
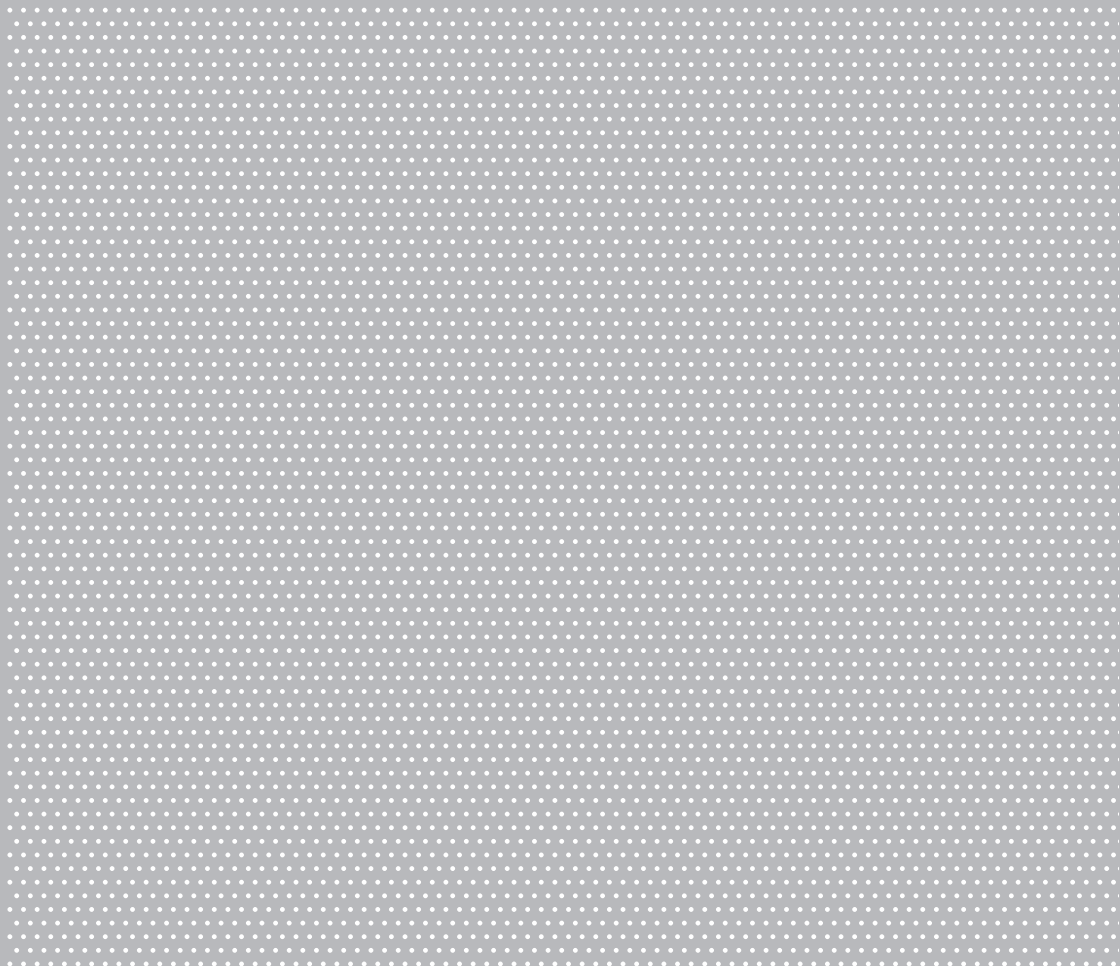


5/2015

## IFA Report



### Gefährdungsbeurteilung der Hand-Arm-Vibration bei der Waldarbeit mit Motorkettensägen



Verfasser: Uwe Kaulbars  
Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA),  
Sankt Augustin

Herausgeber: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e. V. (DGUV)  
Glinkastr. 40  
10117 Berlin  
Telefon: 030 288763800  
Telefax: 030 288763808  
Internet: [www.dguv.de](http://www.dguv.de)  
E-Mail: [info@dguv.de](mailto:info@dguv.de)

2. Auflage, November 2015

Publikationsdatenbank: [www.dguv.de/publikationen](http://www.dguv.de/publikationen)

ISBN: 978-3-86423-162-9  
ISSN: 2190-7994

## Kurzfassung

### Gefährdungsbeurteilung der Hand-Arm-Vibration bei der Waldarbeit mit Motorkettensägen

Gemäß der Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung kann die Gefährdungsbeurteilung derzeit nach mehreren Verfahren erfolgen, z. B. auf der Grundlage von Messungen oder Schätzungen unter Heranziehung von Herstellerangaben. Ziel der Untersuchung in diesem Report war es, die Gefährdungsbeurteilung für die intensive Nutzung der Motorkettensägen bei der Holzernte zu verbessern. Dazu fanden systematisch Praxismessungen bei Baumfällarbeiten an 30 Bäumen unter typischen Arbeits- und Betriebsbedingungen statt. Berücksichtigt wurden die Einflussbedingungen Holzart, Arbeitsvorgänge, Maschinen und Bedienperson. Artefakte, die bei Langzeitmessungen entstehen, wenn beispielsweise eine Hand den Griff nicht berührt, wurden mit einer Videokamera am Arbeitsschutzhelm erfasst und später eliminiert. Die Ergebnisse zeigen bei allen Untersuchungen, dass höhere Belastungen am vorderen Griff (Seitengriff) der Motorkettensäge auftraten. Ebenso lag die durchschnittliche Belastung bei Fichten höher als bei Buchen. Die Herstellerangabe für den Schwingungsgesamtwert des untersuchten Maschinentyps von  $a_{hv} = 3,5 \text{ m/s}^2$  mit dem Ungenauigkeitsfaktor  $K = 2,0 \text{ m/s}^2$  nach DIN EN 12096 deckt einen Überlappungsbereich von 1,5 bis  $5,5 \text{ m/s}^2$  ab. Dies bedeutet, dass 95 % aller auftretenden Werte unterhalb von  $5,5 \text{ m/s}^2$  liegen. Die gemessenen Maximalwerte liegen jedoch im Bereich von 4,1 bis  $6,1 \text{ m/s}^2$ . Daher kann nicht ausgeschlossen werden, dass aufgrund der Herstellerangabe – wenn man die Ungenauigkeit nicht berücksichtigt – die Gefährdung unterbewertet wird. Es besteht somit Handlungsbedarf, um in der Technischen Regel zur Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung den Vertrauensbereich der Herstellerangabe bei der Gefährdungsanalyse genauer zu berücksichtigen. Die Untersuchungen fanden auf Initiative des Sachgebietes „Straße, Gewässer, Forsten, Tierhaltung“ im DGUV Fachbereich „Verkehr und Landschaft“ statt. Sie wurden vom Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) unter Federführung der Unfallkasse Nordrhein-Westfalen sowie mit Unterstützung des Forstlichen Bildungszentrums für Waldarbeit und Forsttechnik, Arnsberg, durchgeführt.

## Abstract

### Risk assessment of hand-arm vibration during forestry work with chainsaws

According to the Noise and Vibrations Occupational Safety and Health Ordinance, risk assessment can currently be performed in several ways, e.g. on the basis of measurements or of estimates with reference to manufacturers' data. The goal of the investigations in this report was to improve the risk assessment for the intensive use of chainsaws during the timber harvest. Systematic field measurements were conducted during tree-felling work on 30 trees in typical working and operating conditions and taking account of the factors of wood type, work process, chainsaw and operator. Artefacts arising during long-term measurements, when, for example, a hand was not touching the handle, were recorded with a video camera attached to the worker's helmet and later eliminated. In all investigations, the results showed that higher loads arose on the front handle (side handle) of the chainsaw. The average load was also higher for spruces than for beeches. The manufacturer's figure for the total vibration value of the investigated chainsaw type of  $a_{hv} = 3.5 \text{ m/s}^2$  with the inaccuracy factor of  $K = 2.0 \text{ m/s}^2$  in accordance with DIN EN 12096 covers an overlap range of 1.5 to  $5.5 \text{ m/s}^2$ . This means that 95% of all arising values are below  $5.5 \text{ m/s}^2$ . The measured maximum values, however, lie within the range of 4.1 to  $6.1 \text{ m/s}^2$ , so underestimation of the risk cannot be excluded if the manufacturer's data are referred to and the inaccuracy is disregarded. Action therefore needs to be taken so that the Technical Rule on the Noise and Vibrations Occupational Safety and Health Ordinance takes more precise account of the confidence interval of the manufacturer's data in the risk analysis. The investigations took place on the initiative of the „Roads, water bodies, forests, animal husbandry“ section of the DGUV expert committee on „Traffic and the environment“. They were performed by the Institute for Occupational Safety and Health (IFA) under the supervision of the Social Accident Insurance Institution of North-Rhine/Westphalia and with the support of the Forestry Training Centre for Forestry Work and Forestry Equipment, Arnsberg.

## Résumé

### Évaluation des risques liés aux vibrations du système main-bras lors de travaux forestiers effectués avec des scies à chaîne

Comme le précise l'ordonnance allemande sur le bruit et les vibrations au travail, l'évaluation des risques peut s'effectuer aujourd'hui selon différentes méthodes, notamment par mesurage ou en se basant sur des estimations, ou encore en consultant les indications fournies par le fabricant. L'étude évoquée dans présent rapport avait pour but d'améliorer l'évaluation des risques liés à une utilisation intensive des scies à chaîne pour la récolte du bois. À cet effet, il a été procédé à des mesurages systématiques lors de travaux d'abattage effectués sur 30 arbres, dans les conditions typiques de travail et de fonctionnement, et en tenant compte de divers facteurs d'influence : essence de bois, opérations, machines et opérateur. Les artefacts se produisant lors de mesurages de longue durée, par exemple lorsqu'une main ne touche pas la poignée, ont été enregistrés par une caméra fixée sur le casque de protection de l'opérateur, et ont été plus tard éliminés. Il est ressorti des résultats de toutes les études que des sollicitations plus élevées se produisent sur la poignée avant (poignée latérale) de la scie à chaîne. De même, la sollicitation moyenne était plus élevée lorsqu'il s'agissait d'épicéas que pour les hêtres. Les indications fournies par le fabricant pour la valeur totale des vibrations du type de machine examiné, à savoir  $a_{hv} = 3,5 \text{ m/s}^2$  avec une marge d'incertitude de  $K = 2,0 \text{ m/s}^2$  selon la norme DIN EN 12096, couvre une fourchette allant de 1,5 à 5,5  $\text{m/s}^2$ . Cela signifie que 95 % de toutes les valeurs relevées sont inférieures à 5,5  $\text{m/s}^2$ . Les valeurs maximum mesurées se situant toutefois dans une fourchette allant de 4,1 à 6,1  $\text{m/s}^2$ , il n'est donc pas exclu que le danger soit sous-estimé si l'on se fie uniquement aux indications fournies par le fabricant, sans tenir compte de la marge d'incertitude. Il y a donc lieu d'intervenir afin que, dans la règle technique relative à l'ordonnance sur le bruit et les vibrations au travail, l'intervalle de confiance indiqué par le fabricant soit pris en compte avec davantage de précision lors de l'analyse des risques. Initiée par la section « Routes, eaux, forêts, élevage » au sein de la commission sectorielle « Transports et paysage » de l'Assurance sociale allemande des accidents du travail et maladies professionnelles (DGUV), l'étude a été réalisée par l'Institut pour la sécurité et la santé au travail de la DGUV (IFA), sous la direction de la Caisse d'Assurance accidents de Rhénanie du Nord-Westphalie et avec le soutien du Centre forestier de formation pour les travaux et la technique sylvicoles, Arnsberg.

## Resumen

### Evaluación de riesgos de la vibración transmitida al sistema mano-brazo en trabajos forestales con motosierra

Según la normativa de protección laboral contra ruidos y vibraciones, se puede realizar actualmente la evaluación de riesgos mediante varios procedimientos, p.ej., sobre la base de mediciones o estimaciones considerando las indicaciones de los fabricantes. El objetivo del análisis en este informe ha sido mejorar la evaluación de riesgos para el uso intensivo de la motosierra en la tala de árboles. Para ello, se realizaron mediciones sistemáticas in situ durante la tala de 30 árboles bajo las condiciones típicas de trabajo y de uso y considerando los factores que influyen, como el tipo de madera, las operaciones del trabajo, las máquinas y el operador. Los artefactos que se producen en mediciones de larga duración cuando, por ejemplo, una mano no toca el asa se detectaron con la ayuda de una videocámara situada en el casco de protección y se eliminaron más tarde. En todos los análisis, los resultados demostraron que se habían producido cargas mayores en la asa delantera (lateral) de la motosierra. Además, la carga media fue mayor con abetos que con hayas. La indicación del fabricante para el valor total de la vibración del tipo de máquina analizado de  $a_{hv} = 3,5 \text{ m/s}^2$  con un factor de imprecisión  $K = 2,0 \text{ m/s}^2$  según DIN EN 12096 cubre un área superpuesta de 1,5 a 5,5  $\text{m/s}^2$ . Ello significa que un 95 % de todos los valores obtenidos están por debajo de 5,5  $\text{m/s}^2$ . Pero los valores máximos medidos se encuentran en un rango de 4,1 a 6,1  $\text{m/s}^2$ . Por lo tanto, no se puede descartar que, según las indicaciones del fabricante, si se no tiene en cuenta la imprecisión, se esté subestimando el riesgo. Así que se requiere la adopción de medidas para considerar con más exactitud el rango de confianza de las indicaciones del fabricante en la Regla Técnica sobre la normativa de protección laboral contra ruidos y vibraciones en el análisis de riesgos. Los análisis se realizaron por iniciativa del área de «carreteras, recursos hídricos, bosques, ganadería» del sector de «tráfico y paisaje» de DGUV. Fueron realizados por del Instituto para la Seguridad en el Trabajo (IFA) del Seguro Social Alemán de Accidentes, bajo la égida del seguro de accidentes del sector público de Renania del Norte-Westfalia, así como con el apoyo del centro de formación en silvicultura para trabajos y técnicas forestales en Arnsberg.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung und Aufgabenstellung</b> .....	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Projektplanung</b> .....	<b>8</b>
<b>3</b>	<b>Messungen</b> .....	<b>9</b>
<b>4</b>	<b>Auswertung der Messergebnisse</b> .....	<b>11</b>
<b>5</b>	<b>Beurteilung der Ergebnisse</b> .....	<b>13</b>
5.1	Gefährdungsbeurteilung für die Prävention.....	13
5.2	Vergleich der Praxiswerte mit den Herstellerangaben .....	14
5.3	Retrospektive Beurteilung .....	14
<b>6</b>	<b>Umsetzung der Ergebnisse und Ausblick</b> .....	<b>16</b>
	<b>Literatur</b> .....	<b>17</b>
	<b>Anhänge</b> .....	<b>18</b>
	<b>Anhang A:</b> <b>Abbildungen der typischen Arbeitsvorgänge</b> .....	<b>19</b>
	<b>Anhang B:</b> <b>Zusammenstellung der Messwerte nach Baumnummer und Arbeitsvorgängen</b> .....	<b>21</b>
	<b>Anhang C:</b> <b>Beispiele der Zeitverläufe</b> .....	<b>25</b>
	<b>Anhang D:</b> <b>Auswertung der Frequenzzusammensetzung nach VDI 2057-2 exemplarisch für einen Nadelbaum (Nr. 10) und einen Laubbaum (Nr. 9)</b> .....	<b>33</b>



# 1 Einleitung und Aufgabenstellung

Seit Jahrzehnten ist die Motorkettensäge das wichtigste Arbeitsmittel bei der Holzernte [1]. Bei deren Benutzung wirken mechanische Schwingungen auf das Hand-Arm-System ein. Diese physikalischen Einwirkungen – auch als Hand-Arm-Vibrationen bezeichnet – können je nach ihrer Höhe und Dauer zu Gesundheitsschäden führen.

Lagen die Vibrationseinwirkungen vor der Einführung von vibrationsmindernden Griffsystemen in den 1970er-Jahren noch im Bereich von über  $20 \text{ m/s}^2$  [2], so wird der Belastungsbereich im BGI-A-Report 6/2006 [3] mit 3 bis  $17 \text{ m/s}^2$  angegeben. Aber auch bei Maschinen nach dem aktuellem Stand der Technik, wie sie im Technischen Report CR 1030 [4] veröffentlicht werden, liegen die 10. bis 90. Perzentile zwischen  $a_{\text{hv}} = 4,2$  und  $9,0 \text{ m/s}^2$ .

Dies bedeutet bereits nach einer täglichen Expositionsdauer zwischen 37 Minuten und 2 Stunden 50 Minuten eine Überschreitung des Auslösewertes nach der Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung [5]. Diese Expositionszeiten werden im üblichen Einsatz in der Wald- und Forstwirtschaft erreicht und überschritten, sodass eine genaue Gefährdungsbeurteilung sowie unter anderem Maßnahmen des Arbeitgebers zur Minderung der Vibrationen erforderlich sind.

Der Arbeitgeber hat nach der Technischen Regel zur Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung (TRLV Vibration) [6] bei der Gefährdungsbeurteilung mehrere Prozessschritte durchzuführen. Um den Tages-Vibrationsexpositionswert  $A(8)$  zu ermitteln, kann er neben Messergebnissen verschiedene Informationsquellen nutzen. Die Gesamtverantwortung für die Gefährdungsbeurteilung liegt jedoch weiterhin beim Arbeitgeber. Da Vibrationsmessungen eine besondere Fachkunde erfordern und darüber hinaus aufwendig sowie teuer sind, bietet sich die Nutzung der Herstellerangaben an. Die Messnormen zur Ermittlung der Herstellerangabe wurden ursprünglich zum Vergleich der Maschinen untereinander entwickelt und basieren auf gut reproduzierbaren Laborverfahren.

Als Hilfe zur Übertragung der Laborwerte in die Praxis bietet die DIN SPEC 45694 [7] Informationen.

Das Labormessverfahren nach DIN EN ISO 22867 [8] basiert unter anderem auf einer festgelegten Schnittposition mit astreinem Holz, neuen Maschinen und optimal geschärften Ketten. Eine Besonderheit bei Motorkettensägen ist, dass sich die Herstellerangabe aus Vibrationswerten von unterschiedlichen Betriebszuständen zusammensetzt. Die Zusammensetzung der zeitlichen Anteile ist für den typischen Einsatzfall repräsentativ, diese kann jedoch bei anderen Anwendungen abweichen. Aus allen diesen Gründen sollte in diesem Projekt die Praxistauglichkeit der Herstellerangabe überprüft werden.

Zur retrospektiven Beurteilung der Vibrationsbelastung – wie sie zur Ermittlung der arbeitstechnischen Voraussetzungen im Anerkennungsverfahren für Fälle von Berufskrankheiten gegebenenfalls erforderlich ist – muss aufgrund des sehr lange zurückliegenden Zeitraums auch auf Herstellerangaben zurückgegriffen werden.

Das derzeit in der Richtlinie VDI 2057-2 [9] vorgeschlagene Verfahren zur differenzierten Risikobeurteilung der chronischen Erkrankungen der Knochen- und Gelenkveränderung (BK 2103) oder Durchblutungs- und Nervenfunktionsstörungen (BK 2104) benötigt detaillierte Frequenzanalysen [10; 11]. Diese sollten zur präzisen Beurteilung ebenfalls im Projekt gewonnen werden.

## 2 Projektplanung

Die Projektplanung erfolgte in Abstimmung mit dem Auftraggeber DGUV-Sachgebiet „Straße, Gewässer, Forsten, Tierhaltung“ und den Projektbeteiligten der Unfallkassen Sachsen-Anhalt, Brandenburg und Nordrhein-Westfalen (NRW). Die Messungen führte das Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) mit fachlicher Unterstützung des Forstwirtschaftlichen Bildungszentrums (FBZ) für Waldarbeit und Forsttechnik beim Lehr- und Versuchsforstamt Arnsberger Wald im Landesbetrieb Wald und Holz NRW durch. Im Einzelnen waren die folgenden Aufgaben und Rahmenbedingungen geplant:

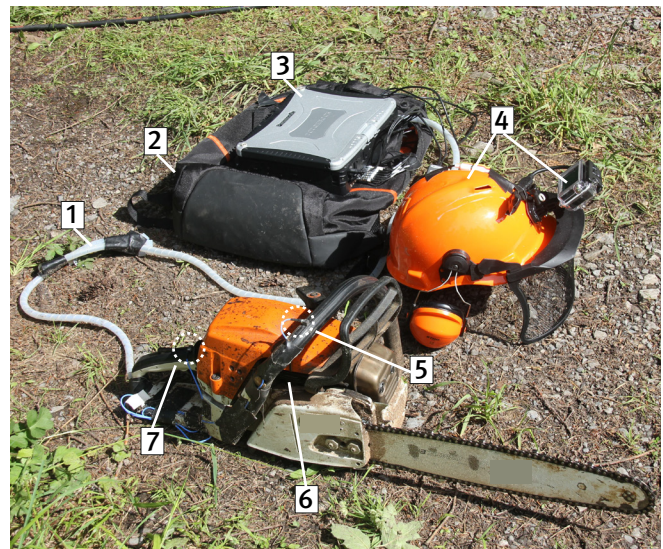
- Ermittlung der Hand-Arm-Vibrationsexposition bei manueller Holzernie (Fällen und Aufarbeiten) im Laub- und Nadelholz (Fichte und Buche),
- Messung kompletter Arbeitszyklen (Fällen, Entasten, Ablängen),
- Bedienung der Motorsägen durch Forstwirtschaftsmeister des FBZ NRW,
- Einsatz mittelstarker Motorsägen des FBZ NRW (z. B. 45er-Schwert), vorzugsweise gleiche Fabrikate,
- Verwendung von Vollmeißelketten, die durch Forstwirtschaftsmeister entsprechend dem Einsatz in der üblichen Holzernie geschärft sind,
- die Motorsägen sollten nicht neu sein (mindestens ca. 500 Betriebsstunden) und sich in normalem, gut gewartetem Zustand befinden,
- Videodokumentation der Messungen durch Helmkameras an den Schutzhelmen der Probanden,
- Fällung von 30 Bäumen (15 Buchen, 15 Fichten),
- mindestens drei verschiedene Probanden (Forstwirtschaftsmeister) mit drei Motorsägen.

Aus Gründen des Aufwandes wurden die Untersuchungen auf einen Maschinentyp eines Herstellers begrenzt. Ausgewählt wurde eine typische Maschine, die exemplarisch für vergleichbare Maschinen ist.

In einer Voruntersuchung wurde die vorhandene Messtechnik, die vorzugsweise für stationäre Messungen ausgestattet war, für die mobile Anwendung im Wald weiterentwickelt. Durch die besondere Problematik, dass die Messperson aus Sicherheitsgründen den Messablauf nicht beobachten konnte, musste zum Ausschluss von Fehlern und Artefakten eine mobile Videosynchronisierung realisiert werden.

Abbildung 1 zeigt die verwendete Messkette, bestehend aus einem notebook-basierten Messgerät nach DIN EN ISO 8041 [12], das die Probanden in einem Rucksack mitführten, den Messleitungen und den Beschleunigungsaufnehmer an den Griffen der Motorkettensäge sowie einer am Schutzhelm befestigten Videokamera.

Abbildung 1:  
Verwendete Messkette; 1: Messleitung, 2: Rucksack, 3: Panasonic-Soundbook CF-19 mit integrierten Messverstärkern, 4: Schutzhelm mit Helmkamera, 5: Beschleunigungsaufnehmer Messpunkt (MP) 2 (Seitengriff), 6: Motorkettensäge, 7: Beschleunigungsaufnehmer Messpunkt (MP) 1 (Hauptgriff)





### 3 Messungen

Nach der Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung sind Messungen nach dem Stand der Technik durchzuführen. Als geeignetes Messverfahren wurde das nach DIN EN ISO 5349 [13; 14] herangezogen. Die danach festgelegten Messpunkte (Messorte) sind in Abbildung 2 dargestellt.

In den Vibrationsmessnormen werden die Griffe in Haupt- und Seitengriff bzw. Hilfsgriff unterschieden. Für Motorkettensägen sind die Bezeichnungen vorderer und hinterer Handgriff üblich.

Die Ankopplung der Beschleunigungsaufnehmer erfolgte mittels einer Klebeverbindung. Verwendet wurden Triaxial-Beschleunigungsaufnehmer, Typ 356A01, der Fa. PCB Piezotronics. Die Lage der Messrichtungen ist für die jeweiligen Griffe in den Abbildungen 3 und 4 eingezeichnet.



Abbildung 2:  
Messpunkt (MP) am hinteren Griff (MP1)  
und vorderen Handgriff (MP2)



Abbildung 3:  
Messrichtungen am hinteren Griff, MP1



Abbildung 4:  
Messrichtungen am vorderen Griff, MP2

Die nach DIN EN ISO 8041 [12] zusammengestellte und kalibrierte Messeinrichtung bestand ferner aus dem Messwert-erfassungs- und Auswertegerät der Fa. Sinus, Leipzig, Typ Soundbook octav G, der Software Samurai V 2.2.4 und dem Kalibrator der Fa. MMF, Typ VC21.

Die Messungen erfolgten während typischer Holzerntearbeit. Die zu fällenden Bäume wählte das Forstliche Bildungszentrum für Waldarbeit und Forsttechnik aus. Während des gesamten Vorgangs der Holzernte eines Baumes – einschließlich der unterschiedlichen Arbeitsvorgänge und arbeitsbedingten Unterbrechungen – wurden die Rohdaten (unbewertete Beschleunigungen) erfasst und digital gespeichert.

Um Behinderungen bei den Abmess- und Richtarbeiten durch die Kabelverbindung zwischen dem Aufnehmer an der Maschine und dem Messgerät an der Versuchsperson zu vermeiden, führte eine weitere Person diese Tätigkeiten aus. Die dadurch auftretenden expositionsfreien Zeiten wurden in der späteren Auswertung berücksichtigt. Eine Videokamera am Helm des Probanden (Abbildung 5) zeichnete den Arbeitsbereich der Hände für die zur Auswertung benötigte Selektion der Artefakte auf.

Aufgrund des Betriebsablaufes musste von der ursprünglich geplanten Zuordnung der Maschinen und Versuchsperson abgewichen werden. Zu den Messungen des Arbeitsspiels, das auch Anteile des Betriebszustandes „Leerlauf“ enthält, erfolgten zwischen den Arbeitsaufgaben getrennte Leerlaufmessungen.



Abbildung 5:  
Proband mit Helmkamera

# 4 Auswertung der Messergebnisse

Die Aufzeichnungen der Messungen wurden mithilfe der Videoaufnahmen von Artefakten bereinigt. Typische Artefakte entstanden dadurch, dass die Hand nicht an der Einleitungsstelle Griff war, durch das Absetzen der Maschine oder durch die vom Benutzer selbst eingeleiteten Stöße.

Die Auswertung erfolgte für jeden Baum getrennt nach den Messpunkten sowie getrennt in den Messrichtungen x, y, z und dem Schwingungsgesamtwert für die unterschiedlichen Arbeitsvorgänge „Fällen, Zuschneiden, Entasten“.

Der Arbeitsvorgang „Fällen“ enthält die Expositionen, bis zu dem Zeitpunkt, an dem der Baum fällt.

Der Arbeitsvorgang „Zuschneiden“ enthält die Expositionen beim „Gesundschneidens“ und für die Nadelbäume auch beim „Zuschneiden“ nach Abmaß. Je nach Baum variiert die Anzahl der Zuschneidevorgänge.

Der Arbeitsvorgang „Entasten“ enthält die Exposition, die beim Entfernen aller Äste auftritt. Typische Arbeitssituationen sind für die unterschiedlichen Arbeitsvorgänge getrennt für Fichten und Buchen im Anhang A dargestellt.

Da durch die unterschiedliche Beschaffenheit der einzelnen Bäume die jeweiligen Arbeitsanteile, aber auch die Schwingungshöhe stark variierte, wurde die jeweilige Teiltagesdosis zur besseren Vergleichbarkeit aus den energieäquivalenten Mittelwerten und den dazugehörigen Expositionszeitanteilen bestimmt.

Die Einzelbelastungen der unterschiedlichen Arbeitsvorgänge wurden dann zu einer „Baumtagesdosis“ zusammengefasst. Diese bisher nicht übliche Betrachtung erleichtert den Vergleich

des unterschiedlichen Belastungsaufwandes für jeden einzelnen Baum. Am Beispiel des Baumes Nr. 10 soll die Vorgehensweise für die Belastung am Seitengriff erläutert werden (Tabelle 1).

Die Baumtagesdosis  $A(8)$  wird dann wie folgt gebildet:

$$A(8) = \sqrt{A_{\text{Fällen}}^2(8) + A_{\text{Zuschneiden}}^2(8) + A_{\text{Entasten}}^2(8)}$$

$$A(8) = \sqrt{(0,35 \text{ m/s}^2)^2 + (0,14 \text{ m/s}^2)^2 + (0,40 \text{ m/s}^2)^2} \quad (1)$$

$$A(8) = 0,55 \text{ m/s}^2$$

Für jeden Baum sind die Ergebnisse mit den Einzelwerten und Baumnummer getrennt nach den Arbeitsvorgängen, Probanden und Maschinen im Anhang B zusammengefasst. Bei den Laubbäumen entfallen teilweise die Werte für den Arbeitsvorgang „Zuschneiden“, da dieser nicht durchgeführt wurde.

Da aufgrund des Betriebsablaufes bei einigen Bäumen Fehlmesungen auftraten, wurden Messungen an zusätzlichen Bäumen durchgeführt. Bei der späteren Auswertung zeigten sich auch Störsignale in einer Messrichtung an einem Messpunkt, sodass die Auswertung einiger Bäume verworfen werden musste.

Im Anhang C sind exemplarisch die Zeitverläufe der „unbewerteten Beschleunigung“ und des „gleitenden Effektivwertes der frequenzbewerteten Beschleunigung“ beider Messpunkte für jeweils einen Nadelbaum (Fichte) und Laubbaum (Buche) dargestellt. In Tabelle 2 sind die Ergebnisse des Wertebereiches und des Mittelwertes der Baumtagesdosis getrennt nach Baumart und Einleitungsstelle zusammengefasst.

Tabelle 1: Beispiel für die Berechnung der Teilexposition bezogen auf einen Tag („Baumtagesdosis“)

Arbeitsvorgang	Schwingungsgesamtwert $a_{hv}$ in $\text{m/s}^2$	Expositionsdauer $t_e$ in s	Teiltagesdosis $A_i(8)$ in $\text{m/s}^2$
Fällen	5,84	105,6	0,35
Zuschneiden	3,77	38,5	0,14
Entasten	4,17	259,0	0,40
<b>Zusammenfassung</b>	<b>4,63</b>	<b>403,1</b>	<b>0,55</b>

Tabelle 2: Zusammentellung der Baumtagesdosis

Baumart	Baumtagesdosis $A_i(8)$ in $\text{m/s}^2$ an den Handgriffen					
	Minimalwert	Hauptgriff		Seitengriff		
		Mittelwert	Maximalwert	Minimalwert	Mittelwert	Maximalwert
Fichten	0,42	0,49 ± 0,07	0,6	0,48	0,61 ± 0,12	0,84
Buchen	0,19	0,29 ± 0,06	0,41	0,28	0,39 ± 0,07	0,54

#### 4 Auswertung der Messergebnisse

Deutlich ist für beide Baumarten die höhere Belastung am Seitengriff (Handgriff) erkennbar. Da entsprechend dem Regelwerk und der Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung [5] die höhere Belastung zur Beurteilung der Gefährdung heranzuziehen ist, beziehen sich die weiteren Betrachtungen auf diese Einleitungsstelle.

Als Parameter für die Unterschiedlichkeit des jeweiligen Baumes steht nur der Durchmesser – gemessen in Brusthöhe – zur Verfügung, Brusthöhendurchmesser genannt.

Die Abbildungen 6 und 7 zeigen die Höhe der Baumtagedosis in Abhängigkeit vom Baumdurchmesser. Für die untersuchten Bäume, deren Brusthöhendurchmesser in einem engen Bereich von 32 bis 44 cm für die Fichten und von 23 bis 33 cm für die Buchen liegt, ist keine Tendenz erkennbar. Durchschnittlich ist jedoch die Belastungsdosis für einen Baum bei den Buchen geringer als bei den Fichten.

Abbildung 6:  
Baumtagedosis und Baumdurchmesser der Fichten

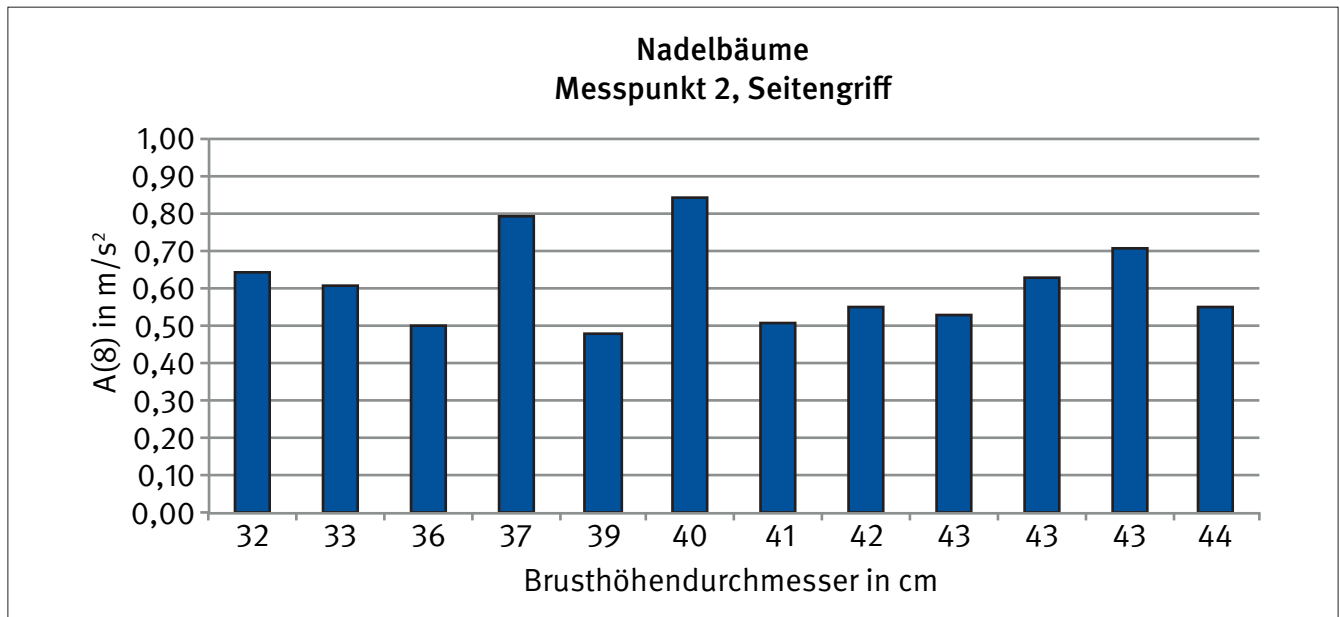
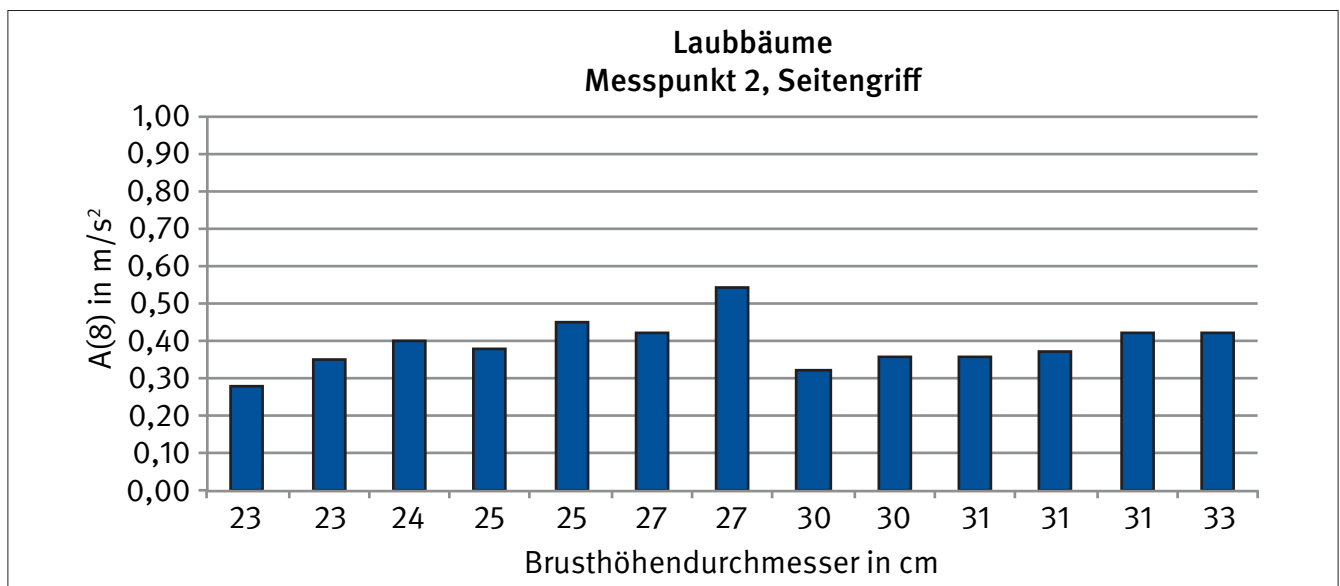


Abbildung 7:  
Baumtagedosis und Baumdurchmesser der Buchen



# 5 Beurteilung der Ergebnisse

## 5.1 Gefährdungsbeurteilung für die Prävention

Zur Beurteilung nach Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung ist der Tagesexpositionswert, der wie folgt berechnet wird, heranzuziehen:

$$a_{hv(8)} = \sqrt{\frac{1}{T_0} \cdot \sum_{i=1}^n a_{hvi}^2 T_i} \quad (2)$$

mit

$a_{hv(8)}$  = Tages-Schwingungsbelastung

$T_0$  = Bezugseinwirkungsdauer (8 h)

$T_i$  = Einwirkungsdauer des i-ten Belastungsabschnittes, z. B. des jeweiligen Gerätes bzw. Arbeitsvorganges

$a_{hvi}$  = Schwingungsgesamtwert der frequenzbewerteten Beschleunigung der i-ten Tätigkeit, z. B. des jeweiligen Gerätes bzw. Arbeitsvorganges

Um die Belastungsanteile einer bestimmten Tätigkeit zu ermitteln, kann die Berechnung auch in den folgenden zwei Schritten durchgeführt werden:

$$A_i(8) = a_{hvi} \sqrt{\frac{T_i}{T_0}} \quad (3)$$

$$A_i(8) = \sum_{i=1}^n A_i(8)^2$$

$A_i(8)$  = Teil-Tagesexpositionswert

Für die Hand-Arm-Schwingungen beträgt der Expositionsgrenzwert  $A(8) = 5 \text{ m/s}^2$  und der Auslösewert  $A(8) = 2,5 \text{ m/s}^2$ . Zur Berechnung der Anzahl der Bäume N, die bis zum Erreichen der Grenz- und Auslösewerte geerntet werden können, ist die „Baumtagesdosis“ (Teil-Tagesexpositionswert) wie folgt heranzuziehen:

Expositionsgrenzwert  $N = \frac{(5 \text{ m/s}^2)^2}{A_i(8)^2}$

Auslösewert  $N = \frac{(2,5 \text{ m/s}^2)^2}{A_i(8)^2}$

Wird zum Mittelwert die Standardabweichung addiert, so beträgt die durchschnittliche Baumtagesdosis für die untersuchten Arbeiten für die Fichten  $A_i(8) = 0,73 \text{ m/s}^2$  und für die Buchen  $A_i(8) = 0,46 \text{ m/s}^2$ .

Daraus errechnet sich für den mittleren Belastungsfall eine Überschreitung des Auslösewertes nach jeweils täglich zwölf Fichten oder 30 Buchen. Der Grenzwert wird erst nach jeweils 47 Fichten oder 118 Buchen überschritten.

Wird der ungünstigste Fall betrachtet, so berechnen sich für die Fichten mit der Baumdosise  $A_i(8) = 0,84 \text{ m/s}^2$  ca. 35 Bäume bis zur Überschreitung des Grenzwertes und ca. neun Bäume bis zur Überschreitung des Auslösewertes. Für die Holzernte der Buchen sind es ca. 85 Bäume bis zur Grenzwertüberschreitung und ca. 21 Bäume zur Auslösewertüberschreitung.

Diese Beurteilung ist exemplarisch und bezieht sich auf die im Projekt durchgeführten Messungen, für andere Baumdimensionen oder Typen anderer Motorkettensägen können die Ergebnisse erheblich abweichen.

Es ist darauf hinzuweisen, dass alle Belastungen zur Gefährdungsbeurteilung zu berücksichtigen sind. Beim Eintreiben der Keile können hohe Stoßbelastungen auftreten. Zwar ist der Kenntnisstand über Stoßbelastungen noch gering, jedoch sollte dieser Belastungsanteil nicht unberücksichtigt bleiben.

Wie bisher üblich, können alternativ zu dieser Dosisbetrachtung auch die Schwingungsgesamtwerte  $a_{hv}$  für den jeweiligen Arbeitsvorgang mit einer Abschätzung der jeweiligen Expositionsdauern herangezogen werden. Die Schwingungsgesamtwerte sind aus den Tabellen im Anhang B zu entnehmen. Beispielsweise beträgt für Fichten der Mittelwert am Seitengriff  $a_{hv} = 4,97 \text{ m/s}^2$ . Eine Überschreitung des Auslösewertes wäre erst nach einer Expositionsdauer von mehr als zwei Stunden und eine Überschreitung des Grenzwertes nach acht Stunden gegeben. Die subjektive Ermittlung der Expositionsdauern ist jedoch ungenau und wird häufig überschätzt. Die Einwirkungsdauer (Expositionsdauer) ist die reine Kontaktzeit mit der vibrierenden Maschine. Die Einwirkungsdauer ist nicht mit der Benutzungsdauer, die sich auf den Umgang mit der Maschine einschließlich der arbeitsbedingten Unterbrechungen bezieht, zu verwechseln. Die Beobachtung, dass die Einwirkungsdauer von der Benutzungsdauer abweicht, ist auch von anderen Maschineneinsätzen bekannt und kann auch durch diese Untersuchung bestätigt werden.

Wird die beobachtete Benutzungsdauer einschließlich der kurzen arbeitsbedingten Pausen ins Verhältnis zur reinen Kontaktdauer (Expositionsdauer) gesetzt, so ergibt sich ein Verhältnis von ca. 1,5. Dies bedeutet, dass die Expositionsdauern um 50 % überschätzt werden.

## 5.2 Vergleich der Praxiswerte mit den Herstellerangaben

Nach der Technischen Regel zur Lärm- und Vibrations-Arbeitschutzverordnung (TRLV Vibration) [6], kann die Gefährdungsbeurteilung auf der Grundlage einer Schätzung – die auf den Herstellerangaben basiert – erfolgen [7].

Die Herstellerangaben werden in erster Linie zur Vergleichbarkeit der Maschinen untereinander unter reproduzierbaren

Tabelle 3:  
Zusammenstellung der durchschnittlichen Schwingungsgesamtwerte

Baumart	Schwingungsgesamtwert $a_{hv}$ in $m/s^2$		
	Minimalwert	Mittelwert	Maximalwert
Fichte	4,07	4,97 ± 0,73	6,06
Buche	4,70	5,11 ± 0,31	5,56

Zu beachten ist, dass alle in der Tabelle angegebenen Werte, also auch die Minimal- und Maximalwerte, Durchschnittswerte sind. Beispielsweise liegt der Energieäquivalente Mittelwert für den Arbeitsvorgang „Fällen“ von Fichten am vorderen Griff für einzelne Bäume zwischen  $a_{hv} = 4,24$  und  $8,26 m/s^2$ . Beim Arbeitsvorgang „Entasten“ von Buchen hingegen lagen die Werte für einzelne Bäume zwischen  $a_{hv} = 3,30$  und  $4,32 m/s^2$ .

Die Herstellerangabe setzt sich aus den Vibrationswerten von drei unterschiedlichen Betriebszuständen zusammen. Die Aufteilung der Betriebszustände Leerlauf, Nenndrehzahl und Nominelle Höchstdrehzahl werden zu gleichen Zeitanteilen berücksichtigt (für Kettensägen mit einem Hubraum  $< 80 cm^3$ ).

DIN SPEC 45694 [7] geht für 90 % der Einsatzfälle von einer typischen täglichen Einwirkungsdauer  $< 3,7 h$  aus. Nur für 10 % der Fälle wird eine genaue Betrachtung und Analyse der Arbeitssituation vor Ort empfohlen. Beispielsweise führt ein Schwingungsgesamtwert  $a_{hv} = 3,5 m/s^2$  bei einer Expositionsdauer von 3 h 42 min zu der Tagesschwingungsbelastung  $A(8) = 1,38 m/s^2$ , die somit unterhalb des Auslösewertes von  $2,5 m/s^2$  liegt. Der kleinste in der Untersuchung ermittelte Durchschnittswert von  $a_{hv} = 4,07 m/s^2$  würde bei gleicher Expositionsdauer zu einer Tagesvibrationsbelastung von  $A(8) = 2,77 m/s^2$  führen, die über dem Auslösewert liegt.

Die Herstellerangabe von  $a_{hv} = 3,5 m/s^2$  mit dem Ungenauigkeitsfaktor nach DIN EN 12096 [15],  $K = 2,0 m/s^2$  deckt den Überlappungsbereich von  $1,5 m/s^2$  bei  $5,5 m/s^2$  ab. Dies bedeutet, dass 95 % aller Werte unterhalb des Wertes von  $5,5 m/s^2$  liegen.

Bis auf wenige Ausnahmen liegen alle Durchschnittswerte innerhalb des Überlappungsbereiches, jedoch keiner unterhalb von  $4,09 m/s^2$ , und damit alle oberhalb der Herstellerangabe.

Die Maximalwerte liegen somit oberhalb dieser Grenze. Jedoch ist zu beachten, dass auch die Messungen unter realen Arbeitsbedingungen mit einer Messunsicherheit behaftet sind [16]. Bei einer relativen Messunsicherheit von  $\pm 17 %$  und einem

Laborbedingungen nach DIN EN ISO 22867 [8] mit neuen Maschinen ermittelt.

Um die Praxistauglichkeit der Herstellerangaben für Motorsägearbeiten unter realen Bedingungen zu beurteilen, wurden die Schwingungsgesamtwerte auf der Grundlage der Expositionszeiten und der Teil-Tagesexposition berechnet. Die Einzelergebnisse für jeden Baum sind in den Tabellen im Anhang B enthalten. Tabelle 3 fasst die Werte für den Vergleich mit den Herstellerangaben zusammen.

Erweiterungsfaktor von 2 errechnet sich ein Überlappungsbereich für den Maximalwert der Praxisminderung von  $4,87$  bis  $7,25 m/s^2$ .

Die TRLV Vibration fordert bei der Verwendung der Herstellerangaben bisher nicht die Berücksichtigung des K-Wertes. Jedoch gibt sie eine Rangfolge für die Auswahl geeigneter Informationsquellen vor. Danach sind vorzugsweise Messwerte von Arbeitsplatzmessungen als genauere Grundlage für die Gefährdungsbeurteilung heranzuziehen. Daher kann nicht ausgeschlossen werden, dass bei Heranziehen der Herstellerangabe ohne Berücksichtigung der Ungenauigkeit eine Unterbewertung der Gefährdung besteht.

Bisher werden Abweichungen zwischen den Belastungswerten in der Praxis und den Herstellerangaben durch Korrekturfaktoren (z. B. TRLV Vibration, Teil 1, Anlage 1) ausgeglichen. Der bisherige Wert 1,0 könnte auf einen höheren Wert angeglichen werden.

Dieses Verfahren wäre jedoch für alle Motorkettensägen gleich und würde Herstellerangaben, die mit einer niedrigen Ungenauigkeit ermittelt wurden, benachteiligen.

## 5.3 Retrospektive Beurteilung

Die Grundlagen zur Gefährdungsbeurteilung von Langzeitbelastungen – z. B. für die Ermittlung der arbeitsmedizinischen Voraussetzungen im Zusammenhang mit den Berufskrankheiten nach BK 2103 und BK 2104 – sind bisher gering. Die Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung hat daher bereits 2009 eine epidemiologische Fall-Kontroll-Studie zur Risikoabschätzung frequenzabhängiger, arbeitsbedingter Hand-Arm-Vibrationen [17] gestartet, deren Ergebnisse erst in einigen Jahren zu erwarten sind. Nach dem derzeitigen Wissenstand werden Knochen- und Gelenkveränderungen vorrangig durch tieffrequente Schwingungen, die im Resonanzbereich des Hand-Arm-Systems liegen, verursacht, Durchblutungs- und Nervenfunktionsstörungen durch höhere Frequenzanteile. Die Richtlinie VDI 2057-2 Anhang E [9] enthält einen bisher nicht abgesicherten Vorschlag

einer zusätzlichen differenzierten Beurteilung. Dieses Verfahren beruht auf einem Vergleich der Anteile der bewerteten Beschleunigungen in den Frequenzbereichen ober- und unterhalb von 50 Hz, eingegrenzt auf die Schwingungseinwirkung in der Unterarmrichtung.

Die Auswertungen der Messungen nach diesem Verfahren sind im Anhang D zusammengefasst. Für die Auswertung wurden für jede Einleitungsstelle die bewerteten Beschleunigungsanteile unter 50 Hz ins Verhältnis zum Gesamtwert gesetzt. Die Auswertung erfolgte für Messwerte des Mittelwertes der Messrichtung, die parallel zur Unterarmrichtung lag. Wird das bisher nicht abgesicherte Kriterium nach VDI 2057-2 zugrunde gelegt, so können nur die Geräte und Arbeitsvorgänge mit Anteilen  $> 75\%$  als eindeutig tieffrequente Geräte bezeichnet werden.

Da die Beschäftigten während des Arbeitsvorgangs an der Säge umgreifen, können die maschinenbezogenen Messrichtungen in Bezug auf die Unterarmrichtung nicht eindeutig festgelegt werden. Weil diese eindeutige Zuordnung nicht möglich ist, kann in Abhängigkeit von der Intensität ein Risiko nach VDI 2057-2 für die Erkrankungen BK 2103 und BK 2104 nicht ausgeschlossen werden [10; 11].

## 6 Umsetzung der Ergebnisse und Ausblick

Die Ergebnisse zeigen, dass auch Vibrationsbelastungen durch Motorkettensägen, die der Hersteller bei üblicher Benutzung als „im grünen Bereich liegend“ angibt, oberhalb des Auslösewertes liegen können; somit hat der Arbeitgeber Maßnahmen zu ergreifen. Es wäre daher wünschenswert, dass die Unfallversicherungsträger (UVT) spezifisch auf die Branche zugeschnittene Handlungsanleitungen erarbeiten.

Zwar sind bei der Entwicklung vibrationsarmer Motorkettensägen in den letzten Jahrzehnten erhebliche Erfolge zu verzeichnen, jedoch sollte die Weiterentwicklung vibrationsarmer Motorkettensägen für den Anwendungsbereich mit intensiver Nutzung nicht nachlassen. Da die Übertragung der Vibrationen durch Ankopplungskraft die Vibrationsbelastung maßgeblich beeinflusst, sollte diese wesentliche Einflussgröße künftig mitberücksichtigt werden. Um den Wissenstand zu erweitern, sind dann Messungen erforderlich.

Die in der Untersuchung ermittelten Vibrationsdaten werden in das IFA-Kataster für die Arbeitsanamnese eingepflegt und stehen damit allen UVT zu Verfügung. Der Einfluss der Alterung

und des Wartungszustandes der Motorsäge und der Sägekette konnten in der Untersuchung aufgrund der Vielzahl der Einflussgrößen nicht verifiziert werden. Hierfür wären Laboruntersuchungen mit der Variation einzelner Parameter erforderlich. Der Belastungsanteil, der bei der Holzernte durch das Eintreiben von Keilen mit dem Spalthammer oder Schlegel besteht, sollte in der Ermittlung der Tagesdosis einbezogen werden. Zwar ist der Kenntnisstand der Beurteilung von Einzelstößen noch gering, jedoch können Stoßbelastungen als eine Sonderform der Vibrationsbelastung betrachtet und orientierend beurteilt werden. Die Anwendung der DIN EN ISO 5349-1 gilt bisher nur vorläufig für wiederholt auftretende Einzelstöße.

Die Abweichungen, die bei der Gefährdungsbeurteilung von den unterschiedlichen Datenquellen stammen, können erheblich sein. Es ist daher notwendig, künftig den Vertrauensbereich in Bezug auf die Ungenauigkeit der Daten zu berücksichtigen. Die bisherigen Festlegungen der Rangfolge in der TRLV Vibration sind dafür nicht ausreichend. Genauere Festlegungen sind daher zur Gleichbehandlung und Vermeidung einer Unterbewertung der Gefährdung erforderlich.



# Literatur

- [1] *Block, G. W.; Kaminsky, G.; Eisenhauer, G.*: Untersuchungen und Maßnahmen zur Heranziehung der Motorsägenarbeit. Forschungsbericht HA-85-001. Hrsg.: Bundesministerium für Forschung und Technologie 1985
- [2] *Hartung, E. ; Dupuis, H.*: Maßnahmen zur Reduzierung der Schwingungsbelastung bei Arbeit mit Motorkettensägen. Arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse Nr. 34. Hrsg.: Bundesanstalt für Arbeitsschutz, Dortmund 1987. [www.baua.de/cae/servlet/contentblob/697922/publicationFile/90507/AWE34.pdf](http://www.baua.de/cae/servlet/contentblob/697922/publicationFile/90507/AWE34.pdf)
- [3] *Christ, E.; Fischer, S.; Kaulbars, U.; Sayn, D.*: Vibrationswirkung an Arbeitsplätzen – Kennwerte der Hand-Arm- und Ganzkörper-Schwingungsbelastung. BGIA-Report 6/2006. Hrsg.: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG), Sankt Augustin 2006. [www.dguv.de/ifa, Webcode d6158](http://www.dguv.de/ifa, Webcode d6158)
- [4] DIN V 45695: Hand-Arm-Schwingungen – Leitfaden zur Verringerung der Gefährdung durch Schwingungen – Technische und organisatorische Maßnahmen (CR 1030-1:1995 + CR 1030-2:1995) (Neufassung in Vorbereitung)
- [5] Verordnung zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch Lärm und Vibrationen (Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung, LärmVibrationsArbSchV). BGBl. I (2007) Nr. 8, S. 261-277
- [6] Technische Regel zur Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung (TRLV Vibrationen) vom 10. März 2010. GMBL (2010) Nr. 14-15, S. 271 ff.
- [7] DIN CEN/TR 15350; DIN SPEC 45694:2013-12: Mechanische Schwingungen – Anleitung zur Beurteilung der Belastung durch Hand-Arm-Schwingungen aus Angaben zu den benutzten Maschinen einschließlich Angaben von den Maschinenherstellern; Deutsche Fassung CEN/TR 15350:2013 (12/2013). Beuth, Berlin 2013
- [8] DIN EN ISO 22867: Forst- und Gartenmaschinen – Schwingungsmessnorm für handgehaltene Maschinen mit Verbrennungsmotor – Schwingungen an den Handgriffen (ISO 22867:2011); Deutsche Fassung EN ISO 22867:2011 (4/2012). Beuth, Berlin 2013
- [9] VDI 2057: Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen. Blatt 2: Hand-Arm-Schwingungen (5/2012). Beuth, Berlin 2012
- [10] *Dupuis, H.; Hartung, E.*: Vibrationsbedingte Erkrankungen des Knochen- und Gelenksystems (BK 2103). In: *Konietzko, J.; Dupuis, H.* (Hrsg.): Handbuch der Arbeitsmedizin. IV -3.4. 1 .. 1-11 (1999). Ecomed, Landsberg am Lech 1999
- [11] *Dupuis, H.; Hartung, E.; Konietzko, J.*: Arbeitsmedizinische Voraussetzungen für die Berufskrankheit Nr. 2103. Arbeitsmed. Sozialmed. Umweltmed. 33 (1998) Nr. 11, S. 490-496
- [12] DIN EN ISO 8041: Schwingungseinwirkung auf den Menschen – Messeinrichtung (ISO 8041:2005); Deutsche Fassung EN ISO 8041: 2005 (6/2006) Beuth, Berlin 2006
- [13] DIN EN ISO 5349-1: Mechanische Schwingungen – Messung und Bewertung der Einwirkung von Schwingungen auf das Hand-Arm-System des Menschen. Teil 1: Allgemeine Anforderungen (12/2001). Beuth, Berlin 2001
- [14] DIN EN ISO 5349-2: Mechanische Schwingungen – Messung und Bewertung der Einwirkung von Schwingungen auf das Hand-Arm-System des Menschen. Teil 2: Praxisgerechte Anleitung zur Messung am Arbeitsplatz. Beuth, Berlin 2001
- [15] DIN EN 12096: Mechanische Schwingungen – Angabe und Nachprüfung von Schwingungskennwerten (9/1997). Beuth, Berlin 1997
- [16] DIN SPEC 45660-2: Leitfaden zum Umgang mit der Unsicherheit in der Akustik und Schwingungstechnik – Teil 2: Unsicherheit schwingungstechnischer Größen (12/2014). Beuth, Berlin 2014
- [17] *Bochmann, F.; Eckert, W.; Kaulbars, U.; Sun, Y.*: Epidemiologische Fall-Kontroll-Studie zur Risikoabschätzung frequenzabhängiger arbeitsbedingter Hand-Arm-Vibrationen. 4. VDI-Tagung Humanschwingungen, 3.-4. Mai 2010, Würzburg – Vortrag. VDI-Berichte (2010) Nr. 2097, S. 137-155. Hrsg.: VDI, Düsseldorf 2010

– Anhänge –

## Anhang A: Typische Arbeitsvorgänge

### Arbeitsverfahren: Holzernte Nadelbaum (Fichte)



Abbildung A.1:  
Nadelbaum (Fichte) fällen



Abbildung A.2:  
Nadelbaum (Fichte) gesundschniden –  
Schnitt 1



Abbildung A.3:  
Nadelbaum (Fichte) zuschneiden –  
Schnitt 2



Abbildung A.4:  
Nadelbaum (Fichte) entasten

**Arbeitsverfahren: Holzernte Laubbaum (Buche)**



Abbildung A.5:  
Laubbaum (Buche) fällen



Abbildung A.6:  
Laubbaum (Buche) entasten

## Anhang B: Zusammenstellung der Messwerte nach Baumnummer und Arbeitsvorgängen

Tabelle B.1:  
Messpunkt 1: Hauptgriff (hinterer Handgriff); BHD = Brusthöhendurchmesser

Nadelbaum Alter: ca. 75 Jahre Höhe: 29 m	Maschinen-Nr.	Versuchsperson	Messpunkt Hauptgriff	Arbeitsvorgang „fällen“			Arbeitsvorgang „zuschneiden“			Arbeitsvorgang „entasten“			Baumdosis Gesamt-Arbeitsvorgang „fällen/zuschneiden/ entasten“			Arbeitszeit in s (einschließlich Pausen)
				$a_{HV}$ in $m/s^2$	$t_e$ in s	$A_1(8)$ in $m/s^2$	$a_{HV}$ in $m/s^2$	$t_e$ in s	$A_1(8)$ in $m/s^2$	$a_{HV}$ in $m/s^2$	$t_e$ in s	$A_1(8)$ in $m/s^2$	$a_{HV}$ in $m/s^2$	$t_e$ in s	$A_1(8)$ in $m/s^2$	
1	43	1	2	1	167,00	0,32	4,16	53,00	0,18	4,29	318,00	0,45	4,25	538,00	0,58	854,00
2	57	1	2	1	4,00	296,00	0,41	4,14	75,00	4,10	263,00	0,39	4,06	634,00	0,60	985,00
6	42	2	3	1	3,31	113,00	0,21	2,71	83,00	3,62	293,00	0,37	3,41	489,00	0,44	686,00
8	41	2	3	1	3,21	140,00	0,22	2,98	42,00	4,37	170,00	0,34	3,79	352,00	0,42	440,00
9	36	2	3	1	2,87	116,50	0,18	2,92	37,00	4,02	270,00	0,39	3,65	423,50	0,44	592,00
10	44	2	3	1	3,73	105,60	0,23	3,17	38,50	3,91	259,00	0,37	3,80	403,10	0,45	581,00
11	43	2	3	1	2,59	117,00	0,17	2,38	60,00	3,78	314,00	0,39	3,38	491,00	0,44	638,00
12	37	4	5	1	3,43	224,82	0,30	2,75	18,44	3,83	324,04	0,41	3,65	567,30	0,51	637,00
13	33	4	5	1	4,09	90,50	0,23	3,05	21,60	4,14	217,10	0,36	4,06	329,20	0,43	541,00
14	40	4	5	1	4,08	188,20	0,33	4,04	9,08	4,23	354,90	0,47	4,18	552,18	0,58	757,00
Mittelwert					3,55	155,86	0,26	3,23	43,76	4,03	278,30	0,39	3,82	477,93	0,49	671,10
Standardabweichung					0,56	64,56	0,08	0,65	24,21	0,24	54,95	0,04	0,31	99,05	0,07	158,66

Tabelle B.2:  
Messpunkt 2: Seitengriff (vorderer Handgriff); BHD = Brusthöhendurchmesser

Nadelbaum Alter: ca. 75 Jahre Höhe: 29 m	Nr.	BHD in cm	Maschinen-Nr.	Versuchsperson	Messpunkt Seitengriff	Arbeitsvorgang „fällen“			Arbeitsvorgang „zuschneiden“			Arbeitsvorgang „entasten“			Baumdosis Gesamt-Arbeitsvorgang „fällen/zuschneiden/ entasten“		Arbeitszeit in s (einschließlich Pausen)	
						$a_{hv}$ in $m/s^2$	$t_e$ in s	$A_1(8)$ in $m/s^2$	$a_{hv}$ in $m/s^2$	$t_e$ in s	$A_1(8)$ in $m/s^2$	$a_{hv}$ in $m/s^2$	$t_e$ in s	$A_1(8)$ in $m/s^2$	$a_{hv}$ in $m/s^2$	$t_e$ in s		$A_1(8)$ in $m/s^2$
	1	43	1	2	2	6,35	167,00	0,48	4,86	53,00	0,21	4,50	318,00	0,47	<b>5,18</b>	538,00	<b>0,71</b>	854,00
	4	43	1	3	2	6,43	111,00	0,40	4,20	42,00	0,16	4,71	268,00	0,45	<b>5,18</b>	421,00	<b>0,63</b>	805,00
	6	42	2	3	2	5,14	113,00	0,32	3,42	83,00	0,18	4,06	293,00	0,41	<b>4,24</b>	489,00	<b>0,55</b>	686,00
	7	39	1	3	2	5,66	87,00	0,31	3,26	19,00	0,08	3,73	257,00	0,35	<b>4,25</b>	363,00	<b>0,48</b>	443,00
	8	41	2	3	2	5,16	140,00	0,36	3,57	42,00	0,14	4,43	170,00	0,34	<b>4,65</b>	352,00	<b>0,51</b>	440,00
	9	36	2	3	2	4,24	116,50	0,27	3,43	37,00	0,12	4,19	270,00	0,41	<b>4,14</b>	423,50	<b>0,50</b>	592,00
	10	44	2	3	2	5,84	105,60	0,35	3,77	38,50	0,14	4,17	259,00	0,40	<b>4,63</b>	403,10	<b>0,55</b>	581,00
	11	43	2	3	2	4,50	117,00	0,29	3,09	60,00	0,14	4,06	314,00	0,42	<b>4,07</b>	491,00	<b>0,53</b>	638,00
	12	37	4	5	2	7,02	224,82	0,62	3,34	18,44	0,08	4,52	324,04	0,48	<b>5,62</b>	567,30	<b>0,79</b>	637,00
	13	33	4	5	2	8,26	90,50	0,46	3,55	21,60	0,10	4,39	271,10	0,38	<b>5,68</b>	329,20	<b>0,61</b>	541,00
	14	40	4	5	2	8,08	188,20	0,65	4,57	9,08	0,08	4,68	354,90	0,52	<b>6,06</b>	552,18	<b>0,84</b>	757,00
	15	32	4	5	2	7,41	149,88	0,53	4,27	26,42	0,13	4,36	156,20	0,32	<b>5,93</b>	332,50	<b>0,64</b>	590,00
	Mittelwert					6,17	134,21	0,42	3,78	37,50	0,13	4,32	266,77	0,41	<b>4,97</b>	438,48	<b>0,61</b>	630,00
	Standardabweichung					1,33	41,60	0,13	0,56	20,77	0,04	0,29	60,91	0,06	<b>0,73</b>	86,80	<b>0,12</b>	129,55

Tabelle B.3:  
Messpunkt 1: Hauptgriff (hinterer Handgriff); BHD = Brusthöhendurchmesser, ... = nicht durchgeführt

Laubbaum Alter: 55 Jahre Höhe: 26 m Nr.	BHD in cm	Maschinen-Nr.	Versuchsperson	Messpunkt Hauptgriff	Arbeitsvorgang „fällen“			Arbeitsvorgang „zuschneiden“			Arbeitsvorgang „entasten“			Baumdosis Gesamt-Arbeitsvorgang „fällen/zuschneiden/ entasten“			Arbeitszeit in s (einschließlich Pausen)
					$a_{iv}$ in $m/s^2$	$t_e$ in s	$A_1(8)$ in $m/s^2$	$a_{iv}$ in $m/s^2$	$t_e$ in s	$A_1(8)$ in $m/s^2$	$a_{iv}$ in $m/s^2$	$t_e$ in s	$A_1(8)$ in $m/s^2$	$a_{iv}$ in $m/s^2$	$t_e$ in s	$A_1(8)$ in $m/s^2$	
1	31	2	3	1	3,60	66,66	0,17	3,46	37,94	0,13	2,77	61,12	0,13	3,28	165,72	0,25	260,04
2	23	2	3	1	4,16	31,94	0,14	...	...	...	2,96	56,76	0,13	3,44	88,70	0,19	168,00
3	30	2	3	1	4,45	48,00	0,18	...	...	...	3,11	111,92	0,19	3,57	159,92	0,27	190,16
4	23	2	3	1	5,53	31,28	0,18	3,70	21,14	0,10	3,33	71,86	0,17	4,05	124,28	0,27	250,60
7	31	1	3	1	3,64	49,62	0,15	...	...	...	3,37	124,06	0,22	3,45	173,68	0,27	239,46
8	27	1	3	1	3,68	75,12	0,19	...	...	...	6,12	101,98	0,36	5,23	177,10	0,41	221,76
9	30	1	3	1	4,03	43,64	0,16	...	...	...	3,80	83,94	0,21	3,88	127,58	0,26	212,14
10	33	1	3	1	4,40	60,32	0,20	...	...	...	3,38	136,16	0,23	3,99	219,04	0,35	293,92
11	31	1	3	1	4,72	68,68	0,23	...	...	...	3,61	73,08	0,18	4,17	183,06	0,33	235,18
19	27	4	6	1	4,32	161,64	0,32	2,73	11,54	0,05	3,10	109,46	0,19	3,83	282,64	0,38	333,00
20	25	4	6	1	3,60	75,12	0,18	...	...	...	3,30	71,96	0,16	3,46	147,08	0,25	182,02
21	25	4	6	1	3,63	134,72	0,25	...	...	...	3,60	86,86	0,20	3,62	221,58	0,32	295,40
22	24	4	6	1	3,83	92,82	0,22	2,74	10,28	0,05	4,19	47,78	0,17	3,89	150,88	0,28	191,12
Mittelwert					4,12	72,27	0,20	3,16	20,23	0,08	3,59	87,46	0,20	3,83	170,87	0,29	236,37
Standardabweichung					0,57	38,45	0,05	0,50	12,77	0,04	0,85	27,26	0,06	0,50	49,57	0,06	49,60

Tabelle B.4:  
Messpunkt 2: Seitengriff (vorderer Handgriff); BHD = Brusthöhendurchmesser, ... = nicht durchgeführt

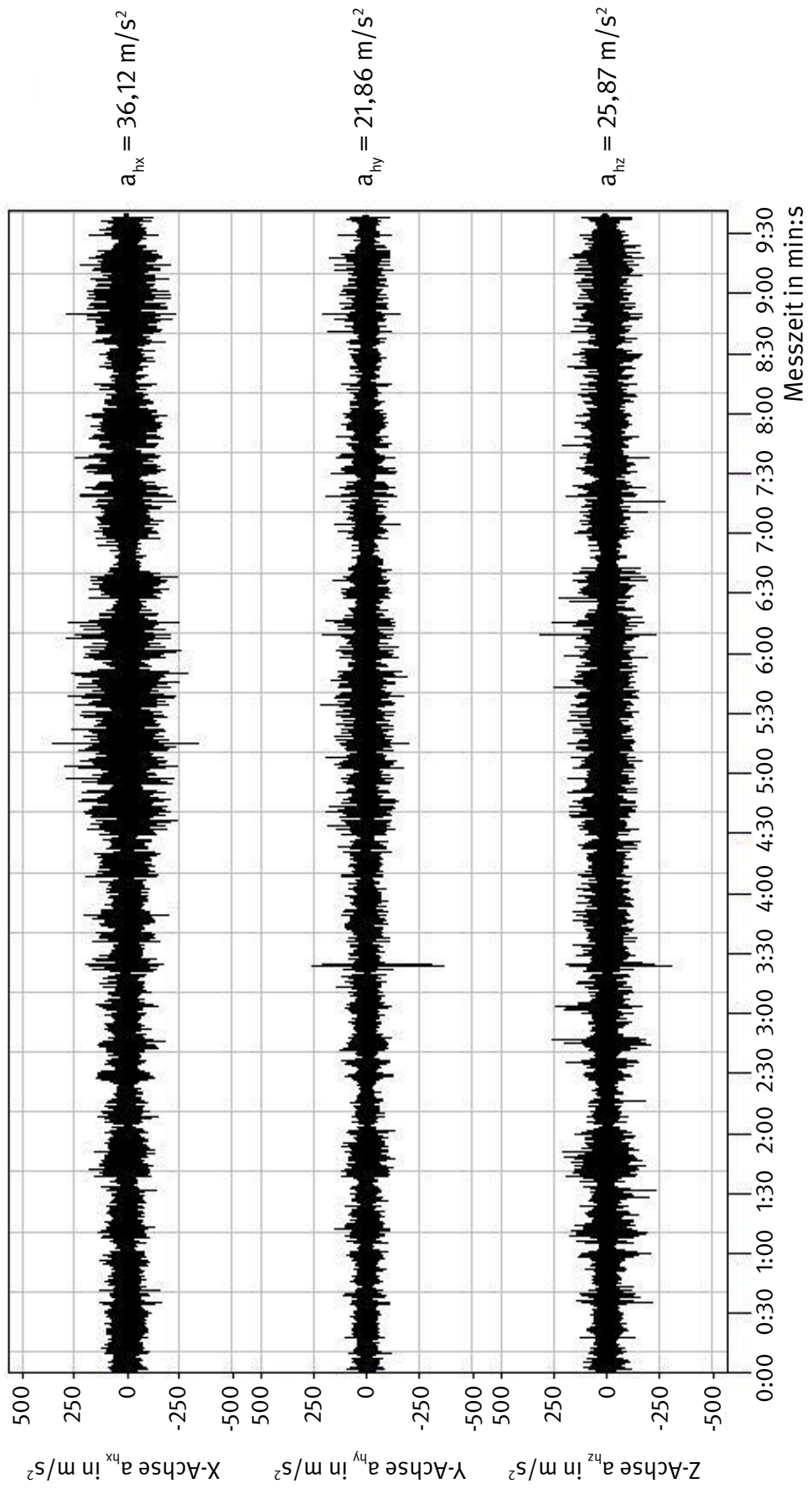
Laubbaum Alter: 55 Jahre Höhe: 26 m	Nr.	BHD in cm	Maschinen-Nr.	Versuchsperson	Messpunkt Seitengriff	Arbeitsvorgang „fällen“			Arbeitsvorgang „zuschneiden“			Arbeitsvorgang „entasten“			Baumdosis Gesamt-Arbeitsvorgang „fällen/zuschneiden/ entasten“		Arbeitszeit in s (einschließlich Pausen)	
						$a_{hv}$ in $m/s^2$	$t_e$ in s	$A_1(8)$ in $m/s^2$	$a_{hv}$ in $m/s^2$	$t_e$ in s	$A_1(8)$ in $m/s^2$	$a_{hv}$ in $m/s^2$	$t_e$ in s	$A_1(8)$ in $m/s^2$	$a_{hv}$ in $m/s^2$	$t_e$ in s		$A_1(8)$ in $m/s^2$
	1	31	2	3	2	6,01	66,66	0,29	3,72	37,94	0,14	3,44	61,12	0,16	4,70	165,72	0,36	260,04
	2	23	2	3	2	7,15	31,94	0,24	...	...	...	3,30	56,76	0,15	5,04	88,70	0,28	168,00
	3	30	2	3	2	7,25	48,00	0,30	...	...	...	3,38	111,92	0,21	4,88	159,92	0,36	190,16
	4	23	2	3	2	8,51	31,28	0,28	3,78	21,14	0,10	3,65	71,86	0,18	5,33	124,28	0,35	250,60
	7	31	1	3	2	6,34	49,62	0,26	...	...	...	3,88	124,06	0,25	4,72	173,68	0,37	239,46
	8	27	1	3	2	6,87	75,12	0,35	...	...	...	3,89	101,98	0,23	5,36	177,10	0,42	221,76
	9	30	1	3	2	6,10	43,64	0,24	...	...	...	3,84	83,94	0,21	4,74	127,58	0,32	212,14
	10	33	1	3	2	6,46	60,32	0,30	5,36	22,56	0,15	3,76	136,16	0,26	4,82	219,04	0,42	293,92
	11	31	1	3	2	6,95	68,68	0,34	4,01	41,30	0,15	3,98	73,08	0,20	5,30	183,06	0,42	235,18
	19	27	4	6	2	6,39	161,64	0,48	4,14	11,54	0,08	3,85	109,46	0,24	5,46	282,64	0,54	333,00
	20	25	4	6	2	6,69	75,12	0,34	...	...	...	3,37	71,96	0,17	5,33	147,08	0,38	182,02
	21	25	4	6	2	5,97	134,72	0,41	...	...	...	3,53	86,86	0,19	5,15	221,58	0,45	295,40
	22	24	4	6	2	6,32	92,82	0,36	2,64	10,28	0,05	4,32	47,78	0,18	5,56	150,88	0,40	191,12
	Mittelwert					6,69	72,27	0,32	3,94	24,13	0,11	3,71	87,46	0,20	5,11	170,87	0,39	236,37
	Standardabweichung					0,69	38,45	0,07	0,87	13,02	0,04	0,30	27,26	0,04	0,31	49,57	0,07	49,60



## Anhang C: Beispiele der Zeitverläufe

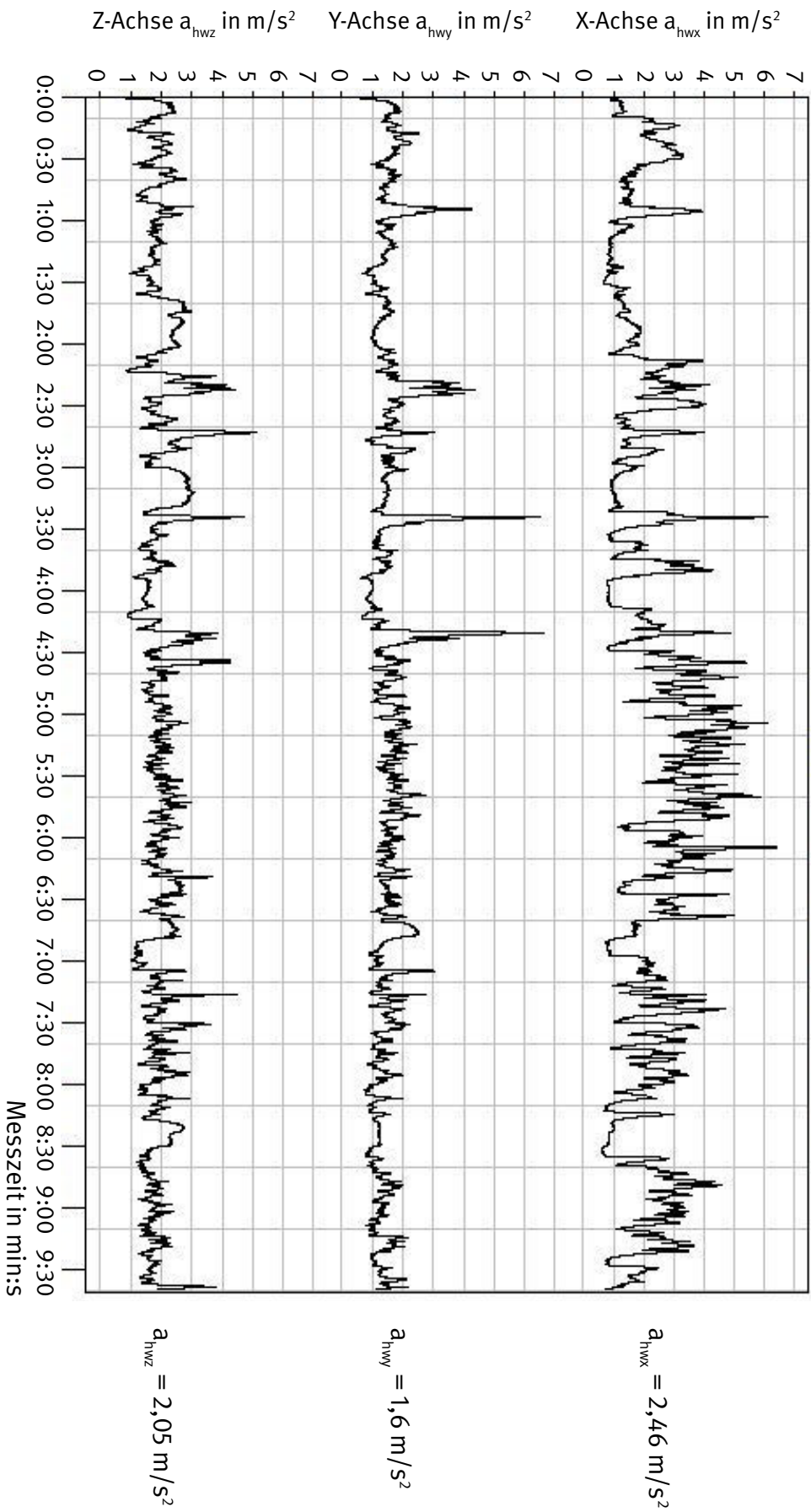
### Zeitverlauf der unbewerteten Beschleunigung

Messbericht Nr.:	201320354-02	Betrieb:	Forstliches Bildungszentrum für Walдарbeit und Forsttechnik
Mess-Nr.:	0252111	Arbeitsgerät:	Motorkettenäge
Datum:	02.07.2013	Messpunkt:	Hauptgriff
Abtastfrequenz in Hz:	6 400	Dateiname:	c:\Messdaten\003440252111405.ddf
Messzeit in s:	581	Bemerkungen:	Maschine 2, VP 3, Holzernte Nadelbaum Nr. 10, Holzernte Gesamtvorgang (fällen, zuschneiden, entasten)



### Gleitender Effektivwert der frequenzbewerteten Beschleunigung

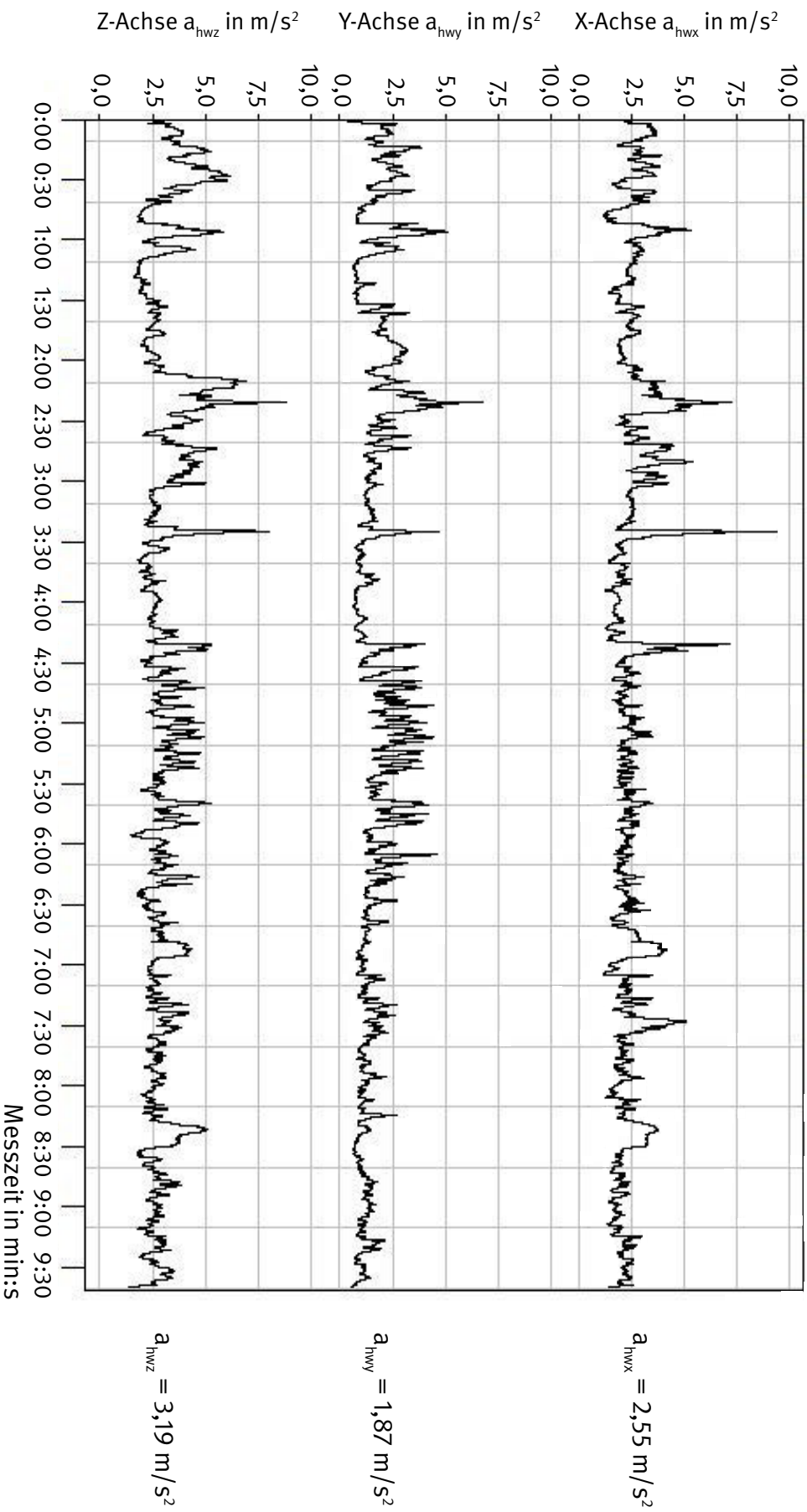
Messbericht Nr.:	201320354-02	Betrieb:	Forstliches Bildungszentrum für Waldarbeit und Forsttechnik
Mess-Nr.:	0252111	Arbeitsgerät:	Motorkettensäge
Datum:	02.07.2013	Messpunkt:	Hauptgriff
Abtastfrequenz in Hz:	6 400	Dateiname:	c:\Messdaten\003440252111405.ddf
Messzeit in s:	581	Bemerkungen:	Maschine 2, VP 3, Holzmitre Nadelbaum Nr. 10, Holzmitre Gesamtvorgang (fällen, zuschneiden, entasten)





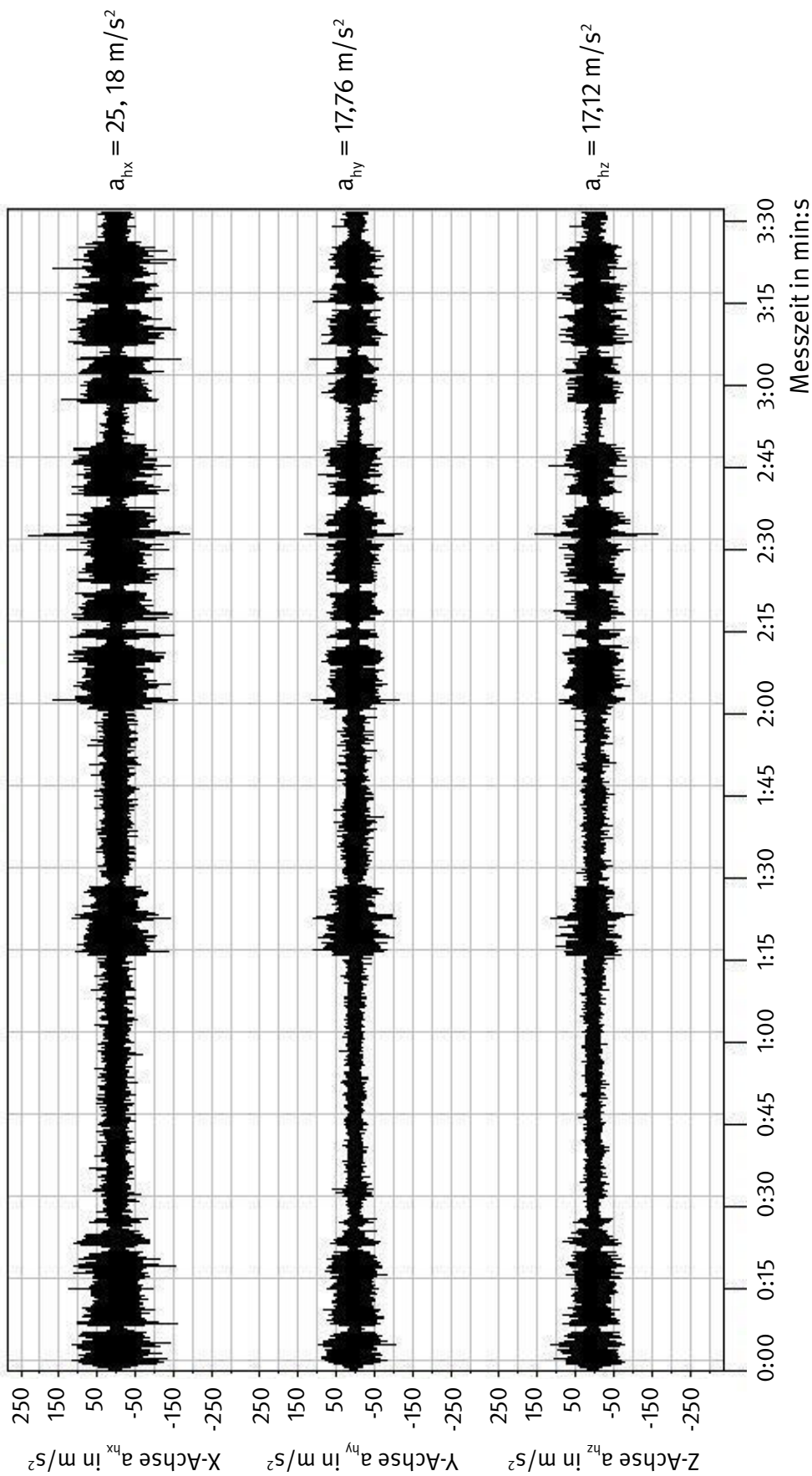
### Gleitender Effektivwert der frequenzbewerteten Beschleunigung

Messbericht Nr.:	201320354-02	Betrieb:	Forstliches Bildungszentrum für Waldarbeit und Forsttechnik
Mess-Nr.:	0252111	Arbeitsgerät:	Motorkettensäge
Datum:	02.07.2013	Messpunkt:	Seitengriff
Abtastfrequenz in Hz:	6 400	Dateiname:	c:\Messdaten\003440252111405.ddf
Messzeit in s:	581	Bemerkungen:	Maschine 2, VP 3, Holzermte Nadelbaum Nr. 10, Holzermte Gesamtvorgang (fällen, zuschneiden, entasten)



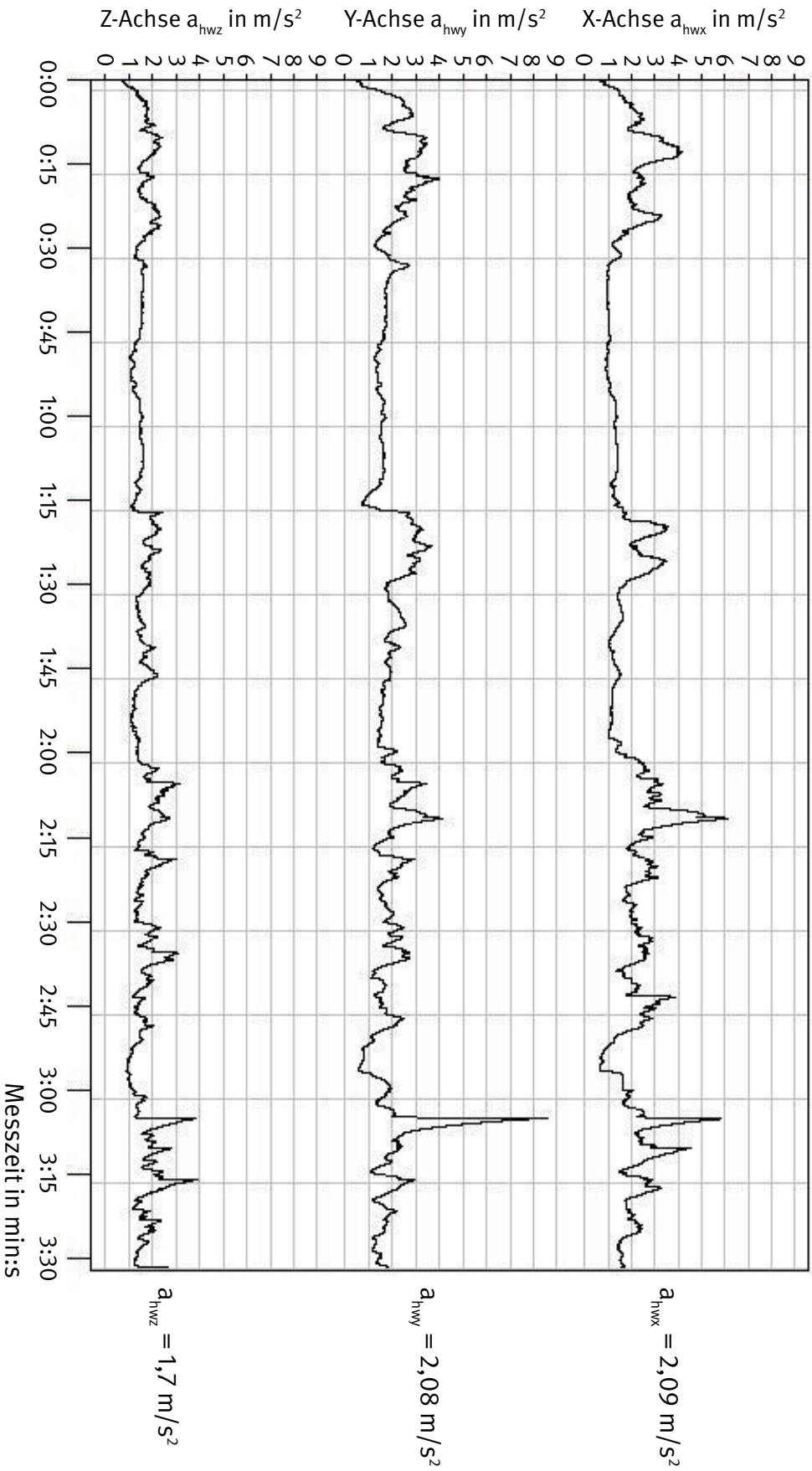
## Zeitverlauf der unbewerteten Beschleunigung

Messbericht Nr.:	201320354-02	Betrieb:	Forstliches Bildungszentrum für Waldarbeit und Forsttechnik
Mess-Nr.:	0252121	Arbeitsgerät:	Motorkettsäge
Datum:	03.07.2013	Messpunkt:	Hauptgriff
Abtastfrequenz in Hz:	6 400	Dateiname:	c:\Messdaten\003440252121\305.ddf
Messzeit in s:	212	Bemerkungen:	Holzernte Laubbaum Nr. 9, Vorgang: Holzernte Gesamtvorgang, Maschine Nr. 1, VP 3



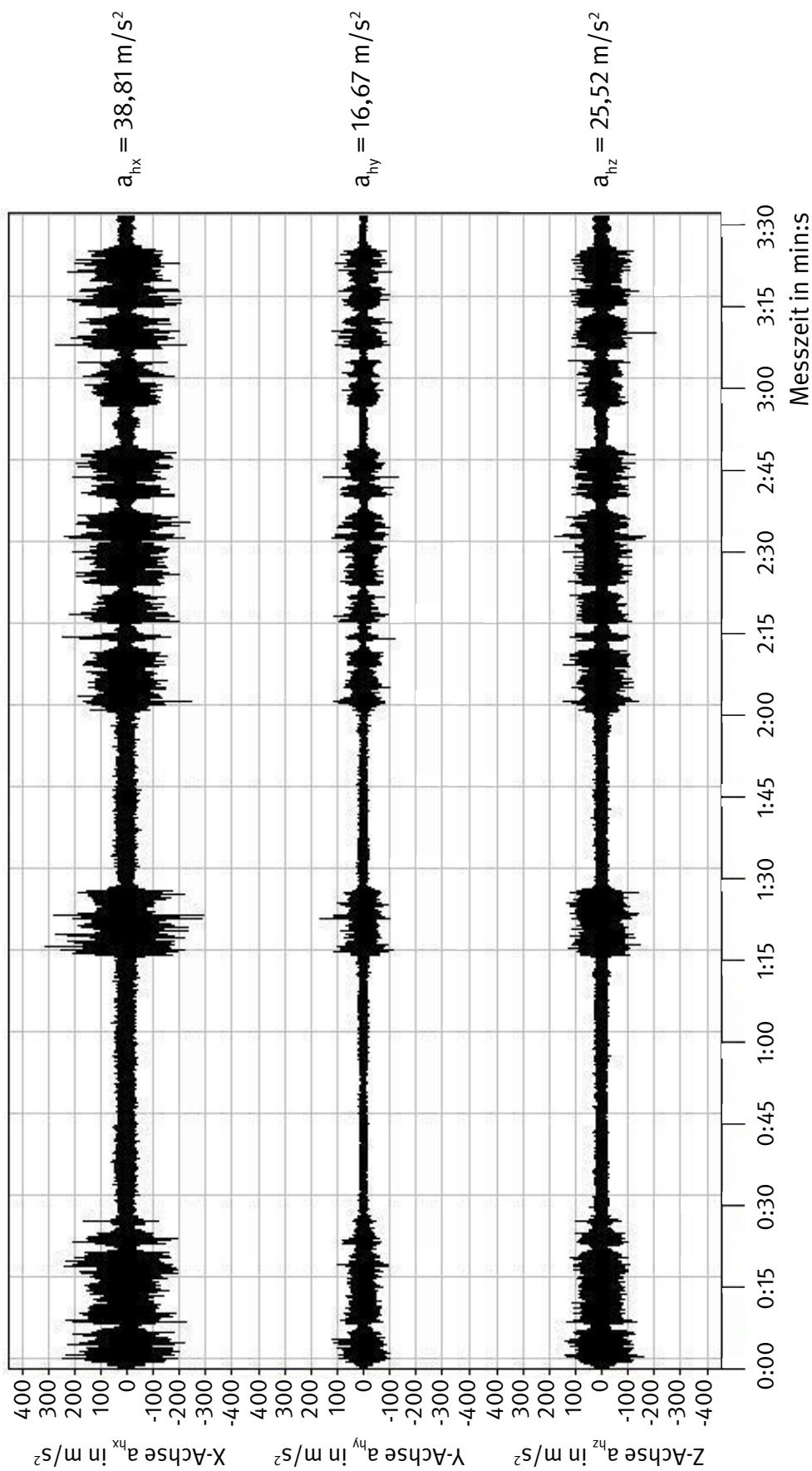
### Gleitender Effektivwert der frequenzbewerteten Beschleunigung

Messbericht Nr.:	201320354-02	Betrieb:	Forstliches Bildungszentrum für Waldarbeit und Forstechnik
Mess-Nr.:	0252121	Arbeitsgerät:	Motorkettensäge
Datum:	03.07.2013	Messpunkt:	Hauptgriff
Abtastfrequenz in Hz:	6 400	Dateiname:	c:\Messdaten\0034402521211305.ddf
Messzeit in s:	212	Bemerkungen:	Holzernie Laubbaum Nr. 9, Vorgang: Holzernie Gesamtvorgang, Maschine Nr. 1, VP 3



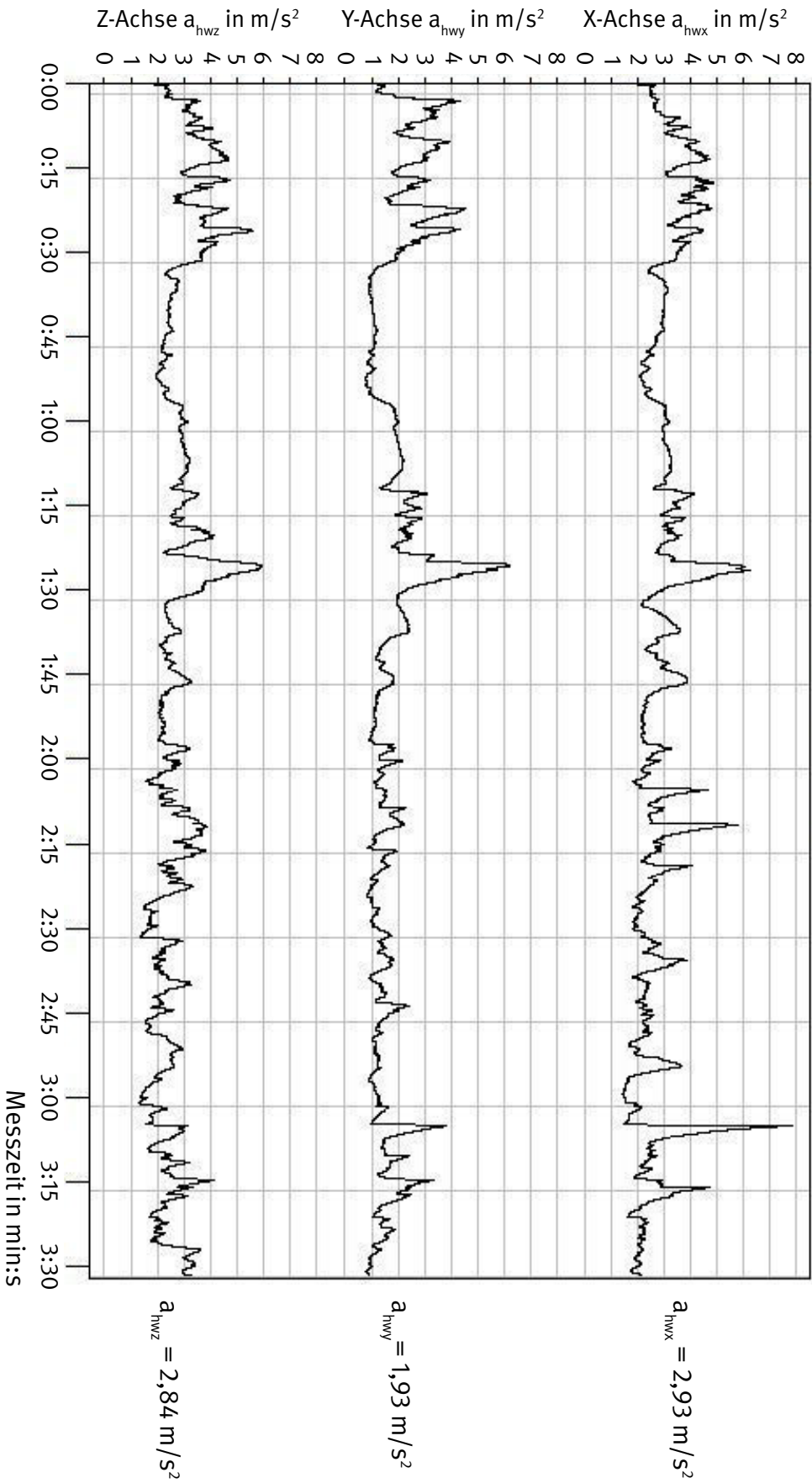
## Zeitverlauf der unbewerteten Beschleunigung

Messbericht Nr.: 201320354-02      Betrieb: Forstliches Bildungszentrum für Waldarbeit und Forsttechnik  
 Mess-Nr.: 0252121      Arbeitsgerät: Motorkettsäge  
 Datum: 03.07.2013      Messpunkt: Seitengriff  
 Abtastfrequenz in Hz: 6 400      Dateiname: c:\Messdaten\0034402521211305.ddf  
 Messzeit in s: 212      Bemerkungen: Holzernte Laubbaum Nr. 9, Vorgang: Holzernte Gesamtvorgang, Maschine Nr. 1, VP 3



### Gleitender Effektivwert der frequenzbewerteten Beschleunigung

Messbericht Nr.:	201320354-02	Betrieb:	Forstliches Bildungszentrum für Waldarbeit und Forsttechnik
Mess-Nr.:	0252121	Arbeitsgerät:	Motorkettenesäge
Datum:	03.07.2013	Messpunkt:	Seitengriff
Abtastfrequenz in Hz:	6 400	Dateiname:	c:\Messdaten\0034402521211305.ddf
Messzeit in s:	212	Bemerkungen:	Holzernte Laubbaum Nr. 9, Vorgang: Holzernte Gesamtvorgang, Maschine Nr. 1, VP 3





## Anhang D: Auswertung der Frequenzzusammensetzung nach VDI 2057-2, exemplarisch für einen Nadelbaum (Nr. 10) und einen Laubbaum (Nr. 9)

Tabelle D.1:  
Auswertung für Nadelbaum Nr. 10

	Arbeitsvorgang „Fällen, Zuschneiden, Entasten“ Bewertete Beschleunigung $a_{hw}$ in $m/s^2$ in den Messrichtungen			
	X	Y	Z	V
<b>Messpunkt 1/Hauptgriff</b>				
Wert bei: 4 bis 1 000 Hz	2,89	1,74	2,03	3,93
Wert bei: < 50 Hz	1,55	1,18	1,43	2,42
Anteil < 50 Hz in %	54	68	71	62
<b>Messpunkt 2/Seitengriff</b>				
Wert bei: 4 bis 1 000 Hz	2,61	2,04	3,46	4,79
Wert bei: < 50 Hz	1,62	1,64	1,34	2,67
Anteil < 50 Hz in %	62	80	39	56

Tabelle D.2:  
Auswertung für Laubbaum Nr. 9

	Arbeitsvorgang „Fällen, Entasten“ Bewertete Beschleunigung $a_{hw}$ in $m/s^2$ in den Messrichtungen			
	X	Y	Z	V
<b>Messpunkt 1/Hauptgriff</b>				
Wert bei: 4 bis 1 000 Hz	2,51	2,38	1,82	3,90
Wert bei: < 50 Hz	1,37	1,53	1,37	2,47
Anteil < 50 Hz in %	55	64	75	63
<b>Messpunkt 2/Seitengriff</b>				
Wert bei: 4 bis 1 000 Hz	3,05	2,16	3,36	5,02
Wert bei: < 50 Hz	1,99	1,62	2,03	3,27
Anteil < 50 Hz in %	65	75	60	65

