

maxon academy

Motordaten und Betriebsbereiche von DC Motoren

- Motorverhalten: Kennlinien, Strom
- Motordaten und Betriebsbereiche

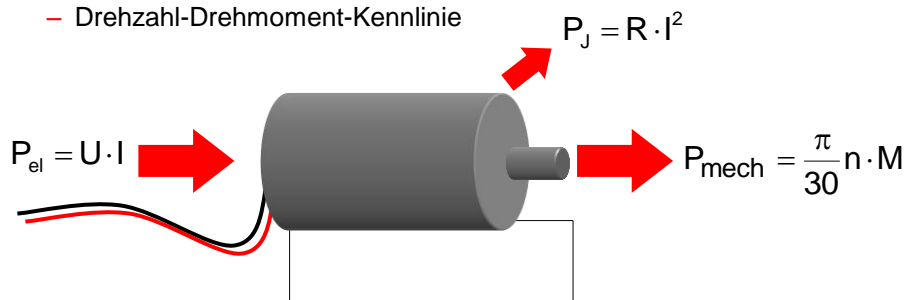
Vgl. E-learning auf maxonmotor.ch/academy

© 2010 maxon motor ag, Sachseln, Schweiz

maxon motor
driven by precision

DC-Motor als Energiewandler

- Elektrische in mechanische Energie
 - Drehzahlkonstante
 - Drehmomentkonstante
 - Drehzahl-Drehmoment-Kennlinie



- gilt für DC- und EC-Motoren
 - deshalb "EC" = "bürstenloser DC" (BLDC)

2. © 2010, maxon motor ag, www.maxonmotor.com/academy

maxon motor
driven by precision

		214895	214896	214897	214898	214899	215982	215983	215985	215986	215987	
Motordaten												
Werte bei Nennspannung												
1	Nennspannung	V	3	4.5	12	15	21	24	24	30	36	48
2	Leerlaufdrehzahl	min ⁻¹	12200	10500	11500	11600	12200	12000	10600	11100	11800	10400
3	Leerlaufstrom	mA	32.6	16.9	7.38	6.02	4.66	3.94	3.26	2.79	2.57	1.56
4	Nenn-drehzahl	min ⁻¹	1130	1130	1130	1130	1130	1130	1130	1130	960	7450
5	Nennmoment (max. Dauerdrehmoment)	mNm	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.28	3.22
6	Nennstrom (max. Dauerbelastungsstrom)	A	0.6	0.6	0.35	0.281	0.209	0.18	0.16	0.132	0.115	0.074
7	Anhaltmoment	mNm	17.1	12.1	14.4	14.3	14.9	14.7	12.9	13.3	13.7	11.5
8	Anlaufstrom	A	7.32	2.95	1.45	1.17	0.91	0.772	0.604	0.518	0.473	0.262
9	Max. Wirkungsgrad	%	87	86	86	86	86	86	86	86	86	85
Kenndaten												
10	Anschlusswiderstand	Ω	0.41	1.52	8.3	12.8	23.1	31.1	39.7	57.9	76.2	183
11	Anschlussinduktivität	mH	0.0114	0.0349	0.206	0.314	0.558	0.759	0.956	1.38	1.75	4.04
12	Drehmomentkonstante	mNm A ⁻¹	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.9	44
13	Drehzahlkonstante	min ⁻¹ V ⁻¹	40	40	40	40	40	40	40	40	329	217
14	Kennliniensteigung	min ⁻¹ mNm ⁻¹	718	871	804	815	825	817	828	839	865	906
15	Mechanische Anlaufzeitkonstante	ms	7.93	7.44	7.27	7.29	7.3	7.31	7.35	7.32	7.35	7.47
16	Rotorträgheitsmoment	gcm ²	1.05	0.816	0.864	0.854	0.844	0.854	0.848	0.834	0.811	0.788
Spezifikationen												
Thermische Daten												
17	Therm. Widerstand Gehäuse-Luft	35 KW ⁻¹										
Weitere Spezifikationen												
21	Umgebungstemperatur	-30 ... +85°C										
22	Max. Wicklungstemperatur	+85°C										
Mechanische Daten (Sinterlager)												
23	Grenzdrehzahl	19000 min ⁻¹										
Betriebsbereiche												
Legende ■ Dauerbetrieb Unter Berücksichtigung von Widerstand, Temperatur, Belastung etc. erreicht = the... □ Kurzzeitbetrieb Der Motor darf...												
maxon motor driven by precision												

Kenndaten des Motors

beschreiben den Aufbau und das allgemeine Verhalten

- unabhängig von Spannung und Strom
- stark wicklungsabhängige Werte (elektromechanisch)
 - Anschlusswiderstand (Phase-Phase) R
 - Anschlussinduktivität (Phase-Phase) L
 - Drehmomentkonstante k_M
 - Drehzahlkonstante k_n
- praktisch unabhängig von Wicklung (mechanisch)
 - Kennliniensteigung $\Delta n / \Delta M$
 - mechanische Zeitkonstante τ_m
 - Rotor-Trägheitsmoment J_{Mot}

Wicklungsreihe

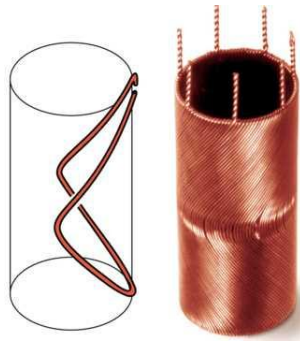
Widerstand nimmt von links nach rechts zu

tiefer Widerstand



hoher Widerstand

- dicker Draht mit wenig Windungen
- tiefe Nennspannungen
- hohe Dauer- und Anlaufströme
- tiefe Drehmoment-Konstante (mNm/A)
- hohe Drehzahl-Konstante (min^{-1}/V)



- dünner Draht mit vielen Windungen
- höhere Nennspannungen
- tiefe Dauer- und Anlaufströme
- tiefe Drehzahl-Konstante (min^{-1}/V)
- hohe Drehmoment-Konstante (mNm/A)

5. © 2010, maxon motor ag, www.maxonmotor.com/academy

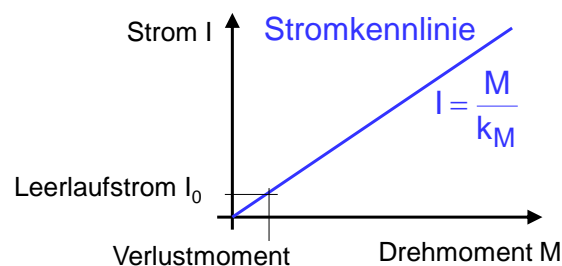
maxon motor
driven by precision

Drehmomentkonstante k_M

- erzeugtes Drehmoment proportional zum Motorstrom

$$M = k_M \cdot I$$

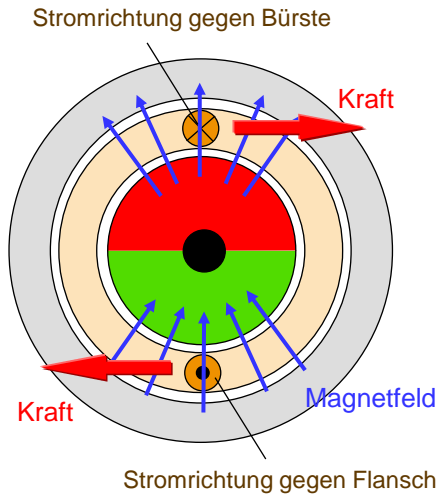
- durch Motorgeometrie und magn. Flussdichten bestimmt
- Drehmoment bestimmen mittels Strommessung
- im Motor: Drehmoment = Strom
- Einheiten: mNm/A



6. © 2010, maxon motor ag, www.maxonmotor.com/academy

maxon motor
driven by precision

Kraft und Drehmomenterzeugung



Kräfte:

Kraft auf stromführende Leiter im Magnetfeld

Drehmoment:

Summe aller Kräfte im Abstand zu Drehachse

Einflussgrößen:

Geometrie
Flussdichte
Windungszahl } **Konstruktion**

$$M = k_M \cdot I$$

Strom I

} **Anwendung**

7. © 2010, maxon motor ag, www.maxonmotor.com/academy

maxon motor
driven by precision

Drehzahlkonstante k_n

- Drehzahl n und induzierte Spannung U_{ind}
 - Induktionsgesetz: Flussänderung in Leiterschleife
 - induzierte Spannung proportional zur Drehzahl
 - eigentlich Kehrwert von k_M , nur in anderen Einheiten

$$n = k_n \cdot U_{ind}$$

- Drehzahlkonstante k_n
 - meist zur Berechnung der Leerlaufdrehzahl n_0
 - Einheit: $\text{min}^{-1} / \text{V}$

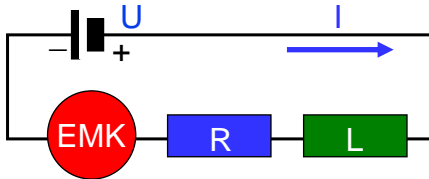
$$n_0 = k_n \cdot U$$

- Generatorkonstante k_e
 - Kehrwert von k_n : Motor als Generator (z.B. DC-Tacho). Wie viel Spannung wird induziert?
 - Einheiten: $\text{mV} / \text{min}^{-1}$
 $\text{V} / 1000 \text{min}^{-1}$

8. © 2010, maxon motor ag, www.maxonmotor.com/academy

maxon motor
driven by precision

Motor als elektrischer Schaltkreis



Motorspannung U:

$$U = L \cdot \frac{\partial I}{\partial t} + R \cdot I + \text{EMK} \cong R \cdot I + U_{\text{ind}}$$

$$U_{\text{ind}} = U - R \cdot I$$

EMK: induzierte Spannung
(Wicklungs-)Widerstand R

Wicklungsinduktivität L

- Spannungsabfall über L kann für DC Motoren vernachlässigt werden

$$\frac{n}{k_n} = U - R \cdot \frac{M}{k_M}$$

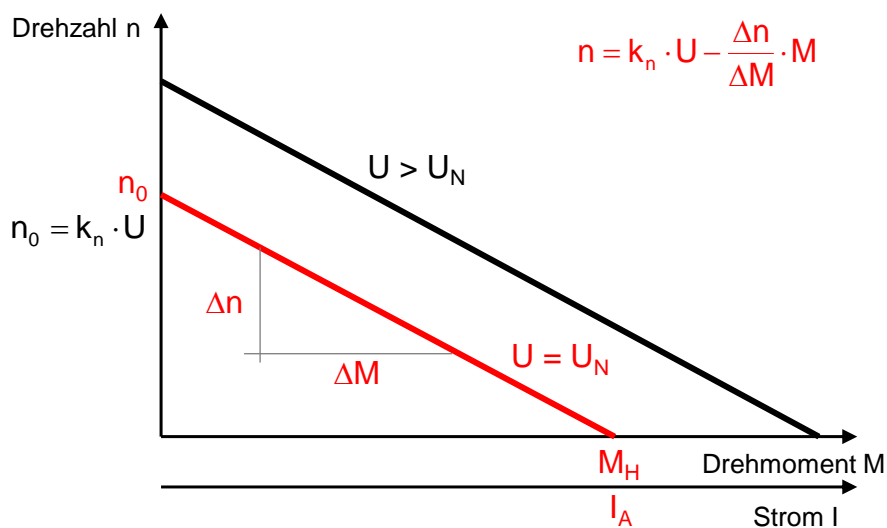
$$n = k_n \cdot U - \left(\frac{30'000}{\pi} \cdot \frac{R}{k_M^2} \right) \cdot M$$

$$n = k_n \cdot U - \frac{\Delta n}{\Delta M} \cdot M$$

9. © 2010, maxon motor ag, www.maxonmotor.com/academy

maxon motor
driven by precision

Drehzahl-Drehmoment Kennlinie



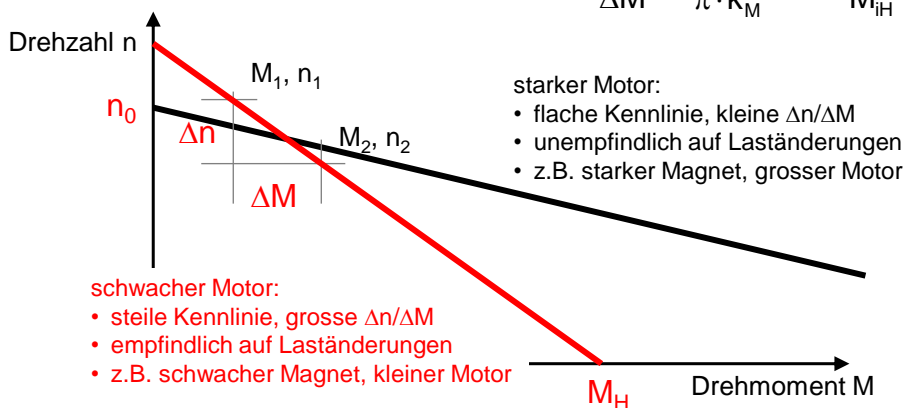
10. © 2010, maxon motor ag, www.maxonmotor.com/academy

maxon motor
driven by precision

Kennlinien-Steigung

um wie viel wird die Drehzahl vermindert Δn , wenn das Motordrehmoment um ΔM erhöht wird?

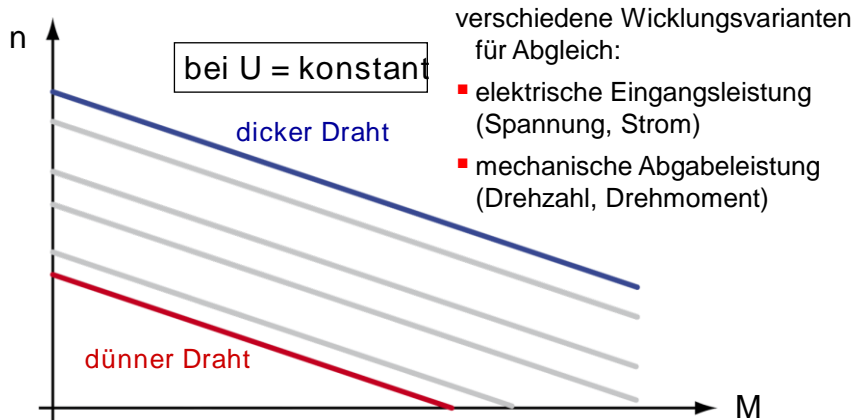
$$\frac{\Delta n}{\Delta M} = \frac{30'000}{\pi \cdot k_M^2} \cdot R = \frac{n_i}{M_{iH}}$$



11, © 2010, maxon motor ag, www.maxonmotor.com/academy

maxon motor
driven by precision

Wicklungsreihe



Kennliniensteigung

- praktisch konstant für Wicklungsreihe
- konstanter Füllfaktor: gleicher totaler Kupferquerschnitt im Luftspalt

12, © 2010, maxon motor ag, www.maxonmotor.com/academy

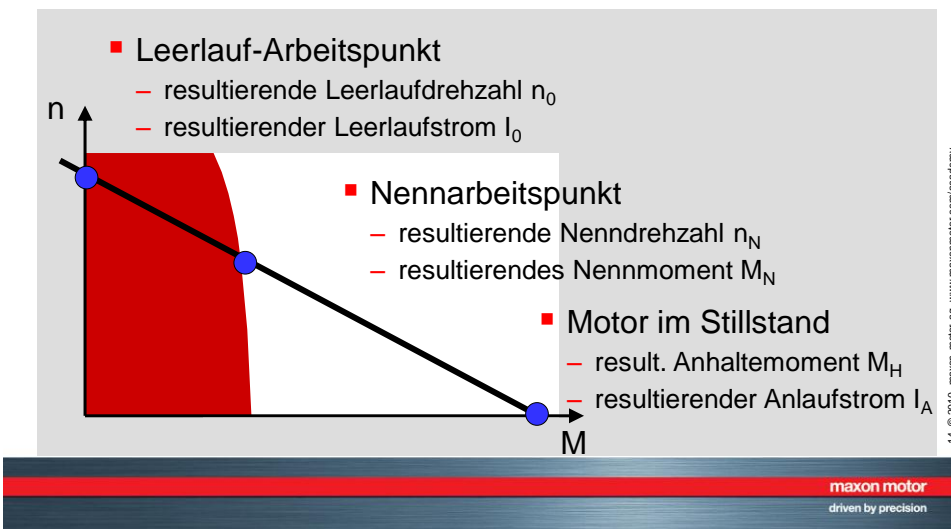
maxon motor
driven by precision

		214895	214896	214897	214898	214899	215982	215983	215985	215986	215987	
Motordaten												
Werte bei Nennspannung												
1	Nennspannung	V	3	4.5	12	15	21	24	24	30	36	48
2	Leerlaufdrehzahl	min ⁻¹	12200	10500	11500	11600	12200	12000	10600	11100	11800	10400
3	Leerlaufstrom	mA	32.6	16.9	7.38	6.02	4.66	3.94	3.26	2.79	2.57	1.56
4	Nennndrehzahl	min ⁻¹	11300	9600	10000	10000	10000	10000	10000	10000	960	7450
5	Nennmoment (max. Dauerdrehmoment)	mNm	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
6	Nennstrom (max. Dauerbelastungsstrom)	A	0.6	0.6	0.35	0.281	0.209	0.18	0.16	0.132	0.115	0.074
7	Anhaltmoment	mNm	17.1	12.1	14.4	14.3	14.9	14.7	12.9	13.3	13.7	11.5
8	Anlaufstrom	A	7.32	2.95	1.45	1.17	0.91	0.772	0.604	0.518	0.473	0.262
9	Max. Wirkungsgrad	%	87	86	86	86	86	86	86	86	86	85
Kenndaten												
10	Anschlusswiderstand	Ω	0.41	1.52	8.3	12.8	23.1	31.1	39.7	57.9	76.2	183
11	Anschlussinduktivität	mH	0.0114	0.0349	0.206	0.314	0.558	0.759	0.956	1.38	1.75	4.04
12	Drehmomentkonstante	mNm A ⁻¹	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3
13	Drehzahlkonstante	min ⁻¹ V ⁻¹	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
14	Kennliniensteigung	min ⁻¹ mNm ⁻¹	718	871	804	815	825	817	828	839	865	906
15	Mechanische Anlaufzeitkonstante	ms	7.93	7.44	7.27	7.29	7.3	7.31	7.35	7.32	7.35	7.47
16	Rotorträgheitsmoment	gcm ²	1.05	0.816	0.864	0.854	0.844	0.854	0.848	0.834	0.811	0.788
Spezifikationen												
Thermische Daten												
17	Therm. Widerstand Gehäuse-Luft	35 KW ⁻¹										
Weitere Spezifikationen												
21	Umgebungstemperatur	-30 ... +85°C										
22	Max. Wicklungstemperatur	+85°C										
Mechanische Daten (Sinterlager)												
23	Grenzdrehzahl	19000 min ⁻¹										
Betriebsbereiche												
<p>Legende</p> <p>■ Dauerbetrieb Unter Berücksichtigung der Widerstandstemperaturbelastung der Wicklung erreicht = the</p> <p>□ Kurzzeitbetrieb Der Motor darf nicht überlastet werden</p>												
<p>maxon motor driven by precision</p>												

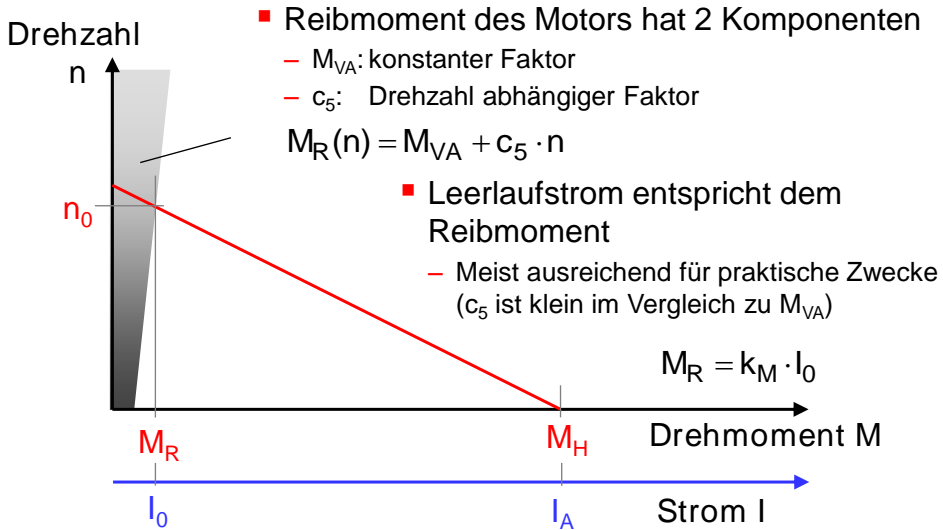
Werte bei Nennspannung

beschreiben spezielle
Arbeitspunkte:

- bei Nennspannung U_N
- bei Nennstrom I_N



Reibung und Leerlauf

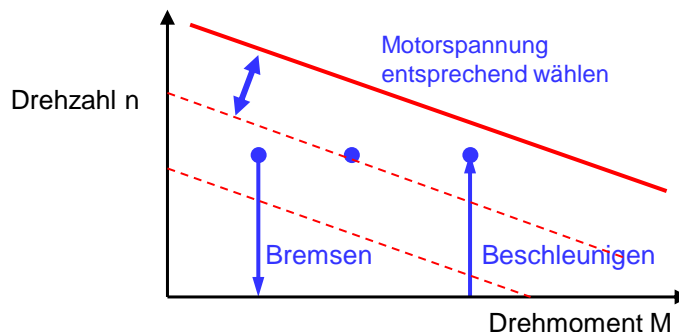


16, © 2010, maxon motor ag, www.maxonmotor.com/academy

maxon motor
driven by precision

Arbeitspunkte

- Arbeitspunkte sind durch eine Last-Drehzahl n_L bei einem bestimmten Last-Drehmoment M_L charakterisiert.
- Arbeitspunkte müssen auf der Drehzahl-Drehmoment-Kennlinie liegen: Motorspannung entsprechend anpassen.

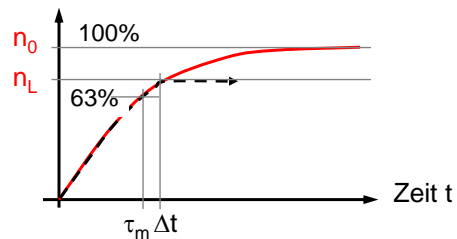
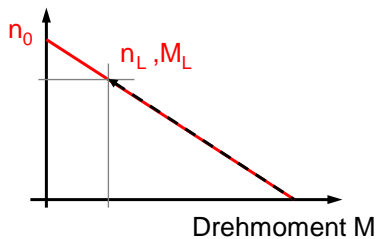


16, © 2010, maxon motor ag, www.maxonmotor.com/academy

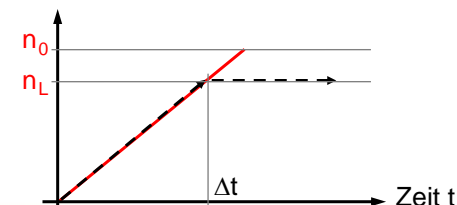
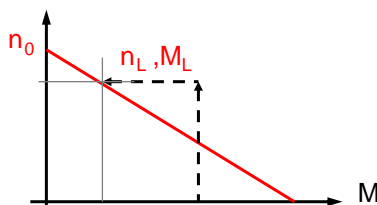
maxon motor
driven by precision

Beschleunigung

bei konstanter Spannung:



bei konstantem Strom / Drehmoment:



17, © 2010, maxon motor ag, www.maxonmotor.com/academy

maxon motor
driven by precision

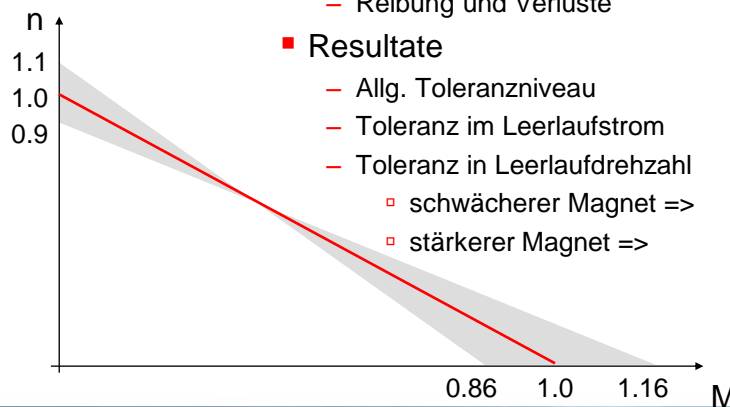
maxon Standardtoleranzen

Ursachen

- Wicklungswiderstand ± 7 %
- Magnetkennwerte ± 8 %
- Reibung und Verluste

Resultate

- Allg. Toleranzniveau 5 to 10 %
- Toleranz im Leerlaufstrom ± 50 %
- Toleranz in Leerlaufdrehzahl ± 10 %
 - schwächerer Magnet => erhöhte n_0
 - stärkerer Magnet => kleinere n_0



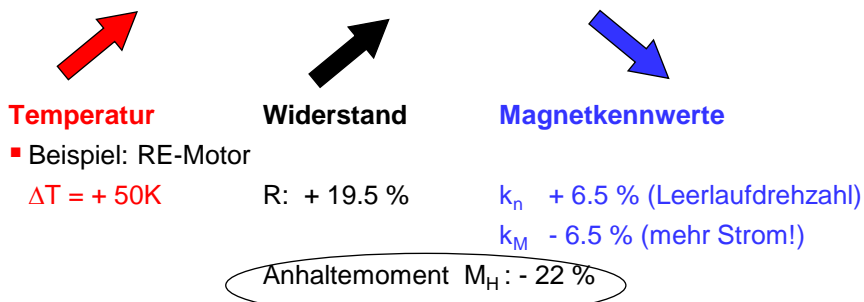
18, © 2010, maxon motor ag, www.maxonmotor.com/academy

maxon motor
driven by precision

Temperatur-Einfluss

Temperatur-Koeffizienten

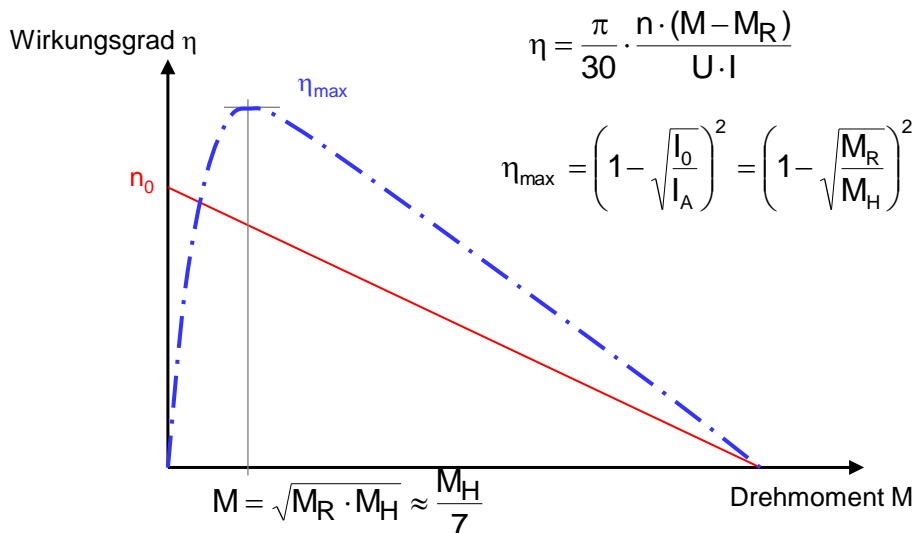
Cu	+ 0.39 % pro K	AlNiCo	- 0.02 % pro K
		Ferrit	- 0.2 % pro K
		NdFeB	- 0.13 % pro K



19. © 2010, maxon motor ag, www.maxonmotor.com/academy

maxon motor
driven by precision

Wirkungsgrad

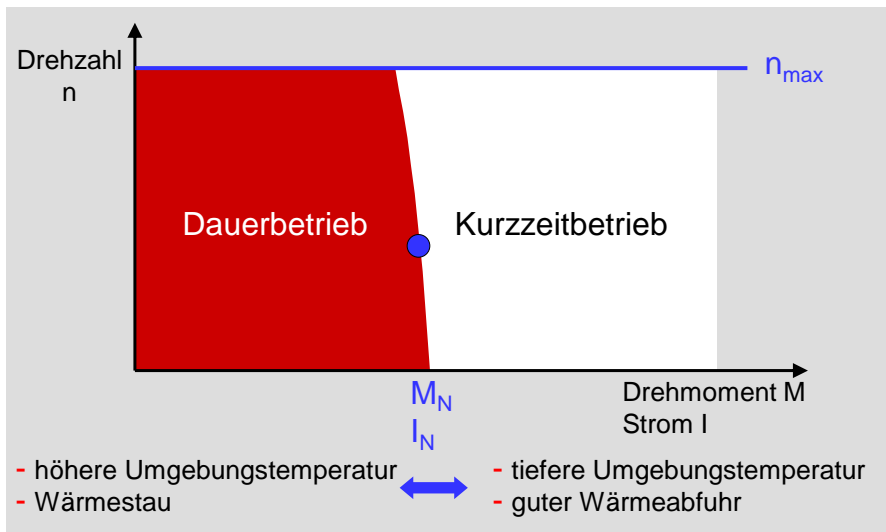


20. © 2010, maxon motor ag, www.maxonmotor.com/academy

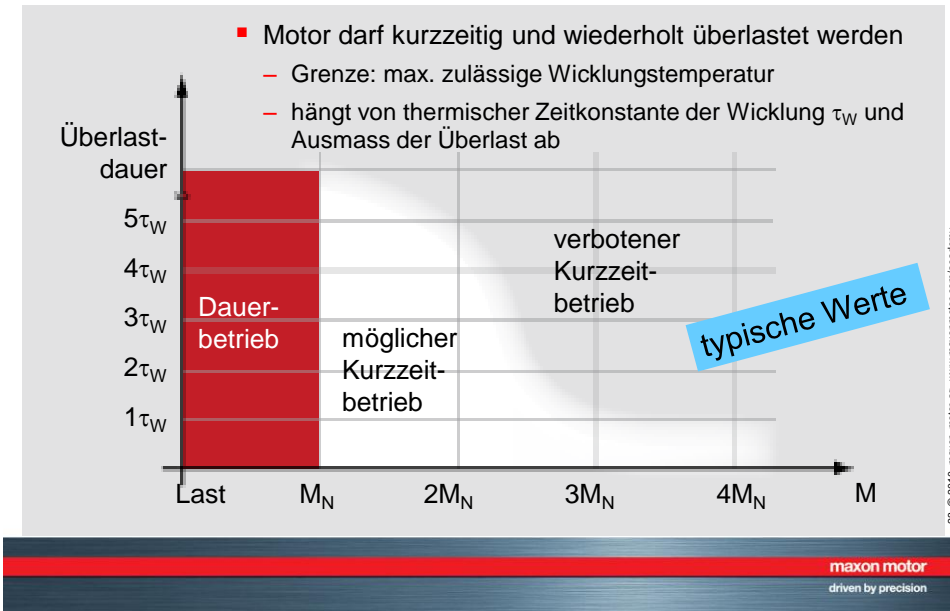
maxon motor
driven by precision

		214895	214896	214897	214898	214899	215982	215983	215985	215986	215987	
Motordaten												
Werte bei Nennspannung												
1	Nennspannung	V	3	4.5	12	15	21	24	24	30	36	48
2	Leerlaufdrehzahl	min ⁻¹	12200	10500	11500	11600	12200	12000	10600	11100	11800	10400
3	Leerlaufstrom	mA	32.6	16.9	7.38	6.02	4.66	3.94	3.26	2.79	2.57	1.56
4	Nenn-drehzahl	min ⁻¹	11300	9600	10000	10000	10000	10000	9600	9600	9600	7450
5	Nennmoment (max. Dauerdrehmoment)	mNm	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	3.22
6	Nennstrom (max. Dauerbelastungsstrom)	A	0.6	0.6	0.35	0.281	0.209	0.18	0.16	0.132	0.115	0.074
7	Anhaltmoment	mNm	17.1	12.1	14.4	14.3	14.9	14.7	12.9	13.3	13.7	11.5
8	Anlaufstrom	A	7.32	2.95	1.45	1.17	0.91	0.772	0.604	0.518	0.473	0.262
9	Max. Wirkungsgrad	%	87	86	86	86	86	86	86	86	86	85
Kenndaten												
10	Anschlusswiderstand	Ω	0.41	1.52	8.3	12.8	23.1	31.1	39.7	57.9	76.2	183
11	Anschlussinduktivität	mH	0.0114	0.0349	0.206	0.314	0.558	0.759	0.956	1.38	1.75	4.04
12	Drehmomentkonstante	mNm A ⁻¹	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	44
13	Drehzahlkonstante	min ⁻¹ V ⁻¹	40	40	40	40	40	40	40	40	40	217
14	Kennliniensteigung	min ⁻¹ mNm ⁻¹	718	871	804	815	825	817	828	839	865	906
15	Mechanische Anlaufzeitkonstante	ms	7.93	7.44	7.27	7.29	7.3	7.31	7.35	7.32	7.35	7.47
16	Rotorträgheitsmoment	gcm ²	1.05	0.816	0.864	0.854	0.844	0.854	0.848	0.834	0.811	0.788
Spezifikationen			Betriebsbereiche						Legende			
Thermische Daten									Dauerbetrieb Unter Berücksichtigung der Widerstandstemperaturbelastung erreicht = the... Kurzzeitbetrieb Der Motor darf...			
17	Therm. Widerstand Gehäuse-Luft	35 KW ⁻¹										
18	Weitere Spezifikationen											
19												
20												
21	Umgebungstemperatur	-30 ... +85°C										
22	Max. Wicklungstemperatur	+85°C										
Mechanische Daten (Sinterlager)												
23	Grenzdrehzahl	19000 min ⁻¹										

Motorgrenzen: Betriebsbereiche



Kurzzeitbetrieb bei Überlast



		214895	214896	214897	214898	214899	215982	215983	215985	215986	215987
Motordaten											
Werte bei Nennspannung											
1	Nennspannung	V	3	4.5	12	15	21	24	30	36	48
2	Leerlaufdrehzahl	min ⁻¹	12200	10500	11500	11600	12200	10600	11100	11800	10400
3	Leerlaufstrom	mA	32.6	16.9	7.38	6.02	4.66	3.94	3.26	2.79	2.57
4	Nenn-drehzahl	min ⁻¹	1130	1130	1130	1130	1130	1130	1130	1130	1130
5	Nennmoment (max. Dauer-drehmoment)	mNm	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
6	Nennstrom (max. Dauerbelastungsstrom)	A	0.6	0.6	0.35	0.281	0.209	0.18	0.16	0.132	0.115
7	Anhaltmoment	mNm	17.1	12.1	14.4	14.3	14.9	14.7	12.9	13.3	13.7
8	Anlaufstrom	A	7.32	2.95	1.45	1.17	0.91	0.772	0.604	0.518	0.473
9	Max. Wirkungsgrad	%	87	86	86	86	86	86	86	86	85
Kenndaten											
10	Anschlusswiderstand	Ω	0.41	1.52	8.3	12.8	23.1	31.1	39.7	57.9	76.2
11	Anschlussinduktivität	mH	0.0114	0.0349	0.206	0.314	0.558	0.759	0.956	1.38	1.75
12	Drehmomentkonstante	mNm A ⁻¹	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3
13	Drehzahlkonstante	min ⁻¹ V ⁻¹	40	40	40	40	40	40	40	40	40
14	Kennliniensteigung	min ⁻¹ mNm ⁻¹	718	871	804	815	825	817	828	839	865
15	Mechanische Anlaufzeitkonstante	ms	7.93	7.44	7.27	7.29	7.3	7.31	7.35	7.32	7.35
16	Rotorträgheitsmoment	gcm ²	1.05	0.816	0.864	0.854	0.844	0.854	0.848	0.834	0.811
Spezifikationen											
Thermische Daten											
17	Therm. Widerstand Gehäuse-Luft	35 KW ⁻¹									
Weitere Spezifikationen											
21	Umgebungstemperatur	-30 ... +85°C									
22	Max. Wicklungstemperatur	+85°C									
Mechanische Daten (Sinterlager)											
23	Grenzdrehzahl	19000 min ⁻¹									
Betriebsbereiche											
n [min ⁻¹]											
Betriebsbereiche											
Legende											
Dauerbetrieb: Unter Berücksichtigung von Temperatur, Belastung, etc. erreicht = the											
Kurzzeitbetrieb: Der Motor darf nicht überlastet werden											

Thermische Daten

beschreiben die Erwärmung und die thermischen Grenzen

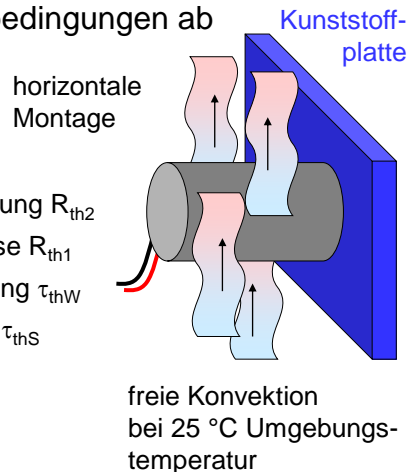
- hängen stark von den Montagebedingungen ab
- Standardbedingungen:

- Erwärmen und Abkühlen

- therm. Widerstand Gehäuse-Umgebung R_{th2}
- therm. Widerstand Wicklung-Gehäuse R_{th1}
- thermische Zeitkonstante der Wicklung τ_{thW}
- thermische Zeitkonstante des Motor τ_{thS}

- Temperaturlimits

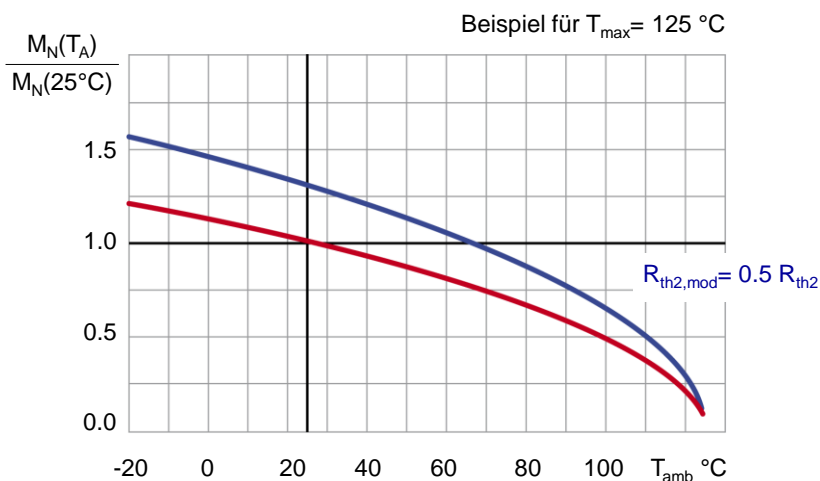
- Umgebungstemperaturbereich
- max. Wicklungstemperatur T_{max}



26, © 2010, maxon motor ag, www.maxonmotor.com/academy

maxon motor
driven by precision

Nennmoment und Temperatur

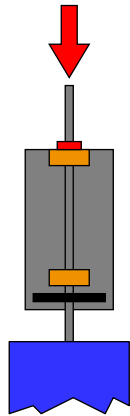


26, © 2010, maxon motor ag, www.maxonmotor.com/academy

maxon motor
driven by precision

Mechanische Daten

beschreiben die Grenzdrehzahl und die Lager



axiale Aufpresskraft
(Welle abgestützt)

- Grenzdrehzahl
 - Überlegungen zur Lebensdauer der Lager (EC)
 - max. Relativgeschwindigkeit zwischen Kollektor und Bürsten (DC)
- Axialspiel, Radialspiel
 - unterdrückt durch eine Vorspannung
- axiale und radiale Belastung der Lager
 - dynamisch: in Betrieb
 - statisch: im Stillstand

27, © 2010, maxon motor ag, www.maxonmotor.com/academy

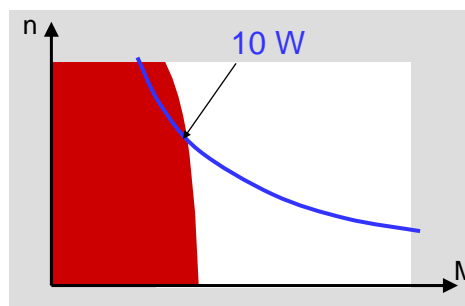
maxon motor
driven by precision

Typenleistung

- keine einheitlichen Kriterien
 - elektrische Leistung im Nenn-Arbeitspunkt
 - Abgabeleistung im Nenn-Arbeitspunkt:
 - oder maximale Abgabeleistung $P_{2,max}$
 - aber auch "marketingtechnische" Faktoren

$$P_{typ} = \frac{\pi}{30} \cdot n_N \cdot M_N$$

- Fazit:
 - Typenleistung ist nur Anhaltspunkt
 - Antrieb muss Drehzahl und Drehmoment bringen



28, © 2010, maxon motor ag, www.maxonmotor.com/academy

maxon motor
driven by precision