



Technische  
Universität  
Braunschweig

**IMAB** Institut für Elektrische Maschinen,  
Antriebe und Bahnen  
TU Braunschweig  
- Professur Leistungselektronik -



# Grundlagen der Energietechnik

## Teil 3: Grundlagen der Leistungselektronik

Vorlesung (2)

Prof. Dr.-Ing. Regine Mallwitz

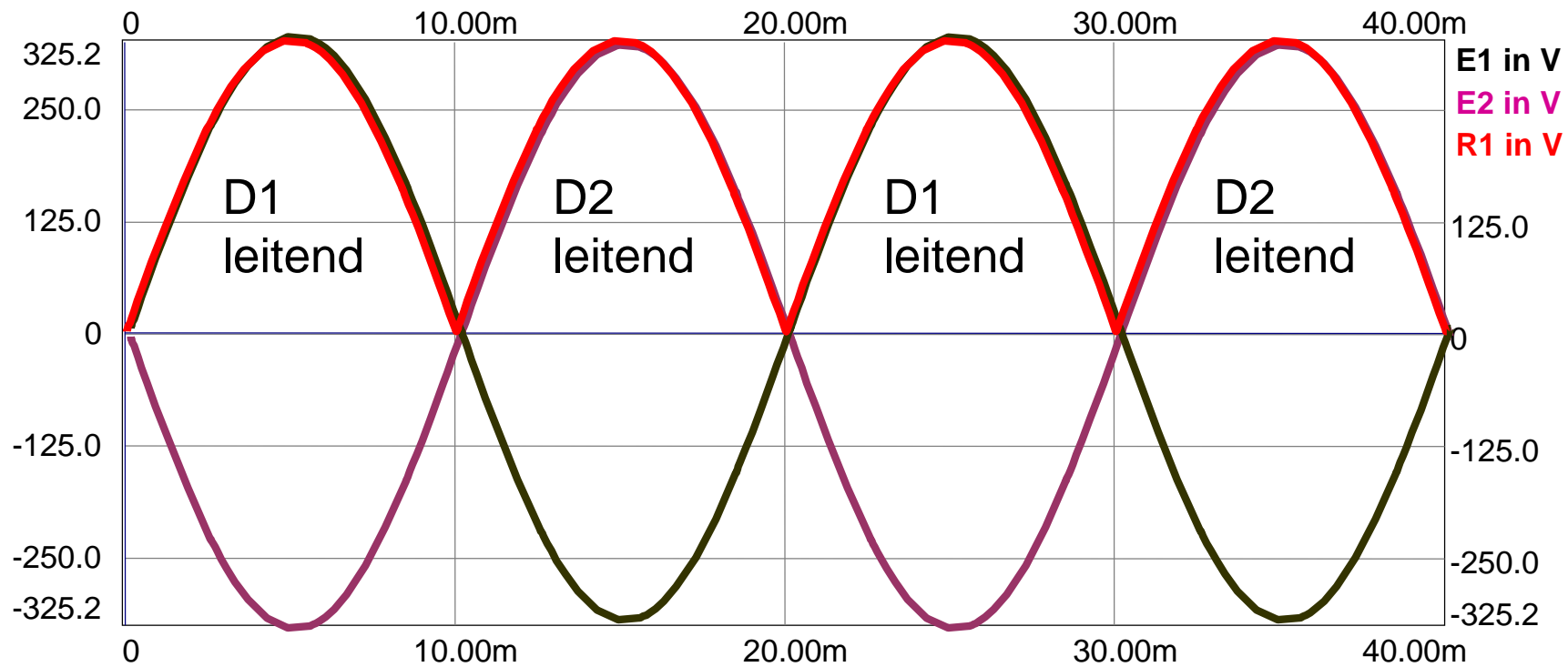
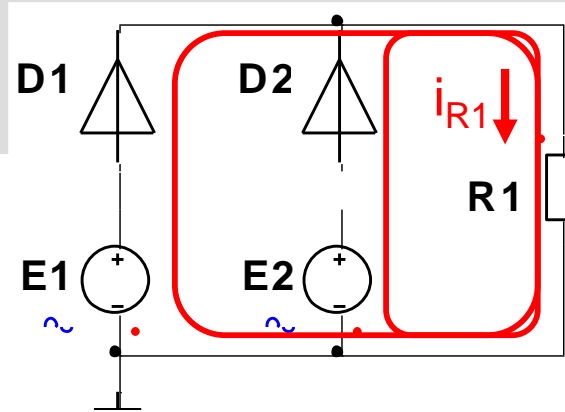
Institut für Elektrischen Maschinen, Antriebe und Bahnen - IMAB

# Was machen wir heute ?

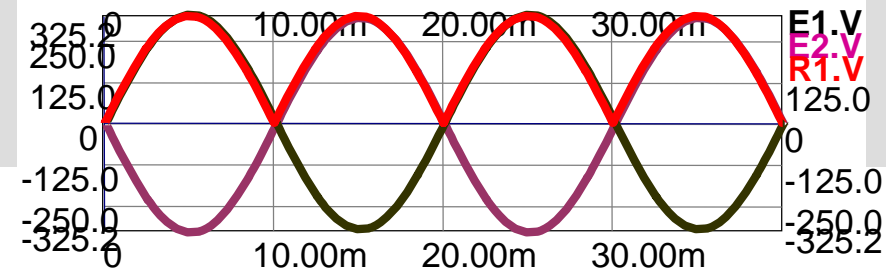
1. Einführung in die Leistungselektronik
  - 1.1. Aufgaben und Komponenten der Leistungselektronik
2. Leistungshalbleiter
  - 2.1. Bipolare Leistungshalbleiter: PN-Übergang, pn-Diode, Bipolartransistor, Thyristor, GTO
  - 2.2. Feldgesteuerte Leistungshalbleiter: MOSFET, IGBT
3. **Netzgeführte Stromrichter (Stromrichterschaltungen mit Dioden und Thyristoren)**
  - 3.1. **Gleichrichter – ungesteuert**
    - 3.1.1 **Mittelpunktschaltungen: M1U, M2U, M3U**
    - 3.1.2 **Brückenschaltungen: B2U, B6U**
  - 3.2. Gleichrichter – gesteuert
    - 3.2.1. M1C, M2C, M3C, B2C, B6C
4. Selbstgeführte Stromrichter (Stromrichterschaltungen mit MOSFET und IGBT)
  - 4.1. Gleichstromsteller
    - 4.1.1. Tiefsetzsteller
    - 4.1.2. Hochsetzsteller
    - 4.1.3. Zweiquadrantensteller
    - 4.1.4. Vierquadrantensteller (Vollbrücke)
  - 4.2. Umrichter
    - 4.2.1. Umrichter mit Gleichspannungs-Zwischenkreis (ein- und dreiphasig)

# M2U-Schaltung mit ohmscher Last

Zeigerdarstellung



# Kenngrößen der M2U-Schaltung mit ohmscher Last



- Gleichstromseitige Leistung

$$P_d = \frac{E1^2}{R1}$$

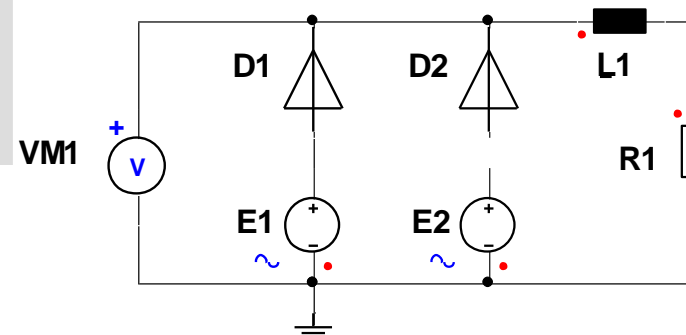
- Wechselstromseitige Scheinleistung

$$S_{ges} = \frac{\sqrt{2} \cdot E1^2}{R1}$$

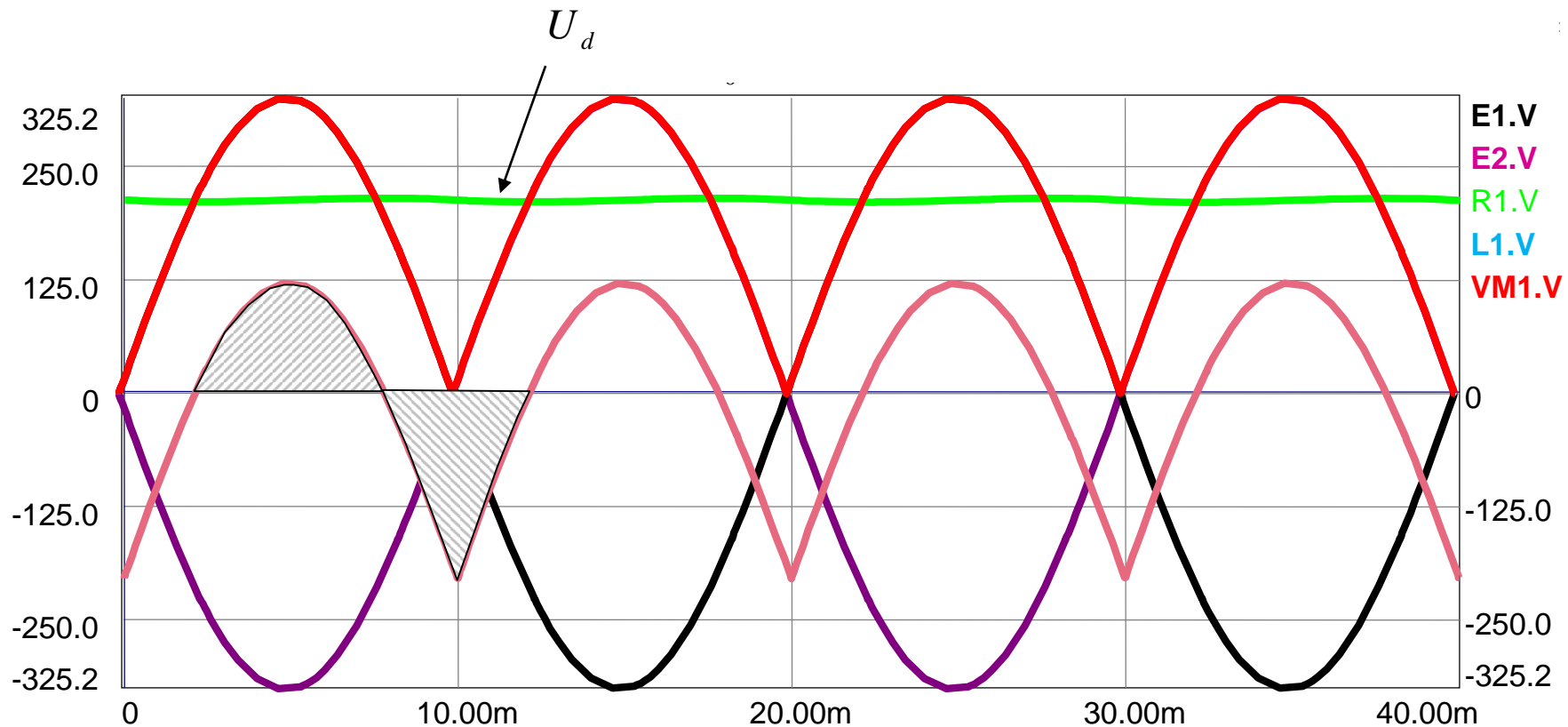
- Leistungsfaktor

$$\lambda = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

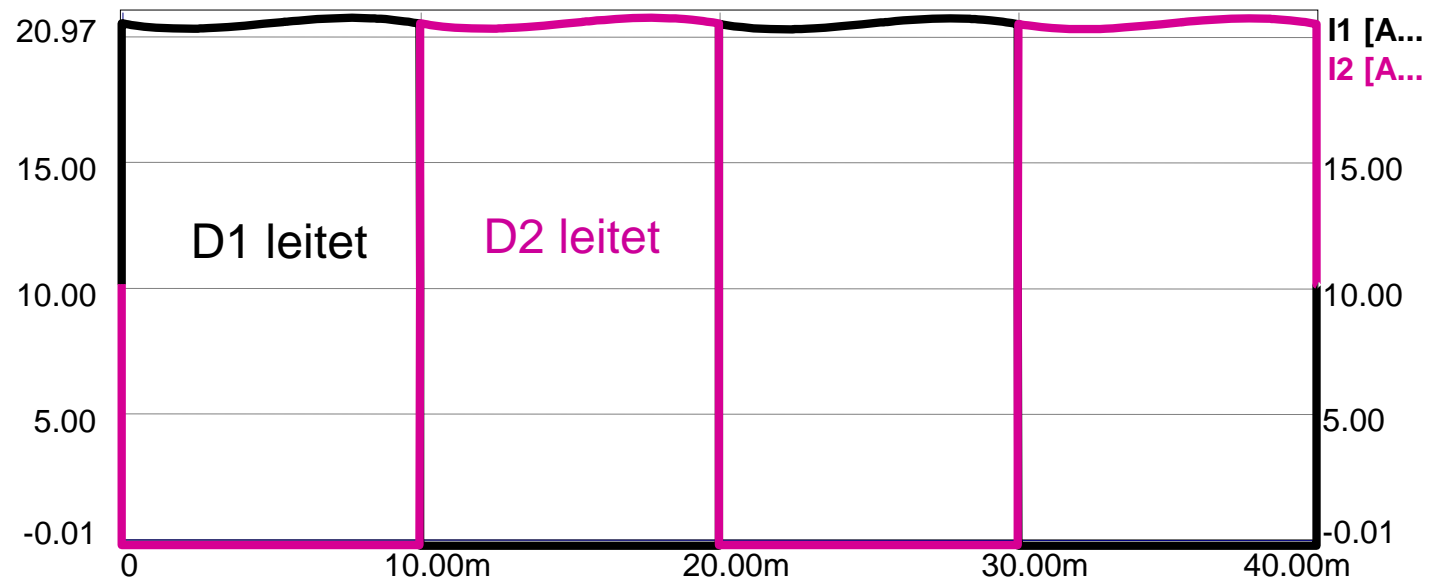
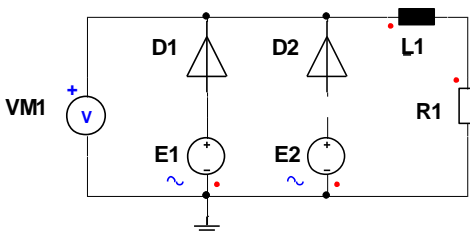
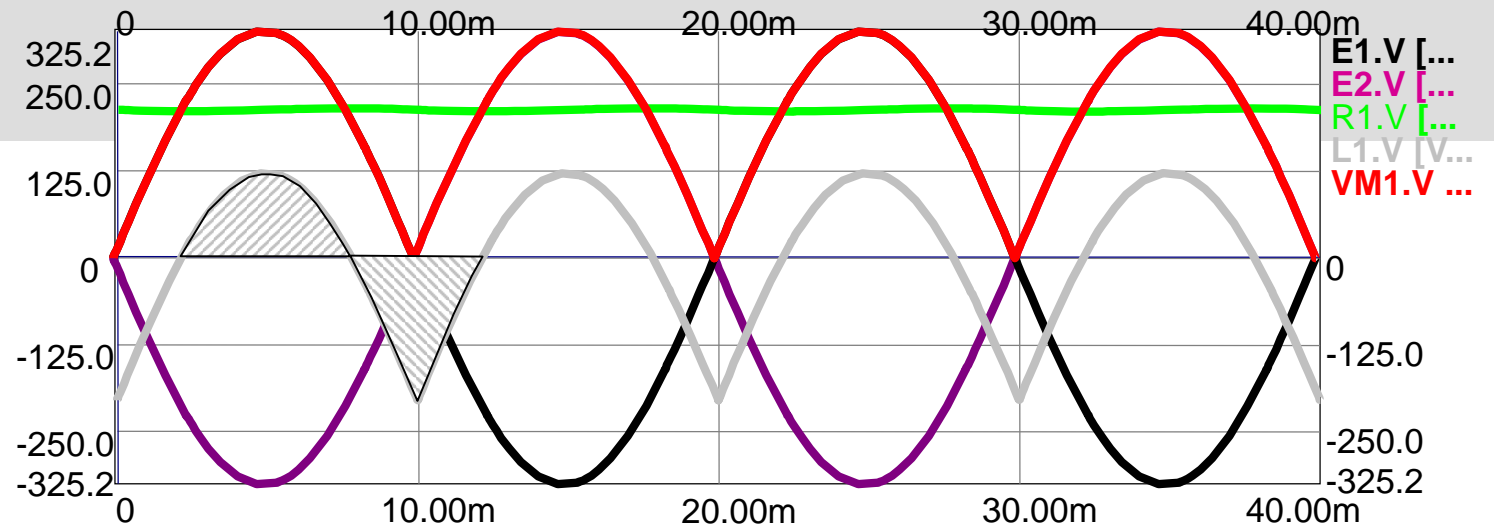
# M2U-Schaltung mit ohmsch-induktiver Last



$L1=1H$   
 $R1=10\Omega$   
 $E=230V$



# M2U-Schaltung mit ohmsch- induktiver Last

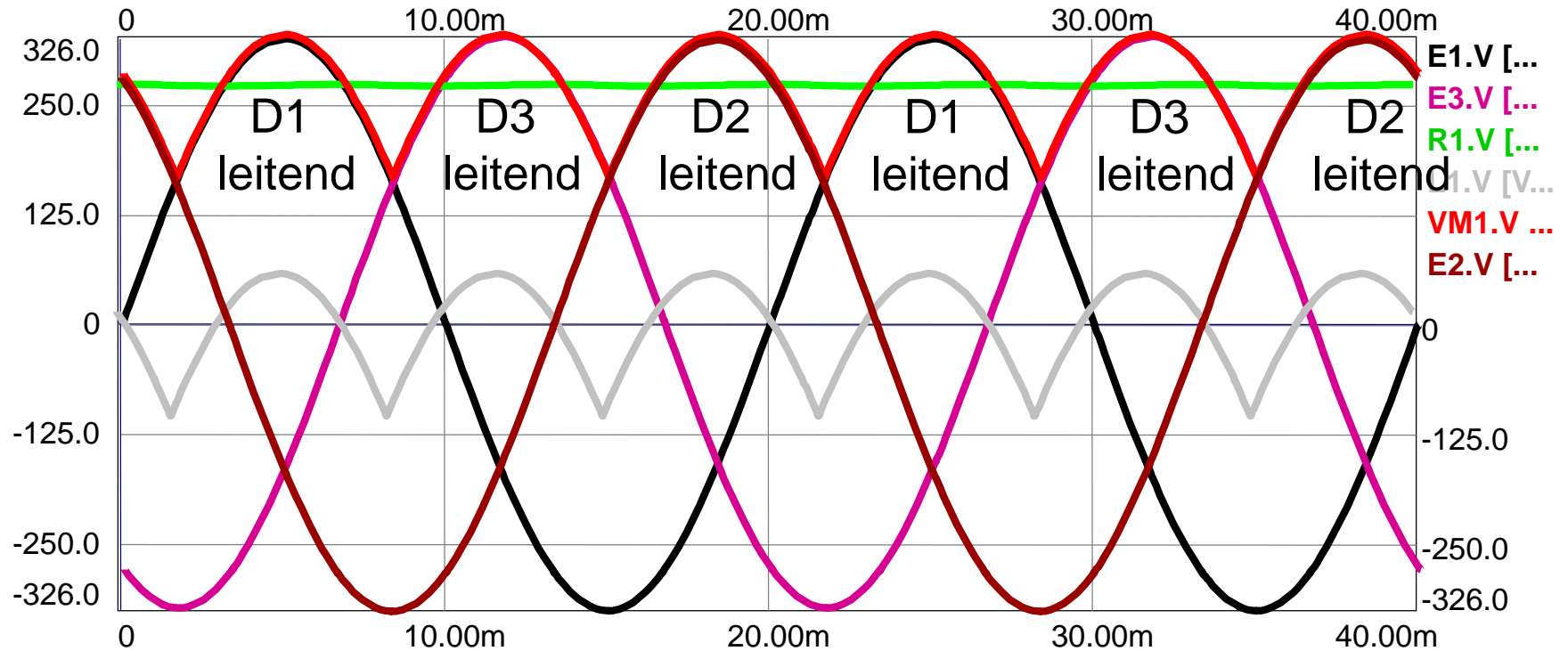
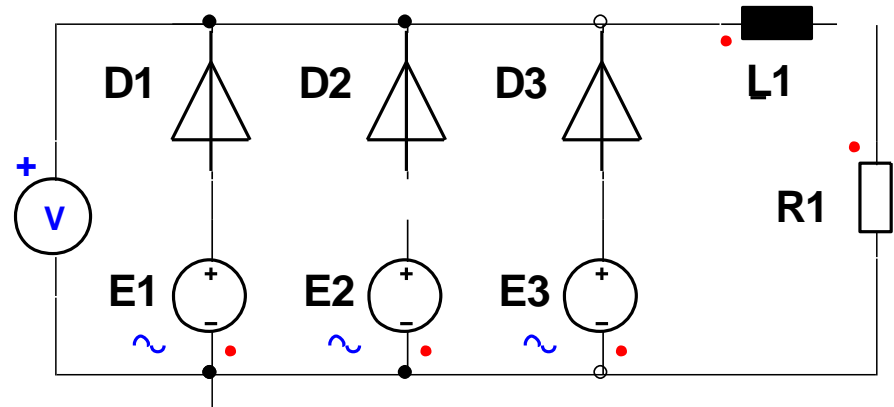
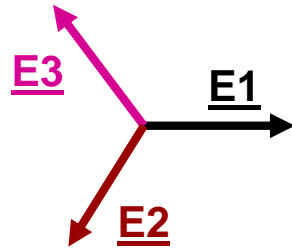


# M2U: Zusammenfassung

Aufbau und Funktionsweise (Spannungsverläufe, Stromverläufe) für

- Ohmsche Last
- Ohmsch-induktive Last (ohne Freilaufdiode)

# M3U-Schaltung mit ohmsch-induktiver Last



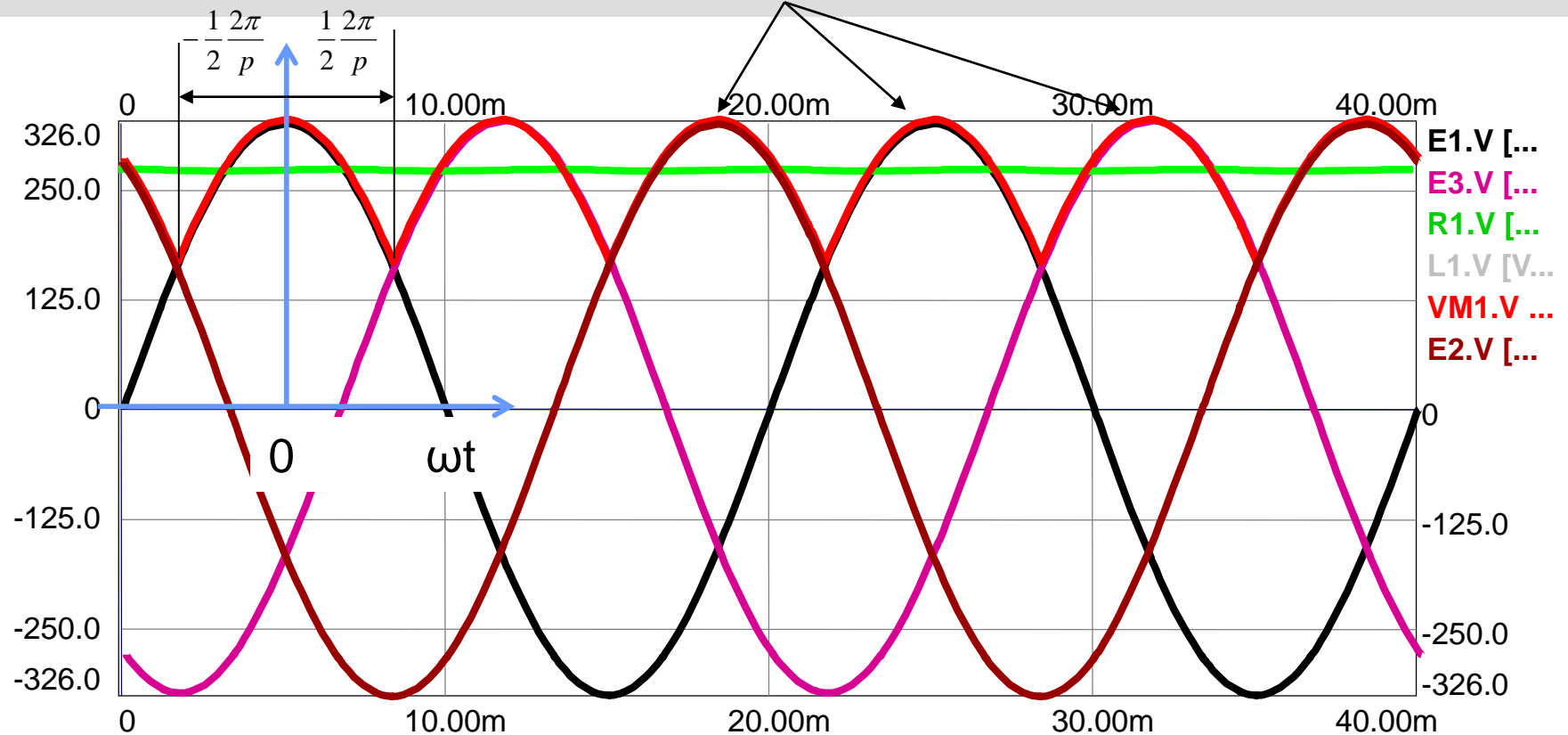


## Pulszahl $p=3$ pro Netzperiode



# M3U-Schaltung mit ohmsch-induktiver Last

Pulszahl  $p=3$  pro Netzperiode



Allgemeine Berechnung des  
Gleichspannungsmittelwertes  
für  $p \geq 2$ :

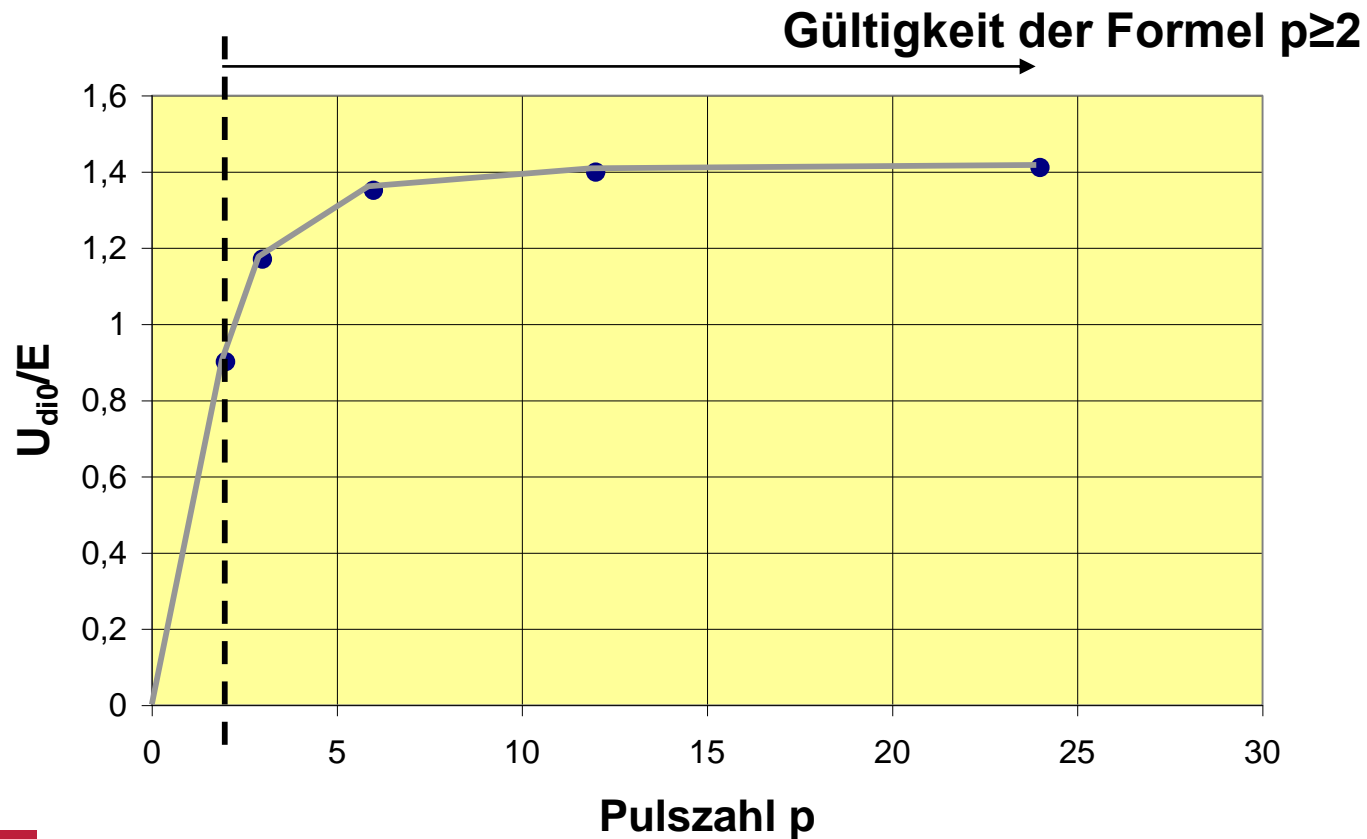
$$U_{di0} = \frac{1}{2\pi} \int_{-\frac{\pi}{p}}^{\frac{\pi}{p}} \sqrt{2}E \cdot \cos(\omega t) d(\omega t) = \frac{p}{2\pi} \sqrt{2}E \int_{-\frac{\pi}{p}}^{\frac{\pi}{p}} \cos(\omega t) d(\omega t) = \frac{p}{2\pi} \sqrt{2}E (\sin(\omega t)) \Big|_{-\frac{\pi}{p}}^{\frac{\pi}{p}}$$

ideelle  
Leerlaufspannung

$$U_{di0} = \frac{p}{2\pi} \sqrt{2} E (\sin(\omega t))^{\frac{p}{2}} \Big|_{-\frac{\pi}{p}}^{\frac{\pi}{p}} = \frac{p}{2\pi} \sqrt{2} E \cdot 2 \cdot \sin \frac{\pi}{p} = E \frac{p\sqrt{2}}{\pi} \sin \frac{\pi}{p}$$

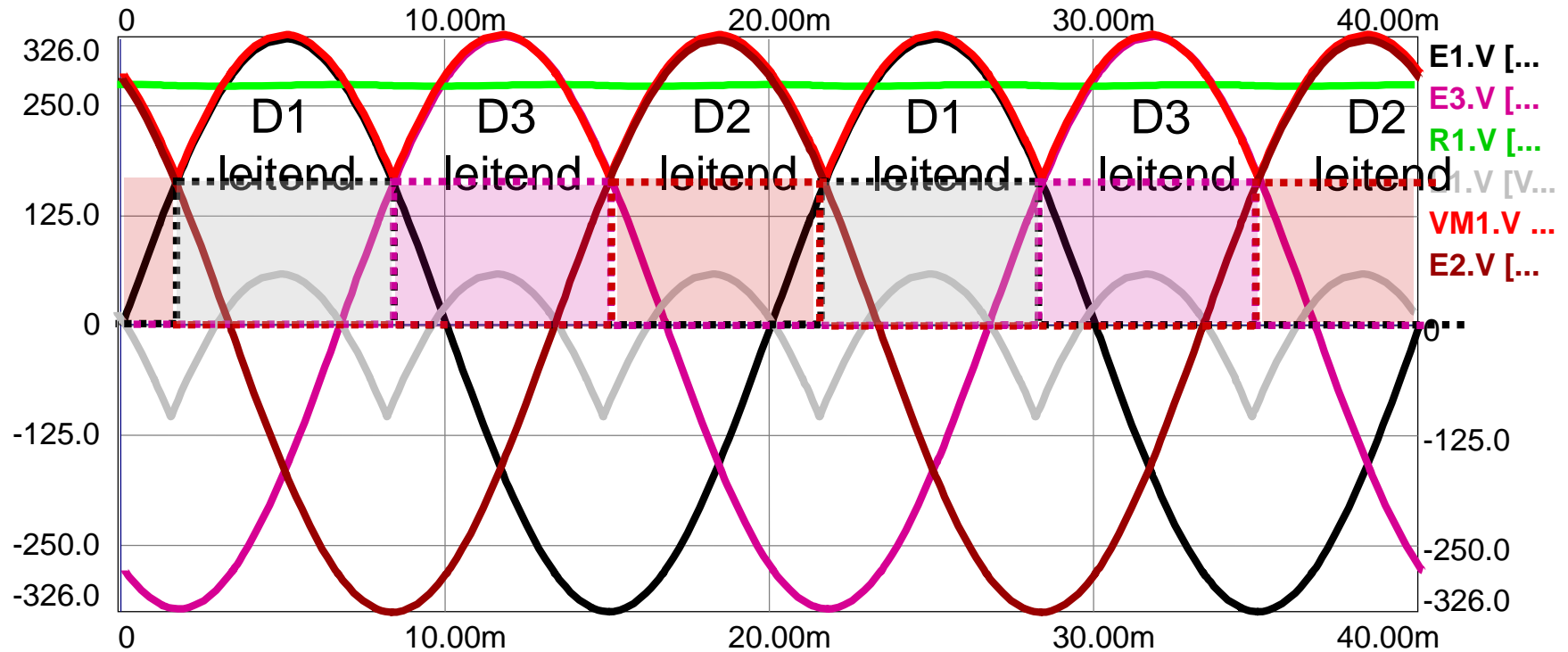
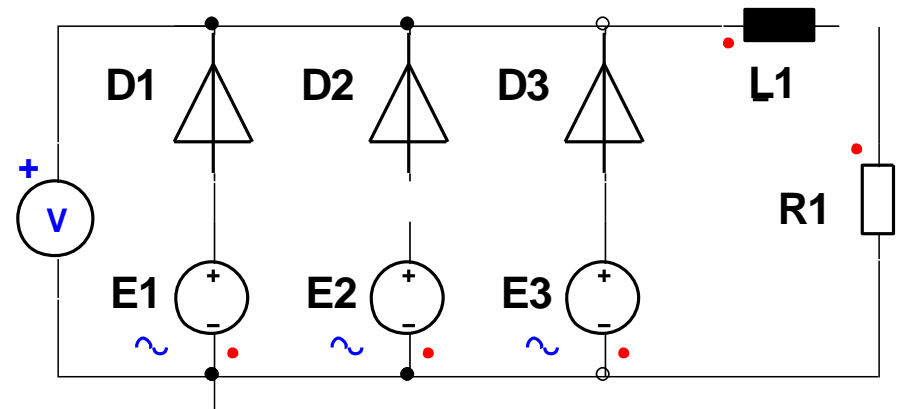
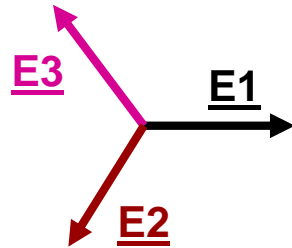
bzw.

$$\frac{U_{di0}}{E} = \frac{p\sqrt{2}}{\pi} \sin \frac{\pi}{p}$$

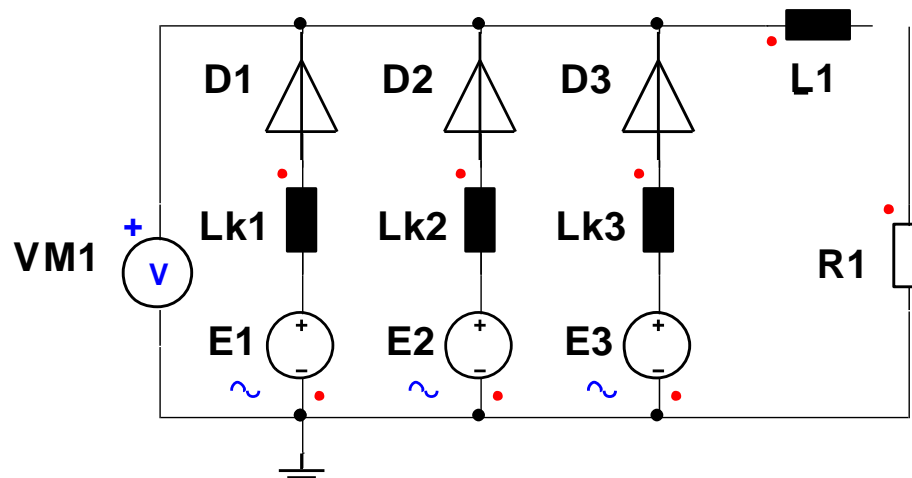
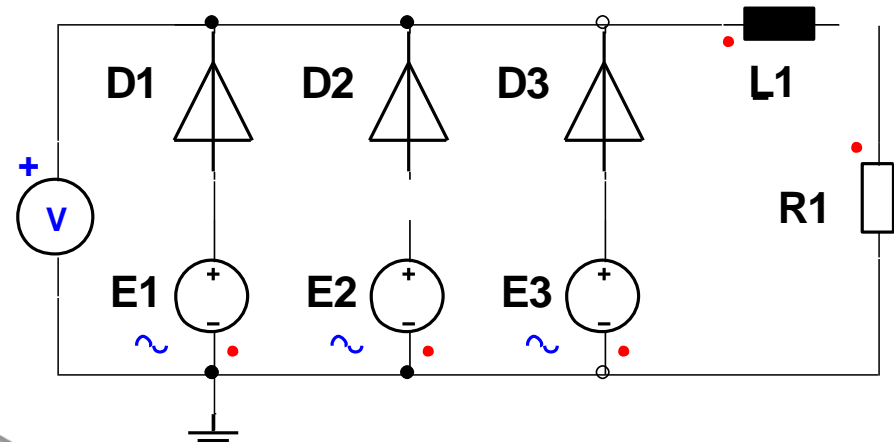


# M3U-Schaltung mit ohmsch-induktiver Last

- Der Strom kommutiert von einer Diode auf die nächste Diode.



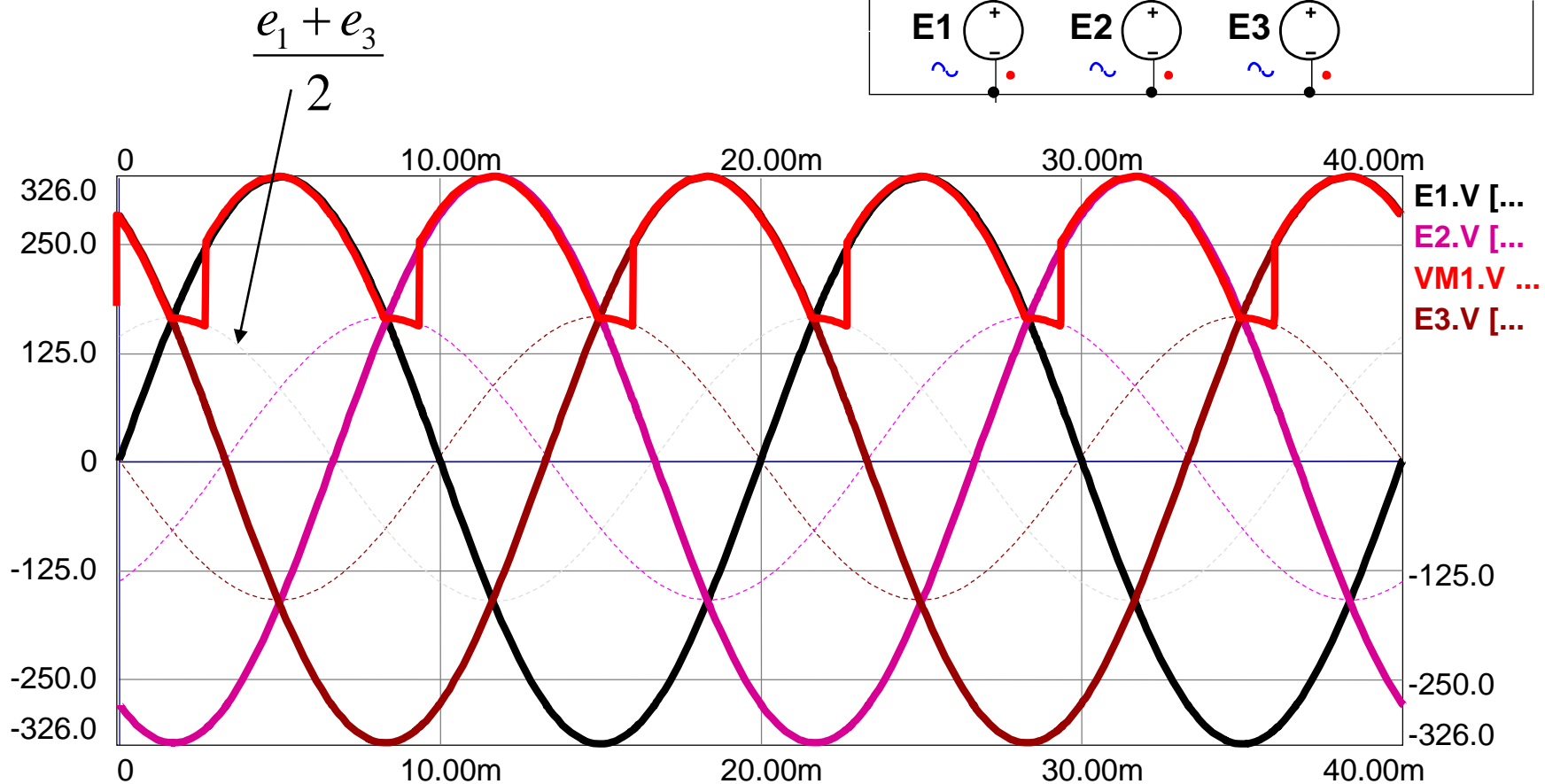
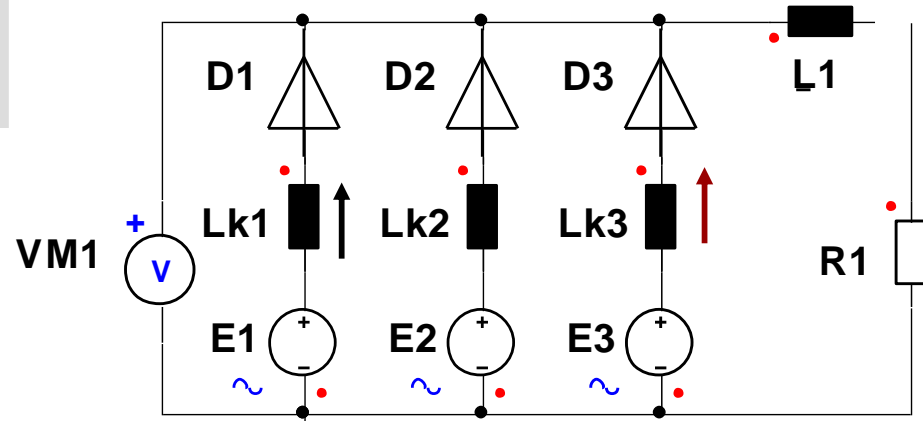
# M3U - Schaltung



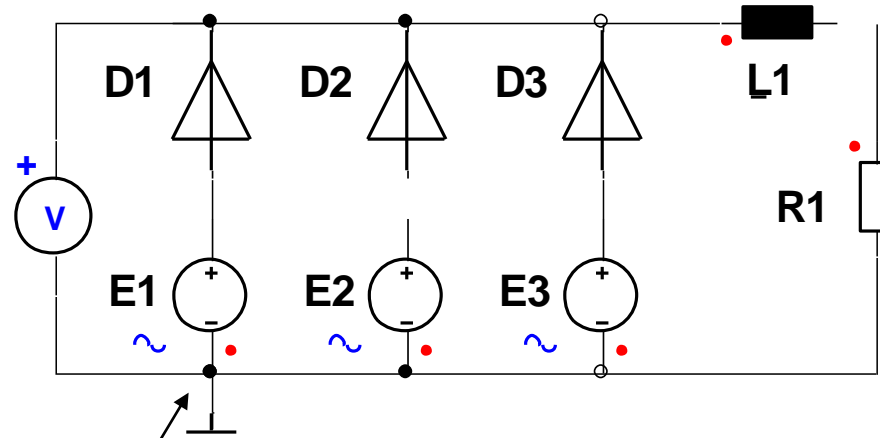
**Berücksichtigung des  
induktiven Anteils der  
Netzimpedanz:**

# M3U - Schaltung

Berücksichtigung des induktiven Anteils der Netzimpedanz:



# M3U - Schaltung



ungesteuert

3-pulsig

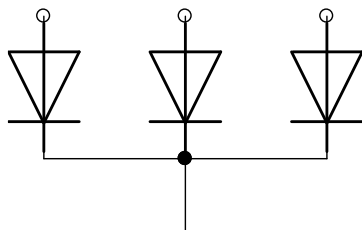
Mittelpunktschaltung

E3

E1

E2

# Gleichrichter – Mittelpunktschaltung M3U (1903)



Drehstrom: 220 Volt / 75 Amp. / 50 Perioden  
Gleichstrom: 100/140 Volt / 150 Ampere  
Gleichstrom: 140/165 Volt / 65 Ampere

- Quecksilberdampfgleichrichter wandelten dreiphasigen Wechselstrom in Gleichstrom um.
- Die drei Phasen wurden an die Graphitanoden in den drei großen Armen angeschlossen



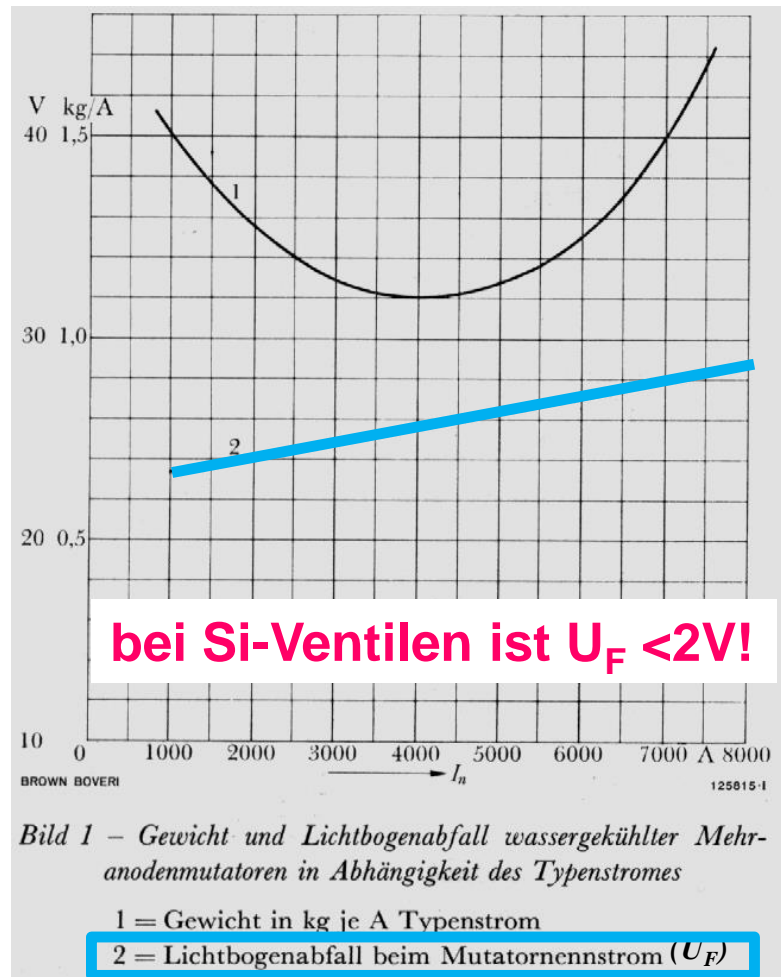
Gleichrichterschrank

- mit Handrad zur Spannungsregelung
- mit Sichtfenster (geschwärzte Glasscheibe) zur Beobachtung der Entladungen des Gleichrichters

<http://www.hts-homepage.de/Klingerpark/Klinger5.html>

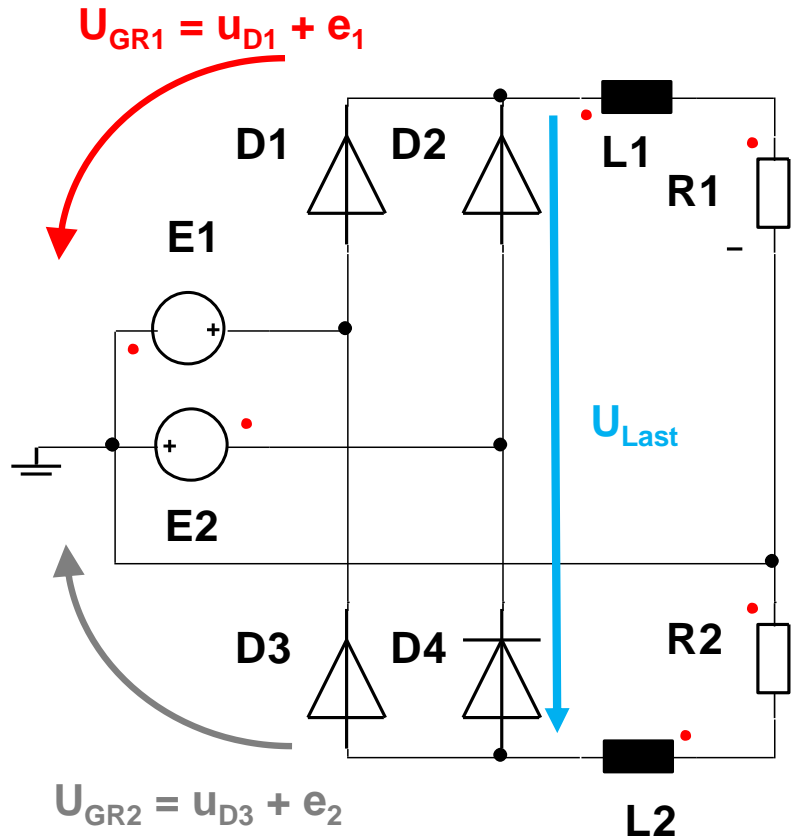


# Quecksilberdampfgleichrichter ermöglichten hohe Leistungen bei hohem spezifischen Gewicht und hohen Verlusten

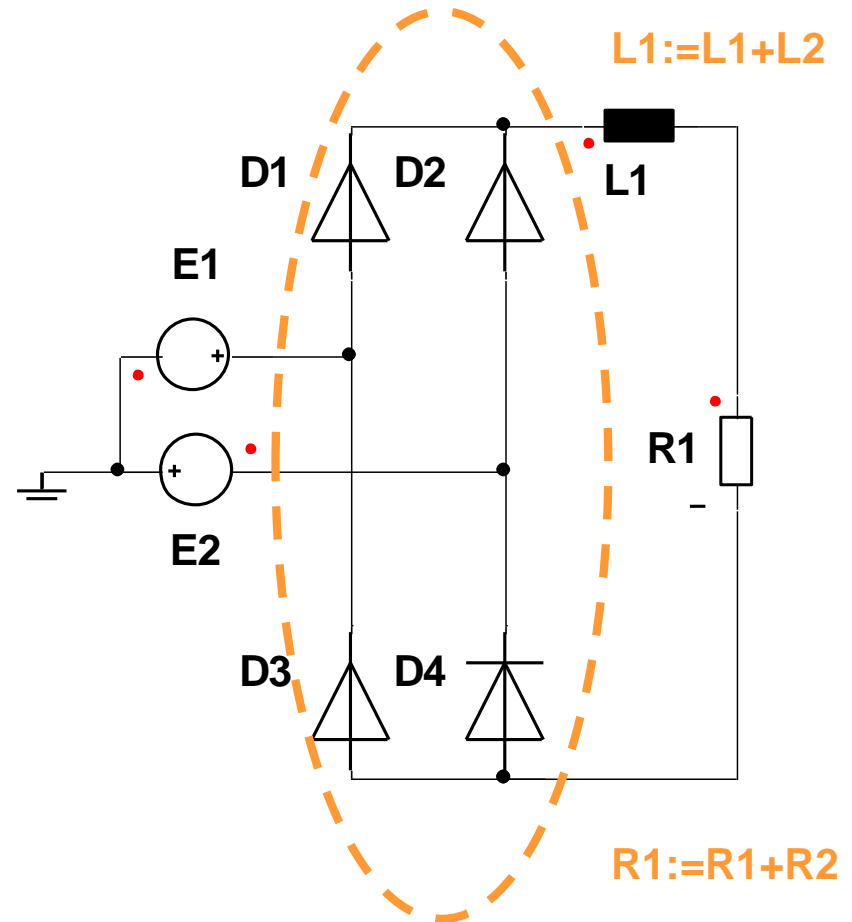


Quecksilberdampfgleichrichter in der Maschinenhalle der Zeche Zollern II/IV in Dortmund-Bövinghausen (560V/1330A)

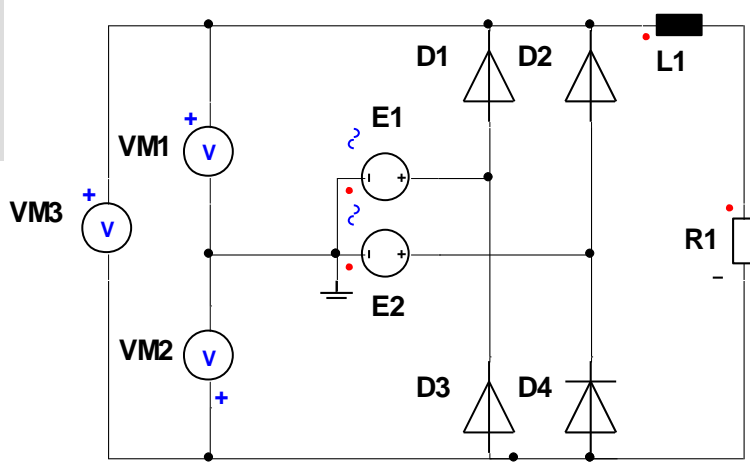
# Gleichrichter – Brückenschaltungen



$$U_{Last} = U_{GR1} - U_{GR2}$$



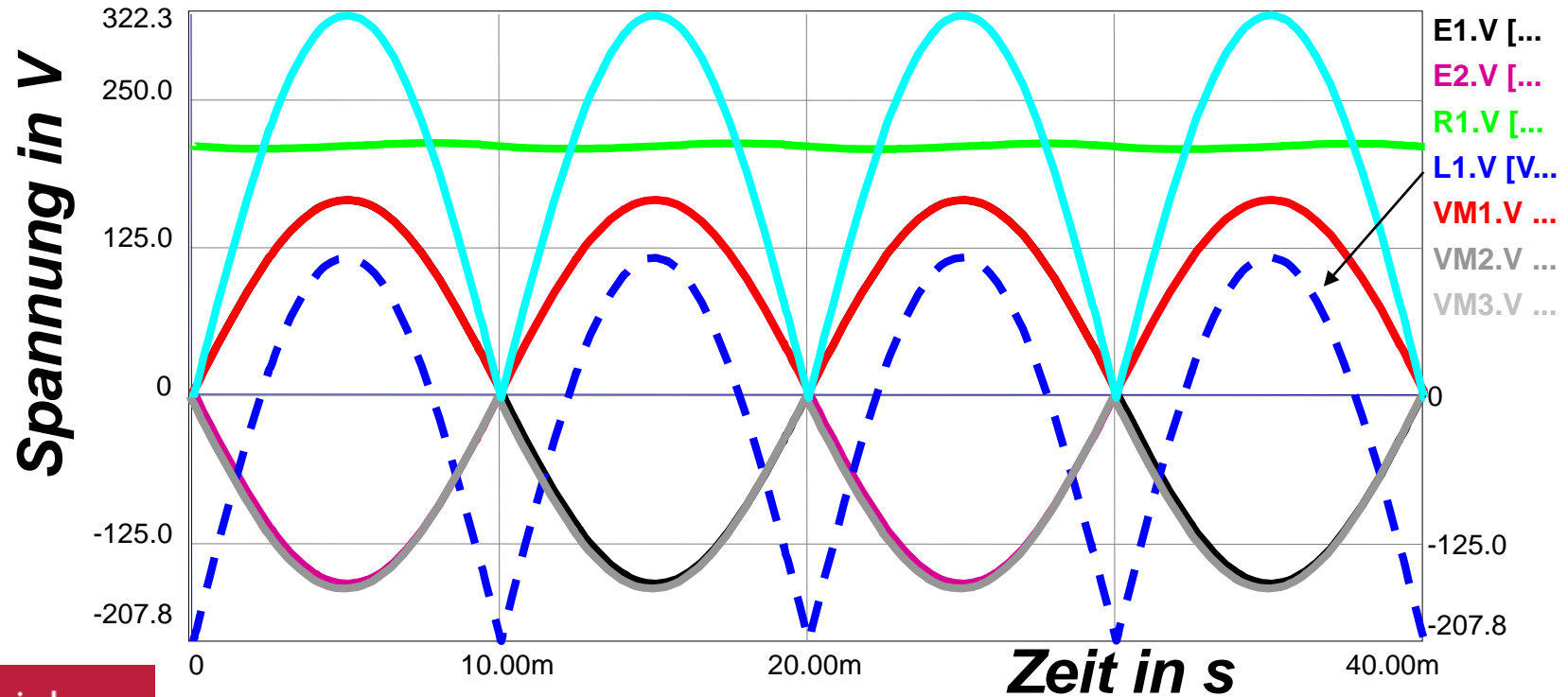
→ Brückenschaltung



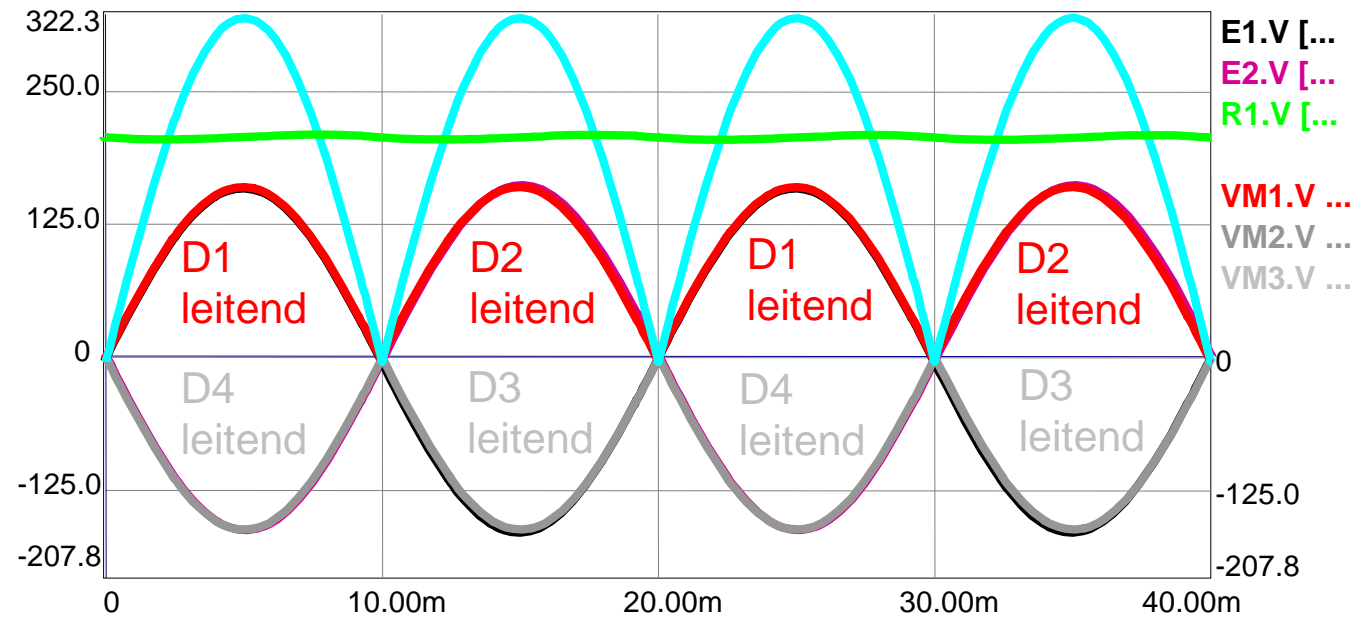
$E1=E2=115V$   
 $L1 = 1H$   
 $R1= 10\Omega$   
 $f= 50Hz$

→ B2U

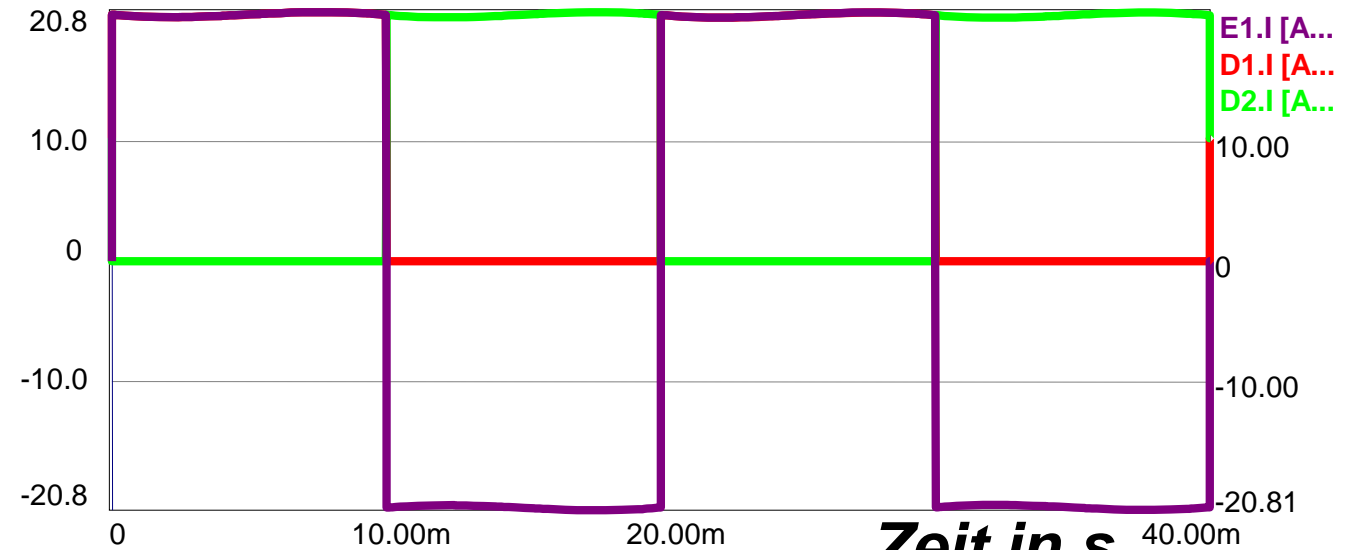
$$U_{\text{Last}} = VM3 = VM1 - VM2$$



# Spannungsverläufe



# Stromverläufe



# Kenngrößen der ungesteuerten Gleichrichter – Brücke B2U

- Die erzeugte Gleichspannung ergibt sich aus der Summe von 2 in Reihen geschalteten M2U:

$$\frac{U_{di0}}{E} = \frac{4\sqrt{2}}{\pi}$$

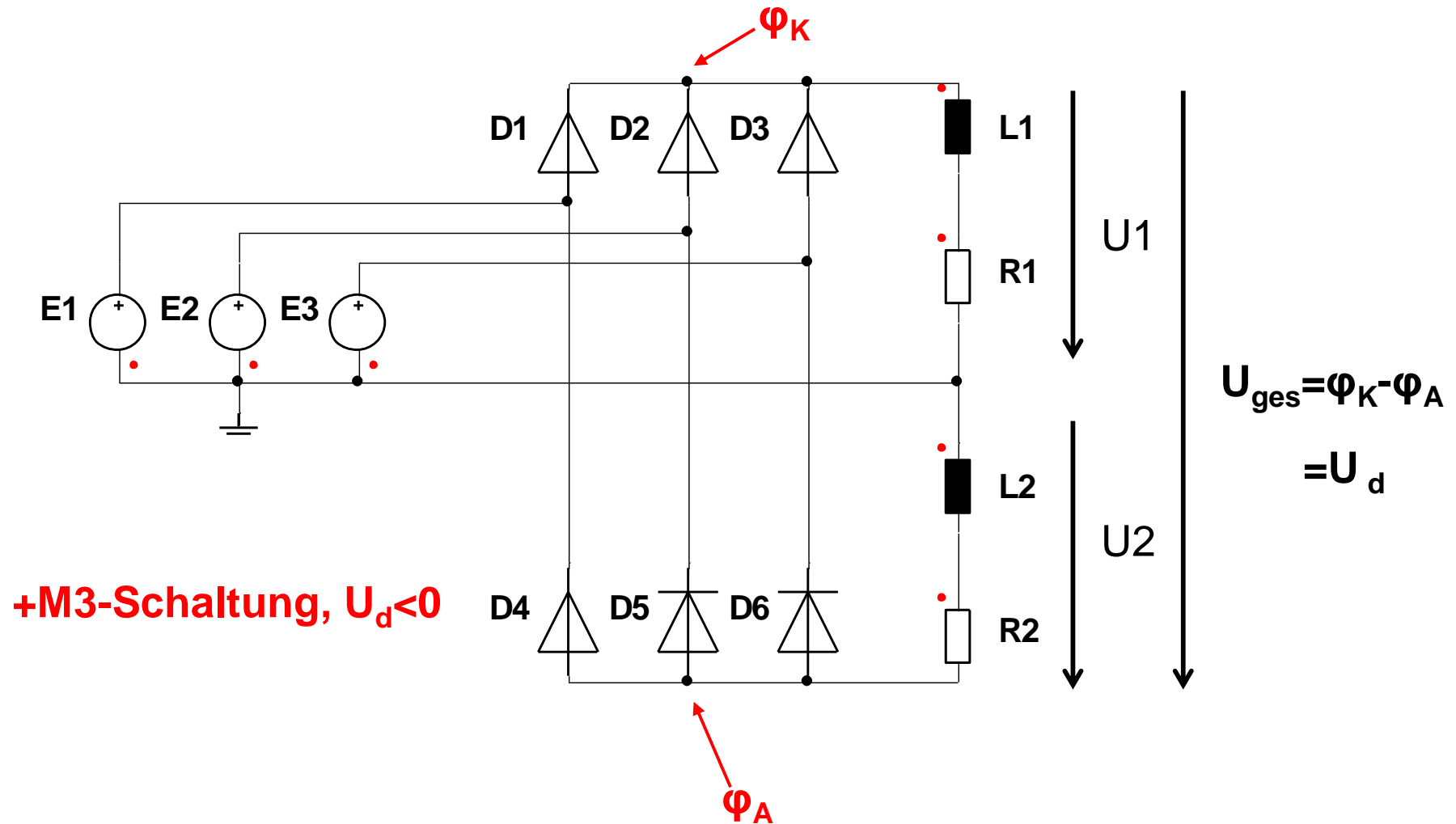
- Der Leistungsfaktor ist bei hinreichend großer Glättungsdrossel:

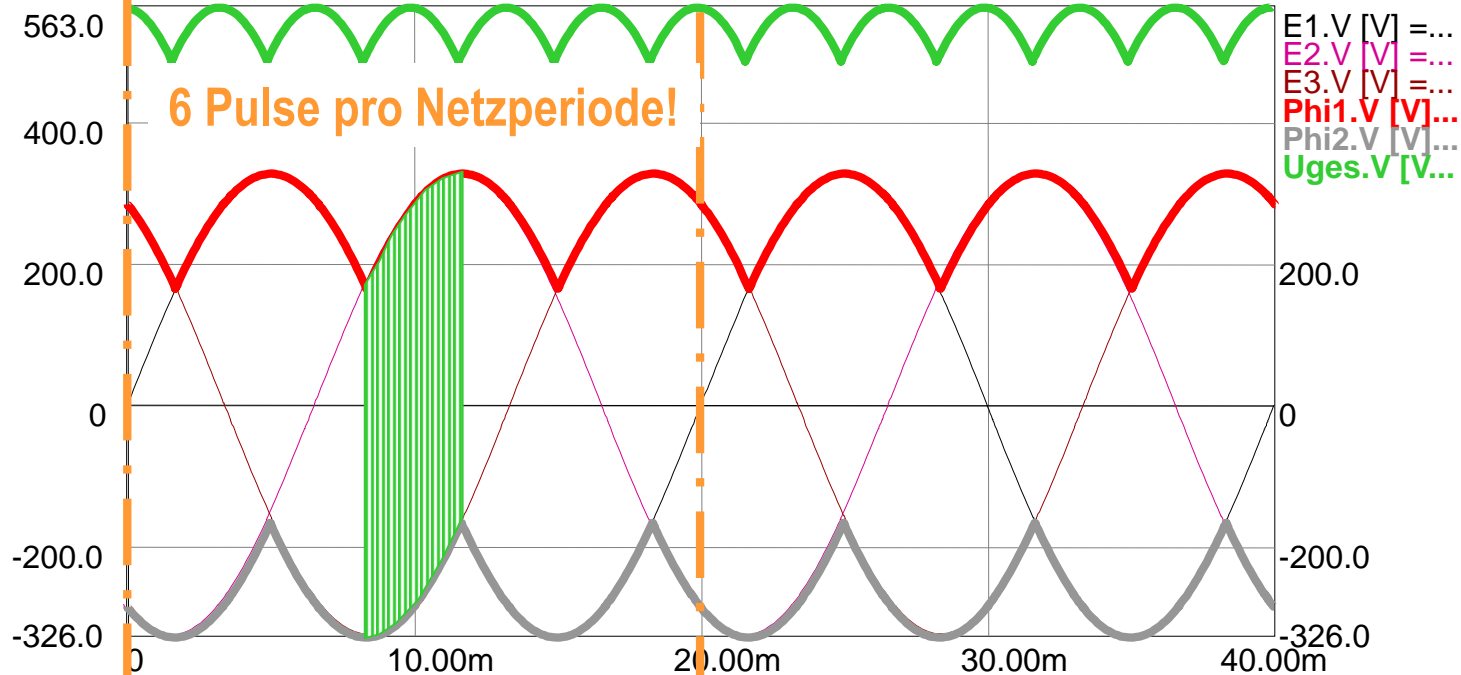
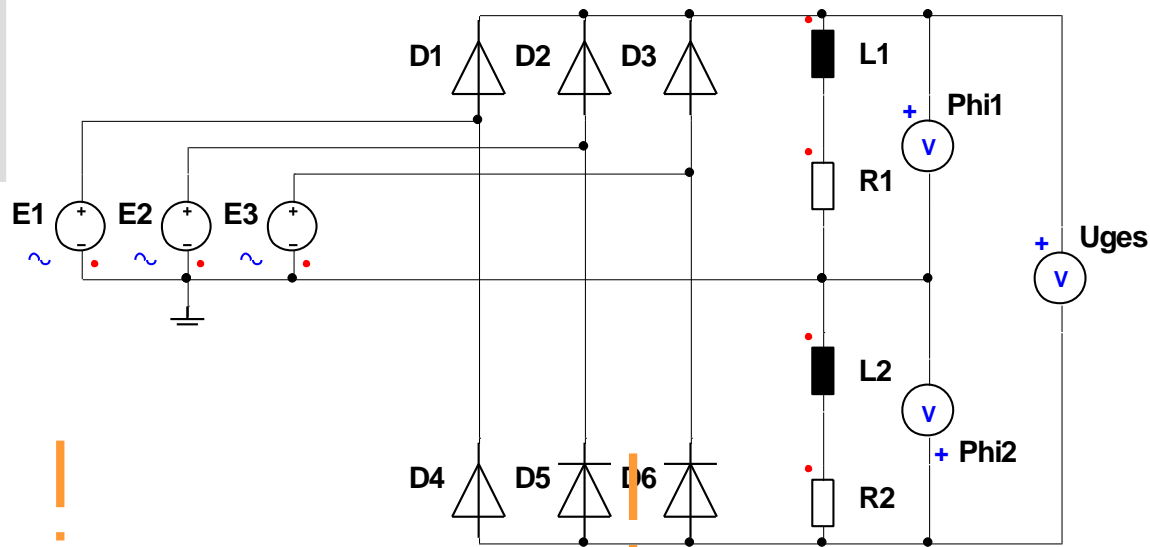
$$\lambda = \frac{P}{S} = \frac{\frac{4\sqrt{2}}{\pi} E \cdot I_d}{2 \cdot E \cdot I_d} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} = 0,9 \quad ! \quad (\text{M2U: } 0,637)$$

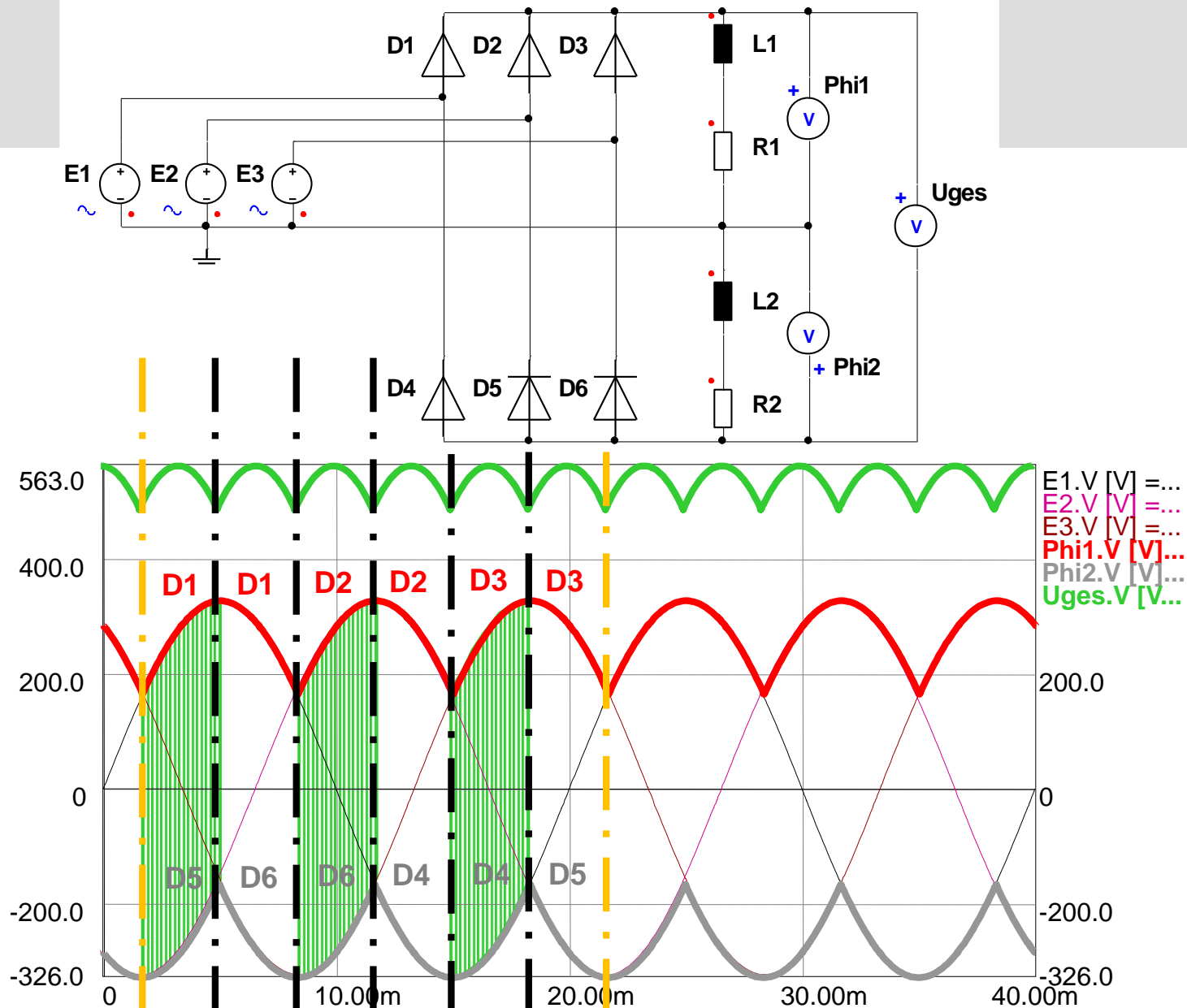
- Unter Annahme eines gegebenen Spannungsabfalls  $U_T$  an einer Diode ergibt sich eine Verlustleistung von:

$$P_{V.ges} = 2 \cdot I_d \cdot U_T$$

# Ungesteuerte Gleichrichter – Brücke B6U

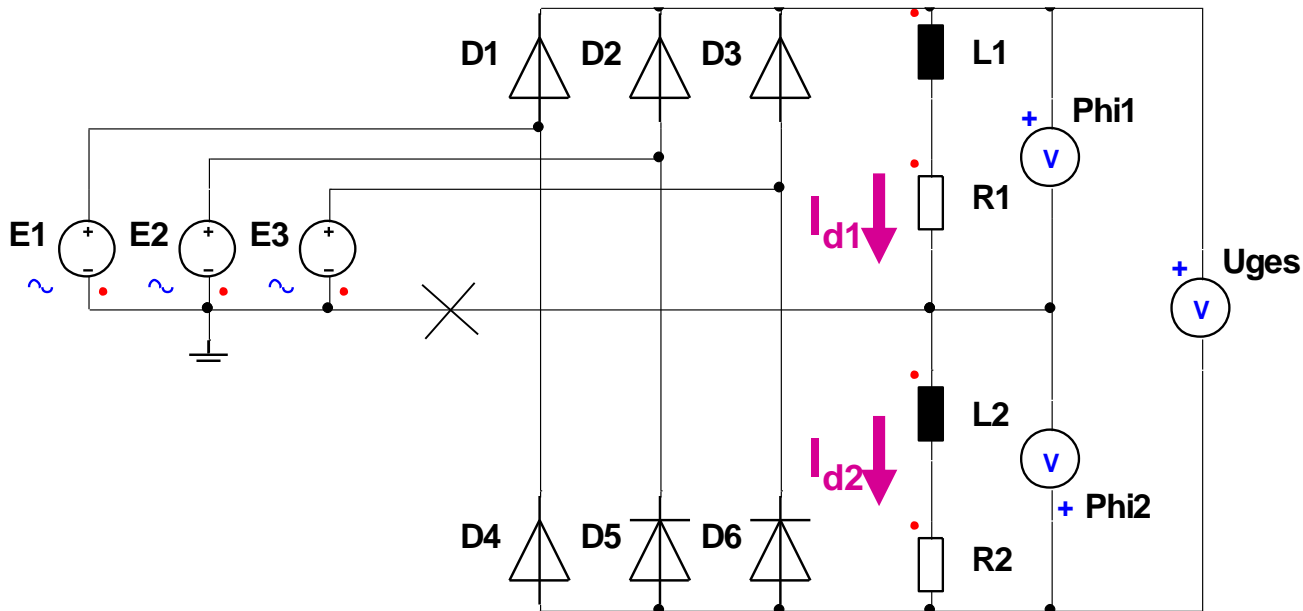








# Ungesteuerten Gleichrichter – Brücke B6U



→ Die B6U kann als Reihenschaltung von 2 M3-Schaltungen aufgefasst werden.

→ Für  $L1 = L2$  und  $R1 = R2$  gilt  $I_{d1} = I_{d2}$

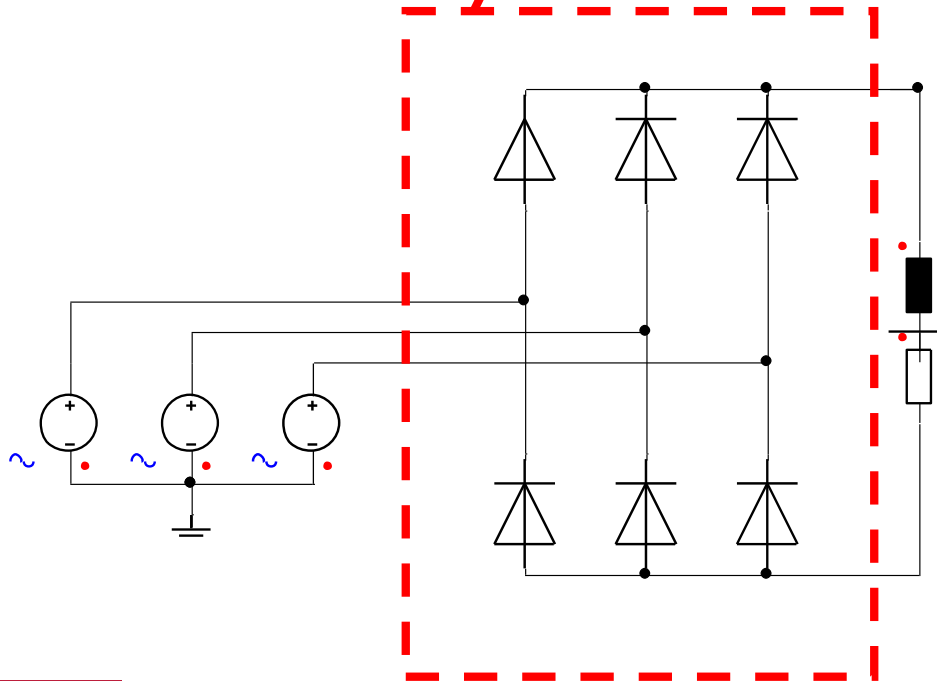
→ Der Neutraleiter ist stromfrei und kann auch entfallen!

	M3 RL-Last	B6 RL-Last
Netz- stromverlauf		
Stromform- faktor $I_{RMS}/I_{AV}$	$\sqrt{3} = 1,73$	$\sqrt{\frac{3}{2}} = 1,225$
Leistungs- faktor $P/S_{ges}$	0,477	0,675
Max. Ventil- spannung	$2\hat{e}$	$\hat{e}$
Ventilverluste	$I_d * U_F$	$2 * I_d * U_F$

# Ungesteuerten Gleichrichter – Brücke B6U

**B6U**

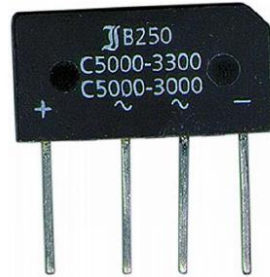
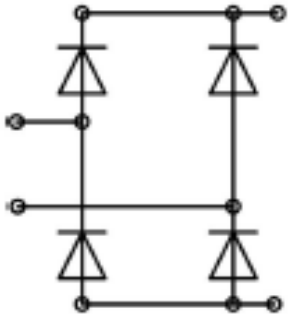
Brückenschaltung      6pulsig      ungesteuert



$$\frac{U_{di0}}{E} = 2 \frac{3\sqrt{2}}{\pi} \sin \frac{\pi}{3}$$

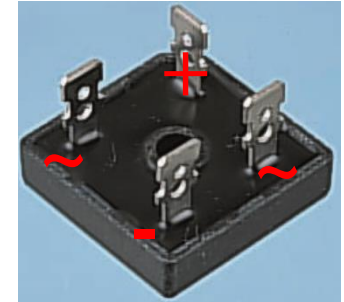
$$\frac{U_{di0}}{E_{12}} = 2 \frac{3\sqrt{2}}{\pi\sqrt{3}} \sin \frac{\pi}{3} = 2 \frac{\sqrt{6}}{\pi} \sin \frac{\pi}{3}$$

# Gleichrichter-Brücken: Ausführungsbeispiele



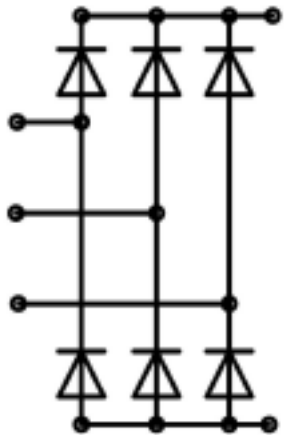
Quelle: Diotec

$V_{RSM} = 250V\sim$ ,  
 $I_d = 5A$  ( $T_C \approx 50^\circ C$ )  
 $L \times B \times H = 32mm \times 5,6mm \times 17mm$



$V_{RSM} = 250V\sim$   
 $I_d = 12 \dots 35 A$  ( $T_C = 55^\circ C$ )  
 $L \times B \times H = 29mm \times 29mm \times 11/24mm$

Quelle: Fairchild



**SKD 60**



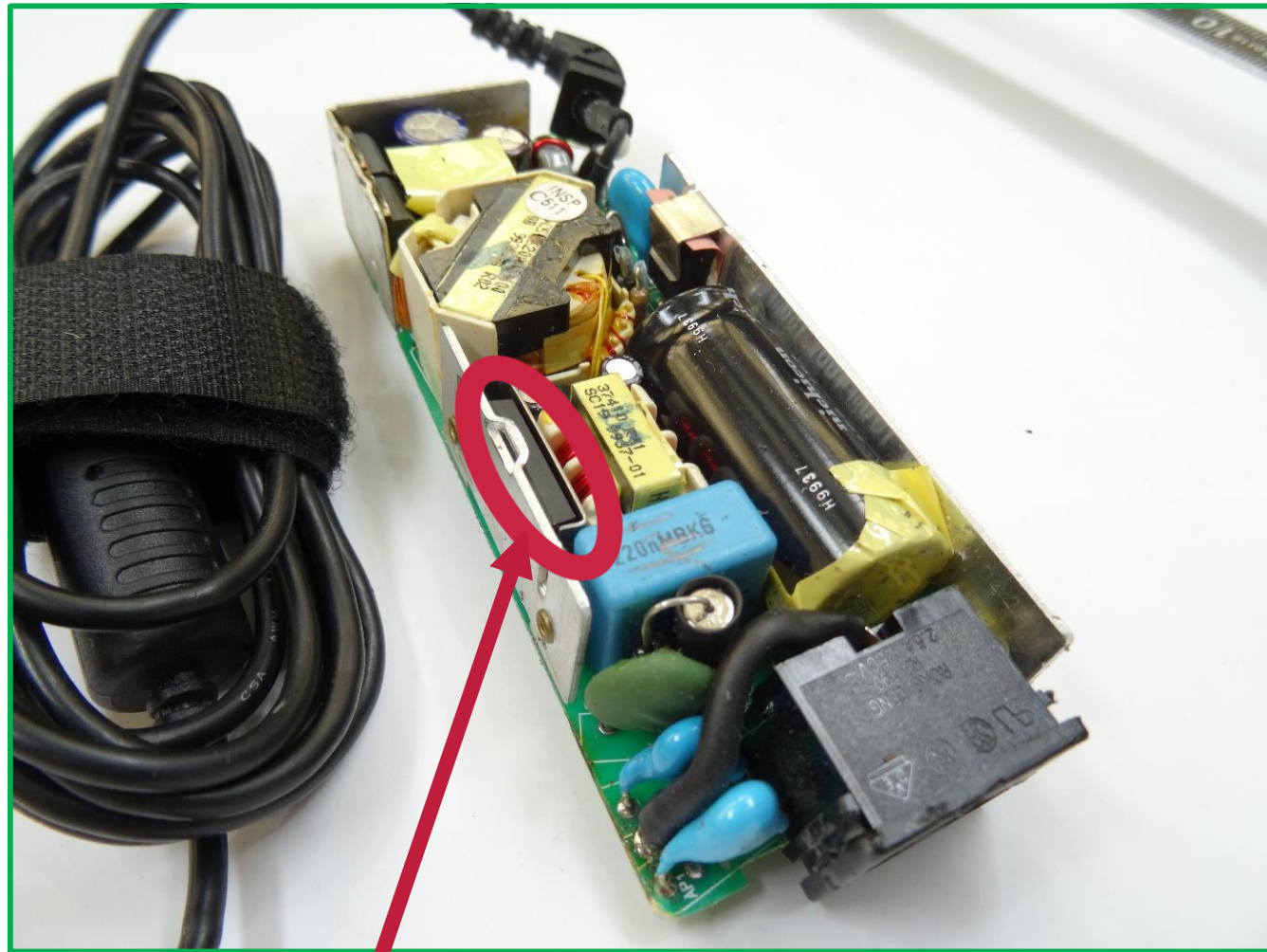
**SEMIPONT® 2**

Quelle: Semikron

$V_{RSM} = 400V\sim$   
 $I_d = 60A$  ( $T_C = 102^\circ C$ )  
 $L \times B \times H = 65mm \times 48mm \times 34mm$

# Gleichrichter-Brücken: Einsatzbeispiele

## Beispiel: Ladegerät Laptop



Gleichrichter

Bild: IMAB

# Was haben wir heute gemacht ?

- **Ungesteuerte Gleichrichter**
  - M2U und M3U
  - B2U und B6U

# Was kommt in der nächsten Vorlesung?

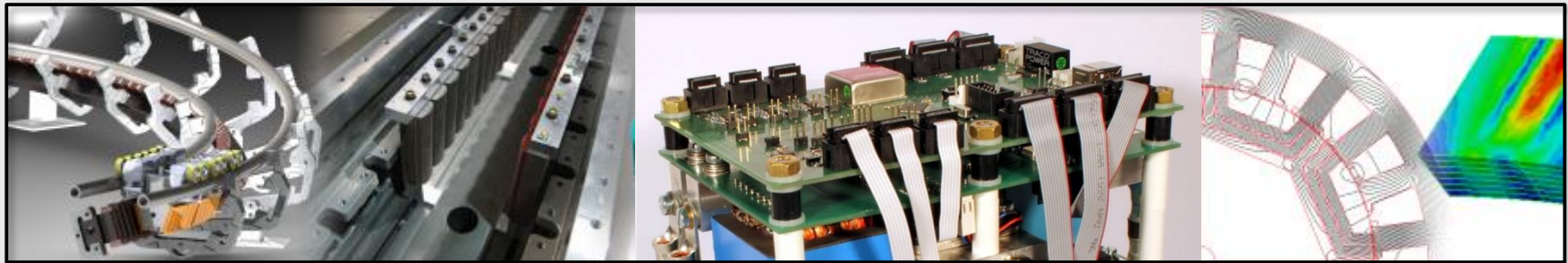
- **Leistungshalbleiter:**
  - Bipolare Leistungshalbleiter
  - Feldgesteuerte Leistungshalbleiter



Technische  
Universität  
Braunschweig



Institut für Elektrische Maschinen,  
Antriebe und Bahnen  
TU Braunschweig



## Leistungselektronik @ Institut für Elektrische Maschinen, Antriebe und Bahnen

Prof. Dr.-Ing. Regine Mallwitz (Leistungselektronik)

M: [r.mallwitz@tu-braunschweig.de](mailto:r.mallwitz@tu-braunschweig.de)

T.: + 49 (0)531 3913901

M.Sc. Robert Keilmann

M: [r.keilmann@tu-braunschweig.de](mailto:r.keilmann@tu-braunschweig.de)

T.: + 49 (0)531 3917910

[www.imab.de](http://www.imab.de)



NIEDERSÄCHSISCHES  
FORSCHUNGSZENTRUM  
FAHRZEUGTECHNIK