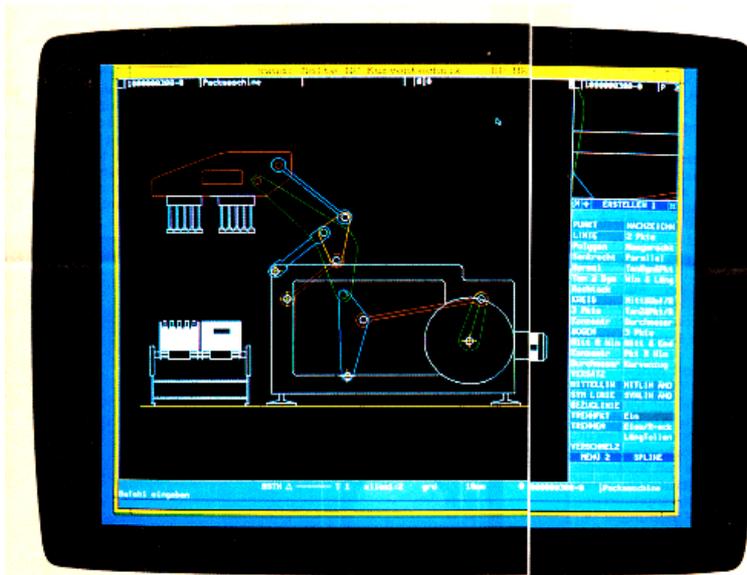


## Bewegungsabläufe simulieren und Abmessungen optimieren

Maschinenmarkt Ausgabe 6 - 1996



Mit einer in ein CAD-System integrierbaren Software lassen sich Kurven- und Koppelgetriebe nach dynamischen Gesichtspunkten praxisnah entwickeln. Bewegungsauslegungen, die weit über die VDI-Richtlinie 2143 hinausgehen, sowie Kollisionskontrolle und -optimierung auf globaler Maschinenebene vereinfachen die Arbeit des Konstrukteurs wesentlich.

Entwickler von Maschinen zum Verpacken, Montieren, Transportieren, Umformen oder Drucken haben häufig Kurven- und Koppelmechanismen im Zusammenspiel mit anderen Bewegungen bei ruhigem Lauf und hoher Produktionsqualität auf möglichst hohe Leistung zu trimmen. Ziel ist, daß die gesamte Maschine maximale Leistung in puncto Geschwindigkeit und Verarbeitungsqualität erbringt. Welche Leistung jedes einzelne Teilgetriebe hierzu beiträgt, ist nur mittelbar wichtig, weil die Leistung der gesamten Maschine von der am schlechtesten ausgelegten Komponente begrenzt wird.

Demzufolge ist die Maschine in ihrer Gesamtheit in einem einzigen globalen Modell zu bewerten und zu optimieren. Anhand verschiedenster zweckmäßiger Kriterien aus Kinematik, Kinetik und Dynamik sind alle Teilgetriebe so aufeinander abzustimmen, daß jedes von ihnen mit gleicher Intensität belastet wird und die gleiche Leistungsreserve hat.

### Anwender sind oft in einem Dilemma

Ohne entsprechende Kinematiksoftware ist derartiges Vorgehen unmöglich. Dennoch kommen Anwender häufig in ein Dilemma:

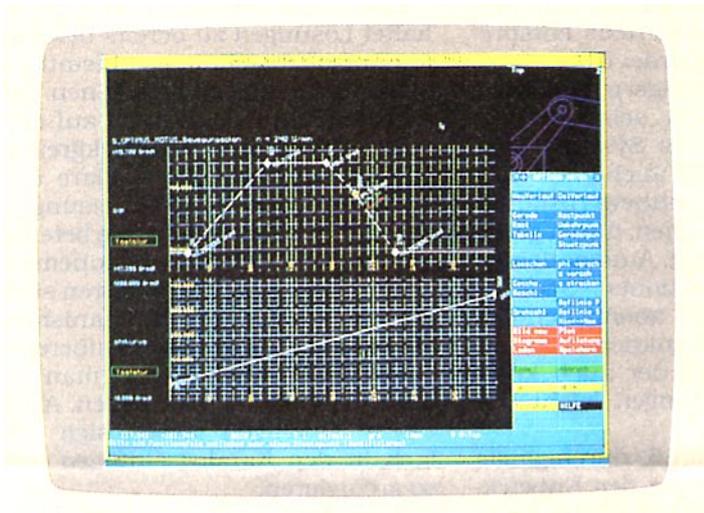
Einerseits gibt es praxiserprobte Standardsoftware unabhängig vom CAD-System zur Berechnung, Simulation und Optimierung komplexer Kurven- und Gelenkgetriebe auf PC und auf UNIX-Workstations, andererseits Kinematik- und Kurven-Pakete als Add-On zu CAD-Systemen, die Kinematiksimulationen mit der im jeweiligen CAD-System üblichen Benutzungsoberfläche ermöglichen und damit hauptsächlich auf die leichte Bedienbarkeit abzielen. Die Funktionen dieser Kinematikpakete erweisen sich bei detaillierter Betrachtung jedoch oft als praxisfremd und unvollständig.

Demzufolge ist eine Software ideal, die der Benutzungsoberfläche des CAD-Systems folgt, gleichzeitig aber bewährt, praxisnah und funktionell ist, wie beispielsweise eine in das CAD-System HP-ME10/30 auf HP9000-Workstations integrierte Software. Aufgaben aus dem gesamten Maschinenbau dienten als Maßstab für die Entwicklung dieses Werkzeugs. Im Laufe der Jahre entstand ein Programmkern, dessen Funktionalität die gesamte Breite der Kurven- und Koppelgetriebe mit Kurvenscheiben, Zylinderkurven, Linealen, Parallelgetrieben (Kurvenscheibenschrittgetrieben), Globoidkurven, Schneckengetrieben, ebenen und räumlichen Koppelgetrieben - auch mit allgemeinen Kurvengelenken -, gleichmäßigen und ungleichmäßigen Antrieben in den Bereichen Kinematik und Kinetostatik beinahe vollständig abdeckt.

### **Die Strukturzeichnung steht am Anfang**

Das Konzept jedoch sieht nicht nur Programm, Schulung und Software-Hotline vor, sondern eine umfassende Betreuung bei der Kurven- und Koppelgetriebeentwicklung und -fertigung. Der Programmkern hat eine umfangreiche Benutzungsschnittstelle erhalten, die den Anforderungen in der Praxis entsprechend realisiert wurde: Die Software muß von Einsteigern möglichst leicht zu bedienen sein, der Bedienphilosophie des Systems konsequent folgen und auch ohne Spezialkenntnisse wettbewerbsfähige Lösungen ermöglichen, durch geeignete Hilfestellungen, Automatismen und Diagnosefunktionen. Spezialisten müssen in ausreichendem Maße über Detailfunktionalität verfügen können, mit der auch knifflige Aufgabenstellungen leicht lösbar sind.

Die Software muß durchgängig sein und jede Phase der Entwicklung unterstützen, angefangen von der Beschreibung der Bewegungsabläufe im Bewegungsplan bis hin zur Erstellung des maschinenspezifischen NC-Programms. Uns last but not least müssen es Abfragefunktionen erlauben, Zusatzfunktionen in eigenen Makros zu implementieren, beispielsweise um Diagramme oder entsprechende Auswertungen zu erstellen.



**Bild 1: Die Software erzeugt automatisch einen Vorschlag für ein beschleunigungsoptimiertes Bewegungsdiagramm.**

Die Software führt den Benutzer bei allen Schritten zum Auslegen und Optimieren von Mechanismen. Ausgangspunkt für die Modellierung ist eine teilestrukturierte Zeichnung des Mechanismus in ME10. Über eine Kinematik-Menüleiste definiert man zunächst die Gelenke des Mechanismus und baut damit die kinematische Struktur auf. Da die Software als Satz von Makros realisiert ist, kann man jederzeit zwischen ME10-Standardfunktionen und Kinematiksoftware wechseln. Der Mechanismus kann schrittweise aufgebaut werden.

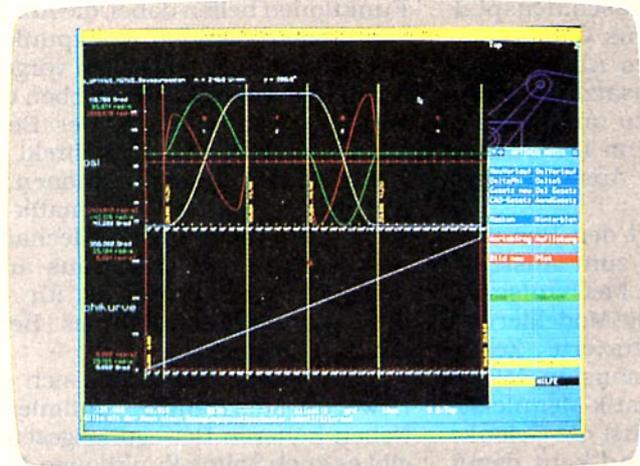
Danach wird das Modell mit kinematischen Größen angereichert, für die entweder Bewegungsverläufe vorgegeben werden oder die als Ergebnisgrößen zu ermitteln sind. Dazu zählen unter anderem der Lagewinkel von Mittellinien und Punktkoordinaten, aber auch Wege entlang von Konturen oder Abstände zwischen komplexen Konturen. Durch benutzerdefinierte Formeln im Klartext kann man Zusatzberechnungen in das Modell einflechten.

Ein Konstruktionskatalog beinhaltet Lösungen zu bereits bekannten Aufgabenstellungen. Anstatt ein Mechanismenmodell völlig neu aufzubauen, kann man auch auf eine bekannte Lösung zurückgreifen. Die Software gibt dabei klare und eindeutige Handlungsanweisungen, wie und in welcher Folge die beteiligten Bauteile, Gelenke und kinematischen Größen zu identifizieren sind. Da ein Muster des Mechanismus als Referenzbild grafisch aufbereitet eingeblendet wird, verliert man bei der Eingabe nicht den Faden. Auch eigene Lösungen lassen sich einfach in den Katalog einfügen und so archivieren.

Über einen grafischen Editor wird der Gesamtbewegungsplan für den Mechanismus definiert. Vielfältige Funktionen helfen dabei, die Abfolge von Rasten, Geraden, Stützpunkten und extern durch Tabellen vorgegebene Bewegungen einzugeben und zu verändern (Bild 1). Der Bewegungsplan lässt sich auch direkt mit ME10-Konstruktionsfunktionen erstellen und in die Kinematik-Berechnung einbringen. Die

Mechanismensoftware erzeugt daraus automatisch einen Vorschlag für ein beschleunigungsoptimiertes Bewegungsdiagramm.

Auf einfache Weise lässt sich das Bewegungsdiagramm optimieren. Neben höheren Bewegungsgesetzen gibt es auch Spline-Funktionen, Polynominterpolatoren und HS-Profile (Fouriersynthese) für schwingungsgünstige Auslegungen sowie alle Bewegungsgesetze der VDI-Richtlinie 2143. Automatische Randwertanpassungen machen Nebenrechnungen entbehrlich, die der Einhaltung der Stoß- und Ruckfreiheit dienen. Wegverläufe, die in Form von Geometrie in der ME10-Zeichnung vorliegen, sind in das Bewegungsdiagramm übernehmbar, wie Bild 2 zeigt.



**Bild 2: Wegverläufe sind in das Bewegungsdiagramm übernehmbar.**

### **Flimmerfreie Darstellung des Gesamtmechanismus**

Vor jeder Berechnung wird überprüft, ob das aktuelle kinematische Modell vollständig und korrekt ist. Die Definition wird grafisch veranschaulicht (Bild 3). Fehlen Angaben, so erzeugt die Software ein Fehlersituations-Protokoll. Per Grafik und Protokoll wird der Anwender vom System sukzessive zu einem korrekten Modell geführt.

In einer Simulation wird der Gesamtmechanismus mit Teilegeometrie in der Bewegung flimmerfrei dargestellt. Wie bei einem Videorecorder kann man sie in verschiedenen Geschwindigkeiten durchlaufen lassen oder im Einzelschritt vor- und zurücktakten.

Mit den Standard-ME10-Funktionen kann der Anwender Bildausschnitte vergrößern zum Überprüfen von Kollisionspunkten und zur Übernahme von Maßen aus der Zeichnung. Möglich sind auch Überprüfungen, bei denen kollisionsgefährdete Stellen während des Berechnungsdurchlaufs automatisch vom Programm überwacht werden.

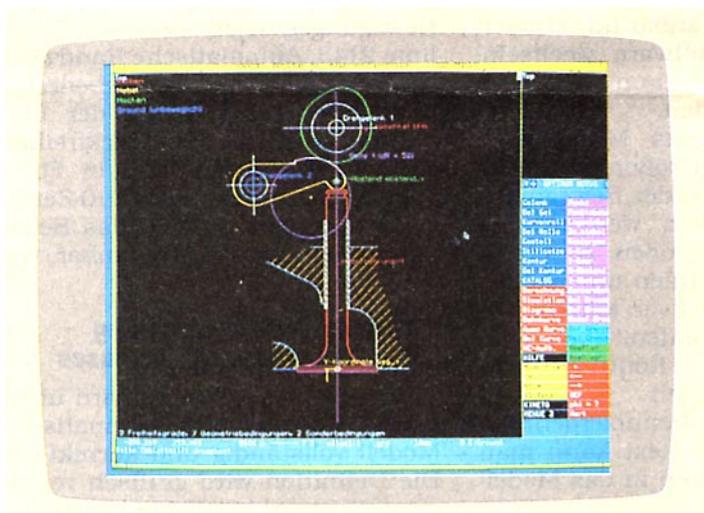
Mit Hilfe von entsprechenden Schaubildern, Diagrammen, Koppelkurven und Tabellen für Wege, Geschwindigkeiten, Beschleunigungen, Kräfte, Momente, Übertragungswinkel, Krümmungsradien oder Pressungen werden die Bewegungsabläufe und die kinematischen Abmessungen optimiert.

## Vom CAD-System direkt an die Maschine

Abschließend werden für die berechneten Kurvenscheiben und Zylinderkurven linear- oder zirkularinterpolierte NC-Programme erzeugt, die direkt an die Steuerung übertragen werden und mit denen ohne Nachbereitung gefertigt werden kann.

Die Software unterstützt verschiedene neutrale Formate, die Ausgabe von NC-Geometrie als IGES- oder DXF-Dateien, die Heidenhain-Sprache und etwa 50 verschiedene maschinenspezifische Formate. Die Liste der verfügbaren Postprozessoren ist nachträglich beliebig erweiterbar. Außer der ME10/30-Zeichnung werden darüberhinaus keine weiteren Archivdateien für die Kinematik- oder Kinetostatikdefinition benutzt.

Die Kinematik- und Kinetostatiksoftware verringert die Maschinenentwicklungszeit und die Dauer bis zur Markteinführung erheblich. Die damit bislang entwickelten Maschinen laufen deutlich schneller, länger und ruhiger als die mit konventionellen Mitteln konstruierten. Dank der globalen Kollisionsoptimierung sind nicht selten Erhöhungen der Taktzahl um 40% möglich. Quasi als Nebeneffekt ergibt sich, daß schon der Prototyp der Maschine, dessen Bewegungsabläufe am Rechner genau simuliert wurden, annähernd serienreif ist.



**Bild 3: Vor jeder Berechnung wird überprüft, ob das aktuelle kinematische Modell vollständig und korrekt ist.**