

# Der Einsatz von Schraubenverdichtern im Instandhaltungsbetrieb einer Luftverkehrsgesellschaft

Dipl.-Ing. **D. Urbanik**, Hamburg

## Zusammenfassung

Die Deutsche Lufthansa AG hat Schraubenverdichter erstmalig im Jahre 1962 in ihrem Prüffeld für pneumatische Flugzeuggeräte in Hamburg eingesetzt. In den Folgejahren wurden zur zentralen Versorgung der Technischen Basis Hamburg mit ausschließlich ölfreier Druckluft weitere Schraubenverdichter installiert.

In diesem Beitrag wird auf die Verschiedenartigkeit der wichtigsten Druckluftverbraucher und die sich daraus ergebende besondere Betriebsweise der Schraubenverdichter eingegangen. Weiterhin wird das Prinzip des Schaltens und der Überwachung der Schraubenverdichter durch ein rechnergesteuertes Leitsystem dargelegt und über einige betriebliche Erfahrungen berichtet.

## 1 Vorbemerkung: Grundzüge der Flugzeuginstandhaltung

Vor dem Hintergrund der zunehmenden Kompliziertheit moderner Verkehrsflugzeuge ist ihre Instandhaltung seit über einem Jahrzehnt in einem tiefgreifenden Wandel begriffen. Er ist gekennzeichnet durch die Anwendung grundlegender Erkenntnisse, die hinsichtlich der Zusammenhänge zwischen Instandhaltung und Betriebssicherheit aus vielen praktischen Erfahrungen und theoretischen Untersuchungen gewonnen wurden. Diese Erkenntnisse haben eine entscheidende Korrektur bestehender Auffassungen bewirkt und als Folge davon zu einer Änderung von Verfahren geführt, die bis dahin üblich waren. So treten an die Stelle der periodischen Überholungen in zunehmenden Maße Instandhaltungsüberwachungsverfahren am einsatzbereiten Gerät. Ausbauten erfolgen danach nicht mehr nach einem festgelegten Zeitschema, sondern bei einer unzulässig hohen

Differenz zwischen den Soll- und Istwerten wichtiger Funktions- und Zustandsparameter. Das gilt besonders für die Komponenten der Flugzeugsysteme und für die Triebwerke.

Dies bedeutet, daß Ausbauten in der Regel zufällig erfolgen; d. h. die Zeitpunkte und die Intervalle zwischen mehreren gleichartigen Ereignissen sind nicht determiniert, sie lassen sich nur statistisch beschreiben.

Daraus folgt, daß im Rahmen der Instandhaltung die Bearbeitungsvorgänge hinsichtlich ihrer Art und ihres Umfanges zwar eindeutig definiert sind; ihr zeitlicher Ablauf in den Werkstätten jedoch unterliegt weitestgehend der Zufälligkeit: im Sinne einer längerfristigen Planung kann er auf der Zeitachse nicht fixiert werden.

Dieses wesentliche Merkmal des Instandhaltungsbetriebes ist wegen seiner Verknüpfungen auch bestimmend für seinen Energiebedarf im allgemeinen und für seinen zeitlichen Druckluftbedarf im besonderen und läßt den grundlegenden Unterschied zu einem Produktionsbetrieb erkennen.

## 2 Allgemeine Druckluftversorgung

### 2.1 Große Druckluftverbraucher und ihre Merkmale

Bei einer Luftverkehrsgesellschaft, die hinsichtlich der Instandhaltung ihrer Flugzeuge autonom ist, d. h. alle Stufen und Arten der Instandhaltung selbst durchführt, wird in zunehmenden Maße Druckluft benötigt, die ölfrei und trocken ist.

Um zu verdeutlichen, wie verschiedenartig die Verbraucher sind und wie unterschiedlich ihre Betriebsweise ist, die den Druckluftbedarf insgesamt bestimmen, seien nachfolgend die wichtigsten von ihnen aufgeführt und die Vorgänge kurz erläutert, die sie kennzeichnen.

#### 2.1.1 Druckluftwerkzeuge

Aus Gründen der Sicherheit werden verschiedene Arbeiten an den Flugzeugen - wie das Nieten, Schleifen und Polieren - ausschließlich mit pneumatisch angetriebenen Werkzeugen ausgeführt.

Um zu vermeiden, daß bei derartigen Arbeiten die Flugzeuoberfläche durch Ölnebel verunreinigt wird, die bei einem druckseitigen Zusatz von Schmieröl mit der expandierten Druckluft austreten würden, wird auf jegliche Schmierung verzichtet.

### 2.1.2 Kabinendruckprobe

Um zu prüfen, ob die Undichtigkeit der Fenster, Türen und Frachtraumlukn innerhalb zulässiger Grenzen liegt, wird grundsätzlich nach jeder Flugzeugüberholung eine Kabinendruckprobe durchgeführt. Dabei wird bei geschlossenen Türen und Frachtraumlukn Druckluft aus dem allgemeinen Versorgungsnetz mit reduziertem Druck über den Außenanschluß der Flugzeuge für die Druck- und Klimaanlage in das Rumpfinnere geleitet und auf diese Weise ein Druck von 1,6 bar aufgebaut. Bei Erreichen dieses Druckes wird die Luftzufuhr unterbrochen. Der dann einsetzende zeitliche Druckabfall wird registriert und mit vorgegebenen Werten verglichen.

### 2.1.3 Starten von Strahltriebwerken auf dem Prüfstand

Die Strahltriebwerke der Verkehrsflugzeuge werden durch triebwerks-eigene Luftturbinen auf die Zündrehzahl gebracht. Auf Flughäfen wird die zum Starten der Triebwerke erforderliche Druckluft mit speziellen mobilen Verdichtern erzeugt.

Auf dem Prüfstand jedoch werden die Triebwerke mit Druckluft gestartet, die dem allgemeinen Versorgungsnetz entnommen wird. Der Startvorgang ist durch einen kurzzeitig hohen Luftverbrauch gekennzeichnet.

### 2.1.4 Verfahren von schweren Dockteilen auf Luftkissen

Eine der Grundvoraussetzungen dafür, die Dauer einer Flugzeugüberholung gering zu halten, ist die Zugänglichkeit zu allen Teilen des Flugzeuges in der Weise, daß überall gleichzeitig gearbeitet werden kann. Nur ein Dock, das das Flugzeug ganz umgibt, ermöglicht diese Zugänglichkeit. Um jedoch das Flugzeug auf die exakt vorgegebene Stelle bringen zu können, müssen auch verschiedene Teile des Docks,

die sehr schwer sind, verfahrbar sein. Diese Problem wird bei dem Überholungsdock für den Airbus A 300 durch Anwendung des Luftkissenprinzips gelöst. Dadurch kann sogar das 0,7 MN (70 t) schwere hintere Teil des Docks, auf dem durch Druckluft erzeugten Luftpolster schwebend, mühelos verfahren werden.

#### 2.1.5 Einperlen von Luft in Bäder der Galvanik

Um zu vermeiden, daß in bestimmten galvanischen Bädern bei der Metallabscheidung der Elektrolyt in der Diffusionszone verarmt, wird zusätzlich zur Warenbewegung Luft reduzierten Druckes eingeperlt. Auf diese Weise werden die Schichten des Elektrolyten, die das zu galvanisierende Teil umgeben, laufend erneuert.

Andererseits wird in Spülbädern durch das Einperlen von derartiger Luft der Reinigungsvorgang intensiviert, indem Rückstände - das sind vorwiegend Salzreste - auch aus Bereichen von Teilen mit einer zerklüfteten Oberfläche ausgespült werden.

#### 2.1.6 Verfestigungs- und Reinigungsstrahlen

Auf eine Reihe von Flugzeug- und Triebwerksteilen müssen im Rahmen der Instandhaltung verschiedene Strahlverfahren angewandt werden. Hinsichtlich dieser Verfahren ist zwischen dem Verfestigungsstrahlen und dem Reinigungsstrahlen zu unterscheiden, zu dem als Sonderform das Aktivierungsstrahlen gehört.

Ganz allgemein ist das Verfestigungsstrahlen ein Verfahren, das zur Erhöhung der Festigkeit hoch beanspruchter Teile angewandt wird, indem durch das Strahlen in einer dünnen Schicht an der Werkstückoberfläche durch Verformung eine bleibende Druckspannung aufgebracht wird. Die normale Form des Verfestigungsstrahlens ist das Kugelstrahlen. Dabei werden in einer auf das Werkstück gerichteten Düse durch expandierende Druckluft vorher beigemischte Stahlkugeln beschleunigt und auf die Werkstückoberfläche "geschossen".

Das Kugelstrahlen wird aber auch auf Teile angewandt, die verchromt werden müssen. In diesem Fall wirkt die durch das Kugelstrahlen aufgebrachte Druckspannung der durch das Verchromen erzeugten Zugspannung entgegen und verhindert eine Verminderung der Festigkeit des Ausgangsmaterials.

Eine Verfestigung mit einer gleichzeitigen Glättung der Oberfläche wird durch das Naßstrahlen mit Glaskugeln erreicht.

Beim Strahlen zum Zwecke der Reinigung werden, abhängig von dem Teil und dem Material, aus dem es besteht, als Strahlmittel Aluminiumoxid, Glasperlen oder Walnußschalengranulat verwendet.

Das Aktivierungsstrahlen, eine Sonderform des Reinigungsstrahlens, ist ein Verfahren, das als Vorbereitung für eine unmittelbar anschließende galvanische Behandlung angewandt wird. Entfettete Teile werden mit Aluminiumoxid so gestrahlt, daß man eine metallisch reine Oberfläche erhält.

Der Druckluftverbrauch und die Dauer eines Strahlvorganges hängen von der Art des Teiles und der geforderten Bearbeitung ab und werden in erster Linie durch den Düsendurchmesser und den Druck vor der Düse bestimmt.

#### 2.1.7 Prüfung von pneumatischen Flugzeuggeräten

Ein besonders hoher Druckluftbedarf entsteht bei der Prüfung von pneumatischen Flugzeuggeräten.

Auf das Prüffeld, in dem alle Prüfeinrichtungen für diese Geräte zusammengefaßt sind, und das über eine eigene, speziell dafür konzipierte Druckluftversorgung verfügt, wird im Abschnitt 3 näher eingegangen.

Die vorstehend skizzierte Verschiedenartigkeit der Druckluftverbraucher sowie die Auswirkung der in der Vorbemerkung erwähnten Zufälligkeit auch auf den zeitlichen Druckluftverbrauch wird in Bild 1 deutlich, das von Druckverlauf im Versorgungsnetz an vier Tagen eines Monats zeigt.

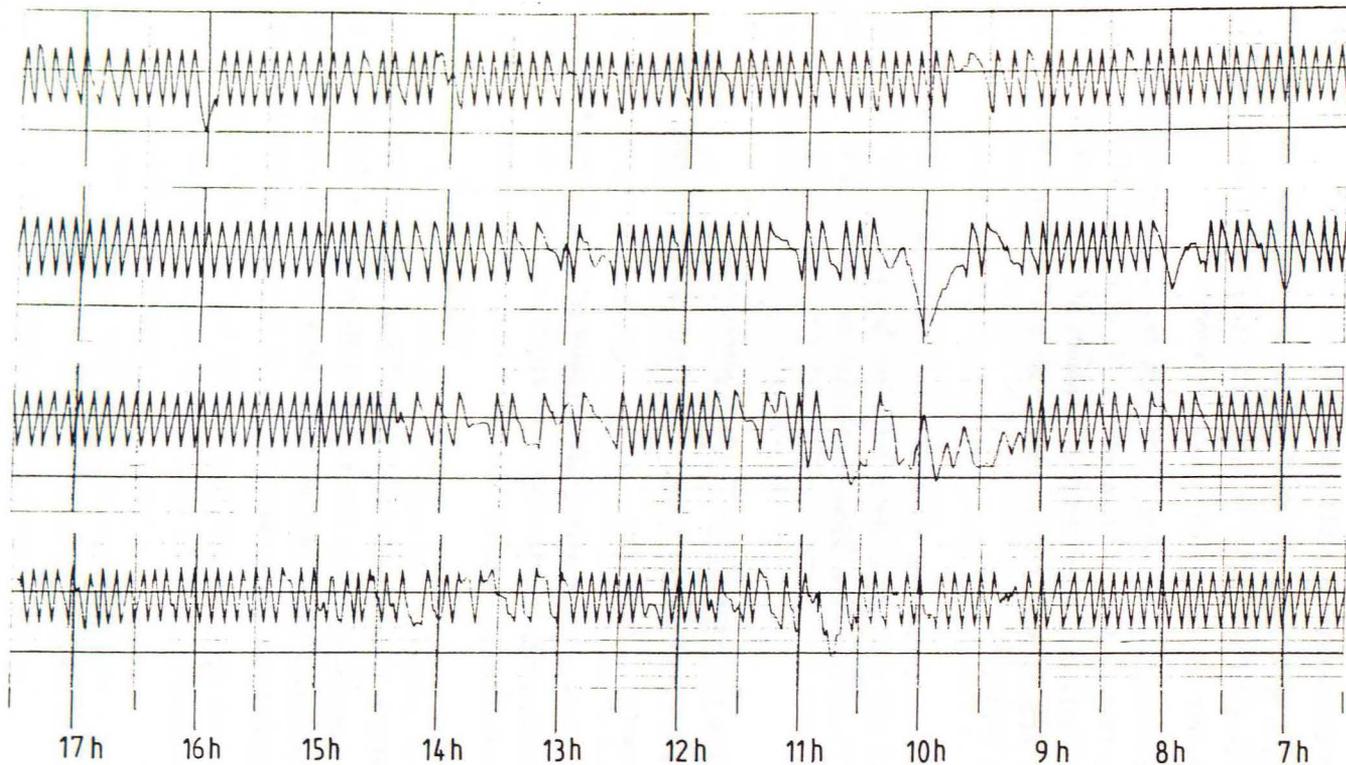


Bild 1. Druckverlauf im Versorgungsnetz an vier Tagen eines Monats

Mittlerer Netzdruck: 8 bar; Verdichter-Ansaugmenge: 4200 Nm<sup>3</sup>/h

## 2.2 Verdichter für die allgemeine Druckluftversorgung

Die mit der Erweiterung der Technischen Basis Hamburg verbundene Vergrößerung des Versorgungsnetzes, die Zunahme der Verbraucher sowie der gestiegene Bedarf an sowohl ölfreier als auch trockener Druckluft führte in der Vergangenheit zu einer schrittweisen Installation von bis jetzt 3 zweistufigen Verdichtersätzen (Hersteller: Gutehoffnungshütte AG), die ausnahmslos mit einer Vollast-Leerlauf-Regelung ausgestattet sind. Zur Trocknung der Luft sind den Verdichtern Kältetrockner mit einem Drucktaupunkt von 275 °K (+ 2 °C) nachgeschaltet.

Die von Drehstrom-Kurzschlußläufermotoren (Betriebsspannung 6 kV) angetriebenen Verdichter haben - in der Reihenfolge ihrer Inbetriebnahme - folgende Ansaugmengen:

Verdichter 1 (Type SK 25/16):  $\dot{V} = 4.500 \text{ Nm}^3/\text{h}$

Verdichter 2 (Type SK 16/10):  $\dot{V} = 2.000 \text{ Nm}^3/\text{h}$

Verdichter 3 (Type SK T321/T204):  $\dot{V} = 6.400 \text{ Nm}^3/\text{h}$

Eine im Mittel gute Anpassung an den zeitlich sehr unterschiedlichen Druckluftbedarf, bei möglichst geringem Energieeinsatz, war in erster Linie für die Wahl der Verdichtergrößen maßgebend.

Aber auch die Möglichkeit des Verbundbetriebes mit den im Prüffeld für pneumatische Flugzeuggeräte installierten Verdichtern durch die teilweise Typengleichheit der dortigen Maschinen gegebene günstigere Ersatzteilsituation, spielten dabei eine Rolle.

Seit 1980 wird die Vibration eines jeden Verdichters durch eine nachträglich eingebaute Meßeinrichtung überwacht, die in die Sicherheitskette eingebunden ist. Weitere Glieder der Sicherheitskette bilden die zusätzlichen Meßeinrichtungen zur Überwachung der Lager- und Wicklungstemperaturen der Antriebsmotoren.

Obwohl der mittlere Druck im allgemeinen Versorgungsnetz 8 bar beträgt, wurden, aus Gründen der Energieersparnis zusätzliche Schaltmöglichkeiten zur Druckabsenkung geschaffen. So kann beispielsweise in betriebschwachen Zeiten, d. h. in der Nacht und an den Wochenenden, in denen in der Regel der kleinste Verdichter zur Versorgung ausreicht, der Druck im Netz um 1,5 bar verringert werden.

### 3 Einsatz von Schraubenverdichtern in einem Prüffeld für pneumatische Flugzeuggeräte

#### 3.1 Prüffeld für pneumatische Flugzeuggeräte

Zu Beginn der sechziger Jahre wurde bei den Luftverkehrsgesellschaften in großem Umfang damit begonnen, die durch Kolbentriebwerke angetriebenen Flugzeuge durch solche mit Strahlantrieb zu ersetzen.

Die maximale Flughöhe von Langstreckenflugzeugen dieser Art liegt bei 12.000 m, eine Höhe, die weit größer ist als die der Flugzeuge mit einem Antrieb durch Kolbentriebwerke. Deshalb erhielt die Druck- und Klimaanlage dieser neu eingeführten Flugzeuge eine besondere Bedeutung. Da hinsichtlich der Bedingungen, unter denen die einzelnen Geräte dieser Anlage im Rahmen der Instandhaltung geprüft werden müssen, bei den Flugzeugen mit Antrieb durch Kolbentriebwerke keine so hohen Forderungen bestanden, gab es keine Einrichtungen, die man weiterhin hätte verwenden können.

Das bedeutete für die Luftverkehrsgesellschaften, Prüfstände für die verschiedenen Geräte zu bauen oder zu kaufen und die Druckluftversorgung, den vielfältigen Prüfungen entsprechend, anzupassen.

Diese besonderen Umstände führten bei der Deutschen Lufthansa zu der Entscheidung, alle Prüfstände für pneumatische Flugzeuggeräte in einem Prüffeld zusammenzufassen und die dafür erforderliche Druckluftherzeugungsanlage zu integrieren. Dieses Prüffeld, das innerhalb der Techn. Basis Hamburg errichtet wurde, ist im Jahre 1962 in Betrieb genommen worden. Auf den Prüfständen werden neben den Geräten der Druck- und Klimaanlage auch solche des Enteisungs- und des Triebwerksstart-Systems

geprüft. Das Prüfmedium ist Luft atmosphärischen Ursprungs, die frei von allen Verunreinigungen sein muß. Der Ablauf der einzelnen Prüfungen wird in erster Linie durch die Einhaltung bestimmter Werte der Größen Luftdruck, Lufttemperatur und Luftmassenstrom bestimmt.

In dem Prüffeld sind installiert:

- ein Vakuumprüfstand,
- zwei Prüfstände für die Prüfung von Absperr- und Regelorganen mit Druckluft von Raumtemperatur und
- vier Prüfstände für die Prüfung von Kleinturbomaschinen sowie von Absperr- und Regelorganen mit heißer Druckluft.

Aus Gründen der Sicherheit sowie der Schall- und Wärmeisolierung sind die Prüfstände für die Prüfungen mit heißer Druckluft in räumlich voneinander abgetrennten Zellen untergebracht. Die Kleinturbomaschinen, die in den Prü fzellen geprüft werden, sind

- Kabinenlader,
- Luftturbinenstarter
- Kühl turbinen und
- Bodenlüfter

Die Innenansicht der Prü fzelle für Kühl turbinen zeigt Bild 2.

Der Kabinenlader - wie er nur in den ersten Düsenverkehrsflugzeugen, z. B. in der Boeing 707 verwendet wird - ist einer der größten Luftverbraucher. Seine Prüfung erfordert für den Antrieb der Luftturbine, die mit dem Lader auf einer Welle angeordnet ist, Druckluft von maximal 6,7 bar bei einer Eintrittstemperatur von 673 °K (400 °C). Der Massenstrom steigt während der Prüfung, bei der eine Grenzdrehzahl von 56.000 1/min erreicht wird, bis auf 80 kg/min.

Auf diese Weise werden die Verhältnisse im Flugzeug nachgeahmt. Dort wird die Luftturbine mit Druckluft gespeist, die vom Strahltriebwerksverdichter abgezapft wird. Bei den Druck- und Klimaanlageanlagen der nachfolgenden Flugzeugmuster jedoch wird ohne die Zwischenschaltung einer derartigen Einheit die für die Druckhaltung der Kabine erforderliche Luft dem Strahltriebwerksverdichter direkt entnommen.

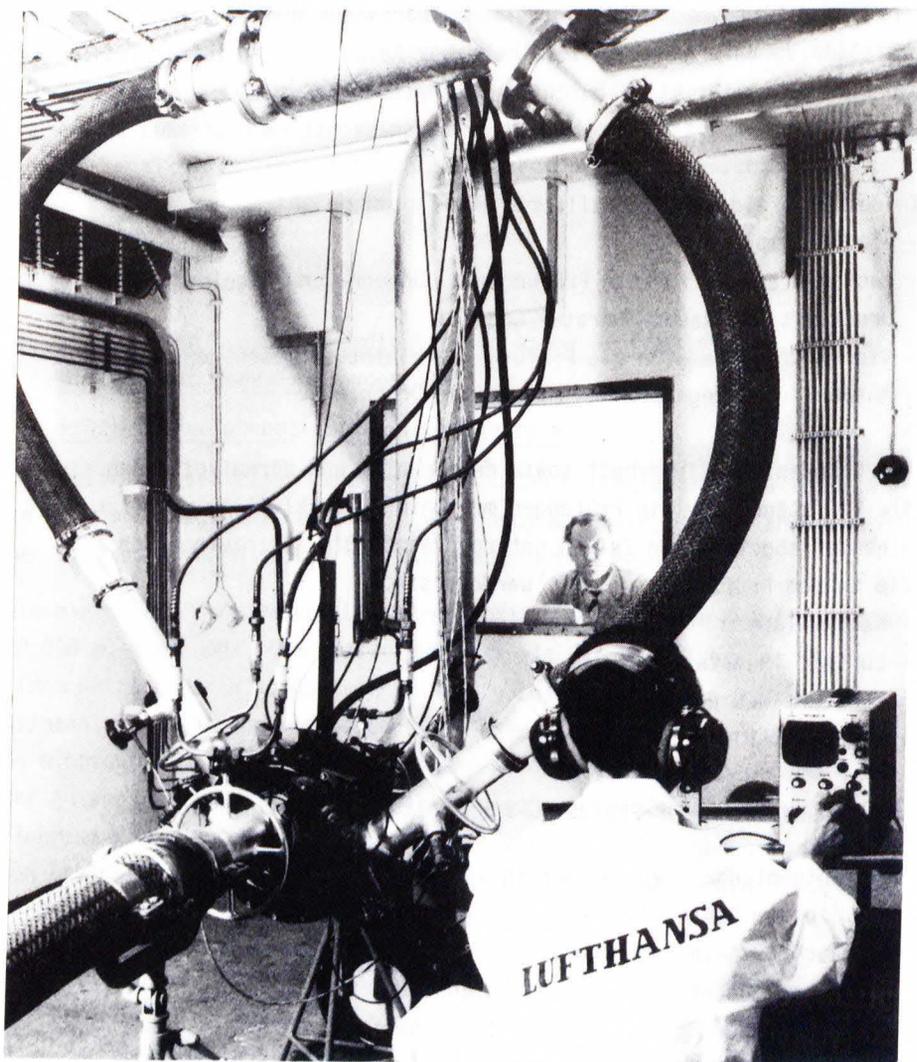


Bild 2. Innenansicht der Prü fzelle für Küh lturbinen

### 3.2 Aufbau und Wirkungsweise der Druckluftherzeugungsanlage

Die in das Prüffeld integrierte Druckluftherzeugungsanlage hat die Aufgabe, die Prüfstände so zu versorgen, daß von den Prüfständen aus die in den Prüfvorschriften angegebenen Drücke und Temperaturen der Luft für die jeweiligen Prüfläufe eingeregelt werden können.

Deshalb sind unter der Bezeichnung Druckluftherzeugungsanlage nicht nur die Verdichter, sondern auch alle Einrichtungen zur Filterung, Trocknung, Kühlung, Aufheizung, Speicherung und Verteilung der Druckluft zu verstehen, die erforderlich sind, um die vorstehend genannte Versorgung zu ermöglichen.

In Bild 3 ist diese Druckluftherzeugungsanlage schematisch dargestellt.

In diesem Schema bezeichnen

ASF	Ansaugfilter	PVL	Prüfstands-Versorgungsleitung
NDV	Niederdruckverdichter	WNV	Werknetz-Verbindungsleitung
HDV	Hochdruckverdichter		
NDS	Niederdruckspeicher		
HDS	Hochdruckspeicher		
NDK	Niederdruckkühler		
HDK	Hochdruckkühler		
VND	Verteiler, niederdruckseitig		
VHD	Verteiler, hochdruckseitig		
DKT	Druckluft-Kältetrockner		
LEH	Luftherhitzer mit ölgefeuerten Brennkammern		

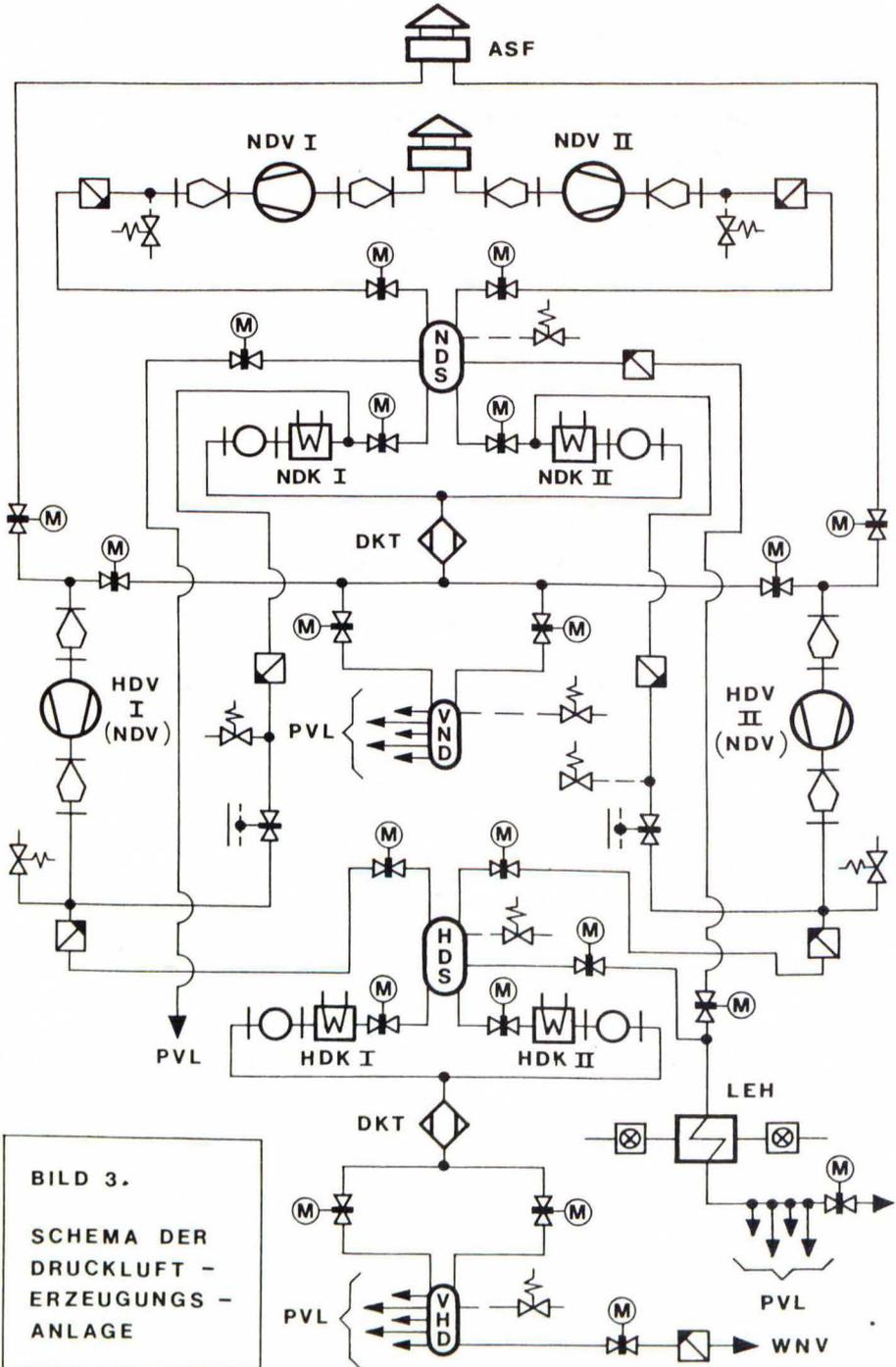


BILD 3.  
SCHEMA DER  
DRUCKLUFT -  
ERZEUGUNGS -  
ANLAGE

Die dargestellte Druckluftherzeugungsanlage ist in zwei Abschnitten gebaut worden.

Im Rahmen des ersten Bauabschnitts wurden die mit NDV I und HDV I bezeichneten einstufigen Schraubenverdichter, die Druckluftspeicher, die Kühler, der Luftherhitzer sowie die Versorgungsleitungen für die Prüfstände installiert. Die Inbetriebnahme erfolgte im Jahre 1962.

Da abzusehen war, daß die Anzahl der Flugzeuge größer und damit auch die der Prüflinge zunehmen würde, wurden alle Vorkehrungen getroffen, um mit nur kurzen Betriebsunterbrechungen weitere Verdichter aufstellen zu können. So wurden innerhalb des zweiten Bauabschnittes die mit NDV II und HDV II bezeichneten Schraubenverdichter installiert, die mit den Verdichtern NDV I und HDV I völlig identisch sind. Ihre Inbetriebnahme erfolgte im Jahre 1967. Die Druckluft-Kältetrockner wurden erst einige Jahre danach eingebaut.

In der Anfangsphase war die Gesamtzahl der Prüflinge gering und die Prüfungen, die mit Luft niedrigen Druckes durchgeführt werden mußten, überwogen bei weitem.

Deshalb wurden einstufige Schraubenverdichter mit dem größtmöglichen Druckverhältnis gewählt, um möglichst viele Geräte ohne die Zuschaltung einer zweiten Stufe prüfen zu können.

Um auch mengenmäßig eine gute Anpassung an die unterschiedlichen Bedingungen zu erreichen, wurden die Hochdruckverdichter HDV I und HDV II so ausgelegt, daß sie auch als Niederdruckverdichter arbeiten können.

Durch verschiedene Kombinationen der Verdichterschaltung ergab sich hinsichtlich der Druckluftversorgung eine große Variationsmöglichkeit.

Auf diese Weise wurde es möglich,

- jede dieser Maschinen einzeln oder parallel zu einer oder mehreren anderen als Niederdruckverdichter zu betreiben,
- durch direkte oder kreuzweise Hintereinanderschaltung der Nieder- und Hochdruckverdichter Luft hohen Druckes zu erzeugen sowie
- durch Parallelschaltung eines Niederdruck- und eines Hochdruckverdichters Luft niedrigen Druckes und gleichzeitig, durch Hintereinanderschaltung eines Niederdruck- und eines Hochdruckverdichters, Luft hohen Druckes zu liefern.

Die wichtigsten Merkmale dieser Verdichter (Hersteller: Gutehoffnungshütte AG), die ausnahmslos durch Drehstrom-Kurzschlußläufermotoren (Betriebsspannung 6kV) angetrieben werden, sind folgende:

Die Niederdruckverdichter NDV I und NDV II (Type SK 25) haben eine Ansaugmenge von je 4200 Nm<sup>3</sup>/h; ihr maximaler Verdichtungsenddruck beträgt 4,6 bar.

Mit den Hochdruckverdichtern HDV I und HDV II (Type SK 16) wird, wenn sie den Niederdruckverdichtern nachgeschaltet werden, ein Druck von 9,6 bar erzeugt.

Werden die Hochdruckverdichter HDV I und HDV II als Niederdruckverdichter eingesetzt, dann beträgt ihre Ansaugmenge je 1250 Nm<sup>3</sup>/h. Der maximale Verdichtungsenddruck ist, wie bei den Niederdruckverdichtern, 4,6 bar.

Die Arbeitsweise der Verdichter im Niederdruckbereich hat wegen der stetigen Zunahme der verschiedenartigen Prüflinge, die Luft hohen Druckes erfordern und die auf unterschiedlichen Prüfständen parallel geprüft werden müssen, ständig an Bedeutung verloren.

Jeder der Verdichter ist mit einer Vollast-Leerlauf-Regelung sowie mit einer herkömmlichen Sicherheitseinrichtung ausgestattet. Alle Größen werden elektrisch gemessen und in der Schaltzentrale des Prüffeldes angezeigt.

Die kompressionswarme Luft wird, je nach Druckstufe, in einen Niederdruck- oder in einen Hochdruckspeicher gefördert. Von dort aus wird die Druckluft, dem jeweiligen Bedarf entsprechend, entweder gekühlt, oder aber im Luftherhitzer bis auf maximal 723 °K (450 °C) aufgeheizt. Die Temperaturregelung wird vor den Prü fzellen durch das Mischen von Strömen gekühlter und aufgeheizter Druckluft erreicht.

#### 4 Schalten und Überwachen der Verdichter durch ein rechnergesteuertes Leitsystem

Im Zusammenhang mit der Errichtung einer zusätzlichen Heizzentrale zur Wärmeversorgung der Technischen Basis Hamburg wurde ein prozeßrechnergesteuertes Leitsystem LS 300 (Hersteller: Siemens AG) installiert. An dieses System, das im Jahr 1973 in Betrieb genommen wurde, sind schrittweise alle wichtigen versorgungstechnischen Anlagen, darunter - im Jahr 1974 - auch die Verdichter für die allgemeine Druckluftversorgung angeschlossen worden. Die Verdichter der Druckluftherzeugungsanlage wurden wegen der besonderen Verhältnisse von einem Anschluß an das System ausgenommen.

Das Leitungssystem besteht im wesentlichen aus der Zentrale, den Unterstationen und der Datenleitung.

Die Zentrale wiederum setzt sich zusammen aus

- Funktionsschrank mit Prozeßrechner,
- Externspeicher,
- Floppy-Disk,
- Bedienplatz mit Monitor und Bedientastatur,
- Ausgabedrucker sowie
- Grafiksichtstation.

Gegenwärtig sind 47 Unterstationen mit einem Gesamtumfang von rd. 11000 Datenpunkten angeschaltet.

Mit speziellen Rechnerprogrammen werden die angeschlossenen Anlagen überwacht, gesteuert und optimiert.

Im dauernden Betrieb werden Störungen und Meßwertabweichungen erkannt sowie Anlagen nach dem jeweils vorliegenden Bedarf ein- und ausgeschaltet.

Von dem Leitsystem werden die folgenden, auf die Verdichter bezogenen Aufgaben übernommen:

1. Zeitabhängiges Umschalten der Verdichter zur bestmöglichen Anpassung der Liefermengen an den jeweiligen Bedarf.  
Das gilt vor allem für die Zeiten in der Nacht und an den Wochenenden, jedoch auch für bestimmte Zeitabschnitte während des Tages.
2. Automatisches Anfahren eines Verdichters über das Ereignisschaltprogramm: Dabei bleibt der laufende Verdichter so lange in Betrieb, bis der eingeschaltete die Förderung aufnimmt. Auf diese Weise wird ein Übergang ohne einen zwischenzeitlichen Druckabfall erreicht.
3. Automatisches Abschalten von einem Verdichter wenn in einem Glied der Sicherheitskette der vorgegebene Grenzwert über- bzw. unterschritten wird.  
Bei Überschreiten des Grenzwertes für die Vibration erfolgt eine automatische Schnellabschaltung.  
Nach jeder Abschaltung aus den genannten Gründen wird ein Störungsprotokoll ausgedruckt, dem man die Ursache für die Abschaltung entnehmen kann.
4. Betriebsstundenzählung für die Festlegung von Wartungsintervallen.

Außerdem kann jederzeit jeder beliebige Meßwert, aber auch der gesamte momentane Zustand des Verdichters auf dem Monitor sichtbar gemacht und ausgedruckt werden. Es besteht auch die Möglichkeit, Meßstellen auf einen Tendenzschreiber zu schalten. Auf diese Weise läßt sich verfolgen, ob und wie sich Meßwerte mit der Zeit verändern.

Bild 4 zeigt das Adressierungsschema, in dem, als Beispiel, die Adresse für das Einschalten des Verdichters 2 angegeben ist. Ergänzend sei angemerkt, daß die Funktionstypen wie folgt definiert sind:

Ø 1	Gefahrenmeldung
Ø 2	Störmeldungen
Ø 3	Betriebsmeldungen
Ø 4	Wartungsmeldungen
Ø 5	Schaltbefehle, einstufig
Ø 6	Schaltbefehle, mehrstufig
Ø 7	Stellbefehle
Ø 8	Meßwerte
Ø 9	---
1 Ø	Zählwerte

Zur Verdeutlichung der Zusammenhänge sind alle Adressierungen für den Verdichter 2 in der Tabelle 1 zusammengefaßt.

## 5 Einige Betriebserfahrungen

Für die Druckluftversorgung sind insgesamt vier einstufige Schraubenverdichter in dem Prüffeld für pneumatische Flugzeuggeräte und drei zweistufige Maschinen für die allgemeine Druckluftversorgung im Einsatz.

Die Verdichter im Prüffeld sind in den Jahren 1962 (NDV I und HDV I) und 1967 (NDV II und HDV II); die für die allgemeine Druckluftversorgung in den Jahren 1967 (Verdichter 1), 1970 (Verdichter II) und 1979 (Verdichter 3) in Betrieb genommen worden.

Die höchste Anzahl von Betriebsstunden hat mit 58000 h der Verdichter 1 erreicht. Dieser Verdichter ist es auch, der mit rd. 41000 Betriebsstunden den längsten Abstand zwischen zwei Überholungen aufweist.

Das vom Verdichterhersteller eingeführte Diagnoseverfahren wird seit 1972 regelmäßig durchgeführt. Über dieses Verfahren wird an anderer Stelle ausführlich eingegangen /1/.

Beispiel: Einschalten des Verdichters 2

3 6 4 A

D L U  $\phi$  2

$\phi$  5

$\phi$  1

3 6 4

Gebäudenummer

A

Stationsbezeichnung

D L U

Anlagenart: Druckluft

$\phi$  2

Lfd. Nr. einer Anlagenart:  
Verdichter 2

$\phi$  5

Funktionstyp:  
Schaltbefehl

$\phi$  1

Lfd. Nr. inner-  
halb des Funk-  
tionstyps

BILD 4.

ADRESSIERUNGSSCHEMA

Tabelle 1: Adressierungen für den Verdichter 2

		364 A DLU	Ø 2	Ø 5	Ø 1	Verdichter 0 - I
					Ø 2	Lastbetrieb 0 - I
					Ø 3	Druckstufenumschaltung
Störmeldungen	→		Ø 2	Ø 1.1		Kühlwassermangel
				2		Übertemperatur Stufe 1
				3		" " " 2
				4		" Nachkühler
				Ø 2.1		Vibrationswächter
				2		Übertemperatur Motorwicklung
				3		" Motorlager 1
				4		" " 2
				Ø 3.1		Bimetall Hilfsölpumpe
				2		öl (Übertemperatur)
				3		öl (Mangel)
				4		Sammelstörung Stufenkühlung
Betriebsmeldungen	→		Ø 3	Ø 1.1		Automatik "EIN"
				2		Lastbetrieb
				3		Endschieber "ZU"
				4		Kältetrockner "EIN"
				Ø 2.1		6 kV-Schalter "EIN/AUS"
Analogwerte	→		Ø 8	Ø 1		Stromaufnahme 6kV-Motor
				Ø 2		Spannung ( 6 kV-Netz )
				Ø 3		Lufttemperatur nachStufe1
				Ø 4		" " " 2
				Ø 5		" " Zwischkühler
				Ø 6		Lufttemperatur nach Kühler
				Ø 7		öltemperatur
				Ø 8		Luftdruck nach Stufe 1
				1Ø		öldruck

Die Anwendung dieses Verfahrens, das mit verschiedenen Verfahren verwandt ist, die in der Flugzeug-, vor allem in der Triebwerksinstandhaltung üblich sind, hat sich positiv auf die Betriebssicherheit und auf die Instandhaltung der Verdichter ausgewirkt.

Im Zusammenhang mit der Betriebssicherheit sei eine der betrieblichen Erfahrung entstammende Verbesserung angeführt:

In Betriebszeiten, in denen die im Betrieb verbrauchte Luftmenge zu der von einem zweistufigen Verdichter gelieferten in einem ungünstigen Verhältnis steht, steigt die Anzahl der Schaltspiele an. Um diesem nachteiligen Verhalten zu begegnen, wurde in die Ansaugleitung eine Drosselklappe eingebaut, die - proportional zum Austrittsdruck so weit schließt, wie es das Druckverhältnis der zweiten Stufe zuläßt. Es zeigt sich, daß die Ansaugmenge zwar nur um 10% gesenkt, die Anzahl der Schaltspiele jedoch erheblich verringert wird.

Abschließend kann gesagt werden, daß sich Schraubenverdichter bei der Erfüllung der besonderen Forderungen, die der Instandhaltungsbetrieb einer Luftverkehrsgesellschaft stellt, bewährt haben.

#### Schrifttum:

/1/ Bolender, Willi: Diagnose an Schraubenkompressoren.  
VDI-Bericht 521