

# Einfluss der Heizrate auf die Wärmeausdehnung von Holz im Temperaturbereich zwischen 100#C und 120#C

**Journal Article****Author(s):**

Popper, Rudolf; Eberle, Gerhild

**Publication date:**

1992

**Permanent link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-006104721>

**Rights / license:**

In Copyright - Non-Commercial Use Permitted

**Originally published in:**

Drevársky Výskum 134

EINFLUß DER HEIZRATE  
AUF DIE WÄRMEAUSDEHNUNG VON HOLZ  
IM TEMPERATURBEREICH ZWISCHEN  
100 °C UND 120 °C

RUDOLF POPPER—GERHILD EBERLE

ETH Zürich, Dept. Wald- und Holzforschung, Professur für Holztechnologie

SCHLÜSSELWÖRTE: Holz; Wärmeausdehnung; Heizrate; Anisotropie

## 1 EINLEITUNG

Die thermischen Eigenschaften des Holzes sind aus mehreren Gründen von praktischem Interesse. Die Fragen der Wärmeisolation im Bauwesen, des Temperaturverlaufes in Hölzern beim Trocknen und Dämpfen, der thermischen Eigenschaften unter dem Gesichtspunkt der Vorgänge bei Holzfeuerungen und nicht zuletzt der thermomechanischen Eigenschaften im Hinblick auf die Standfestigkeit der Holzbauteile bei Bränden beschäftigen den Holzpraktiker.

Die thermischen Stoffwerte werden weitgehend unter der Voraussetzung stationärer Verhältnisse ermittelt, d. h. unter anderem bei konstanter Temperatur. Die wirklichen Verhältnisse können von stationären Verhältnissen erheblich abweichen (z. B. Brandfall), so daß nicht erwartet werden darf, daß die tabellierten Werte mit den tatsächlichen genau übereinstimmen.

Mit den Wärmeausdehnungskoeffizienten von Holz und Holzwerkstoffen haben sich vor allem WEATHERWAX und STAMM (1964), KÜBLER (1959) und KÜBLER et al. (1973) befaßt. Die meisten Expansionskoeffizienten des Holzes beschränken sich auf den Temperaturbereich zwischen  $-50\text{ °C}$  und etwa  $90\text{ °C}$  (in KOLLMANN 1951, KÜBLER 1959, STEVENS 1960, KÜBLER und MITTARB. 1973, SCHIRP; KÜBLER 1968, STAMM 1964, in BOSSHARD 1984), also auf das feuchte Holz. In diesem Bereich ist für das Holz nur die Wärmeausdehnung unterhalb des Gefrierpunktes von Bedeutung. Oberhalb des Gefrierpunktes spielt die

Wärmeausdehnung im hygroskopischen Bereich praktisch keine Rolle, da die Erwärmung des Holzes eine Trocknung und somit eine Schwindung des Holzes verursacht, die der Wärmeausdehnung entgegenwirkt und diese überlagert.

ABE (1973) führte Wärmeausdehnungsmessungen im Temperaturbereich zwischen 110 und 200 °C durch, um die Erweichungstemperatur von Holz zu ermitteln. Dabei stellte er Abweichungen in der Umwandlungstemperatur zwischen den dilatometrischen und den DTA Messungen fest. Diese Abweichungen schrieb er unter anderem der unterschiedlichen Heizrate zu.

In der vorliegenden Arbeit wurden Wärmeausdehnungsmessungen in jenem Temperaturbereich durchgeführt, in dem die Feuchteverformung nicht mehr und die thermische Zersetzung des Holzes noch nicht stattfindet (trockenes, nicht degradiertes Holz). Bei der experimentellen Bestimmung der Wärmeausdehnung muß allgemein darauf geachtet werden, daß die Wärme möglichst lang auf das Material einwirkt, damit sich ein Gleichgewicht zwischen der zugeführten und der inneren Energie des Materials einstellen kann. Bei einer dynamischen Wärmebelastung sollte die Heizrate theoretisch einen solchen Wert annehmen, der sich dem Null-Wert nähert. In bezug auf die Standfestigkeit der Holzbauteile sind Änderungen mechanischer Eigenschaften des Holzes bei einer dynamischen, thermischen Belastung von Bedeutung. In der Praxis muß mit erheblich höheren Heizraten gerechnet werden. Unter diesem Gesichtspunkt ist die Wärmeausdehnung nicht mehr als eine Kenngröße des Holzes zu betrachten, sondern lediglich als ein Anhaltspunkt für das praktische Verhalten des Holzes bei einer thermischen Belastung. Für die experimentelle Bestimmung des linearen Wärmeausdehnungskoeffizienten soll die untersuchte Abhängigkeit der Wärmeausdehnung von der Heizrate Hinweise auf die möglichen Fehlerquellen liefern.

## 2 VERSUCHSPROBEN UND VERSUCHSMETHODE

Im allgemeinen dehnt sich ein Festkörper bei Erwärmung aus, während er sich bei der Abkühlung zusammenzieht. Wird ein Festkörper mit der Anfangslänge  $L_0$  einer Temperaturänderung  $dT$  ausgesetzt, so verändert sich seine Länge um  $dL$ . Der lineare Wärmeausdehnungskoeffizient  $\alpha_{w,i}$  wird als die relative Änderung der Festkörperdimension pro 1 °K definiert:

$$\alpha_{w,i} = \frac{dL}{L_0} \cdot \frac{1}{dT}, \quad (1)$$

wobei der Index  $i$  die anatomische Hauptrichtung des Holzes ( $i = t$  für die tangentielle,  $i = r$  für die radiale und  $i = a$  für die axiale Richtung) bezeichnet.

Die Gleichung 1 hat nur dann eine Gültigkeit, wenn der Wärmeausdehnungskoeffizient von der Temperatur unabhängig ist.

Zur Ermittlung des tangentialen, radialen und axialen Wärmeausdehnungskoeffizienten dienten Würfel von mindestens 5 mm Seitenlänge aus Fichtensplintholz und gedämpftem Buchensplintholz als Proben. Um den eventuellen Einfluß von Dimension und Form des Festkörpers auf die Wärmeausdehnungsmessung festzustellen, wurden zusätzlich Kontrollproben aus Fichtensplintholz mit den Abmessungen: 5 mm in der Tangential-, 5 mm in der Radial- und 2 mm in der Axialrichtung für die Bestimmung des tangentialen Wärmeausdehnungskoeffizienten verwendet. Die Proben wurden so zugeschnitten, daß alle Kanten parallel zu den anatomischen Hauptrichtungen des Holzes verliefen. Die Probenoberflächen wurden glatt geschliffen, wobei auf die Rechtwinkligkeit benachbarter Flächen geachtet wurde.

Der Temperaturgradient im Probenkörper ist einerseits von den inhärenten Eigenschaften der Holzsubstanz, von der Rohdichte, von der spezifischen Wärme und der Wärmeleitfähigkeit und andererseits von den Umgebungsbedingungen wie Dimensionen und Form des Festkörpers, Art der Wärmeübertragung usw. abhängig. Die Probenform und die Probenabmessungen wurden apparaturbedingt gewählt, um den empfindlichsten Meßbereich der Apparatur ausnützen zu können und um möglichst konstante Bedingungen für Messungen in den drei anatomischen Hauptrichtungen des Holzes zu schaffen. Die Meßanordnung sowie die Art der Wärmeübertragung (Luftströmung) wurde durch die kommerzielle Apparatur gegeben. Um die Vielfalt der oben genannten Abhängigkeiten tief zu halten, wurden die Untersuchungsbedingungen konstant und die Beschaffenheit des Probenmaterials durch Anwendung von Holz gleicher Herkunft in engem Streubereich gehalten.

Die Methode für die Bestimmung der Wärmeausdehnung beruht auf folgendem Meßprinzip: Die Versuchsprobe wird in einem bestimmten Temperaturbereich einer linear ansteigenden Temperatur ausgesetzt und die daraus resultierende Dimensionsänderung gemessen. Aus der so erhaltenen Temperatur-Dehnungsfunktion wird der lineare Bereich gemäß Gl.1 berechnet.

Für die Bestimmung des linearen Wärmeausdehnungskoeffizienten wurde das TA3000-System für die thermomechanische Analyse (TMA40, Mettler Instrumente AG, Schweiz) benutzt. Die Versuchsprobe wurde in der entsprechenden anatomischen Richtung (Tangential-, Radial- und Axialrichtung) auf den Probeträger gelegt und der Druckmeßfühler (Auflagefläche 1 mm<sup>2</sup>) mit einer Auflagekraft von 0,1 N abgesenkt. Der Meßfühler ist mit dem Kern eines induktiven Weggebers verbunden, so dass sich jede Längenänderung der Probe in einer Verlagerung des Weggeberkerns widerspiegelt. Das Ausgangssignal des Weggebers ist der Längenänderung der Probe proportional. Der ganze Meßbereich des Weggebers beträgt  $\pm 5$  mm und weist eine Auflösung von 10<sup>5</sup> Punkten

auf, was einer Empfindlichkeit von ca  $100 \mu\text{m}$  entspricht. Der gesamte Meßbereich ist in zwei weitere Bereiche von  $\pm 1 \text{ mm}$  und  $\pm 0,2 \text{ mm}$  unterteilt. Daraus ergibt sich bei gleicher Auflösung für den  $\pm 1 \text{ mm}$  Bereich eine Empfindlichkeit von  $20 \mu\text{m}$  und für den  $\pm 0,2 \text{ mm}$  Bereich eine Empfindlichkeit von  $4 \text{ nm}$ . Die Umschaltung zwischen diesen Meßbereichen geschieht automatisch. Bei unseren Untersuchungen wurde für die Wärmeausdehnungsbestimmung der empfindlichste Meßbereich genutzt. Für die Ermittlung der Anfangslänge wird der Meßfühler ohne Probe zuerst auf Null gestellt. Dann wird die Versuchsprobe aufgelegt und nach der unten beschriebenen Trocknungsphase die Anfangslänge ermittelt. Damit man den empfindlichsten Meßbereich bei der eigentlichen Wärmeausdehnung ausnützen kann, wird der Meßfühler mit der aufgelegten Probe erneut auf Null gestellt.

Die linear ansteigende Temperatur wird mit einem mikroprozessorgesteuerten Ofen, der über die Meßeinrichtung abgesenkt wird, erzeugt. Dieser Ofen ermöglicht nicht nur, den Temperaturbereich für die linear ansteigende Temperatur, sondern auch die Heizrate zu programmieren. Die durchgeführten Untersuchungen wurden auf den Temperaturbereich zwischen  $100^\circ\text{C}$  und  $120^\circ\text{C}$ , also auf den Bereich, in dem die Feuchteverformung bereits abgeschlossen ist und die thermische Zersetzung des Holzes sich noch nicht bemerkbar macht (KOLLMANN et al. 1969), beschränkt. Es wurden Heizraten von  $5^\circ\text{K} \cdot \text{min}^{-1}$ ,  $10^\circ\text{K} \cdot \text{min}^{-1}$  und  $20^\circ\text{K} \cdot \text{min}^{-1}$  verwendet. Damit die Wärmeausdehnungsmessung nicht durch die Schwindung der Probe überlagert wurde, hat man der eigentlichen Meßmethode eine isotherme Trocknungsphase vorangeschaltet.

Dem anisotropen Eigenschaften des Holzes wurde Rechnung getragen, indem die Wärmeausdehnungskoeffizienten für die anatomischen Hauptrichtungen ( $\alpha_{w,t}$  für Tangential-,  $\alpha_{w,r}$  für die Radial- und  $\alpha_{w,a}$  für die Axialrichtung) bestimmt wurden.

Die Darr-Rohdichte der Fichtenholzproben betrug  $r_0 = 0,39 \pm 0,02 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ , diejenige des gedämpften Buchenholzes  $r_0 = 0,63 \pm 0,02 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ .

### 3 VERSUCHSERGEBNISSE UND DISKUSSION

Die Wärmeausdehnung des Holzes ist zwischen  $0^\circ\text{C}$  und  $100^\circ\text{C}$  von keiner praktischen Bedeutung. Diese Tatsache demonstriert *Bild 1*, in dem am Beispiel von Fichtenholz die tangentielle Dimensionsänderung als Funktion der Temperatur im Temperaturbereich zwischen  $20^\circ\text{C}$  und  $220^\circ\text{C}$  bei einer Heizrate von  $5^\circ\text{K} \cdot \text{min}^{-1}$  dargestellt wird. Aus diesem Bild geht deutlich hervor, daß es im Temperaturbereich zwischen  $20^\circ\text{C}$  und etwa  $100^\circ\text{C}$  die durch die Trocknung verursachte Feuchteverformung (= Schwindung) ist, die den Kurvencharakter maßgeblich bestimmt. Die tangentielle Dimension der Probe nimmt mit steigen-

Fig.

der  
Tem  
ver  
zu

tan  
120

Fig.

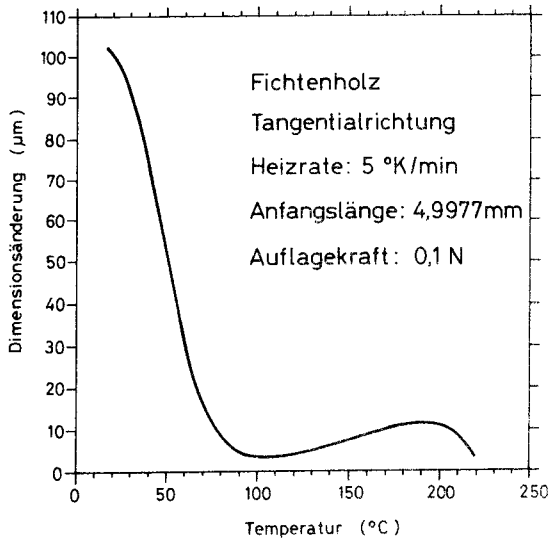


Fig. 1. Die wärmebedingte tangentielle Dimensionsänderung des Fichtenholzes im Temperaturbereich zwischen 20 °C und 220 °C

der Temperatur ab, bis ein Kurvenminimum bei etwa 105 °C erreicht wird. Im Temperaturbereich zwischen ca 100 °C und 120 °C ist bei dem, in diesem Bild verwendeten Maßstab praktisch keine Dimensionsänderung der Versuchsprobe zu erkennen.

Am Beispiel von gedämpftem Buchenholz zeigt *Bild 2* die Abhängigkeit der tangentialen Dehnung von der Temperatur im Bereich zwischen 90 °C und 120 °C. Aus dem Verlauf der Meßkurve ist ersichtlich, daß im Temperaturbe-

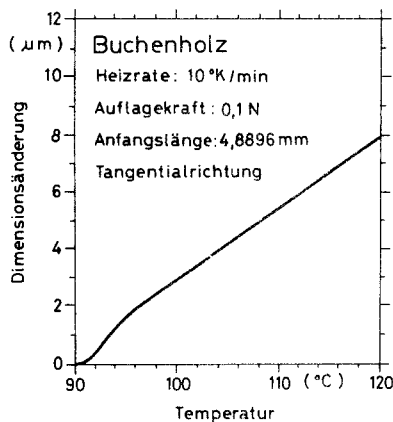


Fig. 2. Einfluß der Temperatur auf die tangentielle Dehnung des Buchenholzes im Bereich zwischen 90 °C und 120 °C

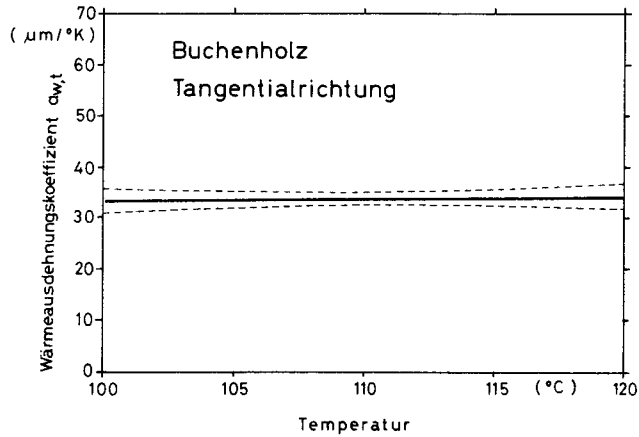


Fig. 3. Temperaturabhängigkeit der tangentialen Wärmeausdehnung von Buchenholz im Bereich zwischen 100 °C und 120 °C

reich zwischen 100 °C und 120 °C eine lineare Beziehung zwischen der Dehnung des Holzes und der Temperatur besteht.

Die nach Gl.1 aus der Meßkurve berechneten Werte des Wärmeausdehnungskoeffizienten stellt *Bild 3* in Abhängigkeit von der Temperatur dar. Aus diesem Bild ist ersichtlich, daß der Wärmeausdehnungskoeffizient im untersuchten Intervall temperaturabhängig ist, womit die Bedingung für die Berechnung gemäß Gl.1 erfüllt ist.

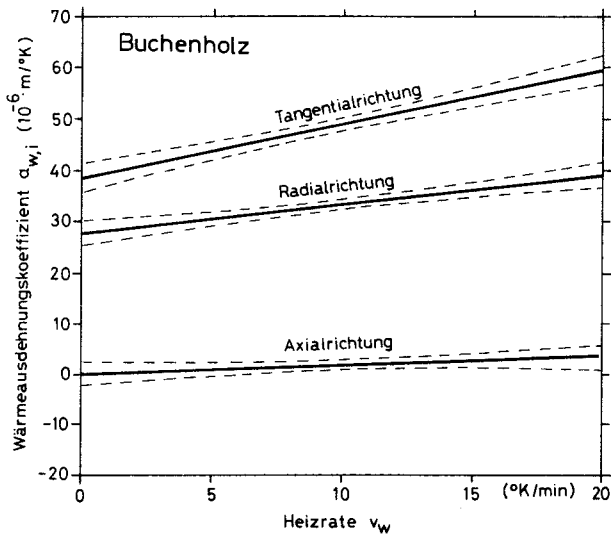


Fig. 4. Einfluß der Heizrate und der anatomischen Richtung auf den Expansionskoeffizienten des Buchenholzes

*Bild 4* zeigt einerseits den Einfluß der Heizrate auf den Wärmeausdehnungskoeffizienten, andererseits die Anisotropie der Wärmeausdehnung. Wie daraus hervorgeht, ist der Wärmeausdehnungskoeffizient von der Aufheizgeschwindigkeit abhängig. Im untersuchten Aufheizgeschwindigkeitsintervall zwischen  $5^{\circ}\text{K} \cdot \text{min}^{-1}$  und  $20^{\circ}\text{K} \cdot \text{min}^{-1}$  steigt der Wärmeausdehnungskoeffizient mit der Heizrate praktisch linear an. Weiter ist diesem Bild zu entnehmen, daß der Wärmeausdehnungskoeffizient für die anatomischen Hauptrichtungen des Holzes erwartungsgemäß nicht gleich ist. Ähnlich wie bei der Feuchteverformung Erweist sich sowohl im gedämpften Buchenholz als auch im Fichtenholz der Tangentiale Wärmeausdehnungskoeffizient als der größte, gefolgt vom radialen und dem axialen Wärmeausdehnungskoeffizienten.

Die Abhängigkeit der Wärmeausdehnung von der Heizrate wurde einer Regressionsanalyse unterzogen. Daraus ergab sich für diese Abhängigkeit folgende Regressionsgleichung:

$$\alpha_{w,i} = K_i \cdot v_w + Q_i, \tag{2}$$

wobei

$\alpha_{w,i}$  ... Wärmeausdehnungskoeffizient in  $^{\circ}\text{K}^{-1}$ ,  $K_i$  ... Regressionskoeffizient in  $\text{min} \cdot ^{\circ}\text{K}^{-2}$ ,  $v_w$  ... Heizrate in  $^{\circ}\text{K} \cdot \text{min}^{-1}$ ,  $Q_i$  ... Regressionskoeffizient in  $^{\circ}\text{K}^{-1}$ , Index  $i = t$  für Tangentialrichtung,  $i = r$  für Radialrichtung,  $i = a$  für Axialrichtung.

Die Anisotropie der Wärmeausdehnung von Holz  $A_w$  wird als das Verhältnis des tangentialen Wärmeausdehnungskoeffizienten  $\alpha_{w,t}$  zu demjenigen in radialer Richtung  $\alpha_{w,r}$  definiert.

$$A_w = \frac{\alpha_{w,t}}{\alpha_{w,r}}. \tag{3}$$

Die Regressionskoeffizienten der Gl.2 und die Anisotropie der Wärmeausdehnung gemäß Gl.3 für das gedämpfte Buchenholz und das Fichtenholz sind in *Tabellen 1 bis 4* zusammengefasst. Die Resultate der Regressionsanalyse sowie die Anisotropiekoeffizienten des Fichten- und Buchenholzes ergaben sich aus Berechnungen von durchschnittlich 340 Einzelwerten pro Holzart und Heizrate.

Wie dem Regressionskoeffizienten  $K_i$  zu entnehmen ist (siehe *Tabelle 1 bis 3*), steigt der tangentiale und der radiale Wärmeausdehnungskoeffizient sowohl des Fichten- als auch des Buchenholzes mit steigender Heizrate linear an. Eine abnehmende Tendenz weist lediglich die Fichte in der Axialrichtung auf.

Theoretisch sollte man den Wärmeausdehnungskoeffizienten bei „unendlich“ langsamer Heizrate ermitteln. Der extrapolierte Wert bei der Null-Heizrate



Tabelle 1

ABHÄNGIGKEIT DES TANGENTIALEN WÄRMEAUSDEHNUNGSKOEFFIZIENTEN  
VON DER HEIZRATE

REGRESSIONSKOEFFIZIENTEN						
Holzart	Tangentialrichtung $Q_t$ $10^{-6} \cdot ^\circ\text{K}^{-1}$ 99 % Variationsintervall			Tangentialrichtung $K_t$ $10^{-6} \cdot \text{min} \cdot ^\circ\text{K}^{-2}$ 99 % Variationsintervall		
	Mittw.	Min.	Max.	Mittw.	Min.	Max.
	1			2		
Buche gedämpft	38,42	35,62	41,22	1,08	0,83	1,32
Fichte	32,72	29,68	35,76	0,65	0,38	0,91

te dürfte demnach dem theoretischen Wert für den Wärmeausdehnungskoeffizienten am besten entsprechen. In Hinsicht auf den Unterschied zwischen der Wärmeausdehnung des Buchen- und Fichtenholzes bei Null-Heizraten geht aus *Tabellen 1* und *2* weiter hervor (siehe Regressionskoeffizienten  $Q_t$  und  $Q_r$ ), daß es in der transversalen Richtung die Fichte ist, die zu den tieferen Wärmeausdehnungskoeffizienten tendiert.

In bezug auf die Regressionskoeffizienten  $K_r$  (*Tabelle 2*, Kolonne 2) und  $K_t$  (*Tabelle 3*, Kolonne 2) besteht zwischen dem gedämpften Buchenholz und dem Fichtenholz mit einer Wahrscheinlichkeit von 99 % kein statistisch relevanter Unterschied. Dennoch neigt die Buche gegenüber der Fichte zu einer stärkeren relativen Abhängigkeit sowohl des radialen als auch des axialen Wärmeausdehnungs-

Tabelle 2

ABHÄNGIGKEIT DES RADIALEN WÄRMEAUSDEHNUNGSKOEFFIZIENTEN  
VON DER HEIZRATE

REGRESSIONSKOEFFIZIENTEN						
Holzart	Radialrichtung $Q_r$ $10^{-6} \cdot ^\circ\text{K}^{-1}$ 99 % Variationsintervall			Radialrichtung $K_r$ $10^{-6} \cdot \text{min} \cdot ^\circ\text{K}^{-2}$ 99 % Variationsintervall		
	Mittw.	Min.	Max.	Mittw.	Min.	Max.
	1			2		
Buche gedämpft	27,75	25,42	30,09	0,59	0,39	0,80
Fichte	23,30	20,87	25,74	0,37	0,15	0,58

nungskoeffizienten von der Heizrate. In der tangentialen Richtung lassen sich hingegen die beiden Holzarten voneinander signifikant unterscheiden. Gemessen an dem Regressionskoeffizienten  $K_t$  (Tabelle 1, Kolonne 2) weist die gedämpfte Buche gegenüber dem Fichtenholz eine, um mehr als ein Drittel stärkere relative Abhängigkeit des Expansionskoeffizienten von der Heizrate auf. In absoluten Zahlen ausgedrückt ist bei der gedämpften Buche bei einer Heizrate von  $20^\circ\text{K} \cdot \text{min}^{-1}$  der  $\alpha_{w,t}$  — Wert gegenüber dem theoretischen tangentialen Expansionskoeffizienten (bei  $v_w = 0$ ) um etwa 56 % erhöht, bei der Fichte bei gleicher Heizrate hingegen lediglich um etwa 40 %.

In der transversalen Richtung ist das Verhältnis der  $K_t$ -Koeffizienten von Buche und Fichte dem Rohdichteverhältnis der beiden Holzarten auffallend proportional. Je größer die Rohdichte, desto größer ist die Abhängigkeit des Wärmeausdehnungskoeffizienten von der Heizrate. Es drängt sich für die transversale Richtung auf, unter gegebenen Untersuchungsbedingungen die Gl.2 in folgende Gleichung umzuwandeln:

$$\alpha_{w,i} = C_i \cdot r_0 \cdot v_w + Q_i, \tag{4}$$

wobei

$\alpha_{w,i}$  ... Wärmeausdehnungskoeffizient in  $^\circ\text{K}^{-1}$ ,  $C_i$  ... Richtungskonstante des Holzes in  $\text{min} \cdot ^\circ\text{K}^{-2} \cdot \text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$  ( $C_t = 1,7$ ,  $C_r = 0,94$ ),  $r_0$  ... Darr-Rohdichte des Holzes in  $\text{g} \cdot \text{cm}^3$ ,  $v_w$  ... Heizrate in  $^\circ\text{K} \cdot \text{min}^{-1}$ ,  $Q_i$  ... Regressionskoeffizient in  $^\circ\text{K}^{-1}$ , Index  $i = t$  für Tangentialrichtung,  $i = r$  für Radialrichtung,  $i = a$  für Axialrichtung.

Innerhalb der untersuchten Holzarten lassen sich alle Regressionskoeffizienten der drei anatomischen Richtungen  $Q_t$ ,  $Q_r$ ,  $Q_a$  und  $K_t$ ,  $K_r$ ,  $K_a$  voneinander

Tabelle 3

ABHÄNGIGKEIT DES AXIALEN WÄRMEAUSDEHNUNGSKOEFFIZIENTEN VON DER HEIZRATE

REGRESSIONSKOEFFIZIENTEN						
Holzart	Axialrichtung $Q_a$ $10^{-6} \cdot ^\circ\text{K}^{-1}$ 99 % Variationsintervall			Axialrichtung $K_a$ $10^{-6} \cdot \text{min} \cdot ^\circ\text{K}^{-2}$ 99 % Variationsintervall		
	Mittw.	Min.	Max.	Mittw.	Min.	Max.
	1			2		
<b>Buche gedämpft</b>	1,14	-2,04	2,32	0,19	0,00	0,39
<b>Fichte</b>	1,63	-0,51	3,78	-0,12	-0,31	0,07

Tabelle 4

## ANISOTROPIE DER WÄRMEAUSSDEHNUNG DES BUCHEN- UND FICHTENHOLZES

Holzart	Anisotropie der Wärmeausdehnung $A_{11}$ 99 % Variationsintervall		
	Mittw.	Minimum	Maximum
Buche gedämpft	1,45	1,40	1,50
Fichte	1,42	1,36	1,48

der mit 99 %-iger Wahrscheinlichkeit signifikant unterscheiden, womit die Anisotropie der Wärmeausdehnung von Holz bestätigt wird.

Wie die Resultate zeigen, ist vor allem die axiale Wärmeausdehnung des Holzes im untersuchten Temperaturbereich sehr gering, was sich in bezug auf die Standfestigkeit bei Brandeinwirkungen günstig auswirken dürfte.

Aus den an Kontrollproben mit veränderten Abmessungen durchgeführten Messungen geht hervor, daß die veränderte Form und Dimension der Probe keinen Einfluß auf die Abhängigkeit des Wärmeausdehnungskoeffizienten von der Heizrate ausübt.

#### 4 SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die Wärmeausdehnung des trockenen Holzes ist von der Heizrate abhängig. Im untersuchten Temperatur- und Heizratebereich und den gegebenen experimentellen Bedingungen zeigt die Wärmeausdehnung des Holzes in der transversalen Richtung eine lineare Abhängigkeit von der Aufheizgeschwindigkeit. Der Proportionalitätsfaktor ist einerseits von der Rohdichte, andererseits von der Anisotropie des Holzes abhängig.

Die Abhängigkeit der Wärmeausdehnung von der Heizrate soll bei der experimentellen Bestimmung der Wärmeausdehnungskoeffizienten berücksichtigt werden. Unter diesem Gesichtspunkt soll diese thermische Kenngröße aber auch interpretiert werden, da man in der Praxis nicht mit stationären, sondern vielmehr mit dynamischen thermischen Belastungen konfrontiert wird.

## 5 LITERATUR

1. ABE FUSAKO: Studies on the Thermal Properties of Wood and Woody Materials. IV. Thermal Expansion for Wood. Jap. Holzforschung 19, 1973, Nr. 2, S. 60—74.
2. BOSSHARD, H. H.: Holzkunde, Bd. 2 Zur Biologie, Physik und Chemie des Holzes. 2. Aufl. Birkhäuser Verlag, Basel, Boston, Stuttgart, 1984.
3. KOLLMANN, F.: Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe, Bd. 1. Springer Verlag Berlin, Göttingen, Heidelberg, 1951.
4. KOLLMANN, F.—SCHMIDT, E.—KUFNER, M.—FENGEL, D.—SCHNEIDER, A.: Gefüge- und Eigenschaftsänderungen im Holz durch mechanische und thermische Beanspruchung. Holz Roh-Werkstoff, 27, 1969, Nr. 11, s. 407—425.
5. KÜBLER, H.: Längenänderungen bei der Wärmebehandlung frischen Holzes. Holz Roh-Werkstoff, 17, 1959, Nr. 3, S. 77—86.
6. KÜBLER, H.—LIANG, L.—CHANG, L. S.: Thermal expansion of moist wood. Wood and Fiber, 5, 1973, Nr. 3, S. 257—267.
7. SCHIRP, M.—KÜBLER, H.: Untersuchungen über die kältebedingten Längenänderungen kleiner Holzproben. Holz Roh- Werkstoff, 26, 1968, Nr. 9, S. 335—341.
8. STAMM, A. J.: Wood and Cellulose Science. The Ronald Press Company, New York, 1964.
9. STEVENS, W. C.: The thermal expansion of wood. Wood 15, 1960, Nr. 8, S. 328—329.
10. WEATHERWAX, R. C.—STAMM, A. J.: The Coefficients of Thermal Expansion of Wood and Wood Products. US. Dept. Agric. For. Prod. Lab., Madison, Wisc., Rep. No. 1487, 1946.

### VPLYV INTENZITY OHRIEVANIA NA TEPELNÚ ROZŤAŽNOSŤ DREVA V TEPELNOM ROZMEDZÍ MEDZI 100°C A 120°C

R. POPPER—G. EBERLE

Závislosť medzi koeficientom tepelnej rozťažnosti a intenzitou ohrievania bol demonštrovaný na smrekovom a bukovom dreve v rozsahu teploty medzi 100°C a 120°C. Koeficient pričnej tepelnej rozťažnosti sa zvyšuje lineárne so zvyšujúcou sa intenzitou ohrievania v rozsahu medzi 5 a 20 K . min<sup>-1</sup>. Zreteľne sa prejavuje anizotropia dreva: koeficient tepelnej rozťažnosti ukazuje klesajúcu tendenciu od tangenciálneho smeru cez radiálny k pozdĺžnemu smeru.

KLÚČOVÉ SLOVÁ: drevo; tepelná rozťažnosť; intenzita ohrievania; anizotropia

### THE INFLUENCE OF THE HEATING RATE ON THE THERMAL EXPANSION OF WOOD IN THE TEMPERATURE RANGE BETWEEN 100°C AND 120°C

R. POPPER—G. EBERLE

The dependence between the coefficient of the thermal expansion and the heating rate was demonstrated on the spruce and beech wood in the temperature range between 100°C and 120°C. The transversal thermal expansion coefficient increases linearly with the increasing heating rate in the range between 5 and 20°K . min<sup>-1</sup>. The anisotropy of the wood becomes evident: the coefficients

of the thermal expansion show a decreasing tendency from the tangential through the radial to the axial direction.

KEY WORDS: Wood; thermal expansion; heating rate; anisotropy

## ВЛИЯНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ НАГРЕВАНИЯ НА ТЕПЛОЕ РАСШИРЕНИЕ ДРЕВЕСИНЫ В ИНТЕРВАЛЕ ТЕМПЕРАТУРЫ 100°C--120°C

Р. ПОППЕР - Г. ЭБЕРЛЕ

Была проведена демонстрация зависимости коэффициента теплового расширения от интенсивности нагревания в интервале температур между 100°C и 120°C у еловой и буковой древесины. Коэффициент теплового расширения в поперечном направлении повышается линейно при повышении интенсивности нагревания в интервале между 5 и 20 °K . мин<sup>-1</sup>. Заметно проявляется анизотропия древесины: коэффициент теплового расширения показывает тенденцию понижения от тангенциального направления через радиальное к продольному.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: древесина; тепловое расширение; интенсивность нагревания; анизотропия

Dipl. Ing. RUDOLF POPPER  
GERHILD EBERLE  
ETH Zürich, Department Wald- und Holzforschung  
Professor für Holztechnologie  
ETH — Hönggerberg  
8093 ZÜRICH  
Schweiz