



# Vereinfachtes Auswuchten der CFK- Steuerflächen nach der Neulackierung am Beispiel einer Boeing 737

Matthias GNAAS<sup>1</sup>, Johann H. HINKEN<sup>2</sup>

<sup>1</sup> TUIfly GmbH, Langenhagen

<sup>2</sup> FI Test und Messtechnik GmbH

## Kurzfassung

Wenn in Betrieb befindliche Flugzeuge neu lackiert werden, müssen die Ruder (flight control surfaces) besonders behandelt werden. Für einige Flugzeugtypen sind sie dann neu auszuwuchten. Dazu kann gehören, dass die Lackdicke vor dem Entlacken und nach dem Neulackieren jeweils gemessen wird. Diese Ruder, d.h. Höhen-, Seit- und Querruder, sind häufig aus CFK (carbonfaserverstärkter Kunststoff) hergestellt. Dann ist die zerstörungsfreie Lackdickenmessung mit herkömmlichen Verfahren unmöglich bzw. sehr schwierig. Bisher wurde für diese Aufgabe häufig der Paintborer eingesetzt: zerstörend und zeitraubend. Jetzt ist das mikrowellenbasierte, zerstörungsfreie Lackdickenmessgerät FSC1 für diesen Zweck verfügbar.

Dieser Beitrag beschreibt die Anwendung des FSC1 bei der Neulackierung und dem Auswuchten der CFK-Ruder einer Boeing 737-800. Dafür werden die Lackdicken des Höhen-, Seiten- und Querruders oben und unten an einzelnen Punkten mit ca. 20 cm Abstand voneinander gemessen. Die reine Messzeit beträgt ca. 4 Sekunden pro Messpunkt. Die Messergebnisse werden gespeichert.

Nach dem Entlacken und der Neulackierung werden die Messungen an denselben Punkten wiederholt. Für jeden Punkt wird die Dickendifferenz gegenüber der ersten Messung gebildet. Diese wird der Berechnung der Auswuchtgewichte zugrundegelegt.

Es gibt zwei Methoden zum Auswuchten (Balancieren) der Ruder einer Boeing 737: die „statische Balancierung“ in einer Einspannvorrichtung und die „Balancierung durch Berechnung“. Für die „statische Balancierung“ müssen das Höhen-, das Seiten- und das Querruder abgebaut werden. Für die „Balancierung durch Berechnung“ ist dieses nicht nötig. Sie besteht aus der Lackdickenmessung und einer nachfolgenden Berechnung. Die Gewichtsunterschiede zwischen dem entfernten Material und dem neu aufgetragenen Material, bezogen auf die jeweiligen Messpunkte, ergeben gemäß dem „Structural Repair Manual“ des Herstellers Drehmomente, die dann durch Auswuchtgewichte einzustellen sind. Die notwendigen Daten für die Berechnung sollen so genau wie möglich sein.

Im Vergleich mit dem Paintborer reduziert die Verwendung des FSC1 hierbei die Arbeitszeit um etliche Mannstunden, und sie erhöht die Präzision. Das FSC1 wird für diese Aufgabe nun regelmäßig eingesetzt.



Matthias Gnaas<sup>1</sup>, Johann H. Hinken<sup>2</sup>

<sup>1</sup> TUifly, Langenhagen;

<sup>2</sup> FI Test- und Messtechnik, Magdeburg

2. Fachseminar

Mikrowellen- und Terahertz-Prüftechnik in der Praxis

11. März 2015, Fraunhofer IPM, Kaiserslautern

1. Einleitung
2. Lackdickenmessungen auf CFK
3. Anwendung bei der B737-800
4. Schluss

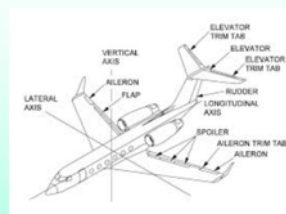
1. Einleitung
2. Lackdickenmessungen auf CFK
3. Anwendung bei der B737-800
4. Schluss

Wenn Flugzeuge neu lackiert werden:

ist besondere Sorgfalt beim Seiten-, Höhen- und Querruder (RUDDER, ELEVATOR, AILERON) erforderlich: Bei einigen Flugzeugtypen sind diese statisch auszuwuchten.

Beispiel:

BOEING 737-800 STRUCTURAL REPAIR MANUAL:



- E. When you do a balance of a Category I or II Control Surface, do as follows:
- (1) There are two ways to balance a Control Surface:
    - (a) On the airplane where the Balance Moment is calculated with equations only.
      - 1) Make sure the Balance Moment is not more than the calculated Rework Limit.
    - (b) Off the airplane where the Balance Moment is calculated from the actual weight that is found with a balance fixture.
      - 1) Make sure the Balance Moment is not more than the Operational Limit.
  - (a) „by calculation“: Steuerflächen verbleiben am Flugzeug, geringer Aufwand, vorteilhaft
  - (b) „by static balance fixture“: frisch lackierte Steuerflächen werden abgebaut, hoher Aufwand, nachteilig



## Balancierung der Ruder „by calculation“



1. Einleitung
2. Lackdickenmessungen auf CFK
3. Anwendung bei der B737-800
4. Schluss

- Die Lackdicke wird an bestimmten Punkten **vor der Entlackung** gemessen.
- Die Lackdicke wird an denselben Punkte **nach der Neulackierung** gemessen.
- Aus den Lackdickendifferenzen und auf der Basis des STRUCTURAL REPAIR MANUAL werden die **Drehmomente** bestimmt, die zuzufügen bzw. zu entfernen sind. Sie müssen innerhalb bestimmter Grenzen liegen.
- Die ermittelten **Ausgleichsgewichte** werden zugefügt bzw. entfernt.

**Jedoch:** Die Ruder sind üblicherweise aus **kohlenfaserverstärkten Kunststoff (CFK)**. Das macht die Lackdickenmessung schwierig: CFK ist anisotrop, von nur mittlerer elektrischer Leitfähigkeit und inhomogen. Verwendet wurden bislang:

- Keilschnittverfahren, Paintborer: zerstörend
- Spezielle Ultraschallmethode: zerstörungsfrei, hoher Aufwand: Kalibrierung, Auswertung, finanziell
- Metallische Begleitproben: bis zu 1 m entfernt, nicht repräsentativ

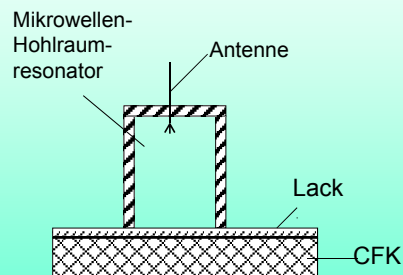


## Mikrowellenbasiertes Lackdickenmessgerät FSC1



1. Einleitung
2. Lackdickenmessungen auf CFK
3. Anwendung bei der B737-800
4. Schluss

- Die lackierte Oberfläche bildet eine Wand eines Hohlraumresonators.
- Der Eingangsreflexionsfaktor der Antenne wird gemessen.
- Die Auswertung ergibt die Lackdicke.
- Auch für anisotropes Substratmaterial
- Schnelle Justierung: ca. 4 Minuten
- Schnelle Messung: ca. 3 Sekunden bis zur Anzeige der Lackdicke
- Zerstörungsfrei
- Die Messung wird an der erforderlichen Stelle durchgeführt.



1. Einleitung
2. **Lackdickenmessungen auf CFK**
3. Anwendung bei der B737-800
4. Schluss



FSC1/7: Transportkoffer mit Inhalt

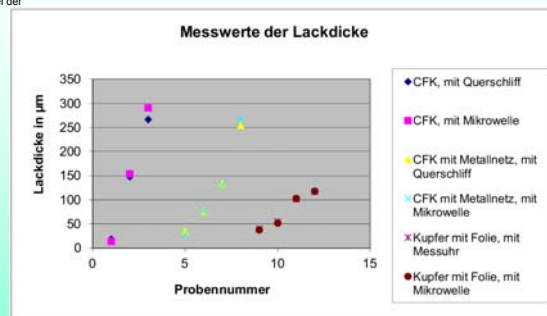


FSC1/7: Lackdickenmessung an einem Aerobatic-Kleinflugzeug (XtremeAir)

Das FSC1 hat die Komponenten Handmodul und Bedien- und Anzeigemodul.  
 Mit der Basisversion lassen sich Lackdicken **bis 400 µm** auf Oberflächen von CFK, CFK mit metallischem Blitzschutz und auf Metall messen.

## Beispielmessungen mit dem FSC1: Vergleich mit zerstörenden/mechanischen Messungen

1. Einleitung
2. **Lackdickenmessungen auf CFK**
3. Anwendung bei der B737-800
4. Schluss



- Testcoupons:
- CFK und CFK mit Metallnetz ECF (expanded copper foil).
  - Kupfersubstrat

Bei einem mehrlagigen Farbschichtaufbau wird die Gesamtdicke gemessen.



1. Einleitung
2. Lackdickenmessungen auf CFK
3. Anwendung bei der B737-800
4. Schluss

## Beispiel: Boeing 737-800



1. Einleitung
2. Lackdickenmessungen auf CFK
3. Anwendung bei der B737-800
4. Schluss

## Justierung und kurzer Funktionstest



Kurzer **Funktionstest** nach der Justierung

Die **Justierung** wurde an einer kleinen abmontierten und entlackten **Trimmklappe des Höhenruders** durchgeführt. 4 Kunststoff-Justierfolien bekannter Dicke (0 und ca. 100, 200, 300 und 400  $\mu\text{m}$ ) wurden verwendet. Dauer: ca. **4 Minuten**





1. Einleitung
2. Lackdickenmessungen auf CFK
3. Anwendung bei der B737-800
4. Schluss

## Lackdickenmessung



Messung der Lackdicke an der linken Seite des Seitenruders



Die Lackdicke wird punktuell mit ca. 20 cm Abstand gemessen.

Reine Messzeit: ca. 4 Sekunden.

Die Dickenwerte werden gespeichert.

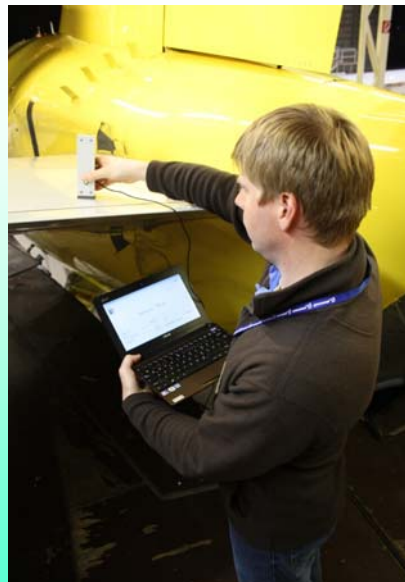


1. Einleitung
2. Lackdickenmessungen auf CFK
3. Anwendung bei der B737-800
4. Schluss

## Lackdickenmessung



Messung der Lackdicke auf der Oberseite des linken Höhenruders





1. Einleitung
2. Lackdickenmessungen auf CFK
3. Anwendung bei der B737-800
4. Schluss

## Lackdickenmessung

Messung der Lackdicke auf der Unterseite des linken Querruders

Die Messwerte für die Lackdicke vor dem Entlacken und nach der Neulackierung werden voneinander subtrahiert.

Drehmomentdifferenzen werden berechnet, und Auswuchtgewichte werden entsprechend geändert.



1. Einleitung
2. Lackdickenmessungen auf CFK
3. Anwendung bei der B737-800
4. Schluss

## Schluss

- Verglichen mit dem Paintborer werden beim Einsatz des FSC1 der **Arbeitsaufwand erheblich reduziert** und die **Messgenauigkeit erhöht**. Das FSC1 arbeitet darüber hinaus **zerstörungsfrei**.
- Diese Methode ist auch für **andere Flugzeugtypen** einsetzbar.
- Das FSC1/7 ist qualifiziert von Airbus und "approved" von Boeing.
- Für die beschriebenen Anwendungen ist das FSC1 im **Routineeinsatz** bei mehreren Lackierwerkstätten.
- Das FSC1 wird auch in der **Fertigung von Flugzeugen** mit CFK-Teilen eingesetzt.
- Der Routineeinsatz des FSC1 in der **Automobilindustrie** (CFK-Dächer) steht noch bevor.

Kontakt: Johann Hinken  
FI Test- und Messtechnik GmbH  
www.fitm.de  
johann.hinken@fitm.de  
Tel: +49 (0) 391 503894-31

Die Autoren danken den Herren Maik Richter, Christian Ziep und Gregor Horst für ihre wertvollen Beiträge zur Entwicklung des FSC1.

