

# **Gutachten**

## **über das Kraftübertragungsverhalten**

### **der Kraftübertragungssysteme Trans 2G**

#### **1 Einleitung**

Zur Ladungssicherung werden Zurrgurte an einem Ende gespannt. Aufgrund der Reibung der Gurte an der Ladung ist die Kraft am anderen Ende meist deutlich kleiner, so dass die Ladungssicherung unter Umständen nicht mehr vollständig erfüllt werden kann. Zur Aufrechterhaltung der Spannkraft in den Zurrgurten vertreibt die Fa. Braun GmbH das Kraftübertragungssystem Trans 2G für Gurtbänder. Es ist aus verzinktem Stahl und hat eine Spezialrolle, zwei voneinander unabhängig schwenkbare Auflagebleche und seitliche Führungsbleche für die Gurtbänder. Bild 1 zeigt das Kraftübertragungssystem Trans 2G.



Bild 1: Kraftübertragungssystem Trans 2G

Zum Nachweis und zur zahlenmäßigen Bestimmung der Kraftübertragung wurden in einer Hydropulsanlage des Labors für Maschinendynamik der Hochschule Regensburg Reibmessungen mit Spanngurten durchgeführt.

## 2 Versuchsaufbau

Der Spanngurt wird viermal jeweils um  $90^\circ$  umgelenkt, so dass die Gurtenden in einer Flucht liegen. Die Kraft wird unten eingeleitet und mittels eines für diese Untersuchung gebauten Aufnehmers (tom002\_5.8) gemessen. Die ankommende Kraft wird oben mit der zum Prüfstand gehörenden Kraftmessdose gemessen.

Die Technischen Daten der Kraftmessdose (oben), das Zertifikat für die Dehnungsmessstreifen des Aufnehmers (unten) und die Fehlerkurve dieses Aufnehmers sind im Anhang aufgeführt.

Die Vorrichtung für die Gurtumlenkung und die Gurte wurden von der Fa. Braun GmbH beigestellt. Die Vorrichtung ist so gestaltet, dass sie unter Beibehaltung der gemeinsamen Wirklinie von eingeleiteter und ankommender Kraft sowohl die Kraftübertragungssysteme Trans 2G als auch Holzwinkel aufnehmen kann.

Die Holzwinkel haben abgerundete Ecken. Mit ihnen soll die Ladungssicherung ohne Kraftübertragungssysteme abgebildet werden.

Bild 2 zeigt den Versuchsaufbau. Bild 3 zeigt die Gurtumlenkung mit den Kraftübertragungssystemen Trans 2G und Bild 4 die Gurtumlenkung mittels Holzwinkel mit abgerundeten Ecken.



Bild 2: Versuchsaufbau

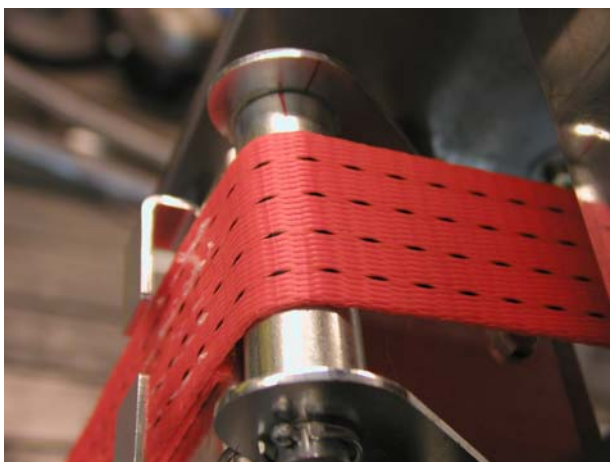


Bild 3: Gurtumlenkung mit Kraftübertragungssystemen Trans 2G

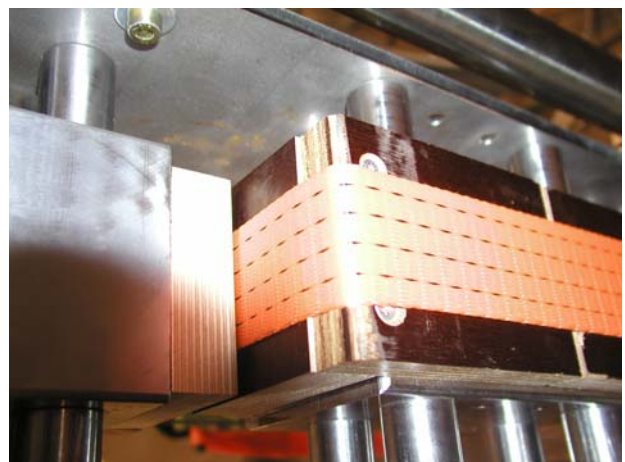


Bild 4: Gurtumlenkung mit Holzwinkeln

### 3 Versuche

Die Versuche wurden weggeregelt gefahren. Im Folgenden werden vier Versuche dokumentiert, zwei mit den Kraftübertragungssystemen Trans 2G und zum Vergleich zwei mit Holzwinkeln. Die Versuchsabläufe sind in der folgenden Tabelle aufgeführt.

	<b>Gurtumlenkung</b>	<b>Ablauf</b>
<b>Versuch 1</b>	Trans 2G	Anstieg der Kraft (Rampe 0,5 mm/s) auf eine Verlängerung von 15 mm, Halten der Kraft (300s) und langsames Entlasten
<b>Versuch 2</b>	Trans 2G	Anstieg der Kraft (Rampe 0,5 mm/s) auf eine Verlängerung von 15 mm, Halten der Kraft (60s), Entlastung (Rampe 0,5 m/s) auf eine Verlängerung von 13 mm, 16 Schwingungen (Amplitude +- 1 mm), Wiederanstieg der Kraft (Rampe 0,5 mm/s) auf eine Verlängerung von 15 mm, Halten der Kraft (70 s) und langsames Entlasten
<b>Versuch 3</b>	Holzwinkel	Anstieg der Kraft (Rampe 0,5 mm/s) auf eine Verlängerung von 15 mm, Halten der Kraft (300s) und langsames Entlasten
<b>Versuch 4</b>	Holzwinkel	Anstieg der Kraft (Rampe 0,5 mm/s) auf eine Verlängerung von 15 mm, Halten der Kraft (60s), Entlastung (Rampe 0,5 m/s) auf eine Verlängerung von 13 mm, 16 Schwingungen (Amplitude +- 1 mm), Wiederanstieg der Kraft (Rampe 0,5 mm/s) auf eine Verlängerung von 15 mm, Halten der Kraft (70 s) und langsames Entlasten

Die Versuchsergebnisse sind in den Bildern 5 bis 22 graphisch dargestellt. Das jeweils erste von drei Bildern zeigt den zeitlichen Verlauf der Verlängerung des Gurts, das jeweils zweite Bild die eingeleitete und die ankommende Kraft und das jeweils dritte Bild den Quotienten von ankommender und eingeleiteter Kraft. Dabei ist der Quotient nur im relevanten Bereich bis zum Beginn der Entlastung des Gurts dargestellt.

Bei den Versuchen 2 und 4 sind die Bereiche der Schwingungen noch einmal vergrößert dargestellt.

### 1. Versuch: Gurt über Trans 2G (4 Stück)

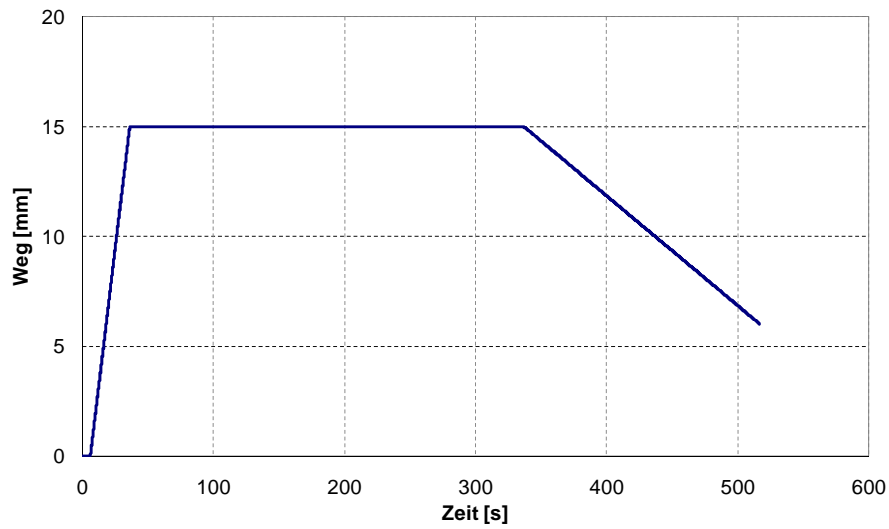


Bild 5

### 1. Versuch: Gurt über Trans 2G (4 Stück)

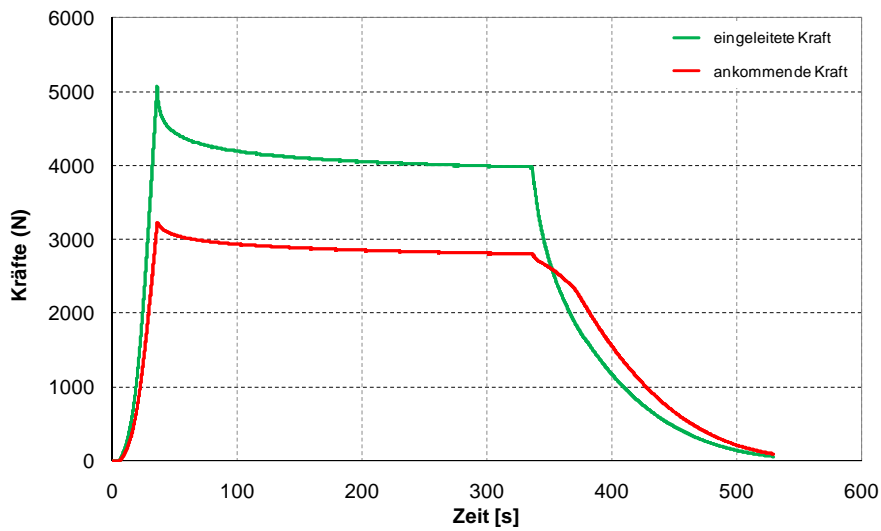


Bild 6

### 1. Versuch: Gurt über Trans 2G (4 Stück)

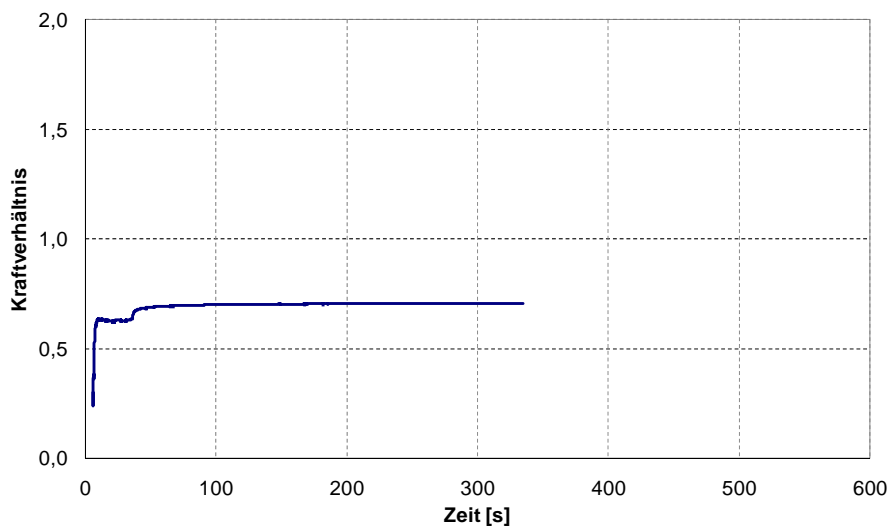


Bild 7

### 2. Versuch: Gurt über Trans 2G (4 Stück)

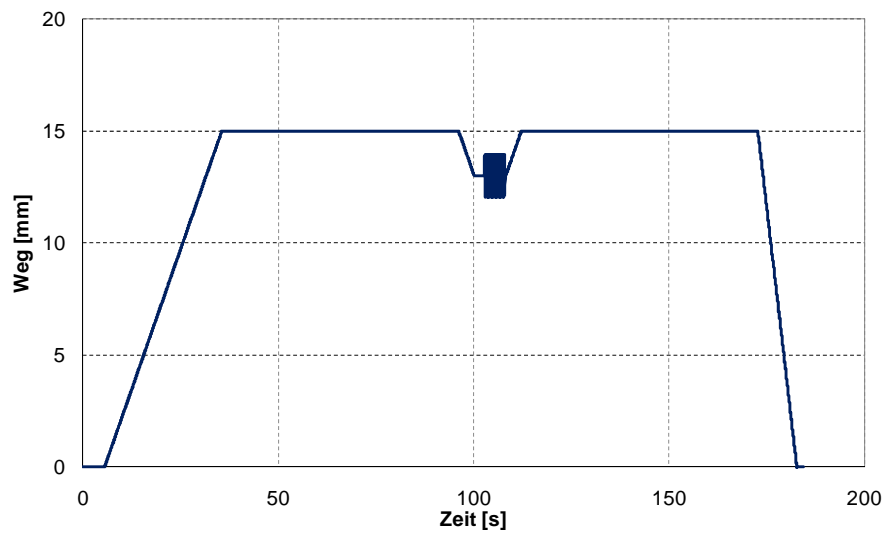


Bild 8

### 2. Versuch: Gurt über Trans 2G (4 Stück)

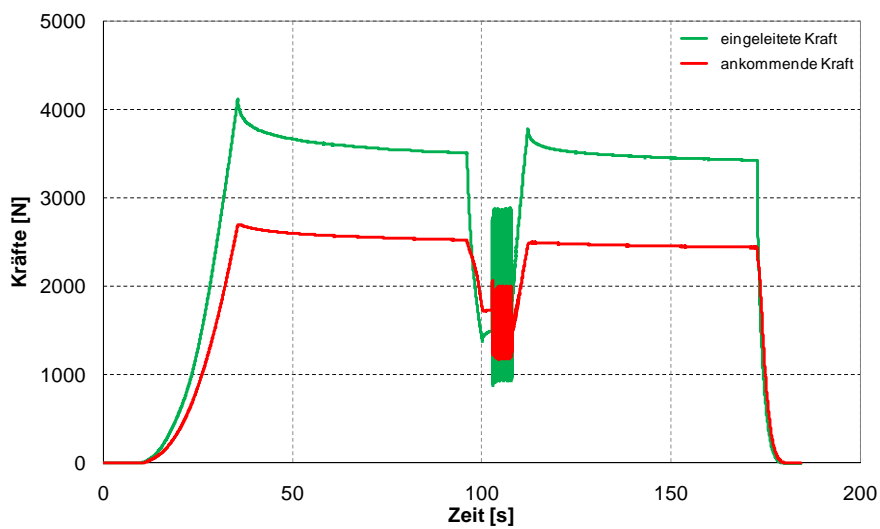


Bild 9

### 2. Versuch: Gurt über Trans 2G (4 Stück)

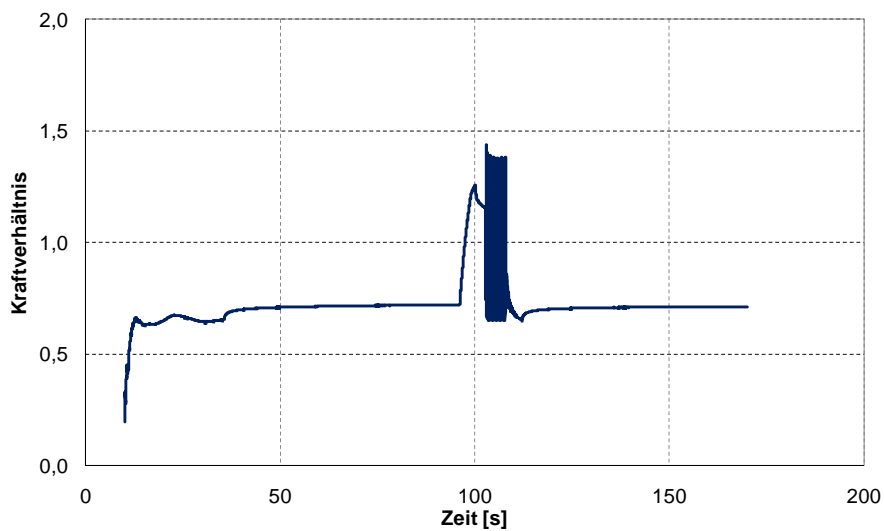


Bild 10

### 2. Versuch: Gurt über Trans 2G (4 Stück)

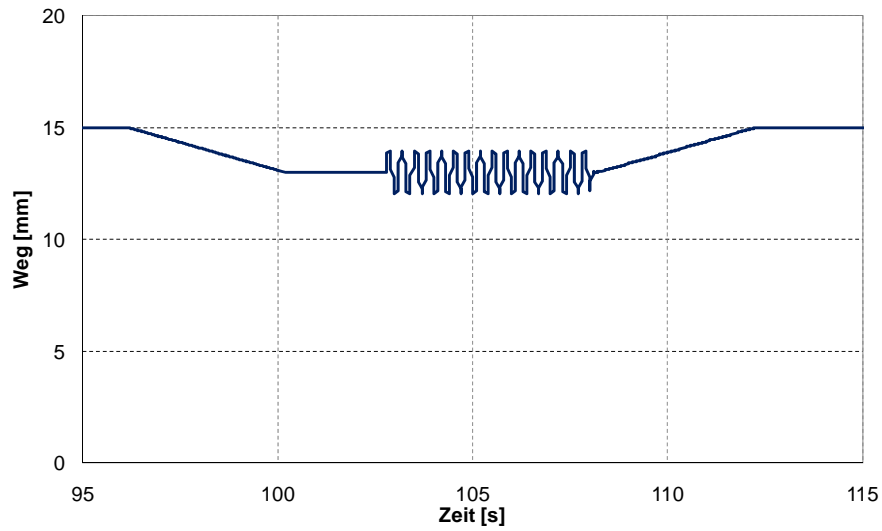


Bild 11

### 2. Versuch: Gurt über Trans 2G (4 Stück)

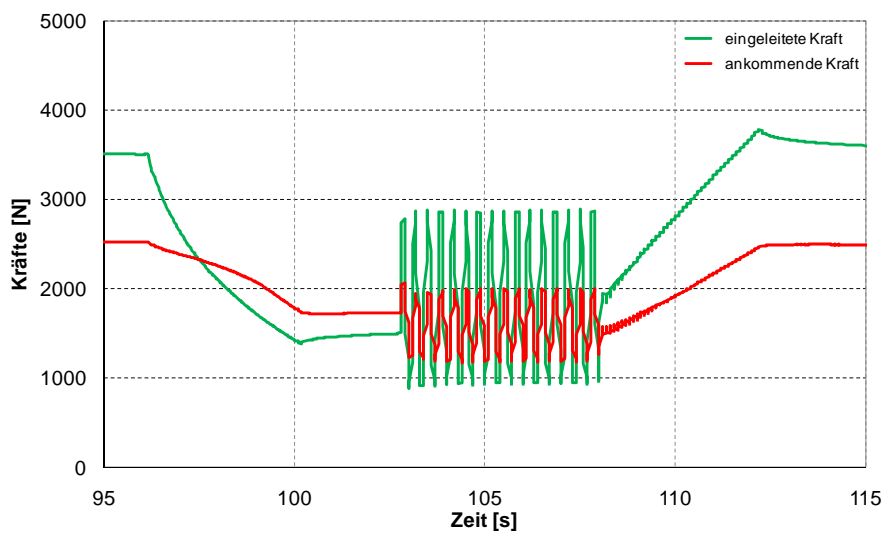


Bild 12

### 2. Versuch: Gurt über Trans 2G (4 Stück)

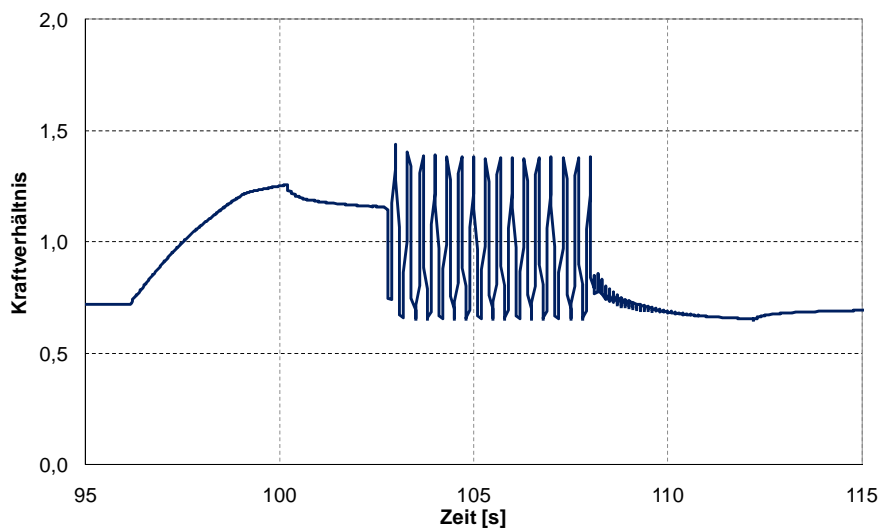


Bild 13

### 3. Versuch: Gurt über Holzwinkel (4 Stück)

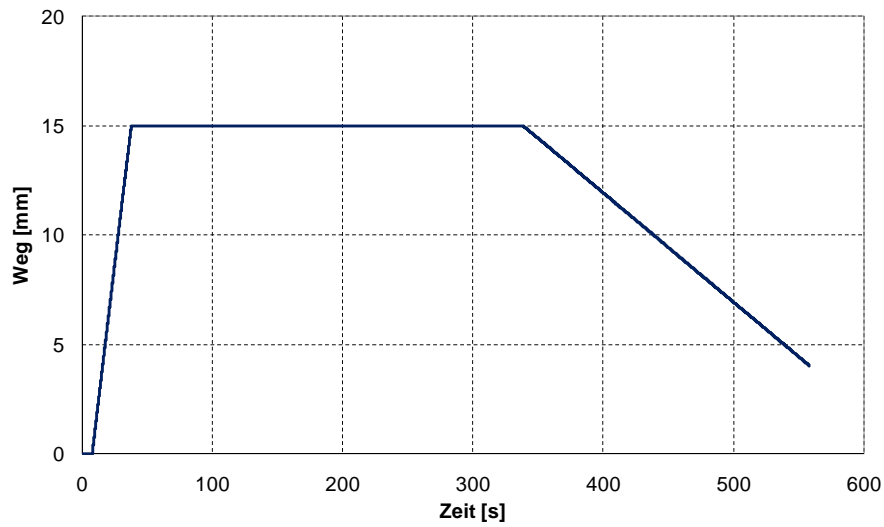


Bild 14

### 3. Versuch: Gurt über Holzwinkel (4 Stück)

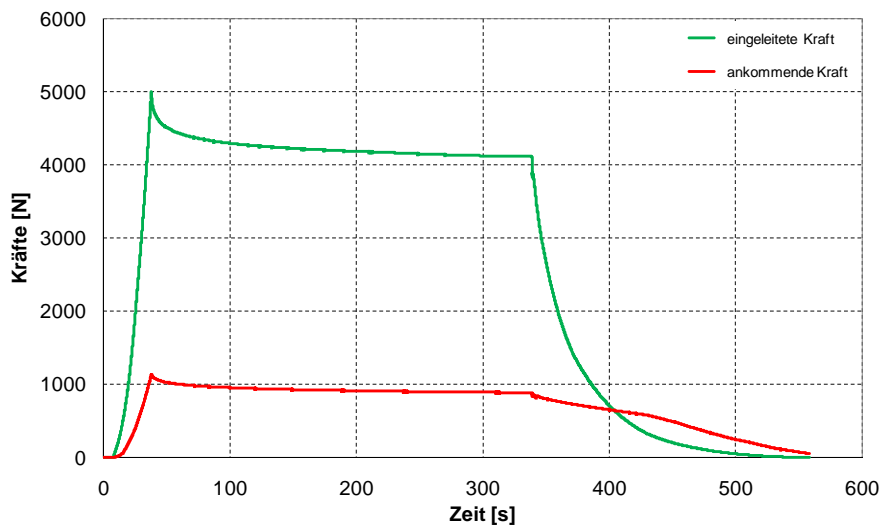


Bild 15

### 3. Versuch: Gurt über Holzwinkel (4 Stück)

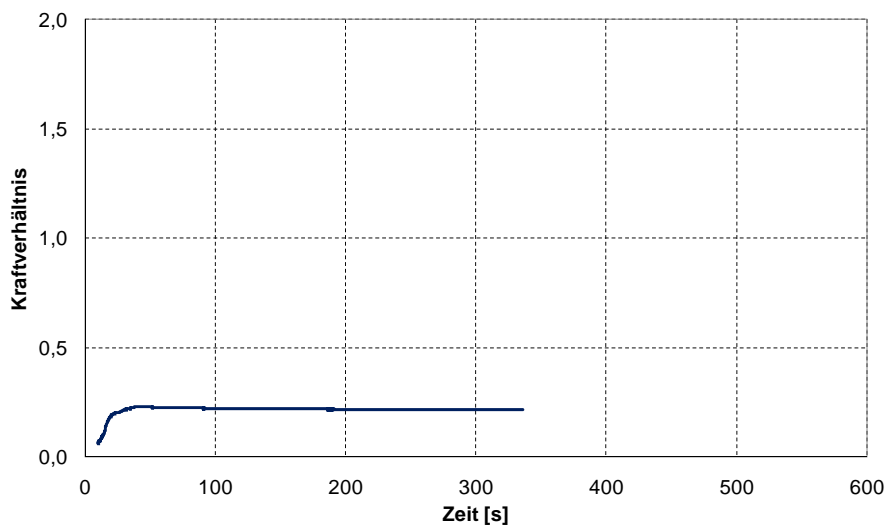


Bild 16

#### 4. Versuch: Gurt über Holzwinkel (4 Stück)

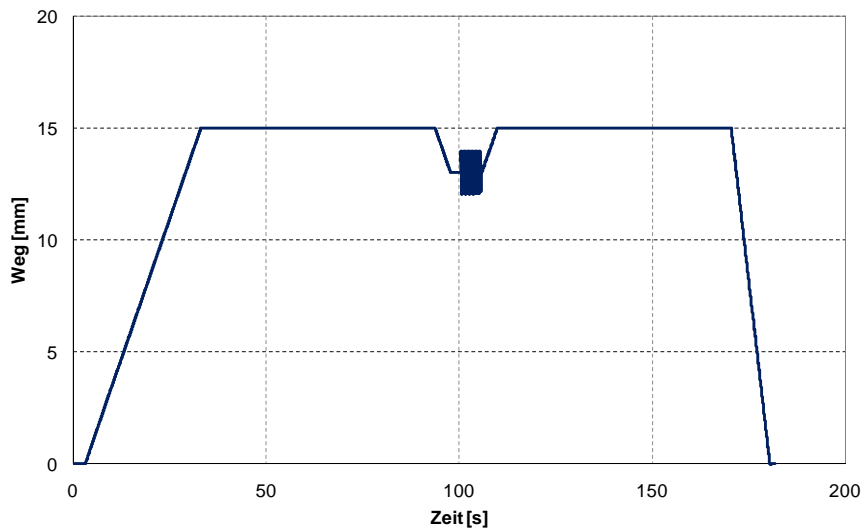


Bild 17

#### 4. Versuch: Gurt über Holzwinkel (4 Stück)

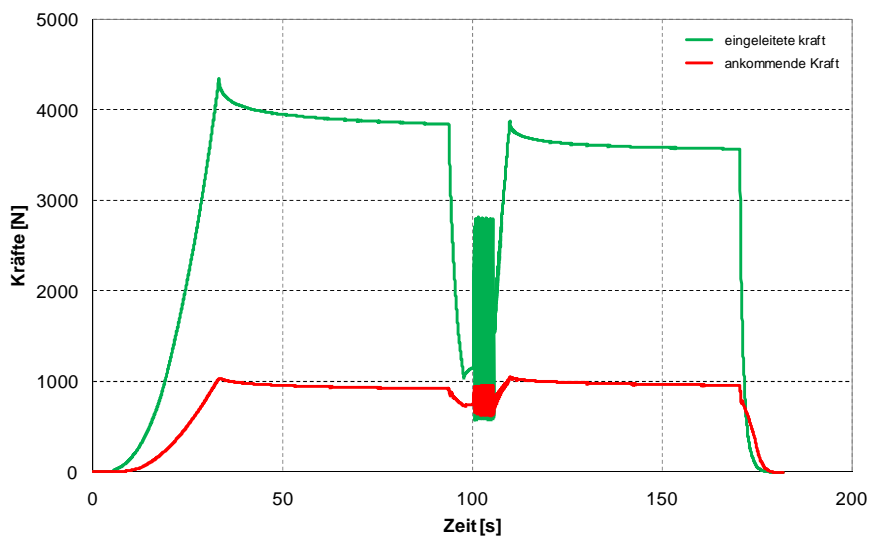


Bild 18

#### 4. Versuch: Gurt über Holzwinkel (4 Stück)

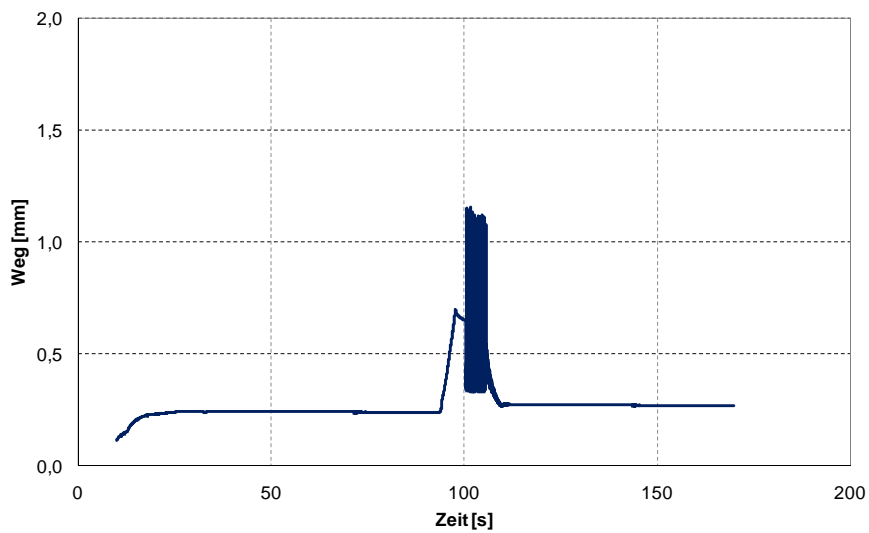


Bild 19

#### 4. Versuch: Gurt über Holzwinkel (4 Stück)

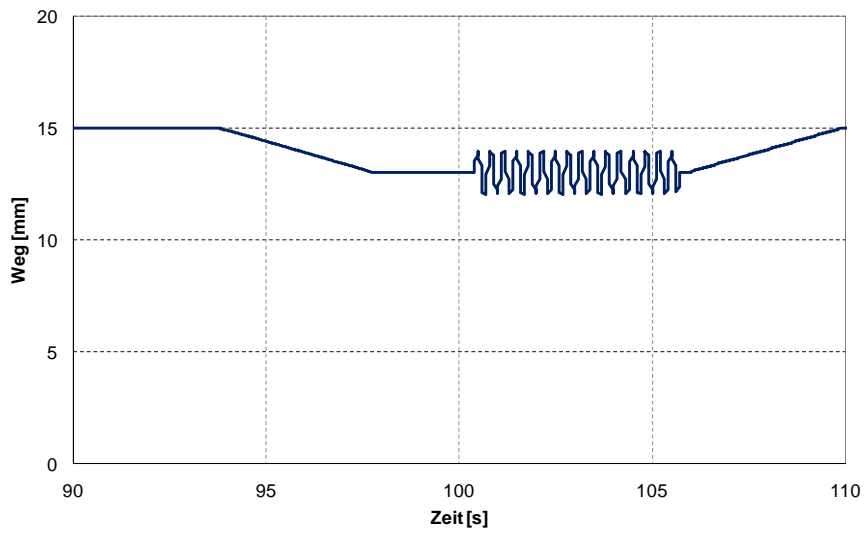


Bild 20

#### 4. Versuch: Gurt über Holzwinkel (4 Stück)

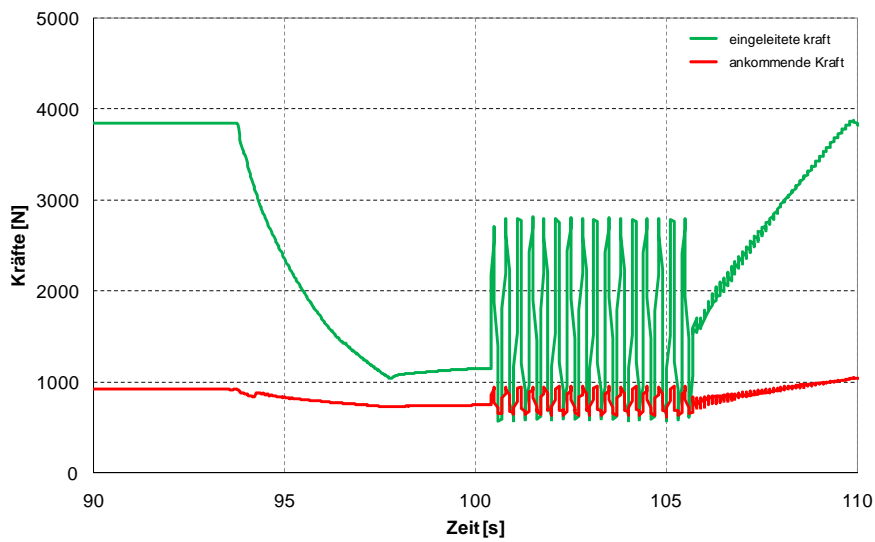


Bild 21

#### 4. Versuch: Gurt über Holzwinkel (4 Stück)

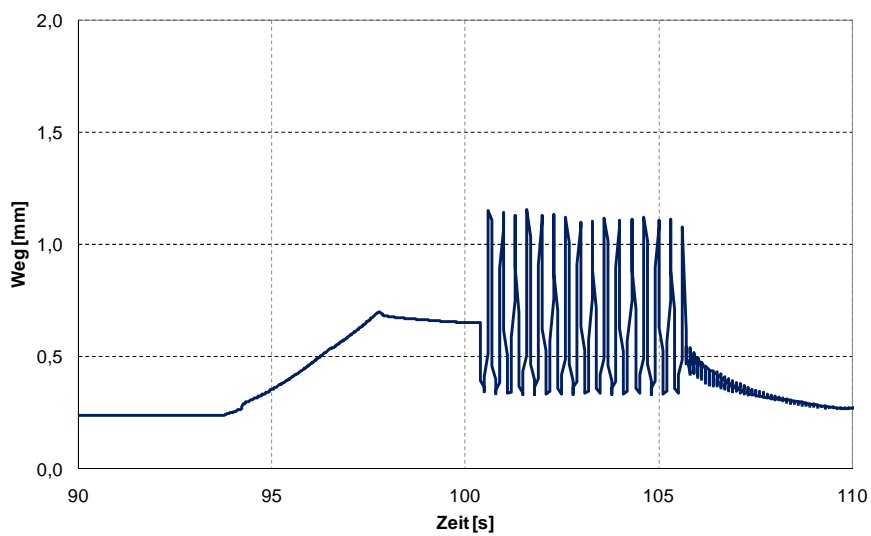


Bild 22

## 4 Ergebnisse

Die Versuchsergebnisse für 4 Umlenkungen zu je 90° lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Bei den Kraftübertragungssystemen Trans 2G gehen ca. 30% der eingeleiteten Zugkraft durch Reibung „verloren“. Bei den Holzwinkeln sind es dagegen ca. 75%.
- Durch die zwischendurch aufgebrauchten Schwingungen ändert sich das Verhältnis zwischen ankommender und eingeleiteter Kraft praktisch nicht.

Der Reibungsverlust am Kraftübertragungssystem Trans 2G kann zwei verschiedene Ursachen haben. Es kann sich um Gleitreibung (Coulombsche Reibung) oder um Umschlingungsreibung handeln. Die Gleitreibungszahl berechnet sich zu

$$\mu_{\text{Gleit}} = \frac{F_{\text{eingeleitet}} - F_{\text{ankommend}}}{F_{\text{eingeleitet}}}.$$

Diese Reibung ist unabhängig von der Fläche und somit auch unabhängig vom Umschlingungswinkel. Bei der Umschlingungsreibung gilt für das Kraftverhältnis

$$\frac{F_{\text{eingeleitet}}}{F_{\text{ankommend}}} = e^{\mu_{\text{Umschlingung}} \cdot \alpha}.$$

Bei einem Umschlingungswinkel von  $\alpha = 360^\circ$  (Bogenmaß  $2\pi$ ) ergibt sich eine Reibungszahl von

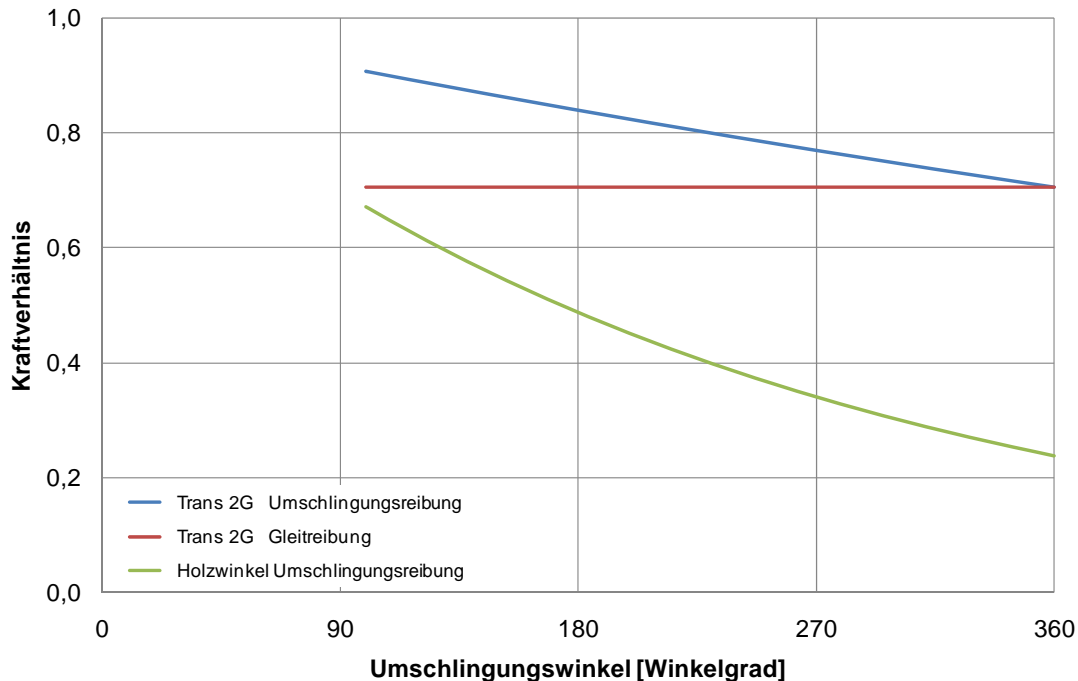
$$\mu_{\text{Umschlingung}} = \frac{1}{2\pi} \ln \frac{F_{\text{eingeleitet}}}{F_{\text{ankommend}}}.$$

In der folgenden Tabelle sind die Ergebnisse zusammengefasst.

	$F_{\text{ankommend}} / F_{\text{eingeleitet}}$	$\mu_{\text{Gleit}}$	$\mu_{\text{Umschlingung}}$
<b>Versuch 1</b>	0,70	0,30	0,057
<b>Versuch 2</b>	0,71	0,29	0,055
<b>Versuch 3</b>	0,22	-	0,24
<b>Versuch 4</b>	0,26	-	0,21

Beim Kraftübertragungssystem Trans 2G wirkt möglicherweise eine Mischung aus beiden Reibungsarten. Aus den wenigen Versuchen ist nicht zu erkennen, welche der beiden Reibungsarten überwiegt. Die Reibungszahlen für Umschlingungsreibung sind allerdings plausibler als die für Gleitreibung. Von daher ist anzunehmen, dass der Reibungsverlust eher durch Umschlingungsreibung verursacht wird. Bei der Verwendung der Holzwinkel herrscht dagegen ausschließlich Umschlingungsreibung.

Bei der Umschlingungsreibung hängt die zu übertragende Kraft bzw. das Verhältnis von ankommender und eigeleiteter Kraft vom Umschlingungswinkel ab. Aus den Messergebnissen bei dem Umschlingungswinkel von  $360^\circ$  lassen sich die zu erwartenden Kraftübertragungsraten für kleinere Umschlingungswinkel abschätzen. In Bild 23 ist diese Abschätzung grafisch dargestellt.



**Bild 23:** Kraftverhältnis in Abhängigkeit vom Umschlingungswinkel

Da der Reibungsverlust beim Kraftübertragungssystem Trans 2G vermutlich eher durch Umschlingungsreibung verursacht wird, werden die Kraftverhältnisse auch eher durch die blaue (obere gekrümmte) Kurve beschrieben. Sollten Gleitreibungsanteile vorhanden sein, verschieben sich die Kraftverhältnisse in Richtung der roten (waagrechten) Kurve. Zur zahlenmäßigen Erfassung der Reibungsanteile sind Versuche mit Variation der Umschlingungswinkel notwendig.

## 5 Zusammenfassung

Mit dem Kraftübertragungssystem Trans 2G können Spanngurte eine wesentlich höhere Kraft übertragen, als wenn sie beispielsweise an Holzwinkeln umgelenkt werden. Der Vorteil der Trans 2G-Systeme steigt mit zunehmendem Umschlingungswinkel an. In den Versuchen mit einem Umschlingungswinkel von  $360^\circ$  übertragen die Trans 2G-Systeme eine fast dreimal höhere Kraft als die Holzwinkel. Der Vorteil der Trans 2G-Systeme ist damit überzeugend nachgewiesen.

Regensburg, den 9. August 2010

*U. Briem*

Prof. Dr.-Ing. U. Briem

## Anhang 1: Zertifikat Kraftmessdose 38144 HBM (16 KN)

Präzisions-Kraftaufnehmer PM-K, PM-Tn

## Technische Daten

	PM-K <del>X</del>	PM-Tn
Nennkraft $F_n$ [kN]	10	1000
	16	1600
	25	2500
	40	4000
	63	6300
Nenn-Kennwert [Cn]	1,6 mV/V	
Relative Kennlinienabweichung von der Bezugsgeraden (Istwertbezogen)	< ± 0,05 % ( < ± 0,025 % ) *	< ± 0,18 %
Relative Linearitätsabweichung (endwertbezogen)	< ± 0,02 % ( < ± 0,01 % ) *	< ± 0,07 %
Relativer Zug-/Druckkraft-Kennwertunterschied	< ± 0,1 % ( < ± 0,05 % ) *	< ± 0,5 %
Temperatureinfluß auf das Nullsignal pro 10 K	< ± 0,015 %	
Temperatureinfluß auf den Kennwert pro 10 K	< ± 0,05 %	
Relatives Kriechen innerhalb 30 min.	< 0,02 %	
Querkräfteinfluß	< ± 0,2 %	
Exzentrizitätseinfluß bei 30 mm Exzentrizität	< 1 %	
Eingangswiderstand	380 Ω ± 3 %	
Ausgangswiderstand	350 Ω ± 1 %	
Nennbereich der Speisespannung	≤ 10 V	
Gebrauchsbereich der Speisespannung	≤ 15 V	
Schutzart	IP 65	
Grenzkraft	160% $F_n$	
Zulässige relative Schwingbeanspruchung (Schwingbreite nach DIN 50 100)	160 % wobei die größte Kraft die Nennkraft nicht überschreiten darf	
Grenzquerkraft: statisch dynamisch wechselnd	50 % $F_n$ ±20 % $F_n$	
Vibrationsbeständigkeit	500 m/s <sup>2</sup> **	
Nenntemperaturbereich	+10°C ..... + 60°C	
Gebrauchstemperaturbereich	0°C ..... + 70°C	
Lagerungstemperaturbereich	-20°C ..... + 90°C	

Lieferbar gegen Mehrpreis

bei hohen Beschleunigungen ist auf die Kabelführung zu achten. Das Entstehen von Schwingungsknoten im gesamten Prüffrequenzbereich muß vermieden werden. Der Meßkörper selbst kann ohne Schaden auch Beschleunigungen über 500 m/s<sup>2</sup> ertragen.

## Anhang 2: Zertifikat DMS für tom002\_5.8 Aufnehmer


**Dehnungsmeßstreifen**  
**Strain Gauges**  
**Jauges d'extensométrie**

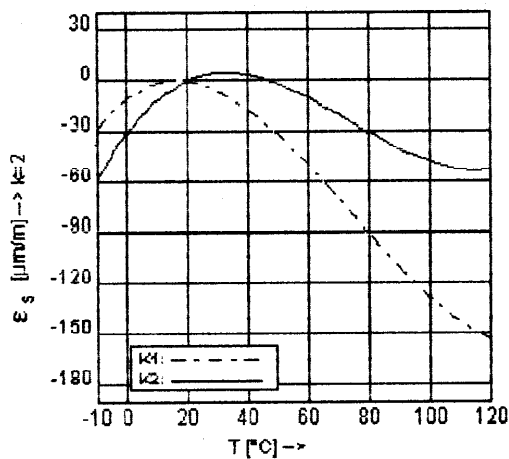
Widerstand Resistance Résistance	120 [ $\Omega$ ]	+ 0.35 - 0.35	[%]
k-Faktor Gauge factor Facteur k	2,08	$\pm$ 1	[%]
Querempfindlichkeit Transverse Sensitivity Sensibilité transverse		-0.1	[%]

Temperaturkompensation: Angepaßt für  
 Temperature Compensation: Compensated for  
 Compensation de température: Compensation pour

 $\alpha = 10.8 [10^{-6}/^{\circ}\text{C}]$ 

 Stahl  
 Steel  
 Acier

 Alumi-  
 nium

 Sonstige  
 Other  
 Autre


$$\epsilon_s(T) = -11.0 + 1.34 T - 4.56 \cdot 10^{-2} T^2 + 2.05 \cdot 10^{-4} T^3 + 0.0333 \cdot L \cdot (T-20) \mu\text{m/m} \pm 0.3 (\mu\text{m/m}) ^{\circ}\text{C}^{-1}$$

 Typ  
 US-Type **6/120ALY11**

Stückzahl Quantity Quantité	10	mit with avec	<input checked="" type="checkbox"/>	ohne without sans	<input type="checkbox"/>	Applikationshilfe Application aid Support d'aide à l'application
Temperaturkoeffizient des k-Faktors Temperature coefficient of gauge factor Coefficient de température du facteur k	104	$\pm$	--	[ $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ]		
Artikel Nr. Part No. No. de Réf.	1-LY11-6/120A					
Folienlos Lot Lot de la feuille	A309/01					
Herstellungslot Batch Lot de fabrication	876403/03					

Alle technischen Daten nach OIML IR 62, bei Beachtung der abweichenden Toleranzangaben auch nach VDI/VDE 2635. Geben Sie bei Rückfragen bitte DMS-Typ und Herstellungs-Los an.

All technical data in accordance with OIML IR 62, also compliant with VDI/VDE 2635 if deviating tolerances are observed. In case of further inquiries please indicate gauge type and batch number.

Toutes caractéristiques techniques selon OIML IR 62 et VDI/VDE 2635 pour les indications différentes de tolérance. Pour toutes questions, indiquer le type de la jauge ainsi que le lot de fabrication.

**Temperaturgang** der Dehnungsmeßstreifen bei Applikation auf Werkstoffen mit unseitig angegebene Wärmeausdehnungskoeffizienten  $\alpha$ . Gemessen bei kontinuierlicher Temperaturänderung.

**Kenntlinie 1:** DMS ohne Anschlußbändchen

**Kenntlinie 2:** DMS mit Anschlußbändchen (30 mm einfache Bändchenlänge). Bei gekürzten Bändchen liegt der Temperaturgang zwischen Kenntlinie 1 und 2. Die numerische Darstellung erlaubt, den Temperaturgang für jede Bändchenlänge exakt zu errechnen.

T = Temperatur in  $^{\circ}\text{C}$  L = einfache Bändchenlänge in mm

The **Thermal output** refers to strain gauges when bonded to materials with the coefficient of thermal expansion  $\alpha$  given overleaf. Values are measured at a continuous temperature progression.

**Curve 1:** Gauges without connecting leads

**Curve 2:** Gauges with connecting leads (simple lead length of 30 mm). If the leads are shorter, then the thermal output lies between curve 1 and 2. The numeric approximation allows the calculation of the thermal output for any lead length.

T = temperature in  $^{\circ}\text{C}$  L = simple lead length in mm

**Comportement en température** des jauges d'extensométrie appliquées sur des matériaux dont les coefficients de dilatation thermique  $\alpha$  sont indiqués au verso. Mesuré au cours d'une variation continue de la température.

**Courbe 1:** Jauges sans fils de sortie

**Courbe 2:** Jauges avec fils de sortie (longueur unitaire du fil de 30 mm). Lorsque les fils sont plus courts, le comportement en température se trouvera entre les deux courbes 1 et 2. Le dernier terme de l'équation détermine avec exactitude l'influence des fils de sortie.

T = température en  $^{\circ}\text{C}$  L = longueur unitaire des fils en mm

**HOTTINGER BALDWIN MESSTECHNIK**

HBM WÄGETECHNIK GMBH

Im Tiefen See 45, D-64293 Darmstadt

Tel.: +49-1805-22 32 49; Telefax: +49/6151/80 35 86

http://www.hbmwt.com

wt 12.97 - 30.0 wd

Anhang3: Fehlerkurve