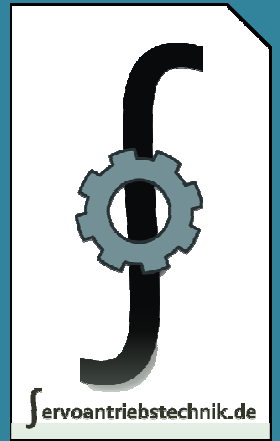
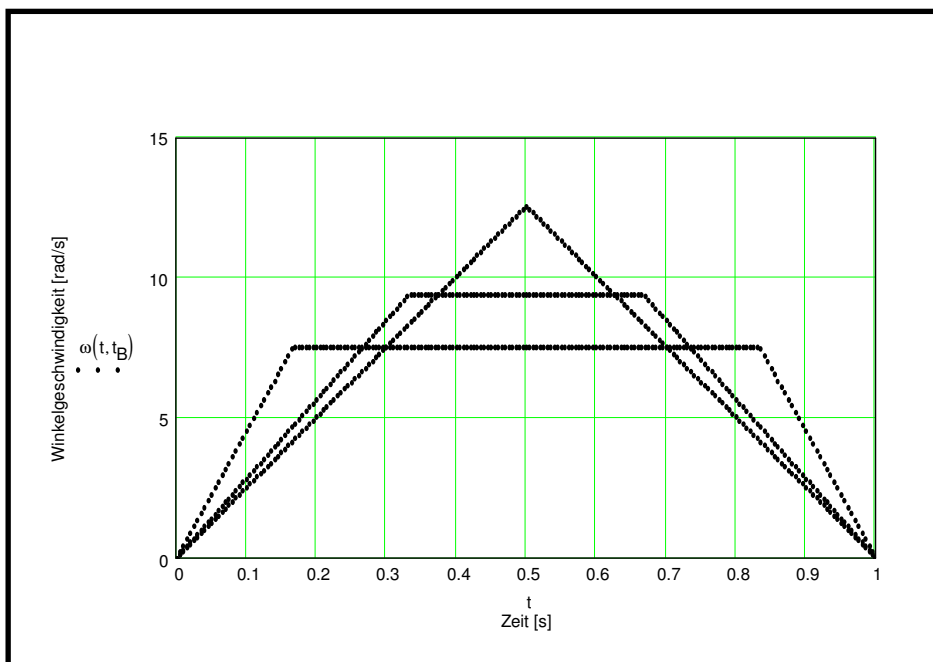


# 1/3 Regel für Direktantriebe



Positionierung mit Rampen



APPLICATION  
GUIDE



**Weitere Unterlagen**, die im Zusammenhang mit diesem Dokument stehen:

- Application Guide: Ideale Getriebeuntersetzung
- 1/5 Regel für Positionierantriebe mit Getriebe
- X
- X

© **Servoantriebstechnik.de**

Alle Rechte vorbehalten. Kein Teil der Beschreibung darf in irgendeiner Form, ohne Zustimmung vervielfältigt oder weiter verarbeitet werden.

Änderungen sind ohne vorherige Ankündigung vorbehalten.

Servoantriebstechnik.de hat für seine Produkte teilweise Warenzeichenschutz und Gebrauchsmusterschutz eintragen lassen. Aus dem Überlassen der Beschreibungen darf nicht angenommen werden, dass damit eine Übertragung von irgendwelchen Rechten stattfindet.



## Inhaltsverzeichnis:

Seite

<b>1</b>	<b>Der Positionierantrieb.....</b>	<b>4</b>
1.1	Die Maximaldrehzahl während der Positionierung.....	5
1.2	Die Beschleunigung.....	6
<b>2</b>	<b>Der getriebelose Positionierantrieb (Direktantrieb) oder der Antrieb mit vorgegebener Getriebeübersetzung .....</b>	<b>6</b>
2.1	Das erforderliche Beschleunigungsmoment.....	6
2.2	Der Beschleunigungsstrom.....	7
2.3	Die Motorerwärmung.....	7
2.4	Vorteil des Verhältnisses $\frac{t_B}{T} = \frac{1}{3}$ .....	8
2.5	Das Effektivmoment.....	9
<b>3</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>9</b>
<b>4</b>	<b>Index.....</b>	<b>10</b>
<b>5</b>	<b>Änderungsliste.....</b>	<b>10</b>

## 1 Der Positionierantrieb

Der Positionierantrieb soll in einer vorgegebenen Zeit ( $T$ ) einen vorgegebenen Weg bzw. Winkel ( $\varphi$ ) zurücklegen.

Dabei muss die zu bewegende Masse oder das Rotationsträgheitsmoment auf eine sich aus dem Weg und der Fahrzeit ergebende Geschwindigkeit bzw. Winkelgeschwindigkeit ( $\omega$ ) beschleunigt und wieder abgebremst werden. Handelsübliche Servoverstärker bieten die Möglichkeit ein rampenförmiges Geschwindigkeitsprofil zu wählen. Das Rampen- oder Trapezprofil besteht aus einer Beschleunigungsrampe, einer Fahrt mit konstanter Geschwindigkeit und einer Bremsrampe.

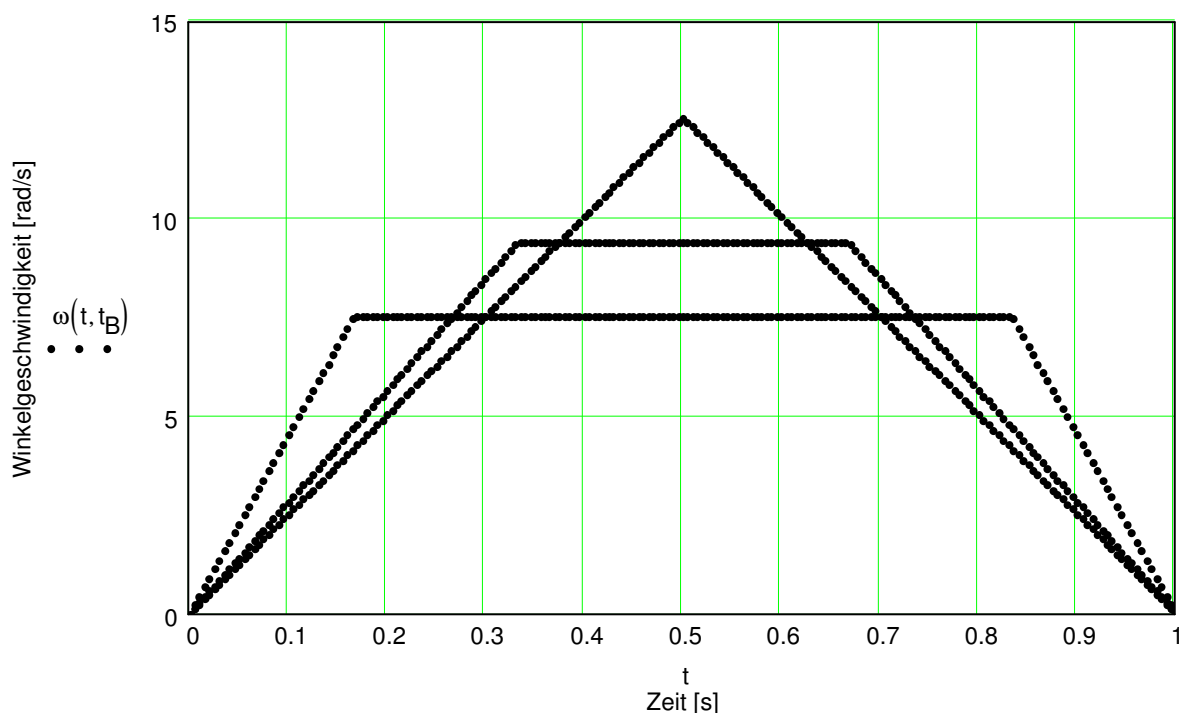


Bild 1: Verschiedene Drehzahlprofile gleichen Flächeninhalts (Weg, Winkel) bei gleicher Positionierdauer

Der erforderliche Beschleunigungsstrom und Bremsstrom des Motors während der Positionierbewegung ist maßgeblich für die Motorerwärmung.

Gerade bei schnell taktenden Applikationen wie Rundschalttische, Walzenvorschübe und Handlingsachsen mit Linearmotoren, die keine oder nur sehr kleine Stillstandszeiten (Pausen) haben, ist der Motorerwärmung besondere Beachtung zu schenken.

Ziel der Ausarbeitung:

Das optimale Verhältnis zwischen Beschleunigungs-/Bremsdauer zur Gesamt-Positionierzeit soll bezüglich der entstehenden Motorverluste im Folgenden hergeleitet werden.

## 1.1 Die Maximaldrehzahl während der Positionierung

Bei der Positionierung über Rampen setzt sich der zurückzulegende Weg bzw. Winkel ( $\varphi$ ) aus drei Flächenanteilen zusammen.

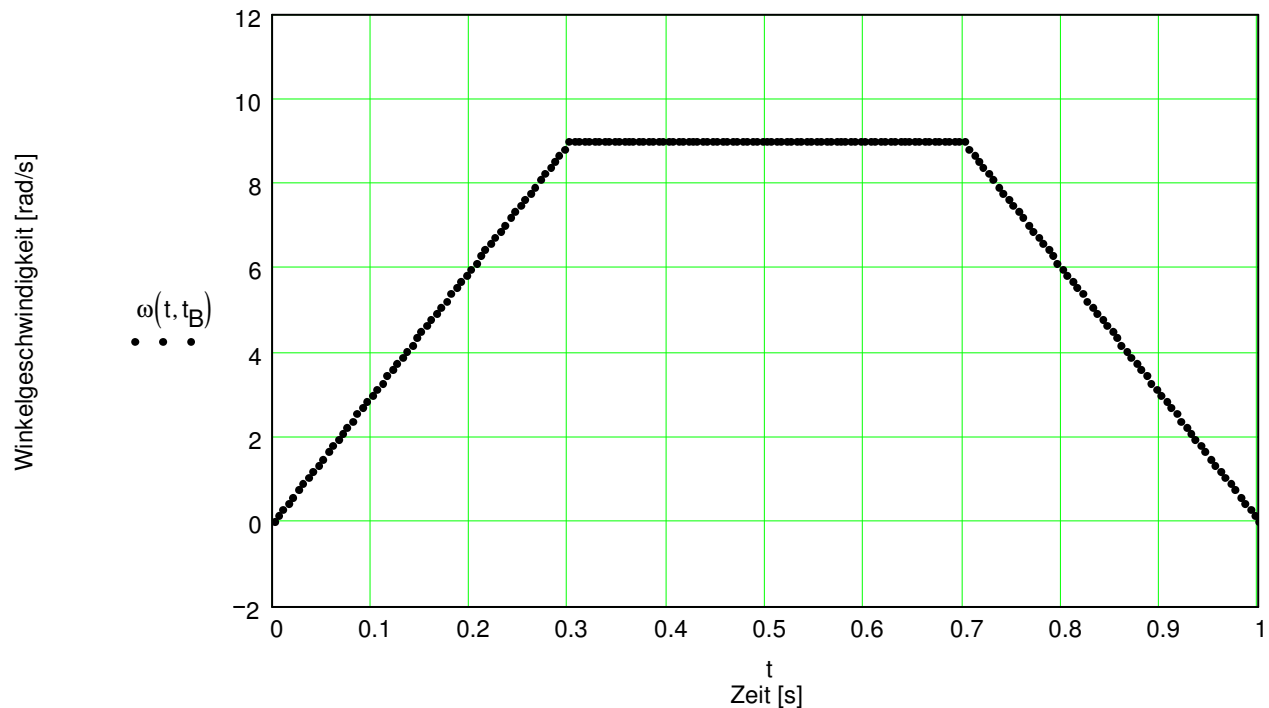


Bild 2: Der zurückzulegende Winkel ( $\varphi$ ) ist die Fläche unter der Profilkurve ( $\omega(t)$ ).

Der Winkel berechnet sich zu:

$$\varphi = \frac{1}{2} \omega t_B + \omega (T - 2t_B) + \frac{1}{2} \omega t_B$$

$$\varphi = \omega t_B + \omega T - 2\omega t_B$$

$$\varphi = \omega (T - t_B)$$

Umgestellt nach der Winkelgeschwindigkeit ergibt sich:

$$\omega = \frac{\varphi}{T - t_B}$$



## 1.2 Die Beschleunigung

Die Beschleunigung während der Beschleunigungs- und Bremsrampe soll in der vorliegenden Betrachtung gleich groß sein (Betrag) und errechnet sich zu:

$$\alpha = \frac{\omega}{t_B} = \frac{\frac{\varphi}{T-t_B}}{t_B} = \frac{\varphi}{t_B(T-t_B)}$$

Für den Spezialfall, wenn  $t_B = T/2$  ist (Dreieckbetrieb), gilt:

$$\alpha(t_B = T/2) = \frac{\varphi}{\frac{T}{2}(T-\frac{T}{2})} = \frac{\varphi}{\frac{T^2}{2} - \frac{T^2}{4}} = \frac{4\varphi}{T^2}$$

Für den Spezialfall, wenn  $t_B = T/3$  ist (Trapezbetrieb bei Drittelung der Positionierdauer), gilt:

$$\alpha(t_B = T/3) = \frac{\varphi}{\frac{T}{3}(T-\frac{T}{3})} = \frac{\varphi}{\frac{T^2}{3} - \frac{T^2}{9}} = \frac{9\varphi}{2T^2}$$

## 2 Der getriebelose Positionierantrieb (Direktantrieb) oder der Antrieb mit vorgegebener Getriebeübersetzung

### 2.1 Das erforderliche Beschleunigungsmoment

Betrachten wir zunächst zur Vereinfachung den getriebelosen Antriebsfall, bei dem das zu beschleunigende Massenträgheitsmoment bekannt ist, dann errechnet sich das erforderliche Beschleunigungsmoment zu:

$$M = J * \alpha = J * \frac{\varphi}{t_B(T-t_B)}$$

Beziehen wir den Fall  $t_B = T/3$  auf dem Spezialfall  $t_B = T/2$  dann erhalten wir:

$$\frac{M(t_B = T/3)}{M(t_B = T/2)} = \frac{J * \frac{9\varphi}{2T^2}}{J * \frac{4\varphi}{T^2}} = \frac{9}{8} = 112,5\%$$



## 2.2 Der Beschleunigungsstrom

Bei Servoantrieben ist der Beschleunigungsstrom direkt proportional dem Beschleunigungsmoment. Üblicherweise wird dieser Zusammenhang durch den KT Faktor beschrieben.

$$I = \frac{1}{KT} * M$$

## 2.3 Die Motorerwärmung

Die Motorverluste werden maßgeblich durch den ohmschen Widerstand der Motorwicklung bestimmt. Die Verlustwärmefläche ist dem Motorstrom quadratisch folgend.

$$Q = 3R * I^2 * 2t_B = 3R * \left(\frac{1}{KT}\right)^2 * M^2 * 2t_B = 3R * \left(\frac{1}{KT}\right)^2 * J^2 * \left(\frac{\Phi}{t_B(T - t_B)}\right)^2 * 2t_B =$$

$$Q = 3R * \left(\frac{1}{KT}\right)^2 * J^2 * 2\Phi^2 * \frac{t_B}{t_B^2(T - t_B)^2}$$

Wir suchen den Tiefpunkt der Funktion:

$$f(t_B) = \frac{t_B}{t_B^2(T - t_B)^2} = \frac{1}{t_B(T^2 - 2Tt_B + t_B^2)} = \frac{1}{t_B^3 - 2Tt_B^2 + T^2t_B}$$

Die Ableitung der Funktion:

$$f'(t_B) = -\frac{3t_B^2 - 4Tt_B + T^2}{(t_B^3 - 2Tt_B^2 + T^2t_B)^2}$$

Die Ableitung ist Null, wenn der Zähler des Ausdrucks Null ist.

$$t_B^2 - \frac{4}{3}Tt_B + \frac{1}{3}T^2 = 0$$

$$t_{B1,2} = \frac{4}{6}T \pm \sqrt{\left(\frac{4}{6}T\right)^2 - \frac{1}{3}T^2}$$

$$t_{B1,2} = \frac{4}{6}T \pm \sqrt{\left(\frac{16}{36} - \frac{12}{36}\right)T^2}$$

$$t_{B1,2} = \frac{4}{6}T \pm \frac{2}{6}T$$

$$t_{B1} = T$$

$$t_{B2} = \frac{1}{3}T$$

Die Lösung  $t_{B1} = T$  ist keine gültige Lösung da die Beschleunigungsdauer maximal  $T/2$  betragen kann. Die minimale Motorerwärmung kann nur bei  $t_{B2} = 1/3 T$  erreicht werden.

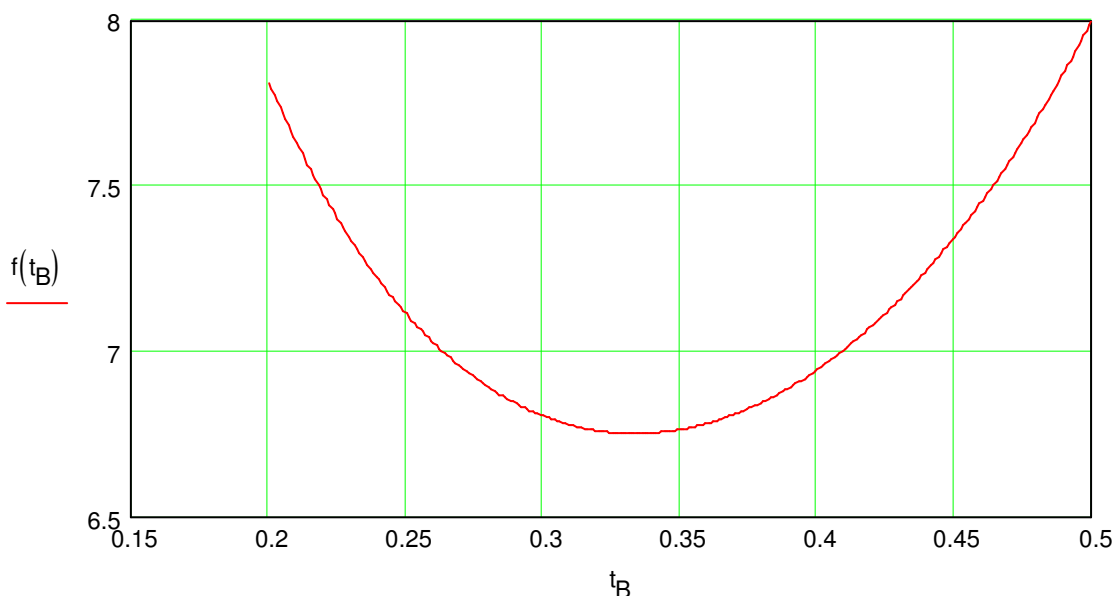


Bild 3: Funktion der Motorerwärmung in Abhängigkeit von Beschleunigungszeit zu Positionierdauer

#### 2.4 Vorteil des Verhältnisses $\frac{t_B}{T} = \frac{1}{3}$

Beziehen wir die Stromwärme fläche des Minimums, das bei  $t_B = T/3$  erreicht wird, auf die des Dreieckbetriebs bei  $t_B = T/2$ , erhalten wir:

$$\frac{Q(t_B = T/3)}{Q(t_B = T/2)} = \frac{3R * \left(\frac{1}{KT}\right)^2 * J^2 * \left(\frac{9\varphi}{2T^2}\right)^2 * 2\frac{T}{3}}{3R * \left(\frac{1}{KT}\right)^2 * J^2 * \left(\frac{4\varphi}{T^2}\right)^2 * 2\frac{T}{2}}$$

$$\frac{Q(t_B = T/3)}{Q(t_B = T/2)} = \frac{2 * \left(\frac{9}{2}\right)^2}{3 * 4^2} = \frac{2 * 81}{3 * 16 * 4} = \frac{162}{192} = 84\%$$





## 2.5 Das Effektivmoment

Herleitung des Effektivmoments:

$$P_V = \frac{Q(t_B)}{T} = \frac{3R * I(t_B)^2 * 2t_B}{T}$$

$$I_{\text{Eff}}^2 * 3R = \frac{3R * I(t_B)^2 * 2t_B}{T} \quad /3R$$

$$I_{\text{Eff}} = \sqrt{\frac{I(t_B)^2 * 2t_B}{T}} \quad *KT$$

$$M_{\text{Eff}} = \sqrt{\frac{M(t_B)^2 * 2t_B}{KT^2}} * KT = \sqrt{\frac{M(t_B)^2 * 2t_B}{T}}$$

Vergleichen wir das effektive Moment der Spezialfälle, so erhalten wir:

$$\frac{M_{\text{Eff}}(t_B = T/3)}{M_{\text{Eff}}(t_B = T/2)} = \frac{\sqrt{\frac{\left(J * \frac{9\varphi}{2T^2}\right)^2 * 2 \frac{T}{3}}{T}}}{\sqrt{\frac{\left(J * \frac{4\varphi}{T^2}\right)^2 * 2 \frac{T}{2}}{T}}} = \frac{\frac{9}{2} \sqrt{\frac{2}{3}}}{4 * \sqrt{\frac{2}{2}}} = \frac{3,67}{4} = 92\%$$

## 3 Zusammenfassung

Getriebelose Positionierantriebe:

- Optimales Geschwindigkeitsprofil entsteht durch Drittelung der Positionierdauer (Trapezbetrieb), so dass Beschleunigungsdauer = Dauer der Konstantfahrt = Bremsdauer ist.
- Das erforderliche Beschleunigungsmoment im Trapezbetrieb ist gegenüber dem des Dreieckbetriebs nur um 12,5 % größer. Die mechanische Mehrbelastung und die daraus folgende Lebensdauer ist daher unwesentlich beeinflusst.
- Die Motorerwärmung im 1/3 Trapezbetrieb geht gegenüber der im Dreieckbetrieb um 16% zurück.
- Bei der Antriebsauslegung kann, wenn der Antrieb im Trapezbetrieb betrieben wird, ein kleinerer Motor gewählt werden. Das effektive Moment ist in diesem Fall um 8 % kleiner als das des Dreieckbetriebs.



## 4 Index

	Seite
Beschleunigung .....	6
Beschleunigungsmoment .....	6
Effektivmoment.....	9
KT Faktor .....	7
Maximaldrehzahl .....	5
Stomwärmefläche .....	8
Verlustwärmefläche.....	7
Winkel.....	5
Winkelgeschwindigkeit.....	5

## 5 Änderungsliste

Version	Änderung	Kapitel	Datum	Name	Bemerkung
Vo1.00FZ02	Urversion	1,2	07.01.2002	R. Fetzner	keine
Vo1.01FZ02	Ergänzung	3	13.01.2002	R. Fetzner	keine
Vo1.02FZ02	Ergänzung	3	14.01.2002	R. Fetzner	keine
Vo1.03FZ15	Layout	1-4	30.05.2015	R. Fetzner	Layout