

Genauere Servoantriebsauslegung mit Ungleichförmigkeiten und Antriebskennlinien

Dipl.-Ing. Dipl.-Inform. Rainer Nolte, Nolte NC-Kurventechnik GmbH

Dynamic Optimization of Servo Drives with Nonlinear Gears and Loads

To optimize the speed of servo driven machines for packaging, mounting, filling or binding it is important to take the nonlinear mechanical and dynamical effects into account. Otherwise the selected drives may be far too big and so too expensive, or they may be too weak to sustain the peak or permanent loads. The abstract shows the most important nonlinear effects and demonstrates a powerful method for optimizing the servo drive design.

Antriebsauslegung – Koppelgetriebe - Mechanismen – Dynamik – Kinematik

1. Einleitung

In Verpackungsmaschinen, Buchbindemaschinen, Montageanlagen, Abfüllmaschinen und anderen Verarbeitungsanlagen werden häufig Servoantriebe mit elektronischen Kurvenscheiben eingesetzt, um die ungleichmäßigen Bewegungen zu erzeugen, die die gewünschte Produktbearbeitung sicherstellen.

Ein wichtiges Ziel bei der Auslegung der Antriebsstränge und Bewegungsabläufe ist, die geforderte Taktzahl bei definierter Leistungsreserve mit möglichst kleinen und damit kostengünstigen Antrieben zu erreichen. Zur Konstruktion der Maschine muß der Ingenieur die geeigneten Komponenten für den Servo-Antriebsstrang zusammenstellen: Motor, Getriebe, Kupplung und ggf. mechanische Übersetzungs- oder Führungsgetriebe.

Die dynamische Auslegung von Antriebssträngen für elektronische Kurven ist durchaus keine triviale Aufgabenstellung.

Wenn die Annahmen für die Auslegung zu sehr vereinfacht werden, damit die Auslegung mit der vor Ort vorhandenen Software überhaupt durchgeführt werden kann, so weichen die Auslegungsergebnisse leicht um Größenordnungen von der Realität ab.

Werden Antriebskomponenten zu klein dimensioniert, ist die geforderte Leistung nicht erreichbar, und die Maschinenauslieferung verzögert sich wegen der notwendigen Nachbesserungen um Wochen oder Monate.

Werden Motor und Getriebe zu groß dimensioniert, ist die Konstruktion teuer und verschwendet Energie.

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

- die Koppelgetriebe (falls vorhanden), die von den Servomotoren angetrieben werden, z.B. Schubkurbeln, Viereckgetriebe oder andere Mechanismen
- 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

2. Einfluß der Koppelgetriebe

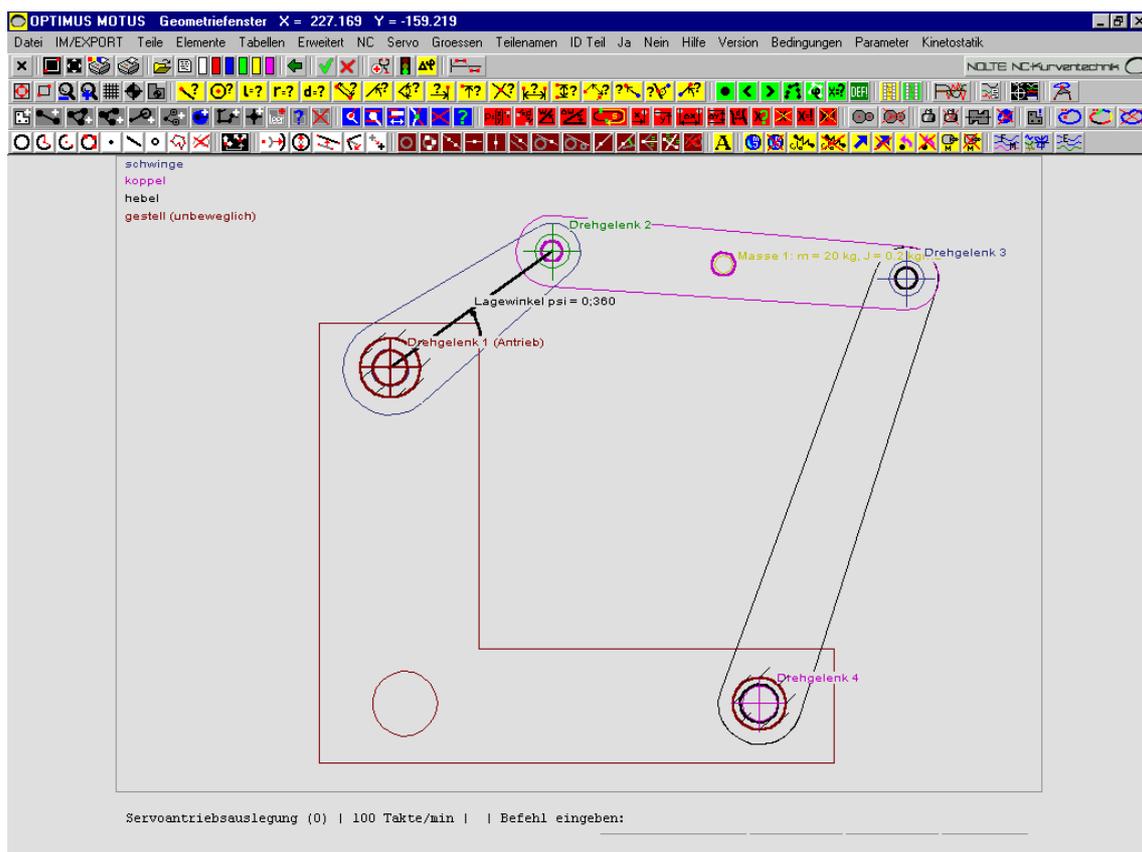


Bild 1: Koppelmechanismus (Servomotor + Viereckgetriebe)

Um Hub- oder Schwenkbewegungen zu erzeugen, wird dem Servomotor oder Getriebe oft ein Schubkurbelmechanismus, ein Viereckgetriebe oder ein anderer Mechanismus nachgeschaltet. Wenn der Bewegungsbereich dieser Mechanismen

ausgenutzt wird, so übersetzen diese Koppelgetriebe 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, bezogen auf die Motorwelle, ist damit extrem variabel.

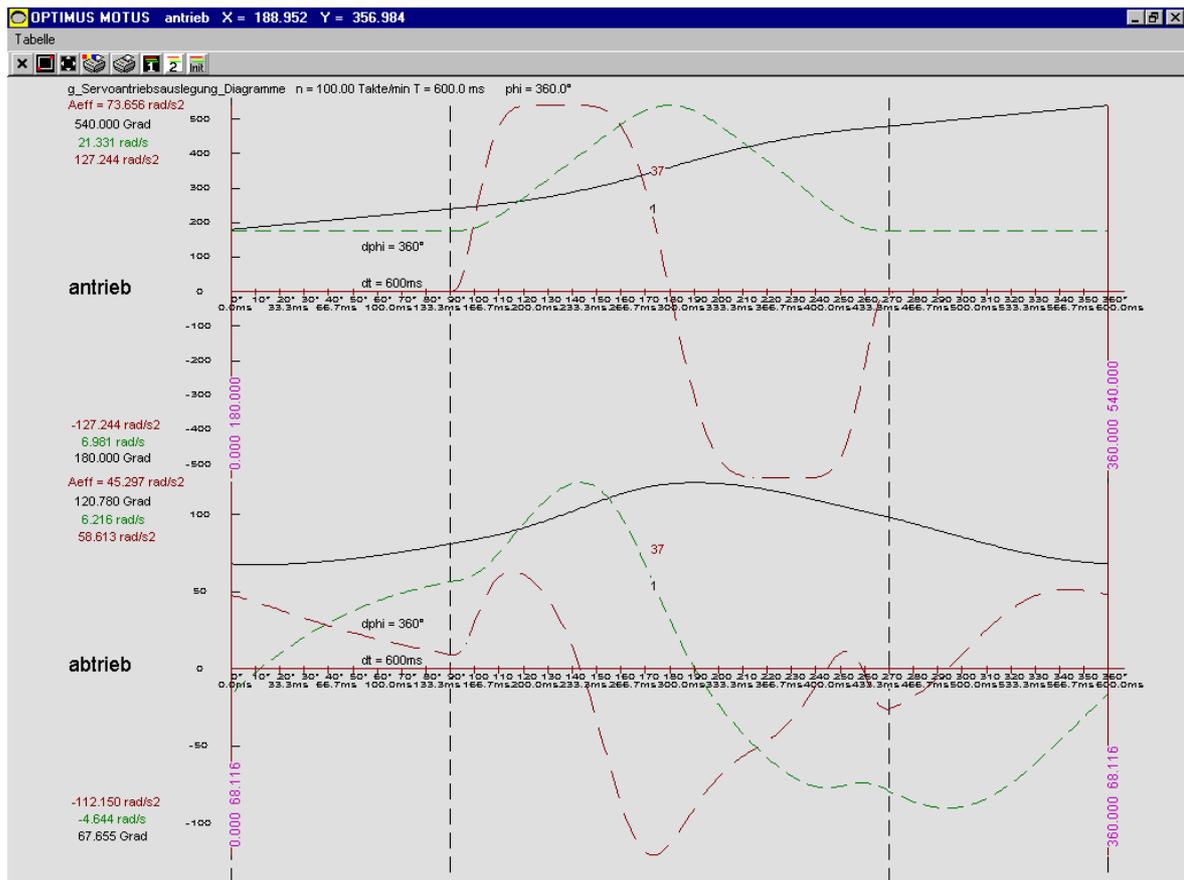


Bild 2: Bewegungsverläufe am Antrieb und am Abtrieb des Koppelgetriebes

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 einer oder mehrerer Konstanten für das reduzierte Massenträgheitsmoment berücksichtigt wird.

Zur korrekten Auslegung ist es notwendig, daß die Ungleichförmigkeit des Koppelgetriebes rechnerisch korrekt berücksichtigt wird. Dies ermöglicht eine geeignete Mechanismensoftware.

3. Einfluß der Bewegungsgesetze und der Übergangszeiten

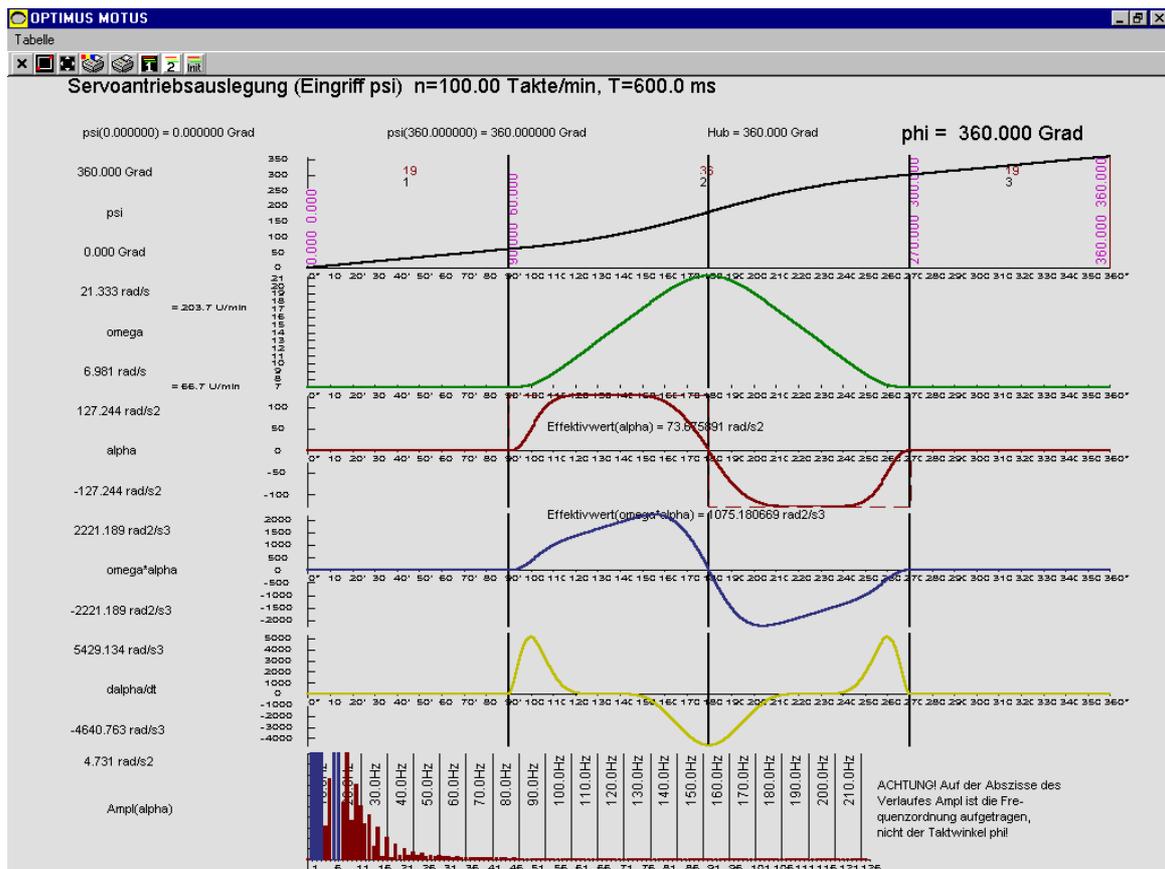


Bild 3: Bewegungsdiagramm mit beschleunigungsgünstigen Bewegungsgesetzen

Ebenso wichtig wie die Mechanismenkinematik ist die Vorgabe realistischer, problemnaher Bewegungsverläufe für die Antriebsauslegung. 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 aus: während beim Polynom 7. Ordnung der Faktor 7.51 in das dynamische Moment am Antrieb eingeht, ist es beim Modifizierten Beschleunigungstrapez nur der Faktor 4.89. Je nach Einsatzfall sind auch noch andere dynamische Kriterien der Bewegungsgesetze relevant. Bild 3 zeigt beispielsweise eine besonders weiche, schwingungshemmende Bewegungsgestaltung mit stetiger Ruckfunktion (gelb).

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

Die richtige Auslegungssoftware bietet einen leistungsfähigen grafischen Editor, der dem Benutzer automatisch beschleunigungsoptimierte, harmonische Bewegungsdiagramme vorschlägt. Der versierte Anwender kann diese Bewegungsdiagramme durch Hinzufügen von Eigenschaften beliebig verfeinern.

4. Kinetostatische Analyse

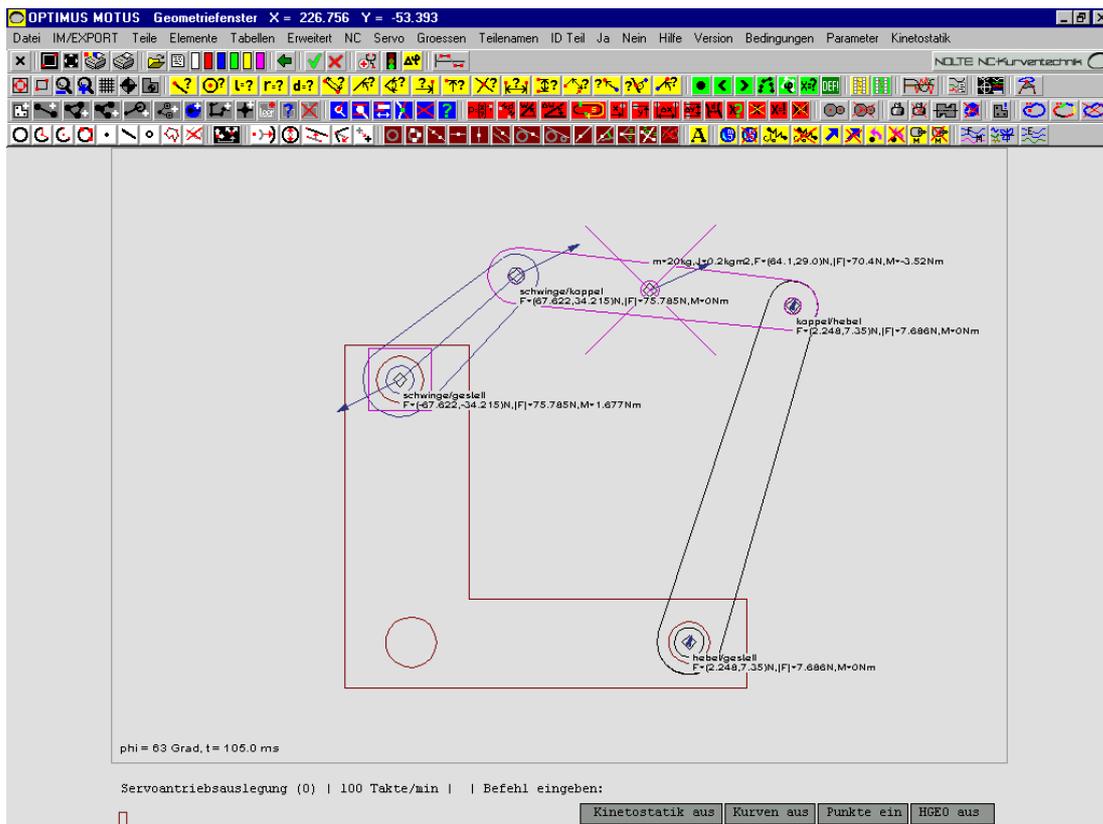


Bild 4: Animierter Kräfteplan am Mechanismus

Nachdem in der Auslegungssoftware die Bewegungsabläufe am Koppelmechanismus berechnet wurden, werden Massen, Federn, Nutzkräfte, Nutzmomente, Gravitation und Gelenkreibung als Belastung aufgebracht. Die resultierenden Gelenkkräfte und –momente können in Form von Diagrammen, Tabellen oder animierten Vektorplänen (siehe [Bild 4](#)) abgerufen werden.

Diese Auswertungen ermöglichen auch die Auslegung der mechanischen Antriebselemente neben dem Servomotor und dem Getriebe. Versierte Anwender ziehen aus den Berechnungsergebnissen Rückschlüsse, wie die Koppelmechanismen oder die Belastungen verändert werden müssen, um noch mehr Taktleistung herauszuholen.

5. Auslegung des Servomotors mit dem Übersetzungsgetriebe

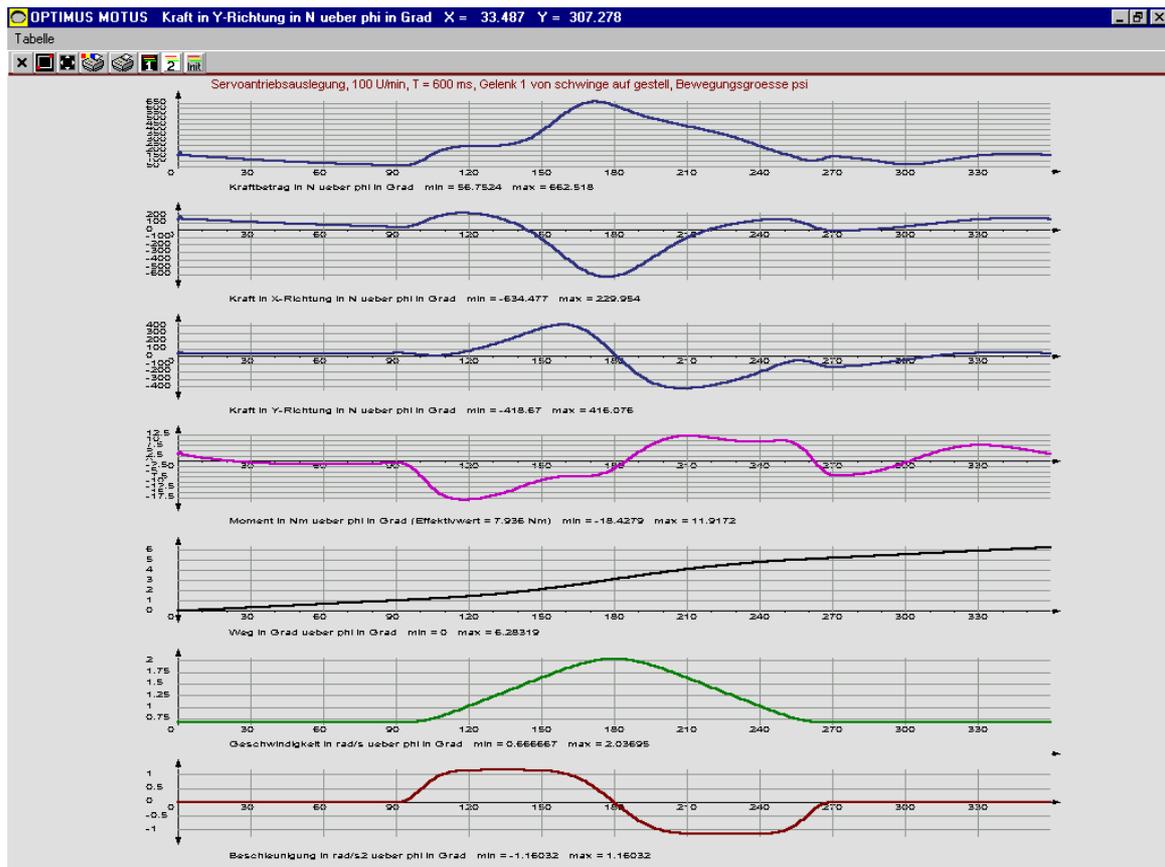


Bild 5: Bewegungs- und Lastdiagramme für den Getriebeausgang

Mit den Ergebnissen aus der Berechnung der Momenten- und Bewegungsverläufe am Getriebeausgang (Bild 5) werden die Motor-/Getriebekombinationen dynamisch ausgelegt. Der Anwender kann parallel beliebig viele Auslegungsvarianten speichern und weiterverfolgen.

Aus einem Katalog von derzeit ca. 2200 Motoren und 1100 Getrieben verschiedener namhafter Hersteller wählt der Benutzer die passenden Komponenten für seine Bewegungsaufgabe aus.

Die Software unterstützt ihn dabei in mancherlei Hinsicht:

- Die Suche im Katalog kann nach Kriterien wie Nennmoment, Spitzenmoment, Nenndrehzahl, Suchzeichenketten oder Hersteller mehrfach eingegrenzt werden.
- Der Anwender kann den Katalog um eigene Antriebskomponenten erweitern.
- Benutzer können die bevorzugt verwendeten Motoren und Getriebe zu einer Favoritenliste zusammenstellen.
- Es wird automatisch geprüft, ob die gewählten Motoren und Getriebe baulich zusammenpassen.

Die Software durchsucht den kompletten Katalog innerhalb von Sekunden nach den besten Motor-/Getriebekombinationen für die gegebene Bewegungsaufgabe.

Die Suche kann dabei auf bestimmte Hersteller oder andere Komponenten-Eigenschaften eingeschränkt werden.

Der Benutzer kann die gewünschte Leistungsreserve für den Antriebsstrang vorgeben.

Die Auslegungssoftware benutzt ein Punktesystem, um die Eignung der grundsätzlich möglichen Antriebskombinationen abzustufen.

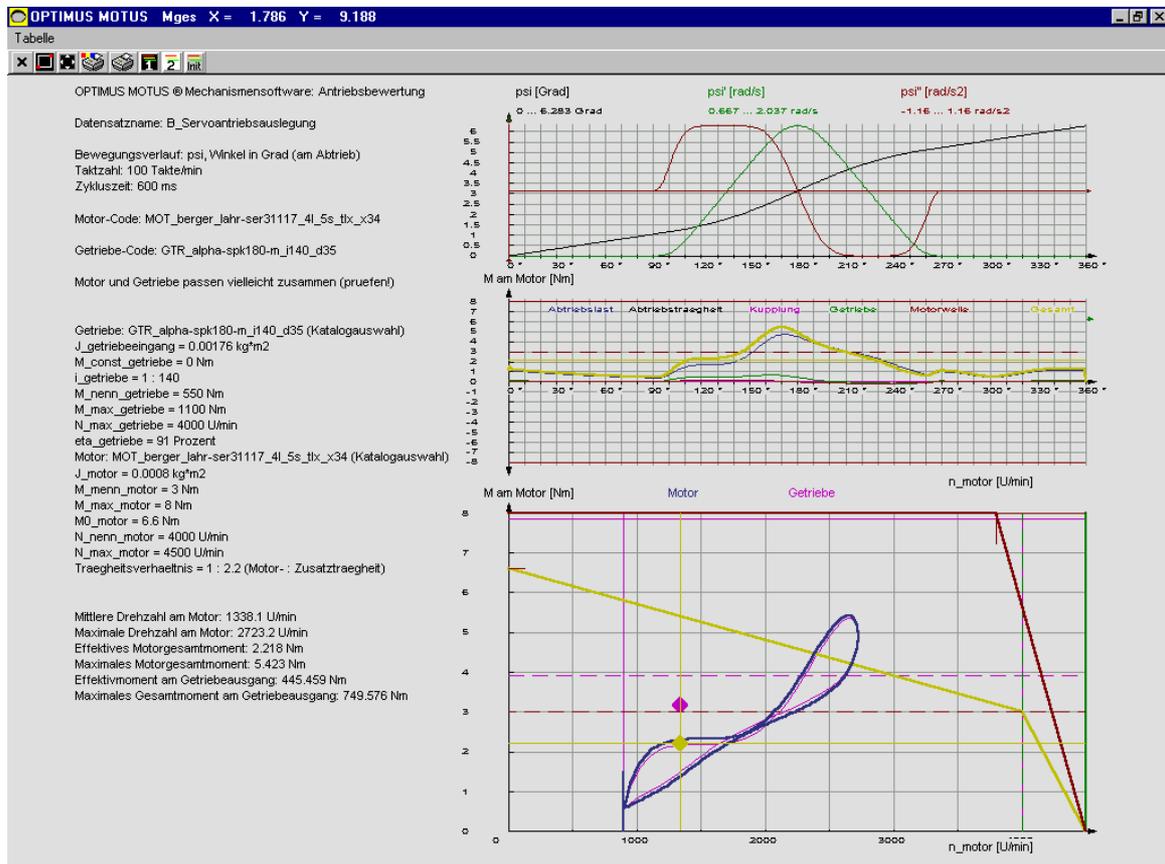


Bild 6: Detaillierte dynamische Auslegung von Motor-/Getriebekombinationen

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.

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

6. Fazit

Im praktischen Einsatz liefert das dargestellte System innerhalb von Sekunden die besten N Motor-/Getriebekombinationen für eine Bewegungsaufgabe.

Anwender sparen gegenüber anderen Auslegungsprogrammen sehr viel Zeit, da die manuelle Suche in Katalogen entfällt und da man sich keine Gedanken über die Zulässigkeit von Vereinfachungen machen muß.

Die Antriebsauswahl werden durch die genaue Beachtung aller dynamischen Kennwerte und zulässigen Belastungen deutlich sicherer, Nachbesserungen in letzter Minute praktisch ausgeschlossen.

Das System empfiehlt sich auch für die rechnerische Gegenprüfung der Auslegungen vom Servoantriebshersteller. Ergeben beide Auslegungen vergleichbare Antriebskomponenten, ist die Auslegung sehr wahrscheinlich richtig.