



**IGF-Forschungsvorhaben**

**17410 BR / 1**

**Untersuchungen zum Kriechverhalten von Holz-Polymer-Werkstoffen (WPC)**

**Durchgeführt von**

**Trägerverein Institut für Holztechnologie Dresden e.V.**

**Institut für Holztechnologie Dresden gemeinnützige GmbH**

**Projektleitung:**

**DI Andreas Weber**

**Projektbearbeitung:**

**DI (FH) Jürgen Bonigut**

**Dr. sc. Christoph Wenderdel**

**Laufzeit:**

**01.10.2012 bis 31.07.2016**

## **Ausgangssituation Wood Plastic Composites (WPC)**

Ursprünglich wurden zur Kunststoffverstärkung Kunstfasern aus Glas- (GFK), Kohle- (CFK) und Aramid eingesetzt, die jedoch gegenüber Naturfasern entscheidende Nachteile wie hohe Aufbereitungsenergie, hoher Entsorgungsaufwand und höheres Gewicht aufweisen (BOLTON 1991; WOLCOTT 1993). Deshalb werden sie zunehmend durch Naturfasern – am häufigsten durch Holzfasern – ersetzt, deren Verbunde unter dem Begriff holzfaserbasierte Kunststoffe (Wood Plastic Composites, WPC) zusammengefasst werden. Aber auch andere lignocellulosehaltige Rohstoffe wie Hanf, Flachs und Getreidestroh werden in zunehmendem Maße genutzt (WIMMER und TEISCHINGER 2003). Die Verwendung von Reisschalen, Kokos oder anderen faserreichen Pflanzenteilen ist ebenfalls möglich (KORTE 2007).

WPC stehen mit hohen Holz-Füllgraden von bis zu 80 % zwischen gefüllten Kunststoffen und klassischen Holzwerkstoffen. Ein hoher Füllgrad bzw. Faseranteil wird angestrebt, um Erdöressourcen für die Herstellung von Kunststoffen zu schonen.

Für Holz-Polymer-Werkstoffe werden derzeit Thermoplaste - vorzugsweise die bei niedrigen Temperaturen verarbeitbaren Thermoplaste: Polypropylen (PP), Polyethylen hoher Dichte (PE-HD), Polyethylen niedriger Dichte (PE-LD), Polystyrol (PS) sowie Polyvinylchlorid (PVC) - eingesetzt. Dabei kann sowohl Neuware als auch Rezyklat eingesetzt werden. Vereinzelt werden jedoch auch Biopolymere wie z. B. Stärke-, Zellulose- oder Milchsäurederivate verwendet, die aus nachwachsenden Rohstoffen gewonnen werden (WIMMER und TEISCHINGER 2003).

Die zur Herstellung von Holz-Polymer-Werkstoffen verwendeten Holzfüllstoffe sind Holzspäne oder Holzmehle. Holzmehl wird als Füllstoff verwendet, um zum einen die Materialkosten zu senken, aber auch um die Festigkeit oder die temperaturabhängige Formbeständigkeit zu verbessern. Beim Einsatz von Holzmehl muss allerdings ein höheres Gewicht in Kauf genommen werden. Im Unterschied dazu wird die Holzfaser in Kombination mit thermoplastischen Kunststoffen ganz gezielt zur Verstärkung und damit zur Verbesserung der mechanischen Eigenschaften eingesetzt. Beide Varianten werden zur Herstellung verschiedenster Bauteile verwendet.

Die Holzfüllstoffe beeinflussen die mechanischen Eigenschaften des Verbundmaterials nicht nur durch die Art der eingesetzten Holzsorte, sondern auch durch die Art der verwendeten Geometrie, ihrem Durchmesser/Längen-Verhältnis und der Vorbehandlung. Darüber hinaus ist der Feuchtegehalt, der durch sie eingestellt werden kann, für die Verarbeitungseigenschaften und Endigenschaften der WPC von größter Bedeutung.

Neben einer Verbesserung der mechanischen Eigenschaften führt die Zugabe von Holzfasern zu Kunststoffen zu einer Verringerung des Bauteilpreises gegenüber einem reinen Kunststoff-Profil. Holzfasern sind - abhängig von ihrer Herstellung - teilweise deutlich preiswerter als Kunststoff.

Da der Markt heutzutage verlangt, dass sich bestehende Produktionsanlagen für Kunststoffe mit nur geringen Änderungen zur Herstellung von WPC verwenden lassen, um Neuinvestitionen möglichst klein zu halten, werden zur Verarbeitung verschiedene technische Lösungen aus dem Bereich der klassischen Kunststoffverarbeitung verwendet. Holz-Polymer-Werkstoffe werden überwiegend durch Extrusion mittels verschiedener Doppelschneckenextruder hergestellt, wobei auch Einschneckenextruder eingesetzt werden können. Weiterhin findet auch das Spritzgussverfahren Anwendung.

In Anlehnung an typische Kunststoffverarbeitungstechnologien werden folglich z. B. Profile mit nahezu beliebigen Querschnitten, hoher Steifigkeit und hoher Geradheit oft in einem Fertigungsschritt und ohne jede Nacharbeit hergestellt.

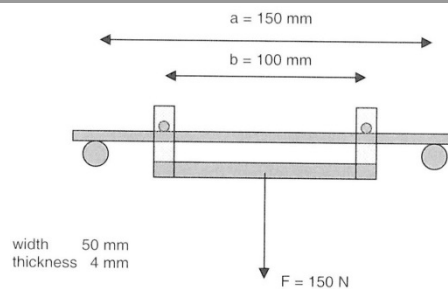
Zur Haftvermittlung zwischen polaren Faseroberflächen und unpolaren Polymeren werden Koppelungsreagenzien eingesetzt. Dabei handelt es sich vorrangig um organische Verbindungen wie Isocyanate, Anhydride oder Silane. Weitere Additive zur Dispergierung sind im Allgemeinen natürliche Harze und Wachse (Lu et al. 2000). Zur Herstellung anforderungsgerechter Produkte ist der Einsatz verschiedenster Additive notwendig. Von Bedeutung sind Farbstoffe, Bindemittel, Stabilisatoren, Verstärker, Schaummittel und Gleitmittel (HÄUPTLI 2003) sowie Additive für spezielle Anwendungsgebiete. So werden beispielsweise bei der Herstellung von Schalungsprofilen Modifikatoren zur Verbesserung der Basenbeständigkeit eingesetzt.

## Ausgangssituation Kriechverhalten von WPC

Da WPC vereinfacht ausgedrückt aus Kunststoffen und Holz bestehen, liegt es nahe, eine Europäische Norm zur Prüfung des Kriechverhaltens heranzuziehen, nach der das Kriechverhalten eines der beiden genannten Materialien geprüft wird. Die in Frage kommenden Normen sind daher für das Material Kunststoff die EN ISO 899-2 bzw. die DIN EN 1156 für Holzwerkstoffe.

Die Prüfung des Kriechverhaltens von Kunststoffen nach EN ISO 899-2 erfolgt allerdings im Dreipunktbiegeversuch festigkeits- oder anwendungsbezogen, während die Prüfung von Holzwerkstoffen festigkeitsbezogen im Vierpunktbiegeversuch durchgeführt wird.

MÜLLER et al. (2008) führten Kriechtests in Anlehnung an ENV 1156 mit einer Belastung von 150 N durch, veränderten jedoch materialbedingt die Zeitdauer (500 h entsprechen elf Tagen), die Prüftemperatur (80 °C) und die Prüfkörpermaße sowie die Prüfvorrichtung (siehe Abbildung 1).



**Abbildung 1: Vorrichtung zur Ermittlung des Kriechens (Quelle: MÜLLER et al. 2008)**

Bei bmvit (2006) betrug die Belastung der Prüfkörper „in etwa 25 % der maximalen Belastbarkeit der Profile“. Es wurden 30 mm breite Profilabschnitte geprüft, die quer zur Profilrichtung herausgetrennt wurden. Es wurden keine Angaben in Bezug auf Länge und Dicke der Prüfkörper, Prüfvorrichtung, -temperatur und -klima getätigt. Die Prüfdauer betrug 60 h (entspricht zweieinhalb Tage). Es konnte „eindeutig gezeigt werden, dass die maximale Kriechdehnung zum Zeitpunkt des Abbruchs der Messung nach 60 h bei Weitem noch nicht erreicht“ wurde.

Als Fazit wurde u. a. gezogen, dass forschungsseitig das Kriechen von WPC genauer untersucht werden sollte, um eine größere Verbreitung von WPC zu ermöglichen.

Das Süddeutsche Kunststoffzentrum (SKZ) befasst sich ebenfalls mit dem Kriechverhalten von (faserverstärkten) Kunststoffen, der Schwerpunkt der Untersuchungen liegt hier auf dem dynamischen Verhalten von Holz-Polymer-Verbundwerkstoffen. Die Temperaturabhängigkeit des dynamischen Kriechverhaltens wurde auch von CHANG (2012) dargestellt. Er konnte aufzeigen, dass ein höherer Anteil an Holzmehl zu einer Verringerung des Kurzzeitkriechverhaltens führt (CHANG et al. 2016; CHANG 2012).

## Forschungsbedarf und Lösungsweg

Zu Beginn des Projektes lagen für die Anforderung an das Kriechverhalten von WPC noch keine ausreichenden Untersuchungsergebnisse unabhängiger Prüfinstitutionen vor.

Die beschriebene Situation und der Stand der Technik zeigen:

- Es existiert Bedarf an einer verlässlichen und möglichst einfach anzuwendenden Prüfmethodik zur Bestimmung des Kriechverhaltens von WPC.
- Es müssen beispielsweise sowohl die Prüfkörpergeometrien, die Ausformung der Prüfkörper als auch die Prüfumgebung (Temperatur, Klima) definiert werden.
- Weiterhin müssen u. a. die Belastungsart (festigkeitsbezogen in Anlehnung an EN 1156, anwendungsbezogen in Anlehnung an DIN 68874-1), Belastungshöhe (prozentual zur Biegefestigkeit, fixe Belastung) sowie die Prüfdauer für WPC-Kriechversuche festgelegt werden.

Beantwortet werden sollten letztendlich die folgenden Fragen. Welchen Einfluss auf das Kriechverhalten haben

- die Prüfanordnung?
- Prüfkörperabmessungen?
- Belastungsintensität (Klima-, Wechselbelastung) und -dauer?
- Verschiedene Profilgeometrien?
- die Anordnungen der Stege bei ausgeformten Hohlprofilprüfkörpern?

Daraus können dann Methoden und Vorschriften zur Normprüfung von Produkten aus WPC abgeleitet werden.

Im Hinblick auf die derzeit fehlende bzw. unzureichende Normung von Kriechversuchen für WPC sollte in Abstimmung mit der Qualitätsgemeinschaft Holzwerkstoffe e. V. im Verband der Deutschen Holzwerkstoffindustrie e. V. (VHI) der Schwerpunkt der Untersuchungen auf die Erarbeitung von normungsfähigen Prüfvorschriften, Prüfgeometrien, Belastungsszenarien etc. gelegt werden.

Das Kriechverhalten sollte vorerst an als typisch erachteten WPC untersucht werden. Dazu wurde mit den beteiligten WPC-Herstellern des Projektbegleitenden Ausschusses festgelegt, wie das WPC-Material beschaffen sein muss, anhand dessen das Kriechverhalten untersucht wurde. D. h., es wurden typische Parameter in Bezug auf:

- Mischungsverhältnis Holz : Polymer,
- Art des Polymers,
- Profilgeometrie

gewählt.

Zur Ermittlung einer geeigneten Prüfmethode zur Bestimmung des Kriechverhaltens sowohl in Anlehnung an EN 1156 (festigkeitsbezogene Belastung) als auch an DIN 68874-1 (anwendungsbezogene Belastung) wurden die entscheidenden Einflussgrößen variiert: Ziel war es, festzustellen, welche Einflussgrößen das Kriechverhalten signifikant beeinflussen, um schlussfolgernd geeignete Prüfmethode zur Ermittlung des Kriechverhaltens von Holz-Polymer-Werkstoffen zu definieren. Dazu wurden zu Beginn des Projekts die Parameter festgelegt und beibehalten. Ziel ist die Definition einer geeigneten sowohl festigkeits- als auch anwendungsbezogenen Prüfmethode zur Ermittlung des Kriechverhaltens von WPC.

### **Zusammenfassung der Ergebnisse**

Aus den Kriechuntersuchungen nach DIN EN 1156 sowie den Vorversuchen kann abgeleitet werden, dass für die Prüfung die Messfußgeometrie angepasst werden muss und diese vorteilhaft schneidenförmig ausgeprägt sind (Abbildung 2).



**Abbildung 2: Darstellung von schneidenförmigen Füßen an einer Messbrücke zur Bestimmung der Durchbiegung an einer rauhen, unebenen und profilierten WPC-Diele**

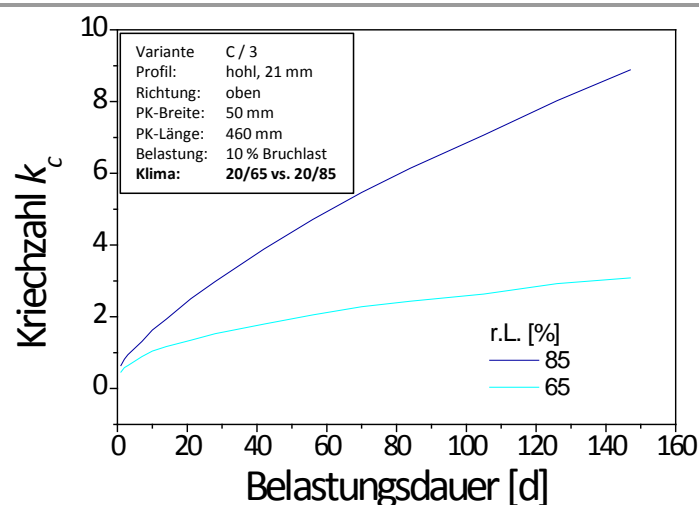
Eine Prüfung der WPC-Dielen kann in Profildicke erfolgen (Vorteile zu 50 mm breiten Prüfkörpern: geringere Varianz, Betrachtung des ganzen oft inhomogen und asymmetrisch aufgebauten Profils), dann müssen jedoch die Auflager- und Belastungsrollenabstände im gleichbleibenden Verhältnis deutlich vergrößert werden. Als praktikabel erwies sich eine Verdopplung der Abstände.

Aus den Ergebnissen werden folgende Empfehlungen für ein standardisiertes Prüfverfahren abgeleitet:

- Prüfkörperbreite: Profildicke
- Prüfkörperlänge [mm]: 2 facher Normwert (300 + 20xProfildicke + 60)
- Auflagerabstand [mm]: 2 facher Normwert (300 + 20xProfildicke)
- Belastungsrollenabstand [mm]: 2 facher Normwert (=300)

Bezüglich der Belastung der Kriechprüfkörper sollte die anwendungsbezogene (z.B. durch anwendungsbezogenen Belastungsszenarien nach DIN 68874) der bruchkraftbezogenen Belastung vorgezogen werden. Zum einen zeigten sich im Vergleich der beiden Belastungsarten nur geringe produktspezifische Unterschiede, zum anderen geht es bei der Anwendung einer zukünftigen Norm vorrangig um die Möglichkeit von Qualitätskontrolle und –sicherung hinsichtlich fertiger WPC-Produkte und nicht wie in DIN EN 1156 vorgesehen um die Beschreibung von Materialeigenschaften. Zur Beschreibung der Materialeigenschaften von WPC-Extrudaten sollte eine eigenständige Prüfmethodik auf Basis von Normen der Kunststoffbranche, wie etwa der EN ISO 899-2, erarbeitet werden.

Hinsichtlich des Einflusses des Umgebungsklima auf die Kriechzahl konnte ein erheblicher Einfluss für die relative Luftfeuchtigkeit (Abbildung 3) und die Umgebungstemperatur gefunden werden. Diese müssen hinsichtlich der anwendungsbezogenen Kriechuntersuchung Berücksichtigung finden. Denkbar ist die Aufstellung von anwendungsbezogenen Prüfklimazyklen, die den Verlauf und die Extremklimabedingungen eines zukünftigen Standorts einbeziehen.



**Abbildung 3: Verlauf der Kriechzahl in Abhängigkeit der relativen Luftfeuchte und der Belastungsdauer**

Bislang wurde der Einfluss der relativen Luftfeuchtigkeit nur instationär betrachtet. Auch zukünftig wird auf Grund der langsamen Sorptionsgeschwindigkeit einzig der instationäre Einfluss in die Betrachtungen einfließen können. Hierzu ist es sinnvoll geeignete Wechselklimazyklen zu erstellen, die den anwendungsbezogenen Klimawechseln entsprechen bzw. Extremklimabedingungen (wie z.B. Beregnung der Dielen und Verbleib der Feuchte in den Hohlkammern) abbilden.

## **Wissenschaftlich-technischer und wirtschaftlicher Nutzen**

Mit dem entwickelten Know-how für Prüfvorschriften und Produktnormen sowie dem Erkenntnisfortschritt zum Kriechverhalten von Holz-Polymer-Werkstoffen wurden Grundlagen zur Produktbewertung und Produktsicherheit für WPC-Hersteller geschaffen. Aufbauend darauf können die Erkenntnisse für die Werkstoff-/Produktentwicklung mit dem Ziel, das Anwendungsspektrum für ihre Produkte zu erweitern und die Wertschöpfung zu erhöhen, durch WPC-Hersteller genutzt werden.

Die Vorteile der Produkt- und Verfahrensentwicklung werden in folgenden Bereichen gesehen:

- fertigungstechnisch:  
dauerhafte Verbesserung der Entwicklung und Sicherung der Reproduzierbarkeit der Fertigung von WPC-Materialien und WPC-Produkten mit spezifischen Kriecheigenschaften,
- wirtschaftlich:  
Qualitätssicherung der Fertigung von Holz-Polymer-Werkstoffen mit spezifischen Merkmalen des Kriechverhaltens,
- ökologisch:  
Ersatz von Tropenhölzern,  
Verwertung von Holzresten aus der Holzverarbeitung,  
Nutzung von Füllstoffen weiterer nachwachsender Rohstoffe.

Diese Vorteile tragen zur Standortsicherheit und Zukunftsfähigkeit der deutschen Hersteller von Holz-Polymer-Werkstoffen, der Zulieferer und Anwender bei.

Die wirtschaftliche Bedeutung der Ergebnisse des Forschungsprojekts ergibt sich aus der Tatsache, dass Hersteller von Holz-Polymer-Werkstoffen und deren Dachverband VHI Grundlagen für Prüfverfahren, -kriterien und Normen zur Bewertung des Kriechverhaltens und zur Qualitätssicherung erhalten. Darüber hinaus werden Vorschläge für Normen zur Bewertung des Kriechverhaltens erarbeitet, die in die entsprechenden Gremien eingebracht werden.

Der direkte Nutzen der Ergebnisse des Forschungsvorhabens besteht

- in der gezielten vergleichenden Bewertung des Kriechverhaltens von Holz-Polymer-Werkstoffen für spezifische Anwendungen (vorwiegend im Außenbereich),
- in der Qualitätssicherung durch Kenntnis der Zusammenhänge zwischen Materialzusammensetzung, Klima, Belastungsregime und Kriechmechanismen,
- in der Ableitung effizienter Maßnahmen zur Material-/Produktentwicklung von WPC.

Die aus den Ergebnissen abgeleiteten methodischen Erkenntnisse sind darüber hinaus auf wissenschaftliche Fragestellungen für andere Monitoringverfahren und Qualitätssicherungssysteme in der Holzwerkstoff- und in der Kunststoffindustrie übertragbar.

Die erlangten grundlegenden Kenntnisse zum Kriechverhalten von Holz-Polymer-Werkstoffen werden die Basis für eine erfolgreiche Umsetzung der Forschungsergebnisse in die Synthese von WPC-Materialien und die Fertigung von WPC-Produkten bilden. Die aus den Ergebnissen abgeleiteten methodischen Erkenntnisse sind darüber hinaus auf wissenschaftliche Fragestellungen für andere Produkte und Verfahren der Herstellung von Holzwerkstoffen sowie Bauelementen daraus übertragbar. Die bereitgestellten Prüfmethode und Algorithmen sowie Normenvorschläge werden es den Herstellern von WPC ermöglichen, weltweit neue Marktsegmente zu erschließen. Die bereits heute bestehende Nachfrage aus unterschiedlichen Anwendungsbereichen wird die Wettbewerbsfähigkeit der betroffenen KMU verbessern.

## **Danksagung**

Das IGF-Vorhaben 17410 BR / 1 der Forschungsvereinigung Trägerverein Institut für Holz-technologie Dresden e.V. (TIHD) wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Der vollständige Bericht kann bestellt werden bei:

**Trägerverein Institut für Holztechnologie Dresden e.V.**  
**Zellescher Weg 24**  
**01217 Dresden**

## Literaturverzeichnis

- Chang, F.-C., Kadla, J. und Lam, F. (2016): The effects of wood flour content and coupling agent on the dynamic mechanical and relaxation properties of wood-plastic composites. In: *Eur. J. Wood Prod.* 74 (1), S. 23–30. DOI: 10.1007/s00107-015-0962-5.
- DIN EN 1156 (2013): Holzwerkstoffe - Bestimmung von Zeitstandfestigkeit und Kriechzahl.
- Chang, F.-C. (2012): The effect of temperature on creep behavior of wood-plastic composites. In: Wood Technological Association of Japan (Hg.): 11th Pacific Rim Bio-Based Composites Symposium. Shizuoka, Japan, 27. - 30.11.
- Müller, U., Braun, J., Haider, A., Nguyen, H.-L., Roth, M., Endesfelder, A. und Panzer, U. (2008): Melaminharzbasierende duroplastische WPC - Herstellung und Eigenschaften. In: *Holztechnologie* 49 (2), S. 20–26.
- Korte, H. (2007): Chemie und Technologie der Holz-Polymer Verbundwerkstoffe (WPC). In: FNR (Hg.): 10. FNR Symposium "Nachwachsende Rohstoffe für die Chemie". Oldenburg, 28.-29.03.2007.
- Stadlbauer, W., Sehnal, E. und Weiermayer, L. (2006): Wood Plastic Composites. Neue Wertschöpfung aus Holzspänen Entwicklung einer Holzspänedirektdosierung Entwicklung eines Extrusionswerkzeuges. Hg. v. bmvit. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie. Wien.
- EN ISO 899-2 (2003): Kunststoffe - Bestimmung des Kriechverhaltens - Teil 2: Zeitstand-Biegeversuch bei Dreipunkt-Belastung.
- Wimmer, R. und Teischinger, A. (2003): Vom Sperrholz zum Biopolymer. In: *Holz>Bildung>Forschung* 55 (4), S. 4–6.
- Häuptli, A. (2003): Wertvoller Abfall - Wachsender Markt für Holz/Kunststoff-Extrudate. In: *Plastverarbeiter* 54 (4), S. 76–77.
- Lu, J., Qinglin, W. und McNabb, H. (2000): Chemical coupling in wood fiber and polymer composites. a review of coupling agents and treatments. In: *Wood and Fiber Science* 32 (1), S. 88–104.
- Wolcott, M. (1993): Wood-Fiber/Polymer Composites: Fundamental concepts, processes and material options. In: *Forest Products Journal*, S. 154.
- Bolton, J. (1991): Pflanzenfasern konkurrieren mit Kunststofffasern. In: *Kunststoffberater* 36 (6), S. 39–41.