

SCHRIFTENREIHE
FREIBURGER FORSTLICHE FORSCHUNG

BAND 54

Jörg Staudenmaier

**Verfahren zur einzelstammweisen Volumen- und
Konturermittlung von Rundholz am Beispiel von
Nadel-Stammholzabschnitten**

FORSTLICHE VERSUCHS- UND FORSCHUNGSANSTALT
BADEN-WÜRTTEMBERG

ABTEILUNG WALDNUTZUNG

2012

Bibliographische Information der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.dbb.de> abrufbar.

ISSN 1436-0586

ISBN 978-3-933548-55-9

Die Herausgeber

Fakultät für Forst- und Umweltwissenschaften der Universität Freiburg und
Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg

Redaktionskomitee

Prof. Dr. J. Huss

PD Dr. K. v. Wilpert

Prof. Dr. W. Konold

Dr. Gerald Kändler

Umschlaggestaltung

Bernhard Kunkler Design, Freiburg

Druck

Eigenverlag der FVA, Freiburg

Bestellung an

Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg

Wonnhaldestraße 4

79100 Freiburg

Telefon: 0761/4018-0, Fax: 0761/4018-333

E-Mail: fva-bw@forst.bwl.de

www.fva-bw.de

Alle Rechte, insbesondere das Recht zur Vervielfältigung und Verbreitung sowie der Übersetzung vorbehalten.

Gedruckt auf 100% chlorfrei gebleichtem Papier.

VORWORT

Die vorliegende Arbeit entstand in den Jahren 2008 bis 2011 in der Abteilung Waldnutzung der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg unter der Leitung von Herrn Dr. Udo Hans Sauter.

Für die großzügige Übernahme der Betreuung der Arbeit möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. Dr. h.c. Dieter R. Pelz ganz herzlich bedanken. Ebenso gilt mein Dank Frau Prof. Dr. Barbara Koch für die Bereitschaft, die weitere Betreuung dieser Arbeit zu übernehmen. Herrn Prof. Dr. Dr. h.c. Gero Becker danke ich für die Übernahme des Korreferates.

Für die jederzeit hilfreiche Unterstützung, die vielen Anregungen sowie das bis zuletzt anhaltende Vertrauen bedanke ich mich ganz besonders bei Herrn Dr. Udo Hans Sauter und Herrn Dr. Stephan Verhoff. Über den gesamten Bearbeitungszeitraum hinweg, insbesondere aber in der Endphase dieser Arbeit habe ich durch diese beiden Kollegen eine weit über das rein Fachliche hinaus gehende, konstruktive und immer geduldige Begleitung erfahren. Danke!

Allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Abteilung Waldnutzung danke ich für zahlreiche Denkanstöße und Diskussionen sowie für die ablenkenden Gespräche in den Arbeitspausen.

Zuletzt gilt mein besonderer Dank meiner Familie und meinen Freunden, die mich stets aufbauten und für die erforderliche Abwechslung sorgten.

Freiburg i. Brsg., Juli 2011
Jörg Staudenmaier

INHALT

1	EINLEITUNG	1
1.1	EINFÜHRUNG	1
1.2	PROBLEMSTELLUNG	3
1.3	ZIELSETZUNG	4
2	STAND DES WISSENS	5
2.1	PRAXISRELEVANTE RUNDHOLZVERMESSUNGSVERFAHREN	5
2.1.1	Manuelle Waldvermessung	5
2.1.2	Vollerntervermessung	7
2.1.3	Foto-optische Verfahren	8
2.1.4	Atro-Gewichtsvermessung von Industrieholz	9
2.1.5	Elektronische Werksvermessung von Stammholz	9
2.2	RÖNTGENTECHNOLOGIE UND COMPUTERTOMOGRAFIE	11
2.3	WISSENSCHAFTLICHE VERFAHREN ZUR VOLUMENERMITTLUNG	11
2.4	HINTERGRÜNDE UND ENTWICKLUNG DER RUNDHOLZVERMESSUNG	12
2.5	RECHTLICHE VORGABEN IN DEUTSCHLAND	12
2.5.1	Zusätzliche nationale Vorgaben	13
3	VERSUCHSMATERIAL UND METHODEN	15
3.1	HERKUNFT DER ROHDATEN DES UNTERSUCHTEN RUNDHOLZES	15
3.2	EINGESETZTE MESSTECHNOLOGIE	16
3.2.1	Dreidimensionale Vermessung des Rundholzes	16
3.3	VERARBEITUNG, VISUALISIERUNG UND AUSWERTUNG DER MESSDATEN	21
3.3.1	Vorverarbeitung der Daten im Sägewerk	21
3.3.2	Software zur Verarbeitung und Visualisierung der Messdaten	21
3.4	ERMITTLUNG DER STAMMLÄNGE	26
3.5	GLÄTTUNG DER SCHEIBENDATEN	26
3.6	DURCHMESSERERMITTLUNG	28
3.6.1	Kluppdurchmesserverfahren	29
3.6.2	Konturdurchmesserverfahren	29
3.7	VOLUMENERMITTLUNG	30
3.7.1	Definition des Referenzvolumens	30
3.7.2	Ermittlung des Realvolumens	30

3.7.3	Ermittlung praxisrelevanter Zylindervolumina _____	31
3.7.4	DFWR/VDS-Rahmenvereinbarung für die Werksvermessung von Stammholz _____	31
3.7.5	ÖNORM L1021: Vermessung von Rundholz _____	34
3.8	ERMITTLUNG ZUSÄTZLICHER MITTENDURCHMESSER _____	35
3.8.1	Minimaldurchmesser _____	35
3.8.2	Kleinstdurchmesserpaar _____	35
3.8.3	Mittlerer Sektionsdurchmesser _____	35
3.8.4	Lokalisierung des Messbereiches zur Ermittlung der zusätzlichen Mittendurchmesser _____	36
3.8.5	Volumenermittlung durch Sektionierung _____	37
3.9	MÖGLICHKEITEN ZUR ERMITTLUNG QUALITÄTSBEEINFLUSSENDER PARAMETER _____	37
3.9.1	Ermittlung der Ovalität _____	37
3.9.2	Ermittlung der Abholzigkeit _____	38
4	ERGEBNISSE UND DISKUSSION _____	41
4.1	VORUNTERSUCHUNGEN ZUR BEURTEILUNG DER DATENQUALITÄT DER ROHDATEN _____	41
4.2	VORUNTERSUCHUNGEN ZUR GLÄTTUNG DER ROHDATEN _____	42
4.3	LÄNGENERMITTLUNG UND ÜBERMAßE _____	44
4.4	EINFLUSS DER FORSTLICHEN RUNDUNG AUF DIE DURCHMESSERERMITTLUNG _____	47
4.5	SIMULATION BESTEHENDER MESSVERFAHREN _____	50
4.5.1	Gegenüberstellung der Ergebnisse einer simulierten manuellen Vermessung und der Ermittlung des Realvolumens _____	50
4.5.2	Gegenüberstellung der Ergebnisse der Vermessung nach Rahmenvereinbarung Werksvermessung und der Ermittlung des Realvolumens _____	52
4.5.3	Gegenüberstellung der Ergebnisse der Vermessung nach ÖNORM L1021 und der Ermittlung des Realvolumens _____	54
4.5.4	Gegenüberstellung der Ergebnisse einer simulierten manuellen Vermessung und der Vermessung nach Rahmenvereinbarung Werksvermessung _____	56
4.5.5	Gegenüberstellung der Ergebnisse der Vermessung nach Rahmenvereinbarung Werksvermessung und der Vermessung nach ÖNORM L1021 _____	57
4.6	ERMITTLUNG ZUSÄTZLICHER ZYLINDERVOLUMINA AUF GRUNDLAGE UNTERSCHIEDLICH ERMITTELTEN MITTENDURCHMESSER _____	61
4.6.1	Ermittlung des Mittendurchmessers auf Grundlage von 180 Kluppdurchmessern _____	61

4.6.2	Ermittlung des Mittendurchmessers auf Grundlage von 180 Konturdurchmessern	63
4.6.3	Ermittlung des Kleinstdurchmesservolumens mittels Konturdurchmesserverfahren	65
4.7	VOLUMENERMITTLUNG DURCH ABSOLUTE SEKTIONIERUNG	67
4.7.1	Sektionierung des Stammes und Messung der Kluppdurchmesser der Einzelsektionen	67
4.7.2	Sektionierung des Stammes und Messung der Konturdurchmesser der Einzelsektionen	69
4.8	ZUSAMMENSCHAU BESTEHENDER UND POTENZIELL MÖGLICHER VOLUMENERMITTLUNGSVERFAHREN IM RAHMEN DER WERKSVERMESSUNG	72
4.9	LAGE DES STAMMES WÄHREND DER MESSUNG	77
4.10	OVALITÄT	78
4.10.1	Messung der Durchmesser in festen Messebenen	78
4.11	ABHOLZIGKEIT	81
4.11.1	Abholzigkeit auf Grundlage von Mittendurchmesser und Zopfdurchmesser	82
4.11.2	Abholzigkeit auf Grundlage einer Ausgleichsgeraden	83
5	SCHLUSSFOLGERUNGEN FÜR DIE PRAXIS	85
6	ZUSAMMENFASSUNG	89
7	SUMMARY	93
8	TABELLENVERZEICHNIS	97
9	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	97
10	ABKÜRZUNGEN	105
11	LITERATUR	107

6 ZUSAMMENFASSUNG

Die Vermessung von Rundholz nimmt seit jeher in der Forst- und Holzwirtschaft eine bedeutende Rolle ein. Sowohl für forstliche als auch holzverarbeitende Betriebe dienen die Ergebnisse der Vermessung als wesentliche Grundlage für Planung und Steuerung betriebsinterner Abläufe. Darüber hinaus ist die Rundholzvermessung im Handel zwischen den beiden Branchen von größter Wichtigkeit. Für nahezu alle gehandelten Rundholzsortimente wird die Verkaufsmenge durch Vermessung ermittelt (Ausnahme: Verkauf nach Stückzahl). Die ermittelte Verkaufsmenge nimmt daher unmittelbar Einfluss auf Erlöse und Gewinne der am Holzgeschäft beteiligten Marktpartner.

Aufgrund der langen Tradition und der wirtschaftlichen Bedeutung der Rundholzvermessung ist diese sowohl durch regionale als auch durch technische Entwicklungen geprägt, die auch heute die praktische Umsetzung der Rundholzvermessung beeinflussen. Wo bis vor einigen Jahrzehnten nur einfache Messgeräte zur Ermittlung der Dimensionsparameter Stammdurchmesser und Stammlänge bereit standen, können heute moderne elektronische Messsysteme eingesetzt werden, die eine effiziente und präzise Vermessung des Rundholzes ermöglichen. Waldseitig ist dies einerseits die automatisierte Vermessung im Zuge der Aufarbeitung mit Vollerntern, andererseits die foto-optische Vermessung an der Waldstraße. Beide Verfahren können derzeit in Deutschland allerdings aufgrund geltender eichrechtlicher Vorgaben nicht im geschäftlichen Verkehr zu Abrechnungszwecken eingesetzt werden.

Für den forstwirtschaftlich bedeutsamen Bereich des Nadel-Stammholzes stehen seit Anfang der 1990er Jahre an den Werkseingängen vieler holzverarbeitender Betriebe elektronische Rundholzvermessungsanlagen zur Verfügung, die eine eichrechtlich konforme Ermittlung der Verkaufsmaße ermöglichen.

Aufgrund der hohen Bedeutung der Vermessung in Bezug auf die Ermittlung der Verkaufsmaße einerseits, aber auch hinsichtlich der Verwendung der Messergebnisse zur Optimierung der Weiterverarbeitungsprozesse in den holzverarbeitenden Betrieben andererseits, unterliegen die eingesetzten Messtechnologien einer raschen Weiterentwicklung. Moderne Rundholzvermessungsanlagen sind heute in der Lage, nahezu die gesamte Oberfläche der zu vermessenden Stämme berührungslos zu erfassen. Basierend auf den gewonnenen Messdaten können nicht nur Messgrößen zur traditionellen Ermittlung der Stammvolumina hergeleitet werden, sondern auch weitergehende, qualitätsbestimmende Rundholzmerkmale, z. B. Abholzigkeit, Ovalität oder Krümmung.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde anhand hochauflösender Messdaten, die im Echtbetrieb auf modernen Rundholzvermessungsanlagen in unterschiedlichen Sägewerken aufgezeichnet wurden, zunächst untersucht, inwieweit die gewonnenen Rohdaten geeignet sind, verschiedene Ansätze zur Volumen- und Konturbestimmung von Stammholz abzubilden.

Anhand des vorliegenden Datensatzes konnte festgestellt werden, dass die eingesetzte Messtechnologie sowie die Anwendung geeigneter Routinen zur Vorverarbeitung (Glättung) der Messdaten als Grundlage für eine rechnerische Simulation unterschiedlichster Messverfahren herangezogen werden kann.

Der verwendete Datensatz kann aufgrund seines großen Umfanges (insgesamt 139.655 Stammholzabschnitte) und aufgrund seiner Herkunft (mehrere unterschiedliche Nadelholz verarbeitende Sägewerke) als charakteristisch für die im Mitteleuropa gehandelten und zur Verarbeitung kommenden Stammholz-Massensortimente gesehen werden.

Zur Visualisierung der Rohdaten sowie zur Berechnung der im Rahmen dieser Arbeit relevanten Messgrößen wurde eine spezielle Software durch die Gesellschaft zur Förderung angewandter Informatik e.V. (GFaI, Berlin) erstellt.

Es wurden prinzipiell unterschiedliche Ansätze zur Ermittlung der Stammdurchmesser und darauf aufbauend der Stammvolumina gewählt.

Die Ermittlung der Stammdurchmesser erfolgt demnach einerseits nach dem Prinzip der Durchmessermessung mittels Simulation einer mechanischen Kluppe (Kluppdurchmesser). Andererseits erfolgt die Messung der Durchmesser anhand der realen Stammkontur (Konturdurchmesser). Die Ergebnisse zeigen erwartungsgemäß, dass die Messwerte der Konturdurchmesser im direkten Vergleich immer wenigstens so groß sind, wie die in identischer Messebene ermittelten Kluppdurchmesser. Im Mittel führt die Simulation der mechanischen Kluppe somit zu einer Durchmesserüberschätzung von 1,6 mm.

In Bezug auf die Ermittlung der Durchmesser spielt die in der Praxis etablierte forstliche Abrundung der gemessenen Durchmesser nach den Vorgaben der Forst-HKS eine erhebliche Rolle. Diese, ursprünglich vor dem Hintergrund einer manuellen Vermessung entstandene Vorgabe der einseitigen Durchmesserabrundung, kommt auch bei der praxisüblichen elektronischen Werksvermessung zur Anwendung und führt zu einer Unterschätzung des Volumens von knapp 3 % im Vergleich zum Volumen ohne Berücksichtigung der forstüblichen Abrundung bei der Durchmesserermittlung.

Die Ermittlung der Stammlänge nimmt in der Untersuchung eine untergeordnete Rolle ein, da anhand der verfügbaren Rohdaten eine eindeutige Bestimmung der gemessenen Stammlänge, und damit einhergehend eine Berechnung der abrechnungsrelevanten Sortenlänge, sichergestellt ist. Aufgezeigte Volumenunterschiede zwischen verschiedenen Verfahren ergeben sich daher nicht aufgrund möglicherweise unterschiedlich ermittelter Stammlängen. Allen Volumenberechnungen wurden einheitliche Stammlängen zugrunde gelegt.

Zur Berechnung der Stammvolumina wurden folgende, prinzipiell unterschiedliche Ansätze verfolgt:

1. Bestimmung des Stammvolumens auf Grundlage der Berechnung eines Zylindervolumens unter Verwendung eines Stammmittendurchmessers als Durchmesser des Zylinders;
2. Bestimmung des Stammvolumens durch Sektionierung des Stammes in Abschnitte gleicher Länge, wobei sich das Stammvolumen als Summe der einzelnen Sektionsvolumina (Zylinder) berechnet;
3. Bestimmung eines Referenzvolumens, welches unter Verwendung aller verfügbaren Messpunkte berechnet wird und somit näherungsweise dem realen Tauchvolumen des Stammes entspricht. Im Gegensatz zu den unterschiedlichen Zylinder- und Sektionsvolumina wird das Referenzvolumen nicht auf Grundlage eines oder mehrerer Durchmesser berechnet, sondern anhand der realen Stammkontur.

Auf Grundlage der durch Simulation der unterschiedlichen Messverfahren zur Volumenermittlung gewonnen Messergebnisse konnte aufgezeigt werden, inwieweit unterschiedliche Verfahren zur Durchmesser- und Volumenermittlung Einfluss auf die resultierenden Messergebnisse nehmen.

Dazu wurden aktuell in der Praxis zur Anwendung kommende Messverfahren, wie die Vermessung nach der in Deutschland etablierten Rahmenvereinbarung Werksvermessung sowie der in Österreich praktizierten ÖNORM L1021, anhand einer gemeinsamen Datenbasis rechnerisch simuliert. Darüber hinaus wurden potenziell mögliche Verfahren zur Volumenermittlung aufgezeigt und ebenfalls anhand des gemeinsamen Datensatzes simuliert.

Die Ergebnisse der Simulation zeigen, dass sich unterschiedliche Verfahren zur Volumenermittlung in einer für die Praxis relevanten Größenordnung auf die Messergebnisse auswirken. Die Berechnung des Stammvolumens auf Grundlage eines Zylinders führt demnach in allen durchgeführten Varianten zu einer Volumenunterschätzung gegenüber dem Referenzmaß in Bezug auf die mittlere relative Volumendifferenz.

Zwischen den in der Praxis angewandten Verfahren Rahmenvereinbarung Werksvermessung (Deutschland) und ÖNORM L1021 (Österreich) ergibt sich eine Differenz von etwa 3 % bezogen auf den Mittelwert, d. h. das Vorgehen nach ÖNORM führt verfahrensbedingt zu einem tendenziell geringeren Volumen gegenüber dem Volumen nach Rahmenvereinbarung Werksvermessung in Deutschland.

Neben der quantitativ vergleichenden Darstellung der unterschiedlichen Verfahren kann anhand der Ergebnisse eine qualitative Bewertung der Verfahren erfolgen. Dabei wird deutlich, dass die verfahrensspezifischen Volumendifferenzen, die sich zum Referenzmaß ergeben, insbesondere bei den berechneten Zylindervolumina stark streuen. Dies zeigt, dass die idealgeometrische Form eines Zylinders nur bedingt geeignet ist, das Volumen eines unregelmäßig geformten Stammes abzubilden. Bei Anwendung der sektionsweisen Vermessung nimmt die Schwankungsbreite der Volumendifferenzen in Bezug auf das Referenzmaß ab.

Anhand der Messdaten können zusätzlich zur Ermittlung der Volumina qualitätsbeeinflussende Holzmerkmale ermittelt werden. Im Rahmen dieser Arbeit wurden beispielhaft die durchmesserbezogenen Größen Abholzigkeit und Ovalität betrachtet.

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass mit der elektronischen Werksvermessung eine Messtechnologie zur Verfügung steht, die es aus messtechnischer Sicht ermöglicht, eine sehr genaue, d. h. eine präzise und richtige Rundholzvermessung durchzuführen. Das gewählte Referenzmaß (Tauchvolumen) lässt sich anhand der Rohdaten mit sehr großer Annäherung an das „wahre Maß“ bestimmen und stellt gleichzeitig eine reproduzierbare Messgröße dar.

Die Größe der ermittelten Durchmesser wird durch verschiedene Faktoren, wie z. B. Prinzip der Durchmessermessung (Kluppdurchmesser, Konturdurchmesser), Lokalisierung der Messposition und Anzahl der einbezogenen Messebenen, beeinflusst. In der Praxis sind daher für eine Vergleichbarkeit der Maße eindeutige Definitionen und Vorgaben

notwendig. Nur auf diese Weise kann die Grundlage für eine transparente Rundholzvermessung geschaffen werden.

7 SUMMARY

Timber measurement has always played an important role for forestry and wood industry. For both forestry and wood processing companies, the results of the measurement serve as an essential basis for planning and controlling of internal processes. In addition, roundwood measurement is of high importance to the sales and trade of timber. For almost all traded timber assortments, important sales bases are determined by measuring (except sales by piece). Thus, the determined sales volume directly affects revenues and profits of all market partners involved in timber business.

Due to historical traditions as well as economic relevance, timber measurement is influenced by both regional and technical developments that still affect the practical implementation of timber measurement, even today. Whereas until a few decades ago only simple measuring devices were available to determine dimension parameters such as log diameter and log length, today modern electronic measuring systems are used which allow an efficient and precise measurement of logs. On the forest side, there are automated measurement systems used by harvesters during the logging process in stands. For measurement at forest roads, photo-optical measurement systems are available. In Germany, these two methods can not currently be used for billing purposes due legal requirements.

Since the early 1990s, in the economically important sector of softwood processing industries, electronic measurement devices are available at the infeed of many saw mills. These systems allow the determination of log volume and log dimensions for sale purposes according to legal requirements in Germany.

Due to the importance of measurement for sales purposes, and due to its relevance for the optimization of subsequent processing within the wood chain, measurement technologies are the focus of rapid development. Today, modern log measurement systems are able to scan nearly the entire log surface in high resolution. Based on this data not only traditional parameters can be derived to determine the log volume, but also more extensive, quality-determining features of round timber, such as taper, ovality and curvature.

One aim of the present study was to examine to which extent high-resolution raw data, which is recorded in real-time in various saw mills, is appropriate to simulate different approaches for determining the volume and outer shape of roundwood.

Based on the raw data set it could be examined that the applied measurement technology and the implementation of routines for pre-processing (smoothing) the measuring data can be used as a solid basis for a mathematical simulation of different measurement methods.

Due to its large volume (139.655 logs in total) and its background (several different softwood processing sawmills), the present data set can be seen as characteristic for softwood logs which are traded and processed in Central Europe.

For the visualization of the raw data and for the calculation of the necessary parameters, a specialized piece of software was implemented by the Society for the Promotion of Applied Computer Science (Gesellschaft zur Förderung angewandter Informatik e. V., Berlin).

To determine log diameters and log volumes, two basic approaches were chosen. In one approach, log diameters were determined according to the principle of a measurement by

simulating a mechanical calliper (calliper diameter). In the other, the measurement of log diameters was based on the real contour of a cross section (contour diameter). As expected, the results show that in direct comparison, the measured values of the contour diameter are always at least as big as those produced in an identical measurement plane using the calliper diameter. On average, the simulation of a mechanical calliper leads to an overestimation of 1.6 mm in diameter.

With respect to the determination of diameters, rounding, which is established in forest practice and carried out according to forest guidelines (Forst-HKS), plays an important role. Rounding has its origin in the manual measurement. Diameters are unilaterally rounded down. This is also applied in the practice of electronic measurement and leads to an underestimation of the volume of nearly 3 % compared to the volume calculated using unrounded diameters.

In this investigation the determination of the log length is irrelevant, as the available raw data allows a clear determination of the measured stem length and consequently, a calculation of payroll-related length is guaranteed. Therefore, volume differences between different methods are not caused by different log lengths. All volumes have been calculated on the basis of uniform log lengths.

For the determination of log volume, principally different approaches were implemented:

1. Determination of the log volume on the basis of calculating a cylinder volume using an ordinary mid-diameter;
2. Determination of the log volume by dividing the log into sections of equal length, with the log volume as sum of all individual section volumes (cylinders);
3. Determination of a reference volume, which is calculated using all available data points and thus approximates the real physical volume of the log.

In contrast to the different cylinder and section volumes, the reference volume is not calculated on the basis of one or few diameters, but on the basis of the real contour of a cross section.

Based on the results obtained by the simulation of different measurement methods, it can be shown how various approaches of determining diameter and volume influence the measurements results.

Consequently, currently applied methods such as the measurement according to the regulations established in Germany (Rahmenvereinbarung Werksvermessung) as well as in Austria (ÖNORM L1021), are simulated on the basis of a common data base. In addition, alternative potential methods for volume determination were demonstrated and also simulated based on the available data set. The results of the simulation show that different methods for determining the volume do indeed have a relevant impact on the measurement results. The calculation of the log volume on the basis of a cylinder leads to an underestimation of the volume when compared to the reference volume (mean relative difference). There is a difference of about 3 % between the methods applied in Germany (Rahmenvereinbarung Werksvermessung) and Austria (ÖNORM L1021) referring the volume. The determination of the volume according to the ÖNORM tends to result in an underestimation of the volume compared to the volume determined according to the German guidelines. In addition to the quantitative comparison of the different methods

based on the results obtained by the simulation, a qualitative assessment of the procedures can be made. It is clear that the specific volume differences that arise from comparison to the reference volume show a wide variance, especially when the volume is calculated on the basis of a cylinder. Determining the volume by dividing the whole log into sections of equal length leads to a lower variance of the volume differences as compared to the reference volume. In addition to the volume, different influential wood quality parameters can be determined based on the available measurement data. In this work, diameter based parameters such as taper and ovality were considered. The investigations have shown that modern electronic roundwood scanning technologies allow a very accurate, correct and precise measuring of roundwood. The chosen reference volume (dip volume) can be determined on the basis of the raw data with a very close approximation to the "real volume" and simultaneously represents a reproducible value. The size of the diameter is influenced by various factors, such as the principle of diameter measurement (diameter by calliper, contour diameter), location of the measuring position along the log, and the number of included measuring planes. Therefore, clear definitions and guidelines are necessary for establishing comparable measurement results in practice. Only in this way, the basis for transparent timber measurement proceedings can be developed.

8 TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 3-1: Ausgabeparameter des Konsolenprogrammes TreeCalc _____	23
Tabelle 4-1: Gegenüberstellung der nach Glättung berechneter Realvolumina bei Anwendung der Schwellenwerten 5 % und 10 % für die Glättung der Messpunkte eines Stammquerschnittes (Ergebnisse der Voruntersuchung) _____	43
Tabelle 4-2: Statistische Kennwerte der ermittelten Stammlängen _____	45
Tabelle 4-3: Deskriptive Statistik für die nach Forst-HKS gerundeten und ungerundeten Mittendurchmesser gemessen mittels simulierter Kluppe in zwei fest definierten, senkrecht zueinander stehenden Messebenen _____	48
Tabelle 4-4: Deskriptive Statistik für die Differenzen der nach Forst-HKS gerundeten und ungerundeten Mittendurchmesser gemessen mittels simulierter Kluppe in zwei fest definierten, senkrecht zueinander stehenden Messebenen _____	48
Tabelle 4-5: Deskriptive Statistik für die Differenzen der forstlich gerundeten und ungerundeten Mittendurchmesser gemessen mittels simulierter Kluppe in zwei fest definierten, senkrecht zueinander stehenden Messebenen _____	49
Tabelle 4-6: Deskriptive Statistik für das Realvolumen (Referenzmaß) und das Volumen auf Grundlage einer simulierten manuellen Vermessung nach den Vorgaben der Forst-HKS _____	50
Tabelle 4-7: Deskriptive Statistik für die absolute Volumendifferenz zwischen Realvolumen (Referenzmaß) und dem Volumen auf Grundlage einer simulierten manuellen Vermessung nach den Vorgaben der Forst-HKS _____	51
Tabelle 4-8: Deskriptive Statistik für die relative Volumendifferenz zwischen Realvolumen (Referenzmaß) und dem Volumen auf Grundlage einer simulierten manuellen Vermessung nach den Vorgaben der Forst-HKS _____	51
Tabelle 4-9: Deskriptive Statistik für das Realvolumen (Referenzmaß) und das nach den Vorgaben der Rahmenvereinbarung Werksvermessung ermittelte Volumen _____	53
Tabelle 4-10: Deskriptive Statistik für die absolute Volumendifferenz zwischen Realvolumen (Referenzmaß) und Volumen nach Rahmenvereinbarung Werksvermessung _____	53
Tabelle 4-11: Deskriptive Statistik für die relative Volumendifferenz zwischen Realvolumen (Referenzmaß) und dem Volumen nach Rahmenvereinbarung Werksvermessung _____	53
Tabelle 4-12: Deskriptive Statistik für das Realvolumen (Referenzmaß) und das Volumen nach ÖNORM L 1021 _____	55
Tabelle 4-13: Deskriptive Statistik für die absolute Volumendifferenz zwischen Realvolumen (Referenzmaß) und dem Volumen nach ÖNORM L1021 _____	55
Tabelle 4-14: Deskriptive Statistik für die relative Volumendifferenz zwischen Realvolumen (Referenzmaß) und dem Volumen nach ÖNORM L1021 _____	55

Tabelle 4-15: Deskriptive Statistik für das Volumen auf Grundlage einer simulierte manuellen Vermessung und das Volumen nach Rahmenvereinbarung Werksvermessung (Vol. RVWV)	56
Tabelle 4-16: Deskriptive Statistik für die absolute Volumendifferenz zwischen dem Volumen auf Grundlage einer simulierten manuellen Vermessung und dem Volumen nach Rahmenvereinbarung Werksvermessung (Vol. RVWV)	57
Tabelle 4-17: Deskriptive Statistik für die relative Volumendifferenz zwischen dem Volumen auf Grundlage einer simulierten manuellen Vermessung und dem Volumen nach Rahmenvereinbarung Werksvermessung (Vol. RVWV)	57
Tabelle 4-18: Deskriptive Statistik für das Volumen nach Rahmenvereinbarung Werksvermessung (Vol. RVWV) und das Volumen nach ÖNORM L1021 (Vol. ÖNORM)	59
Tabelle 4-19: Deskriptive Statistik für die absolute Volumendifferenz zwischen dem Volumen nach ÖNORM L1021 (Vol. ÖNORM) und dem Volumen nach Rahmenvereinbarung Werksvermessung (Vol. RVWV)	59
Tabelle 4-20: Deskriptive Statistik für die relative Volumendifferenz zwischen dem Volumen nach ÖNORM L 10221 (Vol. ÖNORM) und dem Volumen nach Rahmenvereinbarung Werksvermessung (Vol. RVWV)	60
Tabelle 4-21: Deskriptive Statistik für das Realvolumen (Referenzmaß) und das Volumen auf Grundlage von 180 Kluppdurchmessern (Vol. 180 Kluppdurchmesser)	61
Tabelle 4-22: Deskriptive Statistik für die absolute Volumendifferenz zwischen Realvolumen (Referenzmaß) und dem Volumen auf Grundlage von 180 Kluppdurchmessern (Vol. 180 Kluppdurchmesser)	62
Tabelle 4-23: Deskriptive Statistik für die relative Volumendifferenz zwischen Realvolumen (Realvol.) und dem Volumen auf Grundlage von 180 Kluppdurchmessern (Vol. 180 Kluppdurchm.)	62
Tabelle 4-24: Deskriptive Statistik für das Realvolumen (Referenzmaß) und die Ermittlung des Volumens auf Grundlage von 180 gemessenen Konturdurchmessern (Vol. 180 Konturdurchmesser)	64
Tabelle 4-25: Deskriptive Statistik für die absolute Volumendifferenz zwischen Realvolumen (Referenzmaß) und dem Volumen auf Grundlage von 180 gemessenen Konturdurchmessern (Vol. 180 Konturdurchm.)	64
Tabelle 4-26: Deskriptive Statistik für die relative Volumendifferenz zwischen Realvolumen und dem Volumen auf Grundlage von 180 Konturdurchmessern	64
Tabelle 4-27: Deskriptive Statistik für das Realvolumen (Referenzmaß) und die Ermittlung des Volumens auf Grundlage des Kleinstdurchmesservolumens mittels Konturdurchmesserverfahren (Kleinstdurchm.Vol.)	66
Tabelle 4-28: Deskriptive Statistik für die absolute Volumendifferenz zwischen Realvolumen (Referenzmaß) und dem Kleinstdurchmesservolumen (Kleinstdurchm.Vol.)	66
Tabelle 4-29: Deskriptive Statistik für die relative Volumendifferenz zwischen Realvolumen und dem Kleinstdurchmesservolumen (Kleinstdurchm.Vol.)	66

Tabelle 4-30: Deskriptive Statistik für das Realvolumen (Referenzmaß) und das Volumen auf Grundlage einer absoluten Sektionierung des Stammes unter Verwendung von Kluppdurchmessern _____	68
Tabelle 4-31: Deskriptive Statistik für die absolute Volumendifferenz zwischen Realvolumen (Referenzmaß) und dem Volumen auf Grundlage einer absoluten Sektionierung unter Verwendung von Kluppdurchmessern _____	68
Tabelle 4-32: Deskriptive Statistik für die relative Volumendifferenz zwischen Realvolumen und dem Volumen auf Grundlage einer absoluten Sektionierung unter Verwendung von Kluppdurchmessern _____	68
Tabelle 4-33: Deskriptive Statistik für das Realvolumen (Referenzmaß) und das Volumen auf Grundlage einer absoluten Sektionierung des Stammes unter Verwendung von Konturdurchmessern _____	69
Tabelle 4-34: Deskriptive Statistik für die absolute Volumendifferenz zwischen Realvolumen (Referenzmaß) und dem Volumen auf Grundlage einer absoluten Sektionierung unter Verwendung von Konturdurchmessern _____	70
Tabelle 4-35: Deskriptive Statistik für die relative Volumendifferenz zwischen Realvolumen und dem Volumen auf Grundlage einer absoluten Sektionierung unter Verwendung von Konturdurchmessern _____	70
Tabelle 4-36: Deskriptive Statistik und t-Test für die beiden gemessenen, senkrecht zueinander stehenden Kluppdurchmesser _____	77
Tabelle 4-37: Deskriptive Statistik und t-Test für die beiden gemessenen, senkrecht zueinander stehenden Konturdurchmesser _____	78
Tabelle 4-38: Deskriptive Statistik für die absolute Ovalität, ermittelt in festen Messebenen an der Sortenmitte _____	78
Tabelle 4-39: Deskriptive Statistik für die relative Ovalität, ermittelt in festen Messebenen an der Sortenmitte _____	79
Tabelle 4-40: Deskriptive Statistik für die absolute Ovalität, ermittelt in variablen Messebenen an der Sortenmitte _____	80
Tabelle 4-41: Deskriptive Statistik für die relative Ovalität, ermittelt in variablen Messebenen an der Sortenmitte _____	80
Tabelle 4-42: Deskriptive Statistik für die Abholzigkeit, ermittelt aus der Differenz zwischen Mittendurchmesser und Zopfdurchmesser, bezogen auf die halbe Sortenlänge _____	82
Tabelle 4-43: Deskriptive Statistik für die Abholzigkeit, ermittelt als Steigung der Ausgleichsgeraden zwischen Sortenmitte und Sortenzopf _____	83

9 ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 3-1: Prinzip der Lasertriangulation _____	16
Abbildung 3-2: Prinzip des Lichtschnittverfahrens zur dreidimensionalen Vermessung _____	17
Abbildung 3-3: Mögliche Anordnung der Laserquellen und Lichtschnittsensoren (Quelle: Microtec) _____	18
Abbildung 3-4: schematische Darstellung der doppelten Lasertriangulation durch Einsatz von zwei Sensoren _____	19
Abbildung 3-5: beispielhafter, schematischer Aufbau einer elektronischen Rundholzvermessungsanlage _____	19
Abbildung 3-6: 3D-Rekonstruktion eines Stammes _____	20
Abbildung 3-7: Ergebnis der 3D-Rekonstruktion eines Stammes mit Visualisierungstool Final Surface _____	22
Abbildung 3-8: Prinzip der Glättung eines Messpunktes innerhalb eines Stammquerschnittes _____	27
Abbildung 3-9: Beispiel für die iterative Glättung einzelner Messpunkte eines realen Stammquerschnittes mit Schwellenwert 2 %; links: gesamter Stammscheibenquerschnitt, rechts: Ergebnis der Glättung, schwarze Punkte geben die geglättete Konturlinie wieder, rote Punkte werden verworfen. _____	28
Abbildung 3-10: schematische Darstellung der beiden Verfahren zur Durchmesserbestimmung _____	30
Abbildung 3-11: Schematische Darstellung der Mittendurchmesserlokalisierung nach Rahmenvereinbarung Werksvermessung _____	33
Abbildung 3-12: Abbildung: Schematische Darstellung der Mittendurchmesserlokalisierung nach ÖNORM L1021 _____	35
Abbildung 3-13: Lokalisierung des Messbereiches für die Mittendurchmesserermittlung _____	36
Abbildung 4-1: Häufigkeitsverteilung der gemessenen Stammlängen (n = 139.655) _____	45
Abbildung 4-2: Häufigkeitsverteilung der auf 50 cm-Stufen gerundeten Sortenlängen (n = 139.655) _____	45
Abbildung 4-3: Mittelwerte der absoluten Längendifferenzen zwischen Stammlänge und auf 50 cm-Stufen abgerundeter Sortenlänge (n = 139.655) _____	46
Abbildung 4-4: Box-Plot der relativen Längenübermaße, bezogen auf die Sortenlänge (n = 139.655) _____	46
Abbildung 4-5: Häufigkeitsverteilung der Mittendurchmesser gemessen und gerundet nach Rahmenvereinbarung Werksvermessung (n = 139.655) _____	48

Abbildung 4-6: Box-Plot für die Volumendifferenzen zwischen berechneten Zylindervolumina auf Grundlage forstlich gerundeter Mittendurchmesser und ungerundeter Mittendurchmesser, Messung von je zwei senkrecht zueinander stehenden Durchmessern mittels simulierter Kluppe in fest definierten Messebenen (n = 139655)	49
Abbildung 4-7: Box-Plot der absoluten Differenzen der Volumina ermittelt durch Simulation einer manuellen Vermessung nach den Vorgaben der Forst-HKS, dargestellt in Bezug zum Realvolumen, gruppiert nach Stärkeklassen der Durchmesser (n = 139.655)	52
Abbildung 4-8: Box-Plot der relativen Differenzen der Volumina ermittelt durch Simulation einer manuellen Vermessung nach den Vorgaben der Forst-HKS, dargestellt in Bezug zum Realvolumen, gruppiert nach Stärkeklassen der Durchmesser (n = 139.655)	52
Abbildung 4-9: Box-Plot der absoluten Differenzen der Volumina ermittelt nach den Vorgaben der Rahmenvereinbarung Werksvermessung, dargestellt in Bezug zum Realvolumen, gruppiert nach Stärkeklassen der Durchmesser (n = 139.655)	54
Abbildung 4-10: Box-Plot der relativen Differenzen der Volumina ermittelt nach den Vorgaben der Rahmenvereinbarung Werksvermessung, dargestellt in Bezug zum Realvolumen, gruppiert nach Stärkeklassen der Durchmesser (n = 139.655)	54
Abbildung 4-11: Box-Plot der absoluten Differenzen der Volumina ermittelt nach den Vorgaben der ÖNORM L 1021 und dem Realvolumen, dargestellt in Bezug zum Realvolumen, gruppiert nach Stärkeklassen der Durchmesser (n = 139.655)	56
Abbildung 4-12: Box-Plot der relativen Differenzen der Volumina ermittelt nach den Vorgaben der ÖNORM L1021, dargestellt in Bezug zum Realvolumen, gruppiert nach Stärkeklassen der Durchmesser (n = 139.655)	56
Abbildung 4-13: Box-Plot der absoluten Differenzen der Volumina ermittelt nach den Vorgaben der ÖNORM L1021 und den Volumina nach Rahmenvereinbarung Werksvermessung, gruppiert nach Stärkeklassen der Durchmesser (n = 139.655)	60
Abbildung 4-14: Box-Plot der relativen Differenzen der Volumina ermittelt nach den Vorgaben der ÖNORM L1021 und den Volumina nach Rahmenvereinbarung Werksvermessung, gruppiert nach Stärkeklassen der Durchmesser (n = 139.655)	60
Abbildung 4-15: Box-Plot der absoluten Differenzen der Zylindervolumina mit Messung des Mittendurchmessers auf Grundlage von 180 gekluppten Durchmessern, dargestellt in Bezug zum Realvolumen, gruppiert nach Stärkeklassen der Durchmesser (n = 139.655)	63
Abbildung 4-16: Box-Plot der relativen Differenzen der Zylindervolumina mit Messung des Mittendurchmessers auf Grundlage von 180 gekluppten Durchmessern, dargestellt in Bezug zum Realvolumen, gruppiert nach Stärkeklassen der Durchmesser (n = 139.655)	63
Abbildung 4-17: Boxplot der absoluten Differenzen der Zylindervolumina mit Messung des Mittendurchmessers auf Grundlage von 180 Konturdurchmessern, gemessen an der Sortenmitte, dargestellt in Bezug zum Realvolumen, gruppiert nach Stärkeklassen der Durchmesser (n = 139.655)	65

- Abbildung 4-18:** Box-Plot der relativen Differenzen der Zylindervolumina mit Messung des Mittendurchmessers auf Grundlage von 180 Konturdurchmessern, gemessen an der Sortenmitte, dargestellt in Bezug zum Realvolumen, gruppiert nach Stärkeklassen der Durchmesser (n = 139.655) _____ 65
- Abbildung 4-19:** Boxplot der absoluten Differenzen der Zylindervolumina mit Messung des Mittendurchmessers auf Grundlage des Kleinstdurchmessers mittels Konturdurchmesserverfahren, gemessen an der Sortenmitte, dargestellt in Bezug zum Realvolumen, gruppiert nach Stärkeklassen der Durchmesser (n = 139.655) _____ 67
- Abbildung 4-20:** Box-Plot der relativen Differenzen der Zylindervolumina mit Messung des Mittendurchmessers auf Grundlage des Kleinstdurchmessers mittels Konturdurchmesserverfahren, gemessen an der Sortenmitte, dargestellt in Bezug zum Realvolumen, gruppiert nach Stärkeklassen der Durchmesser (n = 139.655) _____ 67
- Abbildung 4-21:** Box-Plot der absoluten Volumendifferenzen bei absoluter Sektionierung der Stämme in 50 cm Sektionen und Messung der Kluppdurchmesser in festen Messebenen, dargestellt in Bezug zum Realvolumen, gruppiert nach Stärkeklassen der Durchmesser (n = 139.655) _____ 69
- Abbildung 4-22:** Box-Plot der relativen Volumendifferenzen bei absoluter Sektionierung der Stämme in 50 cm Sektionen und Messung der Kluppdurchmesser in festen Messebenen, dargestellt in Bezug zum Realvolumen, gruppiert nach Stärkeklassen der Durchmesser (n = 139.655) _____ 69
- Abbildung 4-23:** Box-Plot der absoluten Volumendifferenzen bei absoluter Sektionierung der Stämme in 50 cm Sektionen und Messung der Konturdurchmesser in festen Messebenen, dargestellt in Bezug zum Realvolumen, gruppiert nach Stärkeklassen der Durchmesser (n = 139.655) _____ 71
- Abbildung 4-24:** Box-Plot der relativen Volumendifferenzen bei absoluter Sektionierung der Stämme in 50 cm Sektionen und Messung der Konturdurchmesser in festen Messebenen, dargestellt in Bezug zum Realvolumen, gruppiert nach Stärkeklassen der Durchmesser (n = 139.655) _____ 71
- Abbildung 4-25:** Vergleich der relativen Volumendifferenzen bestehender und potenziell möglicher Messverfahren in Bezug zum Referenzmaß (n=139.655); Darstellung ergänzt nach SAUTER ET AL. (2010) _____ 75
- Abbildung 4-26:** Vergleich der relativen Volumendifferenzen bestehender und potenziell möglicher Messverfahren nach Stärkeklassen in Bezug zum Referenzmaß (n=139.655); Darstellung ergänzt nach SAUTER ET AL. (2010) _____ 76
- Abbildung 4-27:** Box-Plot der relativen Ovalität bei Ermittlung der Mittendurchmesser mittels simulierter Kluppe in festen Messebenen, gruppiert nach Stärkeklassen (n = 139.655) _____ 79
- Abbildung 4-28:** Box-Plot der relativen Ovalität bei Ermittlung der Mittendurchmesser mittels Konturdurchmesser in festen Messebenen, gruppiert nach Stärkeklassen (n = 139.655) _____ 79

Abbildung 4-29: Box-Plot der relativen Ovalität bei Ermittlung der Mittendurchmesser mittels simulierter Kluppe in variablen Messebenen, gruppiert nach Stärkeklassen (n = 139.655)	81
Abbildung 4-30: Box-Plot der relativen Ovalität bei Ermittlung der Mittendurchmesser mittels Konturdurchmesser in variablen Messebenen, gruppiert nach Stärkeklassen (n = 139.655)	81
Abbildung 4-31: Box-Plot der Abholzigkeit Mitte – Zopf, Kluppdurchmesser (n = 139.655)	83
Abbildung 4-32: Box-Plot der Abholzigkeit Mitte – Zopf, Konturdurchmesser (n = 139.655)	83
Abbildung 4-33: Box-Plot der Abholzigkeit Ausgleichsgerade, Kluppdurchmesser (n = 139.655)	84
Abbildung 4-34: Box-Plot der Abholzigkeit Ausgleichsgerade, Konturdurchmesser (n = 139.655)	84