

Physikalische Einwirkungen bei Hubschrauberarbeitsplätzen: Vibrationen – Körperhaltungen – Lärm

Physical exposures at helicopter workplaces: vibrations – posture – noise

Dr. Jörg Rissler, Detlef Sayn, Dipl.-Ing. Nastaran Raffler, Markus Jansen, Dr. Ulrich Glitsch, Dr. Rolf Ellegast, Dr. Jürgen Maue, Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung, Sankt Augustin;

Kurzfassung

In dieser Arbeit sind bei Hubschrauberarbeitsplätzen gleichzeitig die Expositionen durch Ganzkörper-Vibrationen, ungünstige Körperhaltungen und Lärm gemessen worden. Eine Bewertung der Gesundheitsgefährdungen erfolgt getrennt nach Expositionen. Es wird aber auch ein Ansatz gezeigt, wie die Kombinationswirkung von ungünstigen Körperhaltungen und Ganzkörper-Vibrationen bewertet werden kann.

Bei den Ganzkörper-Vibrationen führen die untersuchten Betriebszustände zu frequenzbewerteten Beschleunigungen vornehmlich in z-Richtung. Die Auslöseschwelle des Tages-Vibrationsexpositionswerts nach Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung wird bei den untersuchten Bedingungen erst ab Flügen von mehr als sieben Stunden überschritten. Dabei spielen die Sitzpolster eine wichtige Rolle, um die hochfrequenten Anteile der Schwingungsanregung zu dämpfen.

Auch die gemessenen Körperwinkel werden in den meisten Fällen als nicht belastend eingestuft. Eine Ausnahme bildet dabei der Technikersitz des AS 332 L1 (Super Puma), der nur über wenig Freiraum für die Füße verfügt. Außerdem werden erste Messungen zu der Frage vorgestellt, wie sich ein Nachtsichtgerät auf Körperhaltungen auswirkt. Die Kombinationsbelastung von Ganzkörper-Vibrationen und Körperhaltungen wird in den hier untersuchten Fällen von den Belastungen durch ungünstige Körperhaltungen bestimmt.

Die Geräuschbelastung unter dem Helm wird schrittweise ermittelt: vom Kabinengeräusch wird der vorher ermittelte Dämmwert des Helms abgezogen. Dann wird die gemessene Belastung durch den Sprechfunk zugeschlagen.

Abstract

This work presents the results of simultaneous measurements concerning different exposures: whole-body vibration, posture and noise. The exposures are evaluated separately. However, for whole-body vibration and posture, a combined evaluation is proposed.

As far as the whole-body vibration is concerned, the different operating conditions led to frequency-weighted accelerations predominantly in z-direction. Here, the action value for the daily vibration exposure according to the EU Directive on physical agents (2002/44/EC) is only exceeded for flights of more than seven hours. In this regard, the seat cushions play a major role for the absorption of the high-frequency part of the excitation.

Also the measured values for the body angles are located in neutral or moderate regions. However, the technician's seat of the AS 332 L1 (Super Puma) is an exception, as it does not provide much space for the feet. In addition, first results are presented on the question, how a night vision device affects posture. The combined risk of whole-body vibration and posture is in this work dominated by the exposure due to posture.

The noise exposure is determined stepwise: starting with the cabin noise, the measured attenuation is subtracted and, finally, the noise level due to voice radio is added.

1. Einleitung

In Deutschland müssen Arbeitgeber die Gefährdungen durch Lärm-, Vibrationen und die zugehörigen Kombinationswirkungen ermitteln und beurteilen [1]. Dies betrifft auch die Besatzungen von Hubschraubern, die Belastungen durch Ganzkörper-Vibrationen ausgesetzt sein können [2].

Diese Arbeit stellt die Ergebnisse von Betriebsmessungen vor, die die Unfallkasse des Bundes in Absprache mit der Bundespolizei-Fliegergruppe angeregt hat. Dabei sind für vier Hubschraubertypen repräsentative Belastungsdaten für Hubschrauberpiloten und das begleitende fliegende Personal der Bundespolizei erhoben worden. Neben den Gefährdungen durch Lärm- und Vibrationen sind auch Körperhaltungen untersucht worden. Diese können die Gefährdungen durch Ganzkörper-Vibrationen verstärken. Besonderes Augenmerk ist dabei der Benutzung eines Nachtsichtgeräts zugekommen.

Im Abschnitt 2 werden zunächst die Ergebnisse für die Messungen der Ganzkörper-Vibrationen vorgestellt. Danach folgen die Untersuchungen zu den Körperhaltungen in Abschnitt 3, der auch die Kombinationsbelastung aus Ganzkörper-Vibrationen und Körperhaltungen enthält. Abschnitt 4 beschreibt die Lärmmessungen.

2. Ganzkörper-Vibrationen

In diesem Abschnitt wird zunächst die Messstrategie und die verwendeten Geräte und Normen vorgestellt, bevor die Ergebnisse beschrieben werden.

2.1 Methoden

Es sind an vier Hubschraubertypen (EC 135 T2, EC 120 B, EC 155 B, AS 332 L1) jeweils dreizehn Flugmanöver (Tabelle 1) untersucht worden. Diese Manöverflüge haben eine Länge von etwa einer Stunde, und jede Messung der Manöver hat mindestens zwei Minuten gedauert. Außerdem sind zwei Arbeitsspiele unter realistischen Bedingungen nachgestellt worden: Ein Kontrollflug bei Tag, der auch in der Nacht wiederholt worden ist, um den Einfluss des Nachtsichtgeräts auf die Körperhaltung zu untersuchen (siehe Abschnitt 3.3). Alle Flüge und Messungen sind in Tabelle 2 aufgelistet.

Ziel ist es, dass aus den Daten der Manöverflüge, die Vibrationsbelastungen für verschiedene Flugprofile ermittelt werden können. Dieses Verfahren wird für den Piloten beim Tag-Kontrollflug überprüft (Messung 1, Tabelle 2). Die Vibrationsbelastung der Manöver für den Piloten desselben Hubschraubers sind in Messung 7 erfasst worden. Mit dem protokollierten Flugprofil der Messung 1 (Dauer und Art der Manöver) kann die Vibrationsbelastung für den gesamten Tag-Kontrollflug des Piloten rekonstruiert werden (Eintrag 21, Tabelle 2): Die höchste Abweichung zu den Messwerten aus Messung 1 beträgt nur $0,06 \text{ m/s}^2$.

Tabelle 1: Laufende Nummer und Name der untersuchten Flugmanöver

1	Bodenleerlauf	8	Standardkurve links
2	Flugleerlauf	9	Standardkurve rechts
3	Schwebeflug mit Bodeneffekt	10	Steilkurve (30°) links
4	Schwebeflug ohne Bodeneffekt	11	Steilkurve (30°) rechts
5	Steigflug	12	Sinkflug
6	Horizontalflug	13	Autorotation ohne Landung
7	Reiseflug (Maximum Continuous Power)		

Bei den Messungen sind die Messkette PSC 16 (Firma KMT), das Messgerät Svan 948 (Firma Svantek) und die Messscheibe Evec (Firma Micromega) verwendet worden. Alle Messgeräte messen die Beschleunigungen nach VDI 2057-1:2002 [3] und DIN EN 14253:2008 [4a] in den Messrichtungen $l = \{x, y, z\}$: x (Rücken-Brust), y (Schulter-Schulter) und z (Richtung der Wirbelsäule). Sie erfüllen auch die Anforderungen nach DIN EN ISO 8041:2005 [4b] für die Messaufgabe.

Angegeben ist im Weiteren der Effektivwert der frequenzbewerteten Beschleunigung $a_{w,l}$ [3] in den drei Messrichtungen l , wobei die Faktoren für die Beurteilung der Gesundheitsgefährdungen ($k_x = k_y = 1,4$; $k_z = 1,0$ [3]) nicht berücksichtigt sind.

Tabelle 2: Laufende Nummer (Nr.), Flüge, Sitze, Effektivwerte der frequenzbewerteten Beschleunigung am Sitzmontagepunkt (Chassis) und der Sitzfläche ohne den Faktor für das Kriterium Gesundheit für die Gesamtflüge ($a_{w,x}$ $a_{w,y}$ $a_{w,z}$), Sitzübertragungsfaktor in z-Richtung ($SEAT_z$, Gleichung (1))

^a Rekonstruktion der Messung 1 aus Werten der Messung 7

Nr.	Hubschraubertyp, Messzeit, Art des Flugs	Sitz	Sitzfläche			Chassis	SEAT _z
			$a_{w,x}$ [m/s ²]	$a_{w,y}$ [m/s ²]	$a_{w,z}$ [m/s ²]	$a_{w,z}$ [m/s ²]	
1	EC 135 T2, 55 min, Tag-Kontrollflug	Pilot	0,06	0,10	0,31	0,32	0,98
2		Copilot	0,07	0,09	0,40	0,47	0,85
3		Passagier	0,08	0,15	0,29	-	-
4	EC 135 T2, 56 min, Nacht-Kontrollflug	Pilot	0,05	0,10	0,28	0,30	0,95
5		Copilot	0,06	0,09	0,38	0,45	0,86
6		Passagier	0,05	0,16	0,28	-	-
7	EC 135 T2, 52 min, Manöverflug	Pilot	0,06	0,11	0,36	0,33	1,09
8		Copilot	0,06	0,10	0,33	0,50	0,66
9		Passagier	0,06	0,14	0,31	-	-
10	EC 120 B, 69 min, Manöverflug	Pilot	0,07	0,07	0,35	0,44	0,81
11		Copilot	0,06	0,08	0,36	0,43	0,83
12		Passagier	0,06	0,07	0,24	-	-
13	EC 155 B, 60 min, Manöverflug	Pilot	0,06	0,09	0,29	0,41	0,69
14		Copilot	0,05	0,07	0,30	0,45	0,66
15		Passagier	0,06	0,06	0,17	-	-
16	AS 332 L1, 51 min, Manöverflug	Pilot	0,07	0,11	0,20	0,54	0,38
17		Copilot	0,06	0,11	0,22	0,45	0,50
18		Techniker	0,05	0,07	0,15	-	-
19		Passagier	0,08	0,09	0,27	-	-
20		Passagier	0,10	0,08	0,26	-	-
21	EC 135 T2, rekonstruiert ^a	Pilot	0,06	0,12	0,37	-	-

2.2 Ergebnisse

Frequenzbewertete Beschleunigungen

Es sind die Vibrationsbelastungen von zwanzig Besatzungsmitgliedern in vier Hubschraubern auf Piloten-, Copiloten- und Passagiersitzen sowie einem Technikersitz untersucht worden (Tabelle 2). Die Effektivwerte der frequenzbewerteten Beschleunigungen für die Gesamtflüge zeigen, dass die z-Richtung die am höchsten belastende Richtung ist.

Dies gilt für die Gesamtflüge auch, wenn die Faktoren für die Beurteilung der Gesundheitsgefährdungen ($k_x = k_y = 1,4$; $k_z = 1,0$ [3]) berücksichtigt werden. Ausnahmen können bei einzelnen Flugmanövern (Nr. 1 – 4 in Tabelle 1) und einigen Sitzen (Messungen 6, 13, 15 – 18) auftreten: In diesen Fällen ist die y-Richtung am höchsten belastend. Da es sich dabei aber um vergleichsweise geringe Belastungen handelt ($k_l a_{w,l} < 0,2 \text{ m/s}^2$ für $l = \{x, y, z\}$), fällt es bei der Betrachtung der gesamten Flugprofile nicht ins Gewicht

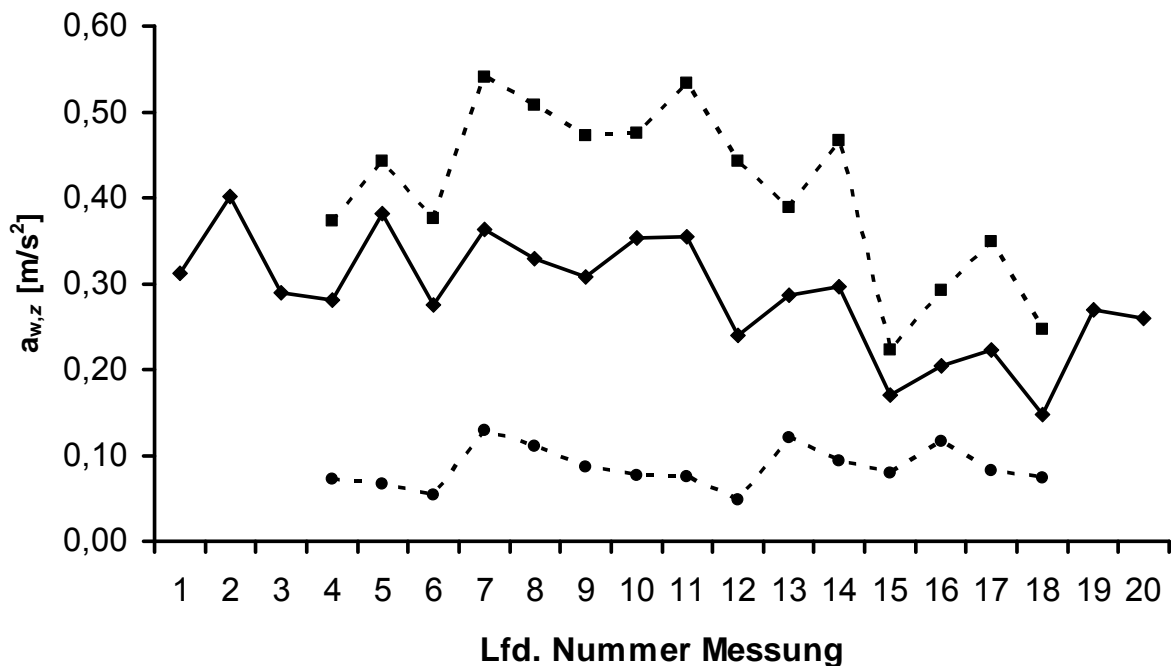


Bild 1: Effektivwerte der frequenzbewerteten Beschleunigung in z-Richtung auf der Sitzfläche ($a_{w,z}$), laufende Nummer der Messung nach Tabelle 2 (Lfd. Nummer Messung)

- - Höchster beobachteter Messwert für ein Flugmanöver
- ◆ - Messwert für die gesamte Messung (Tabelle 2)
- - Niedrigster beobachteter Messwert für ein Flugmanöver

Die beobachtete Spannweite von $a_{w,z}$ für die einzelnen Flugmanöver ist im Bild 1 dargestellt. Für jede Messung ist dort $a_{w,z}$ aus Tabelle 2 aufgetragen. Außerdem sind für die Messungen,

in denen Flugmanöver ausgewertet worden sind, die niedrigsten und höchsten Messwerte der Flugmanöver aufgetragen. Die niedrigsten Messwerte sind bei den Manövern 1 – 4 aus Tabelle 1 (Leerlauf, Schwebeflug) gemessen worden. Die höchsten Messwerte sind bei den Messungen 4 – 9 und 15 – 18 beim Reiseflug und Horizontalflug aufgetreten (Manöver 6 und 7, Tabelle 1). In zwei weiteren Messungen (10, 11) liegen die Messwerte für diese Flugmanöver nur knapp unter dem Manöver, das den höchsten Messwert erzeugt hat.

Bei der Beurteilung der Gefährdung durch Vibrationen nach der Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung müssen erst Vibrationsschutzmaßnahmen ergriffen werden, wenn der Auslösewert $A(8) = 0,50 \text{ m/s}^2$ überschritten wird [1]. Wenn man annimmt, dass ein Beschäftigter während einer Schicht nur dem am höchsten belastenden Flugmanöver ausgesetzt ist (Reiseflug, Messung 7 $a_{w,z} = 0,54 \text{ m/s}^2$, Bild 1), wird der Auslösewert erst bei Flügen von etwa sieben Stunden erreicht.

Anregungen – Dämpfungen

Die Anregung der Sitze kann durch die frequenzbewerteten Beschleunigungen am Sitzmontagepunkt (Chassis) beschrieben werden (Tabelle 2). Beschränkt man sich auf die am höchsten belastende Richtung, die z-Richtung, sieht man, dass sie im Bereich von $0,30 \text{ m/s}^2 \leq a_{w,z} \leq 0,54 \text{ m/s}^2$ liegen und je nach Hubschraubertyp für den Piloten- und Copilotensitz unterschiedlich ausfallen können (siehe Messungen 1-2, 4-5, 16-17). Bei den spektralen Leistungsdichten dieser Größe ($PSD_{\text{Chassis},z}$) [5] für die vier Hubschraubertypen sieht man, dass für alle Frequenzabschnitte bis 100 Hz signifikante Anregungen vorhanden sind, wobei die Verteilung der Maxima charakteristisch für den jeweiligen Hubschraubertyp ist. Die Bilder 2 und 3 zeigen $PSD_{\text{Chassis},z}$ beispielhaft für den Pilotensitz beim AS 332 L1 (Messung 16, Tabelle 2) und den Copiloten beim EC 135 T2 (Messung 5, Tabelle 2). In den Fällen, in denen sich die Anregung für Piloten- und Copilotensitze unterscheidet, macht sich das nur in den Höhen der Maxima bemerkbar und nicht in deren Verteilung.

Das Dämpfungsverhalten der Sitze in z-Richtung kann durch den Sitzübertragungsfaktor

$$SEAT_z = \frac{a_{w,z}^{\text{Sitzfläche}}}{a_{w,z}^{\text{Chassis}}} \quad (1)$$

beschrieben werden, der angibt, ob ein Sitz die Anregungen dämpft ($SEAT_z < 1,0$) oder verstärkt ($SEAT_z > 1,0$). Beim EC 135 T2 dämpfen die Sitze des (Co-)Piloten die Anregungen in geringem Maße (Messung 1, 2, 4, 5); nur in einem Fall kommt es zu einer geringen Verstärkung (Messung 7). Bei der Messung 8 hat der Copilot ein zusätzliches Keilkissen untergelegt, was zu einem niedrigeren $SEAT_z$ -Wert führt (Tabelle 2). Solche Keilkissen aus Schaumstoff werden von den Piloten zum Teil selbst mitgebracht, um den Sitzkomfort zu

erhöhen. Die niedrigen Beschleunigungswerte in z-Richtung für die (Co-)Pilotensitze auf der Sitzfläche des AS 332 L1 korrespondieren mit geringen $SEAT_z$ -Werten.

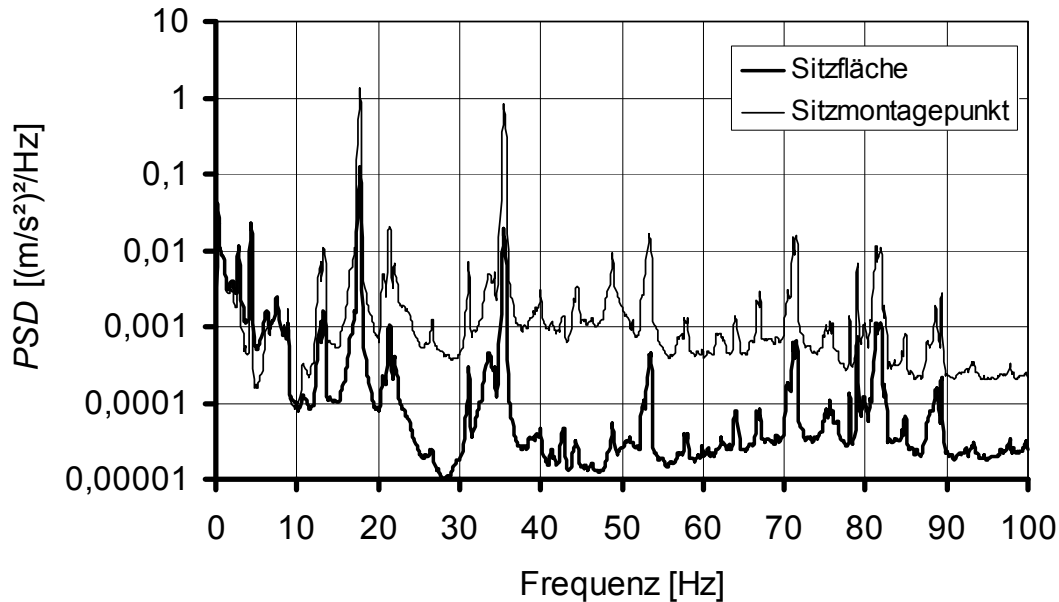


Bild 2: Spektrale Leistungsdichte (PSD) der Beschleunigung auf der Sitzfläche und am Sitzmontagepunkt in z-Richtung für Messung 16 (Pilot AS 332 L1), Frequenzschrittweite 0,125 Hz

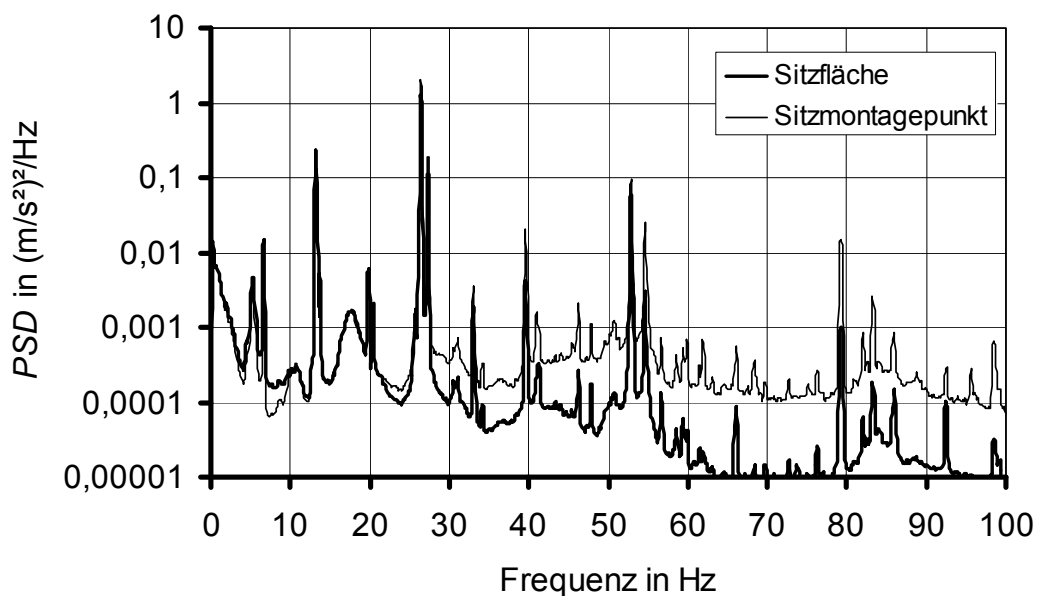


Bild 3: Spektrale Leistungsdichte (PSD) der Beschleunigung auf der Sitzfläche und am Sitzmontagepunkt in z-Richtung für die Messung 5 (Copilot EC 135 T2), Frequenzschrittweite 0,125 Hz

Die niedrigeren $SEAT_z$ -Werte bei den Messungen 8, 16 und 17 können durch dickere Polster auf den Sitzen erklärt werden. So hat auf dem Copilotensitz bei Messung 8 ein zusätzliches Keilkissen gelegen und die Sitze des Piloten und Copiloten bei dem AS 332 L1 haben mit etwa 80 mm ein deutlich dickeres Polster gehabt als die Sitze der anderen Maschinen (etwa 30 mm). Eine bessere Polsterung macht sich vor allem bei der Dämpfung höherfrequenter Anregungen bemerkbar. Die Frequenzabhängigkeit der Sitzdämpfung kann gut an der Transferfunktion

$$TF = \left(\frac{PSD_{Sitz,z}}{PSD_{Chassis,z}} \right)^{1/2} \quad (2)$$

abgelesen werden, die angibt, bei welcher Frequenz ein Sitz die Anregung dämpft ($TF < 1,0$) oder verstärkt ($TF > 1,0$). Im Bild 4 wird deutlich, dass beim Pilotensitz des AS 332 L1 die Anregung in z-Richtung bis etwa 10 Hz verstärkt wird, und dass der Sitz bei den höheren Frequenzen die Anregung dämpft. Beim Copilotensitz des EC 135 T2 ist die Dämpfung bei Frequenzen über 10 Hz weniger gut ausgeprägt (Bild 5).

Dieses bessere Dämpfungsverhalten des Pilotensitzes bei dem AS 332 L1 führt auch zu einer niedrigeren frequenzbewerteten Beschleunigung in z-Richtung auf der Sitzfläche und einem geringen Sitzübertragungsfaktor (Tabelle 2, Bild 1).

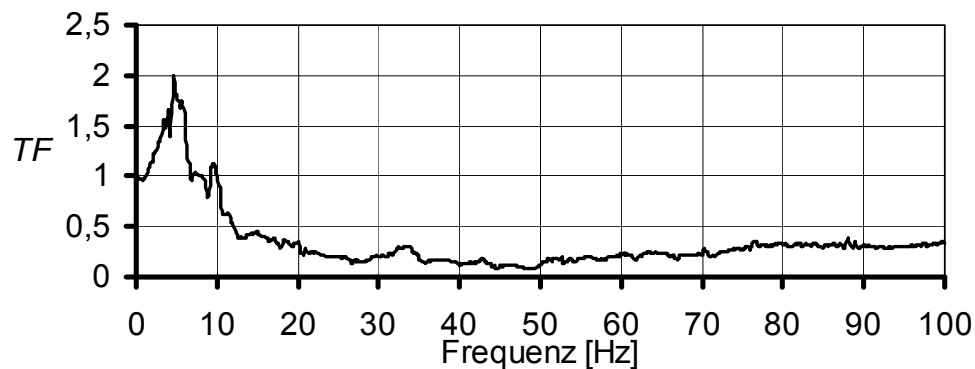


Bild 4: Transferfunktion (TF , Gleichung (2)) für Messung 16 (Pilot AS 332 L1)

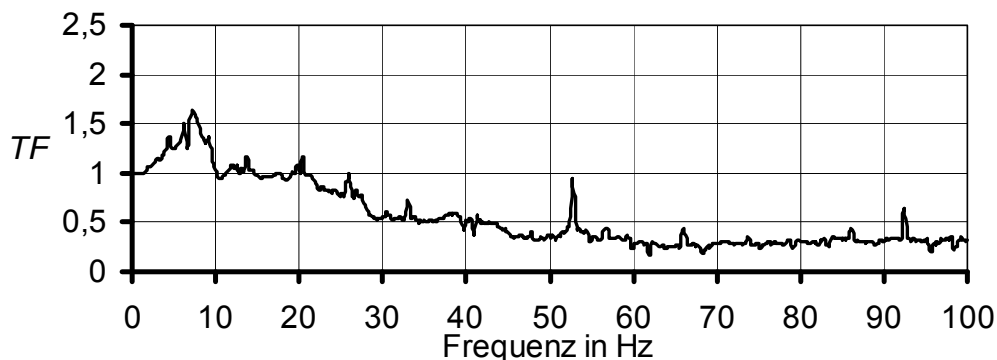


Bild 5: Transferfunktion (TF , Gleichung (2)) für die Messung 5 (Copilot EC 135 T2)

3. Körperhaltungen

In diesem Abschnitt werden zunächst nur die Messungen für die Körperwinkel vorgestellt, bevor die Kombination mit den Ganzkörper-Vibrationen besprochen wird. Dann wird der Einfluss eines Nachtsichtgerätes untersucht, wobei auch Messungen der Muskelaktivität besprochen werden.

	Körperwinkel
	Laterale und sagittale Kopf-Neigung
	Laterale und sagittale Hals-Krümmung
	Hals-Torsion
	Laterale und sagittale Rumpf-Neigung
	Laterale und sagittale Rücken-Krümmung
Rücken-Torsion	
Hüft-Flexion/-Extension	
Knie-Flexion/-Extension	


Bild 6: Das CUELA-Messsystem für Körperhaltungen mit Angabe der Körperwinkel, die damit erfasst werden können (BWS: Brustwirbelsäule, LWS: Lendenwirbelsäule)

3.1 Körperhaltungen – Körperwinkel

Zur Messung der Körperhaltungen wird das CUELA-Messsystem (Computer-Unterstützte Erfassung und Langzeit-Analyse von Belastungen des Muskel-Skelett-Systems) eingesetzt. Dieses batteriebetriebene System ist aus Gyroskopen, Beschleunigungsaufnehmern und Potentiometern aufgebaut und wird auf die Kleidung des Beschäftigten angebracht. Es erfasst bei mobilen Arbeitsplätzen synchron zur Vibration die Körperhaltung des Beschäftigten mit einer Abtastrate von 50 Hz. Aus den Sensordaten können mehrere Körperwinkel erfasst und berechnet werden (Bild 6) [6, 7].

Bei den Messungen 1, 4, 8, 10, 14, 17 und 18 (Tabelle 2) ist das CUELA-System verwendet worden. In dieser Arbeit werden drei Winkelbereiche anhand von Normen unterschieden und als ‚neutral‘, ‚moderat‘ und ‚ungünstig‘ bewertet. Ein Beispiel für die sagittale Kopfneigung zeigt Tabelle 4.

Tabelle 3: Beispiel für die Bewertung von Körperwinkleinteilung: neutrale, moderate und ungünstige Winkelbereiche für die sagittale Halskrümmung nach [8].

	Kopf-Neigung (sagittal)
	
neutral	0° bis 25°
moderat	25° bis 85°
ungünstig	< -15° od. > 85°

Während der Messungen sind die Zeitanteile erfasst worden, in denen die Körperwinkel (Bild 6) in den drei Winkelbereichen gelegen haben. In den meisten Fällen in dieser Arbeit haben die moderaten und neutralen Haltungen überwogen. Als Beispiel sind die Zeitanteile für die sagittale Kopf-Neigung in Bild 7 dargestellt.

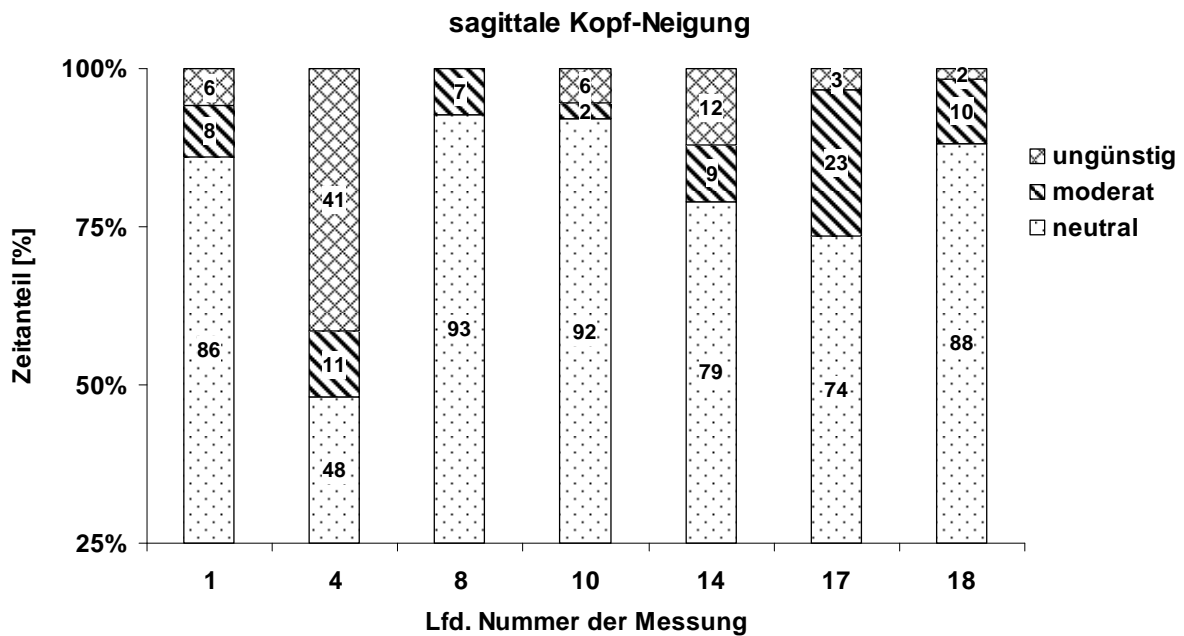


Bild 7: Zeitanteile der Gesamtmessung, in denen die sagittale Kopf-Neigung in dem neutralen, moderaten und ungünstigen Winkelbereich gelegen hat (Tabelle 3). Laufende Nummer der Messung nach Tabelle 2 (Lfd. Nummer).

Eine Ausnahme stellt der Technikerarbeitsplatz in der AS 332 L1 (Messung 18, Tabelle 2) dar, der im Gegensatz zu den (Co-)Pilotensitzen nur über wenig Freiraum für die Füße verfügt (Bild 8). Dies wirkt sich vor allem auf den Kniewinkel aus, der deshalb näher betrachtet werden soll.



Bild 8: Sitzhaltung des Beschäftigten beim Technikerplatz der AS 332 L1
(Kniewinkel ist nachgezeichnet)

Beim Techniker der AS 332 L1 sind die Knie-Flexionen mit maximal bei 130° deutlich größer als bei den Piloten und Copiloten, bei denen Werte zwischen 60° und 100° gemessen worden sind. Die geringsten Kniewinkel sind beim Piloten des EC 120 B aufgetreten.

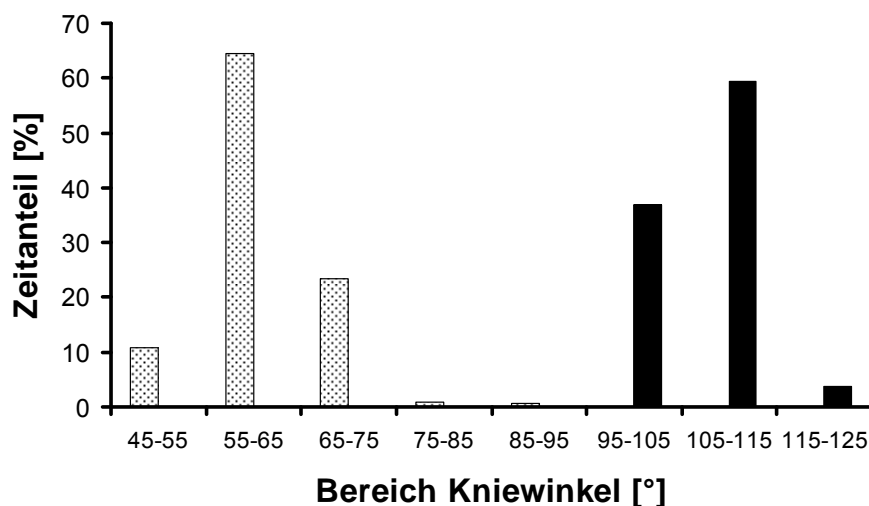


Bild 9: Histogramme des rechten Kniewinkels (gestrecktes Bein entspricht 0°) für den Piloten der EC 120 B (Messung 10, gepunktet) und für den Techniker der AS 332 L1 (Messung 18, schwarz)

Im Bild 9 ist zu sehen, dass die Spannweite der eingenommenen Kniewinkel beim Techniker der AS 332 L1 geringer ist als beim Piloten des EC 120 B. Eine geringe Spannweite weist

auf eine statische Haltung hin. Statische Knie-Flexionen können aber auch bei den Piloten vorkommen, wenn sie die Pedale betätigen müssen.

3.2 Körperhaltungen und Vibrationen

Um die Kombination aus Körperhaltungen und Ganzkörper-Vibrationen zu beschreiben, werden die Körperwinkel zusammen mit dem zeitabhängigen Schwingungsgesamtwert [3]

$$a_{\text{wv}}(t) = \sqrt{(k_x a_{\text{w},x})^2 + (k_y a_{\text{w},y})^2 + k_z a_{\text{w},z}^2} \quad (4)$$

betrachtet, welcher die Faktoren für die Beurteilung der Gesundheitsgefährdungen ($k_x = k_y = 1,4$; $k_z = 1,0$) berücksichtigt.

Auch hier werden drei Bereiche vorgeschlagen, um den Schwingungsgesamtwert zu bewerten: der Bereich ‚gering‘ beinhaltet die Schwingungsgesamtwerte $a_{\text{wv}}(t) < 0,5 \text{ m/s}^2$, der Bereich ‚mittel‘ beinhaltet die Werte von $0,5 \text{ m/s}^2 \leq a_{\text{wv}}(t) \leq 1,0 \text{ m/s}^2$ und der Bereich ‚hoch‘ die Werte $a_{\text{wv}}(t) > 1,0 \text{ m/s}^2$. Bei allen Messungen dieser Arbeit, für die die Körperhaltung mit erfasst ist, liegt der Schwingungsgesamtwert zu mindestens 75 % der Messzeit im geringen Bereich.

Für jeden Körperwinkel kann somit zu jedem Zeitpunkt der Messung gleichzeitig der Schwingungsgesamtwert bewertet werden. Alle möglichen Kombinationen der beiden Bewertungen lassen sich in einer Matrix darstellen [6]. Als Beispiel sind im Bild 10 für die Messung 8 die Bewertungsbereiche für den Schwingungsgesamtwert vertikal und für die sagittale Kopf-Neigung horizontal aufgetragen. Jeder Matrixeintrag entspricht dem Zeitanteil der Gesamtmessung, bei dem eine Kombination der Bewertungsbereiche vorgelegen hat: so ist in diesem Beispiel während 78 % der Messung sowohl eine neutrale Kopf-Neigung als auch ein geringer Schwingungsgesamtwert beobachtet worden.

Man kann nun einzelnen Matrixeinträgen ein geringes, mögliches oder hohes Risiko für die Kombinationswirkung zuordnen. So ist für das Beispiel im Bild 10 das Risiko einer Gefährdung durch die Kombination aus Ganzkörper-Vibrationen und sagittaler Kopf-Neigung beschrieben: Es ist zu 78 % der Messzeit gering (gering/neutral), zu 21 % der Messzeit möglich (mittel/neutral, gering/moderat) und nur zu 1 % hoch (alle anderen Matrixeinträge).

Vibrationsbereich

hoch	0 %	0 %	0 %
mittel	15 %	1 %	0 %
gering	78 %	6 %	0 %
	neutral	moderat	ungünstig

Winkelbereich

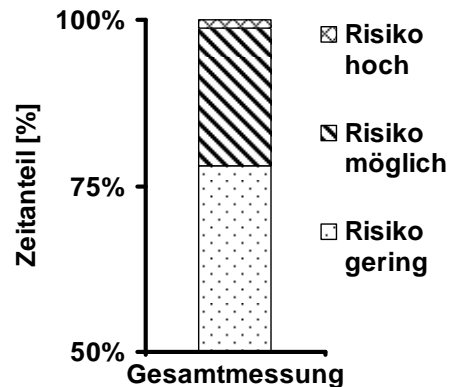


Bild 10: Matrixdarstellung der Zeitanteile, in denen bei Messung 8 (Tabelle 2) die sagittale Kopf-Neigung und der Schwingungsgesamtwert gleichzeitig bewertet werden (Links). Summen von Matrixeinträgen mit gleichem Risiko (gering, möglich, hoch) für die Kombination der Expositionen.

Die Belastungen durch Körperhaltungen bestimmen bei den Messungen dieser Arbeit das Risiko durch die Kombination der Belastungen von Ganzkörper-Vibrationen und Körperhaltungen, da der Schwingungsgesamtwert meist im geringen Bereich gelegen hat.

3.3 Tag- und Nachtflug

Bei den Messungen der Kontrollflüge bei Tag und Nacht (Messungen 1 – 6, Tabelle 2) ist auch untersucht worden, ob das Nachtsichtgerät einen belastenden Einfluss hat. Im Bild 7 ist zu sehen, dass der Zeitanteil stark erhöht ist, bei dem die sagittale Kopfneigung im ungünstigen Bereich liegt. Einen ähnlichen Effekt kann man auch für die Hals-Krümmung beobachten.

Zusätzlich zu den Messungen mit dem CUELA-System ist die elektrische Aktivität der Muskulatur (EMG) untersucht worden. Dabei sind die Aktionspotentiale von jeweils vier Halsmuskeln des Piloten bei den Messungen 1 und 4 (Tabelle 2) abgeleitet worden: zwei vordere und zwei hintere der rechten und linken Seite (M. trapezius Pars descendens und M. sternocleidomastoideus, Bild 11). Die gemessenen Signale sind als räumliche und zeitliche Summation der Aktionspotentiale im Bereich der Ableitungsstelle aufzufassen. Um das EMG vergleichbar bewerten zu können, wird es zu einer Referenzaktivität ins Verhältnis gesetzt. Als Referenzaktivität ist je eine statische Zugkraft von 50 N auf Höhe der Schläfen nach vorne und hinten ausgeübt worden. Die Ruheaktivität der Muskulatur ist im Liegen gemessen und von den späteren Messwerten subtrahiert worden. Die Ergebnisse der EMG-Analyse

stellen somit nur die reine Arbeitsaktivität der Muskulatur im Verhältnis zur Referenzaktivität dar (in %RVE, relative voluntary excitation).

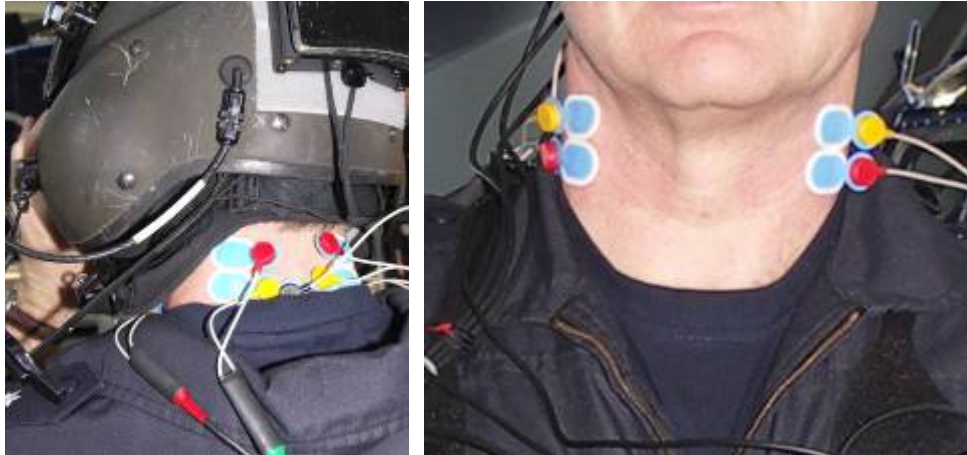


Bild 11: Platzierung der Elektroden am Hals zur Ableitung der Muskelaktivität

Die Verteilung der Aktivität der Nackenmuskulatur zeigt moderate Werte an (Bild 12). Der Medianwert der EMG-Aktivität ist beim Tag- und beim Nachtflug auf vergleichbarem Niveau von 7 % RVE und 8 % RVE (Bild 12). Erst im oberen Perzentilbereich zeigen sich Unterschiede. Für das 95. Perzentilniveau ergibt die Muskelaktivität beim Tagflug 47 % RVE und 58 % RVE beim Nachtflug.

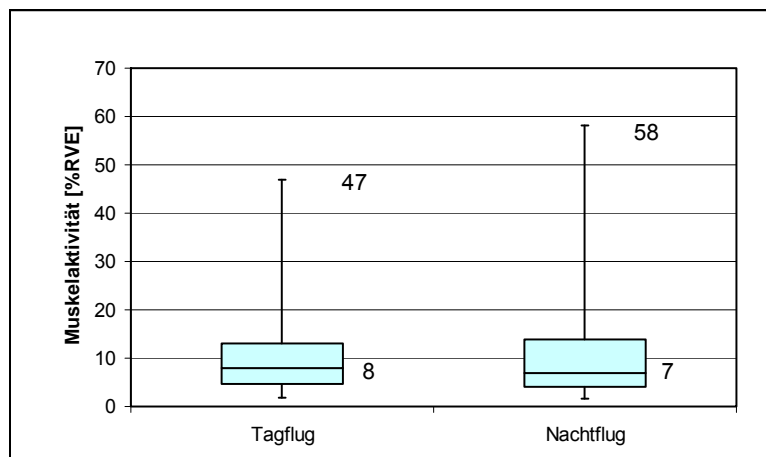


Bild 12: Vergleich der Boxplot-Verteilung (5. -, 25. -, 50. -, 75. -, 95. Perzentil) der Aktivität der Nackenmuskulatur beim Tag- und Nachtflug

Damit scheint sich das Tragen des Nachtsichtgerätes nur auf den oberen Aktivitätsbereich des EMG auszuwirken. Veränderungen an der Basislinie des EMG durch das zusätzliche Gewicht hat nicht festgestellt werden können.

Eine mögliche, plausible Erklärung für diese Ergebnisse sind das eingeschränkte Sichtfeld des Nachtsichtgerätes und die Notwendigkeit, Instrumente über dem Brillenrand ablesen zu müssen. Dieser Zusammenhang muss aber noch durch weitere Untersuchungen abgesichert werden.

4. Lärm

Zur Erfassung der Geräuschsituation in der Kabine ist die Schalldämmung des Helmes von dem neben dem Helm gemessenen Kabinengeräusch subtrahiert worden. Dazu muss die Schalldämmung des Helmes in Abhängigkeit von der Frequenz bekannt sein oder gesondert ermittelt werden, z.B. mit Hilfe eines Miniaturmikrofons.

Allerdings muss man dann noch die Geräuschbelastung durch den Sprechfunkverkehr sowie durch die Kommunikation innerhalb der Kabine (Intercom) dazu addieren. Diese Kommunikationsgeräusche lassen sich z.B. durch Aufzeichnung des elektrischen Eingangssignals für den Helm und spätere Auswertung im Labor unter Verwendung eines Kunstkopfes ermitteln. Alternativ kann man auch Erfahrungswerte aus anderen Messungen und Aufzeichnungen berücksichtigen, z.B. indem man einen festen Zuschlag zu dem unter dem Helm berechneten äquivalenten Dauerschallpegel L_{Aeq} anwendet.

Das hier skizzierte Berechnungsverfahren hat den Vorteil, dass es sich relativ einfach anwenden lässt und sich damit auch Varianten mit unterschiedlichen Helmen und Headsets berechnen lassen.

4.1 Messungen

Es ist jeweils neben dem Helm des Piloten und einer Begleitperson (Reihe hinter dem Piloten) ein Mikrofon von der Kabinendecke abgehängt worden. Für die Begleitperson ist zusätzlich die Geräuschbelastung unter dem Helm mit Hilfe eines Miniaturmikrofons aufgenommen worden, das mittig in der Ohrmulde vor dem Gehörgang fixiert worden ist [9, 10].

Die Messsignale sind mit Hilfe eines zweikanaligen Frequenzanalysators (Norsonic Typ 121) und eines Handschallpegelmessers (Norsonic Typ 140) über die gesamte Flugphase aufgezeichnet und in Terzbandbreite analysiert worden. Zur Kalibrierung des Miniaturmikrofons und Ermittlung der Schalldämmung des Helmes ist die Versuchsperson mit dem im Ohr eingesetzten Mikrofon frontal über einen Dodekaeder-Lautsprecher in zwei Meter Abstand beschallt worden (Rosa Rauschen), und es ist eine Vergleichsmessung mit einem Referenzmikrofon durchgeführt worden. Die ermittelte Pegeldifferenz ergibt dann unmittelbar die anzuwendende Freifeldkorrektur.

Tabelle 4: Messergebnisse für Lärmmessungen

Hubschraubertyp / Person		mittlerer Schalldruckpegel L_{Aeq} [dB]			
		Kabine	unter Helm	unter Helm berechnet	
		gemessen	gemessen	ohne Kommunikation	mit Kommunikation
EC 120 B	Pilot	92		77	82
	Begleitperson	94	79	79	84
EC 135 T2	Pilot	87		75	80
	Begleitperson	87	72	75	80
EC 155 B	Pilot	90		75	80
	Begleitperson	92	78	78	83
AS 332 L1	Pilot	88		77	82
	Begleitperson	93	79	77	82

4.2 Ergebnisse

Da der Helm die tiefen Frequenzen bis 250 Hz relativ gering dämmt, wird der A-bewertete Pegel im Wesentlichen durch die tiefen Frequenzen von 80 bis 315 Hz bestimmt. Die für die Piloten und das Begleitpersonal berechneten Geräuschbelastungen unter den Helmen sind in Tabelle 4 zusammengestellt. Danach ergeben sich ohne Berücksichtigung der Geräuschbelastungen durch die Kommunikation Pegel L_{Aeq} von 75 bis 79 dB.

Um die zusätzliche Geräuschbelastung durch Funkverkehr und Intercom zu bewerten, werden die mit dem Miniaturmikrofon für das Begleitpersonal aufgezeichneten Pegel genauer betrachtet. Hier lassen sich für die Kommunikation kurzzeitig Schalldruckpegel ablesen, die um bis zu 15 dB(A) über dem reinen Fluggeräusch liegen. Im Geräuschspektrum macht sich die Sprache jeweils durch eine Anhebung der Terzbänder von 2000 bis 4000 Hz bemerkbar. Für die Phasen mit Kommunikation ergeben sich bei den vier Flügen im Mittel um 5 bis 7 dB(A) höhere Werte als für das reine Fluggeräusch. Basierend auf diesen Ergebnissen soll hier der Einfluss der Kommunikation durch einen Zuschlag von 5 dB berücksichtigt werden, was einem zeitlichen Anteil der Kommunikation von mehr als 50 % entspricht.

Mit dem Zuschlag von 5 dB errechnen sich für die Piloten mittlere Geräuschbelastungen L_{Aeq} von 80 bis 82 dB(A) und für das Begleitpersonal Pegel L_{Aeq} von 80 bis 84 dB(A). Diese Werte fallen erwartungsgemäß etwas höher aus als die mit Hilfe des Miniaturmikrofons im Ohr der

Begleitperson aufgenommenen Schalldruckpegel. Das lässt sich vor allem dadurch erklären, dass der Helm in der Regel eine bessere Schalldämmung aufweist als in dem bei der Rechnung angesetzten ungünstigsten Fall.

Auf der Grundlage der unter den Helmen gemessenen Schalldruckpegeln und der entsprechend berechneten Pegel kann man bei den hier untersuchten Hubschraubertypen wohl von mittleren Geräuschbelastungen L_{Aeq} des Personals im Pegelbereich von 80 dB ausgehen. In Abhängigkeit von der Passform und dem Zustand des Helmes, der individuellen Einstellung der Lautstärke des Sprechfunkgerätes und der Häufigkeit der Kommunikation können sich jedoch auch stärker abweichende Geräuschbelastungen ergeben.

5. Zusammenfassung

Für die hier beschriebenen Bedingungen treten erst ab Flugdauern von über sieben Stunden Belastungen auf, die Vibrationsschutzmaßnahmen nötig machen [1]. Die Dicke und Qualität der Polstersitze hat einen nachweisbaren Einfluss auf die Dämpfung der Anregungen. So lassen sich zum Beispiel die niedrigen Beschleunigungswerte in z-Richtung auf den Sitzflächen der (Co-)Pilotensitze des AS 332 L1 auf die geringen $SEAT_z$ -Werte und auf die dickeren Polster zurückführen.

Bei den Körperhaltungen ist die statische und ungünstige Kniehaltung des Technikers bei dem AS 332 L1 aufgefallen, ansonsten haben sich die gemessenen Körperwinkel meist in moderaten und neutralen Bereichen bewegt. Für die vorgeschlagene Bewertung der Kombination von Körperhaltungen und Ganzkörper-Schwingungen [6] sind bei den vorliegenden, geringen Schwingungsgesamtwerten die Körperhaltungen ausschlaggebend.

Der Einfluss des Nachtsichtgerätes auf die Körperhaltung zum Beispiel durch das eingeschränkte Sichtfeld kann etwa bei den Veränderungen der Kopf-Neigung plausibel gemacht werden. Die Muskelaktivität wird von dem Nachtsichtgerät im oberen Perzentilbereich beeinflusst. Eine Absicherung dieser ersten Ergebnisse steht noch aus.

Die Lärmmessungen haben eine mittlere Geräuschbelastungen L_{Aeq} des Personals im Pegelbereich von 80 dB ergeben und es ist ein Verfahren vorgestellt worden, wie dieser Wert individuellen Einsatzbedingungen (Helmdämmung, Anteil an Sprechfunk) angepasst werden kann.

Danksagung

Die Autoren bedanken sich ausdrücklich bei der Unfallkasse des Bundes und der Bundespolizei-Fliegergruppe, dass sie diese Arbeit ermöglicht haben, und für die hervorragende Unterstützung während der Messung.

6. Literaturhinweise

- [1] Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung (LärmVibrationsArbSchV) BGBl. I (2007) S. 261 -269
- [2] a) Bongers, P. M.; Hulshof C. T. J.; Dijkstra L.; Boshuizen H. C.; Groenhout H. J. M.; Valken E.: Back pain and exposure to whole body vibration in helicopter pilots. *Ergonomics* 33 (1990) 8 S. 1007-1026
b) Dupuis H.: Zur Gefährdung der Wirbelsäule unter Belastung durch mechanische Schwingungen und mitwirkende Faktoren. *Wehrmedizin und Wehrpharmazie* 12 (1988) 3 S. 81-82, 84-86
- [3] VDI 2057 Blatt 1: Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen – Ganzkörper-Schwingungen, Beuth, Berlin, 2002
- [4] a) DIN EN 14253: Mechanische Schwingungen – Messung und Bewertung der Einwirkung von Schwingungen auf den Menschen am Arbeitsplatz im Hinblick auf seine Gesundheit – Praxisgerechte Anleitung, Beuth, Berlin, 2004
b) DIN EN ISO 8041: Schwingungseinwirkung auf den Menschen – Messeinrichtung, Beuth, Berlin, 2005
- [5] z. B.
Natke H. G.: Einführung in die Theorie und Praxis der Zeitreihen- und Modalanalyse, in Grundlagen und Fortschritte der Ingenieurwissenschaften, 3. überarbeitete Auflage, Vieweg, Wiesbaden, 1992
- [6] Hermanns, I., Raffler, N., Ellegast, R., Fischer, S., Göres, B.: Simultaneous field measuring method of vibration and body posture for assessment of seated occupational driving tasks. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 38, 2008, 255-263
- [7] Schäfer, K., Rokosch, F., Schick, R., Hermanns, I., Ellegast, R.: Gleichzeitige Messungen von Ganzkörper-Vibrationen und Körperhaltungen. *Zentralblatt für Arbeitsmed., Arbeitsschutz u. Ergon*, 11, 2006, 329-42
- [8] ISO 11226: Ergonomics – Evaluation of static working postures, 2000
- [9] DIN EN ISO 11904: Bestimmung der Schallimmission von ohrnahen Schallquellen
Teil 1: Verfahren mit Mikrofonen in menschlichen Ohren
Teil 2: Verfahren unter Verwendung eines Kopf- und Rumpfsimulators
- [10] Maue, J.H.: Messverfahren zur Bestimmung der Lärmbelastung unter Motorradhelmen. *TÜ Bd. 30* (1989) Nr. 9, S. 330-333