

# Vibrationen im Helikopterflug. Vibration in helicopters

Auswirkungen des Belastungspotenzials auf Piloten und Patienten im Rettungsflugbetrieb

Effects by the exposure potentials for pilots and patients in case of emergency flight

Prof. Dr.-Ing. **F. Janser**, FH Aachen, Fachbereich Luft- und Raumfahrttechnik, Aachen

Dr.-Ing. **K. G. Krapf**, Wölfel Beratende Ingenieure, Höchberg

**B. Hoeveler**, B. Eng. , FH Aachen, Fachbereich Luft- und Raumfahrttechnik, Aachen

## 1. Einleitung. Zielsetzung

Die spezielle Triebwerks- und Rotorkonfiguration von Helikoptern erzeugt erhebliche Vibrationen und Schwingungen. Bei der Auslegung der Struktur und der Analyse der Steuerbarkeit ist dies traditionell immer schon ein zentrales Thema für die Konstrukteure gewesen.

Relativ jung ist die Beschäftigung mit der Belastung der Besatzung aufgrund des Lärm- und Vibrationsspektrums, dem durch entsprechende Schwingungsminderungsmaßnahmen an Sitzen und durch Positionierung der Steuerorgane und Bedienelemente bei modernen Helikopterkonstruktionen Rechnung getragen wird. In jüngerer Zeit sind ebenfalls die Belastungen der Patienten bei Rettungs- und Transportflügen, nicht zuletzt durch die Intervention der betreuenden Mediziner, ins Interesse der Betreiber gerückt. Hier ist die Belastung, neben dem persönlich erlittenen Schicksal und teilweise multitraumalen Verletzungen, durch die während des eigentlichen Rettungs- oder Überführungsfluges auftretenden Lärm- und Vibrationseinwirkungen erheblich.

Die vorliegende Untersuchung hat zum Ziel, in einer ersten Standortbestimmung messtechnisch ein entsprechendes Belastungsspektrum zu erfassen und Potentiale für Verbesserungen aufzuzeigen. Sie ist ein Versuch zum Einstieg in dieses Thema für das Fluglabor der FH Aachen, das sich neben der Ausbildung von Ingenieuren für die Messdatenerfassung im Flugbetrieb schon seit langem mit der Lärm- und Schwingungsemision von Fluggeräten beschäftigt. In den vergangenen Jahren konnte daneben einiges an Kompetenz für die Erfassung von Vibrationen und Schwingungen erworben werden.

## 2. Versuchsanordnung

### 2.1 Messtechnik

Das Fluglabor der FH Aachen besitzt mit der sogenannten „Orange Box“ ein umfassendes Flugmessdaten-Erfassungssystem, das neben allen Fluglageparametern auch akustische Daten aus dem Voice Recorder und visuelle Daten aus einer Webcam erfassen und aufzeichnen kann. Dieses Messsystem kam auch bei der vorliegenden Flugmesskampagne zum Einsatz. Es gibt dem Piloten und dem Flugversuchingenieur die Möglichkeit, auf einem Tablet-PC auch während des Versuchs entsprechende Daten aufbereitet zur Ansicht zu bekommen und trägt daher auch maßgeblich mit zu einer effizienten Durchführung des Messbetriebs bei. Die Messungen selbst wurden durchgeführt an dem Muster Eurocopter EC135 (Abbildung 2.1, Abbildungsquelle: WorldAirlImages) und EC145.



Abbildung 2.1: Muster Eurocopter EC135

## 2.2 Einbausituation

Für die Erfassung der Schwingungen und Vibrationen im Helikopter wurde das von der Firma Wölfel beigestellte Ganzkörpermesssystem evec, das Schwingungsdosimeter MovitoD und das Gesamtanalysesystem MEDA<sup>HVM</sup> verwendet. Die Messanordnung im Helikoptercockpit zeigt Abbildung 2.2 (Abbildungsquelle: [1]).



Abbildung 2.2: Beispielmessung im Helikoptercockpit

Im Rahmen der umfangreichen Messflüge am Helikopter wurden Schwingungsmessungen auf dem Piloten- und Copilotensitz, am Handgelenk des Piloten sowie im Bereich der Patientenposition auf dem sogenannten Stretcher durchgeführt.

### 3. Ergebnisse

Neben den Tages-Vibrations-Expositionswerten wurde von der Mess- bzw. Auswertetechnik auch der Schwingungsgesamtwert über die drei Hauptkoordinatenrichtungen erfasst.

#### 3.1 Belastung von Piloten / Patienten

Abbildung 3.2 zeigt eine typische Frequenzanalyse der Beschleunigungen und Vibrationen in x-y-z-Richtung des auf dem Stretcher liegenden Patienten. Deutlich zu sehen ist der durch den Hauptrotor und Heckrotor erzeugte Peak bei 26 Hz bzw. 73 Hz und die Verteilung auf die einzelnen Bewegungsrichtungen des Hubschraubers.

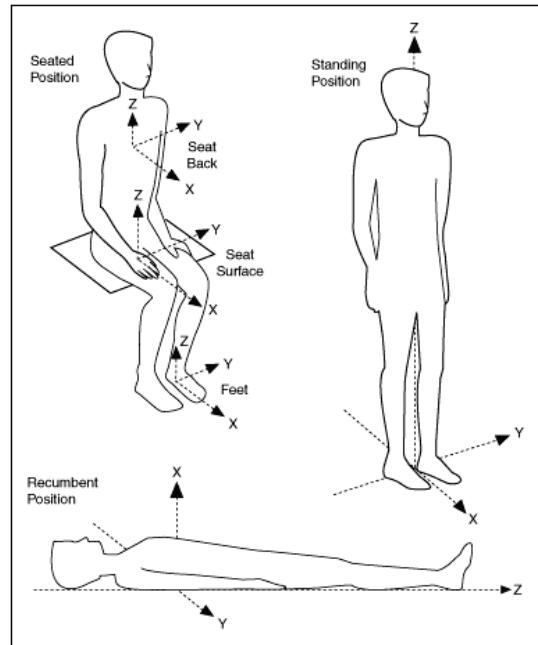


Abbildung 3.1: Körpereigenes Koordinatensystem  
(Quelle: www.ni.com)

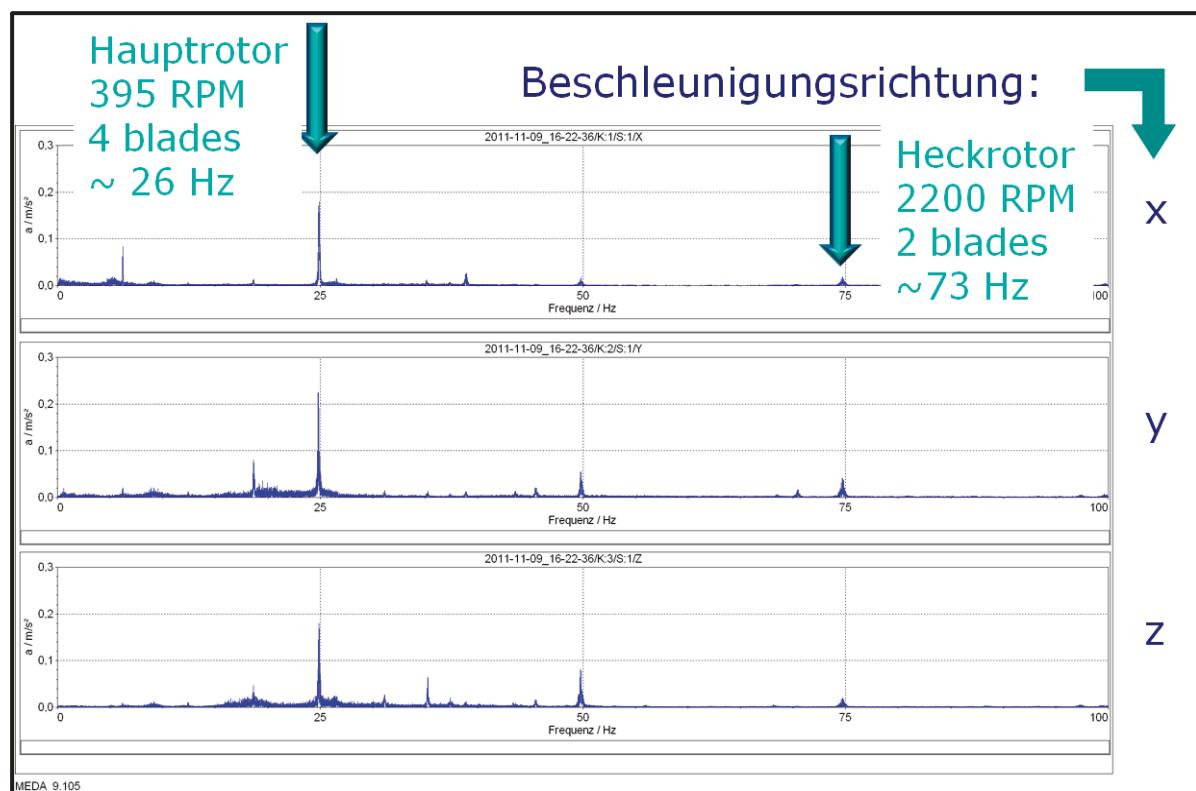


Abbildung 3.2: Frequenzanalyse von Haupt- und Heckrotor (Quelle: [1])

Die 26Hz Frequenz des Hauptrotors (Abbildung 3.2) liegt in den Maxima in den Frequenzbewertungsfunktionen (siehe VDI2057 [2] oder ISO8041 [3]), während der Heckrotor mit 73Hz keinerlei Rolle spielt. Auch wäre zu überlegen, ob aufgrund der spezifischen Eigenschaften des Helikopters nicht auch Rotationsschwingungen auf den Patienten wirken, was durch Überlagerung der Bewertungskurven je nach Frequenzbereich eine schärfere Beurteilung nach sich ziehen würde.

Die ermittelten Beurteilungswerte liegen mit  $0,5\text{m/sec}^2$  durchaus im Bereich der Gesundheitsgefährdung laut VDI 2057 [2], allerdings gelten die dort genannten Werte nur bei „langjähriger Tätigkeit“ und nicht für einen relativ kurzen Hubschrauberflug. Andererseits werden zum Teil mehrfach traumatisierte Patienten Belastungen ausgesetzt, die selbst für einen gesunden Menschen können sie als „unangenehm/störend“ empfunden werden.

### 3.2 Vibrationsspektrum im Helikopterrettungsflugbetrieb

In Abbildung 3.3 sind die Beschleunigungswerte als Amplituden aus dem Frequenzspektrum über der Vorwärtsgeschwindigkeit des Helikopters aufgetragen. Auf diesem Bild sind zwei Einflüsse sehr deutlich zu erkennen.

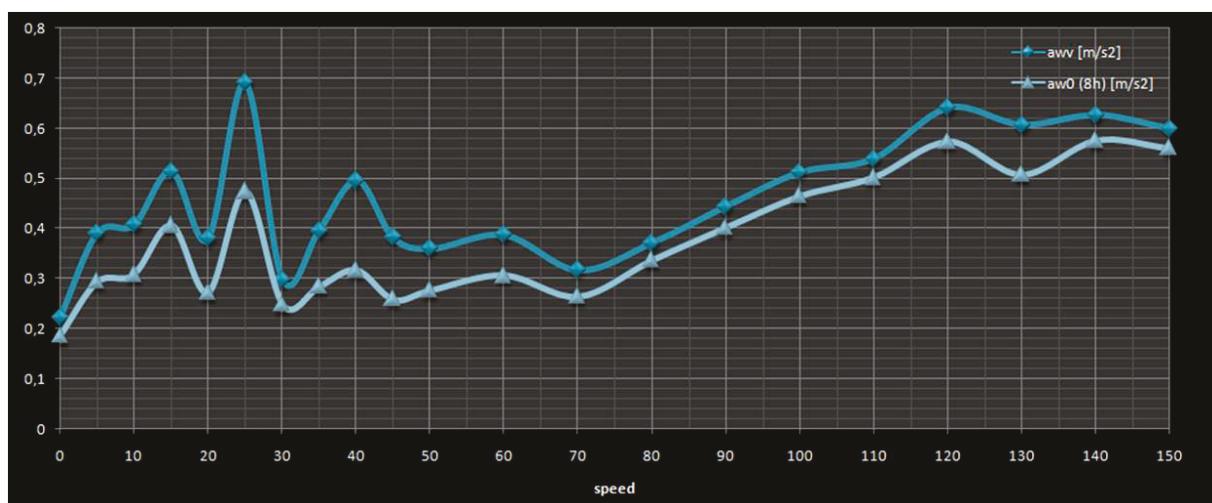


Abbildung 3.3: Beschleunigungswerte (Quelle: [1])

Bei der üblichen Geschwindigkeit des Helikopters zwischen 110 Knoten und 130 Knoten treten die höchsten Beschleunigungswerte auf. Eine wesentliche Erkenntnis ist, dass eine erhebliche Reduktion der Schwingungsbelastung von ca. 40 % bzw. 34 % bei der EC145 dann erfolgen kann, wenn man die entsprechende Geschwindigkeit von 120 Knoten auf 90 Knoten im Patiententransport reduziert. Die damit verbundene Erhöhung der typischen Rettungsflugdauer von 5 Minuten auf 7 Minuten ist im Allgemeinen akzeptabel.

Insgesamt wird auf diese Weise die vom Patienten erfahrene Schwingungsdosierung signifikant um 50% reduziert, wie sich aus nachfolgender Formel für die Schwingungsdosierung ergibt. [4]

$$dose\ value = \int_{t=0}^T a_{RMS}^4(t) dt \sim a_{RMS}^4 \cdot T$$

Hierbei ist  $a_{RMS}$  die energieäquivalente frequenzgemittelte Beschleunigung und T die Einwirkungszeit.

## 4. Weiterführende Arbeiten

Die Arbeiten verstehen sich als erster Schritt für weiterführende Untersuchungen und Anwendungsverfahren im Bereich des Helikopterrettungsflugbetriebs, der in Europa neben den militärischen Applikationen den wesentlichen Bestandteil des Einsatzspektrums dieser Luftfahrzeuggattung darstellt.

Die Messergebnisse selbst versprechen einiges an Optimierungspotential im Bereich des Helikoptersitzes, aber vor allen Möglichkeiten zur Weiterentwicklung der Patientenstreicher.

Der Einfluss reduzierter Vorwärtsgeschwindigkeiten in den eigentlichen Patiententransport wird zurzeit an einigen ausgewählten Standorten erprobt.

## 5. Literaturverzeichnis

- [1] I. Minderjahn, Aircraft Vibration, Aachen, 2012.
- [2] VDI-Fachbereich Schwingungstechnik, „VDI 2057 Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen - Ganzkörper-Schwingungen,“ 2007.
- [3] DIN EN ISO 8041 Schwingungseinwirkung auf den Menschen, „ISO 2631-1 Mechanische Schwingungen und Stöße - Bewertung der Einwirkung von Ganzkörper-Schwingungen auf den Menschen,“ Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin, 1997.
- [4] M. J. Griffin, Handbook of Human Vibration, London: Academic Press Ltd., 1990.