

## Themenfeld 1.8 (Dienstleistungen und Service)

### 1. Autor

Dipl.-Ing. Dipl.-Inform. Rainer Nolte  
Nolte NC-Kurventechnik GmbH  
Geschäftsführung  
Hellingstraße 17  
D – 33609 Bielefeld

Telefon: 0521 – 74477  
Telefax: 0521 – 750880  
e-Mail: [Nolte-NC-Kurventechnik@t-online.de](mailto:Nolte-NC-Kurventechnik@t-online.de)  
Internet: [www.nolte-nc-kurventechnik.de](http://www.nolte-nc-kurventechnik.de)

Bild: <<rnlte.tif>>



### Kurzbiographie:

1985 – 1991 Maschinenbaustudium mit HII-Diplom  
1989 – 1996 Berufsbegleitendes Informatikstudium mit HII-Diplom  
1985 – heute Anstellung bei der Firma Nolte NC-Kurventechnik, seit 1995 Geschäftsführer.

Tätigkeitsbereich:

- Entwicklung der Mechanismensoftware OPTIMUS MOTUS (R)
- Dienstleistungsberechnungen und Beratungen im Bereich der Mechanismenauslegung
- Durchführung von Seminaren zu ungleichförmig übersetzenden Mechanismen

1984 – heute Mitarbeit in verschiedenen VDI-Ausschüssen zur Getriebetechnik  
1992 – 1994 Dozent an der Fachhochschule in Bielefeld im Fach Getriebelehre

## 2. Beitragstitel

### Unterstützung bei der dynamischen Auslegung von Servoantriebssträngen

## 3. Sub-Titel

*Servoantriebe vom Dynamikspezialisten optimal auslegen lassen*

## 4. Vorwort

In flexiblen, schnellaufenden Maschinen zum Verpacken, Montieren, Gruppieren, Stapeln usw. werden häufig hochdynamische Servoantriebe zur Bewegungserzeugung eingesetzt.

Der Ingenieur muß an Hand folgender Kriterien die passenden Antriebskomponenten (Motor, Getriebe, evtl. Kupplungen, evtl. Koppelmechanismen) auswählen:

- genaue Drehzahl- und Lastverläufe für mehrere, insgesamt repräsentative Produktformate
- die dynamischen Grenzwerte der Antriebskomponenten
- die nichtlinearen Verzerrungen von Drehzahl- und Lastverlauf bei nachgeschalteten Koppelmechanismen

Konstrukteure fordern die Auslegung der Servoantriebe meist bei den Antriebsherstellern an. Diese haben aber oft nur unzureichende Software, um ausreichend genaue Berechnungen durchzuführen, insbesondere beim Einsatz von Koppelmechanismen.

Um Garantieansprüche des Kunden zu vermeiden, überläßt der Antriebshersteller vielfach auch strikt den Anwendern die Auslegung des Antriebsstrangs.

Beiden Seiten kann durch Auslegungen von unabhängiger, kompetenter dritter Stelle geholfen werden, die entsprechend leistungsfähige Mechanismensoftware entwickelt und einsetzt, und die die gefundenen Auslegungen durch aussagekräftige Dokumentationen mit Diagrammen und Auflistungen transparent macht.

## 5. Einleitung

Die adäquate Auswahl von Motor und Getriebe für schnelllaufende elektronische Kurven ist häufig eine komplizierte Angelegenheit.

Geht man von Vereinfachungen hinsichtlich der Beschleunigungszeiten und der Last aus, wird man zu große und damit zu teure und platzaufwendige Antriebskomponenten auswählen. Die dynamischen Belastungen können so durchaus um den Faktor 10 oder mehr zu hoch angesetzt werden.

Wenn die Servoantriebe nichtlinear über Koppel- oder Kurvenmechanismen auf den Abtrieb übersetzen, so entsprechen die am Abtrieb vorliegenden Belastungen vom Verlauf her nicht den Motorbelastungen und können somit nicht über einen konstanten Faktor auf den Antrieb umgerechnet werden.

Wird dann das kinematische Verhalten des Mechanismus, also das ständig wechselnde Übersetzungsverhältnis, nicht genau berücksichtigt, so können die am Antrieb angenommenen Belastungen völlig unbrauchbar sein.

Vereinfachungen dieser Art werden häufig bei Cam Editoren und Antriebsauslegungen vom Antriebshersteller gemacht.

Um eine sichere Auswahl von Antriebskomponenten zu gewährleisten, sollte die Dynamik des Mechanismus so genau wie möglich betrachtet werden.

Dann ist es sinnvoll, einen unabhängigen Dynamik-Spezialisten zu konsultieren, der Erfahrung in der dynamischen Bewertung von Mechanismen hat, und dessen Berechnungswerkzeuge alle erforderlichen dynamischen Aspekte der Aufgabenstellung berücksichtigen.

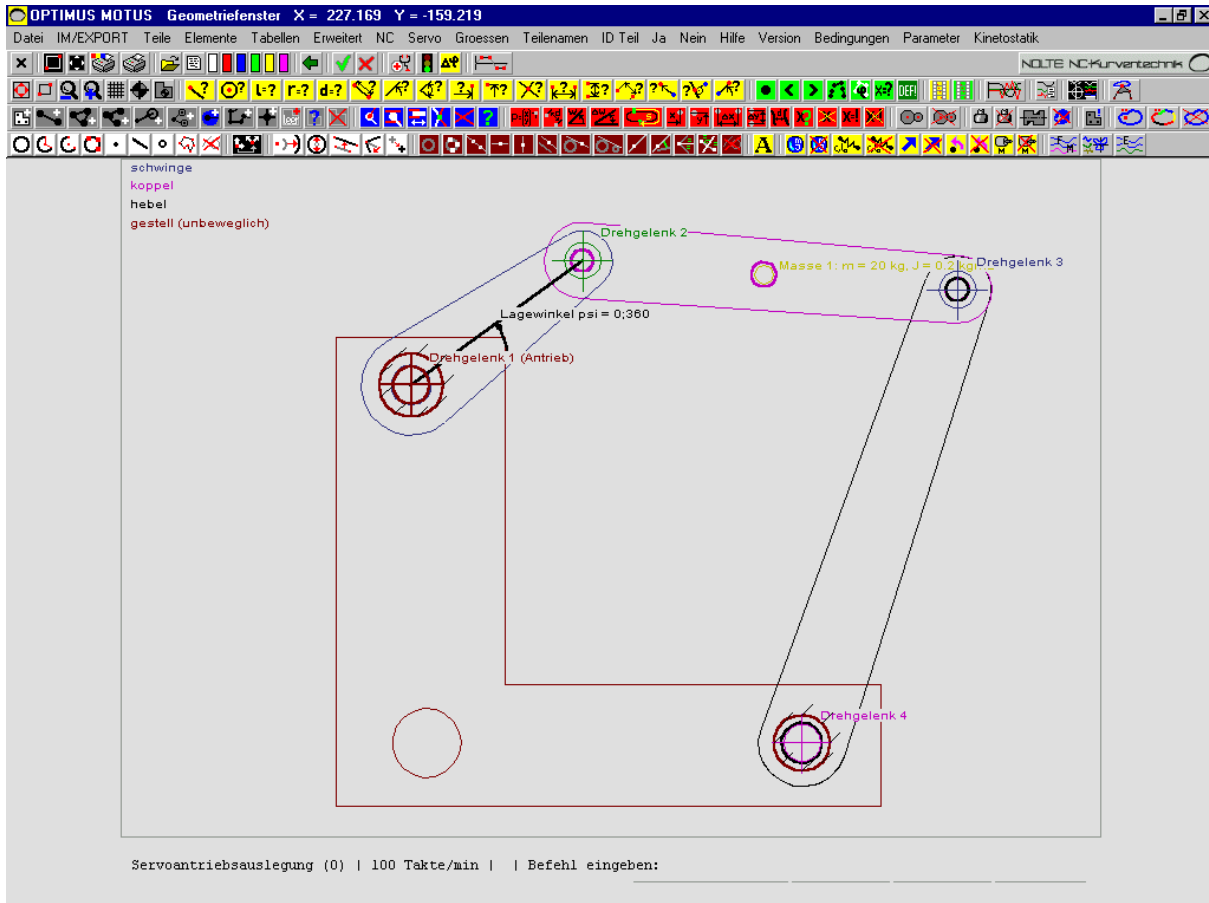
## 6. Hauptteil

Sicherheit bei der Auslegung elektronischer Kurven ist nur erreichbar, wenn alle folgenden Daten bei der Auslegung berücksichtigt werden:

- die Koppelgetriebe, die von den Servomotoren angetrieben werden
- der exakte Weg-Zeit-Verlauf an der Motorwelle oder am Abtrieb mit realistischen Vorgaben für Bewegungsgesetze und Übergangszeiten nach grober Kollisionsuntersuchung
- die genauen Lastverläufe im Mechanismus sowie Massen, Federn, Gravitation, ggf. Reibung
- die Kennlinien für die Spitzen- und die Dauerbelastung des Motors
- Nenn- und Spitzenmoment von Motor und Getriebe
- Nenn- und Spitzendrehzahlen von Motor und Getriebe

- bei langsamem Betrieb die Kennlinien für den Wirkungsgrad der Getriebe

## Einfluß der Koppelgetriebe

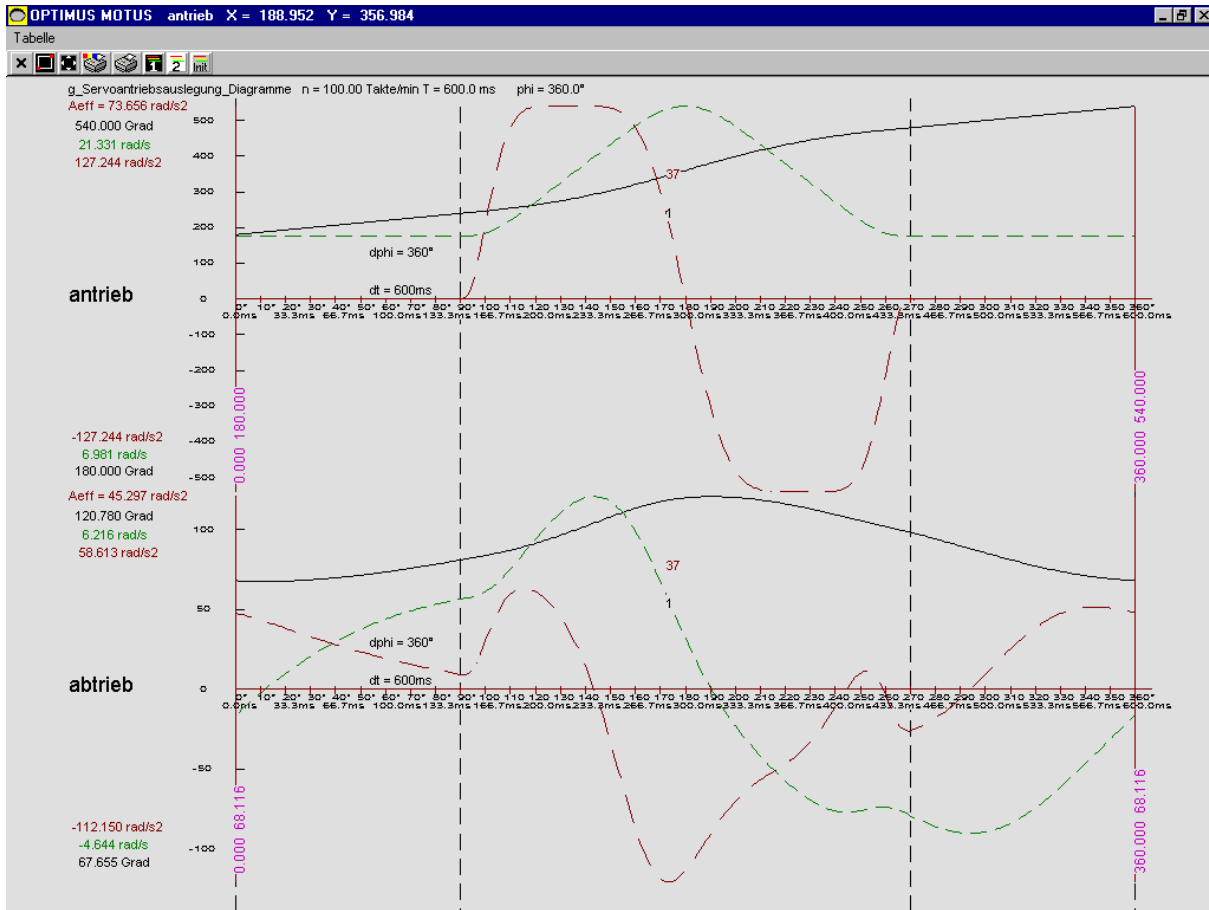


<<bild1.tif>> Koppelmechanismus (Servomotor + Viergelenkgetriebe)

Servoantrieben wird oft ein Schubkurbelmechanismus, ein Viergelenkgetriebe oder ein anderer Mechanismus nachgeschaltet. Diese Koppelgetriebe übersetzen hochgradig nichtlinear, d.h. die Übersetzung zwischen Antrieb und Abtrieb schwankt sehr stark.

Die in Bild 1 dargestellte Kurbelschwinge erzeugt bei durchlaufendem Antrieb am kurzen Lenker (oben links) eine Pendelbewegung am Abtrieb, dem langen Lenker (rechts). Die Charakteristik der Antriebsbewegung (Bild 2, oberes Diagramm) sieht also völlig anders aus als die der Bewegung an der Wirkstelle (hin- und hergehende Bewegung im unteren Diagramm von Bild 2).

Das reduzierte Massenträgheitsmoment solch eines Mechanismus ist damit extrem variabel.

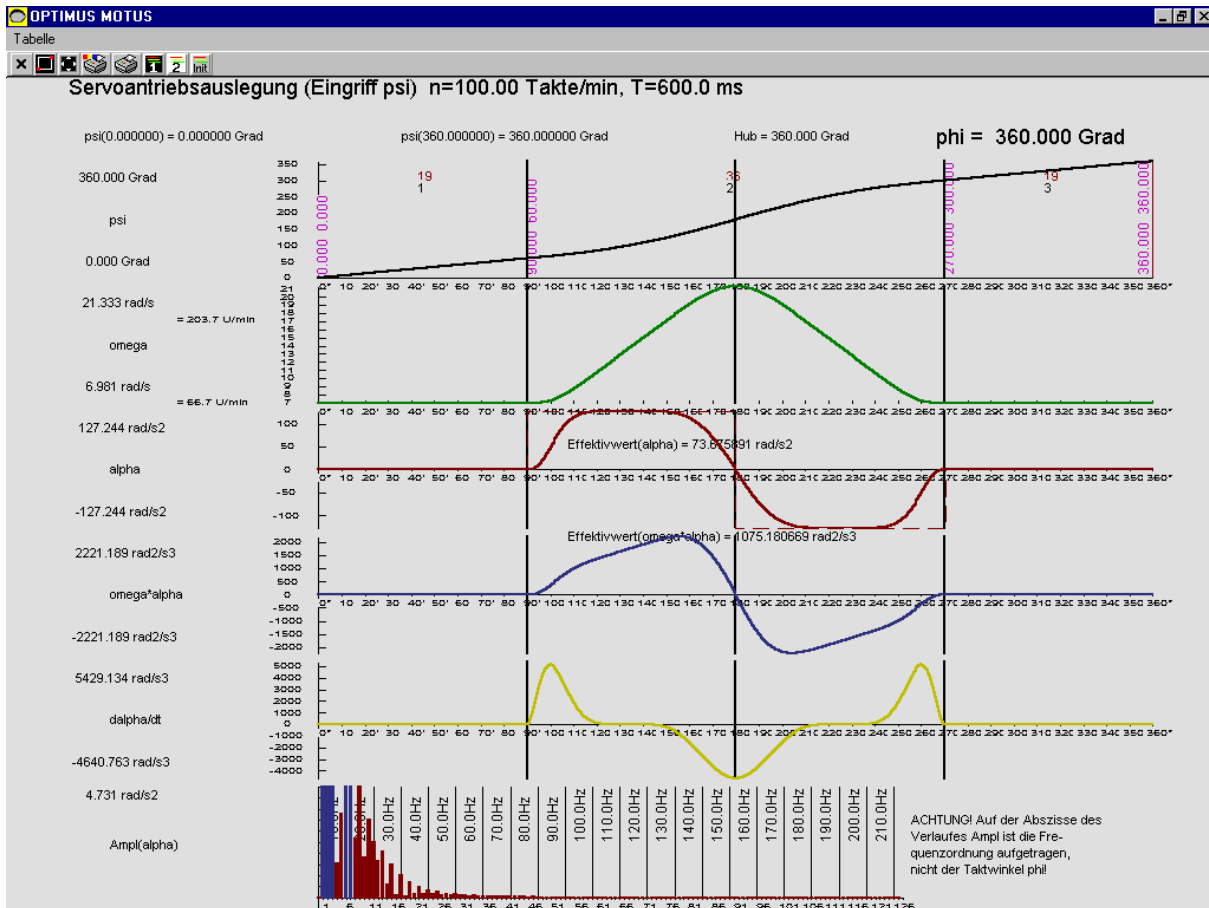


<<bild2.tif>> Bewegungsverläufe am Antrieb und am Abtrieb des Koppelgetriebes

Wenn hier die Auslegung des Antriebsstrangs mit einer Software für ausschließlich linear übersetzende Getriebe durchgeführt wird, erhält man völlig falsche Ergebnisse. Kennzeichen einer solchen Software ist, daß die Trägheit des Antriebsstrangs lediglich in Form konstanter Massenträgheitsmoment auf der Getriebewelle berücksichtigt wird.

Zur korrekten Auslegung ist es notwendig, den Verlauf der Ungleichförmigkeit zu berücksichtigen.

## Einfluß der Bewegungsgesetze und der Übergangszeiten



<<bild3.tif>> Bewegungsdiagramm mit beschleunigungsgünstigen Bewegungsgesetzen

Ebenso wichtig wie die Mechanismenkinematik ist die Vorgabe realistischer, problemnaher Bewegungsverläufe. Die Drehzahlen am Antrieb hängen linear, die dynamischen Momente quadratisch und die Blindleistung sogar kubisch von den Taktwinkelstrecken der einzelnen Bewegungsübergänge ab.

Es ist zum Beispiel ein großer Unterschied, ob für eine Bewegung im Bewegungsplan a) 40 Grad oder b) 60 Grad Übergangswinkel angenommen werden:

Wäre für Fall a) ein Servomotor mit Höchstdrehzahl 6000 U/min erforderlich, reicht im Fall b) einer mit 4000 U/min.

Benötigt man für Fall a) einen Antrieb mit 20 Nm Spitzenmoment, so reicht im Fall b) einer mit 8.9 Nm Spitzenmoment.

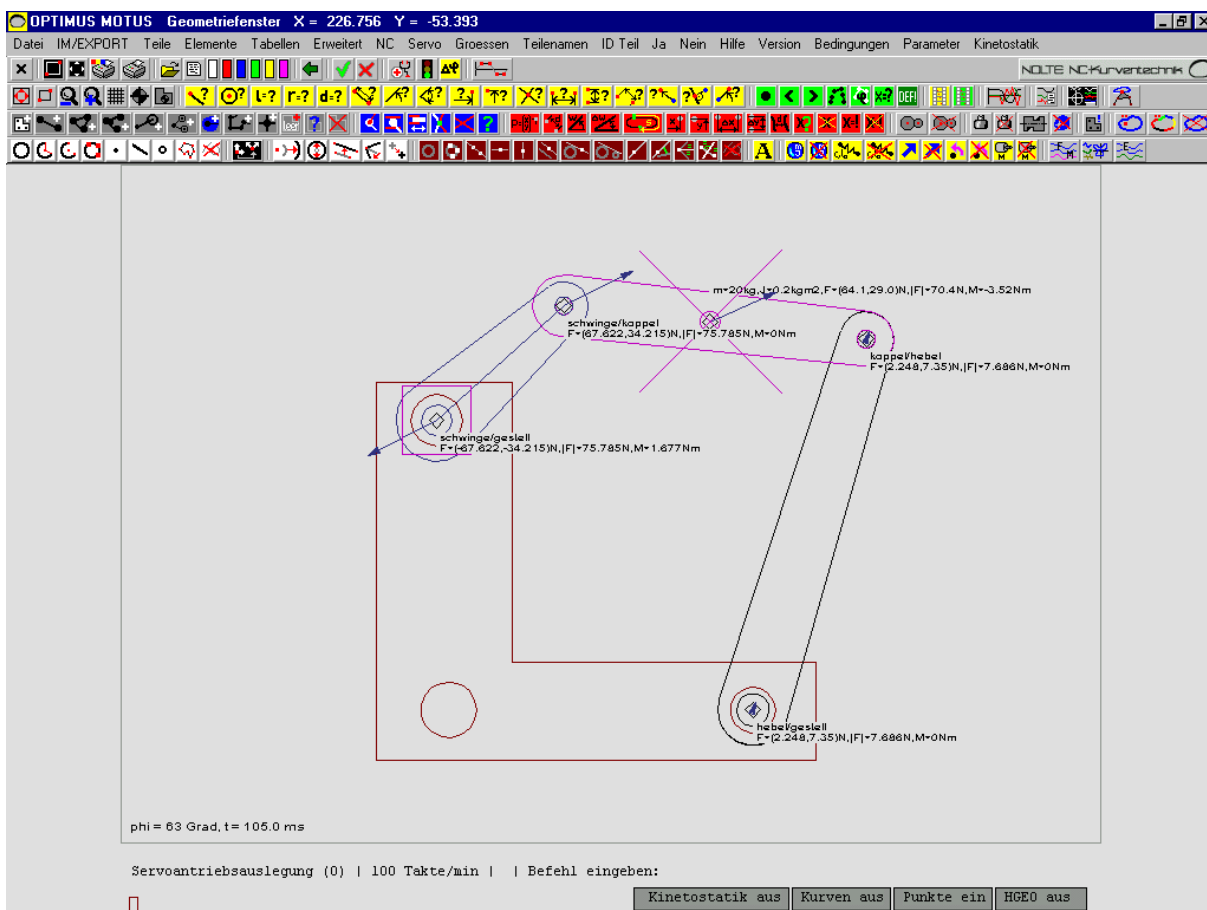
Werden im Fall a) 1200 Watt Leistung umgesetzt, sind es im Fall b) nur 360 Watt.

Außerdem wirken sich die Kennwerte der verschiedenen einsetzbaren Bewegungsgesetze unterschiedlich aus. Je nach Einsatzfall sind auch noch andere dynamische Kriterien der Bewegungsgesetze relevant.

Bild 3 zeigt eine besonders weiche, schwingungshemmende Bewegungsgestaltung.

Eine brauchbare dynamische Antriebsauslegung kann nur dann durchgeführt werden, wenn die Bewegungsdiagramme beschleunigungsoptimiert wurden und so gestaltet sind, daß Kollisionen zwischen den beteiligten Bewegungen mit minimaler Reserve vermieden werden.

## Kinetostatische Analyse

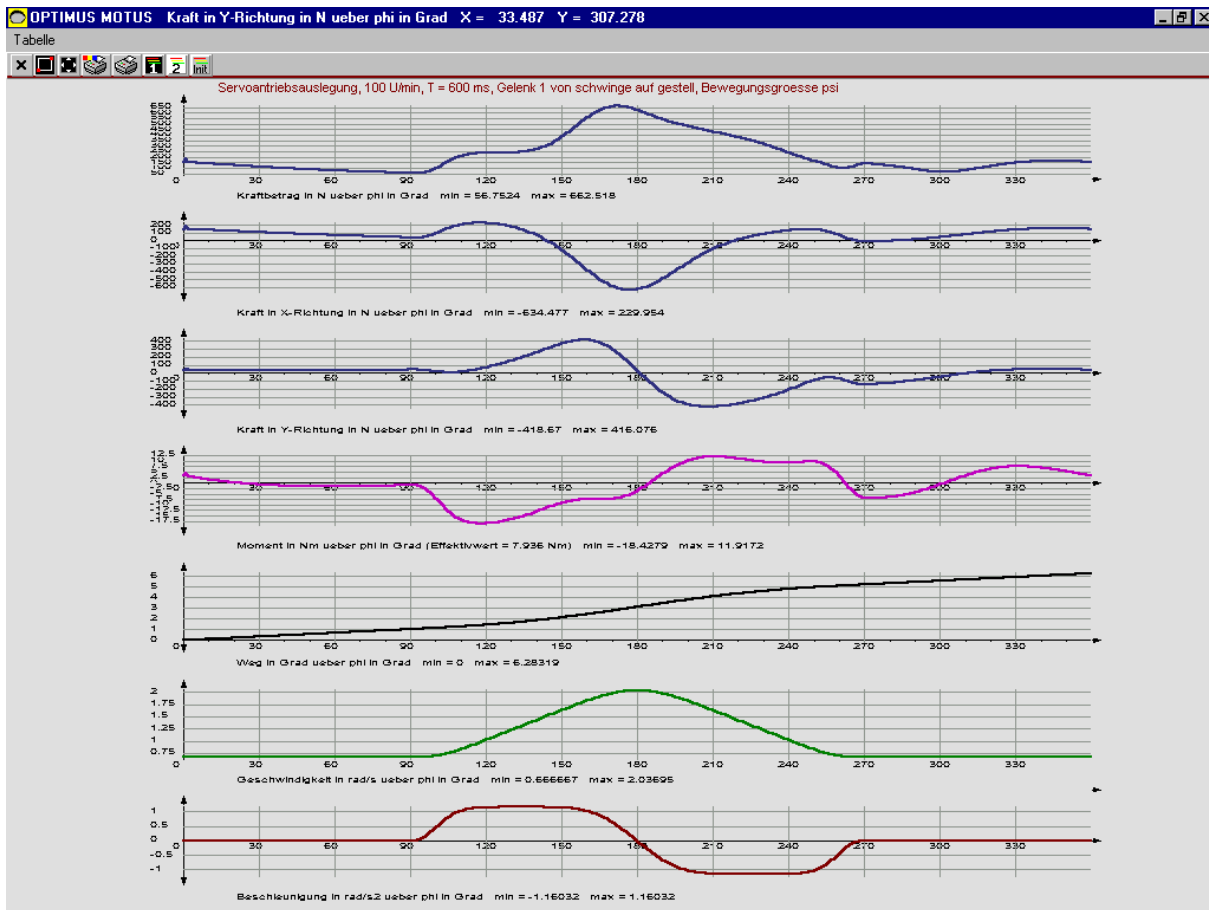


<<bild4.tif>> Animierter Kräfteplan am Mechanismus

Nachdem die Bewegungsabläufe am Koppelmechanismus berechnet wurden, werden Massen, Federn, Nutzkräfte, Nutzmomente, Gravitation und Gelenkreibung als Belastung aufgebracht. Die resultierenden Verläufe der Gelenkkräfte und –

momente können in Form von Diagrammen, Tabellen oder animierten Vektorplänen (siehe Bilder 4 und 5) dargestellt werden und dienen als Datenbasis für die Auslegung des Servoantriebsstrangs.

### Auslegung des Servomotors mit dem Übersetzungsgetriebe



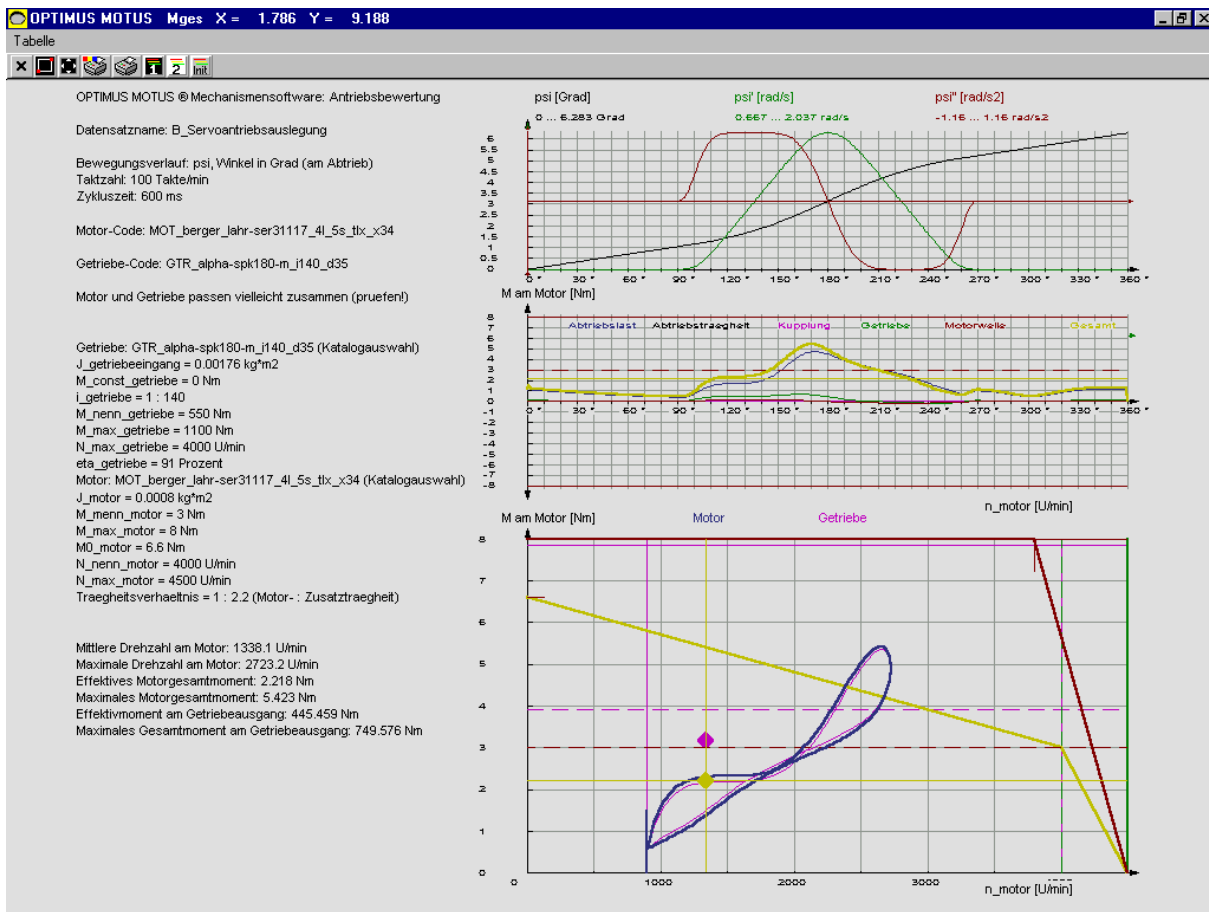
<<bild5.tif>> Bewegungs- und Lastdiagramme für den Getriebeausgang

Aus einem elektronischen Katalog mit mehreren Tausend Motoren und Getrieben verschiedener namhafter Hersteller wählt der Auslegungsspezialist die passenden Komponenten für die Bewegungsaufgabe aus.

Entsprechende Auslegungsprogramme wählen dabei nach einem Punktesystem automatisch die beste Motor-Getriebe-Kombination aus.

Die Suche im Katalog kann nach Kriterien wie Nennmoment, Spitzenmoment, Nenndrehzahl, Suchzeichenketten oder Hersteller mehrfach eingegrenzt werden. Es wird auch geprüft, ob die gewählten Motoren und Getriebe baulich zusammenpassen.





<<bild6.tif>> Detaillierte dynamische Auslegung von Motor-/Getriebekombinationen

Gefundene Motor-/Getriebekombinationen werden in einem detaillierten Schaubild dynamisch bewertet.

Die Bewertung berücksichtigt u.a. Nenn- und Spitzenmomente an Motor und Getriebe, zulässige Drehzahlen an Motor und Getriebe, dynamische Kennlinien für Dauer- und Spitzenlast, Kennlinien der Getriebewirkungsgrade und die Regelbarkeit des Antriebsstrangs.

Ein Schaubild wie in Bild 6 gibt Klarheit über die Art der dynamischen Belastung des Antriebsstrangs und darüber, welche Komponenten gezielt verändert werden können, um noch bessere Ergebnisse zu erhalten.

## 7. Zusammenfassung

Die angemessene Auslegung von Servoantriebssträngen mit schnellaufenden elektronischen Kurven ist oft ein komplizierter Vorgang, der Spezialwissen in Mechanismendynamik und außerdem leistungsfähige Software erfordert. Wenn Ingenieure nicht regelmäßig mit solchen Auslegungen zu tun haben, oder wenn die vor Ort verfügbaren Auslegungsprogramme nicht alles berücksichtigen, sind die Ingenieure oft gut beraten, einen unabhängigen Spezialisten einzuschalten, der solche Auslegungen schnell und sicher durchführen kann.

## 8. Literatur

<http://www.nolte-nc-kurventechnik.de>, Menüpunkt Fachbeiträge

## 9. Statistische Angaben

Zeichen: 9581