

Internationale und nationale Entwicklungen in der Hochspannungsprüftechnik

K. Feser

**Institut für Energieübertragung und
Hochspannungstechnik, Universität Stuttgart**

Einleitung

Vorschriften, Standards

- IEC 60-2
- Akkreditierung

Entwicklungen auf der HS-Seite

Entwicklungen in der Meßtechnik

- Hardware-/Softwareentwicklungen
- Sensoren
 - Feldsensor
 - Temperatursensor
- verbesserte Auswertemöglichkeiten
 - TE-Meßtechniken
 - TF-Diagnose
 - Neuronale Netze

Weiterentwicklung prüftechnischer Verfahren

Vor-Ort-Prüfung von SF₆-Anlagen

Einflüsse auf die HS-Prüftechnik

• Entwicklungen in der Energieübertragung

- HDÜ/HGÜ
- Freileitung, Kabel, Rohrleitung, supraleitende Kabel
- Schaltanlagen: Freiluft/SF₆-isoliert
- Spannungsqualität: FACTS
- Speichertechniken: SMES, Batterie
- Alternative Energieerzeugung, Wasserstoff
- Leit- und Schutztechnik, Diagnosetechniken
- Informationsverarbeitung und -aufbereitung

• Produktentwicklungen

- MO-Ableiter
- Optoelektronischer Wandler
- Transformator (mit eingebautem Ableiter)
- Halbleiterschalter

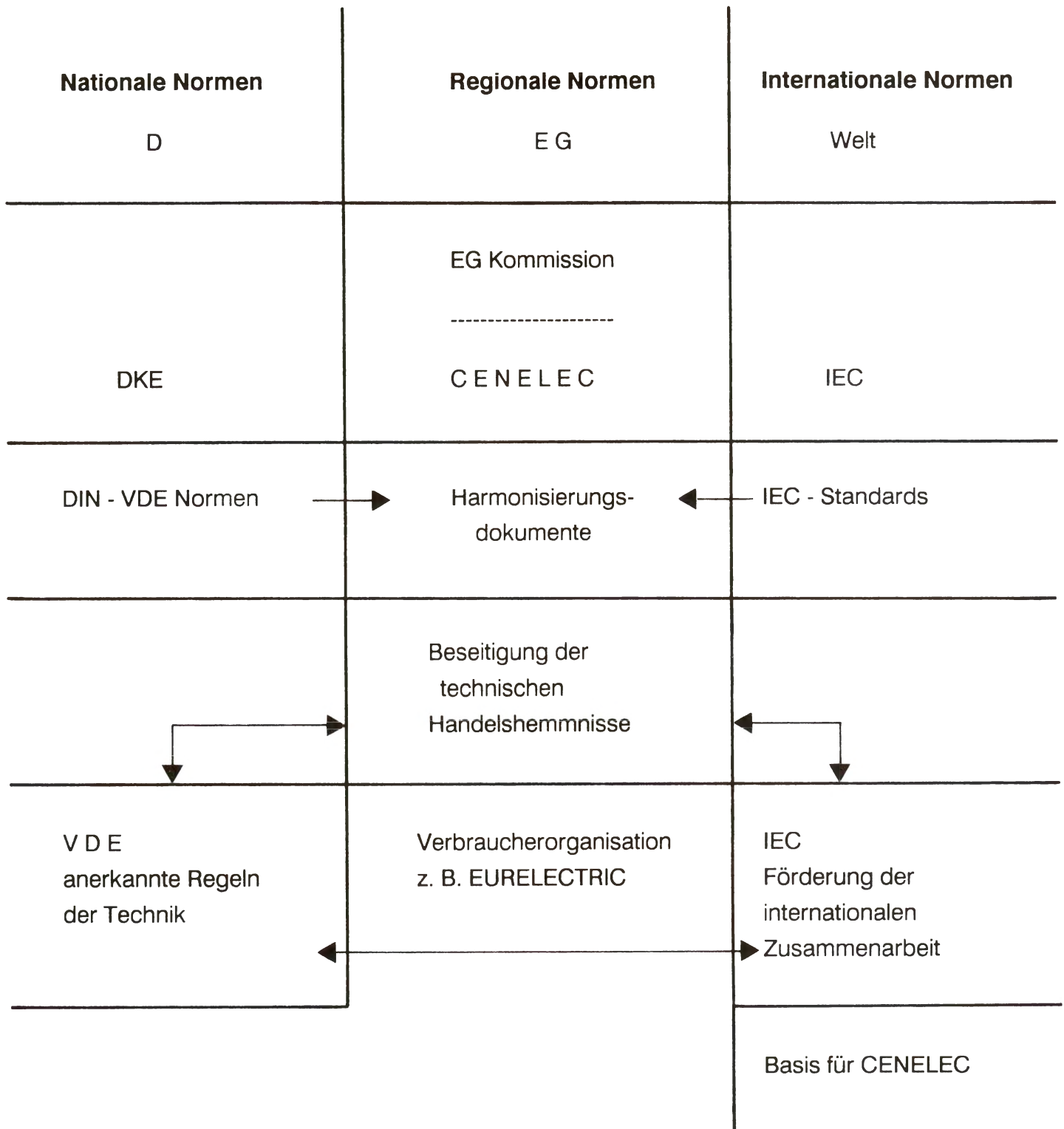
• Normen

- IEC, CENELEC, DKE
- Hausvorschriften

• Technologische Entwicklungen

- Werkstoffe, Isoliermaterialien
- Analog-, Digitaltechnik
- Elektronik, Mikro-, Leistungs-, Optoelektronik
- Rechnertechniken, Speichermedien: Algorithmen
- wissensbasierte Systeme, fuzzy logic, neuronale Netze

Organisation der Normenharmonisierung



Vorschriften, Standards

Laufende Arbeiten bei

IEC TC 42:

WG 05/07:	IEC Publ. 60-1	1989
	60-2	CD, März 1992
WG 08:	IEC Publ. 1083	1990
	Part 2	?
WG 09:	HV-Tests for Low Voltage Equipment	
	Part 1	DIS 1992
	Part 2	CD 1992
WG 10:	Measuring System for Fast Transients	
		CD 1992
WG XX:	IEC Publ. 270	Beginn 1992

IEC TC 28:

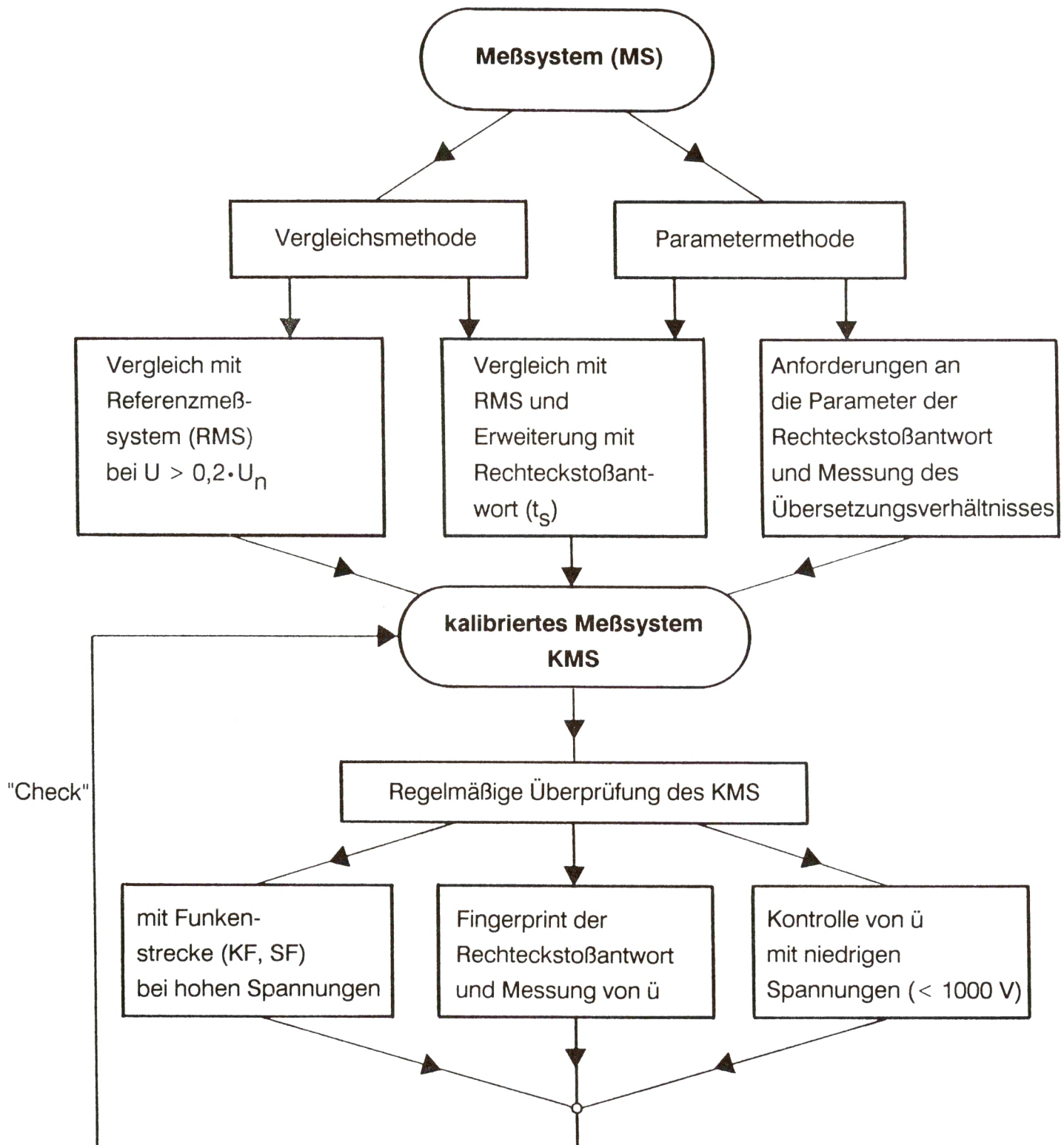
WG 01:	IEC Publ. 71 - 1	DIS 1992
WG 02:	IEC Publ. 71 - 2	CD 1992

IEC TC 17 C:

WG :	Prüfkreis für Trennerschaltungen
------	----------------------------------

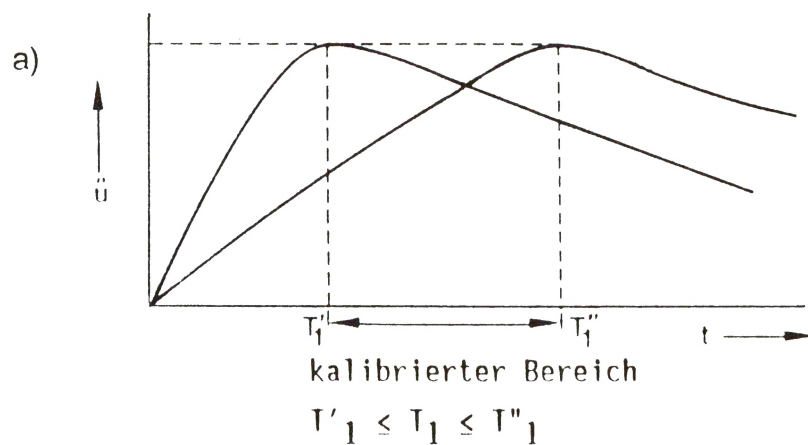
Kalibrierung eines Meßsystems für HS-Messungen

IEC Publ. 60 - 2 (1992!)



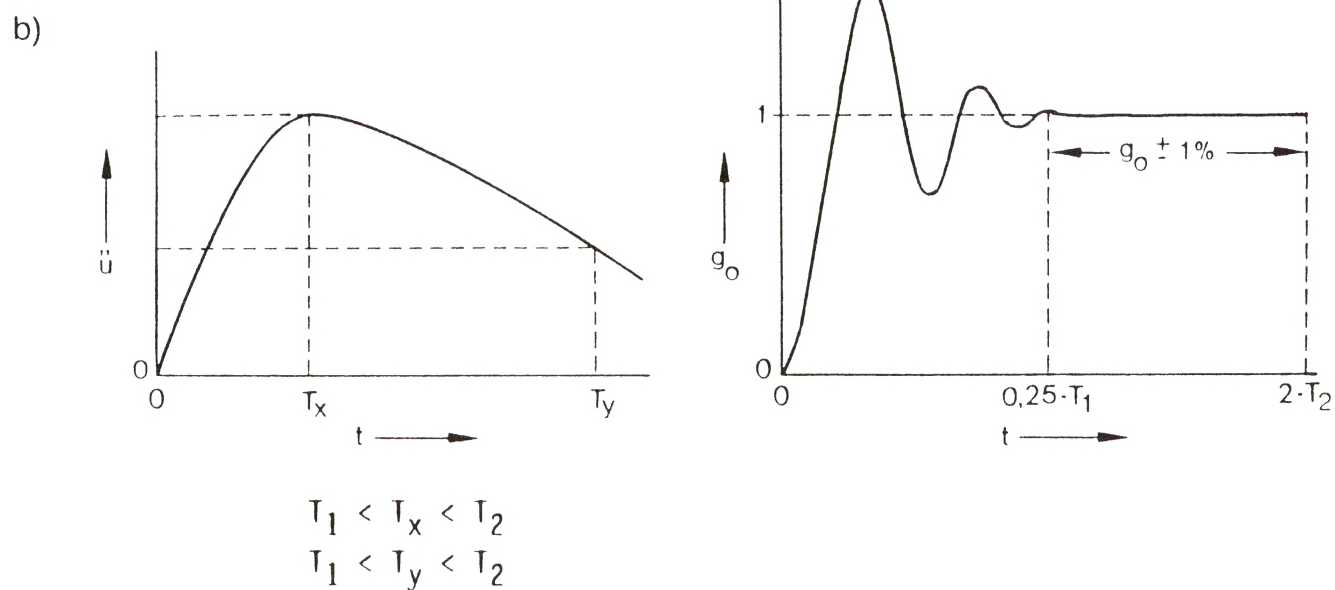
Kalibrierung von Stoßspannungsteilern

Vergleichsmethode

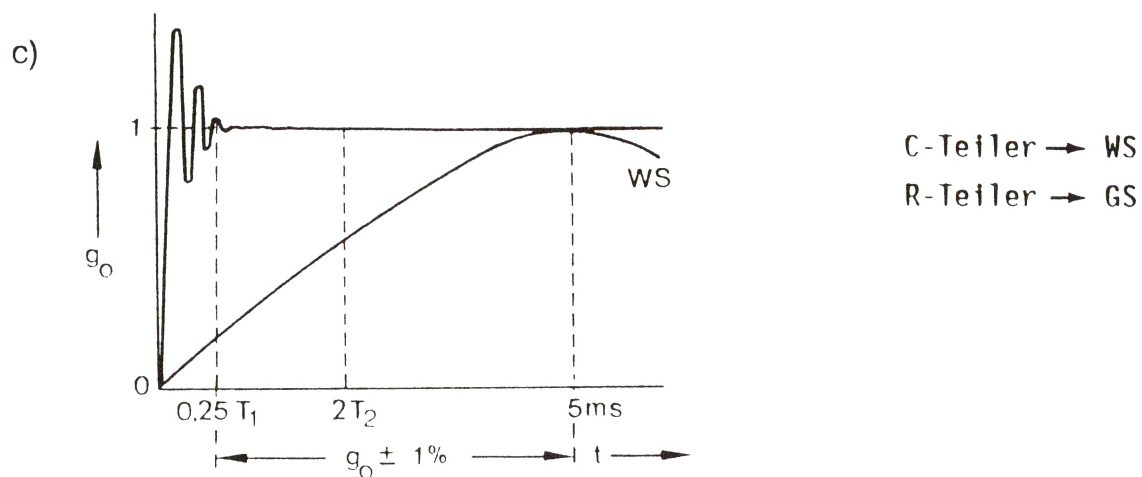


z. B.: für Blitzstoßspannungen:

$$0,8 \mu s < T_1 < 2 \mu s \quad , \quad T_2 \sim 50 \mu s \quad , \quad U > 0,2 \cdot U_p$$

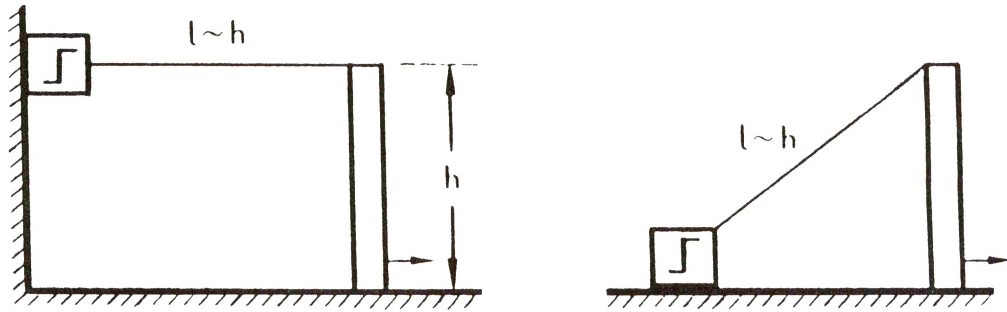


Parametermethode

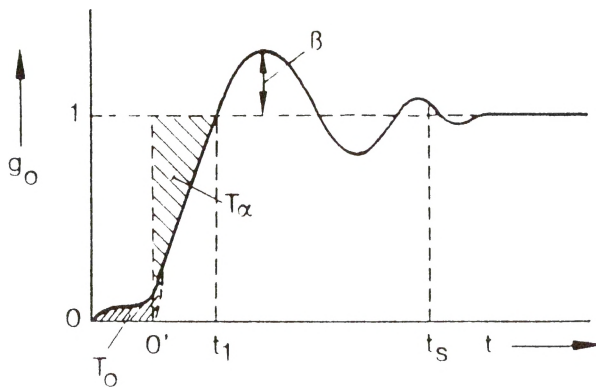


Parameter und Grenzwerte der Rechteckstoßantwort

Meßkreis:



Definitionen:

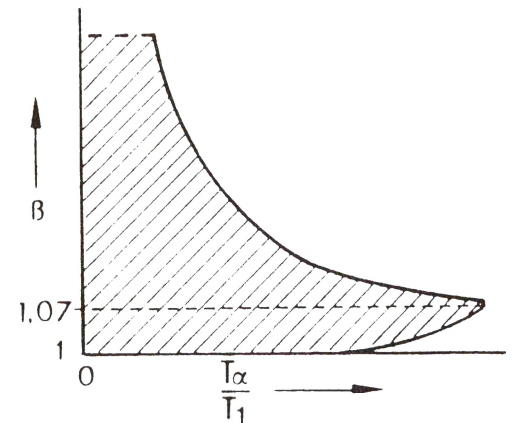
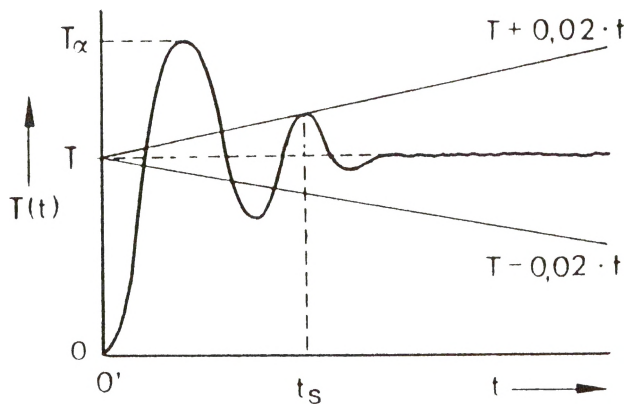


$$T_{\alpha} = \int_{0'}^{t_1} (1 - g_0(t)) dt$$

$$T = \int_{0'}^{\infty} (1 - g_0(t)) dt$$

$$t_s : \left| \int_{t_s}^{\infty} (1 - g_0(t)) dt \right| < 0,02 \cdot t_s$$

Auswertungen:



Anforderungen für kalibrierte Meßsysteme (KMS):

für volle Stoßspannungen (BS/SS)

- $g_0(t) = 1 \pm 0,01$ im Bereich $0,25 \cdot T_1(T_p) \leq t \leq 2 \cdot T_2(T_h)$
- $t_s < 0,4 \cdot T_1(T_p)$
- $\beta = f(T_{\alpha}/T_1)$ innerhalb d. schraffierten Fläche

zusätzlich für abgeschnittene BS (Abschneidezeit T_c):

- $t_s < T_c$
- $|T_0| < 0,005 \cdot T_c$
- $T_{\alpha} - 0,03 \cdot T_c \leq T \leq 0,03 \cdot T_c$

Probleme:

- **Linearität**

Referenzteiler: $U_n \geq 0,2 \cdot \hat{U}$

GS: mit Stab-Stab-FS (IEC 60 - 1, 1989)
 $\pm 1 \%$, bis ca. 1200 kV

WS: Vergleich von U_1 und U_2 einer WS-Anlage bei gleichem Aufbau
mit KF

BS, SS: Vergleich von U_L und U_{Ausgang} eines Stoßgenerators
mit KF

BS, $T_C = 0,5 \mu\text{s}$: Problem! da Abschneiden, vor allem zu Beginn des Abschneidens, nicht linear!
Vergleichsmessung setzt aber Linearität voraus, deshalb besser: Spannungsteiler
über Anforderungen an die Rechteckstoßantwort kalibrieren.

- **Abgleich bei gemischten Teilern (CR oder RC)**

Beruhigungszeit t_s , Anschleichen der Rechteckstoßantwort → Zeitkonstanten abgleichen

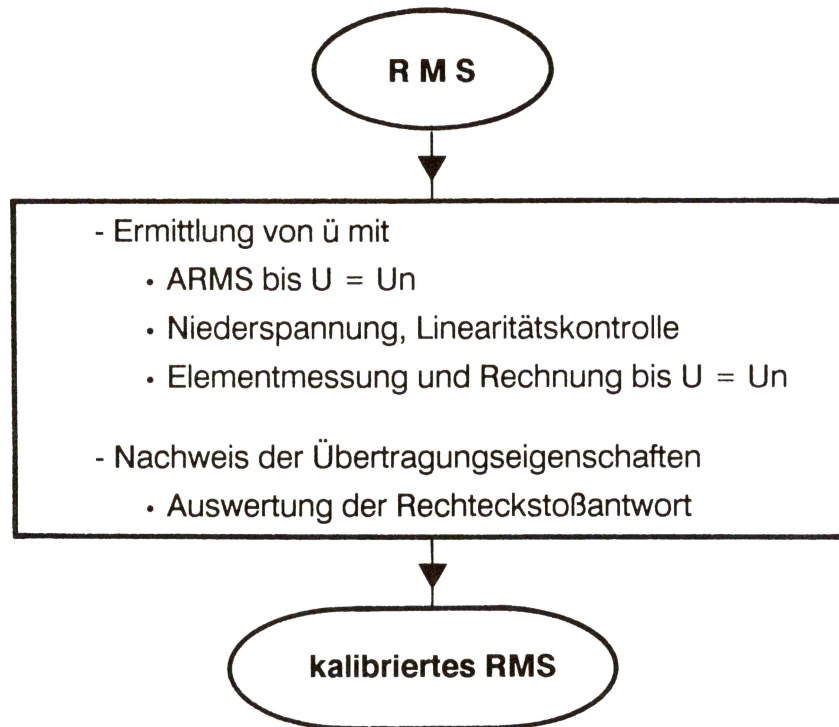
- **Stirnschwingung**

um so größer, je besser Spannungsteiler
Auswertung durch lineare Interpolation

- **Anforderungen an die Rechteckstoßantwort für Referenzmeßsysteme**

Referenzmeßsysteme (RMS)

Kalibrierung durch akkreditierte Labors:



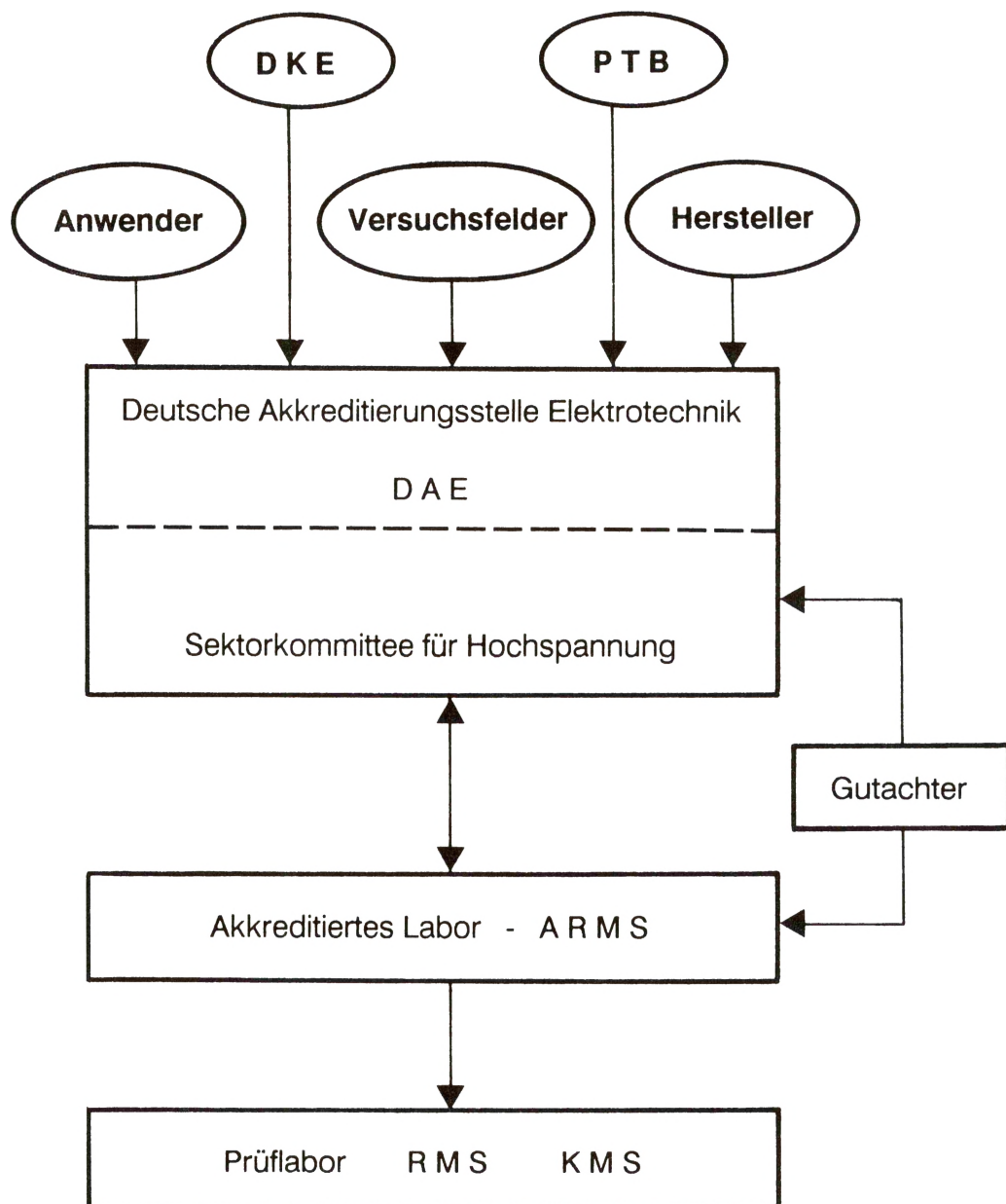
Anforderungen an KRMS:

- Parameter der Rechteckstoßantwort:

Parameter	BS/abgeschn. BS	SS
T	< 15 ns	-
T_α	< 30 ns	-
t_s	< 200 ns	< 10 μ s

- $U_{\text{RMS}} > 0,2 \cdot U_{\text{MS}}$

Akkreditierung



Entwicklungen auf der HS-Seite

- Baukastenprinzip (Fertigung, Flexibilität, Kosten)
- Neue Materialien
- Optimale Ausnützung
- Automatisierung des Prüfvorgangs:
 - auf Prüfvorgang zugeschnittene Lösungen
 - in die Fertigung integrierte Lösungen
- Systemlösungen

In der Diskussion sind

- Steilstoßprüfungen bei
 - SF₆-Anlagen
 - Kappenisolatoren
 - leittechnischen Systemen
 - an SF₆-Anlagen angeschlossenen Komponenten
- Vor-Ort-Prüfungen
 - SF₆-Anlagen
 - Kabel

Zu entwickeln sind

- Prüfverfahren
- Prüfanlagen
- Diagnosemöglichkeiten

Neuere Entwicklungen in der Meßtechnik

• Hardware

- Sensoren mit integrierter Mikroelektronik
 - z. B. Feldsensoren für SF₆-Anlagen, Temperatursensor für Transformatoren
- Meßgeräte auf PC-Basis
 - z. B. TE-Meßsysteme
- Referenzmeßsysteme für GS, WS und SS
- EMV (Signal/Rauschverhältnis, Eingangsabschwächer, Optoelektronik)
- Sensoren bis einige 10 MHz

• Software

- Bedienungskomfort
- Auswertelgorithmen (digitale Signalverarbeitung)
 - z. B. Transferfunktion
- On-line Fähigkeit
- Darstellung des Ergebnisses (analog, digital)
- Datenreduktion, Rohdaten
- Kontrolle der Software (z. B. von Auswertelgorithmen, von Darstellungen)
- Dokumentation

• Kalibrierung (von Hardware und Software)

Verbesserte Auswertemöglichkeiten durch Mikrorechner

TE-Meßtechniken

- Empfindlichkeit der TE-Messung
(Signal/Rauschverhältnis, Ankopplung)
- Störgrößen erkennen und eliminieren
 - in verschiedenen Frequenzbereichen (< 500 kHz, HF, VHF)
 - bei verschiedenen Methoden (elektrisch, elektromagnetisch, akustisch, chemisch, optisch)
- Interpretation der Ergebnisse
 - qualitativ oder quantitativ
 - welche Größe entscheidend
 - Mustererkennung mit Algorithmen, fuzzy logic, neuronalen Netzen
- Kalibrierung
- TE-Messung bei Impulsspannungen

TF-Diagnose

- Empfindlichkeit
- Geschwindigkeit (FFT)
- Störgrößen erkennen und eliminieren
- Interpretation der Ergebnisse
- Anwendungsmöglichkeiten im Labor, zur Diagnose im Betrieb

Teilentladungsmessung vor-Ort

am Beispiel von SF₆-Anlagen

- Anwendung:**
- während der vor-Ort-Prüfung
 - als Überwachung der Isolationssysteme
 - on-line
 - off-line

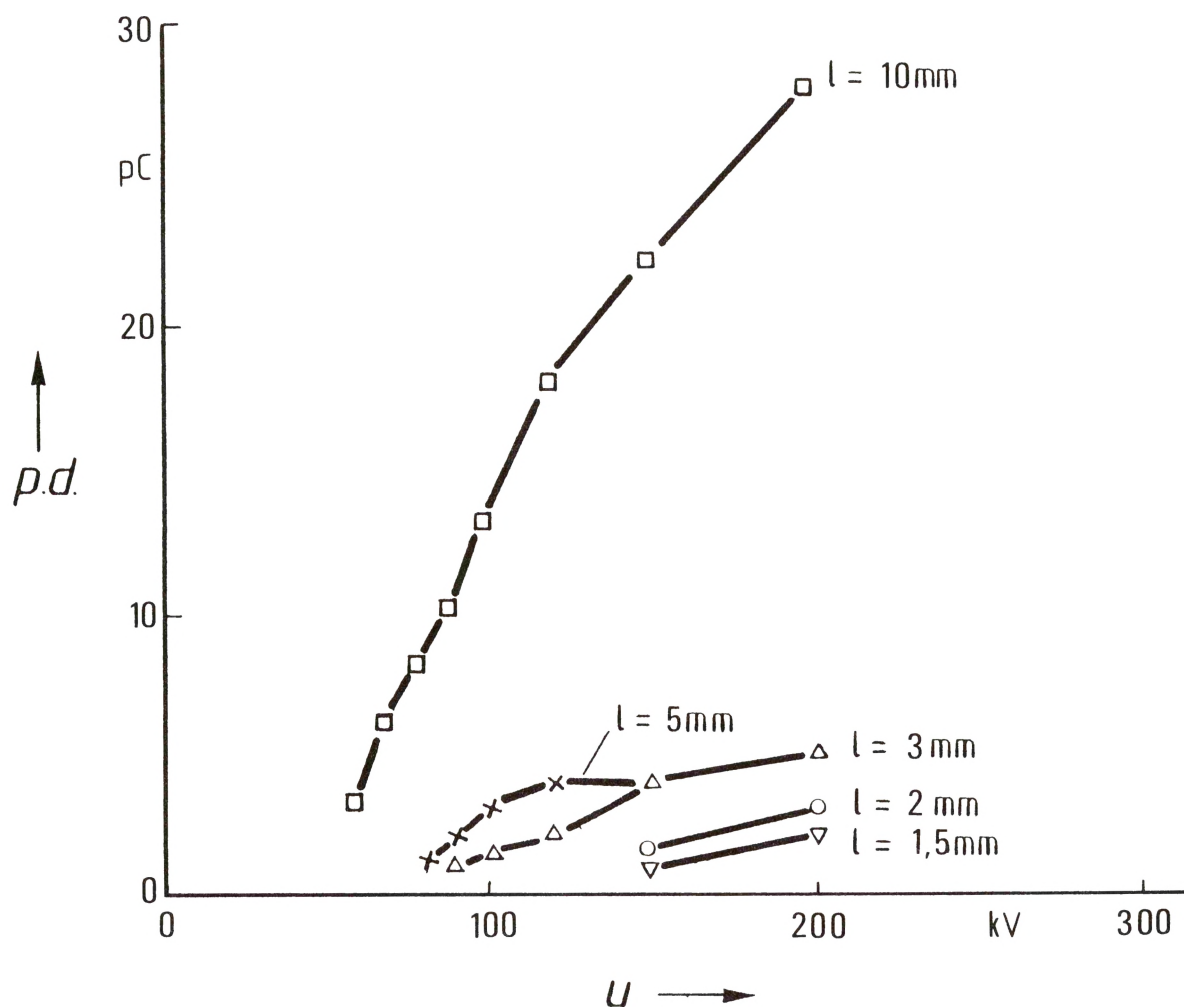
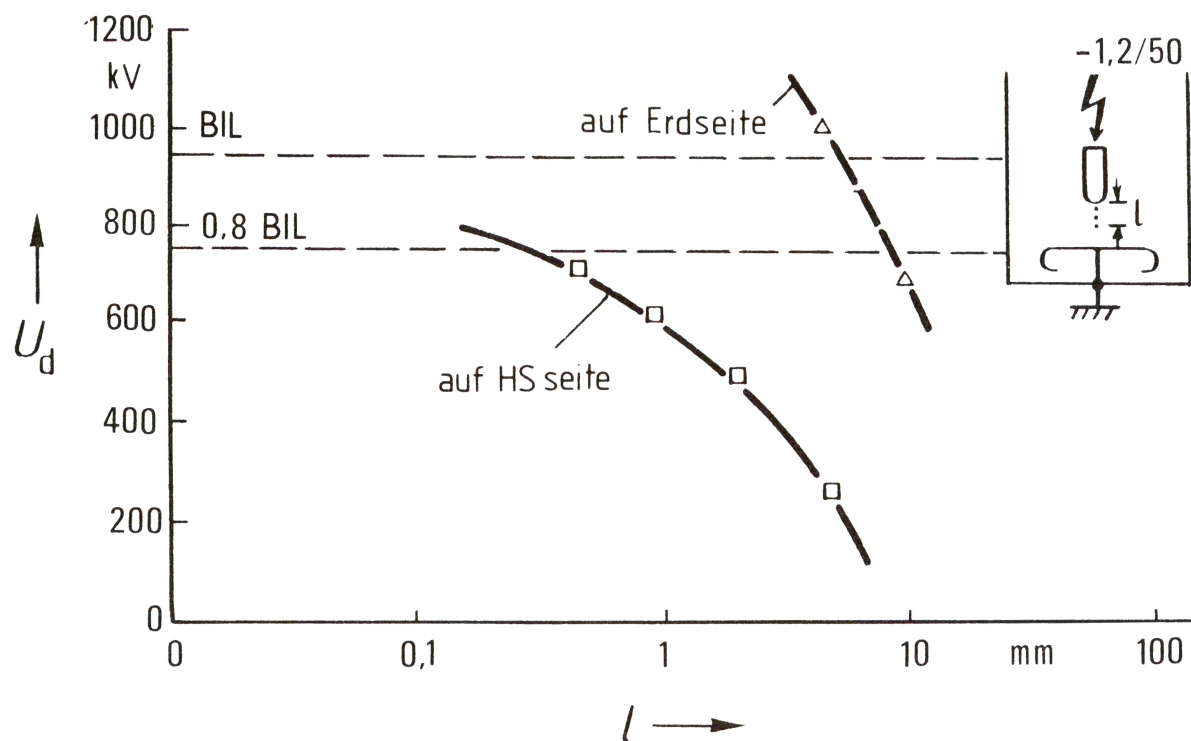
Angewandte Methoden der TE-Messung:

- konventionelle elektrische TE-Messung (Strom, Ladung)
- Messung von TE nach der HF-Methode (einige 10 MHz)
- Messung von TE nach der UHF-Methode (Strom, Feld, GHz)
- akustische TE-Messung
- chemische Sensoren
- optische TE-Messung

Störunterdrückungsmethoden (vor allem bei elektrischer TE-Messung):

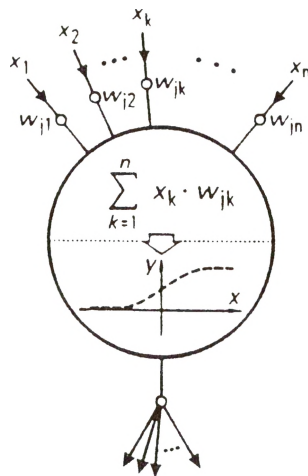
- Brückenschaltung
- Pulsdiskriminator-Methoden (Antennen, variables elektronisches Ausblenden)
- Fensterfunktionen, phasenfestes elektronisches Ausblenden
- schmalbandige Messung (frequenz-selektive Messung, Störspannungsmessung)
- breitbandige digitale TE-Messung mit
 - digitaler Filterung im Frequenzbereich
 - Korrelationstechniken
 - Mittelwertbildung
 - Phasenwinkelerkennung

GIS : $U_m = 245 \text{ kV}$, $0,45 \text{ MPa SF}_6$, scharfkantige Störstelle



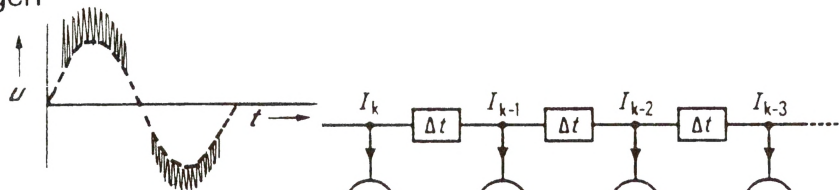
Neuronale Netze

Prinzip:

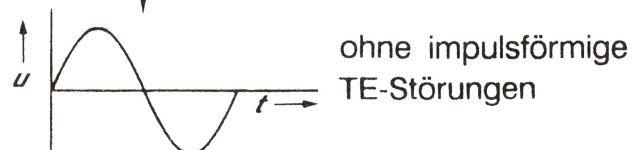
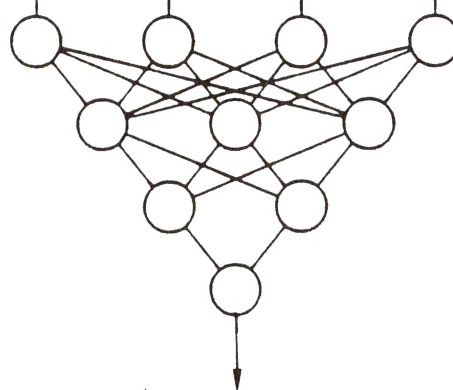


Neuron

mit impulsförmigen
TE-Störungen

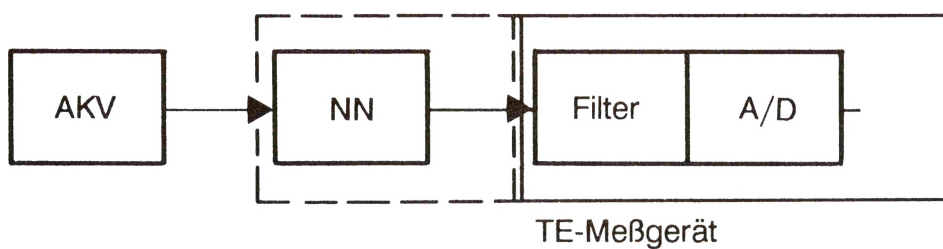


Neuronales Netz



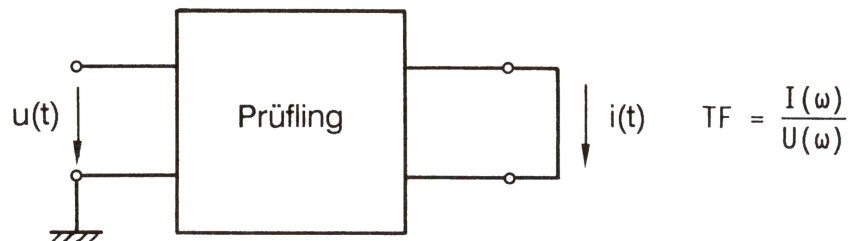
Anwendung: Störmustererkennung (z. B. Korona)
TE-Mustererkennung (Fehlerart, Fehlerort)

Vorteile: Online-fähig, lernfähig

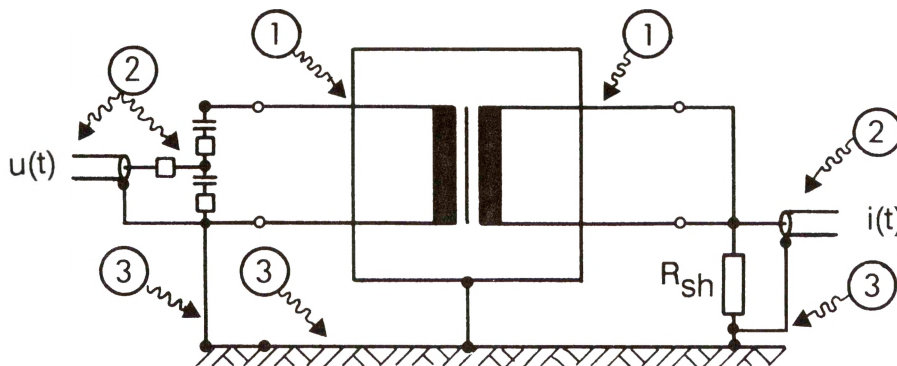


Transferfunktion

Theorie:



HS-Praxis:



Probleme:

- Digitalisierung (vertikale, horizontale Auflösung)
- Nutz-/Störsignalverhältnis
- Einkopplungen
 - in den Prüfling (1)
 - in die Meßeinrichtungen (HS-Teil, Kabel) (2)
 - in die Erdverbindungen (3)
- Interpretation der Ergebnisse (Fehlererkennung, Fehlerortung)

Weiterentwicklung prüftechnischer Verfahren:

Empfehlungen für Spannungsprüfungen Vor-Ort

