

Aus einem Stück

Rotationselastisches Spann- und Dämpfungselement für Zahnriemen



Siegfried Ebert, Hartmut Meier, Klaus Nendel, Jens Sumpf

Mit der Entwicklung von rotationselastischen Spann- und Dämpfungselementen für Zahnriemen steht dem Anwender ein neues Spann- und Dämpfungselement für Zahnriemengetriebe zur Verfügung (Bild 1). Die Anordnung zwischen den Trumen garantiert eine einfache Handhabung vor allem bei platzproblematischen, reversierenden Getrieben und ist somit sowohl für Erstausrüster als auch für Nachrüstungen interessant, bei denen keine geometrischen Änderungen mehr vorgenommen werden können und/oder keine Montagebasis für alternative Spanner vorhanden ist.

Dipl.-Ing. Oec. Siegfried Ebert ist Geschäftsführer der Ebert Kettenspanntechnik GmbH.

Dipl.-Ing. (FH) Hartmut Meier ist technischer Leiter der Ebert Kettenspanntechnik GmbH.

Prof. Dr.-Ing. Klaus Nendel ist Leiter der Professur Fördertechnik und Direktor des Instituts für Allgemeinen Maschinenbau und Kunststofftechnik der TU Chemnitz.

Dr.-Ing. Jens Sumpf ist wissenschaftlicher Mitarbeiter der Professur Fördertechnik am Institut für Allgemeinen Maschinenbau und Kunststofftechnik der TU Chemnitz.

Die neuen rotationselastischen Spann- und Dämpfungselemente der Ebert Kettenspanntechnik GmbH basieren auf den unter der Marke Roll-Ring bekannt gewordenen Produkten für Kettentriebe. Die Spann- und Dämpfungselemente erfüllen vielfältige Funktionen:

- So sind sie aus einem Stück gefertigt und integrieren die Spann- und Dämpfungsfunktion.
- Sie rotieren reversierfähig ohne äußere Montagebasis zum Obersystem (Zahnriemen).
- Sie regeln ihre Leistung nach der realen Belastung und wirken zugleich auf Last- und Lostrum.

1: Spann- und Dämpfungselement mit speziellen Arbeitsringen und Zahnstegen.

Das Prinzip aller Roll-Ring-Elemente beruht dabei auf zwei einfachen Effekten: Der Elastizität zur Spannkrafterzeugung sowie der selbsttätigen, rollenden Lagesicherung im vorgespannten Zustand, wobei die stets entgegen gerichteten Bewegungen von Last- und Lostrum zu einer rotierenden Lage „auf der Stelle“ führen (Bild 2).

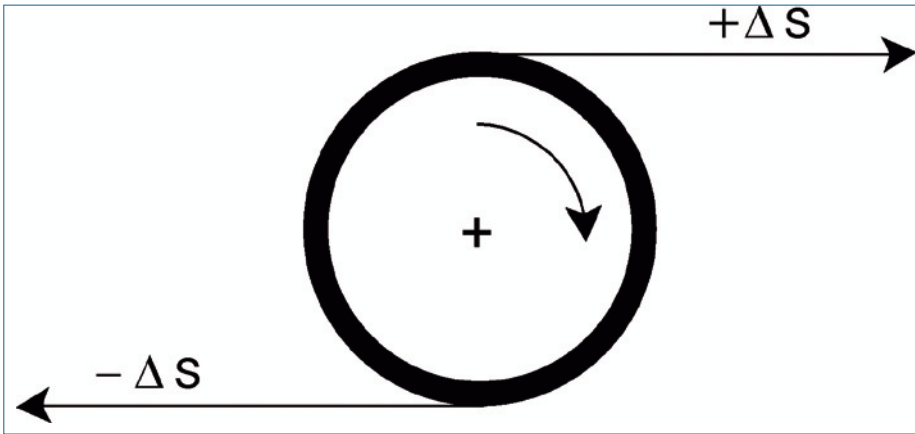
Aufbau und Funktionsweise

Es war das Ziel, von den bewährten Roll-Ring-Kettenspannern ausgehend ein technisch äquivalentes Element für Zahnriemen zu entwickeln. Das Ergebnis ist ein Spann- und Dämpfungselement in der Grundform eines Zylinders mit zwei gleich biegesteifen elastischen Arbeitsringen und elastischen, zu den Zahnlücken des Zahnriemens korrespondierenden Zahnstegen (Bild 1).

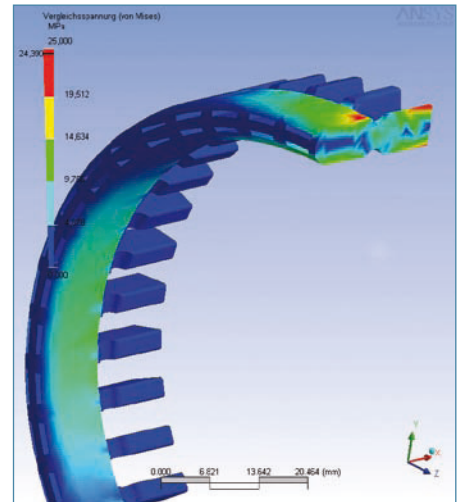
Für schnell laufende Zahnriemengetriebe war dabei das Problem der Energiebilanz, insbesondere hinsichtlich verringerter innerer Reibung und größerer Wärmeableitung, zu lösen. Das entsprechend weiter entwickelte Spann- und Dämpfungselement besteht aus einem porösen elastischen Werkstoff mit dominierender Raumbgitterstruktur. Unter Einfluss von äußeren Kräften, wie sie funktionsgemäß auf das Spann- und Dämpfungselement wirken, kommt es zu einer indifferenten und kooperativen Verformung der Raumbgitterstruktur, wobei überwiegend die weniger massiven Bereiche beteiligt sind. Dabei ist die innere Reibung erheblich reduziert, so dass die Wärmeentwicklung durch Verlustarbeit gering ist.

Zur weiteren Verringerung der Erwärmung des Spann- und Dämpfungselementes sind die Leerstellen des Raumbgitters mit einem Kühlschmierstoff, welcher eine größere Wärmeleitfähigkeit als Luft hat, gefüllt. Das bewirkt die verstärkte Ableitung von Wärme aus den der elastischen Verformung unterliegenden porösen inneren Bereichen.

Das Spann- und Dämpfungselement hat mehrere radial mit Abstand ineinander angeordnete elastische Arbeitsringe. Diese Arbeitsringe sind das die Spannkraft und Dämpfung erzeugende Arbeitsorgan. Jeweils paarweise, bezogen auf ihren Durchmesser, haben diese Arbeitsringe gleiche Biegesteifigkeit. Durch die Anordnung der



2: Lagesicherungsprinzip rotational elastischer Spann- und Dämpfungselemente zwischen gegenläufigen Trumen.



3: FEM-Darstellung zur Anordnung der Arbeitsringe.

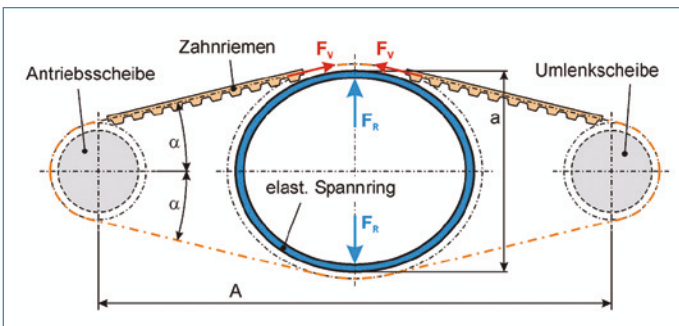
Arbeitsringe mit radialem Abstand werden seitlich offene Kanäle geschaffen (Bild 3), welche insbesondere bei Rotation des Spann- und Dämpfungselementes vom Luftstrom durchströmt werden und einen Kühleffekt zur Verbesserung der Wärmeableitung bewirken.

Ruhe- und Lastzustand

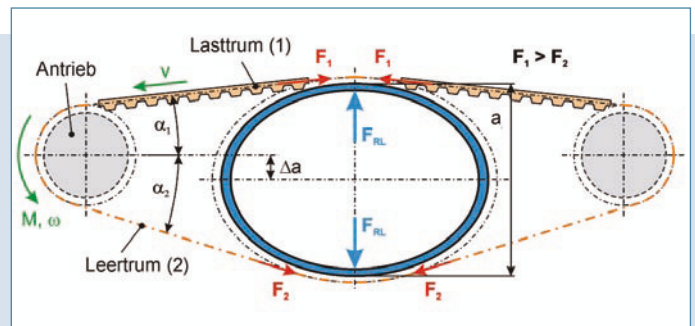
Im Einbauzustand ohne die Übertragung eines Drehmomentes liegt eine geometrische und kräftemäßige Symmetrie zwischen oberer und unterer Hälfte des Getriebes vor, das heißt der Mittelpunkt des nunmehr ellipsenähnlich verformten Rings liegt

auf der Verbindungslinie der Scheibenmittelpunkte (Bild 4). Wird dagegen ein Drehmoment übertragen, ändern sich die Kräfte in den Trumen und der Ringmittelpunkt verschiebt sich in Richtung des weniger belasteten Trums (Leertrum). Gleichzeitig ändert sich dadurch auch der Abstand zwischen den Trumen, so dass sich die Verformung des Rings erhöht und dieser eine größere Kraft auf beide Trume überträgt, was wiederum eine erneute Lageänderung des Ringmittelpunktes bewirkt (Bild 5). Letztlich bildet sich ein Kräftegleichgewicht aus, welches die genaue Position und Verformung des Rings sowie die Kräfte in den Trumen definiert. Die Nutzung dieses Effektes

ermöglicht eine zum übertragenden Moment abhängige Vorspannkraft des Getriebes im Optimum. Jede darüber hinaus überschüssig vorhandene Vorspannkraft bedeutet eine unnötige Getriebebelastung, damit unnötigen Verschleiß und Mehrverbrauch von Energie. Indem der Ringdurchmesser, der Achsabstand der Scheiben bzw. die Position des Rings zwischen den Scheiben so angepasst werden kann, dass der Ring im Einbauzustand eine nahezu kreisrunde Form behält und somit nur die zur Lagesicherung notwendige, minimale Spannkraft vorliegt, wird erst bei der Momentübertra-

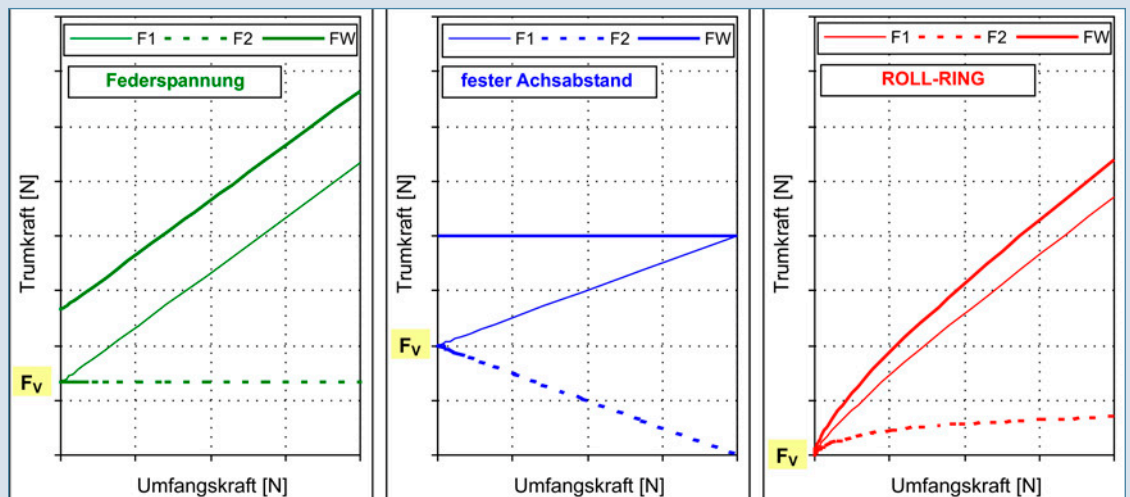


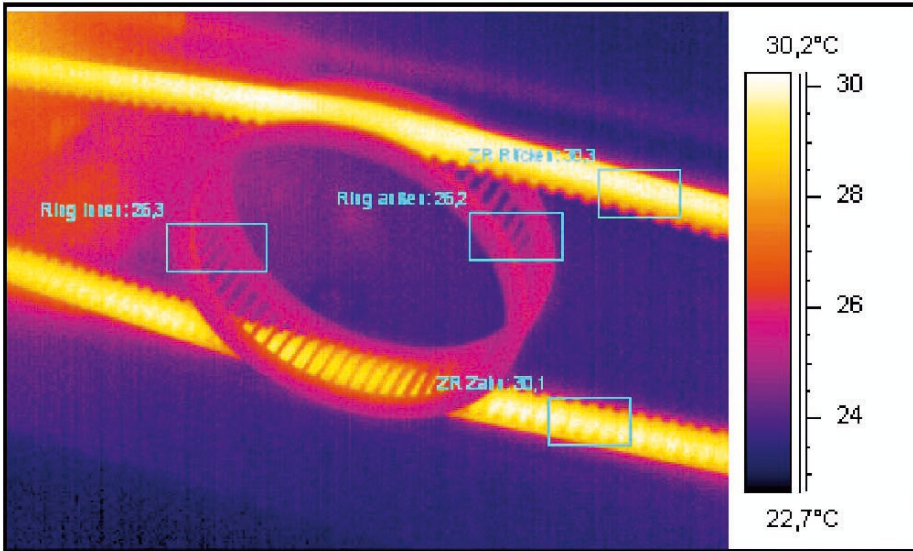
4: Getriebe im Ruhezustand (Einbauzustand) ohne Drehmomentübertragung.



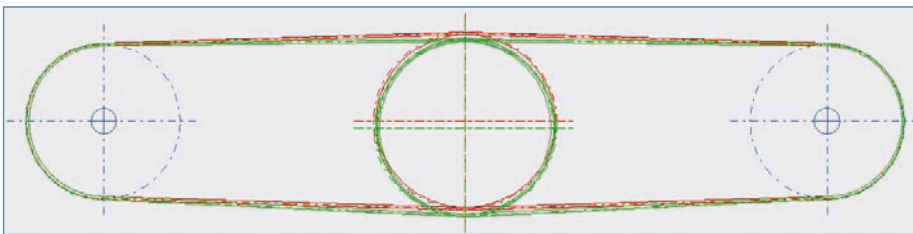
5: Getriebe im Lastzustand bei Übertragung eines Drehmomentes ($\alpha_1 < \alpha$).

6: Spannkraftverhalten des Spann- und Dämpfungselementes (rechts) im Vergleich zu alternativen Spannmethoden (F1, F2 = Zugkraft im Last- bzw. Leertrum, FW = Wellenkraft).





7: Typisches Erwärmungsbild des Spann- und Dämpfungselementes bei Dauerbelastung im Zahnriemengetriebe.



8: Im Einbau- (rot) und Lastzustand (grün) dargestelltes Beispielgetriebe (Zähnezahl An-, Abtrieb und Ring: $Z_A = Z_B = 30$, $Z_R = 35$, Riemenlänge: $L = 600$ mm, Moment: $M_A = 1,4$ Nm, Winkel-differenz: $\Delta\gamma = 0,4^\circ$).

gung der Ring für die erforderliche, optimierte Vorspannkraft auf die Trume vorge-spannt. Derselbe Mechanismus besteht bei Drehrichtungsumkehr. Dieses äußerst ge-triebescchonende Spannkraftverhalten ist ein besonderer Vorzug im Vergleich zu al-ternativen Spannmethoden (Bild 6) bei Ge-triebestillstand und Momentübertragung.

Allgemeines Betriebsverhalten

Nach dem Start wechselt das Zahnriemen-getriebe entsprechend Bild 4 und Bild 5 vom Ruhe- in den Lastzustand. Der Wechsel zwischen beiden Zuständen dauert eine bestimmte Zeit. Anschließend bleibt der Lastzustand unter der Voraussetzung eines

gleichmäßigen Abtriebsmomentes nahezu konstant.

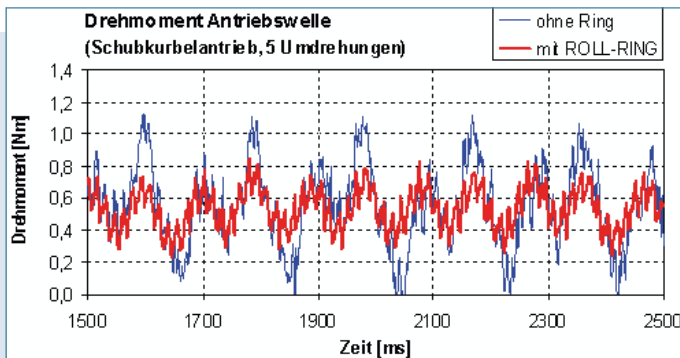
In zahlreichen experimentellen Untersu-chungen unter verschiedensten Bedin-gungen sowie im Praxiseinsatz konnte prin-zipiell ein sehr ruhiges und verschleißfreies Laufverhalten der Ringe nachgewiesen werden. Besonders hervorzuheben ist das Er-wärmungsverhalten auf Grund der starken Biegewechselbeanspruchung der Spann-ringe. Hier zeigte sich in den Untersu-chungen, dass die durch innere Reibung so-wie Reibung bei Eingriff der Riemenzähne in die Lamellen erzeugte Wärme unter ande-rem durch die in den Ringen angebrachten Lüftungsdurchbrüche sehr gut an die Um-ggebung abgegeben werden kann. Zusätzlich

sorgt die spezielle Lamellengeometrie für ei-ne „Ventilatorwirkung“, die in erheblichem Maße zur Wärmeabführung und sogar zu ei-ner deutlich messbaren Kühlung des Zahn-riemens beiträgt. So wurde in Messungen festgestellt, dass die Oberflächentemperatur der Ringe nahezu unabhängig von der Dreh-zahl ist und bis zu 60 % unterhalb der Zahn-riemenenerwärmung liegt. Auch bei den maxi-mal zulässigen Ringstauungen von 5 % und Ringdrehzahlen von zirka 1500 min^{-1} wurden in den Tests Ringtemperaturen von 30°C nicht überschritten (Bild 7).

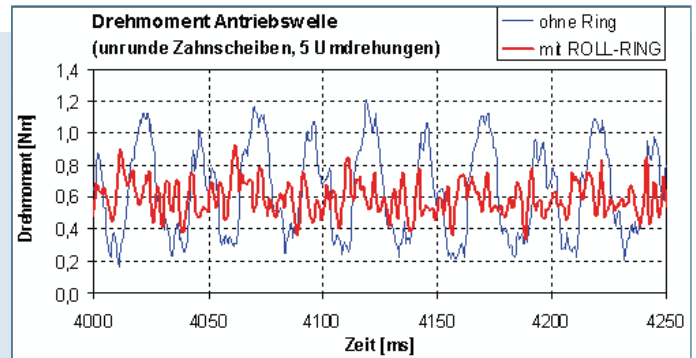
Übertragungsverhalten

Eine für den Anwender wichtige Frage ist das Übertragungsverhalten eines ringge-spannten Zahnriemengetriebes, insbeson-dere die möglichst drehzahlsynchrone Mo-mentübertragung. Aus den Getriebedarstel-lungen in den Bildern 4 und 5 wird deut-lich, dass das Moment nicht wie bei den al-ternativen Spannmethoden über ein gestreck-tes Lasttrum direkt von der Antriebs- auf die Abtriebsscheibe übertragen wird. System-bedingt wird das Lasttrum bei den ringge-spannten Getrieben immer (leicht) dreh-momentabhängig ausgelenkt. Dadurch kommt es neben den auch von alternativen Getrieben bekannten Ursachen, wie z. B. Riemendehnung oder Zahnverformung, zu einem zusätzlichen Betrag der Drehwinkel-abweichung zwischen beiden Scheiben. Während diese Differenz für die meisten An-wendungen unerheblich ist, muss der Effekt bei hohen Anforderungen an die Drehwinkel- bzw. Drehzahlsynchronität (z. B. Steuerriemen) vorbeugend berück-sichtigt werden (Bild 8).

Die beim Anfahren des Getriebes be-schriebene Drehwinkeldifferenz tritt in ähn-licher Form auch dann auf, wenn kein kons-tantes Drehmoment übertragen wird. Die-ser Fall liegt bei genauer Betrachtung in je-dem Zahnriemengetriebe vor und wird einerseits durch den Polygoneffekt und sehr häufig durch eine geringe Unrundheit bzw. Unkonzentrität der Zahnscheiben verur-sacht. In vielen Anwendungen ist jedoch



9: Antriebsmoment bei gezielt durch eine Schubkurbel hervorgerufenen Momentenschwankungen (blau: Spannung über festen Achs-abstand, rot: Spannung mit dem Spann- und Dämpfungselement).



10: Antriebsmoment bei durch unrunde bzw. unkonzentrische Zahnscheiben hervorgerufenen Momentenschwankungen (blau: Spannung über festen Achs-abstand, rot: Spannung mit dem Spann- und Dämpfungselement).

auch das Abtriebsmoment selbst sehr ungleichmäßig (z. B. Schubkurbelantrieb) oder es treten während des Betriebes relativ starke Momentsprünge auf (z. B. Shredderantrieb). Hierbei zeigt sich ein weiterer Vorteil der ringgespannten Getriebe. Das Moment wird nicht über den relativ steifen Zahnriemen direkt von der Abtriebs- auf die Antriebswelle übertragen, sondern, bedingt durch die Trumauslenkung abgefedert (**Bild 9**), was vor allem bei starken Momentstößen maßgeblich zur Getriebeschonung beiträgt. Die in Bild 9 gezeigten Messungen bestätigen, dass z. B. das Antriebsmoment eines Schubkurbelantriebs durch die Verwendung eines Spannringes wesentlich gleichmäßiger werden kann. Ähnliches gilt für „normale“ Antriebe, bei denen das Spann- und Dämpfungselement für eine wirksame Dämpfung von Trumstößen sorgt (**Bild 10**).

Zusammenfassung

Dem Anwender steht ein neues Spann- und Dämpfungselement für Zahnriemengetriebe zur Verfügung. Die Anordnung zwischen den Trumen garantiert eine einfache Handhabung vor allem bei platzproblematischen, reversierenden Getrieben und ist somit sowohl für Erstausrüster als auch für Nachrüstungen interessant, bei denen keine geometrischen Änderungen mehr vorgenommen werden können und/oder keine Montagebasis für alternative Spanner vorhanden ist.

Besonders hervorzuheben ist das charakteristische, getriebeschonende Spannkraftverhalten. Erst unter Last wird die erforderliche Spannung „aktiviert“, so dass der Zahnriemen über einen sehr breiten Momentbereich minimal, aber immer funktions sicher spannt.

Geometrisch bedingt treten zwischen An- und Abtrieb leichte Drehwinkel- bzw. Drehzahldifferenzen auf, die aber für die meisten Anwendungen uninteressant sind oder vorbeugend berücksichtigt werden müssen. Gerade bei ungleichmäßigen Momenten oder Momentstößen trägt jedoch das Spann- und Dämpfungselement sehr effektiv zur Dämpfung der Belastungen bei. Es hat sich mittlerweile in vielen industriellen Anwendungen (Fördertechnik, Sägeantriebe, Shredderantriebe) bewährt, bei denen enger Bauraum, Reversierbetrieb und/oder Stoß- und Schwingungsdämpfung als Anforderungen stehen.

EBERT KETTENSCHANNTCHNIK
000

WWW

www.vfv1.de/#12345678