

# SYS\_A – ANTRIEBE

## Einführung

elektrische Energie	Motor	mechanische Energie	mechanische Energie	Generator	elektrische Energie	<b>Servomotor:</b> Motoren für Positionieraufgaben <b>Grösse:</b> ungefähr proportional zur Leistung
---------------------	-------	---------------------	---------------------	-----------	---------------------	---

### Elektrische Bauformen

Selbstgeführte Motoren		$n \gg 3000 \text{min}^{-1}$	Fremdgeführte Motoren		$n \leq 3000 \text{min}^{-1}$
Mechanischer Kommutator		Elektronischer Kommutator	Lastabhängige Drehzahl	Frequenzstarre Drehzahl	
Wechselstrom-Motoren	Gleichstrom-Motoren	Elektronik-(EC)-Motoren	Asynchronmotoren	Synchronmotoren	
Wechselstrom – Kommutatormotor (Universalmotor)	Reihenschlussmotor Nebenschlussmotor fremderregter Mot. Doppelschlussmot. permanent erregter Motor	<i>Motor mit Magnetläufer:</i> Blockstromtechnik Sinusstromtechn. AC-Servomotor  <i>Geschalteter Reluktanzmotor</i>	<i>Drehstrommotor Käfigläufer</i>  <i>Wechselstrommot.:</i> Kondensatormotor, Widerstands-hilfsstrangmotor <i>Spaltmotor</i>	<i>Drehstrommotor</i> Magnetläufer Hybridläufer <i>Wechselstrommotoren</i> Magnet-, Reluktanz-Hysteresemotor <i>Schrittmotoren</i> Magnet-, Reluktanz-Hybridschrittmotor	
Stator: Spule Rotor: Spule	Stator: Magnet Rotor: Spule	Stator: Spule Rotor: Magnet	Stator Spulen St/Rt: asynchron	St/Rt: synchron	
Motor: nicht robust, teuer, laut		Motor: robust, leise, günstig	Motor: robust, leise, günstig		
Elektronik: günstig		Elektronik: teuer	Elektronik: sehr teuer		

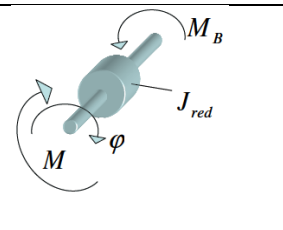
### Mechanische Bauformen

Walzen-Läufer					<b>Kühlung</b> <b>Selbstkühlung</b> ohne Lüfter <b>Eigenkühlung</b> eigener Lüfter <b>Fremdkühlung</b> fremder Lüfter
Scheiben-Läufer					
<input type="checkbox"/> Ständer <input checked="" type="checkbox"/> Läufer	Innenläufer	Zwischenläufer	Zwischenständer	Aussenläufer	

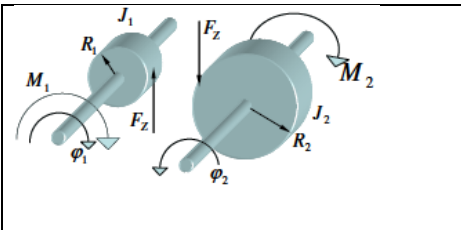
### Drehmoment

$$\begin{aligned}
 \text{Antriebsmoment } M &= \text{red. Massenträgheitsm. } J_{red} * \text{Winkelbeschl. } \ddot{\varphi} + \text{Betriebsmoment } M_B \\
 M &= J_T + mR^2 * \ddot{\varphi} + \mu mgR \cos \beta + mgR \sin \beta \\
 \text{Antriebsmoment} &= \text{Dynamischer Anteil (Beschleunigung / Verzögerung von Massen)} + \text{Quasi-Statistischer Anteil (Reibung, Gewichtskräfte)}
 \end{aligned}$$

### Drehmoment



### Getriebe



<b>Umfangsgeschwindigkeit</b> $v_1 = v_2, \omega_1 r_1 = \omega_2 r_2, \dot{\varphi}_1 r_1 = \dot{\varphi}_2 r_2$
<b>Übersetzungsverhältnis</b> $i = \frac{\text{Antriebsdrehzahl}}{\text{Abtriebsdrehzahl}} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{\dot{\varphi}_1}{\dot{\varphi}_2} = \frac{\varphi_1}{\varphi_2} = \frac{r_2}{r_1}$
Reduktion der Massenträgheit mit $1/i^2 n$ Reduktion des Moments mit $1/in$

**Gleichstrommotor**

Permanentmagnet → *magn. Fluss B* → **Lorentzkraft** → Drehung des Rotors (mit Umpolung)

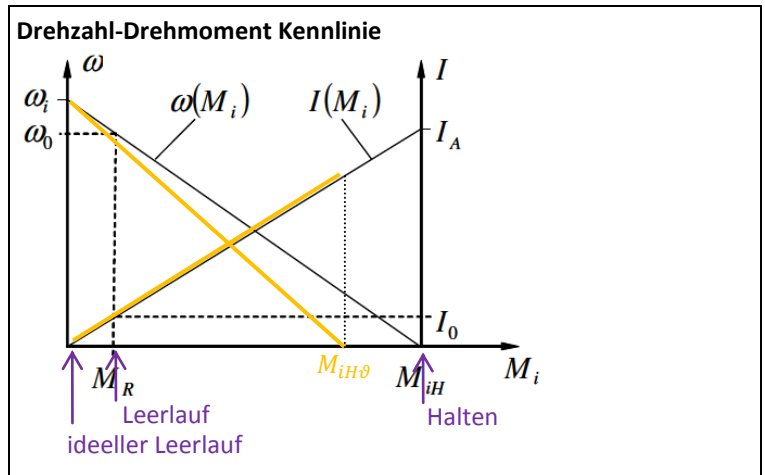
	<b>Lorentzkraft</b> $\vec{F}_L = I * \vec{l} \times \vec{B} = Q * \vec{v} \times \vec{B}$ $F = I * l * B = Q * v * B$	$k_M = \frac{lBdN}{\omega}$ $k_M = \frac{U - RI}{\omega}$	Drehmomentkonstante $[k_M] = \frac{Nm}{A}$
	<b>Erzeugte Moment</b> $M_i = I * l * B * d * N$ $M_i = I * k_M$	$k_u = \frac{lBdN}{60}$	Generatorkonstante
	<b>Induzierte Spannung</b> $U_q = B * l * v$ (pro Leiter) $U_q = 2NBl \frac{d}{2} \omega$ (pro N) $U_q = k_M \omega = k_u n = \frac{1}{k_n} n$	$k_n = \frac{1}{k_u}$	Drehzahlkonstante
		$v = \frac{d}{2} \omega$	Umfangsgeschwindigkeit
		$N$	Anzahl Wicklungen (= Anz. Leiter)
		$n$	Drehzahl

**Betriebsdaten bei 25°C (quasi-statisch)**

<b>elektrische Seite</b> 	<b>mechanische Seite</b> 
$U = U_q + U_R$ $U = k_M \omega + R * \frac{M_i}{k_M}$	$M_i = M_B + M_R$ erzeugtes Moment = Belastungsmoment + Reibmoment
$U_L$ (quasi-statisch) = 0 $U_R = R * I$	$M_R$ (quasi-statisch) = const. $M_R$ (Leerlauf) = $I_0 k_M = \frac{U * k_M - \omega_0 k_M^2}{R}$ $M = M_B = M_{mech}$

**Betriebszustände**

<b>ideeller Leerlauf</b> 	$I = 0$ $M_i = 0$ $\omega = \omega_i = \frac{U}{k_M}$ $n = n_i = \frac{60 U}{2\pi k_M}$ $U_q = U$
<b>Halten</b> 	$I = I_A = \frac{U}{R}$ $M_i = M_{iH} = k_M I_A$ $\omega = 0$ $n = 0$ $U_q = 0$

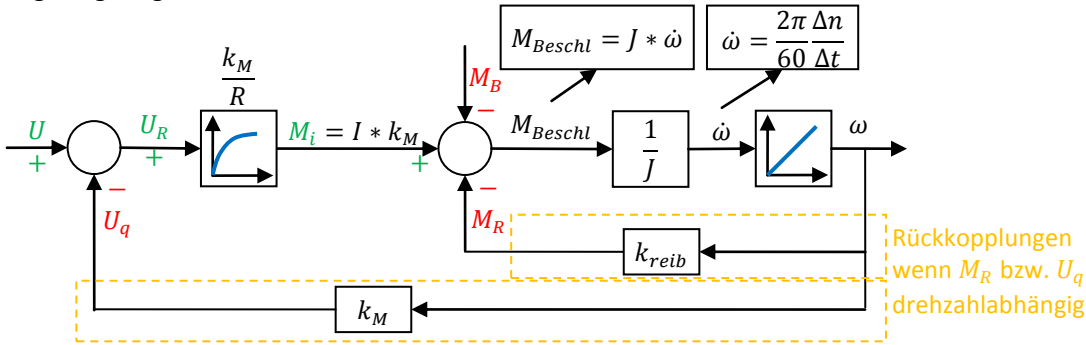


**Größen**

$\omega_i$	ideelle Leerlaufwinkelgeschwindigkeit
$n_i$	ideelle Leerlaufdrehzahl [ $min^{-1}$ ]
$n_B$	Betriebsdrehzahl
$I_A$	Anlaufstrom
$M_{iH}$	erzeugtes Anhaltmoment
$M_H$	abgegebenes Anhaltmoment
$M_H = M_{iH} - M_R$ $M_H = k_M I_A - k_M * I_0$	

<b>Drehzahl</b> $n_B = n_i \left(1 - \frac{M_i}{M_{iH}}\right)$ , $n_{\eta max} = n_i \left(1 - \frac{M_{\eta max} + M_R}{M_{iH}}\right)$
<b>Winkelgeschwindigkeit</b> $\omega = \omega_i \left(1 - \frac{M_i}{M_{iH}}\right)$ , $\left\{ I = \frac{M_i}{k_M} \right\}$
<b>Kennliniensteigung</b> $\frac{\Delta n}{\Delta M} = \frac{R}{k_M^2} \frac{30}{\pi}$

**Regelungsdiagramm**



**Leistungsbilanz**

$P_{elektr} = P_i + P_j$   
 $P_{elektr} = P_{mech} + P_R + P_j$   
 $U * I_B = M_B * \omega + M_R * \omega + I^2 * R$

$P_{elektr} = P_1$	aufgenommene elektr. Leistung
$P_i$	erzeugte mechanische Leistung
$P_{mech} = P_2$	abgegebene mechanische Leistung
$P_j$	Joul'sche Verlustleistung (Wärme)
$P_R$	Reibleistung

Maximale Leistung	aximaler Wirkungsgrad
$M_{P_2 max} = \frac{M_H}{2}$	$M_{\eta max} = \sqrt{M_{iH} M_R} - M_R$
$P_{2 max} = \frac{\omega_i (M_{iH} - M_R)^2}{4 M_{iH}}$	$\eta_{max} = \left(1 - \sqrt{\frac{M_R}{M_{iH}}}\right)^2$

$P = U * I, \quad \eta = \frac{P_2}{P_1}$

**Betriebsbereiche: Die Grenzen des Motors**

**Anlaufverhalten**

Grundfragen	Zeit bis Betriebstemperatur	Zeit zum Erreichen der Drehzahl	
<b>Antwort</b>	thermische Zeitkonstante: $t = 5 * t_{th} \rightarrow 99,3\%$	<b>mit Last:</b>	<b>ohne Last:</b>
		mech. Zeitkonstante $\tau_{mech} = \frac{(J_R + J_{red})R}{k_M^2}$	elekt.magn. Zeitkonstante $\tau_{elektr.mech} = \frac{J_R R}{k_M^2}$
$J_R [g * cm^2]$ Massenträgheitsmoment des Rotors $J_{red} [g * cm^2]$ red. Massenträgheitsm. der Last		$n(t) = n_B \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_{mech}}}\right)$ $\rightarrow t = -\tau_{mech} \cdot \ln\left(1 - \frac{n}{n_B}\right)$	$n(t) = n_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_{el.mech}}}\right)$ $\rightarrow t = -\tau_{el.mech} \cdot \ln\left(1 - \frac{n}{n_0}\right)$

**Zeitkonstanten aus Anlaufverhalten**

thermische Zeitkonstante $\tau_{th}$	mechanische Zeitkonstante $\tau_{mech}$	elektrische Zeitkonstante $\tau_{elektr}$
	$\tau_{mech} \gg \tau_{elektr}$	

**Auswahl eines Motors (S37)**

$M(t), P(t)$ , Überlastzeit,  $\tau_{th}$ , Übersetzung i, Wirkungsgrad  $\eta$ , Versorgungssp., Belastungsstrom, max. Strom

**Betriebsdaten bei Betriebstemperatur (statisch)**

**$R_A \neq \text{const}$   $R_A$  ist temperaturabhängig  $\rightarrow I \neq \text{const}$   $\omega = \text{const}$   $M_B = \text{const}$   $k_M = \text{const}$**

dynamisch	$\vartheta_R$	Rotortemperatur, Ankertemperatur	
$\vartheta_R = \vartheta_U + \Delta\vartheta \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_{th}}}\right)$	$\vartheta_U$	Umgebungstemperatur	
stationär	$\Delta\vartheta$	Temperaturdifferenz	
$\vartheta_R = \vartheta_U + \Delta\vartheta$	$\tau_{th}$	thermische Zeitkonstante	
$R_{th} = R_{th1} + R_{th2}$ $\Delta\vartheta = P_J * R_{th}$ $\Delta\vartheta = \frac{R_{th} I_B^2 R}{1 - R_{th} I_B^2 R \alpha}$	$R_{th}$ $R_{th1}, R_{th2}$	Thermische Widerstände (Ändern durch Kühlrippen oder Einbauen eines Lüfters)	
$P_J = R_\vartheta * I_B^2$ $I_B = \frac{M_B + M_R}{k_M}$ $R_\vartheta = R(1 + \alpha \Delta\vartheta)$	$R_\vartheta$ $I_B$	temperaturabhängiger Widerstand Belastungsstrom (Motorstrom im Betriebspunkt)	
überall ein $\vartheta$ anhängen, wo etwas temperaturabhängig ist. hier: $\delta = \vartheta$			

Kenngroße	Bei 25°C	Bei Betriebstemperatur $\vartheta_R \uparrow$
Motorspannung	$U = k_M \omega + RI$	$U = k_M \omega + R_\delta I \uparrow$
Inneres Moment	$M_i = I k_M$	Unverändert
Aufgenommene elektrische Leistung (konstante Spannungsquelle)	$P_1 = UI$	Unverändert
Anlaufstrom	$I_A = \frac{U}{R}$	$I_{A\delta} = \frac{U}{R_\delta} \downarrow$
Reibungsmoment	$M_R = k_M I_0$	Unverändert
Erzeugtes Anhaltmoment	$M_{iH} = k_M I_A$	$M_{iH\delta} = k_M I_{A\delta} \downarrow$
Verfügbares Anhaltmoment	$M_H = M_{iH} - M_R$	$M_{H\delta} = M_{iH\delta} - M_R \downarrow$
Ideelle Leerlaufwinkelgeschwindigkeit	$\omega_i = \frac{U}{k_M}$	Unverändert, da eine Spannungsspeisung vorgegeben ist
Ideelle Leerlaufdrehzahl	$n_i = \frac{60 U}{2\pi k_M}$	Unverändert, da eine Spannungsspeisung vorgegeben ist
Strom-Drehmoment Kennlinie	$M_i = k_M I$	Unverändert
Winkelgeschwindigkeit-Drehmoment Kennlinie	$\omega = \omega_i \left(1 - \frac{M_i}{M_{iH}}\right)$	$\omega_\delta = \omega_i \left(1 - \frac{M_i}{M_{iH\delta}}\right)$
Drehzahl-Drehmoment Kennlinie	$n = n_i \left(1 - \frac{M_i}{M_{iH}}\right)$	$n_\delta = n_i \left(1 - \frac{M_i}{M_{iH\delta}}\right)$
Abgegebene mechanische Leistung	$P_2 = \omega_i \frac{M(M_{iH} - M - M_R)}{M_{iH}}$	$P_{2\delta} = \omega_i \frac{M(M_{iH\delta} - M - M_R)}{M_{iH\delta}}$
Abgegebenes Moment bei maximaler Leistung	$M_{P2max} = \frac{1}{2}(M_{iH} - M_R)$	$M_{P2max\delta} = \frac{1}{2}(M_{iH\delta} - M_R)$
Maximale abgegebene mechanische Leistung	$P_{2max} = \frac{\omega_i (M_{iH} - M_R)^2}{4 M_{iH}}$	$P_{2max\delta} = \frac{\omega_i (M_{iH\delta} - M_R)^2}{4 M_{iH\delta}}$
Wirkungsgrad	$\eta = \frac{M(M_{iH} - M - M_R)}{M_{iH}(M + M_R)}$	$\eta_\delta = \frac{M(M_{iH\delta} - M - M_R)}{M_{iH\delta}(M + M_R)}$
Abgegebenes Moment bei maximalem Wirkungsgrad	$M_{\eta max} = \sqrt{M_{iH} M_R} - M_R$	$M_{\eta max\delta} = \sqrt{M_{iH\delta} M_R} - M_R$
Maximaler Wirkungsgrad	$\eta_{max} = \left(1 - \sqrt{\frac{M_R}{M_{iH}}}\right)^2$	$\eta_{max\delta} = \left(1 - \sqrt{\frac{M_R}{M_{iH\delta}}}\right)^2$

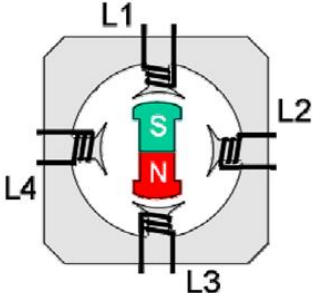
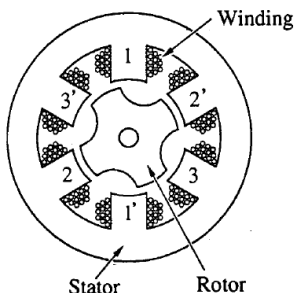
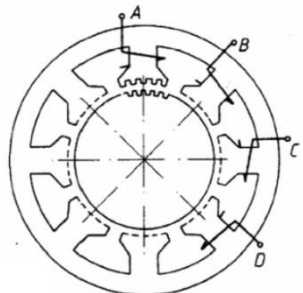


**Schrittmotoren**

**Einsatzgebiet**

- Exakte, günstige Positionierung, da man auf teure Dreh- oder Winkelgeber verzichten kann
- Drehmoment nimmt mit steigender Impulsfrequenz ab.
- Wird die Impulsfrequenz überschritten, tritt Schlupf auf. = Motor verliert Schritte.

**Aufbau und Betrieb**

Permanentmagnet-Schrittmotoren	VR-Schrittmotor (Reluktanzmotor)	Hybrid-Schrittmotor
		
<p><b>Bewegung</b> durch schrittweise Beschaltung der Statorspulen der einzelnen Phasen. -&gt; Änderung der Polarität des Statorfeldes <b>Stator:</b> Zähne mit Spule = Phase <b>Rotor:</b> Pole / Polpaare</p>	<p><b>Bewegung</b> durch Ausrichtung des Rotors mit der angesteuerten Phase durch Magnetfeld <b>Stator:</b> verzahnt, trägt die Spulen <b>Rotor:</b> laminierte, verzahnte Eisenbleche <b>Vorteile:</b> kostengünstig</p>	<p><b>Aufbau</b> Kombination aus VR- und Permanent-/Schrittmotor <b>Rotor:</b> magnetisierten Permanentmagneten, an dessen Enden zwei gezahnte Scheiben sind. <b>Vorteile:</b> grössere Auflösungen, höhere Drehmomente</p>

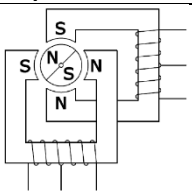
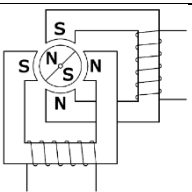
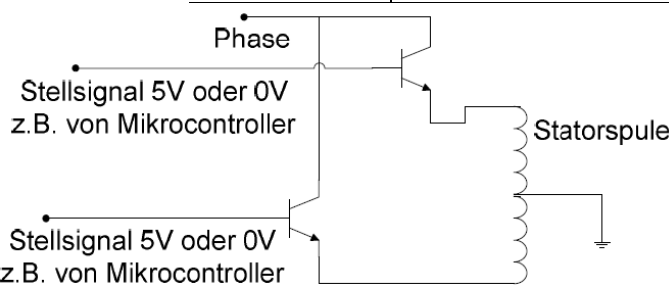
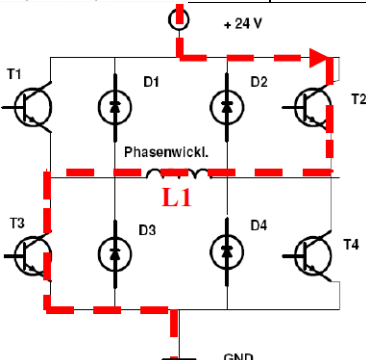
**Phase:** 2 gegenüberliegende bestromte Ständerspulen

**Betriebsarten**

Vollschrittbetrieb	Halbschrittbetrieb	Mikroschritt-Betrieb																																																							
<p>4 Schritte, die den Rotor nach rechts laufen lassen:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Schritt</th> <th>L1</th> <th>L2</th> <th>L3</th> <th>L4</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>1</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table> <p>grösseres Haltemoment</p>	Schritt	L1	L2	L3	L4	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	2	0	0	1	1	3	1	0	0	1	<p>Genauere Positionierung durch doppelte Schritte (8)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Schritt</th> <th>L1</th> <th>L2</th> <th>L3</th> <th>L4</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>...</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Schritt	L1	L2	L3	L4	0	1	0	0	0	1	1	1	0	0	2	0	1	0	0	3	0	1	1	0	...					<p>Verfeinerung der Schritte durch eine stufenweise Erhöhung oder Verringerung der Phasen. Theoretisch beliebig viele Einzelschritte.</p>
Schritt	L1	L2	L3	L4																																																					
0	1	1	0	0																																																					
1	0	1	1	0																																																					
2	0	0	1	1																																																					
3	1	0	0	1																																																					
Schritt	L1	L2	L3	L4																																																					
0	1	0	0	0																																																					
1	1	1	0	0																																																					
2	0	1	0	0																																																					
3	0	1	1	0																																																					
...																																																									

**Ansteuerungstechnik**

**Wicklung der Spulen**

Unipolar Schrittmotor	Polarer Schrittmotor
	
<p><b>Mittelabgriff:</b> Mit Masse verbunden Polung durch Schalter mit <b>Transistoren</b></p>	<p><b>Ohne Mittelabgriff:</b> Spule umpolen mit <b>H-Brücke</b> (4 Transistoren in H)</p>
	

**Dynamisches Verhalten**

- Ein Schrittmotor wird durch eine **Folge von Impulsen** betrieben
- Maximale Frequenz beim Beschleunigen/Abbremsen ohne Schrittfehler ist die **Start-/Stop-Frequenz**
- Höhere Schrittfrequenz als Start-/Stop-Frequenz ist der **Betriebsbereich**

**Auslegung von Schrittmotor-Antrieben**

**Schrittinkel  $\alpha$**

Wie viel Grad sich die Achse bei einem Vollschritt dreht.

$\alpha = \frac{2\pi}{z}$	$z$	Schritte je Umdr.
	$p$	Anzahl Poolpaare
$z = 2 p m$	$m$	Anzahl Phasen

**Nennstrom**

Maximal zulässiger Strom pro Phase

**Nennspannung**

Spannung bei stehendem Motor

**Schrittfrequenz und Drehzahl**

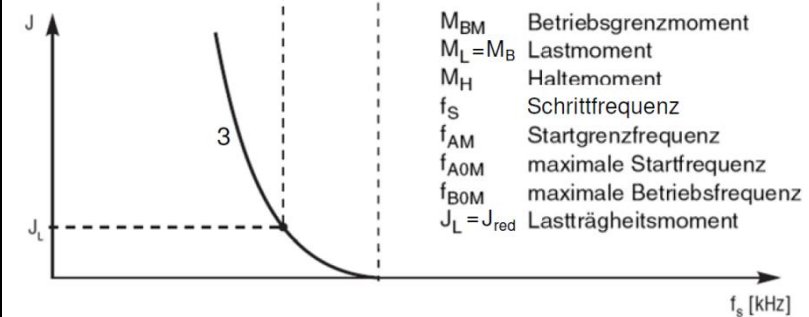
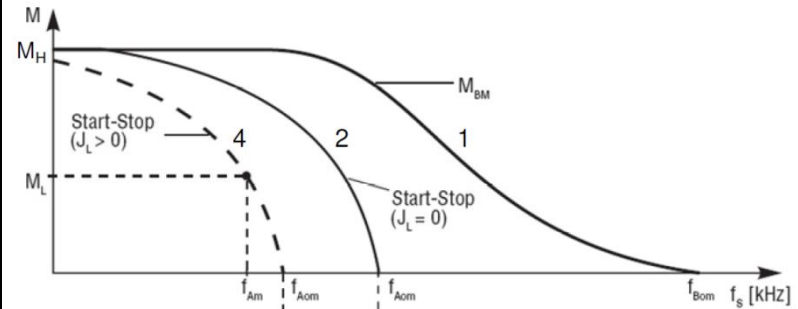
Frequenz und Drehzahl des Motors.

$\omega = \alpha * f_s$	$f_s$	Schrittfrequenz
	$\alpha$	Schrittinkel

**Haltemoment  $M_H$**

maximales statisches Drehmoment

**Kennlinien des Schrittmotors**



**max. Beschleunigungsmoment**

$$M_b = (J_{Rotor} + J_{red}) * \ddot{\varphi}$$

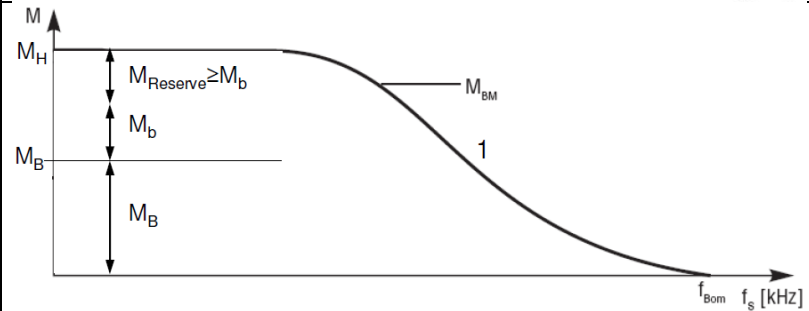
$$\ddot{\varphi} = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$$

**Betriebsmoment**

$$M_{BM} \geq M_B + M_b$$

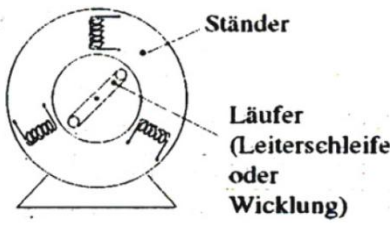
**min. Moment**

$$M_{min} = M_B + 2M_b$$



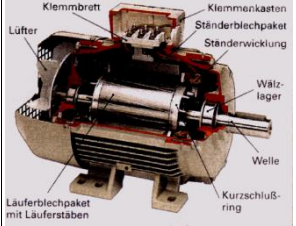
**Asynchronmotoren, Pulsweitenmodulation und Frequenzumrichter**

**Funktionsprinzip & Aufbau**



**Ständer**

**Läufer (Leiterschleife oder Wicklung)**



$n_d = \frac{f_1}{p}$	$n_d$	Drehfelddrehzahl
	$f_1$	Netzfrequenz
$n_s = n_d - n$	$p = 2$	Polpaarzahl
	$n_s$	Schlupfdrehzahl
	$n$	Drehzahl des Läufers

Verdoppelung der Polpaare  
= Halbierung der Drehfelddrehzahl

**Prinzip:** Statorwicklung -> rotierendes Magnetfeld -> Lenzschen Regel -> Drehung

**Eigenschaften:** sehr robuste und fast wartungsfreie Konstruktion, unwesentliche Beeinflussung der Drehzahl

**Speisung:** Drehstromnetz, in Stern oder Dreieckschaltung

**Asynchronmotor mit Schleifringläufer (AMSL)**



Sternschaltung

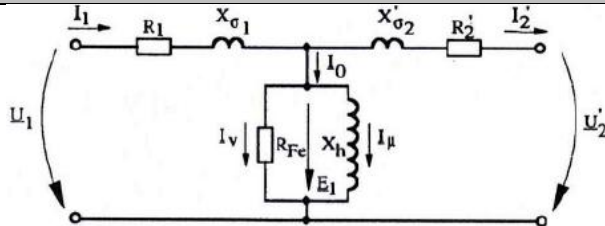
**Vorteile:**  
Läuferkreis von aussen elektrisch zugänglich

**Asynchronmotor mit Käfigläufer (AMKL)**



**Vorteile:**  
robust, wenig störanfällig, wartungsfrei, auch mit Frequenzumrichter für geregelte Antriebe

**Ersatzschaltbild**



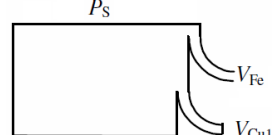
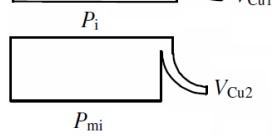
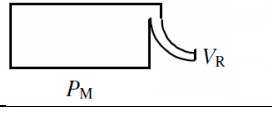


**Ähnlichkeit mit Transformator**

**Gemeinsam:** Gleiches Ersatzschaltbild

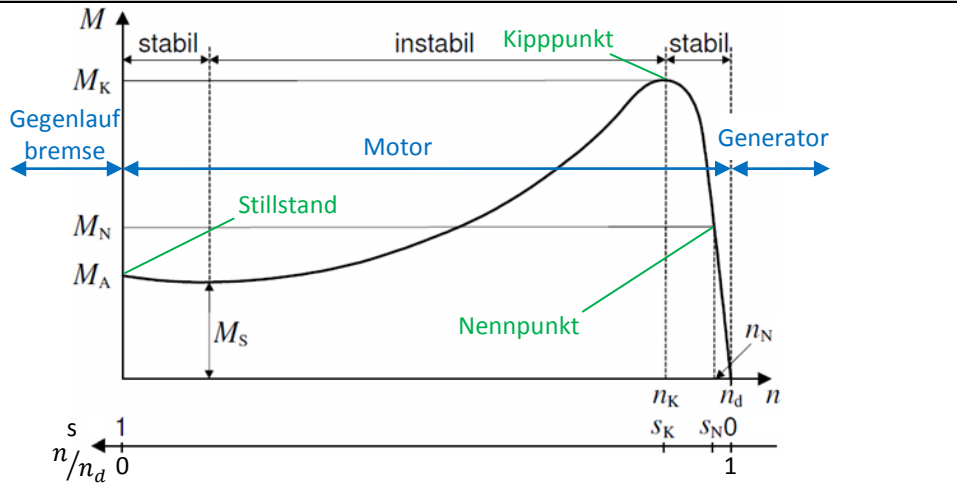
**Unterschied:** Schlupf

$s = \frac{n_d - n}{n_d}$	$0 < s \leq 1$	Schlupf
$f_2 = s * f_1$	$f_2$	Frequenz des Läuferstroms

**Leistungsflussdiagramm**

	$P_S$	augenommene Wirkleistung	$= 3 * U_1 * I_1 * \cos \varphi$
	$V_{Fe}$	Eisenverlustleistung	$= 3 * R_{Fe} * I_V^2$
	$V_{Cu1}$	Ständer-Kupferverlustleistung	$= 3 * R_1 * I_1^2$
	$M_i$	inneres Moment	
	$P_i$	übertragene Wirkleistung	$= 2\pi * n_d * M_i$
	$V_{Cu2}$	Läufer-Kupferverlustleistung	$= P_i * s$
	$P_{mi}$	innere mechanische Leistung	$= 2 * \pi * n * M_i$
	$V_R$	Reibungsverlustleistung	
	$M$	an die Welle abgegebenes Moment	$= \frac{3}{2\pi n_d} \frac{U_1^2}{R_2'} s$
	$P_M$	mechanische Leistung	$= 2\pi * n * M$

**Drehzahl-Drehmomentenkennlinie ( $s > 0.1$ )**



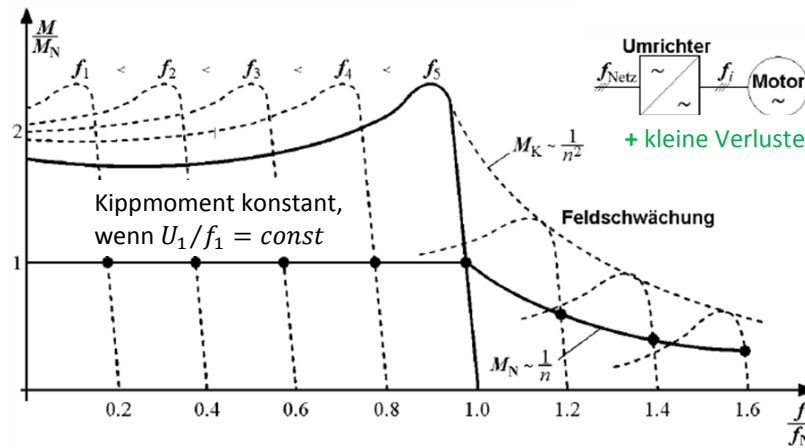
$n_s = n_d$	Synchrondrehzahl Drehfelddrehzahl
$n_N$	Nenn Drehzahl
$n_K$	Kipp Drehzahl
$M_A$	Anlaufmoment
$M_K$	Kippmoment
$M_N$	Nennmoment
$s_K = \frac{n_d - n_K}{n_d}$	Kippschlupf
$s_N = 1 - \frac{n_N}{n_d}$	Nennschlupf

**Drehzahlstellung**

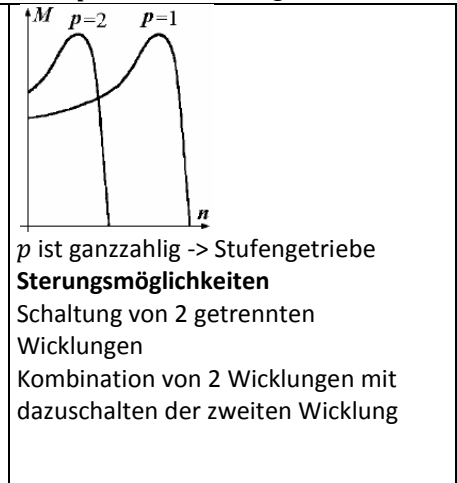
$$n = \frac{f_1}{p} (1 - s)$$

**Über  $f_1$ : Frequenzsteuerung**

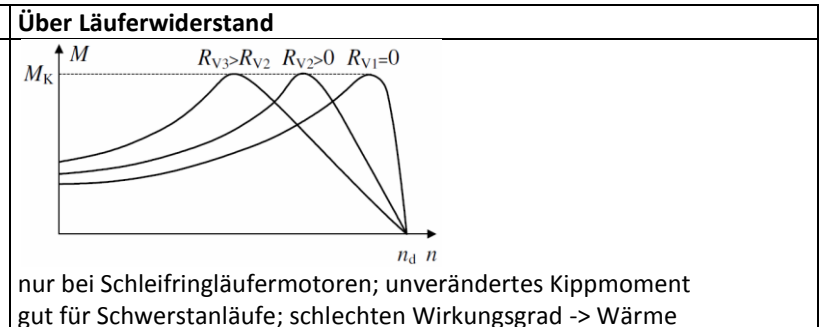
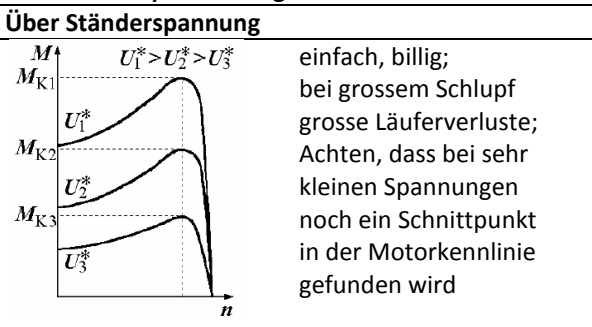
Frequenzumrichter: können beliebige Frequenzen erzeugen



**Über  $p$ : Polumschaltung**



**Über  $s$ : Schlupfsteuerung**



**Auslegung eines Asynchronmotors**

Keine Thermische Überlastung	$M_{rms} < M_N, \quad M_{max} < M_S, \quad M_{max} < M_A$
Damit der Motor bei Schwankungen nicht stehen bleibt	ohne Frequenzumrichter: $1.6 * M_N \leq M_K$
	mit Frequenzumrichter: $M_N \leq M_K$

**Anlassen von Asynchronmotoren**

Beim Anlassen:	<b>Strom</b> und <b>Drehmoment</b> steigt sprunghaft an	deshalb benutzt man Anlaufhilfen
----------------	---	----------------------------------

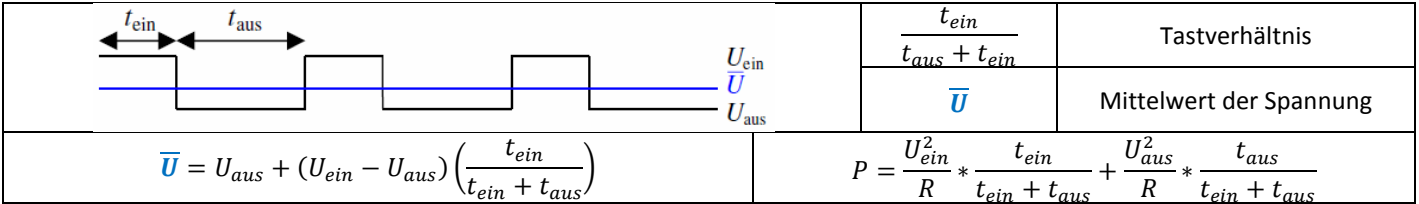
**Variationen**

Anlasstransformatoren	Drehstromsteller	1. Stern, 2. Dreieckschaltung
-----------------------	------------------	-------------------------------



**PWM (Pulsweitenmodulation)**

**Art Digital-Analog-Wandlung** **Prinzip** Trägheitseigenschaft von elektrischen Verbrauchern

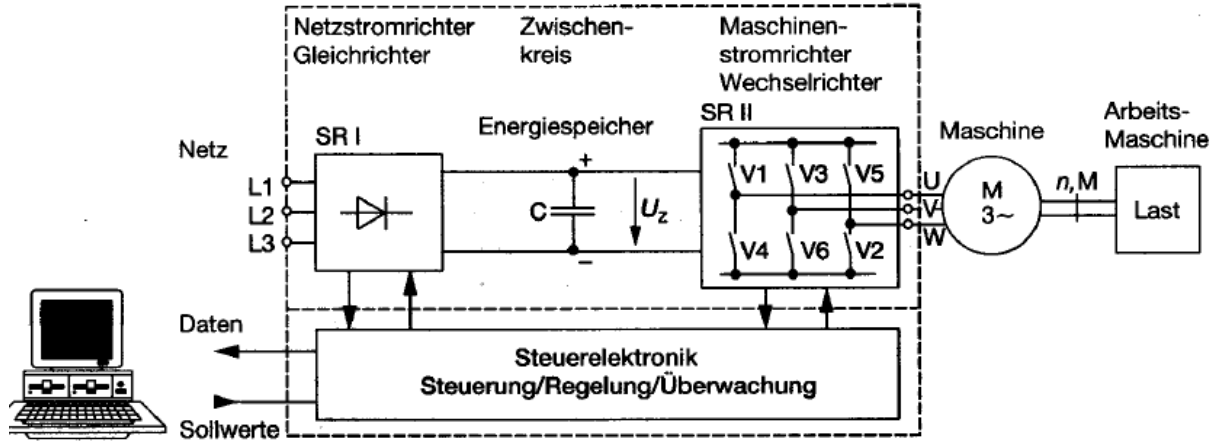


**Anwendungen** Gleichstromsteller, Frequenzumrichter, Elektromotoren, Heizelemente, Dimmer, Schaltnetzteile

**Vorteile** Oberwellen lassen sich sehr leicht ausfiltern

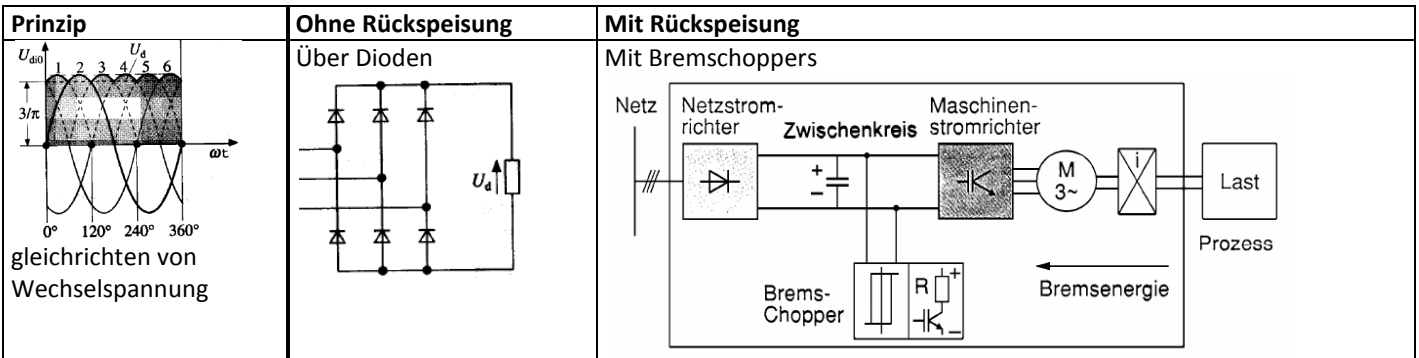
**Frequenzumrichter**

Ein Geräte, das aus einer Wechselspannung/Drehspannungssystem mit bestimmter Frequenz ein in Amplitude und Frequenz veränderbares Drehspannungssystem generiert.



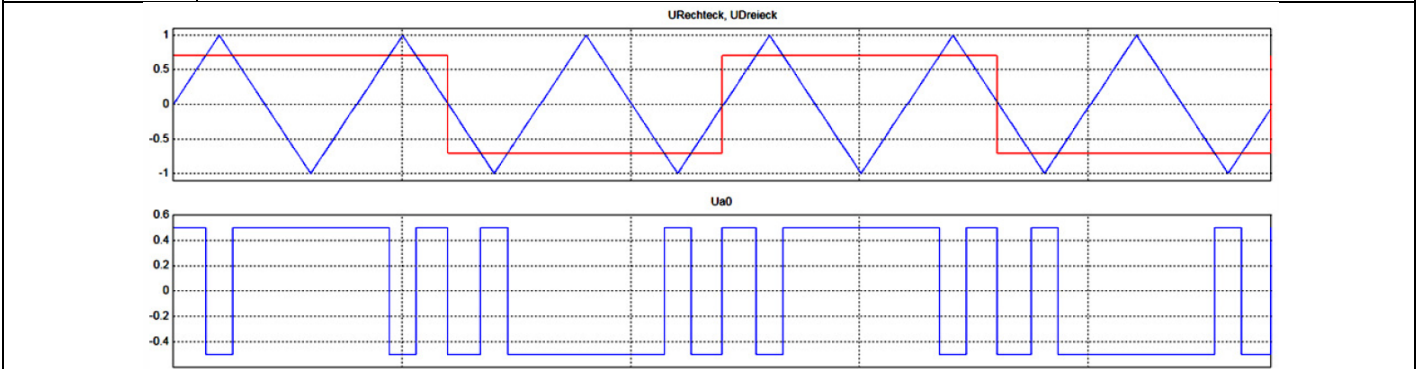
**Vorteile:** Grosse Verbraucher können auch wieder in das Netz zurückspeisen

**Gleichrichter**



**Umrichter mit fester Zwischenkreisspannung (Pulsrichter)**

<b>Vorteil</b>	Die Ausgangsspannung kann mit einer Pulssteuerung verstellt werden. (stufenlos)
<b>Prinzip</b>	Betrachten von Rechteckspannung und Dreieckspannung. Bei Schneidung wird der zugehörige Schalter der Phase betätigt.



**Weitere Formeln**

ASM als Motor	$M_K = \frac{2}{s_K + s}$
Kloss'sche Bezeichnung	
Strangstrom -> Leiterstrom	$I_S = I_L / \sqrt{3}$