

# Prüfmittel / Prüfvorrichtungen in innovativer Werkstoffmischbauweise

Gerecke, A. ;Binsau, A.

Rathenower Mechanik- und Werkzeugfertigung GmbH, Rathenow, Brandenburg, Deutschland

---

## Kurzfassung

---

Mess- und Prüfvorrichtungen im industriellen Einsatz unterliegen systematischen Fehlern, welche konstruktiv minimiert werden können. Durch Temperaturschwankungen entstehen Messabweichungen in optischen und taktilen Messungen durch die thermische Dehnung der Gerätekomponenten. Neben dem Prüfen in Messumgebungen mit konstanten Temperaturverhältnissen ist vor allem das thermisch stabile Messen und Prüfen außerhalb dieser Räumlichkeiten für verschiedenste Anwendungen von größter Bedeutung. Die Firma RMW GmbH entwickelt Lösungen im Bereich der Vorrichtungen, um den Einfluss der thermischen Dehnung verschiedenster Messverfahren auf ein Minimum zu reduzieren.

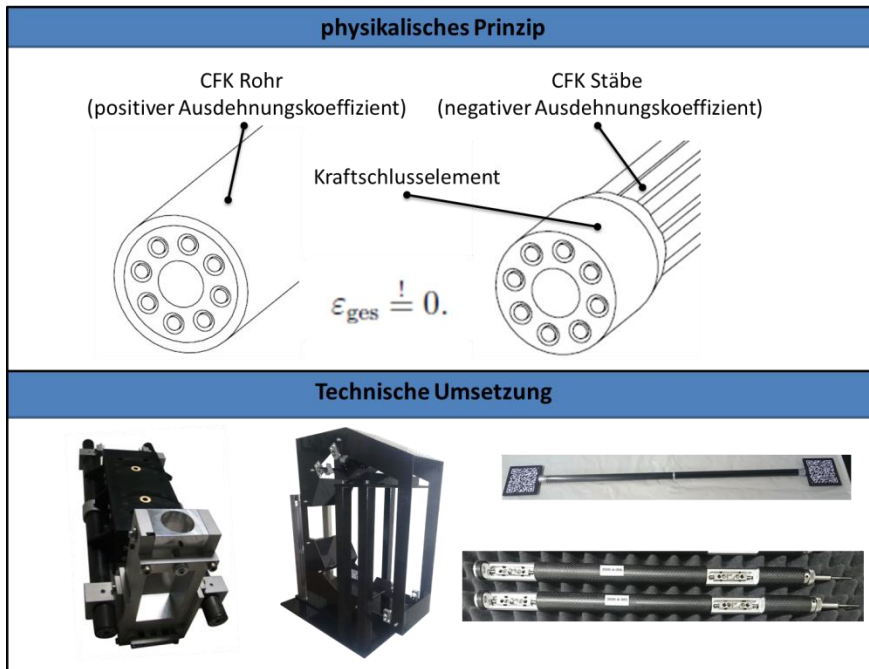
---

## 1 Einleitung

Mit zunehmender Automatisierung von Fertigungsprozessen steigen auch die Anforderungen an die Inline-Bauteilvermessung. Zunehmend werden auch optische Messverfahren in den verschiedensten industriellen Bereichen zur 3D-Bauteilvermessung eingesetzt. Neben den Oberflächengüten werden komplexe Bauteile mit geometrischen Toleranzen im Bereich kleiner 10µm im Fertigungsprozess vermessen. Diese steigenden Anforderungen an die Messaufgaben im automatisierten Prozess erfordern nicht nur robuste Messverfahren, sondern auch eine entsprechend robuste mechanische Struktur der Messvorrichtung.

## 2 Mess- / Prüfmittel in innovativer Mischbauweise

Eine große Herausforderung in Mess- und Prüfvorrichtungen ist das „wärmestabile“ bestimmen von Prüf- und Messmittel. Wenn sich mindestens zwei sich bedingende Mess- / Prüfmittel auf einem definierten Abstand zueinander befinden müssen, ist dieser Abstand auch unter Temperaturschwankungen zu realisieren. Für diesen Einsatz stellt die Firma RMW-GmbH einen Stab in Mischbauweise mit „Null“ thermischer Dehnung zur Verfügung. In der nachfolgenden Abbildung ist das physikalische Prinzip des Stabes dargestellt. Dieser Stab besteht aus einem kohlenstofffaserverstärkten Kunststoff (CFK) mit Fasern, welche einen positiven Wärmeausdehnungskoeffizienten aufweisen. Das dafür verwendete CFK-Rohr kann entsprechend mechanischer Lasten ausgelegt werden. Nach Dimensionierung des Rohres werden zur Minimierung der thermischen Dehnung CFK-Stäbe mit negativen Ausdehnungskoeffizienten ausgelegt und mit dem Rohr verbunden. Diese patentierte konstruktive Umsetzung der Parallelschaltung zur Erzielung minimaler thermischer Dehnungen kann in beliebigen Längen hergestellt werden.



**Abbildung 1:** Null-thermische-Dehnung vom konstruktiven Prinzip bis zur technischen Umsetzung in komplexen Vorrichtungen

Der Vorteil des entwickelten Stabes ist die beliebige Skalierbarkeit auf die verschiedensten Anwendungen. Die Auslegung wird im oberen Teil der Abbildung 1 mittels des physikalischen Prinzips dargestellt. Im ersten Schritt wird das CFK Rohr auf Grund seiner mechanischen Belastung ausgelegt. Sind die Dimensionen des CFK-Rohres bekannt kann im zweiten Schritt die Anzahl der inneren CFK-Stäbe sowie deren Durchmesser berechnet werden.

Die Voraussetzung zur Berechnung ist, dass die Gesamtdehnung gleich Null sein soll:

$$\varepsilon_{gesamt} = 0 \tag{1}$$

Somit muss in der Konstruktion ein Kräftegleichgewicht herrschen.

$$\sum F = 0 \quad ; \quad F_R + F_S = 0 \tag{2}$$

$F_R$  = thermisch induzierte Kraft im Rohr

$F_S$  = thermisch induzierte Kraft im Stab

Somit ergibt sich mit dem hookeschen Gesetz und der Annahme, dass die thermisch induzierten Spannungen parallel zur Flächennormale verlaufen und somit Normalspannungen darstellen (2)

$$E_{II,R} \cdot \varepsilon_{th,R} \cdot A_R + n \cdot E_{II,S} \cdot \varepsilon_{th,S} \cdot A_S = 0 \tag{3}$$

$$E_{II,R} \cdot \alpha_{II,R} \cdot A_R + n \cdot E_{II,S} \cdot \alpha_{II,S} \cdot A_S = 0 \tag{4}$$

Bei der Stabanzahl von 8 (siehe Beispiel) ergeben sich die Stabdurchmesser  $D_S$  aus Gleichung (4) zu:

$$D_S = \sqrt{\frac{E_{IIR} \cdot \alpha_{IIR} \cdot (D_{AR}^2 - D_{IR}^2)}{8 \cdot E_{IIS} \cdot \alpha_{IIS}}} \quad (5)$$

Kohlenstofffaserverstärkten Kunststoff zur minimalen thermischen Dehnung zu verwenden ist Stand der Technik. Der Kundenvorteil aus der Entwicklung der Firma RMW GmbH ist, dass es sich um ein beliebig skalierbares Halbzeug handelt. Die Einzelkomponenten Rohr und Stab können im Endlosverfahren (Pultrusionsverfahren / Pullwindingverfahren) hergestellt werden was unseren Kunden besonders bei großen Abständen einen Kostenvorteil bietet. Herkömmliche Lösungen beispielsweise bei Messtastern sehen eine Reihenschaltung von CFK (negativer Dehnung) mit Titan oder Invar (positiver Dehnung) vor. Weitere CFK-Lösungen werden im Wickelverfahren hergestellt. Hierbei werden entsprechende Faserkombinationen oder Faserwinkelkombinationen vorgesehen, welche eine minimale thermische Dehnung bewirken. Diese Herstellungsverfahren sind jedoch kostenintensiver.

In der Abbildung 1 sind die derzeitigen technischen Umsetzungen aus diesem patentierten System dargestellt. Die beiden links dargestellten Messvorrichtung dienen zu Aufnahme von optischen Messmitteln hierbei ist die Forderung, dass Laser und Kamera in einem Abstand von 200mm bei einer Temperaturdifferenz von 5K eine Abstandsänderung kleiner  $1\mu\text{m}$  zueinander aufweisen.

Der rechts oben dargestellte Stab mit den beidseitigen Zieltafeln (Targets) findet Anwendung in der Kalibrierung eines Lasers. Die Anforderung für diesen Stab ist, dass die Targets auf einer Länge von 2m bei Temperaturschwankung von bis zu 20K auf eine Längenänderung kleiner  $0,1\text{mm}$  gehalten werden. Die Targets sind hierbei frei drehbar und der Stab soll für den besseren Transport zerlegbar sein. Hierbei kommt eine Materialkombination aus patentiertem Stab und Inserts aus Invar zum Einsatz.

Der rechts unten dargestellte Stab dient zur Aufnahme von Tripleprismen welche in einem festen Abstand zueinander positioniert sein müssen. Des Weiteren müssen diese optischen Prismen auf  $10\mu\text{m}$  zur Stabachse positioniert werden. In dieser Entwicklung ist die Parallelschaltung der verschiedenen CFK Komponenten mit den Werkstoffen Edelstahl und Titan realisiert worden. Die in den beiden Anwendungen dominierende Fügetechnologie ist das Kleben.

#### **Vorteile:**

- Halbzeug aus CFK in dem die Einzelkomponenten im Endlosverfahren hergestellt werden → kostengünstig
- leicht zu Dimensionieren → anpassbar auch auf mechanische Lasten
- Länge der Stäbe als Handelslängen von bis zu 6m

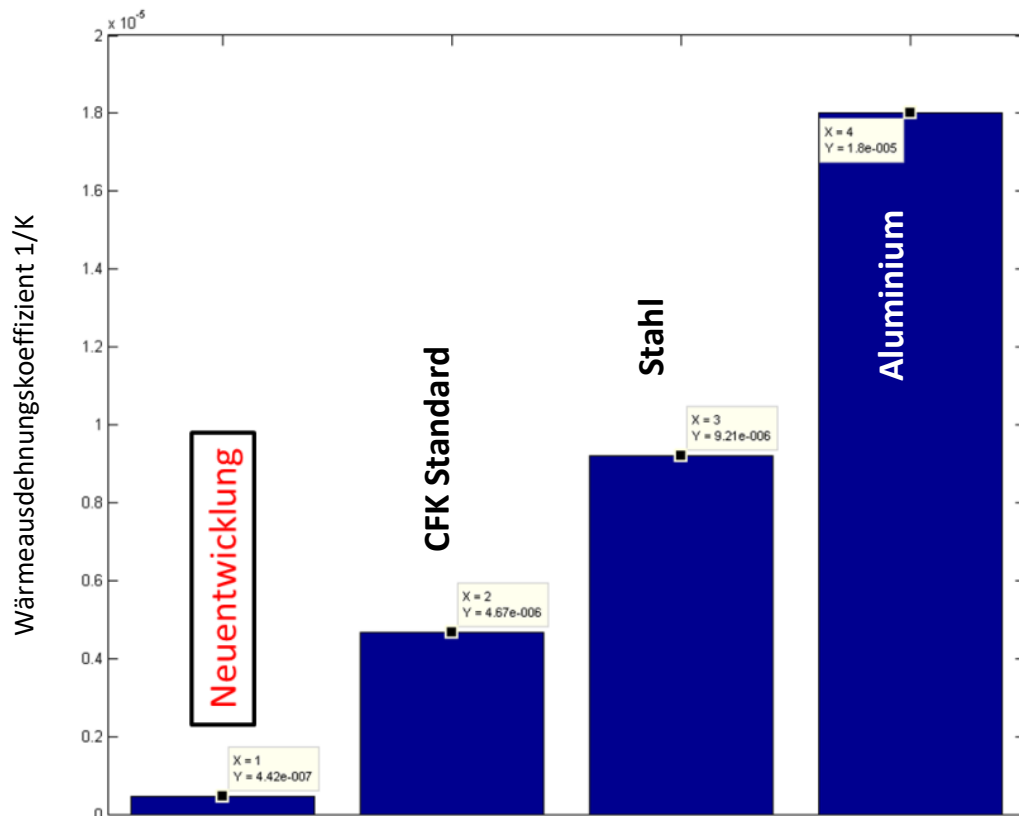
#### **Einsatzgebiete:**

- derzeitiger Einsatz in optischen Messvorrichtungen

Zur Verifizierung der theoretischen Auslegung der Materialkombinationen zu dem Halbzeug mit „Null“ thermischer Dehnung wurden erste Messungen am Halbzeug unter Laborbedingungen durchgeführt. Die ersten Messungen am Halbzeug ergaben einen Längenausdehnungskoeffizient von

$$\alpha_{\text{Halbzeug}} = 4,42 \cdot 10^{-7} 1/K \quad (6)$$

In der nachfolgenden Abbildung 2 ist dieser gemessene thermische Längenausdehnungskoeffizient des kombinierten CFK-Stabes im Vergleich zu den Werkstoffen Stahl, Aluminium und CFK [0/90] HT Faser dargestellt.



**Abbildung 2:** Längenausdehnungskoeffizient im Vergleich

### 3 Marktpotential

Weitere mögliche Einsatzgebiete sind der Lehrenbau mit Faserkunststoffverbunden. Hierzu zählen Prüflehren für die Fertigung in großen Dimensionen unter „nicht“ Laborbedingungen. Hierbei werden die Vorteile der minimalen Dichte bei angepasster Steifigkeit und minimaler thermischer Dehnung kombiniert. In optischen Geräten wie der Lasertechnik und auch dem Teleskopbau ergeben sich weitere Anwendungsgebiete. Hierbei sind die Anforderungen, dass die optischen Komponenten, wie z.B. Primär- und Sekundärspiegel oder Linsensysteme an Teleskopen unter Temperaturschwankung auf einen konstanten Abstand zu halten. Dieses ist entscheidend für die Bildqualitäten jedes Teleskops. Über die vorgestellten Beispiele hinweg existiert eine Vielzahl an Branchen für die unsere Prüfvorrichtungen, angepasst auf den jeweiligen Anwendungsfall, in Frage kämen.

Die vielfältigen Einsatzgebiete unserer Kunden beweisen, dass den Einsatzmöglichkeiten unseres Stabes kaum Grenzen gesetzt sind. Dank des vielseitigen Maschinenparks und einer hohen Fertigungsflexibilität ist die RMW GmbH in der Lage jedem Kunden die maßgeschneiderte Lösung anzubieten.