

# Dämpfung des Lasttrums reduziert Summenfehler beim Ketteneingriff

SIEGFRIED EBERT, HARTMUT MEIER

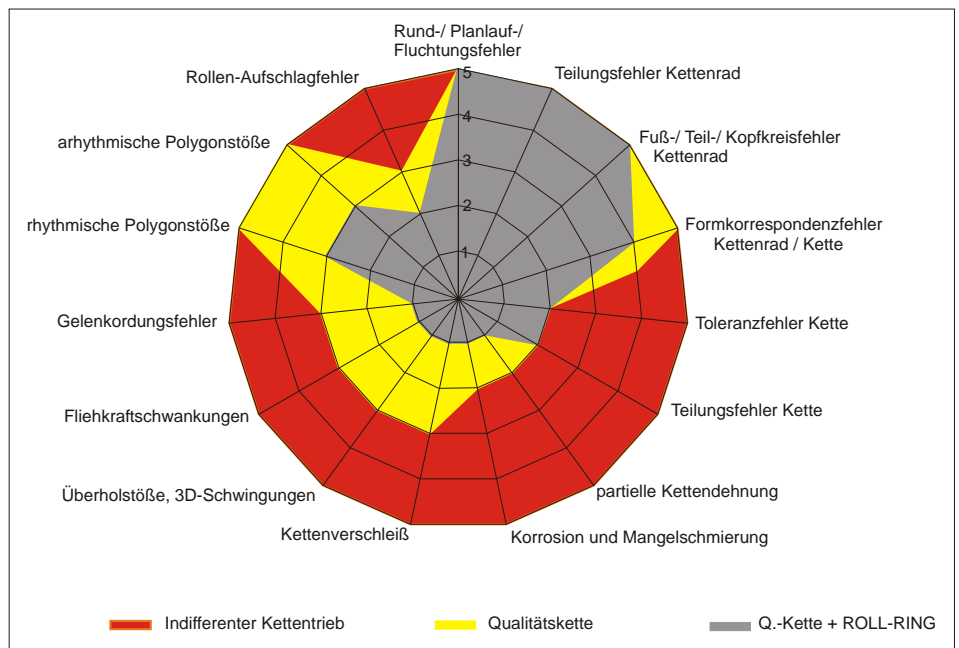
In der Ausgabe 8/1997 wurde ein neuartiger rotations-elastokinetischer Kettenspanner vorgestellt [1]. Bereits in diesem Beitrag wurde auf die komplexen Vorteile des neuen Maschinenelementes eingegangen. Inzwischen liegen weitere Erfahrungen vor und das neue Maschinenelement ist bereits über die gesamte Produktreihe in weiterentwickelter Version auf dem Markt. Diese Weiterentwicklungen sind das Resultat permanenter Tests beim Entwickler und der fortgesetzten Arbeit an der Aufdeckung und Ausschöpfung von Entwicklungsreserven des traditionellen Systems "Rollenkettentrieb" durch Erhöhung der Effektivität eines seiner Teilsysteme, Kettenspanner und Kettendämpfer.

## Höhere Funktionsintegration des neuen Maschinenelementes

Die erste Generation der Produktreihe "ROLL-RING"-Kettenspanner war ausschließlich auf das Spannen und Dämpfen des Leertrums gerichtet. Alle der dazu erforderlichen technischen Parameter funktionierten vollständig zuverlässig und direkt in das Obersystem "Kettentrieb". Zusätzlich wurden prinzipbedingte Vorteile, vor allem die direkte Rastmontage in den Kettentrieb und die Reversierfähigkeit, erstmals in das Kettenspann- und Dämpfungselement integriert.

Für eine weitere Erhöhung der Effektivität war deshalb das Ziel naheliegend, den Idealitätsgrad des neuen Maschinenelementes durch Funktionsintegration zu erhöhen und positive Wirkungen auf den bezüglich Verschleiß und Lärm problematischen Lasttrum zu erreichen. Insbesondere die vom Polygon der Kettenräder, von Überholstößen und von den Spielpositionen der Elemente des Kettengelenkes Bolzen/Buchse/Rolle ausgehenden Wirkungen auf die Präzision des Ketteneingriffes waren die nächsten Optimierungsfaktoren, um die Lebensdauer von Kettentrieben zu verbessern.

Dipl.-Ing. Oec. Siegfried Ebert ist Geschäftsführer der Ebert Kettenspanntechnik GmbH in 04435 Schkeuditz; Dipl.-Ing. (FH) Hartmut Meier ist Technischer Leiter dieses Unternehmens.



1: Summenfehler des Kettentriebes am einlaufenden Lasttrum

Die Skalierung beträgt 1 bis 5 für den Grad der Einzelfehler

Zusammengefasst ist die unmittelbare technische Wirkung dieser Faktoren mit dem abstrakten Begriff "Summenfehler des Ketteneingriffes" zu beschreiben. Dieser Summenfehler ist für den einmaligen vollständigen Umlauf der Kette definiert als eine Funktion folgender Faktoren:  $K_1$  als Fehler des Kettenrades,  $K_2$  als Fehler der Kette und  $K_3$  als dynamischer Fehler des Kettentriebes.

Diese Fehler  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$  sind teilweise korrelierend und über den Verschleißzeitraum nicht konstant. Der Fehler des Kettenrades  $K_1$  enthält Herstell- und Montagefehler, z.B.:

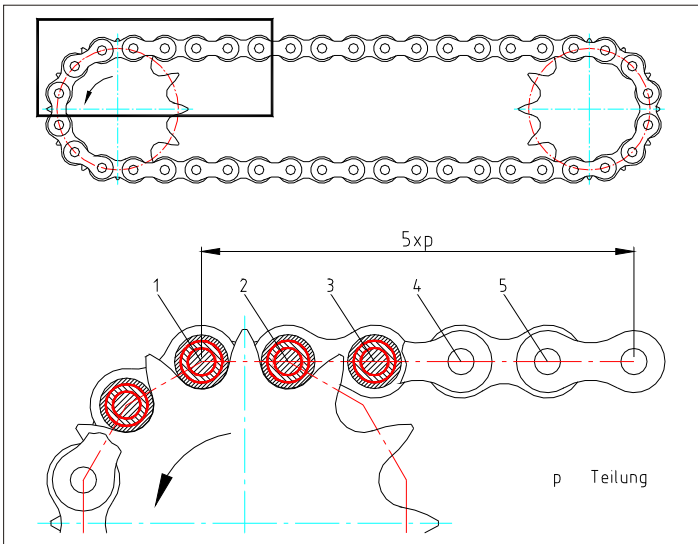
- Rundlauf, Planlauf, Fluchtungsfehler
- Teilungsfehler des Kettenrades
- Fußkreisfehler, Teilkreisfehler, Kopfkreisfehler
- Formkorrespondenzfehler zur Kette
- Der Fehler der Kette  $K_2$  enthält ebenfalls Herstell- und Montagefehler, z.B.:
- Formkorrespondenzfehler zum Kettenrad
- Kettenverschleißblängung und übermäßiger Durchhang
- Toleranzfehler
- Teilungsfehler
- Korrosion und Mangelschmierung
- über die Kettenlänge ungleichmäßige partielle Dehnung.

Der dynamische Fehler des Kettentriebes  $K_3$  enthält die Fehler aus der Bewegung des Kettentriebes, z.B.:

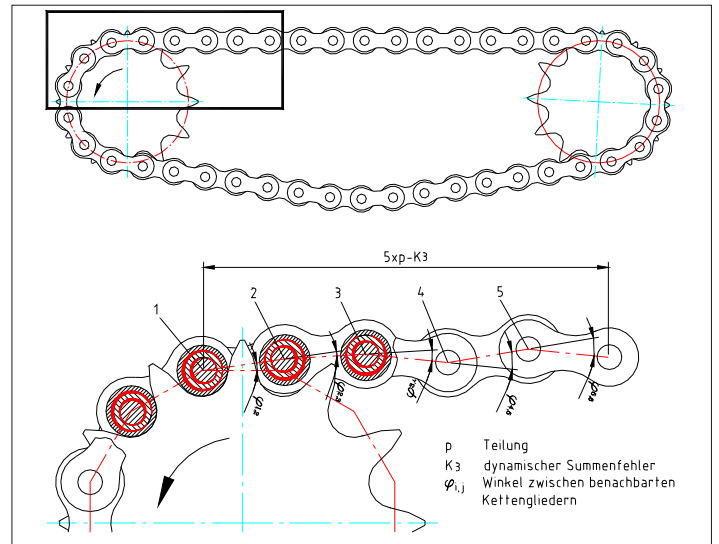
- Überholstöße und 3-D-Schwingungen
- Fliehkraftschwankungen
- Gelenkkordungsfehler aus den Spielpositionen der Elemente des Kettengelenkes Niet/Buchse/Rolle
- rhythmische Polygonstöße aus dem Kettenradpolygon
- a-rhythmische Polygonstöße aus nicht drehphasensynchronen Polygonen der Kettenräder
- Rollen- Aufschlagfehler

Bild 1 zeigt den Summenfehler auf der Einlaufseite des treibenden Kettenrades resultierend aus den wichtigsten Einzelfehlern. Für den Vergleich wurde, stellvertretend für einen Kettentrieb durchschnittlicher Qualität, ein indifferenter Kettentrieb mit dem Wert 5 für jeden Einzelfehler gesetzt. Dieser Kettentrieb ist rot gekennzeichnet. Die rote Fläche steht für den Summenfehler des für alle Einzelfehler mit dem Wert 5 bewerteten indifferenten Kettentriebes.

Durch die Verwendung einer Qualitätskette (gelb überdeckend), beispielsweise einer wartungsfreien selbstschmierenden Kette, reduziert sich der Summenfehler der Kette bereits beträchtlich. Auch mehrere dynamische Einzelfehler der Kette werden dadurch verringert. Es ist ersichtlich, dass die Einzelfehler der Kettenräder und ihrer Montage durch eine Qualitätskette nicht zu beeinflussen sind. Hier entscheidet die Qualität der Teilefertigung und der Montage.



**2: Theoretisch-idealisierte Darstellung in der Betrachtungsebene 1**  
Gesamtansicht des Kettentriebes mit Ausschnitt (Kasten)



**3: Makroverhalten in Betrachtungsebene 2**  
Gesamtansicht des Kettentriebes mit Ausschnitt (Kasten)

Wird außerdem ein Spann- und Dämpfungselement eingesetzt (grau überdeckend), welches auf den Lasttrum wirkt, verringert das bereits die Einflüsse der Ketten-Einzelfehler aus Korrosion und Mangelschmierung sowie partieller Dehnung der Kette. Vor allem aber werden die dynamischen Einzelfehler

- Überholstöße und 3-D-Schwingungen,
- Fliehkraftschwankungen,
- Gelenkordnungsfehler
- Polygonstöße
- Rollenaufschlagfehler reduziert.

Nachfolgend sollen diese dynamischen Einzelfehler näher behandelt werden. Dazu werden 3 Betrachtungsebenen benötigt. In der Betrachtungsebene 1 wird über eine idealisierte Betrachtung des Kettentriebes das Makroverhalten beim Ketteneinlauf des Lasttrumes in das Kettenrad untersucht. Die Betrachtungsebene 2 stellt die reale Betrachtung des Kettentriebes mit Überholstoß in der Kette sowie das

Makroverhalten beim Ketteneinlauf dar. Die Betrachtungsebene 3 untersucht die Spielpositionen zwischen Bolzen, Buchse und Rolle im Lasttrum sowie das Mikroverhalten.

**Betrachtungsebene 1 - Idealisierung**

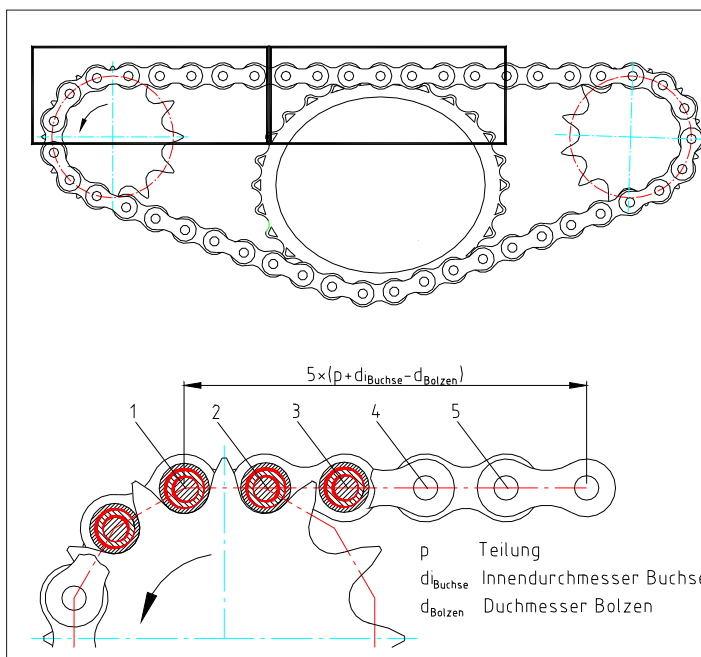
In Bild 2 ist zunächst der Ketteneinlauf in der üblichen theoretischen, idealisierten Betrachtung dargestellt. Wesentliches Merkmal der idealisierten Betrachtung ist die Achsgleichheit und damit die Konzentrität der Elemente des Ketten-gelenkes. Die Kettengelenke (hier 1 ... 6) sind regelmäßig und in Linie zueinander im Abstand der Teilung positioniert. Die Wirklinie der Kettenzugkraft tangiert den Teilkreis des Kettenrades.

**Betrachtungsebene 2 - Makroverhalten**

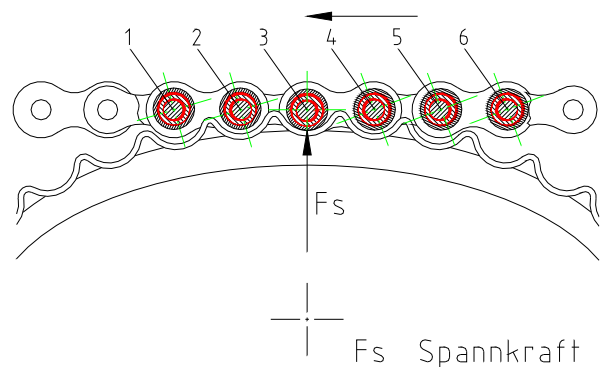
In Bild 3 ist der Ketteneinlauf mit den realen Achspositionen unter der Einwirkung eines Stoßes in Zugrichtung der Kette, wie er aus Überholstößen oder aus den Polygonstößen entsteht, dargestellt.

Der Stoß im Lasttrum verursacht zufällige Winklungen der Kettenglieder zueinander, hier abwechselnd nach oben/unten dargestellt, sowie Veränderungen in den Spielpositionen zwischen Bolzen, Buchse und Rolle. Die Winklungen  $j_{ij}$  (mit  $i, j = 1$  bis 6) der Kettenglieder zueinander haben zufällige Beträge. Infolge der Winklung ist der reale Abstand der Kettengelenke kleiner als der bei idealer Teilung vorliegende Abstand. Die Kettengelenke (hier 1 bis 6) sind unregelmäßig und nicht in Linie zueinander im Abstand der Teilung positioniert.

Die Folge davon sind Fehler in der Feinpositionierung der Kette zum Kettenrad während des Ketteneingriffes. Die Kette wirkt durch die Winklung ihrer Glieder verkürzt und die Kontaktstellen zwischen Rolle und Zahnflanke sind zufällig gestreut positioniert. Besonders dann, wenn ein Kontakt außerhalb des Teilkreises des Kettenrades und damit mehr in Kopfkreisnähe der Zahnflanke erfolgt, liegt ein ungünstiger Aufschlag gegen die Zahnflanke vor. Der Ketteneingriff außerhalb des Kopfkreises des Kettenrades bedeutet das "Aufsteigen" der Kette auf den Zahnkranz. Die Kraft der Kette wirkt zahnweise/gliedweise auf einen "Durchmesser", welcher größer ist als der für die Übersetzungsberechnung eingesetzte Teilkreisdurchmesser.



**4: Mikroverhalten in Betrachtungsebene 3**  
Gesamtansicht des Kettentriebes samt Kettenspanner mit Ausschnitten (Kasten)



Die Folge davon ist ein von Zahn zu Zahn und damit von Kettenglied zu Kettenglied zusätzlich zur Ungleichförmigkeit aus dem Polygoneffekt pulsierendes, zufällig schwankendes Übersetzungsverhältnis des Kettentriebes. (Setzt man beispielsweise einen Kettentrieb 08B-1,  $z_{1,2} = 19$ , so schwankt das Übersetzungsverhältnis und die Kettengeschwindigkeit bei einem Aufsteigen der Kette um nur 1,0 mm bereits um 1,2 %. Das ist oftmals bereits zuviel für Steuer- und Förderantriebe.)

Es sei außerdem erwähnt, dass eine derart zufällig eingreifende Kette in jedem Fall auch eine zufällig große Kraftverteilung im Umschlingungsbogen und ungleichmäßige Kettenbelastung verursacht. Diese zufällig schwankende Kraftverteilung liegt periodisch vor und ist besonders bei Ketten mit kleiner Gliederzahl im Dauerbetrieb nachteilig. Es gilt, diesen weiteren Verschleißfaktor zu beachten.

In dem Maße, wie die Zugkraft der Kette auf der Einlaufseite des Lasttrumes sehr viel größer ist als auf der Einlaufseite des Leertrums, sind auch die Ursachen für die Schwingungen im Kettentrieb verteilt. Im Lasttrumeinlauf beginnt das "Übel" der Schwingungen und deren Resonanzen.

### **Betrachtungsebene 3 - Mikroverhalten**

Ein weiterer, vor allem die Schallemission und den Rollenverschleiß verstärkender dynamischer Einzelfehler soll nachstehend behandelt werden. Es handelt sich dabei um die bisher wenig beachteten Gelenkordnungsfehler. Diese Gelenkordnungsfehler aus den Spielpositionen zwischen Bolzen, Buchse und Rolle, dargestellt in **Bild 4**, führen zu Fehlern in der Feinpositionierung der Kette zum Kettenrad während des Ketteneingriffes.

Im Lasttrum liegen beim Auslaufen der Kettengelenke aus dem getriebenen Kettenrad charakteristische Spielpositionen vor. Die Spiele zwischen Bolzen, Buchse und Rolle befinden sich gehäuft auf der dem treibenden Kettenrad abgewandten Seite der Kettengelenke (Bild 3, Gelenke 2 und 3). In der Phase, in der die Kettengelenke zwischen den Kettenrädern laufen, erfolgt eine von der Leichtigkeit und der Zeit unvollständige Entordnung dieser Spielpositionen. Sind die Kettengelenke mit stark haftenden Schmiermitteln geschmiert, oder sind sie schwergängig, oder besitzt der Kettentrieb kleine Achsabstände, dann bleiben diese Positionen aus dem Auslaufen der Kettengelenke bis zum Einlaufen in das treibende Kettenrad weitestgehend erhalten.

In diesem Moment stellen diese Gelenkpositionen eine Abweichung vom idealisierten, konzentrischen Zustand dar. Beim Einlaufen kontaktiert eine derartig

ungünstig positionierte Rolle die Zahnflanke früher und außerhalb des Teilkreises bzw. Polygons (Bild 3, Gelenke 1 und 2). Sie läuft in einem ungünstigen Winkel in die Zahnflanken ein und beeinflusst den Einlaufstoß der Rolle zum Nachteil einer erhöhten Stoßenergie des einlaufenden Kettengliedes. Der Einlaufstoß, ein wesentlicher Faktor für den Rollenverschleiß und für das von der Kette emittierte Geräusch, ist stärker als im Fall eines feinpositionierten Ketteneingriffes.

### **Funktionserweiterung beim verbesserten Kettenspanner**

Gegen die Einzelfehler der Kette im Lasttrumeinlauf wurden 2 Lösungswege über die ROLL-RING-Kettenspanner besprochen:

Über das Mischungsverhältnis des Werkstoffes und die Steuerung der Kristallisation des Kunststoffes wurde der visko-elastische Anteil des Dämpfungsfaktors für höherfrequente Schwingungen und für kurzzeitige Stöße erhöht.

Zugleich wurde die neutrale Biegefasern im Ringteil weiter in die Nähe des Fußkreises verlagert. Damit wurde eine verbesserte Dynamik der Federfunktion erreicht, was insbesondere für kleine Verformungsbeträge verbesserte elastische Eigenschaften bewegte. Die Zahnbögen des Zahnkranzes wurden elastischer und die Rollenbetradien größer, damit das Spann- und Dämpfungselement selbst fehlerkompensierend bei Fehlern der Kette wirken kann.

### **Vermeidung von Gelenkordnungsfehlern**

Bezüglich der Gelenkordnungsfehler bestand die Aufgabe, in die ROLL-RING-Kettenspanner eine zusätzliche Funktion zu integrieren, welche eine verbesserte Positionierung in Form einer Vorpositionierung der Gelenke realisiert. Dazu wurde die Form und die Teilung des Zahnkranzes genutzt. Eine über das Teilungsmaß der Kette größere Teilung des ROLL-RING-Kettenspanners funktioniert in der Weise, dass der vom vollständig eingreifenden Kettengelenk (Bild 4, Gelenk 3) angetriebene ROLL-RING-Kettenspanner dem auslaufenden Kettengelenk (Bild 4, Gelenk 2) einen Auslaufstoß in Zugrichtung der Kette gibt und dabei das rückseitige Rollenspiel (dargestellt in den Gelenken 4, 5 und 6) beseitigt.

Der elastische, seitlich offene Zahnbogen erzeugt einen sanften Schub gegen das Rollenspiel des aus dem ROLL-RING auslaufenden Kettengelenkes. Das Kettengelenk wird in eine Spielposition gebracht, in der es immer beim Einlaufen in das Kettenrad unterhalb der Zugkraftlinie schräg einläuft (Bild 4, Kettenrad, Gelenke 2, 1).

### **Vermeidung von Geräuschemissionen**

Bei Messversuchen mit den weiterentwickelten ROLL-RING-Kettenspannern und mit Rollenketten (08B-1,  $z_{1,2} = 19$ ) verschiedener Qualitätsstufen sowie bei Kettengeschwindigkeiten von 0,8 bis 5,0 m/s wurden allein durch Verbesserung des Rollenaufschlages 2 bis 5 dB(A) kleinere Schallpegel ermittelt. Es sei hinzugefügt, dass die Messkettentriebe ohne Spann- und Dämpfungselement Schallpegelwerte zwischen 76,8 dB(A) bei 0,8 m/s und 97,2 dB(A) bei 5,0 m/s emittierten.

In diesem Bereich liegt bereits der für die Ohren gefährliche und arbeitsmedizinisch deshalb als kritisch geltende Wert von 85 dB(A). Jegliche Reduzierung des Schallpegels in diesem Bereich ist also erwünscht. Außerdem schont es die Rollen der Kette. Es ist somit für jeden Kettentrieb von Vorteil, die dynamischen Einzelfehler durch einen feinpositionierten Einlauf des Lasttrumes minimal zu halten und im Ansatz zu dämpfen.

Das bisherige Spannen des Leertrumes reduziert dynamische Fehler des lastfreien Trumes. Aber erst mit dem Einsatz eines gegen den mit der Kettenzugkraft mehrfach höher belasteten Lasttrum gerichteten Spann- und Dämpfungssystems werden bei den dynamischen Fehlern entscheidende Wirkungen erreicht.

### **Zusammenfassung**

Im Beitrag werden sowohl komplexe als auch bisher wenig beachtete Ursachen für Verschleiß und Lärm im Lasttrum von Kettentrieben dargestellt. Gegen mehrere, dem Bereich der Feinpositionierung des Lasttrumeingriffes zuzuordnende Ursachen sind die über den Weg der Funktionsintegration weiterentwickelten ROLL-RING-Kettenspanner gerichtet. Die Vorteile des Spannen und Dämpfens des Leertrumes bleiben erhalten. Der Verschleiß des gesamten Antriebes und die Lärmemission werden dadurch reduziert.

### *Literaturhinweis:*

[1] Ebert, Siegfried: *Neuartige Kettenspanner zum Dämpfen von Trumschwingungen. Technisches Minimalsystem mit komplexer Wirkung. Antriebstechnik 36 (1997), Nr. 8, S. 45-46*

**EBERT Kettenspanntechnik GmbH  
Windmühlenstr. 8 04435 Schkeuditz**

**Tel.: 034207/6930 Fax: 034207/69393  
H t t p : // w w w . r o l l - r i n g . c o m  
E-mail: service@roll-ring.com**