



Endbericht

zu Forschungsprojekt 101522

„Akkucut“

Leistung und ergonomische Aspekte akku-elektrisch
betriebener Freischneider im Vergleich zu
Benzinmotor betriebenen Freischneidern

Eine Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Landwirtschaft,
Regionen und Tourismus

DI Dr. Christoph Huber

Jürgen Richter, BSc

DI Nikolaus Nemestóthy

Inhalt

Einleitung	1
Teil 1 – Prüfstandsversuche	2
Methodik	2
Verwendete Forstgeräte	2
Versuchslayout	3
Der Prüfstand	4
Durchführung der Schnittversuche	4
Messung des Schalldruckpegels	6
Messung der Hand-Arm Vibrationen	6
Messung des Energie und Treibstoffverbrauches	7
Datenauswertung	8
Ermittlung der Lärmexposition	8
Ermittlung der Vibrationsbelastung	9
Ermittlung des Treibstoff- und Energieverbrauches	9
Ergebnisse und Diskussion	10
Lärmbelastung des Bedieners	10
Treibstoff- und Energieverbrauch	14
Teil 2 – Fallstudie	16
Methodik	16
Bestandesbeschreibung und Versuchslayout	16
Versuchsablauf	17
Datenerhebung	17
Ergebnisse und Diskussion	18
Zeitstudie	18
Lärmbelastung des Bedieners	19
Vibrationsbelastung des Bedieners	20
Literatur	21

Einleitung

Bei der Arbeit im Wald sieht sich der Waldarbeiter oft mit vielfältigen Belastungen konfrontiert. Je nach verwendeten Werkzeugen und Maschinen kann die Art und Intensität der Belastungen stark variieren. Vor allem die Jungwuchs- und Dickungspflege wird nach wie vor mit motorisierten Handgeräten wie Motorsäge und Freischneider durchgeführt. Hierbei ist der Arbeiter neben dem Gewicht auch Lärm-, Vibrations- und Abgasbelastungen ausgesetzt.

Die Bedeutung von Lärm-, Vibrations- und Abgasbelastungen wird deutlich, wenn man die Liste der Berufskrankheiten betrachtet. Lärmschwerhörigkeit ist in Österreich mit Abstand die häufigste Berufskrankheit. Knapp die Hälfte aller Berufskrankheiten entfällt auf durch Lärm induzierte Schwerhörigkeit (AUVA, 2019). Auch anhaltende Vibrationsbelastungen führen in Österreich jedes Jahr zu Krankheitsfällen. So treten in Österreich nach wie vor Fälle der Weißfingerkrankheit auf (AUVA 2019). Der technische Fortschritt erlaubte in den letzten Jahrzehnten Verbesserungen, durch die die Vibration und das Gewicht der Geräte deutlich reduziert und somit die Anzahl an vibrationsbedingten Erkrankungen stetig gesenkt werden konnte.

Durch den vermehrten Einsatz von Lithium-Ionen Akkus ab den 2010er Jahren wurden auch Akku-betriebene Handgeräte für den Einsatz im Garten- und Forstbereich immer populärer.

Das Prinzip eines Freischneiders entspricht dem von Rasentrimmer und Motorsense. Vom hinten liegenden Motor wird über eine Welle im Holm ein Schneidwerkzeug in Drehung versetzt. Mit dem Schneidwerkzeug wird im Freischnittverfahren ohne Gegenschneide geschnitten. Die Schneidwerkzeuge wie zum Beispiel Dickichtmesser und Sägeblatt sind dementsprechend widerstandsfähig, um Brombeeren, Gestrüpp und Dickung Stand zu halten. Durch das höhere Gewicht sind Freischneider aber auch anders zu handhaben und werden an einem umgehängten Tragegeschirr befestigt und mit einem Zweihandgriff festgehalten. Es ist auch möglich den Motor oder die Batterie am Rücken zu tragen und über eine flexible Welle das Schneidwerkzeug anzutreiben.

Durch die immer vielseitiger einsetzbaren Batterietechnologien stellt sich auch im Bereich der Waldpflege die Frage, ob bzw. in welchem Ausmaß Geräte mit Elektromotor ein Ersatz für Geräte mit Verbrennermotor sein können.

Teil 1 – Prüfstandsversuche

Methodik

Verwendete Forstgeräte

Für die Durchführung sämtlicher Versuche wurden insgesamt fünf unterschiedliche Freischneider der Firmen Husqvarna und Stihl herangezogen, wovon zwei akku-elektrisch betrieben und drei Benzin-betrieben sind (siehe Tabelle 1). Bei den akku-elektrisch betriebenen Freischneidern handelt es sich um das leistungsfähigste Akkugerät des jeweiligen Herstellers zum Startzeitpunkt der Studie. Als Referenz zu den Akkufreischneidern dienten Benzin-betriebene Freischneider unterschiedlicher Leistungsklassen.

Alle Freischneider wurden während der Versuche mit demselben Kreissägeblatt, bestückt mit 22 Meißelzähnen und einem Durchmesser von 200mm, ausgestattet. Die Vereinheitlichung des Schneidwerkzeuges soll vorrangig sicherstellen, dass die Ergebnisse der unterschiedlichen Freischneider nicht durch die Wahl des Schneidwerkzeugs überlagert werden, wodurch die Vergleichbarkeit der Leistungsdaten und ergonomischen Aspekten erschwert wird.

Tabelle 1: Übersicht über die verwendeten Forstgeräte

					
Kurzbezeichnung	FS a1	FS a2	FS b3	FS b4	FS c5
Hersteller	HUSQVARNA	STIHL	HUSQVARNA	STIHL	HUSQVARNA
Motor	Elektromotor	Elektromotor	Verbrennungsmotor	Verbrennungsmotor	Verbrennungsmotor
Typ	535iFR	FSA135	535RXT	FSA131	555FX
Leistung [kW]	-	-	1,6*	1,4*	2,8*
Hubraum [cm ³]	-	-	34,6*	36,3*	53,3*
Kraftstoff	-	-	Sonderkraftstoff	Sonderkraftstoff	Sonderkraftstoff
Gesamtgewicht [kg]	7,3	7,4	7,6	7,0	10,4
Länge[cm]	175	188	180	176	163
Batterie	BLi300 (36V/9,36Ah*)	AP300S (36V/7,2Ah*)	-	-	-

* Produktangaben des Herstellers

Versuchslayout

Die Untersuchungen wurden in zwei Versuchsphasen durchgeführt. In Phase 1 wurden die in Tabelle 1 angeführten Freischneider auf einem eigens konstruierten Prüfstand getestet. Dieser soll einen direkten Vergleich der unterschiedlichen Freischneider unter möglichst konstanten Bedingungen ermöglichen. Phase 2 beinhaltet Versuche unter Freilandbedingungen und diente der Überprüfung der in Phase 1 ermittelten Ergebnisse unter realen Einsatzbedingungen sowie der Evaluierung weiterer Einflussgrößen bei der Arbeit im Wald.

Der Prüfstand

Die Freischneidearbeit mit einem Kreissägeblatt wurde simuliert, indem quadratische Buchen-Staffelhölzer mit einer Kantenlänge von 40mm und einer Länge von 150cm abgeschnitten wurden. Für die Führung des Holzes wurde ein eigens konstruierter Prüfstand entwickelt, der ein kontinuierliches Arbeiten mit einem Freischneider ermöglicht (Abbildung 1). Das Staffelholz wird durch ein vertikal montiertes Formrohr mit einem Innendurchmesser von 45x45mm in Richtung Schneidtisch gesteckt. Mit jedem Schnitt rutscht das Staffelholz mithilfe der Schwerkraft nach. Um den Aufschlag des nachrutschenden Holzes abzdämpfen und Störgeräusche während der Lärmmessungen zu vermeiden, wurde unmittelbar unterhalb des Formrohrs eine Spiralfeder montiert. Zusätzlich wurden, um den jeweiligen Schnittwinkel konstant zu halten, Führungsleisten aus Holz am Schneidtisch angebracht.



Abbildung 1: Prüfstand

Durchführung der Schnittversuche

Um einen möglichen Einfluss des Schärfezustandes des Schneidwerkzeuges auszuschließen, wurden die Versuche mit einem neuen Kreissägeblatt durchgeführt, welches nach jedem Arbeitszyklus entsprechend der Herstellerangaben instandgesetzt geschliffen und geschränkt wurde. Der Versuch umfasste in Summe 12 Zyklen, wobei in jedem Zyklus alle fünf Freischneider in unterschiedlicher Reihenfolge getestet wurden (Tabelle 2).

Tabelle 2: Faktorielles Versuchslayout zur Durchführung der Schnittversuche am Prüfstand

Zyklus 1	FS a1	FS a2	FS b3	FS b4	FS c5	FS c6
Zyklus 2	FS a1	FS a2	FS c5	FS c6	FS b3	FS b4
Zyklus 3	FS b3	FS b4	FS a1	FS a2	FS c5	FS c6
Zyklus 4	FS b3	FS b4	FS c5	FS c6	FS a1	FS a2
Zyklus 5	FS c5	FS c6	FS a1	FS a2	FS b3	FS b4
Zyklus 6	FS c5	FS c6	FS b3	FS b4	FS a1	FS a2
Zyklus 7	FS a2	FS a1	FS b4	FS b3	FS c6	FS c5
Zyklus 8	FS a2	FS a1	FS c6	FS c5	FS b4	FS b3
Zyklus 9	FS b4	FS b3	FS a2	FS a1	FS c6	FS c5
Zyklus 10	FS b4	FS b3	FS c6	FS c5	FS a2	FS a1
Zyklus 11	FS c6	FS c5	FS a2	FS a1	FS b4	FS b3
Zyklus 12	FS c6	FS c5	FS b4	FS b3	FS a2	FS a1

Aufgrund der Unterschiede zwischen den einzelnen Geräten wurde erwartet, dass die einzelnen Schnittversuche unterschiedlich schnell absolviert werden. Dadurch wird jedoch die Vergleichbarkeit der Versuche maßgeblich beeinflusst, da der zeitliche Anteil des Durchschneidens des Holzes in Relation zur Gesamtversuchszeit je nach Gerät variiert. Aus diesem Grund entschied man sich, die Trennschnitte in einem Zeitabstand von zwei Sekunden durchzuführen. Das Zeitintervall wurde dem Benutzer akustisch durch ein Metronom (akustisches Signal im Gehörschutz) angezeigt.

Vor Beginn eines jeden Versuches wurden die Benzingeräte etwa 2 Minuten in Betrieb genommen, um den Verbrennungsmotor auf eine konstante Betriebstemperatur zu bringen.

In weiteren Versuchen wurden für sämtliche Freischneider Vibrations-, Treibstoff- und Lärmmessungen im Leerlauf sowie bei Vollgas durchgeführt.

Messung des Schalldruckpegels

Um die tatsächliche Belastung des Bedieners durch Lärm zu ermitteln, wurde die Schallpegelmessung direkt am rechten Ohr des Probanden durchgeführt. Das am Forsthelm montierte Mikrofon wies vom Ohr des Probanden einen horizontalen Abstand von 5 cm auf. Die Datenaufzeichnung erfolgte mit einem Schallpegelmessgerät Svan 971 der Firma Svantec, welches mit einem vorpolarisierten Freifeld $\frac{1}{2}$ " Kondensator-Mikrofon der Type 7052 E mit einer normalen Empfindlichkeit von 50 mV/Pa und einer Kapazität von 17pF ausgestattet war. Zu Beginn einer jeden Versuchsreihe wurde das gesamte Messsystem neu kalibriert. Als Versuchsstandort diente ein ebener Boden mit ca. 5cm hohem Grasbewuchs, welcher im Vergleich zu einer befestigten Oberfläche den Schall weniger stark reflektiert.

Während der Versuche wurden folgende Daten aufgezeichnet:

- A-bewerteter äquivalenter Dauerschalldruckpegel ($L_{p,A,eq}$)
- minimaler A-bewerteter Schalldruckpegel ($L_{p,A,min}$)
- maximaler A-bewerteter Schalldruckpegel ($L_{p,A,max}$)
- C-bewerteter Spitzenschalldruckpegel ($L_{p,C,peak}$)
- Frequenzspektrum in 1/3 Oktav-Bändern

Sämtliche Aufzeichnungen erfolgten in einer zeitlichen Auflösung von 100ms.

Messung der Hand-Arm Vibrationen

Zur simultanen Vibrationsmessung an beiden Handgriffen der Freischneider wurden zwei piezoelektrische Triaxial-Beschleunigungsaufnehmer vom Typ 4524-B der Firma Brüel & Kjaer verwendet (Abbildung 2).

Die Messsensoren wurden mittels Befestigungsclips, welche vorher mithilfe eines Keramiklebers (ISO 5348:2021) angebracht wurden, an beiden Handgriffen montiert. Die Ausrichtung und Positionierung der Beschleunigungssensoren erfolgte entsprechend ISO/FDIS 22867:2021 (Abbildung 3).

Für die Datenaufzeichnung wurde ein akkubetriebenes Brüel & Kjaer LAN-X Modul vom Typ 3050 mit einem Frequenzbereich von 0 bis 51,5 kHz verwendet. Die Kalibrierung bzw. Überprüfung des Messsystems erfolgte vor und nach einer jeden Messungen mit einem Kalibrator vom Typ 4294.



Abbildung 2: Befestigungsclip mit Beschleunigungssensors montiert am Handgriff eines Freischneiders.

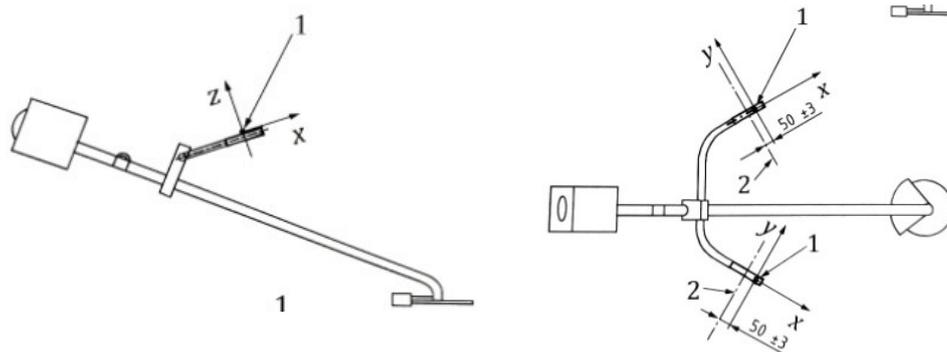


Abbildung 3: Orientierung der Beschleunigungssensoren

Messung des Energie und Treibstoffverbrauches

Zur Ermittlung des Energieverbrauches der Benzin-betriebenen Freischneider wurde vor Beginn der Schnittversuche eine Markierung am Treibstofftank angebracht. Nach jedem Versuchsdurchgang wurde die verbrauchte Menge an Treibstoff mittels einer Kunststoffspritze (Ablesegenauigkeit: 0,5ml) bis zur Markierung nachgefüllt.

Die Energieverbrauchsermittlung bei den akkubetriebenen Freischneidern erfolgte durch Aufladen des Akkus am Ende eines jeden Versuches. Der für den Ladeprozess notwendige Strom wurde mittels eines Stromzählers, welcher zwischen Ladegerät und Steckdose in den Stromkreis eingebracht wurde, gemessen. Die Ablesegenauigkeit der Messungen lag bei 0,001kW.

Datenauswertung

Ermittlung der Lärmexposition

Für die Beurteilung der Lärmexposition wurde der A-bewertete Dauerschallpegel aus den einzelnen Messreihen entsprechend ISO 9612:2009 für jeden Freischneider errechnet:

$$(1) \quad L_{p,A,eqT,m} = 10 \lg \left(\frac{1}{I} \sum_{i=1}^I 10^{0,1 \times L_{p,A,eqT,mi}} \right) \text{ dB}$$

Entsprechend der Verordnung über den Schutz der Arbeitnehmer/innen vor der Gefährdung durch Lärm und Vibrationen ist für die Beurteilung der Lärmbelastung für den Menschen der Tageslärmmexpositionspegel heranzuziehen. Hierzu wurde zunächst der Anteil einer jeden Tätigkeit am A-bewerteten Tages-Lärmmexpositionspegel entsprechend ISO 9612:2009 errechnet:

$$(2) \quad L_{EX,8h,m} = L_{p,A,eqT,m} + 10 \lg \left(\frac{\bar{T}_m}{T_0} \right) \text{ dB}$$

Als Zeitverteilung der einzelnen Tätigkeiten wurden die in Tabelle 3 abgebildeten Zeitanteile herangezogen:

Tabelle 3: Annahme der tätigkeitsbezogenen Zeitverteilung

Tätigkeit	Relativer Anteil an Gesamtarbeitszeit
Unterbrechungen inkl. Verteilzeiten	25%
Leerlaufzeiten	20%
Produktive Arbeitszeiten (Schneiden)	55%

Aus den entsprechenden Anteilen der einzelnen Tätigkeiten am Lärmmexpositionspegel wurde mithilfe von Formel 3 der A-bewertete Tagesexpositionspegel errechnet.

$$(3) \quad L_{EX,8h} = 10 \lg \left(\sum_{m=1}^M 10^{0,1 \times L_{EX,8h,m}} \right) \text{ dB}$$

Ermittlung der Vibrationsbelastung

Die aufgezeichneten Beschleunigungsdaten wurden mit der Software PULSE LabShop 14.1 des Herstellers Brüel & Kjaer ausgewertet. In einem Frequenzbereich zwischen 0,5 und 80Hz wurde für jedes Terzband das quadratische Mittel je Achse berechnet. Entsprechend ISO 2631-1:2010 wurde eine Frequenzbewertung (Filter „Gesundheit“) in den Terzbändern vorgenommen. Im Anschluss wurde der Gesamteffektivwert a_{hv} aus den frequenzbewerteten Effektivwerten der drei Achsen (a_{hw_x} , a_{hw_y} und a_{hw_z}) entsprechend ISO 5349-1: 2001 berechnet (Formel 4).

$$(4) \quad a_{lv} = \sqrt{a_{hw_x}^2 + a_{hw_y}^2 + a_{hw_z}^2}$$

Entsprechend der Verordnung über den Schutz der Arbeitnehmer/innen vor der Gefährdung durch Lärm und Vibrationen ist für die Beurteilung der Vibrationsbelastung für den Menschen der Tageslärmmexpositionswert heranzuziehen. Ähnlich wie bei der Ermittlung des Lärmexpositionsgrenzwertes wird aus allen tätigkeitsbezogenen Effektivwerten der Tagesexpositionswert für Hand-Arm Vibrationen errechnet (Formel 5).

$$(5) \quad A(8) = \sqrt{\frac{1}{T_0} \sum_{i=1}^n a_{hvi}^2 T_i}$$

Die Zeitverteilung der einzelnen Tätigkeit für die Berechnung des Tagesexpositionswertes für Lärm ist Tabelle 3 zu entnehmen.

Ermittlung des Treibstoff- und Energieverbrauchs

Um eine Vergleichbarkeit zwischen den Treibstoffverbrauchsmessungen bei den Benzin-betriebenen Freischneidern und den Ladestromverbrauchsmessungen bei den Akku-betriebenen Freischneidern zu gewährleisten, wurde das Energieäquivalent des Treibstoffgemisches herangezogen, wobei ein Liter Benzingemisch einer Energiemenge von 9,4 kWh bzw. 32 MJ/l entspricht (EU Richtlinie RED II, 2018; Packer, 2011).

Ergebnisse und Diskussion

Lärmbelastung des Bedieners

Die Lärmbelastung ausgehend von Akku-betriebenen Freischneidern (a1, a2) weist keine signifikanten Unterschiede zu jener kleinerer Benzin-betriebener Freischneider (b3, b4) auf (Abbildung 4). Sowohl die Akku-Freischneider als auch die kleineren Benzin-Freischneider erreichten Dauerschallpegel zwischen 97 dB(A) und 103 dB(A) beim Schneiden des Staffelhohes. Deutlich höhere Schallpegelwerte wurden beim stärksten Testgerät, dem Freischneider Husqvarna 555 RXT (c5), gemessen. Mit einem Dauerschallpegel von 108,1 dB(A) unterschied sich dieser signifikant von den anderen Testgeräten.

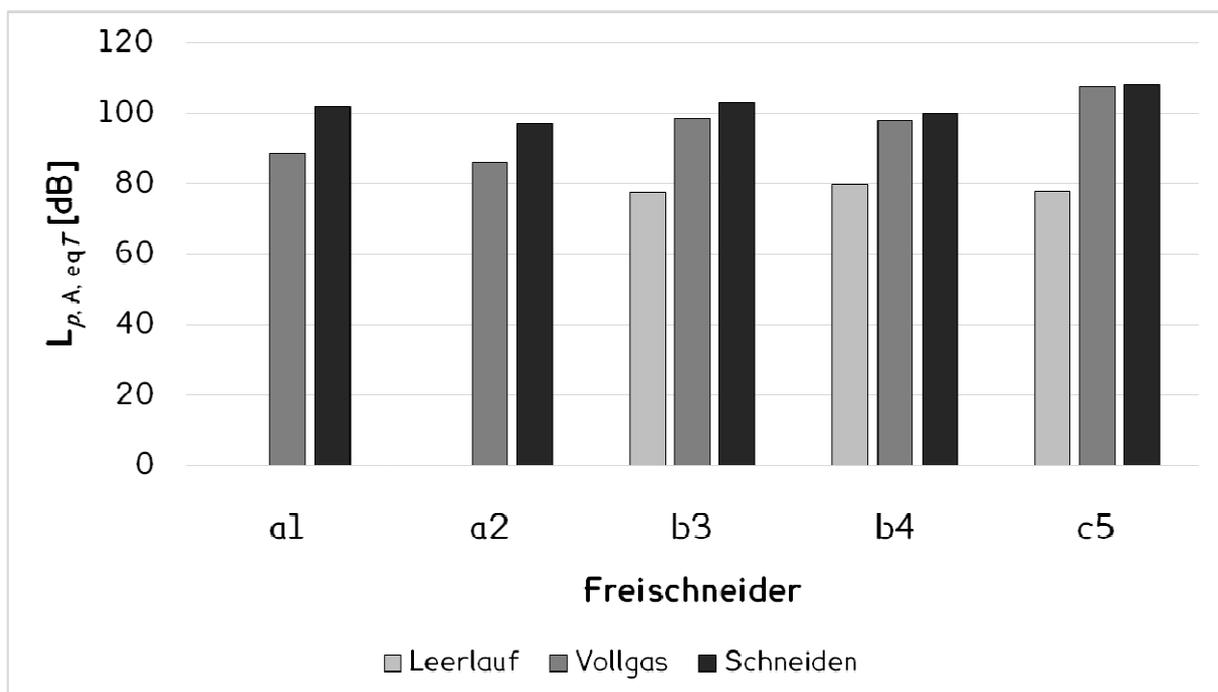


Abbildung 4: A-bewerteter äquivalenter Dauerschallpegel der getesteten Freischneider in den Betriebszuständen „Leerlauf“, „Vollgas“ und „Schneiden“. a1 und a2 sind akkubetriebene, b3 bis c5 sind benzinbetriebene Freischneider.

Deutlichere Unterschiede zwischen den Freischneidern konnten im Betriebszustand „Vollgas“ gemessen werden. Hier erreichten die Akkufreischneider mit 85,9 dB(A) (a2) beziehungsweise 88,8 dB(A) (a1) signifikant geringere Schallpegelwerte als die Benzin-betriebenen Geräte. Die höchste Lärmbelastung wurde auch hier beim stärksten

Testgerät (c5) mit 107,5 dB(A) ermittelt. Im Betriebszustand „Leerlauf“ wiesen alle Benzingeräte ähnliche Dauerschallpegel um 78 dB(A) auf.

Für den Arbeitnehmerschutz kommt dem Auslösewert und dem Grenzwert der Tageslärmmexposition eine entscheidende Bedeutung zu. Abbildung 5 zeigt, dass die Tagesexpositionswerte der Benzin-, aber auch der Akku-betriebenen Freischneider den Expositionsauslösewert von 80 dB(A) sowie den Expositionsgrenzwert von 85 dB(A) - beide bezogen auf einen 8h-Arbeitstag - deutlich übersteigen. Die Verwendung von Präventions- und Schutzmaßnahmen ist somit bei der Verwendung der Geräte in Verbindung mit einem Kreissägeblatt gesetzlich vorgeschrieben. Bei genauerer Betrachtung weisen die Akku-betriebenen Geräte eine ähnliche Tagesexposition wie die leistungsschwächeren Benzin-betriebenen Freischneider auf. Der leistungstärkste Freischneider hebt sich mit einer Tagesexposition von 105 dB(A) deutlich von den anderen getesteten Geräten ab.

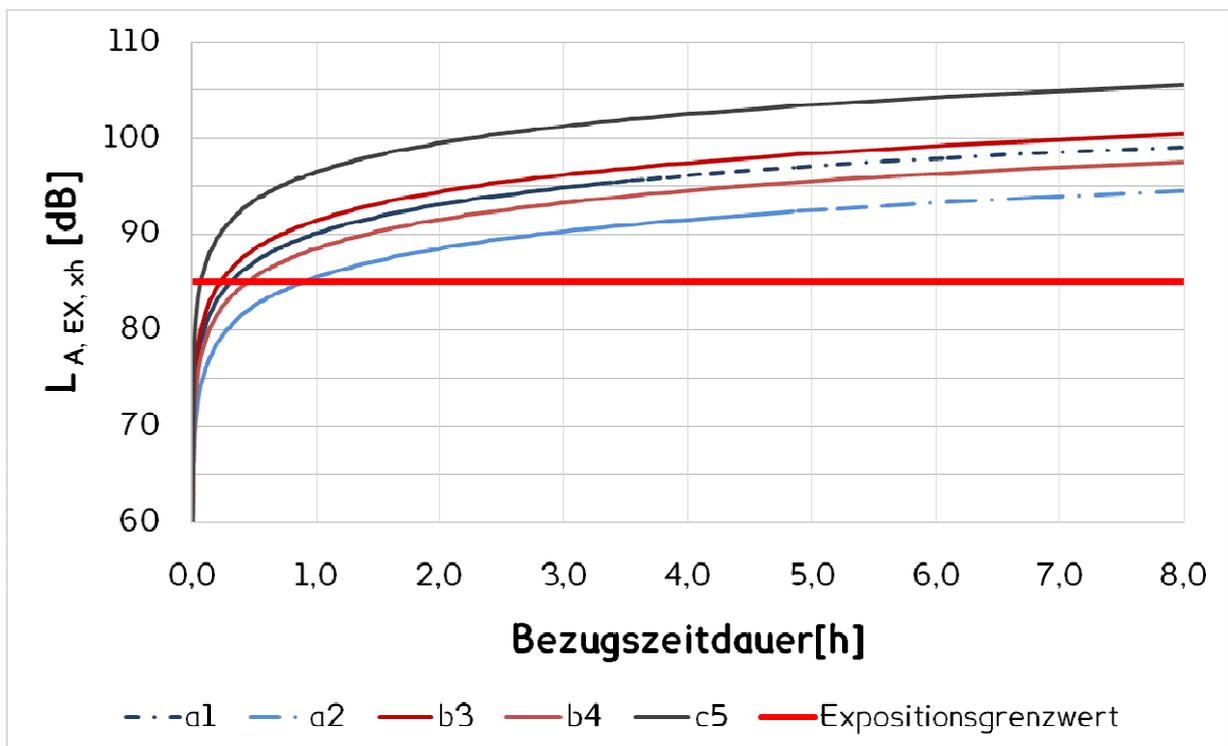


Abbildung 5: A-bewerteter Tagesexpositionswert in Abhängigkeit der Bezugszeitdauer. Die rote Linie entspricht dem Expositionsgrenzwert für einen 8h-Arbeitstag

Eine wesentliche Frage bei der Ursachenforschung für Lärmemissionen stellt die Lokalisierung der primären Schallquelle dar. Bei den Freischneidern ist grundsätzlich zwischen zwei Schallquellen zu unterscheiden: (1) dem Betriebsgeräusch des Antriebsaggregats und (2) dem Schnittgeräusch beim Durchtrennen des Holzes mit dem Schneidwerkzeug.

Der geringe Unterschied des Dauerschallpegels der Benzin-betriebenen Freischneider während der Betriebszustände „Vollgas“ und „Schneiden“ (Abbildung 4) lässt bereits vermuten, dass der vom Verbrennungsmotor emittierte Schalldruck jenem des Schnittgeräuschs nahe kommt, wenn nicht sogar übersteigt. Die Dauerschallpegel der Akku-betriebenen Freischneider weisen zwischen den beiden Betriebszuständen hingegen große Unterschiede auf, was auf das Schnittgeräusch als dominante Schallquelle hinweist.

Eine andere Vorgehensweise zur Ermittlung der primären Schallquelle stellt die Betrachtung des minimalen und maximalen A-bewerteten Schalldruckpegel dar (Abbildung 6 & 7). Bei diesem Ansatz wird angenommen, dass der maximale Schalldruckpegel während des Schneidvorganges auftritt, und somit sowohl das Motorengeräusch, aber auch das Schnittgeräusch beinhaltet. Der minimale Schalldruckpegel wird demnach nur durch das Motorengeräusch im Lastzustand „Vollgas“ verursacht. Je größer die mittlere Differenz der beiden Werte ausfällt, desto höher ist die Dominanz des Schnittgeräusches zu bewerten.

Sowohl Abbildung 6, als auch Abbildung 7 zeigen deutlich, dass der Unterschied zwischen dem minimalen und dem maximalen Schalldruckpegel bei den Akku-betriebenen Freischneidern am deutlichsten ausgeprägt war.

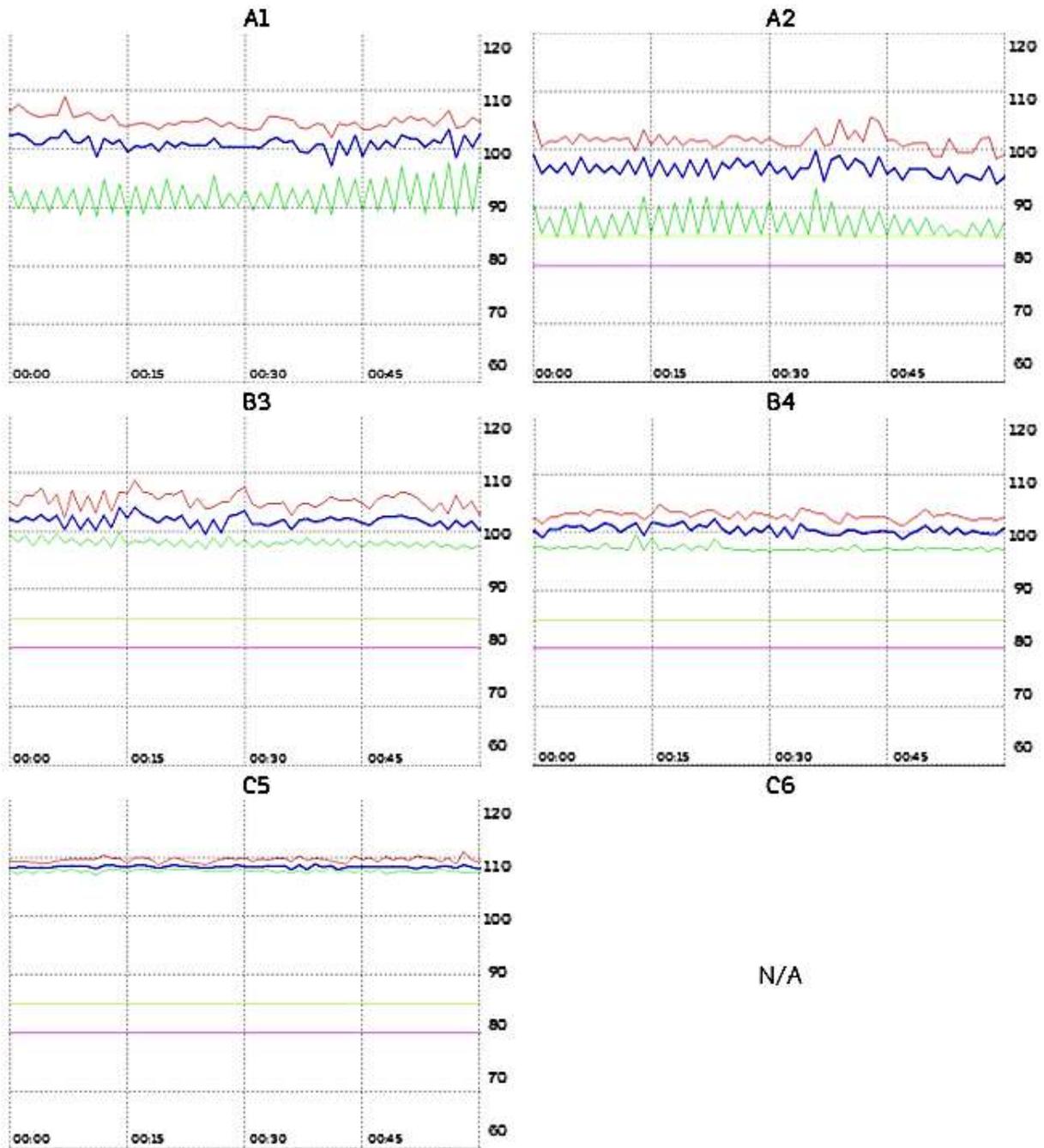


Abbildung 6: Auszüge aus den Messdaten der einzelnen Freischneider (a1 bis c5). Die blaue Linie stellt den A-bewerteten äquivalenten Dauerschalldruckpegel ($L_{pA,eq}$), die grüne Linie den minimalen A-bewerteten Schalldruckpegel ($L_{pA,min}$) und die rote Linie den maximalen A-bewerteten Schalldruckpegel ($L_{pA,max}$) dar.

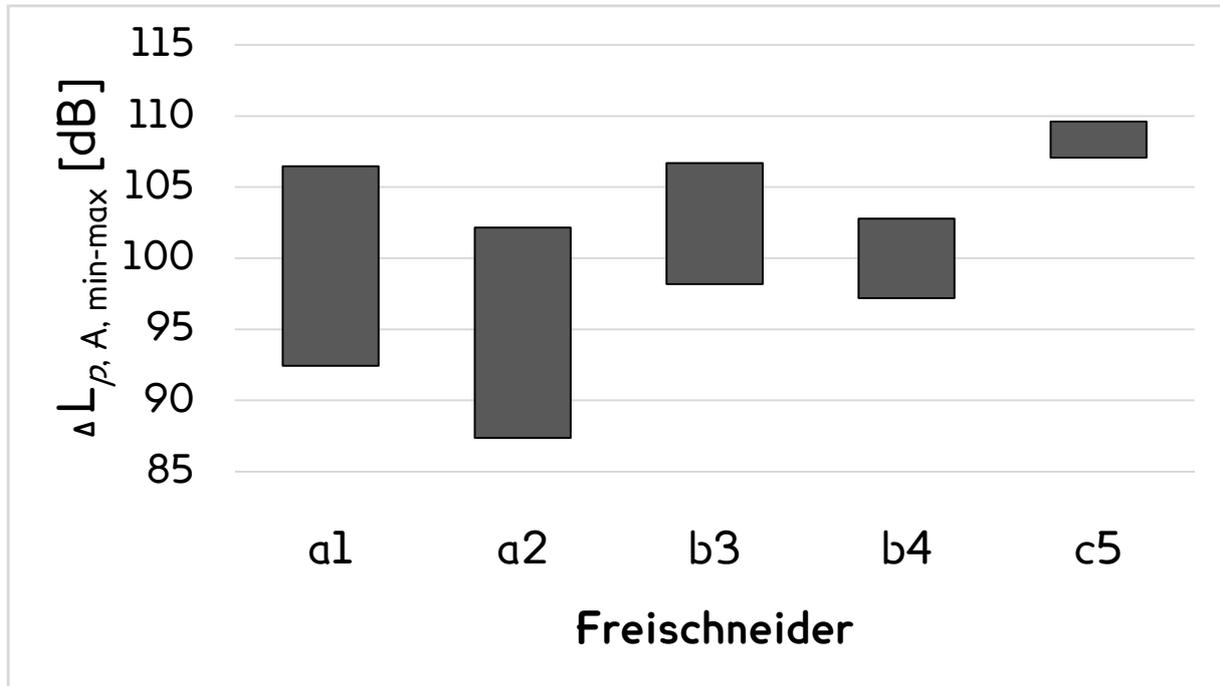


Abbildung 7: Differenz des mittleren minimale Schalldruckpegels und des mittleren maximalen Schalldruckpegels der Freischneider a1-c5.

Treibstoff- und Energieverbrauch

Im Betriebszustand „Schneiden“ konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Akku-betriebenen Freischneidern festgestellt werden (Abbildung 8). Der Akkufreischneider der Marke Stihl wies mit 0,034 kWh pro Zyklus einen etwas geringeren Energieverbrauch als jener der Marke Husqvarna (0,042 kWh) auf.

Die Benzin-betriebenen Freischneider wiesen einen Kraftstoffverbrauch zw. 30 und 53ml/Zyklus auf. Dies entspricht einem Energieverbrauch zwischen 0,28 und 0,50 kWh.

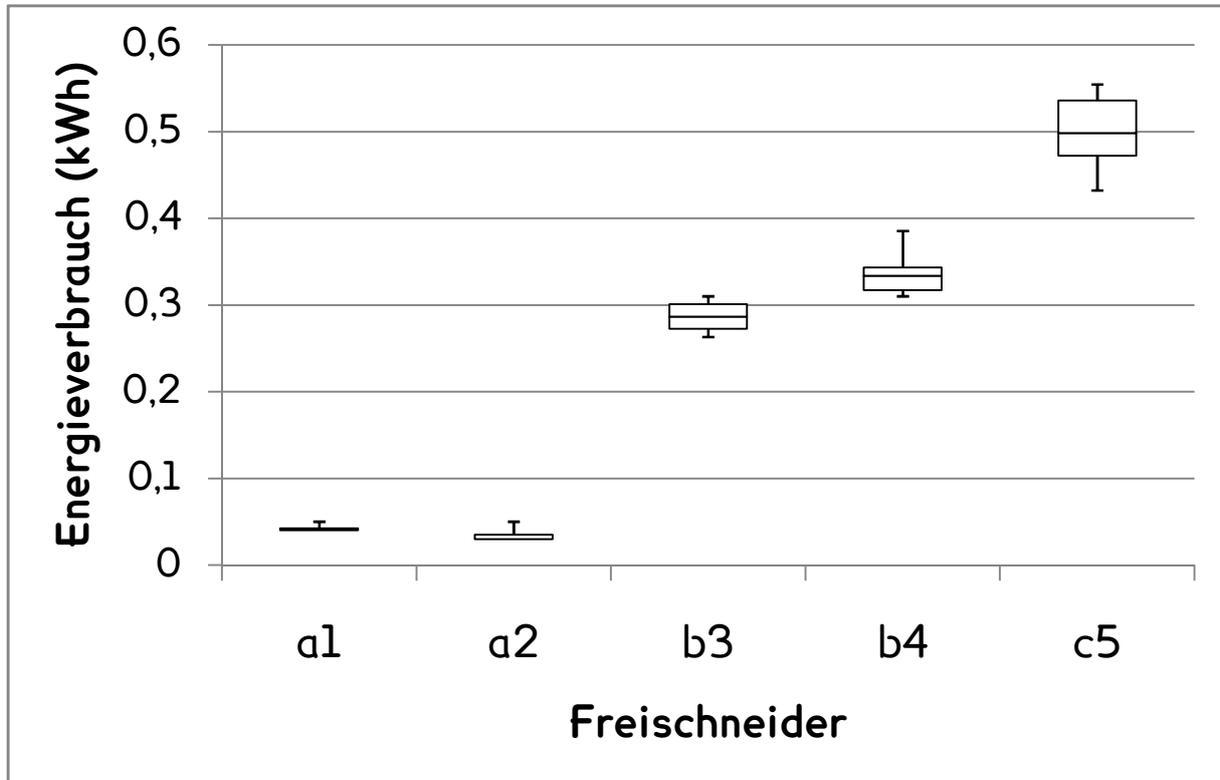


Abbildung 8: Energieverbrauch der getesteten Freischneider pro Testzyklus

Teil 2 -Fallstudie

Methodik

Bestandesbeschreibung und Versuchslayout

Die für die Fallstudie ausgewählte Waldfläche befindet sich in Altmünster in Oberösterreich. Die Fläche weist eine durchschnittliche Hangneigung von 10% auf. Der sich aus Naturverjüngung etablierte, im Durchschnitt 6 Jahre alte Jungbestand weist einen Laubholzanteil von 72% auf. Die Hauptbaumarten sind Buche (70%) und Fichte (26%). Die Ausgangsstammzahl beläuft sich auf durchschnittlich 14,2 Stämme pro Quadratmeter (Messschwelle: 20cm Baumhöhe). Inmitten des Bestandes befindet sich eine jagdliche Schussschneise (violett markiert). Im Zuge der Fallstudie wurde die Schussschneise verbreitert (rot markiert). Auf diesen Flächen wurde im Rahmen des Versuchs der gesamte Bewuchs entfernt (Abbildung 9).

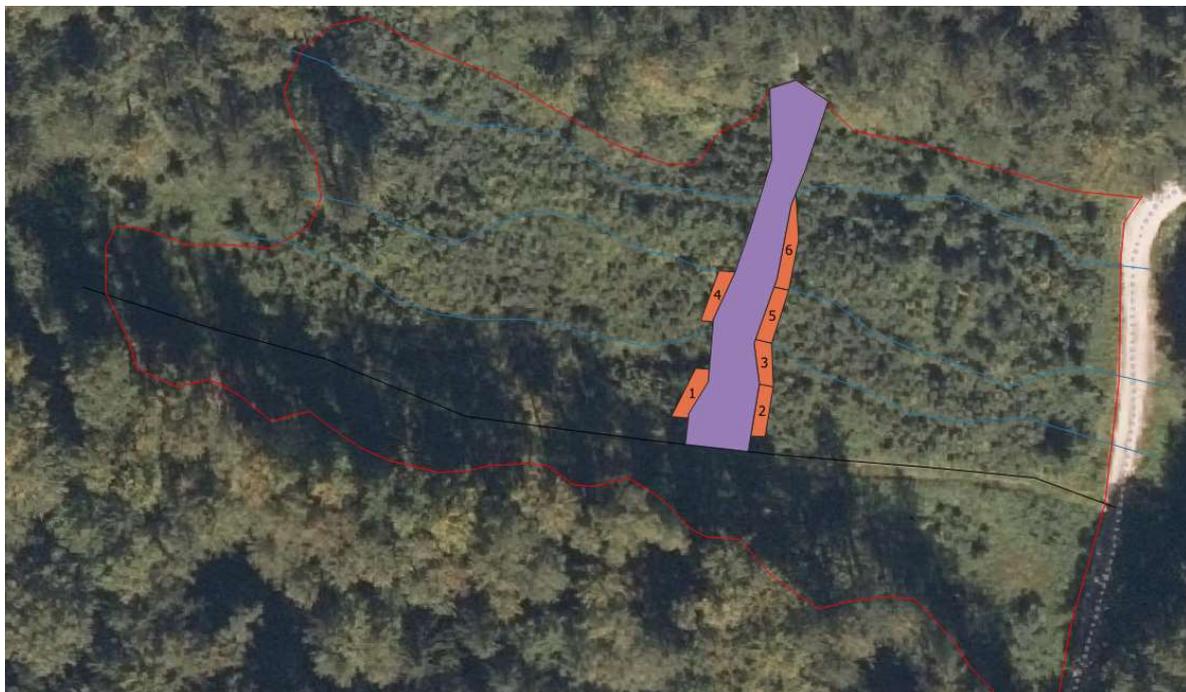


Abbildung 9: Übersicht über die Lage der Versuchsfläche. Der violett markierte Bereich kennzeichnet die bestehende Schussschneise. Die rot markierten Bereiche stellen die untersuchten Erweiterungsbereiche der Schussschneise dar.

Der Erweiterungsbereich der Schussschneise wurde in etwa 6 gleich große Versuchsflächen unterteilt, auf denen im Zuge der Versuche der gesamte forstliche Bewuchs mittels Freischneider entfernt wurde. Der durchschnittliche Stockdurchmesser der entnommenen Bäume, gemessen in 10 cm Höhe über Boden, betrug im Mittel 2,87cm für das Nadelholz und 2,57cm für das Laubholz (Tabelle 4).

Tabelle 4: Bestandesdaten

Versuchsfläche	Laubholzanteil (%)	Durchmesser in 10cm Höhe (cm)	
		Mittelwert	Standardabw.
1	73,4	1,55	1,07
2	80,0	2,20	1,79
3	79,4	2,82	1,85
4	38,5	3,88	1,60
5	65,7	2,00	1,54
6	77,5	3,01	2,11
GESAMT	71,9	2,72	0,92

Versuchsablauf

Für die Entnahme der Bäume in den einzelnen Versuchsabschnitten wurden zwei Freischneider verwendet: Der akkubetriebene Freischneider Husqvarna 535iFR (Versuchsflächen 1, 4 und 5) und der benzinbetriebene Freischneider Husqvarna 535RXT (Versuchsflächen 2, 3 und 6). Beide Freischneider waren mit demselben Kreissägeblatt (22 Meißelzähne, Durchmesser von 200mm) bestückt. Das Schneidwerkzeug wurde vor Beginn der Arbeiten auf einer Versuchsfläche neu geschärft und die Schränkung des Blattes überprüft.

In einem ersten Arbeitsschritt wurde auf jeder Versuchsfläche das Laubholz gefällt. Nach Entfernung der gefällten Laubbäume von der Versuchsfläche erfolgte in einem weiteren Arbeitsschritt die Fällung der bis dahin verbliebenen Nadelbäume.

Datenerhebung

Während der Durchführung der Freischneidearbeiten wurden die Lärmexposition und die Hand-Arm Vibrationsbelastung der Bedienperson gemessen (siehe auch Kapitel Methodik). Um eine tätigkeitsbezogene Zuordnung der Lärm- und Vibrationsdaten sicherzustellen, wurden die Versuche durch eine Zeitstudie begleitet (Tabelle 5).

Tabelle 5: Für die Zeitstudie herangezogene Arbeitstakte.

Arbeitstakt	Einheit	Beschreibung
Freischneiden	min.	Dieser Arbeitstakt beinhaltet alle Tätigkeiten, die dem Arbeitsfortschritt dienen und bei denen der Freischneider mit beiden Händen bedient wird
Verteilzeiten	min.	Dieser Arbeitstakt beinhaltet alle Tätigkeiten während des Versuchs, die dem Arbeitsfortschritt dienen, bei denen aber der Freischneider nicht mit beiden Händen bedient wird (z.B. notwendige Astmanipulation)
U≤15	min.	Unterbrechungen bis zu 15 Minuten
U>15	min.	Unterbrechungen über 15 Minuten

Ergebnisse und Diskussion

Zeitstudie

Insgesamt wurden auf den 6 Versuchsflächen 309 Laubbäume und 116 Nadelbäume gefällt. Die Arbeitszeit ohne Unterbrechungen pro Versuchsfläche betrug im Mittel $5,56 \pm 1,29$ Minuten. 96% der Arbeitszeit wurde für den Arbeitstakt „Freischneiden“ in Anspruch genommen. Die restlichen 4% der Arbeitszeit entfielen auf den Arbeitstakt „Verteilzeiten“, welcher sich hauptsächlich aus notwendigen Astmanipulationsarbeiten zusammensetzt.

Die Produktivität auf den Versuchsflächen betrug im Mittel $0,568 \text{ m}^2/\text{PSH}_0$ (Kreisfläche der gefällten Bäume gemessen in Schnitthöhe – ca. 5 cm) für die Arbeit im Laubholz und $0,516 \text{ m}^2/\text{PSH}_0$ für die Arbeit im Nadelholz (Tabelle 6). Es wird darauf hingewiesen, dass aufgrund der geringen Beobachtungszeit keine fundierten Aussagen über Unterschiede in der Produktivität zwischen den getesteten Geräten getroffen werden können. Die Zeitstudie diente primär der Verschränkung von Lärm- und Vibrationsbelastungsdaten mit den Arbeitstakten.

Tabelle 6: Produktivitätsdaten Freischneider

Versuchsfläche	Produktivität Laubholz		Produktivität Nadelholz	
	Anzahl / PSH ₀			
1	844	0,289	505	0,215
2	1342	0,799	755	0,588
3	699	0,479	421	0,710
4	323	0,564	295	0,342
5	873	0,462	1213	0,532
6	875	0,817	475	0,709

Lärmbelastung des Bedieners

Während des Arbeitstaktes „Freischneiden“ konnte kein Unterschied zwischen den benzin- und akkubetriebenen Freischneidern festgestellt werden (Abbildung 10, links). Auch die Baumart hatte keinen Einfluss auf die Lärmexposition des Bedieners. Der durchschnittliche äquivalente Dauerschallpegel betrug unabhängig von der Antriebsart der Freischneider und der Baumart 95,4 dB(A).

Deutlichere Unterschiede zwischen den beiden Freischneidern konnte während des Arbeitstaktes „Verteilzeiten“ (Abbildung 10, rechts) festgestellt werden. Der benzinbetriebene Freischneider wies mit 81,1 dB(A) einen deutlich höheren Schalldruckpegel als der akkubetriebene Freischneider (66,8 dB(A)) auf.

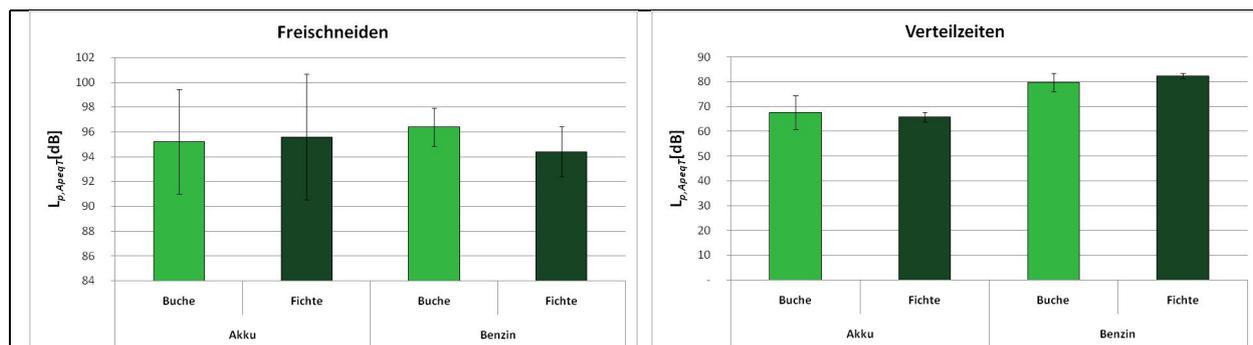


Abbildung 10: Der ermittelte äquivalente Schalldruckpegel der akku- und benzinbetriebenen Freischneider am Ohr des Bedieners während der Freischneidarbeit und während den Verteilzeiten.

Vergleicht man die im Wald ermittelten Lärmbelastungen mit jenen die am Prüfstand ermittelt wurden, fällt auf, dass die Lärmexposition während der Tests am Prüfstand signifikant höher war als jene während des Freischneidens auf der Bestandesfläche.

Vibrationsbelastung des Bedieners

Die Ergebnisse (Abbildung 11) zeigten keinen signifikanten Unterschied in der Vibrationsbelastung beim Freischneiden in Buchen und Fichtenbeständen. Der durchschnittliche Schwingungsgesamtwert (a_{hv}) lag während dieses Arbeitstaktes für Buche bei $3,45\text{m/s}^2$ und für Fichte bei $3,35\text{m/s}^2$.

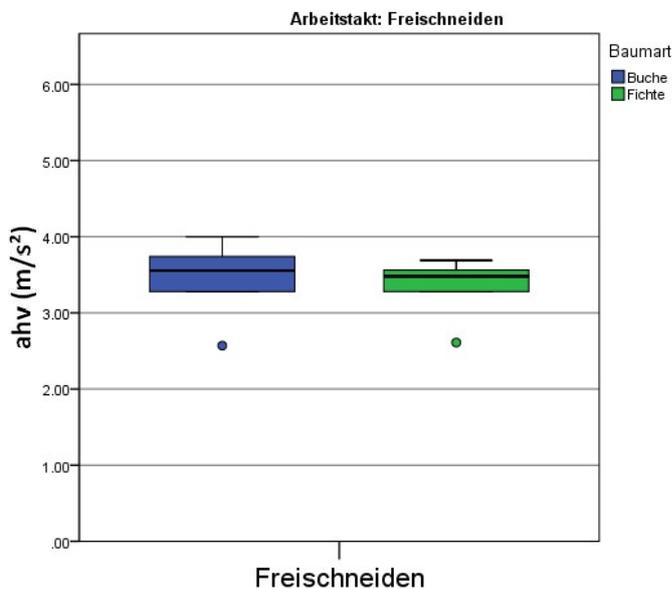


Abbildung 11: Durchschnittlicher Schwingungsgesamtwert der Freischneider bei der Arbeit im Hartholz (Buche) und im Weichholz (Fichte).

Bei der Ermittlung der Tages-Schwingungsbelastung (A_8) wurde eine produktive Arbeitszeit (Tätigkeit Freischneiden) von 55% bezogen auf einen 8h Tag zugrunde gelegt (siehe Tabelle 3). Die restlichen 45% setzen sich aus persönlichen Verteilzeiten (20%) und Leerlaufzeiten (25%) zusammen, wobei in diesem Zeitraum keine Hand-Arm Vibrationsbelastung angenommen wird. Unter oben genannten Voraussetzungen ergibt sich für den Maschinenführer eine Tages-Schwingungsbelastung von $1,37\text{m/s}^2$. Der für Hand-Arm Vibrationen festgelegten Auslösewert ($2,5\text{m/s}^2$) sowie der Expositionsgrenzwert ($5,0\text{m/s}^2$) werden somit während der Freischneidetätigkeit im Gelände nicht überschritten.

Literatur

AUVA (2019): Auszug aus der Statistik 2018. Allgemeine Unfallversicherungsanstalt, 36 Seiten.

EU Richtlinie RED II (2018). Richtlinie 2018/2001/EU des Europäischen Parlaments und des Rates zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen: RED II, vom 11.12.2018.

International Organization for Standardization. (2001). Mechanical vibration - Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration General requirements.(ISO Standard No. 5349-1:2001).

International Organization for Standardization. (2009). Acoustics - Determination of occupational noise exposure - Engineering method. (ISO Standard No. 9612:2009).

International Organization for Standardization. (2010). Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration - Part 1: General requirements - Amendment 1. (ISO Standard No. 2631-1:2010).

International Organization for Standardization. (2021a). Mechanical vibration and shock - Mechanical mounting of accelerometers (ISO Standard No. 5348:2021).

International Organization for Standardization. (2021b). Forestry and gardening machinery - Vibration test code for portable hand-held machines with internal combustion engine - Vibration at the handles. (ISO/FDIS Standard No. 22867:2021).

Packer N. (2011). A beginner's guide to energy and power. Faculty of Computing, Engineering and Technology, Stafford, UK.