

Axel Rossmann

# Die Sicherheit von Turbo-Flugtriebwerken

Problemorientierte Triebwerkstechnik für Praktiker

- Untersucher
- Gutachter
- Dienststellen und Behörden
- Betreiber
- Qualitätssicherung
- Konstrukteure
- Wartung und Kundendienst

Band 5

Wartung, Reparatur, Überholung (MRO).

Human Factors, Unapproved Parts, Reparaturverfahren  
und deren Entwicklung.

Betriebs- und Hilfsstoffe, Ölsystem, Kraftstoffsystem,  
Luftsystem, Maschinenelemente:

Zahnräder, Wälzlager, Schraubenverbindungen,  
Rohrleitungen, Dichtungen, Triebwerksüberwachung/  
Monitoring.

Mit über 500 Bildtafeln, mit ca. 1000 Skizzen, Diagrammen und  
vielen, ausführlich beschriebenen Fallbeispielen.



Axel Rossmann

---

## **1. Auflage**

(Serie 2.03)

Bei der Erstellung dieses Buches wurde mit großer Sorgfalt, Fachkunde und Umsicht vorgegangen. Trotzdem können Fehler nicht vollständig ausgeschlossen werden. Im Zweifelsfall sind die gültigen Vorschriften anzuwenden. Informationen gibt die genannte Fachliteratur. Verlag und Autor können für fehlerhafte Angaben und deren Folgen weder eine juristische Verantwortung noch irgendeine Haftung übernehmen. Für Verbesserungsvorschläge und Hinweise auf Fehler sind Verlag und Autor dankbar.

copyright 2008 by A.Rossmann, Turbo Consult, Karlsfeld

Das Werk, einschließlich aller seiner Teile, ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung von Turbo Consult unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

**Bestellung dieses Buches:**

**Fax Nr. (Deutschland) 08131 50 50 67**

ISBN 978-3-00-025780-3

---

## Vorwort

Dieser Band der Reihe „Die Sicherheit von Turbo-Flugtriebwerken“ befasst sich im Schwerpunkt mit Themen aus Montage, Wartung und Reparatur. Deren Verständnis ist notwendig, um Probleme und Fehler vorbeugend zu vermeiden. Die steigenden Ansprüche an die Qualifikation, nicht nur in unteren Führungsebenen, sondern auch bei Werkern und Prüfern, verlangen unter anderem das Erkennen von Schäden und Problemen, die Zuordnung zu Spezifikationen und so die Beurteilung von Abweichungen. Das setzt die Kenntnis und das Verständnis notwendiger Fachbegriffe voraus. Sie sind für den sicheren Betrieb der Flugtriebwerke von entscheidender Bedeutung.

Aus Schäden bzw. Problemen klug werden, sagt bereits der Volksmund. Das ist jedoch leichter gefordert als realisiert. Voraussetzung für die Nutzung der erworbenen Erkenntnisse über längere Zeit ist eine systematische, nachschlagbare Auswertung und Zusammenstellung. Das sollte zumindest über zwei Berufsgenerationen, d.h. ca. 40 Jahre gelten. Sonst ist erfahrungsgemäß bereits nach einer Berufsgeneration damit zu rechnen, dass Erfahrung in Vergessenheit gerät. Ein umfangreiches Sachregister ist für den gezielten Zugang zu einzelnen Fragen notwendig.

Für dieses Buch war eine der wichtigsten Quellen das Internet. Der hier verborgene ungeheure Schatz an Fachinformationen kann von einem erfahrenen Fachmann gehoben werden. Aus diesem Grund finden sich in den Literaturverzeichnissen auch Quellen des Internets.

Überholhandbücher (Overhaul Manuals) und Wartungshandbücher (Maintenance Manuals) beruhen auf Erfahrungen und minimieren bei strikter und richtiger Anwendung Schäden und Probleme. Aktualisierung erfahren diese Anweisungen z.B. durch sog. AD-Notes (Airworthiness Directives) mit Maßnahmen bei akuten Problemen. Voraussetzung ist natürlich, dass Vorschriften angewandt werden. Hierzu bedarf es nicht zuletzt der Motivation durch Einsicht in die Notwendigkeit. Diese und die richtige Anwendung erfordert auch das Verständnis des Hintergrunds und Zwecks der Anweisungen, also das „Know Why“. Dazu wurde versucht, an beschriebenen Fällen allgemeingültige Lehren abzuleiten. Wie notwendig das ist, zeigen die Wünsche vieler Teilnehmer meiner Fachkurse.

Der Autor ist überzeugt, dass ein Nachvollziehen konkreter, im Detail dargestellter Problemfälle, Motivation und Lernerfolg ermöglichen.

Der vorliegende Band soll möglichst viel dieser Hintergrundinformation vermitteln. Dabei wird auch auf die Bände 1 bis 4 derselben Reihe verwiesen. Sie ermöglichen eine vertiefte Einarbeitung mit der zu jedem Kapitel angegebenen Fachliteratur. Besonders wichtig ist für den Bereich Reparatur der Band 4. Entsprechen doch die hier behandelten Verfahren der Neuteilfertigung vielfach denen der Reparatur.

Ich danke meiner Frau Dr. Daniela Rossmann für das jahrelange Verständnis, den Verzicht auf viele gemeinsame Stunden und für viele hilfreiche Hinweise zur Gestaltung, ohne die dieses Buch nie möglich geworden wäre.

Axel Rossmann

---

Mein besonderer Dank gilt

dem Lektor, Herrn Dipl.-Dokumentar Reinhard Glander,

für fachliche Korrekturen und Beratung:

Herrn Reinhold Gräter (Schwerpunkt: Werkstoffverhalten)

Herrn Dr. Manuel Hertter (Schwerpunkt: Thermische Spritzverfahren)

Herr Josef Linska (Schwerpunkt: Galvanische Verfahren, Ätz- und Reinigungsverfahren)

Herrn Eckhard Ruda (Schwerpunkt: Zerstörungsfreie Prüfung)

**Anmerkung:**

In den Literaturverweisen am jeweiligen Kapitelende angegebene Internetlinks haben zumindest in der Zeit der Zusammenstellung des Informationsmaterials von Anfang 2006 bis Ende 2007 bestanden. Weil sich erfahrungsgemäß Links bzw. Internetadressen schnell verändern, ist leider für deren Weiterbestehen keine Garantie gegeben.

Die Verweise auf Bilder beziehen sich auch auf den zugehörigen Text. In Ausnahmefällen können in älteren Ausgaben Bilder mit weiter unterteilten Nummern fehlen.

---

# Inhalt

## 19. Wartung

### 19.1 Human Factors, Einfluss der Arbeitsumgebung

#### 19.1.1 Schicht- und Personalwechsel als Risikofaktor.

Die Kommunikation als bedeutender Einfluss.

#### 19.1.2 Erfahrung, Fachkenntnis und Fähigkeiten des Wartungspersonals

#### 19.1.3 Wartungshandbücher, Arbeitsunterlagen, Vorschriften und Spezifikationen.

#### 19.1.4 Wartungsfreundliche Konstruktion

### 19.2. Probleme und Schäden im Zusammenhang mit der Wartung

#### 19.2.1 Sensoren, Leitungen und Stecker

#### 19.2.2 Fremdkörper und Verschmutzungen

#### 19.2.3 Das Waschen von Verdichtern

#### 19.2.4 Risikominimierende Maßnahmen im Rahmen der Wartung

#### 19.2.5 Systematische Analyse von Wartungsfehlern

#### 19.2.6 Invasive (In-Situ) Reparaturen

## 20. Montage und Demontage

### 20.1 Gesichtspunkte zur Sicherheit von Montagevorgängen

### 20.2 Probleme und Schäden im Zusammenhang mit der Montage

#### 20.2.1 Suspected Unapproved Parts („Bogus Parts“)

## 21. Überholung und Reparatur gelaufener Bauteile

### Probleme und Gefahren

#### 21.1 Grenzen der Reparierbarkeit

#### 21.2 Spezifische Probleme wichtiger Reparaturverfahren

##### 21.2.1 Reparaturschweißen

##### 21.2.2 Reparatlöten

##### 21.2.3 Reparaturbeschichtungen, Wiederbeschichtungen

##### 21.2.4 Ätzen im Rahmen der Reparatur

##### 21.2.5 Regeneratives Kugelstrahlen

##### 21.2.6 Ausblenden von Betriebsbeschädigungen

##### 21.2.7 Richten deformierter Bauteilzonen

##### 21.2.8 Regeneration durch Heißisostatisches Pressen (HIP)

#### 21.3 Entwicklung und Zulassung von Reparaturverfahren

##### 21.3.1 Zulassung von Reparaturen

##### 21.3.2 Entwicklung von Reparaturverfahren

##### 21.3.3 „Verschlimmbesserung“

---

### 21.3.4 Reparaturprüfung

## **22. Systeme und Betriebsstoffe**

- 22.1 Das Luftsystem
- 22.2 Kraftstoffbezogene Probleme des Kraftstoffsystems
  - 22.2.1 Kraftstoffeigenschaften
  - 22.2.2 Verunreinigungen im Kraftstoff
- 22.3 Ölbezogene Probleme des Ölsystems
  - 22.3.1 Problematische Schmieröleigenschaften
  - 22.3.2 Ölverkokung
  - 22.3.3 Verunreinigungen in Schmierölen
    - 22.3.3.1 Fremdpartikel im Öl
    - 22.3.3.2 Flüssigkeiten im Öl
      - 22.3.3.2.1 Wasser im Öl
      - 22.3.3.2.2 Kraftstoff im Öl
  - 22.3.4 Überwachung des Ölsystems auf Verunreinigungen
- 22.4 Hilfsstoffe
  - 22.4.1 Schmierfette
  - 22.4.2 Dichtmittel
  - 22.4.3 Reinigungsmittel

## **23. Ausgewählte Maschinenelemente des Triebwerksbaus**

- 23.1 Wälzlager
    - 23.1.1 Grundlagen und Schadensmechanismen
    - 23.1.2 Wälzlagerschäden
    - 23.1.3 Vermeidung von Wälzlagerschäden und Abhilfen.
  - 23.2 Zahnräder und Keilverzahnungen
    - 23.2.1 Zahnräder
    - 23.2.2 Vielkeil-Wellenkupplungen
  - 23.3 Schrauben und Niete
    - 23.3.1 Schrauben
      - 23.3.1.1 Grundlagen
      - 23.3.1.2 Schraubenschäden
    - 23.3.2 Niete
  - 23.4 Berührungsdichtungen
    - 23.4.1 statische Dichtungen, O-Ringe
    - 23.4.2 Gleitende Dichtungen
-

23.4.2.1 Radial-Wellendichtringe

23.4.2.2 Gleitringdichtungen

23.5 Rohrleitungen

23.5.1 Grundlagen und Schadenverhütung

23.5.2 Schäden an Rohrleitungen

## **24. Probleme im Zusammenhang mit Prüfständen.**

## **25. Triebwerksüberwachung**

25.1 Monitoring

25.2 Verfahren

25.2.1 Kontinuierliche (On-Line-) Überwachungsverfahren.

25.2.2 Diskontinuierliche Prüfverfahren (ZfP) im  
Rahmen der Wartung.

25.2.2.1 Äußerer Befund: Visuell, Geräusch, Geruch, Temperatur  
und Vibrationen.

25.2.2.2 Zerstörungsfreie Prüfung (ZfP) vor Ort.

## **Sachregister**

---

