

Inhalt

Vorlesung

Elektrische Systeme 2

Studiengang Technische Informatik

Gehalten von Prof. Dr.-Ing. Heinz Linnemann

1. Einschwingvorgänge bei Schaltvorgängen mit Gleichspannung

- Elektrische Felder
- Kapazität
- Induktivität
- Systeme mit zwei Energiespeichern

2. Magnetische Felder

3. Ruhende elektrische Maschinen

4. Umlaufende (rotierende) elektrische Maschinen

- Gleichstrommaschinen
 - Generator
 - Motor
- Asynchronmaschinen
 - Generator
 - Motor



Beuth Hochschule für Technik Berlin
Fachbereich VI - Informatik und Medien
Linnemann, SoSe 2015

Elektrische Systeme 2

VL-ES2.ppt
Folie 1
Nur für Lehrzwecke

Literatur

Empfohlene Literatur:

Vorlesungsskripte von Wambach, R.:

Grundlagen der Elektrotechnik. TFH-Berlin

Grundlagen der Elektrotechnik 3. TFH-Berlin

(www.tfh-berlin.de/~msr)

Ergänzende Literatur:

Linse, H.; Fischer, R.: Elektrotechnik für Maschinenbauer. 12. Aufl.,
Teubner, 2005

(nicht vom Titel irritieren lassen!)

Weiterführende Literatur:

Albach, M.: Grundlagen der Elektrotechnik 1. Pearson
Studium, 2005



Beuth Hochschule für Technik Berlin
Fachbereich VI - Informatik und Medien
Linnemann, SoSe 2015

Elektrische Systeme 2

VL-ES2.ppt
Folie 2
Nur für Lehrzwecke

Dielektrizitätskonstante ϵ_r von Isolierstoffen

Stoff	Bezeichnung	ϵ_r	Anwendungsgebiete
./.	Vakuum	1	
	Luft	≈ 1	
Naturstoffe	Quarzglas	4 ... 4,2	Isolation für Hochfrequenzgeräte
	Glimmer	4 ... 8	Normalkondensatoren
	Weichgummi	2,7	Isolation von Leitungsdrähten
Keramische Stoffe	Steatit	5,5 ... 6,5	Hochfrequenz-Isolatoren
	Hartporzellan	5,5 ... 6,5	Hoch-/Niederspannungs-Isolatoren
Papier	P.-ungetränkt	1,6	Isolierung von Fernmeldekabeln
	P.-getränkt	4,3	Metallpapierkondensatoren
	Preßspan	5	Nutauskleidung elektr. Maschinen
	Hartpapier	5 ... 6	Z.B. Pertinax für hohe Beanspruchung
Öle	Mineralöl	2,2 ... 2,5	Isolierung/Kühlung von Transformatoren
	Harzöl	2	Ausgießen von Kabelmuffen
Kunststoffe	Polysyrol	2,4	Herstellung von Hartpapier und Hartgewebe
	Bakelit	5	



Praktische Ausführungsformen von Kondensatoren

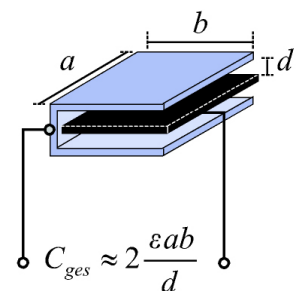
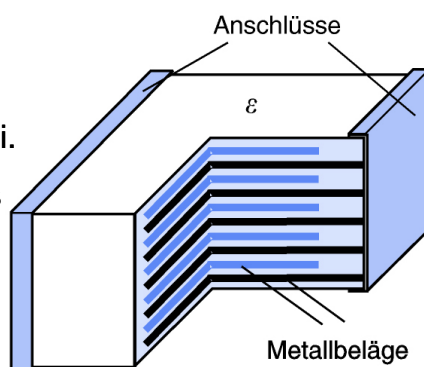
Vielschichtkondensator

Alle inneren Platten tragen mit ihren beiden Oberflächen zur Kapazität bei.

Besteht jeder Kondensatoranschluss aus n Platten, so gilt:

$$C_{\text{ges}} = (2n - 1) \cdot C$$

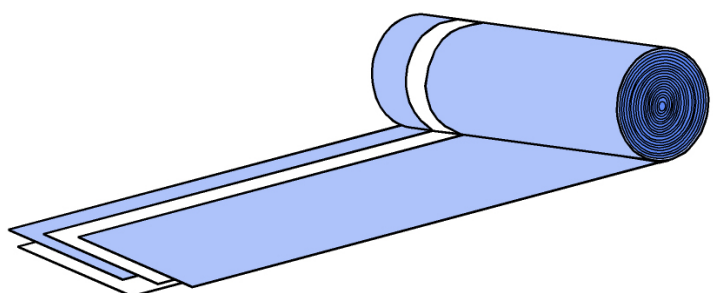
$$= (2n - 1) \cdot \frac{\epsilon \cdot a \cdot b}{d}$$



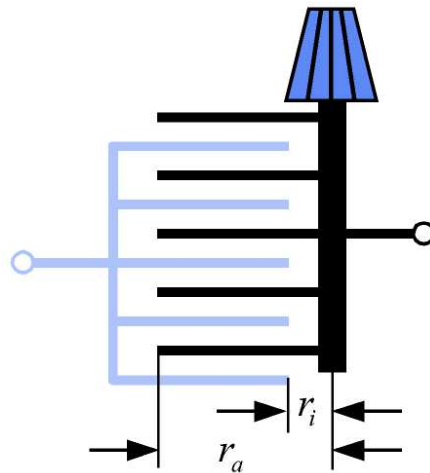
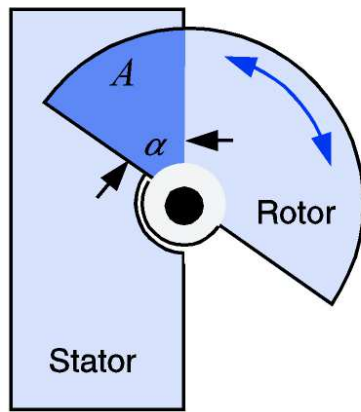
Wickelkondensator

Bestehen z.B. aus zwei Metallfolien und zwei Kunststofffolien.

Infolge des Aufrollens wird die Kapazität etwa doppelt so groß. Bei der inneren und äußeren Windung trägt nur eine Seite der Folien zur Kapazität bei.



Ausführung eines Drehkondensators



In Abhängigkeit von der Rotorposition ändert sich die überdeckte Fläche A und somit auch die Kapazität.

Drehkondensatoren werden meist ohne Dielektrikum aufgebaut.

Durch spezielle Formgebung der Platten kann ein gewünschter Zusammenhang zwischen C und α erreicht werden, z.B. logarithmisch.

$$C_{\text{ges}} = (2n - 1) \cdot \frac{\epsilon_0 \cdot A}{d}$$

Quelle: Albach, M.: Grundlagen der Elektrotechnik 1. Pearson Studium, 2005

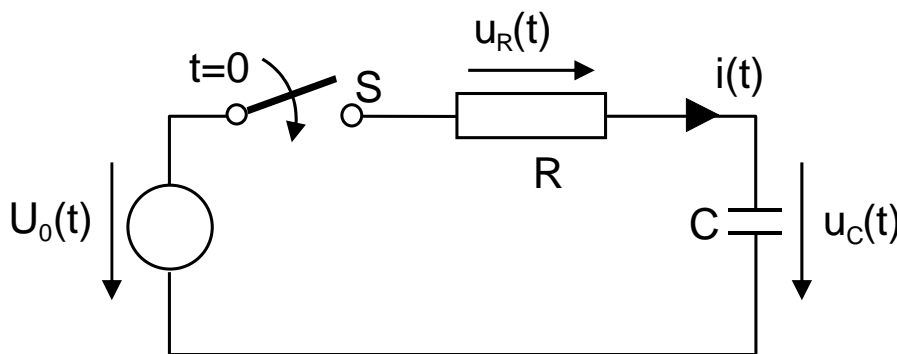


Beuth Hochschule für Technik Berlin
Fachbereich VI - Informatik und Medien
Linnemann, SoSe 2015

Elektrische Systeme 2

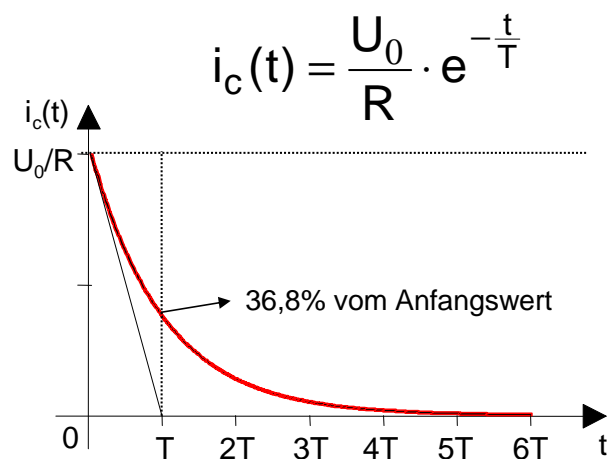
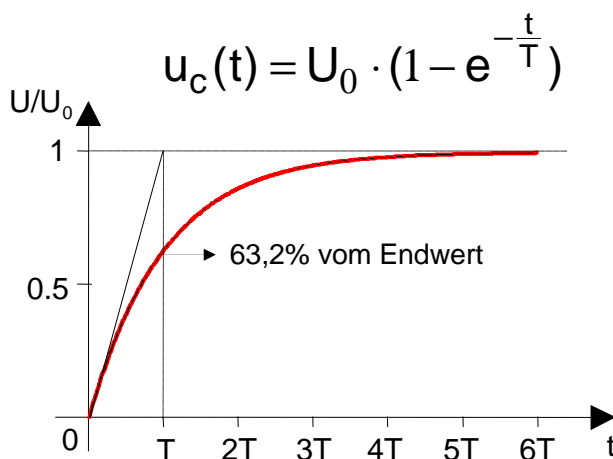
VL-ES2.ppt
Folie 5
Nur für Lehrzwecke

Aufladevorgang einer Kapazität



$$i(t) = C \cdot \frac{du_C(t)}{dt}$$

$$T = R \cdot C$$



Quelle: Wambach, R.: Grundlagen der Elektrotechnik. TFH-Berlin

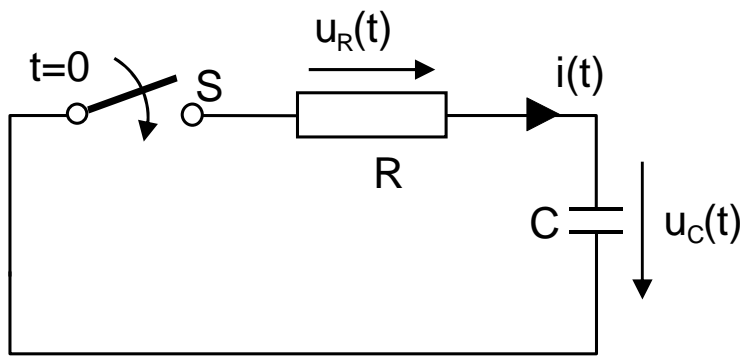


Beuth Hochschule für Technik Berlin
Fachbereich VI - Informatik und Medien
Linnemann, SoSe 2015

Elektrische Systeme 2

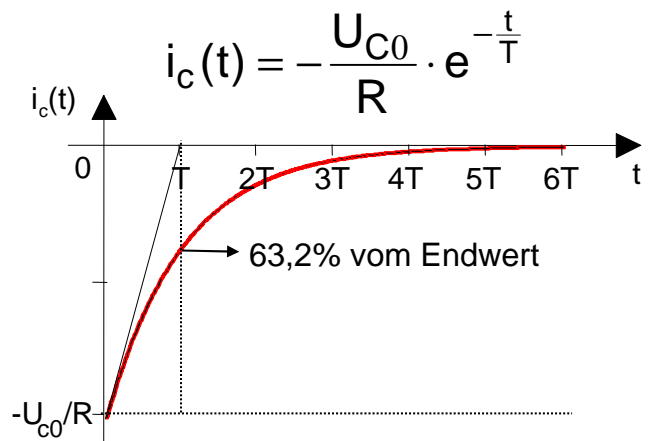
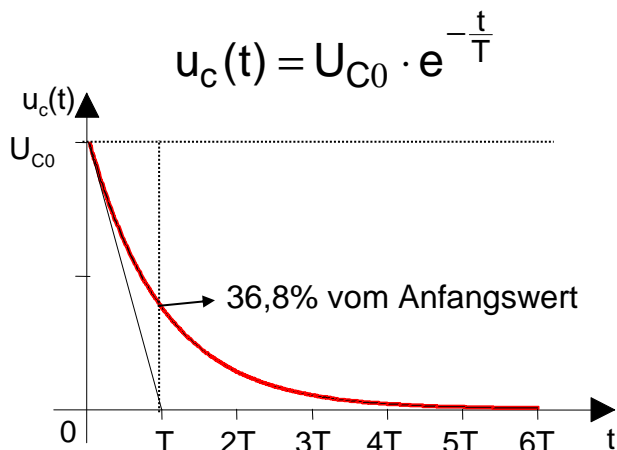
VL-ES2.ppt
Folie 6
Nur für Lehrzwecke

Entladevorgang einer Kapazität



$$i(t) = C \cdot \frac{du_C(t)}{dt}$$

$$T = R \cdot C$$



Quelle: Wambach, R.: Grundlagen der Elektrotechnik. TFH-Berlin

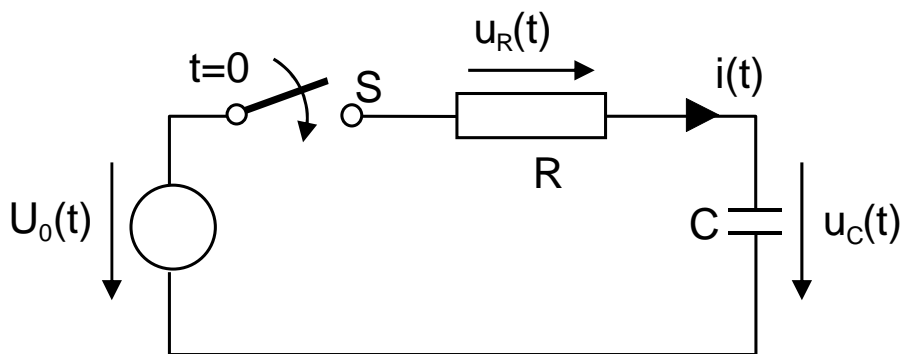


Beuth Hochschule für Technik Berlin
Fachbereich VI - Informatik und Medien
Linnemann, SoSe 2015

Elektrische Systeme 2

VL-ES2.ppt
Folie 7
Nur für Lehrzwecke

Umladevorgang einer Kapazität



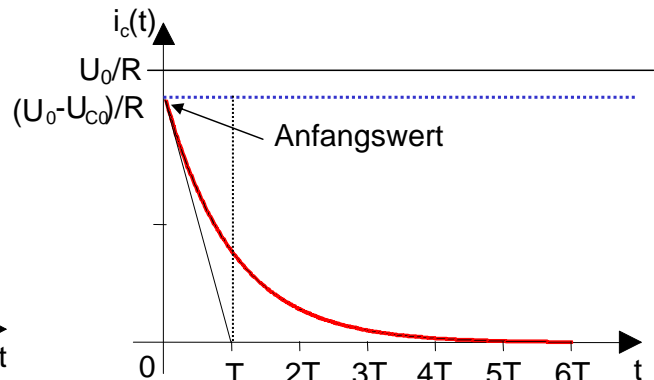
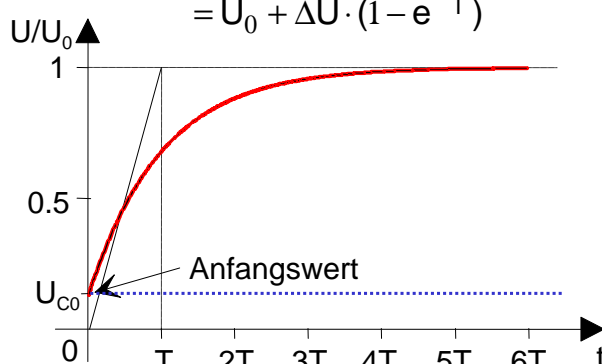
$$i(t) = C \cdot \frac{du_C(t)}{dt}$$

$$T = R \cdot C$$

$$u_C(t) = U_0 + (U_0 - U_{C0}) \cdot (1 - e^{-\frac{t}{T}})$$

$$= U_0 + \Delta U \cdot (1 - e^{-\frac{t}{T}})$$

$$i_C(t) = \frac{U_0 - U_{C0}}{R} \cdot e^{-\frac{t}{T}} = -\frac{\Delta U}{R} \cdot e^{-\frac{t}{T}}$$



Quelle: Wambach, R.: Grundlagen der Elektrotechnik. TFH-Berlin

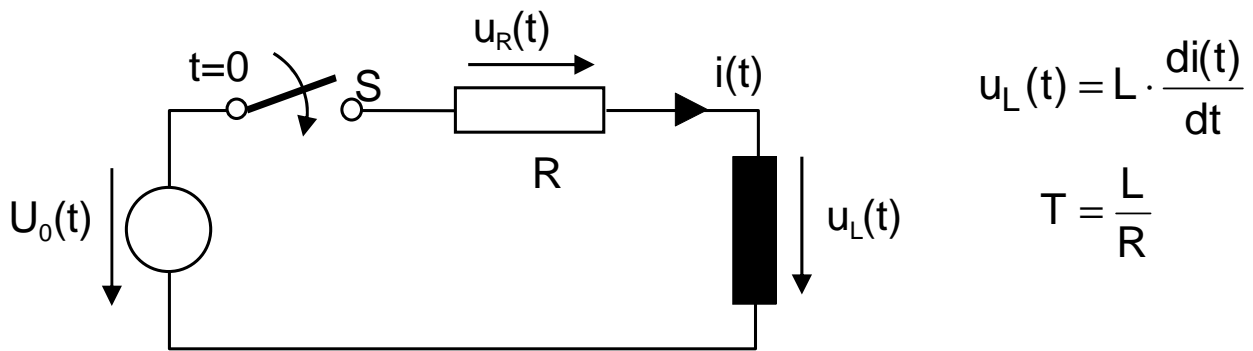


Beuth Hochschule für Technik Berlin
Fachbereich VI - Informatik und Medien
Linnemann, SoSe 2015

Elektrische Systeme 2

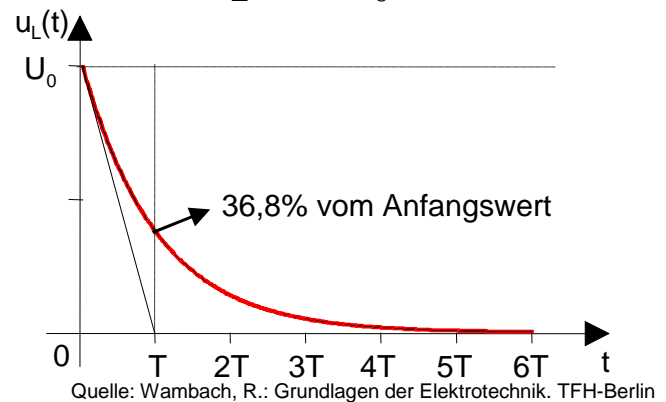
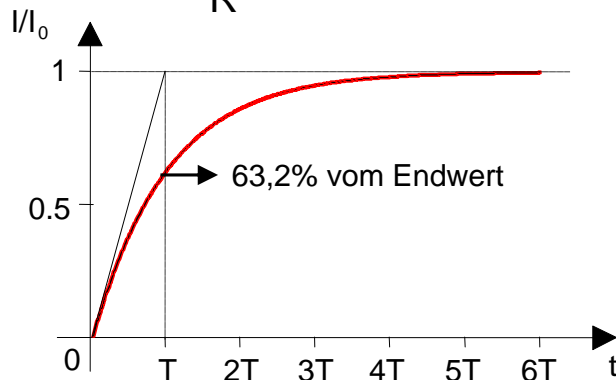
VL-ES2.ppt
Folie 8
Nur für Lehrzwecke

Einschaltvorgang einer Induktivität

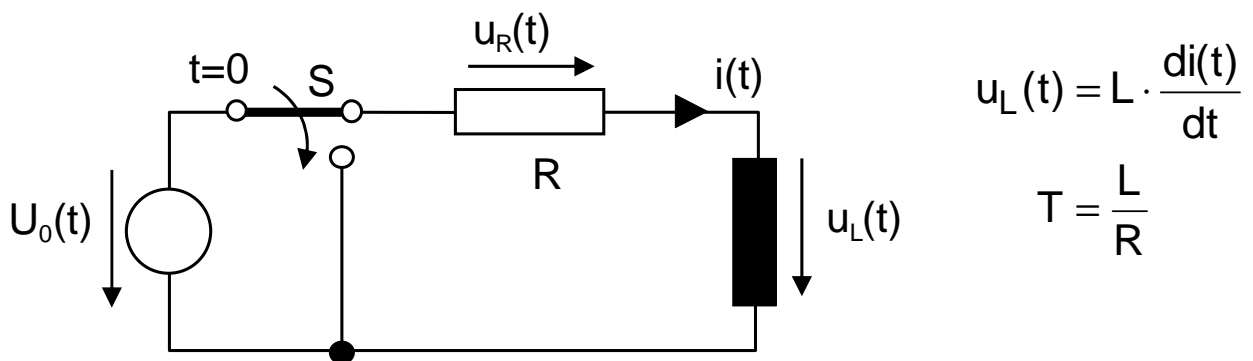


$$i(t) = \frac{U_0}{R} \cdot (1 - e^{-\frac{t}{T}}) = i_0 \cdot (1 - e^{-\frac{t}{T}})$$

$$u_L(t) = U_0 \cdot e^{-\frac{t}{T}}$$

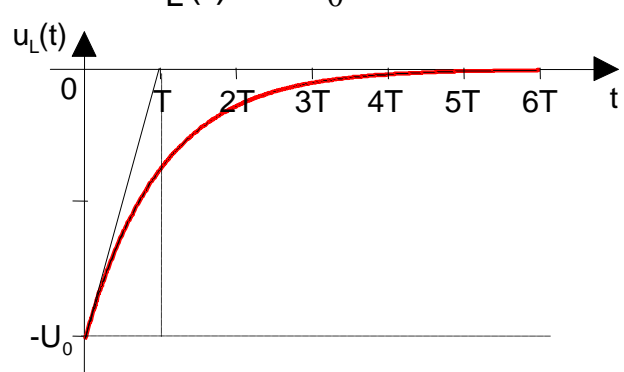
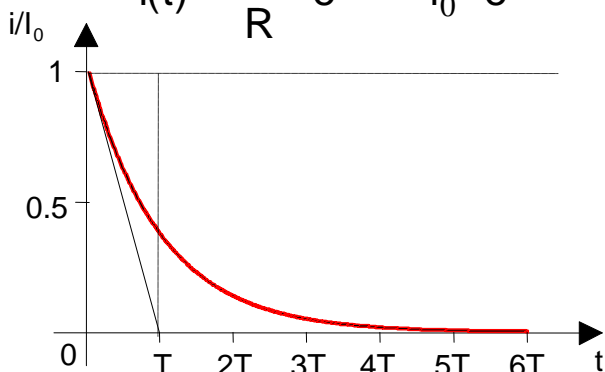


Ausschaltvorgang einer Induktivität

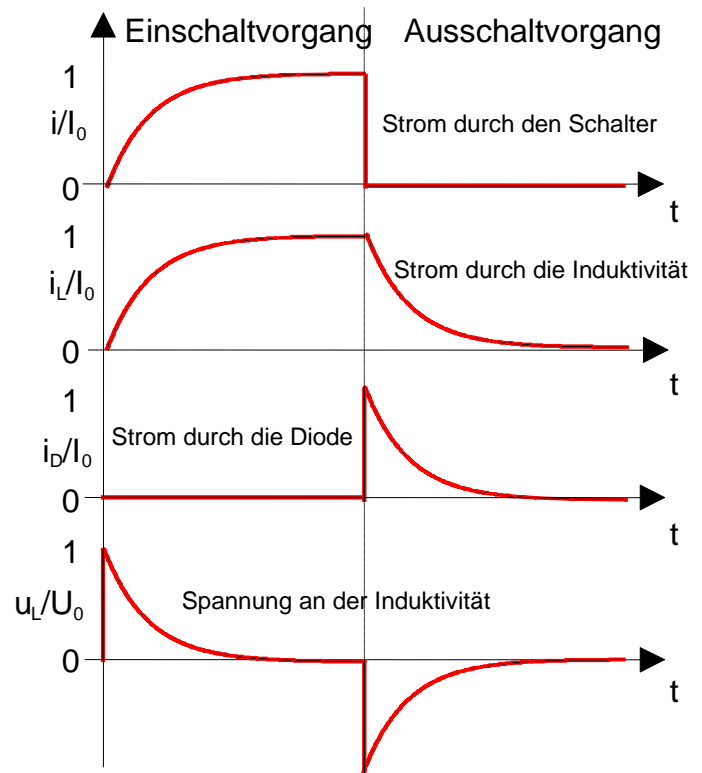
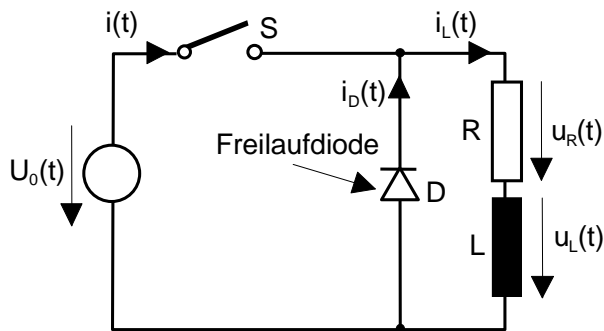


$$i(t) = \frac{U_0}{R} \cdot e^{-\frac{t}{T}} = i_0 \cdot e^{-\frac{t}{T}}$$

$$u_L(t) = -U_0 \cdot e^{-\frac{t}{T}}$$



Schaltvorgänge an der Induktivität mit Freilaufdiode



Quelle: Wambach, R.: Grundlagen der Elektrotechnik. TFH-Berlin



Beuth Hochschule für Technik Berlin
Fachbereich VI - Informatik und Medien
Linnemann, SoSe 2015

Elektrische Systeme 2

VL-ES2.ppt
Folie 11
Nur für Lehrzwecke

Vergleich der Schaltvorgänge

Kapazität

$$i(t) = C \cdot \frac{du_C(t)}{dt}$$

$$T = R \cdot C$$

Induktivität

$$u_L(t) = L \cdot \frac{di(t)}{dt}$$

$$T = \frac{L}{R}$$

Aufladen

$$u_C(t) = U_0 \cdot (1 - e^{-\frac{t}{T}})$$

$$i_C(t) = \frac{U_0}{R} \cdot e^{-\frac{t}{T}}$$

$$u_L(t) = U_0 \cdot e^{-\frac{t}{T}}$$

$$i(t) = \frac{U_0}{R} \cdot (1 - e^{-\frac{t}{T}})$$

Entladen

$$u_C(t) = U_{C0} \cdot e^{-\frac{t}{T}}$$

$$i_C(t) = -\frac{U_{C0}}{R} \cdot e^{-\frac{t}{T}}$$

$$u_L(t) = -U_0 \cdot e^{-\frac{t}{T}}$$

$$i(t) = \frac{U_0}{R} \cdot e^{-\frac{t}{T}}$$

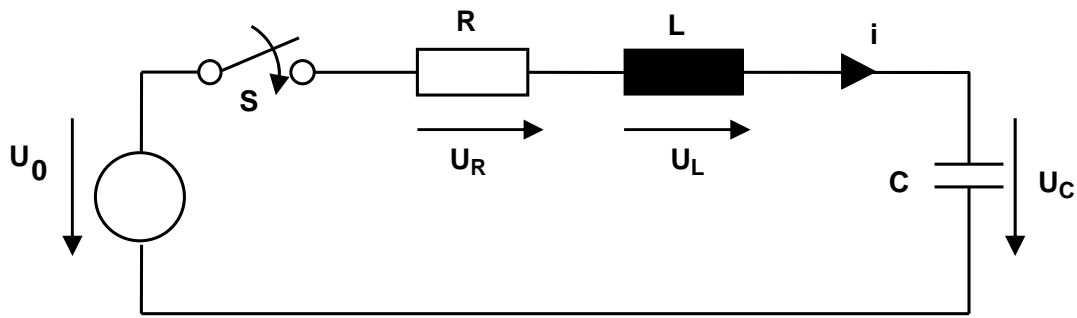


Beuth Hochschule für Technik Berlin
Fachbereich VI - Informatik und Medien
Linnemann, SoSe 2015

Elektrische Systeme 2

VL-ES2.ppt
Folie 12
Nur für Lehrzwecke

RLC - Reihenschwingkreis



$$s_{1,2} = -\frac{R}{2 \cdot L} \pm \sqrt{\left(\frac{R}{2 \cdot L}\right)^2 - \frac{1}{L \cdot C}}$$

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}}$$

$$\delta = \frac{R}{2 \cdot L}$$

$$\frac{d^2 i(t)}{dt^2} + \frac{R}{L} \cdot \frac{di(t)}{dt} + \frac{1}{L \cdot C} \cdot i(t) = 0$$

$$s_{1,2} = -\delta \pm \sqrt{\delta^2 - \omega_0^2}$$

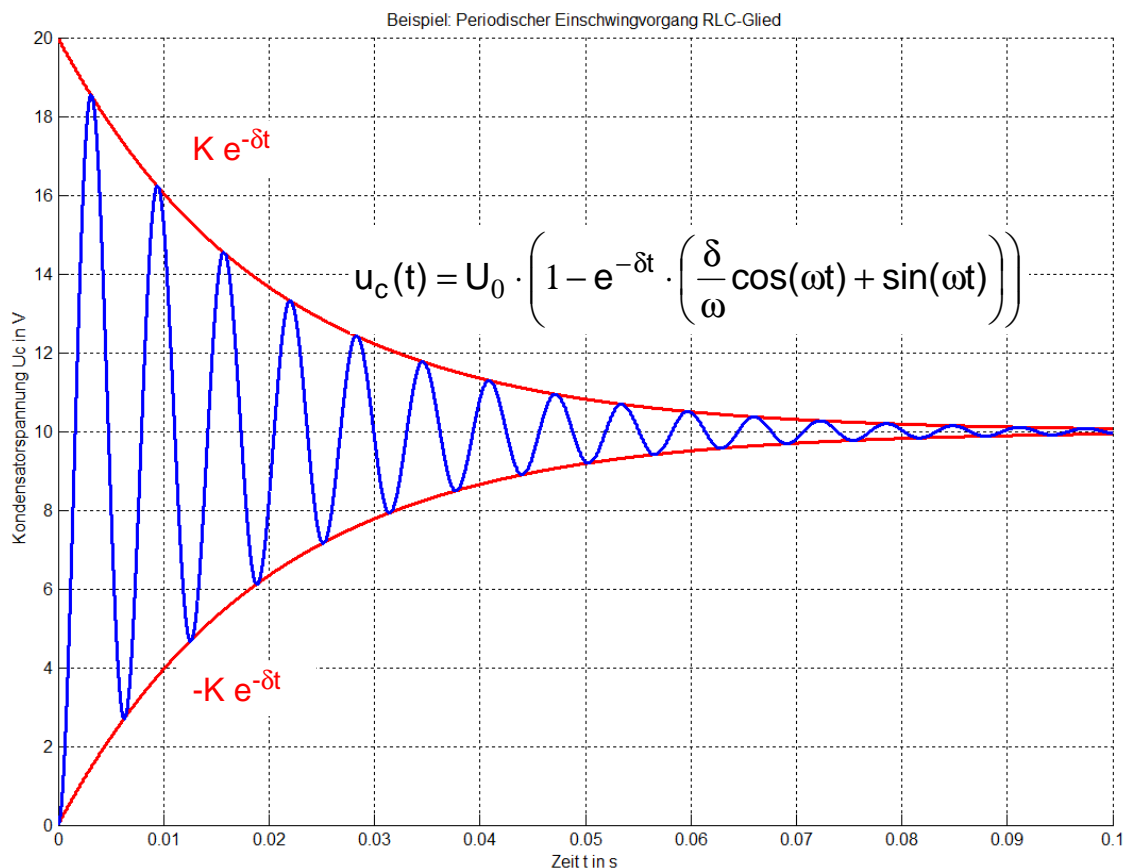
$\delta < \omega_0 \rightarrow$ Wurzel imaginär \rightarrow periodisches Einschwingen

$\delta > \omega_0 \rightarrow$ Wurzel reell \rightarrow aperiodisches Einschwingen

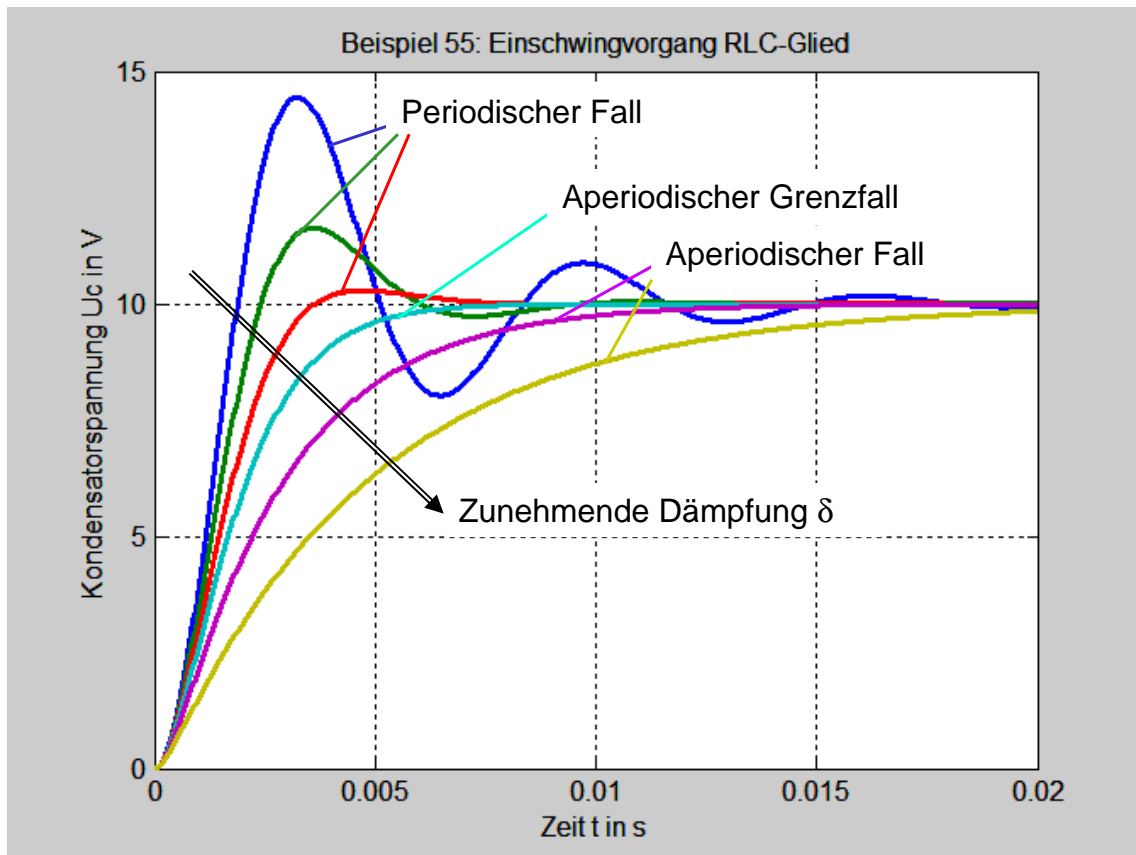
$\delta = \omega_0 \rightarrow$ Wurzel Null \rightarrow aperiodischer Grenzfall



Periodischer Einschwingvorgang RLC



Einschwingvorgang RLC-Glied



Quelle: Wambach, R.: Grundlagen elektrischer Systeme

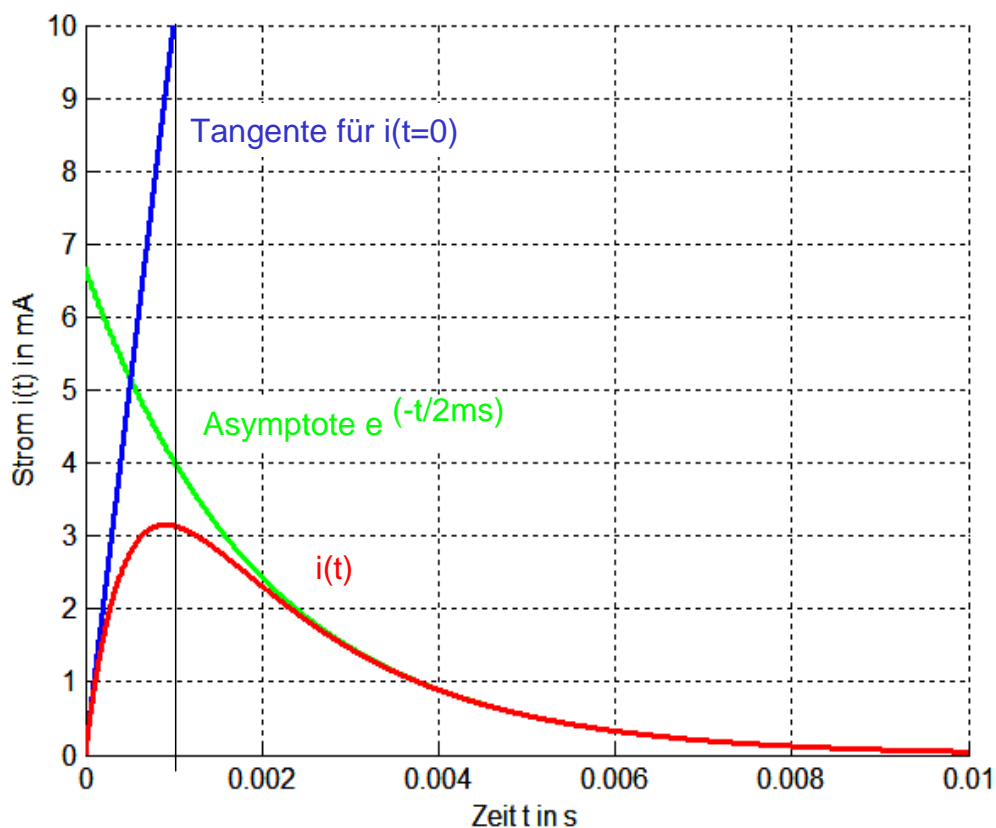


Beuth Hochschule für Technik Berlin
Fachbereich VI - Informatik und Medien
Linnemann, SoSe 2015

Elektrische Systeme 2

VL-ES2.ppt
Folie 15
Nur für Lehrzwecke

Übung: Einschwingvorgang RLC - Glied für $R = 2,5 \text{ k}\Omega$

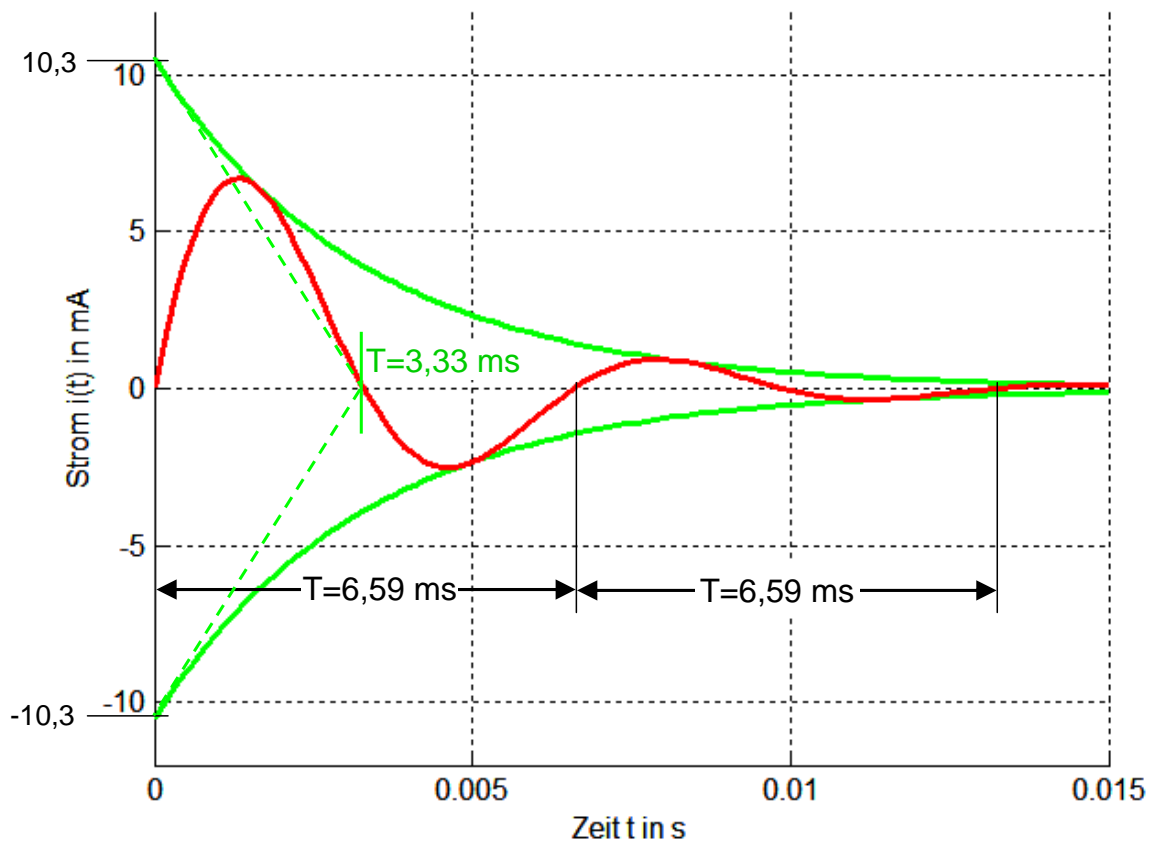


Beuth Hochschule für Technik Berlin
Fachbereich VI - Informatik und Medien
Linnemann, SoSe 2015

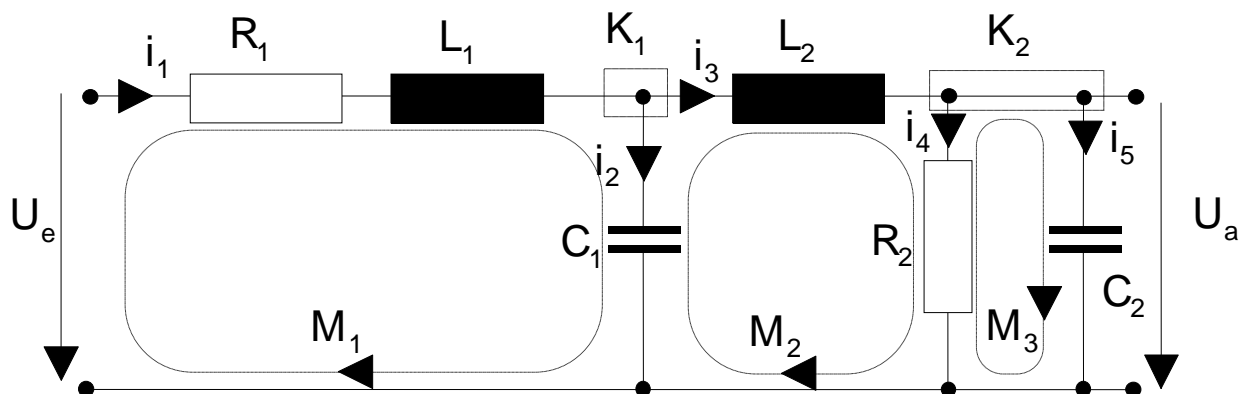
Elektrische Systeme 2

VL-ES2.ppt
Folie 16
Nur für Lehrzwecke

Übung: Einschwingvorgang RLC - Glied für $R = 600 \Omega$



Numerische Berechnung von Einschwingvorgängen



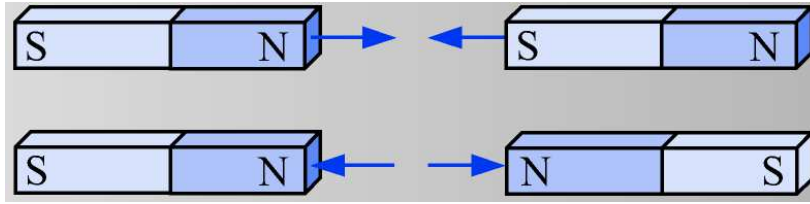
$$\begin{aligned} \frac{dx_1}{dt} &= -\frac{R_1}{L_1}x_1 - \frac{1}{L_1}x_3 + \frac{1}{L_1}u_e \\ \frac{dx_2}{dt} &= \frac{1}{L_2}x_3 - \frac{1}{L_2}x_4 \\ \frac{dx_3}{dt} &= \frac{1}{C_1}x_1 - \frac{1}{C_1}x_2 \\ \frac{dx_4}{dt} &= \frac{1}{C_2}x_2 + \frac{1}{R_2 \cdot C_2}x_4 \end{aligned}$$

Matlab sieht zur Lösung dieser Differentialgleichungssysteme die Funktion ode23 oder ode45 nach dem Runge-Kutta-Verfahren vor!

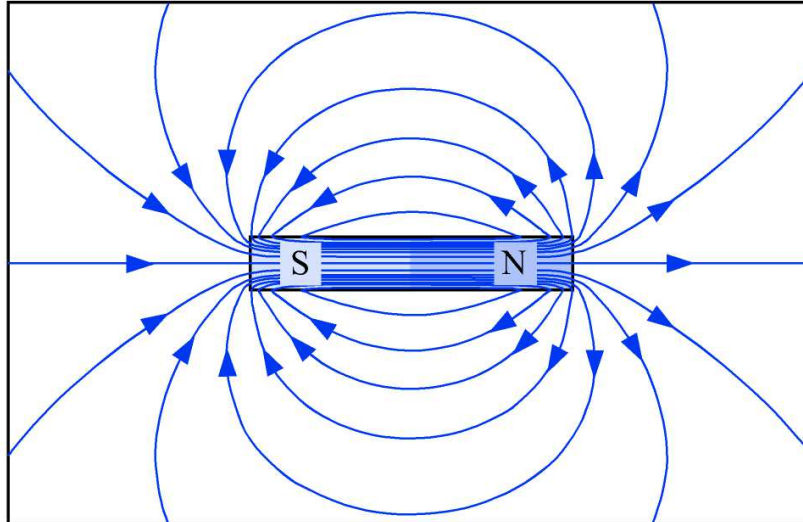


Magnete

Kraftwirkungen zwischen Stabmagneten:



Verlauf der Feldlinien bei einem Stabmagneten:



Quelle: Albach, M.: Grundlagen der Elektrotechnik 1. Pearson Studium, 2005



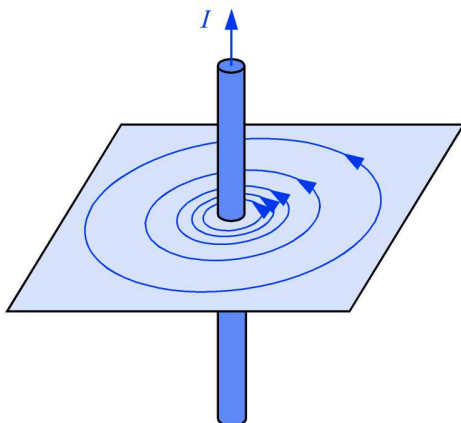
Beuth Hochschule für Technik Berlin
Fachbereich VI - Informatik und Medien
Linnemann, SoSe 2015

Elektrische Systeme 2

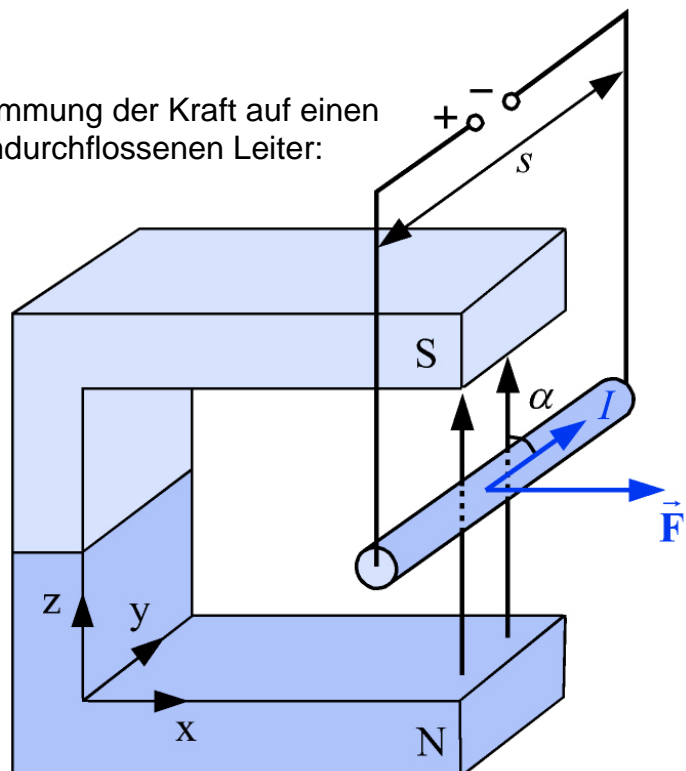
VL-ES2.ppt
Folie 19
Nur für Lehrzwecke

Kraft auf einen stromdurchflossenen Leiter

Verlauf der Feldlinien bei einem geraden Leiter:



Bestimmung der Kraft auf einen stromdurchflossenen Leiter:



Quelle: Albach, M.: Grundlagen der Elektrotechnik 1. Pearson Studium, 2005

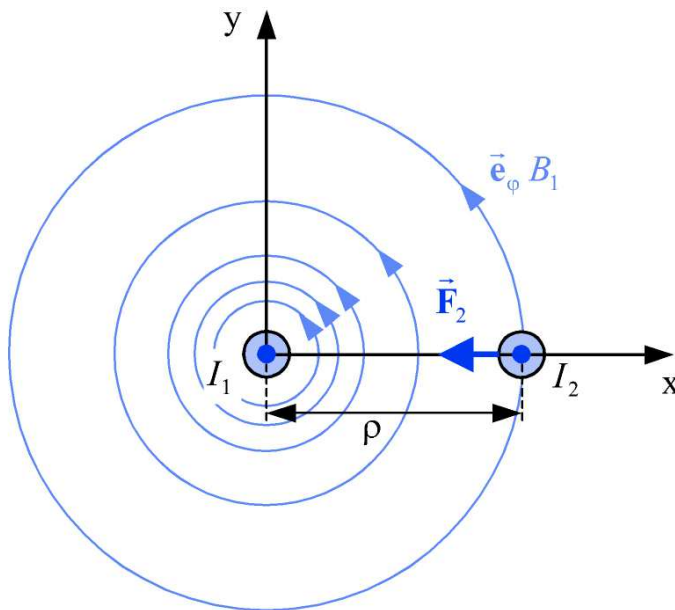


Beuth Hochschule für Technik Berlin
Fachbereich VI - Informatik und Medien
Linnemann, SoSe 2015

Elektrische Systeme 2

VL-ES2.ppt
Folie 20
Nur für Lehrzwecke

Kraft auf Linienstrom I_2 infolge des Linienstromes I_1



DIN 1357, Einheiten elektrischer Größen, 1967:

Zwei unendlich lange, parallele, gerade Leiter von vernachlässigbar kleinem Querschnitt sind im Vakuum im Abstand von 1 m voneinander angeordnet; sie werden von einem Gleichstrom durchflossen.

Dieser hat die Stromstärke 1 A, wenn die elektrodynamisch verursachte Kraft zwischen beiden Leitern $2 \cdot 10^{-7}$ N für jeden Abschnitt der Anordnung beträgt, der aus einander gegenüberstehenden Leiterteilen von 1 m Länge besteht.

$$\begin{aligned} \vec{F}_2 &= I_2 \int_0^l (\underline{e}_z dz \times \underline{e}_\varphi \cdot B_1) = I_2 \cdot B_1 \int_0^l (-\underline{e}_\rho dz) \\ &= -\underline{e}_\rho \cdot I_2 \cdot B_1 \cdot l \end{aligned}$$

Quelle: Albach, M.: Grundlagen der Elektrotechnik 1. Pearson Studium, 2005

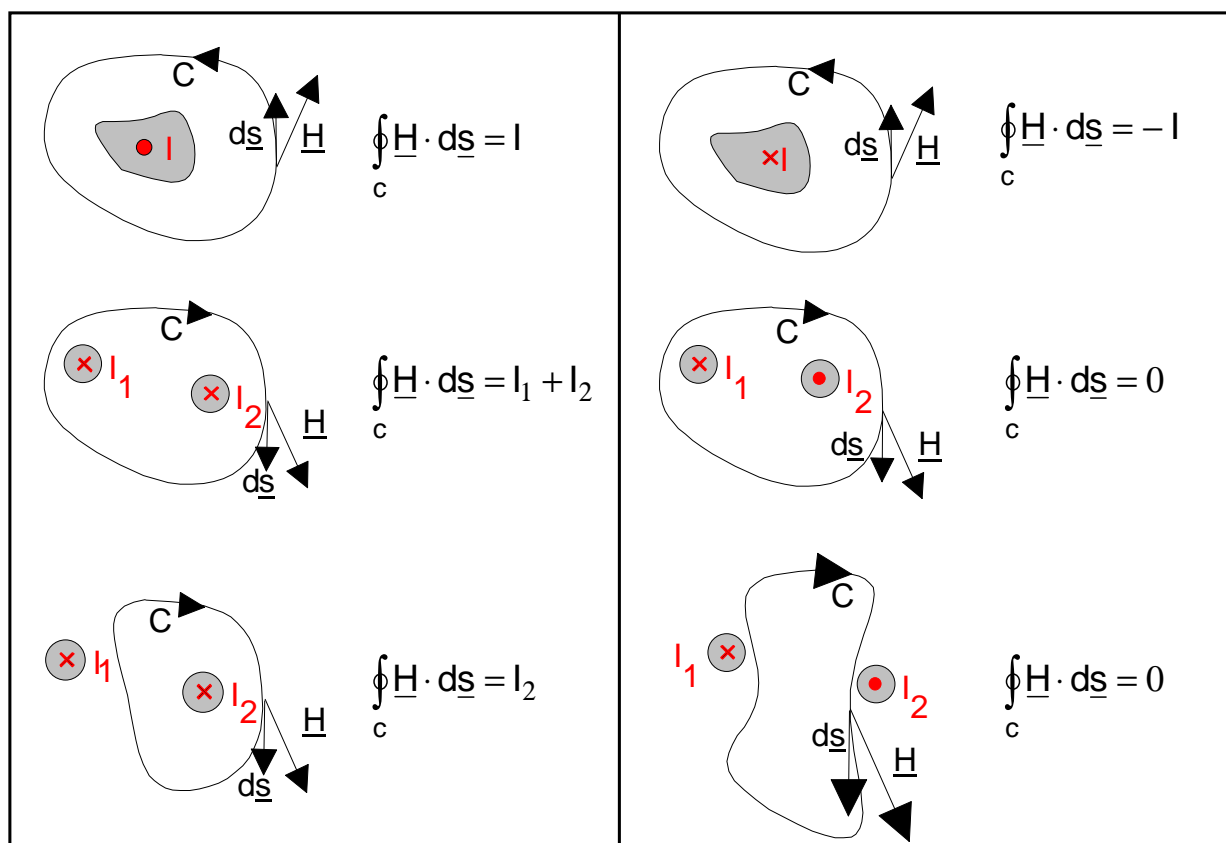


Beuth Hochschule für Technik Berlin
Fachbereich VI - Informatik und Medien
Linnemann, SoSe 2015

Elektrische Systeme 2

VL-ES2.ppt
Folie 21
Nur für Lehrzwecke

Beispiele für die Anwendung des Gesetzes von Oersted



Quelle: Wambach, R.: Grundlagen der Elektrotechnik. TFH-Berlin

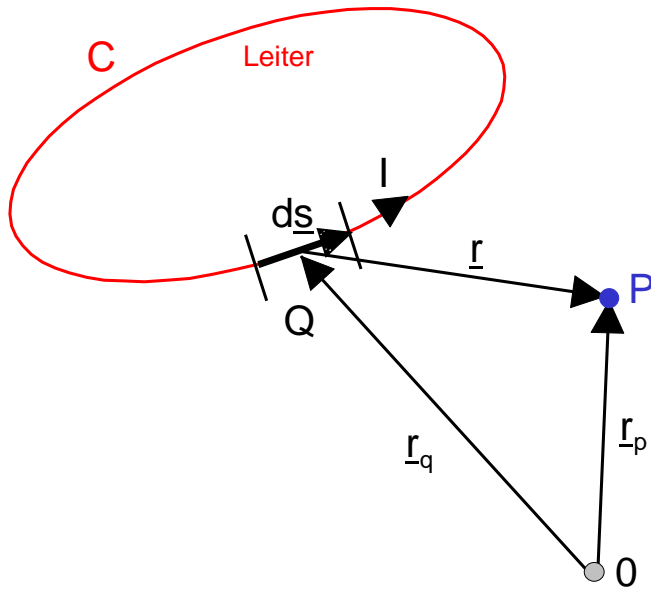


Beuth Hochschule für Technik Berlin
Fachbereich VI - Informatik und Medien
Linnemann, SoSe 2015

Elektrische Systeme 2

VL-ES2.ppt
Folie 22
Nur für Lehrzwecke

Das Gesetz von Biot-Savart



Das magnetische Feld eines geschlossenen Stromkreises ergibt sich außerhalb des Leiters bei vernachlässigbarem Leiterquerschnitt bei $\mu = \text{const.}$ im Punkt P mit:

$$\underline{H}(\underline{r}_p) = \frac{I}{4 \cdot \pi} \oint_C \underline{ds} \times \frac{\underline{r}}{r^3}$$

wobei

$$\underline{r} = \underline{r}_p - \underline{r}_q$$

$$r = |\underline{r}|$$

Biot (1774 - 1862) und Savart (1791 - 1841), französische Physiker

Quelle: Wambach, R.: Grundlagen der Elektrotechnik. TFH-Berlin

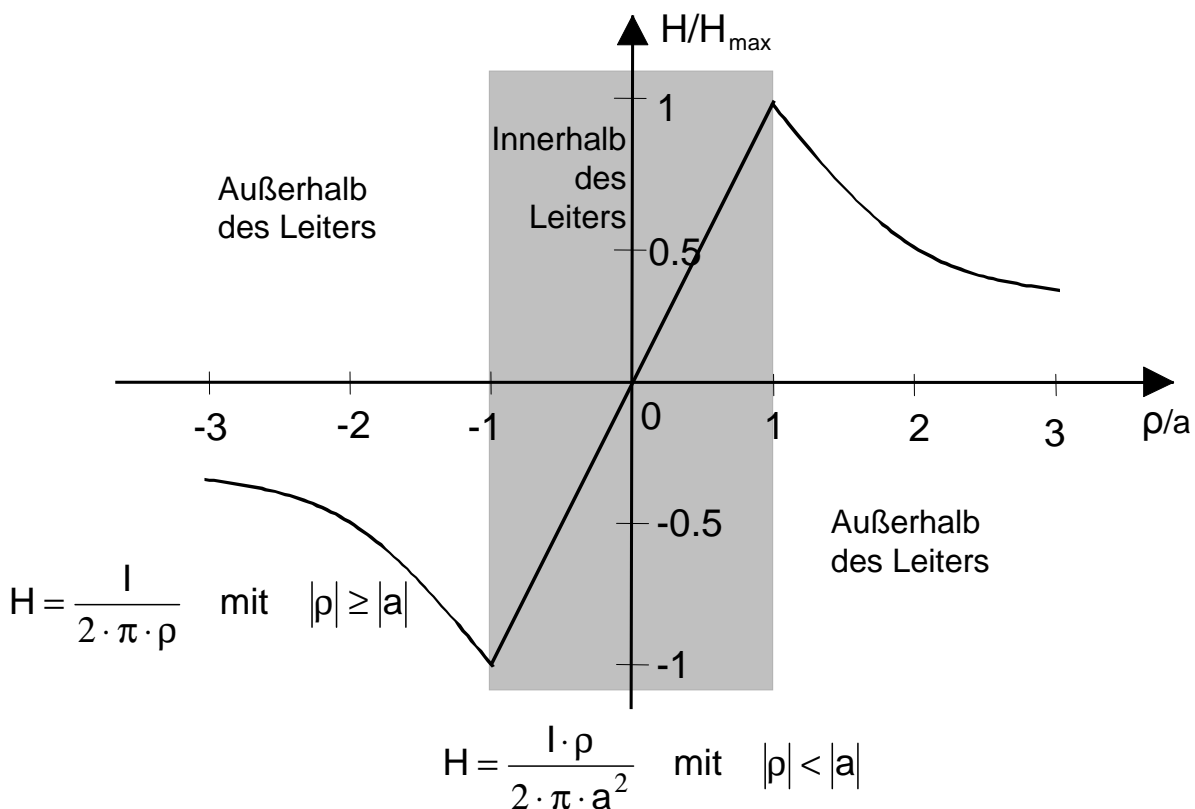


Beuth Hochschule für Technik Berlin
Fachbereich VI - Informatik und Medien
Linnemann, SoSe 2015

Elektrische Systeme 2

VL-ES2.ppt
Folie 23
Nur für Lehrzwecke

Magnetische Feldstärke eines Massivleiters



Quelle: Wambach, R.: Grundlagen der Elektrotechnik. TFH-Berlin

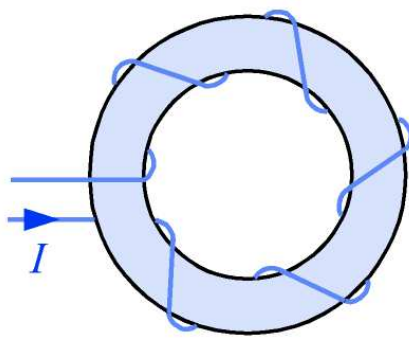


Beuth Hochschule für Technik Berlin
Fachbereich VI - Informatik und Medien
Linnemann, SoSe 2015

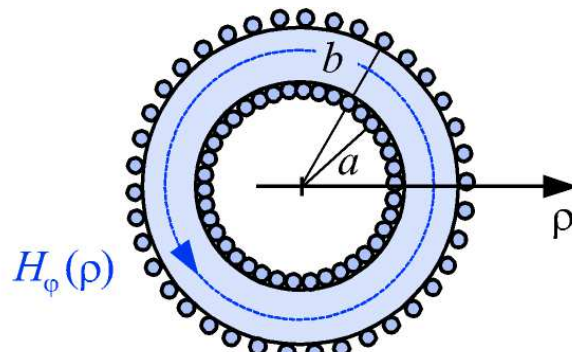
Elektrische Systeme 2

VL-ES2.ppt
Folie 24
Nur für Lehrzwecke

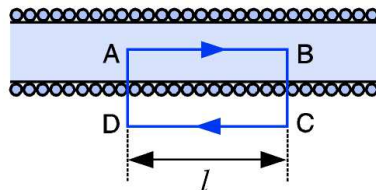
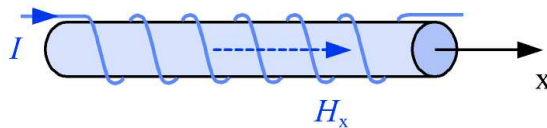
Toroid und langgestreckte Zylinderspule



a) prinzipieller Wickelaufbau



b) Querschnitt durch dicht bewickelte Spule



Quelle: Albach, M.: Grundlagen der Elektrotechnik 1. Pearson Studium, 2005



Beuth Hochschule für Technik Berlin
Fachbereich VI - Informatik und Medien
Linnemann, SoSe 2015

Elektrische Systeme 2

VL-ES2.ppt
Folie 25
Nur für Lehrzwecke

Relative Permeabilität

	μ_r	Einfluss auf B-Feld
Vakuum, Luft	1	
Diamagnetismus		
Aluminiumoxid	0,999 986	Geringfügige Schwächung $\mu_r \sim 1$
Kupfer	0,999 990	
Wasser	0,999 991	
Paramagnetismus		
Aluminium	1,000 021	Geringfügige Stärkung $\mu_r \sim 1$
Sauerstoff	1,000 001	
Ferromagnetismus		
Grauguss	~100	Starke Stärkung → Hysterese tritt auf $\mu_r \gg 1$
Dynamoblech	1000 – 4000	
Eisen-Nickel-Kobalt-Legierungen, z.B. Permaloy 78,5 Ni, 3 Mo	6000 – 70000	
Selten Erden (Keramische Magnetwerkstoffe auf der Basis von Eisenoxid)	bis 10^5	

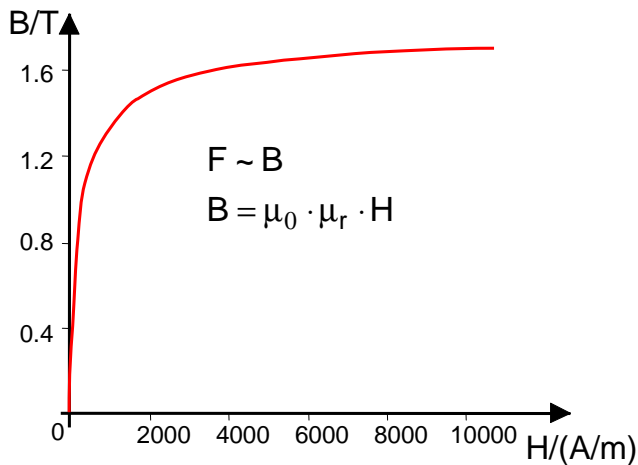


Beuth Hochschule für Technik Berlin
Fachbereich VI - Informatik und Medien
Linnemann, SoSe 2015

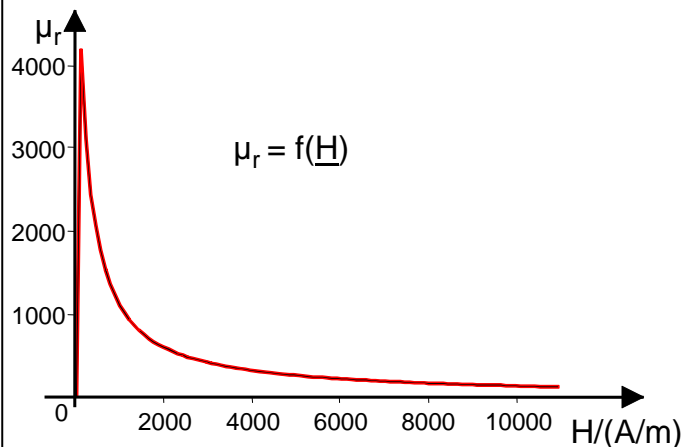
Elektrische Systeme 2

VL-ES2.ppt
Folie 26
Nur für Lehrzwecke

Magnetisierungskennlinien



Magnetisierungskennlinie
Dynamoblech (Neukurve)



Relativer Permeabilitätsfaktor in
Abhängigkeit von der magnetischen
Feldstärke H



Magnetisierungskurve ferromagnetischer Materialien

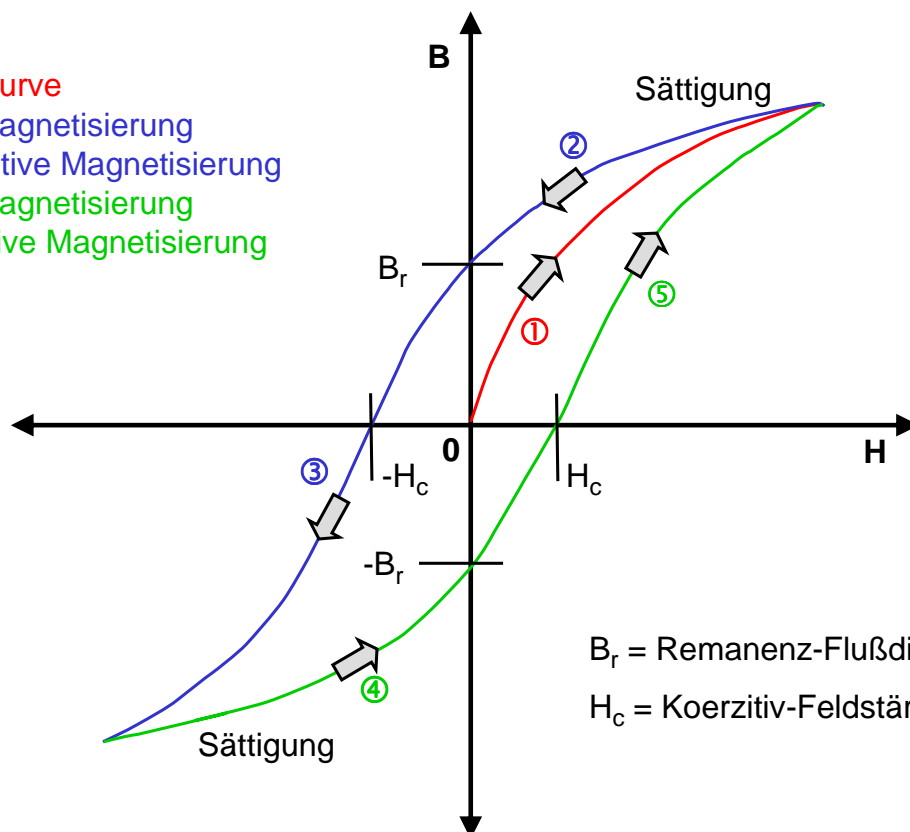
1 - Neukurve

2 - Entmagnetisierung

3 - Negative Magnetisierung

4 - Entmagnetisierung

5 - Positive Magnetisierung

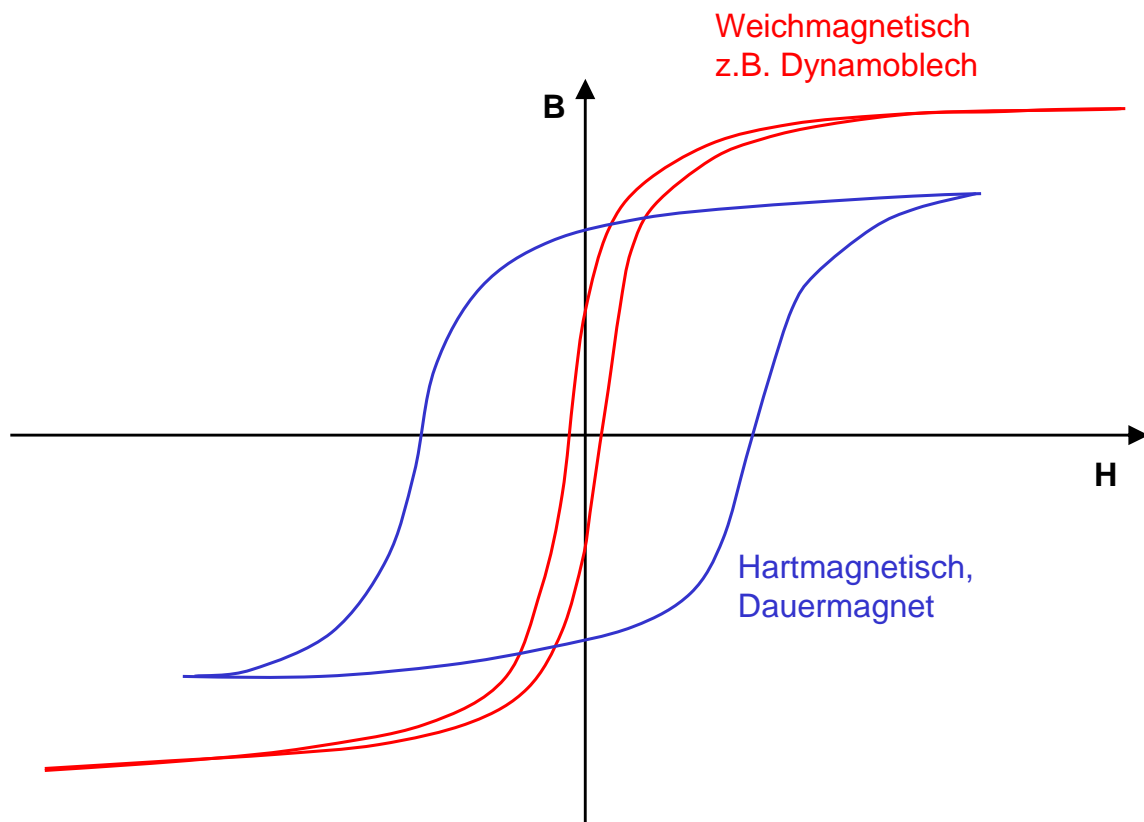


B_r = Remanenz-Flußdichte

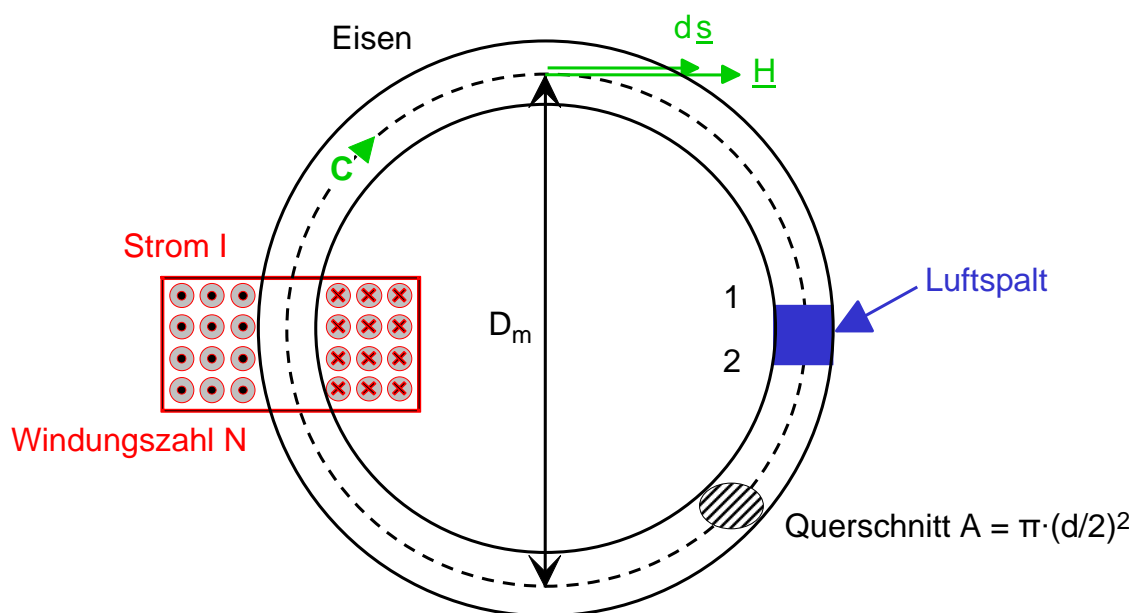
H_c = Koerzitiv-Feldstärke



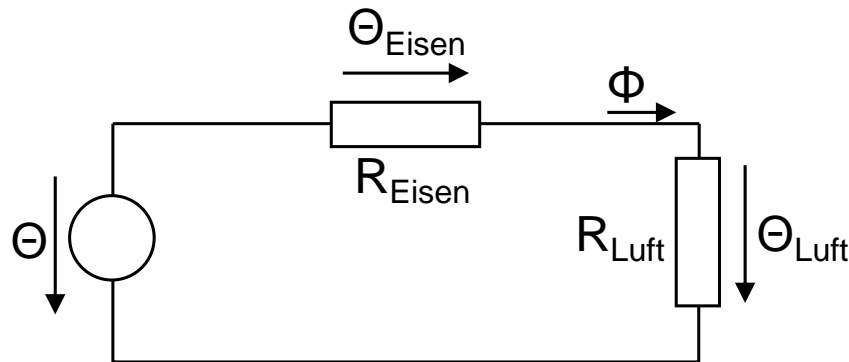
Hart- und weichmagnetische Magnetisierungskennlinien



Magnetischer Kreis mit Luftspalt



Analogie elektrischer und magnetischer Kreise



Größe des elektrischen Stromkreises		Analoge Größe des magnetischen Kreises	
Spannung der Quelle	U	$\Theta = N \cdot I = \oint_c \underline{H} \cdot d\underline{s}$	Magnetische Durchflutung
Elektrischer Strom	$I = U/R$	$\Phi = \oint_F \underline{B} \cdot d\underline{A} = \Theta / R_m$	Magnetischer Fluß
Elektrischer Widerstand	$R = \frac{l}{\kappa \cdot A}$	$R_m = \frac{l}{\mu \cdot A}$	Magnetischer Widerstand

Quelle: Wambach, R.: Grundlagen der Elektrotechnik. TFH-Berlin




Beuth Hochschule für Technik Berlin
Fachbereich VI - Informatik und Medien
Linnemann, SoSe 2015

Elektrische Systeme 2

VL-ES2.ppt
Folie 31
Nur für Lehrzwecke

Elektrische Maschinen



Einleitung

IEM RWTH AACHEN
INSTITUT FÜR ELEKTRISCHE MASCHINEN
LEHRSTUHL FÜR ELEKTROMECHANISCHE ENERGIEWANDLUNG
RHEINISCH-WESTFÄLISCHE TECHNISCHE HOCHSCHULE AACHEN

- Einsatzgebiet Elektrischer Maschinen
 - Erzeugung
 - Generator
 - Verteilung
 - Transformator
 - Energiewandlung beim Verbraucher
 - Motor

Zentrale Energieversorgung

© IEM 2004 Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h.c. Kay Hameyer

Abschnitt 9-3



Beuth Hochschule für Technik Berlin
Fachbereich VI - Informatik und Medien
Linnemann, SoSe 2015


Elektrische Systeme 2

VL-ES2.ppt
Folie 32
Nur für Lehrzwecke

Historischer Überblick

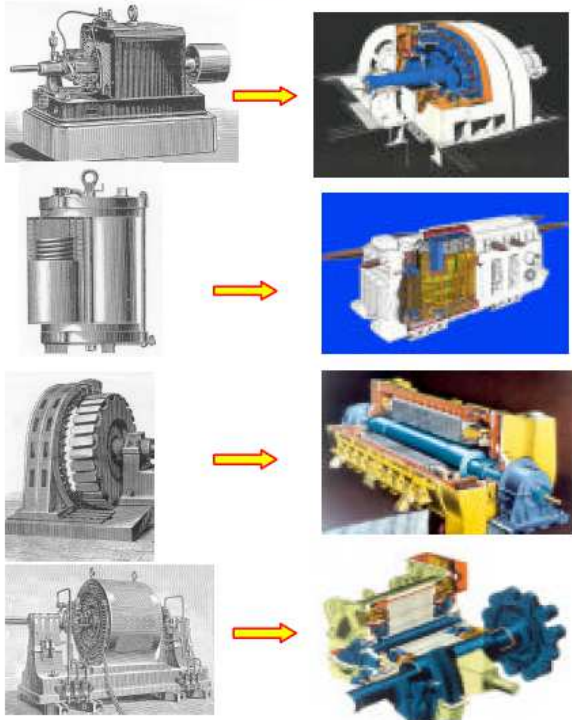
Grundzüge der Elektrotechnik, Abschnitt 9

Historischer Überblick



INSTITUT FÜR ELEKTRISCHE MASCHINEN
LEHRSTUHL FÜR ELEKTROMAGNETISCHE ENERGIEUMWANDLUNG
RHEINISCH-WESTFÄLISCHE TECHNISCHE HOCHSCHULE AACHEN

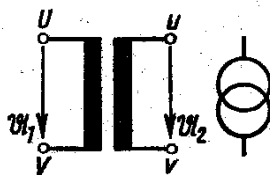
- Gleichstrommaschine
Pixii 1832, Siemens 1866,
Lahmeyer 1886
- Transformator
Faraday 1831, Varley 1856,
Dobrowolski 1889
- Synchronmaschine
Nollet/Holmes 1848,
Haselwander/Tesla 1887
- Asynchronmaschine
Ferraris/Tesla 1885,
Dobrowolski 1889



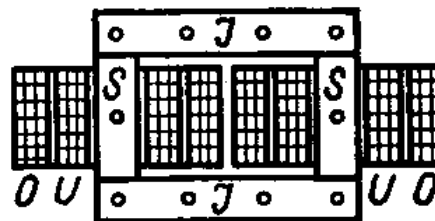
© IEM 2004 Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h.c. Kay Hameyer
Abschnitt 9-4



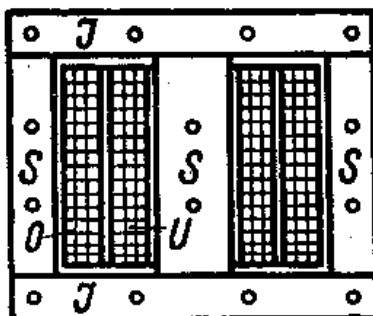
Transformator



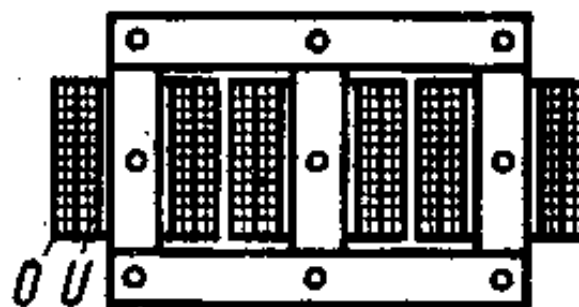
Schaltzeichen und
Schaltkurzzeichen
(DIN 40714)



Kerntransformator



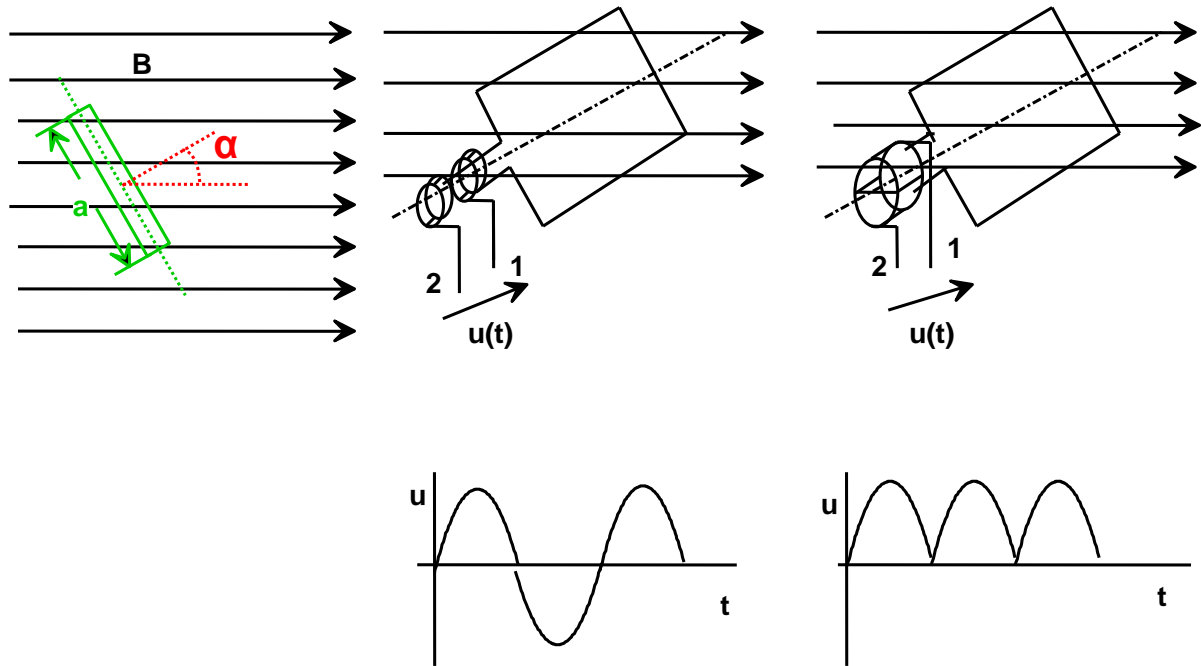
Manteltransformator



Drehstromtransformator



Drehbare Spule im homogenen Magnetfeld



Quelle: Wambach, R.: Grundlagen der Elektrotechnik 3. TFH-Berlin

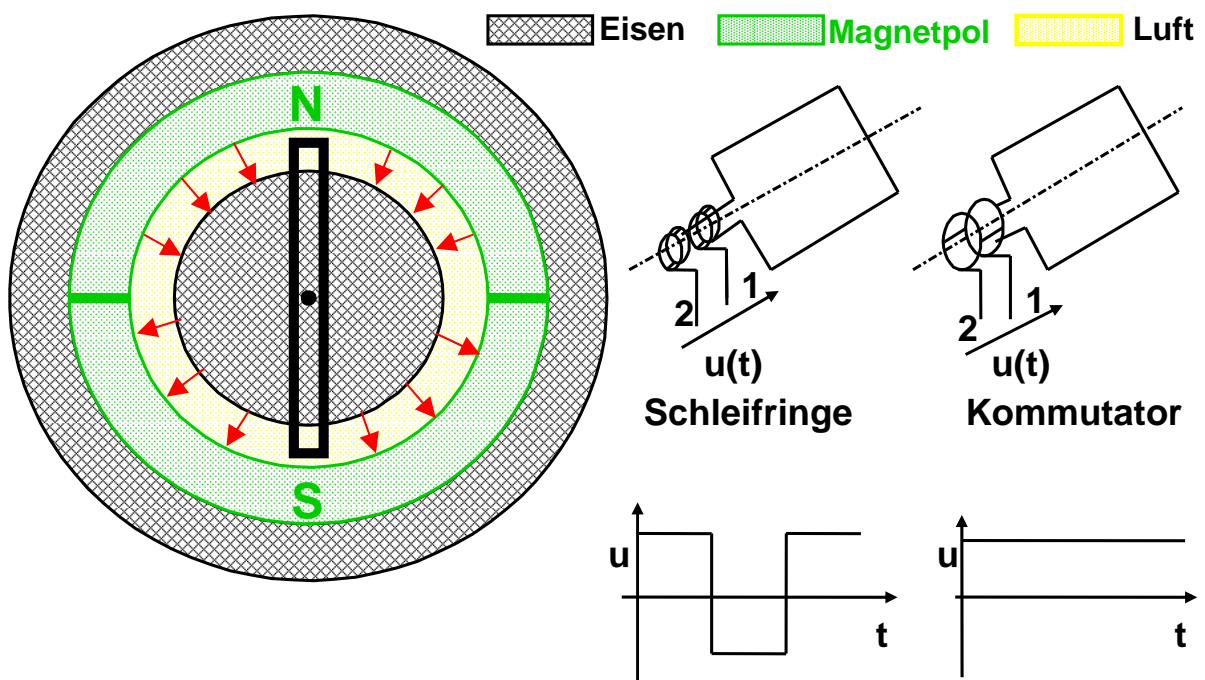


Beuth Hochschule für Technik Berlin
Fachbereich VI - Informatik und Medien
Linnemann, SoSe 2015

Elektrische Systeme 2

VL-ES2.ppt
Folie 35
Nur für Lehrzwecke

Drehbare Spule im radialen Magnetfeld



Quelle: Wambach, R.: Grundlagen der Elektrotechnik 3. TFH-Berlin

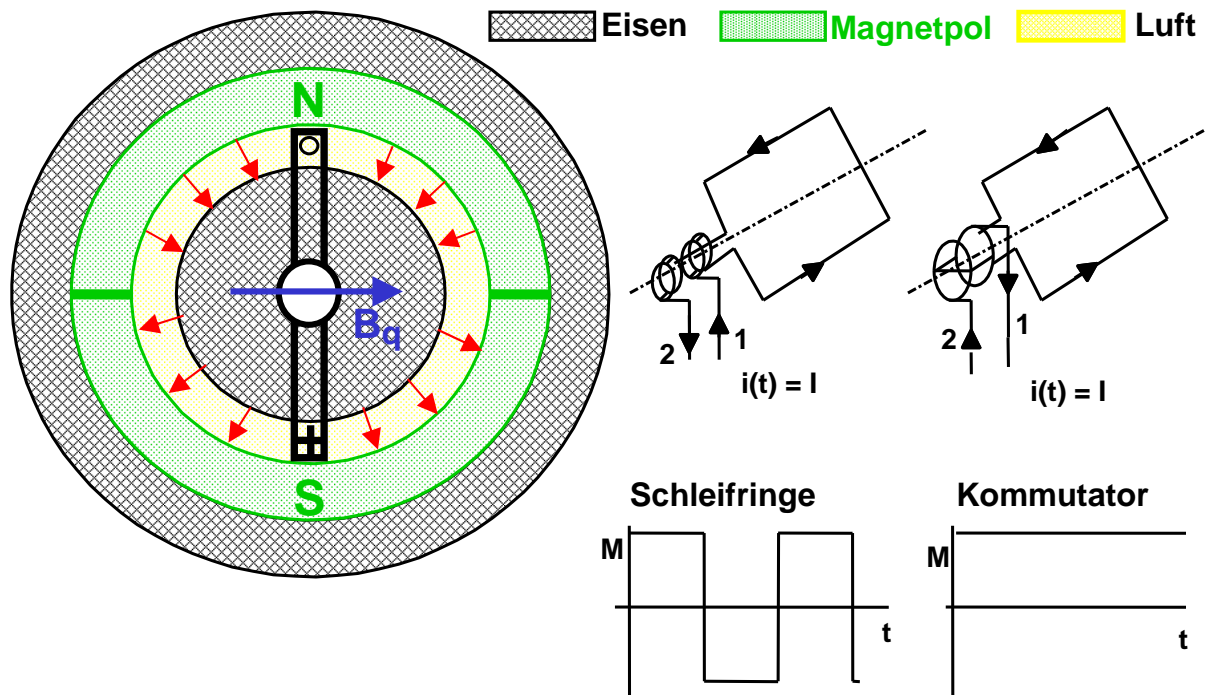


Beuth Hochschule für Technik Berlin
Fachbereich VI - Informatik und Medien
Linnemann, SoSe 2015

Elektrische Systeme 2

VL-ES2.ppt
Folie 36
Nur für Lehrzwecke

Krafterzeugung: Drehbare Spule im radialen Magnetfeld



Quelle: Wambach, R.: Grundlagen der Elektrotechnik 3. TFH-Berlin

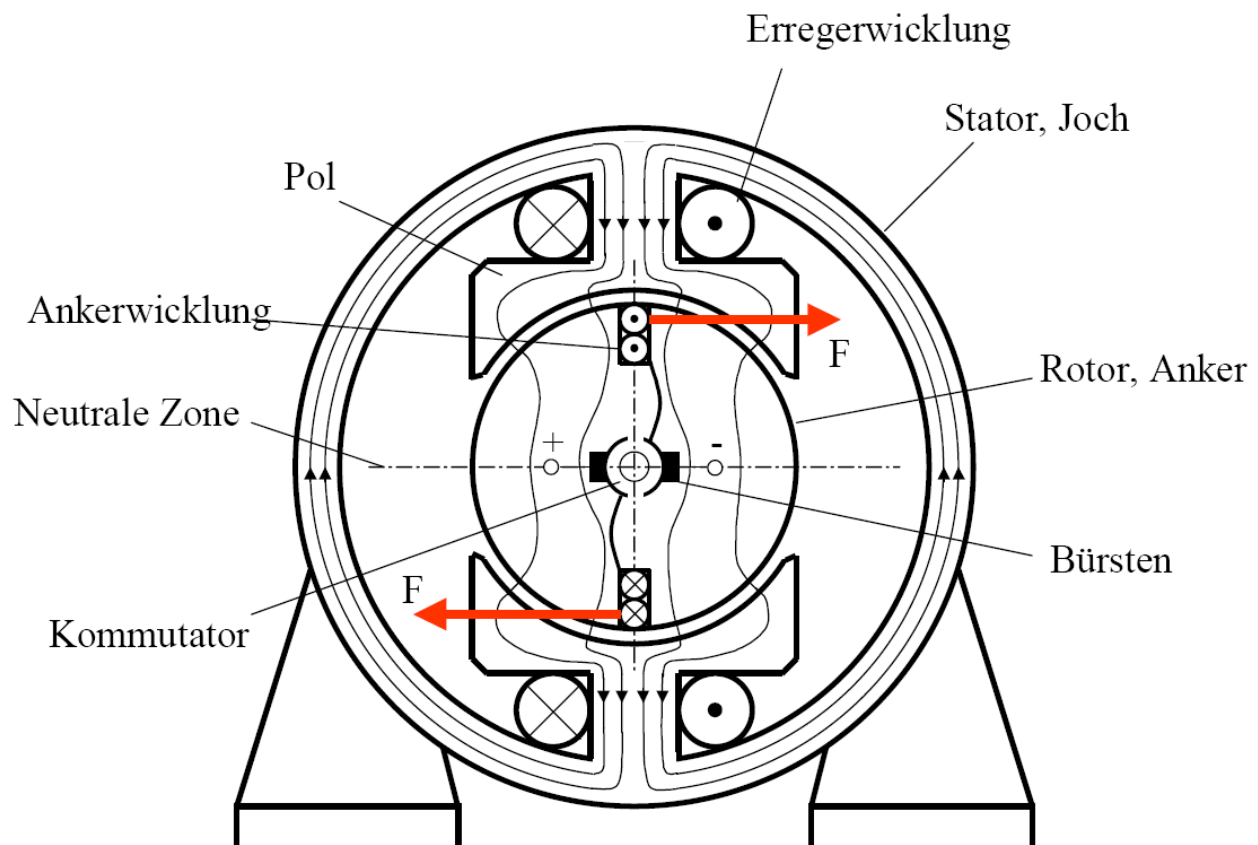


Beuth Hochschule für Technik Berlin
Fachbereich VI - Informatik und Medien
Linnemann, SoSe 2015

Elektrische Systeme 2

VL-ES2.ppt
Folie 37
Nur für Lehrzwecke

Wirkprinzip eines Gleichstrommotors



Quelle: Roskam, R.: Elektrische Antriebs- und Steuerungstechnik. FH-Wolfenbüttel, 2008



Beuth Hochschule für Technik Berlin
Fachbereich VI - Informatik und Medien
Linnemann, SoSe 2015

Elektrische Systeme 2

VL-ES2.ppt
Folie 38
Nur für Lehrzwecke

Prinzip der Kommutierung (Stromwendung)

<p align="center">Stellung 1</p> <p>Beide Spulenseiten (f1 und f2) tragen zur Drehmomentbildung bei, solange f2 unter dem Südpol und f1 unter dem Nordpol liegt</p>	<p align="center">Stellung 2</p> <p>Die Spule befindet sich in der 'neutralen Zone'. Durch die Bürsten wird die Spule kurzgeschlossen. Die Stromrichtung in der Spule kehrt sich um.</p>	<p align="center">Stellung 3</p> <p>Der Stromfluss in der Spule ist gegenüber Stellung 1 entgegengesetzt. Wie in Stellung 1 tragen wieder beide Spulenseiten (f1 und f2) zur Drehmomentbildung bei.</p>

Quelle: Höger W.: El. Maschinen u. Antriebe 1, FH München, 2008



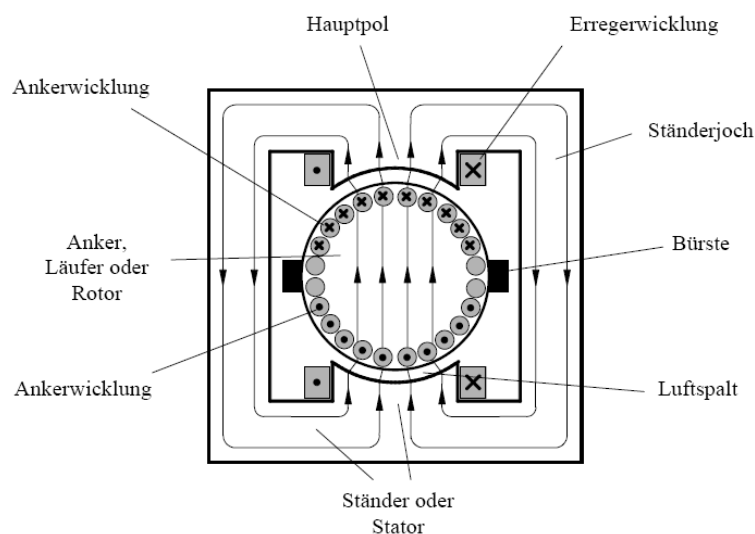
Beuth Hochschule für Technik Berlin
Fachbereich VI - Informatik und Medien
Linnemann, SoSe 2015

Elektrische Systeme 2

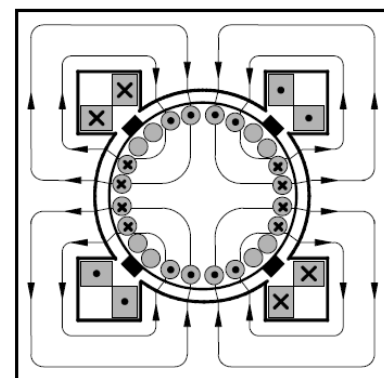
VL-ES2.ppt
Folie 39
Nur für Lehrzwecke

Gleichstrommotor: Polpaare

Ein Polpaar ($p = 1$)



Zwei Polpaare ($p = 2$)



Quelle: Böcker, J.: Elektrische Antriebstechnik, Uni Paderborn, 2008

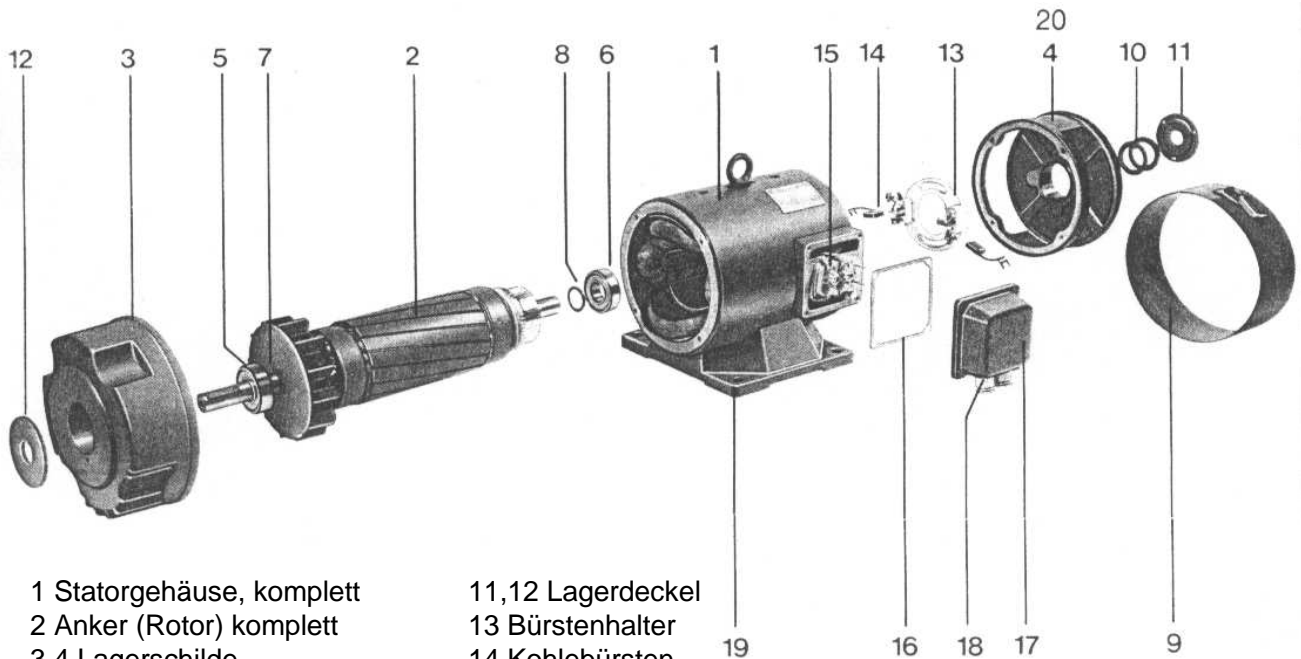


Beuth Hochschule für Technik Berlin
Fachbereich VI - Informatik und Medien
Linnemann, SoSe 2015

Elektrische Systeme 2

VL-ES2.ppt
Folie 40
Nur für Lehrzwecke

Zerlegter Gleichstrommotor, Bauform B3, eigengekühlt



- 1 Statorgehäuse, komplett
- 2 Anker (Rotor) komplett
- 3,4 Lagerschilde
- 5,6 Rillenkugellager
- 7,8 Stützscheiben
- 9 Abdeckband
- 10 Tellerfeder

- 11,12 Lagerdeckel
- 13 Bürstenhalter
- 14 Kohlebürsten
- 15 Klemmbrett
- 16 Klemmkastendichtung
- 17,18 Klemmkastendeckel mit Verschraubung
- 19 Gehäusefuß

Quelle: Höger W.: El. Maschinen u. Antriebe 1, FH München, 2008

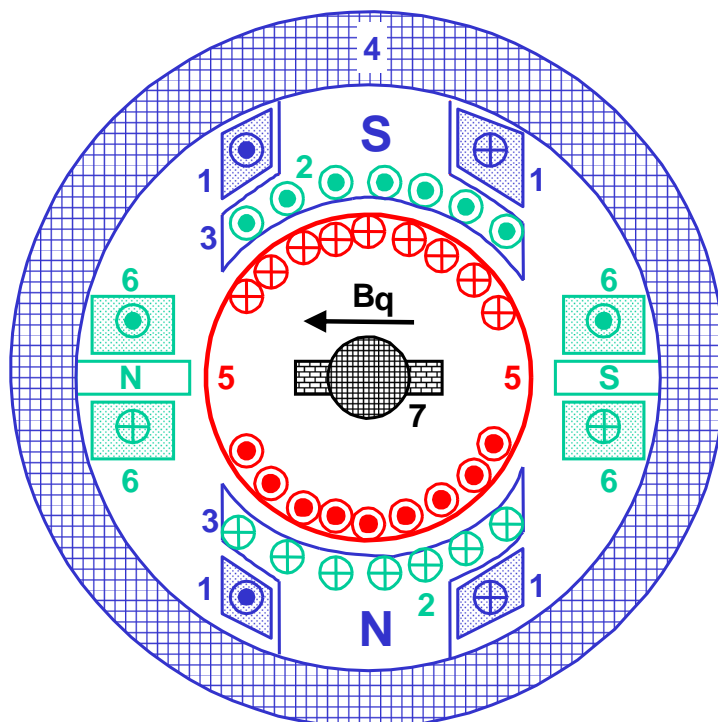


Beuth Hochschule für Technik Berlin
Fachbereich VI - Informatik und Medien
Linnemann, SoSe 2015

Elektrische Systeme 2

VL-ES2.ppt
Folie 41
Nur für Lehrzwecke

Aufbau einer Gleichstrommaschine



- 1 Erregerwicklung
- 2 Kompensationswicklung
- 3 Polschuh des Hauptpols
- 4 Joch
- 5 Anker mit Ankerwicklung
- 6 Wendepole, Kompensat.
- 7 Kollektor mit Bürsten

Quelle: Wambach, R.: Grundlagen der Elektrotechnik 3. TFH-Berlin



Beuth Hochschule für Technik Berlin
Fachbereich VI - Informatik und Medien
Linnemann, SoSe 2015

Elektrische Systeme 2

VL-ES2.ppt
Folie 42
Nur für Lehrzwecke

Ausgeführter Gleichstrommotor



Gleichstrommaschine



IEM RWTH
INSTITUT FÜR ELEKTRISCHE MASCHINEN
LEHRSTUHL FÜR ELEKTROMAGNETISCHE ENERGIEWANDLUNG
RHEINISCH-WESTFÄLISCHE TECHNISCHE HOCHSCHULE AACHEN

Grundzüge der Elektrotechnik, Abschnitt 9

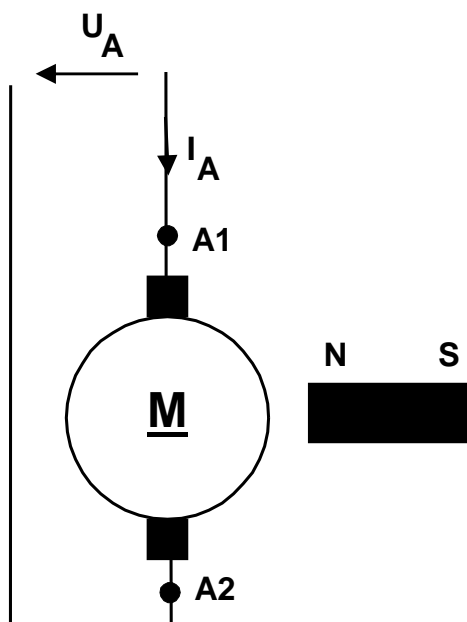
- Ausgeführte Maschine



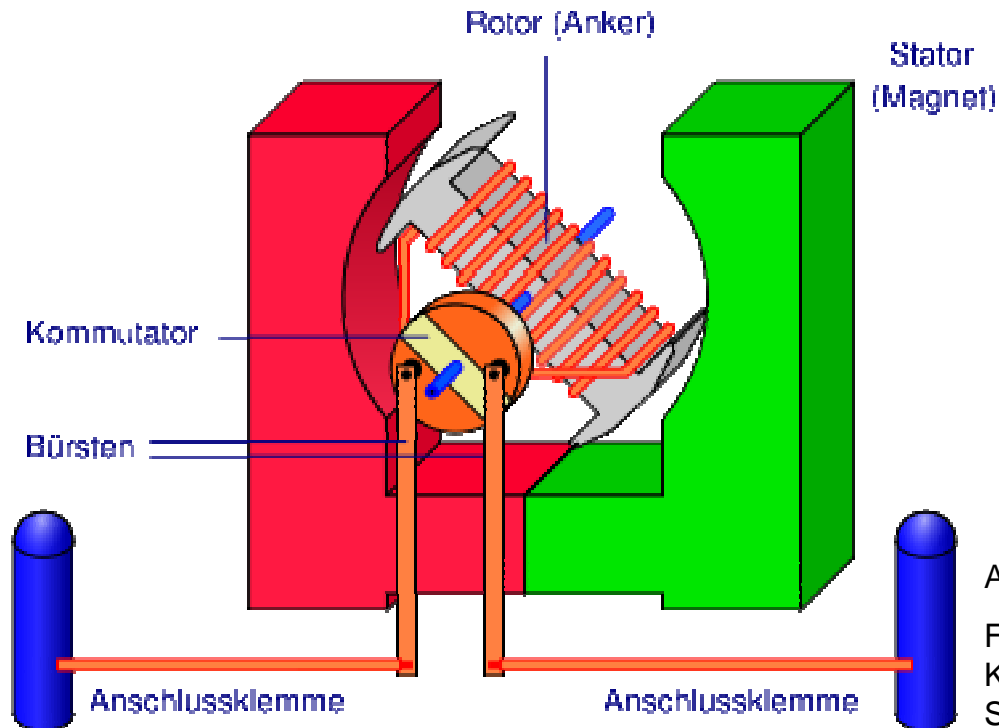
© IEM 2004 Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h.c. Kay HameyerAbschnitt 9-12



Permanenterregter Gleichstrommotor



Prinzip: Permanentterregte Gleichstrommaschine



Anwendung:
Feinwerktechnik,
Kfz-Elektronik,
Servoantriebe,
Spielzeug.
0,1 W bis 10 kW

Quelle: www.mkDoc.de. Juni 2008

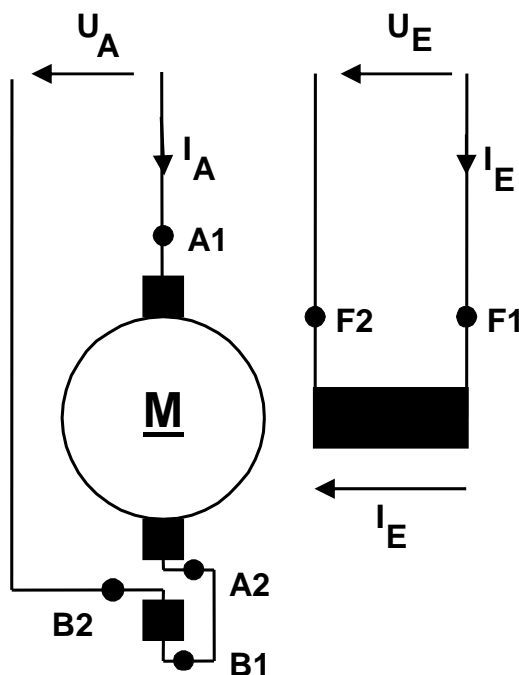


Beuth Hochschule für Technik Berlin
Fachbereich VI - Informatik und Medien
Linnemann, SoSe 2015

Elektrische Systeme 2

VL-ES2.ppt
Folie 45
Nur für Lehrzwecke

Fremderregter Gleichstrommotor



A1 - A2 = Ankerwicklung

B1 - B2 = Wendpolwicklung

F1 - F2 = Erregerwicklung Fremderregung

- Ankerspannung und Erregerspannung unabhängig einstellbar
- Sonderfall: Erregerspannung durch Dauermagnet (kleine Motoren)
- Anwendung:
Drehzahlveränderbare Antriebe
 - Servomotore,
Maschinensteuerung,
Automatisierung,
Hebewerkzeuge,
Walzwerke.
1 kW bis 10 MW
- Harte Drehzahlkennlinie $n = f(M)$,
Absinken der Drehzahl etwa 3 – 10%
bei Nennlast

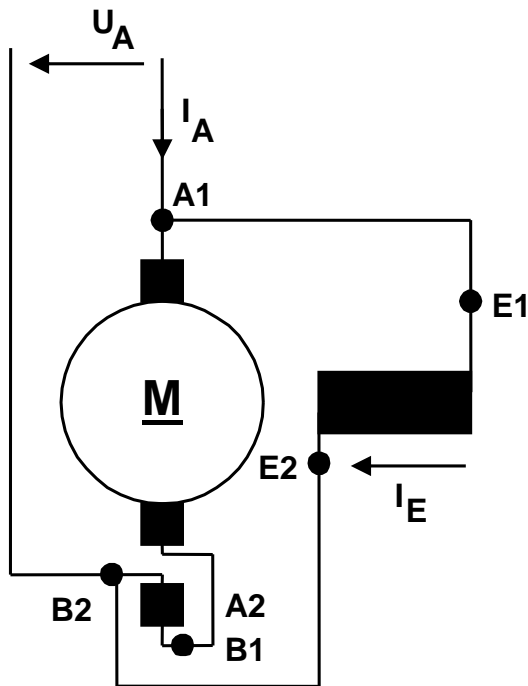


Beuth Hochschule für Technik Berlin
Fachbereich VI - Informatik und Medien
Linnemann, SoSe 2015

Elektrische Systeme 2

VL-ES2.ppt
Folie 46
Nur für Lehrzwecke

Gleichstrom - Nebenschlussmotor



A1 - A2 = Ankerwicklung
B1 - B2 = Wendpolwicklung
E1 - E2 = Erregerwicklung Nebenschluss

- Sonderfall des fremderregten Motors (d.h. gleiches Verhalten)
- Erregerwicklung liegt parallel zum Anker → wird also von der Ankerspannung gespeist
- Anwendung:
Drehzahlveränderbare Antriebe
 - Servomotore,
Maschinensteuerung,
Automatisierung
- Harte Drehzahlkennlinie $n = f(M)$,
Absinken der Drehzahl etwa 3 – 10%
bei Nennlast

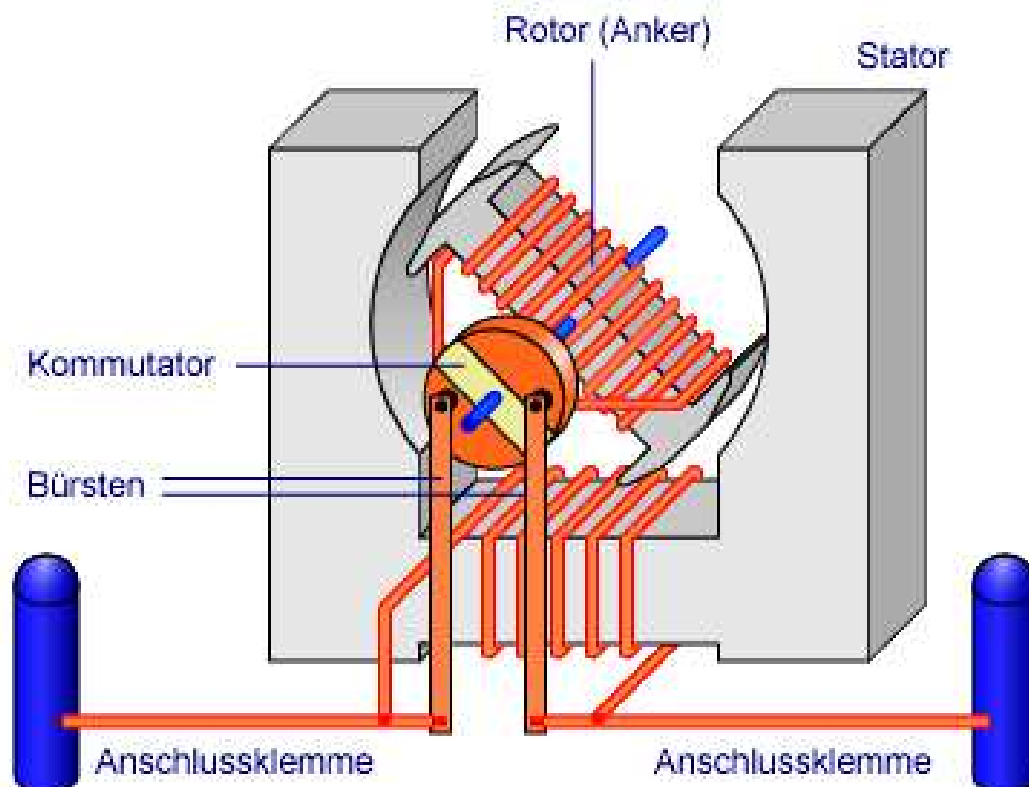


Beuth Hochschule für Technik Berlin
Fachbereich VI - Informatik und Medien
Linnemann, SoSe 2015

Elektrische Systeme 2

VL-ES2.ppt
Folie 47
Nur für Lehrzwecke

Prinzip: Gleichstrom - Nebenschlussmotor



Quelle: www.mkDoc.de, Juni 2008

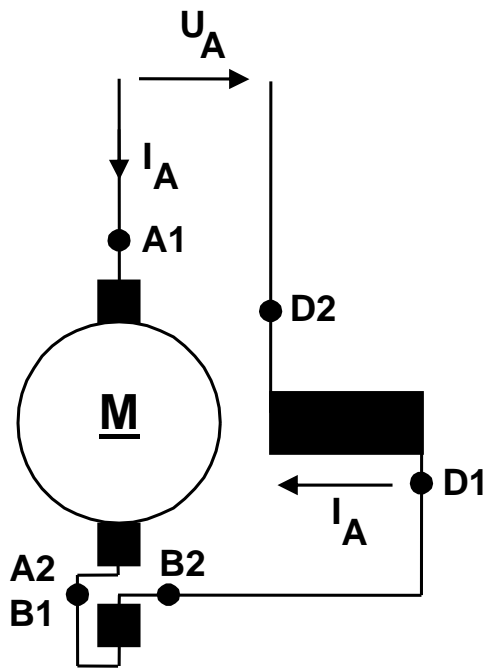


Beuth Hochschule für Technik Berlin
Fachbereich VI - Informatik und Medien
Linnemann, SoSe 2015

Elektrische Systeme 2

VL-ES2.ppt
Folie 48
Nur für Lehrzwecke

Gleichstrom - Reihenschlussmotor



A1 - A2 = Ankerwicklung

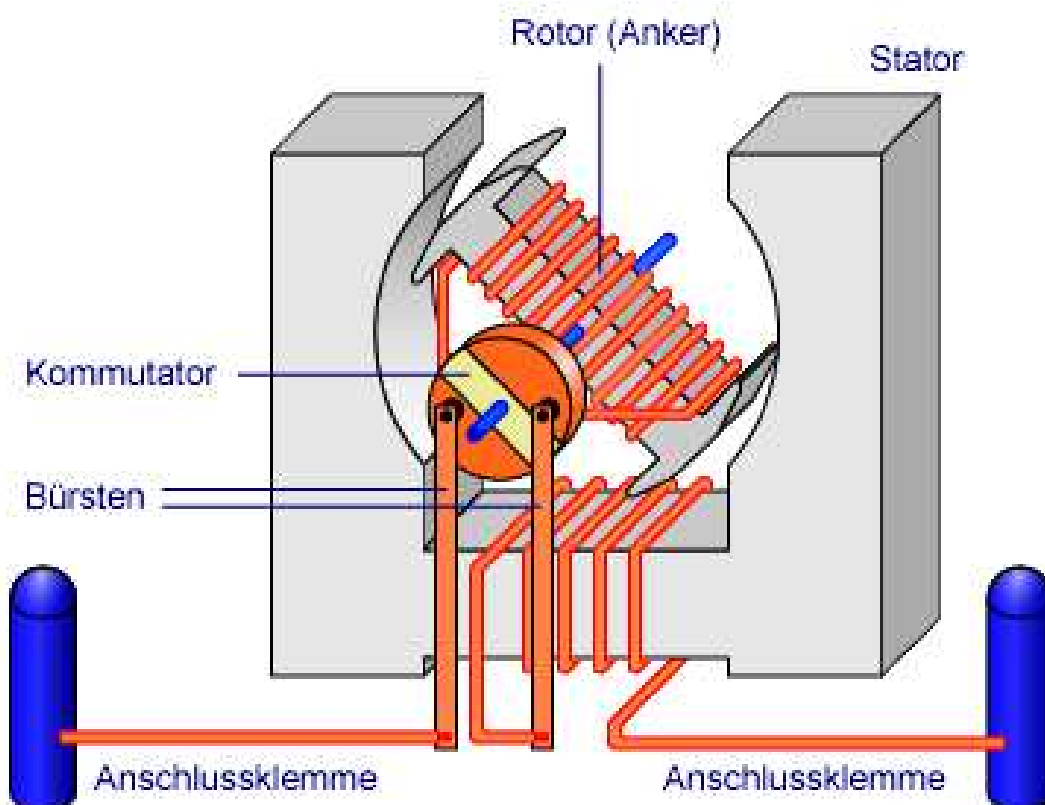
B1 - B2 = Wendpolwicklung

D1 - D2 = Erregerwicklung Reihenschluss

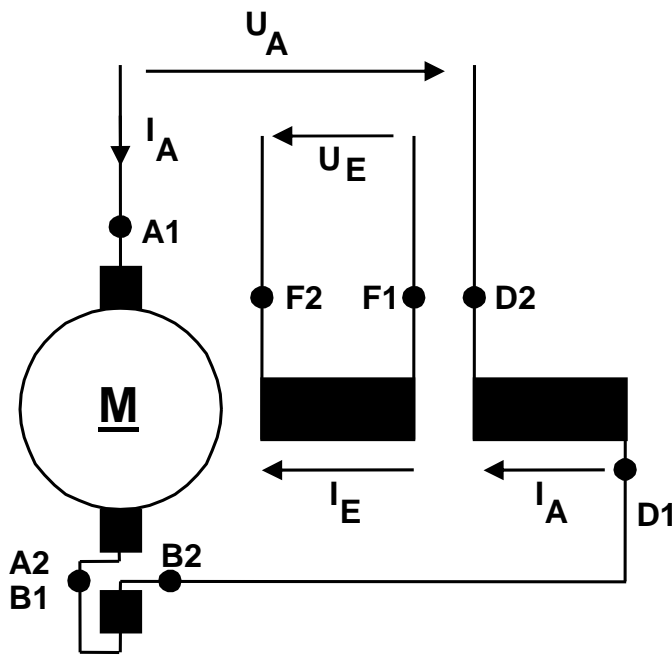
- Erregerwicklung und Ankerwicklung in Reihe
- Erregerwicklung liegt parallel zum Anker
→ wird von der Ankerspannung gespeist
- Niedrige Drehzahl → großes Moment
Hohe Drehzahl → kleines Moment
Unempfindlich gegen Überlast
- Anwendung: Fahrzeugantriebe
 - Bahnen,
Hebezeuge,
Anlasser in LKW, PKW.
300 W bis 500 kW
- Weiche Drehzahlkennlinie $n = f(M)$,
 M muss $\neq 0$ sein, sonst $n \rightarrow \infty$
„Durchgehen“ !!!



Prinzip: Gleichstrom - Reihenschlussmotor



Gleichstrom - Doppelschlussmotor



A1 - A2 = Ankerwicklung

B1 - B2 = Wendpolwicklung

D1 - D2 = Erregerwicklg. Reihenschluss

F1 - F2 = Erregerwicklg. Fremderregung

- Nebenschlusserregung wird durch eine Reihenschlusserregung verstärkt
- Anwendung: Ungeregelte Antriebe, da Drehzahl relativ unabhängig von Last
- Drehzahlkennlinie $n = f(M)$ liegt zwischen hart (Fremderregung, Nebenschluss) und weich (Reihenschluss); „Durchgehen“ nicht möglich

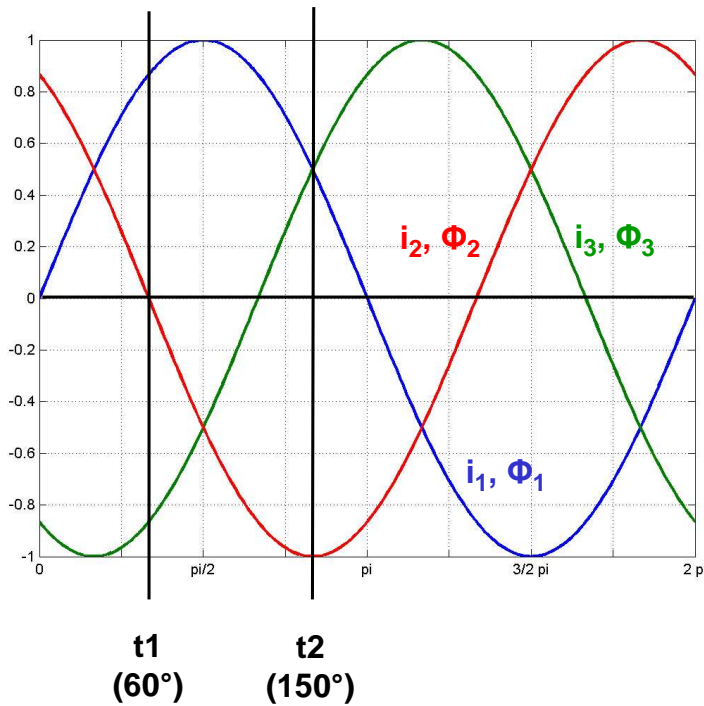


Vierquadrantenbetrieb der Gleichstrommaschine

n ↑	
Generator Rechtslauf (Bremse) Elektr. Leistungsabgabe $n > 0$ $M < 0$ $P < 0$ $ U_A < U_E $	Motor Rechtslauf Elektr. Leistungsaufnahme $n > 0$ $M > 0$ $P > 0$ $ U_A > U_E $
$ U_A > U_E $ $n < 0$ $M < 0$ $P > 0$ Motor Linkslauf Elektr. Leistungsaufnahme	$ U_A < U_E $ $n < 0$ $M > 0$ $P < 0$ Generator Linkslauf (Bremse) Elektr. Leistungsabgabe
M →	

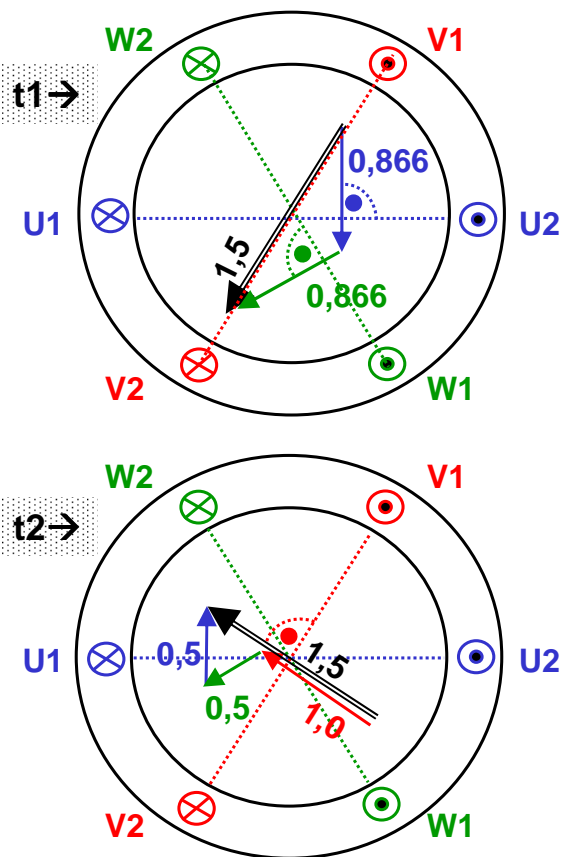


Magnet. Fluß zu verschiedenen Zeitpunkten (Winkeln)



Also: $\Phi_{\text{ges}} = 1,5 \Phi_{\text{max}(i)} = \text{const.}$

$M \sim F \sim \Phi_{\text{ges}}$

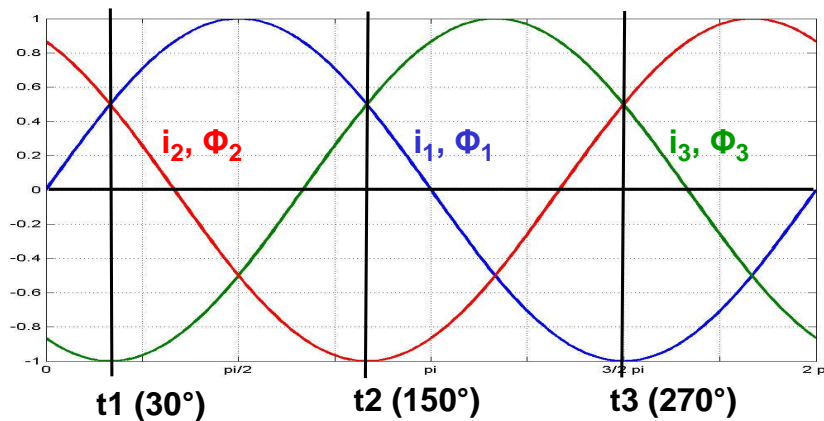


Beuth Hochschule für Technik Berlin
Fachbereich VI - Informatik und Medien
Linnemann, SoSe 2015

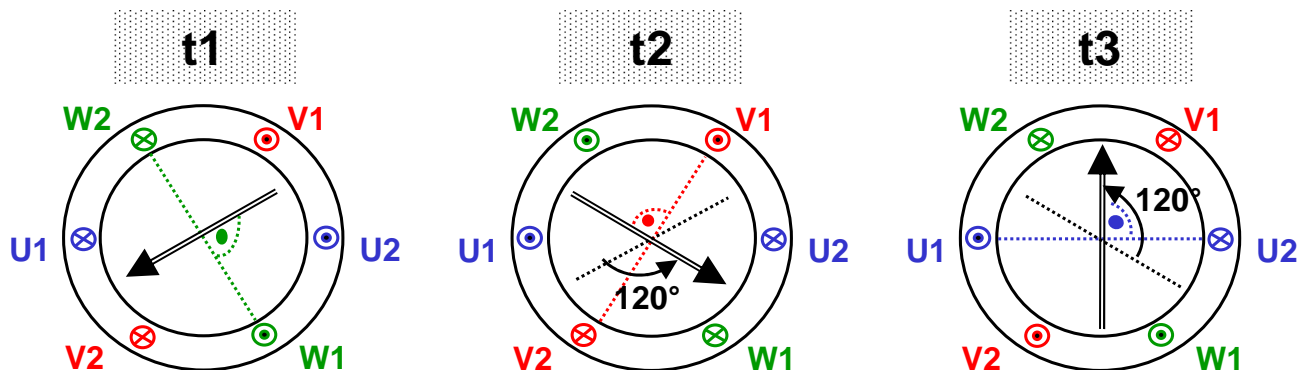
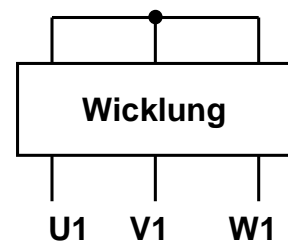
Elektrische Systeme 2

VL-ES2.ppt
Folie 53
Nur für Lehrzwecke

Das Drehfeld



Z.B. Sternschaltung

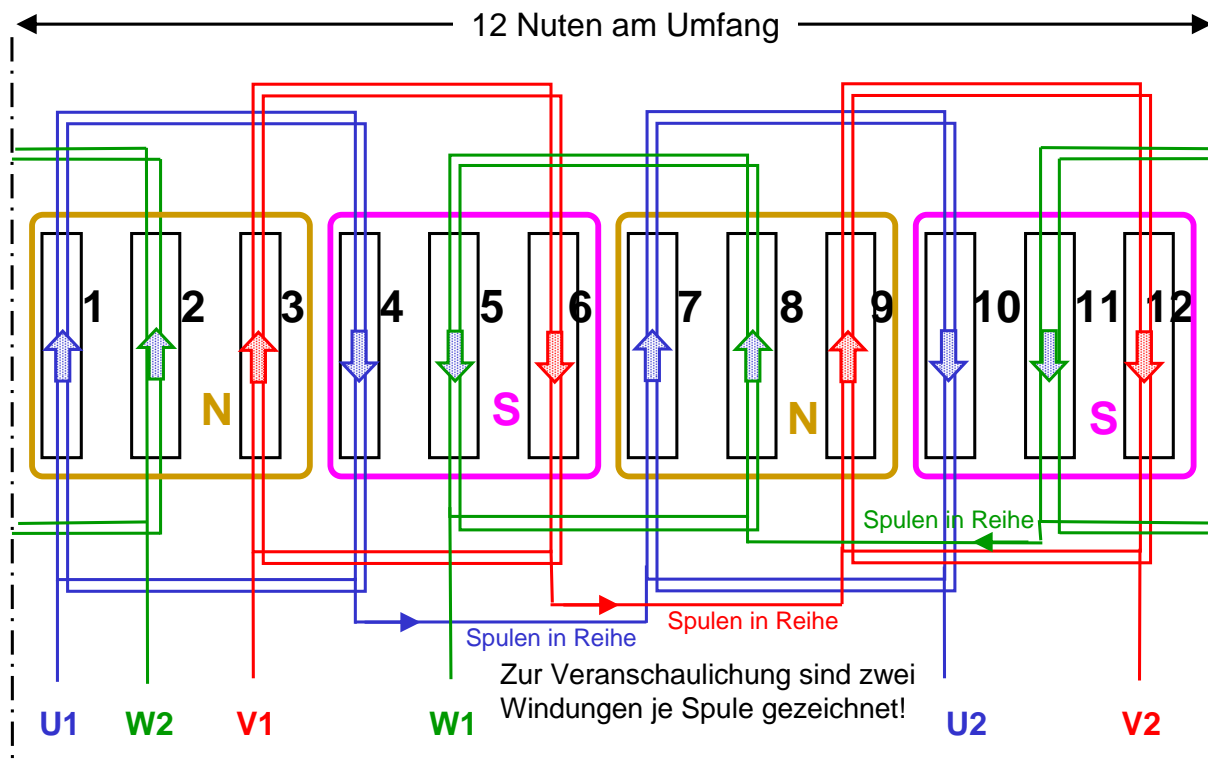


Beuth Hochschule für Technik Berlin
Fachbereich VI - Informatik und Medien
Linnemann, SoSe 2015

Elektrische Systeme 2

VL-ES2.ppt
Folie 54
Nur für Lehrzwecke

Beispiel einer vierpoligen Ständerwicklung



Angelehnt an: Wambach, R.: Grundlagen der Elektrotechnik 3. TFH-Berlin

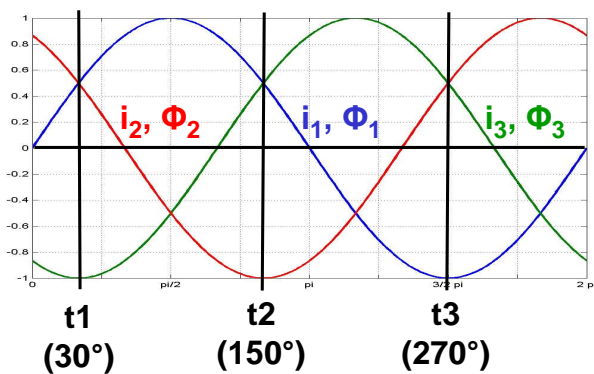


Beuth Hochschule für Technik Berlin
Fachbereich VI - Informatik und Medien
Linnemann, SoSe 2015

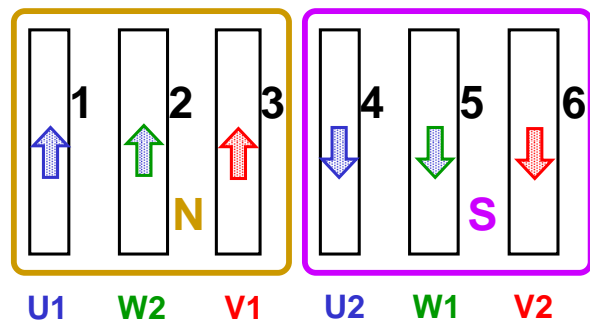
Elektrische Systeme 2

VL-ES2.ppt
Folie 55
Nur für Lehrzwecke

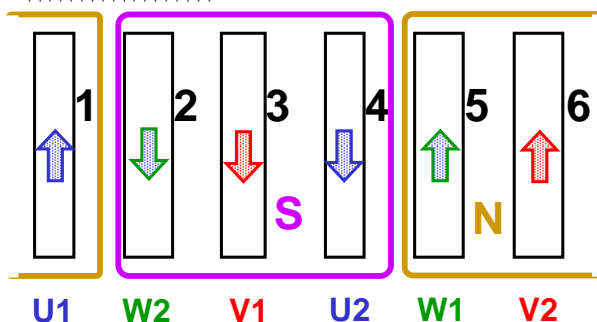
Beispiel einer zweipoligen Ständerwicklung



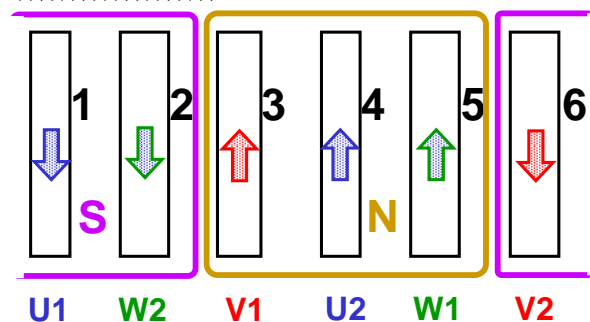
$t_1 (30^\circ)$



$t_2 (150^\circ)$



$t_3 (270^\circ)$




Beuth Hochschule für Technik Berlin
Fachbereich VI - Informatik und Medien
Linnemann, SoSe 2015


Elektrische Systeme 2

VL-ES2.ppt
Folie 56
Nur für Lehrzwecke

Asynchronmotor

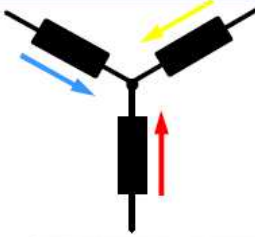


Drehstrommaschine

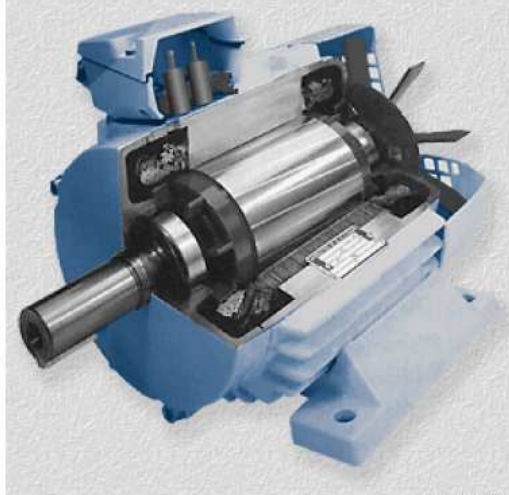



Grundzüge der Elektrotechnik, Abschnitt 9

- Asynchronmotor
 - Stator
 - Geblechtes Eisenpaket
 - 3-strängige sym. Drehstromwicklung mit 2p Polen
 - Kreisdrehfeld im Luftspalt
 - Rotor
 - Geblechtes Eisenpaket
 - Zwei Rotorvarianten möglich
 - Käfigwicklung
 - Schleifringläufer mit gewickelter Wicklung



Schaltsymbol



© IEM 2004 Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h.c. Kay Hameyer

Abschnitt 9-32



Ständer / Stator



Drehstrommaschine



Grundzüge der Elektrotechnik, Abschnitt 9

- Stator
 - 2p-polige 3-strängige Wicklung wird in N_1 Nuten eingebettet



2 Stränge der Drehstromwicklung sind bereits eingelegt

Alle 3 Stränge der Drehstromwicklung sind eingelegt

© IEM 2004 Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h.c. Kay Hameyer

Abschnitt 9-33



Rotor

Grundzüge der Elektrotechnik, Abschnitt 9

Drehstrommaschine

© IEM 2004 Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h.c. Kay Hameyer



INSTITUT FÜR ELEKTRISCHE MASCHINEN
LEHRSTUHL FÜR ELEKTROMAGNETISCHE ENERGIEUMWANDLUNG
RHEINISCH-WESTFÄLISCHE TECHNISCHE HOCHSCHULE AACHEN

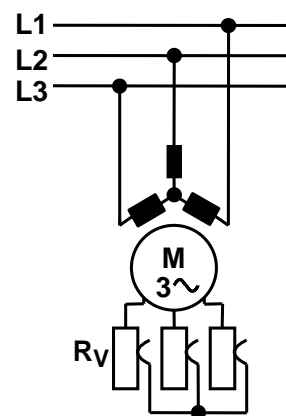
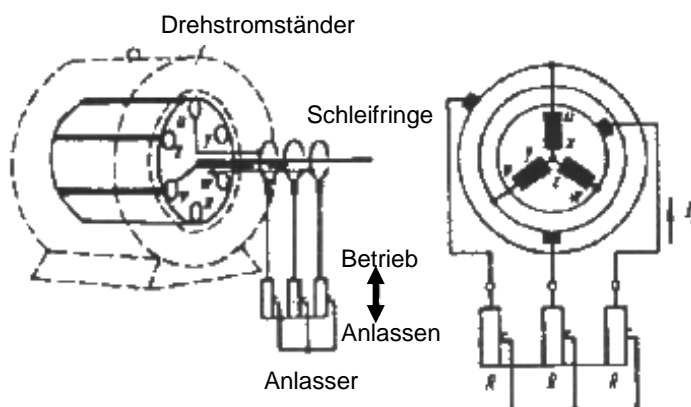
- Rotor
 - Käfigwicklung wird im Spritzgussverfahren in die N_2 Nuten des Rotorblechpakets eingebracht
 - Verschiedene Nutformen sind möglich
 - Drehzahl-Drehmomentverhalten im Anlauf wird durch die Wahl beeinflusst







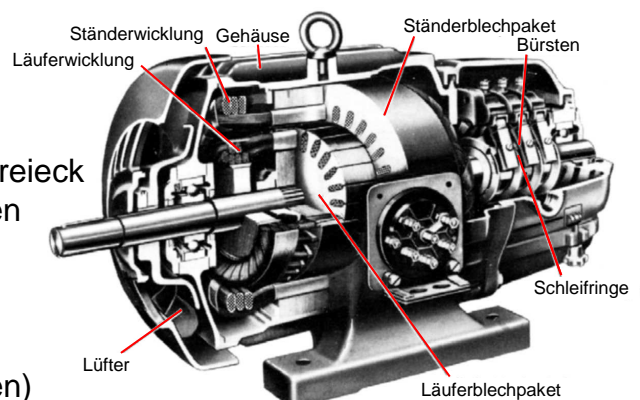
Schleifringläufer



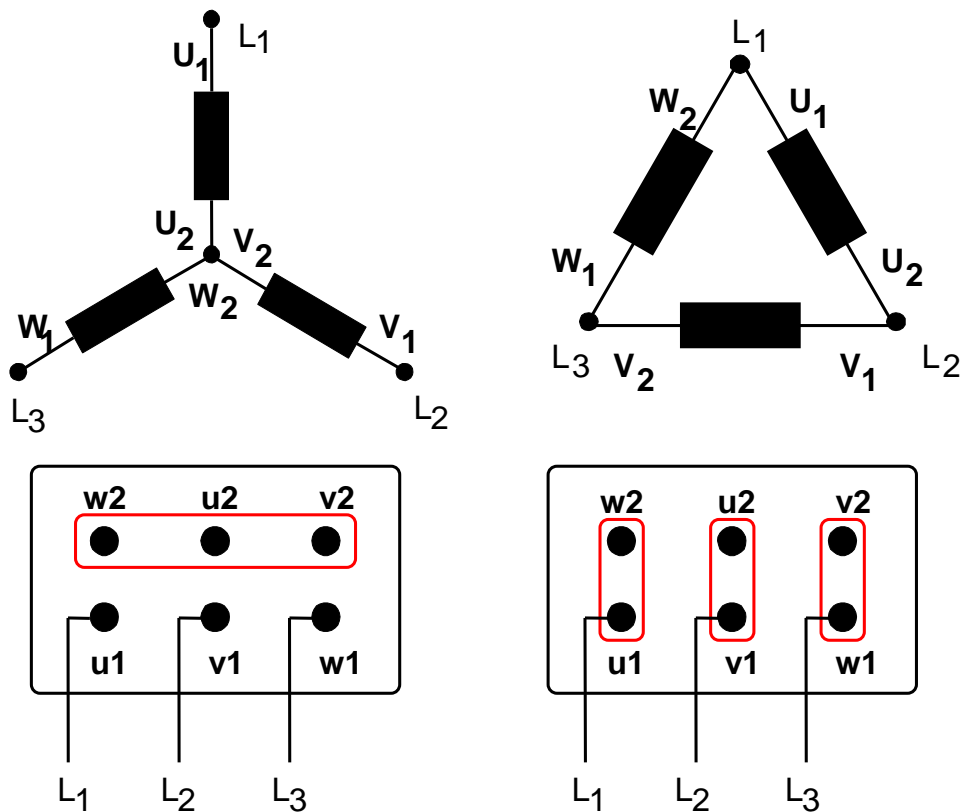
→ Drehzahlsteuerung (z.B. Servomotoren)

→ Anlassen des Motors

- Verringern der Einschaltstromstärke (5 bis 7 - faches des Nennstroms)
 - Meist sind ab 5 kW Anlasshilfen (Sterndreieck oder Anlasswiderstände) vorgeschrieben
 - Weiches Anfahren (z.B. Aufzüge)
 - Vollastanlauf bei größeren Leistungen
- $M_{anl} = 2,5 M_{Nenn}$
Große Schwungmassen (z.B. Zentrifugen)



Stern- und Dreieckschaltung der Ständerwicklung



Quelle: Wambach, R.: Grundlagen der Elektrotechnik 3. TFH-Berlin



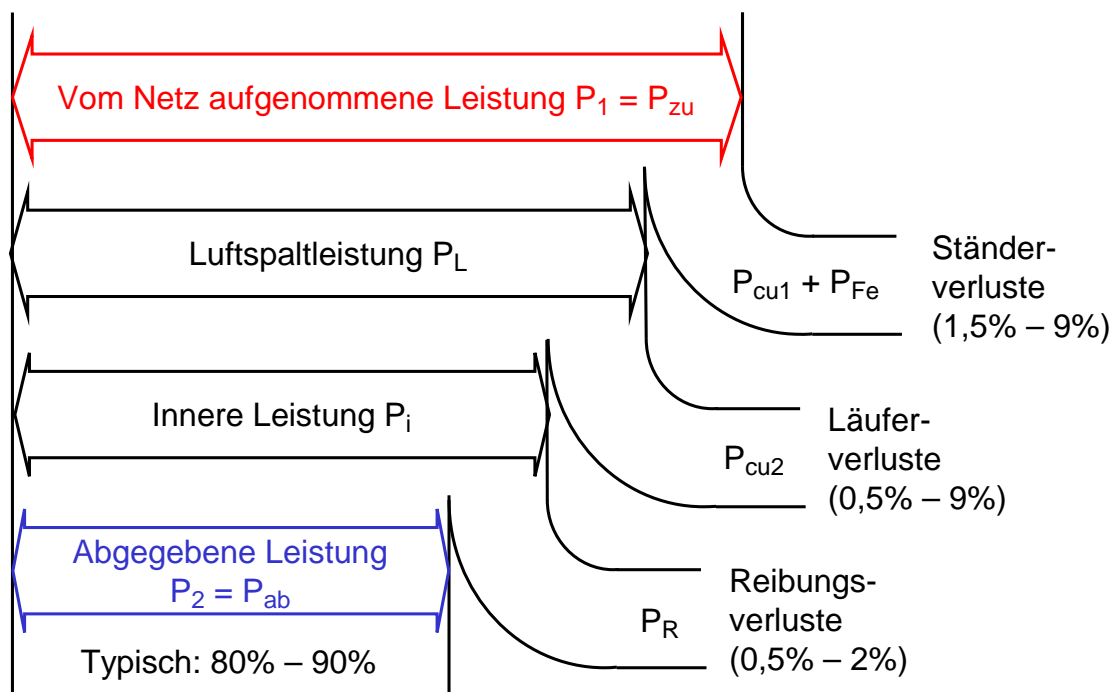
Beuth Hochschule für Technik Berlin
Fachbereich VI - Informatik und Medien
Linnemann, SoSe 2015

Elektrische Systeme 2

VL-ES2.ppt
Folie 61
Nur für Lehrzwecke

Leistungsbilanz der Asynchronmaschine

Sankey – Diagramm:

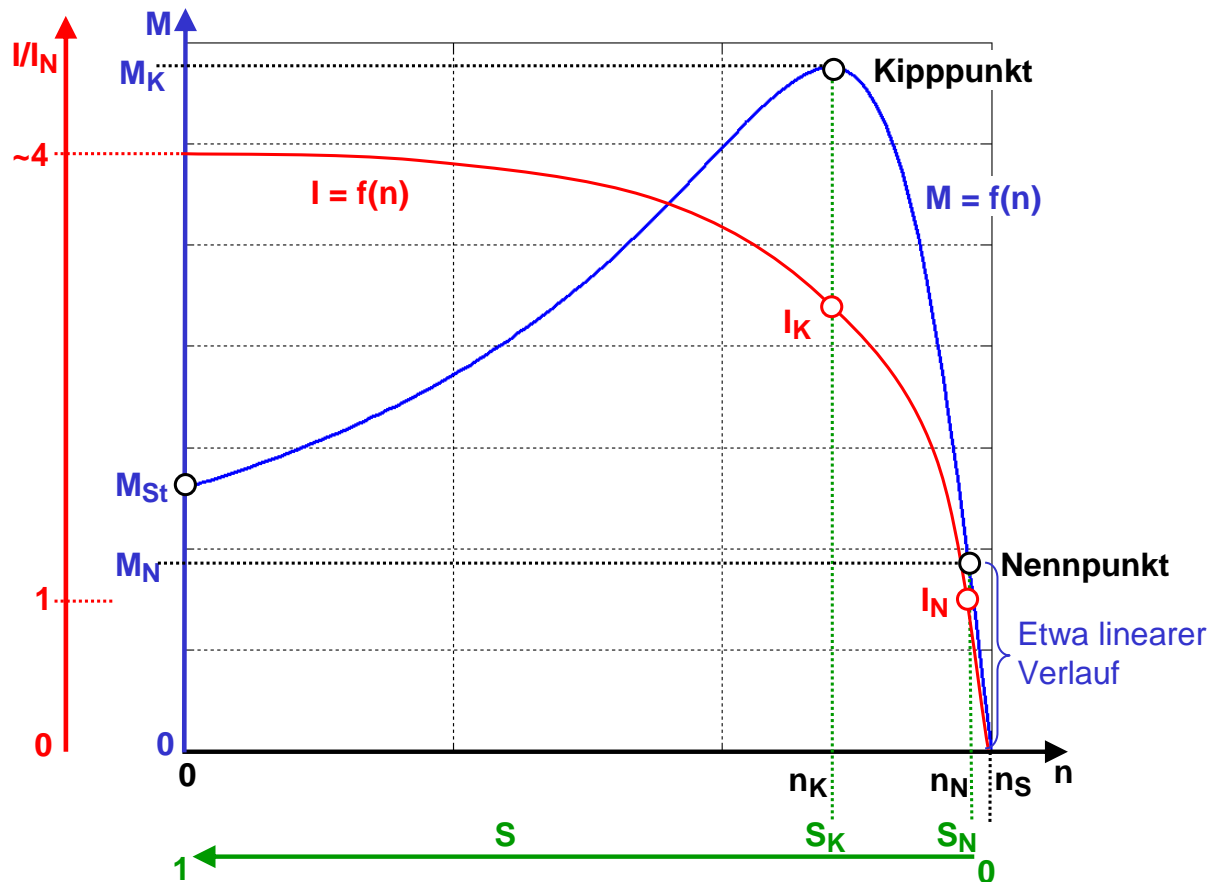


Beuth Hochschule für Technik Berlin
Fachbereich VI - Informatik und Medien
Linnemann, SoSe 2015

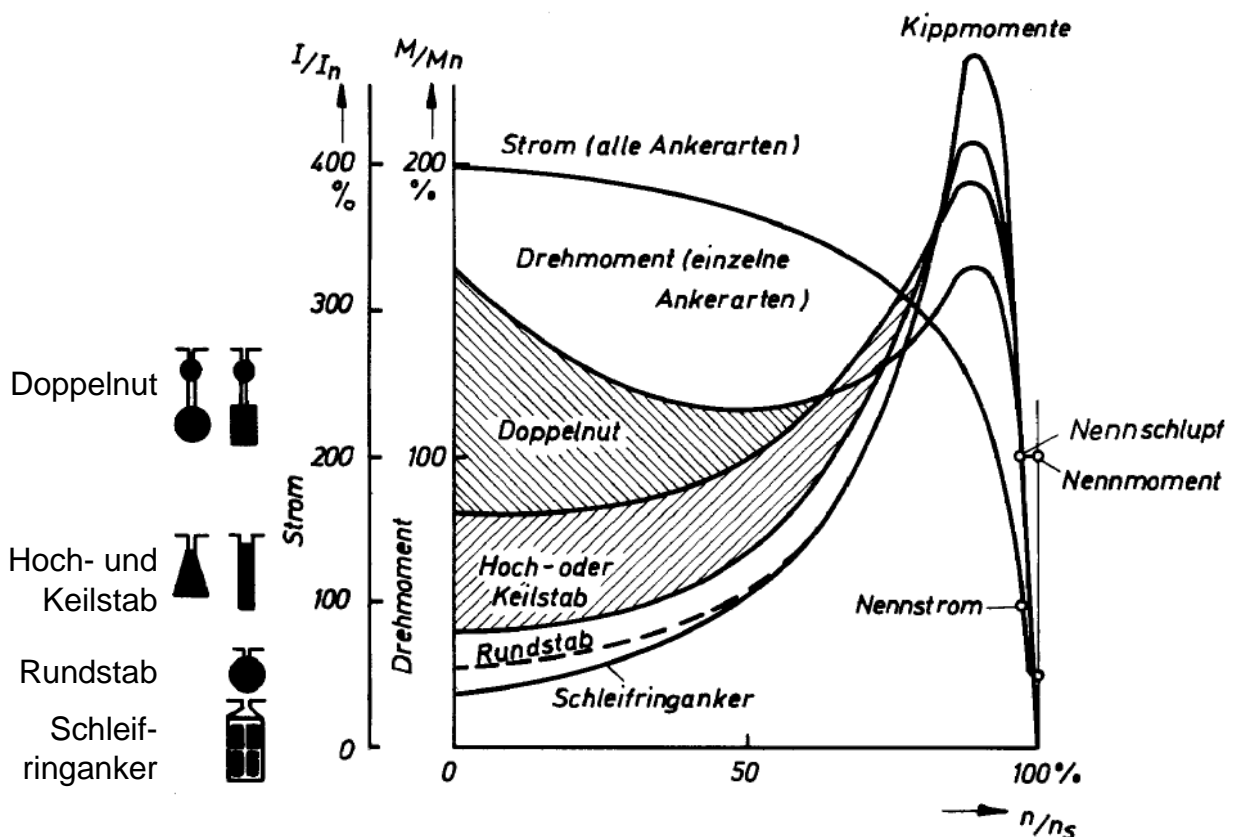
Elektrische Systeme 2

VL-ES2.ppt
Folie 62
Nur für Lehrzwecke

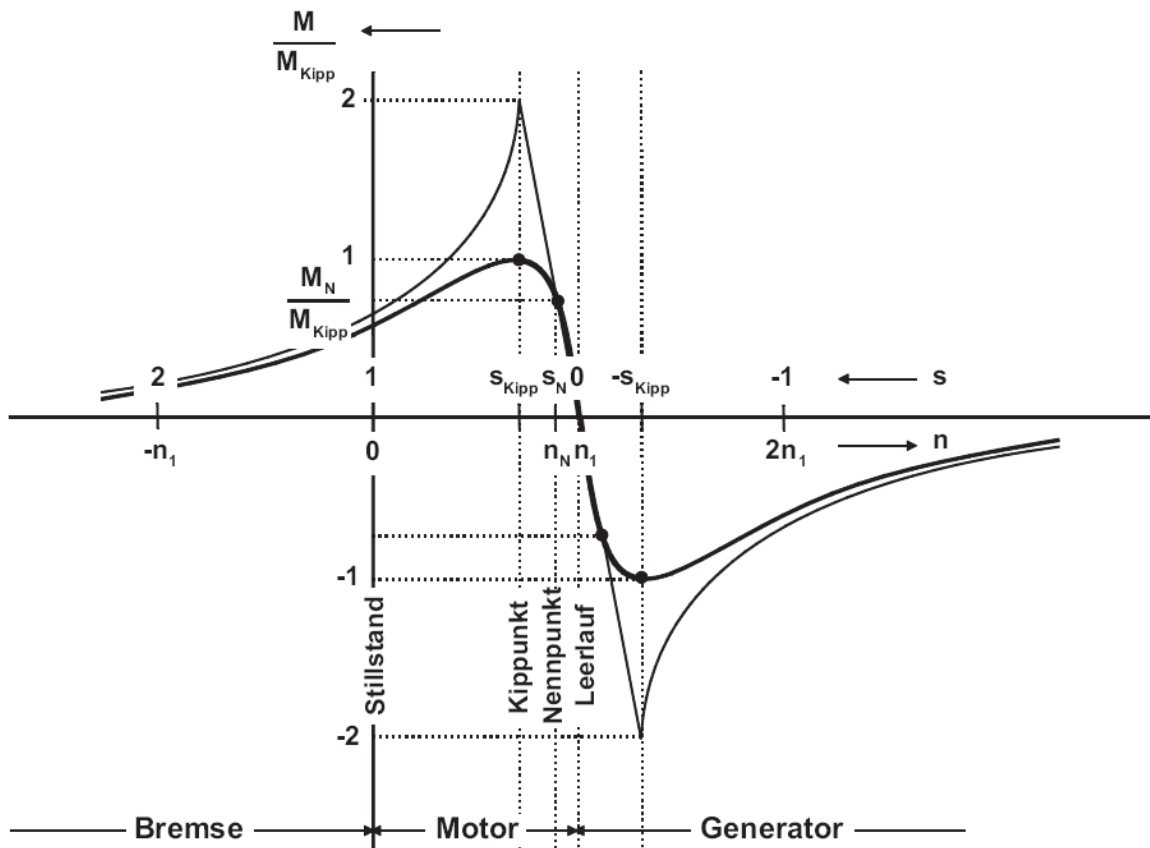
Drehmoment- und Strom- Kennlinien



Drehmoment-Drehzahl-Kennlinien für verschieden Rotortypen



Betriebsarten der Asynchronmaschine



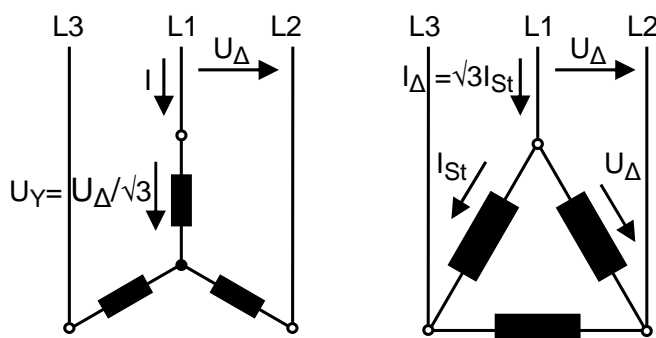
Anlassen von Asynchronmaschinen

Forderungen an den Anlauf/Hochlauf:

- Zulässige Ströme dürfen nicht überschritten werden (Anlassen meist ab 5 kW vom Versorger vorgeschrieben)
- Das Drehmoment muss vom Stillstand bis zum Arbeitspunkt größer als das Lastmoment sein

Käfigläufer

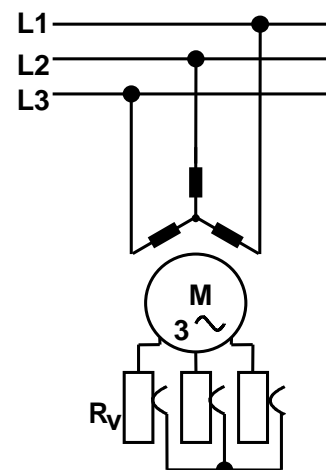
- Stern-Dreieck-Anlauf
- Anlasstransformator



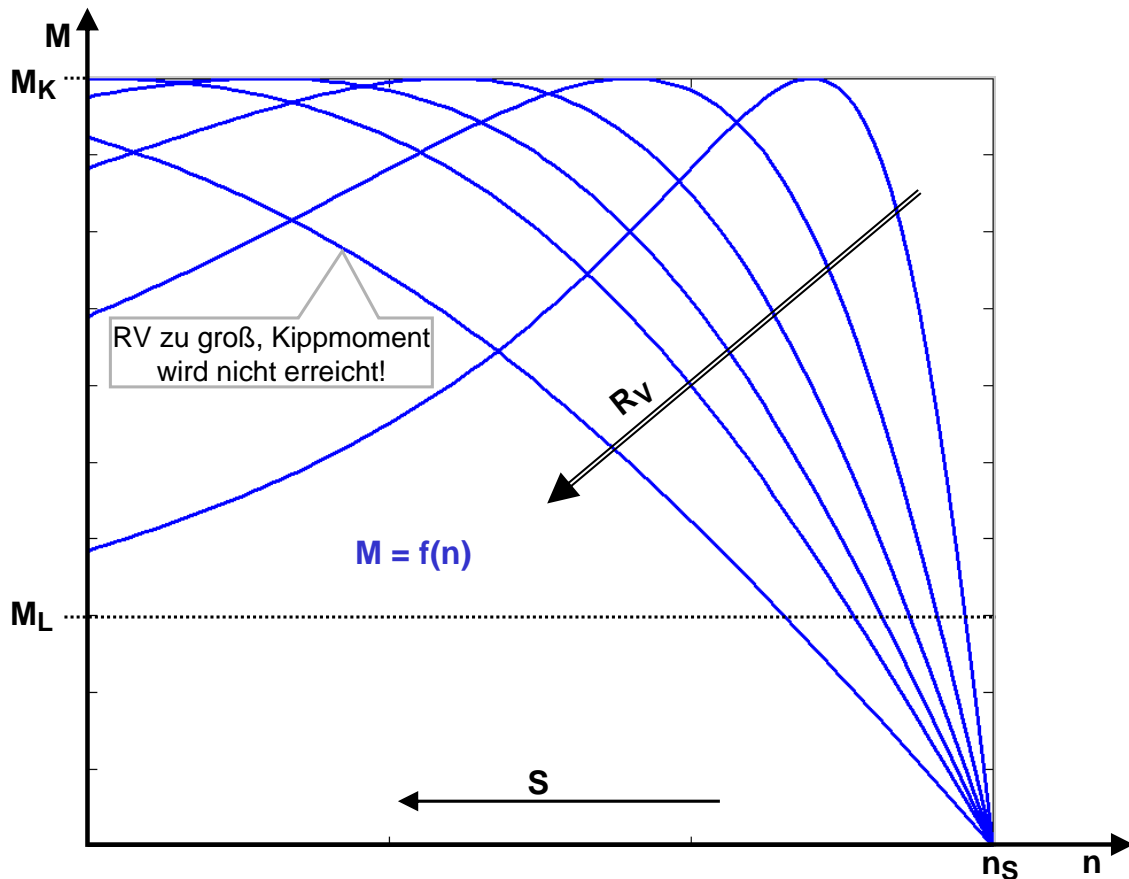
Aber: $P_Y / P_\Delta = M_Y / M_\Delta = I_Y / I_\Delta = 1 / 3$

Schleifringläufer

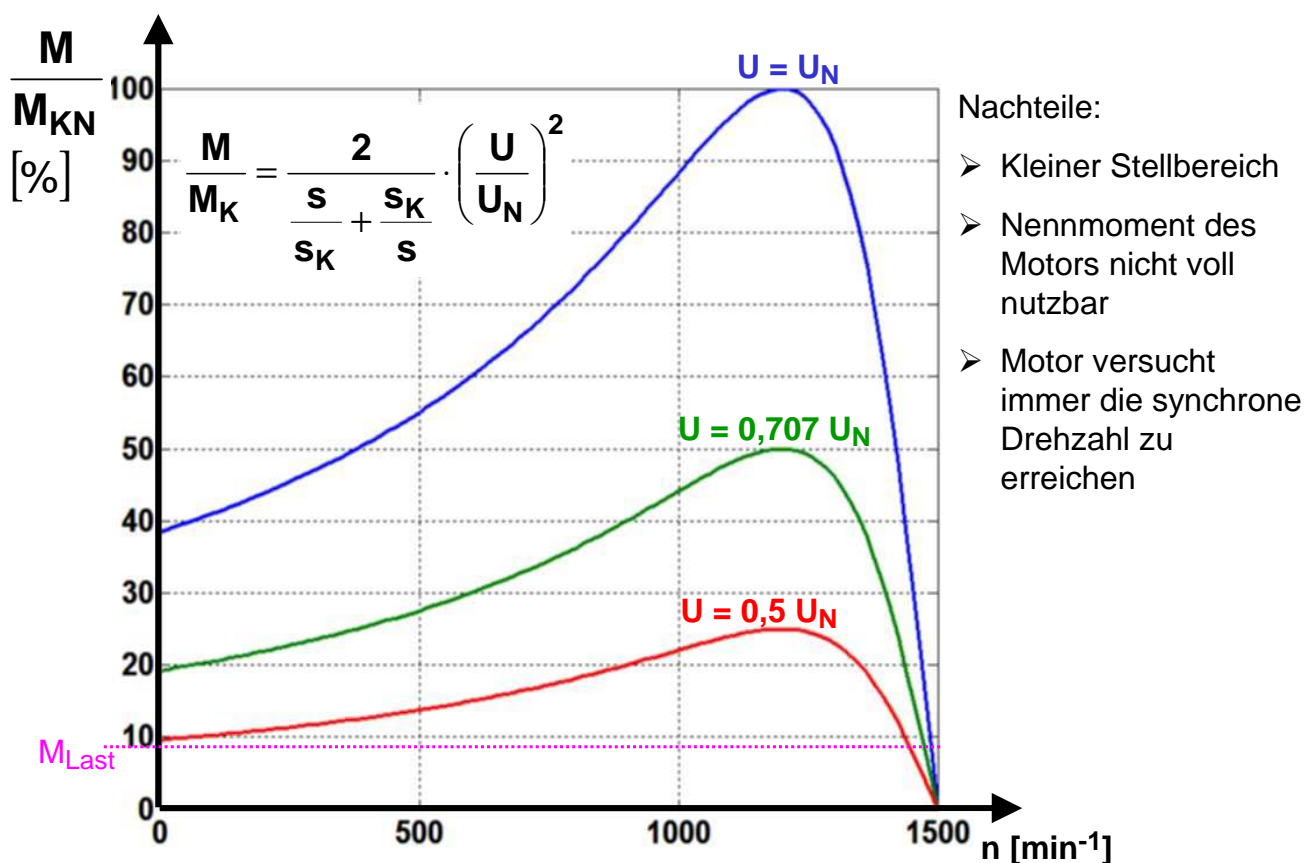
- Anlasswiderstände



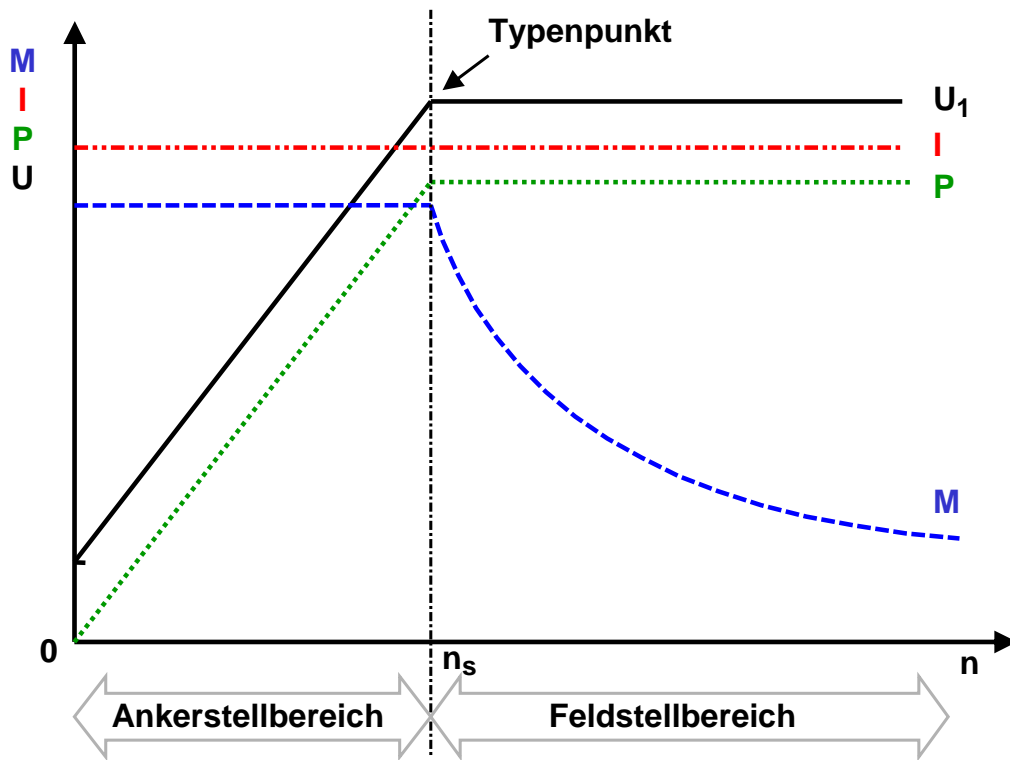
Schleifringläufer mit verschiedenen Anlasswiderständen



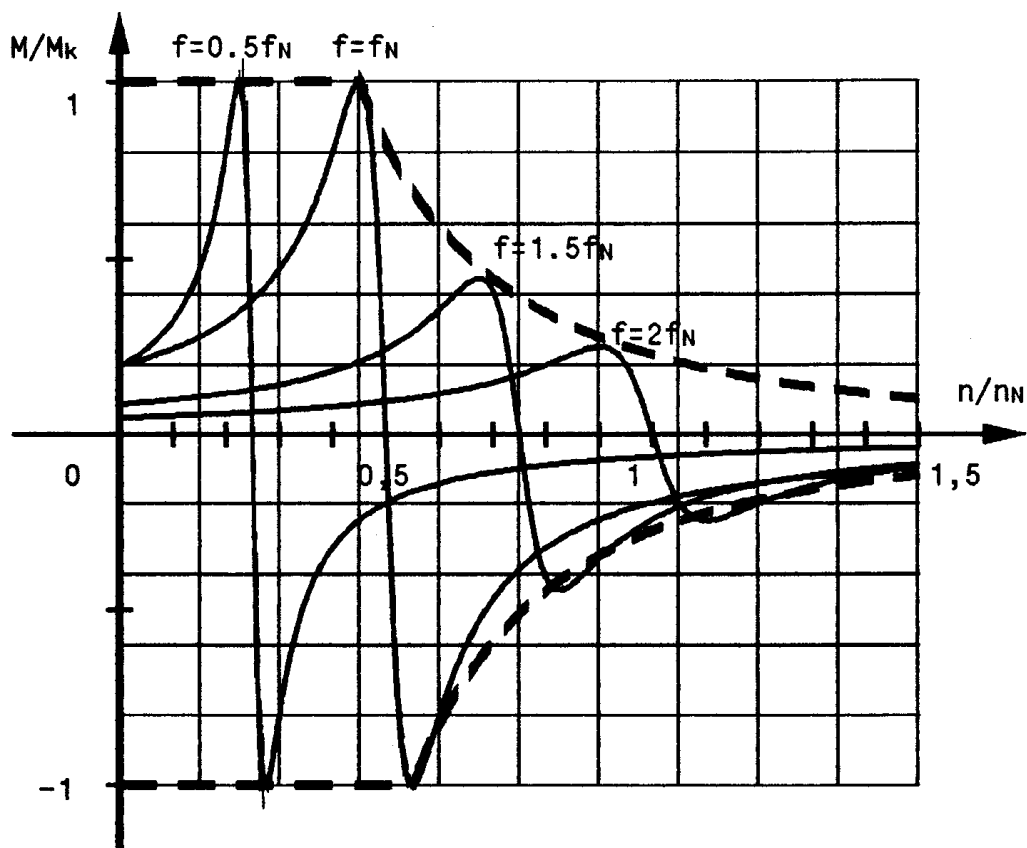
Drehzahl-Drehmomentkennlinie bei variabler Spannung



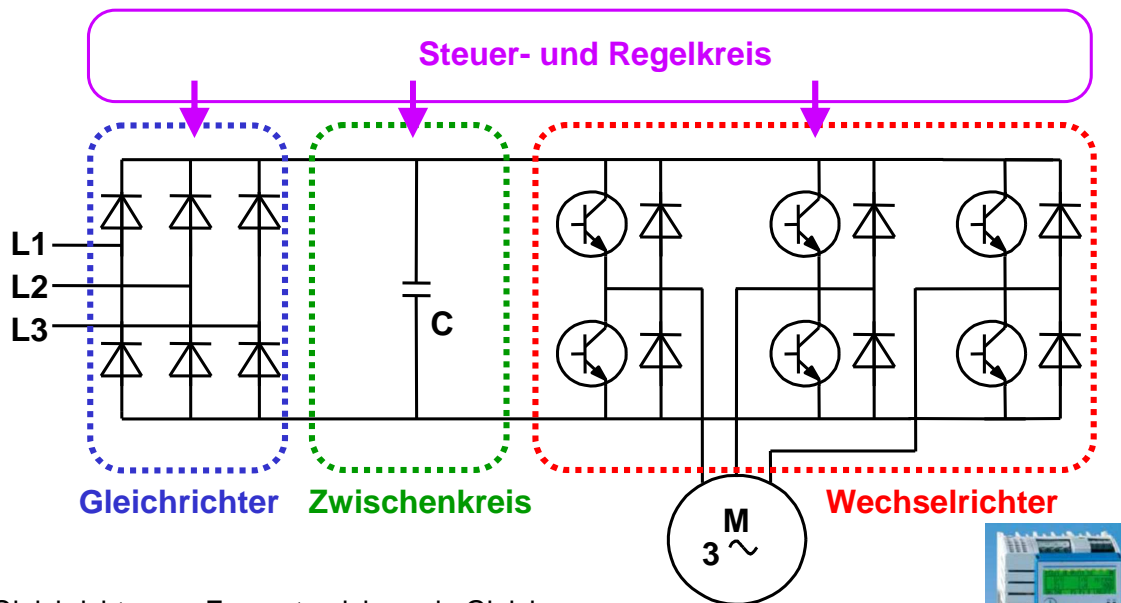
Betriebskennlinie bei Frequenzänderung



Drehzahlkennlinie bei Frequenzsteuerung



Prinzip eines dreiphasigen Wechselrichters



Gleichrichter: Erzeugt pulsierende Gleichspannung (gesteuert oder ungesteuert)

Zwischenkreis: Entkopplung zwischen speisendem und frequenzvariablem Netz (Energiespeicher: Drossel „Stromzwischenkreis“ oder Kondensator „Spannungzwischenkreis“)

Wechselrichter: Erzeugt aus Gleichspannung ein frequenz- und spannungsvariables Drehstromsystem



Angelehnt an Wambach, R.: Grundlagen der Elektrotechnik 3. TFH-Berlin

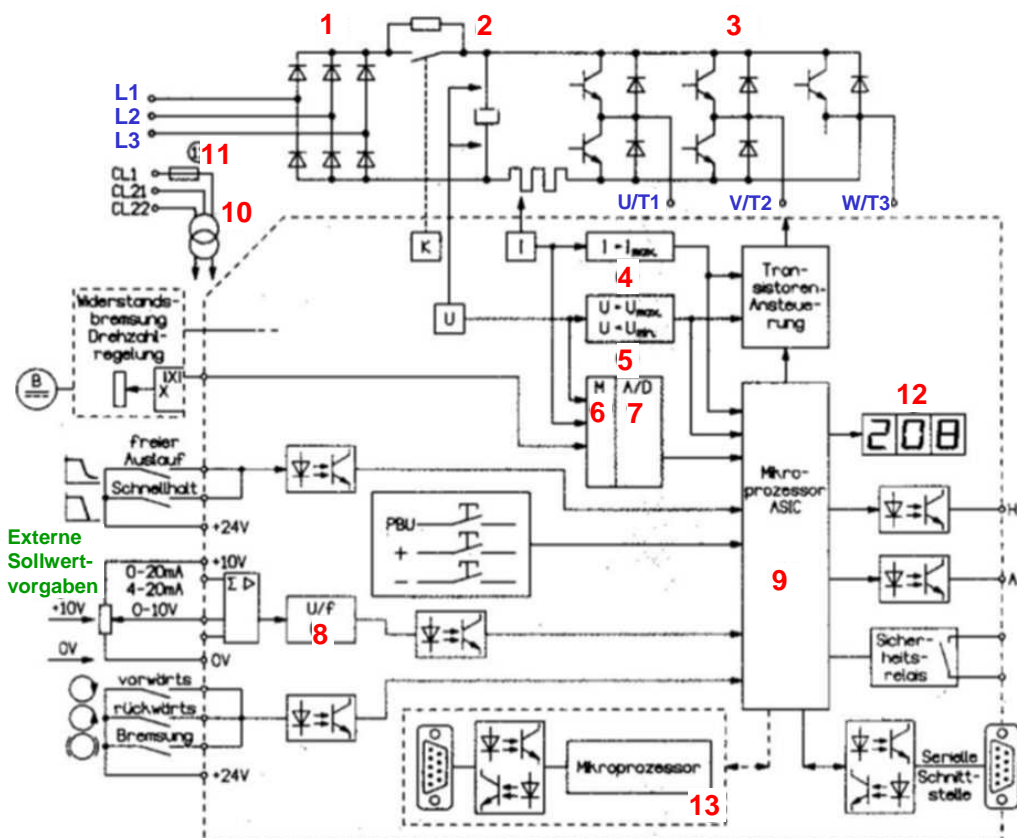


Beuth Hochschule für Technik Berlin
Fachbereich VI - Informatik und Medien
Linnemann, SoSe 2015

Elektrische Systeme 2

VL-ES2.ppt
Folie 71
Nur für Lehrzwecke

Blockschaltbild eines dreiphasigen Frequenzumrichters



1. Gleichrichterbrücke
2. Transistoren Wechselrichterbrücke
3. Ladestrombegrenzung
4. Motoren- und Umrichtertechnik
4. Überstromregler
5. Über-/unter-spannungsregler
6. Multiplexer
7. Analog – Digital-Umwandler
8. U/f - Umsetzer
9. Mikroprozessor
10. Versorgung des Steuerteils
11. Sicherung des Steuerteils
12. Numerische Betriebsanzeige
13. Kommunikationskarte für serielle Schnittstelle bzw. Interbus- S – Schnittstelle

Quelle: Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen

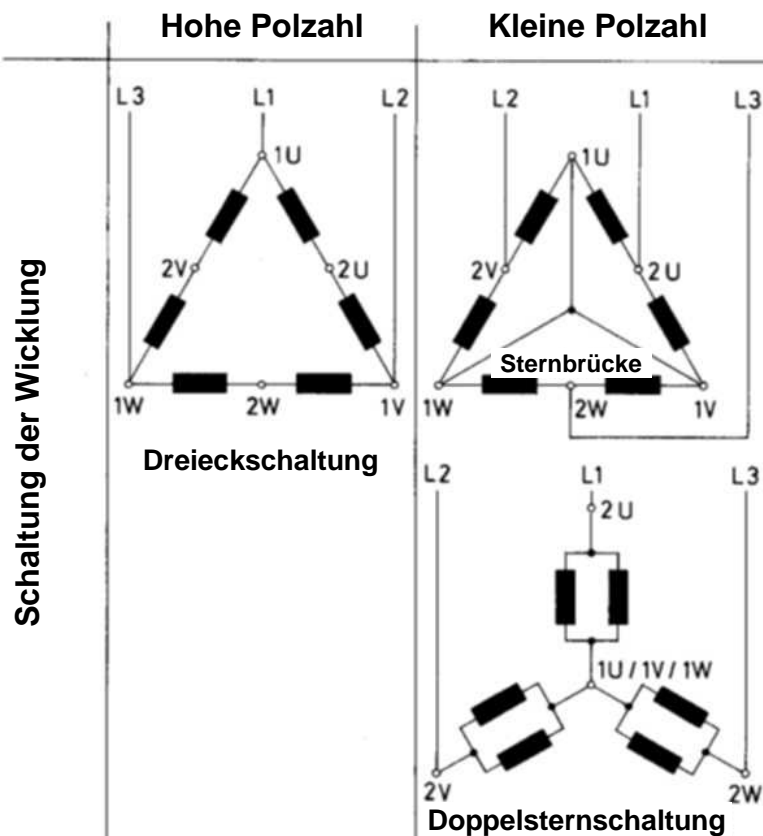


Beuth Hochschule für Technik Berlin
Fachbereich VI - Informatik und Medien
Linnemann, SoSe 2015

Elektrische Systeme 2

VL-ES2.ppt
Folie 72
Nur für Lehrzwecke

Dahlanderschaltung



Mit 1/2/3/4 Polpaaren → 3000/1500/1000/750 min⁻¹

Meist nur 2-stufig ausgeführt, heute eher weniger verwendet.



Weiterentwicklung im Elektromaschinenbau



Was sind die Ursachen des Erfolges?



- Tieferes Verständnis der physikalischen Effekte
 - Verbesserte „realistische“ Rechenmodelle
 - Möglichkeiten der Messtechnik
- Numerische Rechentechnik
 - Simulationswerkzeuge
- Entwicklungen in Hard- und Software

- Entwicklungen in der Materialwissenschaft
 - Weich- und Hartmagnete
 - Hochenergiemagnete
 - Pulververbundwerkstoff
 - Isolationswerkstoffe
 - ...
- Leistungselektronik
- Fertigungstechnik




© IEM 2004 Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h.c. Kay Hameyer

Abschnitt 9-10

