

## Kurzfassung

Durch die Einarbeitung von Nanopartikeln in eine Polymermatrix lässt sich eine signifikante Verbesserung der mechanischen Eigenschaften der Werkstoffe erzielen. Dazu ist allerdings eine Separierung und homogene Verteilung der Verstärkungsstoffe in der Matrix notwendig, um die spezifische Oberfläche der Nanopartikel ausnutzen zu können, die dann als Grenzfläche mit der Matrix in Wechselwirkung treten kann.

In der vorliegenden Arbeit wurde die Dispergierung von anorganischen Nanopartikeln am Beispiel von Titandioxid und Bariumsulfat in Epoxidharz mithilfe von Ultraschallwellen systematisch untersucht. Dazu wurden die Prozessparameter, wie z.B. die Amplitude und das beschallte Volumen, variiert, um die optimalen Dispergierparameter zu ermitteln, die zu einer guten Dispergierung der Nanopartikel führen, ohne dabei jedoch die Molekülstruktur des Epoxidharzes zu verändern. Eine Veränderung der Molekülstruktur der Matrix kann die mechanischen Eigenschaften des Werkstoffs negativ beeinflussen. Deshalb wurden für das unbehandelte und das beschallte Harz Morphologieuntersuchungen mittels FourierTransform-Infrarotspektroskopie und Gel-Permeations-Chromatographie durchgeführt. Dabei stellte sich heraus, dass die Nanopartikel im Harz mit der maximalen Amplitude von 100% und einer Beschallungszeit von 15 Minuten optimal dispergiert werden können, ohne die Morphologie des Harzes merklich zu verändern.

Für den Ultraschalldispergierprozess wurde ein Dispergiermodell erarbeitet, das die Entwicklung der Partikelgröße in Abhängigkeit von den Prozessparametern beschreibt. Dieses Modell ist auf andere Partikelsysteme übertragbar und soll Vorhersagen für zukünftige Dispergierexperimente ermöglichen.

Das Ziel der Fertigung der Nanoverbundwerkstoffe ist die Steigerung der mechanischen Eigenschaften im Zug-, Bruchzähigkeits-, Kerbschlagzähigkeits- und Biegeversuch. Hierbei wurde sowohl die Wirkung der Dispergierung als auch der Einfluss des Verstärkungsstoffgehaltes auf das Eigenschaftsprofil untersucht. Des Weiteren wurde die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf ein weiteres Epoxidharz überprüft.

Um die Verstärkungsmechanismen der Nanopartikel in der Polymermatrix, die zu einer Verbesserung der mechanischen Eigenschaften führen, zu verstehen, wurden Rasterelektronenmikroskop-Aufnahmen der Bruchflächen ausgeführt. Diese zeigten,

dass Nanoverbundwerkstoffe eine rauere Bruchoberfläche als reines Epoxidharz besitzen, was auf eine Änderung der Bruchmechanismen hindeutet.

Insgesamt konnten mithilfe der Ultraschalldispersion Nanoverbundwerkstoffe mit verbesserten mechanischen Eigenschaften hergestellt werden und ihre Dispersion durch ein Modell beschrieben werden, das auch Vorhersagen für weitere Partikel-Harz-Systeme erlaubt.

## **Abstract**

By the insertion of nanoparticles into a polymer matrix, a considerable improvement of mechanical properties can be achieved. Therefore, a separation and homogeneous distribution of the fillers within the matrix is required in order that the high specific surface of the nanoparticles can interact with the polymer matrix.

In the present work the dispersion of inorganic nanoparticles, i.e. titanium dioxide and barium sulphate particles, in epoxy resin by means of ultrasonic waves was studied systematically. The process parameters, like amplitude, volume of the sonicated mixture, etc. were varied in order to determine the optimum processing window, which leads to a good dispersion result without changing the molecular structure of the epoxy resin. A change of the molecular structure of the matrix could possibly compromise the mechanical properties of the composites. Therefore, the untreated and the sonicated epoxy resin were examined by means of Fourier transform-infrared spectroscopy and gel permeation chromatography. Hereby, it revealed that an optimum dispersion of the nanoparticles in the resin without changing the morphology of the epoxy resin can be achieved with maximum amplitude 100% and 15 minutes dispersion time.

A dispersion model for the ultrasonic dispersion process was compiled to describe the development of the particle size in dependence on the process parameters. This model is transferable to other particle systems and shall facilitate predictions of the particle sizes for future dispersion experiments.

The aim of the manufacturing of the nanocomposites is the improvement of the mechanical properties, i.e. the tensile properties, the fracture toughness, the Charpy toughness and the three point bending properties. For this purpose the influence of the dispersion process as well as the effect of the filler content on the properties was analysed. Additionally, the transferability of the results to another epoxy resin was verified.

In order to understand the reinforcing mechanisms of nanoparticles in the polymer matrix providing improved mechanical properties, SEM-pictures of the fracture surfaces of the samples were carried out, which revealed that nanocomposites show a

significantly rougher surface than the neat epoxy resin. This indicates a change in the fracture mechanisms.

In total it can be said, that nanocomposites with improved mechanical properties were achieved by means of ultrasonic dispersion and their dispersion process was described by a model enabling predictions for further particle resin systems.