

Oxni Wiki

Bewegungsprofile

Version A

**21. Februar 2022
Oxni GmbH**



Einleitung

Diese Zusammenfassung soll eine einfache Handhabung zur Auslegung von Servomotoren bieten, auch für komplexe Bewegungsprofile.

Anforderung

Für Elektromotoren gibt es grundsätzlich zwei Anwendungsfälle. Einerseits endlos drehend oder von Punkt zu Punkt fahrend. Wir gehen hier auf den zweiten Fall eines spezifischen Bewegungsprofils ein. Dieser ist insofern interessant, als dass die Bewegung in jeder Anwendung sehr spezifisch ist: ein spezielles Profil, Vorgaben in der Bewegungszeit, Anforderungen an Präzision, Bedingungen der Umgebung und schliesslich die Sonderwünsche des Kunden.

Mit diesem Wissen wird ein Motor ausgelegt und eingekauft. Die einzige Anforderung ist, es muss drehen. Wichtig ist, dass die Anbindung an die bekannte Steuerung für die Programmierer passt und dass die Anzahl Teile für den Ersatzteillfall klein gehalten werden kann.

Die Eckwerte, mit denen der Antriebsstrang ausgelegt wurde, wie Geschwindigkeit, Beschleunigung und Ruck sowie Zykluszeit, spielen eine untergeordnete Rolle und müssen meist in einer ersten Annäherung genügen.

Wenn diese ersten Annäherungswerte bereits alles erfüllen, was die Applikation zukünftig an Herausforderungen für den Motor haben wird, gelingt auch der Antriebseinkauf nach dem bekannten Schema.

Die Geschwindigkeit bestimmt die Drehzahl des Motors sowie die Möglichkeit, mit Übersetzungen ein optimaleres Verhältnis zum Drehmoment zu erhalten. Die Drehzahl hängt dabei direkt mit der anliegenden Spannung zusammen.

Die maximale Geschwindigkeit für eine Bewegung kann mit einfachen Formeln für ein Dreiecksprofil berechnet werden.

$$v_{max} = \frac{2 * \Delta Position}{\Delta Zeit} \text{ (bei gleicher Beschleunigung und Bremsrampe)}$$

Das Spitzenmoment bestimmt den Maximalwert, das Nennmoment die thermische Grenze der Anwendung. Das Drehmoment hängt direkt mit dem Strom zusammen.

Nachfolgend die Formeln für ein Dreiecksprofil:



$$M_{max} = \frac{4 * \Delta Position}{\Delta Zeit^2} \text{ (bei gleicher Beschleunigung und Bremsrampe)}$$

Da bei einem Dreiecksprofil jeweils mit gleicher Beschleunigung über den gesamten Zyklus gefahren wird, ist das Nennmoment gleich dem Spitzenmoment.

$$M_{Nenn} = M_{max} = \frac{4 * \Delta Position}{\Delta Zeit^2} \text{ (bei gleicher Beschleunigung und Bremsrampe)}$$

Mit diesen einfachen Berechnungen ist eine Auslegung fast getan. Nun können die so berechneten Werte ganz einfach auf alle folgenden Profile angewendet werden. Das erlaubt direkt das Resultat von deutlich komplexeren Berechnungen mit einem Dreisatz zu ermitteln.

Für alle jene, die seit der Mittelstufe ein Dreisatz-Trauma haben.

$$ProfileWert = Errechneter Wert * \frac{Faktor \text{ des Wunschprofils}}{Faktor \text{ des Dreieckprofils}}$$

Was jetzt noch fehlt, ist die Ruckbetrachtung und deren Einfluss auf das Profil. Ruck zeigt die mechanische Belastung auf, führt zu Vibrationen und erschwert die Regelung des Systems.

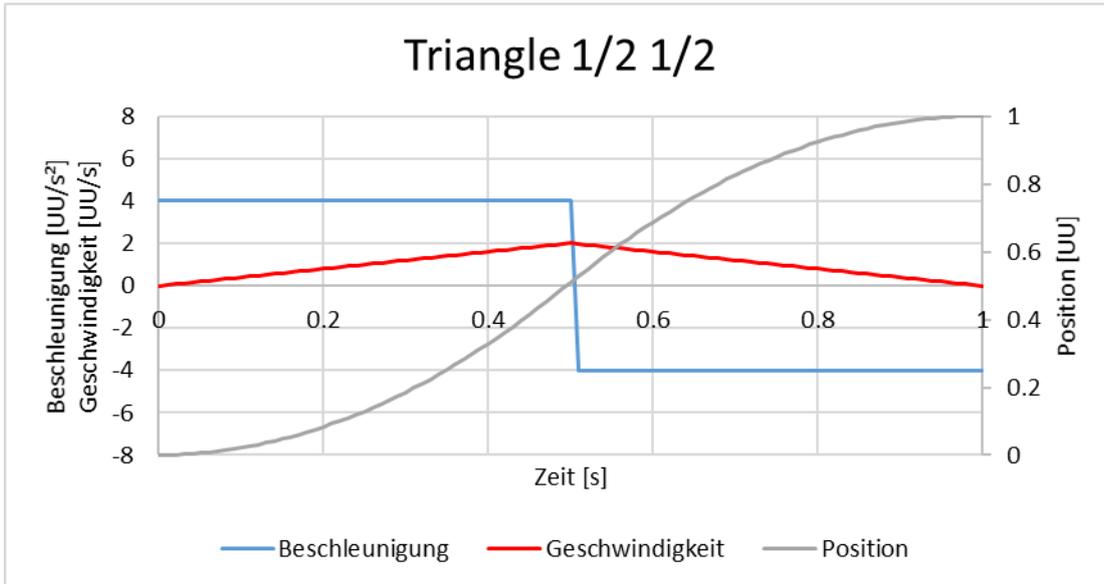
Nachfolgend die Eckwerte zur Skalierung für sieben verschiedene Profile sowie einige Bemerkungen zu Ruck und anderen jeweiligen Vor- und Nachteilen.



Dreieck

Ein Dreiecksgeschwindigkeitsprofil ermöglicht eine sehr einfache Berechnung der Geschwindigkeit und der Beschleunigung.

Maximalgeschwindigkeit	RMS Beschleunigung	Maximalbeschleunigung
2	4	4



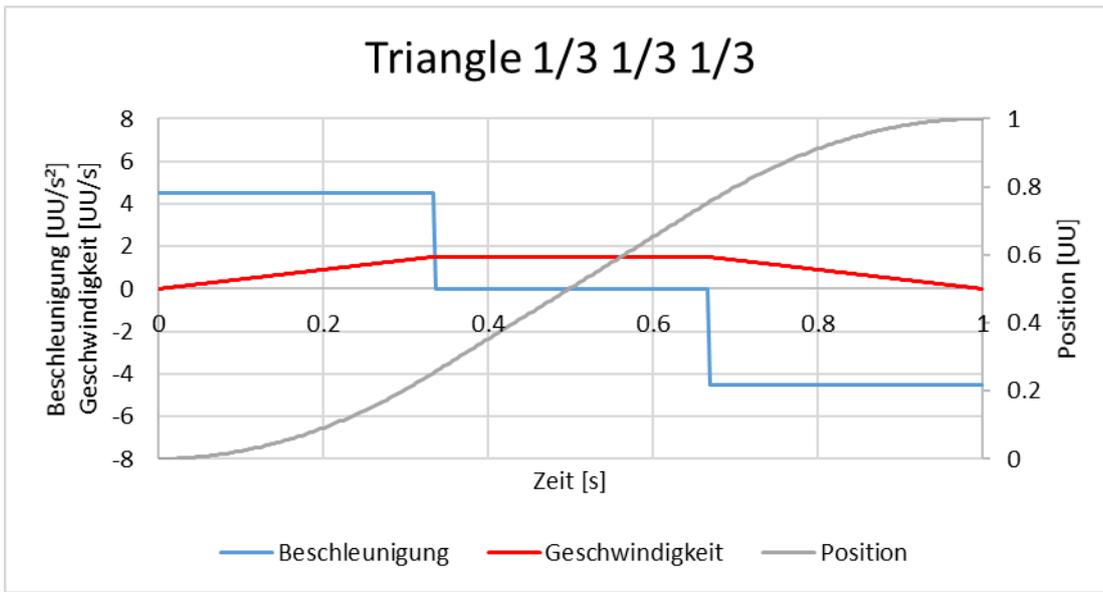
Vorteile	Nachteile
Tiefes Spitzenmoment	Spitzengeschwindigkeit und Moment fallen zusammen
Einfach zu realisieren	3x unstet, damit entsteht Stress für die Mechanik



Trapez

Je ein Drittel der Bewegung wird genutzt zum Beschleunigen, zur Konstantfahrt und zum Bremsen. Durch die höhere Beschleunigung können eine etwas niedrigere Geschwindigkeit sowie ein tieferes Nennmoment erzielt werden.

Maximalgeschwindigkeit	RMS Beschleunigung	Maximalbeschleunigung
1.5	3.67	4.5



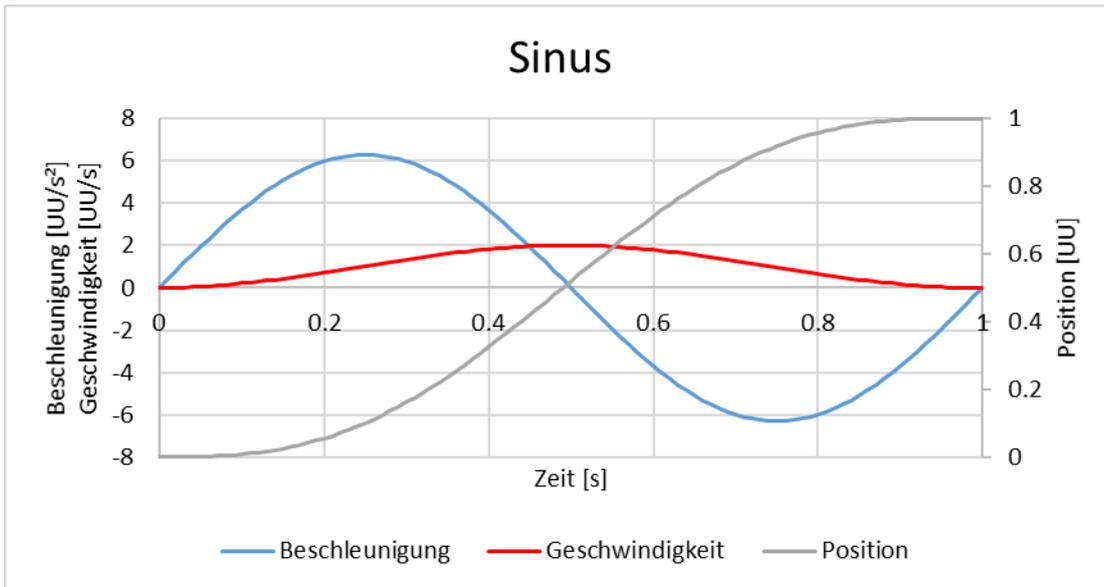
Vorteile	Nachteile
Tiefes Nennmoment	Spitzengeschwindigkeit und Moment fallen zusammen
Einfach zu realisieren	4x unstet, damit entsteht Stress für die Mechanik



Sinus

Der gesamte Bewegungsablauf folgt einem Sinus. Es ist nur am Anfang und am Ende der Bewegung ein Ruck vorhanden. Die Belastung für die Mechanik wird dadurch signifikant reduziert. Dafür ergibt sich eine erhöhte Spitzenbeschleunigung, welche jedoch nicht mit der Maximalgeschwindigkeit zusammenfällt.

Maximalgeschwindigkeit	RMS Beschleunigung	Maximalbeschleunigung
2	4.42	6.28



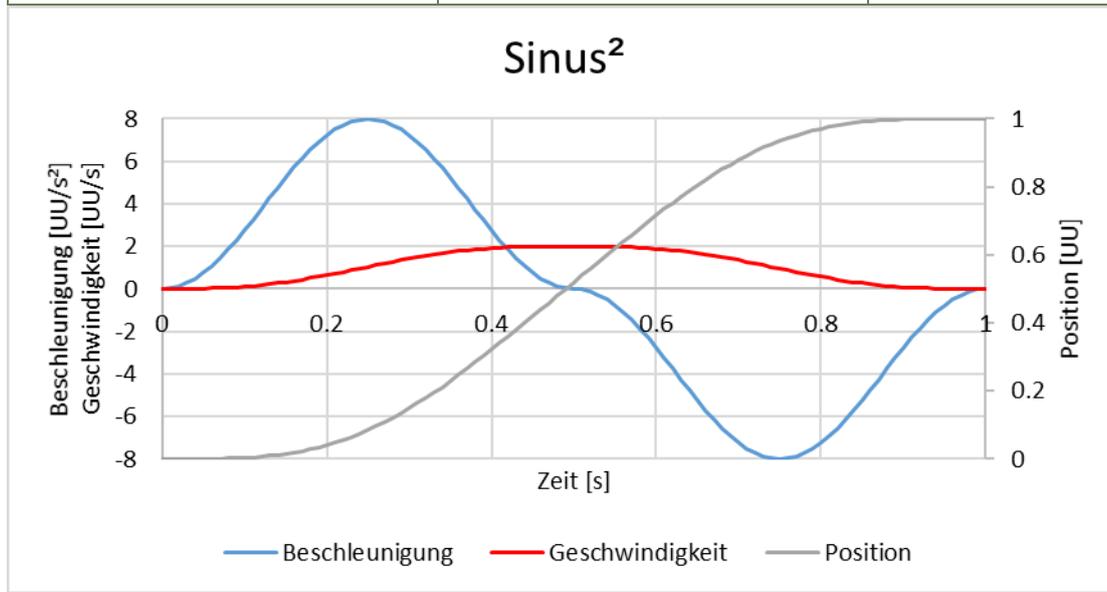
Vorteile	Nachteile
Kontinuierliche Beschleunigungsänderung während der Fahrt	2x unstet
0 Beschleunigung bei maximaler Geschwindigkeit	Hohe Spitzenbeschleunigung



Sinus²

Entsprechend dem Sinusprofil wird bei einem Sinus-Quadrat auch der Ruck beim Anfahren und Bremsen noch stark unterdrückt. Dadurch wird eine minimale mechanische Belastung aller Komponenten erreicht. Diese sanfte Beschleunigung führt jedoch zu einem nochmals höheren Durchschnitts- und Spitzenmoment.

Maximalgeschwindigkeit	RMS Beschleunigung	Maximalbeschleunigung
2	4.87	8



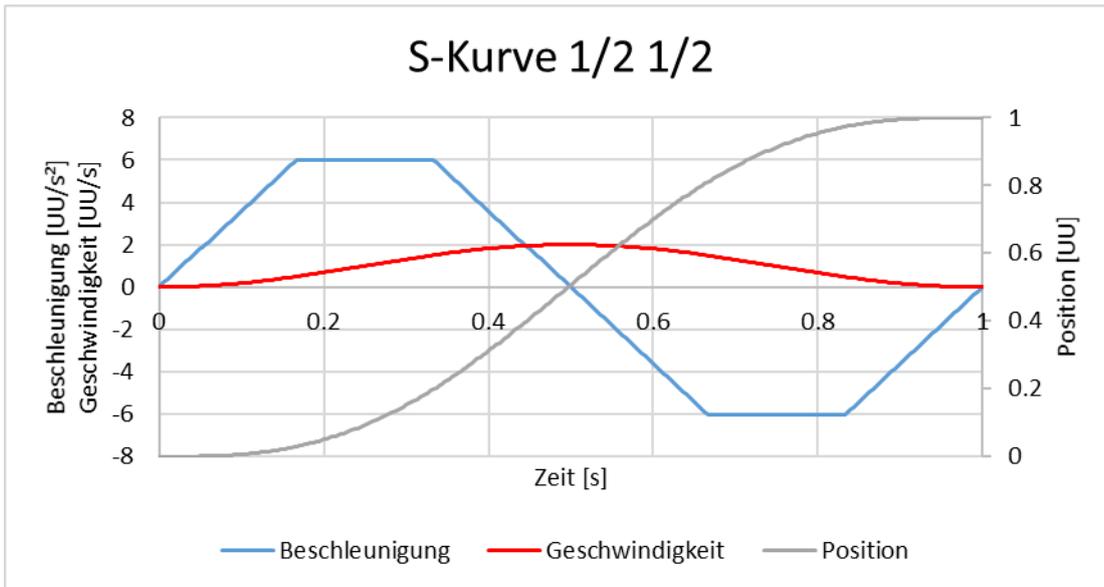
Vorteile	Nachteile
Nie unsteht	Hohe Spitzenbeschleunigung
0 Beschleunigung bei maximaler Geschwindigkeit	Hohe durchschnittliche Beschleunigung



S-Kurve

Mit einer kontinuierlichen Beschleunigung bis zum Spitzenmoment wird der Ruck bei den sechs Beschleunigungsänderungen abgemildert. Dies führt mit derselben Maximalgeschwindigkeit wie beim Trapez zu geringerer mechanischer Belastung auf Kosten eines erhöhten Durchschnitts- und Spitzenmoments.

Maximalgeschwindigkeit	RMS Beschleunigung	Maximalbeschleunigung
2	4.46	6



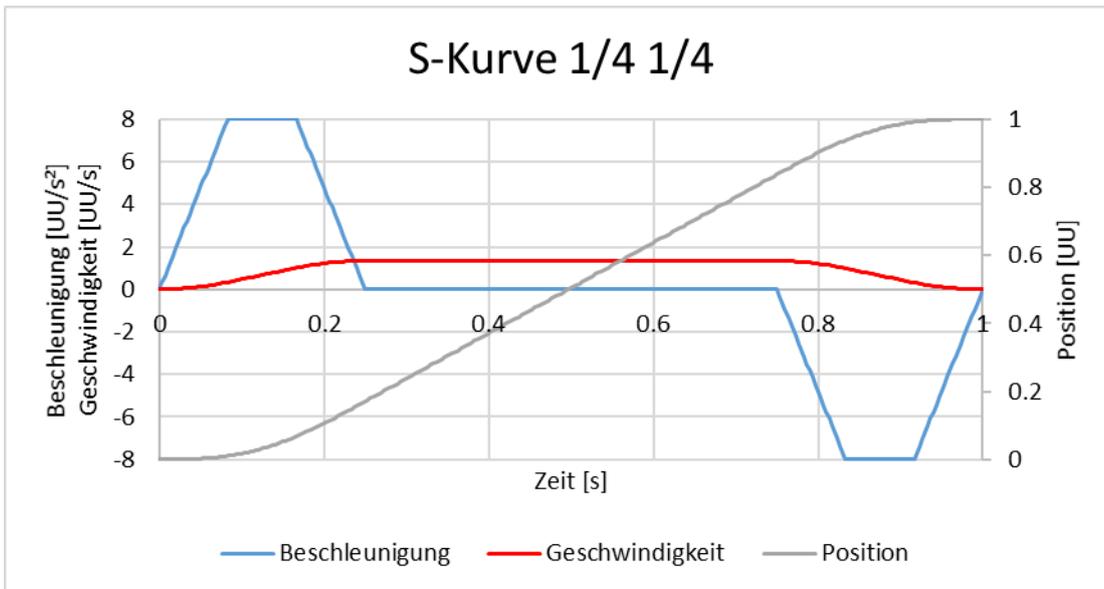
Vorteile	Nachteile
Kontinuierliche Beschleunigung	6x unstet
0 Beschleunigung bei maximaler Geschwindigkeit	Hohe durchschnittliche Beschleunigung
Geschwindigkeit	



S-Kurve modifiziert

Mit einer forcierten Beschleunigungsphase können die Vorteile der S-Kurve noch mit einer tieferen Maximalgeschwindigkeit kombiniert werden. Dadurch erhöht sich jedoch die absolute Maximalbeschleunigung.

Maximalgeschwindigkeit	RMS Beschleunigung	Maximalbeschleunigung
1.33	4.21	8



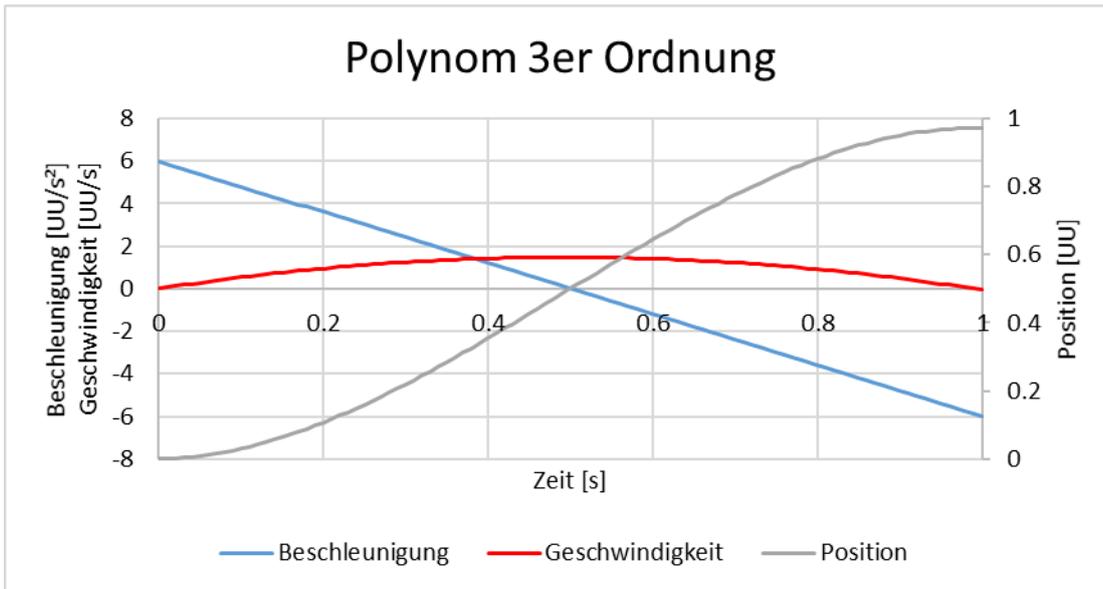
Vorteile	Nachteile
Kontinuierliche Beschleunigung	6x unstet
0 Beschleunigung bei maximaler Geschwindigkeit	Hohe absolute Beschleunigung



Polynom 3er-Ordnung

Maximaler Ruck mit minimaler Durchschnittsbeschleunigung und tiefer Maximalgeschwindigkeit. Das Polynom dritter Ordnung empfiehlt sich vor allem bei Direktantrieben, welche auf Kupplungen und mechanische Übertragungselemente verzichten können.

Maximalgeschwindigkeit	RMS Beschleunigung	Maximalbeschleunigung
1.5	3.46	6



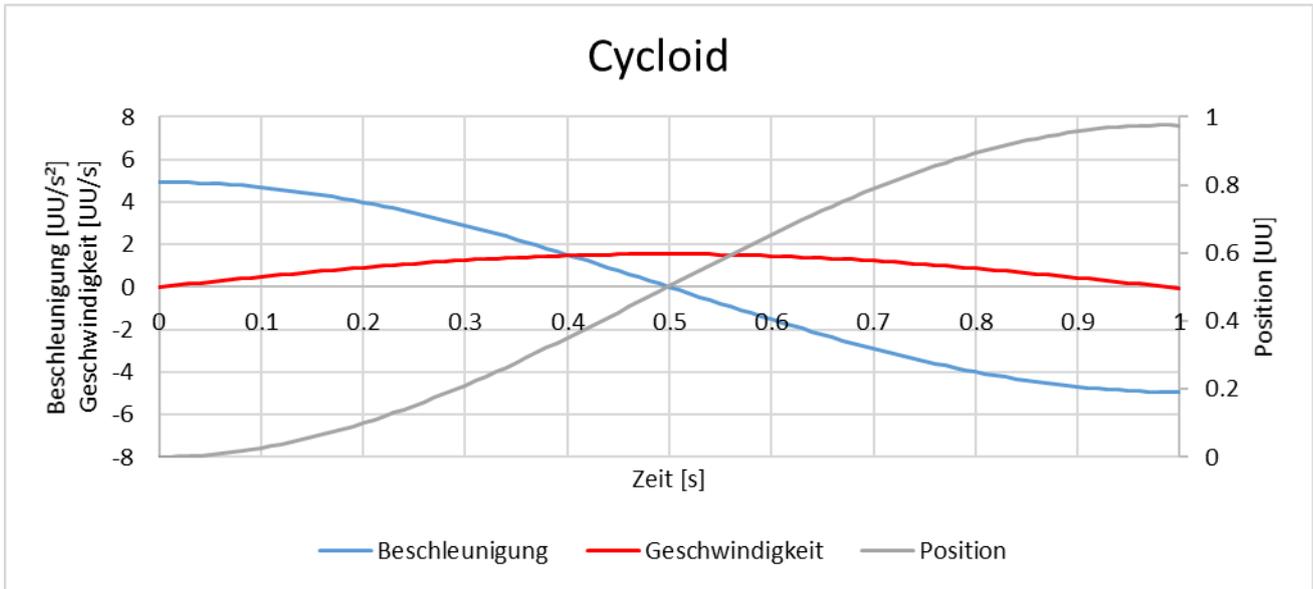
Vorteile	Nachteile
Spitzenbeschleunigung bei 0 Geschwindigkeit	2x unstet
Tiefe durchschnittliche Beschleunigung	Mechanischer Stress



Zykloid

Abwandlung des Polynoms dritter Ordnung mit konstanter Ruckänderung hin zu einem tieferen Maximalbeschleunigungswert.

Maximalgeschwindigkeit	RMS Beschleunigung	Maximalbeschleunigung
1.57	3.49	4.93



Vorteile	Nachteile
Tiefe Spitzenbeschleunigung	2x unstet
Tiefe durchschnittliche Beschleunigung	Mechanischer Stress



Zusammenfassung

Berechnung

Für die Berechnung reicht meist das einfache Trapez. Die so ermittelten Werte können, mittels der Faktoren direkt auch für andere Profile bestimmt werden. Damit entfallen komplexe Berechnungen.

Durch die Faktoren ist auch schnell ersichtlich, wie viel Reserve beim Wechsel von einem Profiltyp zum nächsten gewonnen oder verloren wird. Das erlaubt auch spätere Leistungsdatenanpassungen abzuschätzen, bevor ein neuer Motor bestellt wird.

Optimierung

Durch die Wahl des Profils kann eine Optimierung zwischen Geschwindigkeit und Drehmoment vorgenommen werden, bevor die mechanische Übertragung überhaupt miteinbezogen wird.

Weiter ist die Betrachtung des Nominalwerts in Bezug auf den Zyklus in der Maschine zu beachten. Der Gesamtzyklus, welcher hier nicht beachtet ist, bestimmt, ob das Profilmoment das Motornennmoment überschreiten darf oder nicht. Die Spitzenmomenten müssen für den Motor immer erreichbar sein. Aufgepasst bei längeren Spitzenmomenten: Die Nennmomentberechnung ist nur bis Zyklen von vier Sekunden gültig.

Es empfiehlt sich, die mechanische Übertragung, Motorwicklung, Regler und Einspeisung aneinander anzupassen. Damit lässt sich zusätzlich die Ersatzteilhaltung optimieren.

Mechanische Belastung

Die Belastung durch Ruck auf die Mechanik sollte in den meisten Fällen möglichst reduziert werden. Dies erhöht die Lebensdauer der Komponenten, erleichtert die Kontrolle des Systems und erlaubt höhere Verstärkungsfaktoren.

Je dynamischer eine Bewegung ausgeführt werden soll, umso mehr wird auch Ruck vorhanden sein. Damit die Regelbarkeit sowie die mechanische Belastung darunter nicht leiden, ist der Einsatz der Direktantriebstechnologie hier der Schlüssel zum Erfolg.

Profile wie das Polynom dritter Ordnung sind nur mit Direktantriebsanwendungen zu verwenden! Bei nicht steifen mechanischen Kupplungen können Resonanzen und Abnützungen zu starken Einschränkungen führen.



Ein Team in Bewegung – Oxni bietet Lösungen in der Antriebstechnik

Hocheffiziente, exakt synchronisierte Maschinen – in allen Branchen sorgen sie für Qualität, Effizienz und maximalen Durchsatz. Diese Maschinen sind das Ergebnis von durchdachter Antriebstechnik und massgeschneiderter Automatisierungsprozesse.

Möchten Sie in der Automatisierung Ihrer Anlage ein nächstes Level erreichen? Ist es Ihr Ziel, die Logistik zu optimieren? Suchen Sie nach Lösungen im Maschinenbau? Fragen Sie uns. Wir sind die Experten für Ihre Herausforderungen.

Oxni programmiert Maschinen auf Erfolg

Im Maschinenbau, in der Antriebstechnik und in der Logistik bringt die richtige Software gemeinsam mit führerlosen Transportsystemen (AGV) Ihre Automatisierung auf eine gänzlich neue Ebene. Um dieses zu erreichen, ist Expertenwissen gefragt.

Die Kernkompetenz von Oxni liegt darin, die Welt der Logistik und die des Maschinenbaus miteinander zu verbinden. Es gibt kaum eine Bewegung in einer Maschine, die sich nicht optimieren liesse. Mit Expertise und Erfahrung erstellen wir präzise Diagnosen und bieten aus dem Portfolio an Software sowie den Produkten bekannter Partner massgeschneiderte Lösungen.

Kontakt

Oxni GmbH
Klosterstrasse 34
8406 Winterthur
CHE-273.851.236 MWST

oxni.ch
info@oxni.ch
+41 52 551 00 40

