

# **Humanschwingungen an Motorrädern bei unterschiedlichen Fahrzuständen**

## **Human Vibration on Motorcycles at Different Driving Conditions**

### **Studie zu Hand-Arm- und Ganzkörperschwingungen**

### **Study on Hand-Arm and Whole-Body Vibrations**

Prof. Dr.-Ing. **Jürgen Adamek**; Dipl. Wi.-Ing. **Marcus Schröter**,  
Hochschule Osnabrück, Institut für Management und Technik, Lingen

#### **Kurzfassung**

Motorradfahrer/innen sind mechanischen Schwingungen ausgesetzt, die über Lenker, Fußrasten und Sitzbank übertragen werden. Mehr als drei Viertel der Motorradfahrer/innen berichtet in einer Umfrage über körperliche Symptome, die auf mechanische Schwingungen zurückgeführt werden können, aber über zwei Drittel der Fahrer/innen empfindet die Motorradvibrationen als nicht oder nur wenig störend. Messungen an verschiedensten in Deutschland und Europa üblichen Motorrädern zeigen im Hand-Arm- und Ganzkörperbereich Schwingungswerte, die zum Teil deutlich oberhalb des auf 8 h bezogenen Grenzwerts der Richtlinie 2002/44EG liegen. Vergleichsmessungen an einem Pkw führen bei gleichen Bedingungen zu erheblich geringeren Schwingungswerten. Motorräder im Dienstgebrauch bei Polizei und Johanniter Unfallhilfe können zu Tagesexpositionswerten oberhalb der Auslösewerte führen.

#### **Abstract**

Motorcyclists are exposed to mechanical vibrations, which are transmitted over handlebar, seat and foot-rests. About three-quarters of motorcyclists reported in a survey on physical symptoms that can be lead back on mechanical vibrations, but more than two thirds of the drivers reported no or little disturbance due to vibrations from their motorbikes. Measurements on various in Germany and Europe customary motorbikes show hand-arm and whole-body vibration values that partly clearly lie above the 8-hour limit value related to directive 2002/44EG. Comparative measurements on a passenger car under same conditions lead to significant lower vibration values. Motorcycles in official use in the police and Johanniter accident assistance can lead to daily exposure levels above the action levels.

## 1. Einleitung und Zielsetzung

Beim Fahren von Motorrädern werden Fahrer/innen Vibrationen und Schwingungen ausgesetzt, die sowohl vom Motor als auch von Fahrbahnanregungen hervorgerufen werden. Der menschliche Körper reagiert auf mechanische Schwingungen und sollte nur bis zu einem gewissen Grad diesen Schwingungen ausgesetzt werden. Die Höhe der Schwingungsbelastung beim Fahren von Motorrädern ist von einer Vielzahl von Faktoren abhängig: Motorradmodell, Fahrgeschwindigkeit, Motordrehzahl, Reifentyp und -druck, Fahrbahnbeschaffenheit, Fahrwerkseinstellung sowie Greif- und Abstützkräften des/r Fahrers/Fahrerin.

Für Personen, die berufsbedingt Schwingungen ausgesetzt sind, existieren nach 2002/44EG [1] und TRLV [2] Grenzwerte für Hand-Arm-Schwingungen und Ganzkörperschwingungen. Diese Grenzwerte können auch als Richtwert für nicht beruflich exponierte Personen dienen. Bei Überschreitung der Grenzwerte können bei längerer Einwirkung körperliche Beeinträchtigungen oder Schäden entstehen, wie allgemeines Unwohlsein oder Rückenbeschwerden bei Ganzkörperschwingungen oder auch die Weißfingerkrankheit bei Hand-Arm-Schwingungen. Zudem kann das Leistungsvermögen beeinträchtigt und damit die Unfallgefahr potentiell erhöht werden.

Das vorliegende Forschungsprojekt fokussiert sich sowohl auf beruflich motorradfahrende Personen als auch private Nutzer/innen. Ziel ist es, die im Fahrbetrieb auftretende Schwingungsbelastung zu erfassen, eine Größenordnung der Belastung für unterschiedliche in Deutschland gängige Motorräder und deren Fahrer/innen zu bestimmen und betroffene Personengruppen mit Hilfe einer frei zugänglichen Datenbank zu informieren.

Die Vergleichbarkeit der Motorräder untereinander ist in dieser Studie eingeschränkt möglich, da die untersuchten Motorräder zwar auf identischer Strecke mit gleichen Fahrvorgaben gefahren wurden, aber unterschiedliche Laufleistungen und unterschiedliche Pflege- bzw. Wartungszustände aufwiesen sowie von unterschiedlichen Fahrer/innen mit unterschiedlichen Fahrstilen gefahren wurden. Die ermittelten Daten stellen unter reproduzierbaren Randbedingungen die tatsächlich auftretenden Humanschwingungen von Fahrer/in-Fahrzeug-Kombinationen dar und repräsentieren damit eine Mindestbandbreite tatsächlich auftretender Belastungen beim Motorradfahren.

Zunächst wird der aktuelle Stand von Studien zu Humanschwingungen an Motorrädern vorgestellt. Anschließend werden die Ergebnisse einer Umfrage unter Motorradfahrer/innen zum subjektiven Empfinden der Motorradvibrationen präsentiert und die Messergebnisse der bei definierten Fahrzuständen an den untersuchten Motorrädern auftretenden Vibrationen/Schwingungen an beiden Lenkergriffen, der Sitzbank und beiden Fußrasten ausgewertet und diskutiert. Ergänzt werden die Untersuchungen durch Messungen der Humanschwin-

gungen und Bestimmung von Tagesexpositionswerten bei beruflich genutzten Motorrädern am Beispiel von Dienstfahrten bei Polizei und Johanniter Unfallhilfe.

## 2. Aktueller Stand von Studien zu Humanschwingungen an Motorrädern

Mirbod, Yoshida et.al [3] untersuchten 1997 in Japan Hand-Arm-Schwingungen bei Motorradpolizisten. Gemessen wurde an vier Motorrädern des Typs Honda RC 35 (V4-Zylinder, 750 ccm, 77 PS, Polizeisondermodell) die Schwingungen am rechten Lenkergriff sowie auf dem linken und rechten Handrücken. Die Messungen erfolgten monoaxial in x-Richtung (senkrecht zum Handrücken) während des üblichen Fahrbetriebs. Eine Übersicht der Messergebnisse ist in Tab. 1 dargestellt. Diese Tabelle enthält zum Vergleich ebenso Zusammenfassungen der Messdaten der weiteren Literaturangaben. Mirbod, Yoshida et.al befragten parallel zu ihren Messungen 119 Motorradpolizisten bezüglich des Auftretens von Weißfingereffekten, Taubheitsgefühl in den Fingern, Kältegefühl, Schmerzen und Steifheit der Finger sowie Arm- und Schulterschmerzen und Schultersteifheit. Verglichen mit einer Kontrollgruppe von 49 nicht motorrad-fahrenden Krankenhausangestellten zeigten sich bei den Motorradpolizisten eine höhere Beschwerderate, mit z.B. 4,2% statt 0% Weißfingerkrankheit, 19,3% statt 4,1% Fingertaubheit und 12,6% statt 4,1% Kälteempfinden an den Fingern.

Gibson und Gibbons [4] berichten 2006 in den USA über Ganzkörperschwingungsmessungen an verschiedenen Fahrzeugen, unter anderem auch an einem Motorrad, einer Harley-Davidson Electra Glide Classic (Bj. 2004). Die Schwingungen wurden mit einem Sitzaufnehmer bei typischen Fahrbedingungen und -geschwindigkeiten aufgenommen. Bemerkenswert ist das Auftreten der höchsten Beschleunigungen in y-Richtung (Schulterachse), wogegen in den anderen Studien jeweils die höchsten Werte in z-Richtung (Oberkörperhochachse) auftraten, was auch in der vorliegenden Studie der Fall ist. Eine Messung der Hand-Arm-Schwingungen wurde nicht vorgenommen. Verglichen mit den anderen untersuchten Fahrzeugen zeigt das Motorrad höhere Schwingungswerte als ein Pkw, ein SUV und ein Pickup und wird nur von einem Quad ATV und einem Motorboot, wo Werte bis zu  $1 \text{ m/s}^2$  in z-Richtung auftreten, übertroffen.

Hsieh-Ching Chen et. al. [5] führten 2007 in Taiwan Ganzkörperschwingungsmessungen am Fahrersitz von Motorrädern durch. An der Studie waren sechs Motorräder (Sanyang, 125 ccm, 18" und 17" Räder), sechs Roller (Yamaha (3) und Sanyang (3), 125 ccm, 10" Räder) und zum Vergleich fünf Pkws (Toyota, Nissan (2), Ford (1), Mitsubishi (1), 1600 bis 2000 ccm, 15" Räder) beteiligt. Die Messungen wurden auf Landstraßen und im Stadtverkehr über eine Gesamtstrecke von 20,6 km mit maximalen Geschwindigkeiten von 40 km/h

bzw. 55 km/h durchgeführt. Die Schwingungen wurden triaxial gemessen, wobei die höchsten frequenzbewerteten Effektivwerte jeweils in z-Richtung registriert wurden. Wesentliche Unterschiede zwischen den beiden Geschwindigkeitsbereichen (Durchschnittsgeschwindigkeiten 20 bzw. 23,9 km/h) wurden nicht festgestellt. Die Werte bei den Pkws liegen mit bis zu  $0,30 \text{ m/s}^2$  deutlich unter den Werten der Motorräder und Roller, vgl. Tab. 1.

Eine Studie aus Indien von Shivakumara et. al. aus dem Jahr 2010 [6] befasst sich mit der Ermittlung von Hand-Arm- und Ganzkörperschwingungen an vier verschiedenen Motorrädern ( $99 \text{ cm}^3$  4-Takter,  $125 \text{ cm}^3$  2-Takter und  $150 \text{ cm}^3$  2-Takter (2)) auf Straßen unterschiedlicher Beschaffenheit. Hand-Arm-Schwingungen wurden an einem Handgriff gemessen, Ganzkörperschwingungen am Sitz. Die Schwingungen an den Fußrasten wurden nicht untersucht.

In einer Studie in Kolumbien 2011 [7] an vier Motorrädern ( $125 \text{ cm}^3$  (1 Jahr alt),  $100 \text{ cm}^3$  (3 Jahre alt),  $125 \text{ cm}^3$  (5 Jahre alt),  $100 \text{ cm}^3$  (13 Jahre alt)) auf Schnellstraßen und Landstraßen mit vier verschiedenen Fahrern (65 bis 83 kg) wurde triaxial die Ganzkörpervibration auf der Sitzbank gemessen. In allen untersuchten Fällen liegen auf der Sitzbank die höchsten frequenzbewerteten Effektivwerte der Schwingungen in z-Richtung vor. Anhand der verschiedenen Kombinationen zwischen Hubraum, Alter des Motorrads, Gewicht des Fahrers und gefahrene Strecke wurde abgeleitet, dass die Schwingungsbelastung mit dem Hubraum und dem Gewicht des Fahrers abnimmt, dem Alter des Motorrads zunimmt und auf Landstraßen höher ist als auf Schnellstraßen.

Hsieh-Ching Chen und Yi-Tsong Pan [8] berichten 2013 über Ganzkörperschwingungsmessungen in Taiwan an insgesamt 45 Motorrädern von  $100$  bis  $125 \text{ cm}^3$  (Yamaha (9), Sanyang (22) und Kymco (14)) mit 22 männlichen und 23 weiblichen Probanden. Die Messungen fanden im Stadtverkehr auf jeweils zwei von insgesamt sechs Fahrstrecken von je 20 km Länge statt. Die festgestellten Effektivwerte zeigen ihre Maxima jeweils in z-Richtung. Die männlichen Probanden weisen im Vergleich mit den weiblichen im Schnitt um 10% bis 12,5% höhere Werte auf, was auf eine unterschiedliche Fahrweise zurückgeführt wird. Die männlichen Probanden haben die Teststrecken in kürzerer Zeit ( $50,2 \pm 6,6 \text{ min}$ ) zurückgelegt als die weiblichen ( $56,9 \pm 11,1 \text{ min}$ ).

In allen Studien werden die auf 8 h-bezogenen Auslösewerte für Hand-Arm-Schwingungen von  $2,5 \text{ m/s}^2$  erreicht bzw. überschritten. Der Expositionsgrenzwert von  $5 \text{ m/s}^2$  wird in einer Studie nahezu erreicht. Im Fall der Ganzkörperschwingungen wird in allen Studien der Auslösewert von  $0,5 \text{ m/s}^2$  übertroffen und abgesehen von einer Untersuchung der auf 8 h bezogene Expositionsgrenzwert in z-Richtung von  $0,8 \text{ m/s}^2$  z.T. deutlich überschritten.

Tab. 1 Übersicht über Werte aus der Literatur zu Hand-Arm (HAS) und Ganzkörper (GKS)-Schwingungen an Motorrädern

Autoren	Jahr	Land	Untersuchte Motorräder	HAS (a_hv [m/s <sup>2</sup> ])	GKS Sitz (a_wi [m/s <sup>2</sup> ])	GKS Fuß (a_wi [m/s <sup>2</sup> ])
Mirbod, Yoshida et al. [1]	1997	Japan	Honda RC 35, V4-Zylinder, 750 ccm, 77 PS, Polizeisondermodell (4 Stck)	2,2 bis 4,9 (Griff rechts), 1,9 bis 3,6 (Handrücken, links u. rechts)	-	-
Gibson, Gibbons [2]	2006	USA	Harley-Davidson Electra Glide Classic, 2004 (1 Stck)	-	0,23 (x), 0,87 (y), 0,61 (z)	-
Hsieh-Ching Chen et al. [3]	2007	Taiwan	Sanyang, 125 ccm, 18" und 17" Räder (6 Stck), Roller: Yamaha u. Sanyang, 125 ccm, 10" Räder (je 3 Stck)	-	Motorrad: bis 0,93 (z), Roller: bis 0,90 (z)	-
Shivakumara et al. [4]	2010	Indien	99 cm <sup>3</sup> 4-Takter (1 Stck), 125 cm <sup>3</sup> 2-Takter (1 Stck), 150 cm <sup>3</sup> 2-Takter (2 Stck)	1,4 bis 2,5 (ein Griff)	3,4 bis 5	-
Moreno, R. et al. [5]	2011	Kolumbien	125 cm <sup>3</sup> , 1 Jahr alt, 100 cm <sup>3</sup> , 3 Jahre alt, 125 cm <sup>3</sup> , 5 Jahre alt, 100 cm <sup>3</sup> , 13 Jahre alt, (je 1 Stck)	-	0,8 bis 1,37 (z)	-
Hsieh-Ching Chen; Yi-Tsong Pan [6]	2013	Taiwan	100 bis 125 ccm: Yamaha (9 Stck), Sanyang (22 Stck), Kymco (14 Stck)	-	0,72 bis 0,88 (z)	-

In keiner der vorgestellten Studien werden alle Emissionsstellen von Schwingungen vom Motorrad auf den Menschen, nämlich beide Lenkergriffe, Sitzbank und beide Fußrasten, zusammenhängend untersucht. Gemäß ISO2631-1 [9], DIN EN 14253 [10] und VDI-2057-1 [11] werden die Ganzkörperschwingungen zur Gesundheitsbeurteilung bei sitzender Körperhaltung nur auf dem Sitz und die Fußaufstandsflächen nur bei Bedarf hinsichtlich Komfort analysiert. Da beim Motorradfahren die Fußrasten aber auch bei sitzender Körperhaltung aktiv belastet werden, was insbesondere bei kurviger Landstraßenfahrt der Fall ist, bieten sich sinnvoll Messungen auch an den Fußaufstandsflächen an.

Die meisten vorliegenden Studien, speziell die neueren, beziehen sich auf Motorräder mit Hubräumen bis zu maximal 150 ccm. Die durchschnittliche Hubraumgröße neu zugelassener Motorräder in Deutschland in den Jahren 2005 bis 2014 lag laut Krafftfahrtbundesamt dagegen bei 655 ccm und die durchschnittliche Leistung bei 48 kW (65 PS) [12]. 2014 hatten in

Deutschland über 41% der neu zugelassenen Motorräder über 1000 ccm und ca. 45% der Neuzulassungen über 72 kW (98 PS) Leistung [13]. Motorräder in für Deutschland üblichen Hubraum- und Leistungsbereichen sind hinsichtlich der auftretenden Humanschwingungen noch nicht hinreichend untersucht.

## 2. Umfrage unter Motorradfahrer/innen zur subjektiven Beurteilung von Vibrationen

Es wurde eine Umfrage unter Motorradfahrer/innen durchgeführt, an der insgesamt 217 Personen teilnahmen, davon 6% weiblich und 94% männlich. Weitere statistische Angaben sind in Tab. 2 aufgeführt. Die jeweils angegebene Fallzahl bezieht sich auf die Personen, die entsprechende Angaben gemacht haben. Zum Teil wurden Vibrationseinschätzungen ohne weitere Angaben zu Person und gefahrenem Motorrad angegeben.

Tab. 2 Statistische Angaben zu den Umfrageteilnehmer/innen ( $n_{\text{ges}}=217$ )

	Alter [a] (n=197)	Größe [cm] (n=197)	Gewicht [kg] (n=195)	Fahr- erfahrung [a] (n=195)	Fahr- erfahrung [km] (n=180)	Fahr- leistung/a [km] (n=182)
Mittelwert	43,8	181,6	86,7	18,0	122.546	7.451
Standardabw.	13,5	7,3	15,6	12,7	143.502	5.970
Max.	71	207	170	50	800.000	40.000
Min.	19	163	59	1	800	200

Von den 217 Umfrageteilnehmer/innen machten 196 Angaben zur Zylinderzahl Ihres Motorrads. Die prozentuale Verteilung beläuft sich auf: 9% 1-Zylinder, 45 % 2-Zylinder, 3% 3-Zylinder, 41% 4-Zylinder und 2% 6-Zylinder. Tab. 3 enthält weitere statistische Angaben zu den von den Umfrageteilnehmer/innen gefahrenen Motorrädern.

Tab. 3 Statistische Angaben zu den Motorrädern der Umfrageteilnehmer/innen ( $n_{\text{ges}}=217$ )

	Hubraum [ccm] (n=194)	Leistung [PS] (n=193)	Alter [a] (n=190)
Mittelwert	910	94	12,6
Standardabw.	304	37	9,7
Max.	1600	195	66
Min.	124	12	0

Die Umfrage bezieht sich auf die subjektive Erfahrung mit den Vibrationen des eigenen Motorrads, eventuell aufgetretene körperliche Folgen und auf als besonders auffällig empfun-

ne Fahrzustände. Als besonders auffällig werden Fahrzustände auf der Autobahn (von 51% der Teilnehmer/innen), im Stand (41%) und auf der Landstraße (40%) genannt. Dagegen werden Stadtfahrten nur zu 20% erwähnt. Die Häufigkeit auftretender Symptome und die Einschätzung zum subjektiven Vibrationsempfinden sind in Abb. 1 und Abb. 2 dargestellt.

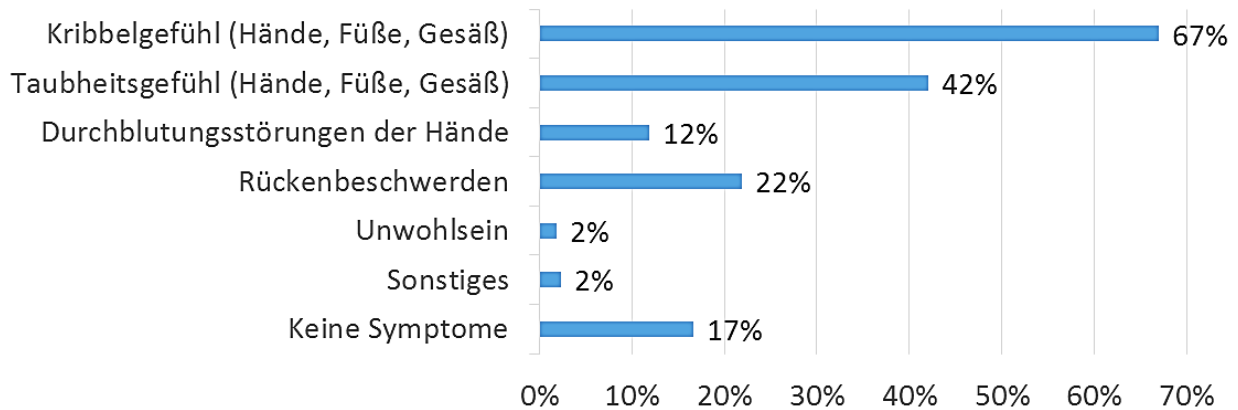


Abb. 1 Frage: Haben Sie schon einmal eines der folgenden Symptome während oder nach dem Motorradfahren verspürt? (n=217, Mehrfachnennungen: n=357, %-Angaben beziehen sich auf Anzahl der Teilnehmer/innen)

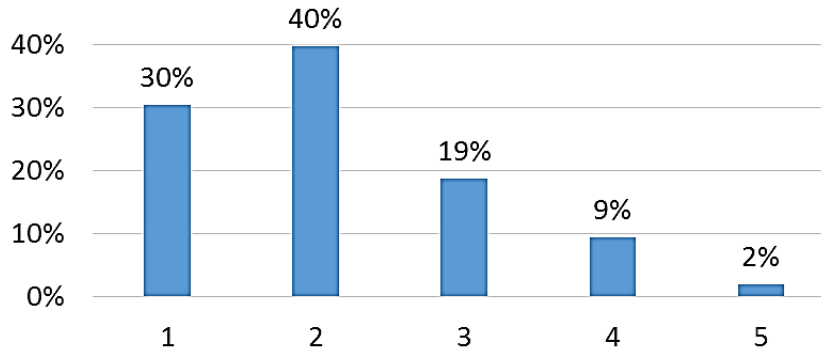


Abb. 2 Frage: Empfinden Sie die Vibrationen/Schwingungen Ihres Motorrads als störend? 1-gar nicht bis 5-sehr störend (n=214)

Aus der Umfrage ergibt sich, dass 83% der Fahrer/innen schon einmal körperliche Auswirkungen erfahren haben, die mit den Schwingungen der Motorräder zusammenhängen können. 12% der Fahrer/innen berichten z.B. von Durchblutungsstörungen der Hände („Weißfinger“). Obwohl über körperliche Auswirkungen berichtet wird beurteilen ca. 2/3 der Fahrer/innen die Vibrationen/Schwingungen ihres Motorrads als nicht oder wenig störend.

### **3 Messungen von Humanschwingungen an Motorrädern im Fahrbetrieb**

#### **3.1 Untersuchte Motorräder und Fahrer/innen**

Messungen erfolgten an 27 verschiedenen Motorrädern, davon eines mit Beiwagen:

- Motor: 1-, 2- und 4-Zylinder
- Hubraum: 300 bis 1340 cm<sup>3</sup>
- Leistung: 20 bis 142 kW (27 bis 193 PS)
- Motorrad-Alter: 1 bis 48 Jahre
- Laufleistung: 6.000 bis 250.000 km

Die Motorräder wurden von 23 verschiedenen Fahrer/innen (weibl.: 2, männl.: 21) gefahren:

- Größe: 165 bis 193 cm
- Gewicht: 60 bis 110 kg
- Alter: 20 bis 66 Jahre
- Fahrerfahrung: 2.000 bis 350.000 km

Die Wetterbedingungen waren bei allen Fahrten trocken und die Temperaturen lagen zwischen 8 und 29 °C. Zum Vergleich wurde unter vergleichbaren Randbedingungen ein Pkw untersucht.

#### **3.3 Messstrecke**

Die Länge der identischen Messstrecke mit Datenaufzeichnung betrug jeweils ca. 40 km. In Summe wurden für die Messung aller Motorräder inklusive Vor- und Reproduzierbarkeitsuntersuchungen Messfahrten mit einer Gesamtlänge von ca. 2.500 km unternommen.

Die Messungen pro Motorrad wurden in Abschnitten von je 5 bis 10 min Dauer durchgeführt:

- Fahrten mit konstanter Geschwindigkeit von 50 km/h, 90 km/h und 130 km/h,
- Fahrt auf kurviger Landstraße mit wechselnder Geschwindigkeit, Beschleunigungs- und Bremsvorgängen, bergauf und bergab.

Es lag gute Fahrbahnbeschaffenheit auf den Fahrstrecken mit konstanter Geschwindigkeit und gute bis mittlere Fahrbahnbeschaffenheit bei der Landstraßenfahrt vor.

#### **3.2 Messtechnik**

An den Motorrädern wurden triaxiale Beschleunigungssensoren an beiden Lenkergriffen, an beiden Fußrasten und auf der Sitzbank angebracht. Zusätzlich wurde die gefahrene Geschwindigkeit GPS-gestützt aufgezeichnet. Messverstärker und Datenaufzeichnungsgeräte wurden in einer Sitzbanktasche auf dem Motorrad mitgeführt, vgl. Abb. 3. Die Anbringung der Sensoren und die Auswertung der Messungen erfolgte nach dem aktuellen Stand der Normen und Richtlinien, z.B. [11], [14].



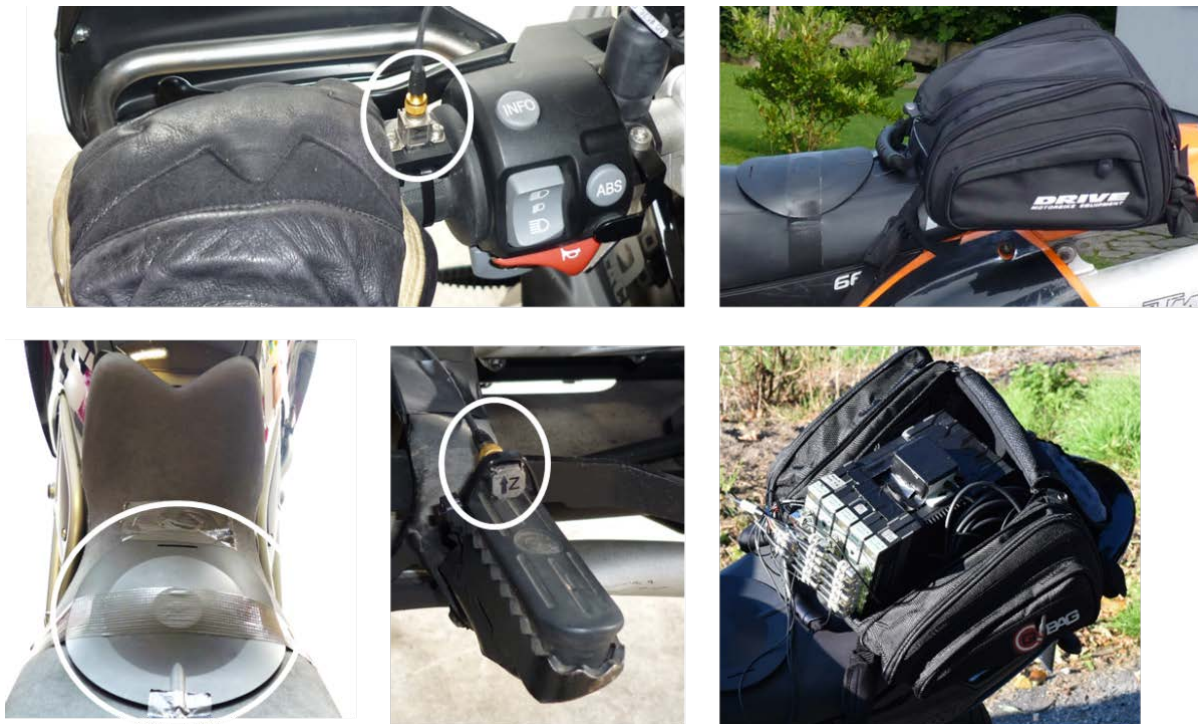


Abb. 3 Sensorpositionen an Lenker (oben links), Sitzbank (unten links) und Fußrasten (unten Mitte); Verstärker und Datenaufzeichnungsgeräte in Sitzbanktasche (rechts)

Zur Erfassung der Hand-Arm-Schwingungen kamen triaxiale Beschleunigungsaufnehmer Brüel+Kjaer 4524B zum Einsatz, die mit einem Spannadapter Büel+Kjaer UA 3017 befestigt wurden. Zur Sicherstellung einer wiederholbaren Vorspannung wurde ein spezielles Spannwerkzeug (Thomas&Betts, ERG50, Ty-Rap) verwendet, welches auch an den Fußrasten zum Einsatz kam. Die Ganzkörperschwingungen an der Sitzbank wurden mit einem triaxialen Sitzadapter Brüel+Kjaer 4515B aufgenommen.

Bei den Fußrasten ist im Unterschied zu den Lenkergriffen eine deutlich größere Bandbreite an Bauformen zu verzeichnen. Die Schwingungen im Bereich der Füße wurden an Fußrasten, Trittbrettern und Fußplattformen, die eine Gummiauflage aufweisen, mit triaxialen Beschleunigungsaufnehmern Brüel+Kjaer 4524 (100 mV/g) und bei Rasten ohne Gummiauflage mit triaxialen Beschleunigungsaufnehmern Brüel+Kjaer 4520 u. 4524 (10 mV/g) registriert. Je nach Bauform der Rasten erfolgte die Befestigung mit oder ohne Spannadapter; in einem Fall mit einem Magnetadapter, vgl. Abb. 4. Die Fahrzeuggeschwindigkeit wurde mit einem GPS-Sensor MSO AccoSat aufgezeichnet.

Als Messverstärker und Aufzeichnungsgeräte kamen Brüel+Kjaer PULSE LAN-XI Frontends 3050B060 (2) und 3050A060 mit mobiler Stromversorgung zum Einsatz. Die Auswertung erfolgte offline mit der Software Brüel+Kjaer Reflex Vers. 19.



Abb. 4 Beispiele zur Applikation der Beschleunigungsaufnehmer an verschiedenen Fußrasten/-plattformen.

### 3.4 Gemessene Humanschwingungen an Motorrädern im Fahrbetrieb

Die Messergebnisse der frequenzbewerteten Effektivwerte der Beschleunigungen für Hand-Arm- und Ganzkörperschwingungen sind in Tab. 4 bis 6 dargestellt (Abweichungen der gefahrenen Motorräder vom jeweiligen Serienmodell: s. Fußnote Tab. 4). Gemäß ISO2631-1 [9] und VDI-2057-1 [11] wird eine Gesundheitsbeurteilung für Ganzkörperschwingungen nur am Sitz vorgenommen und die Fußeinleitung wird auf Komfort geprüft. (Sitzend: Korrekturfaktoren von 0,25 für x- u. y- und 0,4 für z-Richtung; alle Richtungen Wk-bewertet; Stehend: Korrekturfaktor von 1,0 für alle Richtungen; x- u. y-Richtung Wd und z-Richtung Wk-bewertet). Da beim Motorradfahren die Fußrasten - speziell bei Landstraßenfahrt - aktiv belastet werden, werden im Folgenden Korrekturfaktoren von 1,0 für die Fußrastenmessungen verwendet (vgl. „Stehend“ mit x-/y-Richtung Wd und z-Richtung Wk-bewertet). Zur besseren Vergleichbarkeit wird diese Bewertung an den Fußrasten auf alle Fahrsituationen angewendet und zudem ein Abgleich mit den Richtwerten nach 2002/44EG vorgenommen.

Bei den Hand-Arm-Schwingungen sind die Unterschiede zwischen linkem und rechtem Griff gering (im Mittel 8,9%), so dass hier der Mittelwert aus beiden Griffen dargestellt wird. Bei den Ganzkörperschwingungen ist an Sitz und Fußrasten durchweg die z-Richtung (Oberkörperhochachse) dominant, wobei die Abweichungen zwischen linker und rechter Fußraste (im Mittel 21,7%) höher sind als an den Griffen. Auch hier wird wegen der Vergleichbarkeit der Mittelwert aus beiden Rasten angegeben. Eine hellgraue Markierung stellt eine Überschreitung des auf 8 h bezogenen Auslösewerts und eine dunkelgraue eine Überschreitung des Expositionsgrenzwerts gemäß 2002/44EG dar. Sämtliche Messergebnisse sind im Detail mit Angaben zu Motorrad und Fahrer/in in einer öffentlich zugänglichen Datenbank hinterlegt [15].

Tab. 4 Hand-Arm-Schwingung ( $a_{hv}$  [ $m/s^2$ ]) Mittelwerte aus linker und rechter Hand

Modell, Baujahr	50 km/h	90 km/h	130 km/h	Landstr. wechselnde Geschw.
Honda SH300i, 2012 (*1)	1,46	1,69	2,12	3,08
Kawasaki ZXR400, 1996	1,88	3,20	4,84	2,93
Honda CBR600F, 1998 (*2)	1,95	2,76	4,15	4,35
Honda CBR600R, 1999 (*3)	2,00	3,20	7,88	3,67
KTM ER600LC4, 1991 (*4)	3,93	9,24	13,51	11,44
BMW F650GS, 2000	2,08	2,81	5,16	4,05
BMW F650GS Twin, 2010 (*6)	1,63	1,83	3,03	-
KTM 660SMC, 2003	7,01	6,92	8,65	9,49
Honda CB SevenFifty, 2000	1,80	2,13	3,16	4,00
Kawasaki Zephyr 750, 1992	1,52	2,19	2,90	3,41
Kawasaki Z750, 1982 (*5)	1,79	2,75	3,76	3,90
BMW F800GS, 2012 (*7)	1,37	2,16	3,68	3,46
Honda VFR800, 2002	1,89	1,94	2,34	3,27
Ducati M900i.e., 2001 (*8)	2,49	3,40	4,78	5,25
BMW K100 EMLGT3, 1984 (*9)	2,01	4,20	5,30	5,50
BMW R100R, 1992	4,14	3,69	4,09	5,57
BMW S1000RR, 2010	1,55	2,45	2,60	6,61
Honda CBF1000, 2008	1,58	2,15	2,91	3,32
Honda VTR1000 SP1, 2001	1,92	2,59	3,76	4,13
BMW R1200C, 2002 (*10)	2,59	3,89	5,01	3,93
BMW R1200GS, 2005 (*11)	2,65	2,67	4,45	3,92
BMW R1200GS, 2014 (*12)	1,72	2,04	2,96	3,04
BMW R1200RT, 2005	2,12	3,26	3,70	4,31
Harley Davidson FLH, 1967 (*13)	5,50	5,79	8,54	7,38
Honda VFR1200X, 2013	1,49	2,06	2,66	3,27
BMW K1300R, 2011 (*14)	1,30	1,88	2,77	3,84
Harley Davidson FLSTC, 1994 (*15)	7,11	5,46	7,34	7,78
Audi A4 Avant 2,0 TDI, 2013 (*16)	0,24	0,41	0,49	0,76

\*1: Fußsensoren auf Befestigungsschrauben an Fußplattform

\*2: Übersetzung kürzer (-1 Zahn an Ritzel)

\*3: Heckhöherlegung

\*4: Motor 650 ccm

\*5: Sitzhöhenreduzierte Zubehörsitzbank (Bagster), tiefergelegte Fußrasten (Wunderlich); Gasgriffhilfe (Throttle-Rocker). Keine Angaben zu Landstraßenfahrt, wg. alternativer Fahrstrecke

\*6: Superbike-Lenker, Sitz aufgepolstert

\*7: Komfortsitzbank (Touratech)

\*8: Alu-Schwinge von Ducati 851, Fußrasten (Metisse) starr verschraubt

\*9: Zubehörfederbeine an Motorrad und Beiwagen (Bilstein), Passagier in Beiwagen

\*10: Zubehörfederbeine (Wilbers) vorn und hinten; Gasgriffhilfe (Throttle-Rocker)

\*11: Ohne Gummiauflage in Fußrasten

\*12: Einstellung elektronisches Fahrwerk ESA: „Normal“; Fahrmodus: „Road“

\*13: Hinten tiefer, Gabel Dyna-Glide, Zubehörlenker (Fehling Beach Bar), TTS-Schwinge; Motortuning

\*14: Niedrige Sitzbank

\*15: Hinten tiefer

\*16: Sensoren an Lenkrad bzw. Gaspedal; vergleichbare Fahrbedingungen auf anderer Teststrecke

Tab. 5 Ganzkörperschwingung an der Sitzbank in z-Richtung ( $a_{w,z}$  [m/s<sup>2</sup>])

Modell, Baujahr	50 km/h	90 km/h	130 km/h	Landstr. wechselnde Geschw.
Honda SH300i, 2012 (*1)	0,43	0,46	0,66	1,03
Kawasaki ZXR400, 1996	0,81	1,27	1,19	2,39
Honda CBR600F, 1998 (*2)	0,59	0,82	1,10	1,77
Honda CBR600R, 1999 (*3)	0,30	0,64	0,71	1,09
KTM ER600LC4, 1991 (*4)	1,27	1,88	0,81	2,55
BMW F650GS, 2000	0,42	0,49	0,72	0,99
BMW F650GS Twin, 2010 (*6)	0,35	0,48	0,57	-
KTM 660SMC, 2003	1,48	2,16	2,70	2,51
Honda CB SevenFifty, 2000	0,37	0,71	0,75	1,29
Kawasaki Zephyr 750, 1992	0,56	0,77	1,09	1,29
Kawasaki Z750, 1982 (*5)	0,59	1,14	1,88	1,91
BMW F800GS, 2012 (*7)	0,30	0,40	0,54	0,93
Honda VFR800, 2002	0,34	0,51	0,65	1,12
Ducati M900i.e., 2001 (*8)	0,70	1,08	1,35	1,78
BMW K100 EMLGT3, 1984 (*9)	0,36	0,44	0,61	1,01
BMW R100R, 1992	0,46	0,57	1,26	1,21
BMW S1000RR, 2010	0,63	0,92	1,00	2,11
Honda CBF1000, 2008	0,42	0,85	1,19	1,13
Honda VTR1000 SP1, 2001	0,40	0,65	0,88	1,18
BMW R1200C, 2002 (*10)	0,44	0,50	0,69	0,84
BMW R1200GS, 2005 (*11)	0,28	0,45	0,62	0,81
BMW R1200GS, 2014 (*12)	0,31	0,41	0,53	0,94
BMW R1200RT, 2005	0,33	0,50	0,66	0,85
Harley Davidson FLH, 1967 (*13)	1,83	2,44	4,01	2,78
Honda VFR1200X, 2013	0,33	0,43	0,57	0,77
BMW K1300R, 2011 (*14)	0,37	0,50	0,69	1,29
Harley Davidson FLSTC, 1994 (*15)	0,78	0,92	1,31	1,09
Audi A4 Avant 2,0 TDI, 2013 (*16)	0,16	0,25	0,32	0,45

Tab. 6 Ganzkörperschwingung an Fußrasten in z-Richtung ( $a_{w,z}$  [ $m/s^2$ ])  
Mittelwerte aus linkem und rechtem Fuß

Modell, Baujahr	50 km/h	90 km/h	130 km/h	Landstr. wechselnde Geschw.
Honda SH300i, 2012 (*1)	0,98	1,02	1,14	1,61
Kawasaki ZXR400, 1996	0,53	0,88	0,88	1,65
Honda CBR600F, 1998 (*2)	0,42	0,66	0,94	1,40
Honda CBR600R, 1999 (*3)	0,30	0,58	0,83	1,19
KTM ER600LC4, 1991 (*4)	4,17	5,31	2,05	5,74
BMW F650GS, 2000	0,70	0,60	1,12	0,99
BMW F650GS Twin, 2010 (*6)	0,41	0,43	0,49	-
KTM 660SMC, 2003	3,07	3,55	4,08	3,96
Honda CB SevenFifty, 2000	0,41	0,54	0,61	1,05
Kawasaki Zephyr 750, 1992	0,73	0,78	1,20	1,43
Kawasaki Z750, 1982 (*5)	0,63	0,93	1,35	1,37
BMW F800GS, 2012 (*7)	0,40	0,43	0,61	0,89
Honda VFR800, 2002	0,49	0,72	0,79	1,37
Ducati M900i.e., 2001 (*8)	0,72	1,05	1,44	1,79
BMW K100 EMLGT3, 1984 (*9)	0,71	0,54	0,70	1,08
BMW R100R, 1992	1,46	1,58	2,03	2,11
BMW S1000RR, 2010	0,55	0,76	0,86	1,59
Honda CBF1000, 2008	0,55	0,74	1,01	1,29
Honda VTR1000 SP1, 2001	0,79	1,21	1,85	2,05
BMW R1200C, 2002 (*10)	0,93	1,19	1,15	1,06
BMW R1200GS, 2005 (*11)	0,56	1,07	1,02	0,92
BMW R1200GS, 2014 (*12)	0,43	0,62	0,80	1,18
BMW R1200RT, 2005	0,52	0,67	0,96	1,09
Harley Davidson FLH, 1967 (*13)	1,76	2,34	4,11	2,34
Honda VFR1200X, 2013	0,53	0,45	0,55	0,90
BMW K1300R, 2011 (*14)	0,48	0,59	0,75	1,29
Harley Davidson FLSTC, 1994 (*15)	1,64	1,70	2,47	2,13
Audi A4 Avant 2,0 TDI, 2013 (*16)	0,15	0,24	0,28	0,46

Alle Messreihen zeigen große Unterschiede in Abhängigkeit vom Motorradmodell und die Werte nehmen generell mit zunehmender Fahrgeschwindigkeit zu. Im Fall der Hand-Arm-Schwingungen wird der auf 8h bezogene Auslösewert von  $2,5 m/s^2$  nach 2002/44/EG je nach Fahrzustand von allen Fahrzeugen übertroffen und zudem der Expositionsgrenzwert von  $5 m/s^2$  von einigen Modellen deutlich überschritten. Ein Vergleichs-Pkw zeigt unter gleichen Fahrbedingungen signifikant geringere Schwingungswerte unterhalb des Auslösewerts.

Im Fall der Ganzkörperschwingungen nehmen die Schwingungen ebenfalls mit zunehmender Fahrgeschwindigkeit zu und sind an den Fußrasten höher als auf der Sitzbank. Der Auslösewert von  $0,5 \text{ m/s}^2$  wird je nach Fahrzustand von allen Fahrzeugen überschritten und der Expositionsgrenzwert von  $0,8 \text{ m/s}^2$  in z-Richtung bei wechselnder Geschwindigkeit auf der Landstraße bei nahezu allen Messungen übertroffen. Der Anteil der Grenzwertüberschreitungen ist generell höher als im Fall der Hand-Arm-Schwingungen. Der Vergleichs-Pkw zeigt wiederum signifikant geringere Schwingungswerte unterhalb des Auslösewerts. In einem Fall liegen keine vergleichbaren Messdaten für die Landstraßenfahrt vor, da bei dieser Messung eine alternative Fahrstrecke verwendet wurde.

Die gemessenen Schwingungswerte zeigen Abhängigkeiten vom Alter der Motorräder (ältere Fahrzeuge erzeugen höhere Belastungen als jüngere; Pearson-Korrelationskoeffizient bis 0,66) und von der Zylinderzahl der Motorräder (Einzylinder zeigen im Mittel höhere Werte als Zweizylinder und diese höhere als Vierzylinder; Pearson bis 0,44). Dagegen sind keine Einflüsse von Hubraum, Leistung, Fahrergewicht oder Fahrerfahrung belegbar.

Durch die Fahrbahnanregungen ist mit stoßhaltigen Schwingungen zu rechnen, die im Fall der Ganzkörperschwingungen gemäß ISO 2631-1 [9] vorteilhaft durch Verwendung von MTVV (Maximum Transient Vibration Value) und VDV (Vibration Dose Value) charakterisiert werden können. Tab. 7 enthält die entsprechenden Werte und zusätzlich Angaben zum Crest-Faktor (Scheitelfaktor) und den Effektivwerten der frequenzbewerteten Beschleunigung. Zum Vergleich sind die Effektivwerte für die Hand-Arm-Schwingung ebenfalls aufgeführt. Um einen generellen Eindruck über die Schwingungsbelastung durch die untersuchten Motorräder zu vermitteln, sind jeweils die Mittelwerte für alle Motorräder und Fahrzustände mit zugehörigen Standardabweichungen sowie Maximal- und Minimalwerte angegeben.

Tab. 7 Übersicht zu Effektivwerten, Crest-Faktoren, MTVV und VDV der untersuchten Motorräder (Mittelwert über alle Motorräder und alle Fahrzustände)

	HAS	GKS-Sitz				GKS-Fuß			
	a_hv [m/s <sup>2</sup> ]	a_wz [m/s <sup>2</sup> ]	Crest [-]	MTVV [m/s <sup>2</sup> ]	VDV [m/s <sup>1,75</sup> ]	a_wz [m/s <sup>2</sup> ]	Crest [-]	MTVV [m/s <sup>2</sup> ]	VDV [m/s <sup>1,75</sup> ]
Mittelwert	3,59	0,90	9,91	2,13	5,46	1,17	9,36	2,38	6,54
Standardabw.	2,12	0,62	3,30	1,21	3,37	0,97	3,78	1,46	4,59
Max.	13,33	4,01	18,58	6,27	16,66	5,78	22,97	8,71	27,21
Min.	2,12	0,28	3,55	0,46	1,32	0,30	2,54	0,52	1,36

Die Crest-Faktoren liegen im Mittel oberhalb eines Werts von 9, ab dem ISO2631-1 zusätzliche Angaben zu MTVV und VDV empfiehlt, und das MTVV/a<sub>w</sub>-Verhältnis über der Grenze

von 1,5. Die VDV-Werte unterschreiten im Mittel den Auslösewert von  $9,1 \text{ m/s}^{1,75}$  gemäß 2002/44EG. Es treten aber auch Maximalwerte oberhalb des Expositionsgrenzwerts von  $21 \text{ m/s}^{1,75}$  auf. MTVV-Werte erreichen im Mittel bis zu  $2,38 \text{ m/s}^2$  mit Maximalwerten von  $8,71 \text{ m/s}^2$ . An den Fußrasten liegen höhere MTVV- und VDV-Werte als an der Sitzbank vor.

### 3.5 Betrachtungen zu Reproduzierbarkeit und Sensorposition

Verteilt über einen Zeitraum von drei Monaten wurden Reproduzierbarkeitsuntersuchungen mit stets demselben Fahrzeug (BMW F800GS, 2012) und demselben Fahrer durchgeführt. Insgesamt sechs Messungen erfolgten unter gleichen Fahrbedingungen wie die oben dargestellte Reihenmessung, allerdings auf anderen Messstrecken. Die Sensoren wurden für jede Fahrt erneut montiert. Die ermittelten Abweichungen liegen bezogen auf den jeweiligen Mittelwert im Fall der Hand-Arm-Schwingungen (gemessen an der Griffinnenseite) bei  $\pm 7\%$  und im Fall der Ganzkörperschwingungen bei  $\pm 6\%$  (Sitzbank) bzw.  $\pm 10\%$  (Fußrasten). Gemäß DIN-EN-ISO-5349-2 [16] sind die Hand-Arm-Schwingungen an der Griffmitte zu messen. Aus Sicherheitsgründen wurden für die vorliegende Studie die Messungen an der Griffinnenseite durchgeführt, um Behinderungen oder Irritationen beim Bedienen des Fahrzeugs (Betätigung von Kupplung, Gas und Bremse) zu vermeiden, vgl. Abb. 5.

Versuchsweise durchgeführte Vergleichsmessungen der Hand-Arm-Schwingungen an Griffinnenseite und Griffmitte mit einem speziell instruierten Fahrer zeigen im Mittel Unterschiede um  $6\%$ , mit höheren Werten in der Griffmitte.



Abb. 5 Sensor am Handgriff an Griffinnenseite (Bild links) und Griffmitte (Bild rechts)

### 3.6 Untersuchungen zum Fahrer/in-Einfluss

Drei unterschiedliche Fahrer wurden am selben Tag, auf demselben Motorrad (BMW F800GS, 2012) und denselben Messstrecken untersucht, um den Einfluss des Fahrers auf die Humanschwingungen abzuschätzen. Die Sensoren blieben zwischen den Messfahrten montiert, so dass durch die Sensorbefestigung hervorgerufene Unterschiede ausgeschlossen

werden können (Fahrer 1: 183 cm, 95 kg; Fahrer 2: 177 cm, 67 kg; Fahrer 3: 183 cm, 70 kg). Die auftretenden Abweichungen lagen bezogen auf Fahrer 1 bei Hand-Arm-Schwingungen zwischen +16 und -17% und bei Ganzkörperschwingungen zwischen +18 und -29%. Die Abweichungen entstehen durch Unterschiede bei Fahrweise (Gangwahl, Stärke von Beschleunigungs- und Bremsvorgängen), Linienwahl (unterschiedliche Anregung an verschiedenen Stellen der Fahrbahn) und Sitzhaltung (unterschiedliche Greif- und Abstützkräfte). Die Abweichungen durch den Fahrereinfluss überwiegen die Spannweite der Reproduzierbarkeitsuntersuchungen. Somit hat es jede/r Fahrer/in im wahrsten Sinne des Wortes "in der Hand", unabhängig vom Motorrad die Höhe der Schwingungsbelastung zu beeinflussen.

### 3.7 Sensorbeeinflussung durch Fahrer/in und Gegenmaßnahmen

Die vom Fahrzeug ausgehenden Schwingungen können durch Anstoßen des Sensors durch den/die Fahrer/in überlagert werden, was speziell an den an Fußrasten durch Schalt- und Bremsvorgänge der Fall sein kann. Die Erkennung solcher Vorgänge erfolgte durch Kontrolle der Zeitverläufe der RMS-Werte (Root Mean Square) der frequenzbewerteten Beschleunigung an linker und rechter Fußraute. Transient deutlich unterschiedliche Ausschläge links und rechts deuten auf eine Beeinflussung durch den/die Fahrer/in hin. Ist der qualitative Verlauf der Ausschläge links und rechts, wenn auch auf unterschiedlichen Niveaus, im Zeitverlauf vergleichbar, so rühren die Schwingungen vom Fahrzeug her. Die Zeiträume mit transienten Unterschieden links/rechts wurden von der Auswertung ausgenommen, vgl. Abb. 6.

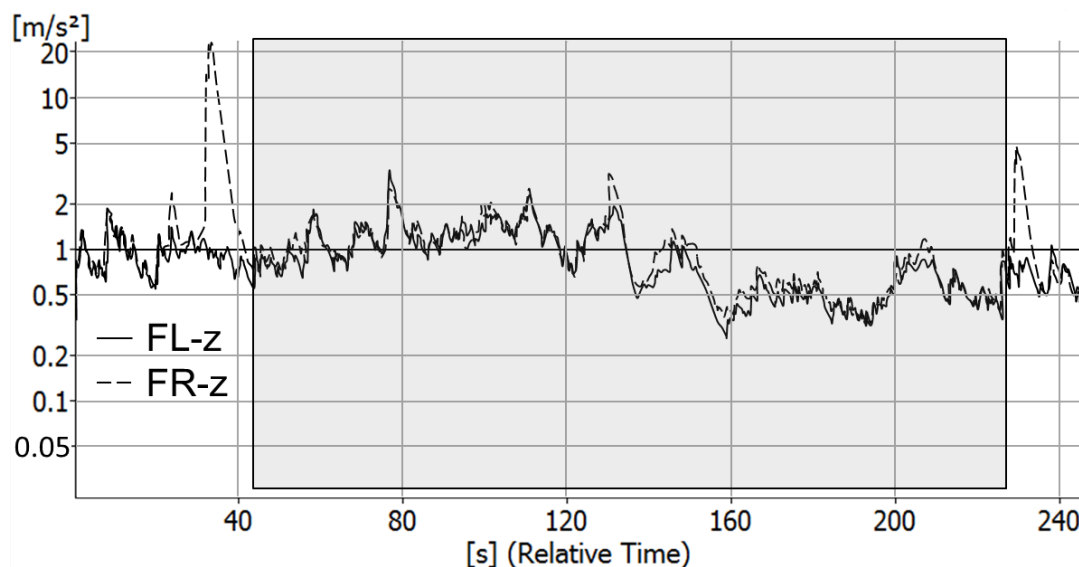


Abb. 6 Beispiel mit transienten Unterschieden im Zeitverlauf der RMS-Werte der frequenzbewerteten Beschleunigung an linker (FL) und rechter Fußraute (FR) in z-Richtung (für Auswertung verwendeter Zeitbereich hervorgehoben)



#### 4. Humanschwingungen bei beruflich genutzten Motorrädern

##### 4.1 Schwingungsmessungen an Fahrzeugen von Polizei und Johanniter Unfallhilfe

Zur Untersuchung auftretender Humanschwingungen bei Polizei-Motorrädern wurden typische Dienstfahrten mit je ca. 10 bis 25 min Dauer nachgestellt. Die Fahrten fanden auf den jeweils üblicherweise verwendeten Strecken im Stadtverkehr, bei Überlandfahrt und auf der Autobahn (BAB) statt. In zwei verschiedenen Städten wurden im Polizeibetrieb zwei Messreihen (1 und 2) mit je zwei Fahrzeugen durchgeführt. In beiden Fällen wurden die Polizisten gebeten ihren typischen Dienstablauf nachzustellen. Die Vergleichbarkeit zwischen den Messreihen ist eingeschränkt, da unterschiedliche Fahrstrecken mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten gefahren wurden. Messreihe 1 fand bei gemäßigter Landstraßenfahrt und im Bereich der Richtgeschwindigkeit auf der Autobahn mit nur kurzzeitiger starker Beschleunigung statt, wogegen Messreihe 2 mit stärkerer Beschleunigung bei Landstraßenfahrt und unter Ausnutzung der Fahrzeughöchstgeschwindigkeit auf der Autobahn durchgeführt wurde. Zusätzlich wurden Messungen bei der Johanniter Unfallhilfe unter Nachstellung des üblichen Kontrolldienstes in der Stadt und auf der Autobahn, dort zumeist mit Lkw-Geschwindigkeit und nur kurzzeitig höherer Geschwindigkeit bis 160 km/h, durchgeführt. Analog zur Reihenummessung an Privatfahrzeugen wurden an Handgriffen, Sitzbank und Fußrasten Beschleunigungssensoren angebracht. Die Ergebnisse sind in Tab. 8 und Tab. 9 dargestellt.

Der auf 8h bezogene Auslösewert wird je nach Fahrstrecke von allen Polizei-Modellen sowohl für Hand-Arm- als auch Ganzkörperschwingungen überschritten. Der Expositionsgrenzwert (bezogen auf 8h) wird z.T. erreicht bzw. überschritten.

Tab. 8 Hand-Arm-Schwingung ( $a_{hv}$  [ $m/s^2$ ]) an Motorrädern von Polizei (Messreihen 1 und 2) und Johanniter Unfallhilfe (Messreihe 3) im Dienstgebrauch (Mittelwerte aus linker und rechter Hand)

(Messreihe): Modell, Baujahr	Stadt	Landstr.	BAB	BAB*
(1): BMW R1200RT, 2010	2,26	2,36	4,13	4,30
(1): Yamaha FJR 1300, 2006	1,40	1,51	3,27	3,67
(2): BMW R1200RT, 2012	2,45	3,24	7,91	-
(2): BMW F650GS 1-Zyl., 2008	2,26	3,92	8,26	-
(3): BMW R1200RT, 2010	2,61	-	2,40	-

BAB\* = Höchst-Beschleunigung aus Stand mit anschließender Konstantfahrt oberhalb der Richtgeschwindigkeit

Tab. 9 Ganzkörperschwingung an Sitzbank und Fußrasten in z-Richtung ( $a_{w,z}$  [ $m/s^2$ ]) an Motorrädern von Polizei (Messreihen 1 u. 2) und Johanniter Unfallhilfe (Messreihe 3) im Dienstgebrauch (Fußrasten: Mittelwerte aus linkem und rechtem Fuß)

(Messreihe): Modell, Baujahr	Sitzbank				Fußrasten			
	Stadt	Landstr.	BAB	BAB*	Stadt	Landstr.	BAB	BAB*
(1): BMW R1200RT, 2010	0,38	0,39	0,54	0,53	0,40	0,42	0,50	0,45
(1): Yamaha FJR 1300, 2006	0,55	0,47	0,70	0,67	0,57	0,61	0,75	0,60
(2): BMW R1200RT, 2012	0,51	0,57	0,50	-	0,68	0,74	0,72	-
(2): BMW F650GS 1-Zyl., 2008	0,50	0,62	0,48	-	0,68	0,80	0,67	-
(3): BMW R1200RT, 2010	0,33	-	0,32	-	0,51	-	0,50	-

Beim Vergleich desselben Motorradmodells (BMW R1200RT) im Polizeidienst in zwei verschiedenen Städten und bei der Johanniter Unfallhilfe sind deutliche Unterschiede bei der Schwingungsbelastung, mit höheren Werten im Polizeidienst, festzustellen. Im Fall der Johanniter Unfallhilfe werden auf 8h bezogene Auslösewerte lediglich an den Fußrasten gering überschritten, was auf das abweichende Fahrprofil (Kontroll- statt Schutzdienst) zurückgeführt werden kann.

#### 4.2 Tagesexpositionswerte an Fahrzeugen von Polizei und Johanniter Unfallhilfe

Im Gegensatz zu privat genutzten Motorrädern, die stark unterschiedliche tägliche Fahrzeiten aufweisen können, lassen sich im Fall der Behörden-Motorräder auch repräsentative Tagesexpositionswerte ermitteln. Tab. 10 enthält die zugehörige Aufteilung der täglichen Fahrdauer von jeweils 6 h sowie die darauf basierenden Tagesexpositionswerte  $A(8)$ .

Tab. 10 Aufteilung der täglichen Fahrdauer von 6 h und Tagesexpositionswerte  $A(8)$  an Motorrädern von Polizei (Messreihen 1 u. 2) und Johanniter Unfallhilfe (Messreihe 3) im Dienstgebrauch (Hände u. Fußrasten: Mittelwerte aus linker und rechter Messstelle)

(Messreihe): Modell, Baujahr	Dauer/Tag [% und h]				$A(8)$ [ $m/s^2$ ]		
	Stadt	Landstr.	BAB	BAB*	HAS	GKS-Sitz	GKS-Fuß
(1): BMW R1200RT, 2010	30%	30%	30%	10%	2,09	0,51	0,56
(1): Yamaha FJR 1300, 2006	(1,8)	(1,8)	(1,8)	(0,6)	2,76	0,39	0,38
(2): BMW R1200RT, 2012	47,5%	47,5%	5%	-	2,88	0,46	0,62
(2): BMW F650GS 1-Zyl., 2008	(2,85)	(2,85)	(0,3)	-	3,14	0,48	0,64
(3): BMW R1200RT, 2010	17% (1)	-	83% (5)	-	2,04	0,27	0,42

Für die untersuchten Polizeidienste werden für Hand-Arm- und Ganzkörperschwingungen Auslösewerte überschritten, der Expositionsgrenzwert aber nicht erreicht. Im Beispiel der Johanniter-Unfallhilfe werden die Auslösewerte nicht erreicht.

## 5. Fazit

Motorradfahrer/innen sind mechanischen Schwingungen ausgesetzt und berichten zu einem Großteil von körperlichen Auswirkungen. Die Vibrationen werden allerdings von einer großen Mehrheit nicht als störend empfunden. Die an Motorrädern gemessenen Hand-Arm- und Ganzkörperschwingungen liegen deutlich höher als Vergleichsmessungen an einem Pkw. Auf 8h bezogene Auslöse- und Grenzwerte nach 2002/44EG werden z.T. deutlich überschritten, wobei sehr große Unterschiede zwischen verschiedenen Fahrer(in)/Fahrzeug-Kombinationen festzustellen sind. Messungen von Ganzkörpervibrationen zeigen einen höheren Anteil an Grenzwertüberschreitungen als Hand-Arm-Schwingungen. Der/die Fahrer/in kann durch die Fahrweise einen signifikanten Einfluss auf die Höhe der Schwingungsbelastung auf ein und demselben Motorrad ausüben. Bei typischem Behördeneinsatz (Polizei, Johanniter Unfallhilfe) können Tagesexpositionswerte Auslösewerte überschreiten.

## Quellenverzeichnis

- [1] Richtlinie 2002/44/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Juni 2002 über Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (Schwingungen) (16. Einzelrichtlinie im Sinne des Artikels 16 Absatz 1 der Richtlinie 89/391/EWG)
- [2] Technische Regeln zur Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung (TRLV), Teil 1: Beurteilung der Gefährdung durch Vibrationen. GMBI 2015 S. 485 [Nr. 25/26].
- [3] Mirbod, S. M.; Yoshida, Hideyo; Jamali, Marjan; Masamura, Kazuhito; Inaba, Ryoichi; Iwata, Hirotochi: Assessment of hand-arm vibration exposure among traffic police motorcyclists. *International Archives of Occupational and Environmental Health* 70 (1), 1997, pp. 22–28
- [4] Gibson, R.G.; Gibbons, J.D.: A case study of whole-body vibration exposures associated with ordinary passenger and recreational vehicles. *Proceedings of the First American Conference on Human Vibration*, Morgantown, West Virginia, U.S.A., June 5-7, 2006, pp. 48-49
- [5] Hsieh-Ching Chen, Wei-Chyuan Chen, Yung-Ping Liu, Chih-Yong Chen, Yi-Tsong Pan: Whole-body vibration exposure experienced by motorcycle riders – An evaluation according to ISO 2631-1 and ISO 2631-5 standards. *International Journal of Industrial Ergonomics*, Volume 39, Issue 5 (September 2009), pp. 708–718.
- [6] Shivakumara BS, Sridhar V.: Study of vibration and its effect on health of the motorcycle rider. *Online J Health Allied Scs.* 2010;9(2):9

- [7] Moreno, R.; Cardona, J.; Pintado, P.; Chicharro, J.: Predictors of whole body vibration exposure in motorcycle riders. Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia N.º 61, December, 2011, pp. 93-103
- [8] Hsieh-Ching Chen, Yi-Tsong Pan: Whole-Body Vibration Exposure in Urban Motorcycle Riders. Proceedings of the Institute of Industrial Engineers Asian Conference 2013, pp. 975-983.
- [9] ISO 2631-1:1997/Amd 1:2010: Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole body vibration – Part 1: General requirements. International Organization for Standardization, Genf 1997/2010
- [10] DIN EN 14253:2008-02: Mechanische Schwingungen – Messung und rechnerische Ermittlung der Einwirkung von Ganzkörper-Schwingungen auf den Menschen am Arbeitsplatz im Hinblick auf seine Gesundheit – Praxisgerechte Anleitung. Berlin: Beuth 2008
- [11] VDI 2057-1:2002: Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen; Blatt 1: Ganzkörper-Schwingungen. Verein Deutscher Ingenieure, Berlin: Beuth 2002
- [12] Krafffahrtbundesamt: Neuzulassungen von Krafträdern in den Jahren 2004 bis 2013 nach technischen Merkmalen.  
[http://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Neuzulassungen/Motorisierung/n\\_motorisierung\\_kraeder\\_zeitreihe\\_techn\\_merkmale.htm](http://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Neuzulassungen/Motorisierung/n_motorisierung_kraeder_zeitreihe_techn_merkmale.htm); abgerufen 18.02.2016
- [13] Industrieverband Motorrad Deutschland e.V.: Jahresbericht 2014, Essen, 2014.
- [14] VDI 2057-2:2012: Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen; Blatt 2: Hand-Arm-Schwingungen. Verein Deutscher Ingenieure, Berlin: Beuth 2012
- [15] Adamek, J.: Datenbank für Humanschwingungsmessung an Motorrädern. Hochschule Osnabrück, Institut für Management und Technik, Lingen (Ems). <http://www.campus-lingen.hs-osnabrueck.de/projekte-motorrad-humanschwingungen.html>; abgerufen 18.02.2016
- [16] DIN EN ISO 5349-2:2015-12: Mechanische Schwingungen - Messung und Bewertung der Einwirkung von Schwingungen auf das Hand-Arm-System des Menschen - Teil 2: Praxisgerechte Anleitung zur Messung am Arbeitsplatz. Berlin: Beuth 2015