

## Moderne Magnetwerkstoffe für die elektromagnetische Verträglichkeit -EMV

Dr. Martin Ferch



- EMV Grundlagen
- Netzfilter
- stromkompensierte Funkentstördrosseln
- Vergleich: nanokristalline und Ferritkerne
- Herstellung von nanokristallinen Ringbandkernen

## Vortragsübersicht

Moderne Magnetwerkstoffe für die elektromagnetische Verträglichkeit -EMV

## Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)

ist ein - angestrebter - Zustand:

„ die Fähigkeit eines Gerätes, in der elektromagnetischen Umwelt zufriedenstellend zu arbeiten, ohne dabei selbst elektromagnetische Störungen zu verursachen, die für andere in dieser Umwelt vorhandene Geräten unannehmbar wären.“

(EMV-Richtlinie 89/336/EWG bzw. EMVG)



Tatsächlich verdoppelt sich nach unabhängigen Schätzungen  
das Störpotential weltweit alle drei Jahre ! <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Schaffner EMV AG

### EMV Grundlagen: Definition

Moderne Magnetwerkstoffe für die elektromagnetische Verträglichkeit -EMV

**Steilflankige Schaltcharakteristiken** von Mikroprozessoren und Leistungshalbleitern sowie **impulsförmige Stromentnahme** von getakteten Stromversorgungssystemen (**Schaltnetzteilen**) sind die Ursache für unbeabsichtigt emittierte diskrete oder kontinuierliche hochfrequente Störungsspektren.

Beispiele:

- digitale Telekommunikationseinrichtungen (ISDN, GSM)
- elektronische Vorschaltgeräte (EVG d.h. ‚elektronische Transformatoren‘)
- Dimmer (Phasenanschnittsteuerungen)
- Fernsehgeräte u. ä.
- Frequenzumrichter (Motorsteuerungen)
- DV-Anlagen (PCs u. ä.)
- weisse Ware (Haushaltsgeräte) mit mProzessor-Steuerung

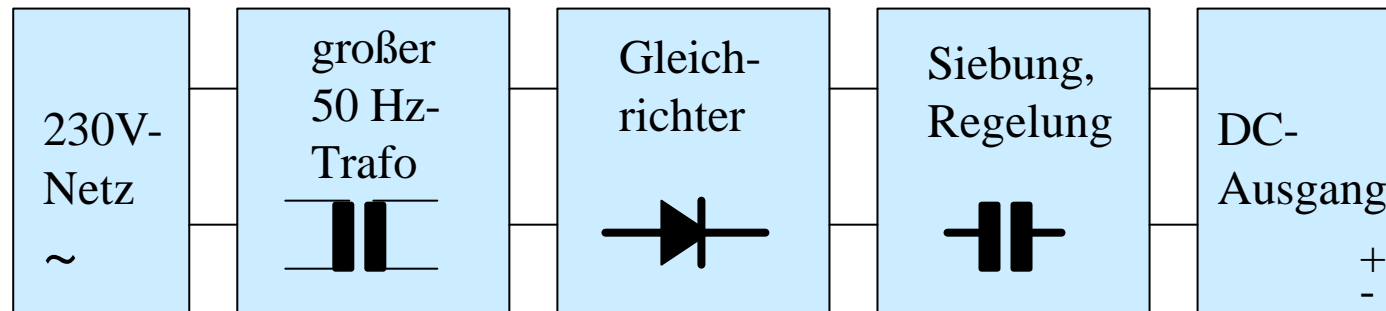
## EMV Grundlagen: Ursachen/ Störquellen

Moderne Magnetwerkstoffe für die elektromagnetische Verträglichkeit -EMV

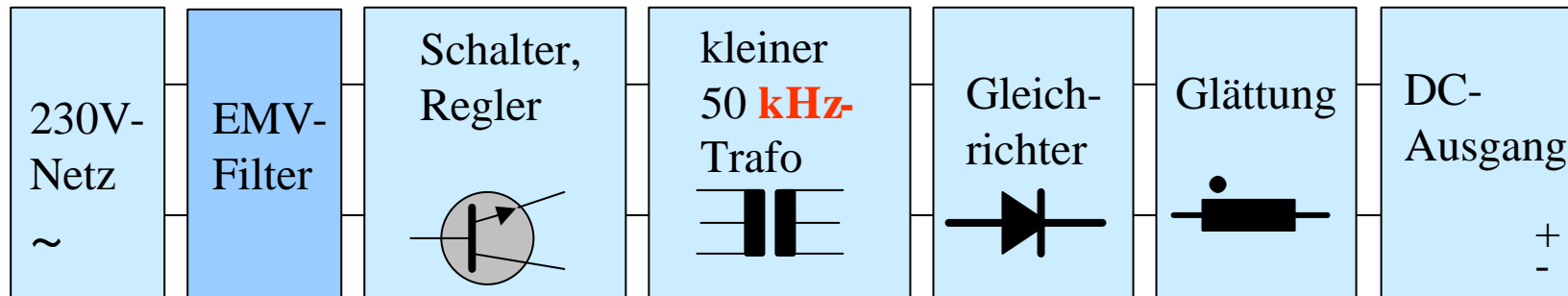
- beim Einschalten der Energiesparleuchte (aus China) spielt die Waschmaschine verrückt
- In englischen Streifenwagen wurde die Zentralverriegelung durch Funkgeräte blockiert
- Bei Handy-Anruf (ohne Freisprechanlage) schaltet das Automatikgetriebe einen Gang zurück
- Bei laufender Klimaanlage im Krankenhaus ist die Auflösung des Kernspin-Tomographen schlechter
- Mobiltelefone im Flugzeug
- Prozeßsteuerungsausfall bei Schweißarbeiten im Betrieb
- ‚wabernder‘ CAD-Monitor bei U-Bahn-Durchfahrt

## EMV Grundlagen: Problembeispiele

Moderne Magnetwerkstoffe für die elektromagnetische Verträglichkeit -EMV



**50-Hz-Netzteil** - keine HF-Störpegel aber groß/schwer



**Schaltnetzteil** - EMV Filter erforderlich, kompakt, leicht, effizient

## EMV Grundlagen: Störer-Beispiel Schaltnetzteile I

Moderne Magnetwerkstoffe für die elektromagnetische Verträglichkeit -EMV

## 50-Hz-Netzteil

Beispiel: Steckernetzgerät

$$P_s = 6 \text{ VA (12V / 0,5A)}$$

$$m = 440\text{g}$$

$$\eta = 38 \%$$

## Schaltnetzteil

Beispiel: Notebook-NG

$$P_s = 30\text{VA (15V / 2A)}$$

$$m = 220\text{g}$$

$$\eta \text{ bis zu } 95 \%$$



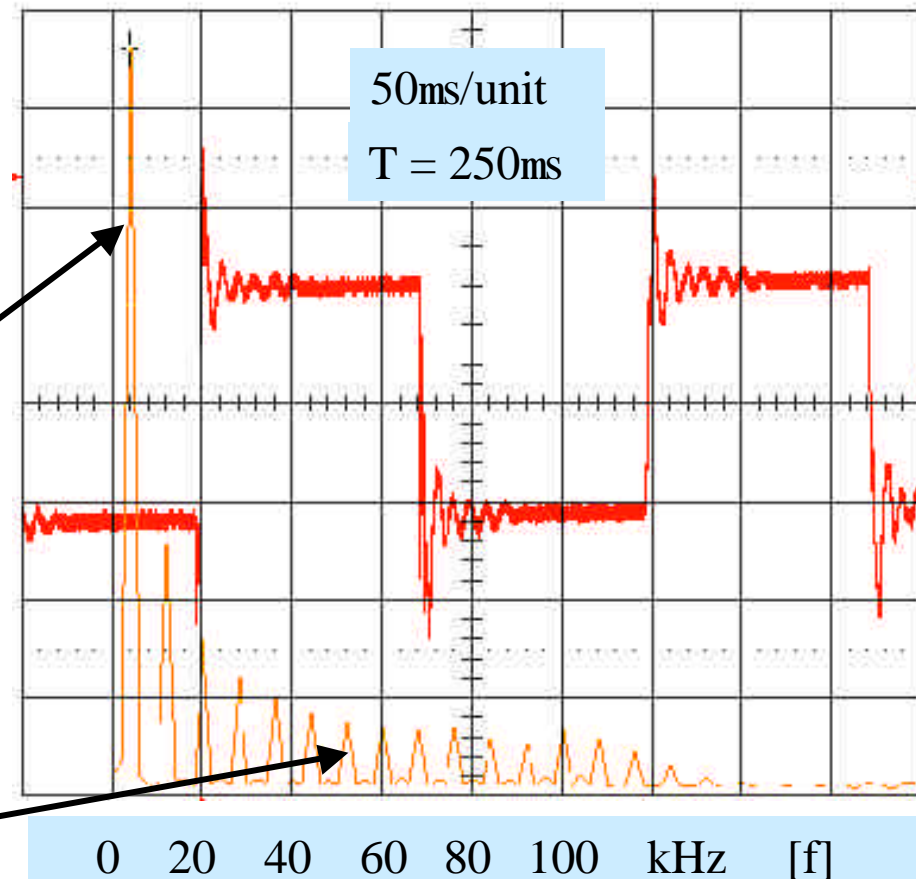
## EMV Grundlagen: Störer-Beispiel Schaltnetzteile II

Moderne Magnetwerkstoffe für die elektromagnetische Verträglichkeit -EMV

Typischer  
**Spannungsverlauf** und  
**Oberwellenspektrum** im  
 Zwischenkreis eines  
 Frequenzumrichters

Grundwelle 4 kHz

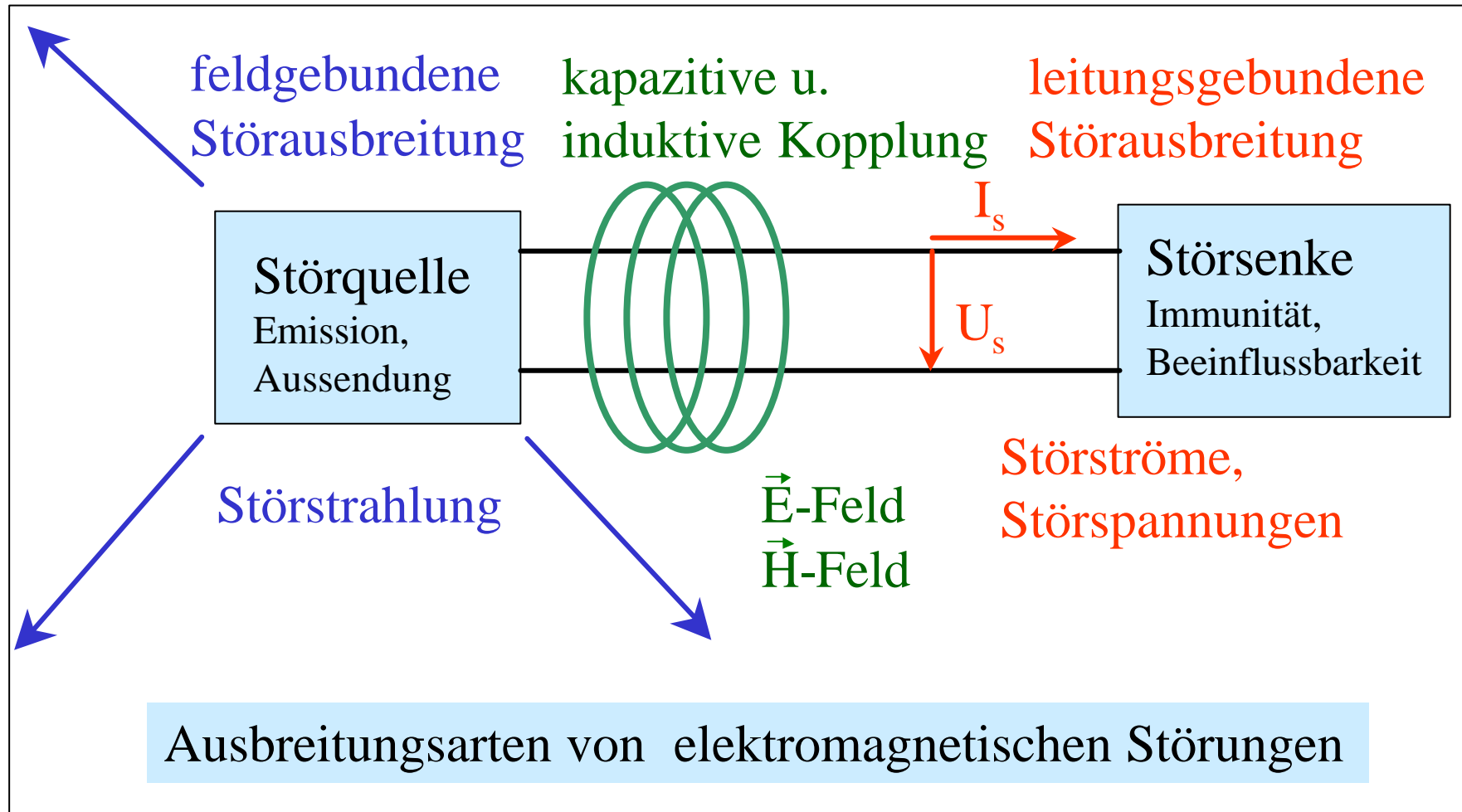
Harmonische (FFT)



## EMV Grundlagen: Ursachen für HF-Störungen

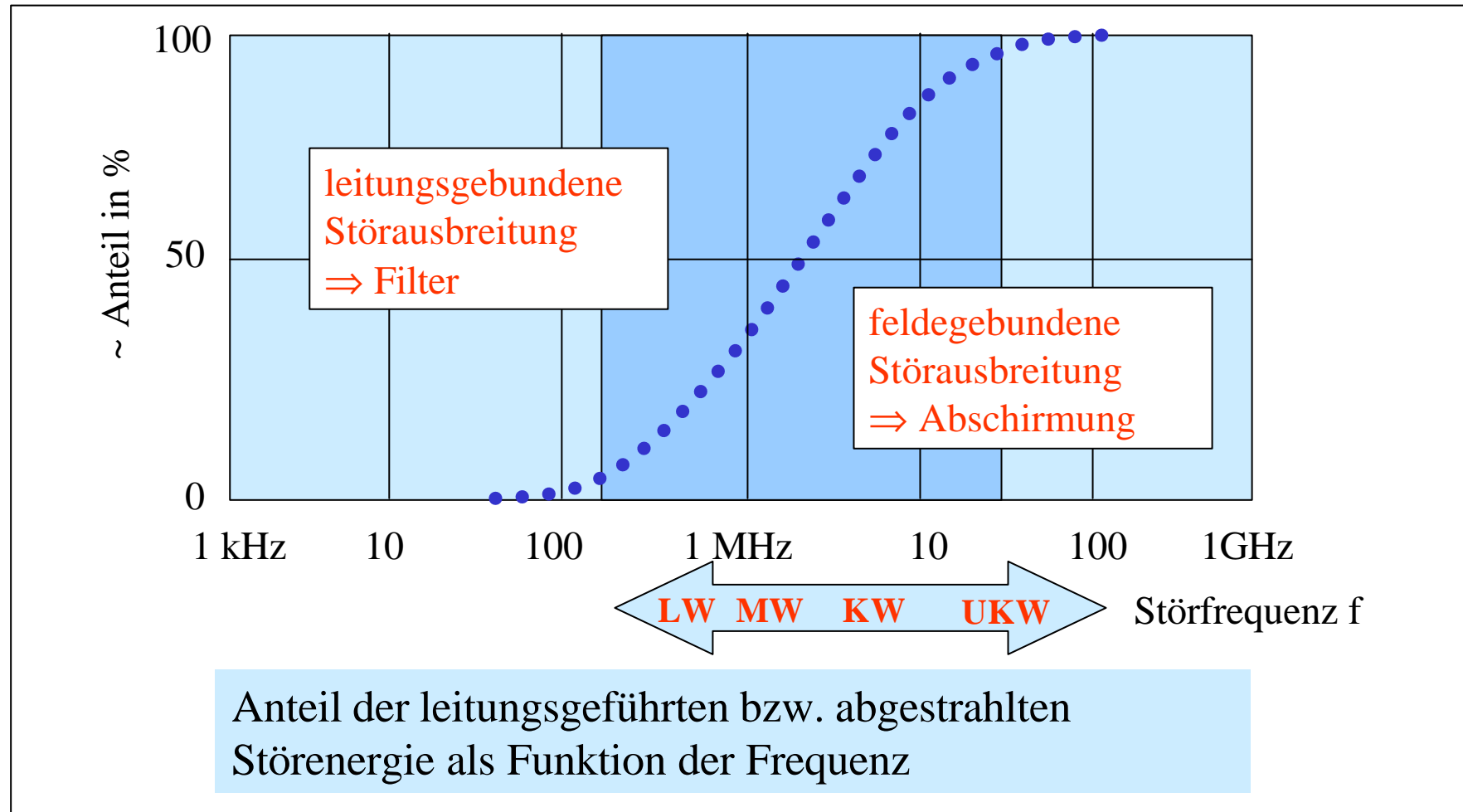
Moderne Magnetwerkstoffe für die elektromagnetische Verträglichkeit -EMV





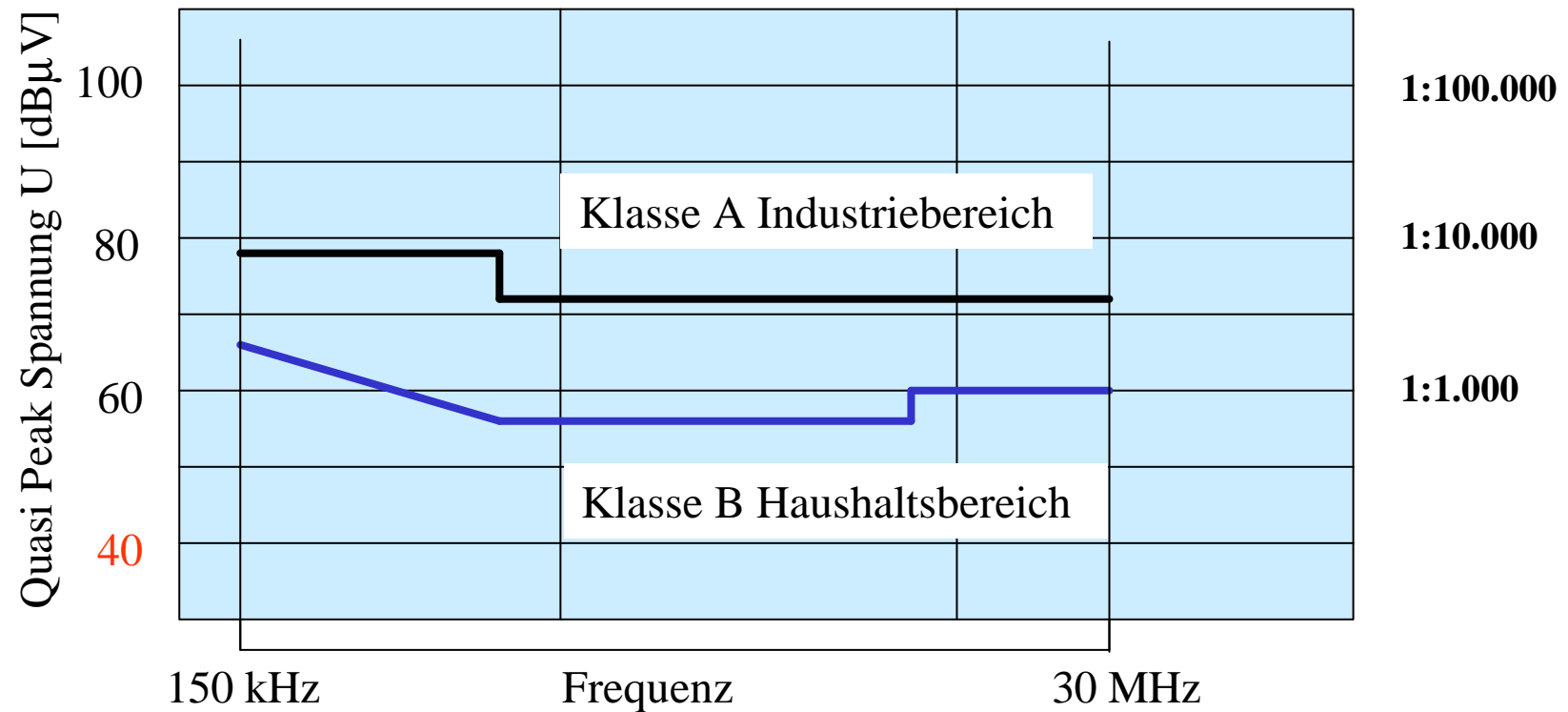
## EMV Grundlagen: Szenario

Moderne Magnetwerkstoffe für die elektromagnetische Verträglichkeit -EMV



## EMV Grundlagen: Ausbreitungsarten von HF-Störungen

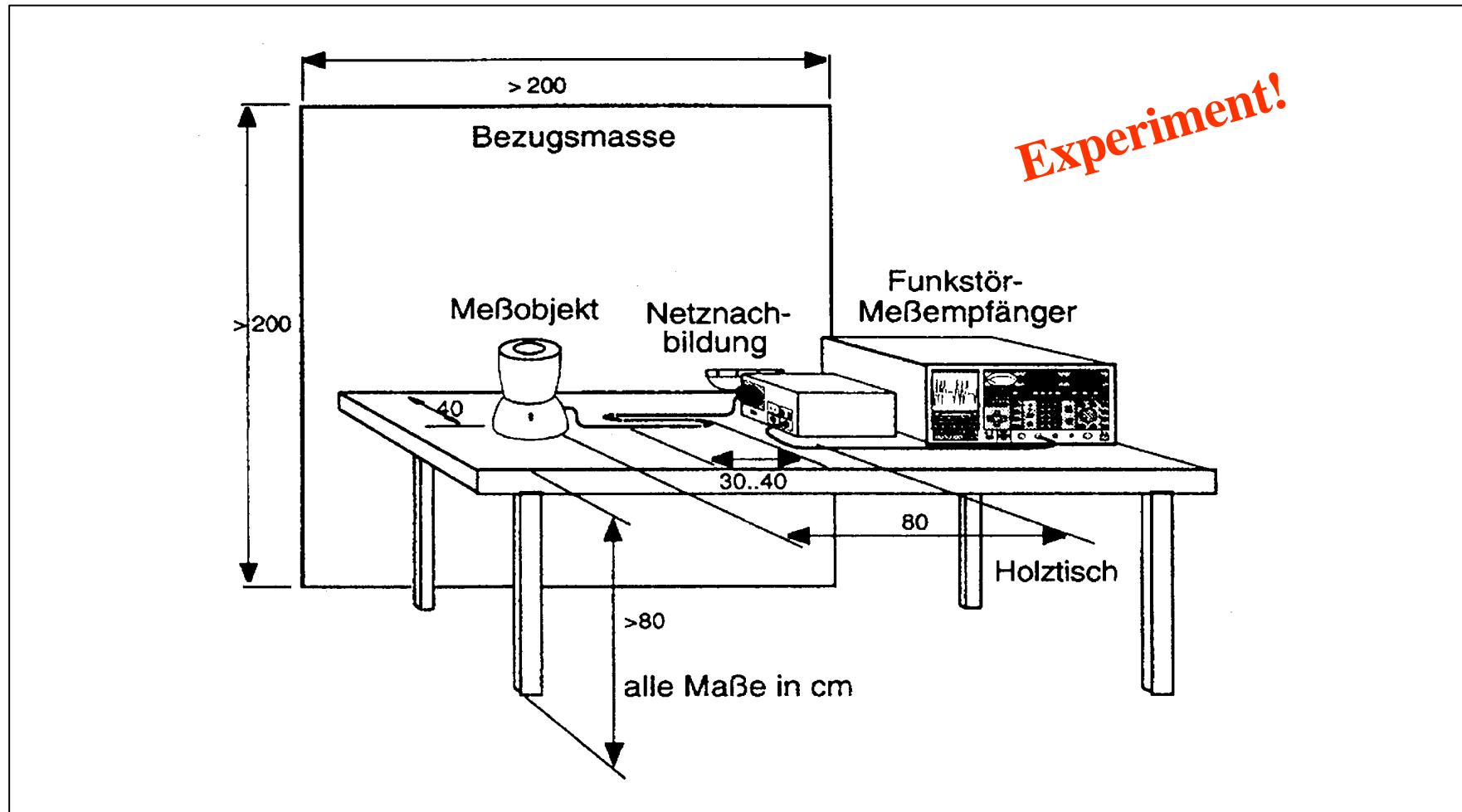
Moderne Magnetwerkstoffe für die elektromagnetische Verträglichkeit -EMV



Störspannungs-Grenzwerte der EN 55011 (leitungsgebunden, 50Ω-System)

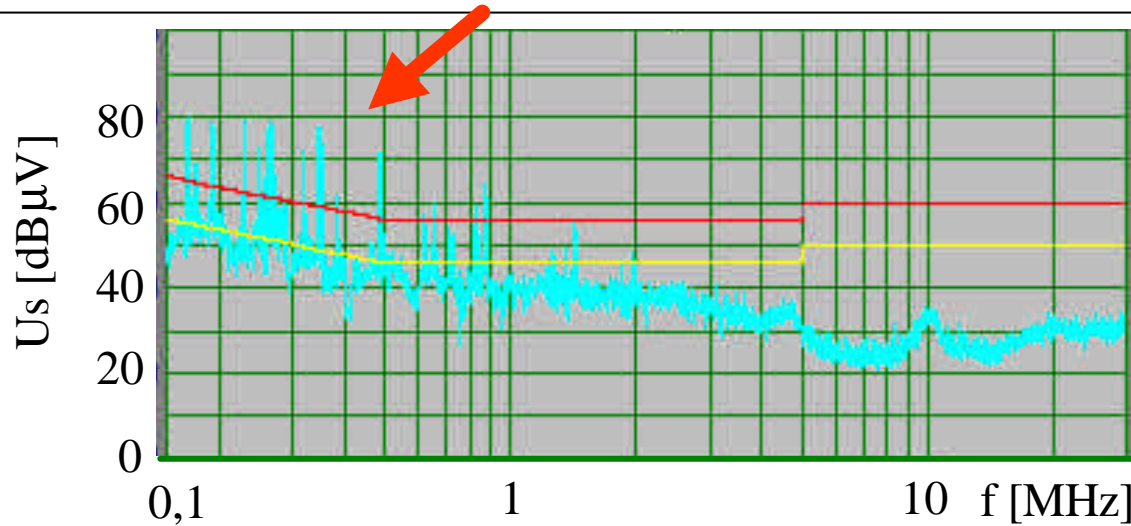
## EMV Grundlagen: Störpegel-Grenzwerte

Moderne Magnetwerkstoffe für die elektromagnetische Verträglichkeit -EMV

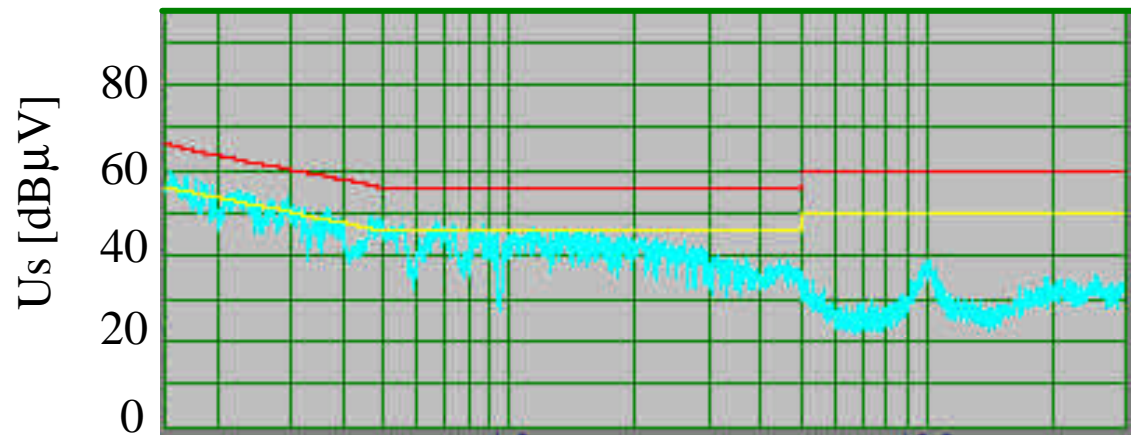


## EMV Grundlagen: normgerechter Meßaufbau f. Störpegel

Moderne Magnetwerkstoffe für die elektromagnetische Verträglichkeit -EMV



unzureichende  
Entstörung, Grenz-  
wertüberschreitung  
EN55011, Kl. B



ausreichende  
Entstörung, Grenz-  
werteinhaltung  
EN55011, Kl. B

## EMV Grundlagen: Störspannungsspektrum (Quasi-Peak)

Moderne Magnetwerkstoffe für die elektromagnetische Verträglichkeit -EMV

## **Zur Erreichung der EMV geeignete Maßnahmen:**

### a) hinsichtlich Emissionen (kritisch)

- **Filter** zur Bedämpfung der leitungsgebundenen Störungen
- Abschirmungen zur Bedämpfung der abgestrahlten Störungen
- EMV-gerechtes Leiterkartenlayout (Vermeidung von Schleifen u.ä.)
- Einsatz von Glasfaserkabeln

### b) hinsichtlich Störfestigkeit (weniger kritisch)

- nichtlineare Überspannungs-Schutzelemente
- Einsatz von Optokopplern

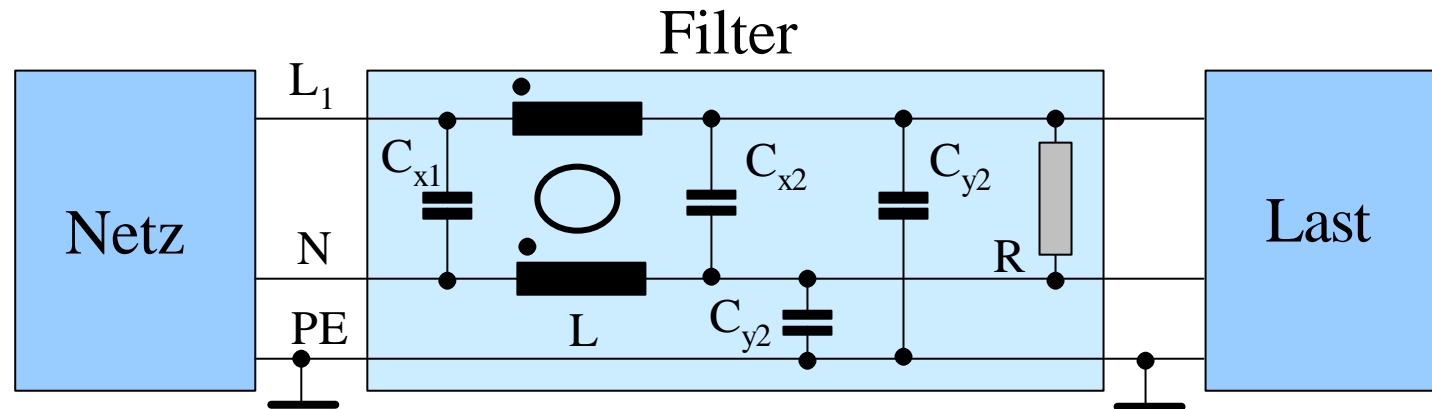
## **EMV Grundlagen: Entstör-Maßnahmen**

Moderne Magnetwerkstoffe für die elektromagnetische Verträglichkeit -EMV

- Zunahme der Anzahl der ‚Störer‘ und damit des Grundpegels u. a. durch Einzug industrieller Technik in den Haushaltsbereich
- Verschärfung der Grenzwerte
- Erweiterung des Definitionsbereiches der Normen
- Zusätzliche Normen (z. B. PFC)
- neuartige Störer durch schnellere u. leistungsfähigere Schalter
- Zunahme der Kosten für Filtermaßnahmen
- globale Einführung von EMV-Normen

## EMV Grundlagen: Trends, Ausblick

Moderne Magnetwerkstoffe für die elektromagnetische Verträglichkeit -EMV



$C_{xn}$  X-Kondensator (zw. den Leitungen)

$C_{yn}$  Y-Kondensator (zur Masse)

$L$  **stromkompensierte Ringkerndrossel**

$R$  Entladewiderstand



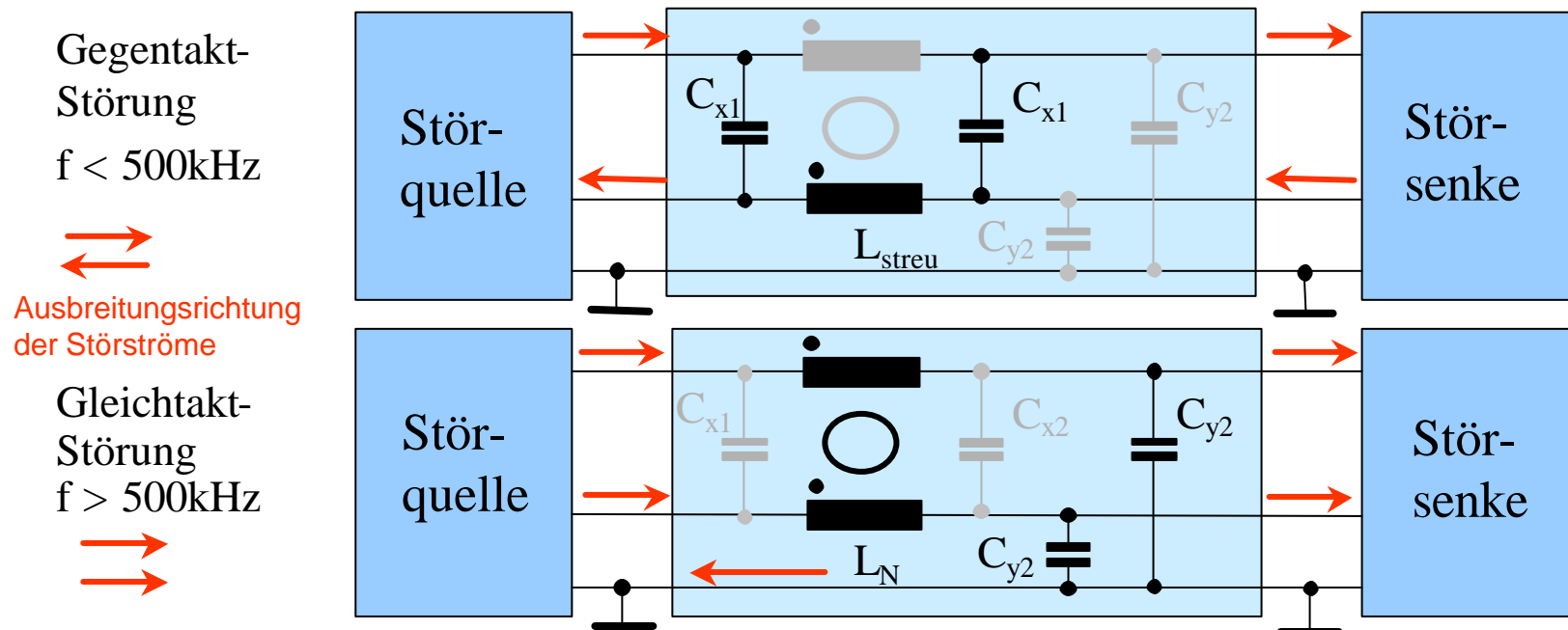
Grundschialtung eines einphasigen EMV- Netzfilters

## EMV Grundlagen: Netzfilter

Moderne Magnetwerkstoffe für die elektromagnetische Verträglichkeit -EMV

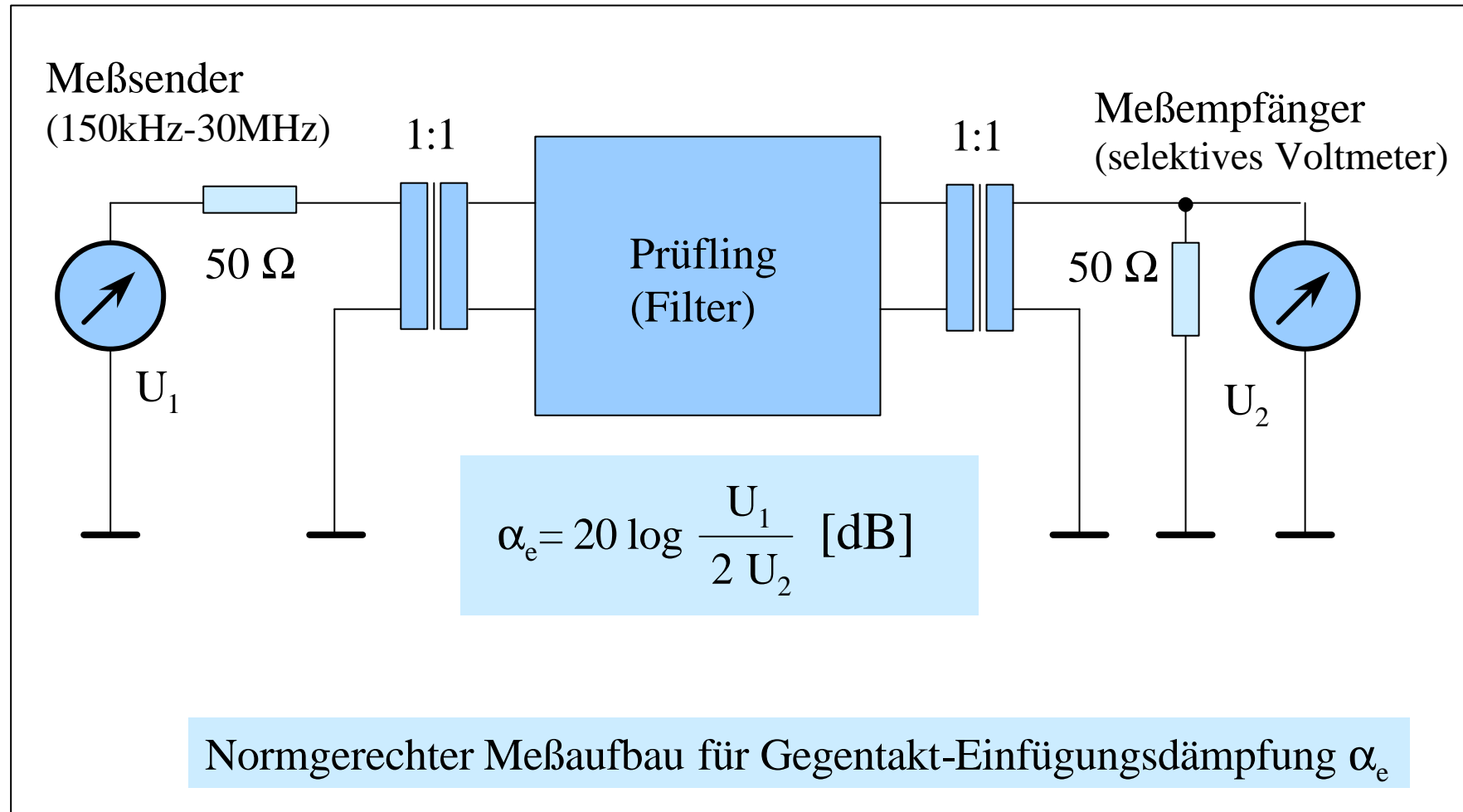


Entstörfilter sind nahezu immer als **reflektierende Tiefpaßfilter** ausgelegt, d. h. sie arbeiten nach dem Prinzip der **Fehlanpassung**. Ein Teil der hochfrequenten Störströme wird dabei als Erdableitstrom 'umgeleitet' - nur ein geringer Teil wird absorbiert, z.B. in Form von (Kern-)Verlusten.



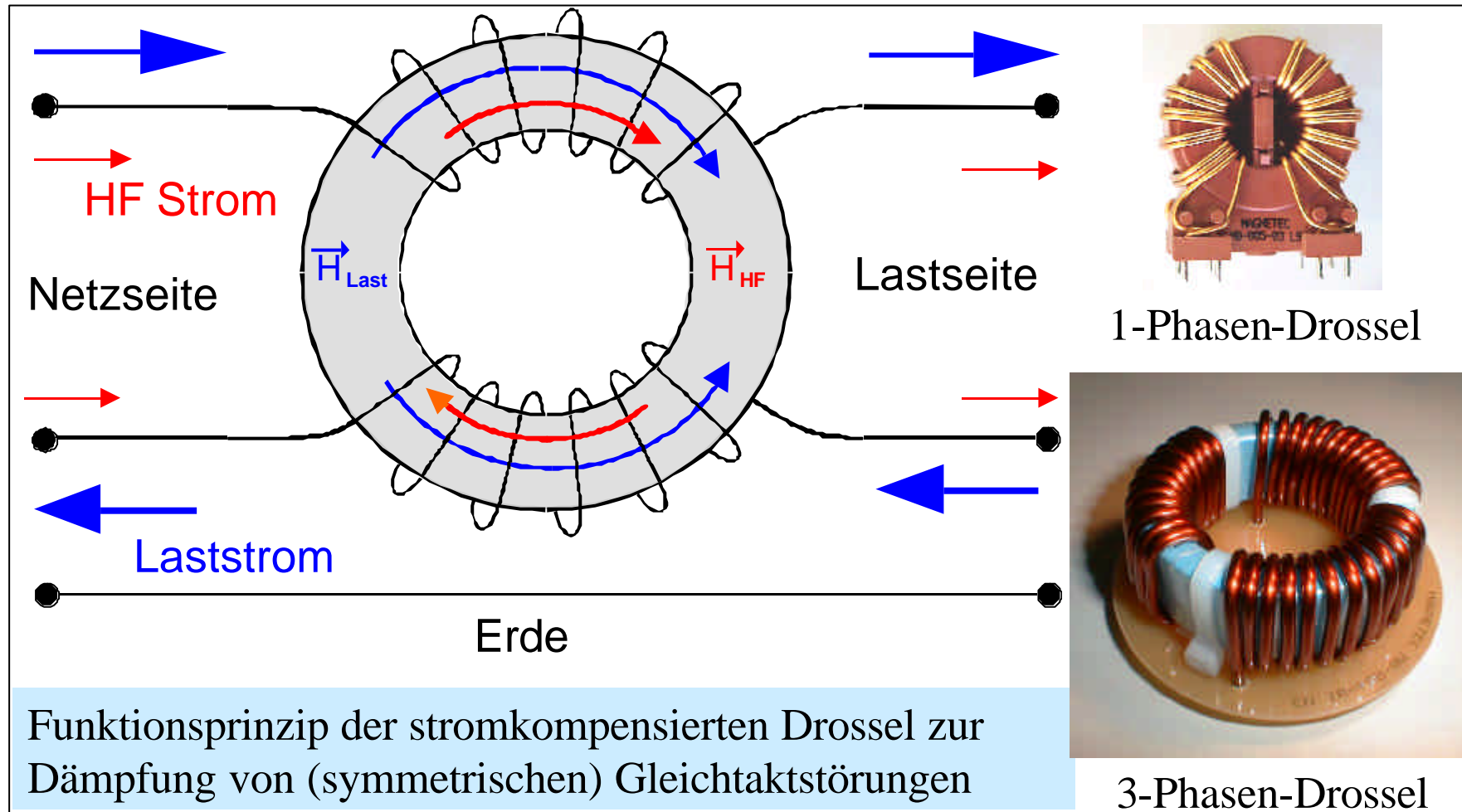
## EMV Grundlagen: Funktionsprinzip eines Netzfilters

Moderne Magnetwerkstoffe für die elektromagnetische Verträglichkeit -EMV



## EMV Grundlagen: Meßaufbau Einfügungsdämpfung

Moderne Magnetwerkstoffe für die elektromagnetische Verträglichkeit -EMV



## EMV Grundlagen: Drosselprinzip

Moderne Magnetwerkstoffe für die elektromagnetische Verträglichkeit -EMV

## Wichtigste Anforderungen an eine EMV-Filterdrossel:

hohe Impedanz ( $f = 150 \text{ kHz}$  bis  $30 \text{ MHz}$ )

$$Z(f) = \omega L(f) = 2\pi f L(f)$$

$$L(f) = A_L n^2 \quad \text{mit} \quad A_L = \mu_0 \mu_r(f) A_{fe} / l_f$$

Windungszahl

rel. Permeabilität !

Eisenquerschnitt

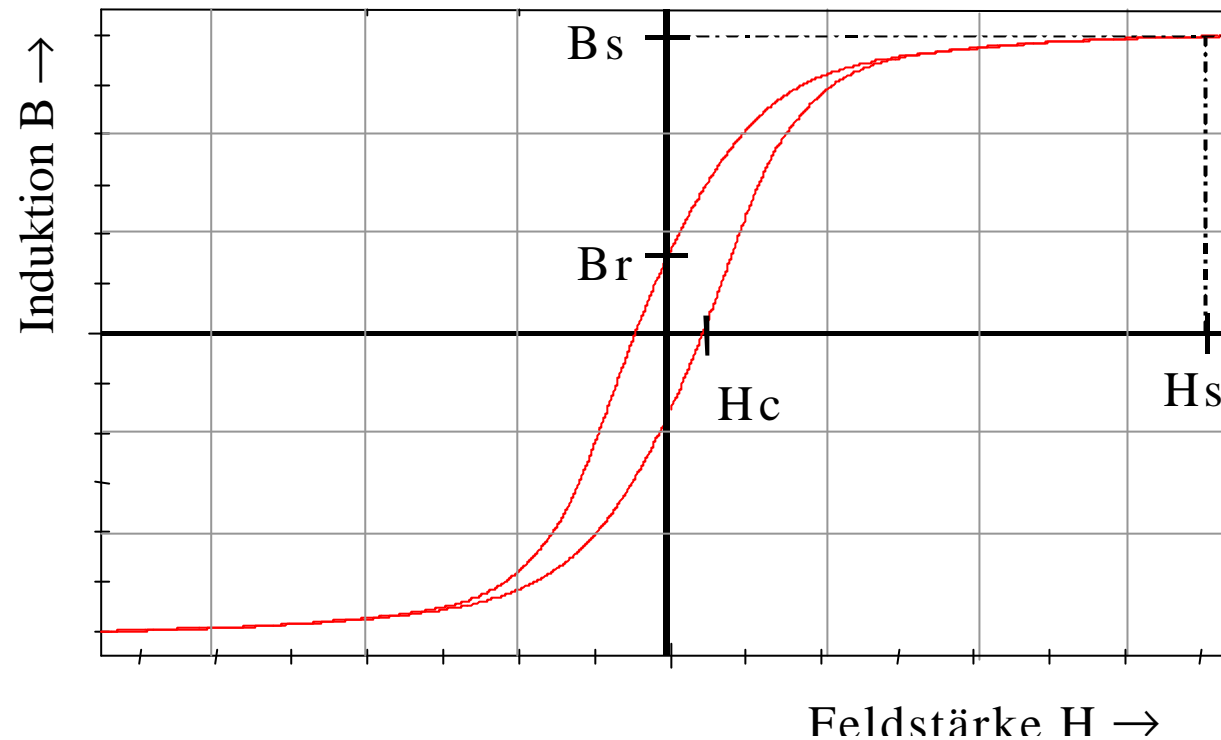
## EMV Grundlagen: Werkstoffauswahl

Moderne Magnetwerkstoffe für die elektromagnetische Verträglichkeit -EMV

- 1987: Patent für ein völlig neuartiges Magnetmaterial mit exzellenten weichmagnetischen Eigenschaften durch Yoshizawa, Oguma u. Yamauchi (Hitachi, Japan)  
Legierungszusammensetzung:  $\text{Fe}_{73}\text{Cu}_1\text{Nb}_3\text{Si}_{16}\text{B}_7$   
Herstellungsverfahren: Rascherstarrung  
Materialstruktur: **nanokristallin**
- 1992: Markteinführung durch VACUUMSCHMELZE (VITROPERM®) und HITACHI Metals (FINEMET®)
- seit ca. 1995: Verbreitung in vielfältigen Anwendungen der Leistungselektronik und Telekommunikation
- 1999: 3. Anbieter am Markt: MAGNETEC (NANOPERM®)

## Werkstoffe: Historie nanokristalliner Materialien

Moderne Magnetwerkstoffe für die elektromagnetische Verträglichkeit -EMV



$B_s$ : Sättigungsinduktion (hoch!)     $B_r$ : Remanenz (gering!)  
 $H_c$ : Koerzitiv-Feldstärke (gering!)     $H_s$ : Sättigungsfeldstärke (hoch!)

## Kenngrößen weichmagnetischer Werkstoffe; Hysterese

Moderne Magnetwerkstoffe für die elektromagnetische Verträglichkeit -EMV

Werkstoff	Permeabilität $\mu_r$ (10 / 100kHz)	Sättigungsinduktion $B_s$ [T] (25 / 100°C)	Curietemperatur $T_c$ [°C]	max. Anwendungstemp. [°C]
<b>Ferrit 3E7</b>	15.000 / 12.000	0,38 / 0,21	>130	95
<b>Ferrit T38</b>	10.000 / 10.000	0,38 / 0,23	>130	95
<b>NANOPERM</b>	100.000 / 20.000 80.000 / 28.000 30.000 / 20.000	} 1,2 / 1,18	600	120 (180)

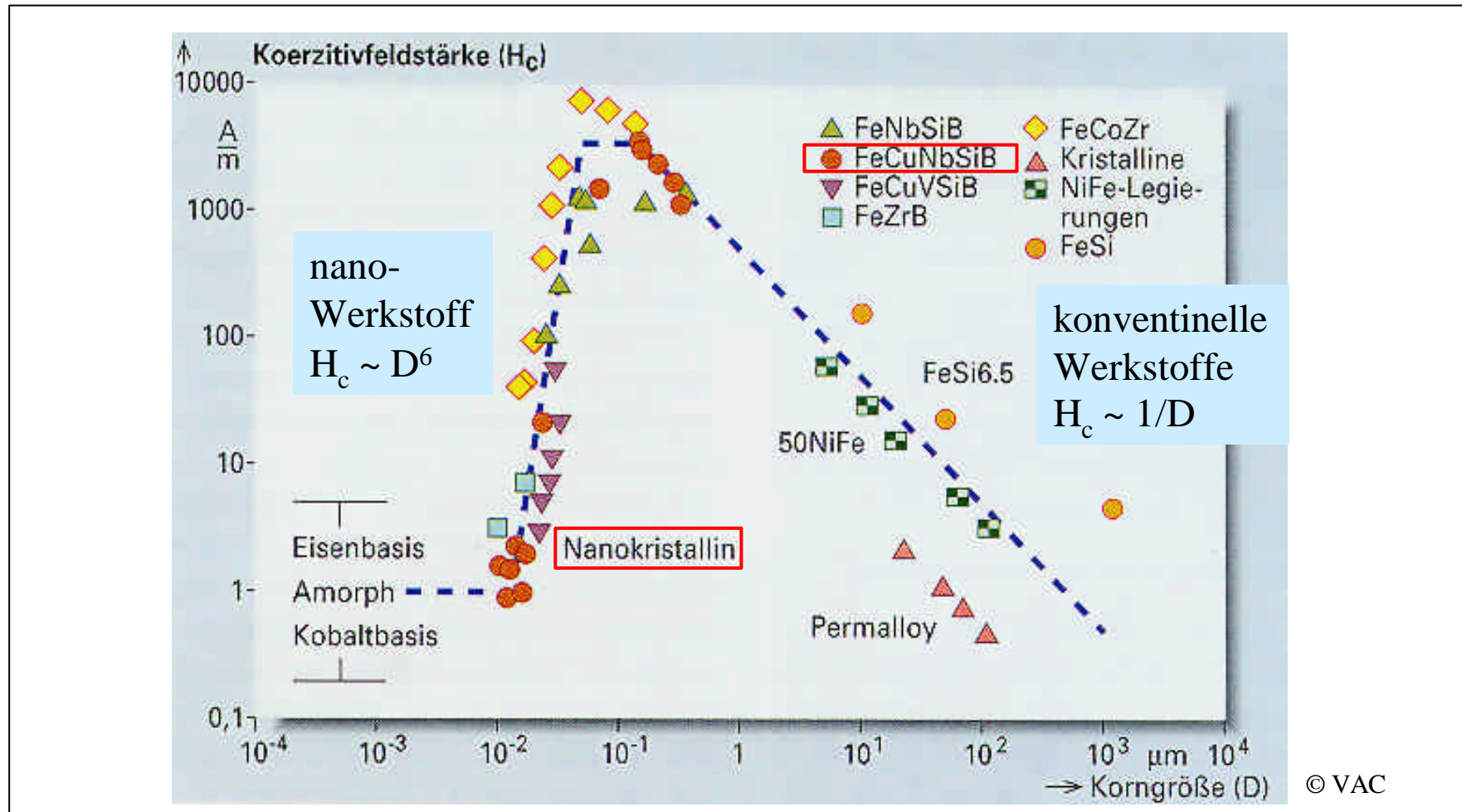
## NANOPERM gegenüber Ferrit:

- **Permeabilität** - bis zu Faktor 10 (!)
- Sättigungsinduktion - Faktor 3 (aber: steilerer Verlauf)
- Anwendungstemperaturbereich - bis 180°C
- Nachteil (noch): Preis ~ Faktor 1,5 - 2 (leistungsbezogen)

**➤ leistungsfähigere, kleinere und leichtere Bauteile Ü**

## Werkstoffvergleich

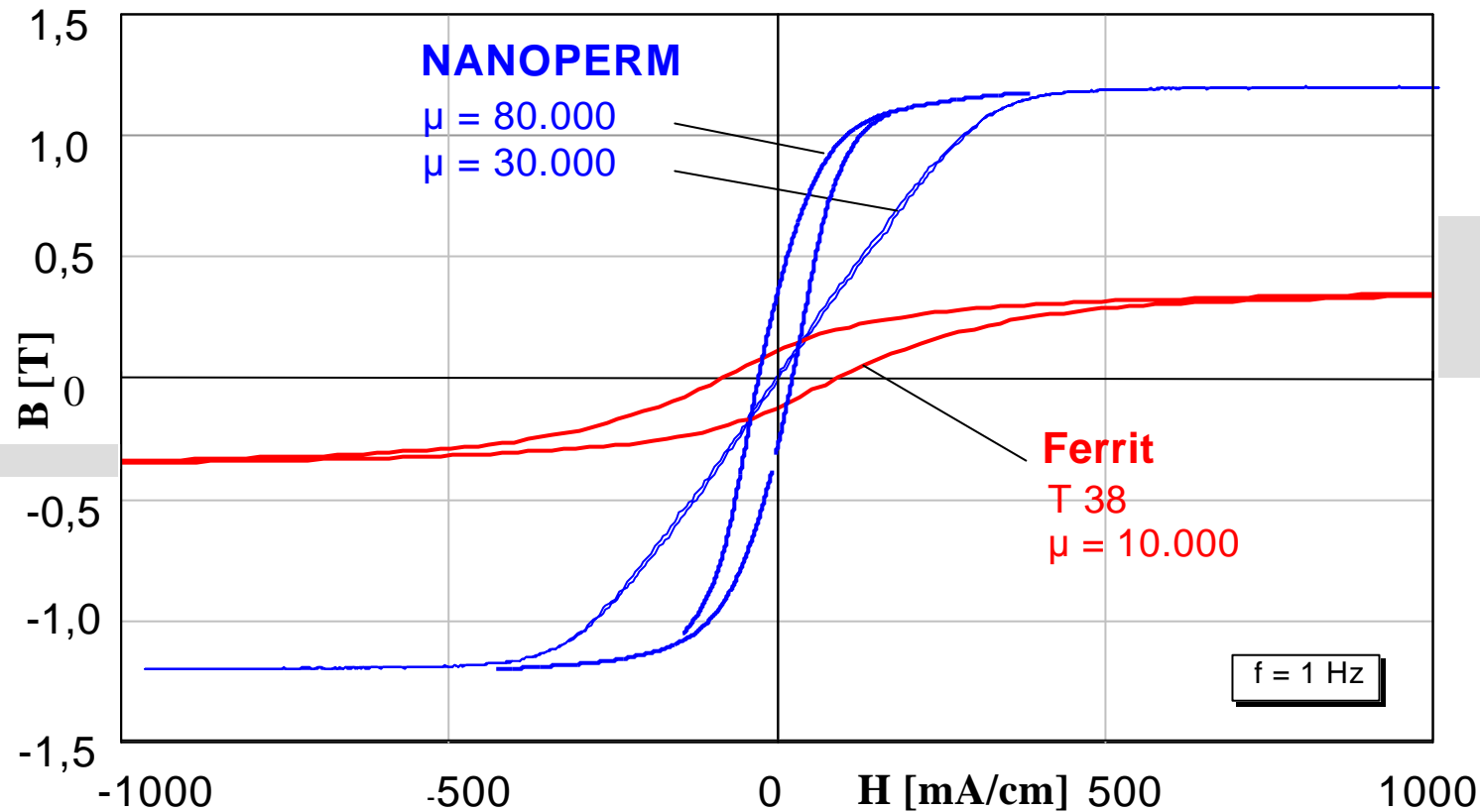
Moderne Magnetwerkstoffe für die elektromagnetische Verträglichkeit -EMV



Koerzitivfeldstärke  $H_c$  als Funktion der Korngröße:  $D^6$ -Abhängigkeit

Moderne Magnetwerkstoffe für die elektromagnetische Verträglichkeit -EMV

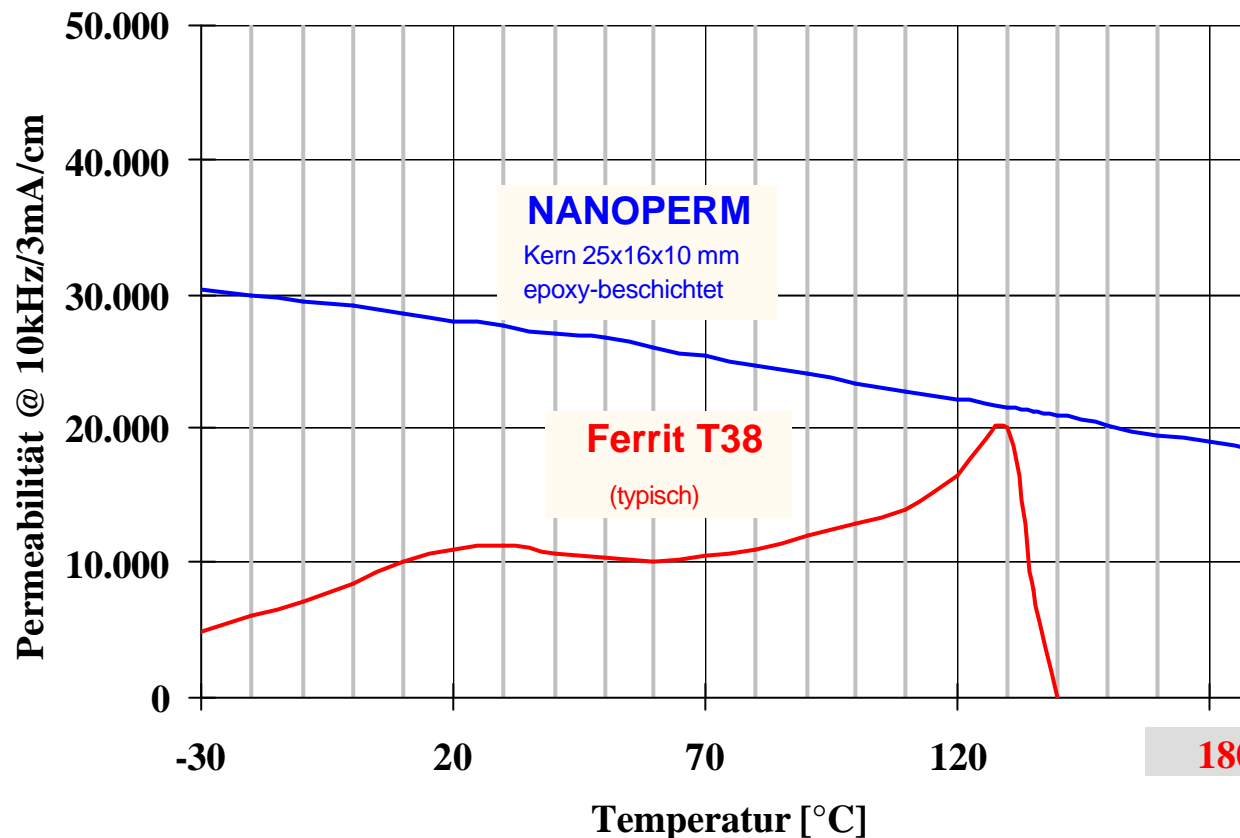




Hysteresen, Sättigungsfeldstärke bei variabler Permeabilität

## Werkstoffvergleich

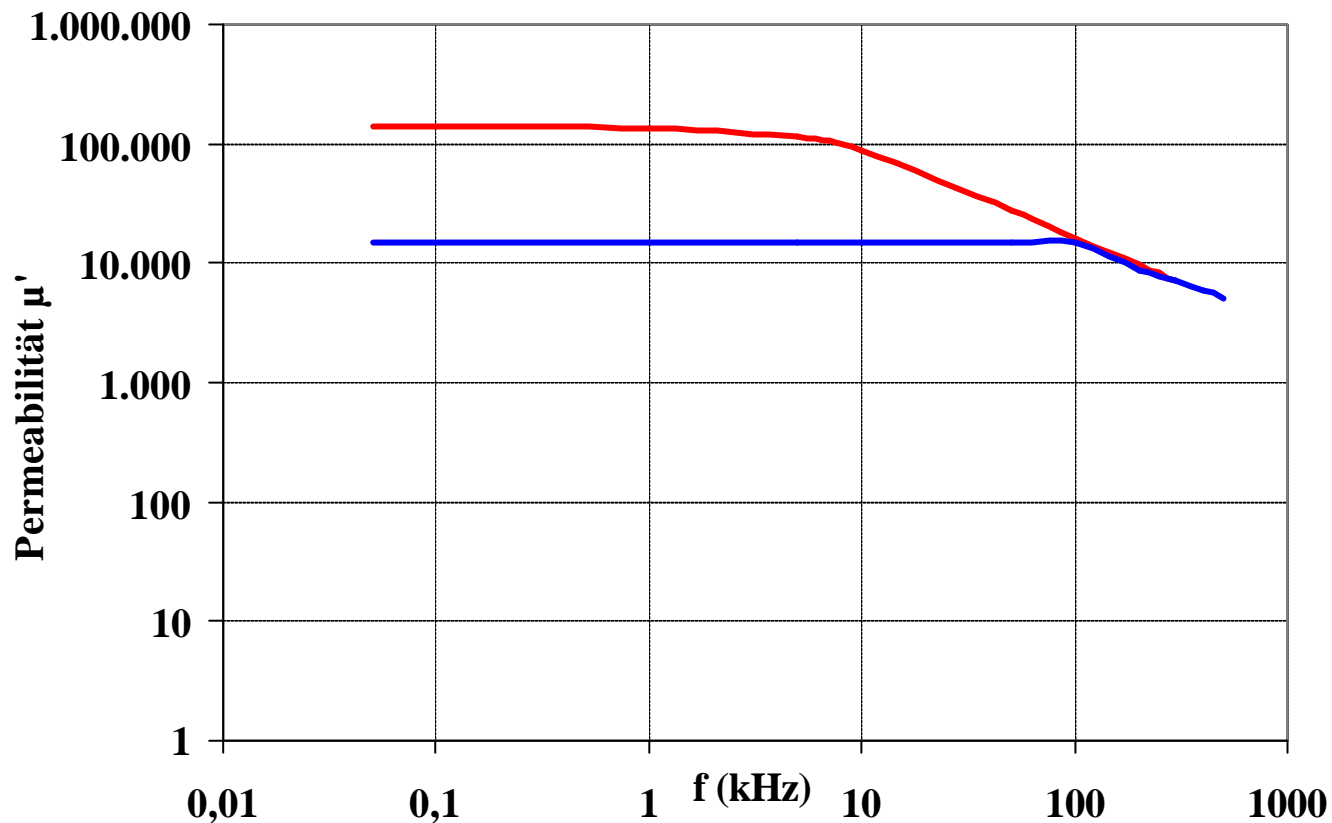
Moderne Magnetwerkstoffe für die elektromagnetische Verträglichkeit -EMV



Konstante Permeabilität bis hin zu wesentlich höheren Temperaturen

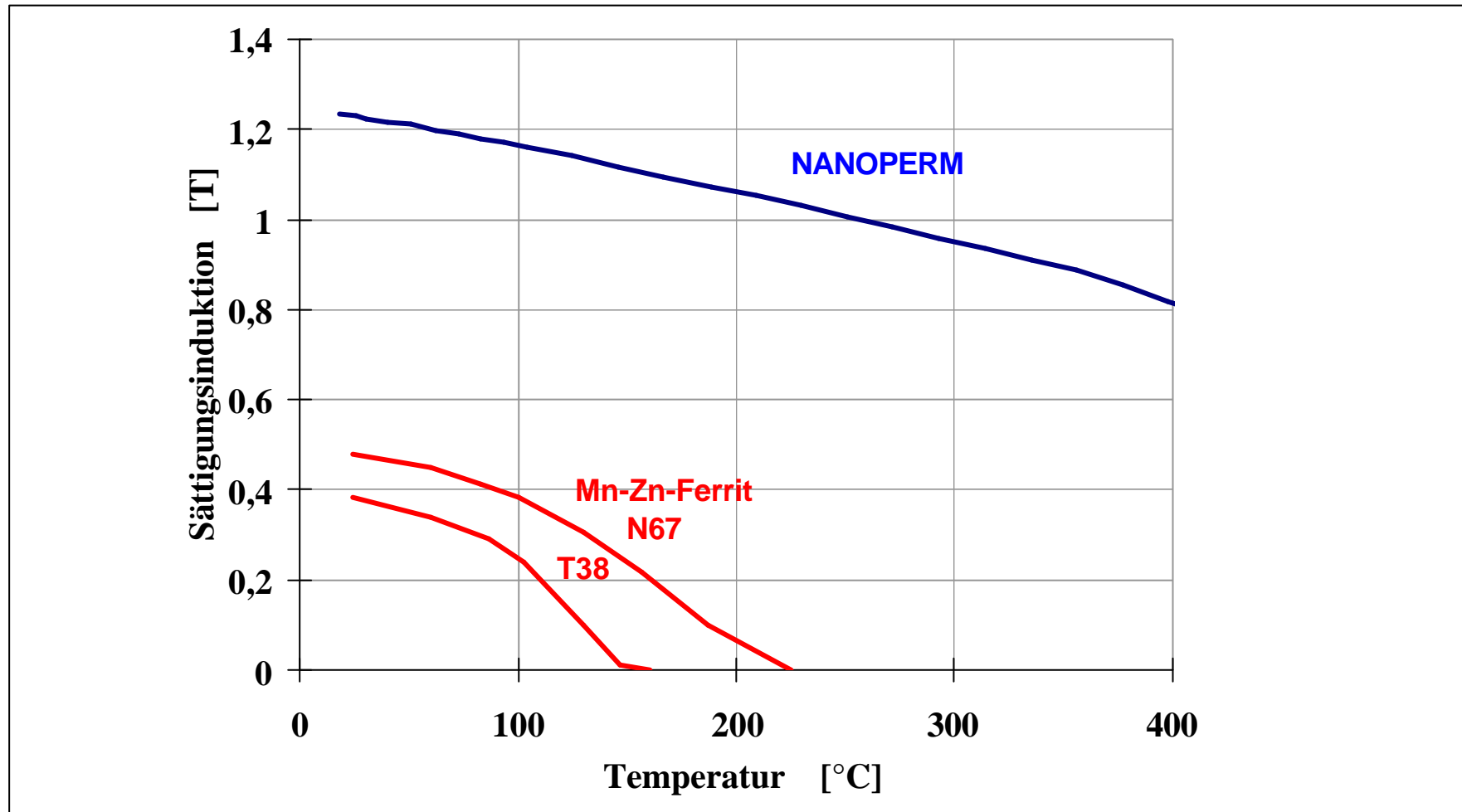
## Werkstoffvergleich

Moderne Magnetwerkstoffe für die elektromagnetische Verträglichkeit -EMV



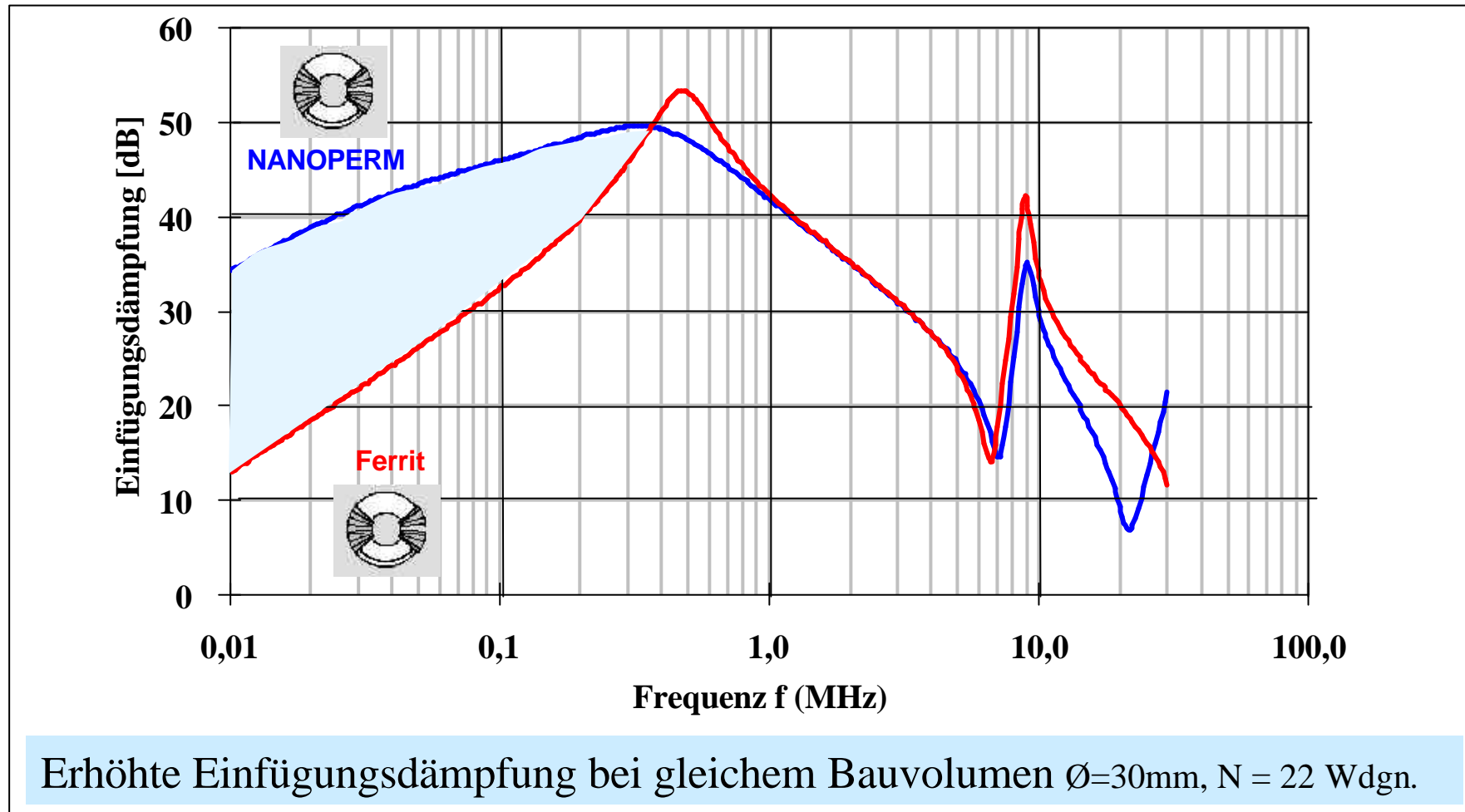
## Werkstoffvergleich: Frequenzgang

Moderne Magnetwerkstoffe für die elektromagnetische Verträglichkeit -EMV



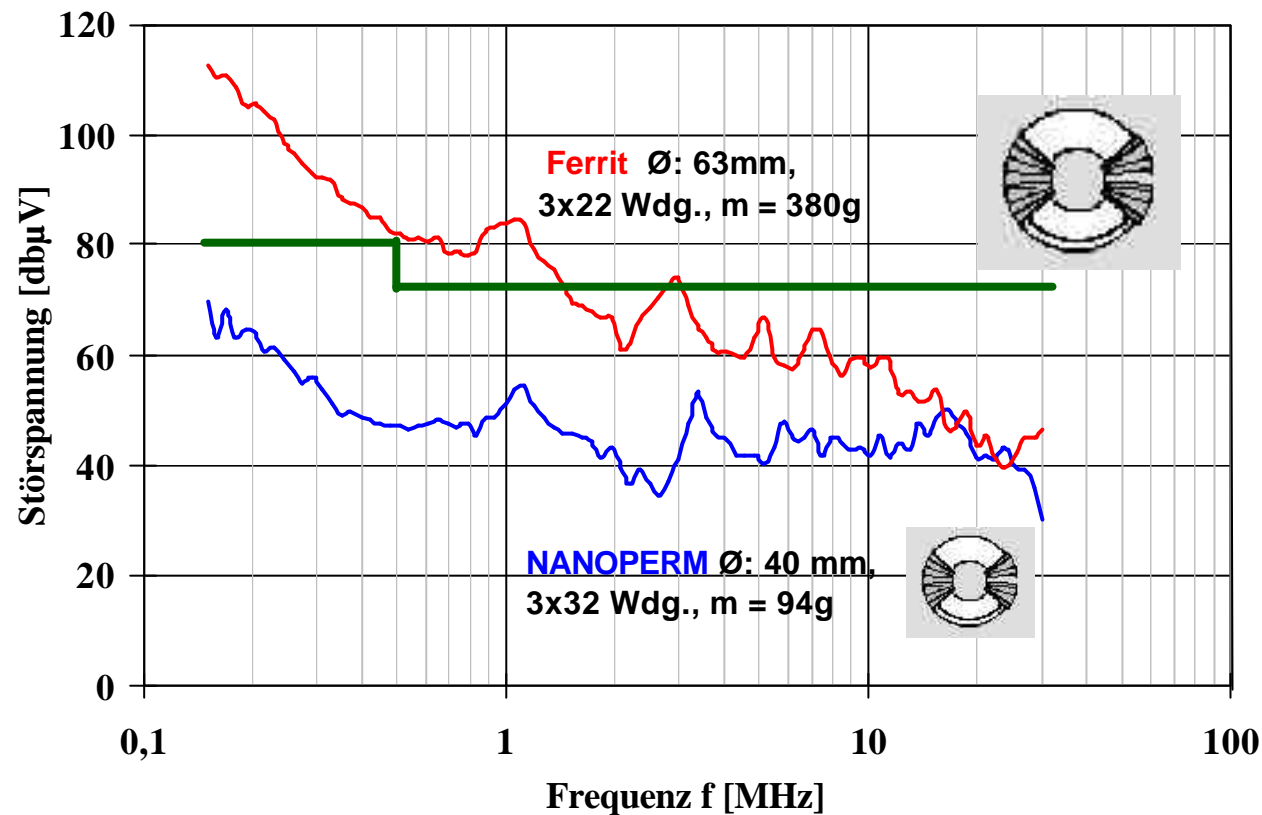
Werkstoffvergleich: stabileres Sättigungsverhalten

Moderne Magnetwerkstoffe für die elektromagnetische Verträglichkeit -EMV



## Werkstoffvergleich

Moderne Magnetwerkstoffe für die elektromagnetische Verträglichkeit -EMV



Erreichung eines schärferen Störgrades im gleichen Gerät bei kleinerem Bauvolumen

## Werkstoffvergleich

Moderne Magnetwerkstoffe für die elektromagnetische Verträglichkeit -EMV

## Ferrit-Drossel

$$I_N = 3 \times 25A @ 60^\circ C$$

$$L_N = 3 \times 1,3 \text{ mH} @ 10\text{kHz}$$

$$m = 350\text{g}$$



## Nano-Drossel

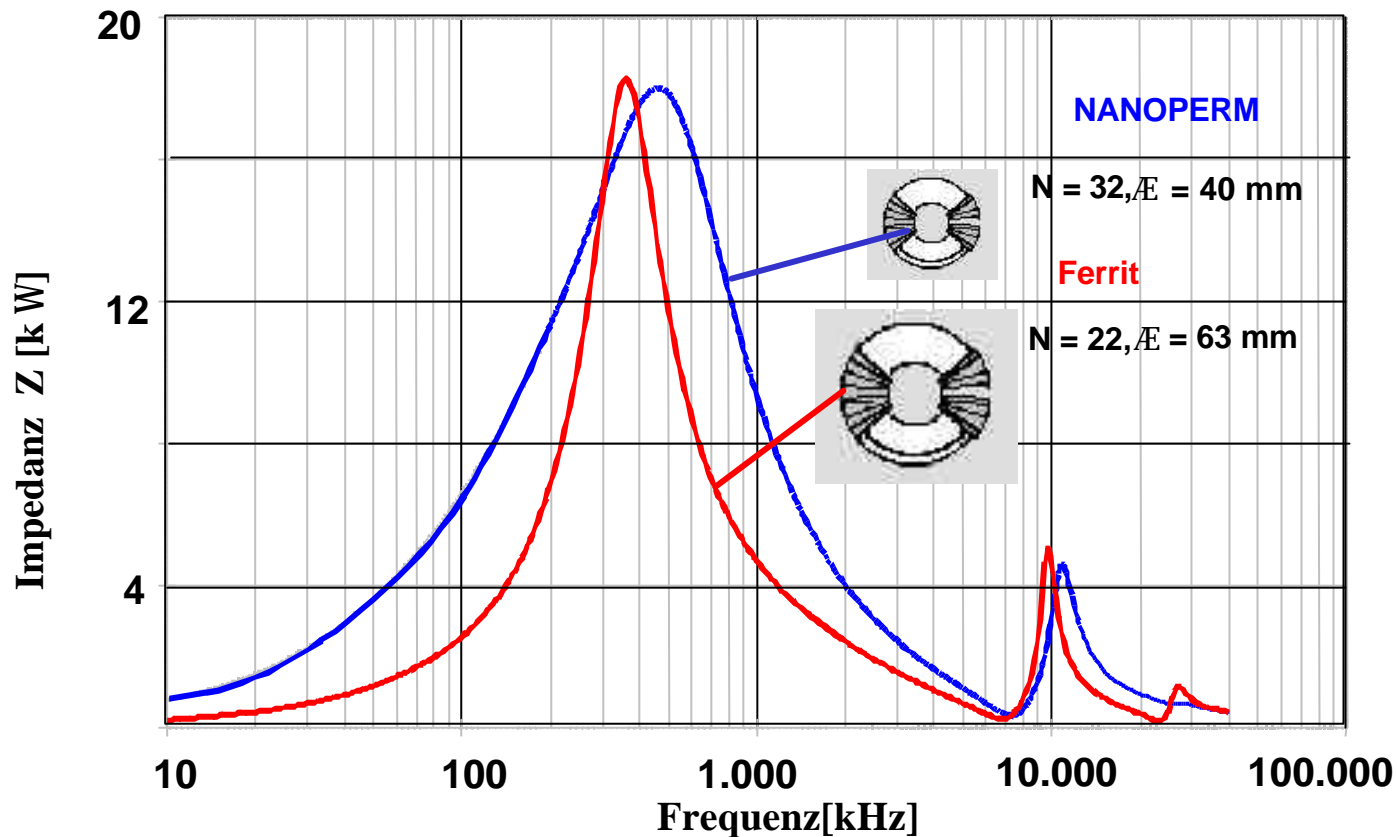
$$I_N = 3 \times 25A @ 60^\circ C$$

$$L_N = 3 \times 1,6 \text{ mH} @ 10\text{kHz}$$

$$m = 120\text{g}$$

## Größenvergleich Nano/Ferrit

Moderne Magnetwerkstoffe für die elektromagnetische Verträglichkeit -EMV

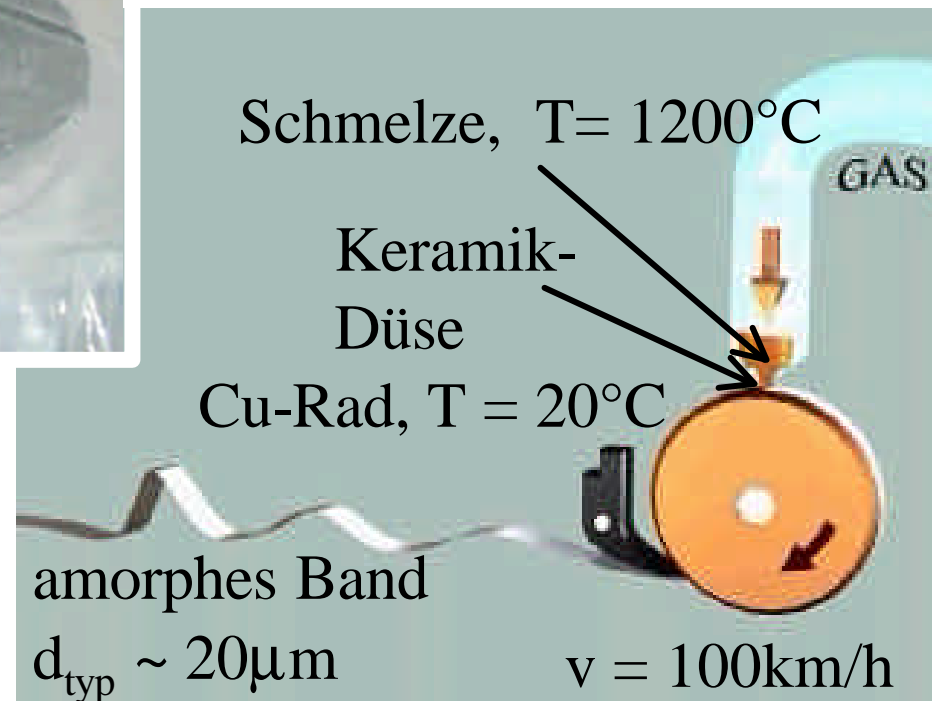


Gleicher Impedanzverlauf bei reduziertem Bauvolumen

## Werkstoffvergleich

Moderne Magnetwerkstoffe für die elektromagnetische Verträglichkeit -EMV

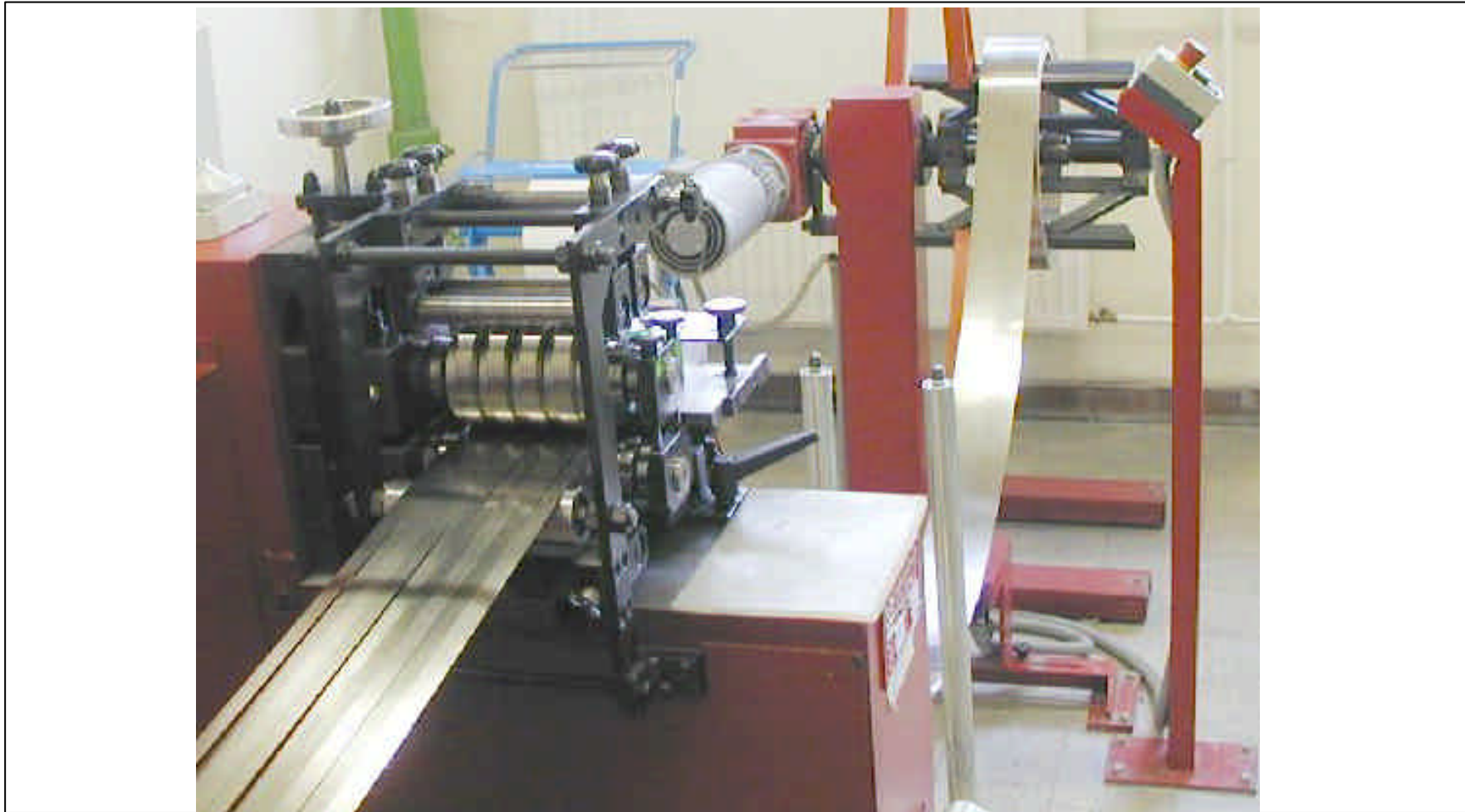




© AMT

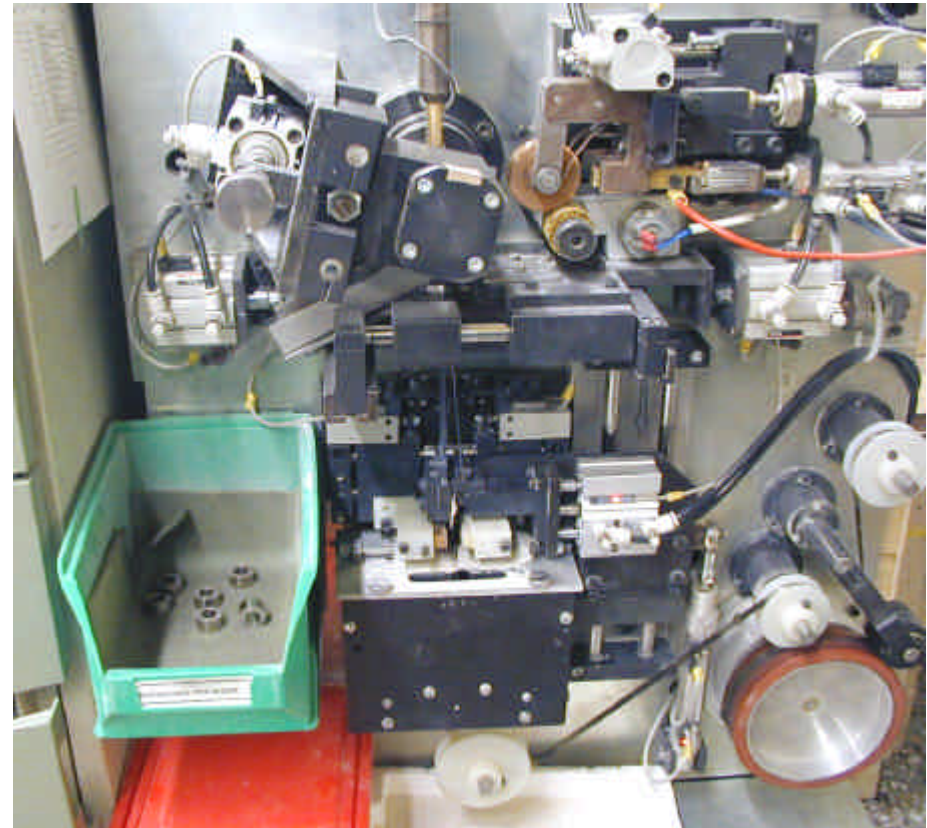
## Herstellung von rascherstarrten Metallbändern

Moderne Magnetwerkstoffe für die elektromagnetische Verträglichkeit -EMV



## Schneiden der Metallbänder

Moderne Magnetwerkstoffe für die elektromagnetische Verträglichkeit -EMV



## Automatisches Wickeln der Ringbandkerne

Moderne Magnetwerkstoffe für die elektromagnetische Verträglichkeit -EMV





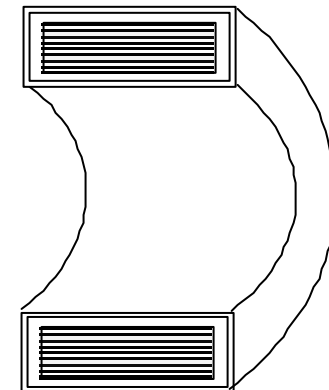
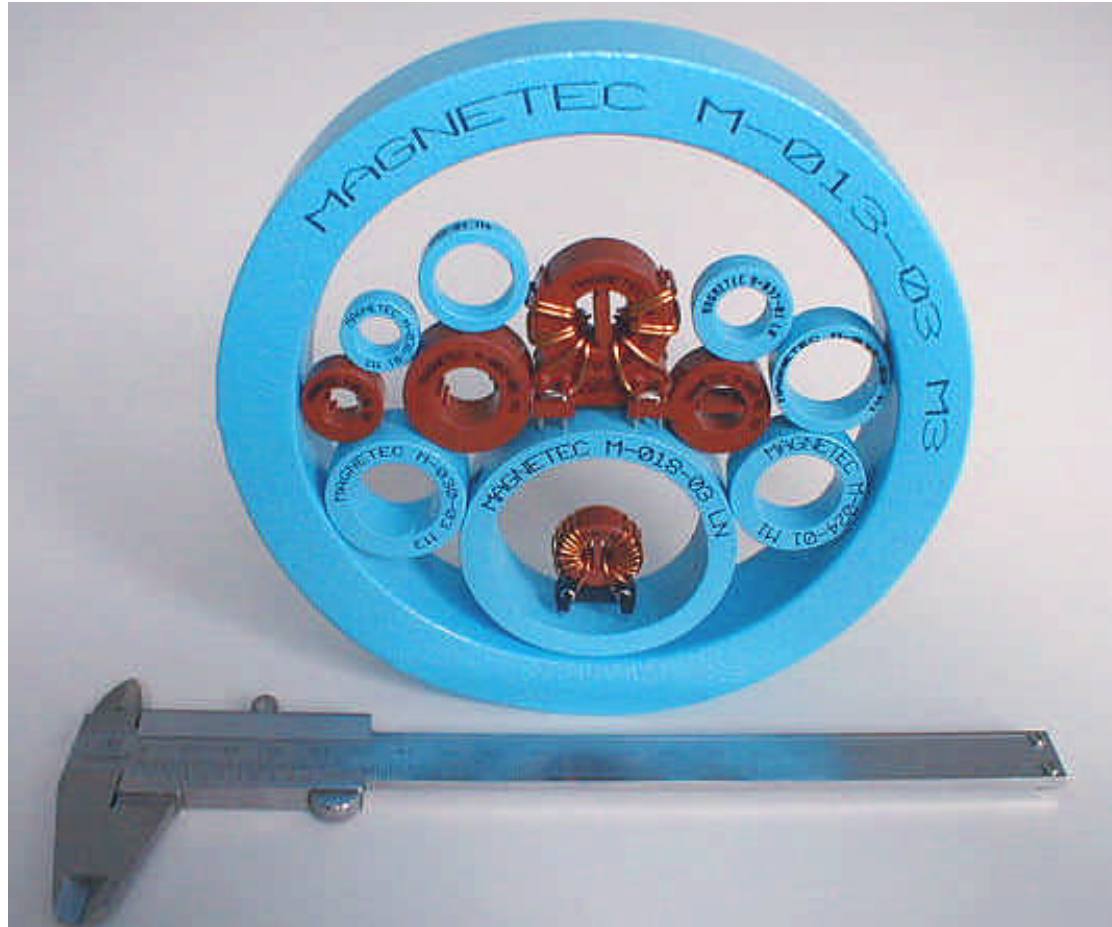
## Magnetfeldofen und Glühgestell für Längsfeldbehandlung

Moderne Magnetwerkstoffe für die elektromagnetische Verträglichkeit -EMV



## Beschichten der Ringbandkerne mit Epoxidharz

Moderne Magnetwerkstoffe für die elektromagnetische Verträglichkeit -EMV



## Lieferformen von NANOPERM - Ringbandkernen

Moderne Magnetwerkstoffe für die elektromagnetische Verträglichkeit -EMV



- Zunahme der Anzahl der ‚Störer‘ und damit des Grundpegels u. a. durch Einzug industrieller Technik in den Haushaltsbereich
- Verschärfung der Grenzwerte
- Erweiterung des Definitionsbereiches der Normen
- Zusätzliche Normen (z. B. PFC)
- neuartige Störer durch schnellere u. leistungsfähigere Schalter
- Zunahme der Kosten für Filtermaßnahmen
- globale Einführung von EMV-Normen

## Zusammenfassung

Moderne Magnetwerkstoffe für die elektromagnetische Verträglichkeit -EMV