



Eidg. Forschungsanstalt für Wald,
Schnee und Landschaft WSL

AUTOMATISIERTE ARBEITSZEITERFASSUNG BEI DER MOTORMANUELLEN HOLZHAUEREI

Schlussbericht



Zusammenfassung

Die Holzernte ist der wesentlichste Kostenfaktor in der Waldbewirtschaftung. Um die Wirtschaftlichkeit eines Forstbetriebes zu gewährleisten, braucht es verlässliche Kalkulationsgrundlagen für Leistung und Kosten der Holzerntearbeiten. Die Beschaffung der Grundlagendaten mittels händischer Zeitstudien ist heute aus Zeit- und Kostengründen kaum mehr möglich. Es stellte sich deshalb die Frage, ob sich die Prozesszeiten der Holzhauerei mit der Motorsäge automatisiert aufzeichnen lassen, so wie das auf grossen Holzerntemaschinen mittels Bordcomputer bereits möglich ist.

Mittels Sensortechnologie sollten die Zeiten für die produktiven Prozesse Fällen und Entasten/Einschneiden sowie die unproduktiven Zeiten wie Störungen, Pausen etc. pro Baum automatisiert erfasst werden. Die erfassten Messwerte sollten so aufbereitet und zusammengestellt werden, dass sie mit gängiger Software statistisch ausgewertet werden können. Den erfassten Zeiten pro Baum ist das Volumen des Baumes als wichtigste Bezugsgrösse zuzuordnen.

Der erste Prototyp des Messsystems war dreiteilig ausgelegt: Motorsägenmodul, Arbeitermodul und GPS-Datenlogger. Die zeitliche Synchronisierung der verschiedenen Messsignale war aufwendig, ebenso das Anbringen der Sensoren am Motorsägenführer. Die technische Machbarkeit konnte aber schon nachgewiesen werden. Im Hinblick auf den Praxiseinsatz wurde der zweite Prototyp des Messsystems wesentlich optimiert ausgelegt, wobei auch die Anforderungen an den Detaillierungsgrad der gemessenen Daten reduziert wurden.

Der zweite Prototyp besteht nur noch aus einem Modul, welches auf dem Luftfilterdeckel der Motorsäge befestigt wird. Der im Modul montierte Beschleunigungssensor erfasst die Auslenkungen der Motorsäge. Um die Beschleunigungswerte bei der Auswertung einem bestimmten Baum zuzuordnen, wird vom Motorsägenführer vor dem Fällen eine zuvor auf dem Baum aufgesprayte Nummer am Modul eingegeben. Alle Messdaten werden auf dem eingebauten Datenlogger gespeichert.

Mit Feldtests im Forstbetrieb der Korporation Wollerau konnte nachgewiesen werden, dass die sensorgestützte Arbeitszeiterfassung bei der motormanuellen Holzhauerei machbar ist. Die Trennung der Arbeitsprozesse "Fällen" und "Entasten/Einschneiden" ist zuverlässig möglich (mit wenigen Ausnahmen bei Bäumen mit kleinem Bruthöhendurchmesser), die produktiven und unproduktiven Zeiten werden aufgezeichnet und das Auswertungsprogramm ermittelt die produktiven Zeiten und stellt sie übersichtlich zusammen. Zwischen der während der Feldtests parallel geführten händischen Zeitstudie und der automatisierten Arbeitszeiterfassung betrugen die Abweichungen in der Regel weniger als 3 %. Die Datenerfassungsbox auf der Motorsäge behinderte den Sägenführer bei seiner Arbeit nicht und die Hardware war den rauen Einsatzbedingungen gewachsen.

In einem nächsten Schritt soll der Prototyp einem länger dauernden Praxistest unterzogen werden, bei dem Daten über mehrere Holzschläge erhoben werden. Dabei kann gleichzeitig auch die eigenständige Handhabung des Messsystems durch einen Forstbetrieb über mehrere Tage getestet werden. Aus heutiger Sicht sehen wir die Nutzung des Messsystems vor allem im wissenschaftlichen Bereich bei Instituten und Lehranstalten, die sich mit Holzerntefragen befassen.

Zitierung

Hochschule für Technik, Rapperswil, Institut für Mechatronik und Automatisierungstechnik; Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf, 2014: Automatisierte Arbeitszeiterfassung bei der motormanuellen Holzhauerei. Schlussbericht, 24.S.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	5
2	Projektablauf, erster Prototyp	7
3	Automatisierte Arbeitszeiterfassung	10
3.1	Anzeichnen der Bäume	11
3.2	Datenerfassungsbox.....	12
3.3	Auswertung der Daten	15
3.4	Auswertungsprotokoll	18
4	Feldtest der automatisierten Arbeitszeiterfassung	20
4.1	Anzeichnungsprotokoll.....	20
4.2	Fällen der Bäume und Aufzeichnen der Daten.....	20
4.3	Auswertung der aufgezeichneten Daten	21
4.4	Vergleich händische Zeitstudie / automatisierte Arbeitszeiterfassung	21
4.5	Ergebnisse automatisierte Arbeitszeiterfassung.....	22
5	Ausblick	23

1 Einleitung

Problem der Arbeitszeit- erfassung bei der Holzernte

Die Kosten der Waldwirtschaft werden massgeblich durch die Holzernte bestimmt. Deren Anteil an den Gesamtkosten eines Forstbetriebes betragen zwischen 40 und 60 Prozent. Die Kostenkalkulationen der Holzerntearbeiten sind ein wichtiges Mittel, um die Wirtschaftlichkeit des Betriebes zu gewährleisten. Dazu bedarf es verlässlicher Kalkulationsgrundlagen. Sollen diese exakt hergeleitet werden, müssen der Zeitbedarf der Holzernte und dessen wichtigste Einflussfaktoren in der Praxis erfasst werden. Allerdings lassen sich diese mittels händisch durchgeführter Zeitstudien nur mit einem hohen Arbeitsaufwand und entsprechend hohen Kosten erheben. Es ist daran zu erinnern, dass sich die Kosten für die Erstellung von Holzerntetarifen bzw. Produktivitätsmodellen auf der Grundlage von Zeitstudien, wie sie vor vielen Jahren v.a. in Deutschland, aber auch in der Schweiz durchgeführt wurden, auf mehrere Millionen Schweizer Franken beliefen.

Es stellt sich daher die Frage, ob sich der Zeitbedarf von Holzernteprozessen mit Hilfe der heutigen Informationstechnik automatisiert aufnehmen lässt und dadurch der hohe Aufwand händischer Zeitstudien verringert werden kann. Von besonderem Interesse ist dabei die motormanuelle Holzhauerei mit der Motorsäge,

- weil die entsprechenden Kalkulationsgrundlagen (Richtwerttabellen für die Holzhauerei 1978, Holzernte-Produktivitätsmodelle HeProMo 2003) für die Schweiz veraltet sind und aktuelle Leistungsdaten fehlen,
- weil die motormanuelle Holzhauerei in der Schweiz bedingt durch das schwierige Gelände und die kleinteilige Bewirtschaftungsstruktur grosse Bedeutung hat und auch noch in Zukunft haben wird und
- weil kleine handgeführte Geräte wie die Motorsäge zumindest derzeit noch wenig Automatisierungstechnologie beinhalten und sich hier nicht wie bei grossen Holzerntemaschinen Daten und insbesondere auch Prozesszeiten via Bordcomputer verhältnismässig einfach abgreifen bzw. ermitteln lassen.

Zielsetzung der Untersuchung

Vor diesem Hintergrund war es das Ziel dieser Untersuchung, einen methodischen Ansatz zu entwickeln, um mittels moderner Sensortechnologie die Zeitdauer der verschiedenen Tätigkeiten bei der motormanuellen Holzhauerei automatisiert zu erfassen. Es sollten sowohl die produktiven Prozesse – Fällen, Entasten und Einschneiden – als auch die unproduktiven Prozesse wie z.B. Störungen identifiziert und deren Zeitdauer ermittelt werden. Hierzu galt es, ein Messgerät und eine Auswertungssoftware zu entwickeln und in der Praxis zu testen.

Projektgruppe Am Projekt waren folgende Institutionen und Mitarbeiter beteiligt:

Hochschule für Technik Rapperswil
Institut für Mechatronik und Automatisierungstechnik:
Prof. Heinz Domeisen
Lukas Lengacher (Messsystem 1. Phase)
Samuel Kernwein (Messsystem 2. Phase)

Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, Birmensdorf
Forschungsgruppe Forstliche Produktionssysteme:
Dr. Oliver Thees
Dr. Renato Lemm
Fritz Frutig

Forstbetrieb Korporation Wollerau (Feldtests)
Rolf Wigger (Betriebsleiter)
Carlo Bott, Timon Inderbitzin, Ivan Uhr (Motorsägenführer)

Finanzierung Das Projekt (Nr. 2010.08) wurde durch das Bundesamt für Umwelt BAFU aus dem Fonds zur Förderung der Wald- und Holzforschung unterstützt.

2 Projektablauf, erster Prototyp

Analyse in Bachelorarbeit

In einem ersten Schritt wurde die technische Machbarkeit der sensorgestützten Erfassung von Leistungsdaten bei der motormanuellen Holzhauerei anhand eines Prototypen überprüft und im Hinblick auf eine effiziente Erstellung von Holzernteproduktivitätsmodellen, wie z.B. HeProMo der WSL, beurteilt. In der ersten Hälfte des Jahres 2012 konnte im Rahmen einer Bachelorarbeit an der HSR von Lukas Lengacher unter der Leitung von Prof. Heinz Domeisen und mit Betreuung der WSL-Forschungsgruppe Forstliche Produktionssysteme die Machbarkeit der sensorgestützten Aufnahme von Leistungsdaten bei der motormanuellen Holzhauerei grundsätzlich nachgewiesen werden.

Ziel der Bachelorarbeit war, ein Messsystem zu entwickeln und zu testen, welches in der Lage ist, bei der motormanuellen Holzhauerei die Dauer der verschiedenen Arbeitsprozesse (Fällen, Entasten, Wegzeiten etc.) sowie leistungsbestimmende Einflussgrößen zu erfassen. Dazu wurde der Holzernteprozess in verschiedene Teilprozesse zerlegt und die jeweiligen Arbeitsschritte des Motorsägenführers aufgelistet. Danach wurde nach möglichen Sensorsystemen gesucht, mit welchen diese Aktivitäten erfasst und voneinander abgegrenzt werden konnten. Das Messsystem sollte möglichst kompakt und leicht sein und dem rauen Einsatz bei der Forstarbeit genügen (Schläge, Vibrationen, Nässe, Kälte etc.). Weitere wichtige Anforderungen waren, dass das System Daten über einen ganzen Arbeitstag speichern konnte und die Akku-Kapazität ebenfalls für einen ganzen Arbeitstag ausreichen sollte.

Erster Prototyp eines Messsystems

Aus drei verschiedenen Lösungsvarianten wurde mittels einer Nutzwertanalyse die am besten geeignete Variante evaluiert. Diese bestand aus drei verschiedenen Modulen (*Abb. 1*):

- (1) Motorsägenmodul: Das Messsystem auf dem Luftfilterdeckel der Motorsäge zeichnet die Bewegungen der Säge (Beschleunigungssensor x-, y- und z-Achse) sowie den Betriebszustand des Motors (Geräuschpegel) auf. Zusätzlich wird die von Hand eingegebene Baumnummer gespeichert.
- (2) Arbeitermodul: Das Messsystem auf der arbeitenden Person zeichnet mittels Beschleunigungssensoren die Bewegungen der Beine und des Oberkörpers auf. Daneben werden der Puls und meteorologische Daten (Temperatur, Luftdruck und Luftfeuchtigkeit) erfasst.
- (3) GPS-Datenlogger: Dieser zeichnet die Position der arbeitenden Person, ihre Bewegungsgeschwindigkeit sowie die Höhe über Meer auf.



Abb. 1 Das Messsystem im praktischen Einsatz (gelb = Arbeitermodul, rot = Motorsägenmodul)

Als besondere Herausforderung erwies sich die Synchronisierung der verschiedenen Logdateien. Diese mussten mit einem Zeitstempel versehen werden. Mit einem eigens entwickelten Programm wurden die Zeitstempel der Logdateien synchronisiert. Dann konnten die Logdateien zusammengeführt und gemeinsam mit den Daten aus dem Anzeichnungsprotokoll in eine Excel-Tabelle geschrieben werden, wo sie für die weitere Verarbeitung zur Verfügung stehen.

Folgerungen aus dem Test

Aus dem Praxiseinsatz in einem Holzschlag der Korporation Wollerau im Frühjahr 2012 wurden folgende Schlüsse gezogen:

- Die sensorgestützte Aufnahme von Leistungsdaten bei der motormanuellen Holzhauerei ist mit dem gewählten Vorgehen machbar.
- Die einzelnen Prozessschritte, wie Fällen, Entasten und Einschneiden können grundsätzlich erfasst werden, eine Optimierung ist noch nötig. Bei einzelnen Prozessen ergaben sich noch grosse Abweichungen zu den Daten aus der parallel durchgeführten konventionellen Zeitstudie.
- Das Messsystem ist nach Aussage des Motorsägenführers so ausgelegt und installiert, dass es ihn bei seiner Arbeit weder behindert noch gefährdet.
- Einzelne Sensoren lieferten fehlerhafte oder unvollständige Daten, u.a. der GPS-Datenlogger (Abschirmung durch die Bäume) und der Pulsmesser (heikle Montage am Körper).
- Im Hinblick auf einen Einsatz in grösserem Umfang und in verschiedenen Forstbetrieben wäre es von Vorteil, die Handhabung des Messsystems zu vereinfachen.

Zweiter Prototyp eines Messsys- tems

Anhand der Erkenntnisse aus dem Bau des Messsystems, dem Praxistest und der Aufbereitung der erhobenen Daten wurden in einem zweiten Schritt in der Zeit von Herbst 2013 bis Frühjahr 2014 die zu erfassenden Arbeitsphasen neu definiert, das Messsystem auf die für die Zeitmessung minimal notwendigen Sensoren reduziert und ein Programm zur tabellarischen Darstellung der erhobenen Messwerte erstellt. Neu sollten nur noch die Arbeitsprozesse Fällen und Entasten/Einschneiden unterschieden werden, sowie alle restlichen Zeiten als „Übrige Zeiten“ erfasst werden. Das neue Messsystem wird in Kapitel 3 ausführlich beschrieben.

Die technische Realisierung erfolgte wiederum unter der Leitung von Prof. Heinz Domeisen – Hochschule für Technik Rapperswil, Institut für Mechatronik und Automatisierungstechnik – durch seinen Assistenten Samuel Kernwein unter Begleitung der Forschungsgruppe Forstliche Produktionssysteme der WSL.

3 Automatisierte Arbeitszeiterfassung

Anforderungen

Mit der automatisierten Arbeitszeiterfassung wird die Arbeitszeit des Motorsägenführers ermittelt. Diese wird bei der Auswertung den einzelnen Bäumen aus der Anzeichnung zugeordnet. Während dem Fällen und Entasten des Baumes werden mit der Datenerfassungsbox die Beschleunigungen der Motorsäge gemessen. Mit dem Auswertungsprogramm werden danach folgende Arbeitszeiten des Motorsägenführers bestimmt:

- Arbeitszeit des Motorsägenführers am stehenden Baum (PSH_{15})
- Arbeitszeit des Motorsägenführers am liegenden Baum (PSH_{15})

PSH_{15} bedeutet, dass bei der Arbeitszeit jeweils die „Produktive Systemzeit“ inklusive Unterbrechungen bis zu 15 Minuten angegeben wird. Dies bedingt, dass alle Unterbrechungen grösser 15 Minuten von der erfassten Arbeitszeit abgezogen werden. Während diesen Unterbrechungen wird die Motorsäge nicht benützt.

Arbeitszeit am stehenden / liegenden Baum

Die Arbeitszeit am stehenden Baum beinhaltet alle Arbeitsschritte, bevor der Baum gefällt ist. Dies sind die Vorbereitungen am Baum und das Fällen des Baumes. Die Arbeitszeit am liegenden Baum beinhaltet die restlichen Arbeitsschritte, sobald der Baum am Boden liegt. Dies sind das Entasten und Einschneiden des Baumes, das Abschliessen der Arbeit am Baum, das Gehen zum nächsten Baum sowie das Tanken der Motorsäge.

Um die Arbeitszeit am stehenden und liegenden Baum zu ermitteln, muss der Trennpunkt zwischen dem Fällen und Entasten bestimmt werden.

BHD, Baumart, Volumen [Fm]

Vor dem Fällen eines Baumes wird vom Förster der BHD (Brusthöhen-durchmesser) gemessen und das Volumen in Festmetern [Fm] bestimmt. Diese Angaben werden im Anzeichnungsprotokoll gespeichert. Bei der Auswertung wird die mit der Datenerfassungsbox ermittelte Arbeitszeit des Motorsägenführers dem jeweiligen Baum im Anzeichnungsprotokoll zugeordnet.

Realisierung

Für die Realisierung wird die automatisierte Arbeitszeiterfassung in drei Phasen unterteilt: Das Anzeichnen der Bäume durch den Förster, das Erfassen der Arbeitszeit des Motorsägenführers mit der Datenerfassungsbox sowie das Auswerten der Daten mit dem Auswertungsprogramm.

3.1 Anzeichnen der Bäume

Bäume markieren

Das Anzeichnen der zur Nutzung vorgesehenen Bäume (*Abb. 2*) wird in der Regel vom Förster durchgeführt und beinhaltet das Markieren der Bäume mit einer Nummer sowie das Erstellen des Anzeichnungsprotokolls.

Für das Anzeichnungsprotokoll (*Tabelle 1*) werden die Baumart, der BHD, sowie die Geländeneigung des jeweiligen Baumes erfasst. Ebenfalls können im Protokoll noch sonstige Erschwernisse, z.B. viel Unterholz, schwieriges Fällen etc., eingegeben werden.

Die auf dem Baum aufgesprayte Nummer wird jeweils vor dem Fällen des Baumes vom Motorsägenführer an der Datenerfassungsbox eingegeben. Damit wird sichergestellt, dass bei der Datenauswertung die ermittelte Arbeitszeit pro Baum korrekt dem Anzeichnungsprotokoll zugeordnet werden kann. Die Reihenfolge der zu fallenden Bäume kann vom Motorsägenführer frei gewählt werden.



Abb. 2 Beispiel Anzeichnung Baum

Anzeichnungs- protokoll

Forstbetrieb	Holzschlag	Motorsägenführer	Datum Anzeichnung	Baumnummer	Baumart	BHD [cm]	Volumen [Fm]	Gelände	Erschwernisse
Wollerau	C2	Carlo	26.02.2014	1	Fichte	35	0.98	steil	
				17	Fichte	40	1.35	eben	
				20	Fichte	51	2.40	eben	
				29	Fichte	81	6.25	eben	
				33	Fichte	41	1.43	steil	
				58	Buche	21	0.28	eben	
				62	Buche	28	0.60	eben	
				75	Fichte	40	1.35	eben	
				81	Fichte	40	1.35	eben	
				94	Fichte	33	0.85	eben	

Tabelle 1 Anzeichnungsprotokoll

Anm.: Das Volumen [Fm] wurde anhand des BHDs berechnet.

Quelle: Massentafel des Kantons Luzern, Tarif III (mittleres Holz), publiziert in Schweizerischer Forstkalender 2013, S.190.

3.2 Datenerfassungsbox

Erfassen der Daten

Mit der Datenerfassungsbox (Abb. 3) werden die Arbeitsschritte des Motorsägenführers erfasst. Während der Datenerfassung ist die Box auf dem Luftfilterdeckel der Motorsäge montiert. Dabei werden die Beschleunigungen der Motorsäge gemessen und die auf dem Baum aufgesprayte Nummer vom Motorsägenführer eingegeben und gespeichert.



Abb. 3 Datenerfassungsbox

Aus den gespeicherten Daten wird bei der Auswertung ermittelt, wie lange der Motorsägenführer für das Fällen und wie lange für das Entasten eines Baumes benötigt. Mit der Nummer wird erkannt, an welchem Baum der Motorsägenführer gerade arbeitet.

Die Box besteht aus einem wasserdichten Gehäuse, Eingabeschalter für die Baumnummer, einem Taster um die Baumnummer zu bestätigen sowie zwei LEDs als Statusrückmeldung. Die weisse LED zeigt an, ob die Box eingeschaltet ist und die blaue LED, ob die Baumnummer erfolgreich abgespeichert wurde. Die Datenerfassungsbox kann ohne Unterbrechung einen Tag lang betrieben werden.

Innenansicht der Datenerfassungsbox

In der Datenerfassungsbox (Abb. 4) befinden sich ein Zwei-Achsen Beschleunigungssensor (1) für das Erfassen der Vibrationen der Motorsäge, Akkus (2) mit einem Spannungsregler (3) für eine konstante Versorgung sowie ein Datenlogger (4) für das Abspeichern der Daten. Die Datenerfassung kann über einen Schalter (5) gestartet und gestoppt werden.

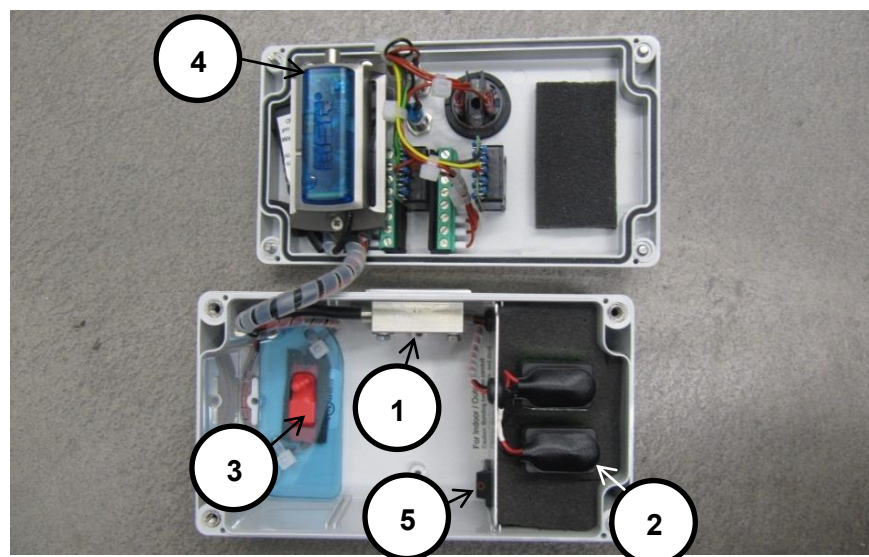


Abb. 4 Innenansicht Datenerfassungsbox

Technische Daten der Box

Die Datenerfassungsbox und die darin eingesetzten Komponenten haben folgende technische Daten:

Gesamtgewicht inkl. Luftfilterdeckel der Motorsäge	0.740 kg
Dimensionen ohne Luftfilterdeckel, inkl. Bedienelemente (L x B x H)	160 x 92 x 74 mm
Akkus (2x)	9 VDC
Spannungsregler	10 VDC
Messbereich Beschleunigungssensor (x, y)	± 1.7 g
Abtastrate Datenlogger MSR160	128 Hz
Datenspeicher	4 GB

Datenlogger

Für das Abspeichern der Messdaten wird der Datenlogger MSR160 (Abb. 5) eingesetzt. Dieser hat vier analoge Eingänge und speichert die Messwerte auf einer micro-SD-Karte ab. Die Datenaufzeichnung wird jeweils über den Schalter in der Box gestartet oder gestoppt.



Abb. 5 MSR160 Datenlogger

Abspeichern der Baumnummer

Die Baumnummer wird über zwei Ziffernschalter an der Box eingestellt (Abb. 6). Am linken Eingabeschalter werden die Zehner und am rechten die Einer der Nummer eingegeben. Mit anschliessendem Betätigen des Tasters „Nr. bestätigen“ wird die Nummer als Spannungswert auf dem Datenlogger abgespeichert.



Abb. 6 Eingabe der Baumnummer

Beschleunigungs- sensor

Die Vibrationen der Motorsäge werden mit einem Zwei-Achsen-Beschleunigungssensor (x, y) erfasst (Abb. 7).

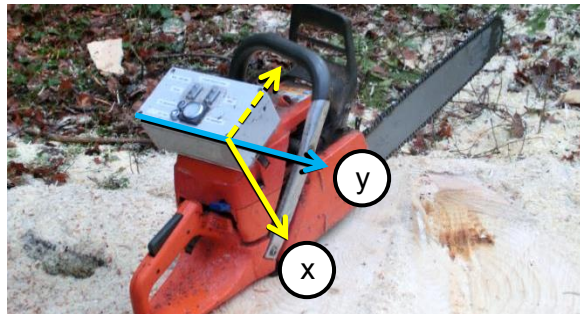


Abb. 7 Motorsäge mit Datenerfassungsbox

Die x-Achse erfasst die auf das Sägeblatt wirkenden Vibrationen. Bei der Auswertung wird ermittelt, ob die Motorsäge in Betrieb ist oder nicht. Die y-Achse des Sensors dient dazu, die Lage der Motorsäge zu detektieren. Dies ermöglicht, den Zeitpunkt des Fällschnitts zu ermitteln. In Kombination mit der x-Achse wird der Trennpunkt ermittelt, bei dem mit dem Entasten des Baumes begonnen wurde.

Ablauf der Daten- erfassung

Für eine korrekte Datenerfassung ist vom Motorsägenführer folgender Ablauf einzuhalten:

1. Montieren und Einschalten der Datenerfassungsbox am Werkhof
2. Aufgesprayte Baumnummer eingeben und bestätigen, bevor mit der Arbeit am Baum begonnen wird
3. Fällen des Baumes
4. Entasten des Baumes
5. Gehen zum nächsten Baum und evtl. Tanken der Motorsäge
6. Schritte 2 bis 5 wiederholen
- ...
7. Nummer 99 eingeben, wenn der letzte Baum gefällt wurde

Problem während der Arbeit am Baum

Wenn während der Arbeit an einem Baum ein Problem auftritt (z.B. Motorsäge defekt), kann der Motorsägenführer die Nummer 00 an der Datenerfassungsbox eingeben. Im Auswertungsprotokoll wird der Zeitpunkt der Eingabe beim entsprechenden Baum angezeigt. Dies erlaubt bei der statistischen Auswertung der Bäume die ermittelte Arbeitsdauer kritisch zu betrachten. Nach der Eingabe der Nummer 00 und Beheben des Problems kann der Motorsägenführer am Baum weiterarbeiten oder bei Bedarf eine neue Baumnummer eingeben.

3.3 Auswertung der Daten

Datenlogger

Nach dem Fällen und Entasten der Bäume wird die Datenerfassungsbox ausgeschaltet und die Speicherkarte des Datenloggers ausgelesen. Die Auswertung wird danach mit dem dazu entwickelten Auswertungsprogramm durchgeführt.

Auswertungsprogramm

Mit dem Auswertungsprogramm (Abb. 8) werden die Messdaten der Datenerfassungsbox ausgewertet und mit dem Anzeichnungsprotokoll kombiniert.

Das Programm ermittelt die Arbeitszeit pro Baum und den Trennpunkt zwischen dem Fällen und Entasten. Dies ermöglicht, die Arbeitszeit am stehenden und liegenden Baum zu bestimmen. Zudem werden alle Unterbrechungen grösser 15 Minuten bestimmt und von der Arbeitszeit abgezogen. Das Ergebnis ist in Produktiven System Stunden inkl. Unterbrechungen bis 15 Minuten angegeben (PSH₁₅).

Die Resultate (Abb. 9) werden im Auswertungsprotokoll eingetragen und abgespeichert.

Starten der Auswertung

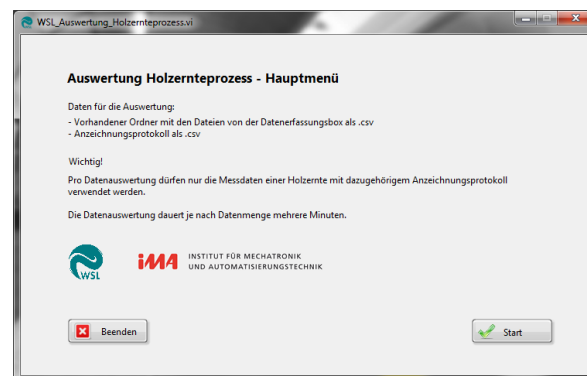


Abb. 8 Hauptmenü der Datenauswertung

Datenauswertung abgeschlossen

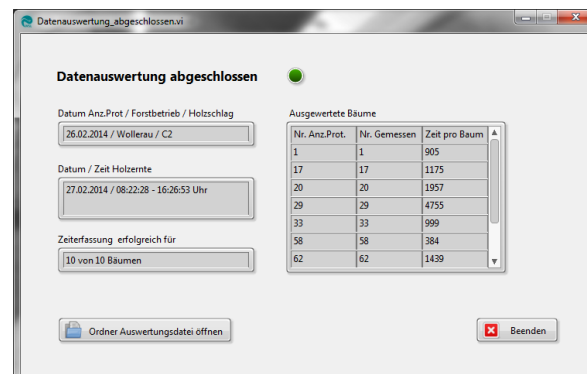


Abb. 9 Kurzüberblick der Auswertung

3.3.1 Ermitteln des Trennpunktes

Trennpunkt ermitteln

Als Trennpunkt (*Abb. 11*) ist der Start des Entastens definiert. Dieser unterteilt die Arbeitszeit des Motorsägenführers in die Arbeitszeit am stehenden und am liegenden Baum. Um den Trennpunkt zu bestimmen werden die erfassten Beschleunigungen der Motorsäge ausgewertet (*Abb. 10*).

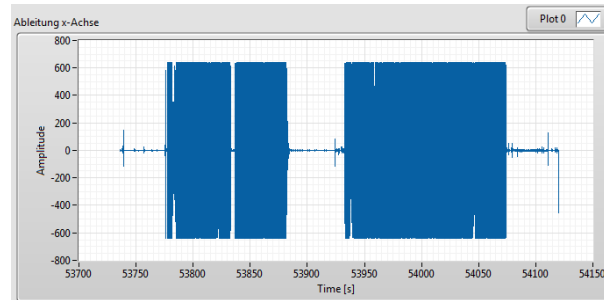


Abb. 10 Aufbereitete Werte Beschleunigungssensor

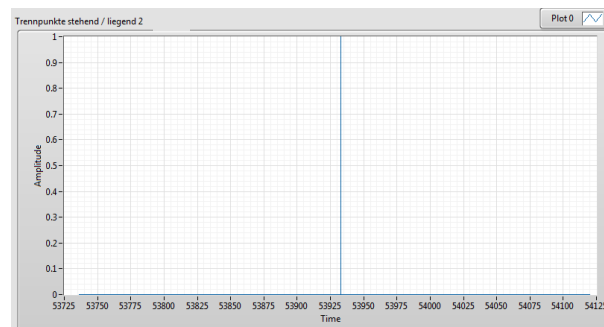


Abb. 11 Ermittelter Trennpunkt

Beschleunigung x-Achse

Die Auswertung der Beschleunigung der x-Achse liefert alle Einschaltpunkte der Motorsäge und zu welchem Zeitpunkt diese in Betrieb ist.

Beschleunigung y-Achse

Die y-Achse des Beschleunigungssensors dient dazu, die Lage der Motorsäge zu detektieren. Mit dem Auswertungsprogramm wird der Fällschnitt ermittelt, bei dem die Motorsäge eingeschaltet ist und sich in Seitenlage befindet.

Trennpunkt

Als Trennpunkt wird danach der Einschaltzeitpunkt, der am nächsten beim Fällschnitt liegt, ermittelt. Dieser zeigt an, wann der Motorsägenführer mit dem Entasten begonnen hat.

Arbeitszeit

Vom Auswertungsprogramm wird für die Arbeitszeit am stehenden Baum die Zeitdifferenz von der Baumnummereingabe bis zum Trennpunkt und für die Arbeitszeit am liegenden Baum die Zeitdifferenz vom Trennpunkt bis zur nächsten Nummereingabe berechnet.

3.3.2 Unterbrechungen entfernen

Unterbrechungen bestimmen

Um die PSH_{15} pro Baum zu bestimmen, müssen alle Unterbrechungen grösser als 15 Minuten von der Arbeitszeit des Motorsägenführers abgezogen werden. Während den Unterbrechungen wird die Motorsäge vom Motorsägenführer nicht benutzt. Bei der Auswertung werden die Unterbrechungen anhand der Messdaten des Beschleunigungssensors (*Abb. 12*) lokalisiert (*Bereich rot markiert*).

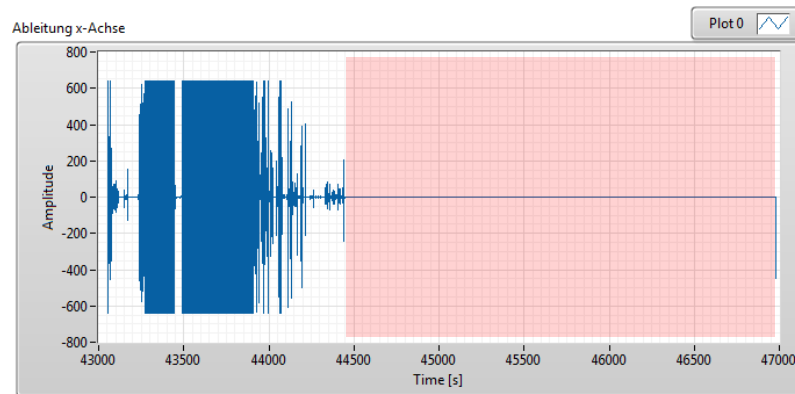


Abb. 12 Unterbrechung während der Arbeit am Baum

Abziehen der Unterbrechungen

Anhand des Trennpunktes wird ermittelt, ob die Unterbrechung bei der Arbeitszeit am stehenden oder liegenden Baum aufgetreten ist. Die Unterbrechungszeit wird dann von der jeweiligen Arbeitszeit abgezogen.

3.3.3 Grenzen des Auswertungsprogramms

Grenzen der Arbeitszeiterfassung

Während dem Feldtest (Kapitel 4) wurden Bäume mit einem BHD grösser als 20 cm gefällt. Bei der Auswertung von Bäumen mit kleinem BHD ist es möglich, dass das Auswertungsprogramm durch die kurze Zeit beim Fällen des Baumes den Trennpunkt zwischen der Arbeit am stehenden und der Arbeit am liegenden Baum nicht korrekt ermitteln kann. Die Zeit, welche für den gesamten Baum gebraucht wird, wird jedoch korrekt ausgewertet.

3.4 Auswertungsprotokoll

Ergebnisse

Die Resultate des Auswertungsprogramms werden im Auswertungsprotokoll zusammengefasst. Das Auswertungsprotokoll wird nach der erfolgreichen Auswertung als Datei abgespeichert. Das Protokoll kann anschliessend mit dem Programm Excel geöffnet und weiterverarbeitet werden.

Auswertungsprotokoll

Tabelle 2 zeigt das Auswertungsprotokoll des Feldtests vom 27. Februar 2014. Dieses wurde übersichtshalber in zwei Teile unterteilt. In der Auswertungsdatei werden beide Teile nebeneinander dargestellt. Pro Baum wird eine Zeile verwendet.

Forstbetrieb	Holzschlag	Motorsägenführer	Datum Anzeichnung	Baumnummer	Baumart	BHD [cm]	Volumen [Fm]	Gelände	Erschwernisse
Wollerau	C2	Carlo	26.02.2014	1	Fichte	35	0.98	steil	
				17	Fichte	40	1.35	eben	
				20	Fichte	51	2.40	eben	
				29	Fichte	81	6.25	eben	
				33	Fichte	41	1.43	steil	
				58	Buche	21	0.28	eben	
				62	Buche	28	0.60	eben	
				75	Fichte	40	1.35	eben	
				81	Fichte	40	1.35	eben	
				94	Fichte	33	0.85	eben	

Datum Fällen	Zeit Nr. Eingabe	Stehend PSH15	Liegend PSH15	Baum gesamt PSH15	Unterbrechung stehend	Unterbrechung liegend	Fehlercode 00
27.02.2014	14:07:53	376	529	905	0	0	0
27.02.2014	09:00:57	369	806	1175	0	0	0
27.02.2014	14:22:58	891	1067	1958	0	0	755
27.02.2014	10:24:14	1848	2907	4755	0	0	0
27.02.2014	09:20:33	372	628	1000	0	0	0
27.02.2014	14:55:36	197	187	384	0	0	0
27.02.2014	15:14:45	338	1101	1439	0	0	837
27.02.2014	15:38:44	467	715	1182	0	0	0
27.02.2014	10:01:49	307	1037	1344	0	0	0
27.02.2014	15:02:00	136	629	765	0	0	0

Tabelle 2 Beispiel Auswertungsprotokoll

Tabelle, oberer Teil

Der obere Teil der Tabelle beinhaltet die Angaben aus dem Anzeichnungsprotokoll.

Tabelle, unterer Teil

Im unteren Teil der Tabelle befinden sich die ermittelten Werte aus dem Auswertungsprogramm. Alle Zeiten sind in Sekunden angegeben.

Datum Fällen

In der Spalte „Datum Fällen“ wird das Datum der Holzernte angegeben.

Zeit Nr. Eingabe

In der Spalte „Zeit Nr. Eingabe“ wird die Uhrzeit bei der Baumnummereingabe eingetragen.

Stehend PSH15

In der Spalte „Stehend PSH15“ wird die Arbeitszeit am stehenden Baum angegeben. Unterbrechungen grösser als 15 Minuten wurden abgezogen.

- Liegend PSH15** In der Spalte „*Liegend PSH15*“ wird die Arbeitszeit am liegenden Baum angegeben. Unterbrechungen grösser als 15 Minuten wurden abgezogen.
- Gesamt PSH15** In der Spalte „*Gesamt PSH15*“ wird die Zeit zwischen der Eingabe von zwei Baumnummern, abzüglich allen Unterbrechungen grösser als 15 Minuten, angegeben.
- Unterbrechung stehend** In der Spalte „*Unterbrechung stehend*“ werden alle Unterbrechungen grösser als 15 Minuten, die während der Arbeit am stehenden Baum aufgetreten sind, angegeben.
- Unterbrechung liegend** In der Spalte „*Unterbrechung liegend*“ werden alle Unterbrechungen grösser als 15 Minuten, die während der Arbeit am liegenden Baum aufgetreten sind, angegeben.
- Fehlercode 00** In der Spalte „*Fehlercode 00*“ wird der Zeitpunkt der Eingabe des Fehlercodes angegeben. Dieser zeigt an, dass beim Fällen oder Entasten des Baumes Probleme aufgetreten sind (z.B. Motorsäge defekt).
- Bsp.: Fehlercode bei 320 Sekunden bedeutet, dass der Fehlercode 320 Sekunden nach dem Start der Arbeit am Baum eingegeben wurde.*

4 Feldtest der automatisierten Arbeitszeiterfassung

Feldtest Die Datenerfassungsbox für die automatisierte Arbeitszeiterfassung wurde in mehreren Tests optimiert und in einem abschliessenden Feldtest beim Forstbetrieb der Kooperation Wollerau getestet. Der Feldtest beinhaltete das Fällen von zehn Bäumen mit der Motorsäge. Die Datenerfassungsbox war während dem Feldtest auf der Motorsäge montiert. Neben der automatisierten Arbeitszeiterfassung wurde von allen Arbeitsschritten des Motorsägenführers die Zeit manuell erfasst.

4.1 Anzeichnungsprotokoll

Anzeichnung Vor dem Fällen wurden alle Bäume mit einer Nummer markiert und der BHD der Bäume gemessen. Diese Messwerte wurden im Anzeichnungsprotokoll eingetragen (*Tabelle 3*). Für den Feldtest wurden Bäume mit verschiedenem BHD gewählt.

Protokoll

Forstbetrieb	Holzschlag	Motorsägenführer	Datum Anzeichnung	Baumnummer	Baumart	BHD [cm]	Volumen [Fm]	Gelände	Erschwernisse
Wollerau	C2	Carlo	26.02.2014	1	Fichte	35	0.98	steil	
				17	Fichte	40	1.35	eben	
				20	Fichte	51	2.40	eben	
				29	Fichte	81	6.25	eben	
				33	Fichte	41	1.43	steil	
				58	Buche	21	0.28	eben	
				62	Buche	28	0.60	eben	
				75	Fichte	40	1.35	eben	
				81	Fichte	40	1.35	eben	
				94	Fichte	33	0.85	eben	

Tabelle 3 Anzeichnungsprotokoll

4.2 Fällen der Bäume und Aufzeichnen der Daten

Fällen Während dem Fällen der Bäume wurden mit der Datenerfassungsbox die Beschleunigungen der Motorsäge und die vom Motorsägenführer eingegebene Baumnummer erfasst (*Abb. 13*).

Der Ablauf der Datenerfassung wurde gemäss dem Abschnitt *Ablauf der Datenerfassung* im Kapitel 3.2 durchgeführt. Zu Testzwecken wurde der Fehlercode 00 während der Arbeit an zwei Bäumen je einmal eingegeben.



Abb. 13 Fällen eines Baumes

4.3 Auswertung der aufgezeichneten Daten

Auswertungs- programm

Nach dem Fällen der Bäume wurden alle Messdaten auf den Computer transferiert und mit dem Auswertungsprogramm ausgewertet (Abb. 14). Für die Auswertung wurde ebenfalls das erstellte Anzeichnungsprotokoll (Tabelle 3) verwendet, um die ermittelte Arbeitszeit den jeweiligen Bäumen zuzuordnen.

Kurzüberblick Auswertung

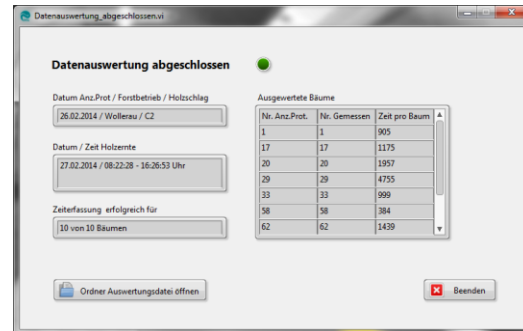


Abb. 14 Auswertung Feldtest

4.4 Vergleich händische Zeitstudie / automatisierte Arbeitszeiterfassung

Vergleich

Die mit dem Auswertungsprogramm ermittelte Arbeitszeit wurde mit den manuell aufgenommenen Werten verglichen (Tabelle 4). Alle Werte sind in Sekunden angegeben.

Baum- nummer	Datum Fällen	Zeit Nr. Eingabe	Stehend PSH15	Hand- messung	Differenz	Diff in %	Liegend PSH15	Hand- messung	Differenz	Diff in %	Gesamt PSH15	Hand- messung	Differenz	Diff in %
17	27.02.2014	09:00:57	369	360	9	2.4%	806	810	-4	-0.5%	1175	1170	5	0.4%
33	27.02.2014	09:20:33	372	372	0	0.0%	628	618	10	1.6%	1000	990	10	1.0%
81	27.02.2014	10:01:49	307	312	-5	-1.6%	1037	1026	11	1.1%	1344	1338	6	0.4%
29	27.02.2014	10:24:14	1848	1842	6	0.3%	2907	2898	9	0.3%	4755	4740	15	0.3%
1	27.02.2014	14:07:53	376	366	10	2.7%	529	522	7	1.3%	905	888	17	1.9%
20	27.02.2014	14:22:58	891	882	9	1.0%	1067	1080	-13	-1.2%	1958	1962	-4	-0.2%
58	27.02.2014	14:55:36	197	198	-1	-0.5%	187	186	1	0.5%	384	384	0	0.0%
94	27.02.2014	15:02:00	136	168	-32	-23.5%	629	588	41	6.5%	765	756	9	1.2%
62	27.02.2014	15:14:45	338	330	8	2.4%	1101	1092	9	0.8%	1439	1422	17	1.2%
75	27.02.2014	15:38:44	467	474	-7	-1.5%	715	714	1	0.1%	1182	1188	-6	-0.5%

Tabelle 4 Auswertungsprotokoll des Feldtests

Der Vergleich zeigt, dass die Differenz zwischen der manuellen (*Handmessung*) und automatisierten Arbeitszeiterfassung für die gesamte Arbeitszeit (*Baum gesamt PSH₁₅*) für alle Bäume kleiner als 2 % ist. Bei der Arbeit am stehenden Baum sind die Unterschiede bei 9 von 10 Bäumen unter 3 %, bei den liegenden Bäumen sogar unter 2 %.

Beim Baum mit der Nummer 94 ist die Abweichung sowohl beim stehenden als auch beim liegenden Baum gross. Dies ist darauf zurückzuführen, dass nach dem Fällen ohne sichtbaren Unterbruch mit dem Entasten begonnen wurde. Die Abweichung der Gesamtzeit für das Fällen und Entasten ist mit 1.2 % wiederum sehr klein.

Fehlercode 00

Baum- nummer	Unterbr. stehend	Unterbr. liegend	Fehlercode 00	Hand- messung	Differenz	Diff in %
17	-	-	-	-	-	-
33	-	-	-	-	-	-
81	-	-	-	-	-	-
29	-	-	-	-	-	-
1	-	-	-	-	-	-
20	-	-	755	744	11	1.5%
58	-	-	-	-	-	-
94	-	-	-	-	-	-
62	-	-	837	822	15	1.8%
75	-	-	-	-	-	-

Tabelle 5 Position Fehlercode 00

Während der Arbeit an zwei Bäumen wurde jeweils der Fehlercode 00 eingegeben. Dieser wurde mit dem Auswertungsprogramm korrekt erkannt und im Auswertungsprotokoll (*Tabelle 5*) eingetragen. Die Differenz zwischen der manuellen (*Handmessung*) und automatisierter Arbeitszeiterfassung ist kleiner als 2 %. Der Fehlercode von 755 beim Baum mit der Nummer 20 bedeutet, dass der Fehlercode 755 Sekunden nach dem Start der Arbeit am Baum eingegeben wurde.

4.5 Ergebnisse automatisierte Arbeitszeiterfassung

Ergebnisse

Der Feldtest hat gezeigt, dass mit der automatisierten Arbeitszeiterfassung die Arbeit pro Baum erfasst werden kann. Alle 10 Bäume konnten mit dem Programm ausgewertet werden.

Der Unterschied der ermittelten Arbeitszeiten zur händischen Zeitstudie liegt für das Fällen und Entasten bei 9 von 10 Bäumen unter 3 %. Die Arbeitszeit für den gesamten Baum konnte auf 1.9 % genau bestimmt werden.

Bei der Auswertung des Feldtests konnte kein Unterschied zwischen Bäumen mit grossem und kleinem BHD erkannt werden. Die Datenerfassungsbox behinderte den Motorsägenführer während der Arbeit nicht und hat dem Einsatz standgehalten.

5 Ausblick

Erreichte Ziele / Resultate

Die automatisierte Erfassung von Leistungsdaten bei der Motorsägenarbeit ist möglich. Ein Prototyp eines Messsystems liegt vor, ebenso die Auswertungssoftware, welche die erfassten Daten in übersichtlicher Form in einer Excel-Tabelle für die weitere Auswertung bereitstellt. Der Aufbau und die Bedienung des Messsystems sowie die Handhabung des Auswerteprogrammes sind in einer ausführlichen Bedienungsanleitung dokumentiert.

Die im Pflichtenheft formulierte Anforderung der Trennung zwischen Fällen und Entasten/Einschneiden kann mit sehr geringen Abweichungen ($< 3\%$) gegenüber der manuellen Zeiterfassung erreicht werden, was ein sehr gutes Ergebnis darstellt. Das Messsystem konnte während eines eintägigen Einsatzes unter realen Bedingungen störungsfrei betrieben werden. Wie in den beiden vorangegangenen Praxistests gab auch diesmal der Motorsägenführer an, dass das Messsystem seine Arbeit nicht behinderte.

Damit ist die Machbarkeit einer automatisierten Arbeitszeiterfassung bei der Motorsägenarbeit aufgezeigt.

Messungen in grösserem Um- fang

In einem nächsten Schritt ist vorgesehen, den Prototyp einem "Dauertest" zu unterziehen, d.h. voraussichtlich in der nächsten Holzschlagperiode ab Herbst 2014 über mehrere Tage in einem oder mehreren Holzschlägen einzusetzen. Damit soll einerseits untersucht werden, ob bei einem länger dauernden Praxiseinsatz Schwachstellen in der Hardware auftreten und andererseits, wie die Handhabung des Messsystems durch einen Forstbetrieb über mehrere Tage funktioniert (Austausch der Speicherkarten, Laden der Akkus etc.).

Bei positiven Ergebnissen kann der Bau von zusätzlichen Geräten ins Auge gefasst werden. Mit diesen könnten in mehreren Betrieben gleichzeitig Daten bei der motormanuellen Holzhauerei erhoben werden. Damit liesse sich das aktuelle Produktivitätsmodell für die Holzhauerei, das 2014 anhand von Daten aus deutschen Forstverwaltungen erstellt wurde, validieren.

Mit der automatisierten Arbeitszeiterfassung können die Arbeitsphasen Fällen und Entasten/Einschneiden unterschieden werden. Damit ist es möglich, ein Produktivitätsmodell für den Prozess "Fällen" zu erstellen. Dieser wird mit der zunehmenden Verbreitung der sogenannten "Vollbaumverfahren" immer wichtiger.

Aus heutiger Sicht sehen wir die Anwendung des Messsystems im wissenschaftlichen Bereich. Aufgrund der geplanten Veröffentlichungen in Fachzeitschriften ist ein Interesse von anderen forstlichen Forschungsanstalten, die sich mit Holzernte beschäftigen, denkbar. Es ist aber kaum zu erwarten, dass das Messsystem in einer Grossserie gebaut werden wird.

Der Wunsch nach einer kleineren und leichteren Datenerfassungsbox auf der Motorsäge steht deshalb gegenwärtig nicht im Vordergrund. Technisch wären hier optimierte Lösungen möglich, aus Kostengründen bei einer Kleinserie aber kaum zu realisieren.

Schlusswort

Holzerntemaschinen sind heute mehrheitlich mit Bordcomputern ausgerüstet, mit denen sich recht einfach Betriebsdaten für die Herleitung von Leistungsangaben erfassen lassen. Bei der in der Schweiz nach wie vor sehr verbreiteten Holzhauerei mit der Motorsäge fehlt diese Möglichkeit bis heute. Das gemeinsame Projekt von HSR und WSL hat erstmalig einen praxistauglichen Weg zur automatisierten Arbeitszeiterfassung bei der Motorsägearbeit aufgezeigt. Diese automatisierte Arbeitszeiterfassung ermöglicht es in Zukunft, aktuelle Leistungsdaten der motormanuellen Holzhauerei her-zuleiten.