

SAP2000®

Verwendung der RINGFEDER® Reibungsfeder

Anleitung und Auslegungsbeispiel

DE 02.2024

www.ringfeder.com



RINGFEDER®

Erdbebenschutz

Ob als sog. Cross-Bracing zur Maximierung von Traglasten, als Basisisolierung zur Entkopplung vom Fundament oder für Scherwände: RINGFEDER® Reibungsfedern können in Gebäuden und anderen kritischen Infrastrukturen als hocheffektives, wartungs- und verschleißfreies Schutzsystem vor Erdbebenschäden eingesetzt werden. Dabei bieten sie im Vergleich zu bspw. Hydraulikdämpfern eine Vielzahl an überlegenen Vorteilen.

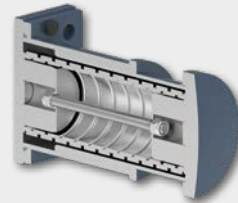
Vorteile von Dämpfern mit RINGFEDER® Reibungsfedern

- 1. Langlebigkeit** – Dämpfer mit Reibungsfedern sind so konstruiert, dass sie viele Zyklen durchlaufen können und wiederverwendbar sind. Wenn einer der Ringe in einer der Reibungsfedern innerhalb des Dämpfers bricht, verliert dieser ein Stück Federweg und die Steifigkeit wird leicht ansteigen, aber er funktioniert weiterhin.
- 2. Dämpfung** – Mit RINGFEDER® Standardfett F-S1 werden 2/3 der eingeleiteten Energie absorbiert. Wird weniger Dämpfung benötigt, kann eine maßgeschneiderte Lösung eingesetzt werden, die eine reduzierte Dämpfung von bis zu ca. 1/3 der eingebrachten Energie erzielt. Dies ist eine einfache Lösung, um die Eigenschaften der Dämpfer gezielt zu beeinflussen.
- 3. Feuer und hohe Temperaturen** – Reibungsfedern werden aus Spezial-Federstahl gefertigt und mit Fett geschmiert. Im Falle eines Brandes, werden Gummiprodukte und viskose Dämpfer zerstört, aber Reibungsfedern werden dem Feuer standhalten. Sie müssen danach lediglich neu gefettet werden und der Dämpfer kann weiter verwendet werden.
- 4. Selbstzentrierung** – Dank stets einsatzspezifischer Auslegung der Dämpfer mit Reibungsfedern wird für eine bestimmte Anwendung die jeweils optimale Rückstellkraft erzielt. Dies kann bspw. durch die Verwendung eines anderen Fettes, die Erhöhung des Außendurchmessers oder die Änderung des Kegelwinkels erfolgen.
- 5. Umweltverträglichkeit** – Dämpfer mit Reibungsfedern halten seismischen Ereignissen stand. Sie sind dafür ausgelegt, viele Belastungszyklen zu durchlaufen und dabei ihre vorteilhafte Funktions- und Wirkungsweise beizubehalten. Durch die Verwendung von Spezialfett, kann es nicht zu umweltgefährdenden Leckagen kommen. Reibungsfedern sind wartungsfrei.
- 6. Geschwindigkeit** – Reibungsfedern arbeiten Geschwindigkeitsunabhängig und reagieren im Gegensatz zu Hydraulikdämpfern auf sehr langsame bzw. schnelle Ereignisse in gleicher Weise.
- 7. Einbauraum** – Für einen konkreten Durchmesser stellen Reibungsfedern im Vergleich die größten Federkräfte bereit.

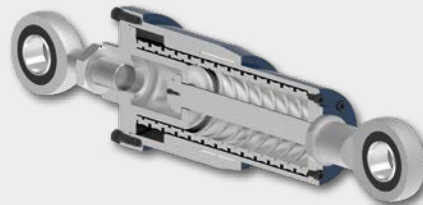
Industriedämpfer

Reibungsfedern als anwendungsspezifisch ausgelegte Dämpferausführungen (Beispiele)

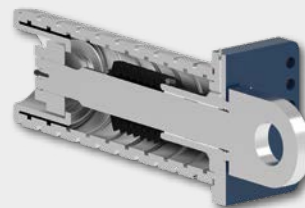
Puffer



Zug-Druck-Einrichtung



Zug-Einrichtung



Reibungsfedern

Vollständige Federsäulen bestehend aus präzise gefertigten Innen- und Außenringen

Auslegungsbeispiel mit SAP2000®

Seismische Auslegung von Gebäuden und Strukturen: Beispiel einer Vordimensionierung mit RINGFEDER® Reibungsfedern als Aussteifungselement im Cross-Bracing

Ziele der ausgeführten Vordimensionierung:

- Erdbebensicheres Bauen mit dem Schutzziel der Ausfallsicherheit
- Elastisches Tragwerksverhalten, keine Schäden
- Wirtschaftliche und Ressourcenschonende Auslegung: Höhere Dämpfung, kleinere Schnittgrößen - dadurch sparsame Bauweise.
- Berücksichtigung der Windlasten für die Betriebssicherheit der Reibungsfedern

Abschätzformeln:

$$\text{Effective Stiffness } \mathbf{ke} \approx \frac{\mathbf{F_{max}}}{\mathbf{ds}}$$

$$\text{Effective Damping } \mathbf{ce} \approx \frac{\xi \mathbf{ke} \mathbf{T}}{\pi}$$

mit $\xi = 17 \text{ bis } 33 \% [1]$
 $\mathbf{T}$ relevante
Eigenperiode

Berechnungsablauf:

1. Festlegung der Verformungskapazität/Zielverformung des Gebäudes
2. Ablesen der Eigenperiode aus dem Antwortspektrum mithilfe der Zielverformung
3. Iterative Ermittlung der effektiven Steifigkeit der Reibungsfedern im SAP2000® Modell
4. Ermittlung der Windlasten zur Bestimmung der notwendigen Vorspannung
5. Dimensionierung der Reibungsfedern
6. Antwortspektrenverfahren oder Zeitverlaufsrechnung

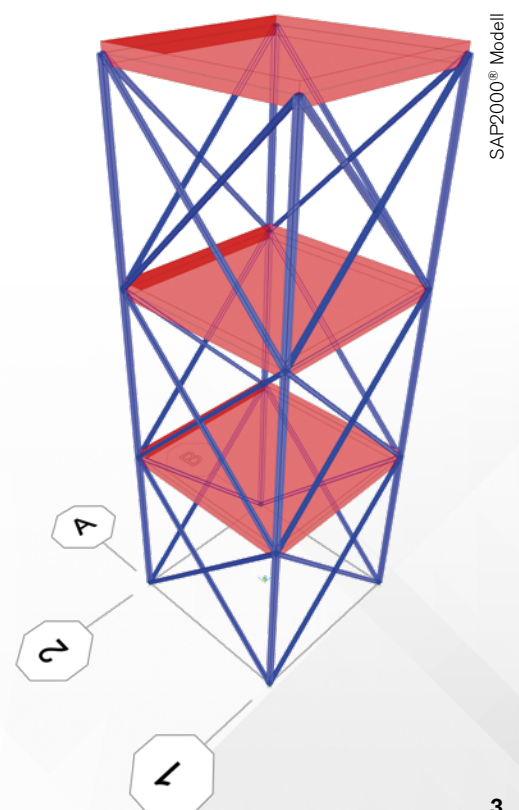
1. Festlegung der Verformungskapazität/Zielverformung des Gebäudes

Zur Dimensionierung ist zunächst die Verformungskapazität des Gebäudes für das Bemessungserdbeben festzulegen. Dies geschieht anhand der individuellen Anforderungen an das Gebäude.

Hier: Analog zur Schadensbegrenzung nach DIN EN 1998-1 (4.32)

$$d = \frac{0,005 \, h}{n} = \frac{0,005 \times 9 \, \text{m}}{0,5} = 0,09 \, \text{m}$$

Die horizontale Zielverformung infolge des Bemessungserdbebens soll am obersten Stockwerk des $h = 9 \, \text{m}$ hohen Gebäudes auf den Betrag von $d = 0,09 \, \text{m}$ begrenzt werden.



2. Ablesen der Eigenperiode aus dem Antwortspektrum mithilfe der Zielverformung

In diesem Schritt wird die erste Eigenperiode T_1 des mit Reibungsfedern ausgelegten Gebäudes ermittelt. Zur Berücksichtigung der Zielverschiebung im Antwortspektrum wird das System in einen äquivalenten Einmassenschwinger transformiert.

Hier: nach EC 1998-1 Anhang B

$$d_{EMS} = \frac{d}{1,57} = 0,057 \text{ m}$$

Hinweis: Für ein System mit konstanter Massen- und Steifigkeitsverteilung kann vereinfacht der Faktor 1,57 verwendet werden

Nun wird das S_d -Spektrum aus dem standortspezifischen S_a -Spektrum bestimmt:

$$S_d = S_a \left(\frac{T}{2\pi} \right)^2$$

Wenn der maßgebende Anteil der Aussteifung mit Reibungsfedern ausgestattet wird, dann sollte zusätzlich der positive Einfluss der Dämpfung in Ansatz gebracht werden. Der Wert der Dämpfung lässt sich mithilfe [1] bestimmen.

Hier: Die Dämpfung wird zu 17 % angenommen.

$$\xi = 17 \%$$

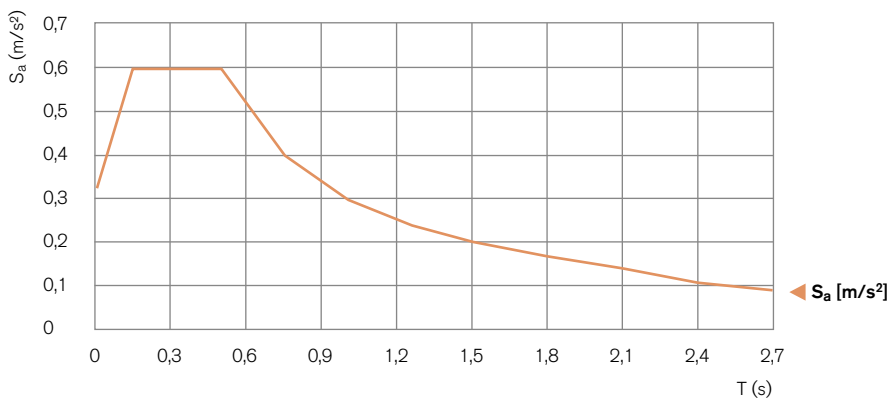
$$S_{d,red} = S_d \sqrt{\frac{10}{5 + \xi}}$$

Die Eigenperiode T_1 wird abgelesen, indem die Zielverformung d_{EMS} als Verschiebungsantwort $S_{d,red}$ angesetzt wird. Die Eigenperiode ergibt sich zu:

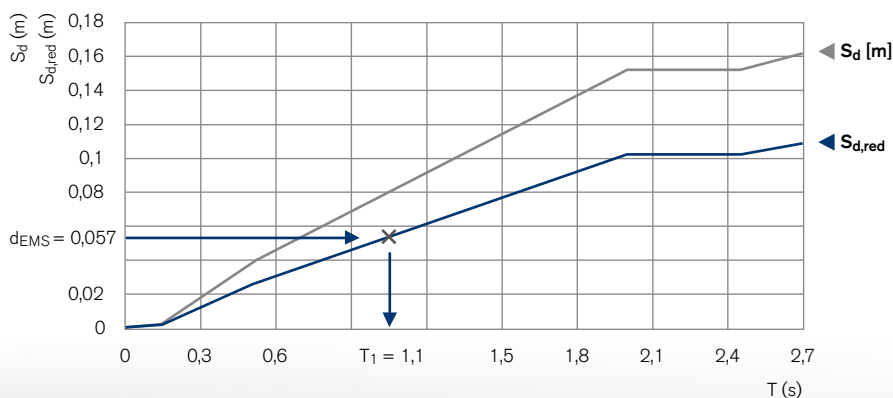
$$T_1 = 1,1 \text{ s}$$

[1] Helm, L.; Sadegh-Azar, H.; Jahnel, L.; Jandrey, H. (2022) Innovativer Einsatz von Ringfedern in der Erdbebenauslegung. Bautechnik 99, H. 1, S. 31–40. <https://doi.org/10.1002/bate.202100075>

Beschleunigung-Antwortspektrum



Verschiebung-Antwortspektrum



$$S_d = S_a \left(\frac{T}{2\pi} \right)^2$$

$$S_{d,red} = S_d \sqrt{\frac{10}{5 + \xi}}$$

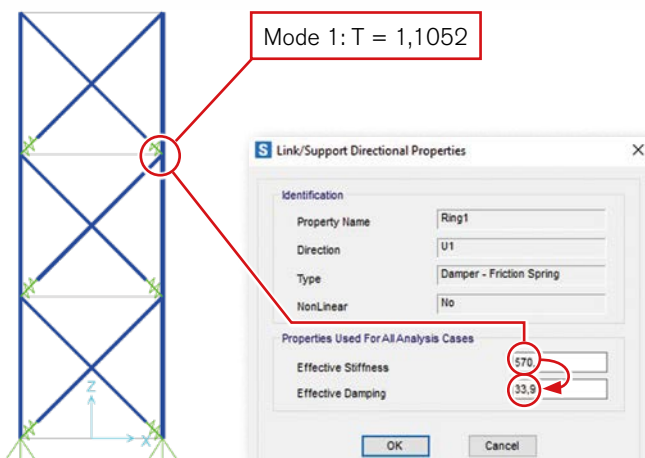
3. Iterative Ermittlung der effektiven Steifigkeit der Reibungsfedern im SAP2000® Modell

Im SAP2000® Modell werden die Reibungsfedern als „Link Element: Damper Friction Spring“ definiert. Die „Effective Stiffness“ ke wird solange angepasst, bis die erste Eigenperiode mit $T_1 = 1,1$ s übereinstimmt. In diesem Beispiel wurde aufgrund des symmetrischen Aufbaus die gleiche Steifigkeit in allen Ebenen gewählt.

$$ke = 570 \text{ kN/m}$$

Anschließend wird die effektive Dämpfung bestimmt:

$$ce = \frac{\xi ke T}{\pi} = \frac{0,17 \times 570 \times 1,1}{\pi} = 33,9 \text{ kNs/m}$$



Das SAP2000® Modell wird anschließend mit dem Antwortspektrenverfahren berechnet. Als seismische Einwirkung wird das elastische Antwortspektrum verwendet.

Die Schnittgröße in der maßgebenden Aussteifung stellt die mindestens erforderliche maximale Kraft der Reibungsfedern dar. Diese wird aus SAP2000® ausgelesen:

$$F_1 = 12,9 \text{ kN}$$

Außerdem wird die dazugehörige Verformung benötigt:

$$u_1 = 0,0226 \text{ m}$$

Die horizontale Verformung des obersten Stockwerks beträgt

$$d_{IST} = 0,0713 \text{ m} < 0,09 \text{ m} = d$$

Die in dem SAP2000® Modell berechnete Verformung d_{IST} ist kleiner als die horizontale Zielverformung d aus Schritt 1.

Hinweis: In diesem Beispiel wird zur besseren Übersicht keine Staffelfung der Reibungsfedern über die Höhe des Gebäudes vorgenommen.

4. Ermittlung der Windlasten zur Bestimmung der notwendigen Vorspannung

Ziel der Bemessung ist, dass die Reibungsfedern nicht übermäßig oft durch anliegende Windlasten aktiviert werden. Dies stellt die Lebensdauer der Reibungsfedern sicher. Daher wird die Vorspannung der Reibungsfedern nach den charakteristischen Windlasten mit einer geringen Wiederkehrperiode bestimmt.

Hier wird eine Wiederkehrperiode von zwei Jahren empfohlen (Umrechnung nach DIN EN 1991-1-4 (4.2)).

Die charakteristische Schnittgröße in der maßgebenden Aussteifung für die Bemessungswindlasten ist aus der Statik des Gebäudes bekannt:

$$F_W = 5,07 \text{ kN}$$

Umrechnung für eine Wiederkehrperiode von zwei Jahren:

$$C_{prob} = \left(\frac{1 - 0,2 \ln(-\ln(1-0,5))}{1 - 0,2 \ln(-\ln(0,98))} \right)^{0,5} = 0,776$$

Die Windlasten definieren die mindestens notwendige Vorspannung:

$$F_{W,prob} = F_W C_{prob} = 5,07 \text{ kN} \times 0,776 = 3,93 \text{ kN}$$

5. Dimensionierung der Reibungsfedern

Mithilfe der maximalen Kraft, dem Federweg und der Vorspannung wird eine passende Reibungsfeder ausgewählt.

Gewählte Reibungsfeder	03200; 40 Elemente; 30 % Vorspannung	
End Force $F_{max} > F_1$	14 kN	$F_1 = 12,9 \text{ kN}$
Preload Force $F_v > F_{W,prob}$	4,2 kN	$F_{W,prob} = 3,93 \text{ kN}$
Stroke $ds \approx u_1$	0,0224 m	$u_1 = 0,0226 \text{ m}$

Weichen die gewählten Eigenschaften von der Berechnung ab, dann sollte das Antwortspektrenverfahren erneut mit den korrigierten effektiven Steifigkeiten und Dämpfung berechnet werden.

6. Antwortspektrenverfahren oder Zeitverlaufsrechnung

Für komplexe bzw. unsymmetrische Systeme wird stets empfohlen nach der Vordimensionierung die genauere nichtlineare Zeitverlaufsrechnung durchzuführen. Aus den Reibungseigenschaften lässt sich die genaue Kraftverformungskurve für eine nichtlineare Berechnung in SAP2000® bestimmen.

Structural Modelling in SAP2000® & ETABS®

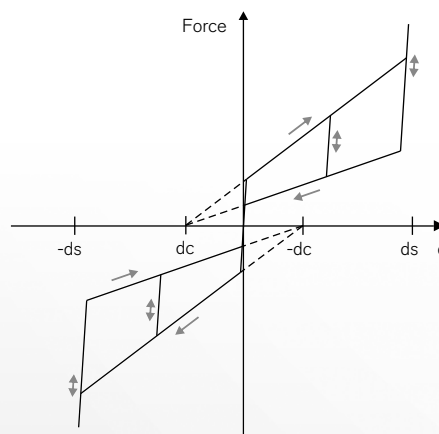
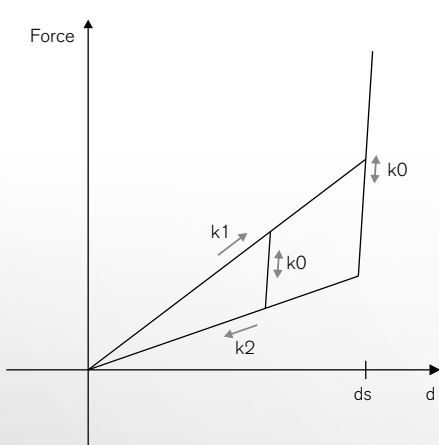
- Reibungsfedern sind integrativer Bestandteil von SAP2000® und ETABS®
- Einfache Auswahl als „Link Element: Damper Friction Spring“
- Die Hysterese wird in einer nichtlinearen Berechnung exakt berücksichtigt

Link/Support Property Data

Link/Support Directional Properties

- Alle sechs Freiheitsgrade können definiert werden, allerdings wird üblicherweise nur u_1 benötigt
- Druck, Zug oder beide Richtungen stehen zur Verfügung

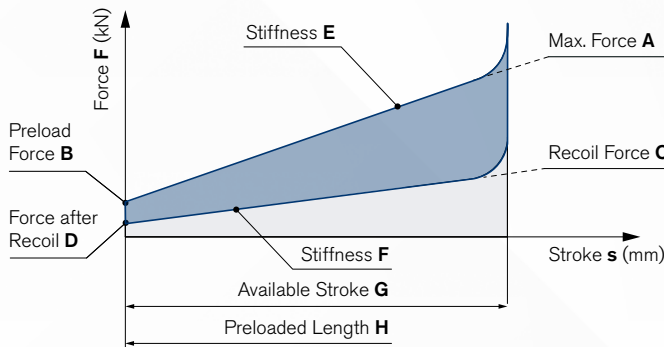
Eigenschaften für lineare Analysefälle *



* Für die Vereinfachung einer linearen Berechnung z.B. der Modalanalyse oder dem Antwortspektrenverfahren. Für komplexe Systeme wird empfohlen eine nichtlineare Berechnung durchzuführen.

Auslegungsparameter Reibungsfedern

Die Reibungsfedern lassen sich individuell zusammenstellen. Über den Typ wird die maximale Kraft gesteuert, über die Anzahl der Elemente der Federweg. Die hysteresedämpfung ($1 - \frac{k_2}{k_1}$) beträgt üblicherweise 66%, zudem muss die Vorspannung festgelegt werden.



Kraft-Weg Diagramm

Type →	Max. Force A , 5 - 1800 kN
Hysteretic Damping →	D , 66% is standard
Elements →	Stroke s_{tot}
Pretensioning →	P_{ret} , 10 - 50 %

Aus diesen Parametern wird die Eingabe für SAP2000®/ETABS® ermittelt:

Slipping stiffness (Loading) $k_1 = \frac{A}{s_{tot}}$

Slipping Stiffness (Unloading) $k_2 = k_1 (1-D)$

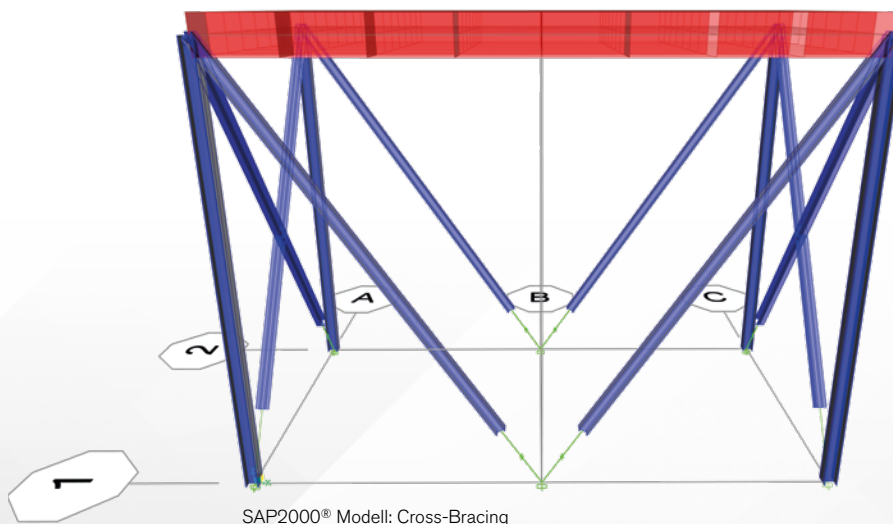
Precompression displacement $dc = s_{tot} P_{ret}$

Stop displacement $ds = s_{tot} - dc = s_{tot} (1 - P_{ret})$

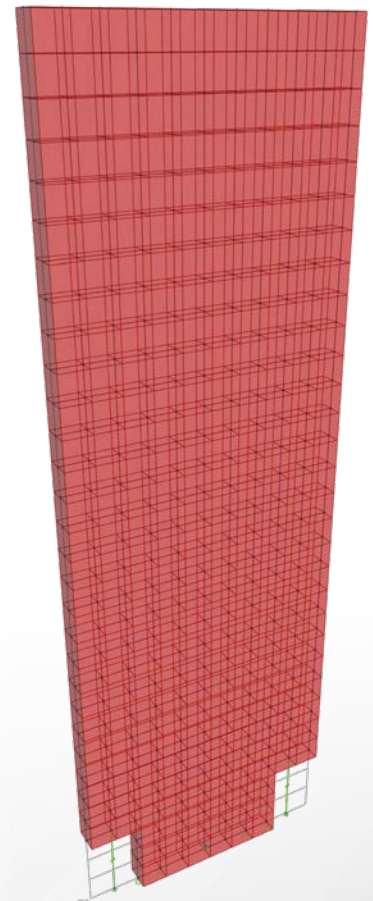
Initial (Nonslipping) Stiffness k_0

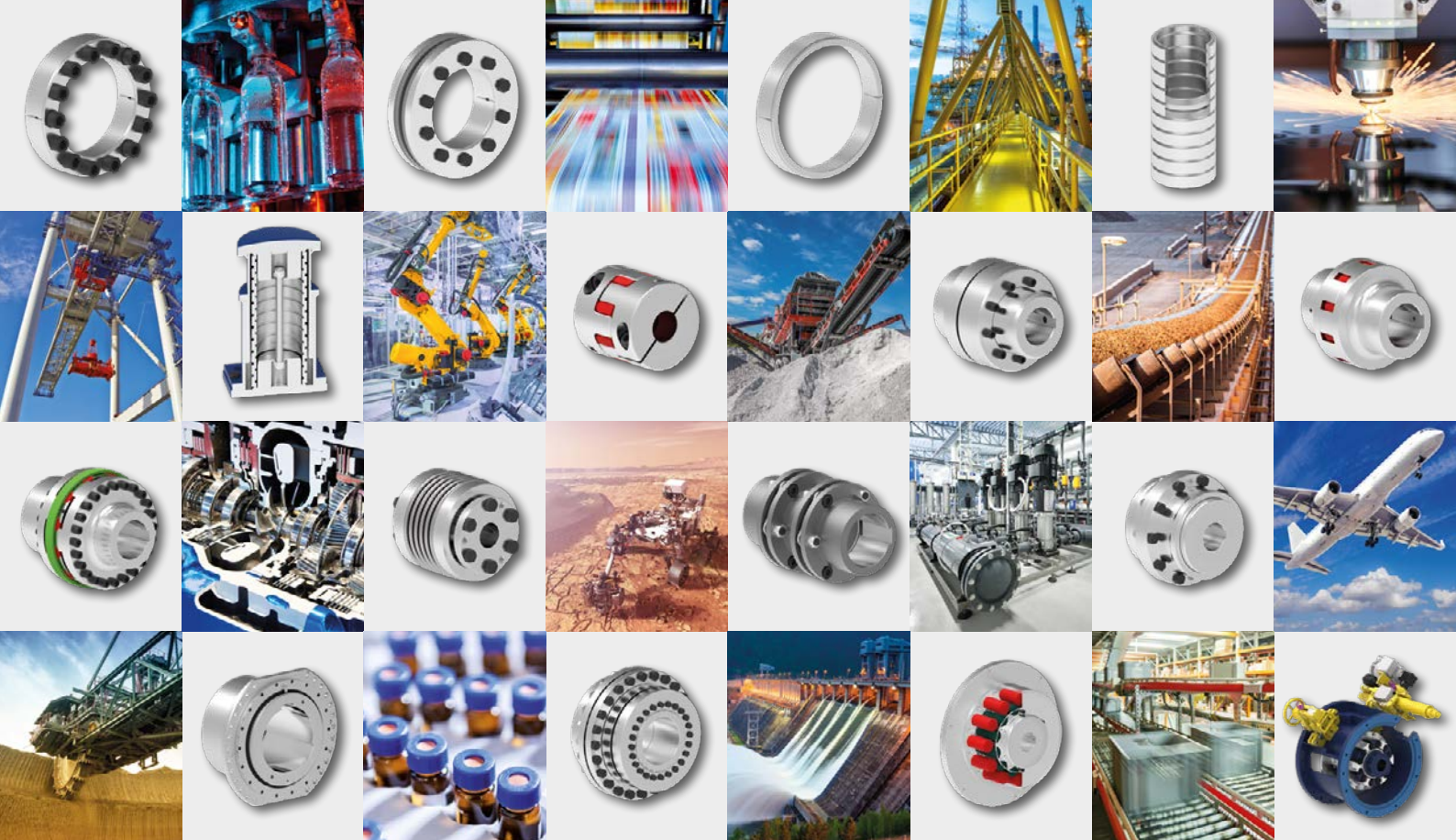
- Elastische Steifigkeit des Elements, bevor die Vorspannung überschritten und die Reibungsfeder aktiviert wird
- Ergibt sich z. B. aus dem Anschluss/Gehäuse
- Folgende Bedingung sollte erfüllt werden $k_0 \gg k_1 > k_2 > 0$
- Ist $k_0 \gg k_1$ erfüllt, dann besitzt dieser Parameter keinen großen Einfluss auf die Ergebnisse und es kann konservativ eine hohe Steifigkeit angenommen werden
- Ist $k_0 \gg k_1$ nicht erfüllt, muss eine genauere Betrachtung erfolgen

SAP2000® Modell: Scherwand



SAP2000® Modell: Cross-Bracing





RINGFEDER POWER TRANSMISSION GMBH

Werner-Heisenberg-Straße 18, 64823 Groß-Umstadt, Germany · Phone: +49 6078 9385-0 · Fax: +49 6078 9385-100
E-Mail: sales.international@ringfeder.com

RINGFEDER POWER TRANSMISSION SP. Z O. O.

Ul. Szyby Rycerskie 6, 41-909 Bytom, Poland · Phone: +48 32 301 53 00 · Fax: +48 32 722 44 44 · E-Mail: sales.poland@ringfeder.com

RINGFEDER POWER TRANSMISSION USA CORP.

291 Boston Turnpike, Bolton, CT 06043, USA · Toll Free: +1 888 746-4333 · Phone: +1 201 666-3320 · Fax: +1 860 646-2645
E-Mail: sales.usa@ringfeder.com

CARLYLE JOHNSON MACHINE COMPANY, LLC.

291 Boston Turnpike, Bolton, CT 06043, USA · Phone: +1 860 643-1531 · Fax: +1 860 646-2645 · E-Mail: info@cjmco.com

HENFEL INDÚSTRIA METALÚRGICA LTDA.

Av. Maj. Hilário Tavares Pinheiro 3447, Pq. Ind. Carlos Tonanni, CEP 14871-300, Jaboticabal, SP, Brazil · Phone: +55 (16) 3209-3422
E-Mail: vendas@henfel.com.br

RINGFEDER POWER TRANSMISSION INDIA PVT. LTD.

Falcon Heights, 4th Floor, Plot No. 30, Industrial Estate, Perungudi, Chennai, 600 096, India · Phone: +91 44 2679-1411
E-Mail: sales.india@ringfeder.com

KUNSHAN RINGFEDER POWER TRANSMISSION CO. LTD.

No. 406 Jiande Road, Zhangpu 215321, Kunshan, Jiangsu Province, China · Phone: +86 512 5745-3960 · Fax: +86 512 5745-3961
E-Mail: sales.china@ringfeder.com

Partner for Performance

www.ringfeder.com



RINGFEDER
POWER TRANSMISSION