

Der Häussermann Ringversuch

Wie findet man die „wahre“ Kraft?

Zweck

Das teilnehmende Prüflabor erkennt

1. an der Abweichung seines Messergebnisses vom „wahren“ Wert den systematischen Fehler seiner Prüfmaschine und kann eine entsprechende Korrektur vornehmen.
2. an der Streuung seiner Einzelergebnisse (= zufälliger Fehler) im Vergleich mit den „guten“ Prüfmaschinen, ob seine Maschine für die Tellerfeder-Prüfung geeignet ist.

Prüfbedingungen

- Alle Federn bis auf die 2.0045.0003 wurden zwischen ebenen, geschliffenen und durchgehärteten (60 HRC) Druckplatten geprüft. Nur bei Maschine 3 wurden weiche und teilweise verschlissene Druckplatten verwendet.

Prüflinge

Als Prüflinge waren bisher folgende Federn im Einsatz:

HL-Nummer	Prüfhöhe	Umkehrpunkt	Federrate (kn/mm)	Federkraftbereich (N)	Abmessungen de*Di*t (mm)
2.0016.0085	5,830	4,17	7,400	10000	149/101,5/3,42
2.0026.0024	7,250	5,4	8,200	15000	254/213/4,57
2.0040.0032	8,800 0,900	6,5	1,3/0,2	40000	399,9/314,5/6,4
2.0040.0033	7,940	7,82	6,200	13000	399,9/298/7,32
2.0045.0003	6,490 4,030	0,98	0,400	25000	399,9/309,9/5,65
Messbügel	185,5 185,4				---
	185,0 184,6	184,4	45	72000	

- Feder Nr. 2.0045.0003 wurde im Prüfwerkzeug mit gehärteten Ringeinlagen gemessen.
- Vor jeder Messung wurden die Federn zur Verringerung der Reibung an den Kontaktpunkten reichlich eingölt. Bei Maschine 10 wurde nicht Öl, sondern Molykote zur Schmierung verwendet.
- Jeder Messpunkt wurde bei Belastung (vorwärts) und bei Entlastung (rückwärts) geprüft und ausgewertet.
- Jede Feder wurde zur Ermittlung der Wiederholgenauigkeit 10 mal gemessen und zwischen den Messungen leicht verdreht.
- Jeder Messwert wurde protokolliert.
- Bei dynamischen Prüfungen war die Prüfgeschwindigkeit < 2 mm/s. Um den Anteil der zufälligen Streuungen an der Messunsicherheit möglichst gering zu

halten, sollen diese Prüfbedingungen exakt eingehalten werden.

Theoretische Grundlagen

Messunsicherheit

Die Messunsicherheit U setzt sich zusammen aus der systematischen Komponente U_s und der zufälligen Komponente U_z . Die beiden Komponenten werden mit Hilfe der quadratischen Addition zur gesamten Messunsicherheit zusammengefaßt.

$$U = \sqrt{U_s^2 + U_z^2}$$

Die systematische Komponente der Messunsicherheit U_s

Enthält alle Einflüsse, die wegen physikalischer oder konstruktiver Ursachen reproduzierbar und unter eindeutigen Bedingungen immer vorhanden und konstant sind.

Die systematischen Einflüsse der Messunsicherheit von Messgeräten können durch Vergleich mit geeichten, „genaueren“ Messgeräten erfaßt werden. Sie sollten möglichst vollständig bei der Maschinenabnahme, bei einer regelmäßigen Überprüfung und vor allem auch durch diesen Ringversuch bestimmt werden. Systematische Messunsicherheiten lassen sich theoretisch durch Korrektur kompensieren, wenn die Bedingungen bekannt sind, unter denen sie reproduzierbar auftreten. Erfahrungsgemäß lassen aber viele konstruktionsbedingte Ursachen auch durch eine sorgfältige Kalibrierung

nicht beseitigen, so daß jede Maschine einen ihr eigenen Rest an systematischer Messunsicherheit zurückbehält.

$$U_{sb} = X_{qb} - X_{qob}$$

$$U_{se} = X_{qe} - X_{qoe}$$

U_{sb} / U_{se} = sys. Messunsicherheit bei Belastung (b) / Entlastung (e)

X_{qb} / X_{qe} = Mittelwert d. Messergebnisse einer Prüfm. bei Bel. (b) / Entl. (e)

X_{qob} / X_{qoe} = Mittelwert aus den Messergebnissen aller Prüfmaschinen bei Bel. (b) / Entl. (e)

Die zufällige Komponente der Messunsicherheit U_z

enthält diejenigen Einflüsse, die nur schwer vorhersehbar und beherrschbar sind. Sie sind nicht immer gleichbleibend und bewirken dadurch, daß ein Messergebnis nie zuverlässig exakt reproduzierbar ist.

Aufgrund dieser statistischen Tatsache wird in der Messtechnik die Standardabweichung s als Maß der Streuung immer mit angegeben. Daraus lassen sich dann „Vertrauensbereiche“ berechnen, innerhalb deren mit einer vorausgesetzten Wahrscheinlichkeit der „wahre Wert“ zu erwarten ist.

Der „Vertrauensbereich des arithmetischen Mittelwertes VB_{xq} “ berechnet sich zu:

$$VB_{xq} = Xq - \frac{t \times s}{\sqrt{n}} \leq \mu \leq Xq + \frac{t \times s}{\sqrt{n}}$$

Der „Streubereich des Einzelwertes SB“ berechnet sich zu:

$$SB = Xq - t \times s \leq Xq + t \times s$$

μ = wahrer Wert

n = Stichprobengröße

Xq = Mittelwert aus n Einzelmessungen

s = Standardabweichung in einer Stichprobe

t = Faktor der t-Verteilung, abhängig von der Anzahl der Einzelwerte n und dem Vertrauensniveau P

Der t-Faktor beträgt bei $P = 0,95$:

n	t
2	12,716
3	4,303
4	3,182
5	2,776
10	2,262
20	2,093
40	2,023

Solange nicht statistisch gesichert davon auszugehen ist, daß die Streuung der Einzelwerte bei Belastung, Entlastung, Umkehrspanne und Mittelwert gleich sind, wird die zufällige Messunsicherheit für jeden dieser Kennwerte getrennt berechnet.

Der „Vertrauensbereich der Standardabweichung VB_s “ berechnet sich zu:

$$s \times Kun \leq \delta \leq s \times Kob$$

δ = Standardabweichung der Grundgesamtheit

= „wahre“ Standardabweichung

Kun/Kob = konstante Faktoren, abhängig von der Anzahl der Einzelwerte n und dem Vertrauensniveau P .

„un“ steht für „untere Grenze“, „ob“ für „obere Grenze“;

Die K-Faktoren betragen bei $P = 0,95$:

n	Kun	Kob
2,000	0,446	31,910
3,000	0,521	6,280
4,000	0,566	3,730
5,000	0,599	2,870
10,000	0,688	1,830
20,000	0,760	1,460
40,000	0,819	1,280

Da aus 10 Einzelmessungen bei gleichen Prüfbedingungen (Federdurchmesser, Federsteifigkeit, Federhöhe) der systematische Fehler im statistischen Sinne nicht sicher berechenbar ist, wird bei der Berechnung der zufälligen Messunsicherheit zum Streubereich der Einzelwerte ein empirischer Faktor zugeschlagen.

$$U \approx \sqrt{(t \times s)^2 + (0,1 \times um)^2}$$

um = Umkehrspanne

$$= X_{qb} - X_{qe}$$

Güte einer Prüfmaschine

Wenn die systematischen Abweichungen einer Prüfmaschine beim Messergebnis korrigiert werden, so bestimmen die zufälligen Abweichungen die Güte der Tellerfederprüfung auf dieser Prüfmaschine.

Prozeßfähigkeit eines Prüfverfahrens

Ein Prüfverfahren ist „prozeßfähig“, wenn seine Messunsicherheit um mind. das 5fache kleiner ist, als die vorgegebene

Toleranz. Die Messunsicherheit kann allgemein durch die zufällige Messunsicherheit ersetzt werden, wenn die systematische Messunsicherheit korrigiert wurde.

$$T = 5 \times U_z$$

T = Toleranz

- = Obere Spezifikationsgrenze
- untere Spezifikationsgrenze

Versuchsergebnisse

Erläuterungen der Tabellen

- 1. Spalte: Maschinen-Nr. (Übersicht s. Tabelle)
 - 2. Spalte: Anzahl Einzelmessungen
 - 3. Spalte: Mittelwert Standardabweichung und 95%-Vertrauensbereich der Einzelmessungen
- Bei der Errechnung der Mittelwerte aus den Ergebnissen der einzelnen Prüfmaschinen (wahre Werte) wurden die Ausreißer nicht berücksichtigt. Die nicht berücksichtigten Maschinen sind mit „a“ gekennzeichnet. Als Ausreißer gilt jeweils der Wert, der außerhalb der $\pm 2 s$ -Grenze liegt, wobei die Streuung zwischen den Maschinen als Grundlage dient.

- Die Balkenhöhe im Diagramm „Gemessene Kräfte“ zeigt jeweils die Spanne (Hysterese) zwischen der Kraft belastend ($X_{qbel.}$) und der Kraft entlastend ($X_{qent.}$). Der Mittelwert aus Belastung und Entlastung ($X_{qmit.}$) ist in der Balkenmitte eingezeichnet. Der „wahre Wert“ ist dargestellt als Maschine „wW“.
- Das Diagramm „Gemessene Streubreiten“ zeigt die statistische, zufällige Messunsicherheit als 95%-Strebereich für Belastung und Entlastung. Die Balkenhöhe beträgt $SB = t \times s$ gemäß X_q

$$X_q \pm t \times s$$

Abweichende Prüfbedingungen:

- Maschine Nr. 10: Schmierung mit Molykote
- Maschine Nr. 11: Druckplatten phosphatiert

Beteiligte Prüfinstitute

Bis heute waren am Ringversuch 10 Prüfinstitute beteiligt. Davon verfügten jeweils zwei Prüfinstitute über zwei Prüfmaschinen (siehe Übersicht)

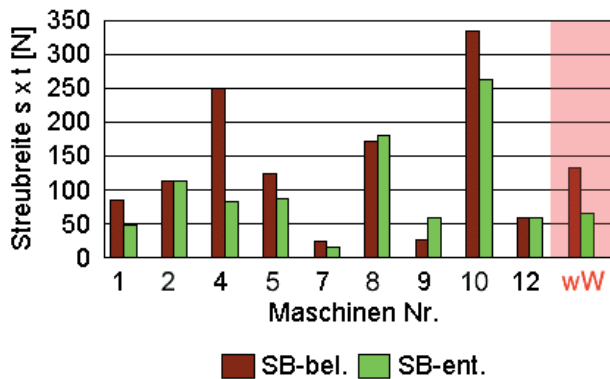
Die Prüfinstitute gliederten sich folgendermaßen auf:

Tellerfederhersteller:	3
Tellerfederverarbeiter:	2
staatliche Prüfstellen:	2
Prüfmaschinenhersteller:	2

Von den insgesamt 12 beteiligten Prüfmaschinen arbeiteten nach dem dynamischen Messprinzip: 1, 6, 7, 9, 11, 12
 statischen Messprinzip: 2, 3, 4, 5, 8, 10

Masch Nr.	Art des Instituts	Nennkraft (kN)	Messbereiche (kN)	Art der Anzeige		Messverfahren	Anzahl d. Messdosen	Auflösung		Höhenmesssystem
				Kraft	Weg			Kraft	Weg	
1	TF-Hersteller	20	20/5/1	digital	digital	dynamisch	3	1	0,010	dig. Taster
2	TF-Hersteller	400	400/200/80/40	analog	analog	statisch	Waage	10	0,020	
3	Kunde	1800	1800/350/35	analog	analog	statisch	Öldruck	450/45	0,010	Messuhr
4	Kunde	?	?	digital	digital	statisch	1	4	0,025	Messuhr
5	TF-Hersteller	20	20/0,4	analog	digital	statisch	Waage	20	0,010	dig. Messuhr
6	TF-Hersteller	60	60/3	digital	digital	dynamisch	3	1	0,005	Traversenweg, inkr.
7	TF-Hersteller	100	100	digital	digital	dynamisch	3	10	0,010	dig. Taster
8	Staatlich	200	200	digital	analog	statisch	1	10	0,010	Messuhr
9	Masch.Hersteller	20	20	digital	digital	dynamisch	3	1	0,001	Traversenweg, inkr.
10	Staatlich	1000	1000/500/200/100	analog	analog	statisch	1	200	0,020	Messuhr
11	Masch. Hersteller	50	50	digital	digital	dynamisch	3	1	0,001	Traversenweg, inkr.
12	TF-Hersteller	100	100/50/20/10/5/2/1	digital	digital	dynamisch	3	1	0,001	Traversenweg, inkr.

gemessene Streubreiten
Tellerfeder 2.0026.0024



Gemessene Kräfte
Tellefeder 2.0026.0024

