

Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse

Herausgeber: Schweizerischer Forstverein

Band: 153 (2002)

Heft: 6

Artikel: Holzfeuchte in Fichtestämmen (*Picea abies* (L.) Karst.) bei Ganzbaumlagerung im Bestand

Autor: Klaiber, Volker / Seeling, Ute / Mutz, Rüdiger

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1098234>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 01.05.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Holzfeuchte in Fichtenstämmen (*Picea abies* (L.) Karst.) bei Ganzbaumlagerung im Bestand

VOLKER KLAIBER, UTE SEELING und RÜDIGER MUTZ

Keywords: Norway Spruce; full tree storage; moisture content; sapwood; heartwood. FDK 174.7 *Picea* : 34 : 812.21 : 847.1 : (430)

Abstract: Possibilities of pre-drying stems using a full tree storage are proved, and the consequences for the development of the moisture content quantified. Based on the mathematical derivation of an exponential function, radial areas are separated according to their empirical variation of moisture content along the diameters of the stems.

Abstract: Möglichkeiten der Vortrocknung des Stammholzes durch eine sogenannte Ganzbaumlagerung werden geprüft und die Auswirkungen für die Entwicklung der Holzfeuchte erfasst und quantifiziert. Dabei werden – basierend auf der mathematischen Ableitung einer Exponentialfunktion – radiale Bereiche anhand der empirischen Variation der Holzfeuchte entlang des Stammdurchmessers voneinander abgegrenzt.

1. Problemstellung und Zielsetzung

1.1 Einleitung

Für Schnittholz, das im konstruktiven Bereich eingesetzt werden soll, ist z.B. in DIN 4074¹ – ebenso wie in internationalen Standards – eine Holzfeuchte von $u=15\pm 3\%$ vorgegeben. Die Möglichkeiten der Vortrocknung des Stammholzes durch eine sogenannte Ganzbaumlagerung – d.h. der Baum wird nach der Fällung für einen bestimmten Zeitraum mit der grünen Krone im Bestand belassen – mit dem Ziel der Verkürzung der technischen Trocknung des Schnittholzes wurde in der Vergangenheit immer wieder diskutiert.

Zielsetzung der vorliegenden Untersuchung ist es, die Veränderung der Holzfeuchte in Fichtenstämmen in Abhängigkeit von der Dauer der Ganzbaumlagerung im Bestand zu erfassen und zu quantifizieren. Für eine differenzierte Analyse der Holzfeuchte im Stammquerschnitt erfolgt – basierend auf einer mathematischen Ableitung – eine Abgrenzung verschiedener radialer Bereiche.

1.2 Stand des Wissens

Es liegen bisher wenige systematische Untersuchungen zu den oben genannten Fragestellungen vor. Es gibt einige Veröffentlichungen, die sich mit der sogenannten Lebendlagerung ganzer Bäume befassen. Dabei wird unter Lebendlagerung verstanden, dass – z.B. vom Sturm geworfene – Bäume mit Wurzelkontakt unverändert im Bestand verbleiben. Von DELORME & WUJCIAK (1973) wurde sowohl bei Fichten als auch bei Kiefern festgestellt, dass die Lebendlagerung maximal eine Vegetationsperiode nicht überschreiten soll, da bei längerer Dauer die Gefahr von Pilzinfektionen deutlich zunimmt. Diese Ergebnisse wurden von BÜCKING *et al.* (1997) für Douglasie bestätigt. EISENBARTH (1995) untersuchte die Lebendlagerung sturmgeworfenen Nadelholzes hinsichtlich der qualitativen Entwicklung (Rissbildung, Insekten- und Pilzbefall) während des Zeitraums einer Vegetationsperiode, die Holzfeuchte fand dabei keine Berücksichtigung. VORREITER (1929) geht beim Liegenlassen von Nadelhölzern mit Krone davon aus, dass die Stämme bis zu ein Drittel ihres Wassergehaltes verlieren können. HARZMANN (1955) stellte hingegen eine schnellere Austrocknung seiner Versuchsstämme ohne Krone gegenüber den Stämmen mit Krone fest und rät daher der forstbetrieblichen Praxis von einer Ganzbaumlagerung entschieden ab. Auch BELTRAM (1952) kommt nach seinen Unter-

suchungen an Fichte zu dem Schluss, dass das Belassen der Krone am Stamm keine Auswirkungen auf dessen Austrocknung hat. HILF (1942) konnte in seinen während des Vor- und Nachsommers durchgeführten Austrocknungsversuchen an ganzen Kiefernstämmen (mit Krone) keine deutliche Feuchteabsenkung verzeichnen, sondern stellte vielmehr eine vollständige Entwertung der Stämme durch einen Befall mit Bläuepilzen fest. POLSTER & SCHLETTER (1962) wiesen hingegen an schwach dimensionierten Fichten nach einer während des Spätsommers durchgeführten Ganzbaumlagerung von 28 Tagen eine Holzfeuchte von durchschnittlich nur noch 30% nach, während die entasteten Stämme noch einen Wert von über 50% aufwiesen.

OLIVER-VILLANUEVA & SACHSSE (1992) sehen in der physiologischen Trocknung² nur bei günstigen Witterungsbedingungen und nur bei relativ kurzen Lagerungszeiträumen ein vorteilhaftes Verfahren der Rundholzlagerung. Ihre Bewertung beruht auf Untersuchungen an im Februar 1990 vom Sturm geworfenen und anschliessend vom Wurzelteller getrennten Buchen. Sacharow (zit. nach ALEXANDROW 1953) schreibt über die sogenannte Ganzbaumlagerung (ohne Wurzelkontakt) von Buchen, «dass ein Baum schon nach fünf Tagen – neunzigmal schneller als bei einer der bisher angewendeten Methoden – seinen Feuchtigkeitsgehalt verloren hatte».

1.3 Zielsetzung

Im Einzelnen werden mit der vorliegenden Untersuchung folgende Hypothesen überprüft:

- Durch eine Ganzbaumlagerung im Bestand kann in den Stämmen von Fichten eine Absenkung der Holzfeuchte erreicht werden.
- Die Dauer der Ganzbaumlagerung beeinflusst das Ausmass der Abnahme der Holzfeuchte.
- Das Ausmass der Abnahme der Holzfeuchte unterscheidet sich zwischen den radialen Holzbereichen.
- Das Ausmass der Abnahme der Holzfeuchte unterscheidet sich zwischen den Baumhöhen.

2. Versuchsmaterial und Methoden

Für die vorliegende Untersuchung wurden insgesamt 65 dominante und vitale Fichten aus einem durchschnittlich 111 Jahre alten Fichtenreinbestand im Sauerland, Forstamt Schmallen-

² Definition: Beschleunigte Wasserabgabe aus dem vom Wurzelteller abgetrennten Schaftholz mittels Ausnutzung der Blatttranspiration während der Vegetationszeit.

¹ DIN-Normen gemäss DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (2000).

berg, gefällt. Der Versuchsstandort ist ein frischer, mässig nährstoffreicher, sandiger Lehmboden. In *Tabelle 1* sind zur Beschreibung der Stammarchitektur der Versuchsbäume (Brusthöhendurchmesser, Baumhöhe und Höhe des Kronenansatzes) die Kennwerte der deskriptiven Statistik zusammengestellt. Alle Versuchsbäume wurden einheitlich am 6. Dezember 1999 gefällt und mit der grünen Krone in dem Bestand belassen, der im Forsteinrichtungswerk als lückig bis licht klassifiziert wurde.

Es wurden fünf Kollektive mit jeweils 13 Versuchsbäumen gebildet, die sich in der Dauer der Ganzbaumlagerung (GL=0 bis 155 Tage) unterschieden (*Tabelle 2*). Nach Ablauf der jeweiligen Lagerungsdauer wurden die Versuchsbäume des Kollektivs entastet, von Hand entrindet und später im Sägewerk zu Schnittholz verarbeitet.

Neben den holz- und baumspezifischen Faktoren sind Lufttemperatur und relative Luftfeuchtigkeit für die Trocknung des Holzes von Bedeutung. Diese Variablen wurden mittels eines Thermohygrographen im Versuchsbestand – während der gesamten Dauer der Ganzbaumlagerung – kontinuierlich erfasst und dokumentiert (*Abbildung 1*). Von diesen Variablen wird die Temperatur an der Stammoberfläche beeinflusst. Eine Erfassung der Temperaturen an den jeweiligen Stämmen war technisch jedoch nicht möglich.

Zur Bestimmung eines stammradialen Gradienten der relativen Holzfeuchte (DIN 52 183) wurden aus den Stämmen in jeweils zwei unterschiedlichen Höhen Stammscheiben (Dicke rund 20 cm) entnommen (*Abbildung 2*). Aus Gründen der späteren Verwendung der Erdstämme als Sägeholz wurde die erste Scheibe nach einer Länge von 6,10 m gewonnen. Dabei wurde darauf geachtet, dass die Stammabschnitte keine durch Pilzbefall verursachte Holzfäule aufwiesen. In Fällen einer Stammfäule wurden 1 m lange Stammrollen so oft abgetrennt, bis befallsfreie Versuchsabschnitte in der erforderlichen Länge gewonnen werden konnten.³

³ Dabei handelte es sich um Pilzbefall, der unmittelbar nach der Fällung festgestellt wurde, d.h. nicht um lagerungsbedingten Pilzbefall und Verfärbungen.

Die Entnahme der zweiten Stammscheibe erfolgte unmittelbar in Höhe des Kronenansatzes, d.h. aus dem Internodialbereich, der sich in Richtung des Terminaltriebs anschliesst (*Abbildung 2*). Alle Scheiben wurden in einer Weise geschnitten, dass sie weitgehend frei von Ästen und anderen Holzfehlern waren und unmittelbar nach der Entnahme in Plastiksäcken luftdicht verpackt.

Die exakte Erfassung der tatsächlichen Holzfeuchte bei unterschiedlich langer Ganzbaumlagerung erforderte einen schnellen Abtransport sowie die zügige Zerlegung in Kleinproben.

2.1 Ermittlung der Holzfeuchte und Holzdicke

Die Prüfkörper zur Erfassung der Holzfeuchte wurden im Labor mit einer langsam arbeitenden, hydraulisch angetriebenen Spaltmaschine hergestellt. Dabei wurde entlang des Stammscheibendurchmessers in Nord-Süd-Richtung jeweils ein Riegel entnommen und dieser in radialer Richtung in etwa 20 mm breite Prüfkörper gespalten (*Abbildung 3*).

Die Ausformung der Prüfkörper mittels Säge erschien deshalb nicht zweckmässig, da beim Sägeprozess Reibungswärme entsteht, die zu einer unkontrollierten Absenkung der Holzfeuchte in den Randbereichen der Prüfkörper führen kann. Die relative Holzfeuchte der gewonnenen Prüfkörper (etwa 100 x 80 x 20 mm²) wurde nach DIN 52 183⁴ ermittelt.

In der vorliegenden Untersuchung wurde als Variable zur Beschreibung der Holzfeuchtigkeit die relative Holzfeuchte ausgewählt, obwohl diese dem Einfluss der Holzdicke unterliegt. Von der Dichte unbeeinflusst wäre z.B. die prozentuale Porensättigung nach SCHUMACHER & SCHULZ (1991). Da jedoch die nach DIN 52 182 ermittelte Darrdichte mittels Varianzanalyse zwischen beiden untersuchten Baumhöhen nicht signifikant voneinander zu unterscheiden war (*Tabelle 3*), erscheint es im vorliegenden Fall gerechtfertigt, die in der Literatur übliche relative Holzfeuchte zu verwenden.

⁴ In DIN 52 183 wird die Variable als «relative Holzfeuchte» definiert. Im Weiteren wird vereinfachend nur von «Holzfeuchte» gesprochen.

Variable	n	\bar{x}	Md	X_{\min}	X_{\max}	s	VK [%]
BHD [cm]	65	56,35	56,10	44,00	77,00	6,52	1,43
Baumhöhe [m]	65	34,49	34,45	27,55	45,09	2,59	0,95
Kronenansatz [m]	65	20,72	20,94	12,95	25,12	2,54	1,52

n: Anzahl, \bar{x} : Arithmetischer Mittelwert, Md: Median, X_{\min} : Minimalwert, X_{\max} : Maximalwert, s: Standardabweichung, VK: Variationskoeffizient

Tabelle 1: Kennwerte der deskriptiven Statistik für ausgewählte Baumvariablen für das Gesamtkollektiv.

Table 1: Value of descriptive statistics for chosen tree variables applied to the collective.

Kollektiv	N [Bäume]	Termin Fällung	Versuchsvariante	Termin Aufarbeitung
I	13	06. Dezember 1999	Praxisübliche Variante: sofortige Entastung, Entrindung, Rückung	06. Dezember 1999
II	13		Ganzbaumlagerung im Bestand: 35 Tage Entastung, Entrindung, Rückung	10. Januar 2000
III	13		Ganzbaumlagerung im Bestand: 65 Tage Entastung, Entrindung, Rückung	07. Februar 2000
IV	13		Ganzbaumlagerung im Bestand: 100 Tage Entastung, Entrindung, Rückung	13. März 2000
V	13		Ganzbaumlagerung im Bestand: 155 Tage Entastung, Entrindung, Rückung	08. Mai 2000

Tabelle 2: Versuchsplanung, Aufteilung der Bäume in die Versuchskollektive entsprechend der Varianten der Ganzbaumlagerung nach der Fällung.

Table 2: Trial planning, separation of the trees in the trial collective according to the variants of entire tree storage after felling.

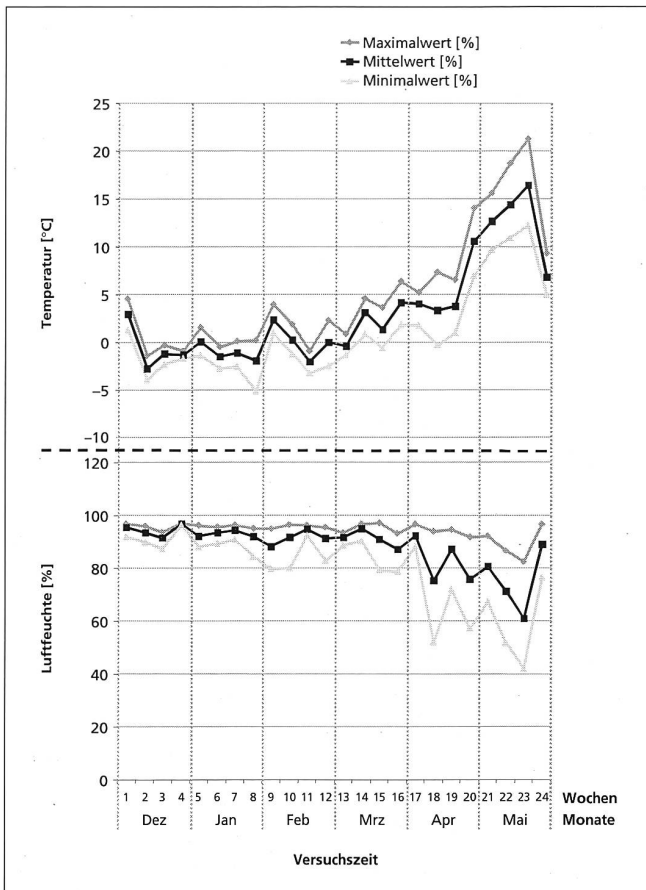


Abbildung 1: Temperatur und Luftfeuchte während der Zeit der Ganzbaumlagerung im Bestand; Mittelwerte und Extremwerte je Woche (Dezember 1999 bis Mai 2000).

Figure 1: Temperature and humidity during storage of entire trees in the stand; average and extreme weekly values (December 1999 to May 2000).

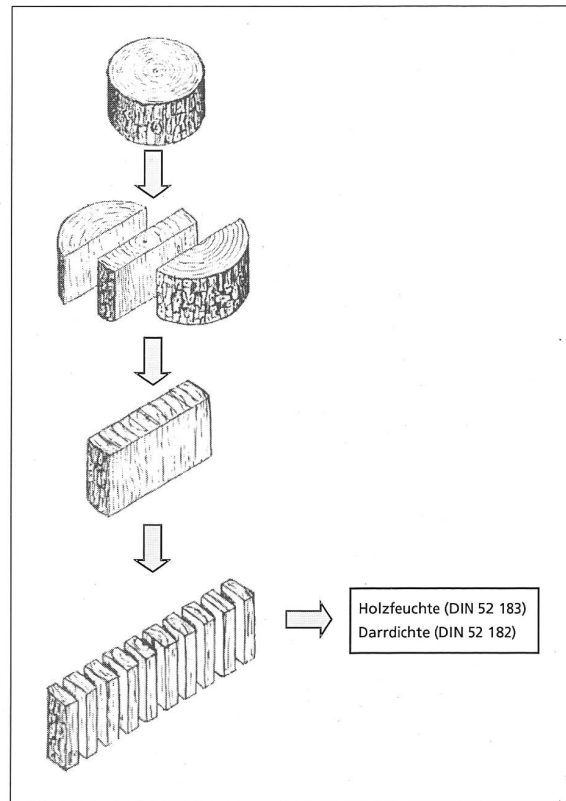


Abbildung 3: Ausformung der Stammscheiben zu Kleinproben.

Figure 3: Preparation of the stem slices to test samples.

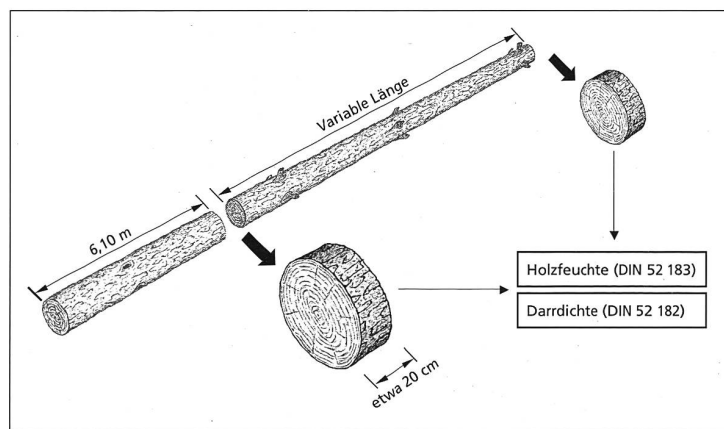


Abbildung 2: Einteilung der Versuchsstämme und Entnahme der Stammscheiben.

Figure 2: Distribution of examined stems and removal of the stem slices.

Tabelle 3: Rohdichte der Kleinproben (DIN 52 182), Kennwerte der deskriptiven Statistik, differenziert nach Kollektiven und Baumhöhen.

Table 3: Raw density of test samples (DIN 52 182), values of the descriptive statistics, differentiated according to trial collective and tree height.

Kollektiv [Lagerungszeit]	Erdstamm							Kronenabschnitt						
	n	ξ	Md	X_{min}	X_{max}	s	VK [%]	n	ξ	Md	X_{min}	X_{max}	s	VK [%]
I [0 Tage]	239	0,41	0,40	0,17	0,64	0,09	1,42	186	0,41	0,41	0,27	0,58	0,05	0,89
II [35 Tage]	254	0,40	0,41	0,24	0,59	0,06	0,93	176	0,42	0,42	0,25	0,55	0,05	0,84
III [65 Tage]	246	0,40	0,40	0,24	0,60	0,06	0,92	169	0,41	0,40	0,35	0,55	0,04	0,75
IV [100 Tage]	240	0,41	0,41	0,30	0,55	0,05	0,83	164	0,45	0,42	0,36	3,96	0,28	4,85
V [155 Tage]	244	0,41	0,40	0,19	0,56	0,06	0,99	197	0,41	0,42	0,31	0,51	0,04	0,78
Gesamt	1223	0,41	0,40	0,17	0,64	0,07	0,46	892	0,42	0,41	0,25	3,96	0,13	1,01

n: Anzahl, ξ : Arithmetischer Mittelwert, Md: Median, X_{min} : Minimalwert, X_{max} : Maximalwert, s: Standardabweichung, VK: Variationskoeffizient

2.2 Bildung von radialen Feuchtigkeitsbereichen

Zur besseren Erfassung der Auswirkungen einer Ganzbaumlagerung auf die Holzfeuchte wurden entlang des Stammquerschnitts radiale Bereiche definiert.

Die Einteilung der Stammquerschnitte erfolgte in die Bereiche Aussen I, Innen I, Stammzentrum, Innen II, Aussen II. Diese Kategorien ergeben sich ausschliesslich anhand der radialen Variation der Holzfeuchte. Ihre Beschreibung erfolgte mittels multipler Regressionsanalyse. Unter Berücksichtigung der Abhängigkeit der Daten (Autokorrelation) und aufgrund erster empirischer Analysen wurde eine Exponentialfunktion ausgewählt. Die Anpassung der Kurven an die empirische radiale Feuchtevariation kann mit $R^2=0,89$ für die Erdstamm-scheiben und $R^2=0,91$ für die Scheiben aus der Höhe des Kronenansatzes als sehr gut bezeichnet werden.

Inwieweit die ausgewiesenen radialen Bereiche mit Splint- und Kernholz identisch sind, wird in Kapitel 4 detailliert diskutiert. Obwohl es in der Literatur Hinweise darauf gibt, dass sich die Holzfeuchte beim Übergang von Kern- und Splintholz sehr kleinräumig ändert (SELL *et al.* 1987, GRUBER 1995), wird in der vorliegenden Untersuchung eine stetige Funktion zur Abgrenzung der radialen Bereiche gewählt und damit den Ansätzen z.B. von FRÜHWALD *et al.* (1984) gefolgt (Abbildungen 4 und 5). Auch MICHELS (1943) und TRENDELENBURG (1955) verwenden zur Beschreibung der radialen Veränderung des Feuchtigkeitsgehaltes eine stetige Funktion.

Dieses Vorgehen erscheint aufgrund der gemessenen Daten gerechtfertigt.

Die Einteilung der empirischen Werte in die radialen Bereiche erfolgte in mehreren Schritten:

1. Auswahl der Exponentialfunktion zur Anpassung an die empirisch gewonnenen Daten der radialen Feuchteverteilung:

$$f(z) = a \cdot e^{-b \cdot z^2 - c \cdot z} \quad (I)$$

z: Radiale Position der Probe entlang des Baumdurchmessers.

f(z): Durch die Funktion rechnerisch hergeleitete Holzfeuchte.

a, b, c: zu schätzende Parameter der e-Funktion.

2. Bestimmung der Grenzen der radialen Bereiche:

$$a) \frac{\partial y}{\partial z} = a \cdot e^{-b \cdot z^2 - c \cdot z} \cdot (-2 \cdot b \cdot z - c)$$

Abgrenzung des radialen Bereichs Stammzentrum beim Minimum der Funktion:

$$\frac{\partial y}{\partial z} = 0$$

$$\Leftrightarrow (-2 \cdot b \cdot z - c) \cdot a \cdot e^{-b \cdot z^2 - c \cdot z} = 0$$

Ein Produkt ist gleich Null, wenn einer der Produktterme gleich Null ist.

a = 0 führt zu einer trivialen Lösung f(z) = 0;

$e^{-b \cdot z^2 - c \cdot z}$ kann nicht Null werden!

Daraus folgt:

$$\Leftrightarrow -2 \cdot b \cdot z - c = 0$$

$$\Leftrightarrow z_{\text{Min.}} = -\frac{c}{2 \cdot b} \quad (y''(z_{\text{Min.}}) > 0)$$

«Minimum» (II)

Abgrenzung von äusseren und inneren Stammbereichen (Aussen und Innen) bei den Wendepunkten der Funktion:

$$\frac{\partial^2 y}{\partial z^2} = 0$$

$$\frac{\partial^2 y}{\partial z^2} = a \cdot e^{-b \cdot z^2 - c \cdot z} \cdot [(-2 \cdot b \cdot z - c)^2 - 2 \cdot b] = 0$$

$$\frac{\partial^2 y}{\partial z^2} = (-2 \cdot b \cdot z - c)^2 - 2 \cdot b = 0$$

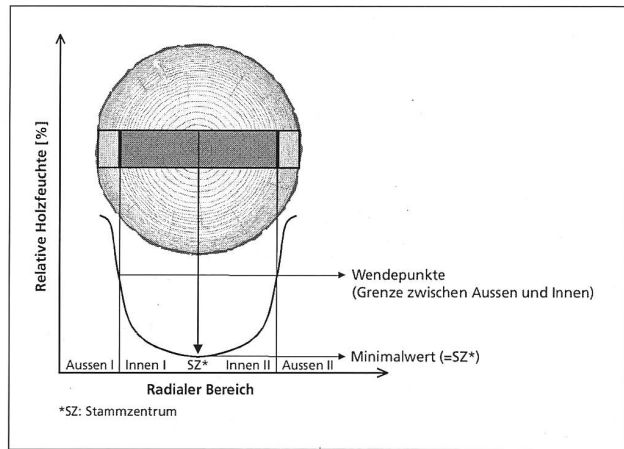


Abbildung 4: Einteilung in radiale Feuchtebereiche anhand der empirisch ermittelten Werte der relativen Holzfeuchte mittels einer Exponentialfunktion.

Figure 4: Distribution of radial moisture according to empirical values of the relative moisture content using an exponential function.

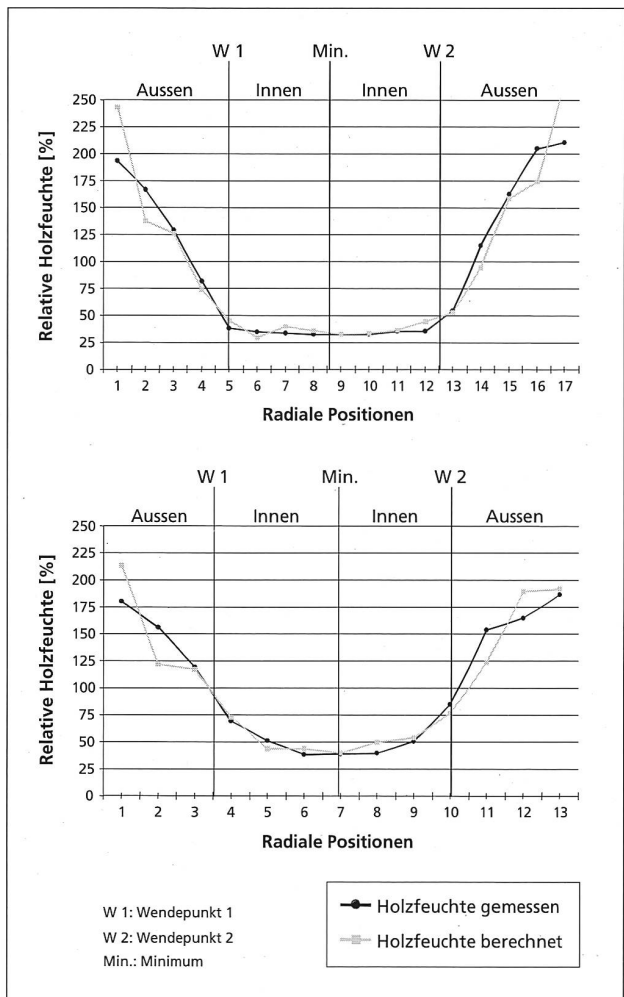


Abbildung 5: Vergleich der empirischen Werte der relativen Holzfeuchte mit den mittels der Exponentialfunktion rechnerisch hergeleiteten Werten am Beispiel zweier Stammscheiben.

Figure 5: Comparison of the empirical values of relative moisture of two stem slices using the values of mathematically derived exponential function.

$$= z^2 + \frac{c}{2b} \cdot z + \frac{c^2 - 2 \cdot b}{4 \cdot b^2} = 0$$

$$z_{1/2} = -\frac{c}{2 \cdot b} \pm \sqrt{\left(\frac{c}{2 \cdot b}\right)^2 - \frac{c^2 - 2 \cdot b}{4 \cdot b^2}}$$

$$= -\frac{c}{2 \cdot b} \pm \sqrt{\frac{1}{2 \cdot b}}$$

⇒ «Wendepunkte» (III)

3. Bestimmung der Parameter a, b, und c über eine lineare Regression mit einem autoregressiven Prozess p-ter Ordnung: AR(p)

- 3.1 Logarithmische Transformation von y (Log. naturalis)
 $\ln(y) = \ln(b) - a \cdot z^2 - c \cdot z$

- 3.2 Autoregressiver Prozess p-ter Ordnung (hier: p=2):
 Residuen μ_t sind abhängig von Residuen e_{t-1} und e_{t-2} .
 $Y^* = \ln(y) = \ln(a) - b \cdot z^2 - c \cdot z + (\mu_t - \alpha_1 \cdot e_{t-1} - \alpha_2 \cdot e_{t-2})$

4. Schätzung der Regressionsparameter über eine Regressionsanalyse mit einem AR(p)-Prozess:

Unter der Berücksichtigung der Autokorrelation der Daten (d.h. die ermittelten Feuchtigkeitswerte in der jeweiligen radialen Position entlang des Stammdurchmessers sind aufgrund des spezifischen Holzaufbaus voneinander abhängig) wurden zwei autoregressive Modelle der Residuen – ein AR(1)-Prozess und ein AR(2)-Prozess – getrennt für jede Stammscheibe gerechnet. Bei der Mehrzahl der Proben hat sich ein AR(2)-Prozess als statistisch bedeutsamer erwiesen, da dort das Residuum zu einer bestimmten radialen Position nicht nur vom Residuum der direkt benachbarten Probe, sondern zusätzlich auch von dem Residuum der um zwei Positionen daneben liegenden Probe abhängt. Wird diese Abhängigkeit nicht berücksichtigt, kann dies zu einer verzerrten Schätzung der Regressionsparameter der e-Funktion führen. Die mittlere Autokorrelation 1. Ordnung beträgt –0,10 (Min.: –0,51, Max.: 0,16), die mittlere Autokorrelation 2. Ordnung beträgt –0,16 (Min.: –0,80, Max.: 0,37). Die mittlere Autokorrelation wurde nach Fisher-Z-Transformation der Korrelationen berechnet und wieder in Korrelation mit Fisher-Z-Rücktransformation umgerechnet (COHEN & COHEN 1983).

$$Y^* = b_0 + b_1 \cdot z^2 + b_2 \cdot z + \mu_t - \alpha_1 \cdot e_{t-1} - \alpha_2 \cdot e_{t-2}$$

5. Berechnung der Wendepunkte und des Minimums aus den Regressionsparametern:

$$a = e^{b_0} \quad b = b_1 \quad c = b_2$$

⇒ Einsetzen dieser Größen in (II) und (III)

Aus den berechneten Punkten der Kurve ergeben sich individuell für jede Stammscheibe die charakteristischen Grenzen für die unterschiedlichen Feuchtebereiche Aussen I, Innen I, Stammzentrum, Innen II, Aussen II (Abbildungen 4 und 5). Basierend auf diesen Grenzen wurden individuell für jede Stammscheibe die prozentualen Flächenanteile an Kern- und Splintholz berechnet (Abbildung 6). Für den Stammbereich Aussen ergab sich in den Erdstammabschnitten ein relativer Flächenanteil von rund 70%, während er in den Kronenabschnitten etwa 76% betrug. Die Stammbereiche Innen machten entsprechend 30% bzw. 24% aus. Weil die radialen Bereiche nicht nach der physiologischen Aktivität, sondern ausschliesslich mathematisch definiert sind, werden die üblichen Bezeichnungen Splint- bzw. Kernholz bewusst vermieden. Inwieweit die Breite der rechnerisch hergeleiteten radialen Bereiche dem Splint- bzw. Kernholz entspricht, wird in der Diskussion ausführlich erläutert.

3. Ergebnisse

Die Scheiben der Erdstammabschnitte des Kollektivs I weisen mit $u=70\%$ und einer Standardabweichung von $\pm 55\%$ die im Mittel höchste Holzfeuchte auf. Die mit $u=66 \pm 51\%$ ⁵ niedrigste Holzfeuchte zeigt sich in den Erdstammabschnitten des Kollektivs III. An den Erdstammabschnitten der mit insgesamt 155 Tagen am längsten im Bestand gelagerten Bäume des Kollektivs V wurde eine Holzfeuchte von $u=68 \pm 52\%$ gemessen. Die Erdstammabschnitte aller Kollektive haben eine mittlere Holzfeuchte von $u=68\%$. Die maximale Differenz der durchschnittlichen Holzfeuchte in den Erdstammabschnitten zwischen den Kollektiven beträgt $\Delta u=4\%$. Eine Varianzanalyse für die Mittelwerte der Erdstammabschnitte zeigt keine statistisch abgesicherten Feuchteunterschiede ($\alpha=0,05$) zwischen den Kollektiven (Abbildung 7).

Die mittlere Holzfeuchte aller Scheiben der Kronenabschnitte liegt mit einem Wert von $u=91\%$ um 23% höher als die der Erdstammabschnitte. Eine Varianzanalyse zeigte jedoch auch bei den aus den Kronenabschnitten gewonnenen Scheiben keine statistisch abgesicherten Unterschiede ($\alpha=0,05$) zwischen den Kollektiven.

Neben der Feuchtevariation in stammaxialer Richtung wurden nach dem unter Absatz 3 beschriebenen Verfahren an den Stammscheiben vier radiale Bereiche (Aussen I + II, Innen I + II) ausgeschieden (Abbildungen 4 und 5) und die relative Holzfeuchte in diesen Bereichen analysiert, so dass sich ein radialer Gradient der Holzfeuchte darstellen lässt (Abbildungen 8 und 9).

Die höchste mittlere Feuchte mit einem Wert von $u=113\%$ wurde im Bereich Aussen I des Kollektivs IV gemessen. Die im Mittel niedrigste Feuchte in den aussen liegenden Holzzonen beträgt $u=101\%$ und findet sich in den Erdstammabschnitten des Kollektivs II. Die durchschnittlichen Feuchtwerte der inneren Holzbereiche variieren bei allen Kollektiven zwischen $u=35\%$ und $u=37\%$ (Tabelle 4).

Mittels einer nach radialen Bereichen der Erdstammabschnitte differenziert durchgeführten Varianzanalyse wurden keine signifikanten Unterschiede ($\alpha=0,05$) zwischen den Kollektiven nachgewiesen.

Die mittlere Holzfeuchte der äusseren und inneren radialen Bereiche der aus den Kronenabschnitten gewonnenen Scheiben liegt bei allen Kollektiven gegenüber den an den Erdstammabschnitten nachgewiesenen Werten auf einem höheren Wertenniveau (Abbildungen 7 und 9).

Entsprechend der bereits an den Erdstammabschnitten gemessenen Werte wiesen die äusseren radialen Bereiche der Scheiben der Kronenabschnitte des Kollektivs IV mit im Mittel $u=148\%$ die höchste Holzfeuchte auf. Die 55 Tage länger im Bestand verbliebenen Fichten haben mit einem mittleren Wert von $u=133\%$ in den äusseren Stammbereichen des Kronenansatzes eine um etwa $\Delta u=15\%$ niedrigere Holzfeuchte. Ein nach radialen Bereichen differenzierter Vergleich zeigt auch bei den Scheiben aus den Kronenabschnitten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Kollektiven.

Die mit einem Wert von $\Delta u=30\%$ grösste mittlere Feuchtedifferenz zwischen den Scheiben der Erd- und den Kronenabschnitten wurde an den insgesamt 65 Tage im Bestand gelagerten Bäumen des Kollektivs III festgestellt. Bei den 90 Tage länger (unter Belassung der Kronen) im Bestand verbliebenen Fichten des Kollektivs V ist die zwischen den beiden untersuchten Baumhöhen festgestellte Differenz der Holzfeuchte mit durchschnittlich $\Delta u=18\%$ vergleichsweise deutlich geringer.

⁵ Die auch im Folgenden verwendete Abkürzung bedeutet: Arithmetischer Mittelwert \pm einfache Standardabweichung.

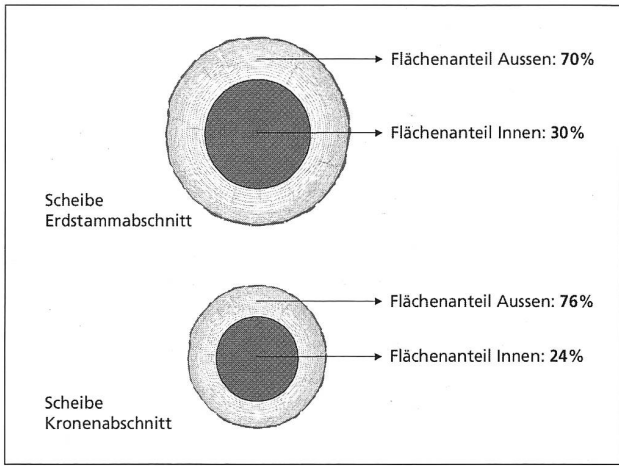


Abbildung 6: Prozentuale Flächenanteile der Stammbereiche «Innen» und «Aussen» entsprechend den rechnerisch ermittelten Grenzen der radialen Feuchtebereiche, nach Baumhöhen differenzierte Mittelwerte.

Figure 6: Proportional area of interior stem area (Innen) and exterior (Aussen) according to the mathematically derived limits of the radial moisture zone, differentiated according to tree height averages.

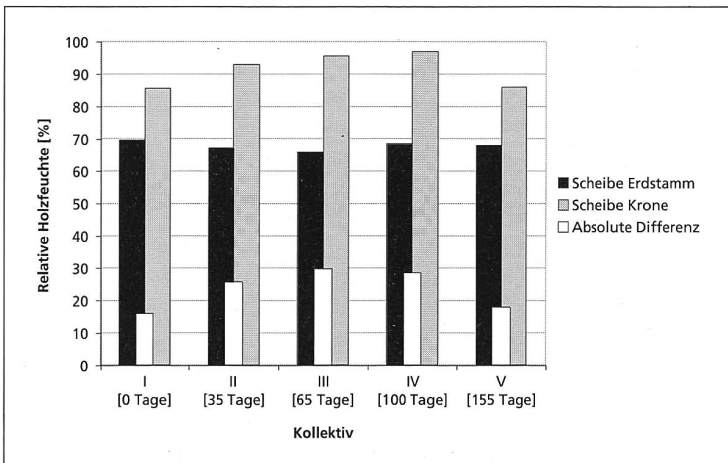


Abbildung 7: Mittlere Holzfeuchte der Stammscheiben in den Kollektiven, differenziert nach Baumhöhen; Ergänzt ist die Differenz der mittleren Holzfeuchte zwischen den Erdstamm- und den Kronenabschnitten.

Figure 7: Average moisture content of stem slices in stands, differentiated according to tree height; supplemented by differences in average moisture content of the lower level of the stem and stem in the crown area.

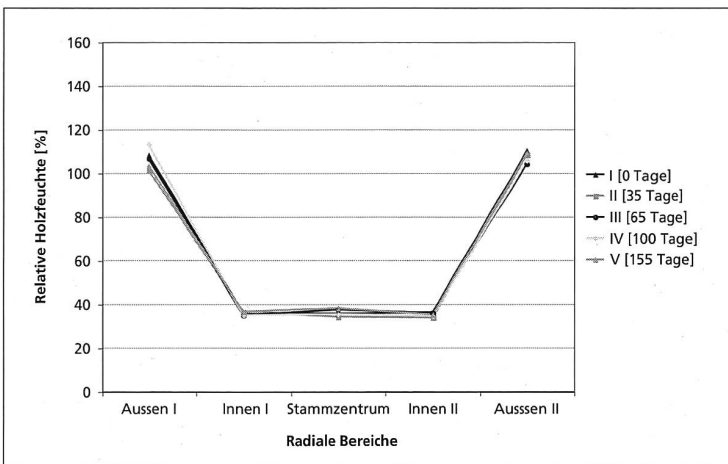


Abbildung 8: Mittlere Holzfeuchte in den radialen Bereichen der Scheiben der Erdstammabschnitte.

Figure 8: Average moisture content in radial zone of stem slices from lower stem.

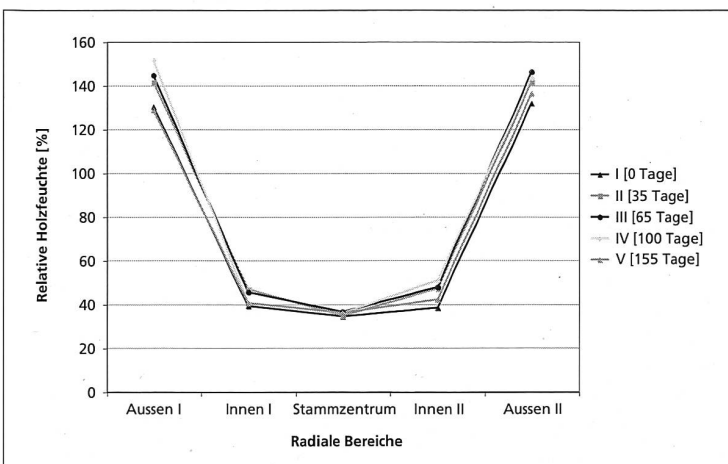


Abbildung 9: Mittlere Holzfeuchte in den radialen Bereichen der Scheiben der Kronenabschnitte.

Figure 9: Average moisture content in radial zone of stem slices from upper stem.

Mittels zweifaktorieller Varianzanalyse wurde innerhalb der ersten 65 Tage bei dem einheitlich niedriger liegenden Feuchteniveau der Erdstammabschnitte eine signifikant ($\alpha=0,01$) zunehmende Differenz der Holzfeuchte zwischen den oberen und unteren Stammscheiben nachgewiesen.

4. Diskussion

Eine Beurteilung des Trocknungserfolges bei einer Ganzbaumlagerung im Bestand erfordert ein genaues Monitoring der Holzfeuchteentwicklung in den unterschiedlichen radialen Stammbereichen.

Die Auswahl einer Exponentialfunktion zur Anpassung an die empirische Variation der Holzfeuchte entlang des radialen Stammdurchmessers erwies sich als geeignetes Verfahren, die Stammquerschnitte in die radialen Feuchtekategorien Aussen, Innen und Stammzentrum auf der Grundlage eines mathematisch-statistischen Verfahrens zu unterteilen.

Zur besseren Vergleichbarkeit mit früheren Untersuchungen wurden neben der Bestimmung der Grenzen der radialen Bereiche zusätzlich die daraus folgenden Kreisflächenanteile der äusseren und inneren Stammbereiche für jeden Stammscheibenquerschnitt rechnerisch hergeleitet (Abbildung 6). Die für das Untersuchungsmaterial festgestellten mittleren Flächenanteile für die Stammbereiche Aussen und Innen entsprechen den Ergebnissen der Splint- und Kernholzanteile aus früheren Untersuchungen:

LOHMANN (1992) fand an 100-jährigen Fichten Splintholzanteile von 60 bis 66% (im Vergleich zu durchschnittlich 70% der Anteile der Bereiche Aussen an den Erdstammabschnitten aus der vorliegenden Untersuchung), während der Splintholzanteil an jüngeren, etwa 50-jährigen Fichten mit 83 bis 93% im Vergleich zu durchschnittlich 76% der Anteile der Bereiche Aussen an den Kronenabschnitten der vorliegenden Untersuchung noch grösser war. BERNHART (1965) konnte an Scheiben aus den unteren Stammbereichen von 77 bis 91 Jahre alten Fichten anhand aufgezeichneter Kern-Splintholz-Grenzen Splintholzanteile von deutlich über 60% feststellen. Der in der vorliegenden Untersuchung mit zunehmender Baumhöhe festgestellte Anstieg der Stammbereiche Aussen stimmt mit den an Splintholz von Fichten erlangten Erkenntnissen von ASZMUTAT (1985) überein, während BRIX & MITCHELL (1983) an Douglasien keine baumhöhenabhängigen Unterschiede der Splintholzanteile feststellten. ESPINOSA BANCALARI *et al.* (1987) wiesen an der selben Baumart sogar einen mit zunehmender Baumhöhe sinkenden Splintanteil nach.

Ein Literaturvergleich zeigt, dass die Feuchte der Bereiche Innen und des Stammzentrums in einem Bereich liegen, wie

sie in anderen Untersuchungen an Fichten vergleichbaren Alters und Dimension in Kernholzbereichen festgestellt wurden. BERNHART (1965) wies an Fichten mit demselben Alter wie in der vorliegenden Untersuchung eine mittlere Kernholzfeuchte von $u=39,35\%$ nach. LOHMANN (1992, LOHMANN & BECKER 1992) stellte an Kernholz von Fichten eine relative Holzfeuchte von 30 bis 60%, an jüngerem Versuchsmaterial von 50 bis 90% fest.

Anders bei der Holzfeuchte in den äusseren Stammbereichen: Die Ergebnisse der Holzfeuchte in den Stammbereichen Aussen liegen in beiden Stammhöhen mit durchschnittlich 107% (Erdstammabschnitte) und 140% (Kronenabschnitte) vergleichsweise niedrig. So hatte das Splintholz der von BERNHART (1965) untersuchten Bäume eine mittlere Feuchte von $u=159\%$ und die kambiumnahen Zuwachszonen wiesen eine Feuchte von $u=150\%$ bis $u=190\%$ auf. GRUBER (1995) stellte im Splintholz von 30 bis 35 Jahre alten Fichten Darrbezugsfeuchten von $u=170$ bis 275% fest. KUČERA & BOSSHARD (1989) geben für Splintholz eine Feuchte zwischen 90% und 180% an.

BURMESTER (1980) führt jahreszeitlich bedingte Einflüsse sowie standörtliche Unterschiede als Gründe für eine zum Teil erheblich variierende Splintholzfeuchte und auch für Unterschiede in der Feuchteverteilung über den Stammquerschnitt an. Im vorliegenden Fall ist jedoch anzunehmen, dass die Unterschiede zwischen den Untersuchungsergebnissen und der Literatur vor allem darauf beruhen, dass im Wesentlichen nur die beiden Bereiche Aussen und Innen unterschieden wurden, ohne diese weiter zu differenzieren. LOHMANN (1992) gibt den Hinweis, dass die Stammbereiche Splint- und Kernholz nicht scharf abgetrennt sind, sondern ein Übergangsbereich auszumachen ist, in dem die Holzfeuchte stark abnimmt. FRÜHWALD *et al.* (1984) unterscheiden einen Bereich des äusseren (leitenden) Splintholzes und einen des inneren (speichernden) Splintholzes, der dem Übergangsbereich zum Kernholz entspricht. Sie ziehen die Grenze zwischen äusserem und innerem Splintholz bei einer Holzfeuchte von $u=125$ bis 150%. ARNOLD *et al.* (1986) legen die Grenze zwischen dem Splint- und Kernholz bei einer Feuchte von $u=80\%$ fest, wobei die Werte in einem Bereich von $u=70\%$ bis $u=130\%$ starken Schwankungen unterworfen waren. SELL *et al.* (1987) berichten hingegen von einem steilen Abfall des Wassergehalts and der Grenze vom Splint- zum Kernholz innerhalb einer radialen Distanz von wenigen Millimetern.

Vor diesem Hintergrund muss die am Untersuchungsmaterial vorgenommene Abgrenzung der radialen Bereiche mittels einer stetigen Funktion auf der Basis der etwa 20 mm breiten Kleinproben kritisch gesehen werden: Die sehr gute Anpassung der Exponentialfunktion an die empirisch ermittelten

Tabelle 4: Relative Holzfeuchte in den radialen Bereichen, berechnet anhand der Kleinproben (DIN 52 183), Arithmetische Mittelwerte, differenziert nach Kollektiven und Baumhöhen.

Table 4: Relative radial humidity, calculated from the test samples (DIN 52 183), mathematical average, differentiated according to trial collective and tree height.

Baumhöhe	Radialer Bereich	Kollektiv [Lagerungszeit]				
		I [0 Tage]	II [35 Tage]	III [65 Tage]	IV [100 Tage]	V [155 Tage]
Kronenabschnitt	Aussen I	130,37	141,56	144,67	151,5	128,87
	Innen I	39,25	46,83	45,58	40,51	40,58
	Stammzentrum	34,36	34,8	36,52	35,95	36,01
	Innen II	38,32	47,07	47,79	50,72	42,13
	Aussen II	131,93	141,67	146,24	143,52	136,37
Erdstamm	Aussen I	108,31	101,26	106,66	113,14	103,48
	Innen I	36,15	36,51	34,84	34,85	36,69
	Stammzentrum	35,65	34,26	37,44	35,38	38,21
	Innen II	36,22	33,92	35,97	34,54	35,18
	Aussen II	110,23	108,54	104,14	105,81	109,15

Feuchtwerte zeigt jedoch trotz der relativ groben Auflösung, dass die äusseren (feuchteren) und inneren (trockeneren) stammradialen Holzonen mathematisch voneinander abzugrenzen sind und dass sich dazwischen ein schmaler Übergangsbereich mit stark abfallender Holzfeuchte befindet. Dieses Verfahren erscheint zweckmässig, um die Auswirkungen der Ganzbaumlagerung auf die Holzfeuchte in einer feineren Auflösung zu ermitteln und in ihrer Bedeutung erfassen zu können. In weitergehenden Versuchen wird derzeit die Abgrenzung der radialen Stammbereiche mittels Exponentialfunktion empirisch validiert.

Für eine bessere Vergleichbarkeit der Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung mit den Angaben der Literatur wurde zusätzlich die Holzfeuchte der Proben aus den äussersten beiden Positionen des kambialen Bereichs getrennt analysiert. Die Mittelwerte liegen in dem von KUČERA & BOSSHARD (1989), ARNOLD *et al.* (1986) und FRÜHWALD *et al.* (1984) angegebenen Wertebereichen. Jedoch liess auch die entsprechend feinere Auflösung des Splintholzgebietes in äusseres und inneres Splintholz vor dem Hintergrund der eingangs definierten Zielsetzung keine signifikanten Einflüsse einer Ganzbaumlagerung auf die Holzfeuchte erkennen. Die Untersuchung hat ergeben, dass eine Ganzbaumlagerung keinen statistisch abgesicherten Einfluss auf die durchschnittliche Holzfeuchte der Erdstammabschnitte hatte. Selbst nach einer relativ langen Lagerungsdauer von insgesamt 155 Tagen im Bestand konnte kein Trocknungserfolg nachgewiesen werden. Dieses Ergebnis widerspricht den früheren Erkenntnissen von POLSTER & SCHLETTER (1962), die bei der von ihnen als «biologische Holz-trocknung»⁶ bezeichneten Ganzbaumlagerung im Bestand eine statistisch abgesicherte Absenkung der Holzfeuchte nachweisen konnten. Die Holzfeuchte wurde jedoch durch eine Lagerung auf der Freifläche noch weitaus stärker abgesenkt. KNUCHEL (1935) wies an Buchen, die während der Vegetationszeit mit Krone im Bestand belassen wurden, nach nur vier Wochen einen Wasserverlust von bis zu 40% nach.

Ursache für die in der vorliegenden Untersuchung nahezu unveränderte Holzfeuchte in den Erdstammabschnitten war vermutlich die während der Versuchsmonate (Dezember 1999 bis Mai 2000) im Sauerland vorherrschende, nasskalte Witterung. Die Wintermonate wurden für die Versuchsdurchführung gewählt, weil in den Konzepten zur Vortrocknung des Rundholzes häufig Winterfällung empfohlen wird (z.B. Winterqualitätsholz).

TONKJEL (1953) hält die meteorologischen Verhältnisse für einen entscheidenden Faktor bei der biologischen Holz-trocknung. Auch POLSTER & SCHLETTER (1962) sehen günstige Witterungsbedingungen als eine entscheidende Voraussetzung für eine Holzfeuchtigkeitsabgabe des Baumes durch Transpiration der Kronen an.

Die in den oberen Stammbereichen einheitlich in allen Kollektiven höher liegende Holzfeuchte entspricht den Angaben in der Literatur. LOHMANN (1992) und UZUNOVIC & DICKINSON (1998) stellten bereits an frisch gefällten Fichten eine vom Stammfuss zur Krone zunehmende Holzfeuchte fest. ASZMUTAT (1985) wies in seinen Untersuchungen an Fichten eine Zunahme der Feuchte von der Stammbasis zur Krone ausschliesslich für den Bereich des Splintholzes nach. BERNHART (1965) stellte hingegen im Xylem der von ihm untersuchten Fichten nur geringe stammmaxiale Feuchteschwankungen fest. Die stammmaxialen Unterschiede in der Holzfeuchte wurden bei dem vorliegenden Versuchsmaterial erst nach den unterschiedlich langen Perioden der Ganzbaumlagerung erfasst.

Über die stammmaxiale Variation zum Zeitpunkt der Fällung können deshalb keine Aussagen gemacht werden. Auffallend ist jedoch die in Abhängigkeit von der Dauer der Ganzbaumlagerung sich verändernde Holzfeuchte der Scheiben der Kronenabschnitte. Nach einem kontinuierlichen Anstieg der Feuchte in den ersten 65 Tagen sinkt die Holzfeuchte gegen Ende der Lagerung in den oberen Stammbereichen geringfügig aber statistisch signifikant ($\alpha=0,01$) ab.

Dieses statistisch abgesicherte Ergebnis gibt möglicherweise einen Hinweis auf eine langsam ablaufende, stammmaxiale Verschiebung der Holzfeuchte in den Kronenbereich und auf einen anschliessenden Wasserverlust aufgrund von Transpirationsprozessen. Dann wären die Erdstammabschnitte zum Zeitpunkt der Entnahme davon noch nicht betroffen gewesen. Weil die Holzfeuchte an Kleinproben erfasst wurde, die besonders sorgfältig (ohne Sägeschnitt) ausgeformt wurden, ist anzunehmen, dass die dargestellten Versuchsergebnisse den Trend der Holzfeuchteentwicklung in den Stammbereichen zuverlässig wiedergeben.

Die Ermittlung und Quantifizierung des maximalen Trocknungspotenzials als Folge einer Ganzbaumlagerung kann zukünftig wichtige Rückschlüsse über Nutzen und Anwendbarkeit dieser Vortrocknungsvariante des Rundholzes geben. Möglicherweise kann das Verfahren in Kombination mit der von LANG *et al.* (2000) beschriebenen Trockenkonservierung dazu beitragen, trockenes, verfärbungs- und weitgehend rissfreies Rundholz in einem kürzeren Zeitraum als bislang üblich zu erzeugen. Dieser Aspekt der Entwicklung der Rundholzqualität wird erst im Anschluss an die vorliegende Untersuchung am daraus erzeugten Schnittholz analysiert.

Ob mittels der aufgezeigten Schritte zur «natürlichen» Absenkung der Holzfeuchte in den Stammabschnitten auch das Trocknungsverhalten der daraus erzeugten Schnittholzprodukte beeinflusst wird, kann erst in einer weitergehenden Analyse beantwortet werden.

Zusammenfassung

Zielsetzung der vorliegenden Untersuchung ist die Analyse der Holzfeuchte von Fichten, die nach der Fällung unterschiedlich lange mit Kronen im Bestand gelagert wurden. Zur Erfassung des radialen und des stammmaxialen Gradienten der Holzfeuchte wurden aus mehreren Baumhöhen Stammscheiben entnommen. Diese wurden zur Gewinnung von Kleinproben und zur Messung der Holzfeuchte nach DIN 52 183 und der Darrdichte nach DIN 52 182 herangezogen. Mittels mathematisch-statistischer Methoden wurden die Stammscheiben in unterschiedliche radiale Feuchtigkeitsbereiche stratifiziert, um die Auswirkungen der Ganzbaumlagerung differenziert für diese Bereiche zu untersuchen. Zur Abgrenzung radialer Feuchtebereiche wurde eine Exponentialfunktion gewählt, die sich an die empirische, radiale Feuchteverteilung entlang des Stammdurchmessers gut anpasst. Es zeigte sich, dass die Ganzbaumlagerung keinen statistisch abgesicherten Einfluss auf die Absenkung der durchschnittlichen (Gesamt-)Holzfeuchte in unterschiedlichen Stammhöhen zum Zeitpunkt der Aufarbeitung der Bäume hatte. Es konnte anfänglich eine statistisch abgesicherte Verschiebung der Holzfeuchte von dem Erdstammabschnitt in den Kronenbereich festgestellt werden. Anschliessend wurde eine abnehmende Holzfeuchte in den kronennahen Abschnitten nachgewiesen.

⁶ Definition: «Verfahren der beschleunigten Naturtrocknung der Hölzer durch Liegenlassen im Laub nach der Fällung».

Summary

Moisture content of stems of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) after full tree storage in the stand

The aim of the investigation was to analyse and quantify the consequences of storage for the development of the moisture content of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) in the stand, while leaving the green crown on the trunk. The examination of the consequences of this pre-drying process focused on different heights of the stem. To offer a more detailed investigation method to separate radial areas according to their different moisture loads, an exponential function was applied which fits well the empirical radial variation of the moisture values. We were able to quantify the possible potential of the full tree storage concerning the drawdown of the moisture content in different radial areas of the roundwood. The investigation showed that the moisture content in the different heights of the trees was not significantly influenced by the storage of the complete trees in the stand. At the beginning a statistically significant displacement of the wood moisture from the basis to the crown of the trees could be established. Due to transpiration processes the moisture content of the top logs decreased with an increasing duration of the full tree storage in the stand.

Résumé

L'humidité du bois de grumes d'épicéa (*Picea abies* (L.) Karst) stockées en forêt avec le houppier

L'objectif de la recherche est d'analyser et de quantifier l'évolution du taux d'humidité de grumes d'épicéa stockées en forêt avec leur couronne. L'examen des conséquences de ce mode naturel de séchage physiologique actif est réalisé à différentes hauteurs dans le tronc. Afin de proposer une méthode plus précise de quantification de l'effet possible de la hauteur sur le séchage, les analyses mathématiques et statistiques sont appliquées individuellement à des zones radiales ayant des fonctions physiologiques et des taux d'humidité contrastés. Il est devenu évident (après 90 jours) que ce mode de stockage n'exerce pas une influence significative sur l'humidité moyenne du bois à différentes hauteurs du tronc.

Literatur

- ALEXANDROW, A. (1953): Ein neues Verfahren zum Trocknen von Holz. *Der Wald* 3 (8): 231.
- ARNOLD, M., SCHNELL, G., SELL, J. (1986): Vergleichende Splintflächenbestimmung waldfrischer Nadelholz-Querschnitte. *Holz als Roh- und Werkstoff* 44: 432.
- ASZMUTAT, H. (1985): Auswirkungen der Immissionsbelastungen auf einige anatomische und physikalische Eigenschaften des Holzes der Fichte (*Picea abies* (L.) Karst.). Dissertation am Forstwissenschaftlichen Fachbereich der Universität Göttingen.
- BELTRAM, V. (1952): L'exploitation estivale de l'épicéa. *Schweiz. Z. Forstwes.* 103 (8): 293–297.
- BERNHART, A. (1965): Frischfeuchtigkeit und Schwindverhalten von Fichtenholz. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 84.
- BRIX, H. & MITCHELL, A.K. (1983): Thinning and nitrogen fertilization effects on sapwood development and relationships of foliage quantity to sapwood area and basal area in Douglas-fir. *Can. J. For. Res.* 13: 384–389.
- BÜCKING, M., EISENBARTH, E., JOCHUM, M. (1997): Untersuchungen zur Lebendlagerung von Sturmwurfholz der Baumarten Fichte, Kiefer, Douglasie und Eiche. *Mitteilungen aus der Forstlichen Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz Nr. 42/97*, 149 S.
- BURMESTER, A. (1980): Holzfeuchtigkeit in Nadelhölzern. Jahreszeitliche Einflüsse auf die Eigenschaften des Splint- und Kernholzes von Nadelbäumen. *Holz-Zentralblatt* 106 (91): 1303–1304.
- COHEN, J. & COHEN, P. (1983): Applied multiple regression/correlation analysis for the behavioral sciences (2nd edition). Hillsdale: Lawrence Erlbaum, New York a.o., 545 p.
- DELORME, A. & WUJCIAK, R. (1973): Erfahrungen mit der «Lebendkonservierung» von Sturmwurfholz. *Forstarchiv* 44 (3): 46–47.
- DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (2000): DIN Taschenbuch 31. Normen über Holz, 7. Aufl., Beuth Verlag GmbH, Wien u. Zürich.
- EISENBARTH, E. (1995): Erfahrungen nach den Winter-Sturmwürfen 1990 in Rheinland-Pfalz: Lebendlagerung von Nadelholz. *AFZ/Wald* 50 (2): 82–84.
- ESPINOSA BANCALARI, M.A., PERRY, D.A., MARSHALL, J.D. (1987): Leaf area – sapwood area relationships in adjacent young Douglas-fir stands with different early growth rates. *Can. J. For. Res.* 17: 174–180.
- FRÜHWALD, A., BAUCH, J., GÖTTSCHE-KÜHN, H. (1984): Holzigenschaften von Fichten aus Waldschadensgebieten (Untersuchungen an frisch gefälltem Holz). *Holz als Roh- und Werkstoff* 42: 441–449.
- GRUBER, F. (1995): Hydraulische Architektur der Fichte: Splintermittlung und Splint-Nadelmasse-Beziehungen. *AFZ/Wald* 50(15): 807–807.
- HARZMANN, L. (1955): Zur Frage der Trocknung des Holzes durch Kronenbelastung nach dem Hieb. *Archiv für Forstwesen* 4: 232.
- HILF, H. (1942): Neue Versuche und Erfahrungen mit der Sommerfällung von Kiefer und Buche. *Mitteilung des Fachausschusses für Holzfragen Heft* 32.
- KNUCHEL, H. (1935): Der Einfluss der Fällzeit auf die Eigenschaften des Buchenholzes. *Mitteilungen der Schweizerischen Anstalt für das forstliche Versuchswesen* 19 (1): 127–186.
- KUČERA, L.J. & BOSSHARD, H.H. (1989): Holzigenschaften geschädigter Fichten. *Birkhäuser, Basel u.a.*, 182 S.
- LANG, A., WELLING, J., BERNASCONI, A., STEFFEN, A. (2000): Trocknung von Rundholz für trockenes Schnittholz im Bauwesen. *Informationsdienst Holz. Deutsche Gesellschaft für Holzforschung e.V.*
- LOHMANN, J. (1992): Die Xylemleitquerschnitte von Fichten (*Picea abies* (L.) Karst.) unterschiedlicher Vitalitätsgrade und Altersklassen. *Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme der Universität Göttingen, Reihe A, Bd. 88*, 123 S.
- LOHMANN, J. & BECKER, G. (1992): Xylem-conductive area of spruce (*Picea abies* Karst.) of different ages and vitality. *IAWA All-Division 5th Conference «Better wood products through science»*, Nancy, France, August 23rd–28th, 1992. *Joint sessions S 5.01 Subject Group «Wood Quality» and IAWA [convened by ALONI et al.]*. *IAWA-Bulletin* 13 (3): 258–259.
- MICHELS, P. (1943): Der Nasskern der Weisstanne. *Holz als Roh- und Werkstoff* 6: 87–99.
- OLIVER-VILLANUEVA, J.-V. & SACHSSE, H. (1992): Lebendkonservierung von sturmgeworfenen Buchen: Zweijährige Untersuchung im Hessischen Forstamt Nidda. *Forst und Holz* 47 (9): 227–232.
- POLSTER, H. & SCHLETTER, A. (1962): Zur Problematik der biologischen Holztrocknung. *Archiv für Forstwesen* 11 (4): 394–435.
- SCHUMACHER, P. & SCHULZ, H. (1991): Zur Methodik der Holzfeuchtebestimmung bei Fichten-Splintholz. *Holz als Roh- und Werkstoff* 49: 57–63.
- SELL, J., SCHNELL, G.R., ARNOLD, M. (1987): Anteil und Wassergehalt des Splints von schweizerischen Fichten und Tannen unterschiedlicher Vitalität. *Holz als Roh- und Werkstoff* 45: 329–334.
- TOKNJEL, I.I. (1953): Biologische Trocknung als Mittel zur Steigerung der Schwimmfähigkeit von Lärchenholz. *Lesnaja promyslenost* 4: 10.
- TRENDELENBURG, R. (1955): Das Holz als Rohstoff. *Neubearb. und hrsg. von Hans Mayer-Wegelin, 2. Aufl.*, Carl Hanser Verlag, München, 541 S.
- UZUNOVIC, A. & DICKINSON D.I. (1998): Measuring and expressing moisture content in green timber. *Material und Organismen* 32 (3): 217–225.
- VORREITER, L. (1949). *Holztechnologisches Handbuch*. Verlag Georg Fromme & Co., Wien.

Autoren und Autorin

VOLKER KLAIBER, PD Dr. UTE SEELING, Dr. RÜDIGER MUTZ, Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Werderring 6, DE-79085 Freiburg im Breisgau.