

HANSER

Thomas Nagel

Zahnriemengetriebe

Eigenschaften, Normung, Berechnung, Gestaltung

ISBN-10: 3-446-41380-4

ISBN-13: 978-3-446-41380-1

Vorwort

Weitere Informationen oder Bestellungen unter
<http://www.hanser.de/978-3-446-41380-1>
sowie im Buchhandel.

Vorwort

Zahnriemengetriebe haben seit der Erfindung im Jahre 1946 dank ihrer vorteilhaften Eigenschaften sowie der umfangreichen Palette von Abmessungen eine große Verbreitung gefunden. Die kontinuierliche Weiterentwicklung der verwendeten Verzahnungsgeometrien, der eingesetzten Werkstoffe und der benutzten Fertigungsverfahren führte zu erheblichen Leistungssteigerungen und verbessertem Betriebsverhalten dieser Getriebe. Innovative Ideen zur Getriebegestaltung schaffen darüber hinaus Möglichkeiten für den vielfältigen Einsatz. Die rasche Zunahme neuer Produkte der Zahnriementechnik sowie der enorme Ausbau der Fertigungskapazitäten in den letzten Jahren zeigt, dass die Entwicklung noch lange nicht abgeschlossen ist.

Das Buch richtet sich an Entwicklungs-, Konstruktions- und Applikationsingenieure sowie Lehrer und Studenten an Universitäten, Hoch- und Fachhochschulen der Fachgebiete Maschinenbau, Mechatronik und Gerätetechnik. Es beinhaltet neben dem Aufbau, den Eigenschaften und Anwendungen, Fragen der Normung, die Berechnung und Gestaltung der Getriebe sowie Informationen zum Betriebsverhalten, wie Übertragungs-, Verschleiß- und Geräuschverhalten sowie Wirkungsgrad. Damit dient es sowohl als Studienliteratur als auch als Nachschlagwerk sowie Wissenspeicher.

Insbesondere möchte ich mich bei meinem hochverehrten Lehrer Herrn Prof.Dr.-Ing.habil.Dr.hc. Werner Krause für die langjährige fachliche und konstruktive Zusammenarbeit herzlich bedanken. Darüber hinaus gebührt dem Direktor des Instituts für Feinwerktechnik und Elektronik-Design der TU Dresden Herrn Prof. Dr.-Ing.habil. Jens Lienig Dank für die Unterstützung dieses Vorhabens. Für die Kooperation und Zusammenarbeit danke ich allen, die aktiv am Gelingen dieses Vorhabens beteiligt waren, wobei ich besonders die Beiträge von Herrn Matthias Farrenkopf (Fa. Gates, Aachen), Herrn Walter G. Schneck (Fa. Wilhelm Herm. Müller, Hannover), der Herren Hermann Schulte und Dirk Bartsch-Kuszewski (beide Contitech Antriebssysteme, Hannover), Herrn Peter Kelm (Fa. Schaeffler, Herzogenaurach), Herrn Martin Sopouch (Fa. AVL List, Graz) sowie Herrn Dr. Jürgen Vollbarth (Fa. Breco Antriebstechnik Breher, Porta Westfalica) hervorheben möchte. Meinen jetzigen und ehemaligen Kollegen Sebastian Fraulob, Georg Härting, Matthias Kulke,

Andre Müller, Stefan Richter und Dr. Robert Witt sei an dieser Stelle für die schöpferischen Projektarbeiten auf diesem Themengebiet und die vielfältige Unterstützung gedankt.

Dem Carl Hanser Verlag, insbesondere Herrn Volker Herzberg danke ich für die kollegiale Zusammenarbeit und die Bemühungen zur schnellen Herausgabe des Buches.

Dresden

Thomas Nagel

HANSER

Thomas Nagel

Zahnriemengetriebe

Eigenschaften, Normung, Berechnung, Gestaltung

ISBN-10: 3-446-41380-4

ISBN-13: 978-3-446-41380-1

Leseprobe

Weitere Informationen oder Bestellungen unter
<http://www.hanser.de/978-3-446-41380-1>
sowie im Buchhandel.

4 Getriebearten

Die im Kapitel 3 beschriebenen vielfältigen Profilgeometrien, die Verfügbarkeit von Zahnriemen in einem großen Teilungs- und Längensortiment sowie die Möglichkeit, auch Doppelverzahnungen herstellen zu können, eröffnen eine Vielzahl von Anwendungen. **Bild 4.1** zeigt einige grundsätzliche Bauarten.

Beispielhaft für den allgemeinen Einsatz von Zahnriemengetrieben sind die Bereiche Fahrzeugtechnik, Werkzeug-, Papier- und Textilmaschinen, Baumaschinen, Pumpen, Transport- und Fördertechnik, Linearsysteme, Handwerkzeuge, Bürotechnik, Hausgeräte und Robotik zu nennen.

Häufig werden Zahnriemengetriebe nach drei typischen Einsatzgebieten eingeordnet, Anwendungen für die Antriebstechnik, die Lineartechnik oder die Transporttechnik. Die Abgrenzung der Gebiete ist dabei nicht starr, sondern fließend. Trotzdem kann man einige Besonderheiten erkennen, die in den folgenden Kapiteln zusammengestellt sind. Eine Vielzahl verfügbarer Komponenten und Sonderkonstruktionen erweitern die Einsatzmöglichkeiten von Zahnriemengetrieben beträchtlich und werden im Kapitel 4.5 beschrieben.

4.1 Antriebstechnik

Das Gebiet der Antriebstechnik ist sehr breit gefächert. Im Vordergrund stehen dabei hohe zu übertragende Drehmomente bei großen Drehzahlen. Die allgemeine Berechnung der Getriebe erfolgt nach diesen Kriterien und ist in Kapitel 5 dargestellt. Drei Faktoren bilden die Grundlage der Dimensionierung eines Zahnriemengetriebes, die Belastbarkeit der Riemenzähne sowie die der Zugstränge auf Zug und auf Biegung. Die Belastbarkeit der Riemenzähne beinhaltet im Wesentlichen die Scherfestigkeit und Biegestabilität sowie die zulässige Pressung an den Flanken. Der hierfür wichtige Parameter ist die aus dem Drehmoment resultierende Tangential- bzw. Umfangskraft je Zahn. Da mehrere Riemenzähne gleichzeitig auf dem Umschlingungsbogen belastet werden, darf die Summe dieser Einzelkräfte dann die Zugbelastbarkeit der Zugstränge nicht übersteigen. Bei solchen aus Glas- oder Aramidfasern wird als

Grenze ein Wert von 10 %, bei Stahlritzen sogar von 25 % der jeweiligen Bruchspannung angegeben. Die eingeschränkte Belastbarkeit auf Biegung wird durch das Festlegen einer zulässigen minimalen Scheibenzähnezahl bzw. eines Mindestdurchmessers der Spannrollen beachtet, aber nicht als Spannung oder Kraft definiert.

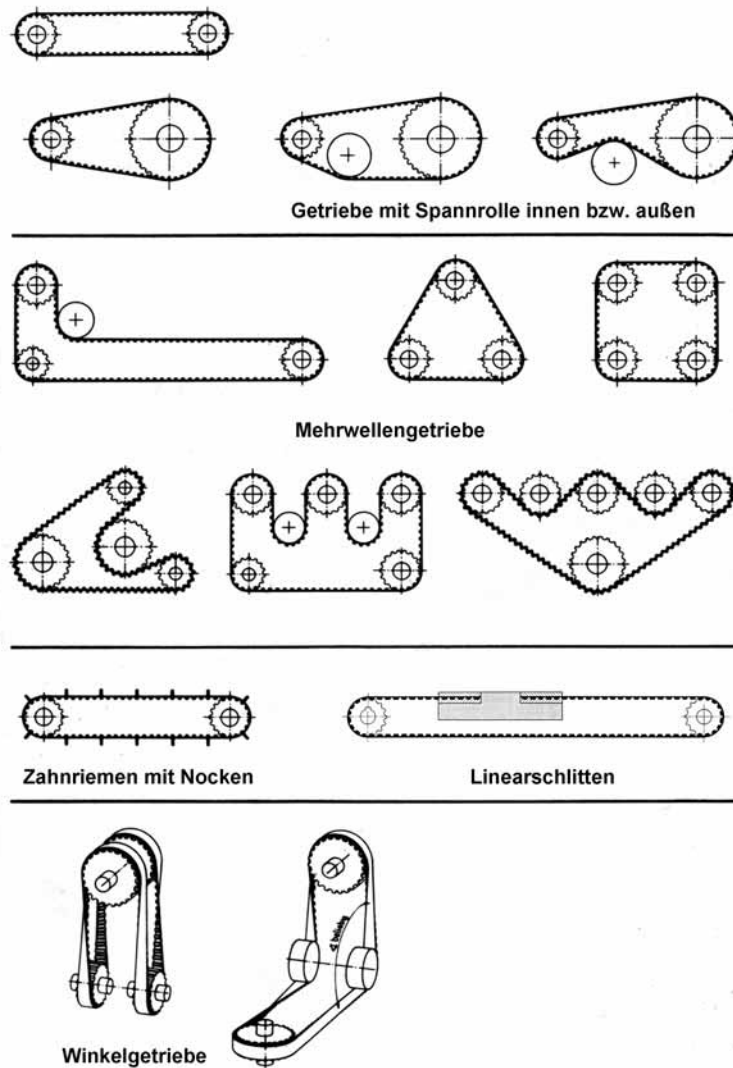


Bild 4.1 Bauarten von Zahnriemengetrieben (nach Mulco-Europe EWIV, Hannover)

Eine Optimierung bei Gummi-Zahnriemen mit Hochleistungsprofil und Glasfaser-Zugsträngen erweiterte den Einsatz in der Antriebstechnik, wobei erstmals in Antriebsaufgaben mit hohem Drehmoment bei kleinen Drehzahlen und solchen bei großen Drehzahlen unterschieden wird. Durch speziell angepasste Zugstränge (vgl. Kapitel 3.4.2) und Werkstoffe sind somit für diese beiden Bereiche unterschiedliche Zahnriemen entstanden. Hochleistungszahnriemen für den niedrigen Drehzahlbereich können daher zunehmend an Stelle von Ketten eingesetzt werden.

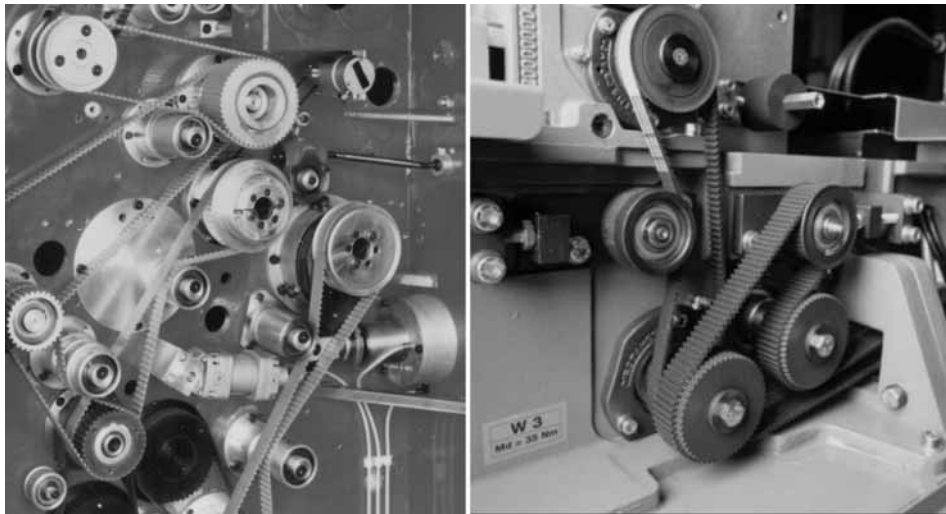


Bild 4.2 Zahnriemengetriebe in einer Textilmaschine (links; Quelle: Mulco-Europe EWIV, Hannover) sowie in einer Werkzeugmaschine (rechts; Quelle: ContiTech Antriebssysteme, Hannover)

Bei der Gestaltung der Getriebe ist generell darauf zu achten, dass ein ausreichend großer Umschlingungsbogen zur Kraftübertragung zur Verfügung steht. Es sollten dabei mindestens drei Zahnpaare an jeder ein Drehmoment übertragenden Welle im Eingriff stehen. Werden mit einem Zahnriemen Drehmomente auf mehrere Wellen übertragen (Mehrwellengetriebe, **Bild 4.2**), ist die Dimensionierung des Riemens an jeder belasteten Zahnscheibe durchzuführen. Damit wird sichergestellt, dass bei unterschiedlich großen Umschlingungsbögen und Drehmomenten die gewählte Riemenbreite stets ausreicht, um die auftretenden Belastungen sicher zu ertragen. Dabei kann die gesamte Belastbarkeit des Riemens beliebig auf die Verzahnungen von Vorder- und Rückseite aufgeteilt werden.

4.2 Lineartechnik

In der Lineartechnik sind translatorische Bewegungen erforderlich, die häufig durch Rotations-Translations-Umformer erzeugt werden. Neben Schraubenge trieben (sog. Spindel-Mutter-Systemen) /B28/ kommen auch Zahnriemengetriebe zum Einsatz, **Bild 4.3**. Insbesondere bei großen Verfahrwegen mit hohen Geschwindigkeiten haben diese gegenüber Schraubenge trieben Vorteile. Die Steifigkeiten sowie die Fertigungsgenauigkeiten der Zahnriemen wurden in den letzten Jahren erheblich verbessert, so dass heute Positioniergenauigkeiten im Bereich von $\pm 0,1$ mm erzielbar sind, **Bild 4.4**. Die erreichbaren Wiederholgenauigkeiten, d.h. Positionen immer wieder reproduzierbar anzufahren, liegen sogar bei wenigen 0,01 mm. Kapitel 9 beschreibt Möglichkeiten, erreichbare Genauigkeiten von Linearantrieben mit Zahnriemen zu ermitteln.

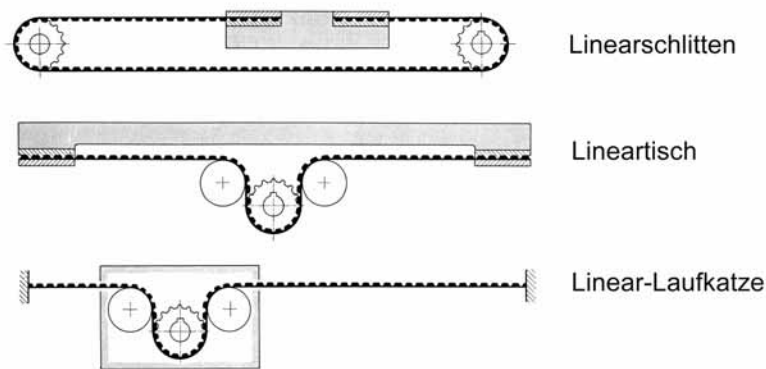


Bild 4.3 Linearantriebe (sog. Linearachsen) mit Zahnriemen (Quelle: Breco Antriebstechnik Breher, Porta Westfalica)

Bedeutsam ist auch, Linearantriebe mit Zahnriemen einfach und kostengünstig aufbauen zu können. Für viele Handlingaufgaben in der Automatisierungstechnik, z.B. für das Be- und Entladen von Werkzeugmaschinen, lassen sich solche Systeme vorteilhaft einsetzen. Eine Reihe von Firmen bieten fertig montierte Linearantriebe an, **Bild 4.5**.

In der Lineartechnik mit Zahnriemen werden überwiegend solche aus PU benutzt, da die verwendeten Stahllitze-Zugstränge sehr kleine Dehnungswerte besitzen und die eingestellten Vorspannungswerte stabil halten.

Bei der Gestaltung derartiger Antriebe ist zu beachten, dass die minimal möglichen Biegeradien des Riemens durch das Einhalten der Mindest-Scheibenzähnezahlen und einer Mindestgröße der Umlenkrollen nicht unterschritten werden. Da häufig kleine Baugrößen erwünscht sind und die Zahnscheiben diese maßgeblich bestimmen, versucht man durch den Einsatz von besonders biegewilligen Sonderzugsträngen im Riemen (z.B. so genannter E-Zugstrang mit vielen dünnen Filamenten aus Stahl) sehr kleine Mindest-Scheibenzähnezahlen zu erreichen.

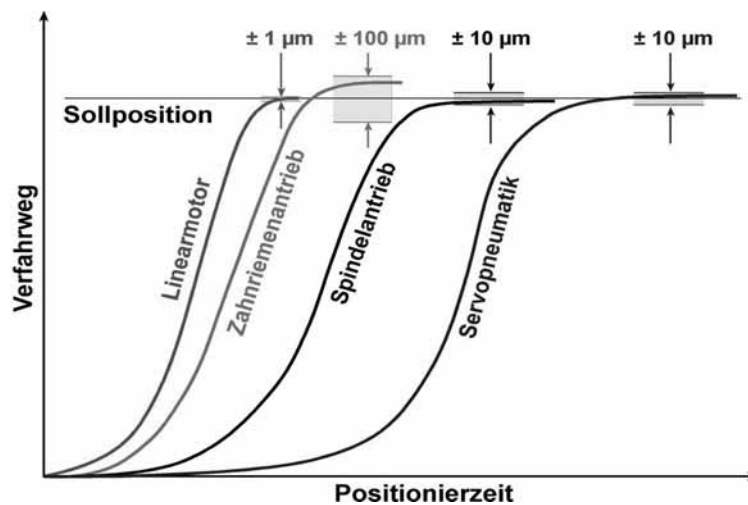


Bild 4.4 Positioniergenauigkeiten verschiedener Linearantriebe im Vergleich /A16/

Die Einspannstelle, z.B. im Schlitten, sollte bei hohen Belastungen formgepaart ausgeführt sein und ohne Verletzung der Zugstränge auskommen. Passende Klemmplatten, die ähnlich einer Zahnstange in die Riemenverzahnung eingreifen, sind handelsüblich /F1/, /F2/.

Auch in der Lineartechnik muss die Vorspannkraft eine bestimmte Mindestgröße haben, um bei kritischen Betriebszuständen eine sichere Bewegungsübertragung zu gewährleisten. Da sich die Trumlängen des Riemens bei Bewegung ständig ändern, gilt als kritische Lage eine Schlittenstellung nahe dem Antrieb. Insbesondere bei großen Längen und hoher Belastung muss in dieser Stellung die Lasttrumdrehung von einem sehr kleinen Leertrum kompensiert werden. Daher sind relativ hohe Vorspannwerte erforderlich. Jedoch ändert sich mit der Vorspannkraft auch die wirksame Teilung des Riemens, deshalb wird dieser mit einer so genannten Minustei-

lung produziert. Das bedeutet, dass der Zahnriemen im Lieferzustand als zu klein erscheint und erst mit dem richtigen Vorspannen Teilungsgleichheit mit der Zahnscheibe erreicht. Dem genauen Einstellen der notwendigen Vorspannkraft ist also besonderes Augenmerk zu widmen, da sich Teilungsunterschiede zwischen Riemen und Scheibe direkt in Abweichungen vom Soll-Vorschubweg niederschlagen. Während die Positionierabweichung (Unterschied zwischen Ist- und Sollposition) also direkt über die Vorspannkraft beeinflussbar ist, bleibt die Wiederholgenauigkeit weitestgehend konstant. Häufig lässt sich dieses Verhalten sogar ausnutzen, in dem man die Vorspannkraft so lange verändert, bis die geringsten Positionierabweichungen gemessen werden. Diese Kraft stellt dann den Wert für die Serienfertigung dar, der aber mittels geeigneter Messtechnik an jedem einzelnen Antrieb genau zu kontrollieren ist (s. Kapitel 6.4).

Die Dimensionierung von Zahnriemen in Linearantrieben beschreibt Kapitel 5.4.



Bild 4.5 Linearantriebe mit Zahnriemen (Quelle: GAS-Automation, St. Georgen)

4.3 Transporttechnik

In der Transporttechnik mit Zahnriemen werden überwiegend solche aus Polyurethan verwendet, da diese eine Reihe von Vorteilen aufweisen. Einerseits lassen sie sich sehr leicht in Meterware herstellen und deren Enden wieder verbinden, so dass ein endloser Riemen beliebig großer Länge entsteht. Zum Verbinden der Enden sind

in diese geeignete V-förmige oder kammartige Aussparungen einzubringen und anschließend zu verschweißen, **Bild 4.6**. Da bei dieser Technologie nur das Polyurethan verschweißt wird und nicht die Zugstränge, muss ein Abschlag von etwa 50 % der Belastbarkeit gegenüber einem normalen Riemen hingenommen werden.

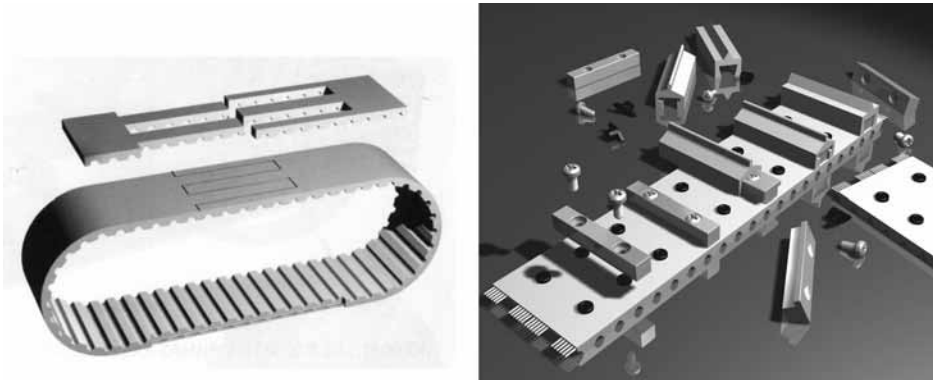





Bild 4.6 Gestaltung der Riemenenden zum Verschweißen (links); lösbare Nocken vom Typ ATN (rechts);
Quelle: Breco Antriebstechnik Breher, Porta Westfalica

Andererseits ist diese Schweißbarkeit des Polyurethans sehr gut geeignet, auf dem Riemenrücken aufgabenspezifisch geformte Nocken in definierten Abständen zu befestigen, **Tabelle 4.1**. Diese Nocken können auch so gestaltet sein, dass Borsten eingelassen sind. Somit entstehen Zahnriemen für Reinigungszwecke oder aber auch zum Transport von empfindlichsten Gütern.

Tabelle 4.1 Möglichkeiten der Nockengestaltung und Anwendungsbeispiele (Auswahl aus /F2/)

Typ 1: Nocken und Zahnriemen aus einer Form - Genauigkeit des Nockenabstandes $\pm 0,05 \text{ mm}$			
Typ 2: Nocken nachträglich aufgeschweißt - kundenspezifische Abstände - Genauigkeit des Nockenabstandes $\pm 0,5 \text{ mm}$ - hunderte Nockenformen verfügbar	