



## **Schatz GmbH**

Schraubverbindungen – Oberfläche und  
Reibungszahl

Produkt-/Projektmanager  
Dipl.-Ing. (FH) Christoph Bodensteiner

# SCHATZ GmbH

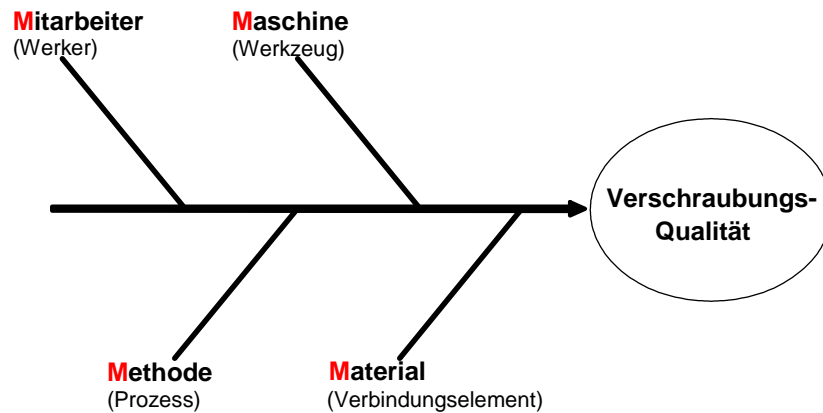
## Eckdaten



- Spezialist im Bereich der industriellen Schraubtechnik
- Gegründet im Jahr 1955
- Seit 2016 Mitglied der Kistler Gruppe
- Ca. 80 Mitarbeiter
- Firmensitz in Remscheid
- Kunden:
  - Automobilindustrie
  - Luft- und Raumfahrtindustrie
  - LKW- und Busindustrie
  - Zulieferindustrie
  - Beschichtungssystemhersteller
  - Oberflächenbeschichter
  - Schrauben- und Mutterhersteller
  - Forschungs- und Lehranstalten
  - Prüfdienstleister
  - u. a.

# Einflüsse auf die Verschraubungsqualität

«4 M»



Es gibt vier Haupteinflussfaktoren auf die Verschraubungsqualität – 4M´s:

- **M**ensch (Werker)
- **M**aschine (Werkzeug)
- **M**ethode (Prozess)
- **M**aterial (Verbindungselement)

Nur wenn alle Einflussfaktoren von höchster Qualität sind ist auch eine „Null-Fehler“ Montage möglich.

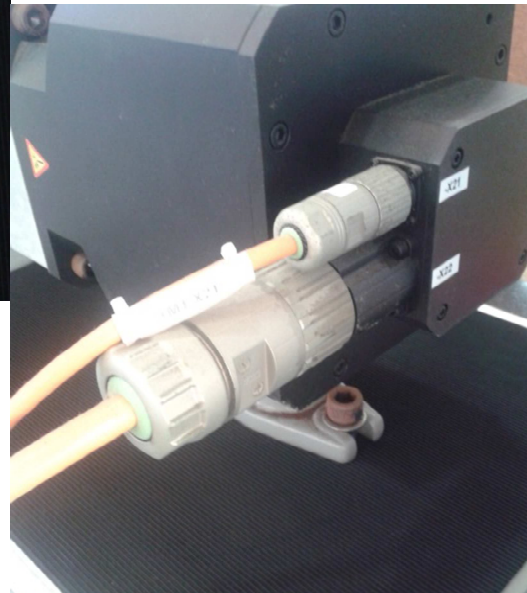
# Schraubverbindungen

Warum Oberflächenschutzsysteme?



Umwelteinflüsse „korrosive Umgebung“  
– teilweise auch unter „Labor-  
bedingungen“!

Korrosionsschutz ist NOTWENDIG und  
muss auch FUNKTIONIEREN!



Hinweis: Ausnahmefall eines Systems  
welches neben einer Salzsprühkammer in  
einem Labor verwendet wurde in dem  
auch mit anderen Chemikalien gearbeitet  
wird sowie eine Luftfeuchtigkeit von über  
80 % herrscht... also ideale Bedingungen  
für Korrosion...



# Schraubverbindung

## Anforderungen an Oberflächenschutzsysteme



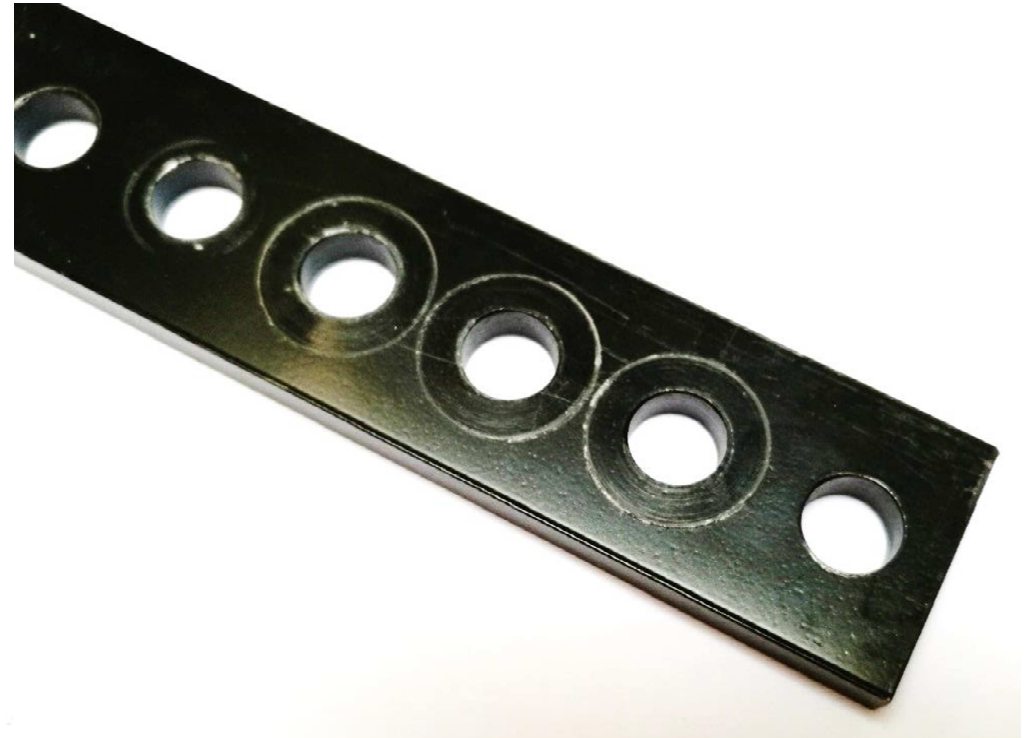
Der Korrosionsschutz ist durch die Verzinkung sichergestellt – aber die Schraube kann nicht eingesetzt werden da diese aufgrund der Schichtdicke nicht verschraubt werden kann.

### Anforderungen an Oberflächen für Schraubverbindungen:

- Korrosionsschutz
- Verbau- und Verschraubbarkeit
- Definierte Oberflächeneigenschaften (Reibungszahl) von Verbindungselementen in engen Toleranzfenstern
- Haltbarkeit
- Resistenz gegen Oberflächenpressung
- Abriebresistenz

# Schraubverbindung

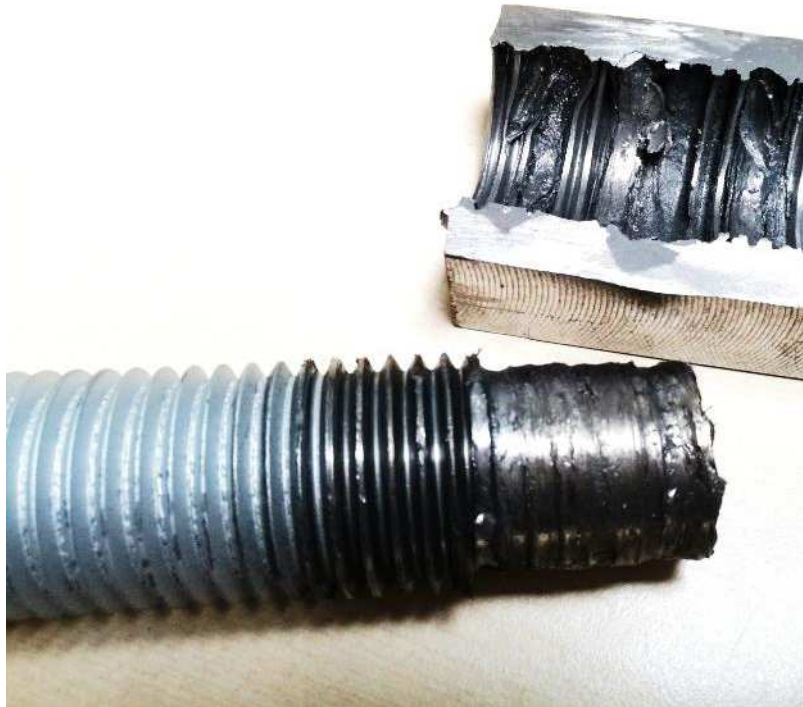
Beispiele Oberflächenschutzsysteme – Lackierte Oberflächen



Erhöhte Anforderungen an lackierte Oberflächen – hohe Flächenpressung und Abrieb – Korrosionsschutz?

# Schraubmontage

## Anforderungen



Beispiel: Überlastung und Versagen einer Schraubverbindung M36 durch falsche Materialkombination, falsch ausgelegtes Schraubverfahren und Versagen des Oberflächenschutzsystems – „kaltverschweißen“ der Verbindung.

Die Schraubmontage ist der abschließende Vorgang am Ende der Prozesskette in der Montage.

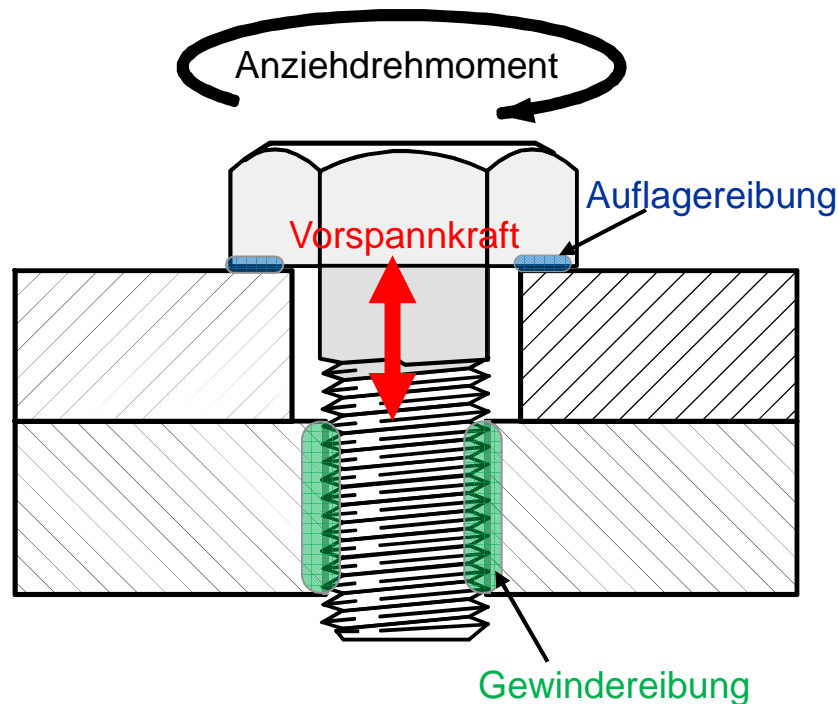
Aus diesem Grunde müssen alle dort eingeflossenen Faktoren höchste Qualität aufweisen.

Es muss sichergestellt werden dass:

- Mindestvorspannkraft erreicht ist – sonst löst sich die Verbindung
- Maximalvorspannkraft nicht überschritten ist – sonst kommt es zu einer Überlastung und zum Versagen der Verbindung

# Schraubverbindung

## Drehmomentanzug – Nachteil und Einflüsse



Nachteil:

- Ein großer Teil der aufgebrauchten Energie wird in Auflage- und Gewindereibung umgewandelt und geht nicht in die Vorspannkraft ein.

$$F = \frac{T}{\left( \frac{D_b}{2} \cdot \mu_b + 0,16 \cdot P + 0,578 \cdot d_2 \cdot \mu_{th} \right)}$$

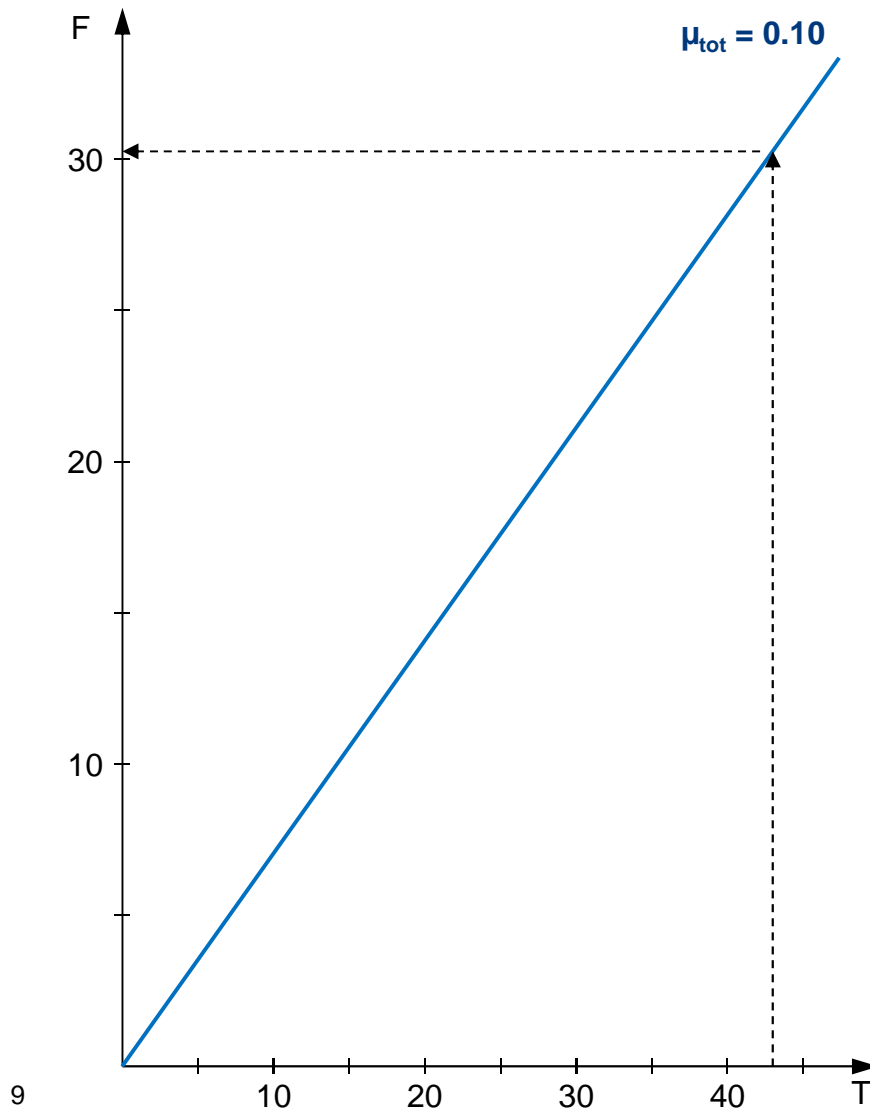
Einflüsse:

- Streuungen im Anziehdrehmoment und den Reibungszahlen führen zu Streuungen in der Vorspannkraft.



# Beispiel

“Idealfall” - Anziehdrehmoment und Reibungszahl konstant



Ausgangssituation:

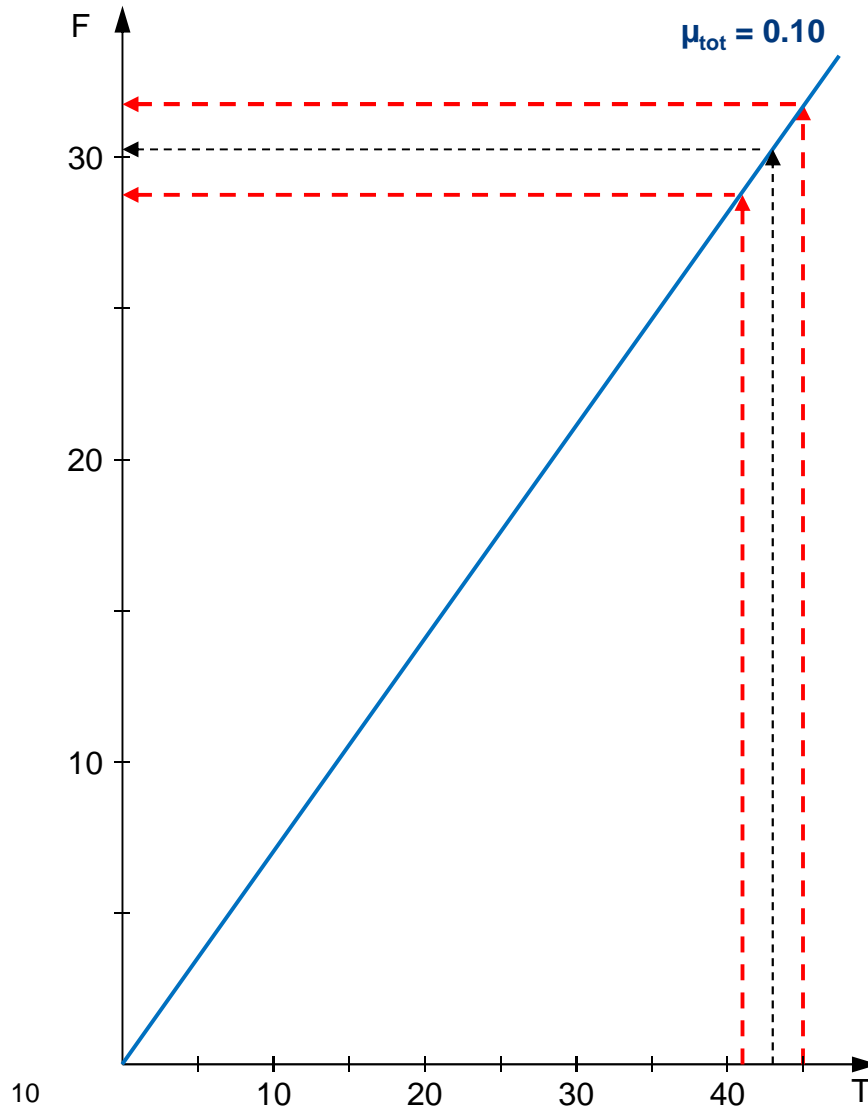
- Keine Streuung im Anziehdrehmoment
- Sechskantschraube ISO 4014
- Festigkeitsklasse 8.8
- Ausnutzung 90% der Streckgrenze
- Zielvorspannkraft  $F = 30,2 \text{ kN}$
- Konstante Reibungszahl von  $\mu = 0,10$  für Gesamt-, Gewinde- und Auflage-reibungszahl (Vereinfachung)

Benötigtes Anziehdrehmoment:

- $T = 42,6 \text{ N}\cdot\text{m}$

# Beispiel

Anziehdrehmoment toleranzbehaftet und Reibungszahl konstant



Ausgangssituation:

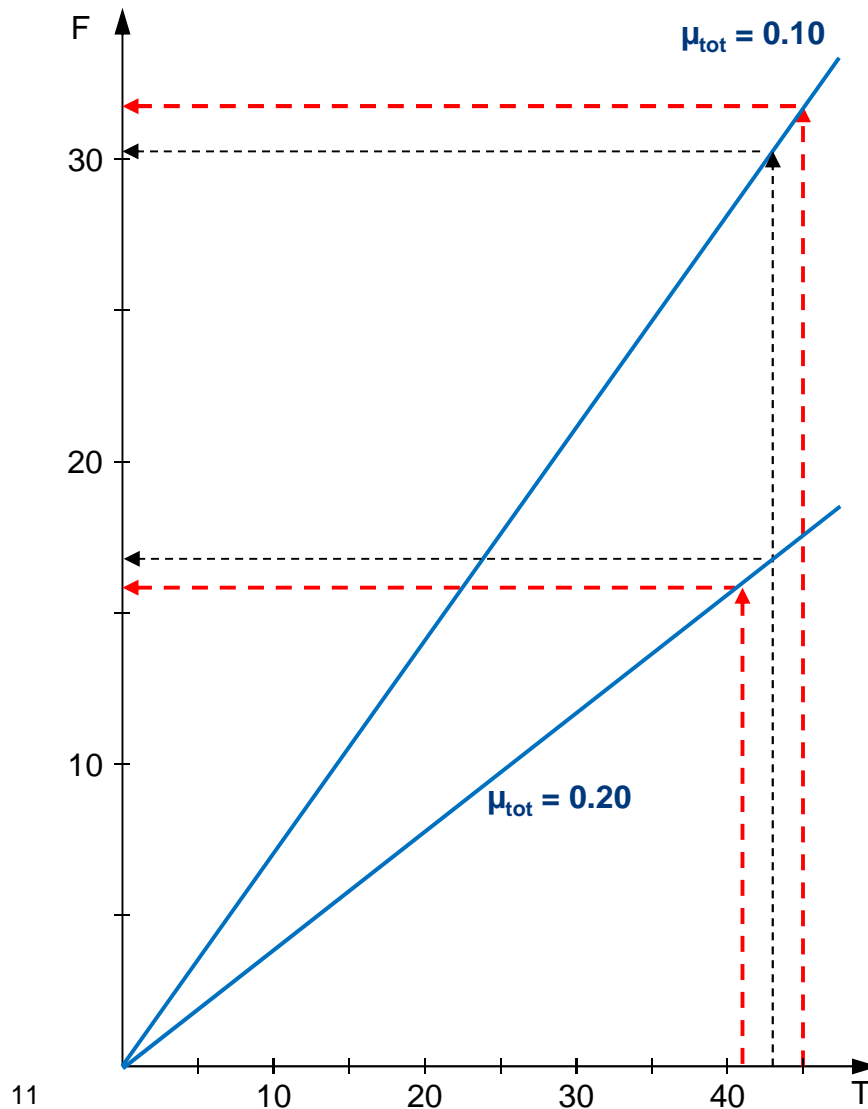
- Streuung im Anziehdrehmoment  $\pm 5 \%$
- Sechskantschraube ISO 4014
- Festigkeitsklasse 8.8
- Ausnutzung 90% der Streckgrenze
- Konstante Reibungszahl von  $\mu = 0,10$  für Gesamt-, Gewinde- und Auflage-reibungszahl (Vereinfachung)
- Anziehdrehmoment  $T_{\text{min}} = 40,4 \text{ N}\cdot\text{m}$ ,  
 $T_{\text{max}} = 44,7 \text{ N}\cdot\text{m}$

Erzielte Vorspannkraft:

- $F_{\text{min}} = 28,8 \text{ kN}$ ,  $F_{\text{max}} = 31,8 \text{ kN}$
- Streuung ca. 3,0 kN

# Beispiel

“Realität” - Anziehdrehmoment toleranzbehaftet und Reibungszahlfenster



Ausgangssituation:

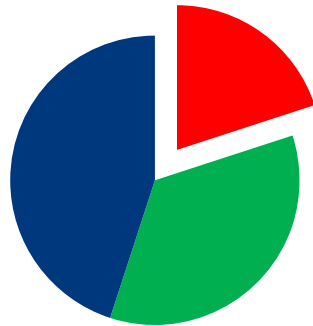
- Streuung im Anziehdrehmoment  $\pm 5\%$
- Sechskantschraube ISO 4014
- Festigkeitsklasse 8.8
- Ausnutzung 90% der Streckgrenze
- Reibungszahl von  $\mu = 0,10 - 0,20$  für Gesamt-, Gewinde- und Auflage-reibungszahl (Vereinfachung)
- $T_{min} = 40,4 \text{ N}\cdot\text{m}$ ,  $T_{max} = 44,7 \text{ N}\cdot\text{m}$

Erzielte Vorspannkraft:

- $F_{min} = 15,7 \text{ kN}$ ,  $F_{max} = 31,8 \text{ kN}$
- Streuung ca. 16,1 kN

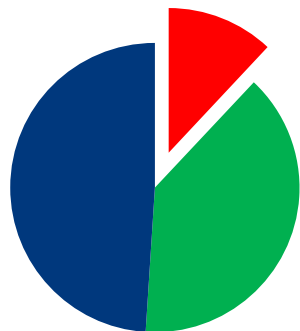
# Verluste durch Reibung

Aufteilung des Anziehdrehmoments



Reibungszahl  $\mu_{\text{tot}} = \mu_{\text{th}} = \mu_{\text{b}} = 0,08$

- ca. 20 % Vorspannkraft
- ca. 35 % Gewindereibung
- ca. 45 % Auflagereibung



Reibungszahl  $\mu_{\text{tot}} = \mu_{\text{th}} = \mu_{\text{b}} = 0,14$

- ca. 12 % Vorspannkraft
- ca. 39 % Gewindereibung
- ca. 49 % Auflagereibung

# Reibwertprüfungen

Allgemein

**DIN EN ISO 16047**

**VW 01131-1**

**Ford WZ 102**

**Renault 01-50-005/--E**

**Fiat 7.G0114**

**PSA 10 0054**

**ZFN 5033**

...

Reibwertprüfungen werden zur Qualitätssicherung der Oberflächenbeschichtungssysteme benötigt.

Der Zusammenhang zwischen Drehmoment und Vorspannkraft ist der Reibwert  $\mu$ .

Die Messung des Reibwerts ist in verschiedenen internationalen und kundenspezifischen Normen definiert.



### DIN EN ISO 16047 – Verbindungselemente – Drehmoment/Vorspannkraft-Versuch

Ziel: Bestimmung der Anzieheigenschaften von mechanischen Verbindungselementen mit Gewinde und ähnlichen Teilen

Aktuelle Fassung: DIN EN ISO 16047:2013-01

- Gewindebereich M3 bis M39.
- Definierte Referenzteile – Prüfmutter für Schraubenprüfung, Prüfschraube für Mutternprüfung sowie Referenzauflegeleiste oder –scheibe mit definierten Oberflächenbedingungen (aber verschiedene Varianten möglich).
  - Referenzauflage HH / HL in blank / galvanisch verzinkt A1J
  - Referenzschraube blank / galvanisch verzinkt A1J
  - Referenzmutter blank / galvanisch verzinkt A1J

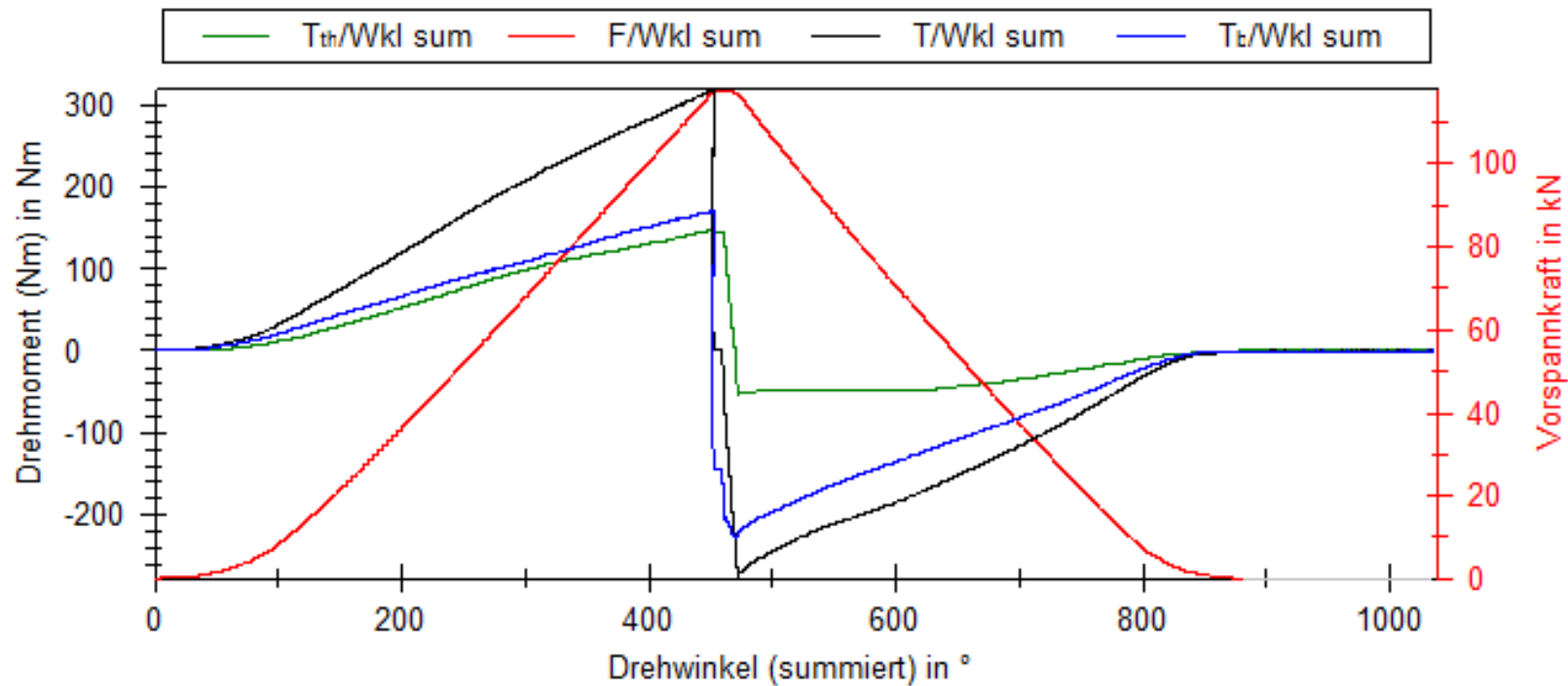
- Definierte Reinigung der Referenzteile – fettfrei.
- Definierte und konstante Drehgeschwindigkeit während des Versuchs. Aber je nach Gewindegröße auch in Bereichen frei wählbar.
- Definierte max. Messunsicherheit der Sensoren.
- Definierter Auswertepunkt (75%  $F_p$  gem. ISO 898)
- Definition der Auswertung und Berechnungsgrundlagen
- Versuch unter „besonderen Bedingungen“ in Abstimmung der Vertragspartner

Ziel: Einheitliche Prüfmethoden zwecks Vergleichbarkeit der Ergebnisse.

**ACHTUNG:** Prüfbedingungen müssen für Vergleichsversuche einheitlich sein, da sonst die Vergleichbarkeit nicht gewährleistet werden kann!

# Beispiel

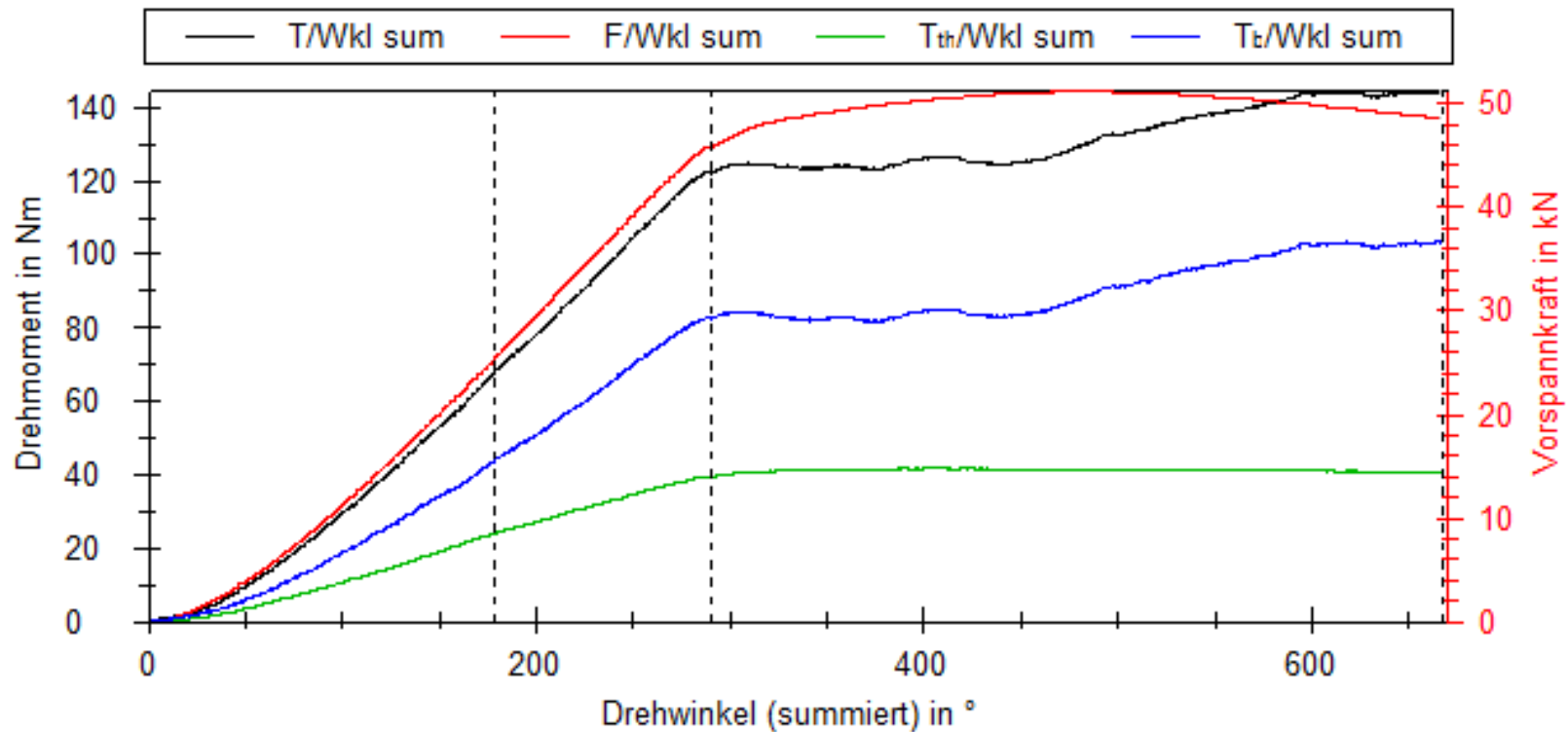
Versuch ISO 16047



- Definierter Anzug des Prüflings auf 75% Prüfkraft  $F_p$  gemäß ISO 898.

# Beispiel

Versuch ISO 16047 (anderer Prüfling)



- Optional Ermittlung von Kraft und Drehmoment an der Streckgrenze und bei Bruchkraft sowie Drehmoment bei Bruchkraft vor Versagen.

# Beispiel

Versuch ISO 16047 – mittlerer Durchmesser der Auflagefläche

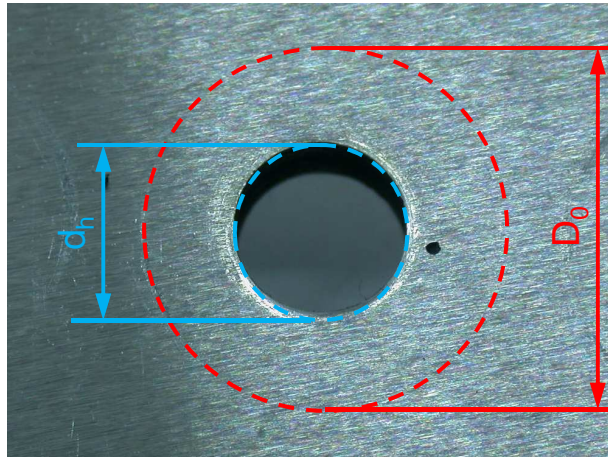
Theoretisch (Flanschschraube M6):

$$D_0 = 12,6 \text{ mm}$$

$$d_h = 7,0 \text{ mm}$$

$$D_b \text{ (berechnet)} = 9,8 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow \mu_{\text{tot}} = 0,083$$



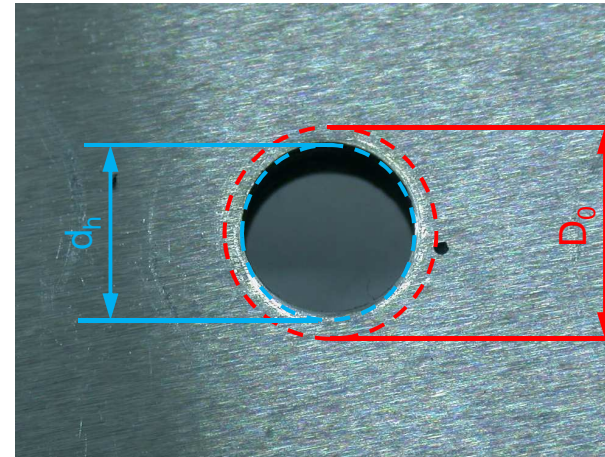
Tatsächlich (Flanschschraube M6):

$$D_0 = 7,6 \text{ mm}$$

$$d_h = 7,0 \text{ mm}$$

$$D_b \text{ (berechnet)} = 7,3 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow \mu_{\text{tot}} = 0,097$$



Die kleinere Reibungszahl  $\mu_{\text{tot}}$  beim theoretischen  $D_b$  liefert bei gleichem Anziehdrehmoment in der Verschraubung eine um ca. 10 % höhere Vorspannkraft im Vergleich zum tatsächlichen  $D_b$ .



# Beispiel

## Versuch ISO 16047

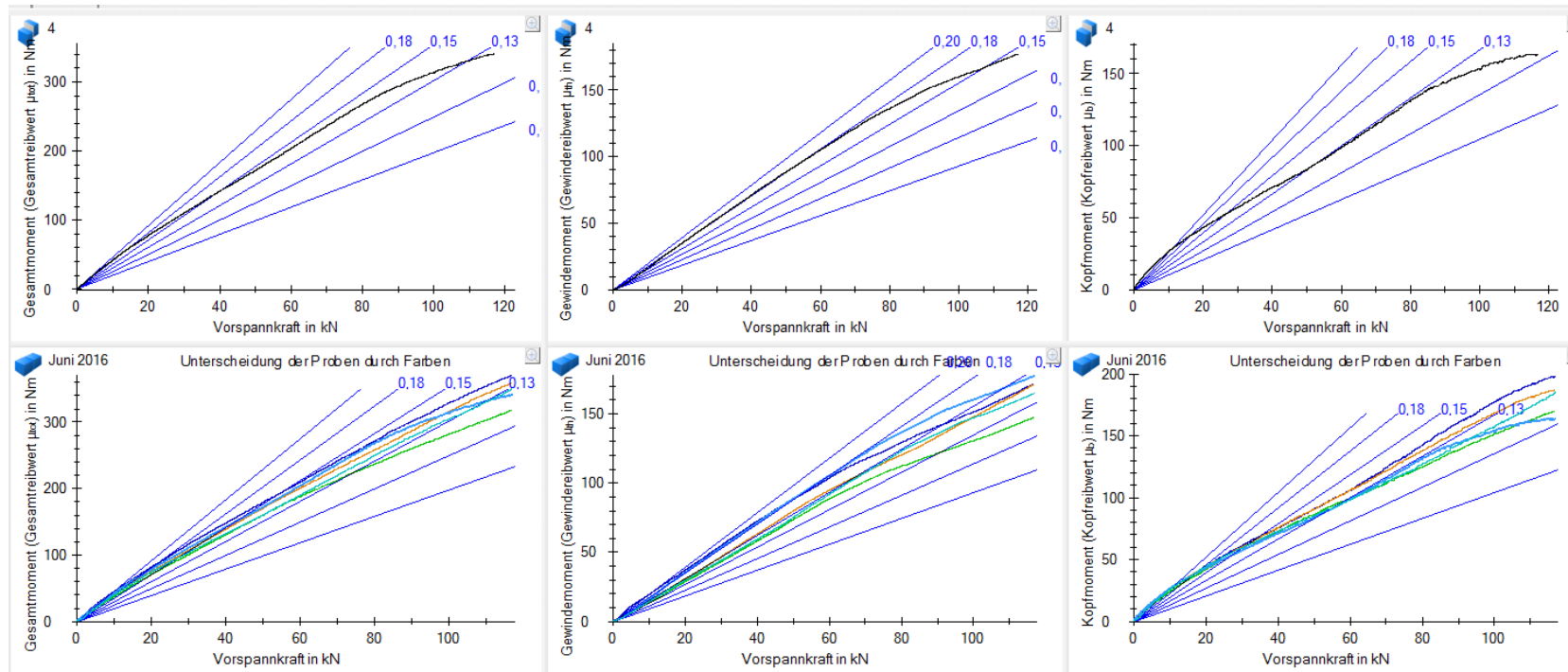
Juni 2016 Nr	F Step - #1 kN	T Step - #1 Nm	T <sub>th</sub> Step - #1 Nm	T <sub>b</sub> Step - #1 Nm	μ <sub>tot</sub> Step - #1	μ <sub>th</sub> Step - #1	μ <sub>b</sub> Step - #1
3.1	117,01	317,36	147,73	169,64	0,11	0,12	0,11
3.2	117,02	370,65	172,02	198,63	0,13	0,14	0,13
3.3	117,01	359,08	171,62	187,47	0,13	0,14	0,12
3.4	117,02	340,65	177,29	163,37	0,12	0,15	0,11
3.5	117,03	349,89	164,88	185,01	0,13	0,13	0,12

Juni n = 5	F Step - #1 kN	T Step - Nm	T <sub>b</sub> Step - Nm	T <sub>th</sub> Step - Nm	μ <sub>tot</sub> Step - #1	μ <sub>th</sub> Step - #1	μ <sub>b</sub> Step -
$\bar{x}$	117,02	347,53	180,82	166,71	0,13	0,14	0,12
min	117,01	317,36	163,37	147,73	0,11	0,12	0,11
max	117,03	370,65	198,63	177,29	0,13	0,15	0,13
R	0,02	53,29	35,27	29,56	0,02	0,03	0,02
s	0,01	20,19	14,22	11,49	0,01	0,01	0,01

- Tabellarische Auswertung mit Statistik.

# Beispiel

## Versuch ISO 16047



- Reibzahldiagramme.

# Schraubverbindung

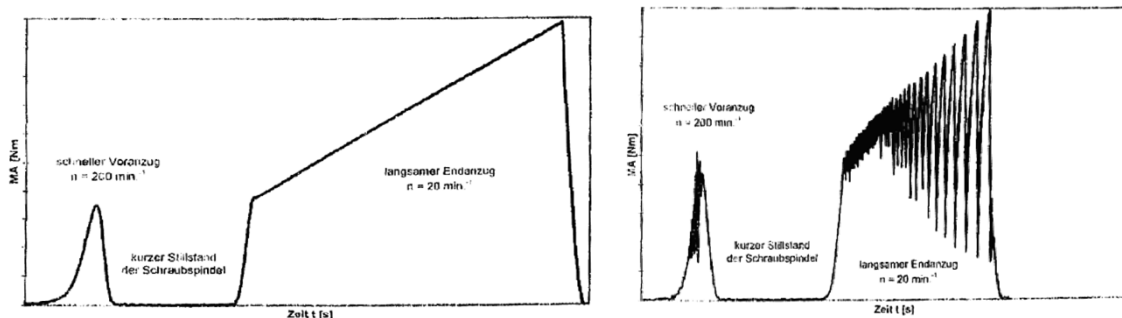
Beispiele Oberflächenschutzsysteme – KTL-Oberflächen



## Kurzüberblick

Diese Normen legen die Bedingungen zur Durchführung von praxisnahen Drehmoment/Vorspannkraft-Versuchen für mechanische Verbindungselemente unter „erschwertem“ Praxisbedingungen fest.

- Mehrfachanzug gegen lackierte Oberflächen und Aluminium.
- Praxisnahe Drehzahlen 200 1/min im Voranzug, 20 1/min im Endanzug mit Schraubspindel (Torsionseinfluss), Pause zwischen den Schraubstufen und thermische Belastung durch hohe Drehzahlen.
- Erkennen von Stick-Slip-Effekten welche in der Montage unerwünscht sind.

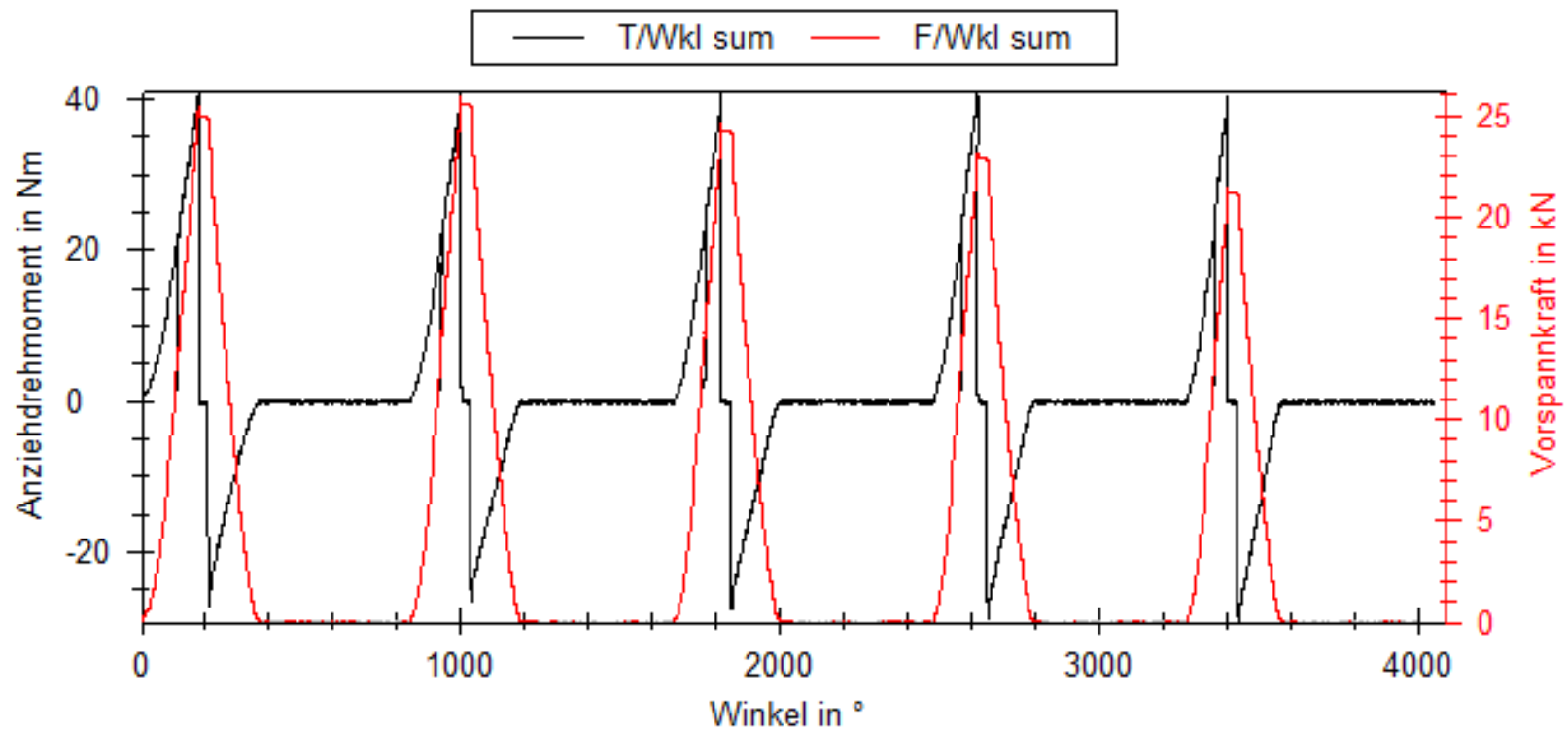


Quelle der beiden Bilder:  
VDA235-203 (August 2005)

Ziel: Praxisnahe Prüfung unter Berücksichtigung der realen Bedingungen.

# Beispielanzug 5-fach gegen KTL

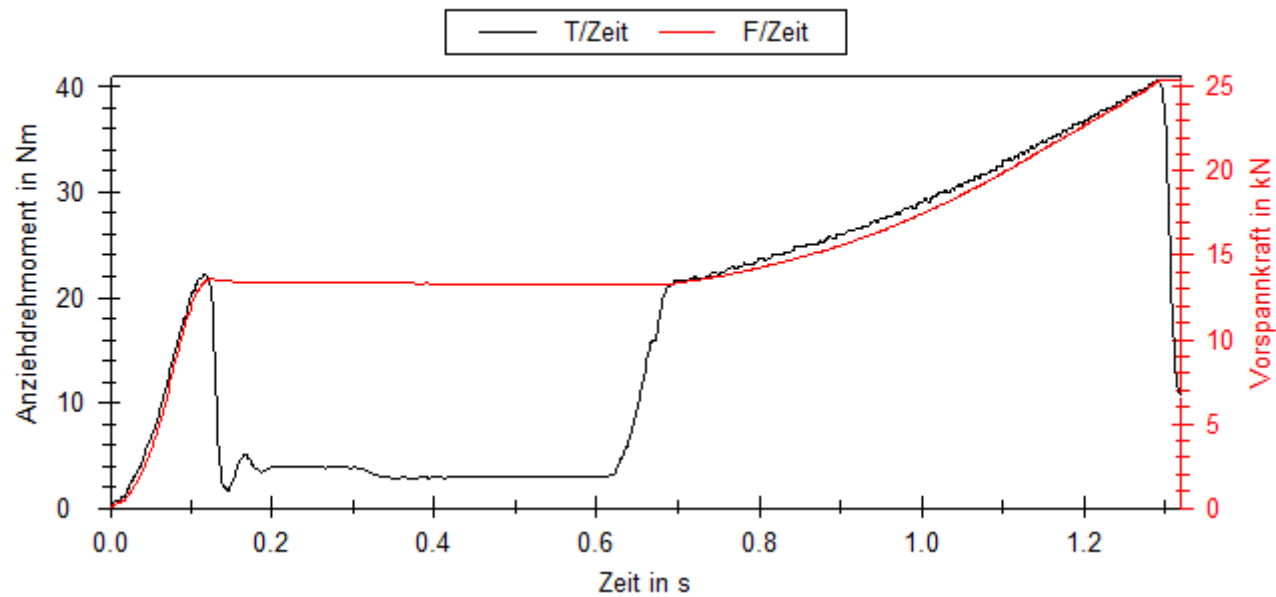
Darstellung über Drehwinkel



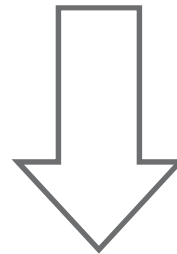


# Beispielanzug 5-fach gegen KTL

Kundenspezifisch im Entwurfsstadium



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit.



**Vortrag Hochschule Offenburg Herr  
Rappenecker und Herr Isele**