

Tellerfedern sind konisch geformte Unterlegscheiben, die so konzipiert sind, dass sie vorhersehbare und wiederholbare Ergebnisse liefern. Dieses Papier legt den Schwerpunkt auf den Einsatz von Tellerfedern und wie man die Ermüdungslebensdauer unter dynamischen Bedingungen abschätzen kann.

Bei der Diskussion über die Ermüdungslebensdauer ist es wichtig, die Unterschiede zwischen Tellerfedern und konischen Federscheiben zu kennen.

Tellerfedern unterscheiden sich von konischen Federscheiben durch ihre Konstruktion und den Verwendungszweck. Konische Federscheiben sind so konzipiert, dass sie eine statische Schubkraft in Schraubverbindungen erzeugen und sollten nicht in Anwendungen eingesetzt werden, die eine Materialermüdung verursachen. Konische Federscheiben sind spezifiziert nach DIN 6796.

Tellerfedern können sowohl statisch als auch dynamisch belastet werden und sind in der DIN EN 16983 (früher DIN 2093) spezifiziert. Normalerweise haben Tellerfedern einen dünneren Querschnitt als konische Federscheiben. Eine gewisse Größenabweichung ist zulässig, jedoch gelten die Berechnungen nur für Federstähle und wenn das Verhältnis von Außendurchmesser zu Dicke zwischen 16 und 40 und das Verhältnis von Außendurchmesser zu Innendurchmesser zwischen 1,8 und 2,5 liegt.

Die Durchbiegung einer Tellerfeder bei einer gegebenen Last ist vorhersagbar und ermöglicht es, Kraft- und Spannungsniveaus in der Tellerfeder zu berechnen. Wenn sich die Tellerfeder biegt, ändern sich die Spannungswerte in der Tellerfeder; je größer die Änderung, desto schneller wird die Tellerfeder ermüden.

Die Zugspannung an den Punkten II und III in Abbildung 1 sind entscheidend für die Bestimmung der Ermüdungslebensdauer. An diesen Positionen entstehen Ermüdungsrisse. Die Abschätzung der Ermüdungslebensdauer erfordert die Bewertung der maximalen Spannungsdifferenz zwischen Vorspannung und Endbelastung an den Positionen II und III. Die Position mit der größten Spannungsdifferenz wird zur Abschätzung der Ermüdungslebensdauer verwendet. Nach der Festlegung der zu verwendenden Spannungswerte (aus Position II oder III) können die Diagramme nach DIN EN 16983 zur Abschätzung der Ermüdungslebensdauer der Tellerfeder herangezogen werden.

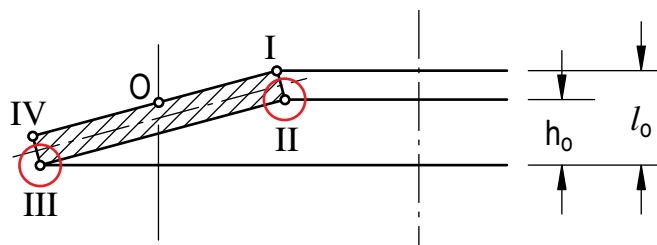


Abbildung 1: Kritische Spannungspunkte innerhalb einer Tellerfeder

Die Spannungswerte finden Sie im Produktkatalog Tellerfeder, DIN EN 16983 oder sie werden nach den Formeln der DIN EN 16984 berechnet. Die Diagramme der Ermüdungslebensdauer werden in drei verschiedenen Dickenbereichen dargestellt: < 1,25mm; zwischen 1,25mm und 6mm und zwischen 6mm und 14mm.

In den folgenden Beispielen wird die Auslegung der Diagramme für die Lebensdauerermüdung erläutert.



Beispiel 1:

Schätzen Sie die Ermüdungslebensdauer einer Tellerfeder nach DIN EN 16983 Reihe B Gruppe 2, DSC 50 x 25,4 x 2 mit einer Vorspannung von 15% ihrer Anfangshöhe und einer Endposition bei 75% ihrer Anfangshöhe.

DIN Reihe	Abmessungen						Auslegungskraft, Durchbiegung und Spannungen basierend auf $E = 206 \text{ kN/mm}^2$ und $\mu = 0,3$												
							Vorspannung, $s = 0,15 h_0$					$s = 0,75 h_0$					$s = h_0$		
	D_e	D_i	t	l_0	h_0	h_0/t	s	l_t	F	σ_{II}	σ_{III}	s	l_t	F	σ_{II}	σ_{III}	s	F	σ_{OM}
C	50,0	25,4	1,25	2,85	1,60	1,28	0,24	2,61	565	-11	254	1,20	1,65	1.550	312	1.035	1,60	1.646	-1.006
	50,0	25,4	1,50	3,10	1,60	1,07	0,24	2,86	808	32	276	1,20	1,90	2.512	528	1.145	1,60	2.844	-1.207
B	50,0	25,4	2,00	3,40	1,40	0,70	0,21	3,19	1.226	128	264	1,05	2,35	4.762	923	1.140	1,40	5.898	-1.408
	50,0	25,4	2,25	3,75	1,50	0,67	0,23	3,53	1.821	165	312	1,13	2,63	7.217	1.147	1.353	1,50	8.997	-1.697
	50,0	25,4	2,50	3,90	1,40	0,56	0,21	3,69	2.154	204	302	1,05	2,85	9.063	1.301	1.332	1,40	11.519	-1.760
A	50,0	25,4	3,00	4,10	1,10	0,37	0,17	3,94	2.594	249	249	0,83	3,27	11.976	1.418	1.135	1,10	15.640	-1.659

Abbildung 2: Auszug aus dem Spezifikationsdiagramm im Tellerfederkatalog von SPIROL

Gemäß dem Spezifikationsdiagramm (dargestellt in Abbildung 2) beträgt die Spannung II (σ_{II}) bei 15% 128 N/mm² und die Spannung III (σ_{III}) 264 N/mm². Die Spannung II (σ_{II}) bei 75% ist 923 N/mm² und die Spannung III (σ_{III}) ist 1.140 N/mm². Berechnen Sie nun die Unterschiede zwischen den Spannungen an jeder Position.

$$923 \text{ N/mm}^2 - 128 \text{ N/mm}^2 = 795 \text{ N/mm}^2$$

Spannung II bei 75% Spannung II bei 15%

$$1.140 \text{ N/mm}^2 - 264 \text{ N/mm}^2 = 876 \text{ N/mm}^2$$

Spannung III bei 75% Spannung III bei 15%

Wie in der obigen Berechnung gesehen, tritt die maximale Spannungsdifferenz an Position III auf, daher werden wir die Spannungswerte aus Position III und die Diagramme der Ermüdungslebensdauer verwenden, um die Ermüdungslebensdauer der Tellerfeder zu schätzen.

Der Schnittpunkt einer vertikalen Linie, die auf der X-Achse gezeichnet ist, die die minimale Spannung an Position III darstellt, und einer horizontalen Linie, die auf der Y-Achse gezeichnet ist und die die maximale Spannung an Position III darstellt, ist die geschätzte Ermüdungslebensdauer. In diesem Beispiel und unter Verwendung von Abbildung 3 wird die Linie auf der X-Achse bei 264 N/mm² gezeichnet, und die Linie auf der Y-Achse bei 1.140 N/mm². Der Schnittpunkt liegt etwas oberhalb von der Linie "100.000 Zyklen", dargestellt durch $N = 10^5$ in Figur 3. Dies stellt eine geschätzte Ermüdungslebensdauer von etwas weniger als 100.000 Zyklen dar.

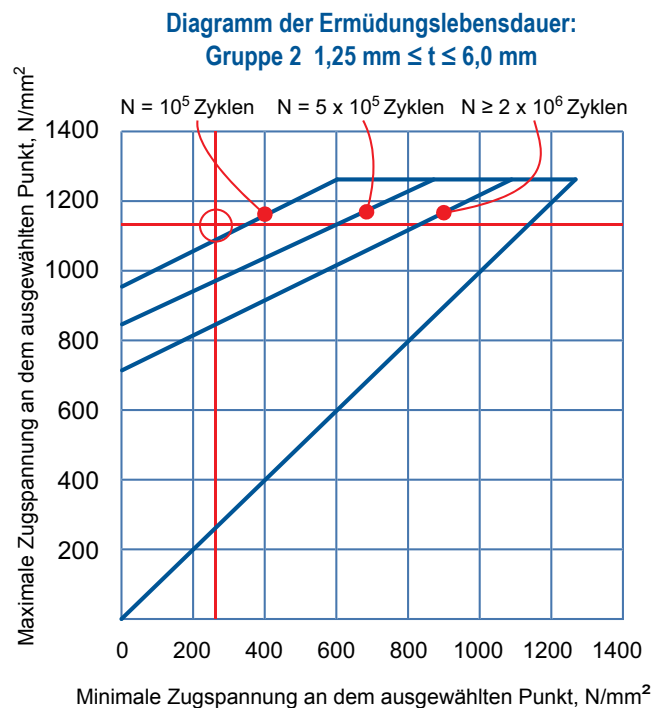


Abbildung 3: Geschätzte Ermüdungslebensdauer für die Tellerfeder DSC 50 x 25,4 x 2 in Beispiel 1

Beispiel 2:

Schätzen Sie die Ermüdungslebensdauer der gleichen Tellerfeder nach DIN EN 16983 Reihe B Gruppe 2, DSC 50 x 25,4 x 2 mit einer Vorspannung von 25% ihrer Anfangshöhe und einer Endposition bei 50% ihrer Anfangshöhe.

DIN Reihe	Abmessungen						Auslegungskraft, Durchbiegung und Spannungen basierend auf $E = 206 \text{ kN/mm}^2$ und $\mu = 0,3$												
							Vorspannung, $s = 0,15 h_0$					$s = 0,75 h_0$					$s = h_0$		
	D_e	D_i	t	l_0	h_0	h_0/t	s	l_t	F	σ_{II}	σ_{III}	s	l_t	F	σ_{II}	σ_{III}	s	F	σ_{OM}
C	50,0	25,4	1,25	2,85	1,60	1,28	0,40	2,45	854	2	410	0,80	2,05	1.328	106	755	1,60	1.646	-1.006
	50,0	25,4	1,50	3,10	1,60	1,07	0,40	2,70	1.242	74	447	0,80	2,30	2.028	250	828	1,60	2.844	-1.207
B	50,0	25,4	2,00	3,40	1,40	0,70	0,35	3,05	1.949	230	430	0,70	2,70	3.491	537	810	1,40	5.898	-1.408
	50,0	25,4	2,25	3,75	1,50	0,67	0,38	3,38	2.905	292	508	0,75	3,00	5.249	675	959	1,50	8.997	-1.697
	50,0	25,4	2,50	3,90	1,40	0,56	0,35	3,55	3.473	355	494	0,70	3,20	6.437	789	938	1,40	11.519	-1.760
A	50,0	25,4	3,00	4,10	1,10	0,37	0,28	3,83	4.255	424	409	0,55	3,55	8.214	897	787	1,10	15.640	-1.659

Abbildung 4: Auszug aus dem Spezifikationsdiagramm im Tellerfederkatalog von SPIROL

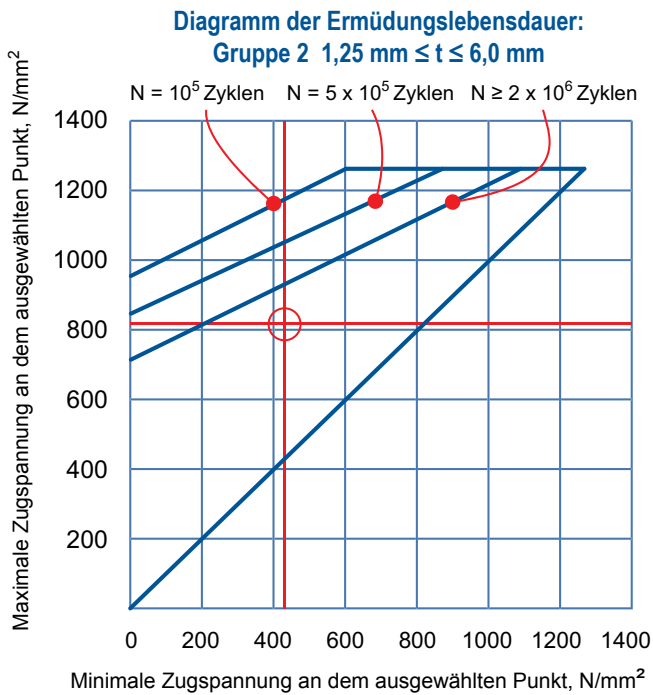


Abbildung 5: Geschätzte Ermüdungslebensdauer für die Tellerfeder DSC 50 x 25,4 x 2 in Beispiel 2

Die maximale Spannungsdifferenz tritt wieder an Position III auf. Unter Bezugnahme auf das Diagramm der Ermüdungslebensdauer in Figur 5 und bei der Aufzeichnung von 430 N/mm² auf der X-Achse und 810 N/mm² auf der Y-Achse liegt der Schnittpunkt der Linien etwas unter der 2-Millionen-Zykluslinie; daher beträgt die geschätzte Ermüdungslebensdauer über 2 Millionen Zyklen.

Diese Beispiele zeigen, wie eine Verringerung der Durchbiegung zu einer Erhöhung der Ermüdungslebensdauer führt.

Die Diagramme der Ermüdungslebensdauer basieren auf Labortests, die an einzelnen Tellerfedern bei Raumtemperatur durchgeführt wurden. Die Prüfung erfolgte mit einer Frequenz, die keine Erwärmung zur Folge hatte. Die Testscheiben waren gefettet und wurden auf einem polierten Amboss getestet; die tatsächliche Ermüdungslebensdauer lag wahrscheinlich über den in den Diagrammen geschätzten Werten. Diese Diagramme gelten für einzelne Scheiben und Stapel von maximal (10) Tellerfedern in Reihe geschichtet. Parallel geschichtete Tellerfedern haben eine reduzierte Ermüdungslebensdauer aufgrund von Wärmeentwicklung durch Reibung.

Zusammenfassung:

Die Durchbiegung der Tellerfeder bestimmt ihre Ermüdungslebensdauer. Die zunehmende Endbelastung erhöht die Spannung in der Tellerfeder, was zu einer geringeren Ermüdungslebensdauer führt. Eine zunehmende Vorspannung reduziert die Durchbiegung und führt zu einer erhöhten Ermüdungslebensdauer. Die in diesem Papier enthaltenen Leitlinien sind allgemeiner Natur. Die Prüfung unter realen Bedingungen ist notwendig, um die Schätzungen der Ermüdung zu überprüfen.



Europa SPIROL Deutschland

Ottostr. 4
80333 München, Deutschland
Tel. +49 (0) 89 4 111 905 -71
Fax. +49 (0) 89 4 111 905 -72

SPIROL Frankreich

Cité de l'Automobile ZAC Croix Blandin
18 Rue Léna Bernstein
51100 Reims, Frankreich
Tel. +33 (0)3 26 36 31 42
Fax. +33 (0)3 26 09 19 76

SPIROL Vereinigtes Königreich

17 Princewood Road
Corby, Northants NN17 4ET
Vereinigtes Königreich
Tel. +44 (0) 1536 444800
Fax. +44 (0) 1536 203415

SPIROL Spanien

08940 Cornellà de Llobregat
Barcelona, Spanien
Tel. +34 93 669 31 78
Fax. +34 93 193 25 43

SPIROL Tschechische Republik

Sokola Tůmy 743/16
Ostrava-Mariánské Hory 70900,
Tschechische Republik
Tel/Fax. +420 417 537 979

SPIROL Polen

ul. Solec 38 lok. 10
00-394, Warszawa, Polen
Tel. +48 510 039 345

Amerika SPIROL International Corporation

30 Rock Avenue
Danielson, Connecticut 06239 USA
Tel. +1 (1) 860 774 8571
Fax. +1 (1) 860 774 2048

SPIROL Shim Division

321 Remington Road
Stow, Ohio 44224 USA
Tel. +1 (1) 330 920 3655
Fax. +1 (1) 330 920 3659

SPIROL Kanada

3103 St. Etienne Boulevard
Windsor, Ontario N8W 5B1 Kanada
Tel. +1 (1) 519 974 3334
Fax. +1 (1) 519 974 6550

SPIROL Mexiko

Avenida Avante #250
Parque Industrial Avante Apodaca
Apodaca, N.L. 66607 Mexico
Tel. +52 (01) 81 8385 4390
Fax. +52 (01) 81 8385 4391

SPIROL Brasilien

Rua Mafalda Barnabé Soliane, 134
Comercial Vitória Martini, Distrito Industrial
CEP 13347-610, Indaiatuba, SP, Brasilien
Tel. +55 (0) 19 3936 2701
Fax. +55 (0) 19 3936 7121

Asien Pazifik

SPIROL Asien

1st Floor, Building 22, Plot D9, District D
No. 122 HeDan Road
Wai Gao Qiao Free Trade Zone
Shanghai, China 200131
Tel. +86 (0) 21 5046 1451
Fax. +86 (0) 21 5046 1540

SPIROL Südkorea

160-5 Seokchon-Dong
Songpa-gu, Seoul, 138-844, Südkorea
Tel. +86 (0) 21 5046-1451
Fax. +86 (0) 21 5046-1540