

EMV Expertentreffen WE

# „EMV & Frequenzumrichter - verträgt sich das?“

# Vorstellung

## Benjamin Schuppel

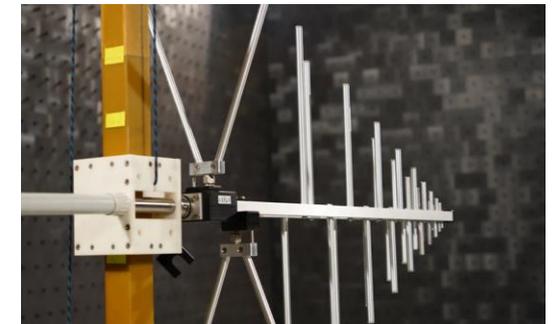
- Alter: 27 Jahre
- Wohnort: Bad Schönborn – Mingolsheim
- bei SEW: 2017 bis 2020 als dualer Student Elektrotechnik Bachelor  
2020 bis 2022 als dualer Student Elektrotechnik Master  
seit 2022 als EMV-Prüfingenieur bei TCE-E



[1]

## TestCenter Operations Electronics EMC & Electrical Safety (TCE-E)

- Entwicklungsbegleitende Prüfungen und Typprüfungen von elektronischen Antriebskomponenten → EMV und Elektrische Sicherheit
- Beratung und Optimierung von Schaltungen hinsichtlich EMV und NSR
- Betreuung der fachspezifischen Normen



[2]

# Inhaltsübersicht

- SEW Produkte im Überblick
- Aufbau und Arbeitsweise eines Frequenzumrichters
- Anforderungen vom Kunden hinsichtlich EMV
- EMV-Filter
  - Aufbau und Funktion
  - Funkentstördrossel
- Forschungsprojekt PEPA
  - Allgemein
  - Ableitströme
- Was ist zu tun, damit der Frequenzumrichter nicht stört?
- Zusammenfassung und Abschluss



[3]

„EMV & Frequenzumrichter - verträgt sich das?“

# SEW Produkte im Überblick

- Standard-Getriebemotor
- Dezentrale Technik
- Servotechnik
- Industriegetriebe
- Steuer- und Regelungstechnik
- Funktionale Sicherheit
- Software

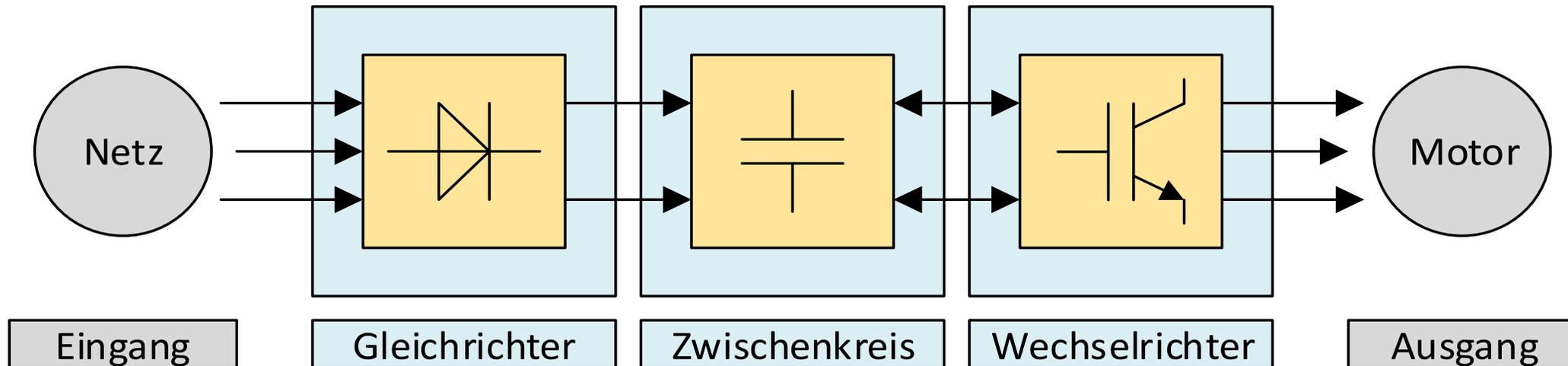


[4]

... alle Produkte auch ab Losgröße 1.

# Aufbau eines Frequenzumrichters

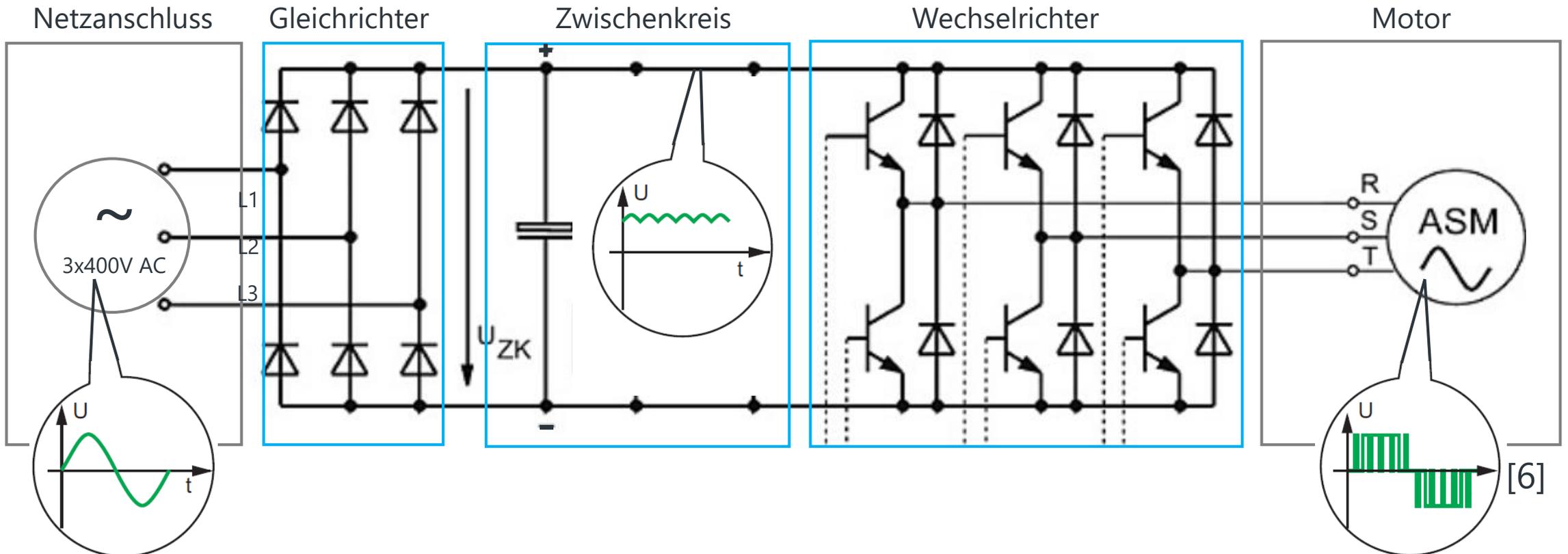
- Umrichter besteht aus zwei Teilen: Steuerkopf und Leistungsteil
- Steuerkopf beinhaltet die „Intelligenz“ des Umrichters (Prozessor, Signalelektronik, Kommunikation)
- Leistungsteil besteht aus Gleichrichter, Zwischenkreis und Wechselrichter
  - Prinzipschaltbild:



[5]

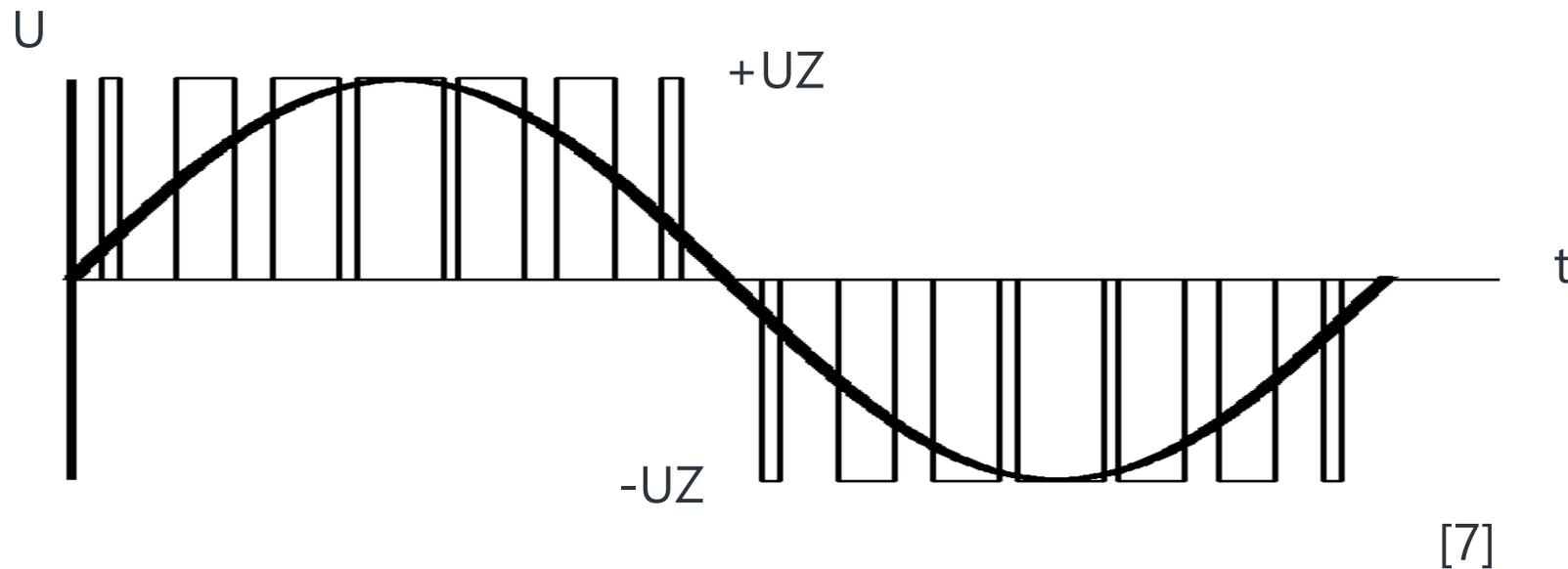
# Schaltung eines Frequenzumrichters (Leistungsteil)

- Leistungsteil besteht aus Gleichrichter, Zwischenkreis und Wechselrichter
  - Gleichrichter wandelt 3 x 400 V Netzspannung (50 Hz) in Gleichspannung im Zwischenkreis
  - Wechselrichter wandelt Zwischenkreisspannung in Wechselspannung mit beliebiger Frequenz und Amplitude
  - Schaltplan:



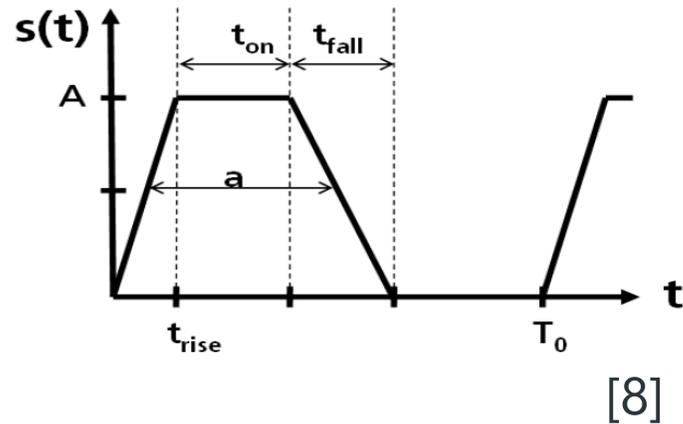
# Arbeitsweise eines Frequenzumrichters

- Umrichter ist leistungselektronischer Wandler und erzeugt variable Spannung mit variabler Frequenz
- Ausgangsspannung wird durch Spannungspulse (Puls-Weiten-Modulation, kurz PWM) erzeugt
  - IGBTs des Wechselrichters schalten Ausgangsphasen auf positives (+UZ) oder negatives (-UZ) Zwischenkreispotential

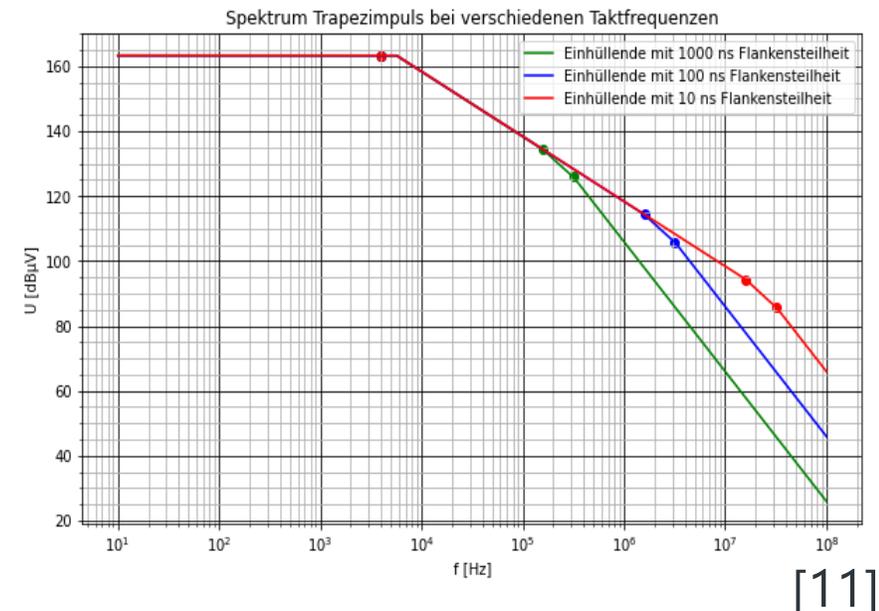
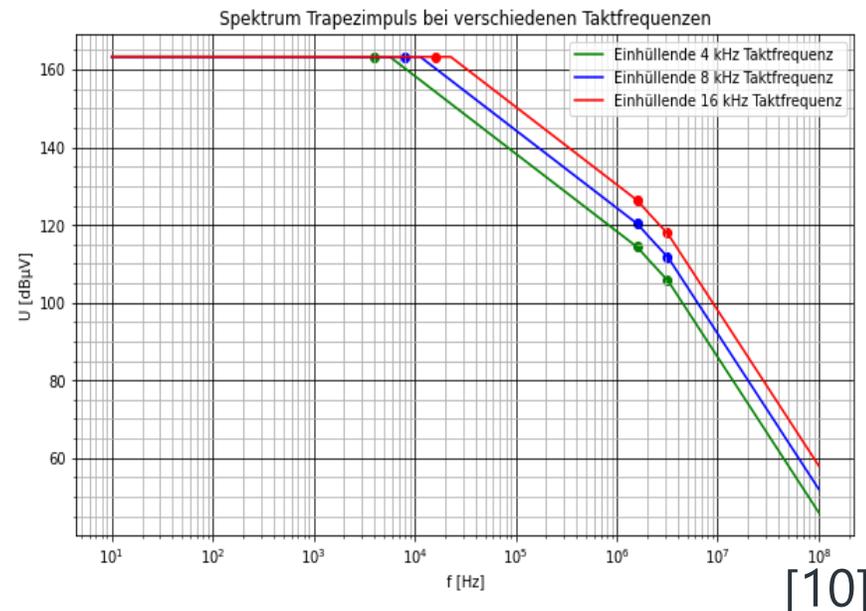
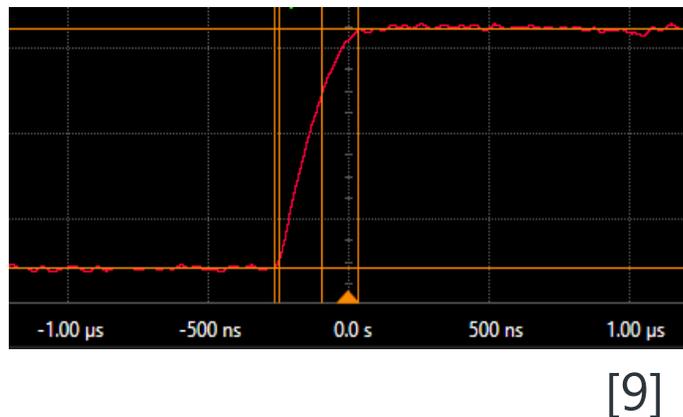


# Frequenzspektrum der Ausgangsspannung

- Spannungspulse können als (unsymmetrische) Trapezpulse angenähert werden
  - Taktfrequenz von SEW Umrichtern ist standardmäßig 4 kHz (ebenfalls einstellbar sind 8 kHz und 16 kHz)  
In einer Periode ( $T = 250 \mu\text{s}$ ) finden 6 Schaltvorgänge der IGBTs statt  $\rightarrow$  3 Pulse (1 Puls pro Phase)

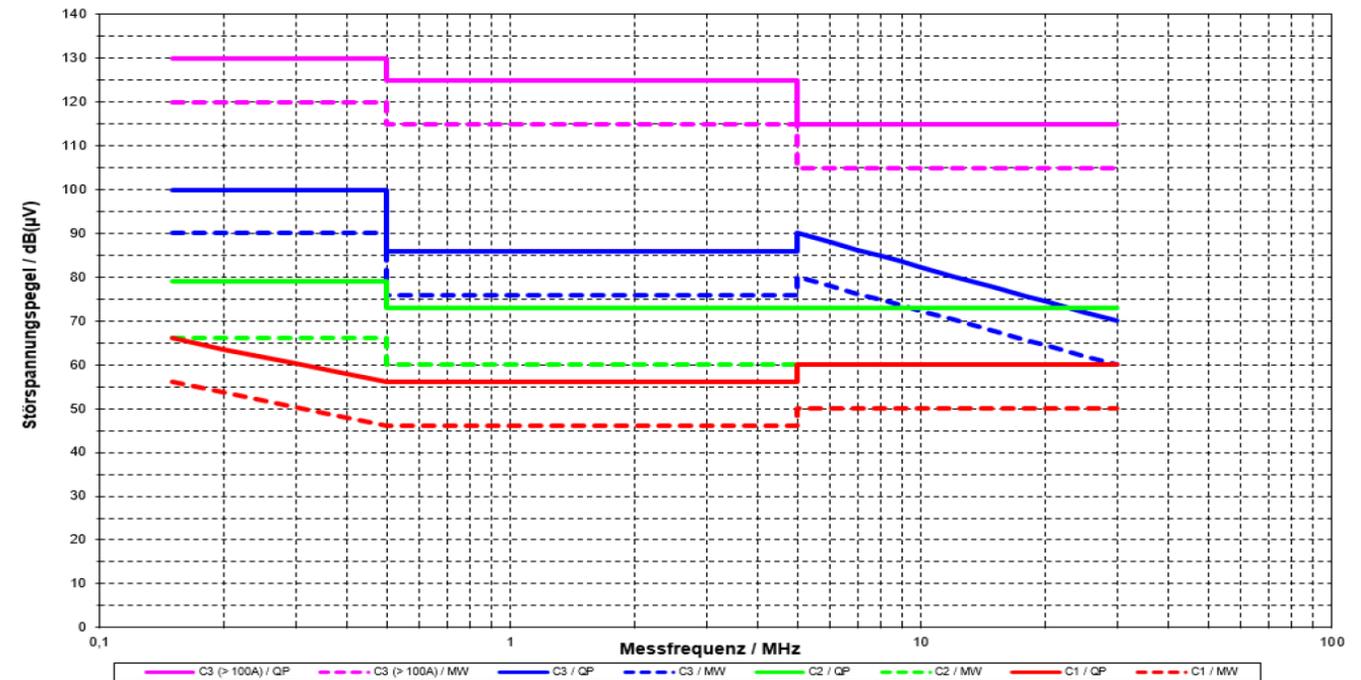


Halbleiter	Flankensteilheit	Anstiegszeit	Abfallzeit
Silizium SI	$< 5 \text{ kV}/\mu\text{s}$	$> 100 \text{ ns}$	$> 200 \text{ ns}$
Siliziumkarbid SIC	$< 100 \text{ kV}/\mu\text{s}$	$> 5 \text{ ns}$	$> 10 \text{ ns}$



# Anforderungen vom Kunden hinsichtlich EMV

- CE-Konformität für europäischen Markt
- EMV-Richtlinie (2014) und des EMV-Gesetzes (2016)
- Einhaltung der Produktnorm DIN EN 61800-3
  - Anforderungen der Störfestigkeit
    - ESD, Einstrahlung, Burst, Surge, Einströmung
  - Grenzwerte der Störaussendung z.B. C2
    - Störspannung, gestrahlte Störaussendung
- Hohe Anlagenverfügbarkeit
  - hohe Störfestigkeit & geringe Störaussendung

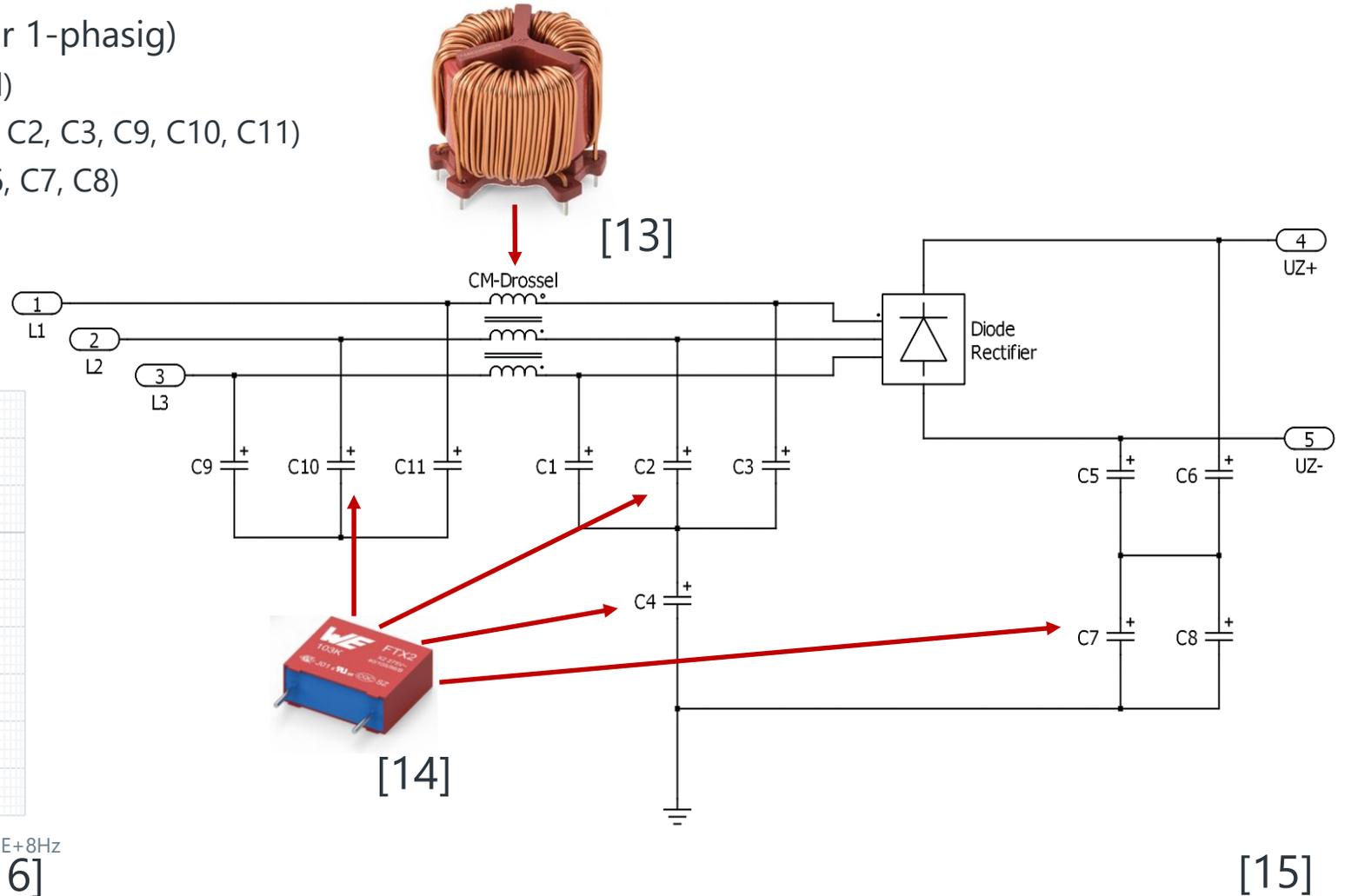
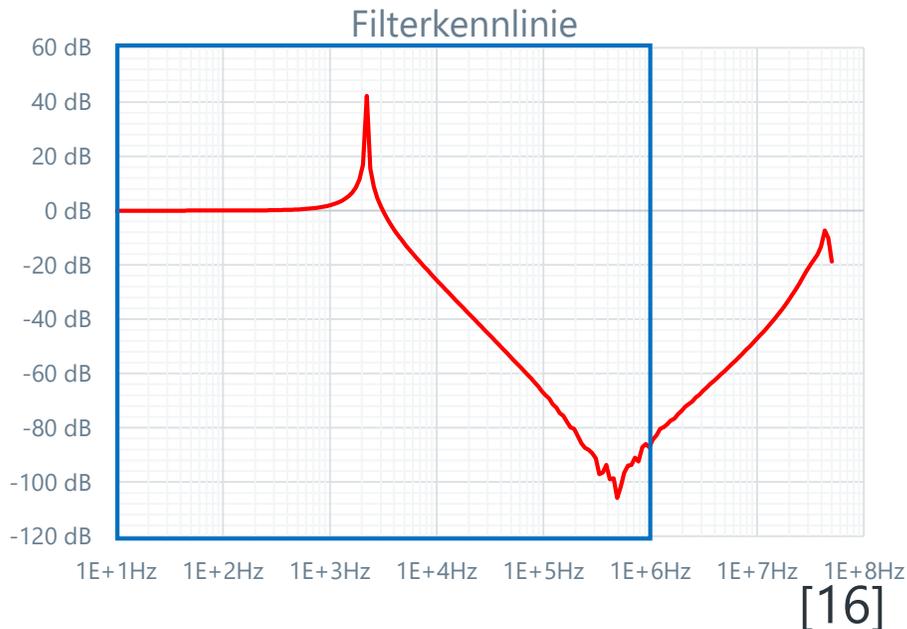


[12]

# EMV-Filter – Aufbau und Funktion

## EMV-Filter

- i.d.R. L-C-Filterschaltung (3-phasig oder 1-phasig)
  - Stromkompensierte Drossel (CM-Drossel)
  - X-Kondensatoren gegen Sternpunkt (C1, C2, C3, C9, C10, C11)
  - Y-Kondensatoren gegen Erde (C4, C5, C6, C7, C8)
- Wirkung als Tiefpass 2. Ordnung (bis einige MHz)



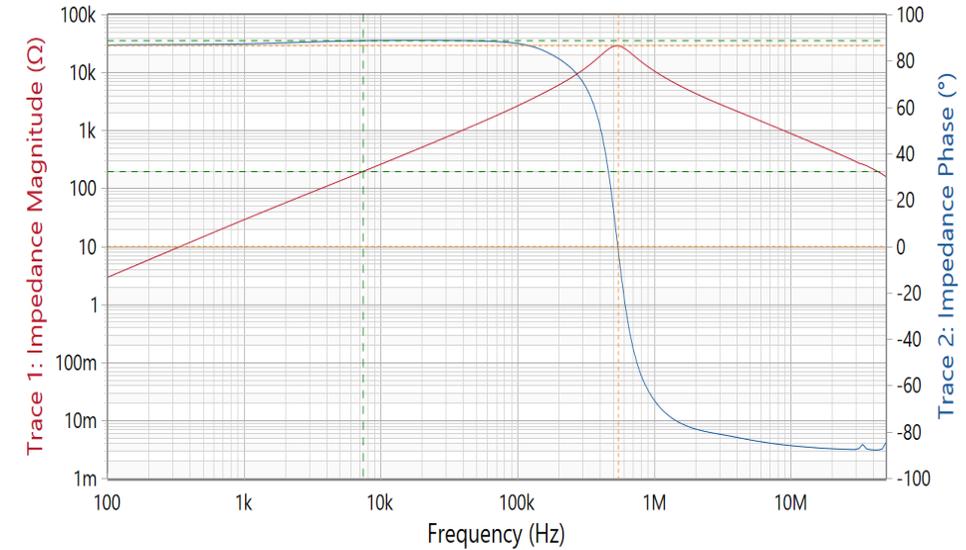
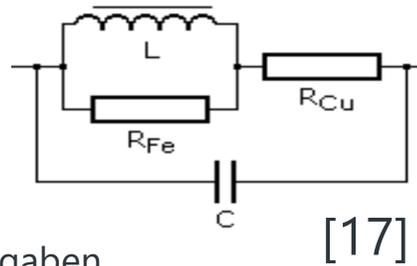
# EMV-Filter – Funkentstördrossel

## ▪ Funkentstördrossel

- Ersatzschaltbild ist Parallelschwingkreis aus R, L & C
  - L ist Nenninduktivität der Drossel (typ. mH-Bereich)
  - C ist parasitäre Wicklungskapazität (typ. pF-Bereich)
  - R sind Eisen- (Fe) und Kupferverluste (Cu)

## – Kernmaterial

- Werte für  $\mu_r$ ,  $B_{sat}$  und Preis sind ungefähre Angaben



	<b>Permeabilität</b>	<b>Sättigung</b>	<b>Preis</b>
Ferrit z.B. MnZn	bis $\mu_r = 10.000$	bis $B_{sat} = 0,4 \text{ T}$	niedrig
Eisenpulver	bis $\mu_r = 1.000$	bis $B_{sat} = 1,5 \text{ T}$	mittel
Nanokristallin	bis $\mu_r = 100.000$	bis $B_{sat} = 1,2 \text{ T}$	hoch

[18]

- Frequenzverhalten von nanokristallinen Kernen bis in höheren MHz-Bereich stabil
- Temperaturverhalten: Curie-Temperatur bei Ferrit ca. 130 °C, bei nanokristallin ca. 400 °C

# Forschungsprojekt PEPA

- PEPA: „Ursachen, Ausbreitungswege und Wechselwirkungen von PE-/PA-Strömen sowie Modellierung von Komponenten“ – gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz  
→ [https://www.lea.tu-darmstadt.de/forschung\\_lea/laufende\\_fp\\_lea/projekt\\_pepa.de.jsp](https://www.lea.tu-darmstadt.de/forschung_lea/laufende_fp_lea/projekt_pepa.de.jsp)
- Aufgabenstellung
  - Frequenzumrichter werden als effiziente Antriebskomponenten immer flächendeckender eingesetzt
  - Typische 2-Level-Umrichter erzeugen Gleichtaktspannungen durch die Gleichrichterioden und die Wechselrichter-Taktung, die zu Gleichtaktströmen (Ableitströmen) über Erde (PE/PA) führen.
  - Gleichtaktspannungen und –ströme können Auswirkungen haben z.B. Störungen von benachbarten Kommunikationseinrichtungen, Lagerströme in elektrischen Maschinen, Korrosion, ...
- PE/PA Ströme sowie deren Koppelmechanismen werden in diesem Projekt durch Messungen & Simulationsverfahren genauer analysiert, modelliert, beeinflusst und reduziert.

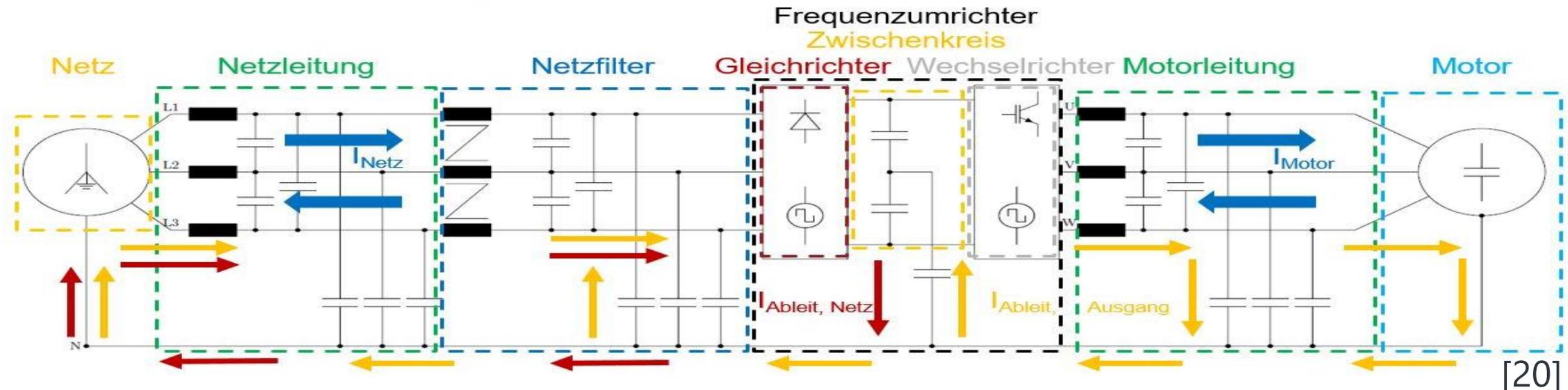
- Projektpartner:



[19]

# Forschungsprojekt PEPA - Ableitströme

- **Betriebsströme** fließen als Gegentaktströme nur auf den drei Phasen, sowohl netzseitig als auch ausgangsseitig
- **Ableitströme** entstehen ausgangsseitig (durch den Wechselrichter) und netzseitig (durch den Gleichrichter)
  - **Ausgangsseitige Ableitströme** treten in Form von taktfrequenten Pulsen auf, breiten sich über die parasitären Kapazitäten der Motorleitung und des Motors aus und fließen über die Filterkondensatoren und das Netz zurück in den Zwischenkreis
  - Parallele Rückpfade sind z.B. leitfähige Anlagenteile, Signalschirme, 24 V-Masse → ungewollte Störeinkopplung
  - **Netzseitige Ableitströme** treten in Form von Nachladepulsen mit 300 Hz und Filterresonanzfrequenz auf und fließen vom Netz über den Gleichrichter in die Filterkondensatoren im Zwischenkreis
  - Einflussfaktoren: Erdkapazität des Motors, Beläge der Motorleitung, Potentialausgleich, EMV-Filterschaltung, ...

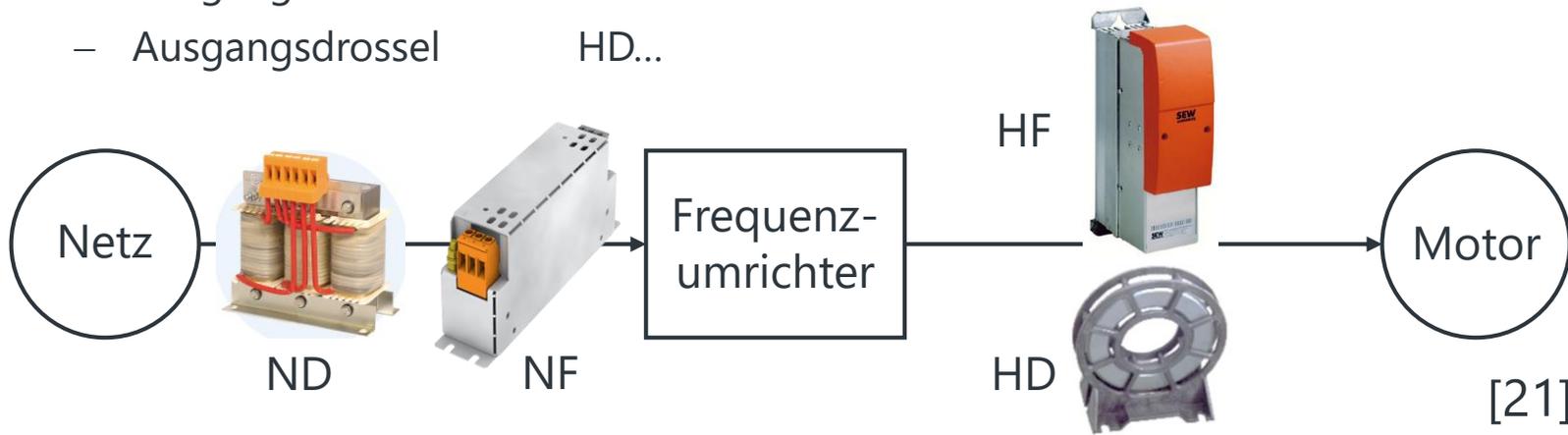


[20]

# Was ist zu tun, damit der Frequenzumrichter nicht stört?

- EMV-Optionen

- Netzfilter NF...
- Netzdrossel ND...
- Ausgangsfilter HF...
- Ausgangsdrossel HD...



[21]

- Handbuch „EMV in der Antriebstechnik“

→ <https://download.sew-eurodrive.com/download/pdf/31550568.pdf>

- EMV-gerechte Installation
- EMV-Optionen
- Potentialausgleich



[22]

# Zusammenfassung und Abschluss

- Frequenzumrichter erzeugt durch Schaltvorgänge der Leistungshalbleiter Störströme und Störspannungen
  - Diese Störgrößen weisen Anteile über ein breites Spektrum bis in den MHz-Bereich auf
- Störgrößen können bei Geräten in der elektrischen Umgebung zu Störungen führen
- Kunden wünschen sich Geräte, mit hoher EMV für einen zuverlässigen Betrieb ihrer Anlagen
- Störgrößen können gezielt beeinflusst und reduziert werden
  - Ein niederimpedanter und vermaschter Potentialausgleich führt Störströme auf direktem Weg zum Umrichter zurück
  - Eine gut ausgelegte EMV-Filterschaltung schützt Geräte in der Umgebung vor zu hohen Störspannungen
    - Schaltung muss hohe Dämpfung aufweisen bei geringer geometrischer Größe
    - Funkentstördrossel muss gute Eigenschaften aufweisen bezüglich Sättigung, Frequenz- und Temperaturverhalten
    - Kondensatoren müssen gute Eigenschaften aufweisen bezüglich Stromtragfähigkeit

# Bildquellen

- [1] Eigene Darstellung – Foto
- [2] SEW-EURODRIVE (intern)
- [3] SEW-EURODRIVE (intern)
- [4] SEW-EURODRIVE (intern)
- [5] Eigene Darstellung – Prinzipschaltbild  
vgl. EMV in der Antriebstechnik – 2013 (SEW)
- [6] spshaus.ch & EMV in der Antriebstechnik - 2013 (SEW)
- [7] Wikipedia.de
- [8] Entwurf EMV-Filter (SP Weber)
- [9] Eigene Darstellung – Oszi Scope
- [10] Eigene Darstellung – Simulation
- [11] Eigene Darstellung – Simulation
- [12] Eigene Darstellung – Diagramm (vgl. 61800-3)
- [13] we-online.com
- [14] we-online.com
- [15] Eigene Darstellung – Schaltplan
- [16] Eigene Darstellung – Diagramm
- [17] elektroniktutor.de
- [18] Eigene Darstellung – Diagramm
- [19] lea.tu-darmstadt.de
- [20] lea.tu-darmstadt.de
- [21] Eigene Darstellung – Prinzipschaltbild  
EMV in der Antriebstechnik – 2024 (SEW)
- [22] SEW-EURODRIVE.de

# Ende

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit