

# Überprüfung des Umrechnungsfaktors zur Herleitung des Holzvolumens anhand des atro-Gewichts für Fichten- und Tannenindustrieholz am Beispiel Baden-Württemberg

(Mit 5 Tabellen)

JÖRG STAUDENMAIER<sup>1</sup>, UDO HANS SAUTER<sup>1</sup>, JÄRMO STABLO<sup>2</sup> und GERO BECKER<sup>3</sup>

(Angenommen Mai 2011)

## SCHLAGWÖRTER – KEY WORDS

*Atro-Gewichtsvermessung; Umrechnungsfaktoren; Industrieholz.*

*Dry weight measurement; conversion factors; industrial wood.*

## 1. EINLEITUNG

Seit Ende der 1960er Jahre ist in Deutschland neben dem Volumenmaß das Gewichtsmaß als Grundlage für den Verkauf von Industrierohholz etabliert. Dabei wird am Werkseingang der Industrieholzverarbeiter über ein Stichprobenverfahren das Trockengewicht (atro-Gewicht) einer Holzladung bestimmt, welches zur Abrechnung herangezogen wird.

Für die Bestimmung des atro-Gewichts einer Industrieholzladung sind in Deutschland zwei Verfahren in Verwendung. Zum einen wurde 1966 von DIETZ das so genannte „Baden-Württembergische Verfahren“ entwickelt und getestet, zum anderen Mitte der 1970er Jahre das so genannte „Norwegische Verfahren“ (ALDINGER und ZULEGER, 1975). Bei beiden ist das Prinzip der Ermittlung des atro-Gewichts einer Industrieholzlieferung ähnlich:

– Bestimmung des Ladungsfrischgewichts aus der Differenz des Gewichts des beladenen und des entladenen Transportfahrzeugs.

– Anhand einer repräsentativen Spanprobe aus dem Holz der Ladung und deren anschließender Trocknung wird der prozentuale Anteil des Wassers und der Holztrockenmasse aus Frischgewicht und Spanprobe ermittelt.

– Aus dem Ladungsfrischgewicht und dem an den Spänen ermittelten Anteil der Trockensubstanz wird das atro-Gewicht der gesamten Ladung als Abrechnungsbasis mit dem Lieferanten ermittelt.

Der Unterschied zwischen den genannten Verfahren liegt in der Gewinnung der Spanprobe für die Trockengehaltsbestimmung: Im ersten Fall wird hierfür eine herkömmliche Kettensäge verwendet, im zweiten Fall eine spezielle Kettenfräse, deren Kettenschiene so kon-

struiert ist, dass beim Fräsvorgang ein repräsentatives Segment aus dem Stammquerschnitt herausgefräst werden kann. Hiermit ist es möglich, Trockengehaltsunterschiede zwischen den inneren und äußeren Jahrringen in der Spanprobe zu berücksichtigen. Die in Baden-Württemberg mittlerweile geltende „Verfahrensvorschrift zur Gewichtsvermessung von Industrieholz“ sieht die Anwendung des „Norwegischen Verfahrens“ mit einer inzwischen weiterentwickelten Kettenfräse vor (MINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LÄNDLICHEN RAUM, 2002), da dieses eine tendenzfreie und kostengünstige Spanprobengewinnung sowie bei sorgfältiger Anwendung eine hohe Arbeitssicherheit und Genauigkeit bei der Bestimmung des atro-Gewichts gewährleistet (STABLO, 2008).

Bis zur Einführung der Gewichtsvermessung wurde die Abrechnung von Industrieholz auf Basis eines Volumenmaßes, d.h. in Raum- oder Festmetern durchgeführt. Um für die beiden Abrechnungsarten und die damit verbundenen Rohholzsorten Industrieholz und konkurrierende Stammholzsorten Preisrelationen herstellen zu können, wurde bei der Einführung des Gewichtsmaßes die Umrechnung vom atro-Gewicht mit Rinde in Festmeter ohne Rinde notwendig (DIETZ, 1972). Nach Einführung der atro-Gewichtsvermessung wurden für die marktrelevanten Holzarten Umrechnungsfaktoren zur Herleitung des Holzvolumens ohne Rinde anhand des atro-Gewichts mit Rinde bestimmt. Diese sind in Deutschland seit 1983 bundesweit gültig (BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN, 1983B).

Die hohe Relevanz der Umrechnungsfaktoren spiegelt sich noch heute darin wider, dass erst mit ihrer Hilfe Mengenrelationen zwischen unterschiedlichen Sortimenten (z.B. Energie- und Industrieholz) und innerhalb des Industrieholzsortimentes zwischen unterschiedlichen Abrechnungsverfahren (Gewichtsmaß, Raummaß) und damit Preisvergleiche ermöglicht werden. Zudem wird für die forstliche Naturalbuchführung nach wie vor die einheitliche Größe „Festmeter ohne Rinde“ verwendet, die nur über Umrechnungsfaktoren hergeleitet werden kann.

Vor diesem Hintergrund wird deutlich, dass eine korrekte Bewertung des Rohstoffs Holz voraussetzt, dass die Umrechnungsfaktoren tatsächlich charakteristisch für das aktuell genutzte Industrieholz sind. Dies gilt umso mehr für die Nadelholzarten Fichte und Tanne, die durch ihren hohen Anteil am Gesamtindustrieholz-

<sup>1</sup>) Abteilung Waldnutzung, Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, Freiburg.

<sup>2</sup>) Zentrum für Erneuerbare Energie, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.

<sup>3</sup>) Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaften, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.

aufkommen eine wichtige gesamtwirtschaftliche Rolle spielen. Gerade für diese Holzarten ist somit von besonderem Belang, ob der im Jahre 1983 eingeführte Umrechnungsfaktor von 2,20 auch für heute genutzte Fichten und Tannenindustrieholz weiterhin Gültigkeit besitzt. Diese Frage steht im Zentrum der vorliegenden Untersuchung.

Der vorliegenden Arbeit liegt die Hypothese zugrunde, dass der 1983 eingeführte Umrechnungsfaktor – bedingt durch eine gerichtete Veränderungen der den Umrechnungsfaktor beeinflussenden Größen – nicht mehr zutreffend ist und daher einer Überprüfung und gegebenenfalls einer Anpassung bedarf.

## 2. DER UMRECHNUNGSFAKTOR

### 2.1 Funktionsweise und Einflussgrößen

Die Umrechnung erfolgt zwischen den beiden Größen „atro-Gewicht mit Rinde“ und „Frischvolumen ohne Rinde“. Die Multiplikation des werkseitig ermittelten atro-Gewichts einschließlich der Rinde mit dem Umrechnungsfaktor (U) beinhaltet sowohl die Umwandlung der Einheit als auch das Herausrechnen der Rinde. Bei einem unterstellten Gewicht der Holzrockensubstanz für Fichte von 0,455 Tonnen je Festmeter mit Rinde (Durchschnittswert) ergibt sich

$$0,455 \text{ t} \cdot U = \text{Frischvolumen ohne Rinde}$$

(1)

wobei die Einheiten [Fm o.R.] und [t] in der Praxis in der Regel nicht angeführt werden.

Aus dieser Beziehung lassen sich drei Größen ableiten, die die Höhe des Umrechnungsfaktors direkt beeinflussen:

- Die durchschnittliche Raumdichte ( $R_u$ ) des Industrieholzes der betreffenden Holzart, die angibt, welche Holzrockenmasse je Volumeneinheit des Holzes ohne Rinde beim Feuchtigkeitsgehalt ( $u$ ) des Holzes enthalten ist. Da die forstübliche Volumenmessung in der Regel an waldfischem Holz erfolgt, ist für die Berechnung des Umrechnungsfaktors die Raumdichte des Holzes in waldfischem, voll gequollenem Zustand die maßgebliche Größe. Die Raumdichte stellt damit die Verbindung zwischen der forstüblichen Messgröße des Frischvolumens und der industriellen Messgröße atro-Gewicht dar.

- Der durchschnittliche prozentuale Anteil des Rindentrockengewichts am Gesamttrockengewicht (Holzsubstanz und Rinde), das einer Volumeneinheit ohne Rinde der betreffenden Holzart entspricht.

- Die mittlere Unterschätzung des tatsächlichen Volumens durch die forstübliche Vermessung (Abrundungen, Auslassen von Beulen, Wurzel- und Astanläufen etc.).

Eine Veränderung des Umrechnungsfaktors ist dann erforderlich, wenn sich die durchschnittliche Raumdichte des Fichten- und Tannenindustrieholzes in waldfischem Zustand, der durchschnittliche Rindengewichtanteil am Gesamttrockengewicht oder die Herleitungsart des Volumens deutlich verändert. Die beiden erstgenannten Faktoren sind dynamische Größen. Seit der Ermittlung des Umrechnungsfaktors im Jahre 1983 können diese durch Veränderung der sie beeinflussen-

den Faktoren ihrerseits Veränderungen erfahren haben. Letztgenannte Größe ist dagegen eine statische Größe. Ihr Einfluss auf den Umrechnungsfaktor resultiert aus der geltenden Definition der Art der Volumenermittlung bei Industrieholz. Eine Veränderung dieser Variable kann nur abrupt erfolgen, wenn zum Zeitpunkt der Neubestimmung des Umrechnungsfaktors eine andere Definition für die Volumenermittlung zugrunde gelegt wird.

#### 2.1.1 Einflüsse auf die Raumdichte von Industrieholz

Für die Dichte von Holz gibt es unterschiedliche Definitionen (TRENDELENBURG und MAYER-WEGELIN, 1955). Die meisten Untersuchungen über die Holzdicke befassen sich jedoch mit der Darrdicke. Für die Darrdicke von Nadelhölzern entscheidend ist der Anteil von dünnwandigem, weiltumigem Frühholz und dickwandigem, englumigen Spätholz, die absolute Zellwanddicke und die absolute Weite der Tracheiden (BERNHART, 1964). Da Darrdicteveränderungen sich somit auf unterschiedliche Mengen an Zellwandsubstanz je Holzvolumeneinheit zurückführen lassen, spiegeln sich diese Veränderungen auch im Raumdichtewert wider. Die folgenden Ausführungen zur Darrdicke lassen sich daher auch auf die Raumdichte übertragen.

Die Beziehung zwischen Jahrringbreite und Darrdicke bei Fichte weist einen starken Abfall der Darrdicke mit zunehmender Jahrringbreite auf (GRAMMEL, 1990; BIECHELE, 2010). Dies ist auf unterschiedliche Anteile des im Mittel dichteren Spätholzes und des weniger dichten Frühholzes an der Jahrringbreite zurückzuführen (KREMPL, 1977). Diese resultieren daraus, dass die Spätholzbreite bei Fichte nicht linear mit der Jahrringbreite ansteigt, sondern für große Jahrringbreiten einem konstanten Wert zustrebt (NIMSCH, 1985).

Breitere Jahrringe bei schnellwüchsigen Fichten bedeuten in der Praxis der Industrieholzverarbeitung wesentliche Verluste bei der Zellstoffausbeute (HENEKA, 1993).

Die Jahrringbreite und damit der Spätholzanteil werden ihrerseits wiederum von verschiedenen Faktoren beeinflusst. Hier können als *exogen* bestimmend der Standort (DIETZ, 1966; KRAUSE und ECKSTEIN, 1992), die soziologische Stellung der Einzelbäume im Bestand (KREMPL, 1977), die genetische Ausstattung der Einzelbäume (GRAMMEL, 1990; BERNHART, 1964), die Astigkeit und Druckholzhaltigkeit (TRENDELENBURG und MAYER-WEGELIN, 1955; FILLBRANDT, 1991; SCHULZ, BELLMANN und WAGNER, 1984) sowie der Grad pilzlicher Holzzersetzung (KNIGGE und SCHULZ, 1966) angesehen werden. Als *endogene*, fichtentypische Eigenschaften, können unterschiedliche Jahrringbreiten und Darrdichtewerte als bedingt durch die Höhenlage im Baum (FILLBRANDT, 1991; KREMPL, 1977; SCHWEIZERISCHEN INTERESSEN-GEMEINSCHAFT INDUSTRIEHOLZ, 1991; SEYFERT, 1987), die Lage im Stammquerschnitt (SEYFERT, 1987; NIMSCH, 1985; SEELING, 2001) und das Baumalter (KREMPL, 1977) angenommen werden.

Durch entsprechende Maßnahmen der Bestandesbegründung und -behandlung ist es möglich, einige der exogenen Faktoren zu beeinflussen, was für die Hypothesenbildung eine wichtige Rolle spielt.

**Zusammenstellung der den Umrechnungsfaktor primär beeinflussenden Größen anhand einer beispielhaften Berechnung<sup>1)</sup>:**

- Im Mittel weist ein Kubikmeter voll gequollenen Fichtenindustrieholzes ein Holztrockengewicht von 400 Kilogramm auf ( $R = 400 \text{ kg/m}^3$ ).
- Das Holztrockengewicht eines Kubikmeters ist bei vollständiger Berindung im Mittel um ein Rindentrockengewicht ( $rig$ ) von 45 Kilogramm zu erhöhen.
- Einem Kubikmeter Fichtenindustrieholz entspricht als Summe aus Holztrockensubstanz und Rindentrockensubstanz ein Gesamttrockengewicht (atro-Gewicht m.R./ Volumeneinheit o.R.) von 445 Kilogramm. Der Rindengewichtanteil ( $rig\%$ ) am Gesamttrockengewicht beträgt somit 10,1%.
- Durch die forstübliche Volumenermittlung von Rundholz wird das tatsächliche Volumen im Mittel um rund 7% unterschätzt (SAUTER et al., 2010), so dass in einem forstüblich hergeleiteten Festmeter ein wahres Volumen von 1,0753 Kubikmetern enthalten ist. Die Raumdichte eines forstüblich hergeleiteten Festmeters ergibt sich damit zu  $R = 430,1 \text{ kg/Fm}$ , das zuzurechnende Rindengewicht beträgt 48,4 kg.

Tab. 1

**Einfluss der Raumdichte.  
Effect of conventional density.**

R	rig%	rig <sub>0</sub> % Entrindung	atro-Gewicht m.R. / Volumeneinheit o.R.	Umrechnungsfaktor
400 kg/m <sup>3</sup>	10,1 %	45 kg	445 kg/m <sup>3</sup>	2,25
360 kg/m <sup>3</sup>	11,1 %	45 kg	405 kg/m <sup>3</sup>	2,47

Tab. 2

**Einfluss der Entrindung.  
Effect of bark.**

R	rig%	rig <sub>0</sub> % Entrindung	rig <sub>50</sub> % Entrindung	atro-Gewicht m.R. / Volumeneinheit o.R.	Umrechnungsfaktor
400 kg/m <sup>3</sup>	10,1 %	45 kg		445 kg/m <sup>3</sup>	2,25
400 kg/m <sup>3</sup>	5,3 %		22,5 kg	422,5 kg/m <sup>3</sup>	2,37

Tab. 3

**Einfluss der forstüblichen Volumenunterschätzung.  
Effect of volume underestimation in forestry practice.**

R	rig%	rig <sub>0</sub> % Entrindung	atro-Gewicht m.R. / Volumeneinheit o.R.	Umrechnungsfaktor
400 kg/m <sup>3</sup>	10,1 %	45 kg	445 kg/m <sup>3</sup>	2,25
430,1 kg/Fm	10,1 %	48,4 kg	478,5 kg/Fm	2,09

<sup>1)</sup> Die Werte für **R** und **rig** sind den Ergebnissen von DIETZ (1972) entnommen, der Wert für die Volumenunterschätzung wurde aus eigenen Untersuchungen abgeleitet.

**2.1.2 Einflüsse auf den Rindengewichtsanteil von Industrieholz**

Der Durchmesser des Holzes hat bei der Fichte einen deutlichen Einfluss auf die Rindendicke und den damit verbundenen Rindengewichtsanteil am Gesamttrockengewicht von Industrieholzabschnitten. Der relative Rindenanteil am Gesamttrockengewicht steigt mit abnehmendem Holzdurchmesser progressiv an (BLOEFELD, HAASEMANN und WONKA, 1963). Damit sind potenzielle Veränderungen des durchschnittlichen Durchmessers des genutzten Industrieholzes von wesentlicher Bedeutung für die Größe des Umrechnungsfaktors.

Einen starken Einfluss auf den Anteil der Rinde am Volumen sowie am atro-Gewicht hat weiterhin das durchschnittliche Berindungsprozent einzelner Indus-

trieholzabschnitte. Wie viel Rinde auf dem Weg vom Bestand bis zum Zeitpunkt der Vermessung von den Stämmen verloren geht, hängt vor allem von der Aufarbeitungsart (motormanuell oder vollmechanisiert) und dem Vorgang der Rückung in Kombination mit dem Saftzustand des Holzes sowie der Außentemperatur ab.

**2.2 Veränderungen der Einflussgrößen**

**2.2.1 Veränderungen der mittleren Raumdichte**

Verändertes Baum- und Waldwachstum

Seit einiger Zeit wird von verschiedenen Autoren ein langfristiger Anstieg des Wald- und Baumwachstums in Mitteleuropa seit Ausgang des 19. Jahrhunderts beschrieben (SPIECKER et al., 1996; PRETZSCH, 1999). Als

mögliche Ursache wird vor allem die veränderte Standortproduktivität durch die Erhöhung der Jahresdurchschnittstemperatur, den erhöhten CO<sub>2</sub>-Gehalt der Atmosphäre und die Verbesserung der Nährstoffversorgung aufgrund von Stickstoffdepositionen und Aufgabe historischer Waldnutzung genannt, woraus letztlich unter anderem ein gesteigertes Durchmesserwachstum und damit eine abnehmende Holzdicke resultieren (UNTHEIM, 1996; BADEAU et al., 1996; Schneider und HARTMANN, 1996). Es wird vermutet, dass diese langfristigen Veränderungen in den letzten drei Jahrzehnten angehalten haben und dadurch die Hypothese einer erforderlichen Erhöhung des Umrechnungsfaktors gestützt wird.

Ein weiterer Grund für höhere Zuwächse wird in der veränderten Bestandesbegründung und -behandlung gesehen. Größte Bedeutung kommt hierbei dem Standort zu, der sich unmittelbar auf die Durchmesserentwicklung des Einzelbaums und damit die Holzdicke auswirkt (KLÄDTKE, 2005).

Die moderne Fichtenwirtschaft ist gekennzeichnet durch Zuwachskonzentration auf eine geringe Anzahl von Individuen, was in den vergangenen Jahrzehnten insbesondere in der Jugend zur Ausbildung breiterer Jahrringe mit hohen Frühholzanteilen geführt hat und in der Folge zu niedrigeren Raumdichten des Holzes. Dies müsste letztlich zu einem geringeren Trockengewicht und damit zu einem höheren Umrechnungsfaktor zwischen Gewichtsmaß und Festmaß führen.

Weiterhin spielen genetische Unterschiede der in jüngerer Zeit künstlich begründeten Bestände eine Rolle für die Wüchsigkeit und damit die durchschnittliche Dichte von Fichtenholz, deren genaue Einflüsse jedoch nicht quantifiziert werden können (UNTHEIM, 1996).

#### Veränderungen in der Zusammensetzung des Industrieholzes

Die dargestellten Veränderungen der waldbaulichen Konzeptionen und die durch technische Entwicklungen geschaffene Möglichkeit der Sägeindustrie, sehr geringe Zopfdurchmesser verarbeiten zu können, führten dazu, dass auch bei Erstdurchforstungen vermehrt die Aushaltung von Abschnitten aus den unteren Stammbereichen für die Profilspanerindustrie möglich wurde. Der Anteil an Gipfelholz an der gesamten bereitgestellten Industrieholzmenge hat sich daher gegenüber dem Stammholzanteil in den vergangenen 15 Jahren deutlich erhöht und liegt heute bei geschätzten 80%.

Aus den Ausführungen über die Dichte von Holz lässt sich schließen, dass für Gipfelholz geringerer Durchmesser aufgrund des hohen Anteils an juvenilem Holz und breiten Jahrringen mit einer geringeren Darrdicke sowie einem höheren Rindengewichtanteil am Gesamtrockengewicht gerechnet werden kann als für Stammholz. Bei wachsendem Anteil des Gipfelholzes am gesamten Industrieholzanfall könnte dies somit zu einer Erhöhung des Umrechnungsfaktors beigetragen haben.

#### 2.2.2 Veränderungen des Rindengewichtanteils

In der Saftzeit im Sommerhalbjahr löst sich die Rinde sehr leicht vom Kambium. Bei vollmechanisierter Aufar-

beitung kommt es dann zu großflächigem Rindenverlust an den Stammabschnitten, die in extremen Fällen bis zu 100% erreichen können, ganz anders als im Winterhalbjahr oder bei motormanueller Aufarbeitung. Der Rindenverlust bedingt maßgebliche Veränderungen des am Werkseingang ermittelten Trockengewichts und erforderte eine Anpassung des Umrechnungsfaktors.

Während das in den Forstwirtschaftsjahren 1981 und 1982 zur Herleitung des aktuell gültigen Umrechnungsfaktor verwendete Industrieholz motormanuell aufgearbeitet wurde, erfuhr die Industrieholzbereitstellung mit Einführung der Vollerntertechnologie Ende der 1980er Jahre eine zunehmende Mechanisierung. Zahlen der Landesforstverwaltung Baden-Württemberg für die Forstwirtschaftsjahre 2005 bis 2007 ergaben für das bereitgestellte Industrieholz etwa gleiche Anteile motormanueller und mechanisierter Aufarbeitung. Im Staatswald betrug der Anteil der mechanisierten Aufarbeitung mit Vollerntern oder Prozessoren etwa 70%. Die Ausführungen unterstreichen die Annahme, dass bei im Sommer vollmechanisiert aufgearbeitetem Holz ein höherer Umrechnungsfaktor zwischen Gewichtsmaß und Festmaß zugrunde gelegt werden müsste. Diese Tendenz könnte durch den hohen Rindengewichtanteil am Gesamtrockengewicht von aus dem Gipfelbereich stammendem Industrieholz noch verstärkt werden.

### 3. METHODEN UND MATERIAL

Um eine adäquate Methode zur Überprüfung des Umrechnungsfaktors entwickeln zu können, wurde eine Analyse der Forschungsaktivitäten im Kontext der Bestimmung des seit 1983 gültigen Umrechnungsfaktors durchgeführt. Als Anforderungen an die Methode ergab sich eine Mischung aus wissenschaftlichen Kriterien und Kriterien, die aus dem Bereich der praktischen Anwendung des Umrechnungsfaktors und seiner Akzeptanz erwachsen. Daher wird im Folgenden zunächst ein kurzer Überblick über die Entstehungsgeschichte des heute gültigen Umrechnungsfaktors gegeben und anschließend werden wesentliche Implikationen aus der Zusammenschau relevanter Erkenntnisse aus der Historie und den Erkenntnissen aus dem Vorkapitel für die Entwicklung der Untersuchungsmethode abgeleitet.

#### 3.1 Herleitungsmethode des aktuell gültigen Umrechnungsfaktors

Nach Einführung der atro-Gewichtsvermessung wurde in einer Großuntersuchung im süddeutschen Raum Anfang der 1970er Jahre mit Hilfe einer holzmesskundlichen Methode (GERKE, 1973) an Stammscheiben für zahlreiche Holzarten Umrechnungsfaktoren hergeleitet, die die Bestimmung des Holzvolumens ohne Rinde anhand des am Werkseingang ermittelten atro-Gewichts mit Rinde ermöglichten.

Unterschiedliche Faktoren, wie z.B. die Standortbedingungen wirken sich auf die Raumdichte aus. Daher wurde versucht, in der Untersuchung diesen Einfluss zu quantifizieren und standörtliche Unterschiede auf Signifikanz zu überprüfen. Da jedoch „die sehr aufwändige Stratifizierung nicht zu befriedigenden Ergebnissen geführt hat, wird vorgeschlagen, beim Gewichtsverkauf

nicht verschiedene Herkunftsorte zu unterscheiden, sondern landeseinheitliche Durchschnittswerte zu verwenden. Dies erleichtert die praktische Durchführung erheblich.“ (GERKE, 1973). Für den süddeutschen Raum konnte aufgrund der Ergebnisse eine Abnahme der Darrdichte mit zunehmender Seehöhe ebenso gesichert angenommen werden, wie eine Zunahme der Darrdichte mit dem Alter. Auch zwischen einigen süddeutschen Wuchsgebieten konnten Unterschiede nachgewiesen werden, die jedoch im Vergleich zur Streuung gering waren und nach DIETZ (1975) in keinem Fall ausreichten, um eine Anwendung unterschiedlicher Umrechnungsfaktoren für verschiedene Regionen zu rechtfertigen. Für das im Untersuchungsgebiet breit gestreute Material wurde für Fichten- und Tannenindustrieholz (untersucht wurden 1854 Fichten- und 264 Tannen-Stammscheiben) ein Faktor von 2,25 hergeleitet, mit dem ein atro-Gewicht von einer Tonne in ein effektives Holzvolumen (Tauchvolumen) in Kubikmetern ohne Rinde überführt werden konnte. Zwischen den beiden Holzarten wurden keine signifikanten Unterschiede festgestellt. Der ermittelte Umrechnungsfaktor war in Baden-Württemberg seit 1976 gültig (DIETZ, 1977).

Da sich bei seiner Anwendung jedoch regelmäßig Schwierigkeiten ergaben und er aufgrund der praxisfernen Herleitungsmethode zweifelhaft erschien (BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN, 1983A), wurde der Faktor Anfang der 1980er Jahre modifiziert. Dies war möglich, da durch den in Baden-Württemberg 1980 eingeführten Erweiterten Sortentarif (EST) ein über Stichprobenvermessung hergeleitetes Einschlagsvolumen (in Festmetern ohne Rinde) bestimmt und für einen Vergleich mit dem werksseitig ermittelten atro-Gewicht mit Rinde herangezogen werden konnte (ERB, 1984; SCHÖPFER, 1982). „Obwohl damit etwaige Fehler des EST-Maßes in die Umrechnung mit eingehen, schien dieses Vorgehen gerechtfertigt, da das zum Teil fehlerhafte Waldmaß [...] den tatsächlichen Gegebenheiten in der Praxis entspricht.“ (DIETZ, 1983).

Aufgrund umfangreicher, vergleichender Untersuchungen der Einschlags- und Verkaufsvolumina sowie auf Grundlage weiterer Daten wurde der Umrechnungsfaktor durch die FVA Baden-Württemberg in den Jahren 1980 und 1981 bewertet und daraufhin auf den Wert 2,20 korrigiert. Seit 1983 ist dieser Umrechnungsfaktor bundesweit gültig (BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN, 1983B).

### 3.2 Anforderungen an die Untersuchungsmethode

Aus den bisherigen Ausführungen können folgende Anforderungen an die Methode abgeleitet werden:

- Akzeptanz des möglicherweise modifizierten Faktors in der Praxis:
  - Einbindung der aktuellen Verfahrensvorschriften zur Gewichtsvermessung in die Untersuchungsmethode gewährleistet die Übertragbarkeit der Ergebnisse in die Praxis.
- Repräsentativität des Umrechnungsfaktors für das genutzte Industrieholz:

- Es ist nicht möglich, das Untersuchungsgebiet (Baden-Württemberg) im Vorfeld der Untersuchung im Hinblick auf die Einflüsse auf den Umrechnungsfaktor zu stratifizieren, da diese zu vielschichtig sind (Standort, Baumalter, Lage im Stamm, waldbauliche Behandlung, Berindungszustand, genetische Unterschiede). Daher wird wie in den früheren Untersuchungen eine breite Streuung des Untersuchungsmaterials über das Untersuchungsgebiet angestrebt.
- Mitaufnahme von Merkmalen zur Plausibilitätskontrolle und das Ableiten von Trends in den Ergebnissen (Entrindungsprozent, Alter etc.).
- Genauigkeit der Volumenbestimmung:
  - In der Vergangenheit wurden zwei unterschiedliche Umrechnungsfaktoren bestimmt: Einer zur Herleitung eines exakten Tauchvolumens in Kubikmetern und einer zur Herleitung eines forstüblichen Volumenmaßes in Festmetern. Für die Herleitung der von 1976 bis 1983 gültigen Umrechnungszahl wurde eine exakte, wissenschaftliche Methode (Stammscheibenuntersuchung) gewählt, während der seit 1983 gültige Umrechnungsfaktor auf sehr praxisorientierte Weise hergeleitet und das Einfließen etwaiger Fehler des EST-Verlohnungsmaßes in den Umrechnungsfaktor ausdrücklich in Kauf genommen wurde.

### 3.3 Holzmesskundliche Untersuchung

Zur Herleitung der Umrechnungsfaktoren werden die beiden Variablen „atro-Gewicht mit Rinde“ sowie „Frischvolumen ohne Rinde (forstüblich gerundet)“ der Probeeinheiten benötigt. Um oben dargestellten Anforderungen an die Untersuchungsmethode erfüllen zu können, wurden zwei Meter lange Fichten- und Tannenindustrieholzabschnitte als Probeeinheiten gewählt, die den in der Praxis ausgehaltenen Dimensionen („Schichtholz“) entsprachen.

Das Versuchsholz in Form von 2m-Industrieholzabschnitten wurde wie folgt vermessen (STABLO, 2008):

Zunächst wurde das Frischgewicht mit Rinde mit Hilfe einer Hängewaage auf 50 Gramm genau ermittelt und die Länge auf abgerundete Zentimeter genau gemessen sowie das Entrindungsprozent visuell eingeschätzt. An Fuß, Mitte und Zopf jedes Abschnitts wurden nach Entrindung der Messstellen kreuzweise zwei Durchmesser auf abgerundete Millimeter genau bestimmt.

Das Frischvolumen jedes Industrieholzabschnitts wurde auf zwei Arten berechnet. Für die Berechnung eines dem Tauchvolumen angenäherten Volumens in Kubikmetern ( $m^3$ ) wurde die Formel nach NEWTON verwendet, da hiermit auch für den Kegelstumpf im Kronenbereich gute Ergebnisse erwartet werden konnten (KRAMER und AKÇA, 1982). In die Berechnung gingen die an Fuß, Mitte und Zopf gemittelten Durchmesser und die Länge ein. Weiterhin wurde nährungsweise ein forstübliches Volumenmaß in Festmetern ( $F_m$ ) hergeleitet, in das die Länge der Abschnitte und der HKS-konform gerundete Mittendurchmesser eingingen.

Im Folgenden wurde aus jedem Industrieholzabschnitt mit einer den Anforderungen der „Verfahrensvorschrift

zur Gewichtsvermessung von Industrieholz“ entsprechenden Spezialfräse eine Spanmischprobe aus vier um den Stamm herumlaufenden Einstichen im Bereich von etwa 75 cm von den Stammenden entfernt erzeugt und der durchschnittliche Trockengehalt jedes Industrieholzabschnitts mit Hilfe der Darmmethode nach DIN 52183 (DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E.V., 1977) ermittelt. Das Frischgewicht jedes Industrieholzabschnitts wurde anschließend mit dem hergeleiteten Trockengehalt auf das atro-Gewicht reduziert.

Durch Gegenüberstellung des atro-Gewichts mit Rinde und des Frischvolumens ohne Rinde konnten für jeden der untersuchten Industrieholzabschnitte sowohl ein Umrechnungsfaktor zur Herleitung des angenäherten Tauchvolumens (in m<sup>3</sup> ohne Rinde) als auch des forstüblichen Volumenmaßes (in Fm ohne Rinde) bestimmt werden.

### 3.4 Methode der Auswahl des Untersuchungsmaterials

Das Probenmaterial für die eigene Untersuchung stammt aus Versuchsbeständen der Landkreise Baden-Württembergs, die traditionell große Mengen Fichten-/Tannenindustrieholz bereitstellen und repräsentiert somit weitgehend das Industrieholzaufkommen des Landes (Daten der Landesforstverwaltung Baden-Württemberg 2005–2007).

Als maximal tolerierbarer Fehler für die zu ermittelnden Umrechnungsfaktoren wurde ein Wert von ±3% (97% Genauigkeit) gewählt. Durch die Wahl einer relativ hohen geforderten Genauigkeit sollte ein hohes Vertrauen in die resultierenden Werte geschaffen werden. Die Herleitung des erforderlichen Stichprobenumfangs ist nachfolgend dargelegt.

Zunächst wurden innerhalb des Gebiets der Forstdirektion Freiburg im Winterhalbjahr 2007/2008 elf Bestände ausgewählt, in denen Industrieholzabschnitte der Güteklasse IN anfielen. Hiervon wurden je Bestand zwischen 20 und 42 Schichtholzabschnitte zufällig aus den Industrieholzpölkern ausgewählt und auf oben beschriebene Weise untersucht. Mit Hilfe eines gemischten Modells nach FARRAWAY (2005) mit den Beständen als zufälligem Ereignis konnte die Gesamtstreuung der Umrechnungsfaktoren (auf Basis des NEWTON-Volumens) in die Streuung innerhalb der Bestände und die Streuung zwischen den Beständen zerlegt werden. Dabei wurde die berechnete Streuung als repräsentativ für ganz Baden-Württemberg unterstellt. Es zeigte sich, dass es nicht zielführend war, möglichst viele Industrieholzabschnitte eines Bestandes zu untersuchen, da die Streuung innerhalb der Bestände von der Streuung zwischen den Beständen überlagert wurde. Stattdessen musste die Anzahl der Untersuchungsbestände deutlich erhöht werden. Mit der Formel (2) nach DAVIDIAN und GILITINAN (1995) konnte mit den beiden Streuungskomponenten und der Anzahl der zu untersuchenden Industrieholzabschnitte pro Bestand (a=10) der notwendige Stichprobenumfang (b) bei gewünschtem maximal zulässigem Fehler (±3%) des resultierenden Mittelwerts berechnet werden.

$$b = t^2_{b-1,1-\alpha/2} * \frac{\left(\tau^2 + \frac{\sigma^2}{a}\right) / \mu^2}{(L/\mu)^2} \quad (2)$$

mit

- b = Anzahl der zu untersuchenden Bestände
- $\tau^2$  = Varianz zwischen den Beständen
- $\sigma^2$  = Varianz innerhalb der Bestände
- $\mu$  = arithmetisches Mittel der Mittelwerte der Umrechnungsfaktoren der Bestände
- a = Anzahl der Probeinheiten pro Bestand
- (L/ $\mu$ ) = zulässiger Gesamtfehler (±3%)
- t = t-Wert der t-Tabelle bei Überschreitungswahrscheinlichkeit von 5% ( $\approx 2$ )

Es ergab sich eine Mindestanzahl von 33 zu untersuchenden Beständen. Da jedoch nur das Gebiet der Forstdirektion Freiburg sowie der Zustand der Safruhe durch die ersten elf Bestände abgedeckt worden war, konnte durch die zu erwartende zunehmende Entindung der Industrieholzabschnitte bei Vollernteraufarbeitung im Zustand des Saftflusses mit einer insgesamt größeren Streuung der Umrechnungsfaktoren gerechnet werden. Daher wurde unter qualitativer Bewertung der damit einhergehenden statistischen Risiken der Stichprobenumfang um fünf Bestände auf 38 erhöht.

Die nach Abschluss der Untersuchungen erneut durchgeführte Streuungserlegung mit Hilfe des gemischten Modells und die folgende Berechnung des benötigten Stichprobenumfangs ergab, dass mit der Untersuchung von 38 Beständen (19 im Zustand des Saftflusses, 19 im Zustand der Safruhe) die geforderte Genauigkeit des berechneten Mittelwerts von 97% sowohl auf Basis des NEWTON-Volumens als auch des forstüblich hergeleiteten Volumens eingehalten werden konnte.

### 3.5 Material

Das Material stammte aus insgesamt 38 breit über Baden-Württemberg gestreuten Fichten- und Fichten-/Tannen-Beständen im Staats- bzw. Kommunalwald. Je Bestand wurden zwischen 20 und 40 zufällig ausgewählte Abschnitte beprobt. Insgesamt gingen somit 620 Industrieholzabschnitte (551 Fichte, 69 Tanne) aus vollmechanisierter Aufarbeitung mit einem mittleren Mitendurchmesser von 13,2 cm in die Untersuchung ein.

## 4. ERGEBNISSE UND DISKUSSION

### 4.1 Der Umrechnungsfaktor

Als arithmetisches Mittel aus den Mittelwerten der untersuchten 38 Bestände in Baden-Württemberg ergaben sich die in *Tabelle 1* dargestellten Umrechnungsfaktoren zur Herleitung des Holzvolumens anhand des atro-Gewichts für Fichten- und Tannenindustrieholz.

Der innerhalb dieser Untersuchung ermittelte Faktor für die Umrechnung eines atro-Gewichtes mit Rinde in ein Festmaß ohne Rinde beträgt 2,14 (Fehler ±3%). Mit einer Wahrscheinlichkeit von 95% liegt der ermittelte Wert im Intervall zwischen 2,06 und 2,20. Aufgrund des geringen Unterschiedes dieses Wertes zum aktuellen

Tab. 4  
**Umrechnungsfaktoren.**  
**Conversion factors.**

Basis	Eingangsgröße	Eingangsgröße angegeben in	Umrechnungsfaktor	Umrechnung angegeben in	Vergleichswert
Volumen nach Newton	1,0	<i>t atro m. R.</i>	2,31	<i>m³ o. R.</i>	von 1976: 2,25
	1,0	<i>m³ o. R.</i>	432,9	<i>kg atro m. R.</i>	
forstübliches Volumen nach HKS	1,0	<i>t atro m. R.:</i>	2,14	<i>Fm o. R.</i>	von 1983: 2,20
	1,0	<i>Fm o. R.</i>	467,3	<i>kg atro m. R.</i>	

Umrechnungsfaktor von 2,20 lässt sich die Erfordernis einer entsprechenden Anpassung nicht ableiten.

## 4.2 Ausgewählte Ergebnisse von Einzelmerkmalen

### 4.2.1 Geringer Anteil an jungen (Erst-) Durchforstungsbeständen am Untersuchungskollektiv

Für das Untersuchungsmaterial aus 31 Beständen konnte das mittlere Alter zuverlässig ermittelt werden. Das untersuchte Holz aus den anderen sieben Untersuchungsorten stammte aus Sammelhieben.

Nur sehr wenige Bestände wiesen ein Alter von unter 40 Jahren auf und repräsentierten einen Zeithorizont, in dem sich Veränderungen der waldbaulichen Behandlung (weite Pflanzverbände, starke Eingriffe in der Jugend) deutlich zeigen könnten. Der geringe Anteil von Erstdurchforstungsbeständen ist vor allem darauf zurückzuführen, dass nach Einführung der Vollerntertechnologie in den 1990er Jahren ein sehr großer Teil der Erstdurchforstungsmaßnahmen bereits durchgeführt worden ist, so dass das heute zur Nutzung kommende Fichten- und Tannenindustrieholz (im öffentlichen Wald Baden-Württembergs) vorwiegend aus Beständen mittleren Alters gewonnen wird. Für die drei entsprechenden Bestände ergab sich eine mittlere Umrechnungszahl von 2,44 (Basis forstübliches Volumen) bzw. 2,63 (Basis NEWTON-Volumen). Mittelalte Bestände im Alter von 40 bis 69 Jahren nahmen den Großteil des Untersuchungskollektivs ein (19 Bestände und damit rund 61%). Hier konnte ein mittlerer Umrechnungsfaktor von 2,14 (Basis forstübliches Volumen) bzw. 2,31 (Basis NEWTON-Volumen) hergeleitet werden, der dem jewei-

ligen Gesamtmittelwert des Untersuchungskollektivs entspricht. Mit 2,00 bzw. 2,12 noch niedriger lag der Umrechnungsfaktor der neun Bestände mit einem Alter von 70 oder mehr Jahren. Einerseits zeigt sich hier die zu erwartende Tendenz der Zunahme der Holzdichte mit zunehmendem Bestandesalter (KREMPL, 1977; SEYFERT, 1987), andererseits jedoch auch eine überproportionale Zunahme des Umrechnungsfaktors in den jungen Beständen. Diese hängt zum Teil mit der stärkeren Entrindung des Holzes (im Mittel ca. 58%) der drei Jungbestände im Gegensatz zu den beiden anderen Klassen (ca. 26 bzw. 24% Entrindung) zusammen. Grundsätzlich jedoch stützen die in den jungen Beständen festgestellten überproportional höheren Umrechnungsfaktoren die Hypothese, dass sich vor allem durch neue waldbauliche Behandlungsvarianten eine Veränderung des Fichten- und Tannenholzindustrieholz vollzieht, die zu einer Erhöhung des Umrechnungsfaktors führt.

### 4.2.2 Astigkeit, Druckholz und Dichte in marknahen Jahrringen von Industrieholzabschnitten aus dem Kronenbereich

In insgesamt 32 der untersuchten 38 Bestände fiel sowohl Industrieholz aus dem Kronen- als auch aus dem Stammbereich der Bäume an. Die getrennte Auswertung nach Kronen- und Stammholz von Fichten und Tannen aus dem restlichen Schaft ergab keine wesentlich unterschiedlichen Umrechnungsfaktoren (Basis forstübliches Volumen). Tendenziell lagen die Werte aus dem Stammbereich unterhalb der Krone (2,18) etwas höher als diejenigen für den Kronenholzbereich (2,11). Ein entsprechender t-Test wies diese Unterschiede mit

Tab. 5  
**Umrechnungsfaktoren der unterschiedlichen Entrindungsklassen.**  
**Conversion factors according to different bark classes.**

Entrindung (%)	n	U <sub>NEWTON</sub>	U <sub>FORSTÜBLICH</sub>
<10	363	2,19	2,04
>10-20	84	2,27	2,11
>20-30	43	2,34	2,14
>30-40	19	2,39	2,23
>40-50	28	2,54	2,33
>50-60	23	2,56	2,4
>60	60	2,45	2,29

einer Sicherheit von 95% als zufällig aus. Holztechnologisch sind diese beobachteten Dichteverhältnisse unter anderem:

– in der großen Anzahl von Ästen begründet. So weist laut TRENDELENBURG und MAYER-WEGELIN (1955) Astholz von Fichte eine Darrdichte von bis zu  $0,9 \text{ g/cm}^3$  auf und wiegt im Durchschnitt etwa  $0,7 \text{ g/cm}^3$  und damit deutlich mehr als fehlerfreies Fichtenholz mit im Mittel zwischen  $0,40$  und  $0,45 \text{ g/cm}^3$  (TRENDELENBURG und MAYER-WEGELIN, 1955; KREMPL, 1977). Auch FILLBRANDT (1991) weist darauf hin, dass der Ast an der Stelle, an der er in den Stamm einläuft „von sehr schweren Holzschichten (Druckholz) eingehüllt [ist], die erst allmählich in das normale Stammholz übergehen. Je größer der Ast, desto größer ist sein Einfluss auf die Rohdichte [bei 0% Holzfeuchtigkeit] des ihn umgebenden Stammholzes. Für die forstliche Praxis dürfte deshalb die Astigkeit des Gipfelstücks, welches auch für die Nutzung als Industrieholz in Frage kommt, von Bedeutung sein.“

– in dem mittleren Durchmesser der Kronenstücke begründet. Das untersuchte Industrieholz wies einen mittleren HKS-konform gerundeten Mittendurchmesser ohne Rinde von  $12,7 \text{ cm}$  auf. Als mittlerer Mittendurchmesser ohne Rinde ergab sich in den Beständen, die eine Differenzierung zuließen, für das Kronenholz  $11,5 \text{ cm}$ , für die Stammstücke  $14,2 \text{ cm}$ . Es ist denkbar, dass der unter anderen von SEELING (2001) und BERNHART (1964) beschriebene Effekt, dass die Darrdichte bei Fichte in den marknahen Jahrringen am höchsten ist und sich erst in den darauf folgenden Jahrringen aufgrund der Ausbildung von juvenilem Holz verringert, dazu führt, dass der relativ größere Anteil dieser dichten Jahrringe in dem schwächeren Material zu insgesamt etwas dichterem Holz führt als in dem im Mittel wenige Zentimeter stärkeren Industrie-Stammholz.

#### 4.2.3 Entrindung

Da einzelstammweise die Entrindungsprozente eingeschätzt sowie die Rindenstärken gemessen wurden, konnte das Rindenvolumen jedes einzelnen Industrieholzabschnitts näherungsweise errechnet werden. Durch Multiplikation dieser Volumenwerte mit den seinerzeit von DIETZ (1975) hergeleiteten Raumdichtezahlen für Rinde von Fichten- ( $382 \text{ kg/m}^3$ ) und Tannenindustrieholz ( $492 \text{ kg/m}^3$ ) konnte der Anteil des Rindentrockengewichts am Gesamttrockengewicht jedes Probestückes berechnet werden. Die Einteilung in Entrindungsklassen zeigte tendenziell ein Ansteigen der mittleren Umrechnungsfaktoren in den einzelnen Klassen bei zunehmenden Entrindungsprozenten der untersuchten Abschnitte (Tabelle 2). Die Umrechnungsfaktoren für die höchsten Entrindungsprozente zeichnen diesen Trend nicht vollständig nach. Die Gründe hierfür konnten aufgrund unzureichender Abdeckung der Klassen nicht aufgeklärt werden.

#### 4.3 Regionale Ergebnisdifferenzierung und Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Gebiete

Die regionale Differenzierung der Ergebnisse für Baden-Württemberg war grundsätzlich möglich und wurde untersucht. Es ergeben sich auch punktuell

unterschiedliche Umrechnungsfaktoren für die untersuchten Baumarten Fichte und Tanne aus den kleinregional zusammengefassten Versuchsbeständen. Die Variationen der Umrechnungszahlen in und zwischen den Herkunftsgebieten lassen jedoch keine statistisch gesicherte und schlüssige gebietsspezifische Auswertung zu. Eine Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere geografische Gebiete ist nur beschränkt möglich, da es sich um eine „Case-Study“ Baden-Württemberg handelt. Für den Umrechnungsfaktor spielen landesspezifische Faktoren eine Rolle, die in anderen Bundesländern oder anderen europäischen Regionen anders sein können. Allerdings lassen sich die Tendenzen für einzelne Faktoren (junge Bestände bei entsprechender Behandlung, hoher Einfluss der Entrindung) übertragen.

### 5. SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die an dem beschriebenen Material durchgeführte Untersuchung bestätigt die seit 1983 deutschlandweit geltende Umrechnungszahl von  $2,20$  für den baden-württembergischen Raum, wenn für typisches Fichten- und Tannenindustrieholz anhand des atro-Gewichts mit Rinde ein forstübliches Holzvolumen in Festmetern ohne Rinde hergeleitet werden soll.

Wird dagegen die Ermittlung eines effektiven, dem Tauchvolumen angenäherten Frischvolumens angestrebt, so kann eine Umrechnungszahl von  $2,3$  verwendet werden. Grundsätzlich gilt zu beachten, dass es sich bei den Umrechnungsfaktoren immer nur um Durchschnittswerte handeln kann, von denen im Einzelfall (einzelner Bestand, einzelne Industrieholzladung) mit mehr oder weniger großen Abweichungen gerechnet werden muss.

Die in den jüngeren Beständen festgestellten, gegenüber den anderen Versuchsbeständen überproportional höheren Umrechnungsfaktoren stützen die Hypothese, dass sich durch heutige waldbauliche Bestandesbegründung- und Behandlungsvarianten eine Veränderung der mittleren Trockengehalte des Fichten- und Tannenindustrieholzes vollzieht, die mittelfristig eine Erhöhung des zur Herleitung des Holzvolumens benötigten Umrechnungsfaktors erforderlichen machen könnte. Aufgrund der Altersstruktur des aktuell in Baden-Württemberg genutzten Industrieholzes zeigen sich diese Veränderungen bisher nicht im hergeleiteten Umrechnungsfaktor.

Wesentlichen Einfluss auf die Umrechnung des atro-Gewichtes in ein Volumenfestmaß hat der zum Zeitpunkt der Vermessung vorhandene Rindenanteil. Dieser könnte theoretisch in der Praxis z. B. durch jahreszeitliche oder im Einzelfall angepasste Umrechnungsfaktoren berücksichtigt werden, was allerdings hinreichend genaue Abschätzungen des Rindenanteils voraussetzt. Bei längerfristigen Lieferbeziehungen ist allerdings ein Ausgleich dieses Effektes zu erwarten, so dass differenzierte Umrechnungsfaktoren nach Rindenanteilen nicht empfohlen werden.

Die Anwendung eines Umrechnungsfaktors im Bereich der Gewichtsvermessung setzt eine Überprüfung in regelmäßigen Abständen voraus. Die in der vorliegenden Arbeit dargelegten Standards sollten wegen



der hohen Praxisrelevanz der Umrechnungsfaktoren Berücksichtigung finden.

## 6. ZUSAMMENFASSUNG

Seit einigen Jahrzehnten wird in Deutschland zur Ermittlung des Verkaufsmaßes von Industrierohholz die Gewichtsvermessung durchgeführt. Auf Grundlage eines Stichprobenverfahrens wird hierzu das Trockengewicht (atro-Gewicht) einer Liefereinheit bestimmt. Vor allem auf Seiten der Forstwirtschaft besteht das Interesse, aus diesem Gewichtsmaß mit Rinde ein möglichst präzises Volumenmaß ohne Rinde abzuleiten, wodurch Mengenrelationen und Preisvergleiche zwischen unterschiedlichen Sortimenten (z.B. Energie- und Industrieholz) und innerhalb des Industrieholzsorimentes zwischen unterschiedlichen Abrechnungsverfahren (Gewichtsmaß, Raummaß) ermöglicht werden. Daneben ist das Volumenmaß ohne Rinde erforderlich für die forstliche Naturalbuchführung.

Die Umrechnung des atro-Gewichtsmaßes in ein Volumenmaß erfolgt in der Praxis auf der Basis eines Umrechnungsfaktors, der nach Einführung der atro-Gewichtsvermessung für die marktrelevanten Holzarten bestimmt wurde. In Deutschland ist seit 1983 für Fichten- und Tannenindustrieholz ein Umrechnungsfaktor von 2,20 bundesweit gültig.

Der vorliegenden Arbeit liegt die Hypothese zugrunde, dass dieser Umrechnungsfaktor – bedingt durch eine gerichtete Veränderungen der den Umrechnungsfaktor beeinflussenden Größen – nicht mehr zutreffend ist und daher einer Überprüfung und gegebenenfalls einer Anpassung bedarf. Die Gründe für eine mögliche Anpassung des Faktors werden in der Veränderung der mittleren Dichte des Holzes vermutet. Veränderungen der waldbaulichen Behandlung, des Ernährungszustandes der Wälder sowie der Zusammensetzung des Industrieholzsoriments im letzten viertel Jahrhundert könnten zu einem Absinken der durchschnittlichen Holzdicke des zur Verarbeitung bereitgestellten Rohholzes beigetragen haben.

Der innerhalb dieser Untersuchung ermittelte Faktor für die Umrechnung des atro-Gewichtes mit Rinde in das Festmaß ohne Rinde beträgt 2,14 (Fehler  $\pm 3\%$ ). Aufgrund des geringen Unterschiedes dieses Wertes zum aktuellen Umrechnungsfaktor von 2,20 lässt sich eine entsprechende Anpassung nicht ableiten.

## 7. SUMMARY

Title of the paper: *Review of the conversion factor to derive volume from dry weight measurement for spruce and fir industrial wood – a case study in Baden-Wuerttemberg.*

Common sale base for industrial timber used in the wood industry (e.g. pulp and paper or derived timber products) is in Germany the weight. Based on a sampling method the dry weight of wood substance of a certain delivery unit is determined at the mill gate according to uniform requirements. Additionally to the dry weight of the delivered timber it is necessary to derive a

proper volume for each unit. This allows price comparisons and quantitative comparisons between diverse assortments which are sold on base of a volume. The ratio between dry weight and volume of a certain unit of industrial timber is described by a conversion factor which includes the species and the bark situation of the wood. Based on scientific investigations and practical experiences average conversion factors were identified for the main wood species in the state of Baden-Wuerttemberg in the seventies and early eighties. For spruce and fir the conversion factor is 2.20. This factor is applied nationwide since 1983.

It is assumed that environmental changes, changes in forest nutrition and modified silviculture have influenced wood properties in the past decades. Additionally the compositions of industrial assortments have been modified in the past because of an increasing share of crown wood. Especially wood density is thought to be affected one-sidedly by these effects.

Therefore it seems to be essential to examine the existing conversion factor and possibly adjust it to current requirements.

Within this investigation an extensive case study was carried out for Baden-Wuerttemberg to check the validity of the applied conversion factor for spruce and fir. In particular, the influence of bark conditions (Table 5) and the methods, used to determine the volume, on this decisive conversion factor were examined.

The main result of this study (Table 4) is that for a conversion of the dry weight of industrial wood including bark into a solid volume without bark the factor is 2.14 (statistical error  $\pm 3\%$ ). The difference between this redefined value and the currently applied factor of 2.20 seems not to be sufficient to adjust the conversion factor.

The application of conversion factors in the field of dry weight measurement requires regular verifications. Therefore uniform standards have to be established and practical requirements must be considered.

## 8. LITERATUR

- ALDINGER, E. und D. ZULEGER (1975): Atrogewichts-Vermessung von Nadel-Schleifholz nach dem „Norwegischen Verfahren“. Diplomarbeit an der Forstwissenschaftlichen Fakultät der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.
- BADÉAU, V. et al. (1996): Long-term growth trends of trees: ten years of dendrochronological studies in France. In: SPIECKER, H., MIELIKÄINEN, K., KÖHL, M., SKOVSGAARD, J. P. (HG): Growth trends in European Forests (1996), S. 167–182.
- BERNHART, A. (1964): Über die Rohdicke von Fichtenholz. In: Holz als Roh- und Werkstoff, Jg. 22, H. 6, S. 215–228.
- BIECHELE, T. (2010): Produktionsalternativen in der Fichtenwirtschaft und deren Auswirkung auf die Rund- und Schnittholzqualität. Dissertation an der Forstwissenschaftlichen Fakultät der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.
- BLOßFELD, O., W. HAASEMANN and R. WONKA (1963): Rindendicke und Rindenanteile von dünnem Fichten- und Kiefernholz. In: Holztechnologie, Jg. 4, H. 2, S. 163–169.

- BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN (1983a): Empfehlungen zur Rationalisierung der Holzvermessung. *In: Der Forst- und Holzwirt*, Jg. **38**, H. 2, S. 35–40.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN (1983b): Umrechnungszahlen für Rohholz. *In: Holz-Zentralblatt*, Jg. **109**, H. 90, S. 2197.
- DAVIDIAN, M. and D. M. GILTINAN (1995): *Nonlinear Models for Repeated Measurement Data*. Suffolk, Great Britain: St. Edmundsbury Press Ltd.
- DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E.V. (1977): Prüfung von Holz – Bestimmung des Feuchtigkeitsgehaltes (DIN 52 183).
- DIETZ, P. (1966): Die Vermessung von Industrieholz nach Gewicht. Dissertation an der Forstwissenschaftlichen Fakultät der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.
- DIETZ, P. (1972): Vermessung von Industrieholz nach Gewicht. Zwischenbilanz der bisherigen Erfahrungen und Ausblick. *In: Sonderdruck aus dem Holz-Zentralblatt*, Jg. **98**, H. 33, S. 486–491.
- DIETZ, P. (1975): Dichte und Rindengehalt von Industrieholz. *In: Holz als Roh- und Werkstoff*, Jg. **33**, H. 4, S. 135–141.
- DIETZ, P. (1977): Gewichtsvermessung von Industrieholz, warum? Technik der Vermessung, praktische Probleme. *In: Allgemeine Forstzeitung*, Jg. **88**, H. 4, S. 81–84.
- DIETZ, P. (1983): Vermessung von Industrieholz nach Gewicht. Umfang, technische und organisatorische Probleme. *In: Sonderdruck aus dem Holz-Zentralblatt*, Jg. **109**, H. 114, S. 1548–1550.
- ERB, W. (1984): Vermessung und Verkauf von Industrieholz lang nach Gewicht. Erfahrungen im Staatswald Baden-Württembergs. *In: Allgemeine Forstzeitschrift*, Jg. **39**, H. 42, S. 1048–1050.
- FARAWAY, J. J. (2005): *Extending the Linear Model with R: Generalized Linear, Mixed Effects and Nonparametric Regression Models* (Chapman & Hall/CRC Texts in Statistical Science Series, 68).
- FILLBRANDT, TH. (1991): Die Variabilität der Rohdichte von Fichten- und Tannenholz. Abschlussarbeit einer Literaturstudie für die Schweizerische Interessengemeinschaft Industrieholz.
- GERKE, R. (1973): Dichte von Industrieholz. Diplomarbeit an der Forstwissenschaftlichen Fakultät der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.
- GRAMMEL, R. (1990): Zusammenhänge zwischen Wachstumsbedingungen und holztechnologischen Eigenschaften der Fichte. *In: Forstwissenschaftliches Centralblatt*, Jg. **109**, S. 119–129.
- HENEKA, R. (1993): Der Waldbau verändert Holzeigenschaften auch im mikroskopischen Bereich. Ausbeute und Fasereigenschaften von Sulfitzellstoff in Abhängigkeit von der Wachstumsgeschwindigkeit der Fichte. *In: Holz-Zentralblatt*, Jg. **119**, H. 25, S. 390.
- KLÄDTKE, J. (2005): Möglichkeiten und Grenzen waldbaulicher Einflussnahme auf die Holzqualität von Nadelbäumen mittels Z-Baum-Normen. *Forst und Holz* **60** (10), 403–407
- KNIGGE, W. und H. SCHULZ (1966): *Grundriss der Forstbenutzung*. Hamburg und Berlin: Paul Parey.
- KRAMER, H. und A. AKÇA (1995): *Leitfaden zur Waldmesslehre*. 3. erweiterte Auflage J. D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt a. M.
- KRAUSE, C. und D. ECKSTEIN (1992): Holzzuwachs an Ästen, Stamm und Wurzeln bei normaler und extremer Witterung. *In: MICHAELIS, W., BAUCH, J. (Hg.): Luftver-*
- unreinigungen und Waldschäden am Standort „Postturm“*, Forstamt Farchau/Ratzeburg. Geesthacht: GKSS-Forschungszentrum, S. S. 215–242.
- KREMPL, H. (1977): Gewicht des Fichtenholzes in Österreich. *In: Allgemeine Forstzeitung*, Jg. **88**, H. 4, S. 76–81.
- MINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LÄNDLICHEN RAUM BADEN-WÜRTTEMBERG (2002): *Verfahrensvorschrift zur Gewichtsvermessung von Industrieholz*. Aktuelle Version vom Mai 2002.
- NIMSCH, CH. (1986): Einige holztechnologische Eigenschaften der Baumart Fichte (*Picea abies* (L.) Karst.) in Abhängigkeit von Jahrringbreite und Spätholzanteil. Diplomarbeit an der Forstwissenschaftlichen Fakultät der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.
- PRETZSCH, H. (1999): Waldwachstum im Wandel. *In: Forstwissenschaftliches Centralblatt*, Jg. **118**, H. 4, S. 228–250.
- SAUTER, U. H., J. STAUDENMAIER und S. VERHOFF (2010): Mehr Transparenz im Rundholzgeschäft – Elektronische Rundholzvermessung: Wie groß sind die Volumenunterschiede wirklich? *In: Holz-Zentralblatt* **136** (50), 1260–1271.
- SCHNEIDER, O. und P. HARTMANN (1996): Growth Trends of Trees. Regional Study on Norway Spruce (*Picea abies*, [L.] Karst.) in the Swiss Jura. *In: SPIECKER, H., MIELIKÄINEN, K., KÖHL, M., SKOVSGAARD, J. P. (HG): Growth-trends in European Forests* (1996), S. 183–198.
- SCHÖPFER, W. (1982): Entwicklungstendenzen bei der Vermessung von Massensortimenten. *In: Forstwissenschaftliches Centralblatt*, Jg. **101**, H. 3, S. 121–127.
- SCHULZ, H., B. BELLMANN und L. WAGNER (1984): Druckholz, Rohdichte und Wasseraufnahme in Fichtenholz. *In: Holz als Roh- und Werkstoff*, Jg. **42**, H. 3, S. 399.
- SCHWEIZERISCHE INTERESSENGEMEINSCHAFT FÜR INDUSTRIEHOLZ (1991): *Atro-Gehalt und Raumdichte von frisch gefällten Fichten*.
- SEELING, U. (2001): Merkmale und verwendungsbezogene Eigenschaften des Holzes der Fichte (*Picea abies* (L.) Karst.) bei Überführung von einschichtigen Reinbeständen in strukturierte Mischbestände. Habilitationsschrift an der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.
- SEYFERT, D. (1987): Der Einfluss des Standorts auf die technologischen Holzeigenschaften der Fichte (*Picea abies* Karst.) schwerpunktmäßig untersucht an Probenmaterial verschiedener Schwarzwaldstandorte. Diplomarbeit an der Forstwissenschaftlichen Fakultät der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.
- SPIECKER, H., K. MIELIKÄINEN and M. KÖHL et al. (Hg.) (1996): *Growth Trends in European forests*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- STABLO, J. (2008): *Werksvermessung von Industrieholz – Überprüfung der Umrechnungsfaktoren für die Bestimmung des Holzvolumens anhand des Atro-Gewichts für Fichte und Tanne*. Diplomarbeit an der Fakultät für Forst- und Umweltwissenschaften der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.
- TRENDELENBURG, R. und H. MAYER-WEGELIN (1955): *Das Holz als Rohstoff*. München: Carl Hanser Verlag.
- UNTHEIM, H. (1996): Zur Veränderung der Produktivität von Waldstandorten (Mitteilungen der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, 198).