



Technische
Universität
Braunschweig

IMAB Institut für Elektrische Maschinen,
Antriebe und Bahnen
TU Braunschweig



Grundlagen der elektrischen Energietechnik

Teil 2: Elektromechanische Energieumformung

2. Übung: Gleichstrommaschinen

SoSe 2024

Prof. Dr.-Ing. Markus Henke, Tim-H. Dietrich

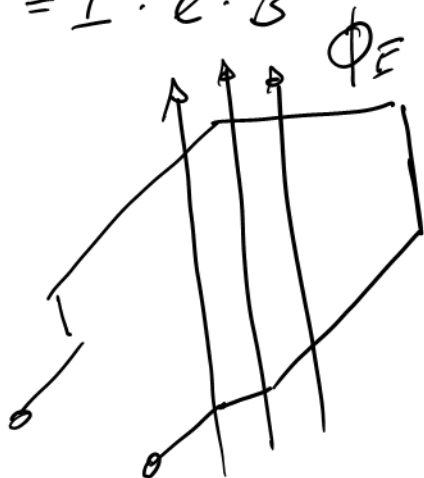
Gleichstrommaschinen (Wirbungsweise) Neutrale Zone

$$\vec{M} = \vec{F}_L \times \vec{r} \quad \vec{F}_L \perp \vec{r}$$

$$= F_L \cdot r$$

$$\vec{F}_L = I(\vec{\ell} \times \vec{B}) \quad \vec{\ell} \perp \vec{B}$$

$$= I \cdot \ell \cdot B$$

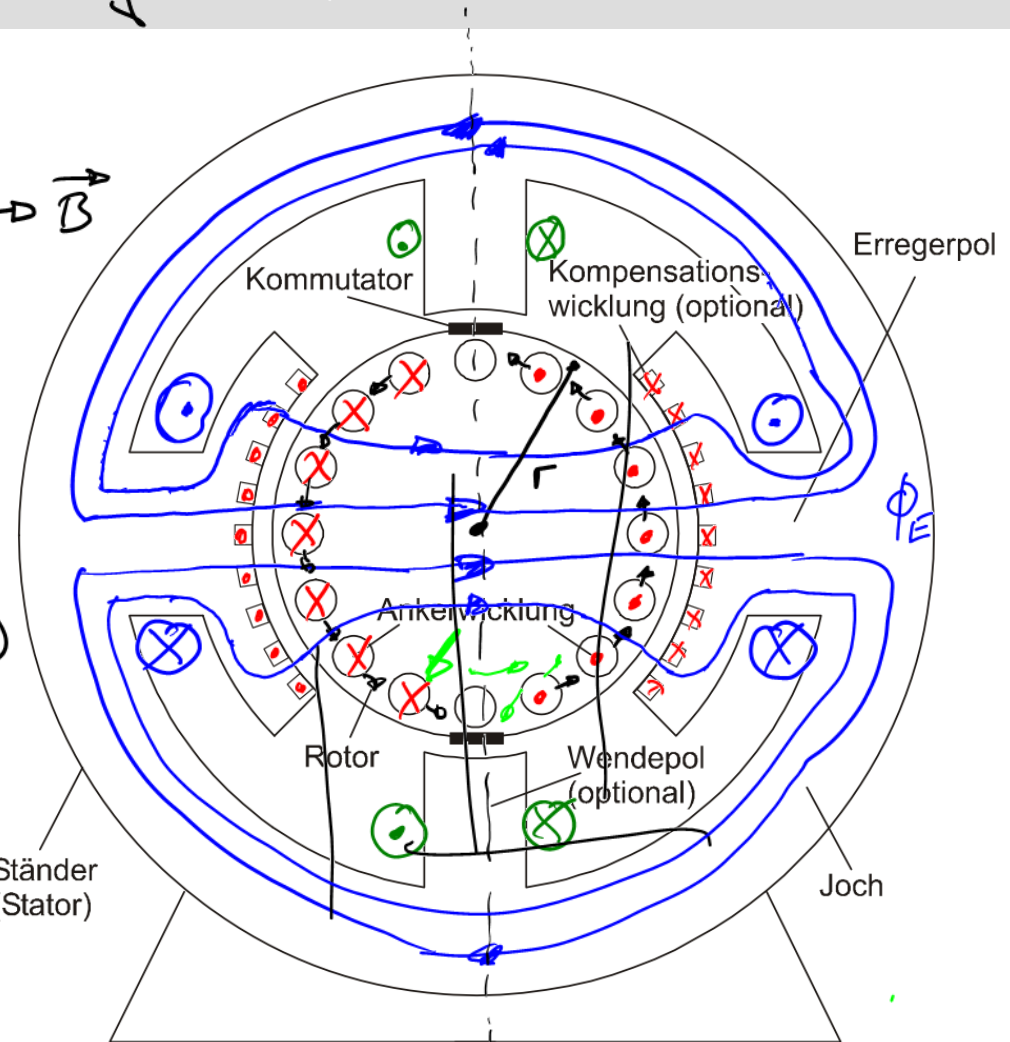
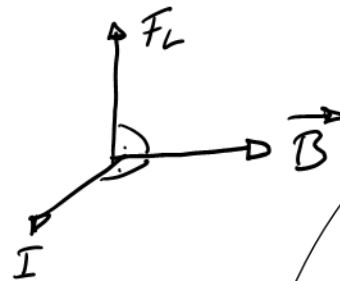


$$\phi_E = \phi \cdot \cos(\omega t)$$

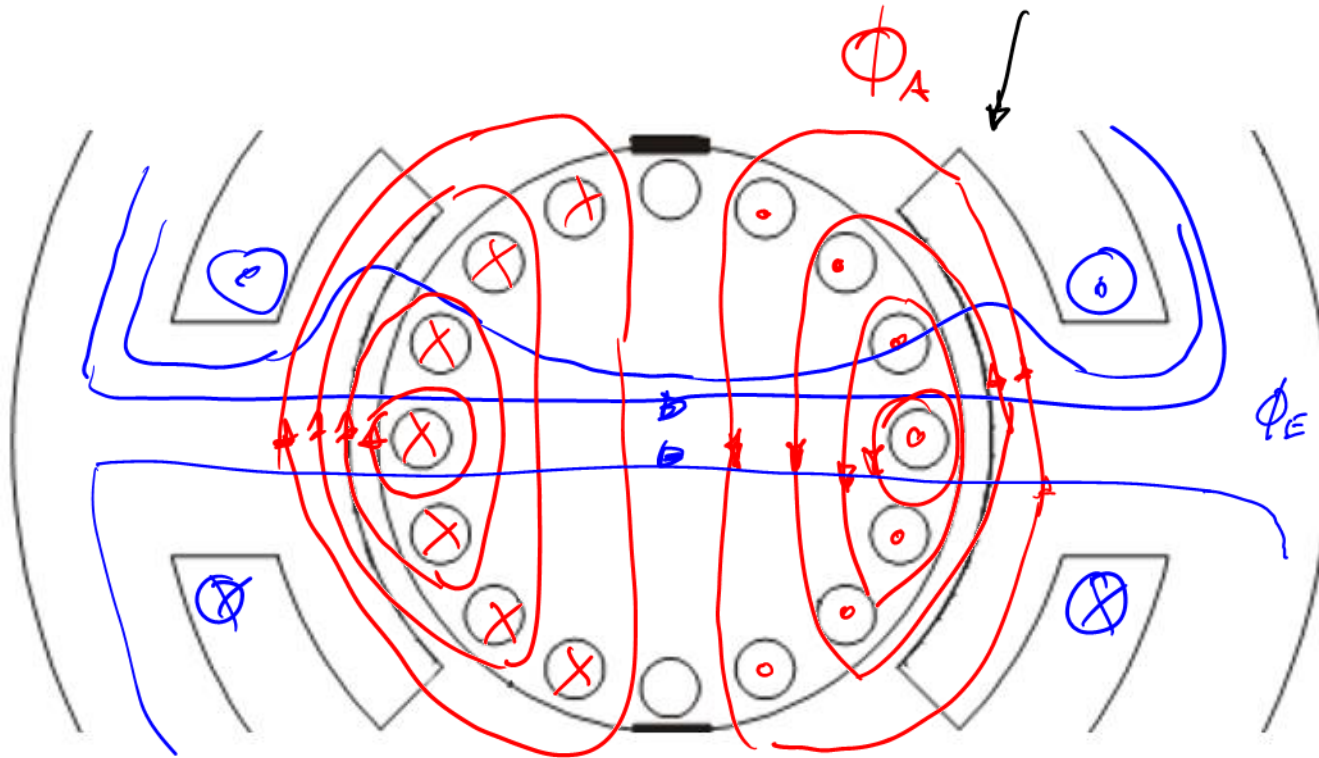
$$u_i = \frac{d\phi_E}{dt}$$

$$= \omega \cdot \phi \cdot \sin(\omega t)$$

Ständer
(Stator)

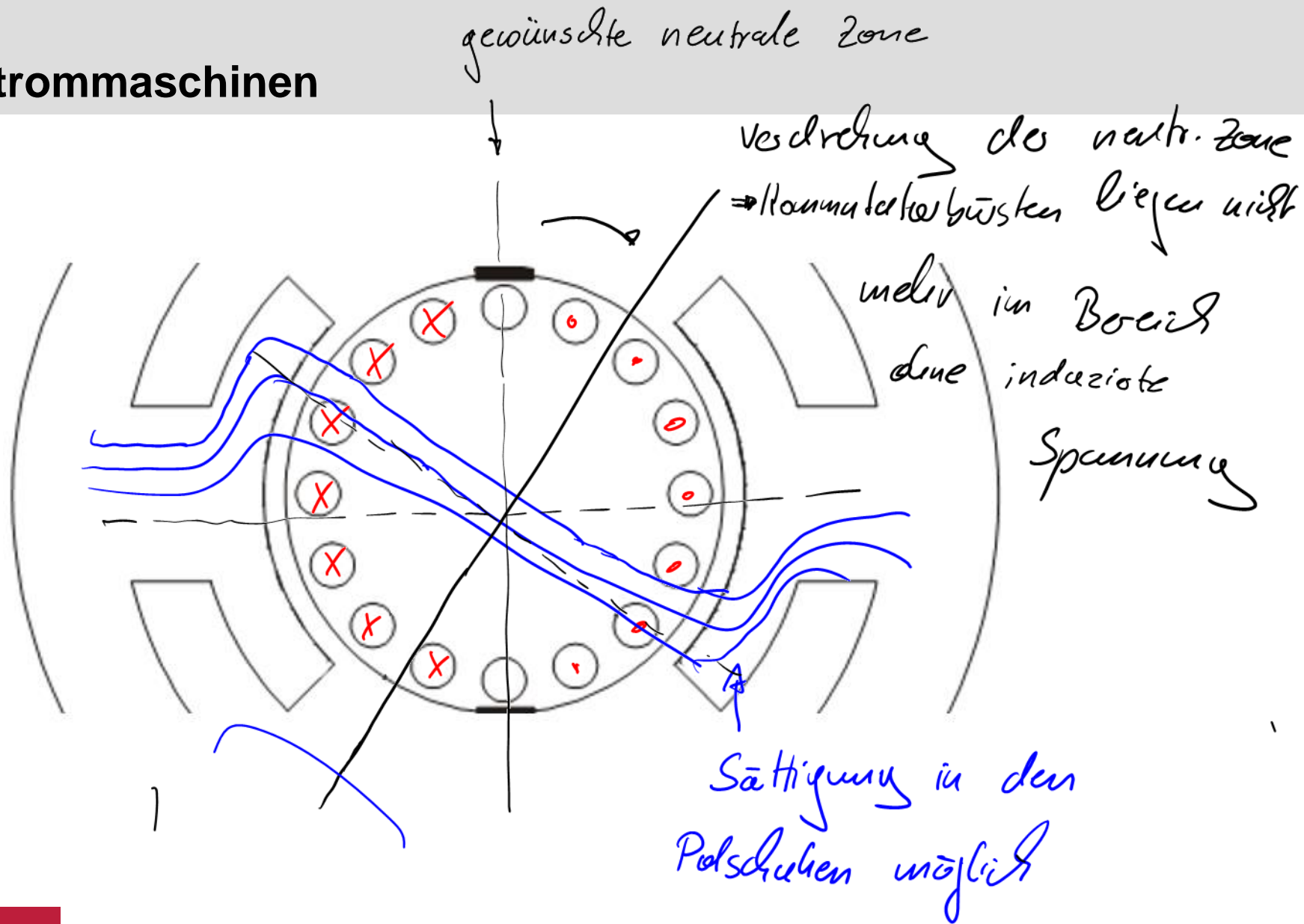


Gleichstrommaschinen

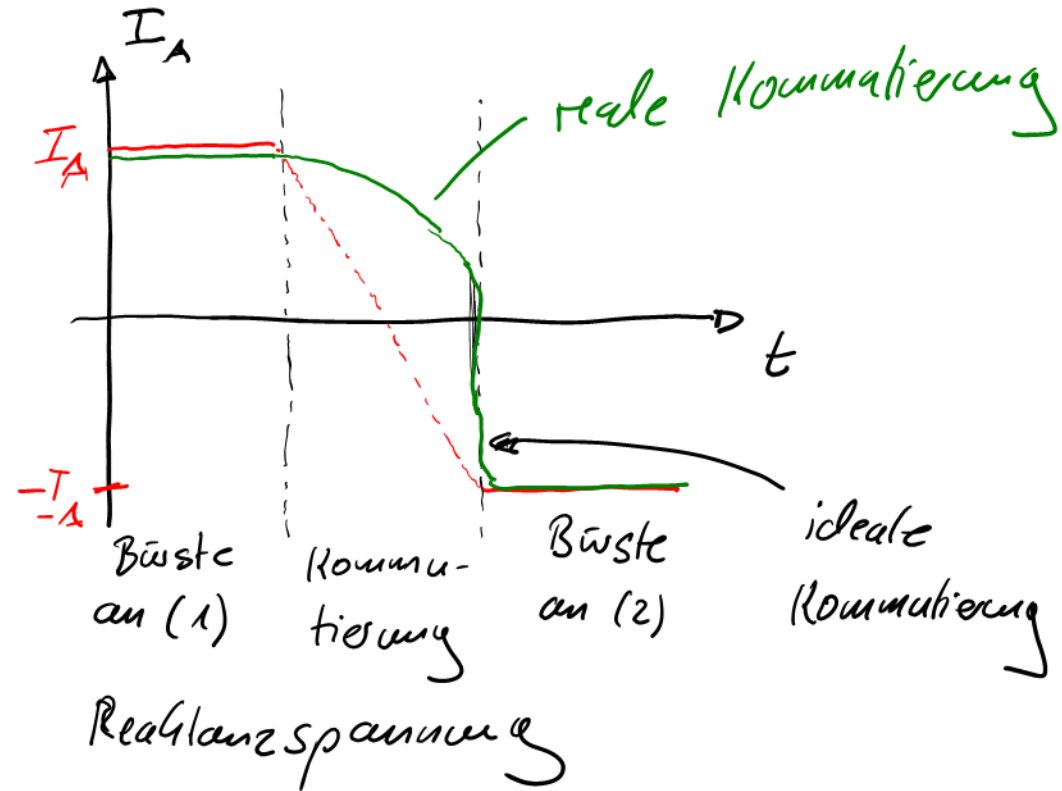
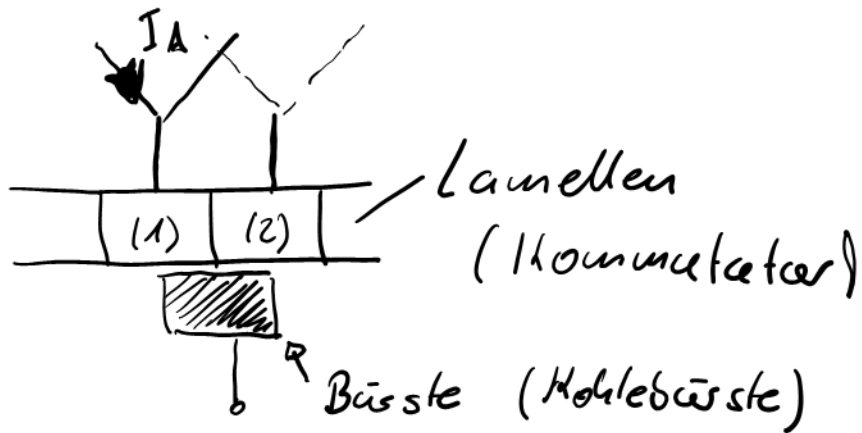


Die Ankerwicklung erzeugt ebenfalls ein Magnetfeld.

Gleichstrommaschinen



Gleichstrommaschinen



Reaktionsspannung

$$\underline{u_R} = L \cdot \frac{dI_A}{dt}$$

Spannungs- und Drehmomentengleichungen der fremderregten Gleichstrommaschine

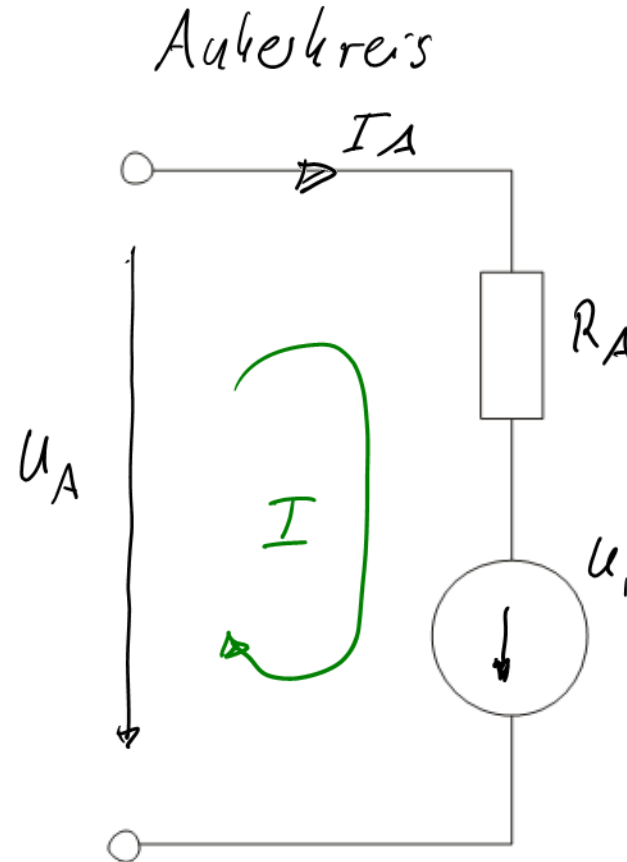
Grundgleichungen:

(I) $U_A = I_A \cdot R_A + U_i$

(II) $U_E = R_E \cdot I_E$

(III) $U_i = k_M \cdot \Omega$

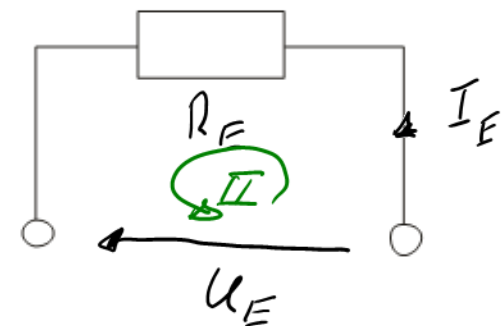
(IV) $M = k_M \cdot I_A$



Hinweis

U_E, I_E, R_E werden
in der Literatur
auch als
 U_f, I_f, R_f bezeichnet

Erregerkreis



Spannungs- und Drehmomentengleichungen der fremderregten Gleichstrommaschine

$$U_A = R_A \cdot I_A + U_i$$

(III)

$$= R_A \cdot I_A + k_M \cdot \Omega$$

$$= R_A \cdot I_A + C \cdot \Phi_E \cdot \Omega$$

⇒ Umstellen nach Ω

$$U_A - R_A \cdot I_A = C \cdot \Phi_E \cdot \Omega$$

$$\Rightarrow \Omega = \frac{U_A}{C \cdot \Phi_E} - \frac{R_A \cdot I_A}{C \cdot \Phi_E}$$

$$= \frac{U_A}{C \cdot \Phi_E} - \frac{R_A \cdot I_A \cdot C \cdot \Phi_E}{(C \cdot \Phi_E)^2}$$

$$\Rightarrow \Omega = \frac{U_A}{C \cdot \Phi_E} - \frac{R_A \cdot M}{(C \cdot \Phi_E)^2}$$

Nebenrechnung

$$M = F_L \cdot r$$

$$= I \cdot l \cdot B \cdot r$$

$$= I_A \cdot l \cdot \frac{\Phi_E}{A} \cdot r$$

$$M = k_M \cdot I_A$$

$$\Rightarrow k_M \cdot I_A = I_A \cdot l \cdot \frac{\Phi_E}{A} \cdot r$$

$$k_M = \underbrace{l \cdot \frac{r}{A}}_{=C} \cdot \Phi_E$$

$$k_M = C \cdot \Phi_E$$

$$M = C \cdot \Phi_E \cdot I_A$$

$$\Rightarrow C \cdot \Phi_E = \frac{M}{I_A}$$

$$M = \frac{U_A \cdot c \cdot \Phi_E}{R_A} - \frac{\Omega (c \cdot \Phi_E)^2}{R_A}$$

Spannungs- und Drehmomentengleichungen der fremderregten Gleichstrommaschine

$$\Omega = \frac{U_A}{c \cdot \Phi_E} - \frac{R_A \cdot M}{(c \cdot \Phi_E)^2}$$

$$M = \frac{U_A \cdot c \cdot \Phi_E}{R_A} - \frac{\Omega (c \cdot \Phi_E)^2}{R_A}$$

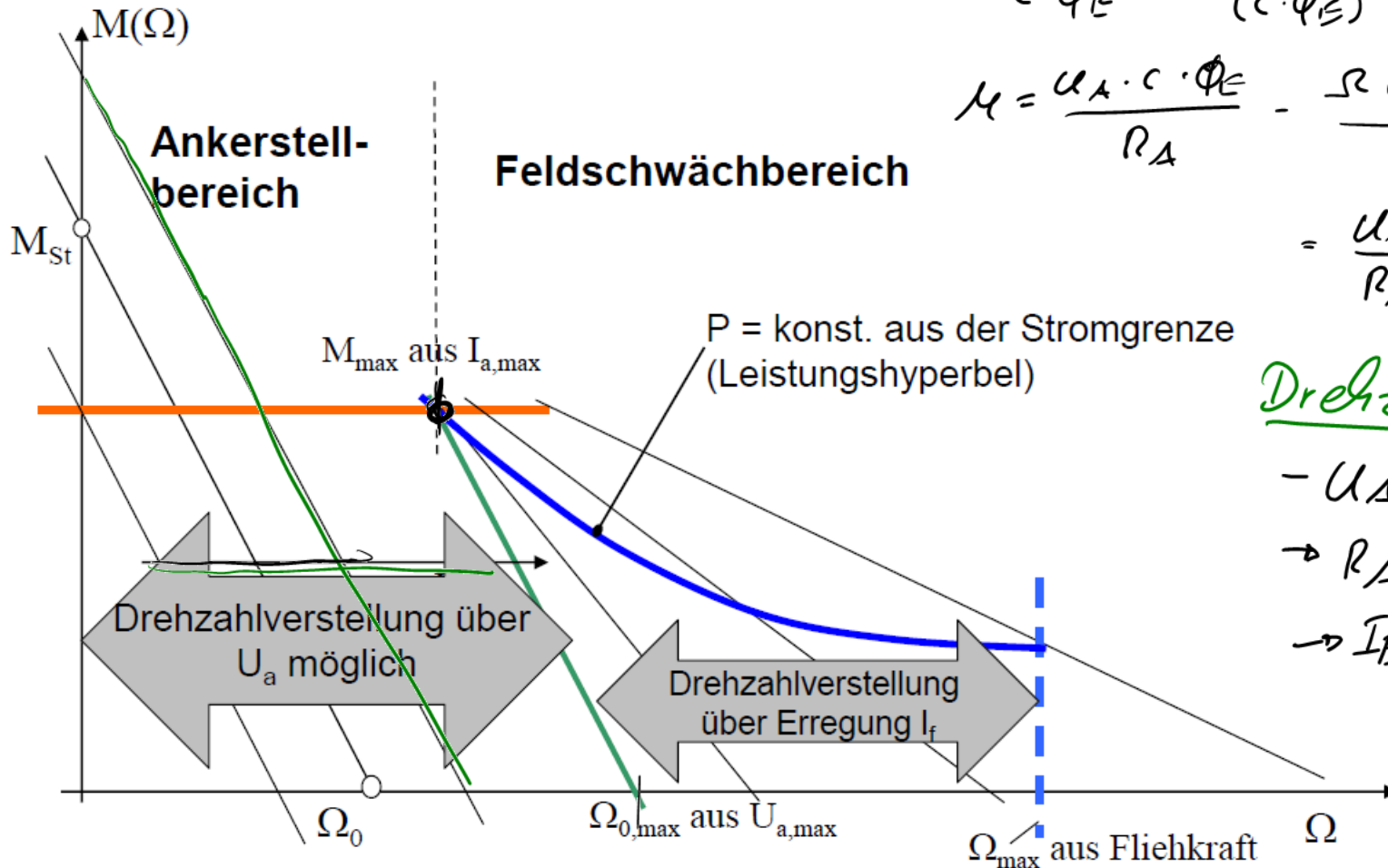
$$= \frac{U_A}{R_A} \cdot k_m - \frac{\Omega \cdot k_m}{R_A} \cdot k_m$$

Drehzahlsteuerung

- U_A

→ R_A

→ $I_E \sim \Phi_E$ (Feldschwächung)



Rechenbeispiel Gleichstrommaschine

Für ein Elektrofahrzeug wird eine fremderregte Gleichstrommaschine als Antriebsmotor eingesetzt. Mit Hilfe eines Gleichstromstellers kann aus der Batteriespannung $U_{Bat} = 200 \text{ V}$ eine variable Ankerspannung von 0 bis 200 V eingestellt werden. Die Maschine besitzt im Nennpunkt folgende Daten:

Drehzahl	:	n_N	= 800 min ⁻¹
Drehmoment	:	M_N	= 200 Nm
Erregerspannung	:	$U_{f,N}$	= 200 V
Erregerstrom	:	$I_{f,N}$	= 4 A
Ankerspannung	:	$U_{a,N}$	= 200 V
Ankerstrom	:	$I_{a,N}$	= 100 A

↳ Edgipunkt
Grenze zwischen
Auerstelt- und
Feldschwächbereich

Aufgabe 1

1.1 Wie groß sind die zugeführte elektrische Leistung (ohne Berücksichtigung der Erregerleistung), der Wirkungsgrad und die induzierte Spannung $U_{i,N}$ im Nennpunkt?

$$P_{dges} = P_A + \cancel{P_E^0} = P_A = U_A \cdot I_A = 200V \cdot 100A = 204W$$

Aubes Err.

$$\eta = \frac{P_{abgeleitet}}{P_{zugefuehrt}} = \frac{P_{mech}}{P_{el}} \quad P_{mech} = M \cdot \Omega = M \cdot 2\pi \cdot n = 200 Nm \cdot 2\pi \cdot \frac{800}{min} \cdot \frac{min}{60} = 16,84W$$

$$\Rightarrow \eta = \frac{P_{mech}}{P_{el}} = \frac{16,84W}{204W} = 84\%$$

$$U_{i, \text{Nennpunkt}} = \overset{(IV)}{k_u} \cdot \Omega = \frac{M}{I_A} \cdot \Omega = \frac{P_{mech}}{I_A} = \frac{16,84W}{100A} = 168V$$

Aufgabe 1

1.2 Berechnen Sie den Ankerwiderstand R_a .

$$(I) \quad U_A = R_A \cdot I_A + U_i \rightarrow R_A = \frac{U_A - U_i}{I_A} = \frac{200V - 168V}{100A} = \underline{\underline{0,32 \Omega}}$$

1.3 Berechnen Sie den Maschinenkonstante k_m .

$$M = k_m \cdot I_A \rightarrow k_m = \frac{M}{I_A} = \frac{200 \text{ Nm}}{100 \text{ A}} = \underline{\underline{2 \frac{\text{Nm}}{\text{A}}}}$$

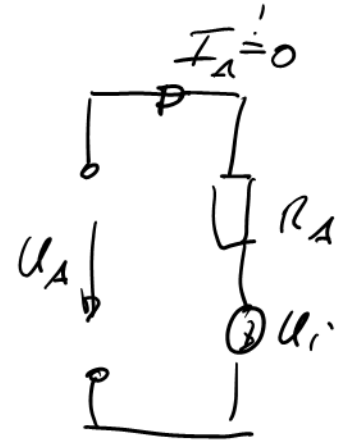
Aufgabe 1

1.4 Berechnen Sie den Leerlaufdrehzahl n_0 bei Nennerregung.

$$\downarrow \\ \mu = 0!$$

$$(IV) \quad \mu = k_{\mu} \cdot I_A \Rightarrow \mu = 0 = k_{\mu} \cdot I_A \Rightarrow I_A = 0$$

mit (I) folgt $U_A = U_i$



$$(III) \quad U_i = k_{\mu} \cdot \Omega = k_{\mu} \cdot 2\pi \cdot n_0 \Leftrightarrow n_0 = \frac{U_i}{2\pi \cdot k_{\mu}} = \frac{U_A}{2\pi \cdot k_{\mu}} = \frac{200V}{2\pi \cdot 2Vs} = \underline{\underline{15,92 \frac{1}{s}}} \\ \approx \underline{\underline{955 \frac{1}{min}}}$$

Aufgabe 1

1.5 Berechnen Sie das Stillstandmoment M_{st} der Maschine bei Nennerregung.

$$\hookrightarrow \eta = 0 \Rightarrow \mathcal{R} = 0$$

$$(III) \quad u_i = k_u \cdot \mathcal{R} \Rightarrow u_i = 0$$

$$\Rightarrow (I) \quad u_A = R_A \cdot I_A + \cancel{u_i} \rightarrow 0$$

$$I_A = \frac{200V}{0,32 \Omega} = 625A$$

$$(IV) \quad M = k_u \cdot I_A = 2 \frac{Nm}{A} \cdot 625A = \underline{\underline{1250 Nm}}$$