

# Die Superposition von Zeit, Temperatur und Spannung dargestellt am Kriechverhalten eines glasfaserverstärkten Kunststoffes

**Doctoral Thesis**

**Author(s):**

Wolfseher, Roland Friederich

**Publication date:**

1987

**Permanent link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-000473000>

**Rights / license:**

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#)

**DIE SUPERPOSITION VON ZEIT, TEMPERATUR UND SPANNUNG  
DARGESTELLT AM KRIECHVERHALTEN EINES  
GLASFASERVERSTAERKTEN KUNSTSTOFFES**

---

**ABHANDLUNG**

zur Erlangung des Titels eines

**DOKTORS DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN**

der

**EIDGENOESSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZUERICH**

vorgelegt von

**ROLAND FRIEDERICH WOLFSEHER**

dipl. Bauingenieur ETH

geboren am 25. Juli 1956

von Ebikon (Luzern)

angenommen auf Antrag von

Prof. Dr. A. Rösli, Referent

Prof. Dr. H. H. Kausch, Korreferent

dipl. Bau-Ing. ETH U. Meier, Korreferent

*A. Rösli*

## ABSTRACT

The long term behaviour of materials can be predicted from short term experiments by using the time-temperature-stress superposition principle (TTS-S). Experimentally obtained short term curves at different temperatures and stresses can be placed together to obtain a master curve for one temperature and one stress, which spans a larger time period than a single short term curve. Previous work has shown that the master curve can be built for several materials by shifting the experimental short term curves parallel to the coordinate axis in a double logarithmic scale. The shift is determined by theoretically and empirically derived functions. However, when the material properties are strongly dependent on time, the master curve can be built much easier. Unfortunately, this only occurs when the material samples are stressed by high temperatures and large loads - a case which seldom occurs in the real world.

Composite materials are rather complicated to treat experimentally because of their many differing components. The expense of performing many experiments to obtain the material properties is much too great. Therefore, using TTS-S is highly attractive.

In the present work the temperature and stress-dependent creep behaviour of a unidirectional glass fiber reinforced epoxy resin will be predicted using TTS-S with the following modifications:

- a stress-dependent normalization for the influence of temperature
- an additional rotation for the influence of stress

The rotation and the time-shifting functions will be derived theoretically based on the reaction kinetics.

A computer algorithm will be presented which builds the master curves from the short term curves.

The values of the following three shifts:

- shift parallel to the abscissa
- shift parallel to the ordinate
- rotation

will be determined as functions of the parameters stress and temperature.

Previously, the time-shifts were determined by known formulas which were only valid in a specified range. In the following, a new, empirically derived formula will be presented which is valid for the entire range.

Based on the experiments, it will be shown that the long term creep behaviour of composites cannot be calculated from the material properties of the components for using TTS-S.

## 1. ZUSAMMENFASSUNG

Mit der Superposition von Zeit, Temperatur und Spannung, bekannt als Zeit-Temperatur-Spannung-Superpositionsprinzip (TTS-S), kann aus Kurzzeit-Versuchen das Langzeitverhalten eines Werkstoffes vorausgesagt werden. Experimentell ermittelte Kurzzeit-Kurvenstücke verschiedener Temperatur- und Spannungsniveaus werden dabei zu einer sogenannten Hauptkurve für eine Temperatur- und Spannungsstufe zusammengesetzt. Diese Hauptkurve überspannt einen bedeutend grösseren Zeitraum als die einzelnen, experimentell ermittelten Kurvenstücke.

Der Literatur ist zu entnehmen, dass die Bildung der Hauptkurve in der doppelt-logarithmischen Darstellung durch Verschieben parallel zu den Koordinatenachsen für viele Materialien gut möglich ist, und die Verschiebungsgrössen durch theoretisch und empirisch hergeleitete Funktionen erfasst werden können. In den meisten Fällen liegen die Beanspruchungen jedoch in einem für die Praxis nicht relevanten Bereich, da die Hauptkurve bei starker Zeitabhängigkeit der Materialkennwerte, d.h. bei hohen Temperaturen und grossen Spannungen, einfacher konstruiert werden kann.

Bei faserverstärktem Kunststoff (FK) sind durch die diversen Komponenten und deren Mengen vielfältige Modifizierungsmöglichkeiten gegeben. Der experimentelle Aufwand zur Erfassung des Materialverhaltens ist bei diesem Werkstoff daher besonders gross und die Anwendung des TTS-S sehr attraktiv.

In der vorliegenden Arbeit wird mit umfangreichen Versuchen an einem unidirektional glasfaserverstärkten Epoxidharz in einem für die Praxis relevanten Beanspruchungsbereich gezeigt, dass sich mit dem TTS-S nach den beiden Modifikationen:

- beanspruchungsabhängige Normalisierung für den Temperatureinfluss
- zusätzlich eingeführte Rotation für den Spannungseinfluss

das temperatur- und spannungsabhängige Kriechverhalten sehr gut voraussagen und kompakt erfassen lässt.

Die Rotation infolge Spannungsvariation sowie einige bekannte Ansätze zur Erfassung der Zeitverschiebungsgrössen werden basierend auf der Reaktionskinetik theoretisch hergeleitet.

Um subjektive Einflüsse zu eliminieren und trotz geringer Zeitabhängigkeit der Materialkennwerte die gemessenen Kurvenstücke gut zusammensetzen zu können, wird ein computerunterstütztes Verfahren zur Bildung der Hauptkurven angewandt.

Die ermittelten Werte der drei Verschiebungsarten:

- Verschiebung parallel zur Abszisse
- Verschiebung parallel zur Ordinate
- Rotation

werden mit mathematischen Funktionen der variierten Parameter erfasst. Dabei wird festgestellt, dass die Zeitverschiebungsgrößen für bestimmte Beanspruchungsbereiche mit den aus der Literatur bekannten Ansätzen und im gesamten Beanspruchungsbereich mit einem neuen, empirisch gefundenen Ansatz erfasst werden können.

Abschliessend wird mit den im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Versuchen aufgezeigt, dass das temperatur- und spannungsabhängige Kriechverhalten des untersuchten FK aus demjenigen der einzelnen Komponenten zur Anwendung des TTS-S nicht genügend genau berechnet werden kann.