

Beurteilung der Verformung von Wohnungseingangstüren aus Holzwerkstoffen

1 Problemstellung

Häufig werden von Eigentümern oder Mietern Mängel an Wohnungseingangstüren aus Holzwerkstoffen angezeigt, die mit einem Schleifen oder Klemmen dieser Türen, sowie mit Verformungen begründet werden, die Undichtigkeiten hervorrufen.

Ebenso häufig wird eine Mängelbeseitigung abgelehnt, weil nicht die Verformungswerte der entsprechenden Klimaklasse (vgl. dazu [6]) erreicht werden. Dabei wird meist jedoch nicht beachtet, ob denn auch die Bedingungen hinsichtlich Temperatur und relativer Luftfeuchte auf den jeweiligen Seiten der Wohnungseingangstür zum Zeitpunkt des Ortstermines entsprechend der Einordnung in die Klimaklasse vorliegen.

Nachfolgend wird deshalb ein Verfahren vorgestellt, wie aus den gewonnenen Meßergebnissen zum Ortstermin, die i.a. **nicht** den Grenzwerten der Klimaklasseneinstufung entsprechen, Schlußfolgerungen zur Eignung der untersuchten Wohnungseingangstür gezogen werden können. Im konkreten Fall ging es darum, ob die zum Ortstermin gemessenen Verformungen der Wohnungseingangstüren noch den Anforderungen der Einstufung in die Klimaklasse II entsprechen oder nicht.

2 Meßergebnisse zum Ortstermin

An drei Türen wurden in einem unbeheizten Laubengang und im Flur innerhalb der Wohnungen Temperatur- (T) und Messungen der relativen Luftfeuchtigkeit (u_{rel}) vorgenommen, um die Belastung der Wohnungseingangstüren entsprechend ihrer Zuordnung in die Klimaklasse beurteilen zu können. Außerdem wurden die Verformungen der Wohnungseingangstüren (f) mit einer 2m-Wasserwaage fungierend als 2m-Richtscheid ermittelt. **Alle** Türen bauchten zum Laubengang hin, so daß das größte Stichmaß auf der Innenseite, d.h. also auf der Wohnung zugelegenen Seite etwa in halber Türhöhe zu messen war. Die Außenlufttemperatur betrug um die 0°C .

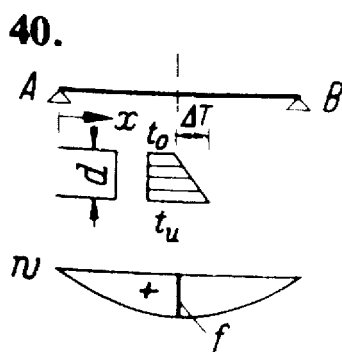
Wohnungseingangstür	Wohnungsflur	Hausflur bzw. Laubengang
Nr. 1	$T = 20,3^{\circ}\text{C}$ $u_{rel} = 40,3 \%$ $f \approx 3 \text{ mm}$	$T = 16,3^{\circ}\text{C}$ $u_{rel} = 48 \%$
Nr. 2	$T = 21,5^{\circ}\text{C}$ $u_{rel} = 35 \%$ $f \approx 6 \text{ mm}$ (Schloßseite) $f \approx 5,5 \text{ mm}$ (Angelseite)	$T = 14,5^{\circ}\text{C}$ $u_{rel} = 52 \%$
Nr. 3	$T = 16,4^{\circ}\text{C}$ $u_{rel} = 56,5 \%$ $f \approx 3 \text{ mm}$	$T = 11,7^{\circ}\text{C}$ $u_{rel} = 50 \%$

Damit liegen 3 verwertbare Meßreihen vor.

3 Herleitung der Verformungsansätze

Grundsätzlich handelt es sich bei den zu beurteilenden Türblättern – aus statischer Sicht – um Platten-Scheiben-Strukturen, deren Dicke im Verhältnis zu den Seitenabmessungen

ausreichend klein ist, so daß die vereinfachten Ansätze der technischen Biegelehre ausreichend genaue Ergebnisse liefern. Wie nachfolgend noch gezeigt wird, ist die Behandlung als Plattenproblem prinzipiell möglich, führt jedoch zur Anwendung komplizierter Differentialgleichungsansätze (affine Verwendung von [5]) oder zur Verwendung von entsprechenden FEM-Programmen (z.B. SOFISTIK). Da allerdings die Eingangsgrößen in die Berechnung außerordentlichen Schwankungen unterworfen sind, so daß sie sogar interpretiert werden müssen, ist die Anwendung genauerer Berechnungen nicht sinnvoll. Zumal zu erwarten ist, daß auch eine Idealisierung als ebenes Problem schon eine gute Annäherung an die realen Ergebnisse liefert. Es wird deshalb darauf verzichtet, eine räumliche Idealisierung vorzunehmen.



ungleichmäßige Temperatur Δt

$$A = B = Q = M \equiv 0$$

$$w(x) = \frac{l^2}{2} \alpha_T \frac{\Delta T}{d} (\xi - \xi^2) = \frac{l^2}{2} \alpha_T \frac{\Delta T}{d} \omega_R$$

$$f = \frac{l^2}{8} \alpha_T \frac{\Delta T}{d}$$

Wie aus den vorstehenden statischen Ansätzen für einen statisch bestimmt gelagerten Einfeldträger unter ungleichmäßiger Temperaturbelastung hervorgeht (siehe z.B. in [1]), spielen zur Ermittlung der Verformung f sowohl die Spannweite des Einfeldträgers l (im übertragenen Fall ist das die Türhöhe h , d.h. also $l = h$), die Türdicke d wegen der ungleichmäßigen Temperaturhöhe auf jeder Seite der Tür, woraus die Temperaturdifferenz ΔT ermittelt wird und der lineare Temperatenausdehnungskoeffizient α_T eine Rolle. Hierbei ist also α_T der konkrete Temperatenausdehnungskoeffizient für den Werkstoff der Tür, die im vorliegenden Fall aus einer beschichteten Holzspanplatte besteht.

$$f = \frac{h^2 \alpha_T \Delta T}{8d}$$

Da zumindest bei den drei verwertbaren Meßreihen die Temperatur auf der Seite des Laubenganges immer geringer war als auf der Wohnungseinnenseite, so müßte wegen der Verkürzung der Holzfasern auf der Laubengangseite und der Verlängerung auf der Wohnungseinnenseite die Krümmung der vorgefundenen Türblätter stets ins

Wohnungsinne bauchen und nicht umgekehrt. Tatsächlich wurde aber der umgekehrte Sachverhalt vorgefunden, was darauf schließen läßt, daß wegen des Holzwerkstoffes der Türblätter auch das Feuchteänderungsverhalten des Holzes als Quellen und Schwinden eine größere Bedeutung, als die Verformungen infolge Temperaturänderungen haben. Im übrigen entspricht die vorgefundene Verformung aber auch den Darstellungen in [4], aus dem nachfolgende Skizze entnommen ist:

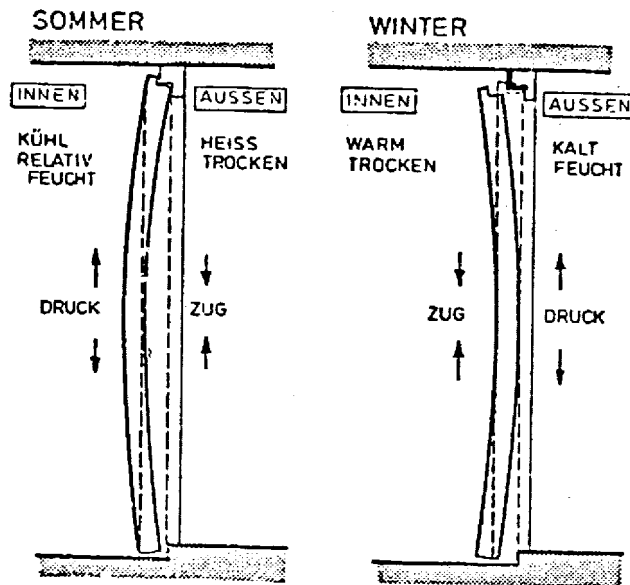


Abb. 4.22 Verformung von Holzhaustüren durch Klimaeinfluß

Da es sich aber wie bei reinen Temperaturänderung auch beim Feuchteänderungsverhalten des Holzes um ein affines Werkstoffverhalten handelt, so können ohne gesonderte Herleitung der Formel für das Feuchteänderungsverhalten aus Analogiegründen die gleichen Beziehungen wie bereits vorstehend dargestellt verwendet werden. Allerdings sind nur geringe Änderungen erforderlich. So wird statt des linearen Temperaturausdehnungskoeffizienten α_T als analoger Wert der Feuchteausdehnungskoeffizient für 1 % Holzfeuchteänderung α_u und statt der Temperaturdifferenz ΔT ($\Rightarrow \Delta T = T_u - T_o = T_a - T_i$) als analoger Wert der Holzfeuchtedifferenz Δu ($\Rightarrow \Delta u = u_u - u_o = u_a - u_i$). Dabei stehen die Indizierungen u und o gemäß dem vorstehenden analytischen Verformungsansatz aus [1] für unten und oben, die für die vorliegenden Verhältnisse als innen und außen vom Türblatt (Darstellung der sommerlichen und winterlichen Verformungen der Türen aus [4]) interpretiert werden können. Damit ergibt sich also analog:

$$f = \frac{h^2 \alpha_u \Delta u}{8d}$$

Faßt man beide Formeln zusammen, so ergibt sich der Gesamtausdruck für die Verformung der Wohnungseingangstür zu:

$$f = \frac{h^2 (\alpha_u \Delta u + \alpha_T \Delta T)}{8d}$$

Da es sich hierbei um ein rein geometrisches Problem handelt, kann eine Herleitung auch dadurch erfolgen, daß für die Türkrümmung ein Kreisbogen angenommen wird. Diese Annahme ist mathematisch exakt, da es sich um eine konstante Krümmung (Krümmungsänderung 0) handelt. Im Ergebnis dieser Herleitung erhält man eine kompliziertere Formel für die Verformung der Wohnungseingangstür, die erst in der vierten Stelle nach dem Komma von den vorstehenden analytischen Beziehungen abweicht:

$$f = \left\{ 1 - \cos \left[\frac{h(\alpha_u \Delta u + \alpha_T \Delta T)}{2d} \right] \right\} \frac{d}{(\alpha_u \Delta u + \alpha_T \Delta T)}$$

(Beachte: cos in rad einsetzen!)

Der Grund liegt darin, daß in den vorstehenden Herleitungen die Differentialgleichungsansätze der Biegelinie zugrunde liegen, bei denen die Terme für die Differenzen zweiten Grades als von höherer Ordnung klein vernachlässigt werden. Da bei der komplizierteren Formel, auf deren Herleitung verzichtet werden kann, in der numerischen Auswertung erst die vierten Stelle nach dem Komma abweicht, sind die vorstehenden Überlegungen zum einen theoretisch richtig und zum anderen ausreichend genau zur Beurteilung des zu behandelnden Problems.

4 Überlegungen zur Auswertung der Meßergebnisse

Die als maßgebend herausgearbeitete Formel lautet somit

$$f = \frac{h^2 (\alpha_u \Delta u + \alpha_T \Delta T)}{8d}$$

Bei der Auswertung der Meßergebnisse mit dieser Formel hat man das Problem, daß es einen Unterschied ausmacht, ob man die relative Luftfeuchtigkeit mißt oder die tatsächliche Bauteilfeuchte (etwa vergleichbar mit der Lufttemperatur oder der tatsächlichen Bauteiltemperatur). Da die Bauteilfeuchte des Türblattes wegen seiner Versiegelung nicht zerstörungsfrei meßbar ist und die relative Luftfeuchte in Abhängigkeit von der Lufttemperatur mit der Bauteilfeuchte korrespondiert, wird zur Auswertung das aus [2] Abb. 3.10 entnommene Diagramm benutzt.

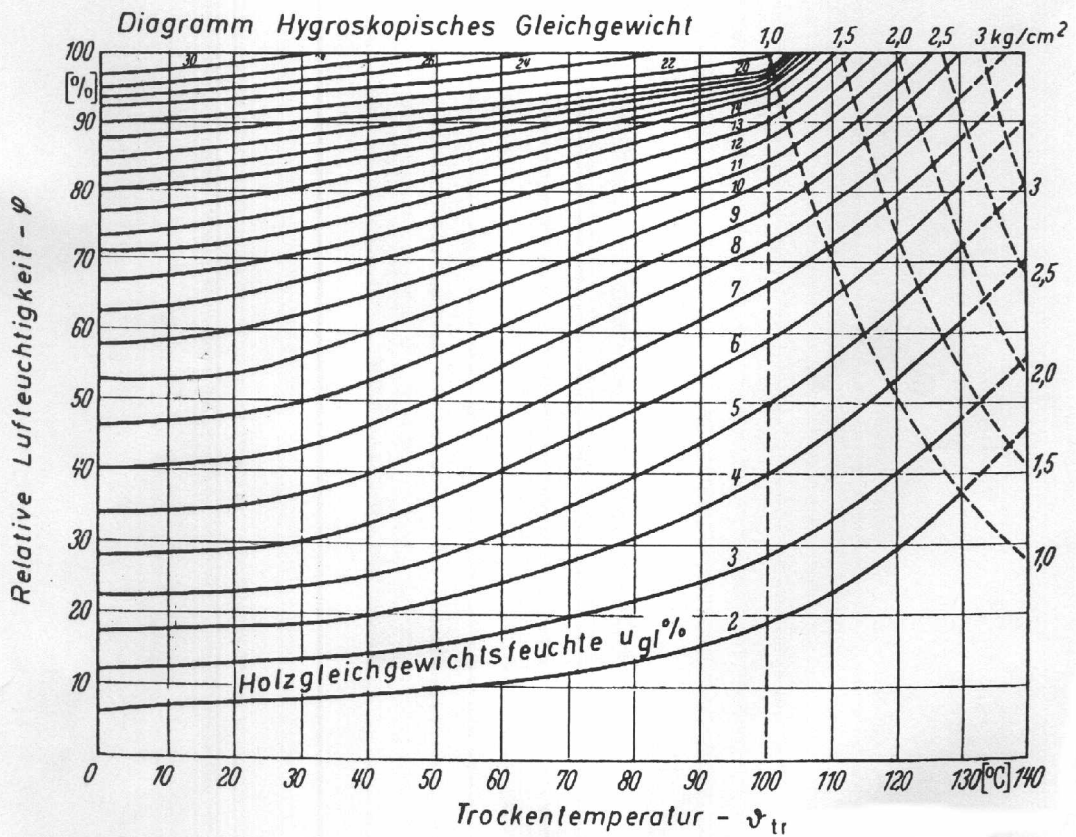


Abb. 3.10 Zusammenhang zwischen Holzfeuchte und Umgebungsklima (nach Keylwerth und U.S. Forest Products Laboratory, Diagramm Bollmann).

Ablesebeispiel:

Lufttemperatur +15 °C, rel. Luftfeuchte 75% $u = 15\%$,
 entspricht: Holzlagerung im Freien;

Lufttemperatur +22 °C, rel. Luftfeuchte 48% $u = 9\%$,
 entspricht: Raumheizung, Innenausbau

Etwas anders als bei Temperatur stellt sich die Gleichgewichtsfeuchte erst nach einem bestimmten längeren Zeitraum ein, so daß man weiterhin die Schwierigkeit hat, daß veränderte Lufttemperaturen und veränderte relative Luftfeuchten auf das Bauteil einwirken und dieses Bauteil sprich Türblatt der Wohnungseingangstür auch noch eine Oberflächenbeschichtung hat, die je nach Beschaffenheit einen Feuchteausaustausch zwischen Türmaterial und Luft unterschiedlich lange verzögern.

Damit streut die Eingangsgröße Δu ($\Rightarrow \Delta u = u_a - u_i$) der vorstehend hergeleiteten Formel, was die Anwendung der Formel in Frage stellt. Diesem Dilemma kann man jedoch begegnen, wenn man sich die Randbedingungen der Klimaklasse II, die diese Türen nach Angabe des Lieferanten haben sollen, sozusagen als Vergleichsmaßstab hernimmt.

In [6] heißt es zu den hygrothermischen Prüfungen:

„Verwindung und Durchbiegung: Bei keiner der Prüfungen darf im Durchschnitt eine Abweichung von der Bezugsebene bzw. Bezugsgeraden von 4,0 mm überschritten werden, wobei die Maximalabweichung einer der drei Türen 5,5 mm sein darf.“

Hält man weiter fest, daß die Klimaklasse II für die warme Seite des Türblattes von 23°C und 30 % relative Luftfeuchte, sowie für die kalte Seite von 13°C und 50 % relative Luftfeuchte ausgeht, so ergeben sich folgende Eingangsgrößen:

Luft:	Bauteil (siehe Diagramm)
$u_i = 30 \%$ bei 23°C..... \Rightarrow	$u_{igl} = 6,1 \%$ ¹
$u_a = 65 \%$ bei 13°C..... \Rightarrow	$u_{agl} = 12,2 \%$
	$\Delta u = u_{agl} - u_{igl} = 12,2 - 6,1 = 6,1 \%$
	$\Delta T = T_a - T_i = 13 - 23 = - 10^\circ\text{C}$

Weitere benötigte Eingangsgrößen für die Berechnung sind:

Türhöhe	$\Rightarrow h = 2100 \text{ mm}$
Türblattdicke	$\Rightarrow d = 42 \text{ mm}$
Temperaturausdehnungskoeffizienten	$\Rightarrow \alpha_T = 5 \cdot 10^{-6} / \text{K}^2$
Feuchteausdehnungskoeffizient	$\Rightarrow \alpha_u = 0,0002 / \%$ ³

$$f = \frac{2100^2 (0,0002 * 6,1 - 0,000005 * 10)}{8 * 42} = 15,3 \text{ mm}$$

Da diese berechnete Verformung nahezu den 4-fachen Wert des zulässigen von 4 mm beträgt (siehe [6]), kann das Ergebnis mit den Randbedingungen der Klimaklasse II nicht korrekt sein. Der Grund liegt in der vorstehend bereits beschriebenen und zu groß

¹ Index *i* steht für *innen* (im Gegensatz zu Index *a* für *außen*), Index *gl* steht für Gleichgewichtsfeuchte des Holzwerkstoffes

² nach [3] S. 20 für Tannenholz in Faserlängsrichtung als ungefähre Annahme für Holzspanplatte – genauere Angaben waren in der dem Autor zugänglichen Fachliteratur nicht verfügbar (Bemerkung: DIN 1052 verzichtet gänzlich auf die Berücksichtigung der Temperatur und in [4] wird lediglich die Berücksichtigung empfohlen, jedoch fachlich nicht untersetzt)

³ nach [4] S. 49 unten

ermittelten Feuchtedifferenz für den Holzwerkstoff des Türblattes. Tatsächlich kann sich wegen der Beschichtung des Türblattes oder ähnlich wirkender Maßnahmen nicht diese Feuchtedifferenz einstellen. Stellt man die vorstehende Formel nach Δu um, so ergibt sich mit dem maximal zulässigen Verformungswert von 4 mm ein $\Delta u = 1,77\%$ oder bei 5,5 mm ein $\Delta u = 2,35\%$.

Daraus läßt sich ein für praktische Berechnung erforderlicher Korrekturwert als ungefähre Annäherung errechnen:

$$\text{Korrekturwert} = \frac{4\text{mm bzw. } 5,5\text{mm}}{15,3\text{mm}} = 0,261 \text{ bzw. } 0,359$$

5 Rechnerische Verformungen nach Meßergebnissen

Damit ergibt sich für die drei verfügbaren Wertepaare mit den bereits vorstehend verwendeten für alle 3 Türen zutreffenden Eingangsgrößen:

Türhöhe	⇒ h = 2100 mm
Türblattdicke	⇒ d = 42 mm
Temperaturausdehnungskoeffizienten	⇒ $\alpha_T = 5 \cdot 10^{-6}/K^4$
Feuchteausdehnungskoeffizient	⇒ $\alpha_u = 0,0002/\%^5$

Eingangsgrößen	Ergebnis
$u_i = 40\%$ bei $20^\circ C \Rightarrow u_{igl} = 7,8\%$ $u_a = 48\%$ bei $16^\circ C \Rightarrow u_{agl} = 9,2\%$ $\Delta u = u_{agl} - u_{igl} = 9,2 - 7,8 = 1,4\%$ $\Delta T = T_a - T_i = 16 - 20 = -4^\circ C$	ohne Korrekturbeiwert: $f = 3,4$ mm; mit Korrekturbeiwert: $f = 0,9$ mm bzw. $1,2$ mm ⇒ vorh f = 3 mm > rechn. f = 0,9 ... 1,2 mm
$u_i = 35\%$ bei $21,5^\circ C \Rightarrow u_{igl} = 7,0\%$ $u_a = 52\%$ bei $14,5^\circ C \Rightarrow u_{agl} = 9,9\%$ $\Delta u = u_{agl} - u_{igl} = 9,9 - 7,0 = 2,9\%$ $\Delta T = T_a - T_i = 14,5 - 21,5 = -7^\circ C$	ohne Korrekturbeiwert: $f = 7,1$ mm; mit Korrekturbeiwert: $f = 1,9$ mm bzw. $2,6$ mm ⇒ vorh f = 6 mm > rechn. f = 0,9 ... 1,2 mm
$u_i = 56,5\%$ bei $16,4^\circ C \Rightarrow u_{igl} = 10,5\%$ $u_a = 50\%$ bei $11,7^\circ C \Rightarrow u_{agl} = 9,5\%$ $\Delta u = u_{agl} - u_{igl} = 9,5 - 10,5 = -1,0\%$ $\Delta T = T_a - T_i = 11,7 - 16,4 = -4,7^\circ C$	ohne Korrekturbeiwert: $f = -2,9$ mm ⁶ ; mit Korrekturbeiwert: $f = -0,8$ mm bzw. $-1,0$ mm ⇒ vorh f = 3 mm > rechn. f = -0,8 ... -1,0 mm

6 Auswertung

Läßt man die Ergebnisse der vorhergehenden Abschnitte nochmals Revue passieren, so wurden unter 2. die bei der Ortsbegehung vorgefundenen Temperaturen (**T**) und relativen

⁴ nach [3] S. 20 für Tannenholz in Faserlängsrichtung als ungefähre Annahme für Holzspanplatte – genauere Angaben waren in der dem Autor zugänglichen Fachliteratur nicht verfügbar (Bemerkung: DIN 1052 verzichtet gänzlich auf die Berücksichtigung der Temperatur und in [4] wird lediglich die Berücksichtigung empfohlen, jedoch fachlich nicht untersetzt)

⁵ nach [4] S. 49 unten

⁶ Das negative Vorzeichen bedeutet, daß das Türblatt zum Laubengang hin bauchen müßte, also genau entgegengesetzt wie vorgefunden.

Luftfeuchtigkeit (u_{rel}) jeweils auf der kalten und warmen Seite, sowie auch die tatsächlich vorhandenen Verformungen (f) der Wohnungseingangstüren gemessenen.

Zur Beurteilung dieser Meßergebnisse wurden Verformungsansätze hergeleitet (siehe dazu 3.) und am Maßstab der Güte- und Prüfbestimmungen für Innentüren aus Holz- und Holzwerkstoffen RAL – RG 426 wurde ein spezifisch für Klimaklasse II und für die spezifischen Türparameter zu ermittelnder Korrekturwert in die Rechnung eingeführt (siehe dazu 4.). Unter diesen Voraussetzungen wurden die Meßergebnisse für die Verformungen der Wohnungseingangstüren den Berechnungsergebnissen in 5. gegenübergestellt. Analog können solche Korrekturwerte auch für die Klimaklasse I und III berechnet werden. Wegen der einfachen Auswertungen wurde jedoch auf diese Darstellungen verzichtet.

Diese Gegenüberstellung zeigt Abweichungen der vorhandenen Verformungen gegenüber den rechnerischen Verformungen mit den Grenzwerten der Klimaklasse II vom etwa doppelten bis zum etwa 5-fachen Wert, sowie im letzten Fall sogar eine gegenläufige rechnerische Verformung gegenüber der gemessenen. Zieht man weiter ins Kalkül, daß die extremalen Randbedingungen der Klimaklasse 2 (vgl. dazu unter 4.) durch die gemessenen Werte nicht erreicht werden (vgl. dazu 5.), so ist damit die vorgefundenen Belastung für die Wohnungseingangstüren geringer als die maximal zulässige Belastung, woraus anhand der vorgefundenen Verformungswerte weiter geschlußfolgert werden kann, daß die derzeit vorgefundenen Verformungen von 3 mm anhand dieses Belastungsmaßstabes zu groß sind und die vorgefundenen 6 mm bereits über den maximal zulässigen Verformungen von 4 mm bzw. 5,5 mm liegen (vgl. [6]).

Letztlich ist daraus zu schlußfolgern, daß bei den begutachteten Türen die gemessenen Verformungen gegenüber den zulässigen wesentlich zu groß sind und deshalb den Anforderungen, die an Türen der Klimaklasse II zu stellen sind, nicht gerecht werden. Es kann deshalb nur vermutet werden, daß die betreffenden Wohnungseingangstüren entweder Produktionsmängel haben, die visuell – außer an den festgestellten Verformungen - nicht erkennbar sind, oder möglicherweise falsch transportiert oder auf der Baustelle falsch gelagert (plastische Vorverformungen der Türblätter) wurden. Ob noch weitere Fehlerquellen in Frage kommen, ist der Stellungnahme des Türherstellers zu überlassen. In jedem Fall sind die betreffenden Wohnungseingangstüren mit den festgestellten Verformungen mangelhaft und deshalb nachzuarbeiten.

Ein noch nicht diskutiertes Problem besteht darin, ob bei den unbeheizten Laubengängen Türen der Klimaklasse II ausreichend sind oder ob Türen der Klimaklasse III einzubauen waren. In den Güte- und Prüfbestimmungen der RAL – RG 426 wird für unbeheizte Hausflure dringend der Einsatz von Türen mit der Klimaklasse III empfohlen. Mindestens wurde also mit dem Einbau von Türen der Klimaklasse II gegen diese Empfehlung verstoßen.

Zum Ortstermin konnten keine Klimabedingungen vorgefunden werden, die ungünstigere Werte für die Gleichgewichtsfeuchte (siehe Diagramm in 4.) verursachte als die Grenzbedingungen für die Klimaklasse II (vgl. auch Berechnungen), **so daß aus diesen Meßwerten keine Forderung nach der Einordnung in die Klimaklasse III abgeleitet werden kann**. Allerdings fanden die Messungen bei einer Außentemperatur von rund 0°C statt, so daß bei harten winterlichen Temperaturen von –20°C in jedem Fall davon auszugehen ist, daß die Randbedingungen der Klimaklasse II nicht mehr ausreichen werden. Mit hoher Wahrscheinlichkeit gründen sich darauf auch die vorstehend bereits erwähnten Empfehlungen zur Klimaklasse III der Güte- und Prüfbestimmungen der RAL – RG 426.

Ob daraus tatsächlich die Forderung zum Austausch sämtlicher Wohnungseingangstüren abgeleitet werden darf, sollte angesichts des erheblichen finanziellen Aufwandes gesondert untersucht werden. Eine Alternative dazu bildet das Beheizen der Laubengänge, da diese den Anforderungen der Wärmeschutzverordnung entsprechen. Das sollte zumindest in die

Überlegungen einbezogen werden, da beheizte Hausflure und Laubengänge auch eher der Erwartungshaltung eines heutigen Wohnstandards entsprechen.

7 Zusammenfassung

Die Verformungen der untersuchten Wohnungseingangstüren sind bei Erreichen der tatsächlichen Randbedingungen der Klimaklasse II größer als zulässig. Als Grenzwert dafür wurden die Güte- und Prüfbestimmungen der RAL – RG 426 angesetzt. Da zum Ortstermin die Grenzbedingungen der Klimaklasse II in ihren Auswirkungen auf die Verformungen nicht erreicht wurden, sind die vorgefundenen Verformungen sehr wahrscheinlich auf Mängel an den Türblättern der untersuchten Wohnungseingangstüren zurückzuführen.

Ob die Türen mit der Klimaklasse II hinsichtlich ihres Verformungswiderstandes tatsächlich ausreichend sind, sollte zum Zeitpunkt des Erreichens oder Überschreitens der Grenzwerte der restriktiven Bedingungen für die Klimaklasse II gesondert untersucht werden. Jedoch entspricht dieser Einsatz wegen der unbeheizten Laubengänge nicht den Empfehlungen der Güte- und Prüfbestimmungen der RAL – RG 426, die die Klimaklasse III empfehlen.

8 Unterlagen und Literatur

- [1] **Betonkalender 1994**, Teil 1, 83. Jahrgang, Ernst & Sohn, Berlin, S. 283
- [2] Albin, R.; Dusil, F.; Feigl, R. u.a.: Grundlagen des Möbel- und **Innenausbau**. DRW-Verlag Weinbrenner, Leinfelden-Echterdingen, 1991, 306 S.
- [3] Ludewig, S.: **Bewegungsfugen**. VEB Verlag für Bauwesen, Berlin, 1986, 448 S.
- [4] Müller, R.: **Hauseingangstüren** aus Holz. 2. Auflage überarbeitete 1994, Bauverlag, Wiesbaden, Berlin, 168 S.
- [5] Hotzler, H.: Biegemomente in rechteckigen Platten infolge von Temperaturunterschieden. Bauplanung-Bautechnik 38(1984)3 S.121-126, 128
- [6] Auszug aus den Güte- und Prüfbestimmungen für Innentüren aus Holz- und Holzwerkstoffen RAL – RG 426, 1 S. A4