

Kinematische Analyse räumlicher Getriebe

1. Einführung

Wird zur Lösung einer Bewegungsaufgabe ein Getriebe vorgegeben, so kann es unter vielen verschiedenen Aspekten und mit unterschiedlichen Methoden untersucht, analysiert werden. Besonders wichtig ist für die Beurteilung eines Getriebes die kinematische Betrachtung, da eine Einhaltung der geometrischen Modelle sehr wichtig für die korrekte Ausführung der Funktion des Getriebes ist. Daneben existieren natürlich viele weitere Kriterien für die Funktionalität und Güte eines Getriebes wie z. B. Übertragungswinkel, Kraftangriffswinkel, Beschleunigungsgrad etc., die zum Teil auch bei der Synthese von Getrieben wichtig sind.

Ich möchte in diesem Vortrag die rein differentialgeometrische Analyse von Getrieben behandeln. Es sind schon verschiedentlich Anstrengungen unternommen worden, dieses Problem teilweise zu lösen. So z. B. wird im VDI-Ausschuß eine 2-D-Version behandelt, die von Braune, Gauchel und Franzke eingebracht wurde.

Davon ausgehend soll diese Arbeit 3-dimensionale Getriebe behandeln. Im Zusammenhang dieses tools mit einem Simulationsprogramm für Getriebe mit den Bewegungsgesetzen nach VDI 2143 können beliebig Antriebe simuliert werden, die dann die Äquidistante einer Abtriebskoppelkurve erzeugen. Diese Kurven sind allerdings 2-dimensional.

2. Aufgabenstellung

Die kinematische Analyse von Getrieben als so gestellte Aufgabe umfaßt eine möglichst große Klasse von Getrieben. Mit einem Modell, das beansprucht, Getriebe analysieren zu können, muß man alle, zumindest aber alle in der Praxis vorkommenden Getriebe analysieren können. Das erfordert wegen der Infinitheit der Menge der möglichen Getriebe die Möglichkeit einer strukturellen Anpassungsfähigkeit des Lösungsmodells. Es wird zudem gefordert, in einem Getriebe in einem Momentanzustand an beliebigen Elementen Richtungsvektoren für Weg, Geschwindigkeit und Beschleunigung zu bestimmen, wenn der Momentanzustand des Getriebes vollständig und eindeutig bestimmt ist, d. h. für die vorgegebenen kinematischen Abmessungen darf keine Gliedlage unbestimmt sein.

Außerdem soll man an allen Punkten, wo Elemente vorkommen, die Krümmungsradien der entsprechenden Koppelkurven bestimmen können.

3. Lösungsansatz

Zur Lösung dieser Aufgabenstellung bietet es sich an, ein Lösungsschema zu benutzen wie Braune, Gauchel und Franzke in der VDI-Richtlinie 2119. Dabei wird ein Getriebe immer auf einen minimalen Satz von Einzelgliedern und Zweischlägen zurückgeführt, die sich über bestimmte Mechanismen miteinander koppeln lassen. Stellt man einen eben ausreichenden Satz von Getriebeteilen zusammen, mit dem alle Getriebe darstellbar sind und die jeweils alle geforderten Kinematischen Größen aus ihren Argumenten berechnen, so ist dieses Modell fähig, seine Aufgabe zu lösen.

3.1. Einzelne Getriebeteile

Die Getriebeteile, Einzelglieder und Zweischläge sowie 2-D-Adapter, sind in Bild 1 zusammengestellt. Jedes dieser Getriebeteile benötigt Eingabedaten. Das können Punkte, Winkel, Längen oder Auswahlwerte sein (In manchen Getriebeteilen existieren 2 Lösungen, in diesem Fall bestimmt der Auswahlwert eindeutig die Gliedlagen).

Diese Daten sind folgendermaßen dargestellt (siehe auch Bild): Ein Punkt ist eine Datenstruktur, die die Wege, Geschwindigkeiten und Beschleunigungen der drei Dimensionen komponentenweise zusammenfaßt. Ein Winkel ist eine Datenstruktur, die eindeutig die Richtung eines Vektors im Raum festlegt. Die 1. Komponente, z. B. alpha, selektiert aus der Menge aller zur xy-Grundebene senkrecht stehenden Ebenen eine einzige eindeutig heraus. Dabei wird für jeden Teilwinkel Weg, Geschwindigkeit und Beschleunigung vermerkt. Eine Länge gibt den Abstand zweier Punkte an, auch mit zwei Ableitungen. Mit Hilfe solcher Eingabedaten errechnet jedes Modul bestimmte ebenso darstellbare Funktionswerte.

Analyse d. dimensionaler Getriebe

Elemente der Lagedefinition von Gliedern (siehe z. B. ①):

1.: Punkte
 $P(x|y|z)$
 $\vec{p}(x|y|z)$
 $\vec{p}(x|y|z)$

2.: Winkel
 μ, δ
 μ, δ
 μ, δ

3.: Längen
 l
 l
 l

Definition von Positionen

Definition von Richtungen

Definition von Entfernungen

Definitionsmethode für Getriebe:
 Ablegen der kinematischen Abmessungen und berechneten Größen in nummerierte Speicherzellen.

Zerlegen des Getriebes in Einzelglieder und Zweischläge I-VIII, Zuordnung von Speicherzellen adressen zu den Punkten, Winkeln und Längen jeweils unabhängig, Angabe dieser Adressen bei der Identifizierung der in den formalen Schemata (links) geforderten Größen, Festlegung der Konstanten über die Adressen mit Indizes (.1 für Punkt, .2 für Winkel, .3 für Längen, .4 für L).

* nicht analog II-D, Adapter

① geg.: $P_0, l, (\alpha, \beta), (\mu, \delta)$
 ges.: P

② geg.: $(\mu_1, \delta_1), P_0, l, (\alpha, \beta), (\mu, \delta), L$
 ges.: $P, (\mu, \delta), l$

③ geg.: P_0, P
 ges.: $(\mu, \delta), l$

④ geg.: $l_1, l_2, (\alpha, \beta), L_1, P_1, P_2$
 ges.: $(\mu_1, \delta_1), (\mu_2, \delta_2)$

⑤ geg.: $P_1, P_2, l_1, (\mu_1, \delta_1), L, (\alpha, \beta)$
 ges.: $(\mu, \delta), l$

⑥ geg.: $(\mu_1, \delta_1), (\mu_2, \delta_2), (\alpha, \beta), L$
 ges.: $(\mu_1, \delta_1), l_1, l_2$

⑦ geg.: $P_0, P, P_1, P_2, (\mu_1, \delta_1), (\mu_2, \delta_2), (\alpha, \beta)$
 ges.: $(\mu, \delta), l$

⑧ geg.: $(\mu_1, \delta_1), (\mu_2, \delta_2), (\alpha, \beta), (\mu, \delta), L$
 ges.: $(\mu_1, \delta_1), l_1, l_2$

⑨ geg.: $(\mu_1, \delta_1), (\mu_2, \delta_2), (\alpha, \beta), (\mu, \delta), L$
 ges.: $(\mu_1, \delta_1), l_1, l_2$

⑩ geg.: $(\mu_1, \delta_1), (\mu_2, \delta_2), (\alpha, \beta), (\mu, \delta), L$
 ges.: $(\mu_1, \delta_1), l_1, l_2$

⑪ geg.: $(\mu_1, \delta_1), (\mu_2, \delta_2), (\alpha, \beta), (\mu, \delta), L$
 ges.: $(\mu_1, \delta_1), l_1, l_2$

⑫ geg.: $(\mu_1, \delta_1), (\mu_2, \delta_2), (\alpha, \beta), (\mu, \delta), L$
 ges.: $(\mu_1, \delta_1), l_1, l_2$

⑬ geg.: $(\mu_1, \delta_1), (\mu_2, \delta_2), (\alpha, \beta), (\mu, \delta), L$
 ges.: $(\mu_1, \delta_1), l_1, l_2$

⑭ geg.: $(\mu_1, \delta_1), (\mu_2, \delta_2), (\alpha, \beta), (\mu, \delta), L$
 ges.: $(\mu_1, \delta_1), l_1, l_2$

⑮ geg.: $(\mu_1, \delta_1), (\mu_2, \delta_2), (\alpha, \beta), (\mu, \delta), L$
 ges.: $(\mu_1, \delta_1), l_1, l_2$

⑯ geg.: $(\mu_1, \delta_1), (\mu_2, \delta_2), (\alpha, \beta), (\mu, \delta), L$
 ges.: $(\mu_1, \delta_1), l_1, l_2$

⑰ geg.: $(\mu_1, \delta_1), (\mu_2, \delta_2), (\alpha, \beta), (\mu, \delta), L$
 ges.: $(\mu_1, \delta_1), l_1, l_2$

⑱ geg.: $(\mu_1, \delta_1), (\mu_2, \delta_2), (\alpha, \beta), (\mu, \delta), L$
 ges.: $(\mu_1, \delta_1), l_1, l_2$

⑲ geg.: $(\mu_1, \delta_1), (\mu_2, \delta_2), (\alpha, \beta), (\mu, \delta), L$
 ges.: $(\mu_1, \delta_1), l_1, l_2$

⑳ geg.: $(\mu_1, \delta_1), (\mu_2, \delta_2), (\alpha, \beta), (\mu, \delta), L$
 ges.: $(\mu_1, \delta_1), l_1, l_2$

㉑ geg.: $(\mu_1, \delta_1), (\mu_2, \delta_2), (\alpha, \beta), (\mu, \delta), L$
 ges.: $(\mu_1, \delta_1), l_1, l_2$

㉒ geg.: $(\mu_1, \delta_1), (\mu_2, \delta_2), (\alpha, \beta), (\mu, \delta), L$
 ges.: $(\mu_1, \delta_1), l_1, l_2$

㉓ geg.: $(\mu_1, \delta_1), (\mu_2, \delta_2), (\alpha, \beta), (\mu, \delta), L$
 ges.: $(\mu_1, \delta_1), l_1, l_2$

㉔ geg.: $(\mu_1, \delta_1), (\mu_2, \delta_2), (\alpha, \beta), (\mu, \delta), L$
 ges.: $(\mu_1, \delta_1), l_1, l_2$

㉕ geg.: $(\mu_1, \delta_1), (\mu_2, \delta_2), (\alpha, \beta), (\mu, \delta), L$
 ges.: $(\mu_1, \delta_1), l_1, l_2$

㉖ geg.: $(\mu_1, \delta_1), (\mu_2, \delta_2), (\alpha, \beta), (\mu, \delta), L$
 ges.: $(\mu_1, \delta_1), l_1, l_2$

㉗ geg.: $(\mu_1, \delta_1), (\mu_2, \delta_2), (\alpha, \beta), (\mu, \delta), L$
 ges.: $(\mu_1, \delta_1), l_1, l_2$

㉘ geg.: $(\mu_1, \delta_1), (\mu_2, \delta_2), (\alpha, \beta), (\mu, \delta), L$
 ges.: $(\mu_1, \delta_1), l_1, l_2$

㉙ geg.: $(\mu_1, \delta_1), (\mu_2, \delta_2), (\alpha, \beta), (\mu, \delta), L$
 ges.: $(\mu_1, \delta_1), l_1, l_2$

㉚ geg.: $(\mu_1, \delta_1), (\mu_2, \delta_2), (\alpha, \beta), (\mu, \delta), L$
 ges.: $(\mu_1, \delta_1), l_1, l_2$

㉛ geg.: $(\mu_1, \delta_1), (\mu_2, \delta_2), (\alpha, \beta), (\mu, \delta), L$
 ges.: $(\mu_1, \delta_1), l_1, l_2$

㉜ geg.: $(\mu_1, \delta_1), (\mu_2, \delta_2), (\alpha, \beta), (\mu, \delta), L$
 ges.: $(\mu_1, \delta_1), l_1, l_2$

㉝ geg.: $(\mu_1, \delta_1), (\mu_2, \delta_2), (\alpha, \beta), (\mu, \delta), L$
 ges.: $(\mu_1, \delta_1), l_1, l_2$

㉞ geg.: $(\mu_1, \delta_1), (\mu_2, \delta_2), (\alpha, \beta), (\mu, \delta), L$
 ges.: $(\mu_1, \delta_1), l_1, l_2$

㉟ geg.: $(\mu_1, \delta_1), (\mu_2, \delta_2), (\alpha, \beta), (\mu, \delta), L$
 ges.: $(\mu_1, \delta_1), l_1, l_2$

㊱ geg.: $(\mu_1, \delta_1), (\mu_2, \delta_2), (\alpha, \beta), (\mu, \delta), L$
 ges.: $(\mu_1, \delta_1), l_1, l_2$

㊲ geg.: $(\mu_1, \delta_1), (\mu_2, \delta_2), (\alpha, \beta), (\mu, \delta), L$
 ges.: $(\mu_1, \delta_1), l_1, l_2$

㊳ geg.: $(\mu_1, \delta_1), (\mu_2, \delta_2), (\alpha, \beta), (\mu, \delta), L$
 ges.: $(\mu_1, \delta_1), l_1, l_2$

㊴ geg.: $(\mu_1, \delta_1), (\mu_2, \delta_2), (\alpha, \beta), (\mu, \delta), L$
 ges.: $(\mu_1, \delta_1), l_1, l_2$

㊵ geg.: $(\mu_1, \delta_1), (\mu_2, \delta_2), (\alpha, \beta), (\mu, \delta), L$
 ges.: $(\mu_1, \delta_1), l_1, l_2$

㊶ geg.: $(\mu_1, \delta_1), (\mu_2, \delta_2), (\alpha, \beta), (\mu, \delta), L$
 ges.: $(\mu_1, \delta_1), l_1, l_2$

㊷ geg.: $(\mu_1, \delta_1), (\mu_2, \delta_2), (\alpha, \beta), (\mu, \delta), L$
 ges.: $(\mu_1, \delta_1), l_1, l_2$

㊸ geg.: $(\mu_1, \delta_1), (\mu_2, \delta_2), (\alpha, \beta), (\mu, \delta), L$
 ges.: $(\mu_1, \delta_1), l_1, l_2$

㊹ geg.: $(\mu_1, \delta_1), (\mu_2, \delta_2), (\alpha, \beta), (\mu, \delta), L$
 ges.: $(\mu_1, \delta_1), l_1, l_2$

㊺ geg.: $(\mu_1, \delta_1), (\mu_2, \delta_2), (\alpha, \beta), (\mu, \delta), L$
 ges.: $(\mu_1, \delta_1), l_1, l_2$

㊻ geg.: $(\mu_1, \delta_1), (\mu_2, \delta_2), (\alpha, \beta), (\mu, \delta), L$
 ges.: $(\mu_1, \delta_1), l_1, l_2$

㊼ geg.: $(\mu_1, \delta_1), (\mu_2, \delta_2), (\alpha, \beta), (\mu, \delta), L$
 ges.: $(\mu_1, \delta_1), l_1, l_2$

㊽ geg.: $(\mu_1, \delta_1), (\mu_2, \delta_2), (\alpha, \beta), (\mu, \delta), L$
 ges.: $(\mu_1, \delta_1), l_1, l_2$

㊾ geg.: $(\mu_1, \delta_1), (\mu_2, \delta_2), (\alpha, \beta), (\mu, \delta), L$
 ges.: $(\mu_1, \delta_1), l_1, l_2$

㊿ geg.: $(\mu_1, \delta_1), (\mu_2, \delta_2), (\alpha, \beta), (\mu, \delta), L$
 ges.: $(\mu_1, \delta_1), l_1, l_2$

3.2. Simulation komplexer Getriebe

Es hilft natürlich wenig, nur einzelne Getriebeteile durchrechnen zu können. Es bedarf eine Verfahrens, das einzelne elementare Teile verknüpfen kann. Dazu habe ich mir folgendes Modell einfallen lassen: Eine kinematische Größe wird nicht direkt durch seine Zahlenwerte repräsentiert, sondern durch eine Adresse. Jede für die Berechnung erforderliche Größe erhält eine Nummer, für Punkte, Winkel und Längen jeweils selbständig. Muß bei der Definition eines Getriebeteils eine Größe angegeben werden, so wird seine Adresse hinterlegt. Die Zahlenwerte, die aktuell verarbeitet werden, müssen an anderer Stelle, z. B. in Simulationsprogrammen, übergeordneten Prozeduren oder Eingaberoutinen explizit über die Adressen in die referenzierten Speicherstellen geschrieben werden (Das gilt z. B. für Konstanten oder Antriebsgrößen).

Die Verbindung zweier elementarer Getriebeteile, die in der Reihenfolge ihrer Definition durchgerechnet werden, wird dadurch bewerkstelligt, daß man in diesen Definitionen Adressen als Argumentadressen angeben kann, die in vorangegangenen Getriebeteildefinitionen für Funktionswerte benutzt wurden. Die Speicherstellen des Rechners werden also als Kommunikationswege für Einzelglieder und Zweischläge verwendet. Ein Zustand des Getriebes wird also definiert, indem alle die Speicherzellen des Programms mit kinematischen Größen gefüllt werden, auf die die weiteren Getriebeteile ihre Berechnung aufbauen. Vornehmlich die Zellen, denen zuletzt etwas zugewiesen wurde, beinhalten die Funktionswerte des Getriebes.

3.3 Definition von Getrieben

Nachdem das Modell der Repräsentation von Getrieben erklärt ist, entsteht die Frage, wie man eine Getriebedefinition folgerichtig aufbaut. Angenommen, daß von den dieses Modul aufrufenden Programmen alle notwendigen kinematischen Größen in die richtigen Speicherzellen geschrieben werden. Dann stellen diese Größen für das Getriebeanalysemodul die Antriebs- oder Ausgangsgrößen dar.

Die ersten Teildefinitionen müssen sich also dieser Werte als Argumente bedienen. Jedes weitere Modul kann sich nur auf die Funktionswerte seiner Vorgänger stützen. Daher versucht man am besten, das Getriebe von den Antrieben her den elementaren Getriebeteilen gemäß aufzubauen. Im vorgegebenen kinematischen Schema sucht man iterativ nach elementaren Einzelglied- und Zweischlagmustern.

Am Ende der Kette steht der oder die Abtriebe. Stellt man diese Abfolge der Berechnung als Graph dar (Knoten sind kinematische Größen bzw. Getriebemodule, Kanten Verbindungen von Größen mit Modulen), so ist dieser gerichtet und azyklisch. Hat ein definiertes Getriebeteil mehrere Argumente, die aus verschiedenen Vorgängermodulen stammen, so ist die Reihenfolge deren Abarbeitung beliebig und nur durch die Reihenfolge ihrer Definition determiniert. Die Zyklizität des Graphen schließt ein, daß jedes Modul immer alle benötigten Größen kennt oder den Fehler selbständig erkennen kann.

3.4. Anknüpfung an ein Simulationsprogramm

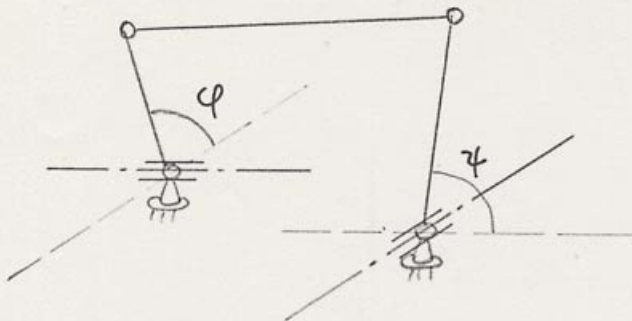
Wird das oben dargestellte Modell für kinematische Getriebeanalyse programmiert, so ist dies allein nur ein Werkzeug, das momentane Getriebestellungen durchrechnet.

In einem Simulationsprogramm, das bei Nolte NC-Kurventechnik entwickelt wird, lassen sich verschiedene Antriebe unabhängig voneinander über Bewegungsgesetze nach VDI 2143 u. a. als Ausgangsgrößen für ein ebenfalls definierbares Getriebe verwenden. Nach einer Konvention werden die nach Punkt-, Dreh-, oder Hubbewegung klassifizierten Bewegungen in die ersten n Speicherzellen des Getriebemoduls geschrieben. Der letzte Punkt gibt bei der punktwisen Iteration eine Koppelkurve (2-D), deren Äquidistante mit dem generierten Lochstreifen fräsbar ist. Ein analysierendes Getriebemodul läßt sich auch für die iterative Getriebesynthese verwenden.

4. Funktionsbeispiel

Im folgenden wird an einem Beispiel die Arbeitsweise des 3-D-Getriebeanalysemoduls gezeigt.

Beispiel Kurbelschwinge oder Doppelkurbel



Der Antriebswinkel hat die Adresse 3,
der Abtriebswinkel 10.

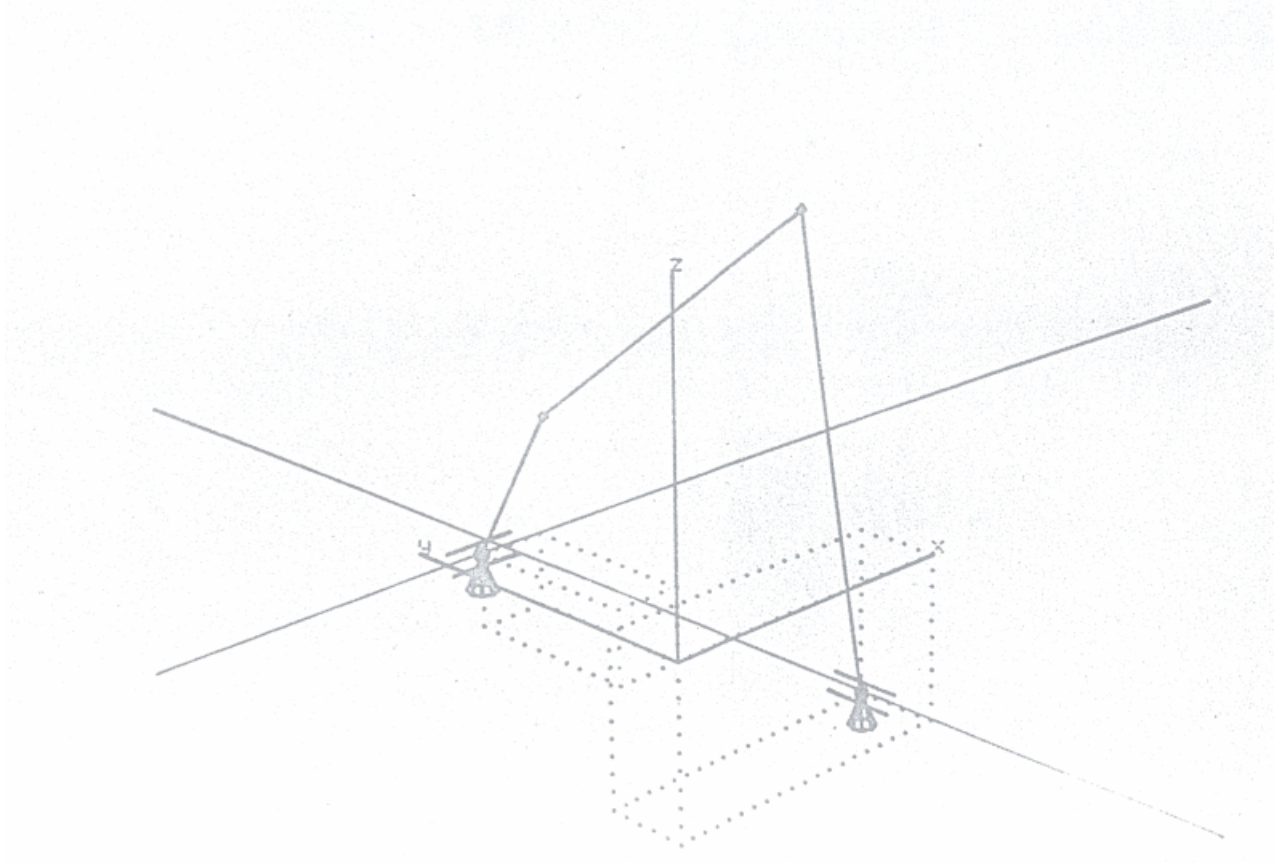
Die Daten für die Strukturdefinition:

- 1.: II* 1 2 3 1 4
- 2.: I 1 1 5 4 2
- 3.: IV 2 3 6 1 3 2 8 7
- 4.: I 3 2 9 8 8
- 5.: VII* 3 8 5 6 7 10

Konstanten (alle Geschwindigkeiten und Beschleunigungen sind 0):

- | | |
|----------------|-------------------|
| 1.2: 90 0 | 2.3: 2 |
| 2.2: 0 0 | 6.2: 90 0 |
| 3.2: 0 90 | 1.4: 1 |
| 1.1: 0 0 0 | 3.1: 1 0 -0,5 |
| 1.3: 1 | 5.1: 2 0 -0,5 |
| 5.2: 0 0 | 6.1: 1 0 9,5 |
| 2.3: 3 | |

N O L T E N C - K U R V E N T E C H N I K B I E L E F E L D



5. Ergebnis

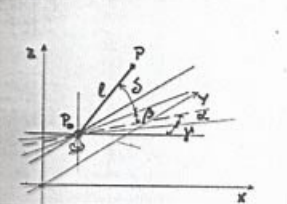
Das hier angedeutete Modell 3-dimensionaler Getriebeanalyse ist für die Lösung einer allgemeinen Analyseaufgabe minimal an Aufwand, obwohl die Herleitungen für die Getriebeteile umfangreich sind. Ein danach erstelltes Programm scheint laufzeitmäßig Speziallösungen unterlegen zu sein, doch muß bedacht werden, daß jedes Spezialprogramm für ein n-Gelenk im Raum lange Programmier- und Testzeiten bedeutet. Unnützlich ist solch ein Programm sicher nicht. Diese systematische Lösung wird wichtig werden, weil immer mehr und immer komplexere kinematische Aufgaben gelöst werden müssen, auch im Raum. Eindeutig sind Leistungssteigerungen bei Getrieben zu verzeichnen, wenn nicht auf die exaktere Theorie verzichtet wurde.

6. Schrifttum

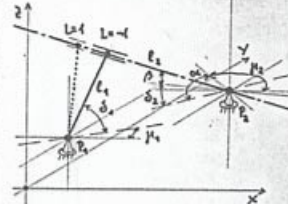
VDI-Richtlinie 2119

VDI-Richtlinie 2143

I geg.: $P_0, \ell, (\alpha, \beta), (\mu, \delta)$
ges.: P






V geg.: $P_1, P_2, \ell_1, (\mu_1, \delta_1), L_1, (\alpha, \beta)$
ges.: $\ell_2, (\mu_2, \delta_2)$



Analyse dreidimensionaler Getriebe

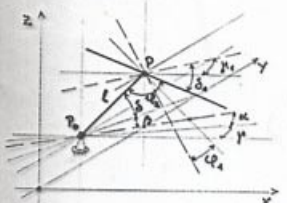
Elemente der Lagedefinition von Gliedern (siehe z. B. **III**):

1.: Punkte	$P(x y z)$ $\vec{p}(x y z)$ $\vec{p}(x y z)$	Definition von Positionen	
2.: Winkel	μ, δ μ, δ μ, δ	Definition von Richtungen	
3.: Längen	ℓ $\vec{\ell}$	Definition von Entfernungen	

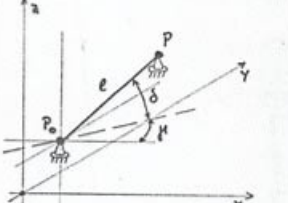
Definitionsmethode für Getriebe:
Ablegen der kinematischen Abmessungen und berechneten Größen in unnummerierte Speicherzellen.
Zerlegen des Getriebes in Einzelglieder und Zweischläge I-VIII, Zuordnung von Speicherzellenadressen zu den Punkten, Winkeln und Längen jeweils unabhängig, Angabe dieser Adresse bei der Identifizierung der in den formalen Schemata (links) geforderten Größen, Festlegen der Konstanten über die Adressen mit Indizes (.1 für Punkt, .2 für Winkel, .3 für Längen, .4 für L).

* nicht analog II-D, Adressen

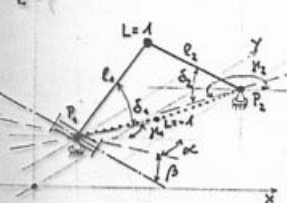
III geg.: $(\varphi_1, \varphi_2), P_0, \ell, (\alpha, \beta), (\mu, \delta)$
ges.: $P, (\mu_1, \delta_1)$ L



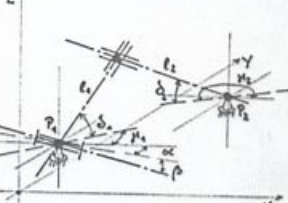
VI geg.: P_0, P
ges.: $(\mu, \delta), \ell$



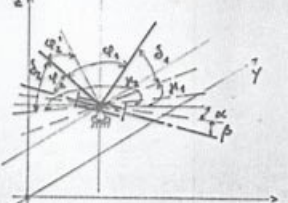
IV geg.: $\ell_1, \ell_2, (\alpha_1, \beta), L, P_1, P_2$
ges.: $(\mu_1, \delta_1), (\mu_2, \delta_2)$



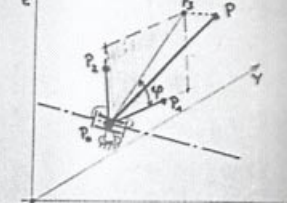
VIII geg.: $P_1, P_2, (\mu_1, \delta_1), (\alpha, \beta)$
ges.: $(\mu_2, \delta_2), \ell_1, \ell_2$



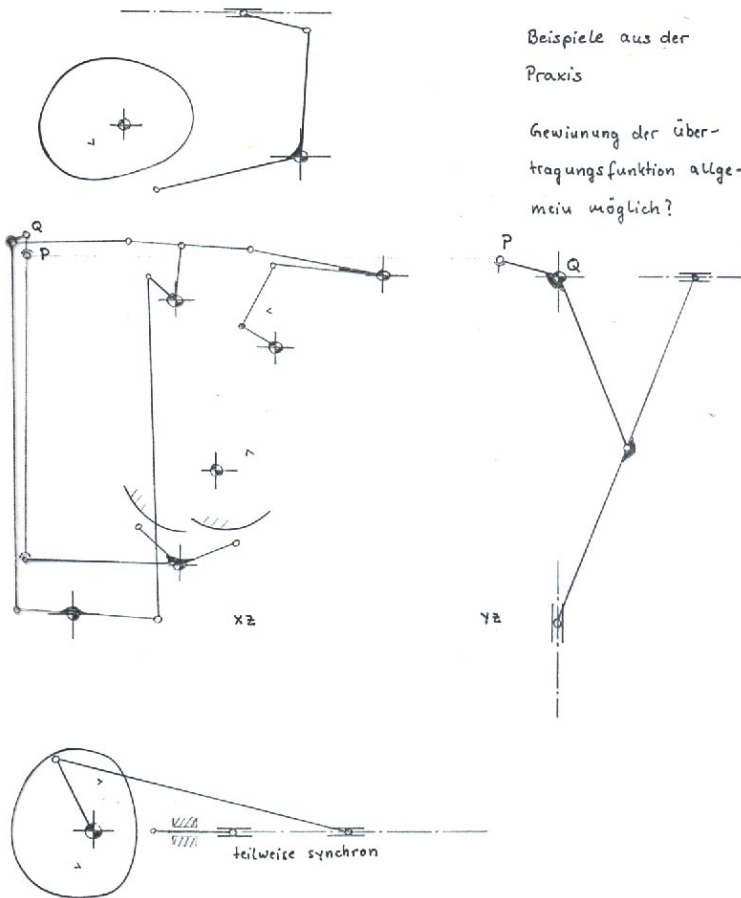
II* geg.: $(\mu_1, \delta_1), (\alpha, \beta), (\varphi_1, \varphi_2), L$
ges.: (μ_2, δ_2)



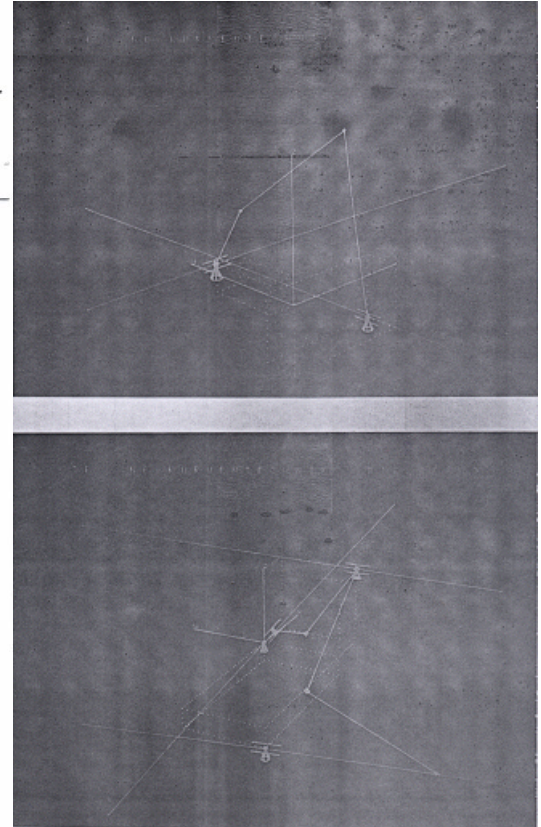
VII* geg.: P_0, P, P_1, P_2
ges.: P_3, φ



Folie 1



Folie 2



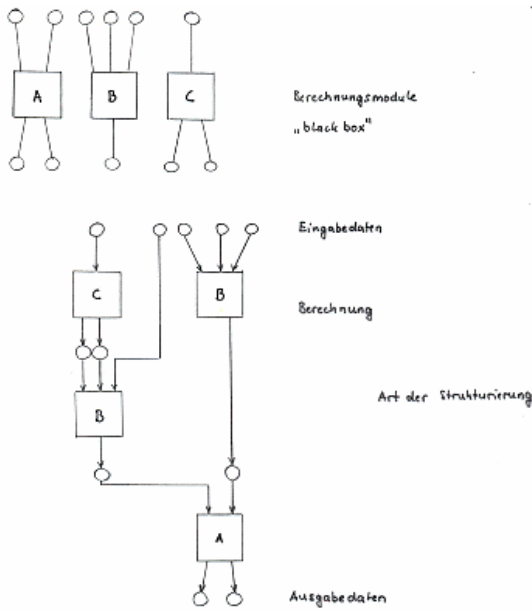
Folie 3

Beispiele bisheriger Lösungen:

- graphische Analyseverfahren (ungenau, langsam)
- Vektorgleichungen (Zwangsgleichungen) (aufwendig)
- Bibliothek von Getriebetypen (aufwendig, nicht allgemein)
- als integrierte Bausteine von CAD-Systemen oder komplexen Simulationsprogrammen für mechanische Systeme (als Paket teuer)

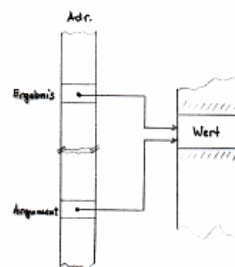
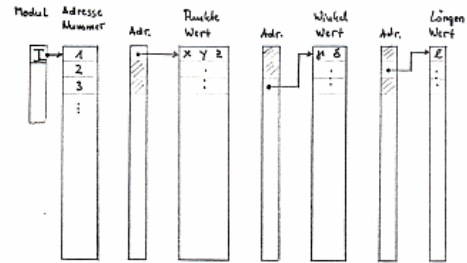
insbesondere für räumliche Getriebe schwierig!

Folie 4



- Getriebe relativ leicht modellierbar / definierbar
- Allgemeinheit durch Strukturierbarkeit
- Einfachheit durch minimale Anzahl von Modulen
- sinnvoll im Rechereinsatz: Leicht als Menge von Prozeduren, Bibliothek von Funktionen programmierbar
- flexibel in der Anwendung (auch II-D, III-D)

Folie 5



Verkettung:

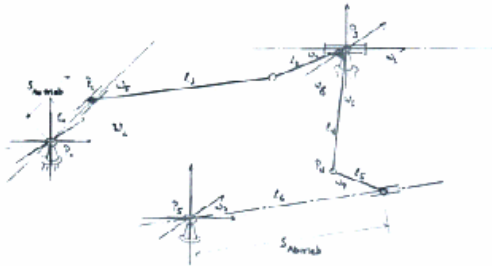
Kommunikation über Speicherzellen wie externe Variablen
Charakter einer Programmiersprache, Formulierung von „Analyseprogrammen“, Simulationsalgorithmen in der sequentiellen Abfolge der definierten Module
Flexibilität

Rechenmodell
(bei Rechereinsatz)

Folie 6

Definieren vom „Antrieb“ aus, von den vorgegebenen Größen
gesucht zu den gesuchten.

Beispiel: Scheib-ru-Scheib-Übertragung:



Durchkürzungen der räumlichen Größen (vgl. Braune, Gaurhel, Franke),
Suchen nach abstrakten Modulen iterativ, schrittweise.

Getriebestruktur: L1 → L6

1. I : P1, L1, W1, W2 → P2
2. II : L2, L3, W3, A1, P3, P2 → W4, W5
3. III : W4, W5, W1, A2 → W6
4. I : P3, L4, W4, W6 → P4
5. V : P4, P5, L5, W7, A3, W4 → L6, W3

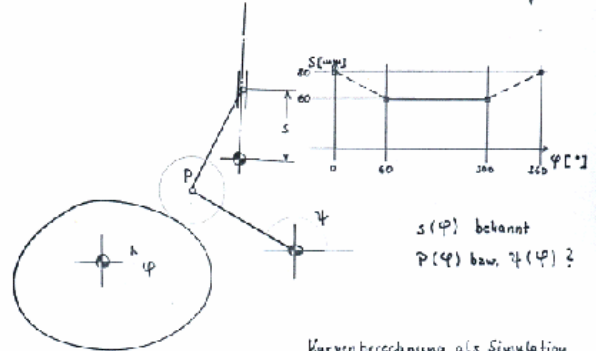
Konstanten: (U, a in mm) (Winkel in Grad) (Beispiel: Foto)

P1: 0 0 0	W1: 0 1 0	L2: 4,5	A1: +1
P2: 0,5 -1 4	W2: -1 5 5	L3: 4,5	A2: -1
P3: -2 -1 4,25	W3: -1 0 0	L4: 2,5	A3: +1
	W4: 0 1 0	L5: 4,5	

Verdeutlichen des
Arbeitens mit den
Modulen zur Defini-
tion einer Getriebe-
struktur

Folie 7

Einsatz bei Kurvengetrieben



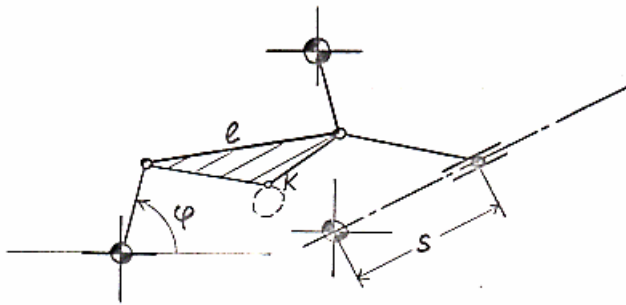
$s(\varphi)$ bekannt
 $P(\varphi)$ bzw. $\psi(\varphi)$?

Kurvenberechnung als Simulation
der Getriebeanalyse mit dem
resultierenden Koppelpunkt

- Finden der Aufgabenstellung
- Definition des Getriebes, dabei
- Festlegung der Eingangs- und
Ausgangsgrößen
- Interpretation der Ergebnisse

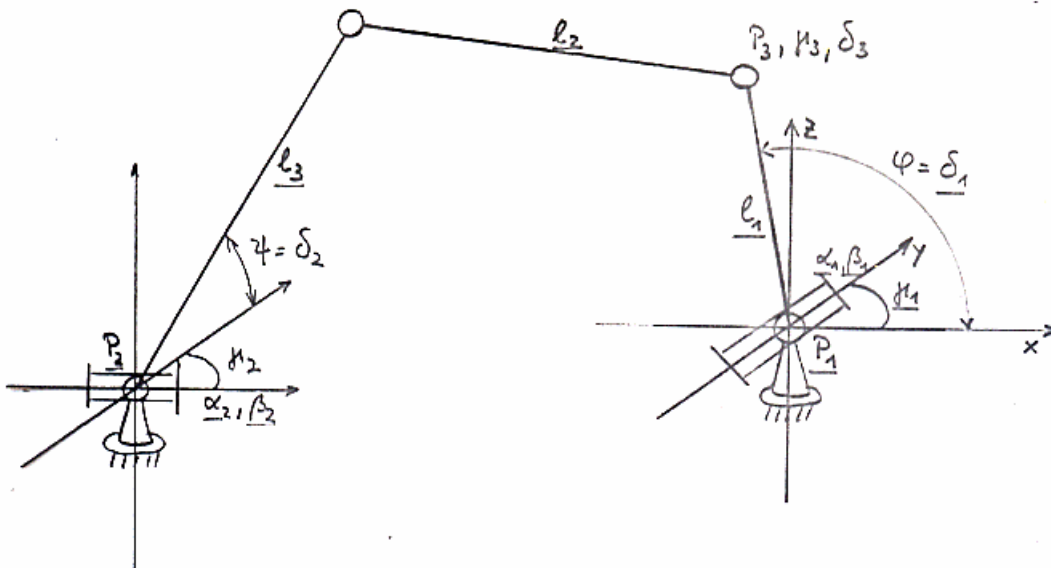
Folie 8

Lösungsbedürftige abstrakte
Aufgabenstellungen



1. gesucht: $s''(\varphi)$
als Diagramm
2. gesucht: $\forall s''(\varphi, l) = \text{min!}$
 l
3. gesucht: $\{(x_K(\varphi) | y_K(\varphi)) |$
 $0 \leq \varphi < 2\pi\}$

3



Vollständigkeit der Parameter
zur eindeutigen Definition eines
Momentanzustandes

Folie 9