

## Warum Kurven und Koppelgetriebe unverzichtbar sind

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

### Kurzfassung

Bewegungssteuerungen werden immer konsequenter und selbstverständlicher mit Servoantrieben realisiert. Servoantriebe stehen für Flexibilität, und Anbieter vermitteln gerne, mit Servos ginge alles besser und schneller. Man kann fast den Eindruck gewinnen, Kurven und Koppelgetriebe gehörten der Vergangenheit an. Als einer, der Bewegungssteuerungen sowohl mit Kurven als auch mit Servos optimiert, halte ich diese Sichtweise für falsch. Kurven- und Mechanismentechniker dürfen selbstbewusst auftreten, denn nach wie vor sind mechanische Bewegungssteuerungen in etlichen Punkten unübertroffen:

- Mechanik ist erheblich schneller als Servotechnik.
- Mehrfachnutzen multiplizieren den Durchsatz.
- Konkurrierende Bewegungen sind sicher synchronisiert, ohne zusätzliche Maßnahmen, auch nach einem Notstopp.
- Mechanik ist meistens günstiger als Servotechnik.
- Mechanik ist leicht in Betrieb zu nehmen, leicht zu reparieren und unproblematisch in der langfristigen Ersatzteilbeschaffung.
- Mehrere Mechanismen können Energie direkt untereinander austauschen und so Verluste durch Zwischenkreisströme vermeiden.
- Mechanik ist kompakt baubar.
- Zur Mechanik gehört auch sehr viel Know How im Bereich Bewegungdesign und Dynamik, das in der Servowelt noch nicht gleichwertig abgebildet wird.

Mechanik ist nicht veraltet. Sie ist unübertroffen in puncto Performance.

## **Abstract**

Motion control systems are realized ever more consequently and naturally with servo drives. Servo drives stand for flexibility, and providers convey with pleasure, with servos everything would be better and faster. You can almost gain an impression, cams and linkages belonged to the past. As one who optimizes motion controls both with mechanisms and with servo drives, I think this view is wrong. Cam and mechanism technicians may appear confident, because after all mechanical motion control is unsurpassed in a number of respects:

- Mechanical motion control is considerably faster than servo technology.
- Multiple rollers on one cam multiply overall performance.
- Competing movements are safely synchronized, without additional measures, even after an emergency stop.
- Mechanical solutions are in total usually cheaper than servo technology.
- Mechanics are easy to put into operation, easy to repair and unproblematic in long-term spare parts procurement.
- Several mechanisms can exchange energy directly with each other, thus avoiding losses due to DC link currents.
- Mechanical solutions are compact.
- The mechanics also refers to a lot of know how in the field of motion design and dynamics, which is not yet equally shown in the servo world.

Mechanisms are not outdated. They are still top in terms of performance.

## **1. Vorzüge mechanischer Lösungen**

Gute mechanische Bewegungssteuerungen sind Wunderwerke, die das Spiel der kinetischen und potenziellen Energien und der Massenkräfte so ausnutzen, dass der Antrieb minimal belastet wird und die Massenkräfte sich gegenseitig weitgehend aufheben.

Mechanismen mit Kurven, Zahnrädern, Unrundrädern, Riemen, Ketten, Schrittgetrieben und Gelenkgetrieben haben viele spezifische Vorteile:

- a) Mechanische Bewegungssteuerungen sind in der Regel im Vergleich günstig in der Anschaffung. Bei der Servolösung ist ja nicht nur die Restmechanik zu rechnen, die am Getriebeausgang montiert ist, sondern auch das Getriebe, der Servomotor, der Controller, anteilig die übergeordnete Steuerung, die Netzwerktechnik und Verkabelung, der Aufwand für Softwareentwicklung und -pflege und die Inbetriebnahme aller Antriebe. Das läppert sich.
- b) Sie ziehen geringe indirekte Kosten nach sich, z.B. Energiekosten. Bei der Auslegung ist dafür natürlich auf geringen Energieumsatz zu achten.
- c) Die Gesamtkosten mechanischer Lösungen (TCO, Total Cost of Ownership) sind damit niedrig.
- d) Mechanik ist vergleichsweise unempfindlich gegenüber Umgebungseinflüssen wie Temperatur, Feuchtigkeit oder Schmutz.
- e) **Mechanische Lösungen arbeiten von sich aus zuverlässig und sicher im Bewegungsablauf.** Typisch für viele Maschinen, beispielsweise Verpackungsmaschinen, ist die zeitliche Überlappung mehrerer konkurrierender Bewegungen. Wenn diese Bewegungen nicht genau koordiniert ablaufen, treten Kollisionen auf. Mechanische Lösungen stellen durch ihre Natur sicher, dass keine Kollisionen auftreten werden, wenn die Bewegungen in ihrem Zusammenspiel und die Teile hinsichtlich ihrer Festigkeit fachgerecht gestaltet wurden, was durch Simulationen abgesichert werden kann. Stimmt das Zusammenspiel in der Maschine einmal, dann stimmt es immer. Es kann nicht durch falsches Setzen von Referenz- oder Nullpunkten, Störungen bzw. Schaltkreisausfälle in einer Elektronik oder fehlerhafte Algorithmen beeinträchtigt werden.
- f) Mechanik ist wartungsarm herstellbar.
- g) Sie benötigt gar keine Menüpunkte in einer Software.
- h) Mechanik ist leicht zu reparieren, notfalls auch mal mit einem Behelf, der die Maschine für die dringend zu erledigenden Aufträge am Laufen hält.
- i) Fallen Kurven oder andere mechanische Komponenten nach etlichen Jahren einmal aus, wird man immer Ersatz beschaffen können. Wenn irgendwelche Fertigungsdaten vorliegen (DXF-Daten, Step-Daten, NC-Daten), sogar sehr kurzfristig. Wie lange sind demgegenüber elektronische Ersatzteile verfügbar? Wenn nach 10 Jahren ein Steuerungstyp nicht mehr hergestellt wird, was machen Sie dann bei einem Ausfall der Steuerung? Wir haben es schon miterlebt, dass die gesamte Steuerungstechnik eines Antriebsherstellers durch eine andere austauscht wurde, weil für einzelne Komponenten kein Ersatz mehr zu beschaffen war.

- j) Mechanik ist leicht in Betrieb zu nehmen. Zusammenschrauben und los geht's. Keine Konfiguration, keine Programmierung. Man sollte allerdings darauf achten, dass die Lage der Teile zueinander, insbesondere der Kurven, durch Referenzbohrungen oder ähnliches zueinander eindeutig festgelegt werden. Auf das manuelle Justieren in der Maschine sollte man möglichst verzichten.
- k) Mechanische Bewegungssteuerungen laufen immer synchronisiert, ohne Referenzfahrten, auch nach einem Notstopp.
- l) Störungen und Ausfälle sind sehr selten.
- m) Treten plötzlich Fehler auf, sind sie einfach zu finden und zu beheben.
- n) Sie benötigen keine Softwareupdates, weil Mechanik keine Software hat.
- o) Kurvengetriebe sind in den Haltepunkten automatisch selbsthemmend, so dass der Antrieb kein Haltemoment aufbringen muss.
- p) **Die Mechanik liefert den Kniehebeleffekt.** Darauf wird auch beim Einsatz von Servoantrieben gerne zurückgegriffen, um bei Umformungen das Antriebsmoment klein zu halten.
- q) Mehrere Arbeitsorgane und Teilmechanismen können ihre Bewegungsenergie untereinander auf direktestem Wege austauschen, so dass der Antrieb nur ein kleines Restmoment bzw. eine kleine Rest-Leistung aufbringen muss. Ein elektrischer Energieaustausch über Zwischenkreise hingegen ruft immer Ströme, Wärme und damit Energieverluste hervor.
- r) Mit Hilfe energetischer Optimierungen können Sie mit Mechanik enorm an Energie sparen, mehr als mit elektronischen, pneumatischen oder hydraulischen Lösungen. Das ist im Sinne des Umweltschutzes und eines nachhaltigen Umgangs mit Ressourcen, der in Zukunft immer wichtiger werden wird.
- s) **Mechanische Bewegungssteuerungen, insbesondere bei mehreren Bewegungen, sind sehr kompakt.** Leistungsfähige Baugruppen mit mehreren Bewegungsachsen kommen insgesamt mit sehr wenig Bauraum aus. Bauraum ist immer ein sehr wichtiger Punkt, weil der Platz in der Halle des Maschinenbetreibers und auch innerhalb der Maschine in der Regel begrenzt ist. In einem praktischen Beispiel haben wir einmal eine Baugruppe mit Kurvenscheiben zum Wenden kleiner Zylinder mit einer Taktzahl von 5000/min entwickelt, die in etwa die Ausmaße eines halben Schuhkartons hatte. Mit Servotechnik wäre so etwas überhaupt nicht denkbar.
- t) Vollständig mechanische Bewegungssteuerungen kommen meistens mit einem günstigen Drehstrommotor aus.

- u) Kurven können im Durchlaufbetrieb von mehreren Rollen abgetastet werden. Dieser Mehrfachnutzen multipliziert den Durchsatz auf einfache Weise.
- v) **Mechanische Lösungen erreichen höhere Verarbeitungsgeschwindigkeiten und insgesamt eine höhere Performance als Servoantriebslösungen.**

## 2. Mechanik und Servotechnik als Gegner

Bei Diskussionen mit Maschinenentwicklern und Konstrukteuren auf der einen Seite und SPS-Programmierern und Elektrotechnikern auf der anderen ist oft zu spüren, dass die Abteilungen gewissermaßen einen Wettbewerb im Hinblick auf die Führung und auf Zuständigkeiten bei der Entwicklung austragen. Auf dem Markt der Bewegungssteuerungen stehen sich Kurven- und Schrittgetriebehersteller und Servoantriebshersteller als Konkurrenten gegenüber. Wo einzelne Bewegungen früher mangels Alternativen mit Kurven erzeugt wurden, dafür werden immer häufiger Servoeinzelantriebe eingesetzt.

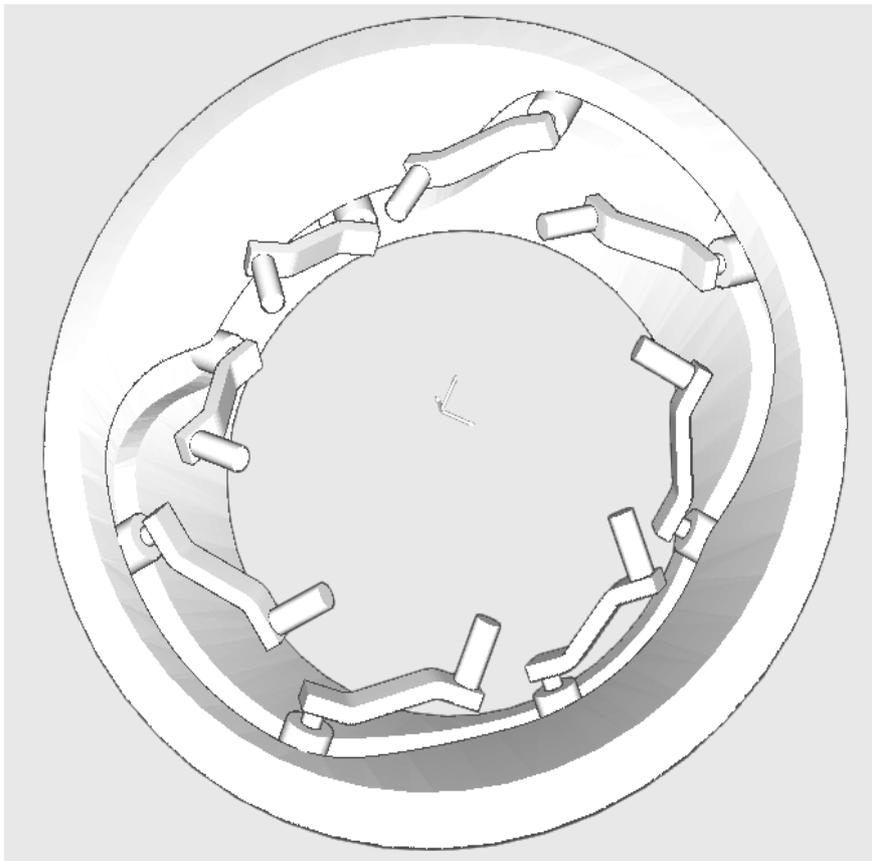


Bild 1: Mehrfachnutzen mit einer feststehenden Kegelkurve und umlaufenden Hebeln

Letzteres ist gut, solange der Servoantrieb gegenüber der Mechanik die bessere technische und wirtschaftliche Lösung ist.

Oft genug werden Servoantriebe aber nur eingesetzt, weil sich der Konstrukteur damit die Arbeit erleichtern kann. Ohne sich über die Bewegungsabläufe genau Gedanken zu machen, sieht er erst einmal einen Servoantrieb vor, und die Gestaltung der Bewegungen wird dann später schon der SPS-Programmierer übernehmen. Der hat aber nicht die gleiche Einsicht und die passenden Werkzeuge, um das komplexe Bewegungszusammenspiel mit Kollisionsstellen, die Beschleunigungen, die Kräfte, Momente und Lebensdauern zu optimieren, wie der Mechanikentwickler. Die Bewegungsgestaltung und damit die erreichbare Performance bleiben dabei hinter den Möglichkeiten zurück.

Tendenziell herrscht der Gedanke „Mechanik gegen Servo“ vor.

### **3. Mechanik und Servotechnik als Partner**

Die Gegnerschaft zwischen Elektrotechnik und Mechanik ist ein kontraproduktiver Denkansatz. In der Regel will ein Unternehmen insgesamt möglichst großen wirtschaftlichen Erfolg haben. Alle Fakultäten, inklusive mechanischer Konstruktion und Elektrotechnik, sind Spieler in einem Team, das zusammen leistungsfähige und wirtschaftliche Produkte hervorbringen soll.

Auf technischer Ebene gibt es oft gute Lösungen als Kombination eines Servoantriebs und eines Kurven- oder Koppelgetriebes, beispielsweise

- Globoid- oder Zylinderkurvenschnecken mit konstanter Steigung und Servoantrieb
- Kniehebel oder Doppelkniehebel mit Servoantrieb in der Umformtechnik
- Schnelle Schaltbewegungen mit Servoantrieb und Schrittgetriebe bei Sammelpackungen

Dann sind die Kompetenzen beider Disziplinen gefordert.

Über Jahrzehnte sind in der mechanischen Konstruktion im Zuge der Auslegung von Kurven und Schrittgetrieben etliche leistungsfähige Methoden zur Bewegungsgestaltung (Bewegungsdesign) entstanden, die in der SPS-Welt weitgehend unbekannt sind. Gutes Bewegungsdesign verbessert auch bei elektronischen Kurven die Performance. Auch hier kann das Team von einer Kombination beider Disziplinen profitieren.

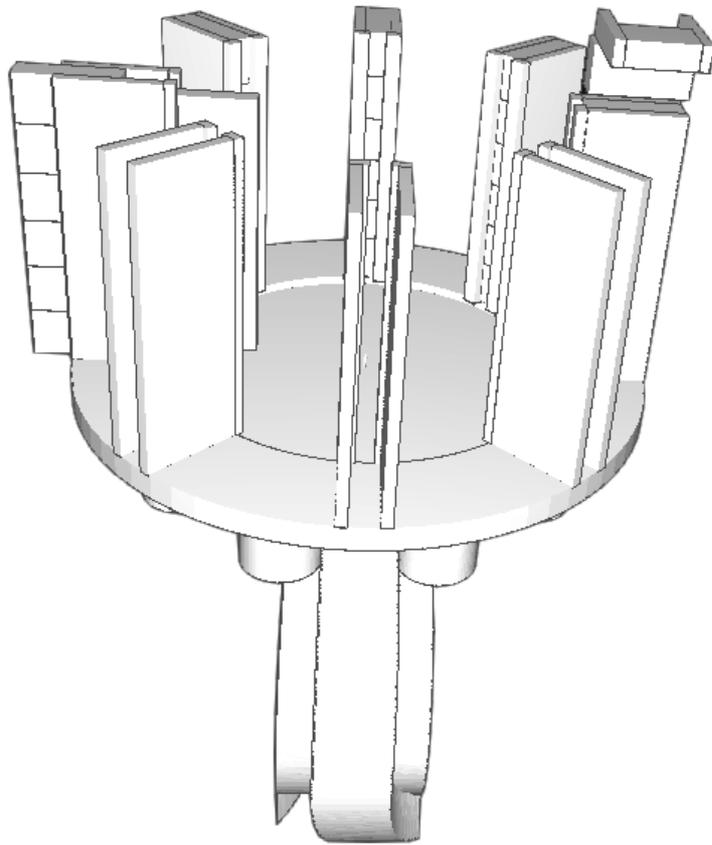


Bild 2: Sammelscheibe mit Zylinderkurven-Schrittgetriebe und getaktetem Servoantrieb

#### **4. Performance oder Flexibilität**

Servoantriebe mit elektronischer Kurvenscheibe für eine Bewegungsachse beschleunigen ihre eigene Trägheit und die des evtl. angehängten Getriebes immer mit. Außerdem begrenzt die Zykluszeit des Lagereglers ( $\geq 250 \mu\text{s}$ ) die erreichbare Taktzahl, abhängig von der Gestalt des konkreten Bewegungsdiagramms. Das sind zwei systematische Nachteile der elektronischen gegenüber der mechanischen Bewegungssteuerung.

Wenn sowohl die Servolösung als auch die mechanische Lösung fachgerecht und unter Ausnutzung aller Möglichkeiten ausgelegt werden, wird die mechanische Lösung nach Einschätzung des Autors immer höhere Taktzahlen erreichen können und dabei wahrscheinlich kompakter sein und den geringeren Preis haben. Es mag vorkommen, dass eine mechanische Bewegungssteuerung durch Servoantriebe ersetzt wird, und dass die

Servolösung dann schneller läuft. Dann war die Auslegung der Mechanik aber nicht sonderlich gut.

Wo Maschinen wegen kleiner Chargen häufig umgerüstet werden, ist die flexible Servotechnik gefordert.

Wo Maschinen jedoch über Tage oder Wochen das gleiche Produkt verarbeiten, oder wo die verschiedenen Produkte sich nur wenig in ihren Parametern unterscheiden und immer noch vernünftig mit einem Satz Kurven verarbeitet werden können, sind kompakte, verlässliche, preisgünstige und schnelle mechanische Bewegungssteuerungen vorzuziehen.

## **5. High-Tech oder Verlässlichkeit**

Maschinen, bei denen an einem farbigen Display mit grafischer Benutzungsschnittstelle alle Maschinen- und Formatparameter bequem einstellbar sind, wo sich dann alle Bewegungen automatisch anpassen, und wo man für einen Formatwechsel keinen Schraubendreher mehr benötigt, beeindrucken natürlich mehr und sind benutzerfreundlicher als rein mechanische Konstruktionen.

Jedenfalls, solange alles so funktioniert, wie es geplant war.

Wir hatten bei unserem Auto kürzlich ein Problem mit der elektrisch betriebenen rechten Schiebetür, die bis dahin etwa 6 Jahre lang (weitgehend) störungsfrei arbeitete. Plötzlich reagierte die Elektronik nicht mehr, wenn man auf einen der diversen Knöpfe zum Öffnen und Schließen drückte. Die mechanische Notfunktion (per Hand auf- und zuschieben) ging aber glücklicherweise noch. Die Werkstatt konnte das Problem nicht lokalisieren, aber ein Software-Reset beseitigte es vorerst. Kurze Zeit später meldete die Bordelektronik während der Fahrt mit ständig wiederkehrenden Meldungen, dass die Tür noch geöffnet sei, obwohl sie mechanisch definitiv geschlossen war. Das war lästig, auch weil das automatische Innenlicht deaktiviert werden musste, damit es überhaupt ausging. Schlimmer war jedoch, dass sich die Bordelektronik auf dem Parkplatz weigerte, das Auto abzuschließen, weil ein Sensor meldete, die Tür sei noch offen. Auch durch schwungvolles manuelles Schließen und durch Drücken von außen an verschiedenen Stellen der Tür konnten wir die Elektronik nicht überreden. Ein mechanisches Schloss hat die Tür nicht. Wir waren auf die Elektronik

angewiesen, und die streikte. Die Tür blieb unverschlossen. Und mit ihr gleich auch die Schiebetür auf der linken Seite.

Wir hatten Glück, dass uns das ein paar Tage vor dem Urlaub passiert ist und nicht während des Urlaubs. Die Werkstatt hat einen ganzen Tag benötigt (bei entsprechenden Kosten), um das Schloss mit dem defekten Mikroschalter auszubauen und inklusive neuer Kontaktplatten zu ersetzen.

Eine mechanische Schiebetür mit einem Schlüssel zum Abschließen ist bestimmt nicht so cool wie eine, die man vom Fahrersitz öffnen und schließen und per Funk abschließen kann, aber sie hätte uns nicht im Stich gelassen.

Ein nicht abschließbares Auto ist gar nicht cool, wenn keine Werkstatt in der Nähe ist.

Szenarien wie dieses sind jederzeit auch für Maschinen denkbar. Die Maschine steht vielleicht in Brasilien oder in China, und Ihr Monteur macht sich aus Stuttgart oder Frankfurt oder Hamburg dorthin auf den Weg.

## **6. Fazit**

Kurven- und Koppelgetriebe, insgesamt mechanische Bewegungssteuerungen, und das dazu gehörende Know How im Bewegungsdesign werden unverzichtbar bleiben, solange zuverlässige, bezahlbare, robuste, langlebige, kompakte Maschinen für sehr hohe Verarbeitungsleistungen gefragt sind.

## **7. Literaturangaben**

[1] [www.optimusmotus.de/mechanismen.html](http://www.optimusmotus.de/mechanismen.html)