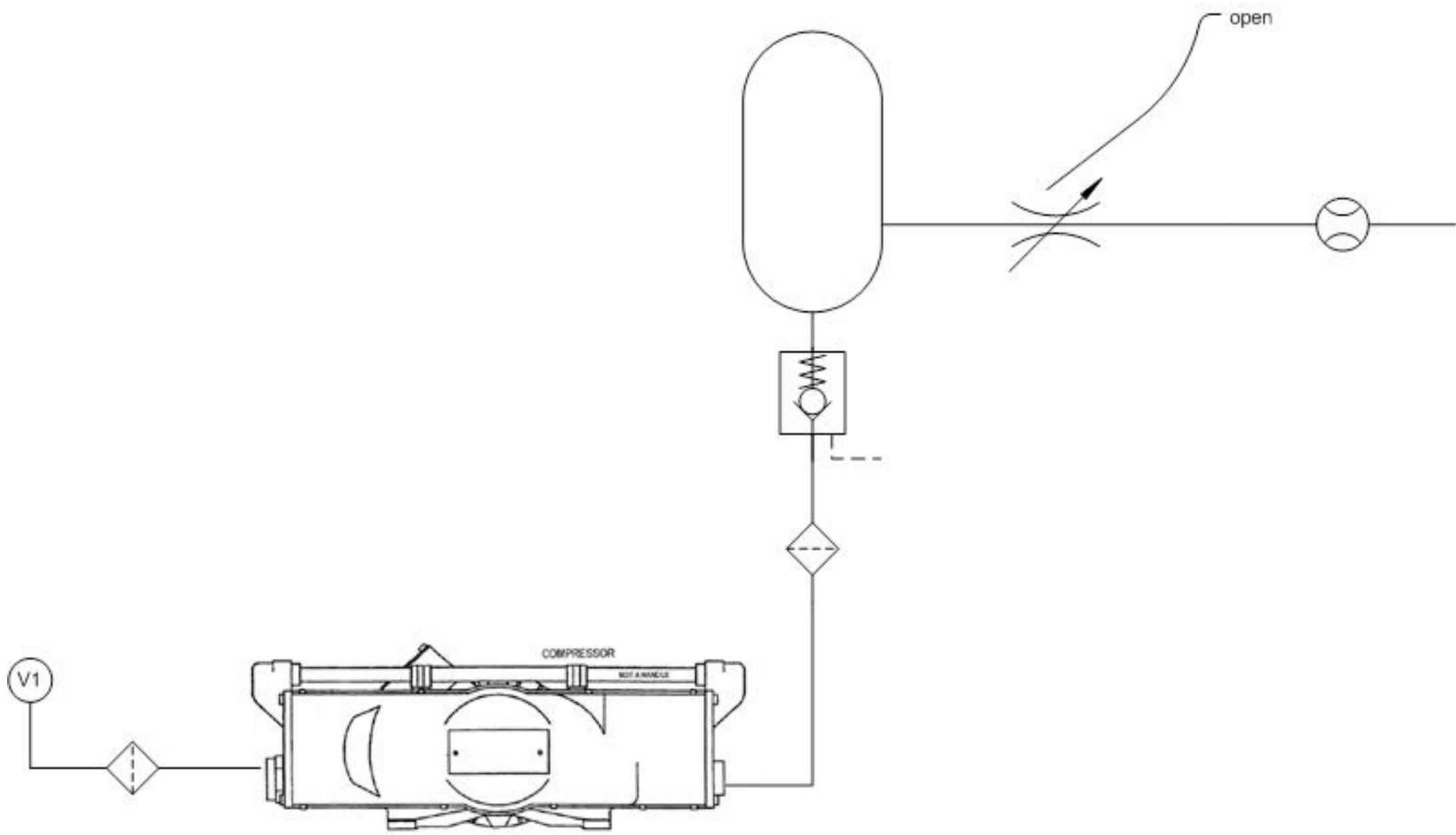
## **14. DEVIATION TO THIS SPECIFICATION**

All deviations from terms of this specification have to be explicitly approved by HPA in written form.

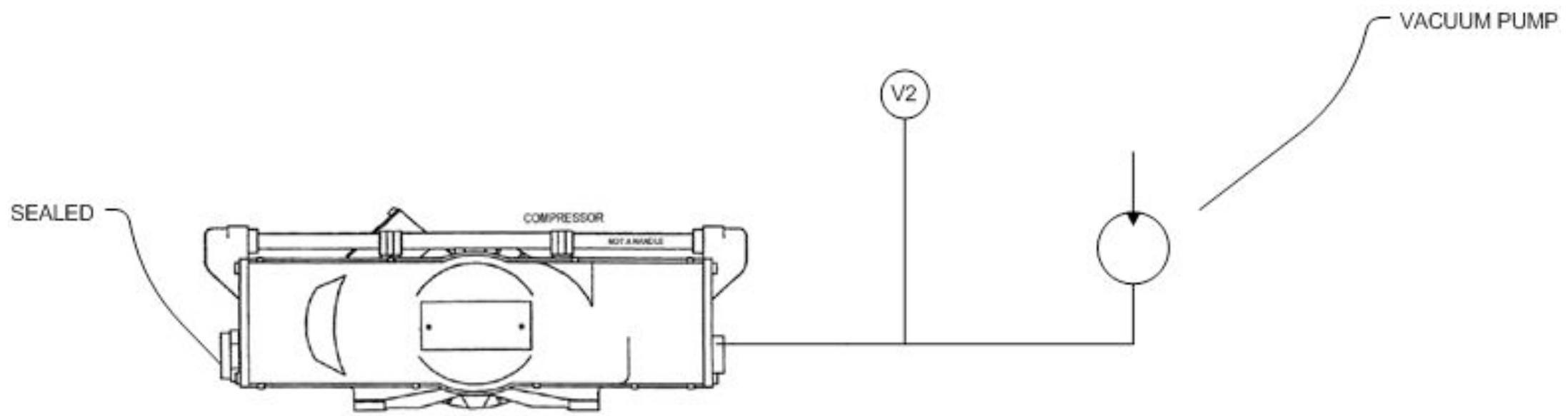
## **Anhang D**



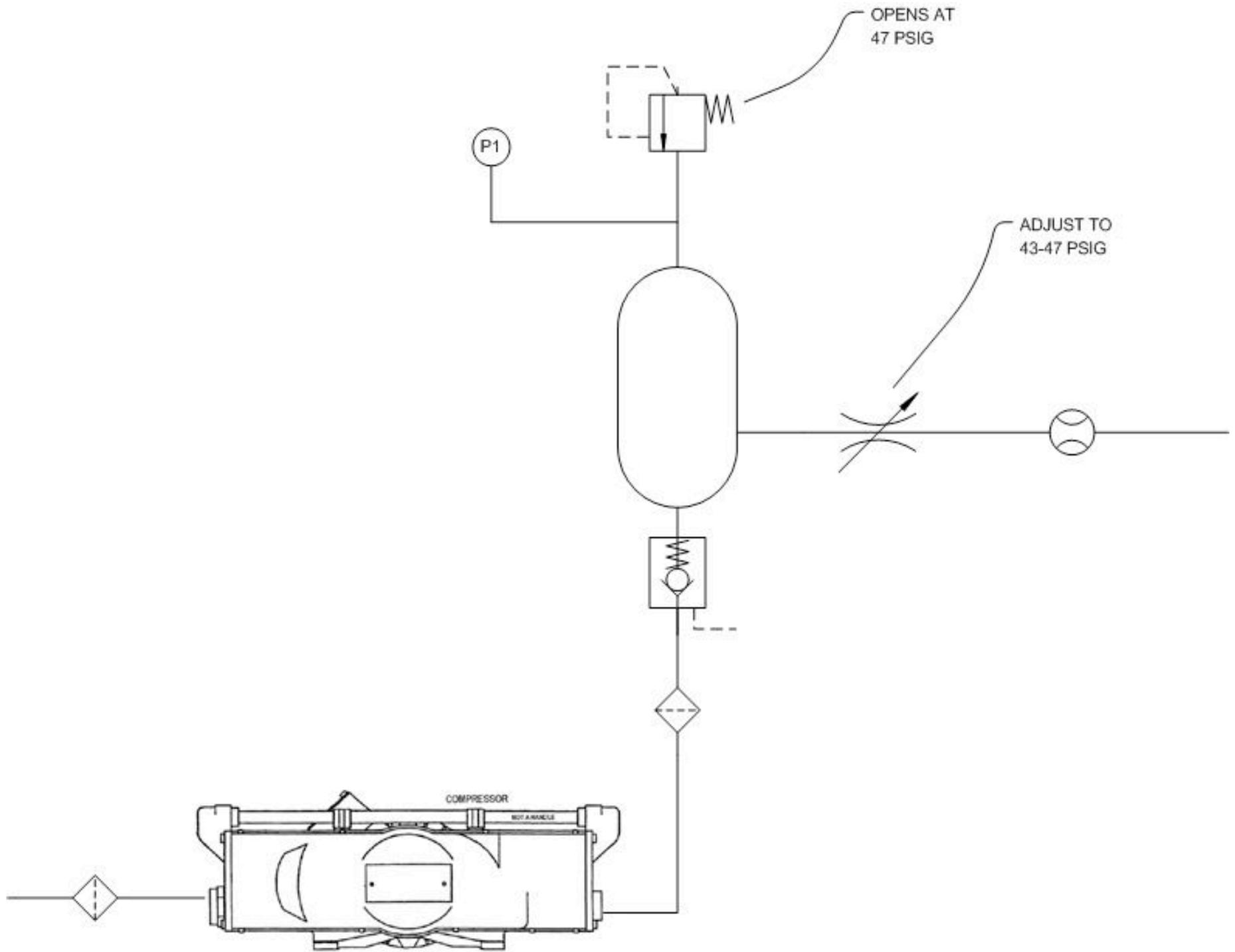
Step 6G - I



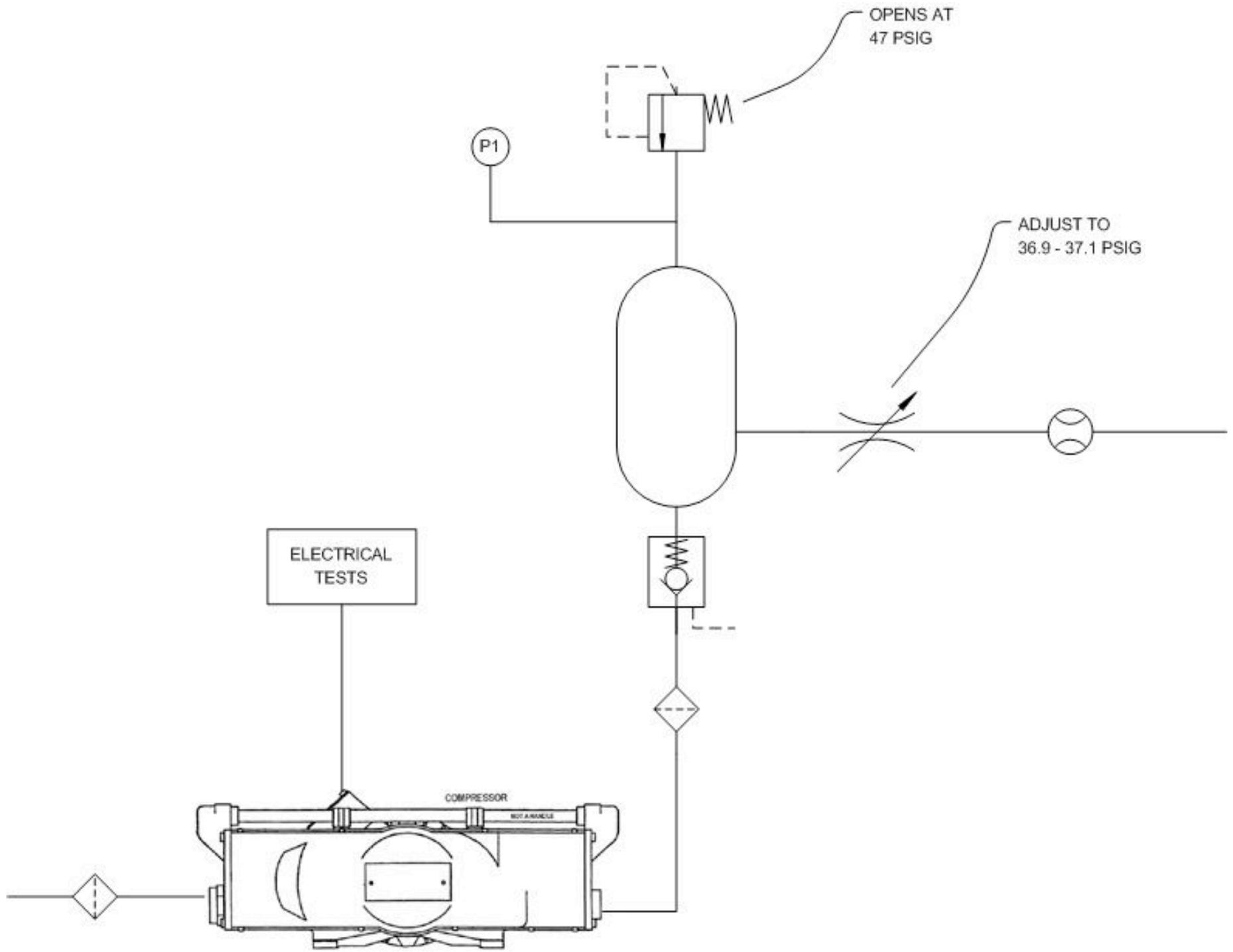
Step 5C



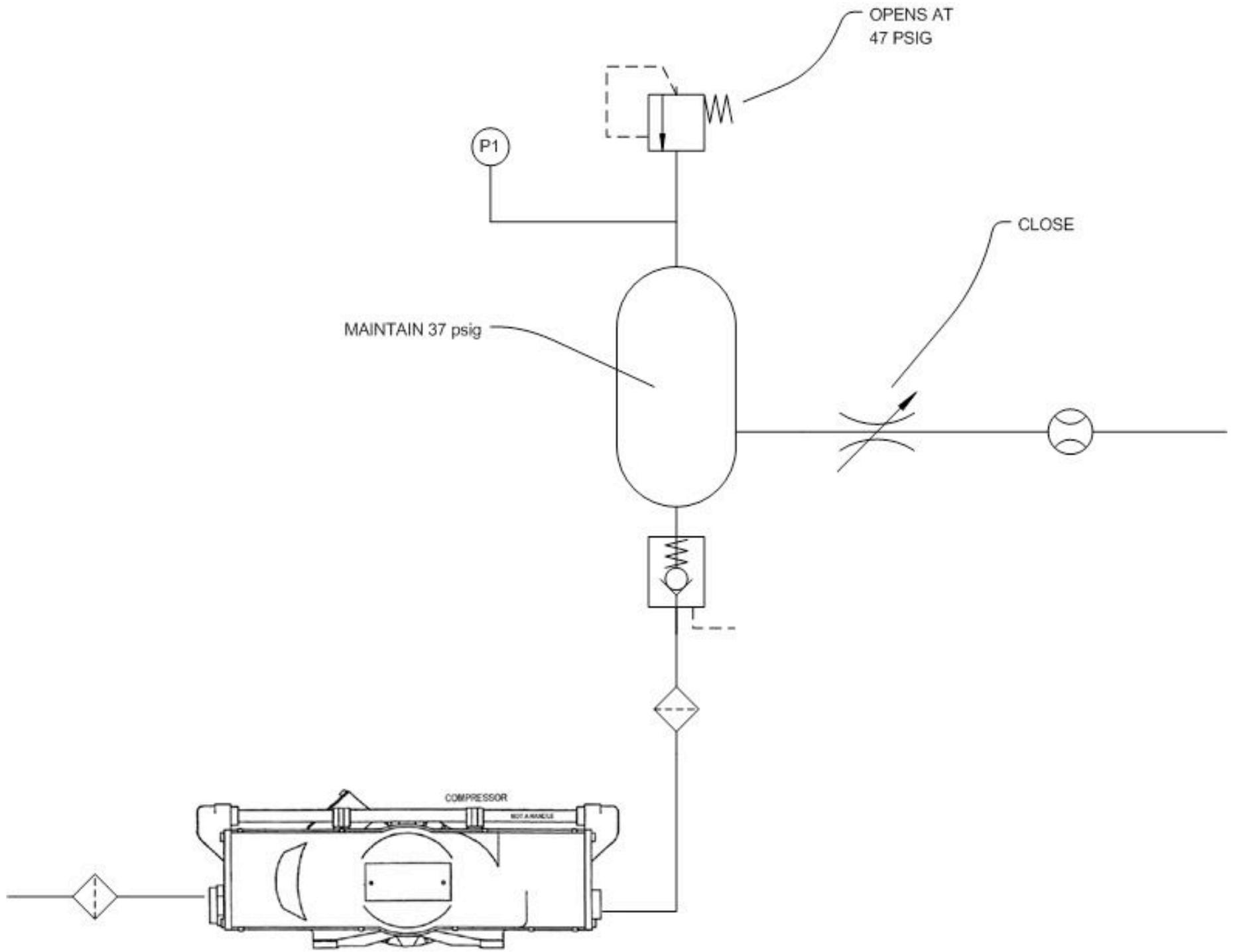
Step 5D



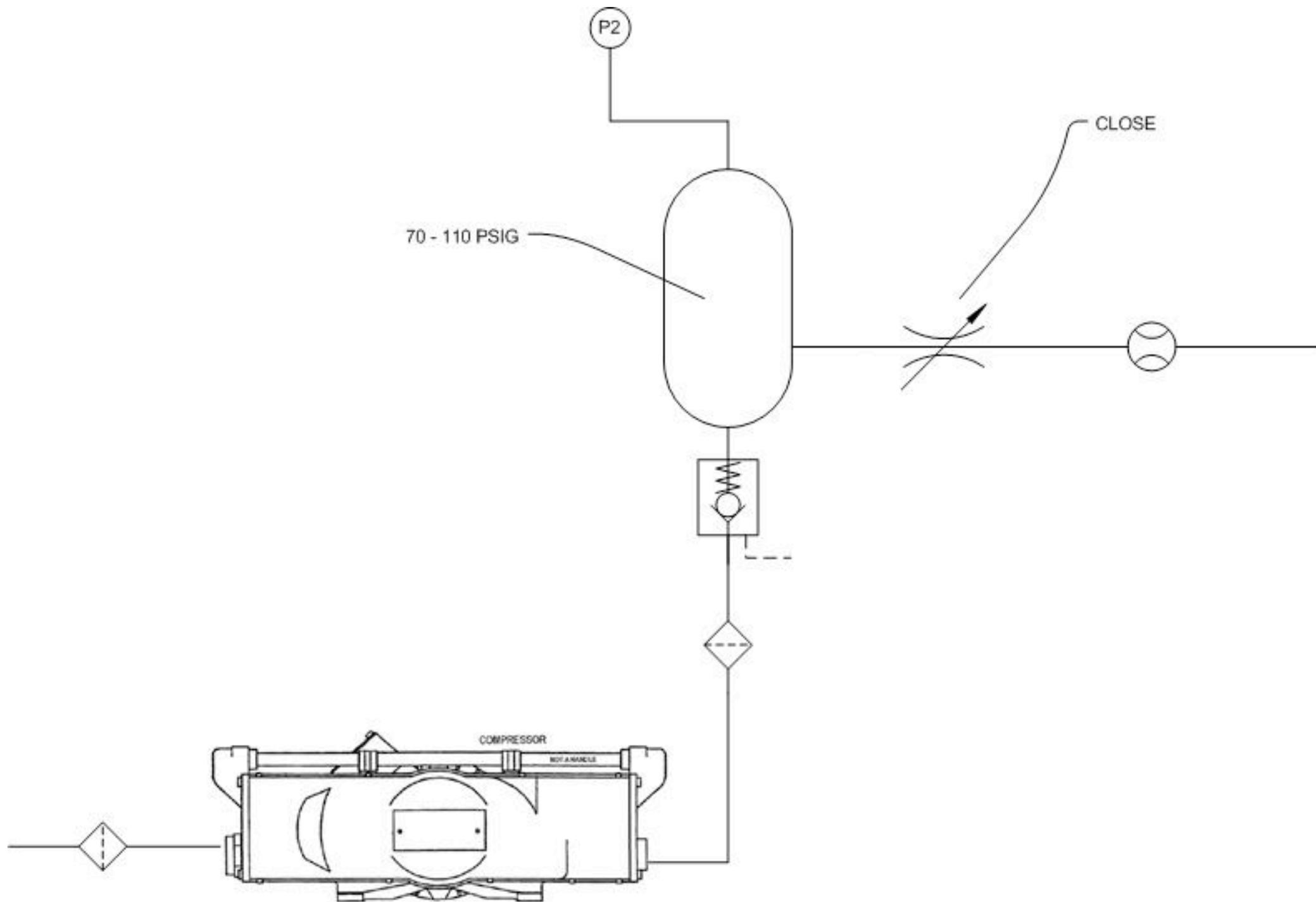
Step 6G - I



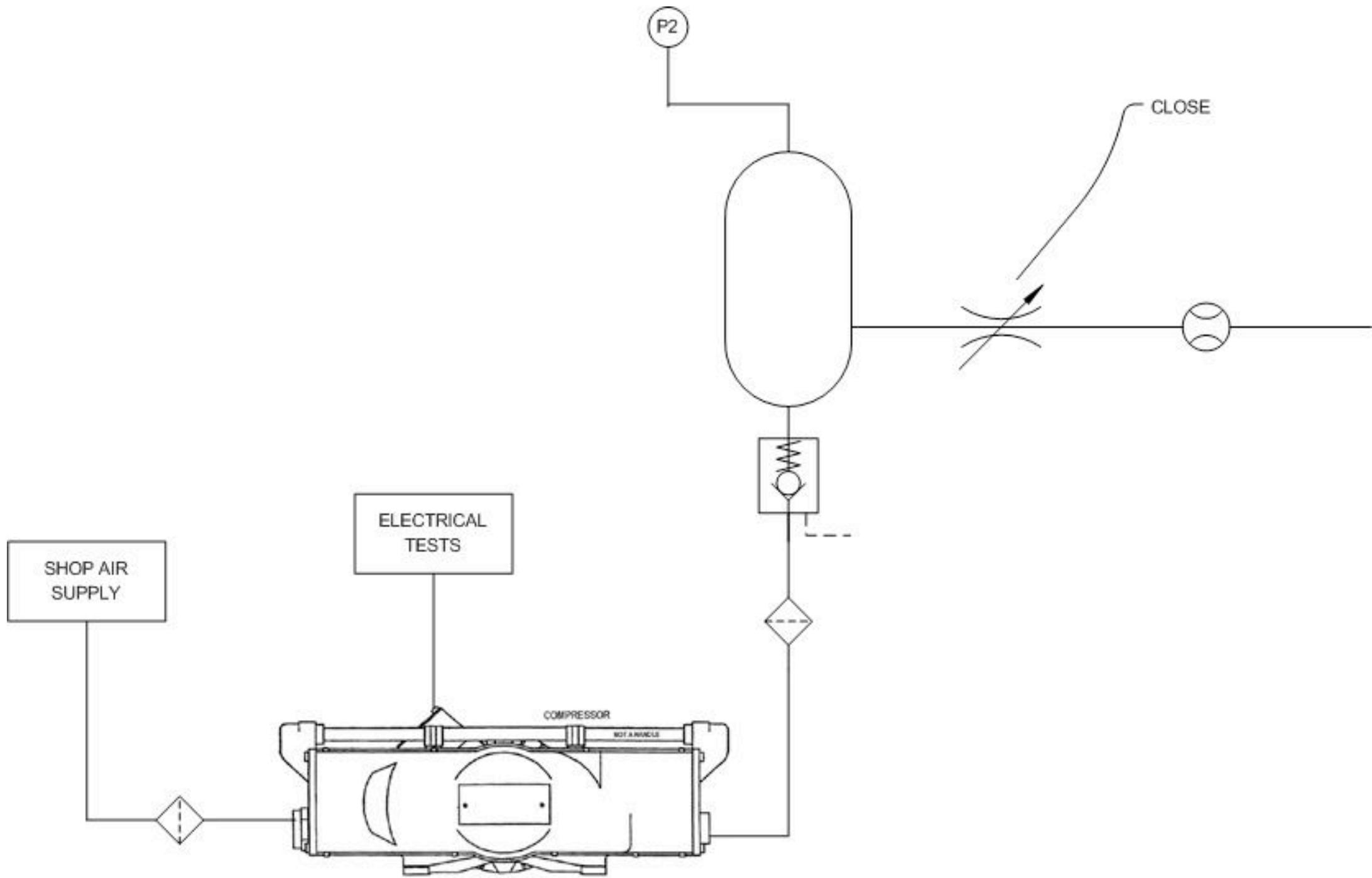
Step 6G - I



Step 6J



Step 6K



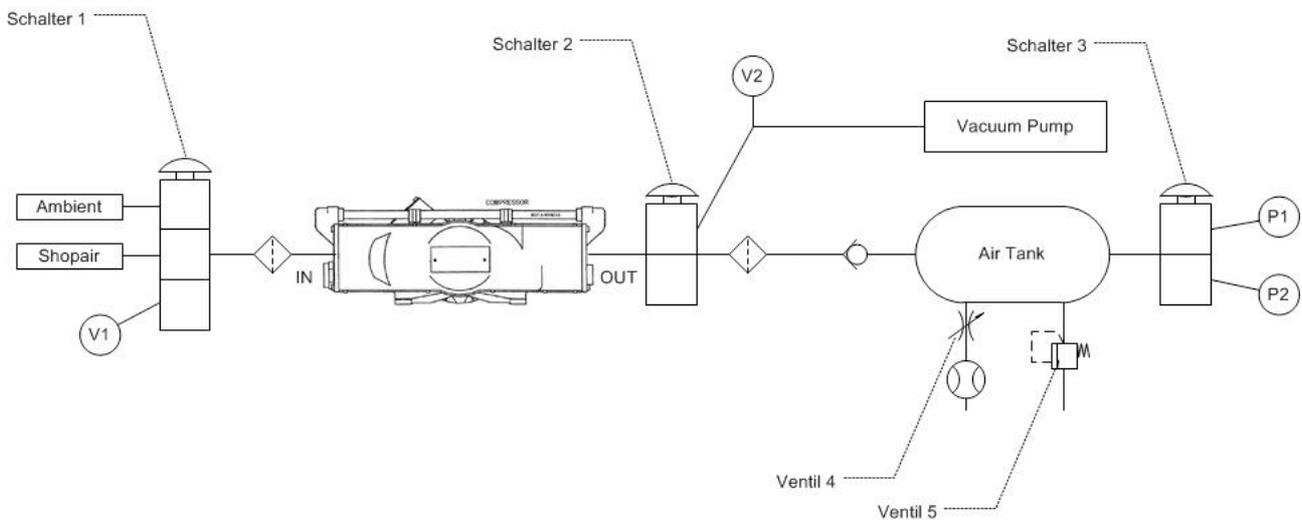
Step 6J

## **Anhang E**

P/N (all valid P/N's see CMDS) 28823-7 / -9 / -10 / -14 / -18		Component Potable Water System Compressor		Page 1
Document / ATA 38-15-12	FSCM / MFR Senior Operations LLC	Editor J. Bauer	Phone N/A	Date 08/20/2011

## HPA8034 Potable Water System Compressor Teststand

### Build Up:



### 1) Motor Insulation Test (only after electric motor repairs)

- Measure insulation 5 minutes before, and after dielectric strength test
- Measure between: Field winding >< Motor housing
- Test voltage: 500 ± 50 V DC

→ Insulation min. 50 MΩ

### 2) Dielectric Strength Test (only after electric motor repairs)

- Measure between: Field winding >< Motor housing
- Test Voltage: 1500 V RMS, 60 HZ
- Test time: 1 min

→ no arc over

# Workshop / Test Instruction

P/N (all valid P/N's see CMDS) 28823-7 / -9 / -10 / -14 / -18		Component Potable Water System Compressor		Page 2
Document / ATA 38-15-12	FSCM / MFR Senior Operations LLC	Editor J. Bauer	Phone N/A	Date 08/20/2011

### 3) Compressor Noise Test

Set: Ambient – Unit – Air Tank

Open Ventil 4 and Ventil 5

Run Unit

→ no unusual noises evident

### 4) Vacuum Test

Set: V1 – Unit – Air Tank

Open Ventil 4 and Ventil 5

Run Unit

→ minimum vacuum 12,3 psia

### 4) Leakage Test

Power off motor

Disconnect from power supply

Remove compressor cover

Seal off compressor inlet

Set: SEALED – Unit – Vacuum Pump

Run Vacuum Pump

→ max allowed vacuum level: 0,2 torr

### 5) Operational Test Procedure

*Leakage*

Set: Ambient – Unit – Air Tank – P1 (to 60 psig)

Open Ventil 4 and Ventil 5

Run Unit

Adjust Ventil 4 to obtain 43 to 47 psig

Adjust Ventil 5 to open slightly above 47 psig

Operate the unit for 5 minutes and shut off the motor

Immediately close Ventil 4 and listen for air leaks

→ no leaks allowed, tighten as necessary

# Workshop / Test Instruction



P/N (all valid P/N's see CMDS) 28823-7 / -9 / -10 / -14 / -18		Component Potable Water System Compressor	Page 3
Document / ATA 38-15-12	FSCM / MFR Senior Operations LLC	Editor J. Bauer	Phone N/A
			Date 08/20/2011

## Steady current and minimum flow

Adjust Ventil 4 to obtain 36.9 to 37.1 psig  
Let air flow stabilize for one minute

→ the voltage should be 110 to 120 V per phase
→ current per phase should no exceed 3.5 Amps
→ less than 10% variation of the average current between three phase
→ minimum air flow should be 2 scfm

### CHECKMARK

1	Amps	<	3.5					
+	2	Amps	< 3.5					
+	3	Amps	< 3.5					
<table style="margin: 0 auto;"> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px 10px;">SUM</td> <td style="padding: 0 5px;">:</td> <td style="padding: 0 5px;">30</td> <td style="padding: 0 5px;">=</td> <td style="border: 1px solid black; width: 50px; height: 20px;"></td> </tr> </table>				SUM	:	30	=	
SUM	:	30	=					
1	-	2	=		<			
1	-	3	=		<			
2	-	3	=		<			

## Reenergize test

deenergize unit and close Ventil 4 to obtain 37 psig  
restart completely stopped unit

→ unit must restart within 5 seconds
--------------------------------------

# Workshop / Test Instruction



P/N (all valid P/N's see CMDS) 28823-7 / -9 / -10 / -14 / -18		Component Potable Water System Compressor		Page 4
Document / ATA 38-15-12	FSCM / MFR Senior Operations LLC	Editor J. Bauer	Phone N/A	Date 08/20/2011

**NOTE: If pressure exceeds 110 psig, immediately shut down unit, open Ventil 4 and check Ventil 5**

### Maximum discharge test

Set: Ambient – Unit – Air Tank – P2 ( up to 200 psig )  
Close Ventil 4 and Ventil 5

### Run Unit

→ discharge pressure between 70 and 110 psig

### Stall Test

Remove filter from compressor Inlet.

Set: Shop Air – Unit – Air Tank – P2  
Shop air supply: 15 to 20 psig

### Run Unit

→ less than 10% variation of the average current between three phase  
→ all three phases of thermal protector are operating

### CHECKMARK

		<input type="text" value="1"/>	Amps		
	+	<input type="text" value="2"/>	Amps		
	+	<input type="text" value="3"/>	Amps		
		<u>SUM</u>	: 30 =	<input type="text"/>	
<input type="text" value="1"/>	-	<input type="text" value="2"/>	=	<input type="text"/>	< <input type="text"/>
<input type="text" value="1"/>	-	<input type="text" value="3"/>	=	<input type="text"/>	< <input type="text"/>
<input type="text" value="2"/>	-	<input type="text" value="3"/>	=	<input type="text"/>	< <input type="text"/>