

# Die Tellerfeder-Prüfung

## Messunsicherheit: Definition, Ermittlung, Anforderungen

### Allgemein

#### *Tellerfederprüfmaschinen*

Prüfmaschinen, die zur Ermittlung der Federhöhe-Federkraft-Abhängigkeit von Tellerfedern aller Art (geschlitzt und ungeschlitzt) bei der Firma Häussermann Lamellen GmbH dienen und nach dem dynamischen Messprinzip arbeiten.

#### *Dynamisches Messprinzip*

Bei der dynamischen Messung wird eine Tellerfeder zwischen zwei frei eingebaren Federhöhen mit konstanter Prüfungsgeschwindigkeit zunächst belastend und dann entlastend verformt.

Während dieser Prüfung wird nach bestimmten eindeutig festgelegten Kriterien (z. B.  $F_x$  bei  $L_x$ ,  $F_{max}$ ,  $F_{min}$ , ...) die aufgetretene Federkraft und die Federhöhe gemessen.

Definition der verwendeten Formelzeichen, soweit nicht hier angegeben, siehe DIN EN ISO 7500-1 Tabelle 1.

Die *Genauigkeit* einer Messeinrichtung ist die systematische Abweichung eines reproduzierbaren, statistisch gesicherten Messergebnisses vom wahren bzw. erwarteten Wert.

Die *Umkehrspanne* oder *Hysterese* ist bei der elastischen Verformung von Werkstoffen die Differenz der Materialeigenschaft (Kraft, Spannung, ...) zwischen

belastender und entlastender Prüfung. Sie wird durch jede äußere und innere Reibung verursacht.

Die *Auflösung* ist bei der Ziffernanzeige der kleinste Ziffernsprung, der messtechnisch möglich ist. Sie kann größer sein, als eine Einheit der kleinsten Stelle (*Digit*).

### Messunsicherheit von Tellerfederprüfmaschinen

Die *Messunsicherheit* ist ein Schätzwert, der einen Wertebereich kennzeichnet, innerhalb dessen mit vorgegebener Wahrscheinlichkeit (z. B. 95 %) der wahre Wert bzw. der Erwartungswert liegt.

Die *Messunsicherheit* ( $u$ ) ist somit ein Maß für die Genauigkeit des Messergebnisses.

Sie setzt sich aus systematischen Komponenten (Richtigkeit) und zufälligen Komponenten (Präzision) zusammen. Dabei lassen sich die systematischen Fehler durch eine Kalibrierung der Prüfmaschine zumindest teilweise kompensieren, sofern ihre Ursachen und ihre Größenordnung bekannt sind (siehe „*Die Laborprüfmaschine bei HÄUSSERMANN*“, „*Der HÄUSSERMANN-Ringversuch*“ und DGQ-Schrift Nr. 11-04 „Begriffe“).

Bei der Kalibrierung einer Prüfmaschine werden die Komponenten (hier systematischer und zufälliger Fehler,  $F_{sys}$  u.  $F_{zuf}$ ) als Maximalwerte ermittelt. Da diese Fehlerkomponenten in der Praxis nie alle

gleichzeitig in maximaler Größe auftreten, werden sie quadratisch addiert.

$$u = \sqrt{F_{sys}^2 + F_{zuf}^2}$$

Eine lineare Addition ergibt vor allem bei unterschiedlich großen Komponenten ein höheres Ergebnis und wäre nur gerechtfertigt bei gleichzeitigem Auftreten aller Komponenten in maximaler Größe.

Die Messunsicherheit der Tellerfederprüfmaschine ist abhängig von der *Kraftmessunsicherheit* und der *Federhöhenmessunsicherheit* unter Last und damit auch von der Verformung von Maschinenstell, Druckplatten, Prüfwerkzeugen, Prüfling, usw.

#### *Kraftmessunsicherheit*

Die einzelnen Einflussfaktoren auf die Kraftmessunsicherheit und ihre Überprüfung sind allgemein in DIN EN ISO 7500-1 incl. Bbl 1 + Bbl 2 beschrieben. Sie werden angegeben in % des tatsächlichen Wertes, an dem sie ermittelt wurden. Für die Berechnung der Meßunsicherheit, die ebenfalls in % angegeben wird, werden die jeweils schlechtesten Werte herangezogen.

Abweichend zu DIN EN ISO 7500-1 wird die Messunsicherheit bei HÄUSSERMANN nicht in Klassen eingeteilt, sondern die einzelnen Komponenten werden quadratisch addiert.

$$\text{Messunsicherheit } UF = \sqrt{q^2 + \left(\frac{a}{2}\right)^2 + \left(\frac{a}{2}\right)^2 + s^2 + f^2}$$

uF = Messunsicherheit

q = relativer Anzeigefehler bei belastender Prüfung bezogen auf den wahren Wert;

b = relative Spannweite der Messwerte bei 10 belastenden Prüfungen bezogen auf den Mittelwert;

$$b = \frac{F_{b_{\max}} - F_{b_{\min}}}{F_{b_{\text{mitt}}}} \times 100\%$$

F<sub>b<sub>max</sub></sub> = maximale Kraftanzeige bei definierter Belastungskraft;

F<sub>b<sub>min</sub></sub> = minimale Kraftanzeige bei definierter Belastungskraft;

F<sub>b<sub>mitt</sub></sub> = mittlere Kraftanzeige bei definierter Belastungskraft;

a = auflösungsbedingte relative Messunsicherheit der Anzeigeeinrichtung;

s = relative Umkehrspanne bezogen auf den jeweiligen Mittelwert bei belastender Prüfung;

f = relative Nullpunktabweichung nach Entlastung (Restanzeige) bezogen auf den Messbereichsendwert;

Bemerkungen:

1. Unter der Annahme, dass b und a symmetrisch zum Mittelwert aus 10 belastenden Prüfungen liegen, wird jeweils nur der halbe Betrag angerechnet.

2. In dieser Richtlinie wird für die Umkehrspanne die Abkürzung s verwendet, da der Buchstabe u bereits für die Messunsicherheit belegt ist.

3. Die Spannweite b und die Nullpunktabweichung f sind die zufälligen Komponenten der Messunsicherheit. Eine Umstellung der Formel zeigt den Zusammenhang zur Betrachtung in *Meßunsicherheit von Tellerfederprüfmaschinen*.

$$U_f = \sqrt{q^2 + \left(\frac{a}{2}\right)^2 + s^2 + \left(\frac{b}{2}\right)^2 + f^2}$$

= systematische + zufällige Komponente

4. Die Berücksichtigung der Streuung als Spannweite b ist ein Zugeständnis an das Abnahmeverfahren der DIN. Die in der DIN vorgeschlagenen 3 Belastungsreihen wurden trotzdem erhöht auf wenigstens 10. Richtiger wäre die Berechnung der Standardabweichung und die Berücksichtigung der Streubreite t x s an Stelle der Spannweite b (siehe „Der HÄUSSERMANN-Ringversuch“).

#### Federhöhe-Messunsicherheit bei Belastung

Die Federhöhe, bei der die Kraft einer Tellerfeder gemessen wird, unterliegt ebenso einem Fehler wie die Kraft. Dieser Fehler wirkt sich um so schwerwiegender auf die gemessene Federkraft aus, je höher die Federrate c [N/mm] der betreffenden Tellerfeder ist. Daher kommt der Messgenauigkeit der Federhöhe eine große Bedeutung zu.

Die elastische Verformung des Maschinenrahmens unter der Kraft der Tellerfeder bewirkt zwischen der Stelle der Kraftein-

leitung und der Federhöhe-Messung einen Federhöhe-Messfehler, der sich addiert zum Federhöhe-Messfehler in unbelastetem Zustand. Daher wird die Messunsicherheit der Federhöhemessung abweichend von DIN EN 10002-4 und VDI/DGQ 3441 unter Belastung ermittelt (siehe auch Hinweise in DIN EN ISO 7500-1 Bbl 2, 1.3.2).

Die Aufgliederung der Komponenten und ihre Berechnung erfolgt analog der *Meßunsicherheit* der Kraft. Die Federhöhe-Messunsicherheit wird ebenso wie ihre Komponenten gemessen in [mm].

#### Gesamt-Messunsicherheit

Da die Auswirkung der Federhöhe-Messunsicherheit auf die Kraftmessung von der Federrate des betrachteten Messpunktes der jeweiligen Feder abhängt, kann keine pauschale Gesamt-Messunsicherheit angegeben werden. Die Gesamt-Messunsicherheit u(Gesamt) [N] muss für jeden speziellen Fall errechnet werden aus:

u(Kraft)	[%]
u(Federhöhe)	[mm]
geltende Federrate c	[N/mm]
geltende Kraft F	[N]
u(Gesamt)=[u(Kraft) x F] + [u(Federhöhe) x c]	

Die Addition der beiden Messunsicherheiten erfolgt hier linear und nicht quadratisch, da beide bei der betrachteten Feder mit Feder-  
rate c gleichzeitig in voller Höhe wirken.

*Streuung der Messwerte*

Liegen keine gesicherten Erkenntnisse vor über die Streuung der Maschine unabhängig von der Streuung zwischen verschiedenen Federn, kann mit Hilfe unten stehender Näherungsformel eine „zufällige zu erwartende Streuung der Messwerte“ errechnet werden. Diese Formel gilt strenggenommen nur, wenn keine systematischen Einflüsse in der Messunsicherheit u enthalten sind. Die tatsächliche Streuung wird also um den Betrag der systematischen Komponenten geringer sein.

$$\sigma \leq \frac{u}{t_{\infty}}$$

$t_{\infty} = 1,96$  beim Vertrauensniveau von 95%

$\sigma$  = Standardabweichung

**Einflussgrößen auf die Messunsicherheit**

**Kraftmessung**

Die Messunsicherheit bei der Kraftmessung wird durch den/die Kraftsensor/en und die angeschlossene Auswerteeinheit (einschließlich Anzeige und Dokumentation) bestimmt. Messfehler durch exzentrische Kräfteinleitung (z. B. durch die Lage- und Höhenstreuung der zu prüfenden Federn)

**Berechnungsbeispiel:**

<i>Messunsicherheit der Prüfmaschine</i>	<i>Kraft</i>	<i>u(Kraft)</i>	$\pm 0,5\%$ v. Messwert
	<i>Federhöhe</i>	<i>u(Kraft)</i>	$\pm 5,0\mu\text{m}$ (unter Last)
<i>Tellerfeder 10184 mit</i>	<i>Federrate</i>	<i>C</i>	26 kN/mm
	<i>Kraft bei</i>	<i>L = 6,75mm</i>	23250N $\pm$ 250N
<i>Messunsicherheit durch Kraftmessung</i>		<i>u(Kraft) * F</i>	= 116,3N
<i>Messunsicherheit durch Federhöhemessung</i>		<i>u(Höhe) * c</i>	= 130N
<i>Gesamtmessunsicherheit</i>		<i>u(Gesamt)</i>	= $\pm 246,3$ N

lassen sich konstruktionsseitig durch drei kreisförmig angeordnete und um 120 Grad versetzte Messdosen kompensieren, deren Summensignal der wirklichen Kraft entspricht. (siehe auch Hinweise in DIN EN ISO 7500-1 Bbl2, 2.2). Bei Verwendung einer zentralen Kraftmessdose muss mit einem entsprechenden Fehler gerechnet werden.

Bei dynamischen Prüfungen können außerdem Zeitverschiebungen und Eigenfrequenzen innerhalb der Kraftmesskette zu zusätzlichen Messfehlern führen (siehe DIN EN ISO 7500-1 Bbl 1, 2.4)

**Federhöhemessung**

*Auswirkung der Steifigkeit der Prüfmaschine*

Je höher die Steifigkeit der zu prüfenden Tellerfeder ist, desto stärker wirkt sich die

Elastizität der Prüfmaschine (Maschinenrahmen, Traverse, Druckplatten, usw.) auf die Federhöhenmessung aus, das heißt desto größer wird der Federhöhenmessfehler. Bei indirekter Federhöhenmessung (z. B. über die Spindeldrehung) ist dieser Fehler größer, als bei direkter Messung (z. B. über einen mittigen Taster). Siehe auch Hinweis in DIN EN ISO 7500-1 Bbl 1, 1.1 und Bbl 2, 1.2 + 1.3.2

Außerdem führen äußere und innere Reibungen zu mehr oder minder großen Hystereseerscheinungen in der Prüfmaschine bei belastender und entlastender Prüfung.

1. Für Federn mit hohen Federsteifigkeiten (> 1 kN/mm) und geringen Federwegen (< 20 mm) kann nur dann der Prüfweg indirekt (z.B. über die Traversenspindeldrehung) ermittelt werden, wenn der Einfluss der Steifigkeit der Prüfmaschine

durch den Steuerrechner bei Belastung und Entlastung kompensiert wird. Die Maschinensteifigkeit sollte unkorrigiert mindestens um das 2-fache über der des steifsten Prüflings liegen.

2. Für Federn mit niederen Federsteifigkeiten ( $< 1 \text{ kN/mm}$ ) und großen Federwegen ( $> 20 \text{ mm}$ ) kann der Prüfweg unkorrigiert über die Traversenspindeldrehung ermittelt werden, wenn die Maschinensteifigkeit mindestens um das 100-fache über der des steifsten Prüflings ( $1 \text{ kN/mm}$ ) liegt.

Die Auswirkungen der nicht vollständig kompensierten Anteile der Steifigkeit der Prüfmaschine auf das Federhöhemessergebnis werden im relativen Anzeigefehler  $q$  berücksichtigt.

#### *Genauigkeit Wegaufnehmer incl.*

##### *Auswerteeinheit*

Die Genauigkeit des Wegaufnehmers incl. Auswerteeinheit (siehe auch *Definitionen, Allgemein*) wird durch die relative Anzeigeabweichung  $q$  erfasst.

#### *Linearität der Übertragungsglieder*

Bei der Wegmessung über Drehwinkelgeber am Antrieb ist die Linearität des Getriebes und der Spindel zu berücksichtigen. Die Linearität findet ihren Niederschlag im relativen Anzeigefehler  $q$ .

#### *Zufällige Streuung*

Die zufällige Streuung der Messwerte um einen Mittelwert wird erfasst als Komponente  $b$ . Sie ergibt sich bei 10 belastenden Kalibrierläufen aus der Differenz zwischen Max. und Min. in [mm] und geht als zufällige Komponente in die Gesamt-Messunsicherheit ein. Korrekterweise müsste man die Streuung der entlastenden Prüfung separat ermitteln und berücksichtigen. Es wird aber angenommen, dass beide Streuungen in vergleichbarer Größenordnung auftreten.

#### *Auflösung Wegaufnehmer incl.*

##### *Auswerteeinheit*

Die Auflösung des *Wegaufnehmers* geht über die auflösungsbedingte relative Messunsicherheit  $a$  in die Messunsicherheit ein. Sie ist der messtechnisch kleinste Messschritt und darf nicht verwechselt werden mit dem Ziffernschritt (Digit) der Anzeige.

#### *Umkehrspanne*

Bei Tellerfedern ist die *Umkehrspanne* besonders ausgeprägt. Aus diesem Grunde muss bei der Definition einer Tellerfeder und bei der Abnahme der Messunsicherheit einer Prüfmaschine unterschieden werden zwischen der belastenden und der entlastenden Prüfung.

Bei Tellerfederprüfmaschinen ist der zwangsläufig vorhandene Effekt der Umkehrspanne  $s$  nicht erwünscht, weshalb sie als Fehler betrachtet wird.

#### *Nullpunktabweichung*

Das Wegmeßsystem wird vor jedem Kalibrierlauf unter Last auf eine definierte unbelastete Höhe gefahren (z. B. Endmaß) und dort die Anzeige „auf Sollwert gesetzt“. Nach Abschluss jedes Kalibrierlaufes muss das Wegmeßsystem auf diese Referenzhöhe gefahren werden. Die Abweichung vom Sollwert ist die „Nullpunktabweichung“ und geht als zufällige Komponente  $f$  in die Federhöhe-Messunsicherheit ein.

#### *Druckplatten*

Sowohl die Druckplatten und Prüfwerkzeuge, als auch ihr „Unterbau“ können sich zwischen Krafterleitung, Kraftausleitung und Wegmessort unter Belastung verformen. Außerdem beeinflussen ihre Parallelität und Ebenheit die Gleichmäßigkeit der Federverformung und können zu außerordentlichen Kräften und zur Verfälschung der Kennlinie führen.

#### *Prüfgeschwindigkeitsabhängige Fehler*

Folgende prüfgeschwindigkeitsabhängige Fehler (Nachlaufterfehler) bei der dynamischen Prüfung sind denkbar und müssen im Rahmen der Abnahme einer Prüfmaschine erfasst werden:

1. Bei inkrementalen Wegmeßsystemen kann es vorkommen, dass bei hohen Verfahrgeschwindigkeiten Signale „verloren“ gehen, bzw. die Elektronik sich

- „verzählt“. Dies führt dann zu zufälligen Wegmessfehlern und kann nur über die Streuung  $b$  erfasst werden.
- Bei hohen Geschwindigkeiten kommt es zu einer Zeitverschiebung zwischen Kraftsignal und Wegsignal.
  - Tellerfedern weisen in Ihrer Kennlinie zum Teil stark gekrümmte, nicht lineare Abschnitte auf. Je höher die Prüfgeschwindigkeit bei definierter Erfassungsrate ist, desto weniger Messpunkte erfasst das Auswertesystem. Führt der Auswerterechner zwischen den Messpunkten einer gekrümmten Kurve eine lineare Interpolation durch, entsteht ein weiterer geschwindigkeitsabhängiger Fehler.

## Ermittlung der Messunsicherheit

### Kraftmessunsicherheit

Die Kraftmessunsicherheit wird ermittelt in Anlehnung an DIN EN ISO 7500-1. Abweichend werden bei der Bestimmung der Streuung  $b$  jeweils 10 Belastungs- und 10 Entlastungsreihen aufgenommen und die einzelnen Komponenten zu einer Kraftmessunsicherheit zusammengerechnet. Näheres siehe *Definitionen, Allgemein*.

Erfolgt die Kraftmessung mit einer zentralen Messdose, so muss der Fehler infolge exzentrischer Krafteinleitung mit erfasst werden (DIN EN ISO 7500-1 Bbl 2, 2.2).

### HÄUSSERMANN empfiehlt folgende maximale Grenzwerte:

Ebenheitsabweichung (DIN EN ISO 7500-1 Bbl 1 Tabelle 1)	$E \leq 0,01$ mm über 500 mm
Parallelität bei zentrischer Belastung unabhängig vom Plattenabstand (DIN EN ISO 7500-2 Bbl 2 Tabelle 1)	$Pbz \leq 0,04$ mm über 450 mm
Parallelität bei Belastung mit 12 % der Nennlast 150 mm außermittig	$Pba \leq 0,2$ mm über 450 mm

Es ist drauf zu achten, daß die Grenzwerte vor der Ermittlung der Messunsicherheit eingehalten werden.

### Federhöhenmeßunsicherheit

#### Druckplattenebenheit

Prüfung mit Haarlineal und  $\mu$ -Folie über die gesamten Druckplattenoberflächen

#### Parallelität bei zentrischer Belastung

Messbedingung:

Belastung der Druckplatten nach DIN EN ISO 7500-1 Bbl 1, 2.1.2.1 Prüfung durch Verfahren zwischen den Druckplatten mit einem Messtaster der Genauigkeit  $< + 0,003$  mm auf einem Stativ.

#### Parallelität bei exzentrischer Belastung

Messbedingung:

Belastung der Druckplatten mit demselben Druckkörper nach DIN EN ISO 7500-1 Bbl 1, 2.1.2.1 150 mm außerhalb der Mitte mit einer Last von 12% der Nennlast. Prüfung der Parallelität wie bei zentrischer Belastung.

#### Anzeigefehler $q$ bei zentrischer Belastung

Bei der beschriebenen Bestimmung des Anzeigefehlers  $q$  werden folgende Fehlerquellen erfasst:

- *Steifigkeit der Prüfmaschine* bzw. Wirksamkeit der Kompensation
- *Genauigkeit Wegmeßsensor* incl. Auswerteeinheit
- *Linearität der Übertragungsglieder*

Messbedingung:

Zentrische Belastung durch eine (nahezu) reibungsfreie Feder, z.B. einen Kraftmessbügel (der nicht kalibriert zu sein braucht). Möglichst nahe neben dem Messbügel ist ein DKD-kalibrierter Messtaster angeordnet. Die absolute Höhe des kalibrierten Messtasters wird mit Hilfe von Endmaßen festgestellt. Der Belastungsbereich des Messbügels sollte der Belastbarkeit der Prüfmaschine entsprechen. Während des Versuches sollte der Messbügel um einen Federweg von  $> 1,00$  mm verformt werden.

Vorteile:

- Minimierung der Auflagereibung gegenüber einer Tellerfeder
- hohe Federrate
- Bauhöhe, bei der ein Messtaster zwischen die Druckplatten passt

Die größte Abweichung zwischen kalibriertem Messtaster und Maschinenanzeige ist  $q$ .

#### Spannweite $b$

Der oben beschriebene Versuch wird 10 mal wiederholt. Die größte Differenz zwischen den jeweils gleichen Belastungen ist die Spannweite  $b$ .

#### Auflösung $a$

Die messtechnische *Auflösung* kann entweder durch kleinste Bewegungen der Traverse ermittelt oder den Herstellerangaben entnommen werden.

#### Umkehrspanne $s$

Beim Versuchsablauf wie oben beschrieben wird jeweils be- und entlastend gefahren. Die größte gemessene Differenz zwischen Be- und Entlastung ist die Umkehrspanne  $s$ .

#### Nullpunktabweichung $f$

Wird zwischen den 10 Messreihen jeweils auf einen definierten unbelasteten Wert zurückgefahren und zeigt die Messeinrichtung dann Abweichungen, ist eine *Nullpunktabweichung* zu berücksichtigen.

#### Prüfgeschwindigkeitsabhängiger Fehler

Messbedingung:

Prüfung der unten genannten Prüflinge statisch und dynamisch bei verschiedenen Prüfgeschwindigkeiten.

Die Prüfergebnisse sollten keine Abhängigkeit von der Prüfgeschwindigkeit ausweisen.

#### Zulässige Messunsicherheit

Die zulässige Messunsicherheit von Tellerfederprüfmaschinen hängt vom Federweg und von der Federhöhe, von der Steifigkeit, der Maximalkraft und der geforderten Toleranz der darauf zu messenden Tellerfedern ab.

Bei einem fähigen Prüfmittel sollte die Messunsicherheit mindestens um das 10fache besser sein als die Toleranz der Feder bzw. der kleinste Messwert.

$$u < 0,2 * \text{kleinster Messwert und} \\ u < 0,2 * \text{Toleranz}$$

Damit ist die erforderliche Zeichnungstoleranz im Beispiel (s. unter Definitionen, Gesamt-Messunsicherheit).

$$\text{Tol(soll)} = 10 * u(\text{Gesamt}) = \pm 2463 \text{ N} \\ \text{Tol(ist)} = \pm 3250 \text{ N, d. h. die spezifizierte Toleranz ist ausreichend.}$$

#### Krafttoleranz

Bei der Auslegung von Tellerfedern werden in der Regel definierte Federhöhen festgelegt, bei denen gewisse Krafttoleranzen einzuhalten sind. Diese Kraft kann sowohl in belastender wie auch in entlastender Prüfrichtung definiert sein.

Bei Tellerfedern, deren Federcharakteristik ein ausgeprägtes Kraftmaximum und Kraftminimum ausweist, kann dieses Maximum und/oder Minimum belastend und/oder entlastend oder als Mittelwert toleriert sein. Diese Angaben sind dann unabhängig von der Federhöhe.

Da sowohl die Tellerfederprüfung bei Häussermann als auch beim Kunden einer Messunsicherheit unterliegt, muss bei der Kraftprüfung von Tellerfedern die

Prüfling	Vorteil
Kraftmeßbügel	– hohe Kraftanstiegsgeschwindigkeit – hohe Nennkraft – geringe Reibung
Schraubenfeder	– hohe Prüfgeschwindigkeit bei geringer Federrate – geringe Reibung
Tellerfeder	– ausgeprägtes Kraftmaximum und -minimum (=nicht lineare Kennlinie)

Zeichnungstoleranz an beiden Toleranzgrenzen jeweils um  $u(\text{Gesamt})$  eingengt werden, um sicherzustellen, dass der „wahre“ Wert in jedem Fall innerhalb der Toleranzgrenzen liegt.

**Zulässige Gesamt-Messunsicherheit  $u(\text{Gesamt})$**

Die zulässige Gesamt-Messunsicherheit  $T$  der Federprüfmaschine beträgt bei den Toleranzgrenzen  $o\text{Tol}$  = obere Toleranzgrenze und  $u\text{Tol}$  = untere Toleranzgrenze

$$T = \pm(0,2 * \frac{o\text{Tol}-u\text{Tol}}{2})$$

Beispiel:

Bei der Federhöhe  $L = 8.8 \text{ mm}$  soll eine Feder bei Entlastung eine Kraft zwischen  $12\,345 \text{ N}$  und  $14\,845 \text{ N}$  aufweisen.

$$T = \pm(0,2 * \frac{14845-12345}{2}) = \pm 250 \text{ N}$$

Die bei der Abnahme ermittelte Gesamt - Meßunsicherheit  $u(\text{Ges})$  der Prüfmaschine muss sein:  $u(\text{Ges}) < T$

Im weiter oben genannten Beispiel ist

$$T = 0,2 * 3250 = \pm 650 \text{ N, und}$$

$$u(\text{Ges}) = \pm 246,3 \text{ N} < \pm 650 \text{ N}$$

D. h., die Prüfmaschine ist fähig, diese Feder zu messen!

**Einteilung der Prüfmaschinen nach Genauigkeitsklassen:**

Die untenstehende Tabelle zeigt die Klasseneinteilung aus DIN EN ISO 7500-1 Tabelle 2 bzgl. der Messunsicherheit der Kraftmessung. Dadurch wird ein Vergleich möglich mit anderen Prüfmaschinen, die nach DIN abgenommen sind.

Klasse	Anzeige- fehler $q$	Spann- weite $b$	Auflösung $a$	Umkehr- spanne $s$	Nullpunkt- abw. $f$	Meßunsicher- heit $u$
0,5	$\pm 0,5$	0,5	0,25	$\pm 0,75$	$\pm 0,05$	$\pm 0,94$
1,0	$\pm 1,0$	1,0	0,50	$\pm 1,5$	$\pm 0,1$	$\pm 1,89$

Alle Angaben in %.

Die untenstehende Tabelle zeigt die Klasseneinteilung in Anlehnung an DIN EN 1002-4 bzgl. der Messunsicherheit der Federhöhenmessung. Dadurch wird ein Vergleich möglich mit anderen Prüfmaschinen, die nach DIN abgenommen sind.

Klasse	Anzeige- fehler $q$	Spann- weite $b$	Auflösung $a$	Umkehr- spanne $s$	Nullpunkt- abw. $f$	Meßunsicher- heit $u$
0,2	0,2	0,2	0,1	$\pm 0,3$	$\pm 0,02$	$\pm 0,38$
0,5	0,5	0,5	0,25	$\pm 0,75$	$\pm 0,05$	$\pm 0,94$
1,0	$\pm 1,0$	1,0	0,50	$\pm 1,5$	$\pm 0,1$	$\pm 1,89$
2,0	$\pm 2,0$	2,0	1,00	$\pm 3,0$	$\pm 0,2$	$\pm 3,78$

Alle Angaben in %.