

Entwicklung einer Methode zur Ermittlung des Langzeit-Kriechverhaltens von WPC in Kurzzeit auf Basis der Temperatur-Zeit Analogie

Development of a short-term method to determine the long-term creep behaviour of WPC on the basis of the temperature-time analogy

Projektleiter

Project leader:
Andreas Weber

Projektbearbeiter

Persons in charge:
Christoph Scheffel,
Florian Schmidt

Fördermittelgeber

Co-funded by:
BMWK (INNO-KOM)

AUSGANGSSITUATION UND ZIELSTELLUNG

Das Kriechverhalten von Bauteilen aus WPC (wood plastic composites) ist bisher nur wenig untersucht. WPC sowie eine Reihe anderer Holzwerkstoffe sind durch ein über Jahre andauerndes Kriechverhalten gekennzeichnet. Sollen WPC jedoch im Baubereich eingesetzt werden, erfordert das zuverlässige Werte für das Kriechverhalten.

Die Bestimmung des Kriechverhaltens für WPC in nichttragender Anwendung (z. B. Deckings oder Zaunelemente) ist in DIN EN 15534-1:2018 geregelt. Die normgerechte Charakterisierung des Kriechverhaltens erfolgt derzeit mit klimaabhängigen Versuchen über 1 Woche (50 °C/50 % r. L.) bzw. 3 Wochen (23 °C/50 % r. L.).

Ein vorangegangenes Forschungsprojekt des IHD zum Thema „Kriechen von WPC“ zeigte, dass die Kriechzahl für die Belastungszeit von 1 bzw. 3 Wochen nach DIN EN 15534-1 nicht ohne weiteres für eine Prognose der Kriechzahl auf Langzeit (> 1 Jahr) herangezogen werden kann. In dem Projekt erfolgten die Versuche gemäß der DIN EN 1156, die für Holzwerkstoffe konzipiert ist. Die ermittelten Kriechverläufe von WPC zeigen einen im Vergleich zu Holzwerkstoffen deutlich längeren Zeitraum bis zur asymptotischen Annäherung an den maximalen Kriechwert, der selbst nach 4 Jahren nicht erreicht wurde.

INITIAL SITUATION AND OBJECTIVE

The creep behaviour of structural components made of WPC (wood polymer composites) has not been studied much so far. WPC, as well as a number of other wood-based materials, are characterised by year-long creep behaviour. However, if WPC is intended to be used in the building sector, reliable data for the creep behaviour is required.

The determination of the creep behaviour for WPC in non-load-bearing applications (e.g., decking or fence elements) is set out in DIN EN 15534 1: 2018. The creep behaviour is currently characterised acc. to the standard using climate-dependent tests over one week (50 °C/50 % rh) or three weeks (23 °C/50 % rh).

A previous IHD research project on the topic of “Creep of WPC” showed that the creep index for the time of exposure of one to three weeks acc. to DIN EN 15534 1 cannot be used without further ado to predict the creep index over the long term (> 1 year). In the project, the tests were carried out acc. to DIN EN 1156, which is designed for wood-based materials. Compared to wood-based materials, the creep curves determined for WPC show a significantly longer period until the asymptotic approximation to the maximum creep value, which was not reached even after 4 years.

Dies erschwert die Entwicklung und Zulassung neuer Materialien gerade für statisch tragende Anwendungen. Eine Kurzzeitmethode stellt hier einen deutlichen Fortschritt dar.

Nach der Theorie der Temperatur-Zeit-Analogie (TZA) können Kriechtests bei polymeren Werkstoffen mit einer Dauer von wenigen Tagen bei erhöhter Temperatur das Kriechverhalten bei Raumtemperatur zu einem wesentlich späteren Zeitpunkt abbilden. Die Kriechversuche an WPC bei verschiedenen erhöhten Temperaturen simulieren auf diese Weise deren Langzeitverhalten bei Raumtemperatur.

Ziel des Projektes war die Entwicklung einer Kurzzeitmessmethode zur Vorhersage des Langzeitkriechverhaltens von WPC mittels TZA.

VORGEHENSWEISE

Für die Kriechuntersuchungen im Langzeit- und Kurzzeitversuch wurden zuerst die Eigenschaften der vorliegenden WPC charakterisiert. Mittels lichtmikroskopischer Auswertung erfolgte die Analyse und Bewertung der lignocellulosen Partikel im WPC. Außerdem erfolgte die Untersuchung des quasistatischen Biegeverhaltens temperaturabhängig sowie das Quellverhalten der Materialien. DSC-Analysen gaben Aufschluss über etwaige Phasenübergänge im für die Kurzzeitversuche geplanten Temperaturbereich. Mittels dieser Erkenntnisse konnten die Bedingun-

This hampers the development and approval of new materials particularly for static load-bearing applications. Therefore, a short-term method means clear progress.

According to the theory of temperature-time analogy (TTA), creep tests on polymeric materials lasting for a few days at an increased temperature can map the creep behaviour at room temperature at a much later time. The creep tests on WPC at various raised temperatures simulate their long-term behaviour at room temperature in this way.

The objective of the project was to develop a short-term measurement method for predicting the long-term creep behaviour of WPC using TTA.

APPROACH

At first, the properties of the WPC involved were characterised for the creep tests in the long-term and short-term tests. Then, lignocellulose particles in the WPC were analysed and evaluated by means of light microscopy. In addition, the quasi-static bending behaviour as a function of temperature and the swelling behaviour of the materials were investigated. DSC analyses provided information about any phase transitions within the temperature range in question for the short-term tests. Based on these findings, the conditions for the creep tests could be determined. A creep test stand was designed for the short-term creep tests for sensitivity and repeatability.

gen für die Kriechversuche festgelegt werden. Für die Kurzzeit-Kriechversuche wurde ein Kriechstand konzipiert und auf Sensitivität und Wiederholbarkeit geprüft. Aus den temperaturabhängigen Durchbiegungen der Kriechversuche ergaben sich die Kriechzahlen des Langzeitversuchs sowie die zeitabhängigen E-Moduln aller Versuche. Mit verschiedenen Modellen der TZA konnten die Verschiebungsvektoren der Kurzzeitversuche auf den Langzeitversuch bestimmt werden. Unter Zuhilfenahme statistischer Software wurde eine Fit-Funktion für den Verlauf des Langzeitversuchs ermittelt, die anschließend auf alle anderen E-Modul-Zeit-Verläufe angewendet wurde. Die Verschiebung der Kurzzeitversuche mittels TZA und die Anwendung der Fit-Funktion auf die Kurvenstücken entsprechen der Masterkurvenkonstruktion. Letztlich wurden die Funktionen des Langzeitversuchs mit denen der Masterkurven verglichen und Kriechzahlen für eine Langzeitvorhersage berechnet.

The temperature-dependent deflections of the creep tests resulted in the creep figures of the long-term test as well as the time-dependent E-moduli of all tests. By using different TTA models, the displacement vectors of the short-term tests to the long-term test could be determined. Statistical software helped to determine a fit function for the course of the long-term test, which was then applied to all other E-modulus-time courses. The displacement of the short-time tests by means of TTA and the application of the fit function to the curve pieces correspond to the master curve construction. Finally, the functions of the long-term test were compared with those of the master curves and creep figures were calculated for a long-term prediction.

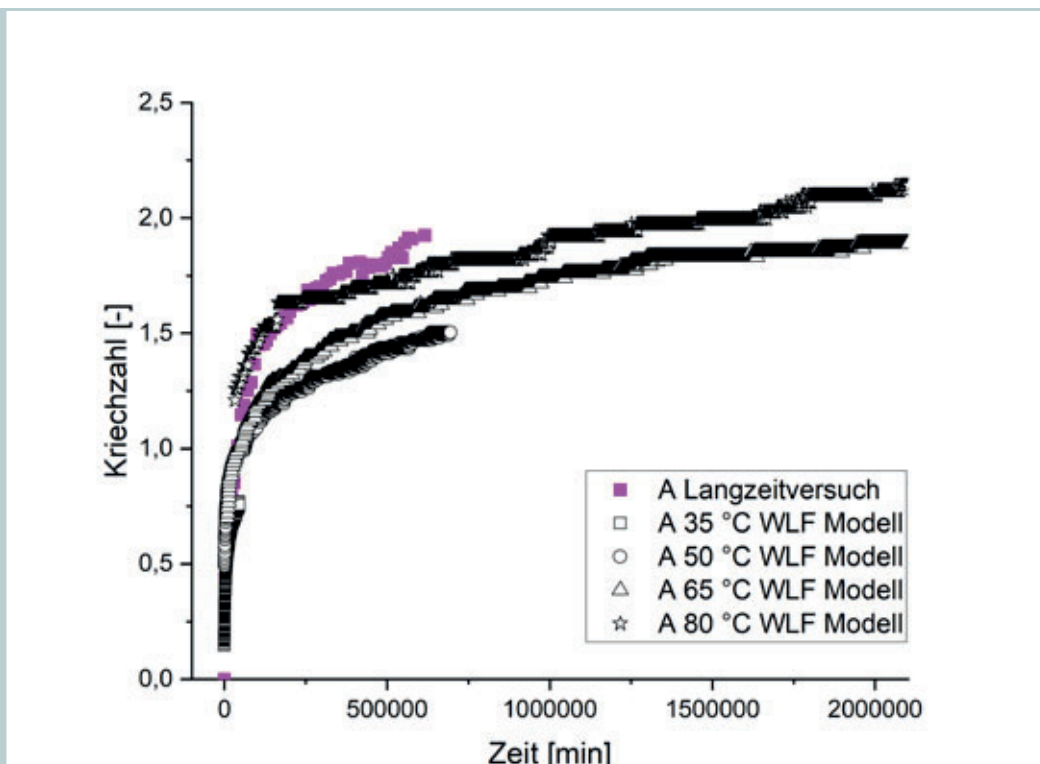


Abb: 1: Gegenüberstellung der Kriechzahlen im Langzeitversuch – zum WLF-Modell für 4 Jahre am Beispiel von Material A
 Fig. 1: Comparison of the creep figures in the long-term test – to the WLF model for four years using the example of material A

ERGEBNISSE

Die Charakterisierung der WPC ergab, dass eine Klimatisierung die Materialfeuchte nur im oberflächennahen Bereich beeinflusst. Die mikroskopische Auswertung zeigte, dass die Holzpartikel von hydrophobem Matrixmaterial umschlossen sind, wodurch kein perkolierendes Partikelnetzwerk entsteht und Feuchtigkeit nicht weiter eindringen kann. Anhand dieser Untersuchungen wurde festgelegt, dass die Kurzzeitversuche bei 50 % r. L. und Temperaturen von 35, 50, 65 und 80 °C durchgeführt werden. Eines der Materialien mit einem Phasenübergang bei 78 °C wurde zusätzlich bei 72 °C untersucht. Die Anwendung des WLF-Modells (nach Malcolm L. Williams, Robert F. Landel und John D. Ferry) zur Verschiebung der jeweils temperaturabhängigen Kurzzeitkennwerte auf der Zeitachse mit materialspezifisch angepassten Parametern wies im Vergleich mit den Langzeitversuchen die beste Übereinstimmung auf. Eine rein horizontale Verschiebung der Kurvenstücke in Abhängigkeit der Temperatur reichte aus, um die Masterkurven zu konstruieren. Demnach handelt es sich bei den untersuchten WPC um rheologisch einfache Materialien. Aus den zeitabhängigen E-Moduln wurden die Kriechzahlen berechnet und dadurch zeitlich extrapoliert (Abb. 1). Vor allem für die höchste Versuchstemperatur von 80 °C konnten gute Ergebnisse erzielt werden.

Daraus ergab sich eine Kurzzeit-Messmethode, die eine Vorhersage des Langzeit-Biege-Kriechverhaltens von bis zu zehn Jahren liefert.

RESULTS

The characterisation of the WPC showed that air conditioning affects the moisture content of the material only in the area close to the surface. The microscopic evaluation demonstrated that the wood particles are enclosed by hydrophobic matrix material, which means that no percolating particle network develops and moisture cannot penetrate further. Based on these investigations, it was decided that the short-term tests would be carried out at 50 % rh and temperatures of 35, 50, 65 and 80 °C. The results of these tests were then used to determine the temperature of the wood particles. One of the materials showing phase transition at 78 °C was additionally tested at 72 °C.

The application of the WLF model (acc. to Malcolm L. Williams, Robert F. Landel and John D. Ferry) to shift the respective temperature-dependent short-term characteristics on the time axis with material-specific adjusted parameters showed the best agreement in comparison with the long-term tests. A purely horizontal shift of the curve pieces in dependence on temperature was sufficient to derive the master curves. Accordingly, the investigated WPC are rheologically simple materials. The creep coefficients were calculated from the time-dependent E-moduli and thus extrapolated in time (Fig. 1). Especially for the highest test temperature of 80 °C, good results were obtained.

This yielded a short-term measuring method that is able to provide long-term bending/creep behaviour for up to ten years.