

PhD Dissertation

Dipl.-Ing. Bernd Heinzmann

Universität Sopron

Simonyi Károly Fakultät für Technik, Holzwissenschaften und Kunst

Sopron

2017

PhD Dissertation

Universität Sopron

Simonyi Károly Fakultät für Technik, Holzwissenschaften und Kunst

Cziráki József Doktorenschule für Holzwissenschaft und Technologie

Leiter der Doktorenschule: Prof. Dr. Laszló Tolvaj

**Untersuchungen zur Volumenbestimmung von Industrieschichtholz der Holzart Fichte  
mithilfe elektronischer und einzelstammweiser 3D-Vermessung**

Autor: Dipl.-Ing. Bernd Heinzmann

Betreuer: Prof. Dr.-Ing. Dr. Marius C. Barbu

Dr. Zoltán Pásztory

Sopron

2017

**Az értekezés harmadik oldalának mintája (8. sz. melléklet)****AZ ÉRTEKEZÉS CÍME**

Értekezés doktori (PhD) fokozat elnyerése érdekében  
a Soproni Egyetem Cziráki József Faanyagtudomány és Technológiák  
Doktori Iskolája

Írta:  
Bernd Heinzmann

Készült a Soproni Egyetem Cziráki József Doktori Iskola programja keretében

Témavezető: Dr. Pásztor Zoltán  
Prof. Dr.-Ing. Dr. Marius C. Barbu

Elfogadásra javaslom (igen / nem)

(aláírás)

A jelölt a doktori szigorlaton 77,7 % -ot ért el,

Sopron, 2015. június 08.

.....  
a Szigorlati Bizottság elnöke

Az értekezést bírálóként elfogadásra javaslom (igen /nem)

Első bíráló (Dr. ....) igen /nem

(aláírás)

Második bíráló (Dr. ....) igen /nem

(aláírás)

(Esetleg harmadik bíráló (Dr. ....) igen /nem

(aláírás)

A jelölt az értekezés nyilvános vitáján.....% - ot ért el

Sopron,

.....  
a Bírálóbizottság elnöke

A doktori (PhD) oklevél minősítése.....

.....  
Az EDHT elnöke

## **Danksagung**

Die Erstellung dieser Arbeit wäre nicht möglich gewesen ohne die Unterstützung und Hilfe einiger Personen, denen ich zu Dank verpflichtet bin.

An erster Stelle möchte ich mich bei meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr.-Ing. Dr. Marius-Catalin Barbu bedanken, der mir diese Dissertation ermöglicht hat. Durch unzählige Diskussionen und seinen unermüdlichen Enthusiasmus sorgte er mit wertvollen Ratschlägen für das Gelingen der Arbeit.

Mein Zweitbetreuer Herr Dr. Zoltán Pásztor war jederzeit bereit, Detailfragen mit mir zu erörtern. Aufgrund seiner Kenntnisse und seiner hohen fachlichen Kompetenz im Bereich der Industrieholzvermessung gelang es, die Arbeit mit zahlreichen Anregungen zu verbessern. Dafür recht herzlichen Dank.

Ein besonderer Dank gilt meinen Eltern Gabriele und Engelbert Heinzmann, die mich auf meinem Weg durch das Studium hilfreich begleitet haben. Mein Vater Engelbert beschäftigt sich seit über 45 Jahren mit dem Einkauf und der Vermessung von Industrieholz. Er war deshalb besonders daran interessiert und stets bemüht, mit seinen praktischen Erfahrungen und seinem theoretischen Wissen die Arbeit während der Entstehungsphase voranzutreiben. Aus diesem Grund widme ich ihm meine Doktorarbeit.

<b>1</b>	<b>EINLEITUNG.....</b>	<b>1</b>
1.1	Einführung in die Thematik.....	1
1.2	Problemstellung.....	1
1.3	Zielsetzung der Untersuchungen .....	2
<b>2</b>	<b>STAND DES WISSENS .....</b>	<b>4</b>
2.1	Definition Industrieholz und Verwendungszweck .....	4
2.2	Geschichtliche Entwicklung der Industrieholzvermessung .....	5
2.3	Derzeitige Vermessungsverfahren für Industrierundholz.....	8
2.3.1	Sektionsraummaß.....	8
2.3.2	Manuelle Raummaßvermessung am LKW .....	9
2.3.3	Atro – Gewichtsvermessung .....	10
2.3.4	Fotooptische Verfahren.....	12
2.3.5	Stichprobenverfahren .....	13
2.4	Umrechnungen auf das Festgehaltvolumen .....	14
2.4.1	Faktoren beim Raummaß .....	14
2.4.2	Faktoren beim Gewichtsmaß.....	15
2.5	Genauigkeit der Industrieholzvermessung .....	16
2.5.1	Untersuchungen zum Sektionsraummaß.....	16
2.5.2	Untersuchungen bei der Gewichtsvermessung .....	17
2.5.3	Untersuchungen bei fotooptischen Vermessungen .....	18
<b>3</b>	<b>MATERIAL UND METHODE.....</b>	<b>20</b>
3.1	Untersuchungskonzept .....	20
3.1.1	Skizzierung des Versuchsaufbaus.....	20
3.1.2	Beschreibung des untersuchten Materials und Versuchsumfang .....	20
3.1.3	Eingesetzte Vermessungsmethoden .....	22
3.1.4	Rahmenbedingungen bei den Untersuchungen .....	23

<b>3.2</b>	<b>Versuchsdurchführung.....</b>	<b>24</b>
3.2.1	Ermittlung der Walddaten (Versuchsreihe 1) .....	24
3.2.1.1	Sektions-Raummaßverfahren .....	24
3.2.1.2	Fotooptische Vermessung .....	25
3.2.1.3	Stichprobenverfahren .....	27
3.2.1.4	Schwedisches Indexverfahren .....	28
3.2.2	Ermittlung der Werksdaten (Versuchsreihe 1).....	29
3.2.2.1	LKW-Vermessung .....	29
3.2.2.2	Gewichtübernahme .....	30
3.2.2.3	Elektronische Werksvermessung .....	30
3.2.3	Datenerhebung bei Versuchsreihe 2.....	33
<b>3.3</b>	<b>Datenauswertung.....</b>	<b>34</b>
3.3.1	Aufbereitung der Walddaten .....	34
3.3.2	Aufbereitung der Werksdaten .....	36
3.3.3	Vergleich von Wald- und Werksdaten .....	38
3.3.4	Datenaufbereitung von Versuchsreihe 2 .....	39
<b>4</b>	<b>ERGEBNISSE.....</b>	<b>40</b>
<b>4.1</b>	<b>Versuchsreihe 1 .....</b>	<b>40</b>
4.1.1	Stückzahlvergleich .....	40
4.1.2	Beurteilung der Holz- und Polterqualität .....	41
4.1.3	Gesamtvolumen der Maßermittlungen.....	43
4.1.4	Schwankungsbreite der Einzelversuche .....	45
4.1.5	Absolute prozentuelle Abweichung der Vermessungsmethoden.....	47
4.1.6	Streuung der Messwerte in Abhängigkeit von der Poltergröße .....	48
4.1.7	Einfluss von Mittendurchmesser und Stammparameter auf den Festgehalt .....	50
<b>4.2</b>	<b>Versuchsreihe 2 .....</b>	<b>54</b>
4.2.1	Polterqualität .....	54
4.2.2	Gesamtübersicht und Umrechnungsfaktor .....	56
4.2.3	Abholzigkeit, Ovalität und Krümmung der Versuchsstämmen .....	57

<b>5</b>	<b>DISKUSSION .....</b>	<b>59</b>
<b>5.1</b>	<b>Versuchsreihe 1 .....</b>	<b>59</b>
5.1.1	Versuchsmaterial.....	59
5.1.2	Resultierende Umrechnungsfaktoren und Festgehaltsprozent .....	60
5.1.3	Genauigkeitsabweichungen und mögliche Fehlerquellen.....	62
5.1.4	Verbesserung der Vermessungsgenauigkeit mittels Zu- und Abschlagwerten .....	67
<b>5.2</b>	<b>Versuchsreihe 2 .....</b>	<b>68</b>
5.2.1	Ergebnisvergleich mit theoretischen Grundlagen und Berechnungsmodellen.....	68
5.2.2	Umrechnungsfaktor bezogen auf die Durchmesser-Verteilung .....	69
<b>6</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNGEN .....</b>	<b>71</b>
<b>7</b>	<b>LITERATUR .....</b>	<b>75</b>
	<b>TABELLENVERZEICHNIS .....</b>	<b>81</b>
	<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....</b>	<b>83</b>
	<b>ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS.....</b>	<b>85</b>
	<b>ANHANG</b>	

# 1 EINLEITUNG

## 1.1 Einführung in die Thematik

Die Vermessung von Rundholz nimmt in der Geschäftsbeziehung zwischen Forstseite und abnehmender Industrie eine wichtige Funktion ein. Neben der Holzqualität ist das Holzvolumen die wichtigste Größe für die Preisbildung und deshalb von entscheidender Relevanz.

Dem Gebiet der Holzvermessung, also dem an die Aufarbeitung anschließenden Teil des Vermarktungsprozesses, wird daher eine hohe Bedeutung beigemessen. Aufgrund dessen haben sich in den vergangenen Jahrzehnten zahlreiche Vermessungsverfahren und Übernahmemethoden für die Volumenbestimmung von Industrierundholz in der Praxis etabliert. Dabei gelingt es, unabhängig vom Ort und Zeitpunkt der Datenerhebung die notwendigen abrechnungsrelevanten Vermessungsergebnisse zu generieren.

Die Methoden reichen dabei vom einfachen händischen Aufmessen der Holzpolter mit Maßband bis hin zu fotooptischen Vermessungssystemen, einer Technologie, bei der die Vermessungsdaten mittels Kameras erzeugt und mit spezieller Software automatisch ausgewertet werden.

Entscheidend bei der Durchführung der jeweiligen Vermessungsmethode ist, dass das resultierende und dargestellte Verkaufsmaß möglichst exakt dem tatsächlichen Volumen der vermessenen Holzmenge entspricht. Zudem sollte sich eine Übernahmemethode dadurch auszeichnen, das Verkaufsvolumen möglichst rationell darstellen zu können.

## 1.2 Problemstellung

Die meisten Betriebe der Sägeindustrie verfügen über Rundholzvermessungsanlagen auf hohem technischem Niveau. Das Rundholz wird dabei im Werk elektronisch vermessen und das einzelstammweise ermittelte Volumen als Abrechnungsgrundlage herangezogen. Dabei wird das Sägerundholz auf Basis seiner Dimension in Festmeter ohne Rinde (Fm o.R.) berechnet und dem Käufer in dieser Maßeinheit in Rechnung gestellt. Es wird ein Festmeter dem Festgehaltsvolumen von einem Kubikmeter reiner Holzmasse gleichgesetzt (RVR, 2015). Die elektronische Vermessung von Sägerundholz verbunden mit der Übernahme auf Festmeterbasis repräsentiert folglich das tatsächliche und exakte Volumen des Rundholzes, das der Abnehmer an den Lieferanten bezahlt.

Papier-, Zellstoff- und Holzwerkstoffproduzenten verarbeiten im Vergleich zur Sägebranche qualitativ minderwertigere Holzsortimente. Es handelt sich dabei um Industrieholz, definiert als Rohholz, das später chemisch aufgeschlossen oder mechanisch zerkleinert wird (FORST-HKS, 1969). Die als Industrieholz bezeichneten Rundholzsortimente können aufgrund der Beschaffenheit der Stämme, ihrer geringeren Wertigkeit im Vergleich zu Sägerundholz und der vorhandenen technischen Möglichkeiten nicht elektronisch und einzelstammweise in den Werken vermessen werden. Es müssen also andere Vermessungsmethoden angewendet werden, die möglichst genau und gleichzeitig rationell das Verkaufsmaß darstellen können.

### **1.3 Zielsetzung der Untersuchungen**

Die vorliegende Arbeit handelt von der Vermessung von Fichte-Industrieschichtholz, d.h. Industrierundholz, das zu einem Polter aufgesetzt wird. Dafür wurde eine umfangreiche Versuchsreihe durchgeführt, bei der die Genauigkeit der derzeit in der Praxis angewandten Messverfahren für Industrieschichtholz untersucht wurde.

Dabei soll in erster Linie die Abweichungen der ermittelten Messwerte der jeweiligen Messverfahren vom tatsächlichen Festgehaltsvolumen untersucht werden. Desweiteren soll die Schwankungsbreite der Ergebnisse bei zahlreichen Einzelversuchen statistisch dargestellt werden. Besonders soll veranschaulicht werden, in welchen Genauigkeitsbereichen sich die Abweichungen befinden.

Diese Genauigkeitsüberprüfung kann mithilfe einer vollautomatischen, geeichten und zertifizierten Rundholzvermessungsanlage des Typs JORO – 3D realisiert werden. Jene elektronische und berührungsfrei arbeitende Anlage ermöglicht, exakte Vergleichsmaße zu ermitteln. Aufgrund der Tatsache, dass die Anlage entsprechend den Vorgaben der „Rahmenvereinbarung für die Werksvermessung“ des Deutschen Forstwirtschaftsrates e. V. und des Verbandes der Deutschen Säge- und Holzindustrie e. V. zugelassen ist, können Vermessungsdaten generiert werden, die denen einer einzelstammweisen und händischen Vollvermessung entsprechen. Da die Vermessungsdaten der Einzelstämme erst nach der Entrindung ermittelt und anschließend sofort in einer Datenbank gespeichert werden, können Vermessungsfehler verglichen mit der manuellen Holzaufnahme ausgeschlossen werden.

Eine zweite Versuchsreihe soll die Abhängigkeit des Festgehaltsvolumens eines Industrierundholzpolders vom Zopf- bzw. Mittendurchmesser der Einzelstämme darstellen. Dafür werden in definierten Stärkebereichen vorsortierte Einzelstämme der Holzart Fichte zu einem Polter

gestapelt und das Gesamtvolumen nach der Vermessung mittels Sektionsraummaßverfahren an der Rundholzvermessungsanlage bestimmt. Durch statistische Auswertung kann auf den jeweiligen Umrechnungsfaktor je Stärkeklasse vom Raum- auf das Festmaß geschlossen werden.

Das Forschungsvorhaben charakterisiert sich besonders dadurch, dass eine einzelstammweise und elektronische Bestimmung des Festgehaltsvolumens mehrerer Industrieholzpolder bis dato noch nicht wissenschaftlich durchgeführt wurde. Eine vergleichbare Untersuchung ist demnach in der Fachliteratur nicht vorhanden und könnte deshalb sowohl für die Forstseite, als auch für die Abnehmer von Industrieschichtholz von Interesse sein.

## 2 STAND DES WISSENS

### 2.1 Definition Industrieholz und Verwendungszweck

Industrieholz bezeichnet Rohholz, das mechanisch oder chemisch aufgeschlossen werden soll und wird in folgende Güteklassen eingeteilt (FROMMHOLD, 2013):

- IN: Gesund, keine Fäule, nicht grobastig, keine starke Krümmung, frisch, von Insektenbefall freies und geradschaftiges Holz
- IF: Leicht anbrüchig, grobastig oder krumm, Stammtrockenheit und Verfärbung sind zugelassen.
- IK: Stark anbrüchig, jedoch gewerblich verwendbar, Fäule wird toleriert (jedoch dürfen max. 60 % des Volumens von Fäule angegriffen sein)

Die Abkürzungen der Güteklassen beschreiben somit den Zustand des Holzes, dabei stehen die Bezeichnungen N für „normales“, F für „fehlerhaftes“ und K für „krankes“ Holz. Die Ansprache der Qualitätsklassen für Industrieholz erfolgt summarisch, d.h. für ganze Bezugseinheiten (Polter). Bei uneinheitlicher Qualitätsverteilung innerhalb einer Verkaufseinheit besteht die Möglichkeit, Mischqualitäten auszuweisen (RVR, 2015). Dabei richtet sich die Gütebezeichnung nach der überwiegend darin enthaltenen Güteklasse.

Weiter wird Industrieholz in Abhängigkeit von der Aushaltungslänge unterteilt in (FROMMHOLD, 2013):

- IS: Industrieholz kurz (Länge: 2 m / 3 m)
- IL: Industrieholz lang (über 3 m Länge)

Entsprechend der verschiedenen Güte, Aushaltungslänge und Holzart unterscheiden sich die Einkaufssortimente der Papier- und Zellstoffindustrie von denen der Holzwerkstoffproduzenten. Während die Spanplattenhersteller alle Nadelholz- und einige Laubholzarten verwenden können und in Bezug auf Länge (IS/IL) und Güte (IN/IF/IK) wenige Ansprüche stellen, so ist die Qualität und Aushaltung des Industrieholzes für die Papier- und Zellstoffindustrie klar definiert. Das klassische Holzschliffsortiment bildet Fichte/Tanne der Güteklasse IN in Längen von 2 und 3 Metern (Abbildung 1). Es werden nur kleine Mengen IF und geringfügige Beimischungen von Kiefer aufgrund des Harzgehalts akzeptiert (CMA, 1983).



Abbildung 1: Industrieholz der Güteklasse IN in Holzart Fichte

## 2.2 Geschichtliche Entwicklung der Industrieholzvermessung

Bereits 1875 einigten sich die Länder des Deutschen Reiches mit Inkrafttreten der Würzburger Beschlüsse auf die Einführung der Einheiten Festmeter und Raummeter als gemeinsame Rechnungseinheiten für den Holzverkauf und die Holzübernahme (WILWERDING, 1995).

Eine einheitliche Regelung bezüglich Sortier- und Vermessungsvorschriften für Nutzholz erfolgte 1936 mit der Reichsholzmessanweisung (HOMA), bei der erstmals für das Sortiment Industrieholz (damals als Faser- oder Zellstoffholz bezeichnet) Umrechnungsfaktoren von Raummeter in Festmeter integriert wurden (MAGIN, 1951). Das auf 1 oder 2 Meter ausgeformte Industrieholz wurde dafür manuell zu Stapeln aufgeschichtet, deren Polterhöhe und -breite exakt definiert war. Dabei betrug die einzuhaltende Polterhöhe immer 1,04 m, sodass beim Aufsetzen des Polters das sog. Schwindemaß als Höhenübermaß eingehalten werden konnte (WILWERDING, 1995). Beträgt die Polterbreite ein Vielfaches von einem Meter, so kann die Stapelvolumenermittlung aufgrund der Stapelumgrenzungsmaße relativ einfach und exakt bestimmt werden. Das Volumenergebnis in Raummeter mit Rinde (Rm m.R.) konnte anhand der in der Richtlinie definierten Faktoren je nach Holzsorte auf Festmeter ohne Rinde (Fm o.R.) umgerechnet werden.

Aufgrund der Tatsache, dass das Aufsetzen von Schichtholzpoltern auf eine definierte Höhe und Breite mit sehr viel Zeit- und Kostenaufwand verbunden war, befassten sich GLÄSER (1952) und ZIEGLER (1958) mit der Stapelvolumenermittlung an unregelmäßig geformten Poltern. Gläser fotografierte die Stirnseite eines Schichtholzpolters mit einer Kamera und wertete den Positivabzug der Fotografie aus, indem er das Bild in einen Rahmen von 10 x 10 cm legte, und daraufhin mit einem Nagelbrett mit 400 Nadelstichen durchlöcherte. Diese fotografische Methode ermöglichte eine Auszählung der Punkte, die entweder die Stirnflächen oder die Holzzwischenräume trafen. Somit konnte er den Anteil an fester Holzmasse

innerhalb eines Polters bestimmen. Ziegler entwickelte diese Methode der Schichtholzvermessung weiter und vergrößerte den Maßstab mithilfe eines Wandschirm-Punkterasters von der Größe 100 x 100 cm. Bei der als sog. Harfenmethode bezeichneten Variante kommt ein Zählgitter mit eingespannten Drähten zum Einsatz, das vor dem Polter senkrecht und möglichst kantenparallel aufgestellt wird. Zudem wird die Gesamtfläche der Polterstirnseite mittels in gleichen Abständen gemessenen Lotlängen von der Stapeloberkante zur Grundlinie berechnet. Vergleichbar mit dem Verfahren von Gläser wird der Anteil der Stirnflächen der Stämme an der Gesamtfläche kalkuliert, wodurch der Festgehalt des Poltes in Festmetern mit Rinde (Fm m.R.) bestimmt werden kann.

Die theoretischen und anwendungstechnischen Grundlagen zur Vermessung von Industrieholz nach Gewicht lieferten die 1966 abgeschlossenen Untersuchungen des Instituts für Forstliche Arbeitswissenschaften an der Universität Freiburg. Die Veränderungen bei den Holzernteverfahren verbunden mit einer längeren Sortimentsaushaltung führten dazu, dass mithilfe der Gewichtsvermessung ein erheblicher Rationalisierungsfortschritt erreicht werden konnte. Das Verfahren ist gegenüber der Raummeter-Vermessung deutlich einfacher und kostengünstiger (GRESSEL, 1972). Dabei wird das atro-Gewicht einer Holzlieferung aus dem Frischgewicht und dem durch Proben ermittelten Trockengehalt bestimmt. Ausgehend vom atro-Gewicht der Holzlieferung und speziellen Umrechnungsfaktoren lässt sich das Gesamtvolumen der Ladung in Fm o.R. herleiten. Der Gewichtsverkauf hat sich recht schnell als Übernahmemethode etabliert, bereits im Jahre 1984 wurden 50 % des Fichten-Industrieholzes nach Gewicht vermessen und verkauft (ERB, 1984).

In der 1969 in Kraft tretenden gesetzlichen Handelsklassensortierung für Rohholz (Forst-HKS) wird die Holzübernahme und Vermessung von Industrieholz neu geregelt (WILWERDING, 1995). Um sich dem exakten Holzvolumen als Verkaufsmaß möglichst genau anzunähern, wurden die Umrechnungsfaktoren bei der Poltervermessung von Industrieholz mittels Sektionsraumverfahren überarbeitet. Das Verfahren basiert auf der sektionsweisen Volumenermittlung von Schichtholzpoltern, bei der an Poltervorder- und rückseite das Höhenmaß ermittelt und daraus resultierend das Raumvolumen des Gesamtpolters hergeleitet wird.

DELORME (1978) berichtete, dass dieses bisherige Standardverfahren zur Raumvermessung von Schichtholz unrationell sei und nicht den Fortschritten der Aufarbeitungs- und Bringungstechnik in den sechziger Jahren Rechnung trage. In Schweden wurde aus diesem

Grund 1977 eine neue Vorschrift für die Vermessung von Industrieschichtholz erlassen, in der die Ermittlung des Raummaßes durch zusätzliche Bestimmung und Beurteilung verschiedener Einflussgrößen geregelt ist. Dabei werden die Polterungsqualität und einige Stammparameter wie beispielsweise Krümmung, Durchmesserverteilung und Entastung in das Volumenergebnis integriert. Es gelingt, relativ genaue Schätzungen des Festgehalts von Industrieholzpoltern zu ermitteln, trotzdem wurde das Verfahren in der HKS nicht berücksichtigt und in Deutschland nur vereinzelt angewendet.

Vielversprechend waren die Lösungsansätze der Vermessung und Datenerfassung in dem Aufarbeitungsprozess von Vollerntern (SCHÖPFER, 1990). Die automatische Ermittlung der Stammlänge und der Durchmesser ist während der Aufarbeitung möglich. Dabei gelingt die Längenmessung mittels Längenmessrad oder über mit Sensoren bestückte, gezahnte Vorschubwalzen. Die Durchmesserermittlung erfolgt anhand des Abstandes bzw. Öffnungswinkels der Entastungsmesser (SAUTER, 2014). Die Erfahrungen in der Praxis zeigten jedoch, dass sich die Volumenermittlung von Industrieholz mittels Harvester aufgrund der unterschiedlichen Beschaffenheit der Stämme (speziell Krümmung und Astigkeit) problematisch darstellt. Aufgrund dessen, dass die für den Holzverkauf nötige Messgenauigkeit nicht erreicht werden kann und eine Eichung aufgrund der ständigen Kalibrierung und Manipulierbarkeit der Messeinrichtung ausgeschlossen ist (FINK, 2004), spielt die Vollerntervermessung von Industrieholz zur Ermittlung eines Verkaufsmaßes bis heute keine Rolle.

Die neueste Entwicklung sind optische Systeme, bei denen die Daten einer Vermessungseinheit mittels Kameras erzeugt und durch Computer mit spezieller Software automatisch ausgewertet werden. Dies kann zur Vermessung einer kompletten LKW-Ladung dienen, indem der LKW durch ein Portal fährt, an dem Stereokameras montiert sind. Während der Durchfahrt wird ein 3D-Bild der Industrieholzladung erzeugt und automatisch durch das System vermessen (NYLINDER, KUBÉNKA, & HULTNÄS, 2008). Eine weitere Anwendung sind sog. fotooptische Systeme, die eine Waldaufnahme der Polterfront mittels Kameras generieren und auswerten. Es gibt derzeit am Markt unterschiedliche Systeme verschiedener Hersteller, die eine mobile und bildanalytische Erfassung von Einzelpoltern ermöglichen. SCHUH (2015) beschreibt, dass sich das Verfahren speziell bei der Vermessung von Industrieholz bewährt, da die individuelle Polterqualität dieses qualitativ schlechteren Sortiments berücksichtigt wird.

Mit dem Ziel eines einheitlichen, transparenten und klar definierten Handelsgebrauchs als Nachfolgerichtlinie der im Jahre 2008 aufgehobenen Forst-HKS, tritt seit 1.1.2015 die Rahmenvereinbarung für den Rohholzhandel in Deutschland (RVR) in Kraft. Die für Industrieholz anzuwendenden Messverfahren werden darin detailliert beschrieben und die gültigen Abrechnungsmaße und Umrechnungsfaktoren festgelegt.

## 2.3 Derzeitige Vermessungsverfahren für Industrierundholz

Die unterschiedlichen Vermessungsmethoden für Industrieholz müssen bestimmte Anforderungen erfüllen. Grundsätzlich muss sich die Maßermittlung durch einen hohen Rationalisierungsgrad bei einer möglichst hohen Genauigkeit auszeichnen. Zusätzlich müssen die Messwerte durch alle an der Aufarbeitung und am Holzverkauf beteiligten Personen nachvollziehbar und nachprüfbar sein. Weiter darf der Ablauf der Phasen Holzernte, Bringung und Transport durch die Datenaufnahme nicht gestört werden.

Nachfolgend werden die derzeitigen und in der Praxis verwendeten Vermessungsverfahren für Industrieholz erläutert. Dabei soll besonders auf das Prinzip der Maßermittlung, die Berechnungsgrundlage verbunden mit der Datenauswertung und die Anforderungen eingegangen werden.

### 2.3.1 Sektionsraummaß

Beim Sektionsraummaßverfahren werden Messwerte eines Holzpolters ermittelt und protokolliert, um das Raumvolumen des Polters mit Einheitslängen herzuleiten. Dabei beinhaltet das resultierende Volumenmaß neben der reinen Holzsubstanz auch Rinde und die Hohlräume, die sich beim Poltern der Stämme ergeben. Das Verfahren wird bei der Vermessung von maschinengesetztem Industrieschichtholz angewendet. Das dabei ermittelte Volumen kann als Verkaufsmaß, Abrechnungsmaß oder Kontrollmaß bei Verkauf nach Werkseingangsmaß verwendet werden (FVA, 1997).

**Tabelle 1: Abzugswerte in Abhängigkeit von der Holzlänge (RVR, 2015)**

	2 m	3 m
Fichte, Tanne, Douglasie	0,96 – 0,94	0,94 – 0,92
Kiefer, Lärche, Buche	0,94 – 0,925	0,92 – 0,905

Das Bruttoreummaß in  $R_m$  m.R. wird aus den Messgrößen Polterlänge (L), Polterhöhe (H) und Poltertiefe (T) errechnet. Die Poltertiefe entspricht der Bestelllänge des Industrieholz-

sortiments, in der Regel 2 oder 3 Meter. Für das korrekte Endergebnis muss das Bruttovolumen aufgrund eines pauschal festgelegten Raumübermaßes von 4 % und zusätzlichen, in Abhängigkeit von Holzart und Sortimentslänge definierten Abzugswerten (Tabelle 1), reduziert werden (RVR, 2015).

Das daraus resultierende und für den Holzverkauf gültige Nettoraummaß in Rm m.R. errechnet sich demnach nach folgender Formel:

$$\text{Nettoraummaß (Rm m. R.)} = (H \times L \times T) \times \text{Reduktionsfaktor (\%)}$$

*H = mittlere Polterhöhe in m*

*L = Poltergesamtlänge in m*

*T = Poltertiefe (= Sortenlänge) in m*

Um die Korrektheit des ermittelten Raummaßes für Industrieschichtholz zu gewährleisten, sind einige Voraussetzungen und Mindestanforderungen zu erfüllen. Werden diese nicht eingehalten, kann das Sektions-Raummaßverfahren nicht zur Ermittlung des Verkaufsmaßes angewendet werden. Es könnte demnach lediglich zur Bestimmung eines Kontrollmaßes dienen (FVA, 1997).

- Mindestpoltergröße von 20 Rm m.R.
- Ausschließlich eine Bestelllänge pro Los bzw. Polter
- Polterung nach Holzartengruppen getrennt
- Freier Zugang zu Poltervorder- und Rückseite
- Polterung ohne Eintrag von Ästen und Fremdmaterial (Schnee, Schmutz u.ä.)
- Polterung möglichst dicht und an den Enden bündig gesetzt
- Möglichst einheitliche Polterhöhe

### **2.3.2 Manuelle Raummaßvermessung am LKW**

Die Raummaßvermessung am LKW kommt bei Frei-Werk-Lieferungen von Industrierundholz zum Einsatz. In diesem Falle wird die Holzladung manuell vom Personal des Abnehmerbetriebes und nach deren firmeninternen Richtlinien übernommen. Die Tatsache, dass aufgrund des im Vergleich zum Forwarder (Polterung an der Waldstraße) größeren Greifers des LKW-Beladekrans mehr Hohlräume im Raummaß entstehen (PFEIL, 1985), ist diese Art der Werksvermessung in den letzten Jahren rückläufig. Trotzdem wird diese Methode von einigen Papier- und Zellstoffproduzenten weiterhin angewendet.

Zur Bestimmung des Raumaßes der Ladung werden alle geladenen Holzstöße gemessen, sowohl am LKW, als auch am Anhänger. Da sich die Stoßlänge ( $L$ ) aus der einheitlichen Sortenlänge ergibt und die Stoßbreite ( $B$ ) der Fahrzeugbreite bzw. des Rungenabstandes entspricht, hat der Übernehmer die exakte Höhenermittlung stoßweise zu messen. Auf jeder Seite des Stoßes sollen mindestens drei repräsentative Höhenmessungen erfolgen. Der Mittelwert aus den Einzelmessungen ergibt die mittlere Stoßhöhe ( $H$ ) und wird auf 5 cm genau angegeben (PAPIERHOLZ AUSTRIA, 2013). Das jeweilige Stoßvolumen ergibt sich demnach nach folgender Formel:

$$\text{Stoßvolumen (Rm m. R.)} = (L \times B \times H)$$

$L$  = Stoßlänge (= Sortenlänge) in m

$B$  = Stoßbreite (= Rungenabstand) in m

$H$  = Mittlere Stoßhöhe in m

Die Addition der einzelnen Stoßvolumen resultiert im Gesamtraumaß (brutto) der Holzlieferung in Rm m.R. Dieses Maß stellt bei einigen Abnehmerbetrieben gleichzeitig das Verkaufsmaß dar, vereinzelt werden Abzugswerte bis 5 % für die Herleitung eines Nettoraumaßes verwendet.

Nachfolgende Anforderungen sind zu erfüllen (MERCER HOLZ, 2016), ansonsten kann die Lieferung abgelehnt werden oder eine Übernahme nach Gewicht erfolgen.

- Sämtliches Rundholz ist längs zur Fahrtrichtung zu verladen
- Es ist möglichst stirngleich zwischen zwei Rungenpaaren zu laden
- Es ist wechselseitig vom starken und schwachen Holzende zu laden
- Die einzelnen Holzlagen sind mit dem Greifer zu verdichten
- Hohlräume an den Rungen sind unbedingt zu vermeiden

### 2.3.3 Atro – Gewichtsvermessung

Die Gewichtsübernahme von Industrieholz bestimmt das Verrechnungsmaß nach dem Gewicht des Holzes im absolut trockenen Zustand (atro). Die Holzmasse wird folglich im wasserfreien Zustand berechnet, indem der Gehalt an Holztrockensubstanz an jeder Liefereinheit über repräsentative Stichproben ermittelt wird (FISCHER, 1991).

Grundsätzlich wird bei diesem Verfahren zuerst mittels geeichter Brückenwaage (Eichwert  $\leq 50$  kg) das Nettogewicht jeder Holzlieferung bestimmt. Durch mehrere Einschnitte mit

einer Motorkettensäge wird direkt am LKW die Spanprobe für die darauffolgende Maßermittlung entnommen. Die Entnahme ist dabei wie folgt definiert (HOLZFORSCHUNG AUSTRIA, 2013):

- Es ist jeder Stoß der Ladung zu beproben (auf einer Stoßseite)
- Der Schnittbereich umfasst mindestens 2/3 der Stoßhöhe
- Der Einschnitt muss über den halben Stammquerschnitt bis zur Markröhre erfolgen
- Die Schnitte sind entlang einer Linie in der Längsmittle des Holzstoßes zu führen
- Die Entnahmestelle befindet sich mindestens 50 cm von den Stammenden entfernt

Die Probe wird mittels Darrschrank bei einer Temperatur von 103 °C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet (DIN 52183, 1977). Erreicht die Spanprobe die Gewichtskonstanz, wird sie erneut gewogen und dabei der Trockengehalt (TG) ermittelt (FPP, 2004):

$$TG = \frac{m_0}{m_x} \times 100 (\%)$$

$m_0$  = Gewicht der wasserfreien Holzprobe in kg

$m_x$  = Gewicht der Holzprobe im Frischzustand in kg

Aus dem Trockengehalt der repräsentativen Stichprobe errechnet sich das atro-Gewicht der Holzlieferung ( $M_0$ ) mit nachstehender Formel (FPP, 2004):

$$M_0 = M_x \times \frac{TG}{100} (kg)$$

$M_0$  = Gewicht der Lieferung im wasserfreien Zustand in kg

$M_x$  = Gewicht der Lieferung im Frischzustand in kg

Das für den Verkauf von Industrierundholz ermittelte Gewicht wird in der Maßeinheit atro-Tonne mit Rinde (t atro m. R.) angegeben. Zur Gewährleistung exakter Vermessungsdaten sind weitere Anforderungen einzuhalten (HOLZFORSCHUNG AUSTRIA, 2013):

- Die werksseitige Übernahme muss ausnahmslos durch Personal erfolgen, das eine Prüfung bei einer akkreditierten Inspektionsstelle abgelegt hat.
- Alle Geräte zur Probenentnahme, die Waagen (Brücken- und Analysewaagen) sowie die Trockenschränke müssen ständig kontrolliert und kalibriert werden und eine gültige Eichung aufweisen.

### 2.3.4 Fotooptische Verfahren

Bei der fotooptischen Poltervermessung wird zur Maßermittlung zwischen zwei vom Arbeitsprinzip her unterschiedlichen Technologien unterschieden. Es gibt eine weitgehend automatisierte Vollaufnahme von Poltern, bei der die Vermessung eines Industrieholzpolters mittels Kamerasystem auf einem PKW-Dach (Abbildung 2) und gleichzeitiger Berechnung mit spezieller Software erfolgt. Die Messungen erfolgen durch Nutzung eines Stereokamerasystems mit zwei in einem bestimmten Winkel zueinander positionierten Kameras (MÜLLER, 2008).



Abbildung 2: Kamerasystem der Fa. Dralle (MÜLLER, 2008)

Die Kamera erzeugt mehrere Bilder pro Sekunde und generiert einen Stereofilm der Polterfront. Aus diesem Film wird ein 3D-Modell mit allen für das Holzvolumen eines Industrieholzpolters relevanten Parametern errechnet. Die Messdaten werden nach der Aufnahme sofort übertragen und können anhand eines im Fahrzeug installierten Bildschirms eingelesen, ausgewertet und gegebenenfalls korrigiert werden (DRALLE, 2014).

Die weiteren Technologien fotooptischer Systeme beruhen auf der Erfassung der Polterfrontflächen von Industrieschichtholz mittels Digitalkameras und der anschließenden Auswertung des Bildmaterials. Bei dieser weniger kostenaufwendigen Methode wird das Holz mit einer Digitalkamera in mehreren Schritten fotooptisch vermessen. Dabei werden mehrere frontale Einzelbilder des Polters aufgenommen. Die speziell entwickelte Software setzt die einzelnen Polterabschnittsbilder zu einem Gesamtpolterbild zusammen vergleichbar mit einem Panoramafoto (ANONYMUS, 2013).

Anhand der aufgenommenen Bilder wird für die Datenauswertung bei der Industrieholzvermessung ein Polygon um das Holzpolter gezogen. Durch zusätzliche Angabe der Polterbreite und aufgrund der einheitlichen Stammlängen kann folglich die Gesamtmenge des Polters als Raumvolumen in  $Rm\ m.R.$  automatisch von der Software berechnet werden (FOVEA, 2014).

Bei der Aufnahme der Einzelbilder sind zur Darstellung korrekter Vermessungsergebnisse bzw. zur Vermeidung von Messfehlern beim Fotografieren des Polters Grundregeln in Bezug auf den Abstand und die Bildausrichtung zu beachten (FOVEA, 2016). Dabei sollte der Polterabstand richtig gewählt werden und über die gesamte Polterlänge konstant sein. Zudem muss das Aufnahmegerät parallel zum Polter und in Waage gehalten werden. Weiter müssen die Fotos von Polterbeginn bis Polterende mit einer gewissen Überlappung geschossen werden.

### 2.3.5 Stichprobenverfahren

Bei Stichprobenverfahren wird das Gesamtvolumen eines Holzpolters über eine Stichprobe hergeleitet. Besonders bei Massensortimenten wie schwächerem Stammholz oder Industrieschichtholz kann das Volumenmaß mittels des sog. Stirnflächenverfahrens errechnet werden, weil die Stirnflächen zur Bestimmung des im Stapel enthaltenen Holzvolumens herangezogen werden können (FISCHER, 1991)

Bei dieser Messmethode für gepolterte Einheitslängen wird der mittlere Stirnflächendurchmesser anhand einer systematischen Linienstichprobe repräsentativ ermittelt. Dafür werden in Abhängigkeit von der Poltergröße an der Vorder- und Rückseite Markierungsstriche in regelmäßigen Abständen angebracht. Alle Stirnflächen, die von der Markierungslinie berührt werden, sind für die Stichprobe relevant und werden ohne Rinde vermessen (FVA, 1997). Ein Vorteil des Verfahrens liegt darin, dass die Stirnflächendurchmesser ohne Rinde relativ genau zu erheben sind. Bei der Volumenberechnung ist daher ein Rindenabzug nicht mehr erforderlich.

Anhand des arithmetischen Mittelwertes aller gemessenen Stirnflächen wird zunächst ein Mittelstammvolumen  $V_M$  errechnet. Nach Zählung der Gesamtstückzahl ( $N$ ) des Polters wird diese mit dem Mittelstammvolumen ( $V_M$ ) multipliziert und somit das Gesamtvolumen des Polters  $V_N$  in Festmeter ohne Rinde hergeleitet (WILWERDING, 1995).

$$V_M(\text{Fm o. R.}) = \frac{\pi}{4} \times d^2 \times l$$

$d$  = arithmetischer Mittelwert der Stirnflächen in m

$l$  = Bestelllänge in m

$$V_N(\text{Fm o. R.}) = N \times V_M$$

$N$  = Gesamtstückzahl des Polters

$V_N$  = Gesamtvolumen des Polters in Fm o. R.

Die Voraussetzungen zur Anwendung des Stirnflächenverfahrens können wie folgt zusammengefasst werden (RVR, 2015):

- Einheitliche Sortenlänge pro Los
- Anteil an Erdstammstücken < 50 %
- Freier Zugang zur Poltervorder- und Polterrückseite
- Bündige Polterung bei max. Höhe von 2,50 m

## 2.4 Umrechnungen auf das Festgehaltsvolumen

### 2.4.1 Faktoren beim Raummaß

Liegen nach Durchführung einer Vermessungsmethode für Industrierundholz die Ergebnisse als Raummaß vor, so kann der Rauminhalt (R) des aufgeschichteten Holzes, also neben der Holzmasse auch die Rinde und Hohlräume zwischen den einzelnen Stämmen, mit einem Faktor (F) auf den tatsächlichen Festmeterinhalt (V) umgerechnet werden (PRODAN, 1965):

$$F = \frac{V}{R}$$

Die für die Forst- und Holzwirtschaft relevante und gebräuchliche Maßeinheit ist somit der Festmeter ohne Rinde, da er das tatsächliche Holz- bzw. Festgehaltsvolumen repräsentiert. Die Umrechnung vom Raummaß ins Festmaß wurde mit Inkrafttreten der HKS-Verordnung im Jahre 1969 mit dem Faktor 0,7 als gültige Umrechnungszahl von Raummeter mit Rinde auf Festmeter ohne Rinde, unabhängig von Holzart und –länge festgelegt (LOHMANN, 2005).

Die sich danach rasch entwickelnden, neuen Aufarbeitungstechnologien der hochmechanisierten Holzernteverfahren, verbunden mit veränderten Aushaltungslängen bei Industrierundholz und die Tatsache, dass sich baumartenspezifische Unterschiede auf den Umrechnungsfaktor auswirken, wurden in Ergänzungsbestimmungen der HKS nicht berücksichtigt. Besonders der Übergang von der 1 Meter Länge auf 2 Meter und 3 Meter langes Industrieschichtholz, sowie die schlechtere Entastungs- und Schichtungsqualität bei modernen Aufbereitungsverfahren führten dazu, dass das tatsächliche Festgehaltsvolumen mit dem Umrechnungsfaktor 0,7 nicht mehr zutreffend ermittelt werden konnte (LEINERT, 1986).

Auch DELORME (1978) beschrieb diese Problematik bereits vor einigen Jahrzehnten mit der Erkenntnis, dass 1 Raummeter maschinengesetztes Industrierundholz der Länge 3 Meter weniger Festmasse enthält als 1 Raummeter handgeschichtetes Industrierundholz in Aushaltungslänge 1 Meter.

Erst in der seit 1.1.2015 gültigen Rahmenvereinbarung für den Rohholzhandel in Deutschland sind die Umrechnungen eines Nettoraummaßes auf das Festgehaltsvolumen in Abhängigkeit von der Stücklänge definiert (Tabelle 2).

**Tabelle 2: Umrechnungsfaktoren auf das Festgehaltsvolumen beim Raummaß (RVR, 2015)**

	1 m	2 m	3 m
<b>1 Rm m.R.</b>	0,70 Fm o.R.	0,65 Fm o.R.	0,60 Fm o.R.
<b>1 Rm o.R.</b>	0,80 Fm o.R.	0,75 Fm o.R.	0,70 Fm o.R.

#### 2.4.2 Faktoren beim Gewichtsmaß

Grundlage für die Umrechnung vom Gewichtsmaß auf das Festgehaltsvolumen ist die Raumdichte des Holzes (DIETZ, 1966). Anhand von Versuchen konnte DIETZ Mittelwerte für die jeweiligen Holzarten nach ihrem spezifischen Gewicht im darrtrockenen Zustand errechnen. Für Fichte und Tanne ermittelte er beispielsweise eine durchschnittliche Raumdichte von 450 kg pro Festmeter. Er verweist dabei jedoch auf die Variabilität innerhalb einer Holzart aufgrund der schwankenden Rohdichte und des Rindengehalts, die sich bei verschiedenen Standorten und damit verbunden unterschiedlichen Wuchsbedingungen ergeben. Aufgrund dessen hatte er im Jahre 1973 eine weitere Versuchsreihe angeordnet, die als Ergebnis eine Rohdichte für Fichte und Tanne mit 445 kg pro Festmeter lieferte (DIETZ, 1977). Aufgrund seiner nun fast zehnjährigen Erfahrung mit der Gewichtsvermessung und der Tatsache, dass die ermittelten Rohdichten beider Untersuchungen nahezu gleich waren, wurden für Baden-Württemberg im Jahre 1976 die mittlere Rohdichte von Fichte/Tanne mit 445 kg pro Festmeter und dem daraus resultierenden Umrechnungsfaktor 2,25 festgesetzt.

Bis heute haben sich die damals ermittelten Werte für die Umrechnung vom atro-Gewicht auf das Festgehaltsvolumen nur geringfügig geändert. Die für die Bestimmung des Verkaufsmaßes von Industrieholz zu verwendenden, anerkannten und holzartenspezifischen Umrechnungsfaktoren sind nach der RVR-Richtlinie nachfolgende Werte (Tabelle 3):

**Tabelle 3: Umrechnungsfaktoren F auf das Festgehaltsvolumen beim Gewichtsmaß (RVR, 2015)**

Holzart	Rohdichte	1 t atro m.R. entspricht (F)
Fichte, Tanne	455 kg/fm	2,2 Fm o.R.
Kiefer	475 kg/fm	2,1 Fm o.R.
Lärche	555 kg/fm	1,8 Fm o.R.
Douglasie	475 kg/fm	2,1 Fm o.R.
Buche	665 kg/fm	1,5 Fm o.R.
Eiche	715 kg/fm	1,4 Fm o.R.

Ausgehend vom atro-Gewicht einer Holzlieferung ( $M_0$ ) kann dementsprechend die beprobte Ladung in der Einheit Festmeter ohne Rinde in Abhängigkeit der jeweiligen Holzart mit nachfolgender Formel berechnet werden:

$$\text{Liefermenge (Fm o.R.)} = M_0 \times F$$

$$M_0 = \text{Gewicht der Ladung in t atro m.R.}$$

$$F = \text{Umrechnungsfaktor}$$

## 2.5 Genauigkeit der Industrieholzvermessung

Es wurden bereits einige Untersuchungen zur Volumenbestimmung von Industrieschichtolz durchgeführt und publiziert. Dabei wurde in Abhängigkeit der jeweiligen Vermessungsmethode die Genauigkeit des Verfahrens bei Anwendung der zu dieser Zeit gültigen Umrechnungsfaktoren überprüft und die ermittelten Ergebnisse diskutiert.

### 2.5.1 Untersuchungen zum Sektionsraummaß

Der tatsächliche Festgehalt von Schichtholzpoltern in Verbindung mit der Anwendung exakter Umrechnungsfaktoren bzw. der forstlich korrekten Volumeneinheiten beschäftigte MAGIN (1951), JÄGER (1951), SCHREIBER (1951) und PONADER (1951). In praktischen Untersuchungen ermittelte beispielsweise MAGIN an 110 Rm m.R. Fichtenfaserholz der Länge ein Meter einen Umrechnungsfaktor von 0,722 – 0,772 in Abhängigkeit der Durchmesser der Einzelstämme. Dafür erhob er die Mittendurchmesser der Einzelstämme in Rinde mittels Kluppe, um eine Umrechnung auf Fm m.R. zu ermöglichen.

KARLSSON (1971) verfasste eine Studie, in der 42 Schichtholzpolter in Holzart Fichte und Länge 3 Meter untersucht wurden. Durch einzelstammweise Bestimmung der Festmasse (manuelle Messung der Mittendurchmesser und Stammlängen) konnte er ein tatsächliches

Festgehaltsprozent von 0,680 feststellen, allerdings ohne Anwendung eines Rindenabzuges. Das Raummaß wurde demnach auch bei dieser Studie auf Fm m.R. umgerechnet.

Einen Versuch, bei dem Fichte/Tanne – Industrieholz der Länge 1 Meter und 2 Meter nach der Vollaufnahme mit dem Raummaß verglichen wurde, führte PFEIL (1985) durch. Dabei ergab die Massenermittlung der manuellen Vollaufnahme eine Holzmenge von 381,70 Fm o.R., bei einem Raummaß von 606,80 Rm m.R. resultierte dies in einem Umrechnungsfaktor von 0,629.

Einen Vergleich vom Raummaß auf das Festmaß bei Fichten – Industrieholz der Länge 2 Meter mit elektronischer Messung ermöglichte LEINERT (1986). Er nahm dafür insgesamt 101,40 Rm m.R. im Raummaß auf und stellte diese Volumenmenge dem durch einzelstammweise ermittelten Ergebnis der elektronischen Messung gegenüber. Die Anlage lieferte ein Ergebnis von 60,38 Fm o.R., was einem Umrechnungsfaktor von 0,595 entspricht.

### **2.5.2 Untersuchungen bei der Gewichtsvermessung**

Die Genauigkeit der Vermessung von Industrieholz nach Gewicht wurde speziell von DIETZ mehrmals wissenschaftlich untersucht. In einer Untersuchung an 32 Industrieholzlieferungen der Holzart Fichte/Tanne errechnete er eine mittlere Abweichung von +/- 5,6 % (DIETZ, 1966). Eine weitere Bewertung der Vermessungsgenauigkeit von Industrieholz mittels Gewichtsvermessung wurde 1974 in einer Papierfabrik durchgeführt (DIETZ, KELLER & ARTMANN, 1976). Es wurde festgehalten, dass die Abweichung des Vermessungsergebnisses besonders von der Streuung des Trockengehalts innerhalb einer Lieferung und vom Stichprobenumfang abhängt. Demnach könnte eine Verdoppelung des Stichprobenumfangs von 10 auf 20 Proben je Ladung den Fehler bei der Gewichtsvermessung von +/- 4,7 % auf +/- 3,3 % reduzieren.

ERB (1984) validierte die Maßdifferenzen beim Gewichtsverkauf von Industrieholz in Baden-Württemberg für die Jahre 1980 bis 1982, indem er das Werkseingangsmaß nach Gewicht dem vom Forst ermittelte Waldmaß gegenüberstellte. In den drei Forstwirtschaftsjahren ergab sich eine Differenz bzw. ein Mehrvolumen bei der Gewichtsvermessung von + 2,9 % (1980), +5,6 % (1981) und + 5,7 % (1982). Zwar bewertete er diese Übereinstimmung im Hinblick auf die Gesamtmenge als hervorragend,

stellte aber auch fest, dass es bei Einzellieferungen teilweise zu Differenzen in beide Richtungen bis deutlich über 20 % gibt.

STAUDENMAIER, SAUTER, STABLO & BECKER (2011) erfassten das Festvolumen von Fichten- und Tannenindustrieholz aus 38 verschiedenen Beständen mithilfe des Atrogewichtes. Hiervon wurden je Bestand zwischen 20 und 42 Schichtholzabschnitte zufällig aus den Industrieholzpölkern ausgewählt und die Durchmesserwerte durch manuelle Messung nach Entrindung der jeweiligen Messstellen kalkuliert. Die Untersuchungen bestätigten die seit 1983 deutschlandweit geltende Umrechnungszahl von 2,20 für die Holzart Fichte/Tanne.

### **2.5.3 Untersuchungen bei fotooptischen Vermessungen**

BERTELS (1991) untersuchte an 2 Meter langem Industrieholz mit einer optischen Vermessungsmethode, bei der die Holzstirnflächen der Holzpölkern mittels Kamera erfasst und vermessen wurden, den Umrechnungsfaktor von Raum- auf das Festmaß. Ein mittlerer Messwert von 59,8 % Holzstirnflächen pro Quadratmeter lässt auf einen Umrechnungsfaktor von 0,598 schließen.

Über die digitale Fotovermessung von Industrieholz und Abschnitten berichten JÖRGENSEN & KRISTIANSEN (2008). Die Bildinterpretations-Software trennt elektronisch die Anteile von Luft und Holzmasse, wodurch das Festgehaltsprozent eines Pölkerns ermittelt werden kann. Ohne Angabe des Versuchsumfanges behaupten die Autoren, dass die Genauigkeit dieser neuen Vermessung im Verhältnis zum Werkseingangsmaß (Gewichtsverfahren) um 1 bis 3 % variiert.

Im Rahmen des von einer Forstbetriebsgemeinschaft durchgeführten Pilotprojekts, wurde Industrieholz vergleichend händisch (Sektionsverfahren) und fotooptisch vermessen (ZIEGELER, 2015). Dies ergab eine ausgesprochen hohe Übereinstimmung bei den ermittelten Raummaßen. Durch den Vergleich der Raummaße mit dem nach Stärkeklassen gegliederten Festmaß, leitete ZIEGELER aus dem Ergebnis der fotooptischen Vermessung tatsächliche Umrechnungsfaktoren her. Für 2,5 – 3,0 Meter langes Industrierundholz (Nadelholz) berechnete er einen Faktor von Raum- auf Festmaß von 0,578.

Bei fotooptischen Messsystemen zur Holzvermessung darf die Messabweichung für die Pölkernfrontfläche eine Fehlergrenze von +/- 7 % nicht überschreiten (PTB, 2015). Dass bereits

geringe Abweichungen des korrekten Abstands der Kamera von der Polterfläche einen erheblichen Einfluss auf das Genauigkeitsergebnis haben, veröffentlichten PÁSZTORY, EDELÉNYI & BOROS (2013). Das eingesetzte System wies bei einem Kameraabstand von 10 Metern von der Polterfläche folgende Fehler auf:

- bei einer Positionsdifferenz von  $-30$  cm:  $+5,9$  %
- bei einer Positionsdifferenz von  $+30$  cm:  $-6,1$  %

Es zeigt sich folglich, dass für den Erhalt möglichst exakter Messdaten mittels fotooptischer Erfassung, eine korrekte Anwendung der jeweiligen Systeme vom Bediener vorausgesetzt wird.

Es bleibt festzuhalten, dass es sich bei den bisherigen Forschungsuntersuchungen im Bezug auf die Vermessungsgenauigkeit von Industrieholz lediglich um hergeleitete Volumenmaße aufgrund von Umrechnungsfaktoren oder mittels händischen Messungen handelt. Nur LEINERT (1986) verwendete eine elektronische Vermessung, jedoch bei geringer Versuchsgröße und ohne zertifizierte und geeichte Anlage. Es ist fraglich, ob der Stand der Technologie von vor 30 Jahren den heutigen Standards der elektronischen Vermessungsanlagen in Bezug auf die Genauigkeit der Stammvermessung entspricht.

Es kann also davon ausgegangen werden, dass wissenschaftlich fundierte Versuche, bei denen die korrekten Einzelstammvolumen jedes Versuchspolters als Vergleichsmaß gedient haben, bei Industrieholz bisher nicht durchgeführt wurden. Zudem beruhen die bislang durchgeführten Publikationen darauf, lediglich eine Messmethode auf ihre Genauigkeit zu überprüfen. Ein Vergleich aller derzeit in der Praxis angewendeten Vermessungsmethoden für Industrieholz wäre demnach neu. Weiter wurden die Erfassung der Qualitätsparameter (Krümmung, Abholzigkeit, Ovalität) und deren Einfluss auf das Festgehaltsvolumen in die Darstellung der bisherigen Genauigkeitskalkulationen nicht integriert. Dies könnte aber eventuell die Streuung der verschiedenen Messergebnisse bei gleichen Rahmenbedingungen erklären.

### 3 MATERIAL UND METHODE

In den nachfolgenden Abschnitten werden die Vorgehensweise der Versuchsdurchführung, die Datenermittlung sowie die anschließende Datenauswertung detailliert beschrieben. Zunächst soll aber eine kurze Erläuterung des Untersuchungskonzepts Aufschlüsse darüber geben, wie die Versuchsabläufe im Einzelnen strukturiert sind, welche Vermessungsmethoden zum Einsatz kommen und wie sich die Rahmenbedingungen darstellen.

#### 3.1 Untersuchungskonzept

##### 3.1.1 Skizzierung des Versuchsaufbaus

Die Arbeit behandelt insgesamt zwei Versuchsreihen. Zunächst wurde die Versuchsreihe 1 durchgeführt, bei der die Genauigkeit der derzeit in der Praxis angewendeten Vermessungsmethoden für Industrieholz untersucht wurde. Aufgrund der Erkenntnisse aus Versuchsreihe 1, bei der die Mittendurchmesser der Einzelstämme auf das Festgehaltsvolumen von Industrieholzpöltern einen relevanten Einfluss darstellten, wurde dieser Beobachtung in einem Zusatzversuch mit Versuchsreihe 2 nachgegangen.

##### 3.1.2 Beschreibung des untersuchten Materials und Versuchsumfang

Die Versuchsreihe 1 umfasste insgesamt 2.006 Rm m.R. von maschinengesetztem Fichten/Tannen-Industrieschichtholz der Güte N in Holzlänge 3 Meter. Dabei wurden 28.248 Einzelstämme nach der Ermittlung der Wald- und Werksdaten elektronisch im Werk vermessen. Untersucht wurden in Summe 33 Einzelpolter verschiedener Größe von 22,50 – 138,80 Rm m.R. Die Zielvorgabe des Versuchs im Hinblick auf die Poltergröße gestaltete sich dabei wie folgt (Tabelle 4):

**Tabelle 4: Poltergrößen der Versuchsreihe 1**

Poltergröße (Rm m.R.)	Anzahl Versuche
20 – 30	5
30 – 40	5
40 – 50	5
50 – 60	5
60 – 80	5
80 – 100	4
100 – 140	4

Die Holzabfuhr mittels LKW setzte sich aus 38 Ganz- und 23 Teilladungen zusammen. Die Testpolter wurden dabei gezielt aus unterschiedlichen Forstrevieren in Baden-Württemberg und Bayern ausgewählt, d.h. in einem Forstrevier wurde jeweils nur ein Versuch durchgeführt. Damit kann sichergestellt werden, dass eine Abhängigkeit der Versuchsergebnisse vom Aufarbeiter bzw. Rucker des Holzes ausgeschlossen ist.

Die Versuchsreihe 2 wurde vorort in einem Sägewerk in Baden-Württemberg durchgeführt und beinhaltete eine Gesamtmenge von 870,35 Rm o.R. Für die Beurteilung der Auswirkung des Mittendurchmessers auf das Festgehaltsvolumen eines Industrieholzpolters wurden 12.701 entrindete Einzelstämme in Abhängigkeit vom Zopfdurchmesser vorsortiert und gegenüber den Sortierboxen zwischengelagert (Abbildung 3).



**Abbildung 3: Vorsortierung der Versuchsstämme am Rundholzplatz**

Alle Stämme entsprachen denselben Aushaltungskriterien in Bezug auf Holzart (Fichte/Tanne), Güteklasse (N) und Länge (3 Meter). Die Werte der Stammparameter (Abholzigkeit, Ovalität, Krümmung) wurden im Sortierprogramm so definiert, dass besonders abholzige, ovale und krumme Einzelstämme aussortiert wurden und die Versuchsstämme folglich den Kriterien der Güteklasse N entsprachen. Die Zopfeinteilung der Versuchsstämme gestaltete sich gemäß Tabelle 5.

Die Einzelstämme eines jeweiligen Stärkebereiches wurden mit dem Ladekran eines Rundholz-LKW zu einem Polter vordefinierter Größe gestapelt, vergleichbar mit der Polterung an der Waldstraße. Die seitliche Begrenzung des Polters erfolgte mit Metallstützen, sodass eine einheitliche Polterbreite bei allen 10 Versuchen sichergestellt werden konnte. Um eine homogene Polterhöhe über die komplette Breite zu gewährleisten, wurde das Holz stirnseitig an eine Mauer gesetzt.

**Tabelle 5: Zopfeinteilung der Versuchsreihe 2**

Versuch	Zopfdurchmesser in cm	Bereich in cm
1	7,5 – 9,4	2
2	9,5 – 10,4	1
3	10,5 – 11,4	1
4	11,5 – 12,4	1
5	12,5 – 13,4	1
6	13,5 – 14,4	1
7	14,5 – 15,4	1
8	15,5 – 17,4	2
9	17,5 – 19,4	2
10	19,5 – 21,4	2

### 3.1.3 Eingesetzte Vermessungsmethoden

Aufgrund des örtlichen Unterschieds bei der Versuchsdurchführung an der Waldstraße und Vorort im Werk, können die eingesetzten Vermessungsmethoden aufgrund der daraus resultierenden Datenermittlung in zwei Kategorien eingeteilt werden:

- Walddaten: Sektions-Raummaßverfahren, fotooptische Vermessung, Stichprobenverfahren, schwedisches Indexverfahren
- Werksdaten: LKW-Vermessung, Gewichtsübernahme, elektronische Werksvermessung

Dabei handelt es sich bei den fünf Vermessungsmethoden Sektions-Raummaßverfahren, fotooptische Vermessung, Stichprobenverfahren, LKW-Vermessung und Gewichtsübernahme um die derzeit in der Praxis angewendeten Verfahren für Industrieholz. Das schwedische Indexverfahren wird zwar im deutschsprachigen Raum nicht angewendet, bietet aber aufgrund der Integration festgelegter Polter- und Holzeigenschaften in das Volumenergebnis einen interessanten Lösungsansatz bei der Ermittlung eines möglichst korrekten Verkaufsmaßes für Industrierundholz. Aufgrund dessen wurde auch diese Vermessungsmethode in die Versuchsreihe aufgenommen.

Wie einleitend beschrieben, kommt die einzelstammweise und elektronische Vermessung bei Industrierundholz in der Praxis nicht zum Einsatz. Für die Ermittlung des exakten Volumenmaßes aller Versuchsstämme gelang es dem Autor, seine Versuchsreihen auf einer speziell für Schwachholz ausgerichteten Rundholzvermessungsanlage bei der Firma Heinzmann GmbH in Schwäbisch Gmünd durchzuführen.

**Tabelle 6: Technische Daten der Rundholz-Messanlage**

Hersteller:	Jörg Elektronik
Typ:	JORO – 3D
Messgenauigkeit:	< 1,5 mm
Anzahl der Messungen:	400/sek
Messbereich der Sensoren:	800 mm
Vorschubgeschwindigkeit:	ca. 90 m/min
Gültige Eichung:	bis 31.12.2017
Zulassung zur Werksvermessung:	bis 28.02.2017

Zur Vermessung und Klassifizierung der Versuchsstämme konnte auf ein automatisiertes Messsystem des Herstellers Jörg Elektronik (Typ JORO – 3D) zurückgegriffen werden. Die technischen Daten der zertifizierten und geeichten Rundholzvermessungsanlage sind in Tabelle 6 zusammengefasst.

### 3.1.4 Rahmenbedingungen bei den Untersuchungen

Die Messwertermittlungen der Walddaten wurde ausschließlich vom Autor und am fertig gerückten Polter an der Waldstraße vorgenommen. Alle Versuchspolter wurden maschinell aufgesetzt und ermöglichten einen freien Zugang zu Poltervorder- und rückseite. Es wurden für die Versuche lediglich Lose mit Holzart Fichte/Tanne ausgewählt, eine Beimischung von Kiefer, Lärche oder Douglasie wurde nicht akzeptiert. Im Hinblick auf die Güteklasse, so wurde entsprechend dem Holzschliffsortiment der Papier- und Zellstoffindustrie nur ein geringer Anteil der Güte F (max. 10 % der Gesamtmenge des Polters) toleriert. Die Anforderungen an die Polterung entsprachen bei allen 33 Versuchen den aktuell gültigen Normen und Richtlinien.

Bei der Holzabfuhr wurde der Forderung einer sorgfältigen Durchführung ausnahmslos nachgekommen. Die gesamte Versuchsmenge wurde ausschließlich von zwei Mitarbeitern der Firma Heinzmann GmbH, dem Käufer des Industrieholzes, mit firmeneigenen Rundholz-Lastzügen abgefahren. Aufgrund der Integration der Versuchsnummer in das interne Holzeinkaufssystem der Firma konnte eine eindeutige Zuordnung der Versuchsstämme über den gesamten Logistikprozess gewährleistet werden.

Nach der Ermittlung des Ladungsgewichtes auf einer geeichten Brückenwaage in einem ein Kilometer entfernten Schotterbetrieb der Firma Wager-Fischer GmbH, erfolgte die Mess-

wertermittlungen der Werksdaten ebenfalls alleinig vom Autor und unmittelbar nach Ankunft des Versuchsholzes. Die Geräte zur Probenentnahme sowie der verwendete Trockenschrank entsprachen den Anforderungen der aktuell gültigen Normen.

Die beschriebene Ausgangslage stellt die Rahmenbedingungen für die bisher umfangreichsten Versuche zur Volumenermittlung an Industrieholz unter kontrollierten Bedingungen und unter strenger Einhaltung der jeweiligen Richtlinien dar.

## 3.2 Versuchsdurchführung

### 3.2.1 Ermittlung der Walddaten (Versuchsreihe 1)

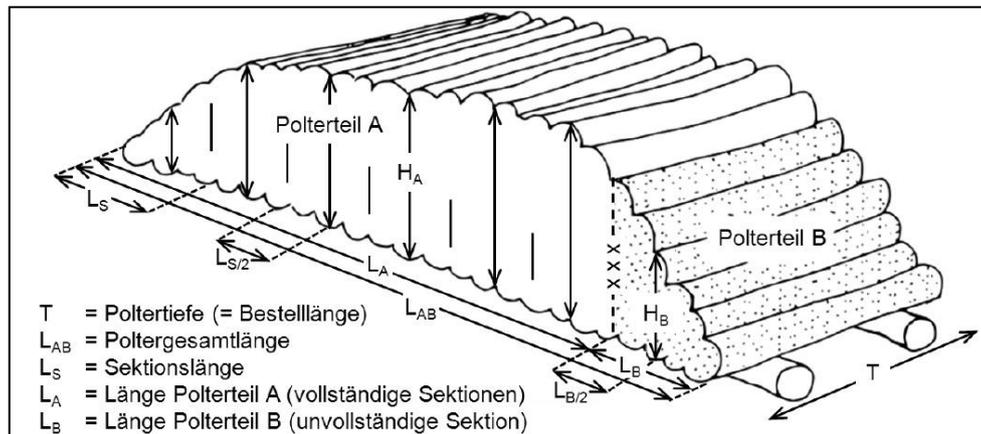
#### 3.2.1.1 Sektions-Raummaßverfahren

Zunächst wird die Poltergesamtlänge ( $L_{AB}$ ) an der Vorder- und Rückseite mit einem Rollmessband ermittelt (Abbildung 4). In Abhängigkeit von  $L_{AB}$  wird der Polter nach der RVR-Richtlinie in definierte und gleich lange Sektionen ( $L_S$ ) unterteilt (Tabelle 7). Die jeweiligen Sektionsmitten ( $L_{S/2}$ ) sind für die anschließende Höhenmessung maßgebend und werden deshalb mit Farbspray gekennzeichnet. Es wird mit Meterstab und senkrecht zum Polter gemessen, an beiden Polterseiten und auf Zentimeter-Genauigkeit. Die Messpunkte sind sowohl an der Boden- wie auch an der Oberseite des Polters immer dort zu erheben, wo die senkrechte Markierung die Stirnfläche des letzten Stammes verlässt (Abbildung 4).

**Tabelle 7: Einteilung der Sektionslängen (RVR, 2015)**

Poltergesamtlänge ( $L_{AB}$ )	Sektionslänge ( $L_S$ )
bis 10 Meter	1 Meter
über 10 bis 20 Meter	2 Meter
über 20 bis 40 Meter	4 Meter
über 40 bis 60 Meter	6 Meter
über 60 bis 80 Meter	8 Meter
über 80 bis 100 Meter	10 Meter

Nach Einteilung und Markierung der jeweiligen Sektionen ergibt sich am Ende des Polters ein unvollständiger Abschnitt (Polterteil B) mit der Länge  $L_B$ . Dieser wird gesondert vermessen und das Volumen mit dem ermittelten Poltervolumen aus  $L_A$  summiert.



**Abbildung 4: Maßermittlung beim Sektions-Raummaßverfahren (FVA, 1997)**

Die ermittelten Daten werden während der Vermessung in ein Waldaufnahmeformular (siehe Anlage I) übertragen und können durch spätere Eingabe in eine Excel-Tabelle ausgewertet werden.

### 3.2.1.2 Fotooptische Vermessung

Aufgrund der Vorteile, dass das System ohne Zusatzsoftware und auf einem herkömmlichen Tablet installiert werden kann, wurde die fotooptische Vermessung des Poltervolumens mit dem Programm des Anbieters FOVEA (Software-Version iFOVEA 1.14.2) durchgeführt. Die Erhebung der Walddaten umfasst dabei fünf wesentliche Arbeitsschritte:

- Eingabe aller relevanten Versuchsdaten des Polters
- Fotografieren der Poltervorderseite
- Eingabe der Polter- und Holzlänge
- Erstellung und Nachbearbeitung des Panoramafotos
- Speichern der Daten

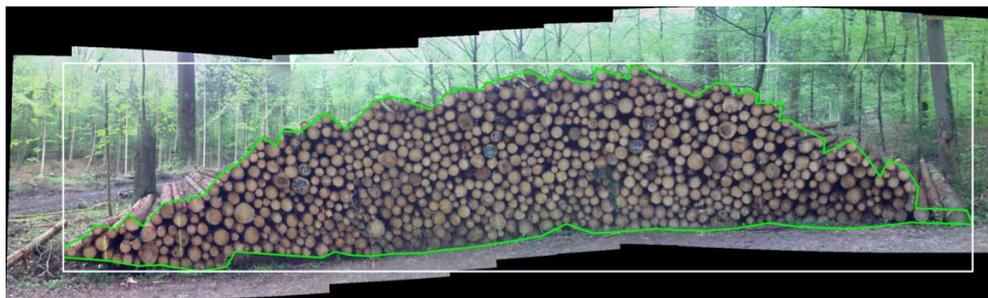
Die Eingabe relevanter Versuchsdaten ist für die spätere Zuordnung der Vermessungsergebnisse notwendig. So werden Messdatum, Versuchsnummer, Lieferant, Revier, Nummer der Abfuhrfreigabe, Versuchsnummer, Holzart, Sorte und Güte des Industrieholzes in das Programm übertragen (siehe Anlage IV). Anschließend kann mit dem Fotografieren der Poltervorderseite begonnen werden. Mit der Digitalkamera des iPad werden mehrere Einzelbilder mit mindestens 60 % Überlappung aufgenommen, immer beginnend von der linken Polterseite und möglichst in gleichem Abstand von der Polterfront. Die optimale Bildausrichtung wird dem Bediener anhand einer Ausrichtungsanzeige beim Fotografieren erleichtert.

Zwar waren alle 33 Versuchspolter von beiden Seiten für die händische Maßermittlung frei zugänglich, jedoch wäre nur an sieben Poltern eine korrekte Aufnahme der Polterrückseiten mittels fotooptischer Vermessung möglich gewesen. In den meisten Fällen befanden sich Bäume, Sträucher oder Schlagabraum in unmittelbarem Abstand hinter dem Polter (Abbildung 5). Diese Gegebenheiten haben eine Bildaufnahme, bei der ausschließlich die Stirnflächen des Versuchspolters abgebildet werden, unmöglich gemacht. Aus diesem Grund wurde die fotooptische Datenerhebung bei allen Versuchspoltern nur an der Vorderseite durchgeführt.



**Abbildung 5: Polterrückseite von drei Versuchspoltern: Bäume (Abb. links), Schlagabraum (Abb. Mitte) und Sträucher (Abb. rechts) verhindern eine fotooptische Aufnahme**

Im Anschluss an die Bildaufnahme muss lediglich die gemessene Polterlänge und die einheitliche Stammlänge eingegeben werden, danach beginnt die Software sofort mit der Erstellung des Panoramafotos. Die einzelnen Polterabschnittsbilder werden dabei zu einem Gesamtbild zusammengefügt. Das Polygon wird von der Software mit einer geschlossenen, grünen Linie entsprechend den Polterumrissen abgebildet (Abbildung 6). Aufgrund von Lichteinfluss oder dunklen Stirnflächen kann es vorkommen, dass einzelne Stämme nicht korrekt erfasst werden. Hierfür hat der Bediener die Möglichkeit, durch Nachbearbeitung der Aufnahme die grüne Linie entsprechend der Polterkontur anzupassen. Bildet das Polygon die tatsächliche Polterfront ab, so kann der Bediener die Berechnung des Poltervolumens freigeben. Nach kurzer Bearbeitungszeit werden alle relevanten Messdaten angezeigt und können auf dem Tablet gespeichert werden.



**Abbildung 6: Darstellung der fotooptischen Aufnahme eines Polters am Beispiel von Versuch 7**

### 3.2.1.3 Stichprobenverfahren

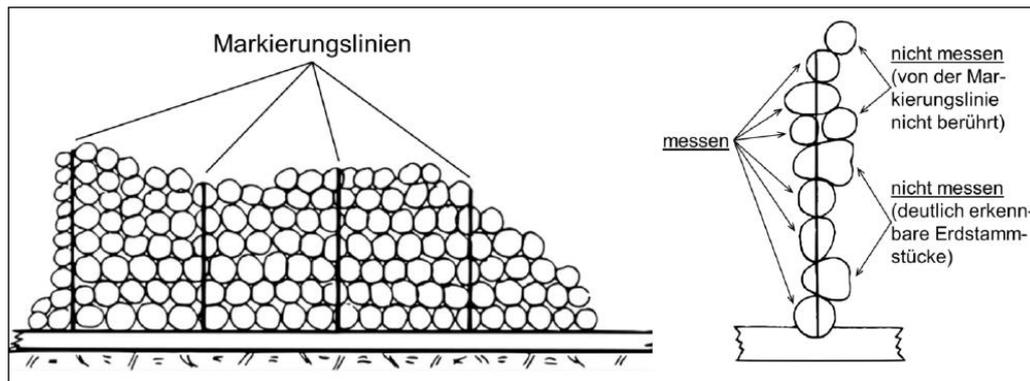
Zur Herleitung des Gesamtvolumens eines Holzpolters mithilfe des Stirnflächenverfahrens müssen zunächst an der Vorder- und Rückseite Markierungsstriche in regelmäßigen Abständen mit einem Farbspray angebracht werden. Die Abstände werden in Abhängigkeit der Poltergröße angebracht und gestalten sich dabei wie folgt (RVR, 2015):

- Poltergröße < 120 Fm: 0,5 Meter
- Poltergröße 121-300 Fm: 1,0 Meter
- Poltergröße > 300 Fm: 2,0 Meter

Da alle Versuchspolter eine Größe von 120 Fm nicht überschreiten, muss nach der aktuell gültigen Richtlinie ein Abstand von 0,5 Meter gewählt werden. Mit der Erhebung der Messdaten an beiden Polterseiten würde das für einen Industrieholzpolter mit einem mittleren Durchmesser von 14 cm bedeuten, dass theoretisch über 50 % der Polterstämme gemessen werden müssen. Dies stellt bei einer Gesamtstückzahl der Versuchsreihe von 28.248 Einzelstämmen einen unzumutbaren Vermessungsaufwand dar. Aufgrund dessen, dass die Markierungen der Sektionen beim Raummaßverfahren im Abstand von 1 Meter bereits vorhanden sind und dadurch ein Stichprobenumfang von über 25 % erreicht werden kann, wurde dieser Abstand bei den Versuchsreihen festgelegt.

Zunächst werden alle Stirnflächen, die von der Markierungslinie berührt werden, ohne den Rindenanteil vermessen. Die Stirnflächen deutlich erkennbarer Erdstämme dürfen nicht gemessen werden (Abbildung 7). Der Durchmesser der markierten Stämme wird forstüblich auf ganze Zentimeter abgerundet und direkt nach der Erhebung in einer Strichliste des Waldaufnahmeformulars (siehe Anlage II) festgehalten.

Anschließend kann die Erhebung der Gesamtstückzahl des Polters beginnen. Dafür wird jeder Stamm während der Zählung mit einem Farbspray gekennzeichnet. Um Fehler zu vermeiden, wird nach der Ermittlung von jeweils 100 Stück die Anzahl der bisher gezählten Stämme an den Poltern geschrieben. Die Gesamtstückzahl wird abschließend ebenfalls in das Waldaufnahmeformular eingetragen.



**Abbildung 7: Markierungslinien und Stammauswahl bei der Anwendung des Stirnflächenverfahrens (FVA, 1997)**

#### 3.2.1.4 Schwedisches Indexverfahren

Bei der Anwendung des schwedischen Indexverfahrens können die bereits protokollierten Messdaten des Sektions-Raummaßverfahrens (Abschnitt 3.2.1.1) verwendet werden. Das Raummaß aus Polterlänge, Polterhöhe und Stammlänge muss jedoch direkt am Versuchspolter mit verschiedenen, den Festgehalt beeinflussenden Faktoren nach einem Ab- bzw. Zuschlagssystem ergänzt werden. Dabei sind nachfolgende Polter- und Holzeigenschaften (Tabelle 8), die eine Veränderung des Holzvolumenanteils herbeiführen können, zu berücksichtigen.

**Tabelle 8: Polter- und Holzeigenschaften mit entsprechendem Indexwert (DELORME, 1978)**

Eigenschaft	Indexwert
Mittlerer Durchmesser	- 6 bis + 5
Polterung	0 bis - 7
Krümmung	0 bis - 7
Entastung	0 bis - 7
Hiebsreste	0 bis - 5
Erdstämme	- 1 bis + 1
Durchmessermischung	- 1 bis + 1
Polterhöhe	0 bis + 2

Die Tabelle bildet die Minima und Maxima der zulässigen Ausprägungsstufen ab. Im Rahmen der Versuchsreihe mit 33 Einzelpoltern wurde darauf geachtet, dass die zur Verfügung stehenden Punkteintervalle der Indexwerte bestmöglich ausgenutzt werden, sodass die Unterschiede zwischen den jeweiligen Versuchspoltern auch wirklich zur Geltung kommen.

Die entsprechenden Eigenschaften werden einzeln untersucht, indem der Polter sowohl von der Vorder- und Rückseite, als auch an der Oberfläche bzw. über den Poltermantel genau

begutachtet wird. Jeder Parameter wird entsprechend seiner Ausprägung bewertet und der passende Indexwert im Waldaufnahmeformular (siehe Anlage III) erfasst.

Nicht berücksichtigt in dem herkömmlichen schwedischen Ab- und Zuschlagsystem werden die Stammeigenschaften Abholzigkeit und Ovalität. Aufgrund dessen, dass sich deren Ausprägungen vergleichbar mit der Krümmung ebenfalls auf das Festvolumen von Industrieholzpölkern auswirken (DELORME, 1978), wurden diese beiden Parameter bei den Versuchspölkern mit beurteilt und deren Bewertung in den Indexwert der Krümmung integriert.

### **3.2.2 Ermittlung der Werksdaten (Versuchsreihe 1)**

#### **3.2.2.1 LKW-Vermessung**

Die Vermessung beginnt sofort nach Eintreffen des Rundholz-LKW im Werk. Die Holzabfuhr wurde mit zwei baugleichen Kurzholz-Fahrzeugen mit Anhänger durchgeführt, die sowohl am Motorwagen, als auch am Anhänger dieselbe Rungeninnenbreite von 2,30 Meter aufweisen. Alle Stämme der kompletten Versuchsreihe haben eine Länge von 3 Metern, somit ist für die Ermittlung des Raummaßes am LKW lediglich die jeweilige Stoßhöhe zu messen und in das vorbereitete Aufnahmeformular einzutragen (siehe Anlage V).

Der Bautyp beider Fahrzeuge ermöglicht die Beladung von einem Stoß am Motorwagen und zwei Stößen am Anhänger. Folglich müssen im Falle einer kompletten Versuchsladung drei Stöße vermessen werden. Ergeben sich bei der Holzabfuhr aufgrund der Größe der Versuchspölkern Teilladungen, so ist die Höhe der nur für den Versuch relevanten Holzstöße zu ermitteln.

Nach dem Öffnen der Zurrgurte werden auf beiden Seiten des jeweiligen Stoßes drei repräsentative Höhenmessungen mit einer Messlatte durchgeführt. Die Genauigkeit der Messwerterhebung beträgt dabei 5 Zentimeter. Aus Gründen der Transportsicherheit können die Stöße von der Fahrzeugmitte nach außen hin abfallen. In diesem Fall wird die Maßermittlung mit einem gutachtlichen Höhenausgleich, d.h. einer gedachten waagrechten Linie, angepasst.

### 3.2.2.2 Gewichtsübernahme

Die Gewichtsübernahme des Versuchsholzes beginnt mit der Ermittlung des Bruttogewichtes der Ladung (Wiegegenauigkeit 20 kg). Nach der Verwiegung des kompletten Lastzuges folgt die Entnahme der repräsentativen Spanprobe durch Einschnitte mit einer Motorkettensäge gemäß den in Abschnitt 2.3.3 aufgeführten Vorschriften. Die gesamte Spanprobe jeder Lieferung ist vor der Trockengehaltsbestimmung ausreichend zu durchmischen. Aus dieser Mischprobe wurde bei allen Versuchen eine Spanmenge von exakt 200 g entnommen und unmittelbar danach in den bereits auf 103 °C vorgeheizten Darrschrank gegeben. Zusätzlich wurden alle Proben mit der Versuchsnummer gekennzeichnet. Die Einwaage und das Datum inklusive Uhrzeit wurden in einem Laufzettel (siehe Anlage V) festgehalten.

Im Anschluss an die Entladung der Versuchsstämme erfolgte die Tara-Verwiegung. Aufgrund der Tatsache, dass sich der jeweilige Tankinhalt der Fahrzeuge auf das Taragewicht auswirkt und im Falle von Teilladungen der LKW nicht komplett entladen ist, wurde bei allen 61 Gewichtsübernahmen ausnahmslos eine Rückverwiegung durchgeführt. Der Laufzettel mit den bisher protokollierten Messwerten (Brutto- und Taragewicht, Einwaage der Probe) wurde nach Erreichen der Gewichtskonstanz der Spanprobe mit dem Darrgewicht ergänzt. Um zu gewährleisten, dass das Wasser zur Gänze aus den Spänen entwichen ist, wurde die Spanprobe mindestens 48 Stunden im Darrschrank getrocknet.

### 3.2.2.3 Elektronische Werksvermessung

Die Versuchsstämme wurden mit einem Umschlagbagger der Anlage zugeführt. Nach der automatischen Vereinzelnung mittels Stufenschieber erfolgte die Entrindung der Stämme durch Lochrotor-Entrindung. Ein Blockzug transportiert die nun rindenfreien Versuchsstämme kontinuierlich und im Längsdurchlauf in die abgedunkelte Vermessungsstation (Abbildung 8).



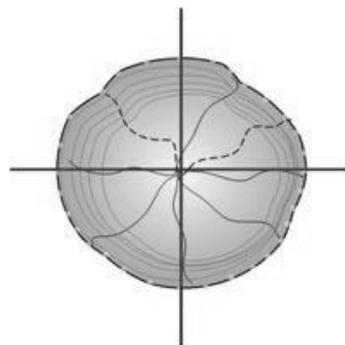
Abbildung 8: Vermessungsstation mit Laser-Kameraeinheiten des Typs JORO-3D

Zur Berechnung des Stammvolumens in Festmeter ohne Rinde bzw. zur Bestimmung einzelner Qualitätsparameter erfasst die vollelektronische Messeinheit folgende relevante Daten der Versuchsstämme nach der Entrindung:

- Stammlänge in Meter
- Stammdurchmesser (Stock-, Mitten- und Zopfdurchmesser) in Zentimeter
- Abholzigkeit in Zentimeter pro Meter
- Krümmung in Prozent
- Ovalität in Prozent

Ermöglicht wird die Datenerhebung durch drei speziell angeordnete Laser-Kameraeinheiten, die den Stamm in Lichtgeschwindigkeit abscannen (JÖRG ELEKTRONIK, 2006). Es wird kontinuierlich im Längsdurchlauf gemessen, sodass keine Unterbrechung des Blockzuges benötigt wird. Die Ermittlung der *Stammlänge* erfolgt durch den Einsatz eines elektronischen Impulsgebers, der die Längenimpulse des Blockzuges aufzeichnet. Die Messwertaufbereitung zur Bestimmung des *Stammdurchmessers* erfolgt mittels Kreuzmessung, d.h. in zwei Messebenen mittels senkrecht zueinander stehender Durchmesserpaare (Abbildung 9).

Die zur Berechnung des *Mittendurchmessers* herangezogenen Durchmesserwerte sind die Messwerte der die Sortenmitte einschließenden Messsektion. Dabei liegt die Sortenmitte im Abstand der halben Nennlänge vom stärkeren Stammende entfernt (VDS, 2005). Der Mittendurchmesser wird in der Einheit Zentimeter als Ganzzahl angegeben.



**Abbildung 9: Messwertermittlung bei der Kreuzmessung**

Für die Ermittlung der *Abholzigkeit* werden die Durchmesserwerte über den gesamten Stammverlauf, ausgehend von der Sortenmitte in 50 cm-Schritten zu den Stammenden, erhoben (JÖRG ELEKTRONIK, 2005). Ausgenommen von den beiden Endintervallen sind an jedem der Messpunkte die beiden sog. Quelldurchmesser, d.h. die beiden senkrecht zueinander stehenden Durchmesserpaare, zu ermitteln und auf Ganzzahlen zu runden. Die nun

aufsummierten lokalen Durchmesserdifferenzen bezogen auf die Nennlänge ergeben eine mittlere Abholzigkeit des Stammes in der Einheit Zentimeter pro Meter.

Die Erfassung des Verlaufes der *Krümmung* eines Stammes erfolgt unter Einbeziehung mehrerer gleichmäßig verteilter Messbereiche. Vergleichbar mit dem Verfahren zur Abholzigkeitsermittlung werden die Messwerte zur Krümmungsermittlung ausgehend von der Sortenmitte im Abstand von 50 cm erfasst. An jedem dieser Messpunkte werden die Abweichungen der Stammachse von der idealen Mittellinie eines Zylinders erfasst (VDS, 2005). Daraus resultiert die mittlere Krümmung des Stammes in der Einheit Prozent.

Die *Ovalität* wird gleichermaßen aufgrund von Durchmesserermittlungen in 50 cm – Schritten von der Sortenmitte bis zu den Stammenden berechnet. Dabei wird eine ovalitätsbedingte Ringkreisfläche erhoben, die die Differenz der realen Mittendurchmesserkreisfläche in der Sortenmitte und der um die mittlere Ovalität reduzierte Mittendurchmesserkreisfläche darstellt (JÖRG ELEKTRONIK, 2016). Die relative Ovalität in der Einheit Prozent berechnet sich aus dem Quotienten der ovalitätsbedingten Ringkreisfläche und der realen Mittendurchmesserkreisfläche.

Die Rundholzverwaltung ermöglicht die Speicherung aller Versuchsstämme mit seinen Vermessungsdaten in einer Datenbank. Die elektronisch ermittelten Werksdaten werden pro Versuch zusammengefasst und können später zur Auswertung mittels Einzelstammprotokollen in eine Excel-Datei konvertiert werden. Mithilfe der Versuchsnummer und der firmeninternen Holzeinkaufsnummer kann eine korrekte Zuordnung der Vermessungsdaten zu den jeweiligen Versuchen sichergestellt werden.

### 3.2.3 Datenerhebung bei Versuchsreihe 2

Die Datenerhebung bei Versuchsreihe 2 beginnt mit der Einteilung der Polterfront in gleichlange Sektionen von einem Meter (Abbildung 10). Die einheitliche Polterbreite bei allen Versuchen von exakt zwölf Metern ergab demnach zwölf Sektionen. Nach Markierung der Sektionsmitte startete die Höhenermittlung jeder Sektion auf Zentimeter-Genauigkeit. Die Sektionshöhe an der Polterrückseite beträgt aufgrund der Angleichung des Polters an eine Mauer immer 2,59 m und musste deshalb nicht erhoben werden.



**Abbildung 10: Einteilung der Sektionen bei Versuchsreihe 2 mittels senkrechter Markierungslinien**

Um später Aussagen bezüglich der Polterqualität treffen zu können, wurden die Stämme der Einzelsektionen mit einem Markierungsspray gezählt. Dabei wurden alle Stämme, die innerhalb der beiden Markierungslinien liegen, dieser Sektion zugeteilt. Befindet sich ein Stamm auf der Sektionsgrenze, so ist der Verlauf der Markierungslinie für die Zuteilung in die jeweilige Sektion entscheidend (Abbildung 11). Die Abweichung des Farbstriches von einer gedachten Mittellinie der Stirnflächen entscheidet, ob der Stamm der linken oder rechten Sektion zugeordnet wird.



**Abbildung 11: Markierungslinie für die Zuteilung der Versuchsstämme in die jeweilige Sektion**

Zur nachfolgenden Datenauswertung werden die erfassten Polterhöhen und die Stammanzahl pro Sektion bei allen Versuchen in ein vorbereitetes Aufnahmeformular eingetragen (siehe Anlage VI).

### 3.3 Datenauswertung

#### 3.3.1 Aufbereitung der Walddaten

Die Zielgröße bei der Durchführung des *Sektions-Raummaßverfahrens* ist zunächst das sogenannte Bruttonraummaß. Es errechnet sich aus den Messgrößen Polterlänge, Polterhöhe und Poltertiefe (FROMMHOLD, 2013). Die Poltertiefe entspricht der Bestelllänge des Sortiments, bei der vorliegenden Versuchsreihe 1 immer 3 Meter.

Tabelle 9 beschreibt die Datenauswertung des Sektions-Raummaßverfahrens repräsentativ für alle 33 Testpolter am fertig gerückten Polter von Versuch 1. Im vorliegenden Beispiel ergeben sich aufgrund der Poltergesamtlänge sowie der Sektionslänge von 2 Meter insgesamt zehn vollständige Sektionen an der Poltervorder- und neun vollständige Sektionen an der Polterrückseite. Die Summe aller 19 Sektionshöhen (36,81 m) ergeben als Mittelwert eine durchschnittliche Polterhöhe von Polterteil A (1,94 m). Die unvollständigen Abschnitte am Polterende wurden gesondert vermessen (Polterteil B). Der Mittelwert der Höhenmessung von Vorder- und Rückseite (0,33 m) resultiert in der durchschnittlichen Polterhöhe von Polterteil B.

**Tabelle 9: Datenauswertung Sektions-Raummaßverfahren für Versuch 1**

	Poltervorderseite	Polterrückseite
Poltergesamtlänge (m)	20,11	18,87
Sektionslänge (m)	2,00	2,00
Länge Polterteil A (m)	20,00	18,00
Ø Länge Polterteil A (m)		19,00
Länge Polterteil B (m)	0,11	0,87
Ø Länge Polterteil B (m)		0,49
$\Sigma$ Sektionshöhen Polterteil A (m)		36,81
Ø Höhe Polterteil A (m)		1,94
Höhe Polterteil B (m)	0,20	0,46
Ø Höhe Polterteil B (m)		0,33
Bruttonraummaß Gesamt (Rm m.R.)		111,07
Nettoraummaß Gesamt (Rm m.R.)		103,29

Die Multiplikation der durchschnittlichen Polterhöhen von Teil A und B mit den jeweiligen durchschnittlichen Polterlängen und der Holzlänge von 3 Meter ergeben das Bruttonraummaß

des Versuchspolters (111,07 Rm m.R.). Für das vollständige Endergebnis wird das Bruttovolumen in Abhängigkeit von Holzart und Sortimentslänge durch definierte Abzugswerte reduziert. Für die Versuchspolter in Holzart Fichte und Länge 3 Meter beträgt der Gesamt- abzug lt. RVR-Richtlinie 7 %. Das daraus resultierende Nettoraummaß für Versuch 1 beträgt demnach 103,29 Rm m.R. Alle relevanten Versuchsdaten zur Maßermittlung sowie die Net- toraummaße der 33 Einzelversuche werden in einer Excel-Tabelle gespeichert.

Die Aufbereitung der Versuchsdaten beim *fotooptischen Verfahren* beschränkt sich auf die Zuordnung der durch das Programm ermittelten Messdaten je Einzelversuch. Bereits nach Anpassung des Polygons Vorort im Wald berechnet die speziell entwickelte Software das Bruttovolumen des Holzpolters mittels eines programmierten Algorithmus. Aufgrund der Tatsache, dass der zur Umrechnung auf das Nettovolumen nötige Abzugswert (für Fichte der Länge 3 Meter) von 7 % bereits im System hinterlegt ist, können die Nettoraummaße in Rm m.R. für jeden Einzelversuche in einer Excel-Tabelle festgehalten werden.

Bei der Aufbereitung der Daten des *Stichprobenverfahrens* wird mit der in der Strichliste des Waldaufnahmebeleges erfassten Stammanzahl je Durchmesser der arithmetische Mittelwert des Stammdurchmessers eines Versuchspolters durch Eingabe in ein vorbereitetes Excel-Blatt berechnet. Aufgrund dessen, dass die Gesamtstückzahl des Polters bekannt ist und die Holzlänge immer 3 Meter beträgt, kann für die 33 Einzelpolter mit den unter Abschnitt 2.3.5 aufgeführten Volumenformeln das jeweilige Mittelstammvolumen und daraus resultierend das Gesamtvolumen des Versuchspolters in Fm o.R. kalkuliert werden. Zudem wird der Stichprobenumfang eines Versuchspolters anhand des Anteils der gemessenen Stämme an der Gesamtstückzahl mit nachfolgender Formel hergeleitet:

$$\text{Stichprobenumfang (\%)} = \frac{\text{Stammanzahl gemessen}}{\text{Gesamtstückzahl}}$$

Zur Datenauswertung beim *schwedischen Indexverfahren* werden die bewerteten Polter- und Holzeigenschaften in eine Excel-Tabelle eingetragen. Alle Parameter besitzen dieselbe Gewichtung und beeinflussen den festgelegten Grundwert von 71 (für Holzart Fichte und Länge 3 Meter) mit der Höhe der Zu- und Abschlagszahl. Der daraus resultierende Indexwert spiegelt das geschätzte Festgehaltsprozent des Versuchspolters in Rinde wider.

Um das Festmaß ohne Rinde herleiten zu können, muss der Indexwert mit einem pauschalen Rindenabzug reduziert werden. DIETZ (1975) ermittelte für Industrieholz in Deutschland

einen volumenbezogenen Rindenabzug von 9,7 % bei Fichte und 10,2 % bei Tanne. Aufgrund dessen wurde für die vorliegende Versuchsreihe bei der Anwendung des schwedischen Indexverfahrens ein pauschaler Rindenabzug von 10 % festgelegt. Der Umrechnungsfaktor vom Raummaß mit Rinde auf das Festmaß ohne Rinde gestaltet sich deshalb wie folgt:

$$\text{Umrechnungsfaktor} = \text{Geschätzter Festgehalt in Rinde} \times 0,9$$

### 3.3.2 Aufbereitung der Werksdaten

Zur Erhebung des Raummaßes bei der *LKW-Vermessung* wird zunächst aus den protokollierten Werten der Höhenmessungen eines Stoßes der arithmetische Mittelwert gebildet. Daraufhin kann die mittlere Stoßhöhe zur Berechnung des Stoßvolumens verwendet werden, indem die kalkulierte Höhe mit der bei allen Versuchen konstanten Holzlänge (3 Meter) und Fahrzeugbreite (2,30 Meter) multipliziert wird. Die Summe des Volumens aller geladenen Holzstöße ergibt das durch die Maßermittlung am LKW ermittelte Raummaßvolumen (brutto) eines Versuchspolters. Für die Versuchsreihe 1 wurde zur Darstellung des Nettovolumens (in Rm m.R.) eine Reduktion des Bruttovolumens um 5 % vorgenommen.

Die fuhrenweisen Vermessungsdaten der *elektronischen Werksvermessung* stehen mittels Einzelstamm- und Summenprotokollen zur Verfügung und werden der jeweiligen Versuchsnummer zugeordnet. Besteht ein Versuchspolter aufgrund seiner Größe aus mehreren Einzelladungen, so müssen für die Herleitung der Eigenschaftsparameter des Versuchs die Werte der Abholzigkeit, Ovalität, Krümmung und des mittleren Mittendurchmessers in Abhängigkeit von der Stückzahl der Einzelladung gewichtet kalkuliert werden.

Um das tatsächliche Holzvolumen der Versuchspolter in der Bestelllänge 3,00 Meter darstellen zu können, musste eine einzelstammweise Korrektur des Stammvolumens durchgeführt werden. Dafür wurde bei allen Versuchsstämmen das durch Längenunterschiede verursachte Fehlvolumen mit der Umrechnung auf 3,00 Meter berichtigt.

Die nachfolgende Tabelle 10 schildert die Datenauswertung bei der *Gewichtsübernahme* für Versuch 1. Die Kalkulation der restlichen Versuche läuft analog ab, lediglich kann die Anzahl der Ladungen aufgrund der unterschiedlichen Poltergrößen variieren.

**Tabelle 10: Datenauswertung Gewichtsübernahme für Versuch 1**

<b>Ladung</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Bruttogewicht (kg)	43740	41920	23220
Taragewicht (kg)	16380	16360	16940
Nettogewicht (kg)	27360	25560	6280
Einwaage frisch (g)	200,00	200,00	200,00
Einwaage trocken (g)	94,20	92,30	107,10
Trockengehalt (%)	47,10	46,15	53,55
Atro-Gewicht tatsächliche Stammlänge (kg)	12887	11796	3363
Atro-Gewicht Stammlänge 3,00 m (kg)	12613	11540	3300
Atro-Gewicht Gesamt (kg)		27453	

Das Nettogewicht der jeweiligen Ladung entspricht der Differenz aus Brutto- und Taragewicht. Für die Berechnung des Trockengehalts und des atro-Gewichts der Holzlieferung kommen die beiden in Abschnitt 2.3.3 angegebenen Formeln zur Anwendung. Dabei liefert die Division des protokollierten Gewichts der wasserfreien Spanprobe (Einwaage trocken) mit dem Probengewicht im Frischzustand (Einwaage frisch) den Trockengehalt der getesteten Versuchsladung. Das atro-Gewicht resultiert schließlich aus der Multiplikation des Nettogewichts der Ladung mit dem ermittelten Trockengehalt.

Um einen korrekten Vergleich mit den ermittelten Messwerten der elektronischen Werksvermessung zu gewährleisten, muss jedoch das atro-Gewicht der Versuchsladung mit den aus den Einzelstammprotokollen ermittelten Längendifferenzen korrigiert und auf die Bestelllänge von 3,00 Meter umgerechnet werden. Im vorliegenden Fall von Versuch 1 reduziert sich folglich das atro-Gewicht aufgrund der Aushaltung einer Überlänge.

Am Beispiel von Versuch 1 mit zwei Ganzladungen und einer Teilladung werden demnach drei atro-Werte erhoben. Die Addition der Werte ergibt als Gesamtsumme das atro-Gewicht von Versuchspolter 1 (27.453 kg).

### 3.3.3 Vergleich von Wald- und Werksdaten

Die angewendeten Vermessungsmethoden resultieren in unterschiedlichen Volumeneinheiten bei der Darstellung der Versuchsergebnisse. Dabei wird das Volumen in drei verschiedenen Einheiten angegeben:

- Als Raummaß in der Einheit Raummeter mit Rinde:  
Sektions-Raummaßverfahren, fotooptische Vermessung, LKW-Vermessung
- Als Festmaß in der Einheit Festmeter ohne Rinde:  
Stichprobenverfahren, schwedisches Indexverfahren, elektronische Vermessung
- Als Gewichtsmaß in der Einheit atro-Tonne mit Rinde:  
Gewichtsübernahme

Aufgrund der Zielsetzung der Arbeit, die derzeit in der Praxis angewandten Messverfahren für Industrieschichtholz mithilfe der elektronischen Vermessungsanlage auf ihre Genauigkeit zu überprüfen bzw. die Abweichungen der Messwerte vom tatsächlichen Festgehaltsvolumen zu untersuchen, ist es nötig, die beim Raum- und Gewichtsmaß ermittelten Vermessungsdaten in Festmeter ohne Rinde darzustellen. Dafür werden die in Abschnitt 2.4 genannten Faktoren für die Umrechnung bei der Versuchsreihe 1 (Holzart Fichte und Holzlänge 3 Meter) verwendet:

$$Fm \text{ o. R.} = Rm \text{ m. R.} \times 0,60$$

$$Fm \text{ o. R.} = t \text{ atro m. R.} \times 2,2$$

Im Zuge der Datenauswertung wurden die im Wald gezählten und die im Werk elektronisch ermittelten Stückzahlen je Versuchspolter miteinander verglichen. Damit soll sichergestellt werden, dass die Gesamtmenge des Versuchspolters das Werk erreichte und die Zuordnung der Nummern korrekt war. Erst nach dieser Kontrolle wurden die Daten aufbereitet und in die Auswertung einbezogen.

### **3.3.4 Datenaufbereitung von Versuchsreihe 2**

Die Summe der 24 Sektionshöhen ergibt im Mittelwert die durchschnittliche Polterhöhe des jeweiligen Versuchspolters. Sie fließt gemeinsam mit der konstanten Polterbreite und der Holzlänge mittels Multiplikation in die Raummaßberechnung ein. Vergleichbar mit dem Sektions-Raummaßverfahren wurde das Bruttoraummaß durch den in der RVR-Richtlinie vorgeschlagenen Abzugswert von 7 % auf das Nettoraummaß umgerechnet.

Nach der elektronischen Vermessung folgte eine einzelstammweise Längenkorrektur, um das tatsächliche Holzvolumen des Versuchspolters in der Bestelllänge 3,00 Meter darstellen zu können. Die restlichen Werte der Parameter des Einzelstammprotokolls (Mittendurchmesser, Zopfdurchmesser, Abholzigkeit, Ovalität, Krümmung) konnten unverändert übernommen und in eine Excel-Tabelle übertragen werden.

Abschließend konnte aufgrund der gezählten Stämme und der erhobenen Sektionshöhe jeder Einzelsektion die jeweilige Stammanzahl pro Quadratmeter Polterfläche hergeleitet werden.

## 4 ERGEBNISSE

Im Ergebnisteil sind die wesentlichen Resultate der Versuchsreihen 1 und 2 getrennt aufgeführt. Die dabei ermittelten statistischen Kenngrößen werden detailliert beschrieben und mithilfe entsprechender Tabellen und Grafiken interpretiert. Die statistischen Auswertungen wurden mittels Excel und der Analysesoftware R in der Version 3.3.1 (R Core Team, 2016) durchgeführt.

**Tabelle 11: Stückzahlvergleich Wald - Werk**

### 4.1 Versuchsreihe 1

#### 4.1.1 Stückzahlvergleich

Die Stammanzahl der Versuchspolter bei Versuchsreihe 1 wurde nicht nur für die Herleitung des Poltervolumens mittels Stichprobe erhoben, sondern zusätzlich mit dem Ziel, die gesamte Versuchskette „Wald-Werk“ zu kontrollieren. Eine größere Differenz würde zur Folge haben, dass der betreffende Versuch nicht in die statistische Auswertung integriert wird.

Tabelle 11 zeigt die Gegenüberstellung der im Wald dokumentierten Stückzahlen mit den an der Rundholzanlage tatsächlich vermessenen Stämmen. In den 33 Versuchen mit insgesamt 28248 Einzelstämmen wurden offensichtlich 342 Stück bei der Erhebung im Wald nicht gezählt. Dies entspricht bezogen auf die Gesamtanzahl einem Prozentsatz von 1,21.

Versuch	Stück Wald	Stück Werk	Differenz (Stück)	Differenz (%)
1	1195	1202	-7	-0,58
2	1847	1885	-38	-2,02
3	428	429	-1	-0,23
4	524	522	2	-0,38
5	817	822	-5	-0,61
6	829	838	-9	-1,07
7	844	849	-5	-0,59
8	621	630	-9	-1,43
9	441	450	-9	-2,00
10	344	343	1	0,29
11	543	556	-13	-2,34
12	816	822	-6	-0,73
13	674	685	-11	-1,61
14	644	644	0	0,00
15	1449	1465	-16	-1,09
16	899	922	-23	-2,49
17	802	807	-5	-0,62
18	295	298	-3	-1,01
19	452	465	-13	-2,80
20	658	656	2	0,30
21	1272	1289	-17	-1,32
22	1946	1968	-22	-1,12
23	1472	1498	-26	-1,74
24	1136	1155	-19	-1,65
25	383	393	-10	-2,54
26	385	393	-8	-2,04
27	809	815	-6	-0,74
28	508	510	-2	-0,39
29	975	997	-22	-2,21
30	872	876	-4	-0,46
31	819	829	-10	-1,21
32	1781	1802	-21	-1,17
33	426	433	-7	-1,62
Gesamt:	27906	28248	-342	- 1,21

Die exakte Stückzahl wurde allein bei Versuch 14 erhoben. Bei drei Versuchen (Nr. 4/10/20) wurde im Wald eine höhere Stückzahl festgehalten. Bei den restlichen 29 Versuchen ergab sich eine negative Differenz zu den an der Anlage vermessenen Stämmen von maximal 2,80 %.

Aufgrund der Tatsache, dass bei der Zählung von Industrieholz, verbunden mit den geringen Durchmessern und der hohen Stammanzahl pro Polter, eine Stückzahldifferenz zu erwarten war, wurde als Kriterium für die Einbeziehung in die statistischen Auswertungen eine maximale Abweichung von +/- 5 % für die jeweiligen Einzelversuche festgelegt. Folglich konnten die Messdaten aller Versuche ausnahmslos bei den nachfolgenden Auswertungen berücksichtigt werden.

#### **4.1.2 Beurteilung der Holz- und Polterqualität**

Zur Beurteilung der Holz- und Poltereigenschaften des Materials von Versuchsreihe 1 dienen die bei der Anwendung des schwedischen Indexverfahrens erhobenen Zu- und Abschlagswerte. Entsprechen die jeweiligen Ausprägungen nicht wie für die Versuchsreihe 1 festgelegt der Güteklasse N, wird das Holz bei den nachfolgenden Untersuchungen und Auswertungen nicht berücksichtigt. Das Versuchsmaterial aller in Tabelle 12 aufgeführten 33 Einzelpolter konnte die Anforderungskriterien der Güteklasse N erfüllen und die geschätzten Indexwerte der jeweiligen Eigenschaften können wie folgt zusammengefasst werden.

Der Anteil an *Erdstämmen* bezogen auf das Poltervolumen liegt ausnahmslos unter 20 %, daher beträgt der Indexwert durchgehend + 1. Die durchschnittliche *Polterhöhe* an zwei Drittel der Polterlänge beträgt lediglich bei acht Versuchen über 2 Meter (Zuschlag: + 1). Die Lage der *Einzelstücke* im Polter weist mehrheitlich eine normale Durchmesser Mischung auf (Indexwert: 0), nur in sieben Fällen war eine geringe Verteilung zu verzeichnen (Abschlag: - 1). *Hiebsreste* treten durchschnittlich nur in geringem Umfang auf, der Mittelwert der Versuchsreihe resultiert in einem Indexwert von - 0,95.

Die *Entastungsqualität* charakterisiert sich mit einem Gesamtabzug von im Mittel - 1,00 bei Maximalwerten von - 2, demzufolge konnten überwiegend grobastige Stämme oder eine bedeutende Anzahl von Aststummeln bei keinem der Versuchspolter registriert werden.

**Tabelle 12: Ergebnis Holz- und Poltereigenschaften beim schwedischen Indexverfahren**

Versuch	Durchmesser	Polterung	Krümmung	Entastung	Hiebsreste	Erdstämme	Einzelstücke	Polterhöhe	Grundwert	Festgehalt	Faktor
1	-1	-2	-1	-1	0	1	0	1	71	68	0,612
2	-2	-3	-1	-2	-2	1	-1	1	71	62	0,558
3	-1	-4	-1	-2	0	1	0	0	71	64	0,576
4	-2	-2	0	0	-1	1	0	0	71	67	0,603
5	-3	-4	-1	-1	-2	1	0	0	71	61	0,549
6	-2	-3	-1	-2	0	1	0	0	71	64	0,576
7	0	-2	0	0	-3	1	0	1	71	68	0,612
8	-3	-3	0	0	0	1	0	0	71	66	0,594
9	-3	-4	-1	-1	-2	1	-1	0	71	60	0,540
10	-2	-3	-1	0	-1	1	0	0	71	65	0,585
11	-1	-4	-2	-2	0	1	0	0	71	63	0,567
12	-3	-3	-2	0	-1	1	-1	0	71	62	0,558
13	-2	-2	-1	-2	-2	1	0	1	71	64	0,576
14	-1	-4	0	0	0	1	0	0	71	67	0,603
15	-3	-3	-1	-1	-1	1	0	0	71	63	0,567
16	-3	-4	-2	-1	-2	1	0	0	71	60	0,540
17	-1	-3	-1	0	0	1	0	0	71	67	0,603
18	-1	-2	0	-2	-1	1	0	0	71	66	0,594
19	-2	-4	-1	0	0	1	0	0	71	65	0,585
20	-2	-3	-1	-1	-1	1	0	0	71	64	0,576
21	-2	-3	-2	-1	0	1	-1	1	71	64	0,576
22	-2	-2	-2	-2	-1	1	0	1	71	64	0,576
23	-3	-3	-1	-2	-2	1	0	0	71	61	0,549
24	-2	-2	-1	0	-1	1	0	0	71	66	0,594
25	-1	-3	-1	-1	-2	1	0	0	71	64	0,576
26	-2	-2	-1	0	0	1	0	0	71	67	0,603
27	0	-2	0	-1	-1	1	0	0	71	68	0,612
28	-1	-2	-1	-1	-2	1	-1	0	71	64	0,576
29	-2	-1	-1	0	0	1	0	0	71	68	0,612
30	1	-2	-2	-2	0	1	0	1	71	68	0,612
31	-1	-3	-1	-1	-1	1	-1	0	71	64	0,576
32	-1	-2	-2	0	-1	1	-1	1	71	66	0,594
33	-2	-1	-1	-1	0	1	0	0	71	67	0,603
$\bar{x}_G$	-1,65	-2,63	-1,15	-1,00	-0,95	1,00	-0,27	0,40	71	64,76	0,583

Eine starke bis extreme *Krümmung* ist für Industrieholz der Güteklasse N nicht zulässig und war bei keinem der Versuchspolter zu verzeichnen. Die maximale Ausprägung wurde demnach mit einem Indexwert von -2 beschrieben, wenn vereinzelt krumme Stammabschnitte auftreten (bei sieben Versuchen). Der durchschnittliche Gesamtabzug für Krümmung liegt bei - 1,15.

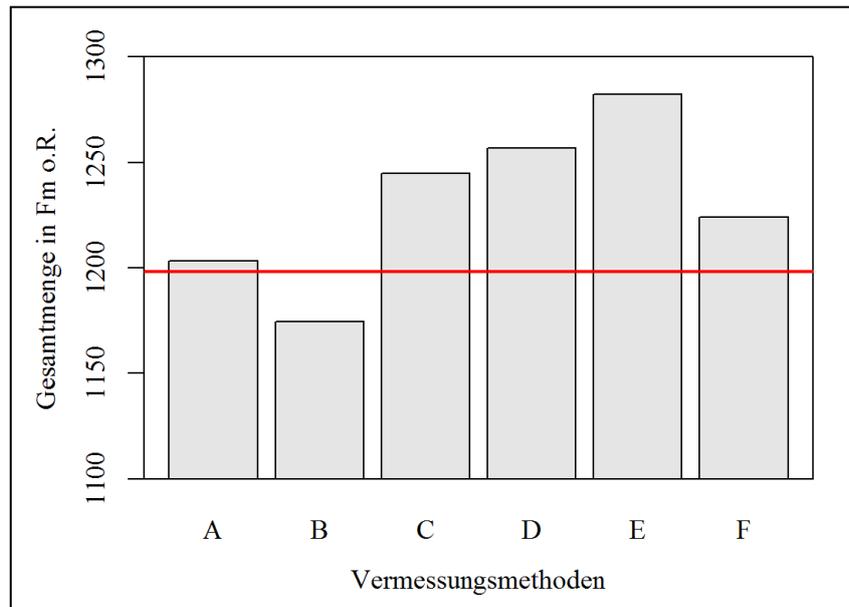
Für die *Polterung* errechnete sich ein mittlerer gewichteter Abschlagswert von  $-2,63$ , was den höchsten Abzugswert aller Parameter auf die Grundzahl darstellt. Dies resultiert vor allem aufgrund der Tatsache, dass die Versuchspolter maschinell aufgesetzt wurden und daher mit mindestens  $-1$  Abzugspunkten beurteilt werden müssen. Eine sehr schlechte Polterung mit Abzügen von  $-5$  bis  $-7$  Punkten konnte bei keinem der Versuchspolter festgestellt werden. Daher beträgt die Spannweite der Abschlüge in Abhängigkeit der auftretenden Hohlräume innerhalb des Polters  $-1$  bis  $-4$  Indexpunkte.

Als Schätzhilfe für die Erhebung der *Durchmesserwerte* diente die Kalkulation der mittleren Mittendurchmesser beim Stichprobenverfahren. Entsprechend der in der Norm festgelegten Durchmesserbereiche (sehr schwach bis sehr stark) wurde dem resultierenden Durchmesser eines Holzpolters der jeweilige Abschlagswert zugeteilt. Ein Zuschlag wurde nicht vorgenommen, da der mittlere Durchmesser bei keinem der Versuche 16 Zentimeter überschritten hat. Bei zwei Versuchen (Nr. 7 und Nr. 27) hat der Durchmesser keinen Einfluss (Indexwert: 0). Hier liegen die mittleren Durchmesser zwischen 15 und 16 Zentimetern.

Für das Ergebnis des schwedischen Indexverfahrens wurde der auf Basis von 71 resultierende Festgehalt aufgrund des Rindenabzuges um 10 % reduziert und ergibt den Umrechnungsfaktor eines Polters vom Bruttoreaumaß in Rinde auf das Festgehaltsvolumen ohne Rinde. Der in Bezug auf die Poltergröße gewichtete arithmetische Mittelwert des Faktors beträgt dabei 0,583.

#### **4.1.3 Gesamtvolumen der Maßermittlungen**

Das bei allen sechs getesteten Vermessungsmethoden aufsummierte Gesamtvolumen der 33 Einzelpolter wird mit dem von der elektronischen Anlage ermittelten Versuchsvolumen verglichen (Abbildung 12). Die 3D – Vermessung errechnete für alle Versuchsstämme ein Festgehaltsvolumen von in Summe 1198,170 Fm o.R. Der in der Abbildung 12 als rote Linie dargestellte Wert spiegelt somit das tatsächliche Versuchsvolumen wider und dient als Referenz. Mithilfe des Balkendiagramms kann vereinfacht dargestellt werden, ob die jeweiligen Vermessungsmethoden ein Minder- oder Mehrvolumen, verglichen mit dem tatsächlichen Versuchsvolumen, errechneten.



**Abbildung 12: Gesamtmenge des Vermessungsvolumens von A= Sektions-Raummaßverfahren (1203,4 Fm), B= Fotooptische Vermessung (1174,4 Fm), C= Stichprobenverfahren (1244,8 Fm), D= Schwedisches Indexverfahren (1256,9 Fm), E= LKW-Vermessung (1282,2 Fm), F= Gewichtsübernahme (1223,9 Fm)**

Es ist deutlich ersichtlich, dass lediglich die Anwendung des fotooptischen Verfahrens in einem geringeren Versuchsvolumen (1174,360 Fm o.R.) resultierte. Die fünf weiteren Methoden kalkulierten ein höheres Gesamtergebnis, wobei die LKW-Vermessung mit 1282,182 Fm o.R. den größten Wert darstellt.

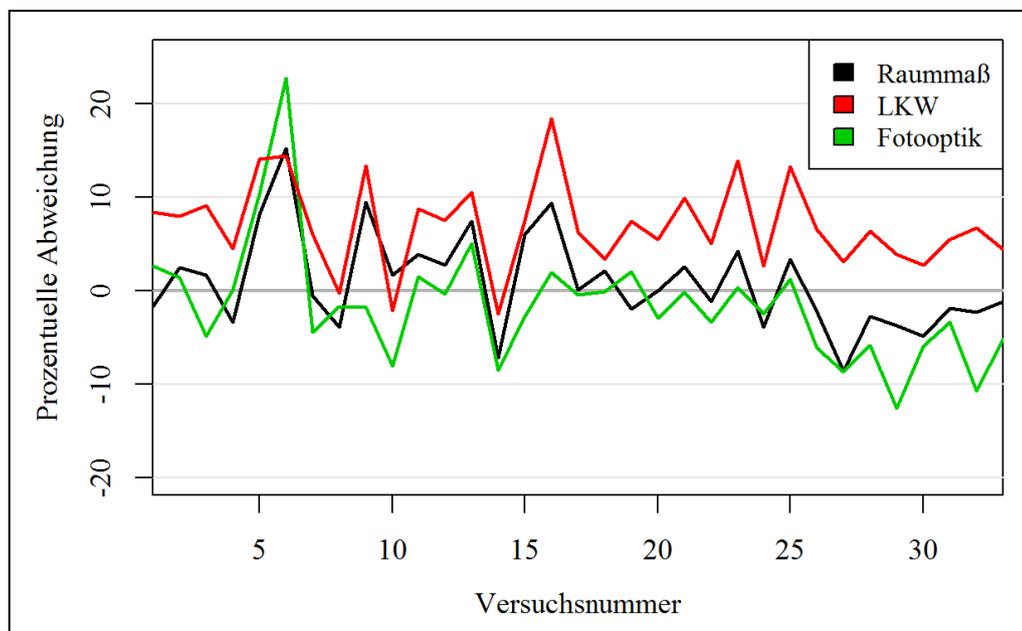
In Tabelle 13 sind die prozentuellen Abweichungen von der elektronischen Vermessung aufgeführt. Demnach kann behauptet werden, dass das Sektions-Raummaßverfahren, bezogen auf das Gesamtvolumen der Versuchsreihe, mit einer Abweichung von + 0,44 % das tatsächliche Gesamtvolumen am präzisesten widerspiegelt. Mit Ausnahme der LKW-Vermessung (+ 7,01 %) beträgt die prozentuelle Abweichung bei allen Vermessungsmethoden weniger als 5 %.

**Tabelle 13: Gesamtvolumen der Vermessungsmethoden und prozentuelle Abweichung von der elektronischen Vermessung**

Verfahren	Volumen in Fm o.R.	Abweichung in %
Sektions-Raummaßverfahren	1203,402	0,44
Fotooptische Vermessung	1174,360	-1,99
Stichprobenverfahren	1244,774	3,89
Schwedisches Indexverfahren	1256,877	4,90
LKW - Vermessung	1282,182	7,01
Gewichtsübernahme	1223,903	2,15
Elektronische Vermessung	1198,170	0,00

#### 4.1.4 Schwankungsbreite der Einzelversuche

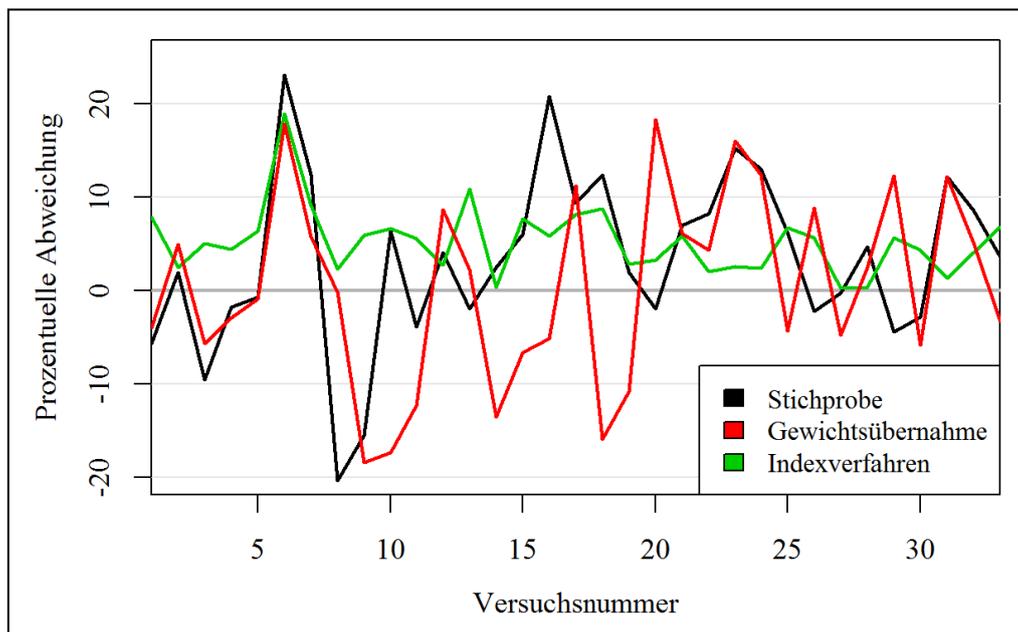
Die Untersuchung der Schwankungsbreite bei den 33 Einzelversuchen kann Aufschluss darüber geben, wie sich die Streuung der Einzelwerte bei den sechs Vermessungsmethoden vom tatsächlichen Poltervolumen (elektronische 3D – Vermessung) darstellt. Aufgrund der besseren Übersichtlichkeit wurde die Ergebnisanalyse mit zwei Schaubildern visualisiert. Dabei wurden die Vermessungsmethoden in zwei Gruppen unterteilt. Gruppe 1 (Abbildung 13) zeigt den Streuungsverlauf der Verfahren, deren Daten ausschließlich auf Basis der Raummaßvermessung generiert werden. Gruppe 2 (Abbildung 14) bildet den Trend der Ergebnisse ab, deren Resultat in Festmeter ohne Rinde ausgegeben wird. Zur besseren Anschaulichkeit wurden die 33 Einzelwerte der jeweiligen Vermessungsmethode in den x-y-Diagrammen mittels Linien miteinander verbunden.



**Abbildung 13: Prozentuelle Abweichung der 33 Versuchsergebnisse bei Sektions-Raummaßverfahren (schwarz), LKW-Vermessung (rot) und fotooptischer Vermessung (grün)**

Aufgrund des Linienvorlaufs in Abbildung 13 kann argumentiert werden, dass die prozentuellen Abweichungen beim Sektions-Raummaßverfahren, der LKW-Vermessung und der fotooptischen Vermessung mit einem relativ gleichmäßigen Verlauf vom tatsächlichen Volumen differieren. Das LKW-Maß tendiert dabei eindeutig zu einer Überschätzung des tatsächlichen Vermessungsvolumens bei nahezu allen Einzelversuchen. Das Sektions-Raummaßverfahren und die fotooptische Methode streuen sowohl mit positiven als auch negativen Abweichungen, demzufolge lässt sich keine eindeutige Tendenz zur Über- oder Unterschätzung des tatsächlichen Versuchsvolumens ableiten.

Zusätzlich kann aus der Grafik entnommen werden, dass die positiven prozentuellen Abweichungen der LKW-Vermessung bis auf zwei Ausnahmen (Versuch 6 und 10) bei allen Einzelversuchen am größten sind. Auffallend ist zudem, dass bei Versuch 6 bei allen drei abgebildeten Verfahren eine einheitliche und deutliche Überschätzung des Poltervolumens von über 10 % auftrat. Weiter kann festgehalten werden, dass die prozentuelle Abweichung des Sektions-Raummaßverfahrens und der fotooptischen Vermessung in den letzten 8 Versuchen (Versuchsnummer 26 bis 33) konstant negative Werte aufweist und demzufolge in einer Unterschätzung des tatsächlichen Poltervolumens resultiert.



**Abbildung 14: Prozentuelle Abweichung der 33 Versuchsergebnisse bei Stichprobenverfahren (schwarz), Gewichtübernahme (rot) und schwedischem Indexverfahren (grün)**

Abbildung 14 ist vor allem gekennzeichnet durch die große Schwankungsbreite beim Stichprobenverfahren und der Gewichtübernahme. Die prozentuelle Abweichung der Vermessungsergebnisse streut sehr stark in positive und negative Richtung ohne eine zu erkennende Systematik. Das schwedische Indexverfahren tendiert durchgängig zu einer Überschätzung des tatsächlichen Poltervolumens.

Die statistischen Maßzahlen der untersuchten Vermessungsmethoden sind in Tabelle 14 aufgelistet. Die aus den Minimal- und Maximalwerten resultierende Spannweite (R) ist beim Stichprobenverfahren mit  $R = 43,44\%$  am größten, gefolgt von der Gewichtübernahme mit  $R = 36,72\%$ . Allein das schwedische Indexverfahren weist eine Spannweite von unter 20 % auf ( $R = 18,66\%$ ), dies ist aber auch darauf zurückzuführen, dass bei dieser Methode ausschließlich positive prozentuelle Abweichungen auftraten.

Die Werte der Standardabweichung (SD) können einen Aufschluss darüber geben, wie stark die prozentuellen Abweichungen aller 33 Versuchsergebnisse durchschnittlich um den jeweiligen arithmetischen Mittelwert einer Vermessungsmethode schwanken. Die stärksten Streuungen sind dabei bei der Gewichtsübernahme mit  $SD = 10,22 \%$  und beim Stichprobenverfahren mit  $SD = 9,28 \%$  zu verzeichnen. Die prozentuellen Abweichungen beim schwedischen Indexverfahren liegen am nächsten am Mittelwert ( $SD = 3,65 \%$ ), folglich sind bei dieser Methode die geringsten Schwankungen zu erwarten.

**Tabelle 14: Statistische Maßzahlen der 33 Versuchsergebnisse bei den jeweiligen Vermessungsmethoden in Bezug auf die Volumengenauigkeit der Einzelpolter**

Abweichung	Sektions-Raummaßverfahren	Foto-optische Vermessung	LKW-Vermessung	Gewichtsübernahme	Stichproben-Verfahren	Schwedisches Indexverfahren
Min (%)	-8,53	-12,58	-2,43	-18,34	-20,35	0,32
Max (%)	15,26	22,77	18,40	18,38	23,09	18,98
R (%)	23,79	35,35	20,83	36,72	43,44	18,66
$\bar{x}$ (%)	0,92	-1,52	7,07	0,54	3,31	5,27
SD (%)	5,15	6,39	4,74	10,22	9,28	3,65

#### 4.1.5 Absolute prozentuelle Abweichung der Vermessungsmethoden

Bei den bisher betrachteten Mittelwerten der Vermessungsmethoden (Tabelle 14) handelte es sich um den arithmetischen Mittelwert, der aus den Abweichungen aller 33 Versuchsergebnisse resultierte. Aufgrund der Tatsache, dass sich dabei negative und positive Abweichungen ausgleichen, müssen für die Angabe der tatsächlichen Abweichungen die absoluten prozentuellen Werte dargestellt werden (Tabelle 15). Dies ermöglicht die Darlegung, in welchen Bereichen sich die Messwertfehler konkret befinden. Die Prozentangaben in Tabelle 15 wurden zur besseren Anschaulichkeit gerundet.

**Tabelle 15: Häufigkeitsverteilung der absoluten prozentuellen Abweichung (X) der untersuchten Vermessungsmethoden**

Abweichung (%)	Sektions-Raummaßverfahren	Foto-optische Vermessung	LKW-Vermessung	Gewichtsübernahme	Stichproben-Verfahren	Schwedisches Indexverfahren
$0 \leq X < 5$	25 (76 %)	21 (64 %)	9 (27 %)	11(34 %)	15 (46 %)	15 (46 %)
$5 \leq X < 10$	7 (21 %)	8 (24 %)	17 (52 %)	9 (27 %)	9 (27 %)	16 (48 %)
$10 \leq X < 15$	0 (0 %)	3 (9 %)	6 (18 %)	7 (21 %)	4 (12 %)	1 (3 %)
$15 \leq X < 20$	1 (3 %)	0 (0 %)	1 (3 %)	6 (18 %)	2 (6 %)	1 (3 %)
$20 \leq X < 25$	0 (0 %)	1 (3 %)	0 (0 %)	0 (0 %)	3 (9 %)	0 (0 %)
$\Sigma$	33 (100 %)	33 (100 %)	33 (100 %)	33 (100 %)	33 (100%)	33 (100 %)

Wird beispielsweise eine Vermessungsgenauigkeit von  $\pm 5\%$  angestrebt, so kann dies bei der vorliegenden Versuchsreihe 1 mit einer Wahrscheinlichkeit von 76 % beim Sektions-Raummaßverfahren, 64 % bei der fotooptischen Vermessung, 46 % beim Stichproben- und schwedischen Indexverfahren, 34 % bei der Gewichtsübernahme und lediglich 27 % bei der LKW-Vermessung erreicht werden. Erweitert man den Genauigkeitsbereich auf  $\pm 10\%$ , so erfüllen mit Ausnahme der Gewichtsvermessung (61 %) und des Stichprobenverfahrens (73 %) alle Verfahren diese Anforderung in mindestens 75 % der Fälle.

#### **4.1.6 Streuung der Messwerte in Abhängigkeit von der Poltergröße**

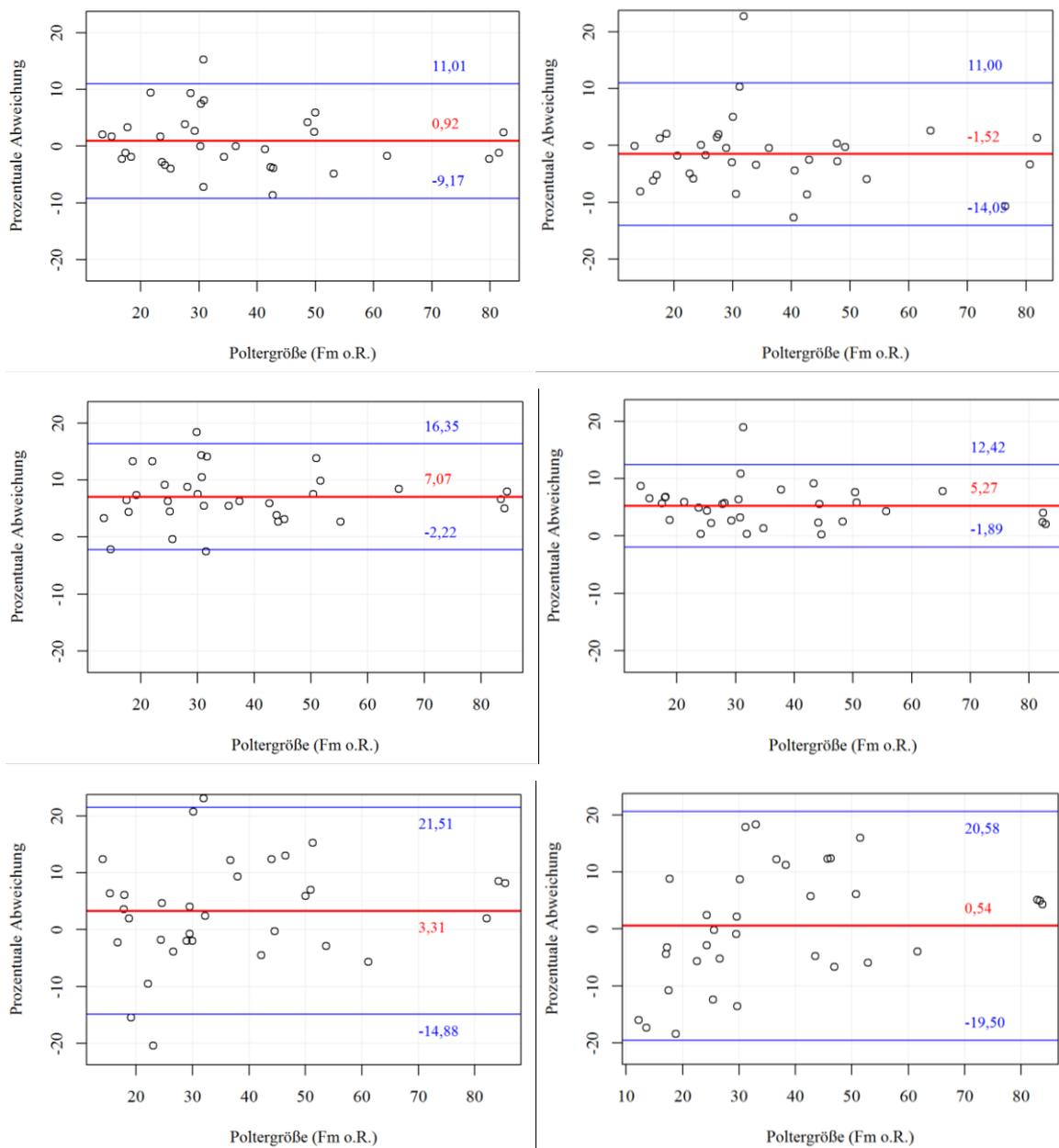
Aufgrund der unterschiedlich definierten Poltergrößen soll zum Ausdruck gebracht werden, ob die Größe eines Industrieholzpolders die Genauigkeit des Vermessungsergebnisses bei der Anwendung der jeweiligen Methoden beeinflusst.

Zur Auswertung dieser Methodenvergleichsdaten hat sich der Bland-Altman-Plot als Verfahren etabliert (GROUVEN, 2007). Mittels Punktdiagramm kann die Übereinstimmung von Messmethoden anschaulich dargestellt und quantifiziert werden. Dafür wird die Abweichung einer Messmethode von der Vergleichsmethode, d.h. die Differenz der jeweiligen Messwerte, gegen den Mittelwert der beiden Messmethoden in einem x-y-Diagramm aufgetragen. Für die hier vorliegende Versuchsreihe 1 wird folglich die prozentuelle Abweichung der sechs getesteten Messverfahren zur 3D - Vermessung gegen den Mittelwert der entsprechenden Methode und dem elektronischen Maß berechnet und in Abhängigkeit der Poltergröße dargestellt. Das Bland-Altman-Diagramm bietet demzufolge eine optische Beurteilung darüber, ob die Abweichung der Methoden bzw. die Streuung der Messwerte von der Poltergröße abhängt.

Bei den nachfolgenden Diagrammen (Abbildungen 15) visualisiert die rote Linie die mittlere prozentuelle Abweichung zur 3D – Vermessung. Die beiden blauen Linien repräsentieren die Grenzen, innerhalb deren 95 % aller Differenzen zu erwarten sind. Bland und Altman bezeichnen diese Limits auch als die 95 % - Konfidenzintervalle (VOGTMANN, 2005).

Die prozentuellen Abweichungen bzw. Lage der Messwertdifferenzen bei den oberen vier Diagrammen der Abbildung 15 (Sektions-Raummaßverfahren, fotooptische Vermessung, LKW-Vermessung und schwedisches Indexverfahren) verringern sich mit Zunahme der Poltergröße ab ca. 35 Festmetern sichtlich. Bei größeren Poltern treten keine extremen Ausreißer auf und die Werte liegen ausnahmslos innerhalb der 95 % - Konfidenzintervalle. Die

unteren beiden Diagramme der Abbildung 15 (Stichprobenverfahren und Gewichtsübernahme) veranlassen zu der Annahme, dass sich die Streuung der Messwerte erst ab einer Poltergröße von mindestens 55 Festmetern verringert. Angesichts der Tatsache, dass das Vermessungsvolumen der größeren Versuchspolter bei allen Vermessungsmethoden ohne Ausreißer ermittelt werden konnte und bei kleineren Poltern deutlich größere Differenzen auftreten, kann von einer Beeinflussung der Messwertstreuung aufgrund der Poltergröße ausgegangen werden.



**Abbildung 15:** Streuung der Messwerte in Abhängigkeit von der Poltergröße bei Sektions-Raummaßverfahren (oben links), fotooptischer Vermessung (oben rechts), LKW-Vermessung (Mitte links), schwedischem Indexverfahren (Mitte rechts), Stichprobenverfahren (unten links) und Gewichtsübernahme (unten rechts)

#### 4.1.7 Einfluss von Mittendurchmesser und Stammparameter auf den Festgehalt

Die von der 3D–Vermessungsanlage ermittelten Werte für Mittendurchmesser, Abholzigkeit, Ovalität und Krümmung wurden pro Versuchspolter erfasst und die jeweiligen gewichteten arithmetischen Mittelwerte der Versuchsreihe 1 zusammengefasst. Um den Einfluss dieser Parameter auf den aus dem Quotienten des Raummaßes und des tatsächlichen Festmaßes resultierenden Umrechnungsfaktor darzustellen, wurde der Faktor für jeden Einzelversuch errechnet und daraus ebenfalls der gewichtete arithmetische Mittelwert gebildet.

Tabelle 16 stellt die statistischen Maßzahlen des Mittendurchmessers, der drei Stammparameter und des Umrechnungsfaktors dar. Dies erleichtert die nachfolgende Beurteilung und Einschätzung der jeweiligen Einzelwerte.

**Tabelle 16: Statistische Maßzahlen von Mittendurchmesser, Stammparameter und Faktor**

	Mitten - durchmesser in cm	Abholzigkeit in cm/m	Ovalität in %	Krümmung in %	Faktor
Min	11,02	0,60	5,67	0,50	0,521
Max	15,76	1,20	9,54	1,04	0,656
R	4,74	0,60	3,87	0,54	0,135
$\bar{x}_G$	13,06	0,79	7,19	0,69	0,596
SD	1,05	0,15	0,88	0,14	0,030
VarK	0,0804	0,1899	0,1224	0,2029	0,0503

Die Minimal- und Maximalwerte der Stammparameter aller 33 Einzelversuche ergaben für die Abholzigkeit 0,60 bzw. 1,20 cm/m, für die Ovalität 5,67 bzw. 9,54 % und für die Krümmung 0,50 bzw. 1,04 %. Die prozentuelle Abweichung vom gewichteten arithmetischen Mittelwert (Variationskoeffizient) beträgt dabei VarK = 18,99 % (Abholzigkeit), VarK = 12,24 % (Ovalität) und VarK = 20,29 % (Krümmung).

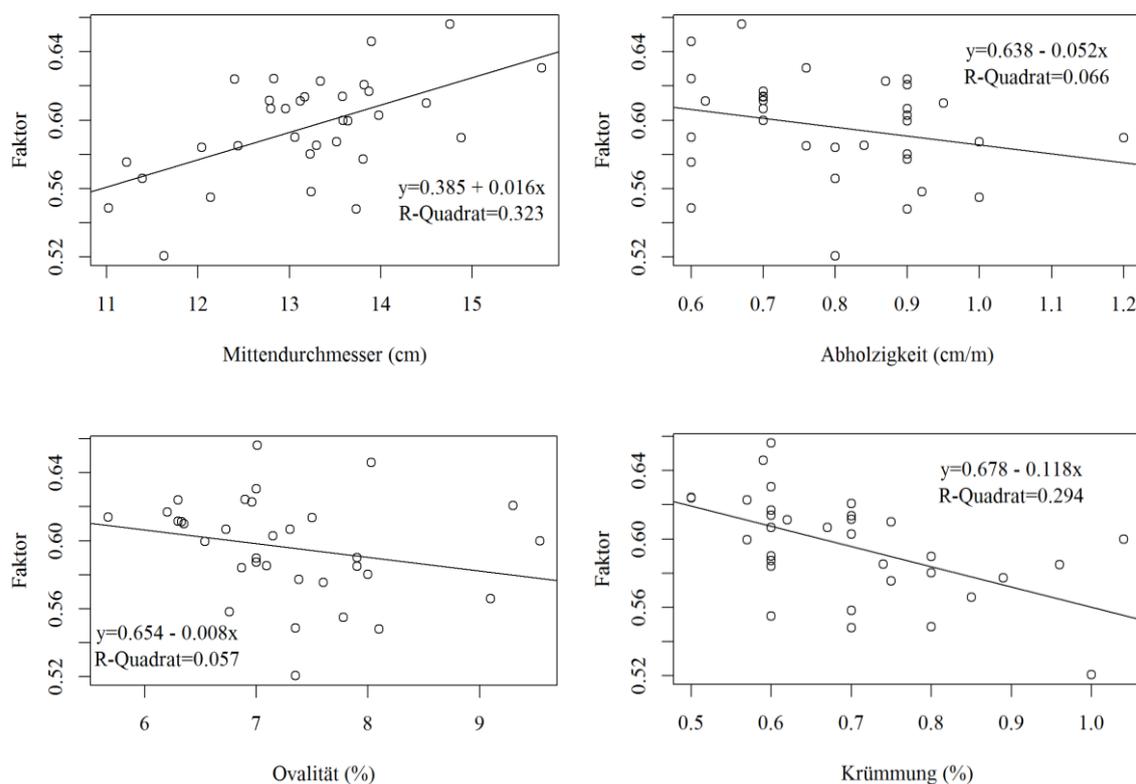
Der mittlere Mittendurchmesser der Einzelversuche bewegte sich zwischen minimal 11,02 cm und max. 15,76 cm, was einer Spannweite von 4,74 cm entspricht. Er schwankt durchschnittlich mit einer Standardabweichung von SD = 1,05 um den Mittelwert von 13,06 cm.

Um darzustellen, wie der Umrechnungsfaktor von den Parametern abhängt, werden die paarweisen Korrelationen zwischen dem Faktor und den einzelnen ermittelten Messwerten der 33 Versuche für Mittendurchmesser, Abholzigkeit, Ovalität und Krümmung berechnet. Hierzu wird der Korrelationskoeffizient nach Pearson (r) verwendet, da alle Variablen ein metrisches Messniveau haben.

**Tabelle 17: Korrelation der einzelnen Parameter Mittendurchmesser, Abholzigkeit, Ovalität und Krümmung mit dem Faktor**

	Korrelation (r) mit Faktor
Mittendurchmesser	0.568
Abholzigkeit	-0.256
Ovalität	-0.238
Krümmung	-0.542

Es zeigen sich starke Korrelationen zwischen dem Faktor und dem Mittendurchmesser sowie dem Faktor und der Krümmung (Tabelle 17). Dabei fällt die Korrelation mit dem Mittendurchmesser positiv ( $r = 0,568$ ) und mit der Krümmung negativ ( $r = -0,542$ ) aus. Die Korrelationen mit der Ovalität und der Abholzigkeit sind deutlich schwächer ausgeprägt und fallen beide negativ aus. Die Zusammenhänge des Faktors mit den vier Merkmalen verdeutlicht auch die Abbildung 16. In jedem Diagramm sind die 33 Werte der Einzelversuche sowie die kalkulierte Regressionsgerade zur Quantifizierung des Zusammenhangs dargestellt.



**Abbildung 16: Korrelation des Faktors mit Mittendurchmesser, Abholzigkeit, Ovalität und Krümmung**

Es ist deutlich ersichtlich, dass alle vier Parameter bei Industrierundholz das Resultat bei der Umrechnung auf das Festmaß beeinflussen. Der Anstieg des Mittendurchmessers der Einzelstämme resultiert in einer Zunahme des Umrechnungsfaktors (Abb. 16: Diagramm oben links). Die Zunahme der Abholzigkeits-, Ovalitäts- und Krümmungswerte bewirken dagegen die Reduktion des Festgehaltsvolumens (Abb. 16: Diagramm oben rechts und Diagramme unten).

Zur simultanen Untersuchung der Wirkung aller vier Parameter auf den Faktor wurde eine lineare Regressionsanalyse durchgeführt, bei der der Faktor als abhängige Variable und die vier Parameter Mittendurchmesser, Abholzigkeit, Ovalität und Krümmung als unabhängige Variablen fungieren.

Dies resultierte in folgendem Regressionsergebnis (Tabelle 18): Der F-Wert ergibt sich zu  $F(4,28) = 13.364$ , mit einem p-Wert von  $p < 0.001$ , womit die vier unabhängigen Variablen in ihrer Gesamtheit einen hochsignifikanten Effekt auf den Faktor aufweisen. Das adjustierte  $R^2$  der Regression ergibt sich zu  $R^2 = 0.607$ . Somit können ca. 61 % der Varianz des Faktors durch die hier verwendeten unabhängigen Variablen erklärt werden.

**Tabelle 18: Regressionsanalyse mit dem Umrechnungsfaktor als abhängige Variable**

<b>Abhängige Variable: Faktor</b>	
Mittendurchmesser	0.017***
Abholzigkeit	-0.008**
Ovalität	0.003
Krümmung	-0.009**
Beobachtungen	33
$R^2$	0.607
F	13.364*** (df = 4; 28)
<i>Vermerk:</i>	<i>*<math>p &lt; 0.05</math>; **<math>p &lt; 0.01</math>; ***<math>p &lt; 0.001</math></i>

Von den vier unabhängigen Variablen zeigen die drei Variablen Mittendurchmesser, Abholzigkeit und Krümmung einen statistisch signifikanten Effekt auf den Faktor, während die Ovalität keinen signifikanten Einfluss aufweist. Hierbei ergibt sich für den Mittendurchmesser mit 0,017 ( $p < 0,001$ ) ein positiver Koeffizient, d.h. ein Anstieg des Mittendurchmessers bewirkt einen Anstieg des Faktors. Dahingegen zeigen die Abholzigkeit mit  $-0,008$  ( $p < 0,01$ ) sowie die Krümmung mit  $-0,009$  ( $p < 0,01$ ) jeweils negative Koeffizienten. Somit hat ein Anstieg dieser Eigenschaftswerte ein Absinken des Faktors zur Folge.

Für die Korrektheit der oben genannten statistischen Werte muss zwingend untersucht werden, ob sich die einzelnen Parameter untereinander beeinflussen. Um ausschließen zu können, dass zwischen den unabhängigen Variablen eine starke Korrelation vorliegt (Multikollinearität), wurden die VIF-Werte des Regressionsmodells berechnet (Tabelle 19).

**Tabelle 19: VIF – Werte des Regressionsmodells zur Untersuchung der Multikollinearität**

	VIF - Wert
Mittendurchmesser	1,155
Abholzigkeit	1,110
Ovalität	1,361
Krümmung	1,410

Allgemein wird gefordert, dass jeder der VIF-Werte kleiner als 4 sein sollte um eine Multikollinearität auszuschließen (SÜBMUTH, 2010). Dies ist bei der hier vorliegenden Untersuchung deutlich der Fall. Es kann demnach behauptet werden, dass keiner der Parameter Mittendurchmesser, Abholzigkeit, Ovalität oder Krümmung mit einer anderen unabhängigen Variablen eine sehr starke Korrelation aufweist.

## 4.2 Versuchsreihe 2

### 4.2.1 Polterqualität

Zunächst ist es notwendig, die Qualität der maschinellen Polterung zu untersuchen, um eventuelle Einflüsse auf die Packungsdichte und damit verbunden den Umrechnungsfaktor vom Raummaß auf das Festmaß bei der vorliegenden Versuchsreihe ausschließen zu können.

Die Stückzahlverteilung innerhalb der zwölf Sektionen eines Versuchspolters kann einen Aufschluss darüber geben, wie gleichmäßig die Stämme aufgeschichtet wurden. Um das Ergebnis unabhängig von der Sektionshöhe angeben zu können, wurde die Stückzahl pro Quadratmeter Polterfläche für jede Sektion berechnet. Die entsprechenden statistischen Maßzahlen der 10 Einzelversuche sind in Tabelle 20 dargestellt.

**Tabelle 20: Statistische Maßzahlen der Stückzahl pro Quadratmeter Polterfläche zur Beurteilung der Polterqualität von Versuchsreihe 2**

Ver-such	Stück gesamt	$\bar{x}$	SD	VarK	Min	Max
1	2190	69,9	1,97	0,0282	65,6	72,0
2	1971	62,2	1,97	0,0317	60,3	66,8
3	1650	52,9	2,25	0,0425	49,5	56,8
4	1439	45,7	1,81	0,0396	43,0	49,9
5	1248	39,6	1,48	0,0374	37,1	41,3
6	1115	35,3	1,35	0,0382	32,6	36,9
7	1009	31,9	1,43	0,0448	29,7	34,0
8	835	26,5	0,94	0,0355	24,9	28,1
9	688	22,0	0,68	0,0309	21,1	23,3
10	556	18,3	0,69	0,0377	17,4	19,5

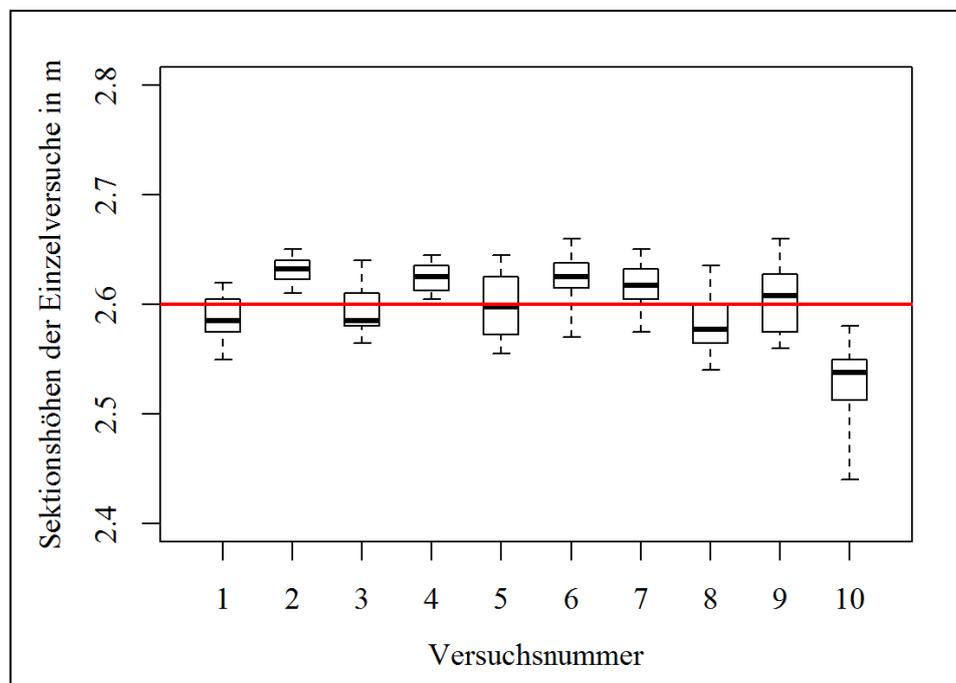
Aufgrund der einheitlichen Poltermaße nimmt die Gesamtstückzahl der Einzelversuche und damit verbunden die Stückzahl pro Quadratmeter Polterfläche mit zunehmendem Mitterdurchmesser der Einzelstämme ab. Infolgedessen verringert sich auch die Streubreite der Stückzahlen um dessen Mittelwert. Beträgt die Standardabweichung (SD) bei Versuch 1 (Zopfbereich 7,5 – 9,4 cm) mit  $\bar{x} = 69,9$  Stk./m<sup>2</sup> noch SD = 2,0 Stk./m<sup>2</sup>, so reduziert sich dieser Wert bei Versuch 10 (Zopfbereich 19,5 -21,4 cm) mit  $\bar{x} = 18,3$  Stk./m<sup>2</sup> auf SD = 0,7 Stk./m<sup>2</sup>.

Der Variationskoeffizient (VarK) beschreibt unabhängig von der durchschnittlichen Stückzahl pro Quadratmeter die Streuung der Einzelmessungen der jeweiligen Sektionshöhen. Dieser Wert kann demnach für die Beurteilung der Polterqualität verwendet werden und liegt

zwischen 2,82 und 4,48 %. Es kann behauptet werden, dass die Stückzahlen der Einzelsektionen bezogen auf den Mittelwert eines Versuchspolters bei allen zehn Versuchen um max. 4,48 % abweichen. Demzufolge kann die Schichtungsqualität der Einzelstämme eines Versuchspolters als gleichmäßig, d.h. ohne Auftreten größerer Hohlräume, interpretiert werden.

Weiter könnte sich eine unterschiedliche Polterhöhe auf die Packungsdichte der Stämme auswirken. Mit zunehmender Polterhöhe ist es denkbar, dass das Holz durch sein Eigengewicht stärker zusammengedrückt wird und der Holzvolumenanteil am Stapelvolumen steigt (WILWERDING, 1995).

Aus diesem Grund wurde bei der Polterung darauf geachtet, eine möglichst konstante Polterhöhe von 2,60 m bei allen Versuchen zu erreichen. Abbildung 17 zeigt die Ergebnisse der Höhenauswertung für Versuchspolter 1 bis 10 mithilfe eines Boxplot-Diagramms.



**Abbildung 17: Streuung der Sektionshöhen bei den jeweiligen Einzelversuchen von Versuchsreihe 2**

Der Strich innerhalb der Box spiegelt den Median ( $\tilde{x}$ ) der Sektionshöhen wider. Er liegt mit Ausnahme von Versuch 10 ( $\tilde{x} = 2,54$  m) zwischen  $\tilde{x} = 2,58$  m und  $\tilde{x} = 2,63$  m. Die jeweilige Box entspricht dem Bereich, indem die mittleren 50 % der Messdaten liegen. Dies erleichtert die Interpretation der Streuung der erhobenen Höhendaten.

Die oberen und unteren gestrichelten Linien repräsentieren die Ausreißer, die allein bei Versuch 10 mit einer auffallend großen Spannweite von 14 cm ausgeprägt sind (Min = 2,44 m und Max = 2,58 m). Trotzdem lässt der Gesamteindruck des Schaubilds darauf schließen,

dass das Ziel einer durchschnittlich konstanten Sektionshöhe bei allen Versuchsnummern erreicht wurde.

#### 4.2.2 Gesamtübersicht und Umrechnungsfaktor

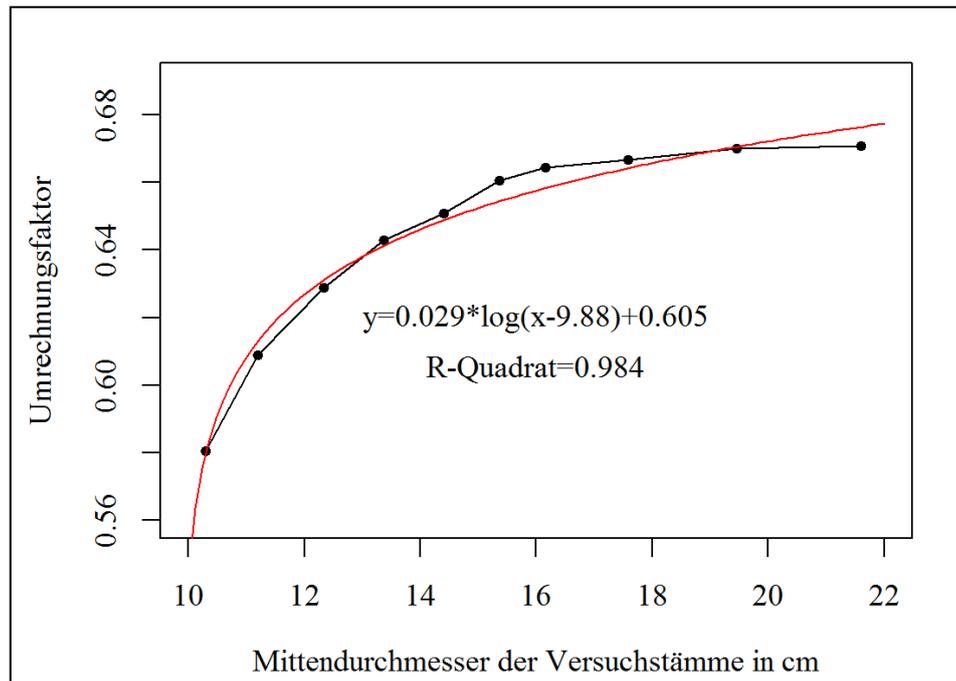
Die nachfolgende Tabelle 21 dient als Gesamtübersicht und gibt für jeden Einzelversuch den aus dem Raum- und Festmaß kalkulierten Umrechnungsfaktor in Abhängigkeit der Stammdurchmesser an. Zur exakten Darstellung des Faktors wird der errechnete Wert mit drei Dezimalstellen angegeben. Die Mitten- und Zopfdurchmesser entsprechen den von der elektronischen Vermessungsanlage ermittelten Durchschnittswerten des jeweiligen Versuchs.

**Tabelle 21: Umrechnungsfaktor vom Raummaß o.R. auf das Festmaß o.R. bei Versuchsreihe 2**

Versuch	Zopfbereich in cm	Mitten - durchmesser in cm	Zopf - durchmesser in cm	Raummaß in Rm o.R.	Festmaß in Fm o.R.	Faktor
1	7,5 – 9,4	10,30	8,69	86,71	50,336	0,580
2	9,5 – 10,4	11,19	9,84	88,05	53,622	0,609
3	10,5 – 11,4	12,33	11,11	86,71	54,518	0,629
4	11,5 – 12,4	13,37	12,07	87,72	56,392	0,643
5	12,5 – 13,4	14,40	13,20	87,05	56,642	0,651
6	13,5 – 14,4	15,37	14,22	87,72	57,932	0,660
7	14,5 – 15,4	16,15	15,03	87,72	58,274	0,664
8	15,5 – 17,4	17,58	16,60	86,38	57,577	0,667
9	17,5 – 19,4	19,46	18,37	87,25	57,738	0,670
10	19,5 – 21,4	21,60	20,50	85,04	57,033	0,671
$\bar{x}$		15,18	13,96			0,644

Die tatsächlichen Zopfdurchmesser der Einzelstämme liegen erwartungsgemäß annähernd in der Mitte des gewählten Zopfbereichs. Es zeigt sich deutlich, dass mit steigendem Mittendurchmesser das Festgehaltsvolumen des Versuchspolters zunimmt. Beträgt der Faktor 0,580 bei Versuch 1 mit den geringsten Stammdurchmessern, so steigert sich dieser Wert bei Versuch 10 mit den größten Stammdurchmessern auf 0,671.

Wie in Abbildung 18 veranschaulicht wird, gestaltet sich allerdings die Zunahme des Umrechnungsfaktors bei Erhöhung des Mittendurchmessers nicht linear. Nach stärkerem Anstieg bei den ersten sechs Versuchen weisen die bei Versuch 7 bis 10 errechneten Faktoren eine deutlich geringere Zunahme auf. Die Abflachung der Kurve beginnt bei einem Mittendurchmesser der Versuchsstämme von circa 16 cm.



**Abbildung 18: Umrechnung auf das Festgehaltsvolumen in Abhängigkeit vom Mittendurchmesser**

Diese nichtlineare Regression wird in der Grafik mithilfe des Verlaufs der roten Linie und der dazugehörigen Funktionsgleichung dargestellt. Es handelt sich um eine Logarithmusfunktion auf Basis der Gleichung  $y = \log(x)$ . Die Funktion kann durch Angleichung einzelner Variablen mithilfe der Statistiksoftware R an den tatsächlichen Verlauf der Messwerte angepasst werden. Durch Modellierung wird die ursprüngliche Gleichung verändert, wobei die einzelnen Parameter eine Streckung bzw. Stauchung oder Verschiebungen in x-y-Richtung bewirken.

$$y = 0,029 \times \log(x - 9,88) + 0,605$$

Mit dem Bestimmtheitsmaß von  $R^2 = 0,984$  weist die ermittelte Funktion eine hohe Übereinstimmung mit dem Verlauf der erhobenen Messdaten von Versuchsreihe 2 auf. Es wäre demnach möglich, den zu erwartenden Umrechnungsfaktor für beliebige Mittendurchmesser mit dieser Formel zu errechnen.

#### 4.2.3 Abholzigkeit, Ovalität und Krümmung der Versuchsstämme

Die Ergebnisse der Versuchsreihe 1 machen deutlich, dass die Parameter Abholzigkeit, Ovalität und Krümmung das Festgehaltsvolumen von Industrieholzpoltern beeinflussen. Aus

diesem Grund war es auch für die Versuchsreihe 2 erforderlich, diese Eigenschaften im Hinblick auf deren möglichen Effekt zu betrachten. Der Tabelle 22 sind die mittleren Parameterwerte jedes Einzelversuches zu entnehmen.

**Tabelle 22: Abholzigkeit, Ovalität und Krümmung der Stämme von Versuchsreihe 2**

Versuch	Abholzigkeit in cm/m	Ovalität in %	Krümmung in %
1	0,90	9,40	0,60
2	0,90	8,50	0,60
3	0,80	8,60	0,70
4	0,90	8,30	0,60
5	0,80	8,00	0,60
6	0,80	7,50	0,60
7	0,70	7,60	0,70
8	0,80	8,50	0,80
9	0,80	9,00	0,80
10	0,80	8,90	0,90
$\bar{x}$	0,82	8,43	0,69

Aufgrund der Tatsache, dass bei der Vorsortierung der Einzelstämme die zulässigen Maximalwerte der drei Parameter begrenzt wurden, weichen die Einzelwerte nur gering vom Mittelwert ab. In Bezug auf die Abholzigkeit und die Ovalität schwanken die Einzelwerte gleichmäßig und ohne Ausreißer um  $\bar{x} = 0,82$  cm/m bzw.  $\bar{x} = 8,43$  %. Deshalb ist der Einfluss dieser beiden Parameter auf das Versuchsergebnis und den Umrechnungsfaktor zu vernachlässigen.

Bei der Krümmung lassen sich leicht zunehmende Werte bei Anstieg des Mittendurchmessers ab 17,6 cm (Versuch 8) ablesen. Diese Erkenntnis könnte darauf zurückzuführen sein, dass bei Industrieholz mit zunehmendem Mittendurchmesser prozentuell ein höherer Anteil krummer Stammabschnitte bei der Aufarbeitung in das Sortiment geschnitten wird. Die Krümmung bei Versuch 10 beträgt 0,90 % und ist demnach um 0,21 % höher als der Mittelwert ( $\bar{x} = 0,69$ ). Demnach könnte eine mögliche Ursache für die Abflachung der Kurve in Abbildung 18 in der zunehmenden Krümmung der Stämme (Versuch 8 bis 10) liegen.

## 5 DISKUSSION

### 5.1 Versuchsreihe 1

#### 5.1.1 Versuchsmaterial

Der Vergleich der im Wald gezählten und im Werk elektronisch ermittelten Stückzahlen resultierte in einer Differenz von  $-1,21\%$  (Tabelle 11 in Abschnitt 4.1.1). Es zeigt die Schwierigkeit, Industrieholz angesichts der geringen Durchmesser der Einzelstämme und damit verbunden den hohen Stückzahlen pro Polter exakt zu bestimmen.

Wird im Wald eine höhere Stückzahl erhoben, so kann dies lediglich mit einem Zählfehler (Doppelzählung) erklärt werden. Da dieser Umstand ausschließlich bei 3 Versuchen auftrat und dabei nur zwischen ein und zwei Stück pro Polter mehr gezählt wurde, kann diese Problematik und deren Auswirkungen vernachlässigt werden.

Die Tatsache, dass bei der überwiegenden Anzahl der Versuchspolter offensichtlich Stämme nicht berücksichtigt wurden, lässt sich durch die geringeren Durchmesser des Industrieholzes im Vergleich zu Stammholz begründen. Es ist daher, trotz einer Endkontrolle, bei der der gesamte Polter nochmals auf nicht markierte Stirnflächen überprüft wurde, nahezu unmöglich alle Stämme zu erfassen. Vereinzelt kann es vorkommen, dass schwächere Stämme gar nicht an der Polterfront sichtbar werden, weil deren Ende innerhalb des Polters „verschwindet“ oder aufgrund stärkerer Hölzer überdeckt wird.

Trotzdem kann, bezogen auf die hohe Gesamtstückzahl und dem Abweichungsergebnis von  $-1,21\%$  bei Versuchsreihe 1, abschließend behauptet werden, dass eine relativ genaue Bestimmung der Stammanzahl bei Industrieholz möglich ist. Für den Untersuchungszweck mit der Plausibilitätskontrolle der Versuchskette „Wald-Werk“ ist die ermittelte Genauigkeit der Stückzahlerhebung absolut ausreichend.

Die Ergebnisse der Holz- und Poltereigenschaften bzw. die gewichteten arithmetischen Mittelwerte der Zu- und Abschlagswerte bestätigen die korrekte Auswahl des Versuchsmaterials (Tabelle 12 in Abschnitt 4.1.2). Bei Versuchsreihe 1 sollte entsprechend dem Einkaufssortiment der Papier- und Zellstoffindustrie ausschließlich Industrieschichtholz der Hauptgüte N untersucht werden. Innerhalb eines Polters wurden demzufolge nur geringe Anteile an F-

Güte von maximal 10 % toleriert. Diese Beimischungen spiegeln sich in höheren Abzugswerten bei den Parametern Krümmung und Entastung wider.

Die Beurteilung der Eigenschaften Durchmesser, Erdstämme und Einzelstücke erfolgt unabhängig von der Güteklasse, sodass sich hier keine Rückschlüsse auf die Holzqualität des Versuchsmaterials ziehen lassen. Sie dienen rein für die Ermittlung der Festgehaltsprozent beim schwedischen Indexverfahren.

Bezüglich der Polterqualität zeigen sich Unterschiede bei den jeweiligen Einzelversuchen im Hinblick auf die Parameter Polterung, Hiebsreste und Polterhöhe. Diese Erkenntnis beruht auf der Tatsache, dass die Polter bewusst in unterschiedlichen Revieren ausgewählt wurden. Dadurch kann es gelingen, die Gesamtqualität der Aufarbeitung des Versuchsmaterials unabhängig vom eingesetzten Unternehmer darzustellen. Je nach Fähigkeit des Holzurückers und der örtlichen Gegebenheiten entstehen infolgedessen differenzierte Polterqualitäten. Eine als „sehr schlechte Polterung“ definierte Qualität wurde aufgrund der Gefahr, das Gesamtergebnis zu beeinträchtigen, nicht für das vorliegende Versuchsmaterial ausgewählt. Die Mindestanforderungen an die Polterung von Industrieholz wurden bei allen 33 Versuchspoltern ausnahmslos eingehalten.

### **5.1.2 Resultierende Umrechnungsfaktoren und Festgehaltsprozente**

Aus den Gesamtvolumen der Maßermittlungen aller sechs getesteten Vermessungsmethoden für Industrieschichtholz (Tabelle 13 in Abschnitt 4.1.3) lassen sich die dabei resultierenden Umrechnungsfaktoren bzw. Festgehaltsprozente herleiten.

Beim Sektions-Raummaßverfahren, fotooptischen Verfahren und der LKW-Vermessung wird das Poltervolumen ausschließlich auf Basis der Raummaßvermessung generiert. Das von der elektronischen 3D-Anlage kalkulierte Versuchsvolumen (in  $F_m$  o.R.) ergibt durch Division des Raumvolumens der jeweiligen Methode (in  $R_m$  m.R.) den Umrechnungsfaktor. Tabelle 23 veranschaulicht den bezogen auf die Poltergröße gewichteten arithmetischen Mittelwert, die Minimal- und Maximalwerte, die Spannweite und die Standardabweichung des Faktors bei allen 33 Versuchen von Versuchsreihe 1.

**Tabelle 23: Darstellung des resultierenden Umrechnungsfaktors auf Basis der im Werk von der elektronischen Anlage ermittelten Festvolumen**

Verfahren	$\bar{x}$	Min	Max	R	SD
Sektions-Raummaßverfahren	0,597	0,521	0,656	0,135	0,0296
Fotooptische Vermessung	0,614	0,489	0,686	0,198	0,0386
LKW - Vermessung	0,562	0,507	0,615	0,108	0,0248

Es kann festgehalten werden, dass der beim Sektions-Raummaßverfahren ermittelte Umrechnungsfaktor mit einem Mittelwert von  $\bar{x}_G = 0,597$  sehr genau mit dem in der RVR bei Holzlänge 3 Meter empfohlenen Faktor von 0,60 übereinstimmt. Beim fotooptischen Verfahren ergibt sich mit einem Mittelwert von  $\bar{x}_G = 0,614$  ein etwas höherer Faktor bei den mit  $SD = 0,0386$  größten Schwankungen um den Mittelwert. Bei der LKW-Vermessung beobachtet man den deutlich geringsten Umrechnungsfaktor auf das Festvolumen von lediglich 0,562.

Zieht man in Betracht, dass bis zur Einführung der RVR-Richtlinie am 1.1.2015 der in Deutschland gültige Umrechnungsfaktor vom Raum- auf das Festvolumen unabhängig von der Sortenlänge nach HKS-Richtlinie 0,70 betrug, so führte dies jahrzehntelang zu einer Fehleinschätzung des tatsächlichen Poltervolumens. Ein Umrechnungsfaktor von 0,70 konnte bei allen drei Methoden und im Hinblick auf die gesamten 33 Einzeltests bei keinem Versuch errechnet werden. Selbst die kalkulierten Maximalwerte bzw. Ausreißer konnten diesen Wert nicht annähernd erreichen und betragen bei den herkömmlichen Vermessungsmethoden des Sektions-Raummaßverfahrens  $Max = 0,656$  und der LKW-Vermessung  $Max = 0,615$ .

Im Falle des Stichprobenverfahrens, der Gewichtsübernahme und des schwedischen Indexverfahrens können die aus den 33 Vermessungsergebnissen (in  $F_m$  o.R.) resultierenden Festgehaltsprozente dargestellt werden, indem das jeweilige Resultat mit dem ermittelten Raummaßvolumen an der Waldstraße (in  $R_m$  m.R.) dividiert wird. Als Referenz dient der durch das Sektions-Raummaßverfahren und die 3D-Vermessung bestimmte gewichtete arithmetische Mittelwert von  $\bar{x}_G = 0,597$ , der dem tatsächlichen Festgehaltsprozent der Versuchsreihe 1 entspricht.

In Tabelle 24 sind die bezogen auf die Poltergröße gewichteten arithmetischen Mittelwerte, die Minimal- und Maximalwerte, die Spannweite und die Standardabweichung der Festgehaltsprozente bei allen 33 Versuchen zusammengefasst.

**Tabelle 24: Darstellung des resultierenden Festgehaltsprozente auf Basis des im Wald ermittelten Raumvolumens**

Verfahren	$\bar{x}$	Min	Max	R	SD
Stichprobenverfahren	0,621	0,463	0,705	0,242	0,0545
Gewichtsübernahme	0,610	0,447	0,710	0,263	0,0666
Schwedisches Indexverfahren	0,627	0,581	0,658	0,077	0,0232

Nimmt man den Wert von 0,597 als wahren Wert an, so zeigen sich für die Mittelwerte der drei Methoden ausschließlich höhere Werte in Bezug auf die resultierenden Festgehaltsprozente. Dies hat eine durchschnittliche Überschätzung des tatsächlichen Poltervolumens zur Folge.

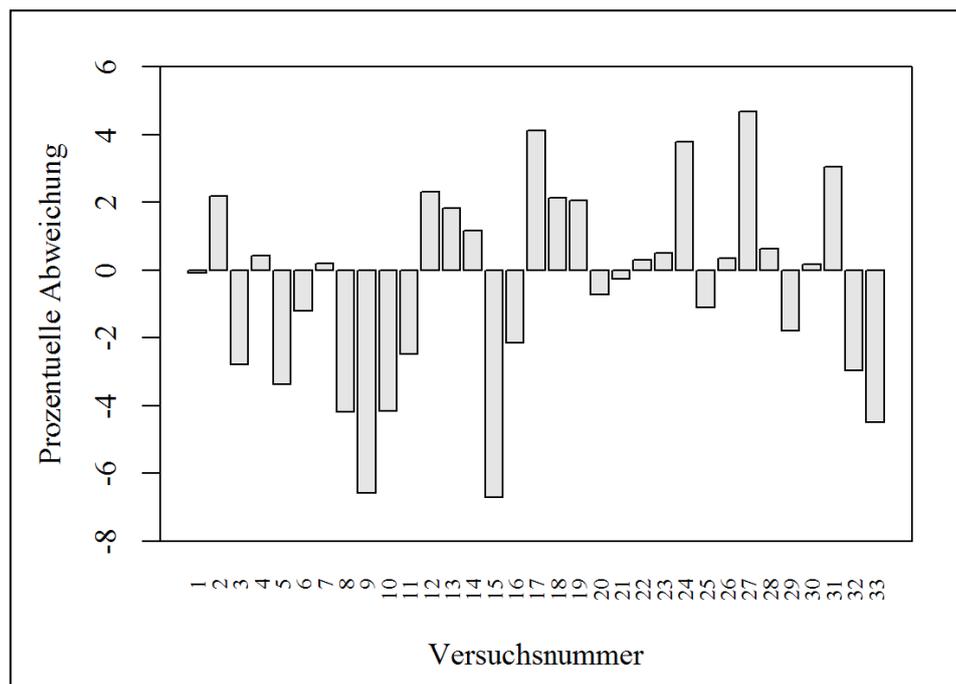
Die Betrachtung der Minimal- und Maximalwerte bei der Gewichtsübernahme und des Stichprobenverfahrens zeigt die Problematik bei der Anwendung dieser beiden Verfahren, die aufgrund der bereits in Abschnitt 4.1.4 aufgeführten enormen Schwankungsbreite resultiert. Der Minimalwert bei der Gewichtsübernahme von  $\text{Min} = 0,463$  stellt ein unrealistisches Festgehaltsprozent dar, weil in diesem Falle davon ausgegangen wird, dass 53,7 % des Poltervolumens aus Luft besteht. Bei der Polterqualität und dem Material (Fichte Güte N) von Versuchsreihe 1 ist dieser Wert theoretisch unmöglich. Gleichmaßen kann der Maximalwert von  $\text{Max} = 0,710$  als unwahrscheinlich interpretiert werden, da wie bereits geschildert, der maximale Umrechnungsfaktor beim Sektions-Raummaßverfahren mit 0,656 errechnet wurde.

Das schwedische Indexverfahren überzeugt durch seine geringe Streuung um den Mittelwert mit  $\text{SD} = 0,0232$  bei der Darstellung des Festgehaltsprozents. Es wäre konsequenterweise bei dieser Methode am besten möglich, den tatsächlichen Festgehalt eines Polters mit geringerer Fehlerwahrscheinlichkeit zu repräsentieren.

### 5.1.3 Genauigkeitsabweichungen und mögliche Fehlerquellen

Die bisher aufgeführten Ergebnisse sind speziell durch die unterschiedlich stark ausgeprägten Genauigkeitsabweichungen der jeweiligen Verfahren bei den Einzelversuchen gekennzeichnet (Tabelle 14 in Abschnitt 4.1.4). Es stellt sich daher die Frage, welche Ursachen für die Schwankungen verantwortlich sind und wie stark sie die Genauigkeit beeinflussen. In den nachfolgenden Absätzen sollen mögliche Fehlerquellen erörtert und deren Effekt auf die Präzision der Maßermittlung beschrieben werden.

Die *fotooptische Vermessung* wurde aus den in Abschnitt 3.2.1.2 genannten Argumenten nur an der Poltervorderseite durchgeführt. Daher soll nun untersucht werden, ob sich die Vermessungsgenauigkeit durch Integration der Polterdaten an der Polterrückseite erhöhen lässt. Zu diesem Zweck wurde das beim Sektions-Raummaßverfahren (auf Basis der erhobenen Polterdaten an beiden Seiten) kalkulierte Volumen mit den Auswertungen, die sich aufgrund der Einbeziehung der Polterdaten von lediglich der Vorderseite ergeben würden, verglichen (Abbildung 19).



**Abbildung 19: Abweichungen bei der Maßehebung an der Poltervorderseite im Vergleich zur Einbeziehung von Vorder- und Rückseite**

Die Grafik visualisiert, dass das Vermessungsergebnis der Einzelversuche bei Einbeziehung von ausschließlich der Poltervorderseite sowohl in einem Mehrvolumen (Max = 4,68 %), als auch in einem Mindervolumen (Min = - 6,72 %) verglichen mit der Datenerhebung an beiden Seiten resultiert. Es lässt sich dabei keine allgemeine Tendenz zur Unter- oder Überschätzung des Poltervolumens ableiten. Weder die Poltergröße, noch die Polterhöhe hat einen Effekt auf die dargestellten Abweichungen.

Schließt man sowohl die positiven als auch die negativen Abweichungen in die Kalkulation des nach der Poltergröße gewichteten Mittelwerts ein, so resultiert dieser in  $\bar{x}_G = - 0,29 \%$ . Es kann demnach behauptet werden, dass im Falle der *fotooptischen Vermessung* keine Genauigkeitsverbesserung erreicht worden wäre, wenn die Polterrückseite zusätzlich in die Datenerhebung integriert wird.

Die konstante Überschätzung des Versuchsvolumens bei der *LKW-Vermessung* ist der Tatsache geschuldet, dass die an der Waldstraße durch den Forwarder erreichte Schichtungsqualität der Einzelstämme bei der Beladung eines Rundholz-LKW nicht realisiert werden kann und mithilfe des Abzugswertes von 5 % nicht ausreichend bewertet wird. Aufgrund des größeren Greifers ergeben sich bei der LKW-Beladung offensichtlich deutlich mehr Hohlräume zwischen den Einzelstämmen.

Um darzustellen, wie sich die Packungsdichte des Versuchsholzes bei der LKW-Verladung tatsächlich reduzierte, werden die ursprünglichen Bruttoraummaße der Versuchspolter mit den Bruttoraummaßen der LKW-Anlieferungen verglichen (Tabelle 25). Um die unterschiedlichen Polterqualitäten an der Waldstraße mit einzubeziehen, werden die beim schwedischen Indexverfahren bewerteten Qualitäten in sehr gut bis gut (19 Versuche) und schlecht (14 Versuche) unterteilt.

**Tabelle 25: Vergleich maschinelle Polterung im Wald und Beladung LKW**

<b>Polterqualität</b>	<b>Bruttoraummaß Polter (Rm m.R.)</b>	<b>Bruttoraummaß LKW (Rm m.R.)</b>	<b>Differenz (Rm m.R.)</b>	<b>Differenz (%)</b>
sehr gut bis gut	1011,56	1068,06	56,50	5,59
schlecht	1145,08	1181,38	36,30	3,17
Gesamt:	2156,63	2249,44	92,81	4,30

Bei sehr guten und gut geschichteten Poltern an der Waldstraße führt dies zu einem Mehrvolumen bei der LKW-Beladung von 5,59 %, bei schlecht aufgesetzten Poltern von folglich geringeren 3,17 %. Betrachtet man das Gesamtvolumen des Versuchs, so errechnen sich bei der *LKW-Vermessung* 92,81 Rm m.R. (4,30 %) mehr im Vergleich zur Datenaufnahme am Polter.

Da beim Sektions-Raummaßverfahrens für die Kalkulation des Netto-Vermessungsvolumens eine Reduktion des Bruttoraummaßes mit 7 % vorgenommen wird, so müsste dementsprechend zur Darstellung des korrekten Versuchsvolumens bei der *LKW-Vermessung* ein Abzug von mindestens 11 % gewählt werden. Die Fehlerquelle im Falle der *LKW-Vermessung* liegt demnach nicht an der Durchführung der Methode, sondern an der Anwendung eines zu geringen Abzugswertes.

Das zu hohe Gesamtergebnis und die Genauigkeitsschwankungen beim *Stichprobenverfahren* könnten durch die nachfolgenden Fehlerquellen verursacht werden:

- Zu geringer Stichprobenumfang
- Abweichung des geschätzten Stammdurchmessers
- Stückzahlabweichung

Der durchschnittliche Stichprobenumfang bei Versuchsreihe 1 beträgt 29,08 % und schwankte zwischen Min = 24,2 % und Max = 33,5 %. Aufgrund der in Abschnitt 3.2.1.3 geschilderten Problematik in Bezug auf den Vermessungsaufwand wurden die Abstände zur Erhebung der Durchmesserwerte im Vergleich zur RVR-Richtlinie verdoppelt. Es soll dabei ein Stichprobenumfang von mind. 25 % erreicht werden, was in 30 der 33 Versuchspolter der Fall war. Demnach scheidet ein Einfluss des Stichprobenumfangs als mögliche Fehlerquelle aus.

Der anhand der Stirnflächen durchschnittlich hergeleitete Stammdurchmesser beträgt bezogen auf die Stammanzahl der Einzelpolter  $\bar{x}_G = 13,73$  cm. Im Vergleich zum von der 3D-Vermessung gemessenen Mittendurchmesser für Versuchsreihe 1 von  $\bar{x}_G = 13,06$  cm entspricht dies einer Abweichung von + 5,01 % bzw. einer Überschätzung des tatsächlichen Mittendurchmessers von 0,67 cm.

Tabelle 26 simuliert, ob sich die ursprüngliche Vermessungsgenauigkeit (+ 3,89 %) beim *Stichprobenverfahren* in Bezug auf das Gesamtvolumen von Versuchsreihe 1 verbessern lässt, wenn entweder die Ermittlung des tatsächlichen Mittendurchmessers (Variante 1) oder die exakte Stückzahlerhebung (Variante 2) erreicht werden würde.

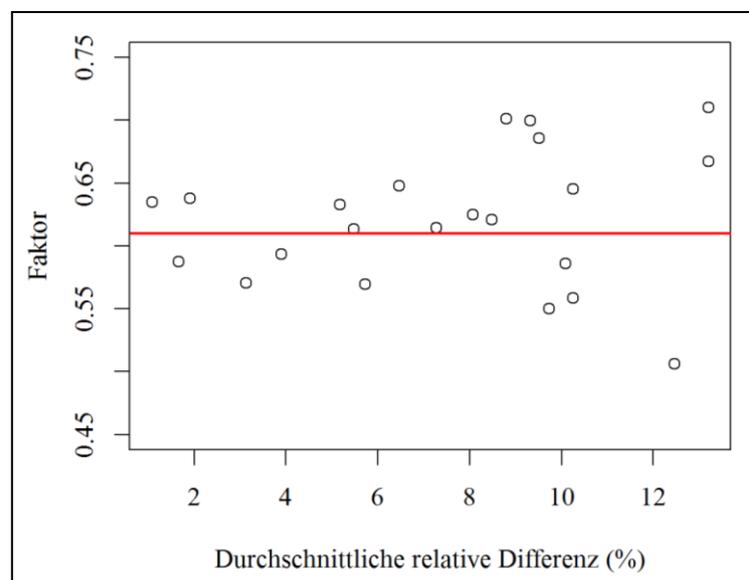
**Tabelle 26: Abweichung bei den verschiedenen Varianten des Stichprobenverfahrens**

Variante	Volumen in Fm o.R.	Abweichung in %
1.) Stück Wald und Mittendurchmesser Werk	1134,870	-5,28
2.) Stück Werk und Mittendurchmesser Wald	1259,522	5,12
Stück Wald und Mittendurchmesser Wald (entspricht Ergebnis Stichprobenverfahren)	1244,773	3,89
Elektronische Vermessung	1198,170	0,00

Beide Varianten würden das Vermessungsergebnis des *Stichprobenverfahrens* somit nicht verbessern, sondern resultieren in einer größeren Abweichung in Bezug auf das tatsächliche Versuchsvolumen.

Die Ergebnisse der *Gewichtsübernahme* sind gekennzeichnet durch die große Schwankungsbreite der Einzelversuche. Wird davon ausgegangen, dass die Methode in Bezug auf die Durchführung bei der Probenentnahme korrekt angewendet wurde, so liegt die mögliche Fehlerquelle einzig in der Bestimmung der Trockengehaltswerte. Dabei stellt sich die Frage, ob und mit welcher Genauigkeit der ermittelte Wert den tatsächlichen Wert einer Ladung bzw. eines Versuchspolters repräsentiert. Einflüsse bei der Probenentnahme mittels Motorsäge aufgrund der Erwärmung bzw. Austrocknung der Späne sowie die Feuchtigkeitsabgabe infolge der Kettenschmierung sind zu vernachlässigen (MOHÁCSI, 2013).

Bei Versuchsreihe 1 wurden in Abhängigkeit der Poltergröße die Trockengehaltswerte bei 22 Einzelversuchen an zwei, drei oder vier Ladungen bestimmt. Abbildung 20 soll grafisch darlegen, ob ein Zusammenhang zwischen der Differenz der einzelnen Trockengehaltswerte und dem daraus resultierenden Festgehaltsprozent bzw. Umrechnungsfaktor vorliegt. Hierfür wurde die durchschnittliche relative Differenz innerhalb eines Versuchspolters errechnet, indem die absoluten relativen Differenzen der Trockengehaltswerte mit deren Mittelwert dividiert wurden.



**Abbildung 20: Einfluss der durchschnittlichen relativen Differenz der Trockengehaltswerte auf den Umrechnungsfaktor bei 22 Versuchspoltern**

Das Schaubild bestätigt die Vermutung, dass größere Differenzen bei der Bestimmung der Trockengehaltswerte eines Versuchspolters in einer stärkeren Streuung des Faktors und damit verbunden einer höheren Genauigkeitsabweichung der Vermessungsergebnisse resultieren. Ausreißer in beide Richtungen treten nachweislich ab einer durchschnittlichen relativen Trockengehaltsdifferenz von über 8 % auf.

### 5.1.4 Verbesserung der Vermessungsgenauigkeit mittels Zu- und Abschlagswerten

Das *Sektions-Raummaßverfahren* überzeugt durch seine bezogen auf das Gesamtversuchsvolumen geringste Abweichung aller sechs getesteten Übernahmefethoden (Tabelle 13 in Abschnitt 4.1.3). Bei der Betrachtung der Genauigkeit der jeweiligen Einzelversuche zeigte sich jedoch, dass die Schwankungen um den Mittelwert mit  $SD = 5,15\%$  größer ausgeprägt sind verglichen mit dem *schwedischen Indexverfahren* mit  $SD = 3,65\%$  (Tabelle 14 in Abschnitt 4.1.4). Es scheint daher nahezuliegen, dass sich das Vermessungsergebnis mithilfe von Zu- und Abschlagswerten für die einzelnen Holz- und Poltereigenschaften präzisieren lässt.

Dient das *Sektions-Raummaßverfahren* als Verkaufsmaß, so wäre es vorteilhaft, wenn die Extremwerte der Genauigkeitsabweichungen in beide Richtungen minimiert werden könnten. Tabelle 27 soll Aufschlüsse darüber geben, ob es möglich wäre, das tatsächliche Poltervolumen bei den jeweiligen Ausreißern nach unten (Umrechnungsfaktor  $< 0,570$ ) und nach oben (Umrechnungsfaktor  $> 0,630$ ) mithilfe der Eigenschaftsbeurteilung exakter abbilden zu können. Beim *schwedischen Indexverfahren* ergab sich bei einem Grundwert von 71 ein Gesamtvolumenfehler für Versuchsreihe 1 von  $+ 4,90\%$ . Eine Reduktion des Grundwertes auf 68 würde in einem mit der elektronischen 3D-Vermessung identischen Versuchsvolumen resultieren und erlaubt daher einen korrekten Vergleich mit den Werten des *Sektions-Raummaßverfahrens*.

**Tabelle 27: Verbesserung der Vermessungsgenauigkeit mittels Zu- und Abschlagswerten bei N Ausreißern des Sektions-Raummaßverfahrens nach unten (Faktor  $< 0,570$ ) und nach oben (Faktor  $> 0,630$ )**

Faktor	Methode	N	$\bar{x}_G$
$< 0,570$	Sektions-Raummaßverfahren	6	0,551
	Schwedisches Indexverfahren (Grundwert 68)	6	0,573
$> 0,630$	Sektions-Raummaßverfahren	3	0,643
	Schwedisches Indexverfahren (Grundwert 68)	3	0,622

Die dargestellten gewichteten Mittelwerte des Faktors ( $\bar{x}_G$ ) würden demnach eine Angleichung an den tatsächlichen Umrechnungsfaktor vom Raum- auf das Festmaß von Versuchsreihe 1 ( $\bar{x}_G = 0,597$ ) bewirken. Demnach könnte mittels Zu- und Abschlagswerten die Streubreite der einzelnen Versuchsergebnisse minimiert und dadurch die Vermessungsgenauigkeit verbessert werden. Eventuell könnte durch Änderung der angewendeten Indexwerte erreicht werden, dass sich die Schwankungsbreite weiter reduzieren lässt.

## 5.2 Versuchsreihe 2

### 5.2.1 Ergebnisvergleich mit theoretischen Grundlagen und Berechnungsmodellen

PRODAN (1965) analysierte die theoretische Bestimmung des Umrechnungsfaktors beim Aufsetzen von Rundholz gleichen Durchmessers und unterscheidet zwischen Quadrat- und Dreiecksverband (siehe Abbildung 21). Er errechnete dabei einen theoretischen Umrechnungsfaktor von 0,785 beim Quadrat- und 0,907 beim Dreiecksverband, unabhängig vom mittleren Mittendurchmesser der Einzelstämme.

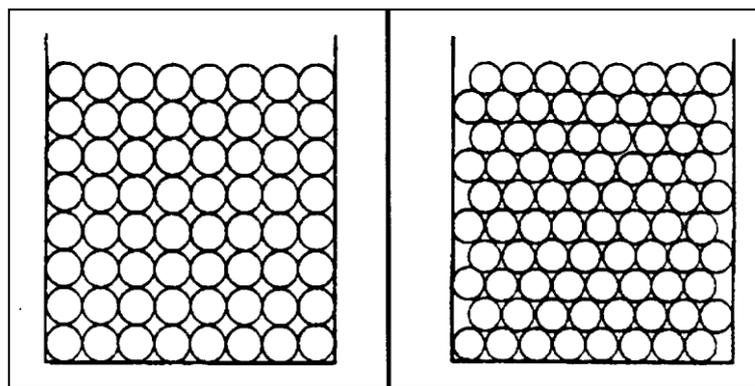


Abbildung 21: Darstellung der Schichtung links im Quadrat- und rechts im Dreiecksverband (PRODAN, 1965)

Bei maschinengesetztem Holz können allerdings derartig strukturierte Stammanordnungen nicht erreicht werden. Es ergeben sich deutlich größere Hohlräume zwischen den Einzelstämmen. Die Tatsache, dass die Parameter Abholzigkeit, Ovalität und Krümmung bei den von PRODAN genannten Umrechnungsfaktoren nicht berücksichtigt wurden, resultiert in einer weiteren Reduktion dieser Faktoren. Die kalkulierten Umrechnungsfaktoren von Versuchsreihe 2 betragen in Bezug auf den jeweiligen Mittendurchmesser zwischen 0,580 und 0,671, sind also deutlich geringer und durchaus vom mittleren Mittendurchmesser abhängig, entgegen der von PRODAN aufgestellten theoretischen Betrachtungsweise.

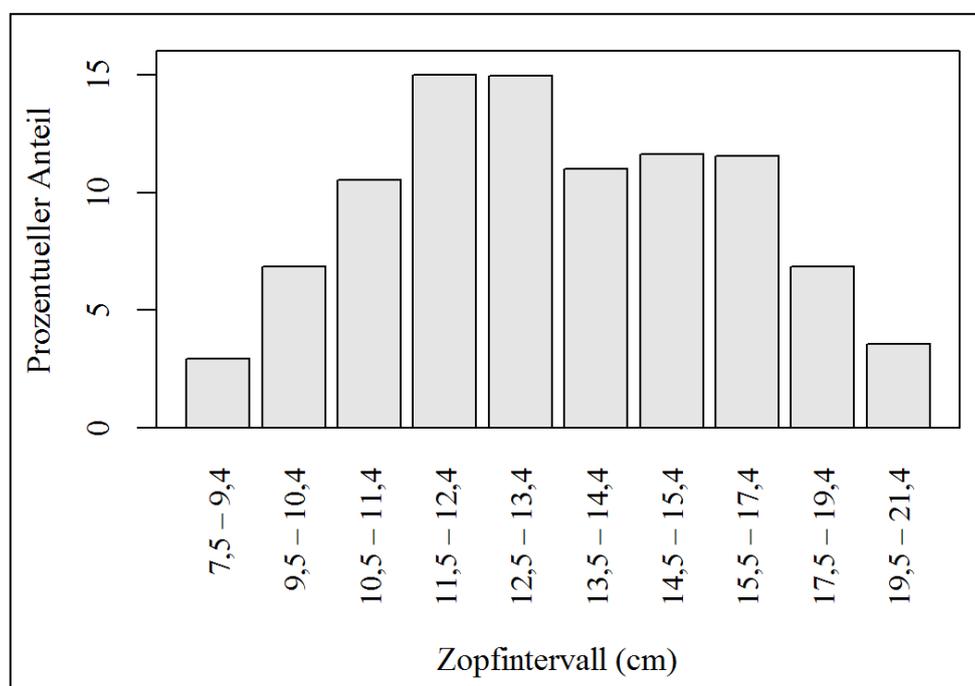
Um statistisch aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten, sollte bei den Versuchen eine bestmögliche Polterqualität erreicht werden, indem die Einzelstämme sehr dicht geschichtet werden und aufgrund dessen größere Hohlräume ausbleiben. Die Stückzahlverteilung verbunden mit der geringen Streuung innerhalb der 12 Sektionen (Tabelle 20) belegen, dass die Schichtung bei Versuchsreihe 2 sehr gleichmäßig erfolgte und aufgrund dessen die Anforderung einer maximalen Packungsdichte erreicht wurde.

### 5.2.2 Umrechnungsfaktor bezogen auf die Durchmesserverteilung

Ein höherer Mittendurchmesser beeinflusst das relative Festvolumen positiv (Tabelle 21). Dies ist in erster Linie darauf zurückzuführen, dass bei geringeren Durchmessern mit höherer Stückzahl pro Raummeter die maximale Packungsdichte schwerer erreicht wird. Die Abbildung des tatsächlichen Umrechnungsfaktors ist demzufolge davon abhängig, welche Durchmesserverteilung bei einem Industrieholzpolder vorliegt.

Abbildung 22 veranschaulicht die Häufigkeitsverteilung von in Summe ca. 38.300 Fm o.R. Industrieholz bezogen auf die bei Versuchsreihe 2 analysierten Zopfbereiche. Diese 10 Zopfbereiche bilden ca. 95 % der Gesamtmenge eines Industrieholzpolders ab. Stämme mit einem Zopfdurchmesser zwischen 11,5 und 13,4 cm weisen die beiden größten Anteile von in Summe 29,98 % auf.

Anhand der Gewichtung der Anteile jedes Zopfintervalls mit den kalkulierten Umrechnungsfaktoren aus Tabelle 21 ergibt sich ein durchschnittlicher Umrechnungsfaktor von 0,649 für entrindetes Industrieholz in Länge 3 Meter und Güteklasse N. Der in der RVR empfohlene Umrechnungsfaktor auf das Festgehaltsvolumen beim Raummaß o.R. für Stücklänge 3 Meter (Tabelle 2) ist demnach mit 0,70 deutlich zu hoch.



**Abbildung 22: Boxenauswertung der Fa. Heinzmann GmbH in Bezug auf den prozentuellen Anteil der jeweiligen Zopfintervalle bei Industrieschichtholz (Holzart Fichte; Holzlänge 3 m; Güte N)**

Industrieschichtholz wird heutzutage in der Praxis nahezu ausschließlich in Rinde bereitgestellt. Berücksichtigt man bei der Versuchsreihe 2 den volumenbezogenen Rindenabzug von 10 %, so errechnet sich ein theoretischer Faktor von 0,584 bei der Umrechnung von  $R_m$  in  $F_m$  o.R.

Im Vergleich zum resultierenden Umrechnungsfaktor von Versuchsreihe 1 (0,597) stellt dies zwar einen etwas geringeren Wert dar, jedoch sei darauf hingewiesen, dass es sich dabei um einen aufgrund der in der Literatur angegebenen Rindenabzugswerte hergeleiteten Umrechnungsfaktor handelt. Die tatsächlichen Rindenanteile der Versuchsstämme unterliegen Schwankungen und können im Nachhinein nicht mehr quantifiziert werden. Die Versuchsstämme wurden bei Versuchsreihe 2 entrindet vermessen und sortiert, ansonsten würde der ermittelte Zopfdurchmesser der Stämme nicht den tatsächlichen Durchmesser widerspiegeln.

## 6 ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNGEN

Zwischen der Forstseite und der abnehmenden Industrie gibt es mehrfach Meinungsverschiedenheiten, ob und mit welcher Genauigkeit die derzeitigen Vermessungsverfahren das tatsächliche Festgehaltsvolumen von Industrieholzpoltern repräsentieren. Diese Fragestellung bzw. Problematik konnte nur mithilfe einer elektronischen Vermessungsanlage gelöst werden.

Der Abgleich der Daten einer umfangreichen **Versuchsreihe 1** mit 28.248 Einzelstämmen und einem Gesamtvolumen von 2.006 Rm m.R. mit einer geeichten und zertifizierten 3D-Anlage ermöglichte, wissenschaftlich fundierte Aussagen über die Genauigkeit und die Streubreite der Maßermittlungen zu treffen. Untersucht wurden dabei das Sektions-Raummaßverfahren, die fotooptische Vermessung, das Stichprobenverfahren, die LKW-Vermessung, die Gewichtsübernahme und das schwedische Indexverfahren.

Für den Erhalt möglichst exakter Vermessungsdaten helfen zahlreiche Normen und Richtlinien, die bei den Versuchsdurchführungen ausnahmslos und streng eingehalten wurden. Das Versuchsmaterial wurde gezielt ausgewählt und entsprach bei allen 33 Einzelpoltern den bei der Versuchsreihe 1 definierten Anforderungen, vergleichbar mit dem Einkaufssortiment der Papier- und Zellstoffindustrie.

Die statistischen Auswertungen belegen zunächst, dass die prozentuelle Abweichung bezogen auf die Gesamtmenge des Versuchsvolumens bei den sechs getesteten Messverfahren für Industrieholz mit Ausnahme der LKW-Vermessung unter 5 % liegt. Speziell das Sektions-Raummaßverfahren überzeugte mit einer Abweichung von lediglich 0,44 % und spiegelt demzufolge das tatsächliche Vermessungsvolumen der 3D-Anlage am präzisesten wider.

Die graphischen Darstellungen der Ergebnisse der jeweiligen Einzelversuche zeigen, dass besonders bei der Gewichtsübernahme und dem Stichprobenverfahren deutliche Schwankungen im Hinblick auf die Vermessungsgenauigkeit auftreten. Der Wert der Standardabweichung bei der Gewichtsübernahme mit  $SD = 10,22 \%$  beweist eine erhebliche Streuung der Einzelwerte um den Mittelwert. Es ist demzufolge schwierig, bei dieser Methode das korrekte Poltervolumen mit einer statistisch hohen Wahrscheinlichkeit abzubilden. Diese These wird durch die Häufigkeitsverteilung der absoluten prozentuellen Abweichungen gestützt. Nur bei 11 der 33 Einzelversuche konnte bei Anwendung der Gewichtsübernahme eine Vermessungsgenauigkeit von  $\pm 5 \%$  erreicht werden.

Die Darstellung der resultierenden Umrechnungsfaktoren und Festgehaltsprozente verdeutlicht, welche Spannweiten und Abweichungen bei den Einschätzungen des tatsächlichen Poltervolumens der Einzelversuche zu erwarten sind. Der in Deutschland bis 1.1.2015 und gültige Umrechnungsfaktor vom Raummaß mit Rinde auf das Festmaß ohne Rinde von 0,70 wurde bei keiner der auf Raumvermessung basierten Methoden annähernd erreicht, sodass das tatsächliche Poltervolumen von Industrieschichtholz offensichtlich jahrzehntelang überschätzt wurde. Die Kalkulation der Festgehaltsprozente ergab, dass speziell bei der in der Praxis häufig angewendeten Gewichtsübernahme, teilweise unrealistische Vermessungsergebnisse auftreten.

Mögliche Fehlerquellen, auf die die Genauigkeitsabweichungen der jeweiligen Methoden zurückzuführen sind, wurden erörtert und analysiert. Im Falle der fotooptischen Vermessung würde keine Genauigkeitsverbesserung erreicht werden, wenn die Polterrückseite zusätzlich in die Datenerhebung integriert wird.

Beim Stichprobenverfahren sind ausschließlich die Abweichungen bei der erhobenen Stückzahl und des geschätzten Mittendurchmessers für die Schwankungen der Ergebnisse verantwortlich. Beide Fehlerquellen machen es in der Praxis unmöglich, das tatsächliche Poltervolumen exakt zu bestimmen.

Das konstante Mehrvolumen bei der LKW-Vermessung resultiert aufgrund der Anwendung eines zu geringen Abzugswerts (5 %). Würde man das Bruttoreaummaß einer Ladung um 11 % reduzieren, so kann es gelingen, das von der 3D-Anlage ermittelte Volumen zu repräsentieren.

Bei der Gewichtsübernahme liegt die Herausforderung an der Darstellung des durchschnittlichen Trockengehalts einer Ladung. Die repräsentative Stichprobe kann offensichtlich die Feuchtegehalts-Schwankungen innerhalb einer Ladung nicht ausreichend erfassen. Eine Untersuchung bestätigte die Vermutung, dass Ausreißer bezüglich der Genauigkeitsabweichungen mit zunehmenden Trockengehaltsdifferenzen auftreten.

Das Vermessungsergebnis beim Sektions-Raummaßverfahren könnte mittels Verwendung von Zu- und Abschlagwerten, verglichen mit dem schwedischen Indexverfahren, weiter präzisiert werden.

Eine Untersuchung der Messwertstreuung in Abhängigkeit von der Poltergröße ermöglicht die Argumentation, dass sich bei allen Übernahmefethoden mit zunehmender Poltergröße das Vermessungsergebnis präzisieren lässt.

Weiter beweisen die statistischen Auswertungen, dass die Parameter Krümmung, Abholzigkeit und Ovalität die Packungsdichte eines Holzpolters und damit verbunden das Festgehaltsvolumen negativ beeinflussen. Zusätzlich konnte ein Effekt des Mittendurchmessers beobachtet werden. Demnach steigt das Festgehaltsvolumen eines Polters deutlich mit Zunahme des Durchmessers der Einzelstämme. Eine Regressionsanalyse bestätigt, dass die vier Parameter in ihrer Gesamtheit einen hochsignifikanten Effekt auf das Festgehaltsvolumen eines Polters aufweisen.

Die konkrete Abhängigkeit des Festgehaltsvolumens eines Industrieholzpolters vom Zopf- bzw. Mittendurchmesser der Einzelstämme wurde bei **Versuchsreihe 2** mit 12.701 entrindeten Versuchsstämmen und einem Gesamtvolumen von 870,35 Rm o.R. ausgearbeitet. Um die Ergebnisse später statistisch aufbereiten zu können, mussten bestimmte Anforderungen an die Polterqualität erfüllt werden. Die erhobenen Werte der Einzelsektionen belegen, dass die angestrebte Schichtungsqualität sowie eine einheitliche Polterhöhe durchgängig erreicht wurden, und demzufolge die maximal mögliche Packungsdichte ohne Auftreten größerer Hohlräume realisiert wurde.

Mit steigendem Durchmesser der entrindeten Einzelstämme ergab sich eine Zunahme des Festgehaltsvolumens bzw. des Umrechnungsfaktors vom Raum- auf das Festmaß von 0,580 beim Versuch mit den geringsten Mittendurchmessern (10,30 cm) bis 0,671 beim Versuch mit den größten Mittendurchmessern (21,60 cm). Diese Zunahme des Faktors wurde in einem Diagramm visualisiert und bildet einen nichtlinearen Verlauf ab.

Mit der Einstellung der zulässigen Maximalwerte für die Ovalität und Abholzigkeit der Versuchsstämme konnte gewährleistet werden, dass diese Parameter bei allen 10 Einzelversuchen lediglich eine geringe Abweichung vom Mittelwert aufweisen und dementsprechend im Hinblick auf das Versuchsergebnis und den Umrechnungsfaktor zu vernachlässigen sind. Allerdings ließ sich bei der Stammauswahl nicht vermeiden, dass bei Industrieholz mit Anstieg des Mittendurchmessers ab ca. 16 cm auch die Krümmungswerte der Einzelstämme zunehmen und folglich das Vermessungsergebnis bzw. den Faktor negativ beeinflussen. Mit zunehmendem Mittendurchmesser konkurriert Industrieholz mit den Stammholzsortimenten, sodass vermehrt krümmere Abschnitte in das Industrieholz sortiert werden.

Bei der Volumenbestimmung von Industrieschichtholz für die Papier- und Zellstoffindustrie finden in Deutschland derzeit überwiegend die Vermessungsmethoden des Sektionsraummaßverfahrens, der Gewichtsübernahme und der LKW-Vermessung in der Praxis Anwendung. Die dabei resultierenden Vermessungsergebnisse werden sowohl von der Forst- als auch von der Abnehmerseite als anerkanntes Abrechnungs- und Verkaufsmaß verwendet. Die vorliegenden Untersuchungen zeigten jedoch deutlich, dass es dabei nicht immer gelingt, das tatsächliche Holzvolumen eines Industriebolzpolters zu repräsentieren. Die statistischen Auswertungen belegen, dass das korrekte Vermessungsergebnis von mehreren Faktoren abhängt, deren Einfluss bei den jeweiligen Verfahren nicht ausreichend quantifiziert oder überhaupt nicht berücksichtigt wird.

Beispielsweise könnte bei der Gewichtsübernahme eine Erhöhung des Probenumfangs dazu führen, die Trockengehaltsbestimmung zu präzisieren und folglich Schwankungen bei den Vermessungsergebnissen zu vermeiden. Bei der Übernahme mittels LKW-Vermessung sollte zwingend eine einheitliche Norm eingeführt werden, die die korrekte Maßerhebung mit definierten Abzugswerten regelt. Das Sektions-Raummaßverfahren kann durch Einbeziehung der Holz- und Poltereigenschaften weiter verbessert werden. Die Weiterentwicklung und Optimierung der Vermessungsverfahren für Industrieschichtholz wäre sicherlich im Sinne aller am Holzverkauf beteiligten Akteure.

## 7 LITERATUR

- ANONYMUS. (2013). Smartphone-App zählt und mißt Holz. Forstmaschinen-Profi, Jg./Heft: 21/8, Forstfachverlag GmbH & Co. KG, Scheeßel , S. 57.
- BERTELS, H. (1991). Überprüfung neuer Verfahren zur computergestützten Aufnahme, Vermessung und Analyse von Schichtholz. Diplomarbeit an der Forstwirtschaftlichen Fakultät der Georg-August-Universität, Göttingen , 62 S.
- CMA. (1983). Analyse des Schwachholzeinsatzes - 1. Auflage. Centrale Marketinggesellschaft der deutschen Agrarwirtschaft mbH (CMA), Bonn , 175 S.
- DELORME, A. (1978). Rationalisierung der Schichtholzvermessung nach schwedischem Muster. Holz-Zentralblatt, Jg./Heft: 104/72, DRW-Verlag, Leinfelden-Echterdingen , S. 1131-1136.
- DIETZ, P. (1975). Dichte und Rindengehalt von Industrieholz. Holz als Roh- und Werkstoff, Jg./Heft: 33/4, Springer-Verlag, Berlin , S. 135-141.
- DIETZ, P. (1966). Die Vermessung von Industrieholz nach Gewicht. Dissertation an der Albert-Ludwigs-Universität, Freiburg , 336 S.
- DIETZ, P. (1977). Gewichtvermessung von Industrieholz, warum? - Technik der Vermessung, praktische Probleme. Allgemeine Forstzeitung, Jg./Heft: 88/4, Österreichischer Agrarverlag, Wien , S. 81-84.
- DIETZ,P.;KELLER,B. & ARTMANN,T. (1976). Die Bewertung der Qualität von Nadel-Schleifholz - ein Beitrag zur optimalen Holzverwertung. Das Papier - Heft 11, Darmstadt , S. 472-478.
- DIN 52183. (1977). Prüfung von Holz - Bestimmung des Feuchtegehaltes. Normenausschuß Holz im DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin , S.87.
- DRALLE. (2014). sScale - Measure, track and trade. Produktbroschüre der Firma Dralle A/S, Hoersholm , 12 S.
- ERB, W. (1984). Vermessung und Verkauf von Industrieholz lang nach Gewicht - Erfahrungen im Staatswald Baden-Württembergs. Allgemeine Forstzeitschrift, Jg./Heft: 39/42, BLV-Verlagsgesellschaft, München , S. 1048-1050.

- FINK, F. (2004). Foto-optische Erfassung der Dimension von Nadelrundholzabschnitten unter Einsatz digitaler, bildverarbeitender Methoden. Dissertation an der Albert-Ludwigs-Universität, Freiburg , 167 S.
- FISCHER, P. (1991). Untersuchungen zur Messung von Schichtholz und zur Entwicklung leistungsfähiger Schichtholzmessverfahren. Dissertation an der Fakultät für Bau-, Wasser- und Forstwesen der Technischen Universität, Dresden , 124 S.
- FORST-HKS. (1969). Gesetzliche Handelsklassensortierung für Rohholz, BGBl.I S.149. Ergänzungsbestimmungen für Baden-Württemberg.
- FOVEA. (2014). Fotooptische Holzaufnahme & mobile Datenerfassung. Produktbroschüre der Firma Fovea UG, Uslar , 5 S.
- FOVEA. (2016). Schnellstart - Bedienungsanleitung. Produktbroschüre der Firma Fovea UG, Uslar , 13 S.
- FPP. (2004). Schriftenreihe Industrie-Rundholz. FPP Kooperationsabkommen Forst-Platte-Papier, Wien , 15 S.
- FROMMHOLD, H. (2013). Holzsortierung und -vermessung, Vorlesungsbegleitende Materialsammlung, 4. Ausgabe. Hochschule für nachhaltige Entwicklung - Fachbereich Wald und Umwelt, Eberswalde , 57 S.
- FVA. (1997). Stichprobenverfahren zur Rundholzvermessung - Meßanweisungen. Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, Freiburg , Merkblatt 49/1997, 30 S.
- GLÄSER, H. (1952). Die fotografische Methode zur Festgehaltsermittlung von Schichtholz. Das Papier - Heft 23, Darmstadt , S. 24.
- GRESSEL, P. (1972). Bisherige Erfahrungen in der Bereitstellung und Verarbeitung von Industrielangholz. Forstarchiv, Jg./Heft: 43/1, Deutscher Landwirtschaftsverlag, München , S. 29-35.
- GROUVEN, U. (2007). Vergleich von Messmethoden. Deutsches Medizinisches Wochenschriften 132 , S. 69-73.

- HEINZMANN, B. & BARBU, M. (2017). Effect of mid-diameter and log-parameters on the conversion factor of cubic measure to solid measure concerning industrial timber. *Pro Ligno - An international Journal in the Field of Wood Engineering*, Volume 13, Number 1, Brasov , S.39-44.
- HEINZMANN, B. & BARBU, M. (2016). Genauigkeit der fotooptischen Poltervermessung von Industrieholz am Beispiel von FOVEA. *Forstarchiv*, Jg./Heft: 87/6, Deutscher Landwirtschaftsverlag, München , S. 194-197.
- HEINZMANN, B. & BARBU, M. (2017). Maßermittlungsvergleiche von Raummaßverfahren und Gewichtsübernahme für Industrieholz mit einzelstammweiser Werksvermessung. *Austrian Journal of Forest Science - Centralblatt für das gesamte Forstwesen*, Jg./Heft: 134/1, Wien , S.37-52.
- HOLZFORSCHUNG AUSTRIA. (2013). Richtlinie zur Gewichtsvermessung von Industrieholz. Österreichische Gesellschaft für Holzforschung, Wien , 11 S.
- JÄGER, A. (1951). Raummeter oder Schichtfestmeter. *Holz-Zentralblatt*, Jg./Heft: 77/123, DRW-Verlag, Leinfelden-Echterdingen , S. 1523.
- JÖRG ELEKTRONIK. (2005). Erläuterungen zur Werksvermessung - Abholzigkeitsermittlung. Infoletter der Firma Jörg Elektronik GmbH, Oberstaufen , 4 S.
- JÖRG ELEKTRONIK. (2016). Ovalitätsbestimmung und Ihre Bedeutung. Infoletter der Firma Jörg Elektronik GmbH, Oberstaufen , 4 S.
- JÖRG ELEKTRONIK. (2006). Vollelektronische Holzvermessung in Echtzeit. Produktbroschüre der Firma Jörg Elektronik GmbH, Oberstaufen , S. 3-4.
- JÖRGENSEN, R., & KRISTIANSSEN, L. (2008). Digitale Fotovermessung von Industrieholz und Abschnitten. *AFZ - Der Wald* 6/2008 , S.284-285.
- KARLSSON, J. (1971). Maetning av massaved i travat maatt. Institutionen för Virkeslära - Research Notes Nr. R 73, Stockholm , 73 S.
- LEINERT, S. (1986). Aufkommenssteigerung von Nadelschwachholz durch kostengünstige Aufarbeitungsverfahren - Ergebnisse des EG-Versuchs. Feldmühle AG - Haindl Papier GmbH - PWA AG, Dreieich , 351 S.

- LOHMANN, U. (2005). Holz Handbuch - 6. Auflage. DRW-Verlag, Leinfelden-Echterdingen , 349 S.
- MAGIN, R. (1951). Der Umrechnungsfaktor beim Faserholz. Holz-Zentralblatt, Jg./Heft: 77/148, DRW-Verlag, Leinfelden-Echterdingen , S. 1833-1844.
- MERCER HOLZ. (2016). Allgemeine Geschäftsbedingungen für den Holzeinkauf der Firmen Zellstoff- und Papierfabrik Rosenthal GmbH und Mercer Holz GmbH. Ladevorschriften bei Rundholz-LKW , 11 S.
- MERKBLÄTTER FVA. (1997). Stichprobenverfahren zur Rundholzvermessung - Meßanweisungen. Freiburg/DE: Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg.
- MOHÁCSI, K. (2013). Motorfürészes mintavétel hibái és alternatívái. Dissertation an der Simonyi Károly Fakultät für Technik, Holzwissenschaften und Kunst, Sopron .
- MÜLLER, M. (2008). Holzaufnahme im BaySF-Logistik-Prozess. LWF - Waldforschung aktuell, Jg./Heft: 15/4, Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, München , S. 26-27.
- NYLINDER, M.; KUBÉNKA, T. & HULTNÄS, M. (2008). Roundwood measurement of truck loads by laser scanning. A field study at Arauco pulp mill, Nueva Aldea , S. 1-9.
- PAPIERHOLZ AUSTRIA. (2013). Holzübernahmerichtlinien - Raummaßübernahme Revision 10. Spezifikationen der einzelnen Produktgruppen und die Holzübernahmerichtlinien, St. Gertraud , 31 S.
- PÁSZTORY, Z., EDELÉNYI, M., & BOROS, J. &. (2013). Developing of a new photo analytical method for measuring of wood stacks. Wood the Best Material for Mankind, Arbora Publishers, Zvolen , S. 69-72.
- PFEIL, C. (1985). Industrieholzlieferungen der Firma Johann Ensmann an die Firma Nolte-Platten Werk Germersheim. Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg - Aktenvermerk, Freiburg , 6 S.

- PFEIL, C. (1985). Vergleich verschiedener Volumenermittlungsverfahren bei der Aufnahme von Industrieholz. Abteilung Arbeitswirtschaft und Forstbenutzung, Forstliche Versuchs-und Forschungsanstalt Baden-Württemberg - Versuchsbericht, Freiburg , 9 S.
- PLATTE, G. (1957). Untersuchungen zur Geschichte der forstlichen Rohholzsortierung und deren Weiterentwicklung. Freiburg im Breisgau.
- PONADER, L. (1951). Raummeter oder Schichtfestmeter. Holz-Zentralblatt, Jg./Heft: 77/143, DRW-Verlag, Leinfelden-Echterdingen , S. 1763.
- PRODAN, M. (1965). Holzmesslehre. J.D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt am Main , 644 S.
- PTB. (2015). Merkblatt für die Prüfung von Fotooptischen Messsystemen zur Holzvermessung - Ausgabe-Nr. 01. Konformitätsbewertungsstelle - Sachgebiet Längenmessgeräte, Physikalisch Technische Bundesanstalt, Braunschweig , 11 S.
- R Core Team. (2016). R: A language and environment for statistical computing. R-Foundation for Statistical Computing, Wien, URL <https://www.R-project.org/> .
- RVR. (2015). Rahmenvereinbarung für den Rohholzhandel in Deutschland - 2. Auflage. Deutscher Forstwirtschaftsrat e.V und Deutscher Holzwirtschaftsrat e.V., Berlin , 56 S.
- SAUTER, U. (2014). Vermessung und Qualitätsbestimmung des Rohholzes an der Schnittstelle zwischen forstlicher Produktion und Weiterverarbeitung in der Holzindustrie. Abteilung Waldnutzung, Forstliche Versuchs-und Forschungsanstalt Baden-Württemberg - Alumnikolloquium, Freiburg , 33 S.
- SCHÖPFER, W. (1990). Zur Rationalisierung der Schwachholzvermessung. Forst und Holz, Jg./Heft: 45/12, M. & H. Schaper - Verlag, Hannover , S. 314.
- SCHREIBER, H. (1951). Raummeter oder Schichtfestmeter. Holz-Zentralblatt, Jg./Heft: 77/134, DRW-Verlag, Leinfelden-Echterdingen , S. 1655.
- SCHUH, W. (2015). Fotooptische Holzvermessung. Der Waldbesitzer - Heft 4, Waldbesitzerverband für Rheinland-Pfalz e.V., Bad Kreuznach , S. 16.
- STABLO, J. (2008). Werksvermessung von Industrieholz - Überprüfung der Umrechnungsfaktoren für die Bestimmung des Atro-Gewichts. Freiburg im Breisgau.

- STAUDENMAIER, J. (2015). Verfahren zur einzelstammweisen Volumen- und Konturermittlung von Rundholz. Fakultät für Forst- und Umweltwissenschaften der Universität Freiburg , 110 S.
- STAUDENMAIER, J.; SAUTER, U.; STABLO, J. & BECKER, G. (2011). Überprüfung des Umrechnungsfaktors zur Herleitung des Holzvolumens anhand des atro-Gewichts für Fichten- und Tannenindustrieholz am Beispiel Baden-Württemberg. Allgemeine Forst und Jagdzeitung, Jg./Heft: 182/3-4, J.D. Sauerländer's Verlag , S. 30-39.
- SÜBMUTH, B. (2010). Empirische Wirtschaftsforschung - Multikollinearität: Das Problem und seine Auswirkungen. Institut für Empirische Wirtschaftsforschung und Volkswirtschaftslehre, Universität Leipzig , 25 S.
- VDS. (2005). Rahmenvereinbarung für die Werksvermessung von Stammholz, Version 2005-01-14. Verband der Deutschen Säge- und Holzindustrie e.V. und Verband des Deutschen Forstwirtschaftsrates e.V. , 20 S.
- VOGTMANN, A. (2005). Vergleichende Untersuchungen zur automatisierten Auswertung von Elispot-Platten mit verschiedenen Bildanalysesystemen. Diss. Julius-Maximilian-Universität, Würzburg , 139 S.
- WILWERDING, A. (1995). Problematik der Vermessung von Profispaner-Fixlängen und Entwicklung eines Raummaßverfahrens. Freiburg , 113 S.
- ZIEGELER, M. (2015). Erfahrungen mit der fotooptischen Poltervermessung. Holz-Zentralblatt, Jg./Heft: 141/13, DRW-Verlag, Leinfelden-Echterdingen , S. 300-301.
- ZIEGLER, E. (1958). Untersuchungen über die Ermittlung des Festgehals von Schichtholz. Holz-Zentralblatt, Jg./Heft: 84/92, DRW-Verlag, Leinfelden-Echterdingen , S. 1187-1189.

## TABELLENVERZEICHNIS

<b>Tabelle 1:</b> Abzugswerte in Abhängigkeit von der Holzlänge (RVR, 2015).....	8
<b>Tabelle 2:</b> Umrechnungsfaktoren auf das Festgehaltsvolumen beim Raummaß (RVR, 2015) .....	15
<b>Tabelle 3:</b> Umrechnungsfaktoren F auf das Festgehaltsvolumen beim Gewichtmaß (RVR, 2015).....	16
<b>Tabelle 4:</b> Poltergrößen der Versuchsreihe 1 .....	20
<b>Tabelle 5:</b> Zopfeinteilung der Versuchsreihe 2 .....	22
<b>Tabelle 6:</b> Technische Daten der Rundholz-Messanlage .....	23
<b>Tabelle 7:</b> Einteilung der Sektionslängen (RVR, 2015).....	24
<b>Tabelle 8:</b> Polter- und Holzeigenschaften mit entsprechendem Indexwert (DELORME, 1978).....	28
<b>Tabelle 9:</b> Datenauswertung Sektions-Raummaßverfahren für Versuch 1 .....	34
<b>Tabelle 10:</b> Datenauswertung Gewichtübernahme für Versuch 1 .....	37
<b>Tabelle 11:</b> Stückzahlvergleich Wald - Werk.....	40
<b>Tabelle 12:</b> Ergebnis Holz- und Poltereigenschaften beim schwedischen Indexverfahren .....	41
<b>Tabelle 13:</b> Gesamtvolumen der Vermessungsmethoden und prozentuelle Abweichung von der elektronischen Vermessung.....	44
<b>Tabelle 14:</b> Statistische Maßzahlen der 33 Versuchsergebnisse bei den jeweiligen Vermessungsmethoden in Bezug auf die Volumengenauigkeit der Einzelpolter .....	47
<b>Tabelle 15:</b> Häufigkeitsverteilung der absoluten prozentuellen Abweichung (X) der untersuchten Vermessungsmethoden.....	47
<b>Tabelle 16:</b> Statistische Maßzahlen von Mittendurchmesser, Stammparameter und Faktor .....	50

<b>Tabelle 17:</b> Korrelation der einzelnen Parameter Mittendurchmesser, Abholzigkeit, Ovalität und Krümmung mit dem Faktor.....	51
<b>Tabelle 18:</b> Regressionsanalyse mit dem Umrechnungsfaktor als abhängige Variable.....	52
<b>Tabelle 19:</b> VIF – Werte des Regressionsmodells zur Untersuchung der Multikollinearität.....	53
<b>Tabelle 20:</b> Statistische Maßzahlen der Stückzahl pro Quadratmeter Polterfläche zur Beurteilung der Polterqualität von Versuchsreihe 2 .....	54
<b>Tabelle 21:</b> Umrechnungsfaktor vom Raummaß o.R. auf das Festmaß o.R. bei Versuchsreihe 2.....	56
<b>Tabelle 22:</b> Abholzigkeit, Ovalität und Krümmung der Stämme von Versuchsreihe 2.....	58
<b>Tabelle 23:</b> Darstellung des resultierenden Umrechnungsfaktors auf Basis der im Werk von der elektronischen Anlage ermittelten Festvolumen.....	61
<b>Tabelle 24:</b> Darstellung des resultierenden Festgehaltsprozente auf Basis des im Wald ermittelten Raumvolumens .....	62
<b>Tabelle 25:</b> Vergleich maschinelle Polterung im Wald und Beladung LKW .....	64
<b>Tabelle 26:</b> Abweichung bei den verschiedenen Varianten des Stichprobenverfahrens....	65
<b>Tabelle 27:</b> Verbesserung des Vermessungsgenauigkeit mittels Zu- und Abschlagswerten bei N Ausreißern des Sektions-Raummaßverfahrens nach unten (Faktor < 0,570) und nach oben (Faktor > 0,630).....	67

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

<b>Abbildung 1:</b> Industrieholz der Güteklasse IN in Holzart Fichte .....	5
<b>Abbildung 2:</b> Kamerasystem der Fa. Dralle (MÜLLER, 2008).....	12
<b>Abbildung 3:</b> Vorsortierung der Versuchsstämme am Rundholzplatz.....	21
<b>Abbildung 4:</b> Maßermittlung beim Sektions-Raummaßverfahren (FVA, 1997).....	25
<b>Abbildung 5:</b> Polterrückseite von drei Versuchspoltern: Bäume (Abb. links), Schlagabraum (Abb. Mitte) und Sträucher (Abb. rechts) verhindern eine fotooptische Aufnahme .....	26
<b>Abbildung 6:</b> Darstellung der fotooptischen Aufnahme eines Polters am Beispiel von Versuch 7 .....	26
<b>Abbildung 7:</b> Markierungslinien und Stammauswahl bei der Anwendung des Stirnflächenverfahrens (FVA, 1997).....	28
<b>Abbildung 8:</b> Vermessungsstation mit Laser-Kameraeinheiten des Typs JORO-3D .....	30
<b>Abbildung 9:</b> Messwertermittlung bei der Kreuzmessung.....	31
<b>Abbildung 10:</b> Einteilung der Sektionen bei Versuchsreihe 2 mittels senkrechter Markierungslinien .....	33
<b>Abbildung 11:</b> Markierungslinie für die Zuteilung der Versuchsstämme in die jeweilige Sektion.....	33
<b>Abbildung 12:</b> Gesamtmenge des Vermessungsvolumens von A= Sektions- Raummaßverfahren (1203,4 Fm), B= Fotooptische Vermessung (1174,4 Fm), C= Stichprobenverfahren (1244,8 Fm), D= Schwedisches Indexverfahren (1256,9 Fm), E= LKW-Vermessung (1282,2 Fm), F= Gewichtsübernahme (1223,9 Fm).....	44
<b>Abbildung 13:</b> Prozentuelle Abweichung der 33 Versuchsergebnisse bei Sektions- Raummaßverfahren (schwarz), LKW-Vermessung (rot) und fotooptischer Vermessung (grün).....	45

<b>Abbildung 14:</b> Prozentuelle Abweichung der 33 Versuchsergebnisse bei Stichprobenverfahren (schwarz), Gewichtsübernahme (rot) und schwedischem Indexverfahren (grün) .....	46
<b>Abbildung 15:</b> Streuung der Messwerte in Abhängigkeit von der Poltergröße bei Sektions-Raummaßverfahren (oben links), fotooptischer Vermessung (oben rechts), LKW-Vermessung (Mitte links), schwedischem Indexverfahren (Mitte rechts), Stichprobenverfahren (unten links) und Gewichtsübernahme (unten rechts).....	49
<b>Abbildung 16:</b> Korrelation des Faktors mit Mittendurchmesser, Abholzigkeit, Ovalität und Krümmung .....	51
<b>Abbildung 17:</b> Streuung der Sektionshöhen bei den jeweiligen Einzelversuchen von Versuchsreihe 2.....	55
<b>Abbildung 18:</b> Umrechnung auf das Festgehaltsvolumen in Abhängigkeit vom Mittendurchmesser.....	57
<b>Abbildung 19:</b> Abweichungen bei der Maßehebung an der Poltervorderseite im Vergleich zur Einbeziehung von Vorder- und Rückseite .....	63
<b>Abbildung 20:</b> Einfluss der durchschnittlichen relativen Differenz der Trockengehaltswerte auf den Umrechnungsfaktor bei 22 Versuchspoltern .....	66
<b>Abbildung 21:</b> Darstellung der Schichtung links im Quadrat- und rechts im Dreiecksverband (PRODAN, 1965) .....	68
<b>Abbildung 22:</b> Boxenauswertung der Fa. Heinzmann GmbH in Bezug auf den prozentuellen Anteil der jeweiligen Zopfintervalle bei Industrieschichtholz (Holzart Fichte; Holzlänge 3 m; Güte N).....	69

## ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

<b>atro</b>	absolut trocken
<b>cm</b>	Zentimeter
<b>F</b>	F-Wert
<b>Fm</b>	Festmeter
<b>HKS</b>	Handelsklassensortierung für Rohholz
<b>m</b>	Meter
<b>m.R.</b>	mit Rinde
<b>Max</b>	Maximalwert
<b>Min</b>	Minimalwert
<b>mm</b>	Millimeter
<b>o.R.</b>	ohne Rinde
<b>p</b>	p-Wert
<b>R</b>	Spannweite
<b>r</b>	Korrelationskoeffizient
<b>R<sup>2</sup></b>	Bestimmtheitsmaß
<b>Rm</b>	Raummeter
<b>RVR</b>	Rahmenvereinbarung für den Rohholzhandel
<b>SD</b>	Standardabweichung
<b>t atro</b>	Atrotonne
<b>VarK</b>	Variationskoeffizient
<b>X</b>	absolute prozentuelle Abweichung
$\bar{x}$	arithmetischer Mittelwert
$\bar{x}_G$	arithmetischer Mittelwert gewichtet
$\tilde{x}$	Median
<b>%</b>	Prozent
<b>°C</b>	Grad Celsius

## Anhang

---

Anlage I (Waldaufnahmebeleg Versuchsreihe 1, Seite 1)

Versuch-Nr: \_\_\_\_\_ Seite 1

Lieferant:		Aufnahmedatum:	
Revier:		Hiebsbeginn:	
HL-Nr:		Fertig gerückt:	
Polter-Nr:		Holzart:	
HEK-Nr:		Bestelllänge:	

<b>Sektions-Raummaßverfahren:</b>					
<b>Poltermaße</b>			<b>Sektionshöhen</b>		
Polterseite	vorne	hinten	Sektion	vorne	hinten
Poltergesamtlänge (L <sub>AB</sub> )			1		
Sektionslänge (L <sub>S</sub> )			2		
Länge Polterteil A (L <sub>A</sub> )			3		
Ø Länge Polterteil A			4		
Länge Polterteil B (L <sub>B</sub> )			5		
Ø Länge Polterteil B			6		
			7		
Summe Sektionshöhen			8		
Ø Höhe Polterteil A			9		
Höhe Polterteil B (H <sub>B</sub> )			10		
Ø Höhe Polterteil B			11		
			12		
Bemerkungen:			13		
			14		
			15		
			16		
			17		
			18		
			19		
			20		

## Anhang

---

Anlage II (Waldaufnahmebeleg Versuchsreihe 1, Seite 2)

Versuch-Nr: \_\_\_\_\_ Seite 2

<b>Stichprobenverfahren:</b>		
<b>Gesamtstückzahl Polter</b>		
<b>cm o.R.</b>	<b>Strichliste</b>	<b>Summe</b>
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		
21		
22		
23		
24		
25		
26		
27		
28		
29		
30		
31		
32		
33		
34		
35		

## Anhang

Anlage III (Waldaufnahmebeleg Versuchsreihe 1, Seite 3)

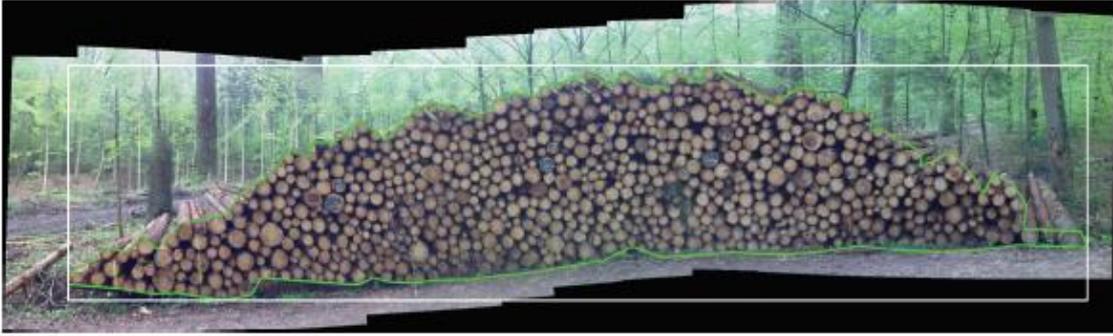
Versuch-Nr: \_\_\_\_\_ Seite 3

<b>Schwedisches Indexverfahren:</b>			
Parameter	Indexwert	Beschreibung	
1. Durchmesser		- 6	sehr schwach (7-8 cm)
		- 5	sehr schwach (9 cm)
		- 4	sehr schwach (10 cm)
		- 3	schwach (11-12 cm)
		- 2	schwach (13 cm)
		- 1	schwach (14 cm)
		0	normal (15 cm)
		+ 1	normal (16 cm)
		+ 2	normal (17 cm)
		+ 3	stark (18-19 cm)
		+ 4	stark (20-22 cm)
		+ 5	stark (23 cm)
2. Polterung		- 1	sehr gut
		- 2	gut
		- 3 bis -	schlecht
		- 5 bis -	sehr schlecht
3. Krümmung		0	gerade
		- 1	etwas krumm
		- 2	krumm
		- 3 bis -	sehr krumm
		- 5 bis -	sehr stark krumm
		- 7	extrem krumm
4. Entastung		0	stammglatt
		- 1	wenige kurze Aststumme
		- 2	bedeutende Anzahl von Aststum-
		- 3 bis -	große Anzahl von Aststummeln
		- 5 bis -	grobastig
5. Hiebsreste		0	ohne
		- 1	in geringem Umfang
		- 2	in größerem Umfang
		- 3	reichlich
		- 4 bis -	sehr reichlich
6. Erdstammstücke		+ 1	unter 20 %
		0	21 bis 40 %
		- 1	41 % und mehr
7. Einzelstücke		+ 1	geringe Durchmesser Mischung
		0	normale Durchmesser Mischung
		- 1	erhebliche Durchmesser Mischung
8. Polterhöhe		+ 1	> 2 Meter auf 2/3 Polterlänge
		+ 2	> 3 Meter auf 2/3 Polterlänge

## Anhang

### Anlage IV (Dateneingabe bei fotooptischer Vermessung)

		<b>Polter-Nr.: Versuch_1007</b> v1.14.2		2
Messdatum	23.04.2016	Koordinaten	0° 0' 0.000" N, 0° 0' 0.000" E	
Vermesser	bernd.heinzmann bernd.heinzmann@web.de	Abt. Uabt. Ufl	-	
Baumart	FITa	Messverfahren	FOVEA Fotooptisch	
Güte	NF	Notiz	-	
Rm brutto	70,96 m³	Ø Höhe vorne	-	
Rm netto	65,99 m³ (Fak. 0,930)	Frontfläche	-	
Stammlänge	3,00 m	Ø Höhe hinten	-	
Polterbreite	13,90 m	Rückfläche	-	
Schlag-Nummer	1007	Beginn	23.04.2016	
Forstamt/Revier	LRA Rems-Murr-Kreis/ Schomdorf	Ende	-	
Baumfäller	- Kein Unternehmer -	Notiz	AF 2016-164 (P13)	
Holzrucker	- Kein Unternehmer -			
Losnummer	3m-IS	Güte	NF	
Datum	16.04.2016	Sorte	IS	
Notiz	-	Entrindet	Nein	
		Farbplättchen	-	
Holzeinkäufer	- Kein Holzeinkäufer -	Straße	-	
		Ort	-	

## Anhang

---

### Anlage V (Werksdaten Versuchsreihe 1)

Versuch-Nr: \_\_\_\_\_

Lieferant:		Abfuhrdatum:	
Revier:		Fahrer:	
HL-Nr:		Teilladung – Nr:	
Polter-Nr:			
HEK-Nr:			

<b>LKW-Vermessung:</b>			<b>Gewichtsübernahme:</b>	
Rungenbreite:			2,30 m	
Holzlänge:			3,00 m	
Stoßhöhe:			rechts	links
Höhe Stoß LKW:				
Höhe Stoß 1 Anhänger:				
Höhe Stoß 2 Anhänger:				
<b>Bemerkungen:</b>			<b>Bemerkungen:</b>	

Bruttogewicht (kg):		
Taragewicht (kg):		
Start Darrprobe Datum:		
Start Darrprobe Uhrzeit:		
Ende Darrprobe Datum:		
Ende Darrprobe Uhrzeit:		
Einwaage frisch (g):		
Einwaage trocken (g):		
<b>Bemerkungen:</b>		

## Anhang

---

### Anlage VI (Datenerhebung Versuchsreihe 2)

Versuch-Nr: \_\_\_\_\_

Zopfbereich: \_\_\_\_\_

Datum: \_\_\_\_\_

<b>Polterhöhe und Stückzahl:</b>			
<b>Sektion:</b>	<b>vorne</b>	<b>hinten</b>	<b>Stück</b>
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			