

Laufzeit	01.01.2011 - 31.03.2013
Titel	Beschreibung der durch Medienmigration in Kunststoffbauteilen induzierten Quellspannungen

IGF-Vorhaben-Nr.: FV Nr. 16654N (FGK-Nr. 8241)

Ziel des Projektes war es, die durch Quellung entstehenden mechanischen Beanspruchungen von Kunststoffbauteilen zu erfassen, zu beschreiben und der Auslegung zugänglich zu machen. Um dieses Projektziel zu erreichen, wurde ein grundlegendes Verständnis der Zusammenhänge zwischen dem Feuchtetransport (siehe Abb. 1a) in einem Musterteil aus Polymethylmethacrylat (PMMA) und den einerseits daraus resultierenden Veränderungen des Materials (Weichmachung) sowie den andererseits durch instationäre Volumenänderung (Quellung, Abb. 1b) entstehenden zusätzlichen mechanischen Spannungen (Quellspannungen, Abb. 1c) erarbeitet. Die gewählte Kombination aus PMMA und Wasser ist häufig in den Bereichen Bau (siehe Abb. 2a) und Automotive (Abb. 2b) anzutreffen.

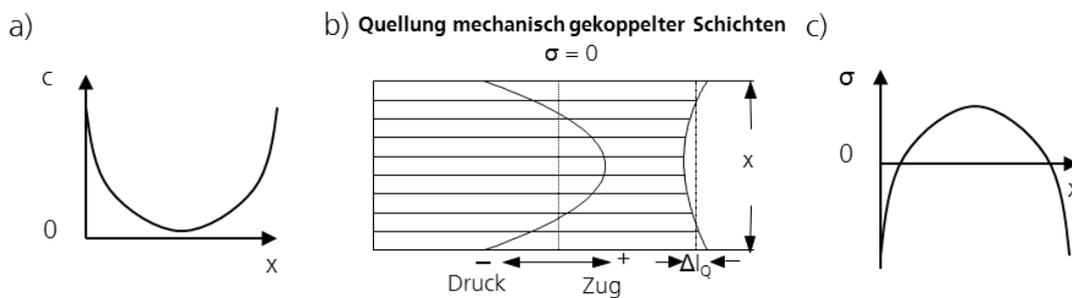


Abb. 1: Konzentrationsgradient der Feuchte (a) bewirkt unterschiedliche Dehnung (Quellung) über dem Bauteilquerschnitt (b), die aufgrund der Schichtkopplung zu mechanischen Quellspannungen führt (c)

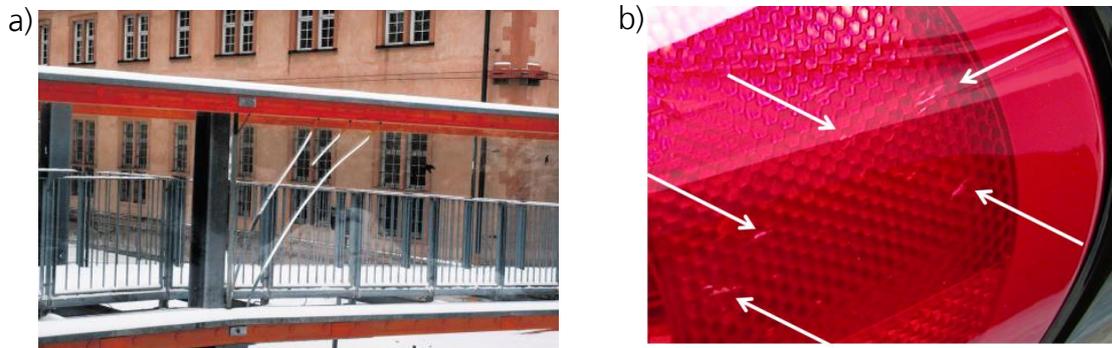


Abb. 2: a) Spannungsrisse in Fußgängerbrücke mit konstruktiven Elementen aus organischem Glas
b) Spannungsrisse (siehe Pfeile) in PKW-Heckleuchte nach Beanspruchung in der Waschstraße

Als Proben kamen spritzgegossene Platten ($100 \times 100 \times 1 \text{ mm}^3$) aus PMMA (Plexiglas® 8N) zum Einsatz (Abb. 3a). Sie wurden bei Raumtemperatur in luftdichten Behältern mit konstanten relativen Umgebungsfeuchten (rF) bis zur Gewichts- und Volumenkonstanz eingelagert (Abb. 3b). Masse und Maße dieser Platten wurden während der Feuchtelagerung gemessen, mit geeigneten physikalischen Parametern (Diffusionskoeffizient D , Flory-Huggins-Parameter χ , Feuchteausdehnungskoeffizient α , Gleichgewichtsfeuchtegehalt c) beschrieben und die Paarung PMMA / Wasser auf diese Weise klassifiziert. Weiterhin wurden Schulterstäbe geeigneter Geometrie (Kleinzugstab BZ12, Abb. 4a) aus den vorbehandelten Platten ausgefräst und im quasi-statischen Zugversuch mechanisch charakterisiert (E-Modul, Querkontraktionszahl ν , Abb. 4b und c).

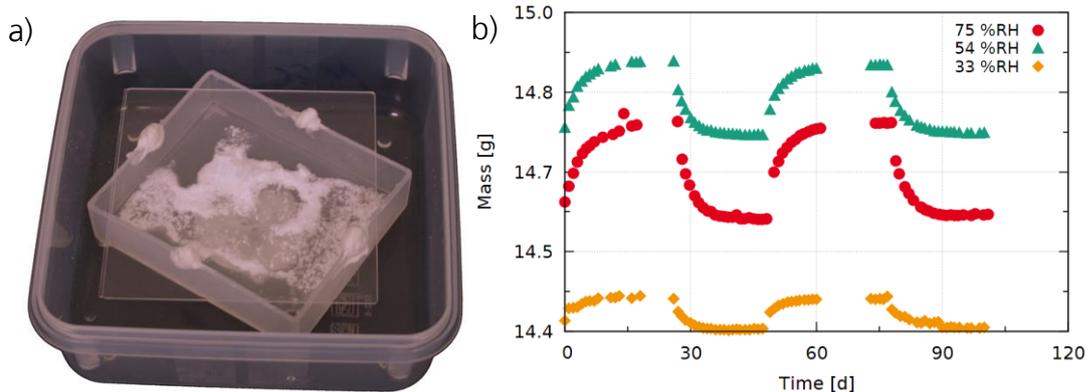


Abb. 3: a) Geöffnete Klimakammer (Kunststoffbehälter, gesättigte Salzlösung mit Bodensatz)
b) Massenänderungen von spritzfrischen PMMA-Platten (23 °C) in unterschiedlichen Umgebungsfeuchten (Sorption) bzw. in trockener Umgebung (Trockenmittel: MgCl_2 , Desorption)

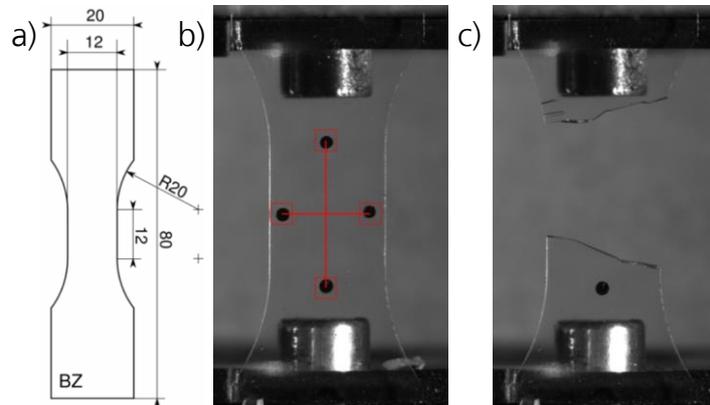


Abb. 4: a) Abmessungen (in mm) des BZ12-Schulterstabs für die Zugprüfung von feuchtem PMMA
b) Aufbau des quasistatischen Zugversuchs mit eingespanntem Schulterstab (BZ 12) aus PMMA und Farbmarkierungen der optischen Dehnungsmessung vor dem Versuch
c) Prüfung bis zum Bruch mit sprödem Versagen

Die ermittelten Kennwerte und Parameter (D , α , c , E , ν) dienen als Eingangsgrößen für eine rechnergestützte Simulation mittels FEM, bei der mechanische Maximalspannungen (Abb. 6), die während der Trocknung von feuchten PMMA-Platten (siehe Abb. 5, Feuchtegehalt 2,0 Gew.-%) in 1 % rF bei Raumtemperatur entstehen, zu berechnen. Dies geschah unter Anwendung der Analogie zwischen Wärmeleitungsgleichung (2. Fourier'sches Gesetz) und Diffusionsgleichung (2. Fick'sches Gesetz) in einer linear elastischen Simulation mit thermischer Expansion und Wärmeleitung (Coupled Temperature-Displacement). Die so berechneten mechanischen Komponentenspannungen ergaben sich zu +10 MPa (Tab. 1).

Tab. 1: Quellspannungen bei der Trocknung von PMMA: FEM-Berechnung und Validierungsversuch

		σ [MPa]
Simulation	FEM	9,5
Experiment	Drei-Punkt-Biegung	9,1

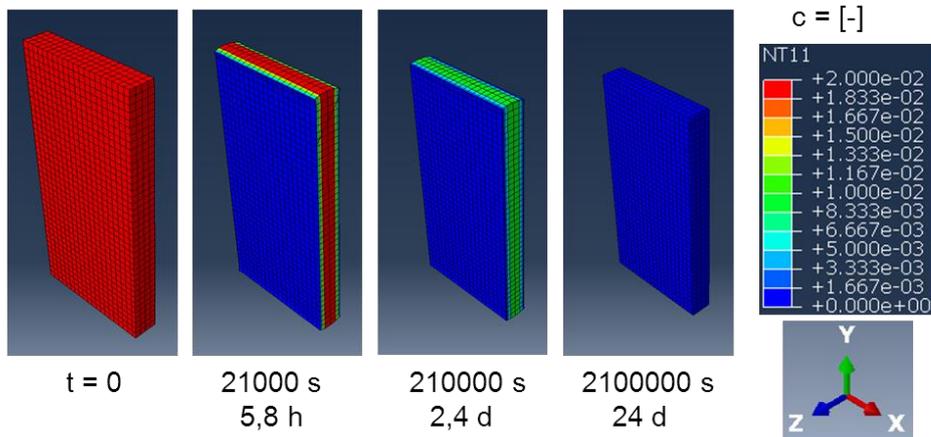


Abb. 5: Konzentrationsfeld der Feuchte in einer PMMA-Platte bei der Trocknung. Der Anschaulichkeit halber ist nur eine Hälfte der Platte dargestellt.

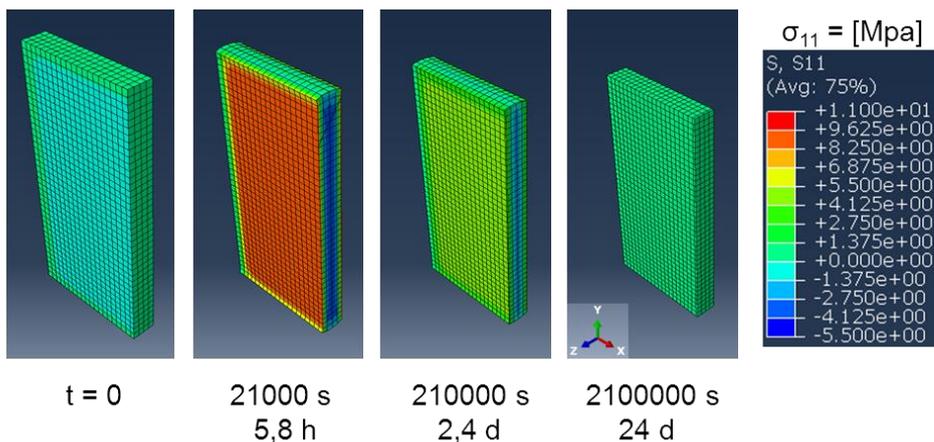


Abb. 6: Normal-Spannungsverteilung der Feuchte in einer PMMA-Platte bei der Trocknung. Der Anschaulichkeit halber ist nur eine Hälfte der Platte dargestellt.

Die berechneten Quellschpannungen wurden in Drei-Punkt-Biegeversuchen validiert. Als Proben dienten hier Flachstäbe, die aus vorbehandelten Platten herausgefräst wurden. Um Quellschpannungen auf diese Weise vergleichend abbilden zu können, kam der Probenvorbehandlung eine besondere Bedeutung zu: Verglichen wurden bis ins Gleichgewicht feuchtgelagerte Proben und solche, die zusätzlich kurzzeitig (4,5 h) angetrocknet wurden. Als Versuchs-kriterium diente die Bruchspannung in Anlehnung an EN ISO 178.

Aus der Differenz der Bruchspannung von Gleichgewichts- und angetrockneten Proben konnte unter der Annahme additiv überlagerter Spannungszustände (Abb. 7) auf die maximale Quellspannung bei der Trocknung von PMMA zurückgeschlossen werden. Auf diesem Wege wurden Werte von +9 MPa erhalten, die sehr gut mit FEM-Simulationsergebnissen übereinstimmen (Tab. 1). Einschränkend wirken hier statistische Schwankungen der gemessenen Bruchspannung, allerdings ohne die oben getroffenen Aussagen zu verwischen. Mechanische Zugspannungen dieser Größenordnung sind relevant für das Langzeitverhalten von Bau- oder Formteilen. Bleiben sie in der Auslegungsphase unberücksichtigt, kann dies zu unerwartetem Versagen führen.

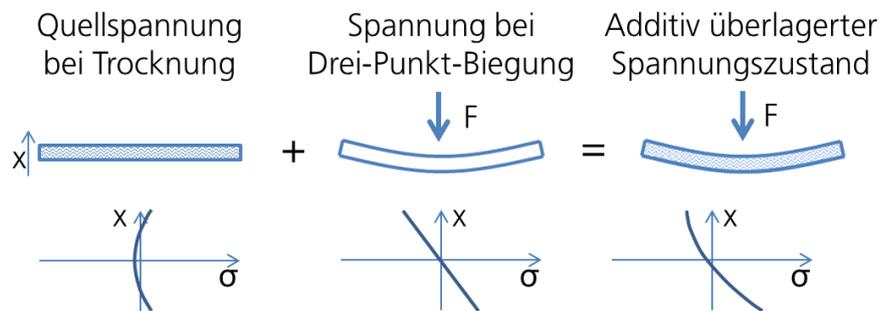


Abb. 7: Schematische Darstellung der additiven Überlagerung von quellungsbedingten Eigenspannungen bei der Trocknung mit mechanischen Spannungen durch äußere Last in der Drei-Punkt-Biegung

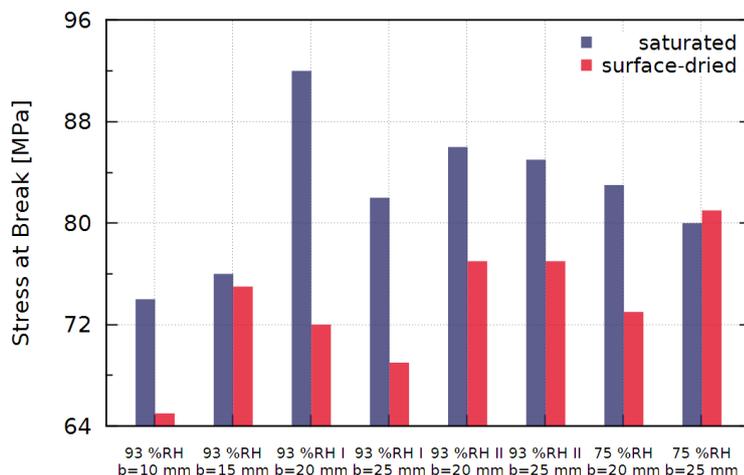


Abb. 8: Mittlere Bruchspannungen (technisch) von Flachstäben verschiedener Breite aus PMMA, die unterschiedlich vorbehandelt wurden: gesättigt in Umgebungsfeuchte (blau) und angetrocknet nach Sättigung (rot), jeweils bei 23 °C, Mittelwertbildung aus fünf Wiederholungen

Kontakt: Dr.-Ing. Jürgen Wieser, Tel.: +49 6151 705-8725;

juergen.wieser@lbf.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. (FH) Guru Geertz, Tel.: +49 6151 705-8733;

guru.geertz@lbf.fraunhofer.de

Danksagung und Bestellhinweis

Das IGF-Vorhaben FV Nr. 16654 N (FGK-Nr. 8241) der Forschungsvereinigung Forschungsgesellschaft Kunststoffe e.V. (FGK, Schlossgartenstraße 6, 64289 Darmstadt) wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Wir bedanken uns für die finanzielle Unterstützung.

Die gesamten Forschungsergebnisse können einem umfangreichen Forschungsbericht entnommen werden, der zum Selbstkostenpreis beim Fraunhofer LBF bestellt werden kann. Die Rechnung wird mit dem Bericht zugeschickt.
