

## **Vibrationsexposition bei Aufsitzrasenmähern - Evaluation des Schwingungsmessverfahrens nach DIN EN ISO 5395-1:2014**

### **Vibration exposure on riding lawn mowers - Evaluation of the vibration measurement method according to DIN EN ISO 5395-1:2014**

Dipl.-Ing. **C. Freitag, Detlef Sayn**, Institut für Arbeitsschutz der  
Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), Sankt Augustin

#### **Abstract**

The operators of a riding lawn mower are exposed to permanent vibration exposures during mowing. A stimulation of the vehicle by the uneven road surface of a meadow can permanently damage the lumbar spine even with a duration of exposure of a few hours per day. Municipal facilities, institutions and companies try to provide their employees with low-vibration vehicles and include the vibration load values listed in the operating instructions of the respective manufacturers in the purchase decision for a vehicle. Unfortunately, in the normative annex of the standard DIN EN ISO 5395-1: 2014 [1], vibration measurements for the determination of whole-body vibration at the point of discharge into the buttocks of the operators are not representative operating conditions that define a realistic stimulation of the vehicle. Only an undefined smooth surface describes the surface texture that the riding lawn mowers have to cross at a predefined constant speed. This requirement inevitably leads to an undervaluation of the real-acting vibration loads, since the standard offers the manufacturers of riding lawn mowers the opportunity to design a test track that does not cause nearly a comparable vibration excitation of the vehicle.

The results of this project show that a modified test track written in DIN EN 13059:2009 [2] can be used to define a possible representative and reproducible test procedure.

#### **1. Einleitung**

Die Bedienenden eines Aufsitzrasenmähers sind während der Mäharbeiten permanenten Vibrationsexpositionen ausgesetzt. Eine Anregung des Fahrzeugs durch den unebenen Fahrbahnuntergrund einer Wiese kann selbst bei einer Einwirkungsdauer von wenigen Stunden pro Tag die Lendenwirbelsäule dauerhaft schädigen.

Kommunale Einrichtungen, Institutionen und Betriebe versuchen ihren Mitarbeitenden vibrationsarme Fahrzeuge zur Verfügung zu stellen und beziehen die in der Bedienungsanleitung der jeweiligen Hersteller aufgeführten Schwingungsbelastungswerte in die Kaufentscheidung für ein Fahrzeug ein. Leider bieten die im normativen Anhang der Norm DIN EN ISO 5395-1:2014 [1] aufgeführten Schwingungsmessverfahren zur Bestimmung der Ganzkörper-Schwingungen an der Einleitungsstelle in das Gesäß der Bedienenden keine repräsentativen Betriebszustände, die eine realitätsnahe Anregung des Fahrzeugs durch den Fahrbahnuntergrund festlegen. Lediglich ein ebener, horizontaler, harter Untergrund beschreibt die Oberflächenbeschaffenheit bei einer Überfahrt des Aufsitzrasenmähers mit einer vordefinierten konstanten Geschwindigkeit ( $v = 6 \text{ km/h}$ ).

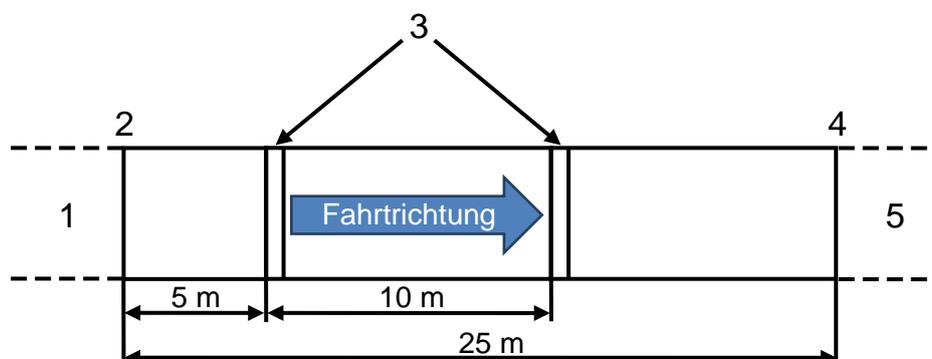
Da die Beschaffenheit der Oberfläche des Untergrundes nicht im Detail definiert wird, bietet diese Norm den Herstellern von Aufsitzrasenmähern einen weitreichenden Interpretationsspielraum, um zur Bestimmung der Vibrationsemissionen auf der Sitzfläche einen Untergrund zu wählen, der das Fahrzeug lediglich in einem geringen Maße anregt. Eine Fahrt über eine ebene Rasenfläche wäre mit einer Asphaltoberfläche nicht vergleichbar. Da eine Rasenoberfläche ebenfalls in einer deutlich abweichenden Beschaffenheit vorliegen kann, wodurch keine vergleichbaren und reproduzierbaren Messergebnisse geschaffen werden können, ist das Ziel dieses Vorhabens die Eignung eines bereits bestehenden Verfahrens zur Schwingungsmessung nach DIN EN 13059:2009 [2] für den Einsatz zur Einstufung von Aufsitzrasenmähern zu prüfen.

## 2. Methodik

Im vorherigen Kapitel ist die Schwierigkeit einer Definition eines repräsentativen Untergrundes erläutert worden. Im Rahmen dieses Vorhabens sollen Untersuchungen an einem Aufsitzrasenmäher der Firma John Deere (Typ F935) zeigen, wie hoch die Schwingungsbelastungen auf den Bedienenden an der Einleitungsstelle in das Gesäß im typischen Mähbetrieb sind und ob das bekannte Prüfverfahren nach DIN EN 13059:2009 [2] zur Schwingungsmessung auf Flurförderzeugen ebenfalls bei Aufsitzrasenmähern angewendet werden kann.

Diese Norm beinhaltet ein vordefiniertes Prüfverfahren, welches die auf den Körper der Bedienenden von Flurförderzeugen wirkenden Vibrationsbelastungen messen, um dadurch die Möglichkeit zu schaffen, die in der Maschinen-Richtlinie definierten Anforderungen an die Angabe von Kennwerten zu erfüllen. Mit Hilfe des Prüfverfahrens kann die in Form einer Teststrecke abgebildete reproduzierbare Untergrundbeschaffenheit ebenfalls zum Vergleich von Sichelrasenmähern der gleichen Klasse sowie zur Ergründung des Einflussverhaltens

von unterschiedlichen Fahrersitzen und Reifen an einem Fahrzeug dienen. Bild 1 zeigt schematisch die Teststrecke nach DIN EN 13059:2009.



Legende:

- 1 Beschleunigungsbereich
- 2 Startlinie
- 3 Schwellen (Multiplex Birke  $l = 300 \text{ cm}$ ,  $b = 150 \text{ mm}$ ,  $t = 8; 13; 20 \text{ mm}$ )
- 4 Ziellinie
- 5 Verzögerungsbereich
- $v = 10 \text{ km/h}$

Bild 1: Schematische Darstellung der Teststrecke nach DIN EN 13059:2009 zur definierten Bestimmung der Schwingungsbelastung (modifiziert nach [2])

Die gesamte Teststrecke ist mit einer konstanten Geschwindigkeit von  $v = 10 \text{ km/h}$  durchfahren worden, bevor nach einer Strecke von 5 m und weiteren 10 m die zwei senkrecht zur Fahrtrichtung platzierten Schwellen überfahren worden sind und auf das Fahrzeug eine definierte Schwingungsbelastung einwirkte. Um unterschiedliche Schwingungsanregungen zu erzeugen wurden verschiedene Schwellenhöhen für die Überfahrt der Normhindernisfahrbahn zur Verfügung gestellt.

Mit Hilfe eines mechanischen Gaspedalanschlages ist die konstante Geschwindigkeit von  $v = 10 \text{ km/h}$  eingestellt worden. Aufgrund dieser konstanten Vorgabe resultiert eine Durchfahrtszeit von  $t = 9 \text{ s}$  über die Länge von 25 m beginnend an der Startlinie (2) bis zur Ziellinie (4) der Teststrecke. Neben einer Teststreckenlänge von 25 m ist ein zweiter Streckenaufbau definiert worden, der eine Messzeit von  $t = 12 \text{ s}$  ermöglicht und damit erst die Darstellung eines  $PSD_r$ -Spektrums. Diese Teststrecke ist nach der zweiten

Schwellenüberfahrt um eine zusätzliche Fahrzeit von  $t = 3$  s (8,33 m) erweitert worden. Bild 2 zeigt durch die rot schraffierte Fläche (6) den erweiterten Fahrabschnitt.

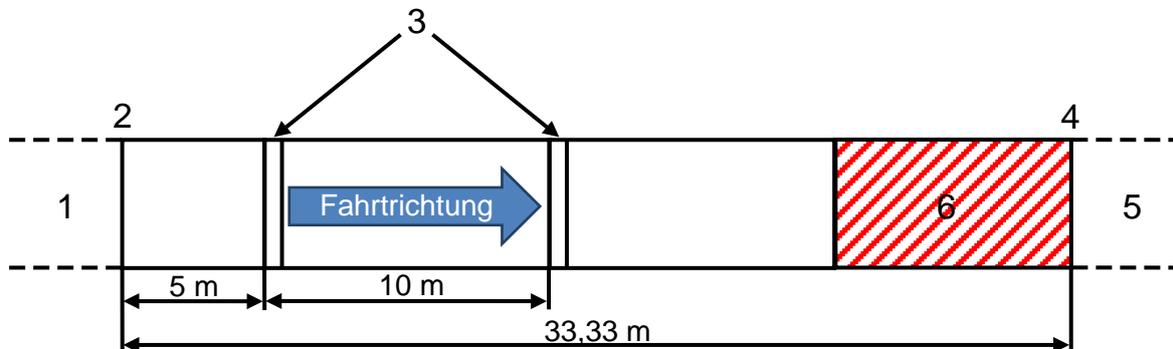


Bild 2: Schematische Darstellung der erweiterten Teststrecke nach DIN EN 13059:2009 zur definierten Bestimmung der Schwingungbelastung (modifiziert nach [2])

Die Gültigkeit der Messung wird erreicht, wenn die Durchschnittsgeschwindigkeit des auf der Versuchsstrecke fahrenden Fahrzeuges mit einer Abweichung von  $\pm 10$  % durchgeführt worden ist. Eine Warmlaufzeit von 10 min ist dabei zu beachten. Zusätzlich ist nach jeder Veränderung der Messbedingung eine Prüfreihe von mindestens  $N = 5$  gültigen Fahrten durchzuführen, wobei der Variationskoeffizient  $C_v$  bei  $N$  aufeinander folgenden Effektivwerten der bewerteten Beschleunigung kleiner als 0,15 sein muss. Dieser ist definiert als der Quotient der Standardabweichung einer Messwertreihe zum arithmetischen Mittelwert.

Der als informativ gekennzeichnete Anhang C der Norm DIN EN 13059:2009 definiert eine weitere Vorgabe für die Bestimmung der Kennwerte der Versuchsstrecke. Die Oberfläche der Versuchsstrecke sollte so glatt sein, dass die unter dem Sitz des Sichelrasenmähers gemessene Beschleunigung in vertikaler Richtung bei der Fahrt über die hindernisfreie Versuchsstrecke kleiner als 50 % der mit Hindernissen gemessenen Beschleunigung ist.

Anhang A (informativ) der Norm DIN EN 13059:2009 beschreibt einen Leitfaden für die Prüfung von „geländegängigen“ Flurförderzeugen – Klasse 6, in dem eine Schwellenhöhe von 30 mm für die Teststrecke empfohlen wird. Da vor Versuchsbeginn nicht sichergestellt werden konnte, ob die Anregung des Fahrzeuges durch eine Schwellenhöhe von lediglich 8 mm ausreicht um die notwendige Bedingung des Variationskoeffizienten  $C_v$  zu erfüllen und ein Sichelrasenmäher in eingeschränkter Weise als ein geländegängiges Fahrzeug bezeichnet werden kann, wurde der Empfehlung aus Anhang A, deutliche höhere Schwellen zu verwenden, gefolgt. Aufgrund des geringen Raddurchmessers des Fahrzeuges wurden die

Schwingungsemissionen zweier zusätzlicher Schwellenhöhen (13 mm und 20 mm) als ausreichend erachtet, auch unter dem Gesichtspunkt das Fahrzeug nicht zu beschädigen.

### 3. Ergebnisse

Es ist eine Separierung in unterschiedliche Messbedingungen durchgeführt worden, um die Schwingungsbelastungen bei der Fahrt über eine frisch gemähte Rasenfläche ( $v = 6$  km/h (Messung 1.1) und  $v = 10$  km/h (Messung 1.2)), der Überfahrt auf der Normhindernisfahrbahn mit (Messung 1.3-1.5) und ohne Schwellen (Messung 1.7) nach DIN EN 13059:2009, der nach DIN EN ISO 5395-1:2014 definierten Testfahrt über einen ebenen, horizontalen Untergrund (Asphalt,  $v = 6$  km/h (Messung 1.6)) und dem realen Betriebsablauf bei Mäharbeiten auf dem DGUV-Gelände (Messung 1.8) zu messen. Tabelle 1 zeigt die Einwirkungsauern  $T$  und die Effektivwerte  $a_{w,l}$  der durchgeführten Messungen. Aus Übersichtsgründen werden in Tabelle 1 nur die Schwingungsbelastungswerte am Sitzmontagepunkt abgebildet, da die Auswirkungen des Feder-Dämpfer-Systems hinsichtlich einer Bewertung der Teststrecke keine Relevanz besitzt.

Tabelle 1: Darstellung der Einwirkdauern  $T$ , der Effektivwerte  $a_{w,l}$ 

Messnr.	Beschreibung der Messung	Einwirkdauer $T$ [min:s]	Effektivwert der frequenzbewerteten Beschleunigung $a_{w,l}$ (Sitzmontagepunkt)		
			$a_{w,x}$ [m/s <sup>2</sup> ]	$a_{w,y}$ [m/s <sup>2</sup> ]	$a_{w,z}$ [m/s <sup>2</sup> ]
1.1	Fahrt über eine frisch gemähte Rasenfläche ( $v = 6$ km/h)	5:00	0,28	0,39	0,76
1.2	Fahrt über eine frisch gemähte Rasenfläche ( $v = 10$ km/h)	7:32	0,39	0,48	1,47
1.3	Fahrt über die Normhindernisfahrbahn nach DIN EN 13059:2009 ( $t = 8$ mm)	1:12	0,23	0,15	1,13
1.4	Fahrt über die Normhindernisfahrbahn nach DIN EN 13059:2009 ( $t = 13$ mm)	0:45	0,31	0,18	1,44
1.5	Fahrt über die Normhindernisfahrbahn nach DIN EN 13059:2009 ( $t = 20$ mm)	0:45	0,39	0,20	2,50
1.6	Fahrt über einen ebenen, horizontalen Untergrund nach DIN EN ISO 5395-1:2014 ( $v = 6$ km/h)	0:45	0,08	0,9	0,25
1.7	Fahrt über die Normhindernisfahrbahn nach DIN EN 13059:2009 ( $t = 0$ mm)	0:45	0,10	0,13	0,44
1.8	Betriebsmessung – Mäharbeiten mit geringem Asphaltanteil	54:00	0,38	0,46	1,13

Die Messergebnisse sind Effektivwerte der frequenzbewerteten Beschleunigung in Schwingungsrichtung  $l$ , ohne die Korrekturfaktoren  $k_x$ ,  $k_y$ ,  $k_z$ , gemessen am Sitzmontagepunkt des Fahrzeugs. Um die Vorgabe einer gültigen Prüfreihe nach DIN EN 13059:2009 erfüllen zu können, sind für jede Messbedingung  $N = 5$  Schwellenüberfahrten getätigt worden.

Bei den Fahrten über eine frisch gemähte Rasenfläche (Messung 1.2) konnten am Sitzmontagepunkt in z-Richtung Schwingungsbelastungen bis zu einem Wert von  $a_{w,z} = 1,47 \text{ m/s}^2$  gemessen werden. Dabei war eine deutliche Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit zu erkennen. Die Messfahrt bei einer Fahrgeschwindigkeit von  $v = 6 \text{ km/h}$  (Messung 1.1) führte lediglich zu einer Schwingungsbelastung am Sitzmontagepunkt von  $a_{w,z} = 0,76 \text{ m/s}^2$ .

Da eine für den realen Betriebsablauf repräsentative Teststrecke geschaffen werden musste, war eine gute Dämpfungseigenschaft des montierten Sitzes nicht ausschlaggebend sondern insbesondere eine vergleichbare Anregung des Fahrzeugs relevant. Die Fahrt über die Normhindernisfahrbahn sorgt mit ansteigender Schwellenhöhe für eine Zunahme der Schwingungsbelastung auf den Bediener des Sichelrasenmähers. Aufgrund der Gestaltung der Teststrecke entstehen, vorzugsweise Belastungen in z-Richtung, beginnend bei einem Effektivwert am Sitzmontagepunkt von  $a_{w,z} = 1,13 \text{ m/s}^2$  (Messung 1.3) bis  $a_{w,z} = 2,50 \text{ m/s}^2$  (Messung 1.5) bei der Überfahrt der 20 mm hohen Schwellen. Messung 1.6 beschreibt die Fahrt mit einer Geschwindigkeit von  $v = 6 \text{ km/h}$  in einer in der Norm DIN EN ISO 5395-1:2014 definierten Testfahrt über einen ebenen, horizontalen Untergrund. Die Überfahrt der Asphaltstrecke resultiert in einer geringen Fahrzeuganregung, die einen maximalen Effektivwert in z-Richtung von  $a_{w,z} = 0,25 \text{ m/s}^2$  zur Folge hat.

Die zur Gültigkeitsprüfung des Testverfahrens nach DIN EN 13059:2009 notwendige Fahrt über denselben Untergrund der Normhindernisfahrbahn (Messung 1.7), jedoch ohne die auf der Fahrbahnoberfläche befindlichen Schwellen bei einer Geschwindigkeit  $v = 10 \text{ km/h}$ , zeigt die höchste Anregung in z-Richtung ( $a_{w,z} = 0,44 \text{ m/s}^2$ ). Die im Rahmen von einer Betriebsmessung auf dem DGUV-Gelände getätigten Mäharbeiten führten am Sitzmontagepunkt zu einer höchsten Anregung in z-Richtung von  $a_{w,z} = 1,13 \text{ m/s}^2$ .

#### 4. Diskussion

Unter der Vorgabe ein normgerechtes Prüfverfahren zu empfehlen, welches die Belastungen im realen Betriebsablauf widerspiegelt, zeigen die Effektivwerte am Sitzmontagepunkt in z-Richtung bei der Fahrt über 8 mm hohe Schwellen (Messung 1.3) einen identischen Zahlenwert ( $a_{w,z} = 1,13 \text{ m/s}^2$ ) wie bei den Mäharbeiten auf dem DGUV-Betriebsgelände

(Messung 1.8). Die Belastungen in den horizontalen Richtungen sind aufgrund der Gestaltung der Prüfstrecke bei der Schwellenüberfahrt geringer als im realen Betriebsablauf, wo aufgrund der Topographie der Wiese eine seitliche Neigung des Sichelrasenmähers und eine inkonstante Fahrweise für eine verstärkte Anregung in der horizontalen Ebene sorgen. Die Effektivwerte in z-Richtung am Sitzmontagepunkt bei der Wiesenüberfahrt mit 6 km/h (Messung 1.1) und 10 km/h (Messung 1.2) verdeutlichen arithmetisch gemittelt ( $\bar{a}_{w,z} = 1,11 \text{ m/s}^2$ ) eine vergleichbare Schwingungsbelastung. Die Angabe des Bedieners des Sichelrasenmähers einbeziehend wird deutlich, dass eine typische Betriebsfahrt im Rahmen eines Arbeitsspiels innerhalb des vorgegebenen Geschwindigkeitsbereiches ( $v = 6$  bis  $8 \text{ km/h}$ ) durchgeführt wird.

Die Frequenzanalyse an dem Sichelrasenmäher verdeutlicht anhand der spektralen Leistungsdichte (*PSD*) die Höhe der Schwingungsbelastung und ihre Frequenzabhängigkeit. Dieser Kennwert wird am Sitzmontagepunkt und auf der Sitzfläche bestimmt, wobei die Messwerte zur Bestimmung der Anregungsfrequenz am Montagepunkt entscheidend sind.

Die PSD-Spektren in z-Richtung der Betriebsmessung (Messung 1.8), der Fahrt auf der Normhindernisfahrbahn über 8 mm hohe Schwellen (Messung 1.3) und die für eine repräsentative Einschätzung der Schwingungsbelastung herangezogene Wiesenfahrt (Messung 1.1) mit einer Geschwindigkeit von  $v = 6 \text{ km/h}$  sind in Abbildung 5.1 aufgeführt.

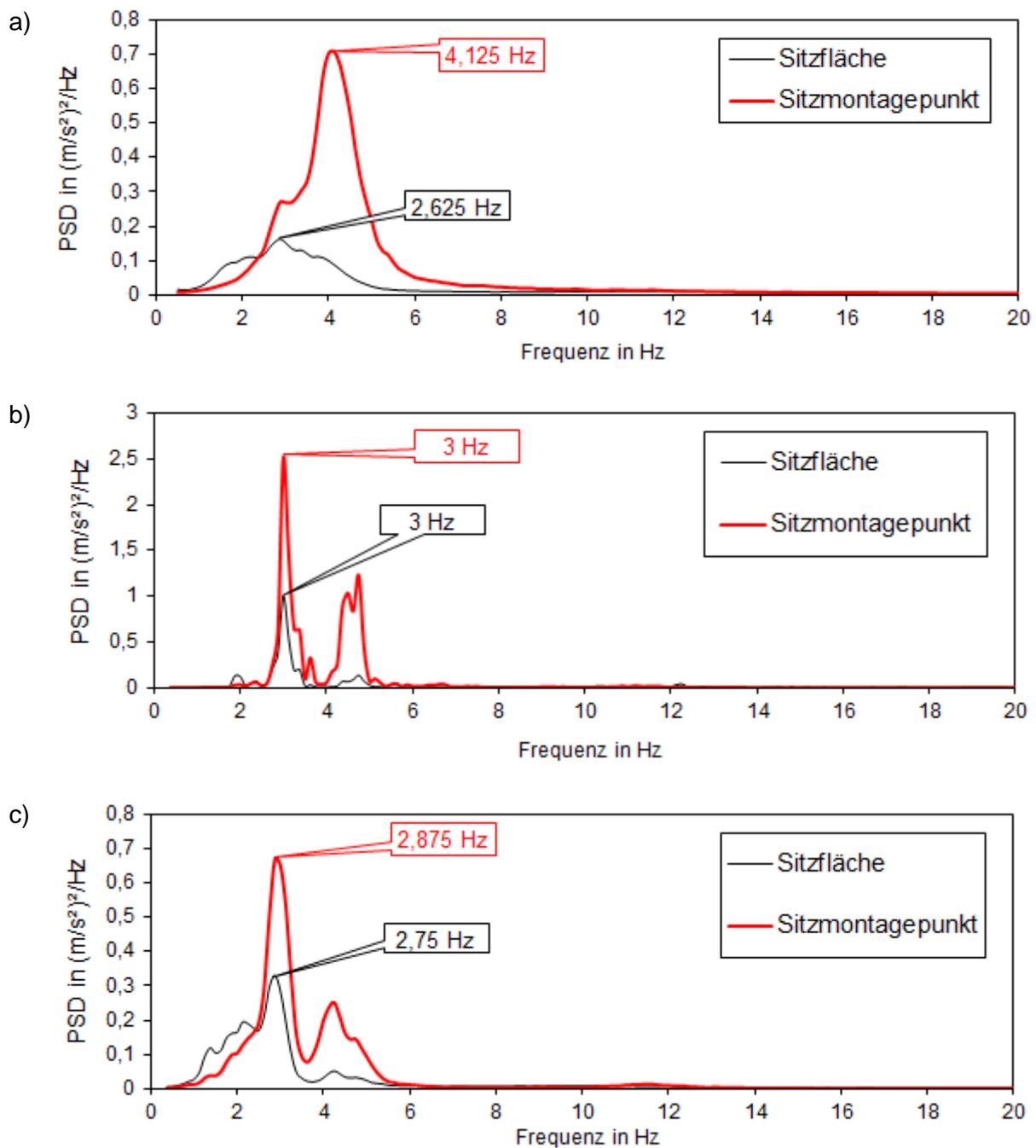


Bild 3: Darstellung der spektralen Leistungsdichte ( $\text{PSD}_z$ ) für die a) Betriebsmessung den b) Fahrbetrieb über die Normhindernisfahrbahn (8 mm Schwellen) und über den c) Wiesenabschnitt

Die Betriebsmessung ist durch Mäharbeiten und einem geringen Asphaltanteil auf dem DGUV-Gelände charakterisiert. Das Maximum der Anregungsfrequenz am Sitzmontagepunkt beträgt  $f = 4,125 \text{ Hz}$ . Weitere Messungen außerhalb dieser Forschungsaktivität haben gezeigt, dass ein größerer Anteil an der Überfahrt einer ebenen Asphaltfläche das Maximum

in höhere Frequenzbereiche verschiebt, weshalb bei der Auswertung eine tieffrequenter Bewertung beachtet werden muss. Diese Behauptung wird durch die Frequenzanalyse bei der reinen Wiesenfahrt gestützt. Das Maximum der Hauptanregungsfrequenz liegt bei  $f = 2,875$  Hz und ist damit im Einklang mit der Fahrt über die Normhindernisfahrbahn bei einer Schwellenhöhe von 8 mm.

Der Grenzwert des Variationskoeffizienten ( $C_{V,Grenzwert} = 0,15$ ) ist bei der Messung an diesem Fahrzeug nicht überschritten worden. Eine weitere Anforderung an die Gültigkeit der Messung, die eine Reduktion von mindestens 50 % der vertikalen Schwingungsbelastung bei der Überfahrt ohne Schwellen beinhaltet, ist ebenfalls gewährleistet.

Die Effektivwerte bei der Fahrt über 13 mm und 20 mm hohe Schwellen verdeutlichen, dass diese Schwellenhöhen große Schwingungsbelastungen erzeugen, die kein repräsentatives Arbeitsspiel bezeichnen und den Bediener bei der Durchführen des Prüfverfahrens gefährden können.

## 5. Zusammenfassung

Das nach der Norm DIN EN ISO 5395-1:2014 definierte Prüfverfahren zur Bestimmung von Vibrationsbelastungen an Sichelrasenmähern ist durch den großen Interpretationsspielraum bezüglich der Bestimmung des Fahruntergrundes geprägt. Ziel dieses Forschungsvorhabens ist es ein repräsentatives Prüfverfahren zu entwickeln um die Vibrationsbelastungen eines Aufsitzrasenmähers im Betrieb zu bestimmen. Wie die Betriebsmessungen eines Sichelrasenmähers auf dem DGUV-Gelände sowie weitere simulierte Messbedingungen zeigen, eignet sich die Fahrt über eine Normhindernisfahrbahn, definiert nach DIN EN 13059:2009, um ein typisches Arbeitsspiel darzustellen. Eine Fahrt über 8 mm hohe Schwellen auf einer definierten Versuchsstrecke verdeutlicht eine vergleichbare Anregungsfrequenz in z-Richtung und einen übereinstimmenden Effektivwert der frequenzbewerteten Beschleunigung  $a_{w,z}$ .

Aufbauend auf diesen Erkenntnissen ist eine Bewertung der Schwingungsbelastungen von Sichelrasenmähern nach der DIN EN 13059:2009 zu empfehlen.

- [1] DIN EN ISO 5395-1:2014: Gartengeräte – Sicherheitsanforderungen für verbrennungsmotorisch angetriebene Rasenmäher – Teil 1: Begriffe und allgemeine Prüfverfahren (ISO 5395-1:2013); Deutsche Fassung EN ISO 5395-1:2013
- [2] DIN EN 13059:2009: Sicherheit von Flurförderzeugen - Schwingungsmessung; Deutsche Fassung EN 13059:2002+A1:2008