Struktur und Zwangslauf bei mechanischen Getrieben

Dipl.-Ing. Kurt Krechlok

1 Einleitung

In vielen Maschinen und Geräten bilden komplexe Bewegungsabläufe einzelner Arbeitsorgane und deren Zusammenspiel das Kernstück für die Erfüllung der geforderten technischen Funktion. Die technisch-wirtschaftlich optimale Realisierung von Bewegungsabläufen und die Beherrschung ihrer Dynamik sind damit oft entscheidende Voraussetzungen für den Erfolg des Gesamtproduktes. Typische Beispiele dafür sind Maschinen zur Herstellung und Verarbeitung von Textilien, Druck- und Papiermaschinen, Verpackungsmaschinen aller Art sowie Handhabungseinrichtungen, Fördereinrichtungen und Industrieroboter.

Zur mechanischen Lösung solcher Bewegungsaufgaben dienen die ungleichmäßig übersetzenden Kurven- und Gelenkgetriebe, die in vielfältigen Bauformen und Kombinationen mit oft geringem Aufwand sicher und zuverlässig präzise Bewegungsabläufe erzeugen, und das auch bei hohen Geschwindigkeiten und Kräften. In nachfolgenden Ausführungen sollen einige Zusammenhänge zwischen der Getriebestruktur und dem zwangsläufigen Bewegungsablauf mechanischer Getriebe beschrieben werden.

2 Getriebearten [1]

Ein Getriebe ist eine mechanische Einrichtung zum Übertragen (Wandeln oder Umformen) von Bewegungen und Kräften oder zum Führen von Punkten eines Körpers auf bestimmten Bahnen. Es besteht aus beweglich miteinander verbundenen Teilen (Gliedern), wobei deren gegenseitige Bewegungsmöglichkeiten durch die Art der Verbindungen (Gelenke) bestimmt sind.

Ein Glied ist stets Bezugsglied (Gestell), die Mindestzahl der Glieder und Gelenke beträgt jeweils 3.

Der erste Satz der Definition erklärt die Funktion, den Zweck eines Getriebes. Getriebe zum Übertragen von Bewegungen und Kräften werden Übertragungsgetriebe und Getriebe zum Führen von Gliedern Führungsgetriebe genannt.

In Übertragungsgetrieben erfolgt die Bewegungsübertragung nach einer Übertragungsfunktion (Bild 2.1).

Bild 2.1: Block eines Übertragungsgetriebes (ÜG) und Übertragungsfunktion (ÜF) $\psi = \psi(\varphi)$ in diagrammatischer Darstellung

Bild 2.2 zeigt eine Schubkurbel in einem Kolbenverdichter. Dieses Getriebe überträgt die Drehbewegung der Kurbel 2 auf den Kolben 4 und formt sie in eine hin- und hergehende Schubbewegung um. Die Übertragungsfunktion $s_B = s_B(\varphi)$ beschreibt den Zusammenhang des Weges s_B des Kolbens und des Drehwinkels φ der Kurbel.

Bild 2.2: Schubkurbel als Antrieb eines Kolbenverdichters

Beispiele für Führungsgetriebe zeigen die Bilder 2.3–2.6.

Bild 2.3: Schaufellader; K1, K2 Kolbenantrieb für Schaufelbewegung; S Schaufel

Bild 2.4: Garagentor / Bild 2.5: Zeichenmaschine

Bild 2.6: Führungsgetriebe zur Gelenkmobilisation

Eine weitere zweckmäßige Ordnung der mechanischen Getriebe erfolgt nach der räumlichen Anordnung der Getriebeglieder, d.h. nach der räumlichen Lage der Drehachsen und Gelenke. Hierbei sind 3 Fälle unterscheidbar (Bild 2.7).

Benennung	Unterscheidende Merkmale	Beispiele
räumliche Getriebe	die Drehachsen kreuzen sich	
sphärische Getriebe	alle Drehachsen schneiden sich in einem Punkt	
ebene Getriebe	alle Drehachsen liegen parallel	

Bild 2.7: Ordnung der Getriebe nach der Lage der Drehachsen

3 Strukturmerkmale [1]

Für Zwanglaufuntersuchungen relevante Strukturmerkmale sind

g – Anzahl der Gelenke

n – Anzahl der Getriebeglieder

f – Gelenkfreiheitsgrad

Der Gelenkfreiheitsgrad f ist die Anzahl der unabhängig voneinander möglichen Einzelbewegungen (Freiheiten) der beiden Gelenkelemente bzw. die Anzahl der vorhandenen Drehachsen eines Gelenks. Eine geradlinige Bewegung wird dabei als eine Drehbewegung um eine unendlich ferne Drehachse angesehen.

In ebenen und sphärischen Getrieben können Gelenke nur den Freiheitsgrad $f=1$ (allgemein Dreh- und Schubgelenke) und $f=2$ (Verzahnung, Bolzen im Langloch, Kurvgelenke mit Rolle) haben.

Bei räumlichen Gelenken liegt der Gelenkfreiheitsgrad in den Grenzen $1 \leq f \leq 5$.

Ein Beispiel für die Zerlegung der freien räumlichen Bewegung in Einzelbewegungen ist der menschliche Arm (Bild 3.1). An ihm läßt sich überprüfen, daß 6 Drehachsen, die durch die Gelenke bestimmt sind, genügen, um die Hand frei bewegen zu können. Sie kann in begrenzten Bereichen in jede beliebige Lage gebracht werden.

Bild 3.1: Lage und Anzahl der Drehachsen der räumlich frei beweglichen Hand

4 Zwanglauf und Getriebefreiheitsgrad [1]

Allen Getrieben ist zu eigen, daß die Bewegungen ihrer Glieder nach Gesetzmäßigkeiten verlaufen. Diese funda-

mentale Verhaltensweise der Getriebe wird als Zwanglauf bezeichnet. In einem Getriebe herrscht Zwanglauf, wenn jeder Lage eines beliebigen Getriebegliedes die Lagen der anderen Getriebeglieder eindeutig zugeordnet sind.

Bild 4.1: Viergelenkgetriebe ($F=1$) / Bild 4.2: Fünfgelenkgetriebe ($F=2$)

Wird beim Viergelenkgetriebe (Bild 4.1) ein Getriebeglied, z. B. Glied 2, angetrieben, herrscht Zwanglauf. Dagegen müssen beim Fünfgelenkgetriebe (Bild 4.2) zwei Getriebeglieder unabhängig voneinander angetrieben werden, z. B. die Glieder 2 und 5, damit Zwanglauf vorliegt.

Die Anzahl der Getriebeglieder, die in einem Getriebe unabhängig voneinander angetrieben werden müssen, damit Zwanglauf vorliegt, werden durch den Getriebefreiheitsgrad F , auch Laufgrad genannt, ausgedrückt. Der Getriebefreiheitsgrad ist allgemein nicht von den Abmessungen oder der Funktion der Getriebeglieder und auch nicht von der Art der Gelenke abhängig, sondern von einer Beziehung zwischen den Strukturmerkmalen n , g und f (s. Abschnitt 3).

Diese Beziehung wird durch die Zwanglaufgleichung ausgedrückt. Für räumliche Getriebe gilt:

$$F = 6(n-1) - 6g + \sum f \quad (1)$$

Für ebene und sphärische Getriebe gilt:

$$F = 3(n-1) - 2g_1 - g_2 \quad (2)$$

g_1 = Anzahl der Gelenke mit $f=1$; g_2 = Anzahl der Gelenke mit $f=2$

Bei Anwendung der Gleichung (2) auf die ebenen Getriebe nach Bild 4.1 und 4.2 erhält man:

Viergelenkgetriebe: $g_1 = 4$, $n = 4$

$F = 3(4-1) - 2 \times 4 = 1$ (Zwanglauf bei einem Antrieb).

Fünfgelenkgetriebe: $g_1 = 5$, $n = 5$

$F = 3(5-1) - 2 \times 5 = 2$ (Zwanglauf bei zwei Antrieben).

Untersuchungen des Schaufelladers nach Bild 2.3 (ebenes Getriebe, Gleichung (2))

$n = 9$, $g_1 = 11$ (9 Drehgelenke, 2 Schubgelenke)

$F = 3(9-1) - 2 \times 11 = 2$ (Zwanglauf bei zwei Antrieben).

Die zwei Antriebe sind durch K1 und K2 (Kolbenantrieb) gekennzeichnet.

Ein weiteres ebenes Getriebe ist das Räderkoppelgetriebe nach Bild 4.3.

$n = 6$ (Kurbel und Antriebszahnrad ein Glied)

$g_1 = 6$ (2 Einfach- und 2 Doppelgelenke)

$g_2 = 2$ (Zahneingriffsstellen)

Nach (2) wird $F = 3(6-1) - 2 \times 6 - 2 = 1$ (Zwanglauf bei einem Antrieb).

Bild 4.3 Räderkoppelgetriebe

Bild 4.4 Räumliches Kurbelgetriebe

Untersuchung des räumlichen Kurbelgetriebes nach Bild 4.4

$$n = 4$$

$$g_1 = 2 \quad (\text{Drehgelenke})$$

$$g_3 = 2 \quad (\text{Kugलगelenke mit } f = 3)$$

$$\sum_1^4 f = 1 + 1 + 3 + 3 = 8$$

Da ein identischer Freiheitsgrad der beiden Kugलगelenke vorliegt (Kugलगelenkkoppel kann sich unabhängig von der Bewegung des Getriebes um seine eigene Achse drehen), darf bei der Anwendung der Gleichung (1) auf dieses Getriebe für f nur 7 gerechnet werden.

$$F = 6(4-1) - 6 \times 4 + 7 = 1 \quad (\text{Zwanglauf bei einem Antrieb}).$$

Das im Bild 4.5 dargestellte Grundgetriebe einer Knetmaschine ist ein räumliches Getriebe. Antriebsglied ist das Schneckenrad 1. Knetarm 3 und Schneckenrad 1 sind im Gestell 4 gelagert (Schnecke nicht Glied des Grundgetriebes).

Bild 4.5 Grundgetriebe einer Knetmaschine

$$n = 4, g = 4, \sum_1^4 f = 7 \quad \begin{array}{l} \text{Schneckenrad/Gestell } f = 1 \\ \text{Schneckenrad/Kugel } f = 3 \\ \text{Knetarm/Kugel } f = 2 \\ \text{Knetarm/Gestell } f = 2 \end{array}$$

Abzug eines Freiheitsgrades, da sich die Kugel um den Zapfen des Knetarmes unabhängig von der Bewegung des Getriebes bewegen kann.

$$F = 6(4-1) - 6 \times 4 + 7 = 1 \quad (\text{Zwanglauf bei einem Antrieb } b).$$

5 Sonderabmessungen in Getrieben [1], [2]

In der Praxis sind häufig Getriebe anzutreffen, bei denen die Zwanglaufbedingung nicht erfüllt ist, $F=0$ berechnet

wird, obwohl sie beweglich sind. Dieser Widerspruch ergibt sich aus den Sonderabmessungen der Getriebe.

So können z. B. die Kurbeln 2, 3 und 5 des im Bild 5.1 dargestellten Parallelkurbelgetriebes nur dann umlaufen, wenn sie gleich lang und die Dreiecke ABC und $A_0B_0C_0$ kongruent sind.

Bei beliebigen Abmessungen ist das Getriebe starr.

Getriebe, die nur durch Einhaltung von Sonderabmessungen beweglich sind, werden als übergeschlossenen bezeichnet.

Bild 5.1: Zwangläufige Getriebe mit Sonderabmessungen der Getriebeglieder

Eine praktische Anwendung des übergeschlossenen Parallelkurbelgetriebes mit 3 Kurbeln stellt die Parallelkurbel-Kupplung (Schmidt-Kupplung) dar (Bild 5.2). Sie eignet sich zur Verbindung extrem radial verlagelter Wellen auf kürzestem Raum. [2]

Bild 5.2: Parallelkurbel-Kupplung (Schmidt-Kupplung)

Literaturverzeichnis

- [1] Volmer, Getriebetechnik, Grundlagen, 1. Auflage, Verlag Technik GmbH Berlin/München 1992
- [2] Roloff/Matek, Maschinenelemente, 12., neubearbeitete Auflage, Vieweg-Verlag Braunschweig/Wiesbaden 1992

Verfasser

Dipl.-Ing. Kurt Krechlok
Technische Fachhochschule Wildau
Fachbereich Maschinenbau
Tel. (0 33 75) 507-161