

Walter Sonderegger · Peter Niemz

## Untersuchungen zur Quellung und Wärmedehnung von Faser-, Span- und Sperrholzplatten

Published online: 11 November 2005

© Springer-Verlag 2005

**Zusammenfassung** Es wurde die Quellung und die Temperaturdehnung in Plattenebene sowie die Dickenquellung von diversen Holzwerkstoffen (Faser-, Span- und Sperrholzplatten) untersucht. Dabei zeigte sich ein stark reduziertes Quellverhalten (differentielle Quellung) in Plattenebene zwischen 80% und 95% relativer Luftfeuchte (rLF) gegenüber dem Quellverhalten zwischen 35% und 80% rLF bei allen untersuchten Plattentypen. Weiter konnte eine Abhängigkeit der Quellung von der Dichte innerhalb einer Holzwerkstoffgruppe (innerhalb der verschiedenen Sperrholzplattentypen sowie innerhalb der verschiedenen Spanplattentypen) festgestellt werden. Die unterschiedliche Quellung der Sperrholzplatten parallel und quer zur Faserlängsrichtung der Deckschicht war stark von der gemessenen Schicht abhängig ( $\perp$  oder  $\parallel$ ).

Bei der Dickenquellung konnte innerhalb der verschiedenen Spanplattentypen eine Abhängigkeit von der Dichte festgestellt werden. Bei den Sperrholzplatten entsprach die Dickenquellung in etwa der tangentialen Quellung bei Vollholz, trotz der radialen Ausrichtung der einzelnen Furniere. Dies liegt in der behinderten Quellung quer zur Faserrichtung in der Plattenebene begründet.

Die Temperaturdehnung ist mit  $3,7$  bis  $5,9 \times 10^{-6} \text{ m}/(\text{m} \cdot \text{K})$  bei allen Holzwerkstoffen sehr gering. Bei der untersuchten Sperrholzplatte (niedrigster Wert) entspricht sie der Wärmeausdehnung von Vollholz in Längsrichtung. Die Wärmeausdehnung der Span- und Faserwerkstoffe beträgt ungefähr das 1,5-fache des Sperrholzes.

### Investigation of swelling and thermal expansion of fibreboard, particleboard and plywood

**Abstract** The swelling in plane and perpendicular to the plane as well as the thermal expansion in plane of diverse wooden materials (fibreboard, particle board, plywood) were investigated. A strongly reduced differential swelling of between 80% and 95% relative humidity in relation to the swelling of between 35%

and 80% relative humidity was observed by all wooden materials which were investigated. The swelling also depended on the density within the diverse materials (plywood and particle boards). The different swelling of plywood parallel and perpendicular to the fibre of the face veneer depended strongly on the layer that was measured ( $\perp$  or  $\parallel$ ).

The swelling perpendicular to the plane of the diverse particleboards depended on the density. With plywood, the swelling perpendicular to the plane was similar to the tangential swelling of solid wood, although the veneers are oriented radially in this direction. This can be explained by the mechanically restrained swelling in plane due to the adjacent plies.

In all wooden materials the thermal expansion is very low ( $3.7$  to  $5.9 \cdot 10^{-6} \text{ m}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ). Plywood had the lowest thermal expansion and is similar to the value of solid wood in the longitudinal direction. The thermal expansion of particleboard and fibreboard is 1.5 fold higher than that of plywood.

## 1 Einführung

An ausgewählten industriell gefertigten Holzwerkstoffen (Span-, Faser- und Sperrholzplatten) wurde das Quellungsverhalten und die Wärmeausdehnung untersucht. Dabei lag der Schwerpunkt bei Untersuchungen zu Dimensionsänderungen in der Plattenebene. Bei der Quellung wurde die Längen- und auch die Dickenquellung gemessen.

Bei Vollholz besteht für die verschiedenen Richtungen der Quellung ein Verhältnis von ungefähr 20:10:1 (tangential:radial:axial). Die Längenquellung ist also am geringsten und beträgt bei den europäischen Hölzern im Durchschnitt ungefähr 0,4% (maximales Quellmaß). Bei den Holzwerkstoffen besteht eine größere Längenquellung (Quellung in Plattenebene) als bei Vollholz. Durch die mehr oder weniger regellose Verteilung der Späne bzw. Fasern in der Plattenebene bei den Span- und Faserplatten findet in Plattenebene sowohl eine Längenquellung als auch eine tangentiale und radiale Quellung der Holzpartikel statt. Bei Sperrholz haben ebenfalls durch die verschiedene Ausrichtung der einzelnen Schichten alle drei Hauptausrichtungen

W. Sonderegger · P. Niemz (✉)

Institut für Baustoffe, Holzphysik, ETH Höggerberg, 8093 Zürich, Switzerland

Email: niemz@ibwk.baug.ethz.ch

von Vollholz einen Einfluss auf die Quellung in Plattenebene. Bei Sperrholz erfolgt durch die unterschiedliche Orientierung der Lagen eine Quellungsbehinderung zwischen den Lagen. Es entstehen innere Spannungen. Die Längenquellung ist also geringer als die von Vollholz senkrecht zur Faserrichtung. Auch durch die Leimfuge kommt es zu einer je nach Klebstoffart unterschiedlich starken Vergütung (Bossard 1984, Niemz 1993). Untersuchungen zur Quellung von Holzwerkstoffen führten u.a. Lang und Loferski (1995), Niemz und Poblete (1996), Ranta (1978), Roffael und Schneider (1978), Roffael und Schneider (1979), Roffael und Schneider (1980), Roffael und Schneider (1981), Schwab et al. (1997), Suchsland und Xu (1992), Wu (1999) sowie Xu und Suchsland (1991) durch. Dabei wurde festgestellt, dass große Unterschiede zwischen den einzelnen Holzwerkstoffen vorhanden sind. Insbesondere bei phenolharzverleimten Werkstoffen macht sich die hygroskopische Wirkung des Alkalis bemerkbar.

Die Erwärmung hat eine Vergrößerung der Kristallgitterabstände zur Folge. Daraus folgt eine Ausdehnung des Holzkörpers sowie eine Abnahme der meisten Festigkeitseigenschaften. Die Wärmeausdehnung ist vor allem im Bereich  $< 0^\circ\text{C}$  von Bedeutung. Oberhalb von  $0^\circ\text{C}$  wird sie von der Quellung bzw. Schwindung überlagert. In den meisten Fällen ist die durch Feuchteänderung bewirkte Längenänderung deutlich größer als die thermisch bedingte (Kollmann 1951, Niemz 1993). Gegenüber dem Einfluss der Feuchte ist der Einfluss der Temperatur auf die Dimensionsänderung sehr gering und beträgt ca. 1/10 im Vergleich zur Feuchte.

Ähnlich wie bei der Quellung durch Feuchteaufnahme ist die Wärmeausdehnung bei Vollholz in radialer und tangentialer Richtung um eine 10er Potenz größer als in Längsrichtung. Die Wärmeausdehnung ist in einem weiten Bereich ( $-60$  bis  $+50^\circ\text{C}$  (Niemz 1993),  $0$ – $160^\circ\text{C}$  (Christoph und Brettel 1977) beinahe linear. In tangentialer und radialer Richtung ist sie zusätzlich von der Dichte des Holzes abhängig (Christoph und Brettel 1977): Messungen zwischen  $0$ – $160^\circ\text{C}$  an darrtrockenen Proben von 11 Holzarten zwischen  $0,1$  und  $1,0\text{ g/cm}^3$ : Fichte, Redwood, Balsa, Abachi, Okoume, Sipo, Limba, Ahorn, Buche, Eiche, Bongossi).

## 2 Berechnungsgrundlagen

Die Berechnung der Quellung erfolgte gemäß nachfolgender Formeln.

Es wurde die differentielle Quellung analog zur Bestimmung der Quellung bei Vollholz nach DIN 52 184 berechnet:

$$q = \frac{l_F - l_T}{l_0 \cdot (u_F - u_T)} \times 100 \quad [\%/ \%] \quad (1)$$

$l_F$  und  $l_T$  Längen im Feucht- und Trockenklima nach Erreichen des Gleichgewichtszustandes

$u_F$  und  $u_T$  Gleichgewichtsholzfeuchte [%] im Feucht- und Trockenklima

$l_0$  Länge im darrtrockenen Zustand

Bei der Dickenquellung wurde für  $l_0$  nicht der gemessene Wert verwendet, da die Proben erst nach dem Quellen darrge-

trocknet wurden und durch das Quellen (besonders bei hohen Luftfeuchten oder durch Wasserlagerung) bei den MDF-, OSB- und Spanplatten ein irreversibler Vorgang (spring back der verdichteten Partikeln) stattfindet, was eine wesentlich geringere Schwindung gegenüber der ersten Quellung zur Folge hat. So wurde  $l_0$  unter Annahme einer konstanten differentiellen Quellung zwischen  $0\%$  und  $95\%$  relativer Luftfeuchte (rLF) nach folgender Formel berechnet:

$$l_0 = l_{65} - \frac{u_{65}}{u_{95} - u_{65}} \cdot (l_{95} - l_{65}) \quad [\text{mm}] \quad (2)$$

$l_{65}$  und  $l_{95}$  Dicke der Probe bei  $65\%$  und  $95\%$  relativer Luftfeuchte nach Erreichen des Gleichgewichtszustandes

$u_{65}$  und  $u_{95}$  Holzfeuchte bei  $65\%$  und  $95\%$  relativer Luftfeuchte nach Erreichen des Gleichgewichtszustandes

Wegen des zum Teil irreversiblen Quellverhaltens der Faser- und Spanwerkstoffe wird als Maß für die Dickenquellung dieser Holzwerkstoffe häufig nicht die differentielle Quellung angegeben, sondern die Dickenquellung in Prozent der Anfangsdicke nach der Lagerung im Feuchtklima, der Wasserlagerung oder nach dem Zyklustest. Gemäß DIN wird dabei als Anfangsdicke die Dicke bei Lagerung im Normalklima ( $20^\circ\text{C}/65\%$  rLF) angenommen und nicht die Dicke im darrtrockenen Zustand (DIN EN 317 und 321).

Bei der Wärmeausdehnung wird als Kenngröße die Wärmeausdehnungszahl  $\alpha_w$  benutzt, die als Längenausdehnung eines  $1\text{ m}$  langen Stabes bei einer Temperaturdifferenz von  $1\text{ K}$  definiert ist.

Es gilt folgende Formel:

$$\alpha_w = \frac{\Delta l}{l_0 \cdot \Delta t} \quad (3)$$

$\Delta l$  Längenänderung [m]

$l_0$  Ausgangslänge [m]

$\Delta t$  Temperaturdifferenz [K]

## 3 Probenahme und Prüfung

### 3.1 Quellung

Die Quellung wurde an einer MDF-, einer OSB-, sowie verschiedenen Span-, und Sperrholzplatten gemessen (Tabelle 1). Es wurden jeweils industriell gefertigte Werkstoffe verwendet. Die Spanplatten der Verleimungsart V 20 und die MDF waren mit Harnstoffharz, die Spanplatten der Verleimungsart V 333 mit durch Melamin verstärktem Harnstoffharz verleimt. Der Klebstoffanteil der Platten liegt in dem industriellen Anteil (Dunky und Niemz 2002). Pro Werkstoff und Prüfmethode wurden jeweils 20 Proben von  $20 \times 200\text{ mm}$  geprüft. Dabei wurden folgende Messungen durchgeführt:

- Dickenquellung (senkrecht zur Plattenebene): Messungen bei  $20^\circ\text{C}$  und  $65\%$  sowie  $95\%$  relativer Luftfeuchte und Messungen im darrtrockenen Zustand.

- Längenquellung (in Plattenebene): Messungen bei 20 °C und 35%, 50%, 65%, 80% und 95% relativer Luftfeuchte sowie anschließend im darrtrockenen Zustand:
  - Bei den MDF- und Spanplatten parallel zur Produktionsrichtung
  - Bei den OSB-Platten parallel und quer zur Produktionsrichtung (= Orientierungsrichtung der Deckschichtpartikel)
  - Bei den Sperrholzplatten parallel und senkrecht zur Ausrichtung der Fasern der Deckschicht.

Die Messungen erfolgten in Anlehnung an DIN EN 318 jeweils nach Erreichen der Massekonstanz (Masseänderung < 0,1% in-

nerhalb von 24 h). Die Längenmessung erfolgte über die ganze Länge der Probe. Es wurden jeweils zwei punktuelle Messungen pro Probe in 10 mm Höhe und 7 mm Abstand von beiden Seitenrändern (s. Abb. 1a + c) mit einem Mitutoyo Längenmessgerät (Auflösung 1 µm) durchgeführt und daraus der Mittelwert errechnet. Bei Rohspan V 20 (8 mm), Sperrholz Buche (8 mm) und Sperrholz Fassadenplatte Lärche (12,5 mm) wurde in der Mitte der Querschnittsfläche gemessen, die Probe um die Mittelachse senkrecht zur Plattenebene gedreht und nochmals gemessen (Abb. 1b). Durch den fixen Anschlag bei der Längenmessung bedingt, wurden bei den Sperrholzplatten unterschiedliche Lagen (|| bzw. ⊥ zur Faserausrichtung der Deckschicht; Tabelle 1)

**Tabelle 1** Übersicht über die Prüfungen und die verwendeten Holzwerkstoffe. Die Prüfung in Plattenebene erfolgte parallel (MDF-, OSB-, Span- und Sperrholzplatten) und quer (OSB- und Sperrholzplatten) zur Produktionsrichtung bzw. Faserausrichtung der Deckschicht. **Table 1** Summary of the tested materials and the measured properties. The tests in plane were arranged parallel (MDF, OSB particleboards and plywood) and across (OSB and plywood) the manufacturing-direction and the fibre-direction of the face veneer, respectively.

Holzwerkstoff	Quellung		Temperaturdehnung	
	In Plattenebene <i>parallel</i>	<i>senkrecht</i>	Senkrecht zur Plattenebene	(In Plattenebene: <i>parallel</i> )
<b>MDF roh</b> , 18 mm, beidseitig geschliffen; 700–750 kg/m <sup>3</sup> ; Verleimung: Harnstoffharz <sup>1,3</sup>	x		x	x
<b>OSB 3</b> , 18 mm, beidseitig geschliffen; 590–670 kg/m <sup>3</sup> ; Mittelschicht PUR, Deckschichten Melamin verleimt <sup>1,4</sup>	x	x	x	x
<b>Rohspan V 20</b> , 8 mm, beidseitig geschliffen; 670–740 kg/m <sup>3</sup> ; Harnstoffharz verleimt <sup>1,5</sup>	x		x	x
<b>Rohspan V 20</b> , 18 mm, beidseitig geschliffen; 620–670 kg/m <sup>3</sup> ; Harnstoffharz verleimt <sup>1,5</sup>	x		x	x
<b>Rohspan V 20</b> , 30 mm, beidseitig geschliffen; 570–620 kg/m <sup>3</sup> ; Harnstoffharz verleimt <sup>1,5</sup>	x		x	x
<b>Rohspan V 313</b> , 19 mm, beidseitig geschliffen; 630–700 kg/m <sup>3</sup> ; durch Melamin verstärkte Harnstoffharze verleimt <sup>1,6</sup>	x		x	x
<b>Sperrholz: Fassadenplatte Lärche</b> , 12,5 mm, 5-lagig (Schichtaufbau:   ⊥  ⊥  , Lagendicke: 2.5 mm) <sup>2</sup>	x	x	x	
<b>Sperrholz: Fassadenplatte Lärche</b> , 22,5 mm, 9-lagig (Schichtaufbau:     ⊥  ⊥  ⊥  , Lagendicke: 2.5 mm) <sup>2</sup>	x	x	x	x
<b>Sperrholz: Fassadenplatte Douglasie/Tanne</b> , 15 mm, 5-lagig (Schichtaufbau:   ⊥  ⊥   (2.25/4/2.5/4/2.25 mm); Lagen 1, 3, 5: Douglasie; Lagen 2, 4: Tanne) <sup>2</sup>	x	x	x	
<b>Sperrholz: Fassadenplatte Douglasie/Tanne</b> , 17 mm, 7-lagig (Schichtaufbau:   ⊥  ⊥  ⊥   (2.25/2.5/2.5/2.5/2.5/2.5/2.5 mm); Lagen 1, 3, 5, 7: Douglasie; Lagen 2, 4, 6: Tanne) <sup>2</sup>	x	x	x	
<b>Sperrholz: Multiplex Buche</b> , 20 mm, 14-lagig (Schichtaufbau:   ⊥  ⊥  ⊥  ⊥  ⊥  ⊥  ⊥   (1/1.5/1.5/1.5/1.5/1.5/1.5/1.5/1.5/1.5/1.5/1.5/1.5/1.5/1.5/1 mm)) <sup>2</sup>	x	x	x	
<b>Sperrholz: Multiplex Buche</b> , 24 mm, 11-lagig (Schichtaufbau:   ⊥  ⊥  ⊥  ⊥  ⊥   (1.55/2.5/2.5/1.7/2.5/2.5/2.5/1.7/2.5/2.5/1.55 mm)) <sup>2</sup>	x	x	x	
<b>Sperrholz: Buche</b> , 8 mm, 5-lagig (Schichtaufbau:   ⊥  ⊥   (1.45/1.7/1.7/1.7/1.45 mm)) <sup>2</sup>	x	x	x	

<sup>1</sup> Herstellerfirma: Kronospan AG, Menzau. <sup>2</sup> Herstellerfirma: Hess & Co. AG, Döttingen. <sup>3</sup> Mitteldichte Faserplatten der formaldehydarmen Qualitätsklasse E1 gemäß Anforderungen der Norm DIN EN 622. <sup>4</sup> OSB-Platten der formaldehydarmen Qualitätsklasse E1 für tragende Zwecke im Feuchtbereich gemäß Anforderungen der Norm DIN EN 300. <sup>5</sup> Spanplatten der formaldehydarmen Qualitätsklasse E1 für allgemeine Zwecke zur Verwendung im Trockenbereich gemäß Anforderungen der Normen DIN EN 312-1 und 312-2. <sup>6</sup> Spanplatten der formaldehydarmen Qualitätsklasse E1 für tragende Zwecke im Feuchtbereich gemäß Anforderungen der Norm EN 312-5. <sup>1</sup> Manufacturer: Kronospan AG, Menzau. <sup>2</sup> Manufacturer: Hess & Co. AG, Döttingen. <sup>3</sup> Medium fibreboards of the low-formaldehyde quality class E1 according to the requirements as defined in EN 622. <sup>4</sup> Oriented Strand Boards (OSB) of the low-formaldehyde quality class E1 for load-bearing use in humid conditions according to the requirements as defined in EN 300. <sup>5</sup> Particleboards of the low-formaldehyde quality class E1 for general purpose and use in dry conditions according to the requirements as defined in EN 312-1 and 312-2. <sup>6</sup> Particleboards of the low-formaldehyde quality class E1 for load-bearing use in humid conditions according to the requirements as defined in EN 312-5.

gemessen, was bei den Resultaten berücksichtigt werden musste. Ebenfalls kam es dadurch auf Grund der Dickenquellung zu einer geringen Verschiebung des Messpunktes auf der Probe, was sich vor allem bei den Sperrholzplatten auf die Messresultate (grosse Streuung der Werte) auswirkte.

Die Dickenquellung wurde jeweils einmal in der Mitte der Probe mittels Schublehre (Auflösung 0,01 mm) gemessen.

### 3.2 Temperaturdehnung

Die Temperaturdehnung wurde an einer MDF-, einer OSB-, einer Sperrholzplatte sowie verschiedenen Spanplatten geprüft (Tabelle 1). Pro Werkstoff wurde an 20 Proben von 20×200 mm die Länge parallel zur Produktionsrichtung bzw. zum Faserverlauf der Deckschicht bei einer Temperatur von 60°, 40°, 20°, 0°, -20° und -40 °C gemessen. Die Messung erfolgte im darrtrockenen Zustand (Trocknung bei 103 °C). Die Proben wurden in verschlossenen Kunststofffolien in einer Klimakammer bei den genannten Temperaturen gelagert. Um eine eventuelle Feuchteänderung der Proben zu kontrollieren, wurden diese im darrtrockenen Zustand und nach jeder Temperaturbehandlung ( $\geq 3h$ ) gleich anschließend an die Längenmessung gewogen. Die

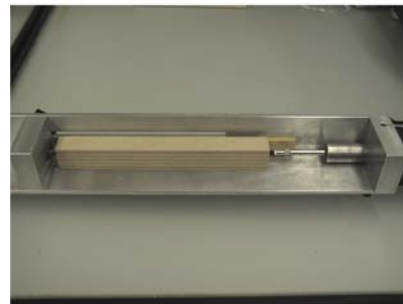
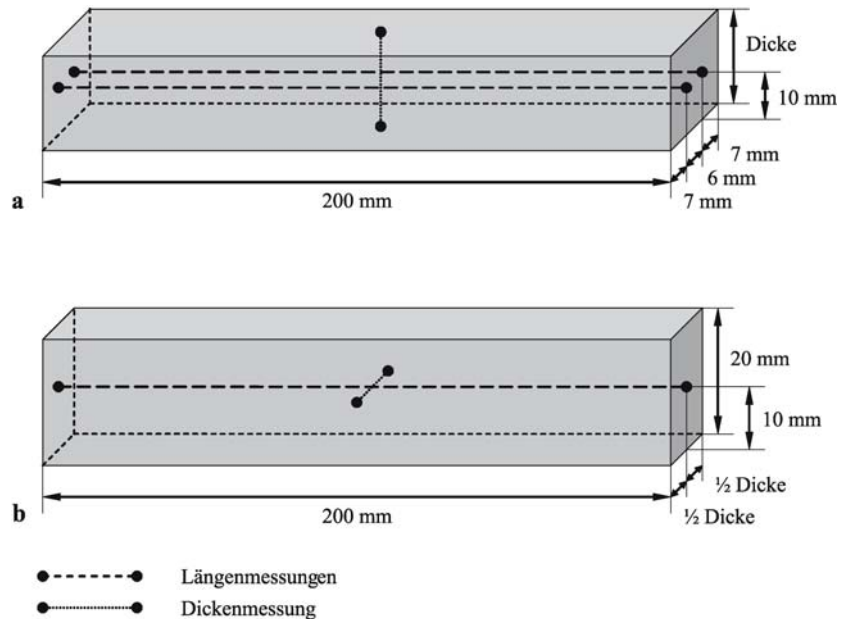
Längenmessung erfolgte an zwei Stellen in Längsrichtung analog den Quellungsmessungen (s. oben). Es wurde der Mittelwert beider Messungen berechnet.

Eine Schwierigkeit bildete die Erwärmung bzw. Abkühlung des Längenmessgerätes durch die Probe während der Messung. Dies hatte zur Folge, dass nach zwei Messungen (bei großen Differenzen zur Zimmertemperatur: 60°, -20° und -40 °C) bzw. drei Messungen (bei geringen Temperaturdifferenzen: 40-0 °C) das Messgerät jeweils neu kalibriert werden musste. Der dadurch entstandene Messfehler betrug in der Regel  $\pm 0,001-0,004$  mm (Maximum  $\pm 0,007$  mm).

Weiter mussten die Proben nach dem Herausnehmen aus dem Klimaschrank in der Zeit bis zur Messung vor dem Abkühlen bzw. Erwärmen geschützt werden. Dazu wurden die Proben (Chargen von 10 Stück) beim Herausnehmen auf einen auf die gleiche Temperatur erwärmten Speckstein (60°, 40 °C) bzw. abgekühltes Gefriererelement (-40°, -20°, 0 °C) gelegt und mit einer Schaumstoffmatte abgedeckt (Abb. 1d). Die Messung fand dann bei Zimmertemperatur statt, was eine Abkühlung bzw. Erwärmung der Proben im Außenbereich zur Folge hatte. Da jedoch in der Mitte der Probe gemessen wurde, wurde der Einfluss der äußeren Abkühlung bzw. Erwärmung vernachlässigt.

**Abb. 1a-d** Messung der Temperaturdehnung und der Quellung. **a** Bei Proben mit einer Dicke > 12,5 mm. **b** Bei Proben mit einer Dicke  $\leq 12,5$  mm. **c** Längenmessgerät **d** Proben auf Speckstein und bedeckt mit Schaumstoff nach Herausnahme aus dem Klimaschrank; im Hintergrund das Längenmessgerät mit einer Probe während der Messung.

**Fig. 1a-d** Measurement of the thermal expansion and the swelling. **a** Specimen with a thickness > 12.5 mm. **b** Specimen with a thickness  $\leq 12.5$  mm. **c** Linear gage. **d** Specimen taken out of the climate chamber, on a soapstone and covered with a foam plastic; in the background the linear gage with a specimen during the measurement

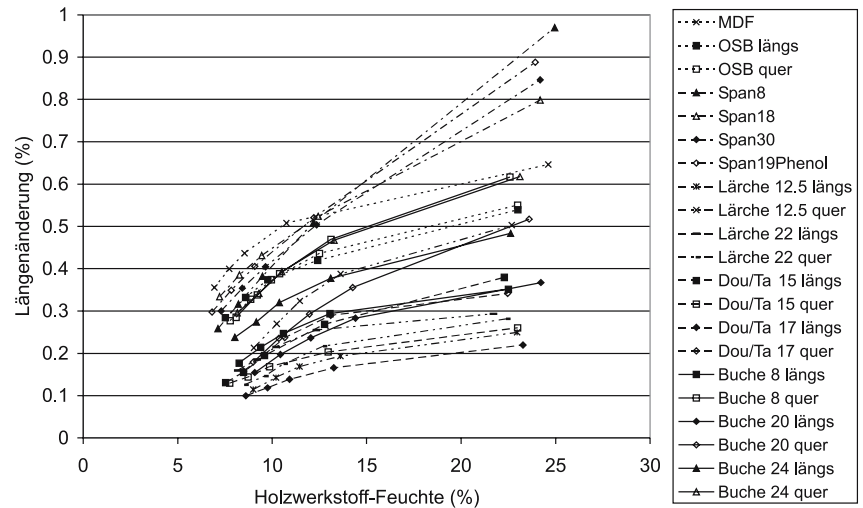


c

d

**Abb. 2** Quellung in Plattenebene in Abhängigkeit von der Holzwerkstoff-Feuchte bezogen auf die Länge im darrtrockenen Zustand

**Fig. 2** Swelling in plane in relation to the oven dry length dependent on the moisture content of the wooden material



## 4 Ergebnisse und Diskussion

### 4.1 Quellung in Plattenebene

Die Quellung in Plattenebene wurde zwischen 35% und 95% rLF gemessen. Dabei konnte bei allen Werkstoffen eine stark verminderte differentielle Quellung zwischen 80% und 95% rLF festgestellt werden (Abb. 2). Dies ist auf die Quellvergütung durch den Klebstoff und eine mit stärkerer Quellung zunehmende Behinderung der Quellung quer zur Faserrichtung wegen der geringen Quellung parallel zur Faser zurückzuführen. Es wurde deshalb die differentielle Quellung sowohl über den ganzen gemessenen Bereich (35 – 95% rLF) als auch zwischen 35 – 80% und 80 – 95% rLF berechnet (Tabelle 3).

Eine verminderte differentielle Quellung bei Holzwerkstoffen bei Berechnung im Bereich hoher relativer Luftfeuchten wurde schon von verschiedenen Autoren erwähnt, z.B. Ranta (1978) bei phenolharzverleimten Spanplatten, Xu und Suchsland (1991) bei MDF (jedoch nicht bei Spanplatten), Lang und Loferski (1995) bei Sperrholz und OSB, Niemz und Poblete (1996) bei MDF und Spanplatten, Schwab et al. (1997) bei verschiedenen Holzwerkstoffen, Wu (1999) für OSB. Die verminderte differentielle Quellung ist bei der untersuchten MDF-Platte mit einem Verhältnis von 4:1 besonders ausgeprägt. Ähnliche Werte haben auch Schwab et al. ((1997); differentielle Längenänderung für MDF zwischen 65% und 35% rLF 0,065%/%, zwischen 65% und 85% rLF jedoch nur 0,015%/%) sowie Xu und Suchsland (1991) gemessen. Bei Niemz und Poblete (1996) ist die verminderte differentielle Quellung im Feuchtbereich für leichte MDF-Platten aus *Pinus radiata* noch ausgeprägter. Dieser Effekt könnte darauf zurückzuführen sein, dass die Gleichgewichtsfeuchte in diesem Bereich sehr stark ansteigt, die Dimensionsänderung aber weniger. Hierzu sollten weitere Untersuchungen erfolgen.

Die Quellung der Sperrholzplatten parallel und quer zur Faserrichtung der Deckschicht war stark von der gemessenen Schicht (quer oder parallel zur Deckschicht) abhängig. Die

Werte der quer zur Deckschicht gemessenen Schichten sind deshalb eher zu hoch, die Werte der parallel zur Deckschicht gemessenen Schichten eher zu niedrig gegenüber der Quellung der gesamten Platte. Die gemessenen Werte sind daher eher als Quellungswerte der gemessenen Schicht als der Ausrichtung der Platte zu interpretieren (Tabelle 3). Besser wäre z. B. hier eine optische Messung mittels auf der Oberfläche angebrachten Messmarken, um den Randeffekt zu kompensieren, da es im Randbereich zu einer teilweise freien Quellung der Randzone kommt. Die Technik der optischen Messung stand jedoch für solch umfangreiche Untersuchungen, wie sie durchgeführt wurden, nicht zur Verfügung.

Tabelle 2 zeigt die Ausgleichsfeuchten der verschiedenen Holzwerkstoffe nach der Konditionierung der Proben bei 20 °C und 35%, 50%, 65%, 80% und 95% rLF. Die Span- und Faserwerkstoffe haben dabei bei niederen Luftfeuchten tendenziell geringere Holzfeuchten als die Sperrholzplatten (am deutlichsten ausgeprägt bei der MDF-Platte). Die untersuchte MDF-Platte hat bis etwa 80% rLF eine niedrigere Gleichgewichtsfeuchte als die untersuchten Spanplatten. Bei 95% rLF gleichen sich die Werte der Spanplatten und der MDF-Platte an. Hierzu sollten weitergehende Untersuchungen durchgeführt werden. Möglicherweise kommt es bei 95% rLF bereits zu bestimmten Kondensationserscheinungen auf der Oberfläche der Proben.

Die Quellung in Plattenebene zeigt eine deutliche Abhängigkeit von der Dichte der Holzwerkstoffe innerhalb einer Holzwerkstoffgruppe. In Abb. 3 ist die Regressionsgerade für die Sperrholzplatten eingezeichnet. MDF und OSB haben ein ähnlich hohes Quellverhalten wie die Sperrholzplatten, die Spanplatten weisen dagegen eine wesentlich größere Quellung auf. Die große Streuung innerhalb der Spanplatten ist auf die unterschiedliche Dichte im Dichteprofil der Platten zurückzuführen.

### 4.2 Dickenquellung

Die Dickenquellung wurde im Bereich zwischen 65% und 95% relativer Luftfeuchte gemessen. Die Werte der daraus errechneten differentiellen Quellung sind in Tabelle 3 aufgeführt. Dabei



**Tabelle 2** Rohdichte bei Normalklima (20 °C/65% relativer Luftfeuchte) und Ausgleichsfeuchten (F) der Holzwerkstoffe bei 35%, 50%, 65%, 80% und 95% relativer Luftfeuchte. V = Variationskoeffizient

**Table 2** Density by normal climate (20 °C/65% relative humidity) and equilibrium moisture content (F) of the wooden materials at 35%, 50%, 65%, 80% and 95% relative humidity. V = Coefficient of variation

Holzwerkstoff	Ausrichtung der Proben	Normal-Rohdichte [kg/m <sup>3</sup> ]	Ausgleichsfeuchten				
			F <sub>35</sub> [%]	F <sub>50</sub> [%]	F <sub>65</sub> [%]	F <sub>80</sub> [%]	F <sub>95</sub> [%]
MDF roh, 18 mm	parallel <sup>1</sup>	<b>756</b>	<b>6.9</b>	<b>7.7</b>	<b>8.5</b>	<b>10.7</b>	<b>24.6</b>
		V = 0.4	V = 1.0	V = 0.9	V = 0.7	V = 0.9	V = 2.7
OSB 3, 18 mm	parallel <sup>1</sup>	<b>630</b>	<b>7.5</b>	<b>8.6</b>	<b>9.8</b>	<b>12.4</b>	<b>23.0</b>
		V = 4.4	V = 1.7	V = 1.5	V = 1.4	V = 2.1	V = 2.3
	quer <sup>1</sup>	<b>649</b>	<b>7.8</b>	<b>8.8</b>	<b>10.0</b>	<b>12.5</b>	<b>23.0</b>
		V = 2.5	V = 0.8	V = 0.9	V = 1.1	V = 1.3	V = 2.7
Rohspan V 20, 8 mm	parallel <sup>1</sup>	<b>733</b>	<b>7.1</b>	<b>8.2</b>	<b>9.5</b>	<b>12.2</b>	<b>24.9</b>
		V = 1.1	V = 3.5	V = 3.2	V = 2.6	V = 2.0	V = 2.9
Rohspan V 20, 18 mm	parallel <sup>1</sup>	<b>649</b>	<b>7.2</b>	<b>8.3</b>	<b>9.5</b>	<b>12.4</b>	<b>24.2</b>
		V = 1.9	V = 1.0	V = 1.0	V = 1.2	V = 0.5	V = 2.6
Rohspan V 20, 30 mm	parallel <sup>1</sup>	<b>596</b>	<b>7.3</b>	<b>8.4</b>	<b>9.6</b>	<b>12.3</b>	<b>24.2</b>
		V = 0.7	V = 1.6	V = 1.7	V = 2.0	V = 1.1	V = 1.8
Rohspan V 313, 19 mm	parallel <sup>1</sup>	<b>649</b>	<b>6.8</b>	<b>7.8</b>	<b>9.1</b>	<b>12.2</b>	<b>23.9</b>
		V = 1.6	V = 1.0	V = 1.1	V = 1.2	V = 1.1	V = 2.0
Sperrholz: Fassadenplatte Lärche, 12,5 mm	längs <sup>2</sup>	<b>665</b>	<b>9.0</b>	<b>10.2</b>	<b>11.4</b>	<b>13.6</b>	<b>23.0</b>
		V = 1.6	V = 1.2	V = 1.6	V = 1.4	V = 1.5	V = 2.3
	quer <sup>2</sup>	<b>685</b>	<b>9.0</b>	<b>10.2</b>	<b>11.5</b>	<b>13.6</b>	<b>22.7</b>
		V = 3.6	V = 1.0	V = 1.2	V = 1.4	V = 1.2	V = 1.9
Sperrholz: Fassadenplatte Lärche, 22,5 mm	längs <sup>2</sup>	<b>629</b>	<b>8.2</b>	<b>9.2</b>	<b>10.2</b>	<b>12.3</b>	<b>21.7</b>
		V = 3.3	V = 2.2	V = 2.4	V = 2.4	V = 1.9	V = 1.3
	quer <sup>2</sup>	<b>627</b>	<b>8.6</b>	<b>9.6</b>	<b>10.6</b>	<b>12.7</b>	<b>22.4</b>
		V = 3.4	V = 1.6	V = 1.8	V = 1.7	V = 0.8	V = 1.4
Sperrholz: Fassadenplatte Dou/Ta, 15 mm	längs <sup>2</sup>	<b>560</b>	<b>7.5</b>	<b>8.5</b>	<b>9.6</b>	<b>12.8</b>	<b>22.3</b>
		V = 5.0	V = 3.7	V = 3.7	V = 2.9	V = 1.2	V = 1.6
	quer <sup>2</sup>	<b>544</b>	<b>7.8</b>	<b>8.7</b>	<b>9.9</b>	<b>13.0</b>	<b>23.0</b>
		V = 6.0	V = 2.7	V = 2.8	V = 2.5	V = 1.8	V = 2.4
Sperrholz: Fassadenplatte Dou/Ta, 17 mm	längs <sup>2</sup>	<b>584</b>	<b>8.6</b>	<b>9.7</b>	<b>10.9</b>	<b>13.3</b>	<b>23.3</b>
		V = 2.8	V = 2.3	V = 2.4	V = 2.7	V = 1.8	V = 1.1
	quer <sup>2</sup>	<b>599</b>	<b>8.5</b>	<b>9.5</b>	<b>10.7</b>	<b>13.1</b>	<b>22.5</b>
		V = 2.1	V = 1.5	V = 1.5	V = 1.4	V = 1.0	V = 0.9
Sperrholz Buche, 8 mm	längs <sup>2</sup>	<b>780</b>	<b>8.2</b>	<b>9.4</b>	<b>10.6</b>	<b>13.1</b>	<b>22.5</b>
		V = 1.4	V = 1.0	V = 1.0	V = 1.0	V = 0.5	V = 0.7
	quer <sup>2</sup>	<b>783</b>	<b>8.1</b>	<b>9.2</b>	<b>10.4</b>	<b>13.1</b>	<b>22.6</b>
		V = 1.0	V = 1.2	V = 1.2	V = 1.2	V = 1.2	V = 1.7
Sperrholz: Multiplex Buche, 20 mm	längs <sup>2</sup>	<b>806</b>	<b>9.1</b>	<b>10.4</b>	<b>12.0</b>	<b>14.4</b>	<b>24.2</b>
		V = 1.1	V = 0.6	V = 0.5	V = 0.8	V = 1.9	V = 3.0
	quer <sup>2</sup>	<b>805</b>	<b>9.0</b>	<b>10.3</b>	<b>12.0</b>	<b>14.3</b>	<b>23.6</b>
		V = 1.2	V = 1.3	V = 1.3	V = 2.1	V = 2.6	V = 2.1
Sperrholz: Multiplex Buche, 24 mm	längs <sup>2</sup>	<b>761</b>	<b>8.0</b>	<b>9.2</b>	<b>10.4</b>	<b>13.1</b>	<b>22.6</b>
		V = 1.8	V = 2.7	V = 2.6	V = 2.1	V = 2.0	V = 2.0
	quer <sup>2</sup>	<b>766</b>	<b>8.2</b>	<b>9.3</b>	<b>10.5</b>	<b>13.3</b>	<b>23.1</b>
		V = 1.2	V = 0.9	V = 1.0	V = 1.3	V = 1.6	V = 1.6

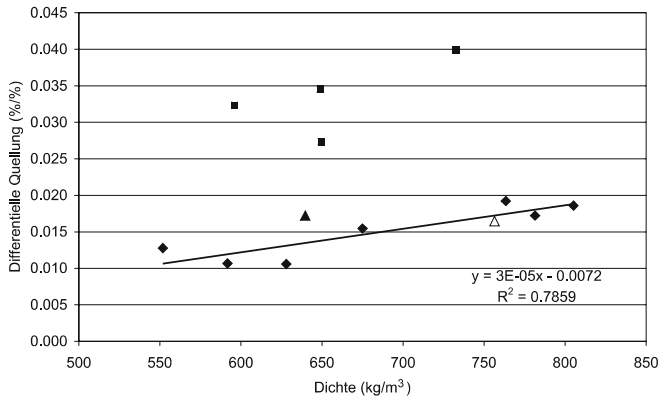
<sup>1</sup> Ausrichtung in Plattenebene, parallel bzw. quer zur Produktionsrichtung. <sup>2</sup> Ausrichtung in Plattenebene, in bzw. quer zur Faserlängsrichtung der Deckschicht.

<sup>1</sup> In plane, parallel and perpendicular to the manufacturing-direction. <sup>2</sup> In plane, parallel and perpendicular to the fibre-direction of the face veneer.

ergaben sich starke Unterschiede zwischen den verschiedenen Holzwerkstoffen. Erwartungsgemäß zeigen die Span- und Faserwerkstoffe eine starke Dickenquellung auf. Rohspan V 20 (8 mm) weist mit 1,22%/‰ Holzfeuchteänderung ( $\Delta HF$ ) die größte Dickenquellung auf. Innerhalb der Spanplatten ist eine klare Abhängigkeit von der Dichte erkennbar. Die OSB-Platte weist (Mittelwert aus den Proben parallel und senkrecht zur Produktionsrichtung) unter Berücksichtigung der Dichte eine Dickenquellung im Bereich derjenigen der Spannplatten auf, die MDF-Platte hingegen eine deutlich niedrigere (Abb. 4).

Da die differentielle Quellung bei Span- und Faserwerkstoffen mit zunehmendem Feuchtegehalt zunimmt (irreversibles Quellungsverhalten, Abb. 5), liegen die gemessenen Werte zum Teil deutlich über den in der Literatur angegebenen Werten.

Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass auf Grund der Zunahme der differentiellen Quellung mit zunehmender Feuchte der nach Gleichung 2 berechnete  $l_0$ -Wert bei den untersuchten Proben ca. 3–4% zu tief liegt, da er unter Annahme einer konstanten differentiellen Quellung berechnet wurde. Dadurch ergeben sich um diesen Faktor zu hohe Werte in Tabelle 3.



**Abb. 3** Quellung in Plattenebene (zwischen 35% und 95% rLF) in Abhängigkeit der Dichte. — = Regressionsgerade der Sperrholzplatten (Quer- und Längsproben gemittelt), ◆ = Sperrholzplatten, ■ = Spanplatten, ▲ = OSB, △ = MDF

**Fig. 3** Swelling in plane (between 35% and 95% relative humidity) dependent on the density. — = linear regression of the plywood (mean values of the specimens parallel and perpendicular to the fibre), ◆ = plywood, ■ = particle boards, ▲ = OSB, △ = MDF

Bei den Sperrholzplatten ist die Dickenquellung bis 5.5 Mal geringer als bei Spanplatten. Die Mittelwerte der differentiellen Quellung der einzelnen Platten schwanken zwischen 0,22%/‰  $\Delta$ HF (Fassadenplatte Lärche, 12,5 mm) und 0,42%/‰  $\Delta$ HF (Multiplex Buche, 20 mm längs). Außer bei der Fassadenplatte Lärche 12,5 mm entspricht die Dickenquellung ungefähr der tangentialen Quellung von Vollholz. So beträgt die differentielle, tangentiale Quellung für Vollholz nach Sell (1997) für Buche 0,38–0,44%/‰  $\Delta$ HF (Multiplex/Sperrholz Buche 0,40–0,42%/‰  $\Delta$  HF), für Douglasie 0,24–0,31%/‰  $\Delta$ HF, für Tanne 0,28–0,35%/‰  $\Delta$ HF (Fassadenplatten Douglasie/Tanne 0,31–0,36%/‰  $\Delta$ HF) und für Lärche 0,28–0,36%/‰  $\Delta$ HF (Fassadenplatte Lärche (22,5 mm) 0,32–0,35%/‰  $\Delta$ HF).

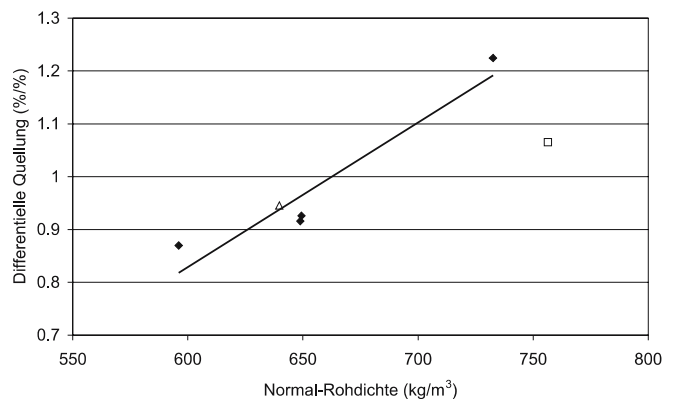
#### 4.3 Längenänderung unter Temperatureinfluss

Abb. 6 zeigt die Längenänderung auf Grund der Wärmeausdehnung an den untersuchten Holzwerkstoffen zwischen +60° und –40 °C. Dabei konnte eine geringe Feuchtaufnahme der Proben während der Messung nicht verhindert werden (total zwischen 0,29% und 0,71%). Da bei der Messung zwischen 20° und 0 °C infolge längerer Klimatisierung (3 Tage) 2 - 5 mal mehr Feuchte an die Proben gelangte als bei den übrigen Messungen, musste diese wiederholt werden und ist darum gestrichelt eingezeichnet. Dadurch konnte die Feuchtaufnahme auf 0,21% bis 0,41% reduziert werden. In Tabelle 4 sind neben den gemessenen die feuchtekorrigierten Werte der Wärmeausdehnung unter der Annahme einer linearen Quellung (Verwendung der differentiellen Quellung zwischen 35% und 80% relativer Luftfeuchte gemäß Tabelle 3) angegeben. Diese Werte sind jedoch mit verschiedenen Unsicherheitsfaktoren verbunden. Einerseits ist zu Beginn der Chemisorption keine oder nur eine geringe Quellung vorhanden, wodurch schwer zu bestimmen ist, ab wann mit dem linearen Quellungsfaktor gerechnet werden kann. Andererseits wurde

mit der Messung nicht gewartet, bis die Ausgleichsfeuchte erreicht wurde, da durch eine längere Klimatisierung mehr Feuchte aufgenommen worden wäre. Dadurch sind die feuchtekorrigierten Werte eher etwas zu hoch angesetzt.

Tabelle 4 zeigt die Wärmeausdehnungszahl ( $\alpha_w$ ) der untersuchten Holzwerkstoffe in Plattenebene. Dabei wurde  $\alpha_w$  als Steigung der Regressionsgeraden durch die Mittelwert-Punkte der Wärmedehnung bei –40°, –20°, 0°, 20°, 40° und 60 °C im Temperatur-Dehnungsdiagramm (Abb. 6) bestimmt. Das Bestimmtheitsmaß ist mit  $R^2 > 0.99$  bei allen Holzwerkstoffen sehr hoch. Sofern für die Bestimmung von  $\alpha_w$  zwischen –40° und +60 °C nur die beiden Endwerte berücksichtigt werden (gemäß Gleichung 3), ergeben sich auf Grund des hohen Bestimmtheitsmaßes nur geringe Differenzen gegenüber ersterer Berechnung. Die Werte sind in Tabelle 4 in Klammern beigefügt. Der Variationskoeffizient, der über den gesamten gemessenen Bereich der Wärmedehnung zwischen –40° und +60 °C bestimmt wurde, hängt bei der gewählten Messvariante einerseits von der Rauigkeit der Proben ab und ist daher bei MDF (sehr geringe Porosität der Oberfläche) mit 9,9% am geringsten. Andererseits ist er auch auf eine unterschiedliche Dehnung innerhalb der Proben zurückzuführen (Sperrholzplatte: Unterschiedliches Dehnungsverhalten der Schichten || und  $\perp$  zur Deckschicht; Spanplatten: Teilweise unterschiedliche Dehnung der Ober- und Unterseite, was eine leichte Krümmung der Proben bewirkt (am ausgeprägtesten bei der dünnsten Spanplatte: Rohspan V 20, 8 mm)).

Die Wärmeausdehnungszahl der Span- und Faserplatten schwankt zwischen  $5.2 \cdot 10^{-6}$  m/mK (Rohspan V 20 (8 mm) und Rohspan V 313 (19 mm)) und  $5.9 \cdot 10^{-6}$  m/mK (MDF). Eine Abhängigkeit von der Dichte konnte nicht festgestellt werden. Die Wärmeausdehnungszahl der Sperrholzplatte (Fassadenplatte Lärche, 22,5 mm) ist mit  $3.7 \cdot 10^{-6}$  m/mK wesentlich tiefer (ca. 30 - 40%) als die Werte der Span- und



**Abb. 4** Abhängigkeit der Dickenquellung von der Rohdichte bei Span-, MDF- und OSB-Platten. — = Steigungsgerade (lineare Regression) der differentiellen Quellung zur Rohdichte bei Spanplatten; ◆ = Mittelwerte der Spanplatten; □ = Mittelwert der MDF-Platte, △ = Mittelwert der OSB-Platte

**Fig. 4** Swelling perpendicular to the plane of particleboards, MDF and OSB dependent on the density. — = gradient of the linear regression for the particleboards; ◆ = mean values of the particleboards; □ = mean value of the MDF, △ = mean value of the OSB

**Tabelle 3** Rohdichte bei Normalklima (20 °C/65% relativer Luftfeuchte (rLF)) und differentielle Quellung der Holzwerkstoffe in und senkrecht zur Plattenebene; V = Variationskoeffizient  
**Table 3** Density by normal climate (20 °C/65% relative humidity) and differential swelling in plane and perpendicular to the plane of the wooden materials. V = Coefficient of variation

Holzwerkstoff	Ausrichtung der Proben	Normal-Rohdichte [kg/m <sup>3</sup> ]	Differentielle Quellung [%/‰]			
			in Plattenebene		senkrecht zur Plattenebene	
			35 - 95% rLF	35 - 80% rLF	80 - 95% rLF	65 - 95% rLF
MDF roh, 18 mm	parallel <sup>1</sup>	<b>756</b>	<b>0,016</b>	<b>0,040</b>	<b>0,010</b>	<b>1,07</b>
		V = 0,4	V = 3,6	V = 2,8	V = 7,4	V = 2,1
OSB 3, 18 mm	parallel <sup>1</sup>	<b>630</b>	<b>0,016</b>	<b>0,028</b>	<b>0,011</b>	<b>0,98</b>
		V = 4,4	V = 17,3	V = 9,0	V = 29,5	V = 10,7
	quer <sup>1</sup>	<b>649</b>	<b>0,018</b>	<b>0,034</b>	<b>0,011</b>	<b>0,91</b>
Rohspan V 20, 8 mm	parallel <sup>1</sup>	V = 2,5	V = 9,3	V = 8,4	V = 18,8	V = 10,7
		<b>733</b>	<b>0,040</b>	<b>0,049</b>	<b>0,036</b>	<b>1,22</b>
Rohspan V 20, 18 mm	parallel <sup>1</sup>	V = 1,1	V = 2,5	V = 3,6	V = 3,1	V = 3,9
		<b>649</b>	<b>0,027</b>	<b>0,036</b>	<b>0,023</b>	<b>0,93</b>
Rohspan V 20, 30 mm	parallel <sup>1</sup>	V = 1,9	V = 11,3	V = 8,0	V = 18,8	V = 4,6
		<b>596</b>	<b>0,032</b>	<b>0,040</b>	<b>0,029</b>	<b>0,87</b>
Rohspan V 313, 19 mm	parallel <sup>1</sup>	V = 0,7	V = 4,0	V = 5,6	V = 5,7	V = 3,1
		<b>649</b>	<b>0,035</b>	<b>0,041</b>	<b>0,031</b>	<b>0,92</b>
<sup>3</sup> Sperrholz: Fassadenplatte Lärche, 12, 5 mm	längs <sup>2</sup>	V = 1,6	V = 5,4	V = 5,2	V = 8,1	V = 4,8
		<b>665</b>	<b>0,010</b>	<b>0,017</b>	<b>0,006</b>	<b>0,22</b>
<sup>4</sup> Sperrholz: Fassadenplatte Lärche, 22, 5 mm	quer <sup>2</sup>	V = 1,6	V = 23,1	V = 17,2	V = 42,9	V = 10,2
		<b>685</b>	<b>0,021</b>	<b>0,038</b>	<b>0,013</b>	<b>0,22</b>
	längs <sup>2</sup>	V = 3,6	V = 32,5	V = 31,7	V = 33,8	V = 9,3
<sup>4</sup> Sperrholz: Fassadenplatte Dou/Ta, 15 mm	quer <sup>2</sup>	V = 3,3	V = 28,6	V = 16,1	V = 81,9	V = 11,6
		<b>629</b>	<b>0,010</b>	<b>0,023</b>	<b>0,004</b>	<b>0,32</b>
	längs <sup>2</sup>	V = 3,4	V = 37,4	V = 19,3	V = 68,1	V = 11,5
<sup>3</sup> Sperrholz: Fassadenplatte Dou/Ta, 17 mm	quer <sup>2</sup>	V = 5,0	V = 54,6	V = 25,5	V = 99,0	V = 9,2
		<b>544</b>	<b>0,009</b>	<b>0,014</b>	<b>0,006</b>	<b>0,31</b>
	längs <sup>2</sup>	V = 6,0	V = 45,6	V = 41,9	V = 63,1	V = 9,1
<sup>3</sup> Sperrholz: Multiplex Buche, 20 mm	quer <sup>2</sup>	V = 2,8	V = 24,6	V = 16,9	V = 48,4	V = 8,4
		<b>584</b>	<b>0,008</b>	<b>0,014</b>	<b>0,005</b>	<b>0,36</b>
	längs <sup>2</sup>	V = 2,1	V = 26,8	V = 14,1	V = 61,0	V = 11,4
<sup>3</sup> Sperrholz: Multiplex Buche, 24 mm	quer <sup>2</sup>	V = 1,4	V = 29,4	V = 7,1	V = 36,9	V = 7,9
		<b>780</b>	<b>0,012</b>	<b>0,024</b>	<b>0,006</b>	<b>0,42</b>
	längs <sup>2</sup>	V = 1,0	V = 19,3	V = 12,7	V = 28,0	V = 5,4
<sup>3</sup> Sperrholz: Multiplex Buche, 8 mm	quer <sup>2</sup>	V = 1,1	V = 9,9	V = 4,5	V = 18,2	V = 5,3
		<b>806</b>	<b>0,014</b>	<b>0,024</b>	<b>0,009</b>	<b>0,40</b>
	längs <sup>2</sup>	V = 1,2	V = 6,8	V = 4,6	V = 12,3	V = 4,9
<sup>3</sup> Sperrholz Buche, 8 mm	quer <sup>2</sup>	V = 1,8	V = 12,4	V = 12,9	V = 18,3	V = 2,8
		<b>761</b>	<b>0,017</b>	<b>0,028</b>	<b>0,011</b>	<b>0,41</b>
	längs <sup>2</sup>	V = 1,2	V = 13,5	V = 7,7	V = 22,9	V = 3,4

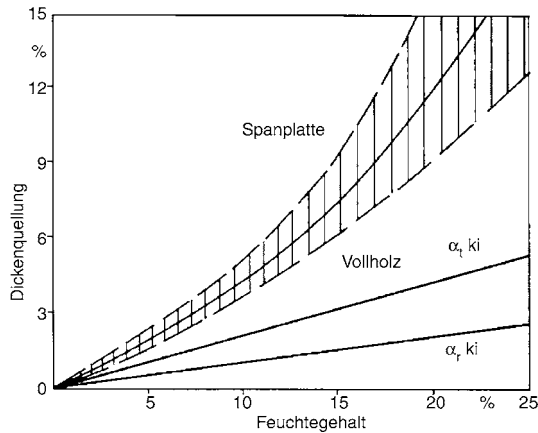
<sup>1</sup>Ausrichtung in Plattenebene, parallel bzw. quer zur Produktionsrichtung. <sup>2</sup>Ausrichtung in Plattenebene, in bzw. quer zur Faserlängsrichtung der Deckschicht. <sup>3</sup>Bei der Messung in Plattenebene wurde eine Schicht parallel zur Deckschicht gemessen. <sup>4</sup>Bei der Messung in Plattenebene wurde eine Schicht senkrecht zur Deckschicht gemessen.

<sup>1</sup>In plane, parallel and perpendicular to the manufacturing-direction. <sup>2</sup>In plane, parallel and perpendicular to the fibre-direction of the face veneer. <sup>3</sup>By the measurement in plane, a layer parallel to the orientation of the face veneer was measured. <sup>4</sup>By the measurement in plane, a layer perpendicular to the orientation of the face veneer was measured.

Faserwerkstoffplatten und entspricht der Wärmeausdehnungszahl von Nadelholz in Faserrichtung (vgl. Fichte, Kiefer:  $\alpha_w = 3,15 - 4,00 \cdot 10^{-6}$  m/mK (Niemz 1993)). Daraus kann abgeleitet werden, dass die Dehnung senkrecht zur Faserrichtung der quer zur Deckschicht verlaufenden Schichten stark behindert wird. Die höheren Werte der Span- und Faserwerkstoffe sind darauf

zurückzuführen, dass neben einer Temperaturdehnung in Faserrichtung auch Dehnungen quer zur Faser in der Plattenebene stattfinden, da die Fasern und Späne nicht oder nur teilweise (OSB: in einem relativ großen Streubereich von  $\pm 30^\circ$ ) ausgerichtet sind. Allerdings liegen die Werte deutlich unter den in der Literatur angegebenen Werten (Niemz 1993).





**Abb. 5** Dickenquellung von Spanplatten im Vergleich zu Kiefern-Vollholz (Quellung in radialer und tangentialer Richtung) aus Niemz 1993

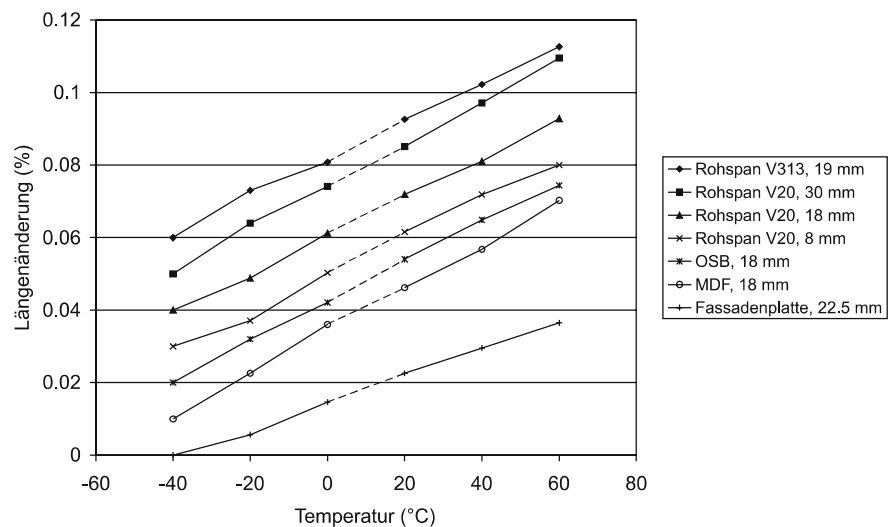
**Fig. 5** Swelling perpendicular to the plane of particle boards compared with solid pine wood (radial and tangential swelling) by Niemz 1993

## 5 Exkurs

Bei Vorversuchen wurden die Proben normalklimatisiert und danach wurde die Temperaturdehnung bei konstanter Feuchte gemessen. Dabei wurde im gefrorenen Zustand zwischen  $-40^{\circ}\text{C}$  und  $0^{\circ}\text{C}$  eine positive Temperaturdehnung gemessen, jedoch zwischen  $20^{\circ}\text{C}$  und  $60^{\circ}\text{C}$  ein Schwinden der Probe beobachtet. Ähnliches hat Salmén (1990) an wassergesättigten Fichtenproben festgestellt. Er hat die Wärmeausdehnung in radialer Richtung zwischen  $20^{\circ}\text{C}$  und  $90^{\circ}\text{C}$  untersucht. Dabei ist die Wärmeausdehnung zwischen  $20^{\circ}\text{C}$  und  $63^{\circ}\text{C}$  negativ. Dies führte er zurück auf die Abwanderung von Wasser aus der gelartigen Kohlenhydrat-Phase in sie umgebende Phasen. Die positive Wärmeausdehnung oberhalb von  $63^{\circ}\text{C}$  begründete er mit der zunehmenden Erweichung des Lignins. Ein Schwinden wassergesättigter Proben durch die Erwärmung im oben angegebenen Bereich beobachtete Kübler (1959) in allen drei Hauptrichtungen (radial, tangential und axial)

**Abb. 6** Wärmeausdehnung verschiedener Holzwerkstoffe zwischen  $-40^{\circ}\text{C}$  und  $+60^{\circ}\text{C}$ . Mittelwerte von  $n = 20$  Proben pro Werkstoff. Die Werte sind von Werkstoff zu Werkstoff (entsprechend der Anordnung in der Legende) jeweils um  $0,01\%$  versetzt zwecks besserer Anschaulichkeit

**Fig. 6** Thermal expansion of diverse wooden materials between  $-40^{\circ}\text{C}$  and  $+60^{\circ}\text{C}$ . Mean values of  $n = 20$  specimen per wooden material. For clarity reasons, the values are shifted  $0.01\%$  between each material (in the order of the legend)



**Tabelle 4** Wärmeausdehnungszahl ( $\alpha_w$ ) verschiedener Holzwerkstoffe im Bereich zwischen  $-40^{\circ}\text{C}$  und  $+60^{\circ}\text{C}$  (Bestimmung anhand einer linearen Regression und in Klammern anhand der Endwerte ( $-40^{\circ}\text{C}$  und  $+60^{\circ}\text{C}$ )) sowie des feuchtekorrigierten Wertes (in Klammern Erhöhung absolut gegenüber dem unkorrigierten Wert).  $N = 20$  Proben pro Werkstoff,  $V =$  Variationskoeffizient der Dehnung zwischen  $-40^{\circ}\text{C}$  und  $+60^{\circ}\text{C}$ ,  $R^2 =$  Bestimmtheitsmass der Regression auf Grund der Mittelwerte

**Table 4** Thermal expansion ( $\alpha_w$ ) of diverse wooden materials between  $-40^{\circ}\text{C}$  and  $+60^{\circ}\text{C}$  (determination on the basis of a linear regression and on the basis of the final values ( $-40^{\circ}\text{C}$  and  $+60^{\circ}\text{C}$ , in brackets) respectively) and the values ( $\alpha_w$ , feuchtekorrigiert) corrected by the moisture content of the specimen (in brackets the increase of the value compared with  $\alpha_w$ ).  $N = 20$  specimen per wooden material,  $V =$  Coefficient of variation of the expansion between  $-40^{\circ}\text{C}$  and  $+60^{\circ}\text{C}$ ,  $R^2 =$  coefficient of determination of the mean values of the regression

	$\alpha_w$ $\left[ \frac{m}{(m \cdot K)} \cdot 10^{-6} \right]$	$\alpha_w$ , feuchtekorrigiert $\left[ \frac{m}{(m \cdot K)} \cdot 10^{-6} \right]$	$V$ [%]	$R^2$
Sperrholz: Fassadenplatte Lärche, 22, 5 mm	3,7 (3,6)	4,2 (+0,5)	27,1	0,997
MDF, 18 mm	5,9 (6,0)	6,8 (+0,9)	9,9	0,998
OSB, 18 mm	5,5 (5,4)	6,3 (+0,8)	19,4	0,999
Rohspan V 20, 8 mm	5,2 (5,0)	7,2 (+2,0)	33,7	0,994
Rohspan V 20, 18 mm	5,3 (5,3)	6,2 (+0,9)	22,1	0,998
Rohspan V 20, 30 mm	5,8 (6,0)	6,9 (+1,1)	14,9	0,998
Rohspan V 313, 19 mm	5,2 (5,3)	6,4 (+1,2)	19,2	0,997

an vorher gekochten Buchenproben. Durch das Kochen wurde der Einfluss von plastischen Veränderungen im Holz auf Grund vorhandener Spannungen abgebaut, die beim ersten Erwärmen in tangentialer und longitudinaler Richtung zu einer Ausdehnung der Probe führten. Jedoch stellte er bei luftgetrockneten Proben eine positive Temperaturdehnung zwischen  $18^{\circ}\text{C}$  und  $95^{\circ}\text{C}$  analog zum Verhalten von darrtrockenem Holz fest. Welcher Teil dabei von einem Spannungsabbau im Holz herrührt und welcher Teil reine Temperaturdehnung darstellt, wird dabei nicht erörtert. Vielleicht könnten Untersuchungen der Temperaturdehnung an Holzwerkstoffen bei unterschiedlichen Feuchten diesen Sachverhalt klären,

da sie homogener aufgebaut sind als Vollholz. Dazu wären jedoch weitere Untersuchungen nötig.

---

## Literatur

- Bosshard HH (1984) *Holzkunde*. Band 2: Zur Biologie, Physik und Chemie des Holzes. 2. Auflage. Birkhäuser Verlag, Basel, 312 Seiten
- Christoph N, Brettel G (1977) Untersuchungen zur Wärmedehnung von Holz in Abhängigkeit von der Rohdichte und der Temperatur. *Holz Roh-Werkst* 35:99–108
- DIN 52 184 (1979) Prüfung von Holz. Bestimmung der Quellung und Schwindung. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 4 Seiten
- DIN EN 300 (1997) Platten aus langen, schlanken, ausgerichteten Spänen (OSB). Definitionen, Klassifizierung und Anforderungen. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 13 Seiten
- DIN EN 312–1 (1996) Spanplatten. Anforderungen. Teil 1: Allgemeine Anforderungen an alle Plattentypen. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 8 Seiten
- DIN EN 312–2 (1996) Spanplatten. Anforderungen. Teil 2: Anforderungen an Platten für allgemeine Zwecke zur Verwendung im Trockenbereich. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 6 Seiten
- DIN EN 312–5 (1997) Spanplatten. Anforderungen. Teil 5: Anforderungen an Platten für tragende Zwecke zur Verwendung im Feuchtbereich. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 9 Seiten
- DIN EN 317 (1993) Spanplatten und Faserplatten. Bestimmung der Dickenquellung nach Wasserlagerung. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 5 Seiten
- DIN EN 318 (2002) Holzwerkstoffe. Bestimmung von Massänderungen in Verbindung mit Änderungen der relativen Luftfeuchte. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 7 Seiten
- DIN EN 321 (2002) Holzwerkstoffe. Bestimmung der Feuchtebeständigkeit durch Zyklustest. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 10 Seiten
- DIN EN 622–1 (1997) Faserplatten. Anforderungen. Teil 1: Allgemeine Anforderungen. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 8 Seiten
- Dunky M, Niemz P (2002) *Holzwerkstoffe und Leime*. Technologie und Einflussfaktoren. Springer, Berlin Heidelberg, 954 Seiten
- Kollmann F (1951) *Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe*. Band 1. Springer, Berlin Göttingen Heidelberg, 1050 Seiten
- Kübler H (1959) Längenänderungen bei der Wärmebehandlung frischen Holzes. *Holz Roh-Werkst* 17:77–86
- Lang EM, Loferski JR (1995) In-plane hygroscopic expansion of plywood and oriented strandboard. *For Prod J* 45(4):67–71
- Niemz P (1993) *Physik des Holzes und der Holzwerkstoffe*. DRW-Verlag, Leinfelden-Echterdingen, 243 Seiten
- Niemz P, Poblete H (1996) Untersuchungen zur Dimensionsstabilität von mitteldichten Faserplatten (MDF) und Spanplatten. *Holz Roh-Werkst* 54:141–144
- Noack D, Schwab E (1985) Kapitel 3. Holzwerkstoffe im Bauwesen. In: Von Halasz R, Scheer C (eds) *Holzbautaschenbuch*. Ernst & Sohn, Berlin
- Ranta L (1978) Untersuchungen über die Dimensionsänderungen von Spanplatten in Plattenebene. 4. Mitteilung: Orientierende Versuche zur Verminderung der linearen Flächenänderung durch verfahrenstechnische Optimierung. *Holz Roh-Werkst* 36:37–44
- Roffael E, Schneider A (1978) Zum Sorptionsverhalten von Holzspanplatten. Teil 1. *Holz Roh-Werkst* 36:393–396
- Roffael E, Schneider A (1979) Zum Sorptionsverhalten von Holzspanplatten. Teil 2. *Holz Roh-Werkst* 37:259–264
- Roffael E, Schneider A (1980) Zum Sorptionsverhalten von Holzspanplatten. Teil 3. *Holz Roh-Werkst* 38:151–155
- Roffael E, Schneider A (1981) Zum Sorptionsverhalten von Holzspanplatten. Teil 4. *Holz Roh-Werkst* 39:17–23
- Salmén L (1990) Thermal expansion of water-saturated wood. *Holzfor-schung* 44(1):17–19
- Schwab E, Steffen A, Korte C (1997) Feuchtebedingte Längenänderungen von Holzwerkstoffen in Plattenebene. *Holz Roh-Werkst* 55:227–233
- Sell J (1997) *Eigenschaften und Kenngrößen von Holzarten*. Baufachverlag, Dietikon, 87 Seiten
- Suchsland O, Xu DP (1992) Determination of swelling stresses in wood-based materials. *For Prod J* 42:25–27
- Wu Q (1999) In-plane dimensional stability of oriented strand panel: Effect of processing variables. *Wood Fiber Sci* 31(1):28–40
- Xu H, Suchsland O (1991) The expansion potential: A new evaluator of expansion behavior of wood composites. *For Prod J* 41:39–42