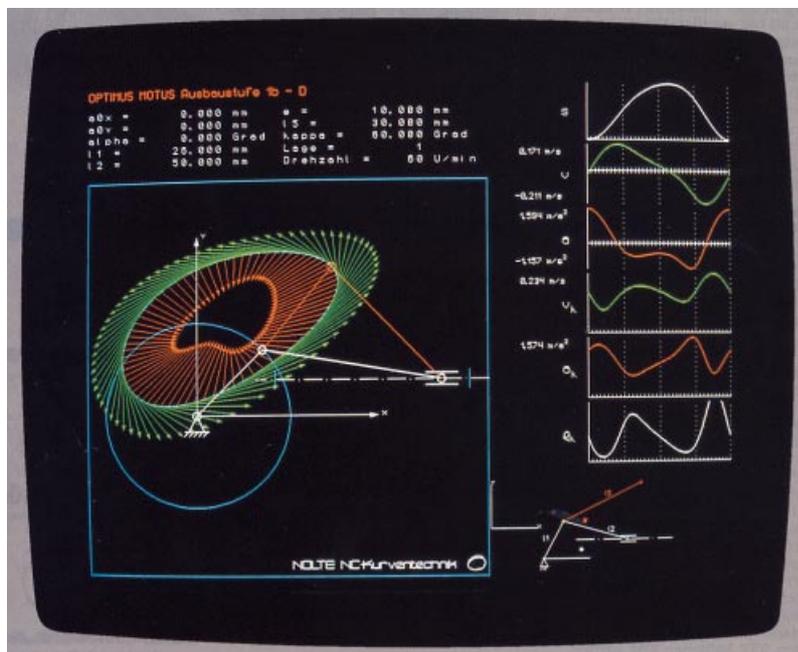


Berechnung und Simulation

Maschinenmarkt 95 Ausgabe 26 - 1989

Computerunterstützte Synthese der Kinematik von Viergelenkgetrieben

Die einfachste Ausbaustufe eines Programms zum Auslegen von Kurven- und Gelenkgetrieben ist auf Viergelenke und Schubkurbeln zugeschnitten. Die Vorgehensweise am Bildschirm wird anhand eines Viergelenkgetriebes, das über eine bestimmte Strecke eine Gerade fahren soll, demonstriert.



Ein Programm zum Berechnen und Simulieren von Kurven- und Gelenkgetrieben unterstützt den Konstrukteur beim Realisieren von ungleichförmigen Bewegungen an Maschinen. Das Programm berechnet die Kurven aufgrund der Eingabedaten und der entsprechenden Bewegungsdiagramme. Dieses Programm gliedert sich in vier Ausbaustufen [1]. Die einfachste Ausbaustufe ist auf Viergelenkgetriebe und Schubkurbeln zugeschnitten und umfaßt die kinematische Analyse, einschließlich

Simulieren und Bewerten. Die Bewertung solcher Getriebe verdeutlichen die Bilder 1 und 2.

Bewegungen dieser Art gibt es in Verpackungsmaschinen, Druckmaschinen, Webstühlen, Pressen, Textilmaschinen, Nähautomaten und anderen Maschinen. Das Programm sollen Ingenieure anwenden, die die Maschinenteknologie beherrschen und ihre aufgabenspezifischen Kenntnisse von den Bewegungsabläufen in die Berechnung einbringen können. Insofern ist das Programm ein Werkzeug, mit dem der Ingenieur sein Know-How effektiv in eine Fertigungsunterlage umsetzen kann.

Um die Arbeitsweise des Programms zu demonstrieren, dient das Beispiel gemäß Bild 3 als Grundlage. Die Aufgabenstellung in diesem Beispiel lautet: Ein Werkzeug, das im Punkt K auf der Koppel befestigt ist, muß gradlinig an einem Produkt entlanggeführt werden. Die Geschwindigkeit des Werkzeugs sollte in diesem Bereich etwa konstant sein. In einer Schleife soll das Werkzeug an den Beginn der Geradföhrung zurücklaufen. Der geradgeföhrte Bereich muß mindestens 100 mm lang sein und in einem Toleranzschlauch von +/- 0.5 mm liegen. Die vorgesehene Kurbelschwinge ist möglichst klein zu bauen. Sie wird am kurzen Lenker mit der konstanten Drehzahl n angetrieben.

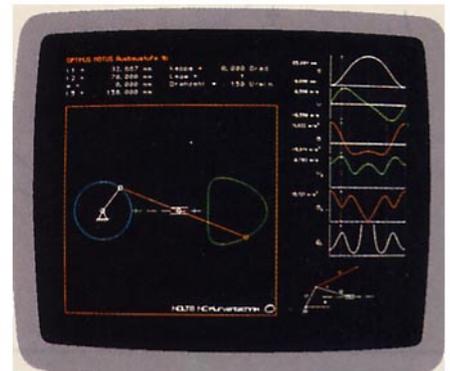


Bild 1: Arbeitsweise eines Schubkurbelgetriebes

Es ergibt sich ein Lösungsansatz dergestalt, daß die Führung des Punktes K mit dem Werkzeug mit Hilfe von repräsentativen Punkten festgelegt wird, die auf der vorgesehenen Werkzeugbahn liegen. Im Beispiel wird die Führungsgerade durch elf Punkte im Abstand von je 10 mm festgelegt. Ziel ist nun, ein kompaktes Viergelenkgetriebe zu finden, dessen Koppelbahn K möglichst nahe an den Bahnpunkten vorbeiläuft. Zunächst startet man das Kinematikprogramm. Es erscheint ein Menü für Getriebetypen (Tafel 1). Weil in diesem Fall ein Viergelenkgetriebe gefragt ist, tippt der Benutzer das "a" an. Es erscheint das Arbeitsmenü für Viergelenkgetriebe (Tafel 2). Das Optimieren beginnt mit dem Festlegen der Geradföhrung. Dazu wird der Punkt m (Referenzkurve) aufgerufen. Diese ist in diesem Falle die Bezeichnung für eine vorgegebene Bahn.

Menüpunkt	Getriebetyp
a	4-Gelenk-Getriebe
b	Schubkurbel
c	Film in Cad-Darstellung
d	Übergabe einer Stellung an Cad
e	Ende

Tafel1: Auswahlmenü für Getriebetypen

Menüpunkt	Menü für Viergelenk
a	Bildschirmfenster
b	Ausgabe auf Peripherie
c	Eingabe oder Änderung
d	Analyse
e	Synthese
f	Simulation
g	Vorsimulation
h	Einzelbildsimulation
i	Tabelle
j	Suchprogramm
k	Laden
l	Speichern
m	Referenzkurve
n	Ende

Tafel 2: Auswahlmenü für Viergelenkgetriebe

Nun tritt ein spezielles Eingabeprogramm in Aktion, ein Tabelleneditor. Die X- und Y-Koordinaten der elf repräsentativen Punkte auf der Geraden lassen sich im Dialog eingeben. Das für den Bezug notwendige Koordinatensystem wird hier in die Mitte der Geradföhrung gelegt, so daß die gerade Strecke von (0,-50) bis (0,50) mm verläuft.

Mit der Editorfunktion a (Anhängen) werden folgende Referenzpunkte festgelegt:

- | | |
|-------------------------|-----------------------|
| 1. $X = 0, Y = - 50.2,$ | 7. $X = 0, Y = 10.8,$ |
| 2. $X = 0, Y = - 40,$ | 8. $X = 0, Y = 20.9,$ |
| 3. $X = 0, Y = - 30.4,$ | 9. $X = 0, Y = 30,$ |
| 4. $X = 0, Y = - 20.5,$ | 10. $X = 0, Y = 40,$ |
| 5. $X = 0, Y = - 10.6,$ | 11. $X = 0, Y = 50,$ |
| 6. $X = 0, Y = 0,$ | |

Mit der Funktion "e" beendet der Benutzer die Eingabe. Erneut erscheint auf dem Eingabebildschirm das Arbeitsmenü. Der Benutzer wählt jetzt zweckmäßig den Punkt "j" (Suchprogramm). Das ist eine Routine, bei der sich mit selektivem Verändern einzelner Getriebemaße die Form der Koppelkurve manuell der Vorgabebahn anpassen läßt.

Neue Koppelkurve erscheint bei jeder Maßveränderung

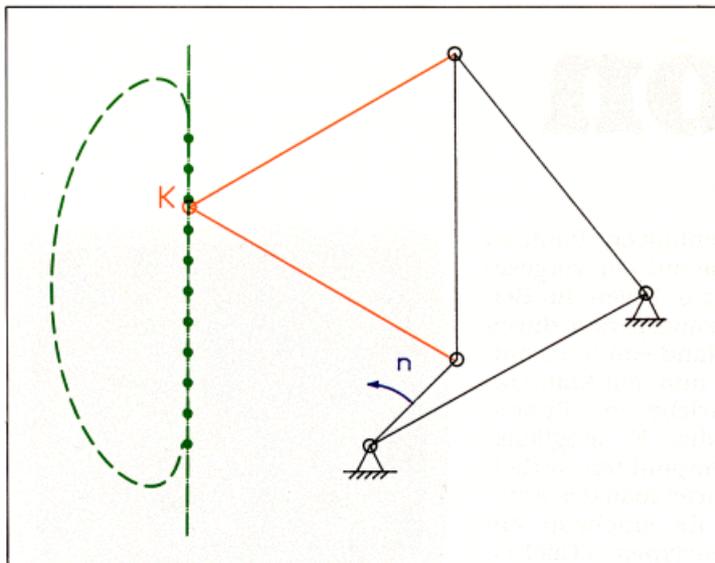


Bild 2: Viereckgetriebe das in einem Bereich von mindestens 100 mm eine Gerade fahren soll

Bei jeder Maßänderung erscheint die neue Koppelkurve zusammen mit der vorgegebenen Referenzkurve auf dem Bildschirm, so daß der Benutzer sofort die Wirkung der Maßänderung erkennt. Auf diese Weise nähert sich der Benutzer relativ schnell (Größenordnung 5 bis 10 Minuten) einer GetriebeLösung, die in etwa die geforderte Koppelkurve verfährt. Beim Start dieser Suchroutine bestehen gewisse Voreinstellungen für die Getriebe-abmessungen, die einen Ausgangspunkt für die Voroptimierung darstellen (Tafel 3).

Dieses Getriebe ist in Bild 3 dargestellt. Die rechte, flache Bucht der Koppelkurve soll später einmal die Geradföhrung ergeben. Zunächst ist diese Ausbuchtung soweit abzuflachen, bis sie als Gerade erscheint. Dazu vergrößert man die Längen 12, 13 und 15 jeweils in gleichem Maße oder verkleinert entsprechend die Kurbellänge 11. Die Koordinate b_{0x} kann zusätzlich verschoben werden, um die Gerade zu verbessern.

Weil in diesem Fall die Koppelkurve eine Neigung erhielt, daß der Geradführungsbereich nicht mehr "senkrecht" stünde, ist die Koordinate b_{0y} entsprechend nachzuführen. Das

Suchprogramm bietet Befehle, um jedes einzelne Maß gezielt zu verändern. Tippt der Benutzer beispielsweise die Taste "2", so kann er das Maß 12 verändern. Drückt er anschließend die Taste "<", so verringert sich das Maß um ein vorgegebenes Inkrement, drückt er ">", so vergrößert sich der Wert um das gleiche Inkrement. Dieses Inkrement läßt sich je nach Feinheit der Untersuchung einstellen. In dieser Weise werden alle Getriebeabmessungen verstellt.

Getriebeabmessungen		Zahlenwerte		
		Bild 3a	Bild 3b	Bild 3c
Koordinaten des Kurbeldrehpunktes a_{0x} a_{0y}	mm	10	65	66.214
	mm	50	-58	-58
Koordinaten des Schwingdrehpunktes a_{0x} a_{0y}	mm	100	165	166.698
	mm	100	0	0
Kurbellänge	11 mm	50	45	43.166
Koppellänge	12 mm	100	110	110
Schwingenlänge	13 mm	100	110	110
Koppelpunktauslenkung	15 mm	100	110	110
Koppelwinkel κ	Grad	60	60	60
Getriebebelage L		1	1	1

Tafel 3: Maßveränderungen eines Gelenkgetriebes während einer Optimierung

Proportionales Anpassen der Getriebemaße

Wenn die Koppelkurve flach genug erscheint, muß man das ganze Getriebe nach rechts unten verschieben, so daß der Geradführungsbereich über der Referenzkurve zu liegen kommt. Dazu werden die Koordinaten a_{0x} und b_{0x} bzw. a_{0y} und b_{0y} jeweils in gleichem Maße verändert.

Wenn der "gerade" Bereich der Koppelkurve zu kurz ist, um alle Referenzpunkte abzudecken, ist das Getriebe zu klein gewählt. Dann sind alle Getriebemaße, außer "kappa", proportional zu vergrößern bis die Koppelkurve groß genug ist. Wenn nur 15 (Koppelpunktauslenkung) verlängert wird, ergibt sich eine unsymmetrische, also nicht optimale, Koppelkurve. Entsprechend können die Maße proportional verkleinert werden, wenn die Koppelkurve zu groß ist, der gerade Bereich also über die Referenzpunkte hinausragt.

Nach einigen Maßänderungen mit dem Suchprogramm entstand eine entsprechend der Aufgabenstellung verbesserte Getriebeversion (Tafel 3). Dieses Getriebe ist in Bild 3b dargestellt. In der Zeichnung sind die elf Punkte der Referenzkurve markiert. Allein durch die manuelle Veränderung der Getriebeabmessungen sind die Abweichungen der Koppelkurve von der Geradführung so verringert worden, daß sie in der zeichnerischen Darstellung kaum noch zu erkennen sind.

Dies ist der Ausgangspunkt für eine rechnerische Optimierung, die das Getriebe systematisch so weit verbessert, daß jede kleine Änderung nur noch eine Verschlechterung der Geradföhrung bedeuten würde.

Iterative Syntheseroutine für Kurvenoptimierungen

Das Kinematikprogramm bietet für solche Optimierungen eine Syntheseroutine, die iterativ arbeitet und somit praktisch bei jeder Randbedingung einsetzbar ist. In diesem Fall besteht die Randbedingung darin, daß die Koppelkurve "möglichst nahe" an den Referenzpunkten vorbeilaufen soll. Möglichst nahe heißt, daß das durchschnittliche Quadrat des Abstandes der Referenzpunkte von der Koppelbahn minimal ist.

Das Kinematikprogramm muß wissen, welche Getriebegrößen bei der Optimierung verändert werden dürfen. Wenn alle Abmessungen frei wären, könnte das Getriebe beliebig groß und die Geradföhrung beliebig genau werden. In diesem Fall kann man davon ausgehen, daß die Koppelkurve symmetrisch bleiben muß. Die Längen 12, 13 und 15 können deshalb gleichgesetzt werden. Die Veränderung dieser Längen kommt aber - bei kleinen Änderungen - in etwa der Änderung von 11 gleich, so daß 12, 13 und 15 konstant bleiben können. a_{0y} und b_{0y} sollen ebenfalls konstant gesetzt werden, die Lageänderung des gesamten Getriebes läßt sich mit a_{0x} und b_{0x} ausreichend erfassen, wenn man davon ausgeht, daß die Koppelkurve in Y-Richtung genau genug ausgerichtet ist. Diese Ausrichtung ist hier von untergeordneter Bedeutung und kann als Korrektur später

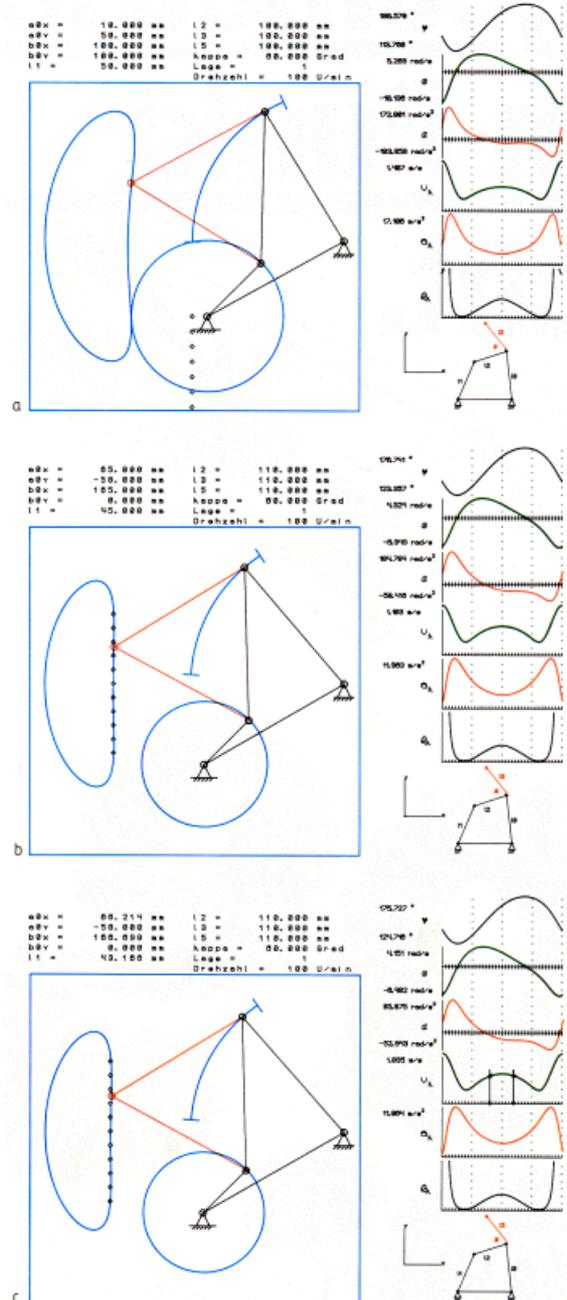


Bild 3: Verschiedene Stufen bei der Computeroptimierung des Getriebes gemäß Bild 2
 a Voroptimiertes Getriebe, die flache Bucht der Koppelföhrung soll zu einer Geradföhrung werden. b in Optimierungsläufen ergab sich die Startvorgabe für eine rechnerische Optimierung. c Endausführung nach rechnerischer Optimierung

angebracht werden, wenn die größte und kleinste Auslenkung der symmetrischen Koppelkurve in Y-Richtung bekannt ist. Der Winkel kappa soll zunächst nicht für die Optimierung herangezogen werden, um den Rechenaufwand gering zu halten.

Wenn F die Fehlerfunktion für die Abweichung der Koppelkurve von der Referenzkurve ist, muß das im rechnerischen Sinne optimale Getriebe folgende Eigenschaften haben:

$$\begin{array}{ccc} \bullet F & \bullet F & \bullet F \\ \text{---} = 0 & ; \text{---} = 0 & ; \text{---} = 0 \\ \bullet l_1 & \bullet a_{0x} & \bullet b_{0x} \end{array}$$

Nachdem aus dem Arbeitsmenü für Viereckgetriebe der Punkt e (Synthese) aufgerufen wurde, gibt der Benutzer diese drei Bedingungen für ein optimales Getriebe über Kennziffern ein. Anschließend gibt er die geforderte oberste Grenze für den Gesamtfehler bei der Optimierung an. In diesem Beispiel wurde der Wert auf 0.000001 gesetzt. Der Gesamtfehler hat keine feste Einheit. Er stellt die Summe der Differenzbeträge in den konditionierten Bedingungsgleichungen dar.

Abschließend gibt man die Startwerte für die Optimierungen ein. Es reicht aus, die optimierten Werte aus dem Suchprogramm, die der Rechner automatisch anbietet, zu bestätigen. Damit wird die Synthese gestartet, und nach zwei Optimierungsschritten gibt das Kinematikprogramm die neue Lösung aus (Tafel 3).

Diese Lösung liegt relativ nahe an der Startvorgabe, kann somit übernommen werden. In der Darstellung (Bild 3c) ist sie kaum von der Startvorgabe (Bild 3b) zu unterscheiden. Um einen genauen Überblick über die Abweichung von der Geradföhrung zu bekommen (diese ist nicht null, sondern minimal in bezug auf die optimierten Parameter), zieht man am besten die Tabelle heran, die unter Menüpunkt "i" ausgegeben wird. Die weitere Vorgehensweise wird in einem anderen Beitrag erläutert.

Schrifttum

- (1) Nolte, Rainer: Programm zum Auslegen eines Kurvengetriebes mit Schwinge oder Stößel. Maschinenmarkt 95 (1989) 21,
- (2) Nolte, Rainer: Rechnerprogramm vereinfacht das Auslegen von Kurvengetrieben. Maschinenmarkt 91 (1985) Seite 1603 - 1604.