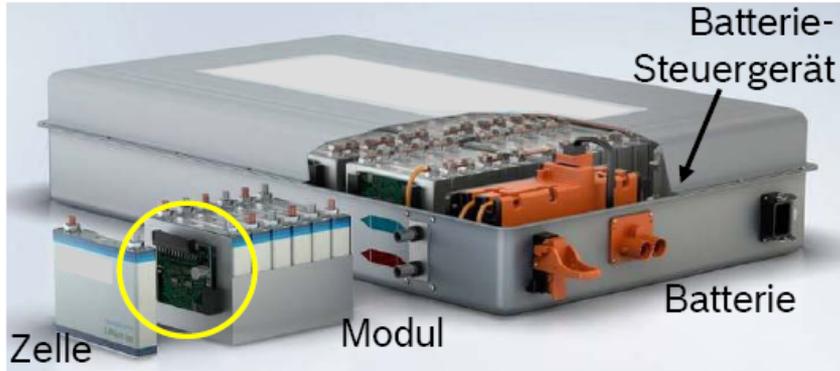


Einsatzgebiete der Kommunikation über Energienetze

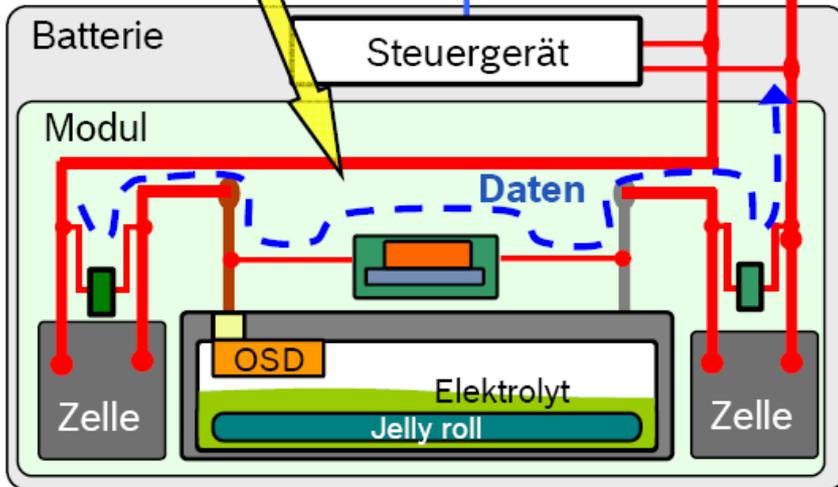
- ◆ “niederrartige” Dienste in den Bändern A-D nach EN50065
 - ‘Smart-Grid‘ Technologien
 - Zählerfernabfrage, energiebezogene Dienste, Tarifgestaltung der EVU
 - Vernetzung von Hausgeräten (Steuerung, Statusabfrage, Diagnose)
- ◆ Breitbanddienste im Frequenzbereich bis ca. 30MHz
“Last Mile”-Lösungen für den schnellen Internetzugang
 - permanente Verbindung über jede Steckdose => **kein Erfolg!**
- ◆ schnelle Inhaus-Netzwerke mit Datenraten bis 500Mbit/s
 - dominant am Markt HomePlug-Standard
 - real: ca. 50Mbit/s bei Frequenznutzung bis 70MHz
- ◆ KFZ-Kabelbaumkonzept für Datenraten >10Mbit/s
 - hohe Symmetrie, Karosserie wird vom Stromtransport ausgeschlossen
- Datenbuskonzepte für Li-Ionen-Batterieüberwachung
 - hohe Echtzeitanforderungen, keine zusätzlichen Leitungen
- ◆ PLC im Bergbau: vereinheitlichtes Energie- und Datennetz
- ◆ PLC in Satelliten: vereinheitlichtes Energie- und Datennetz

Datenbuskonzepte für Li-Ion Batterien

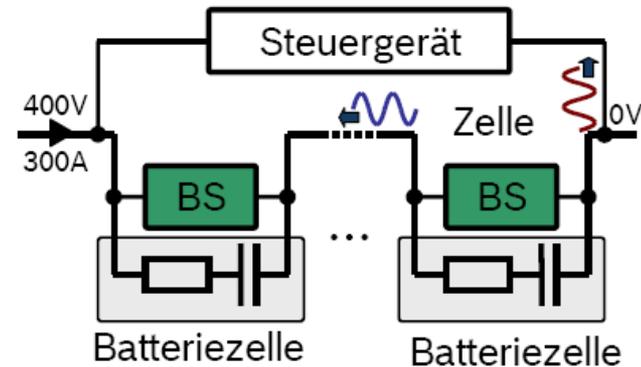


Innovation

CAN Strom

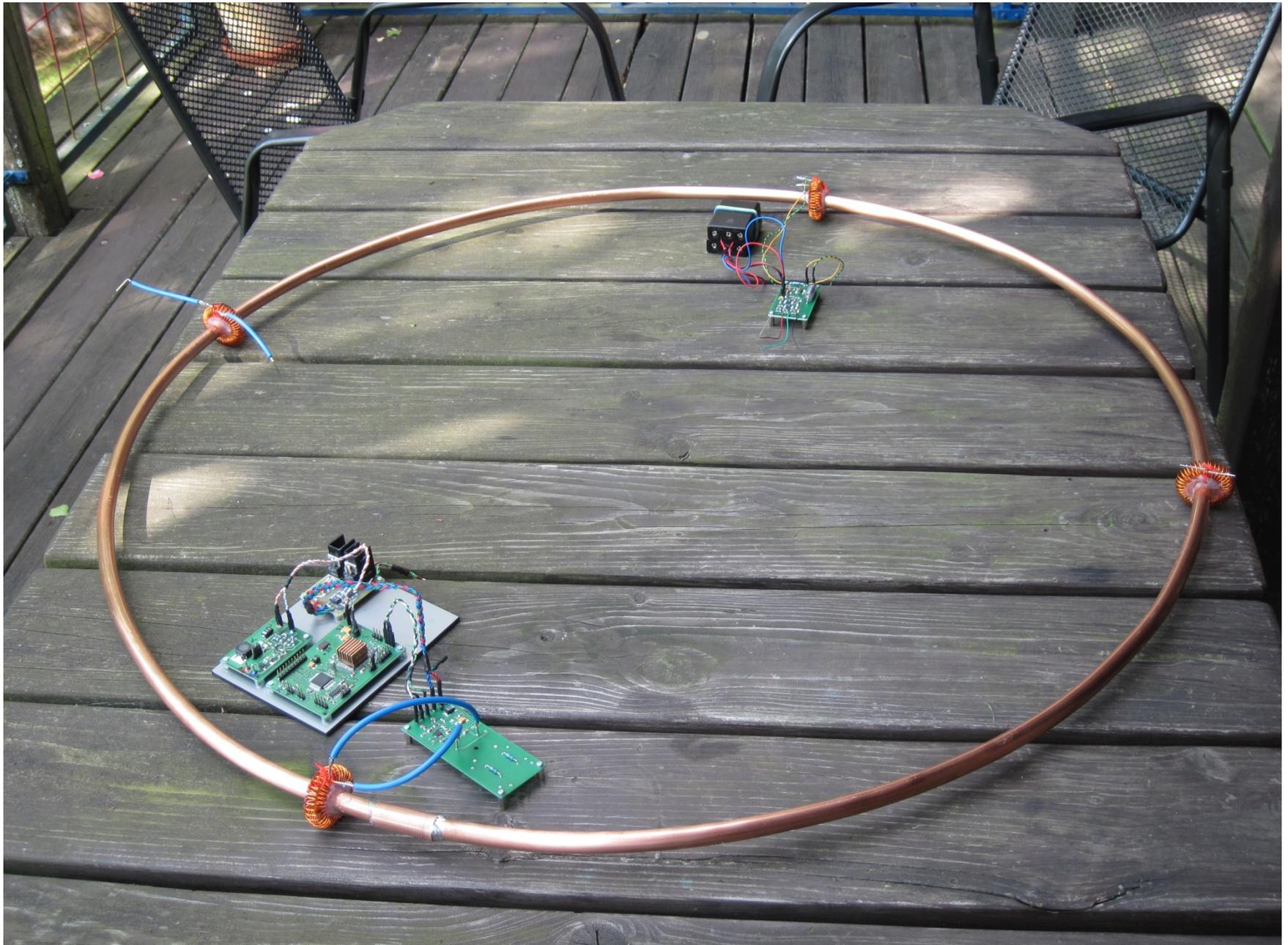


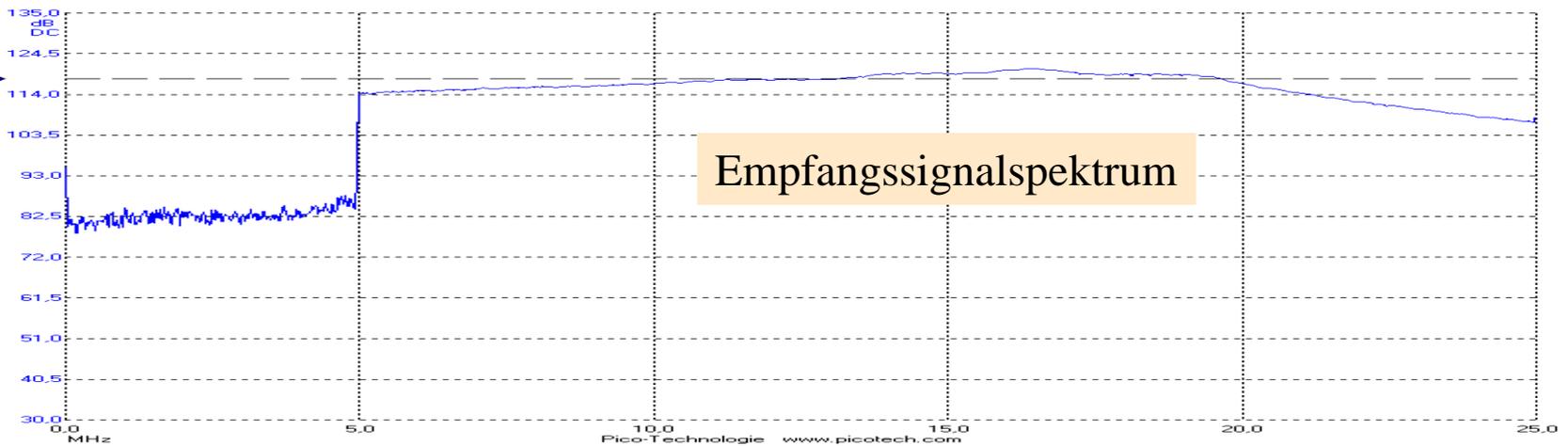
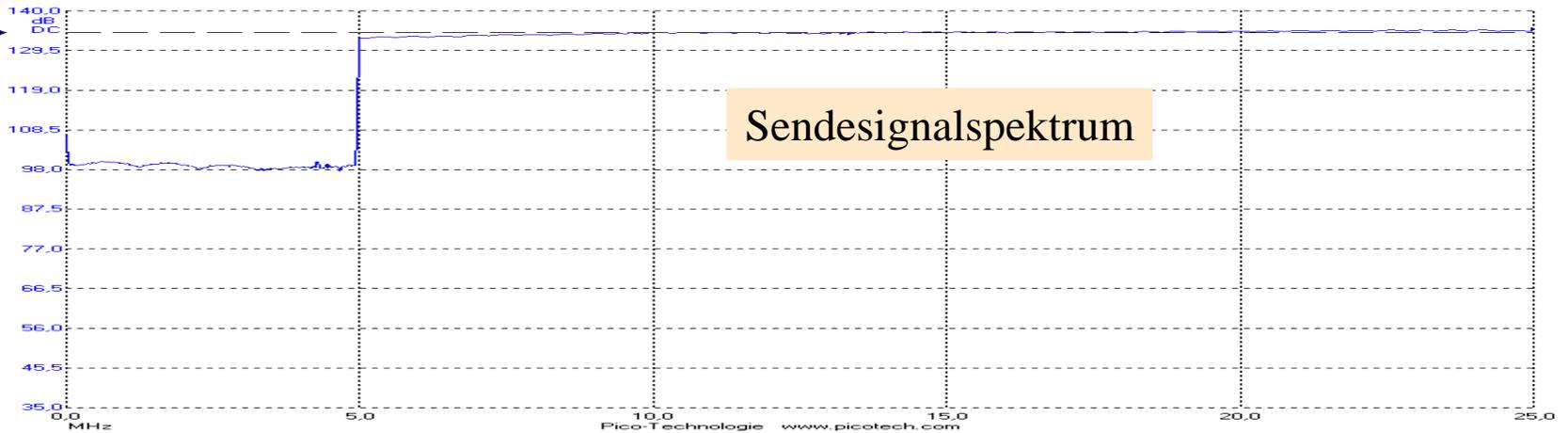
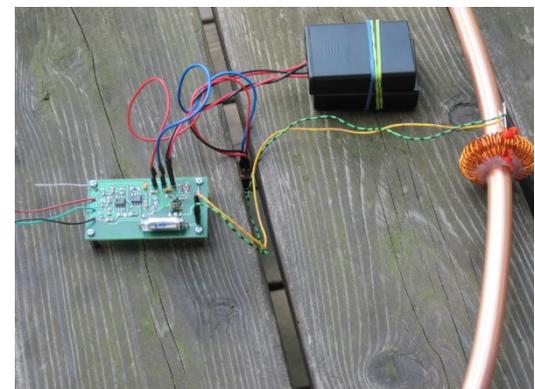
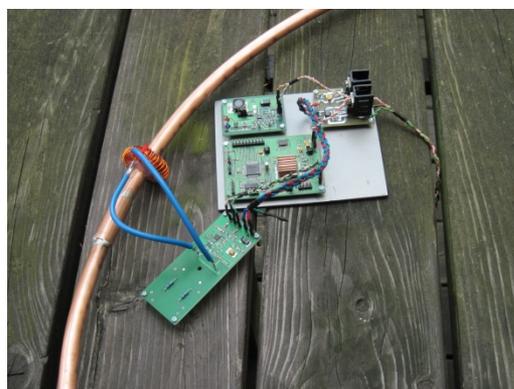
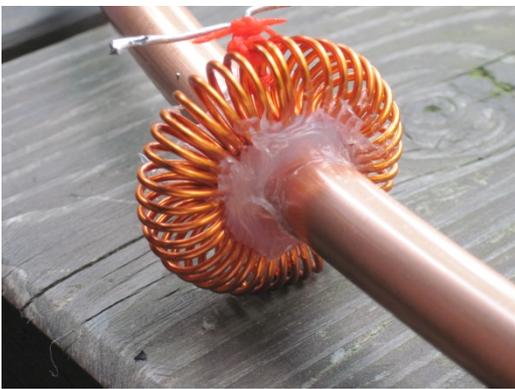
Alternative Powerline Communication



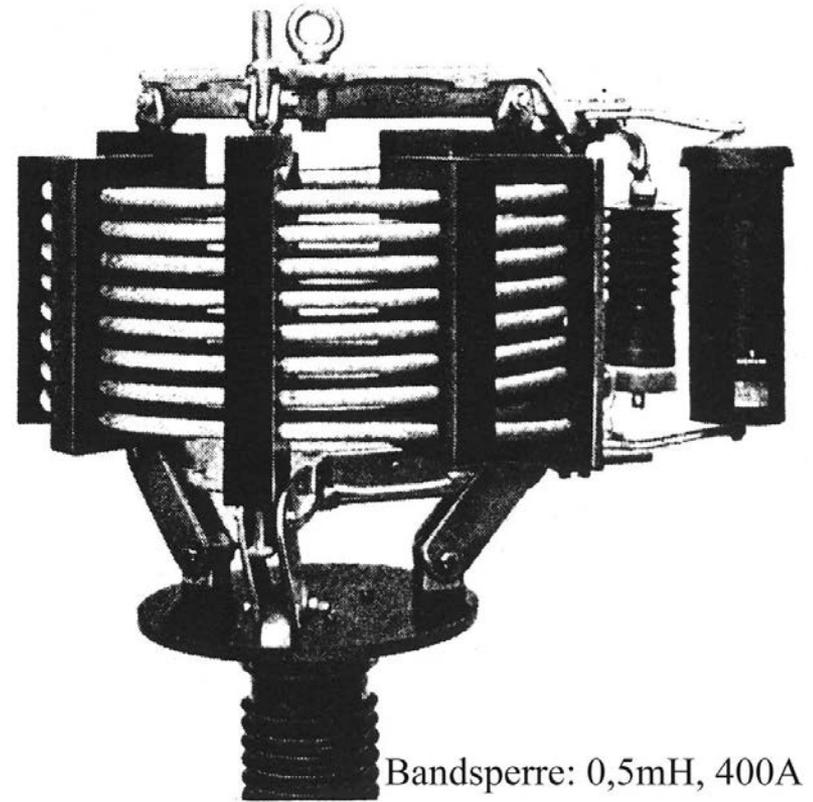
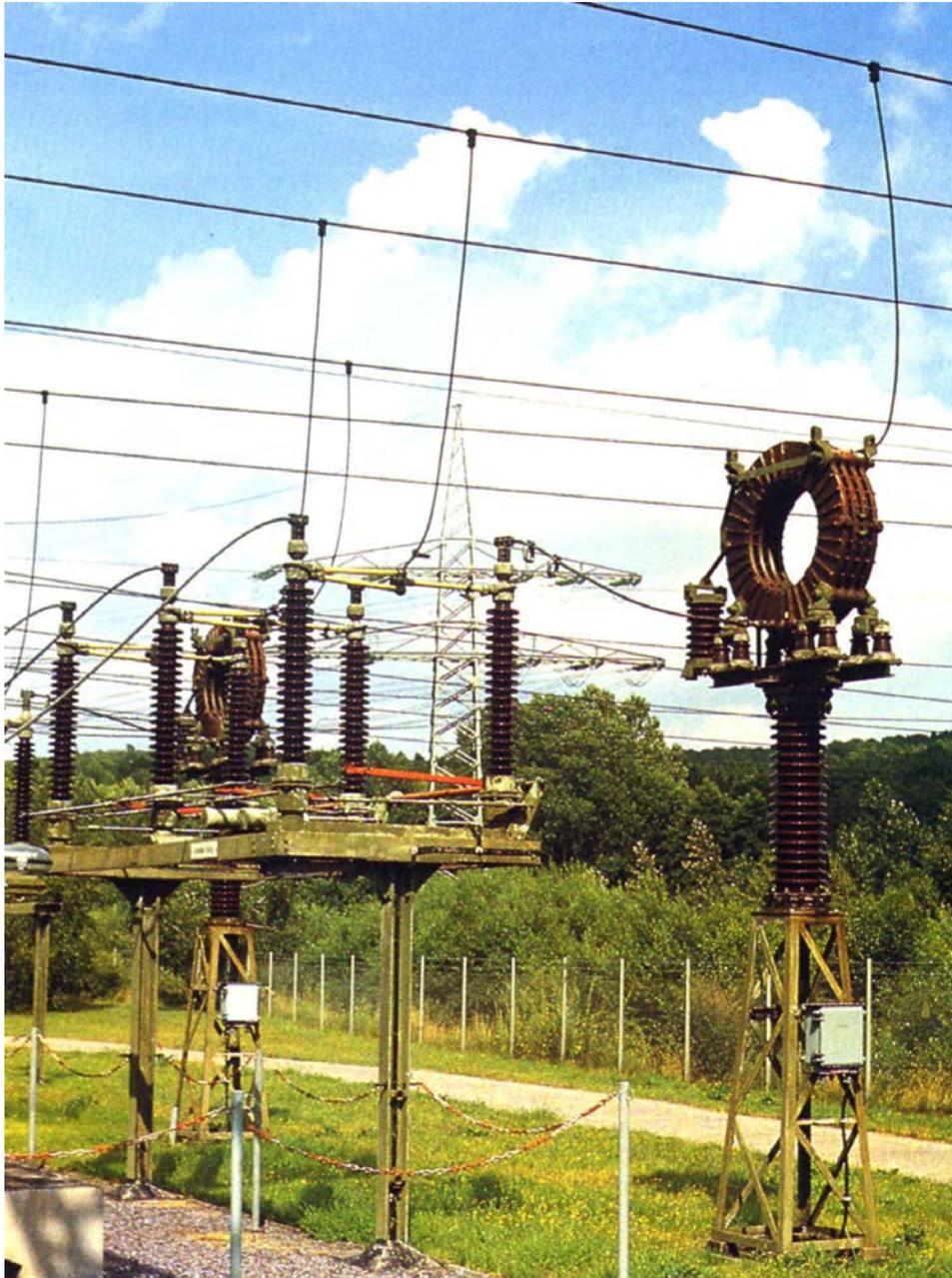
- HF Übertragung (~1...100MHz), Lastmodulation oder kapazitiv
- Kostenersparnis durch Wegfall Stecker-, Kabel- und Einbaukosten
- Ziel: Nachweis störsicherer Kommunikation (ASIL) und erzielbare Datenrate

Demoaufbau für leitungsgebundene Übertragung



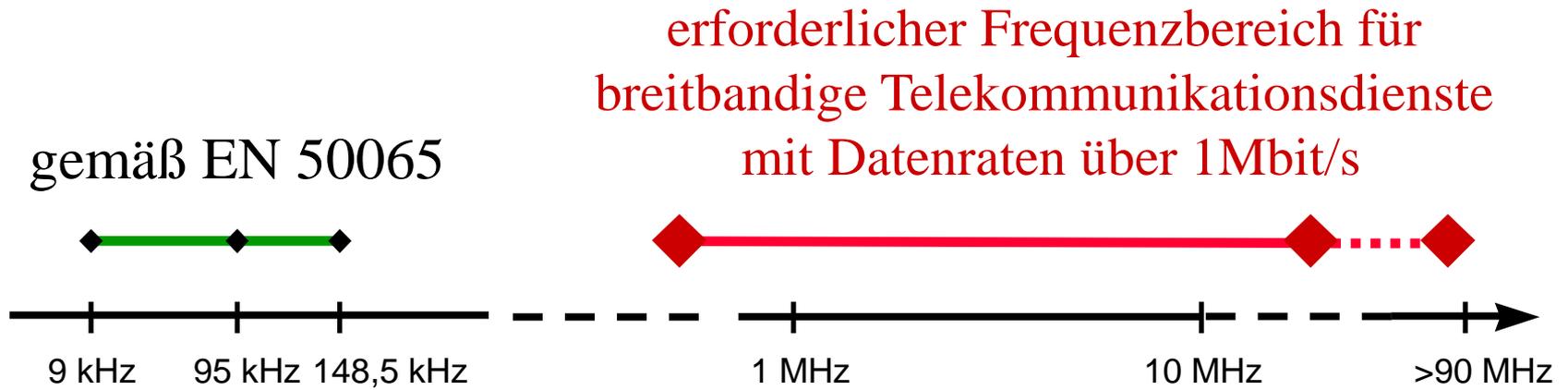


Historisch: TFH seit ca. 1920 (auf Hochspannungsleitungen)



- keine Abzweige
- optimale „Wellenleitung“ durch Netzconditionierung

Spektrale Ressourcen für PLC



- ➔ im Frequenzbereich gemäß EN 50065 ist die Datenrate auf einige **10 kbit/s** begrenzt (hohe Störlast, beschränkte Sendeleistung vor allem durch niedrige Zugangsimpedanz)
- ➔ Datenraten von vielen **Mbit/s** erfordern Bandbreiten von mehreren MHz
 - besondere Regelungen zur **Vermeidung von EMV-Problemen** sind erforderlich

CENELEC EN 50 065

Signalling on Low Voltage Electrical Installations

Maximale Sendeamplituden:

Meßbandbreite: 100Hz

10V

2V

2,5V

Grenzwert: 134dB μ V

120dB μ V

für private Nutzung

max. 122dB μ V

Zugangs-
Protokoll

für
Nutzung durch
EVU

A-

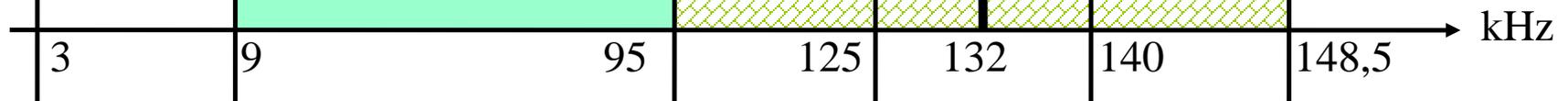
B-

CSMA/CD

C-
Träger

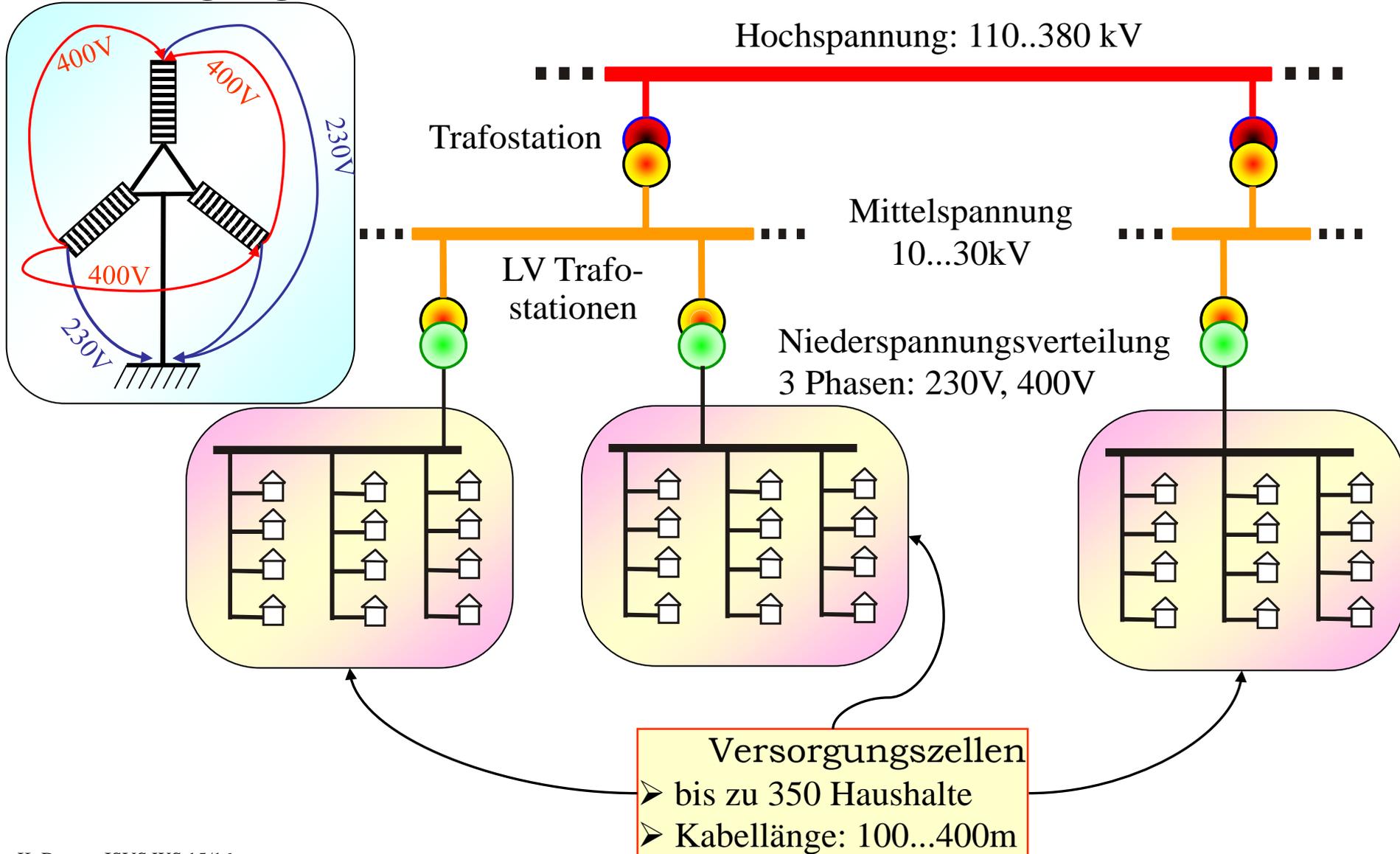
D-

band

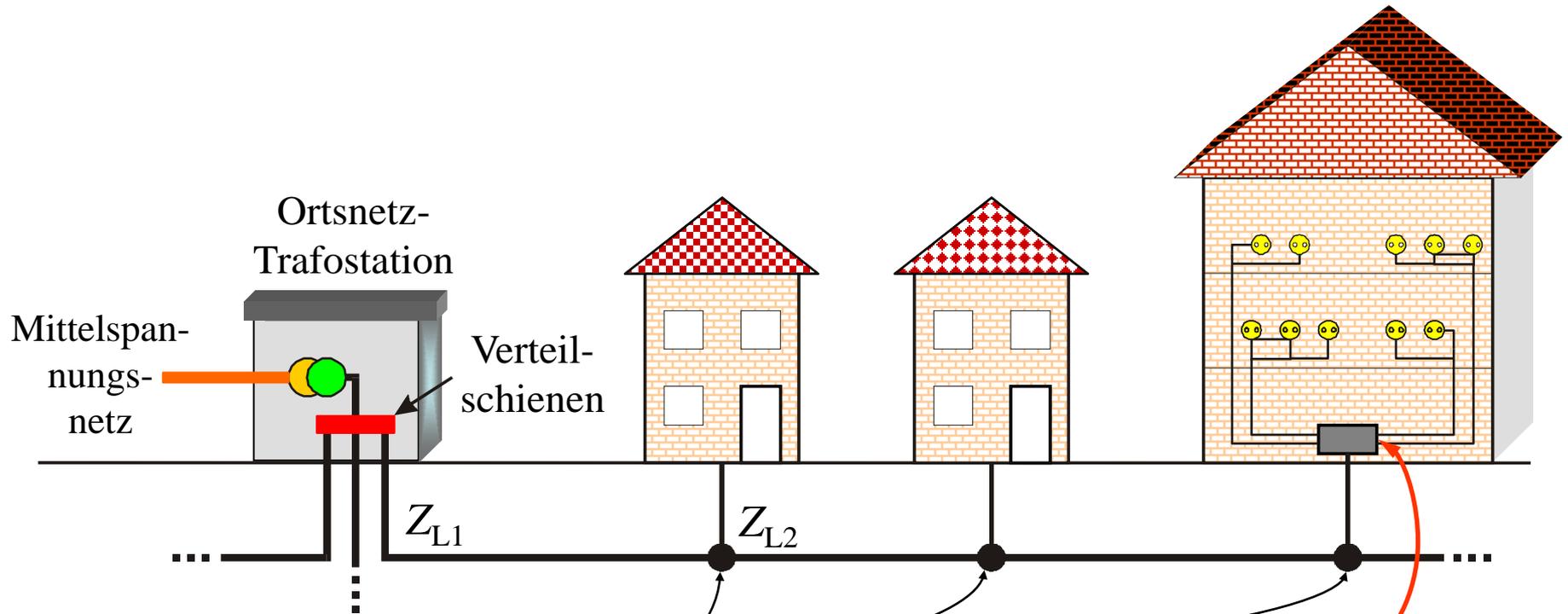


Struktur der elektrischen Energieversorgung in Europa

3-Phasen-
versorgung



Details der “Last Mile” und “Last Meter” Umgebungen

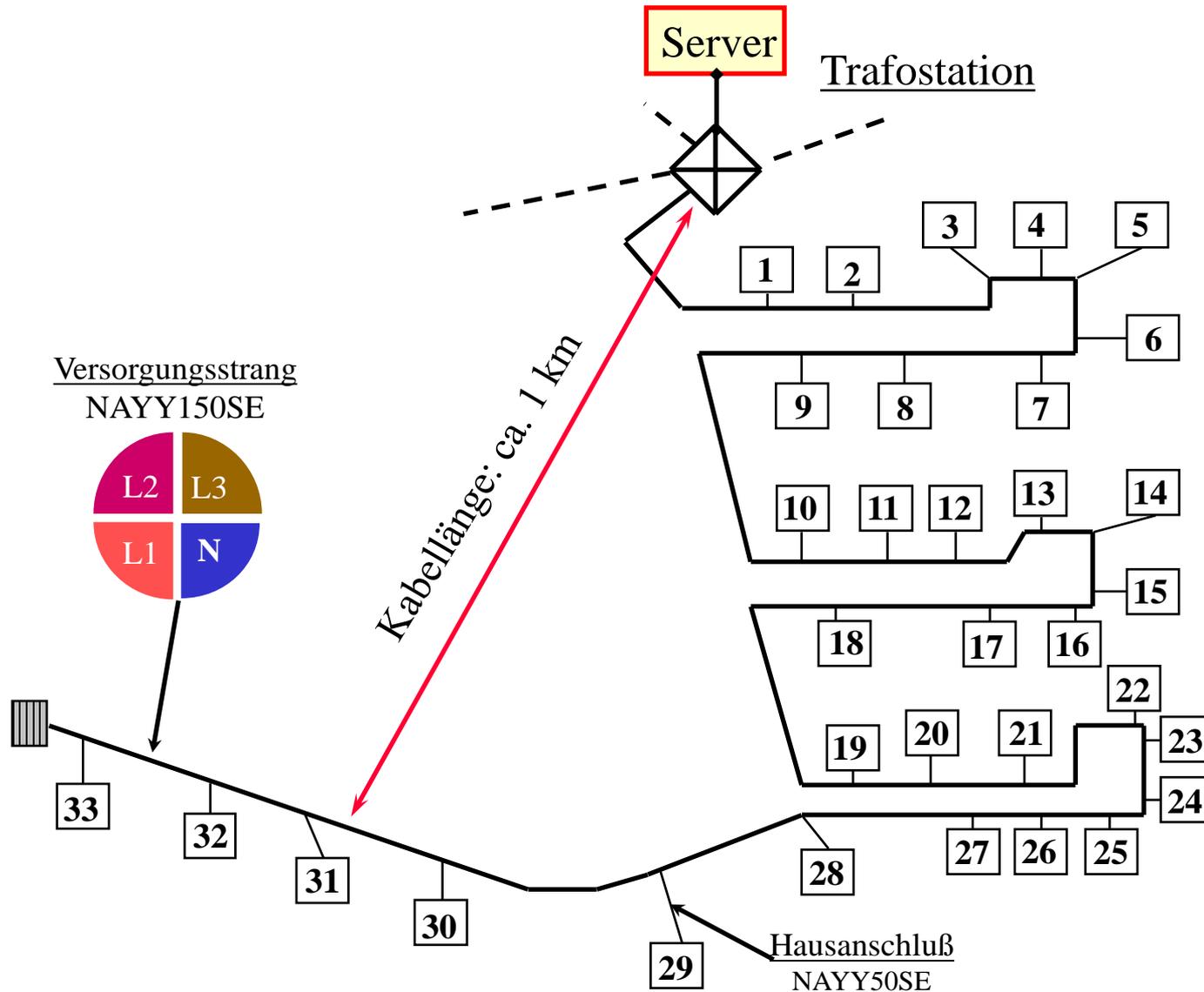


hier Fehlanpassung:

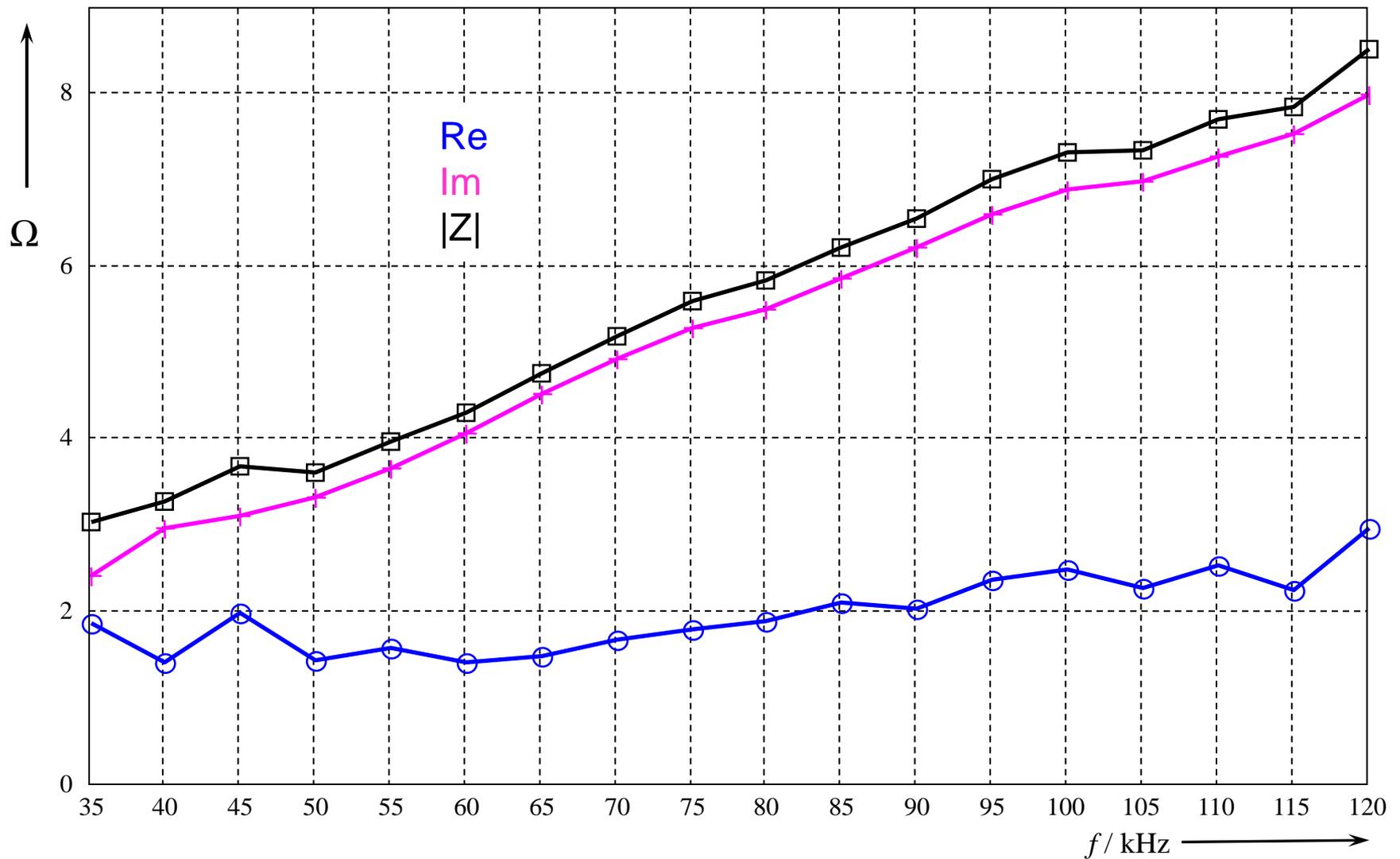
- bei HF (Reflexionen bei $f > 1\text{MHz}$)
- Leistungsverluste bei NF $f > 100\text{kHz}$

Hausanschluss
hat niedrige Impedanz
- ist fast ein Kurzschluss -

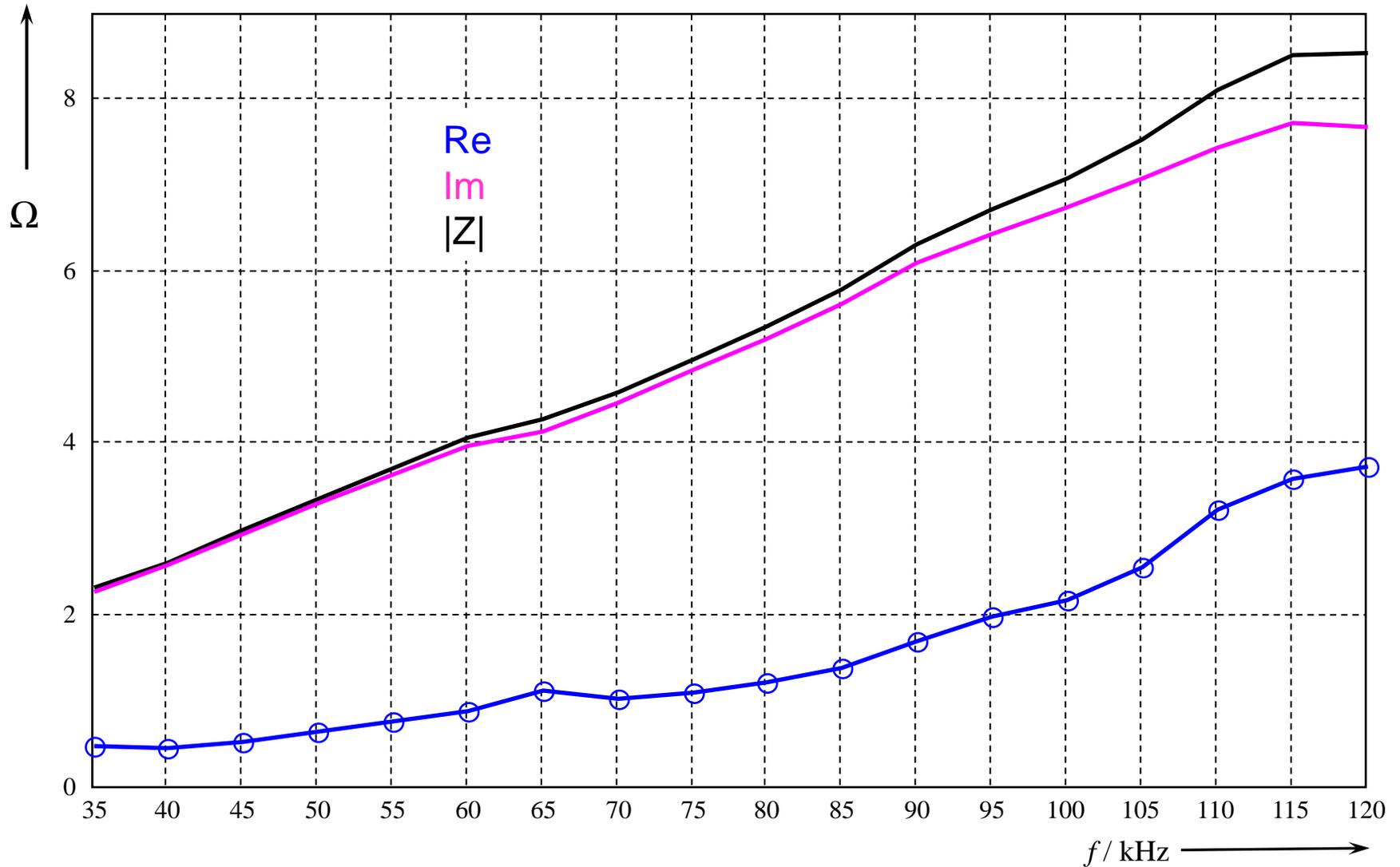
Typische Verteilnetztopologie in einem Wohngebiet

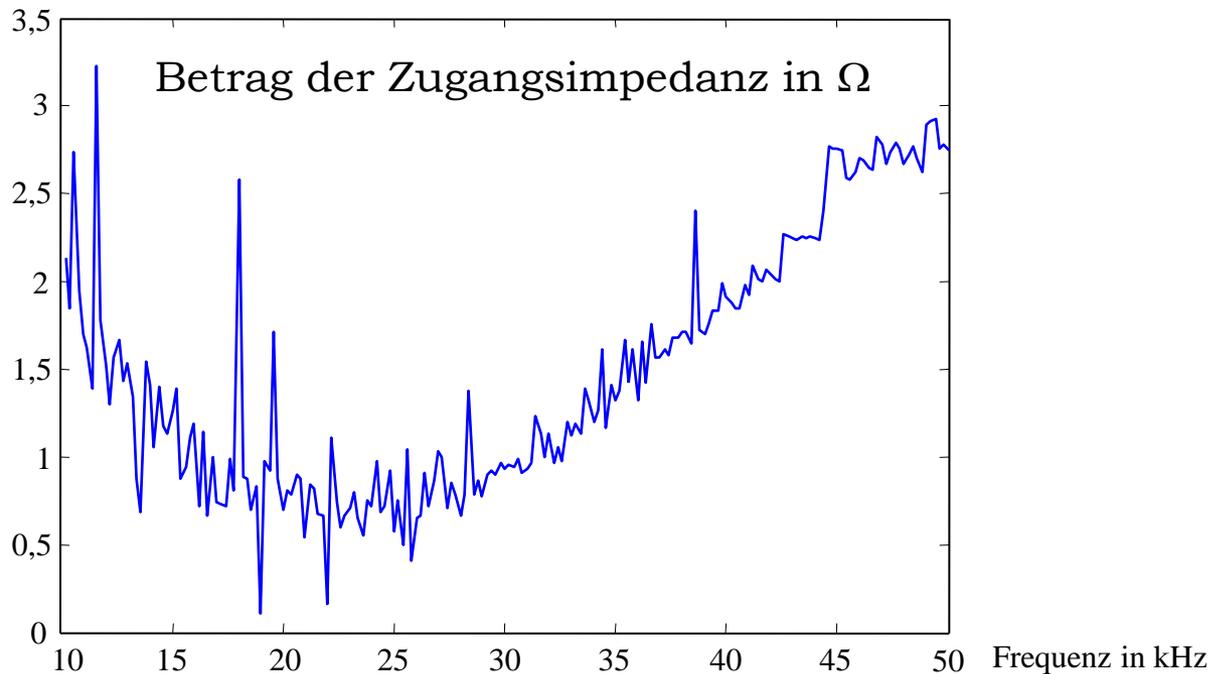
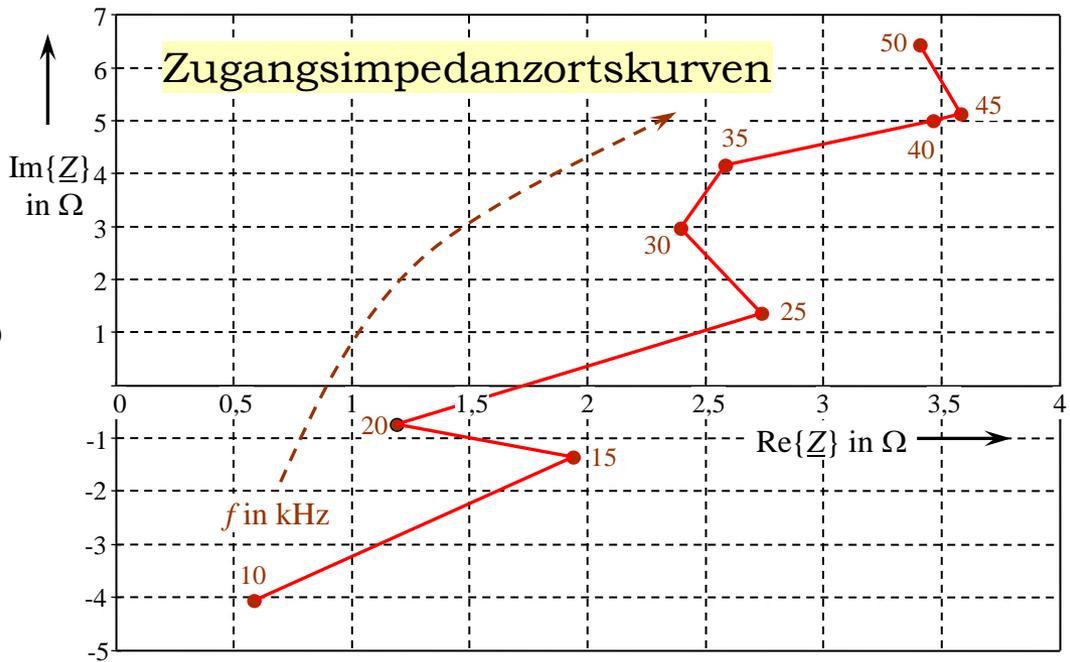
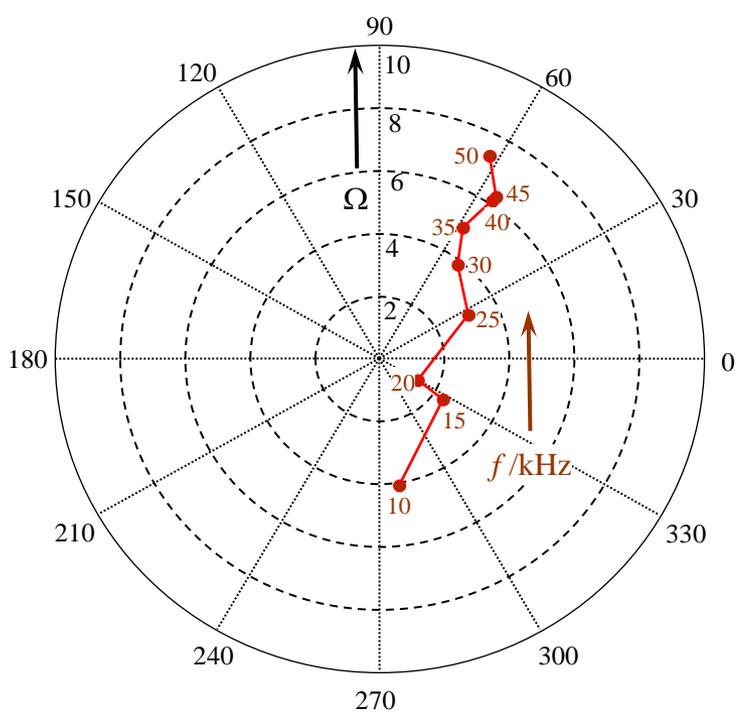


Zugangsimpedanzmessung in einem Bürogebäude



Zugangsimpedanzmessung in einer Trafostation

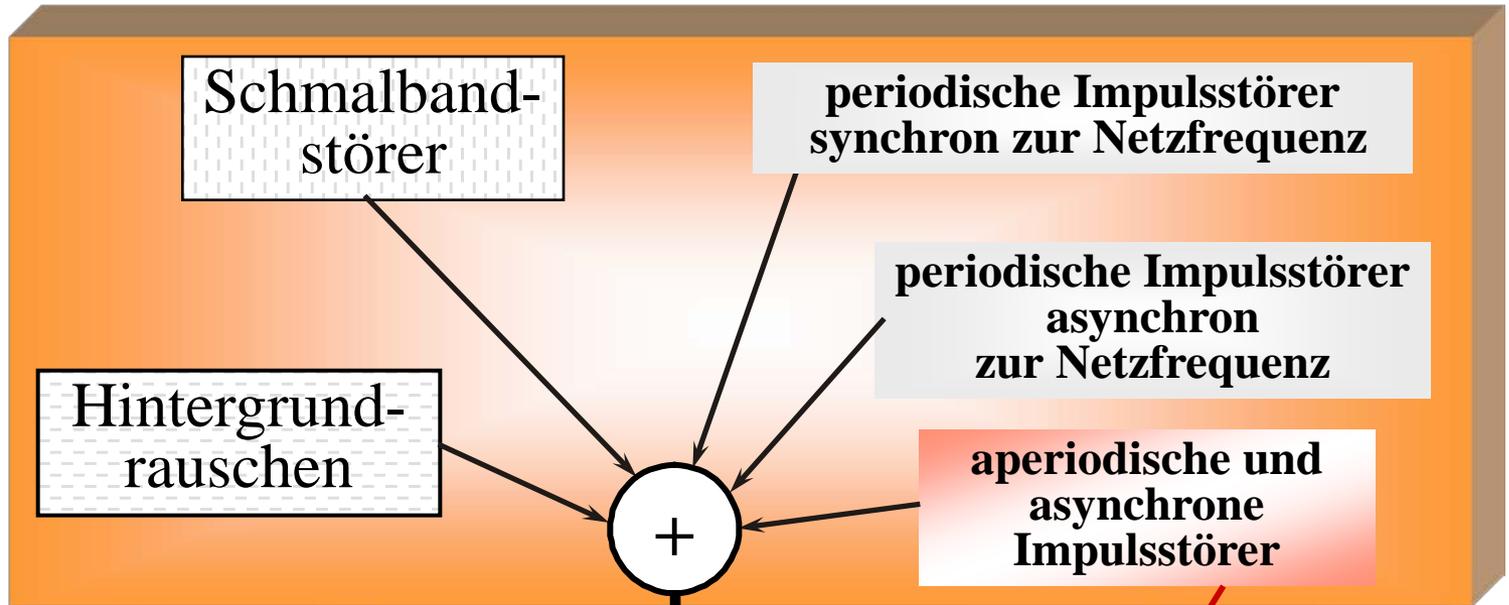




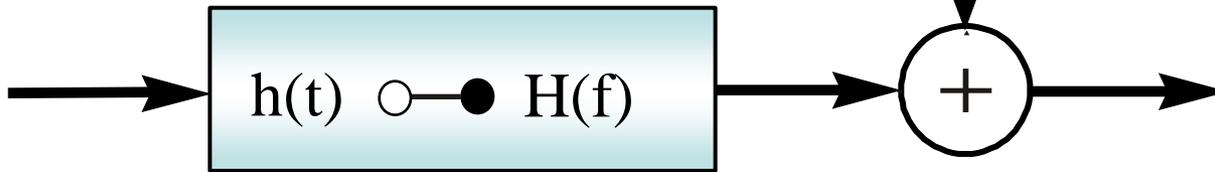
Aktuell diskutierte 'Standards' für Smart Metering und Smart-Grid-Anwendungen

| | IEC-61334-5-1 | Meters & More | PRIME | PLC G3 |
|------------------------|----------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---|
| Modulation | S-FSK | BPSK | OFDM (96 Träger) | OFDM (36 Träger) |
| Datenrate | 1024 bit/s | 4600 bit/s | 21.000 bit/s | 17.000 bit/s |
| Fehlerkorrektur | - | Interleaver Faltungs- codierung | Interleaver Faltungs- codierung | Interleaver Faltungs- codierung Reed-Solomon |
| Fehlerprüfung | - | CRC | CRC | CRC |

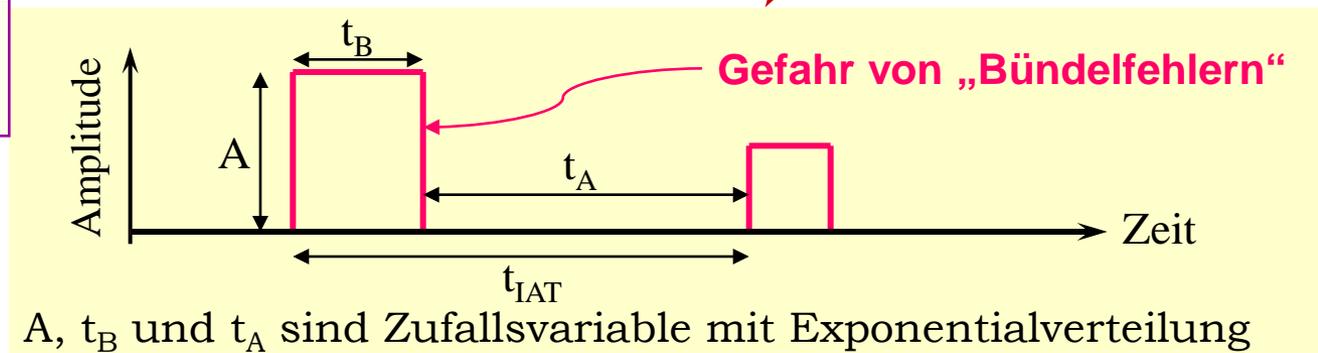
Allgemeines Störmodell



PLC-Kanal als lineares Filter

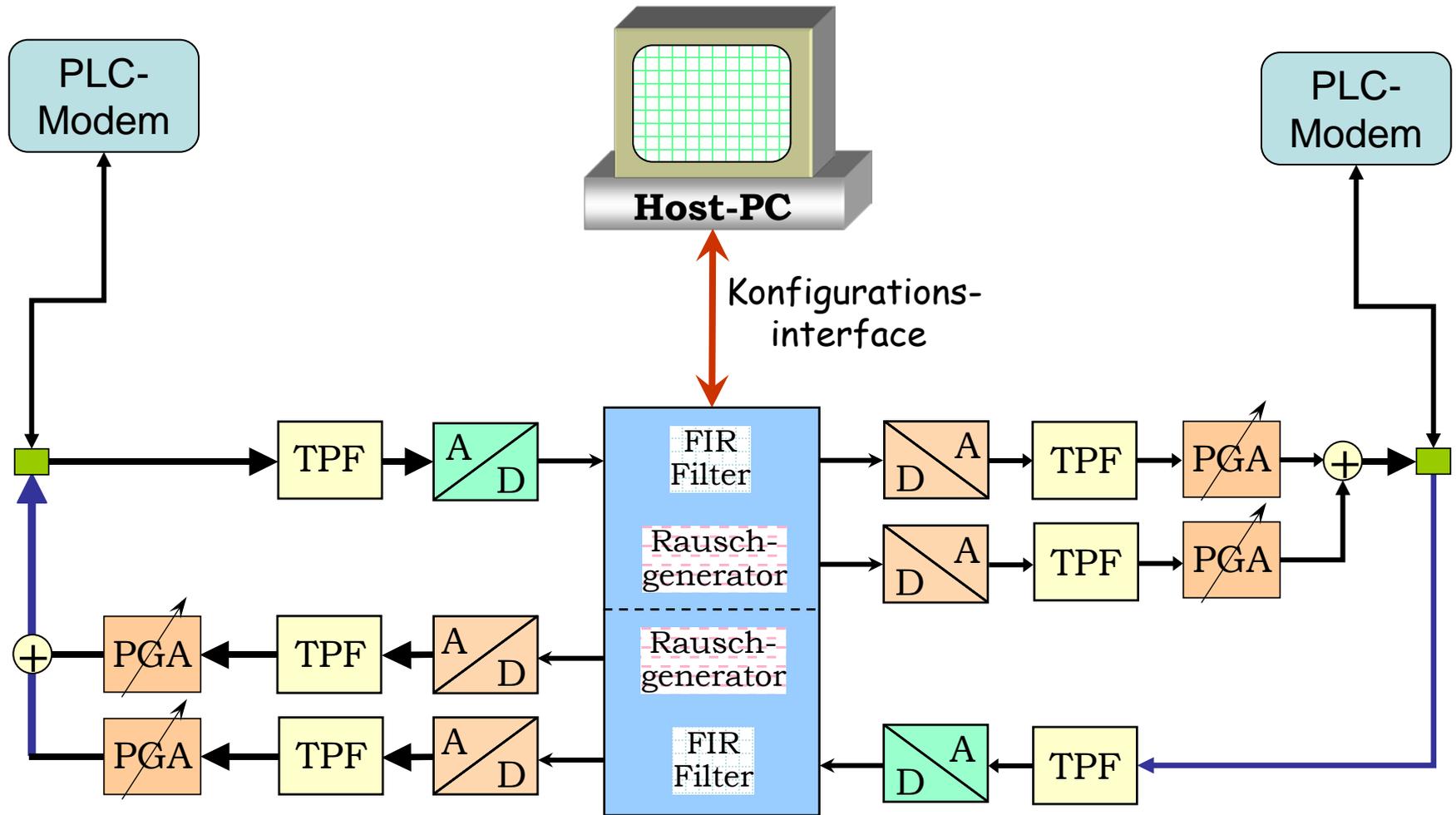


$$H(f) = \sum_{i=1}^N g_i \cdot e^{-j2\pi f \frac{d_i}{v}} \cdot e^{-\alpha(f) \cdot d_i}$$

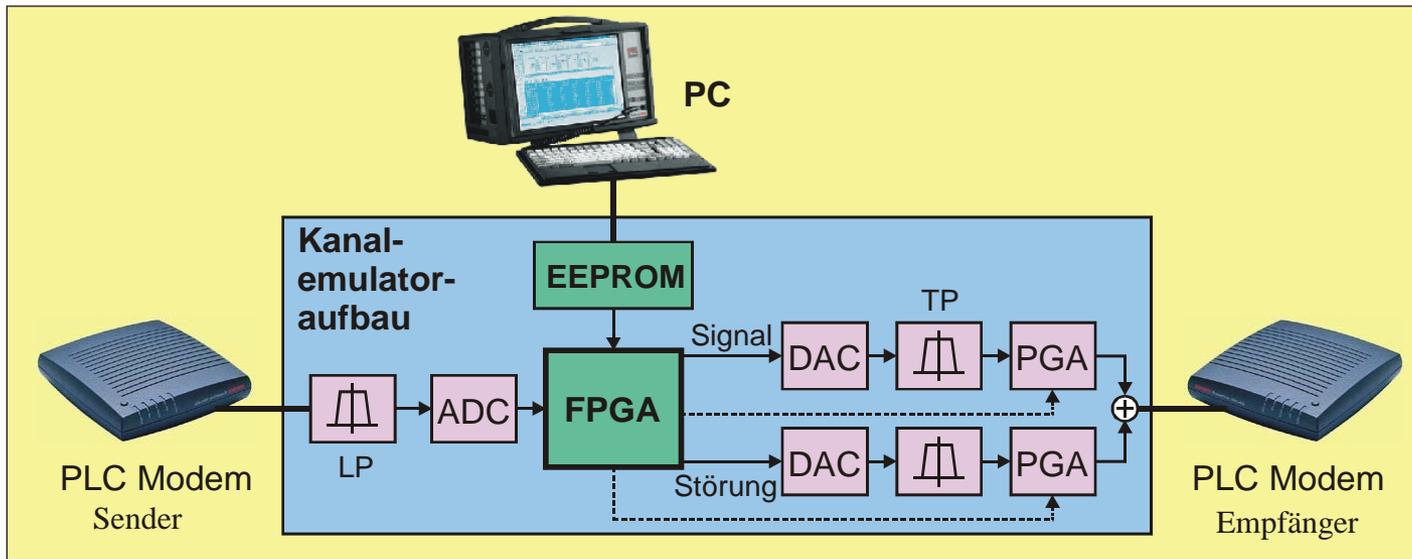


A, t_B und t_A sind Zufallsvariable mit Exponentialverteilung

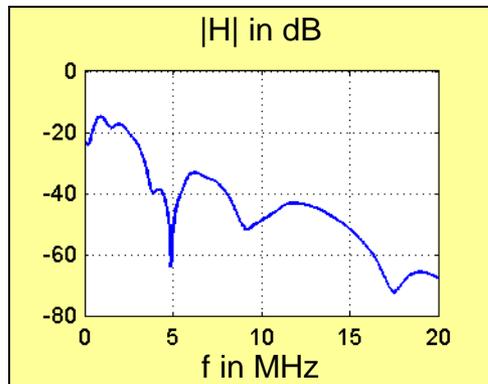
Universeller PLC-Kanalemulator



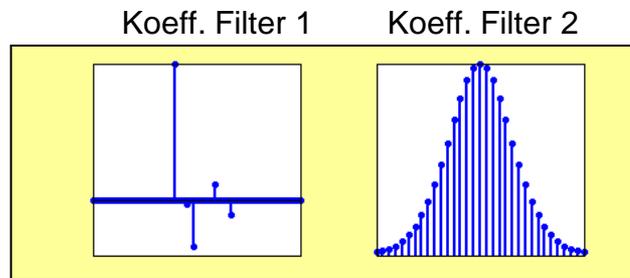
Hardwarekonzept für einen PLC-Kanalemulator



Referenzkanal



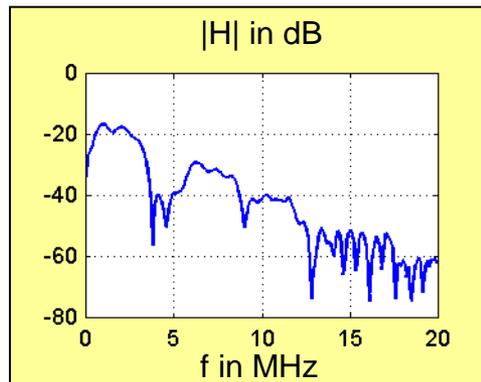
modifizierte Filterstruktur



Simulation,
Implementierung



Verifikation,
Messungen

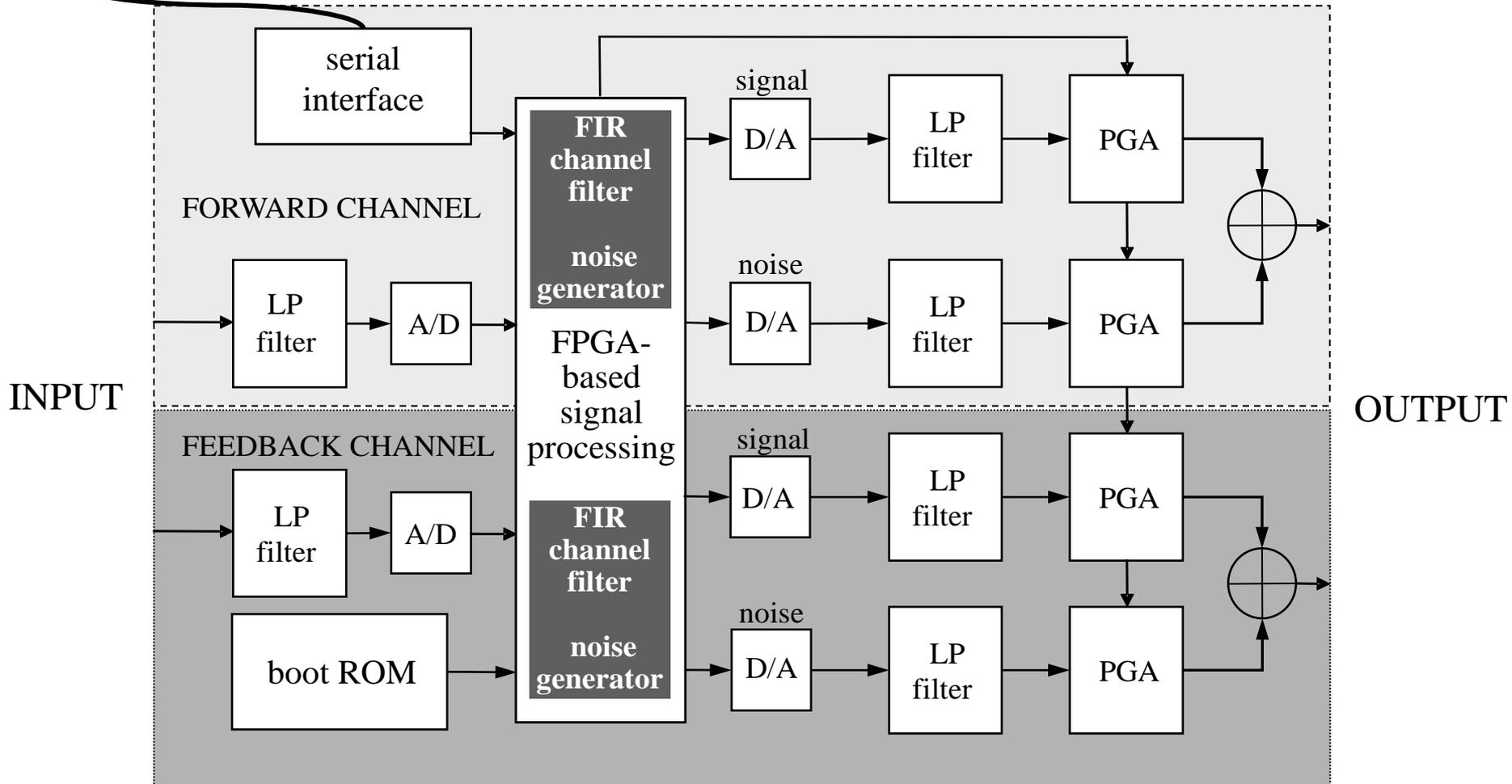
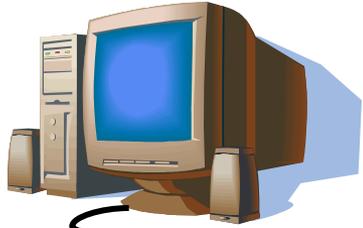


Hardware

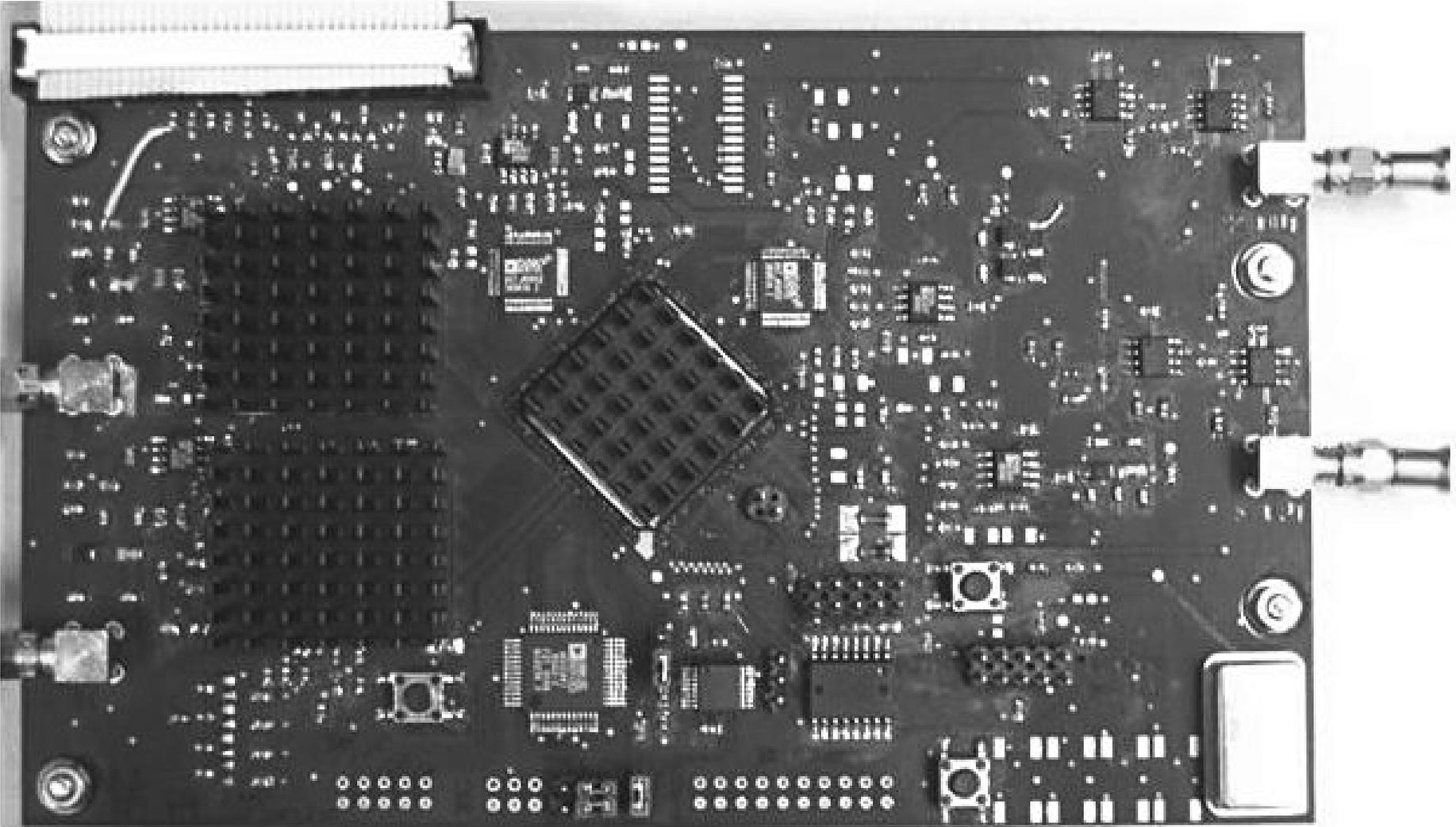


High-Speed-Kanalemulator bis 50MHz

- aufgebaut im Rahmen des EU-Projekts OPERA -

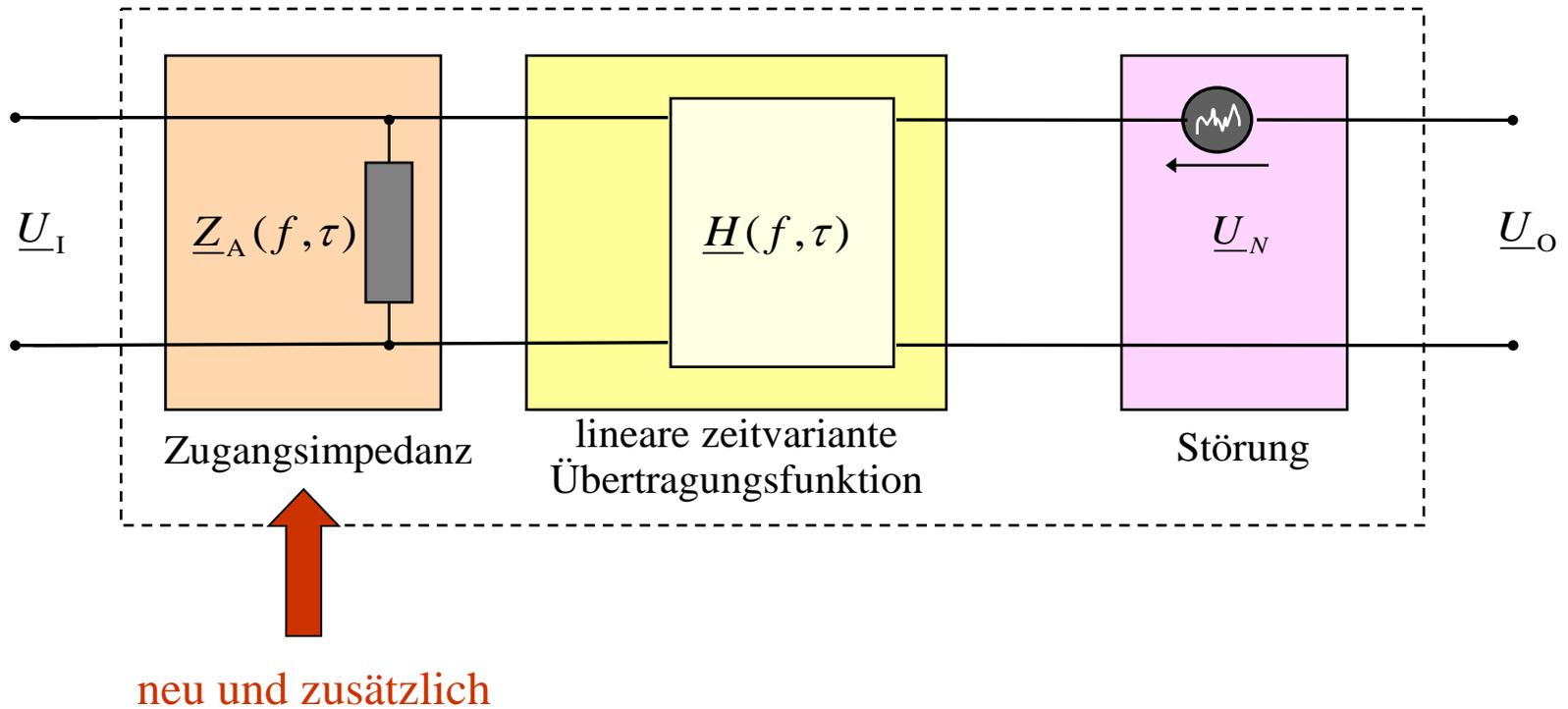


Digitalteil des High-Speed Kanalemulator-Prototyps

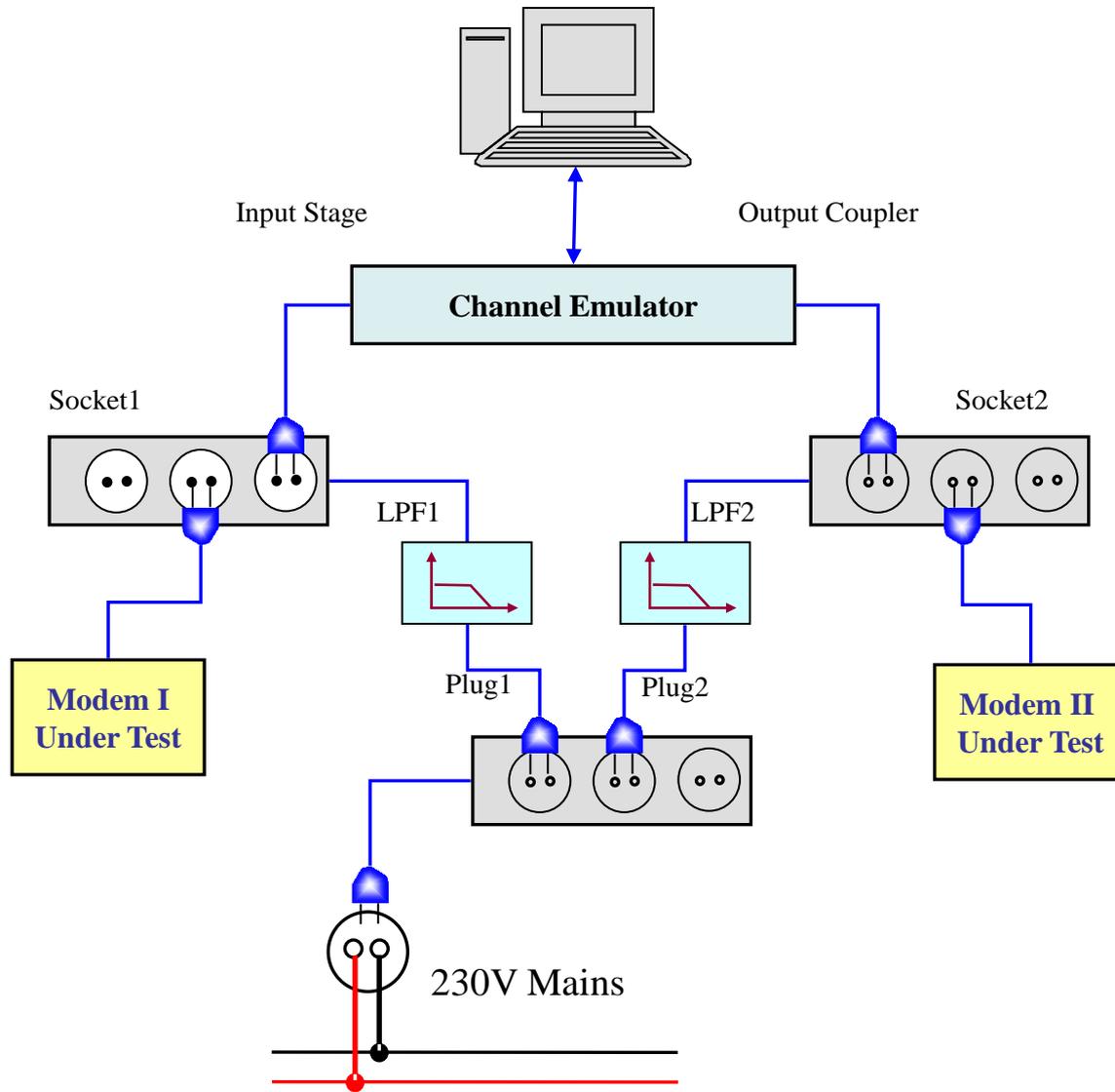


Modellansatz für den Frequenzbereich 9kHz-500kHz

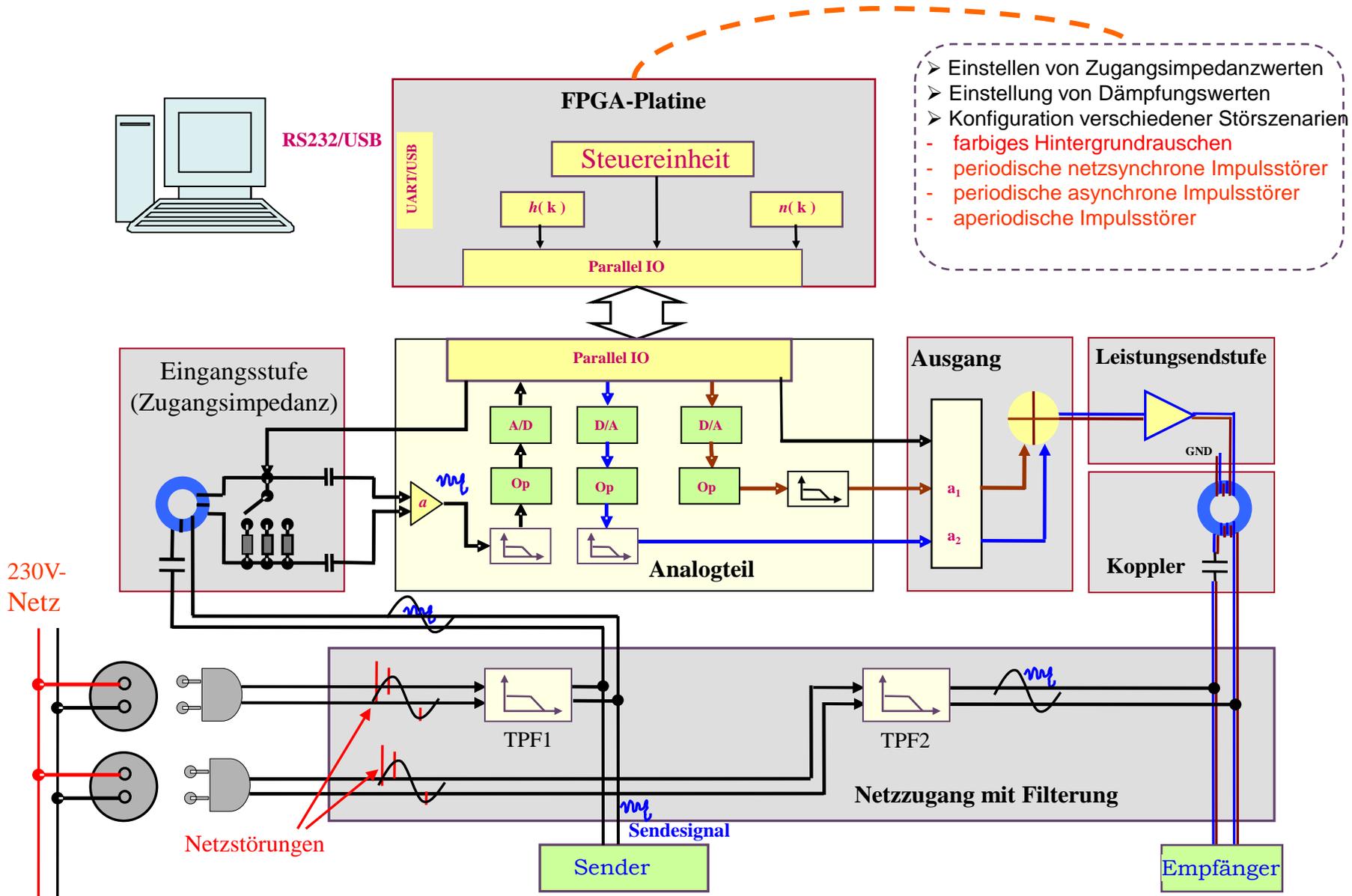
- Energieinformationsdienste, Gebäudeautomatisierung -



Kanalemulator-Konzept für den Frequenzbereich 9kHz-500kHz



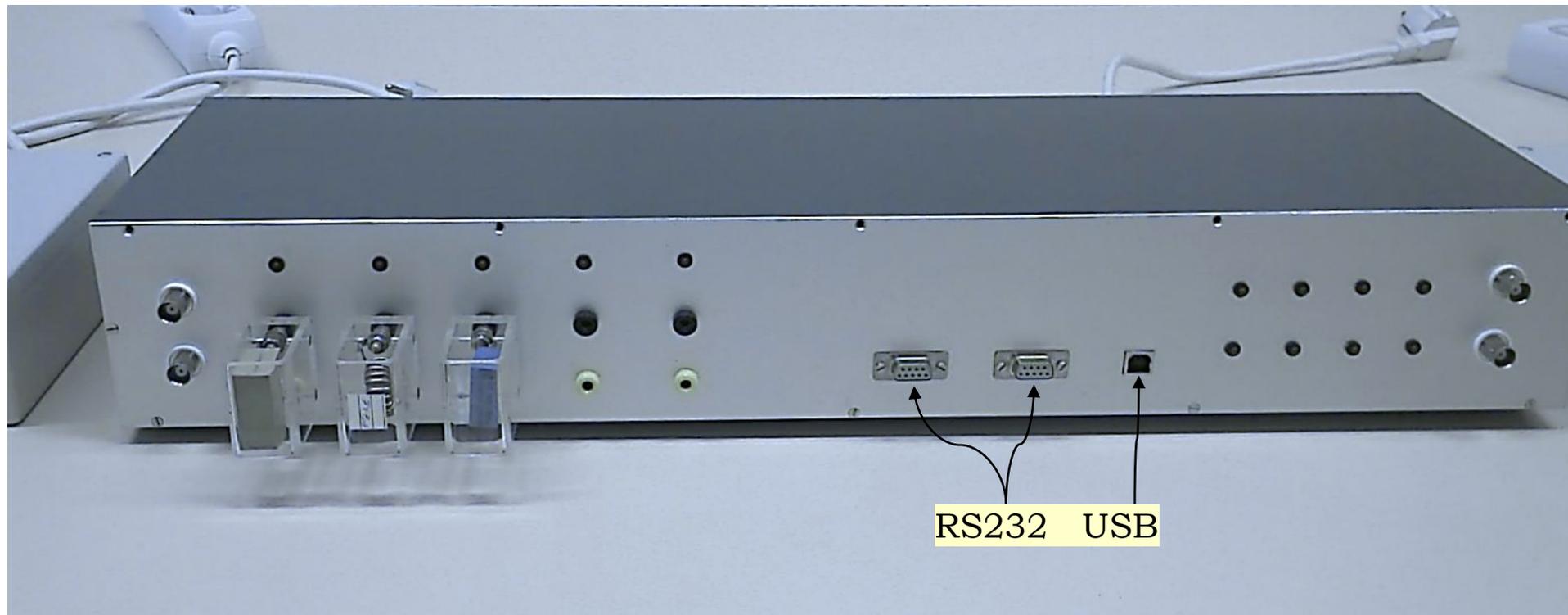
Details eines Emulatoraufbaus für den Frequenzbereich 9kHz-500kHz



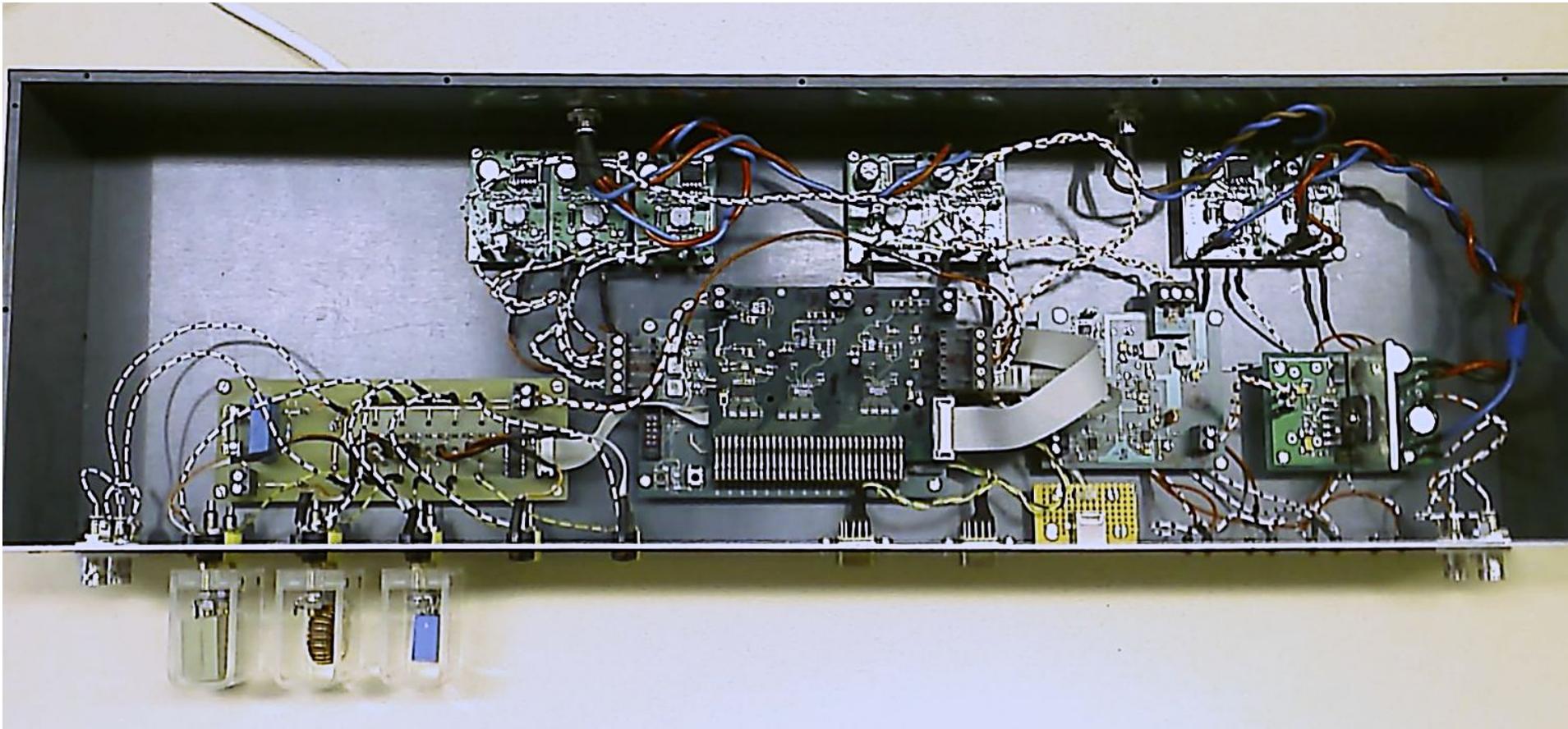
Emulator und TP-Filter mit einer Auswahl von Zugangsimpedanzen



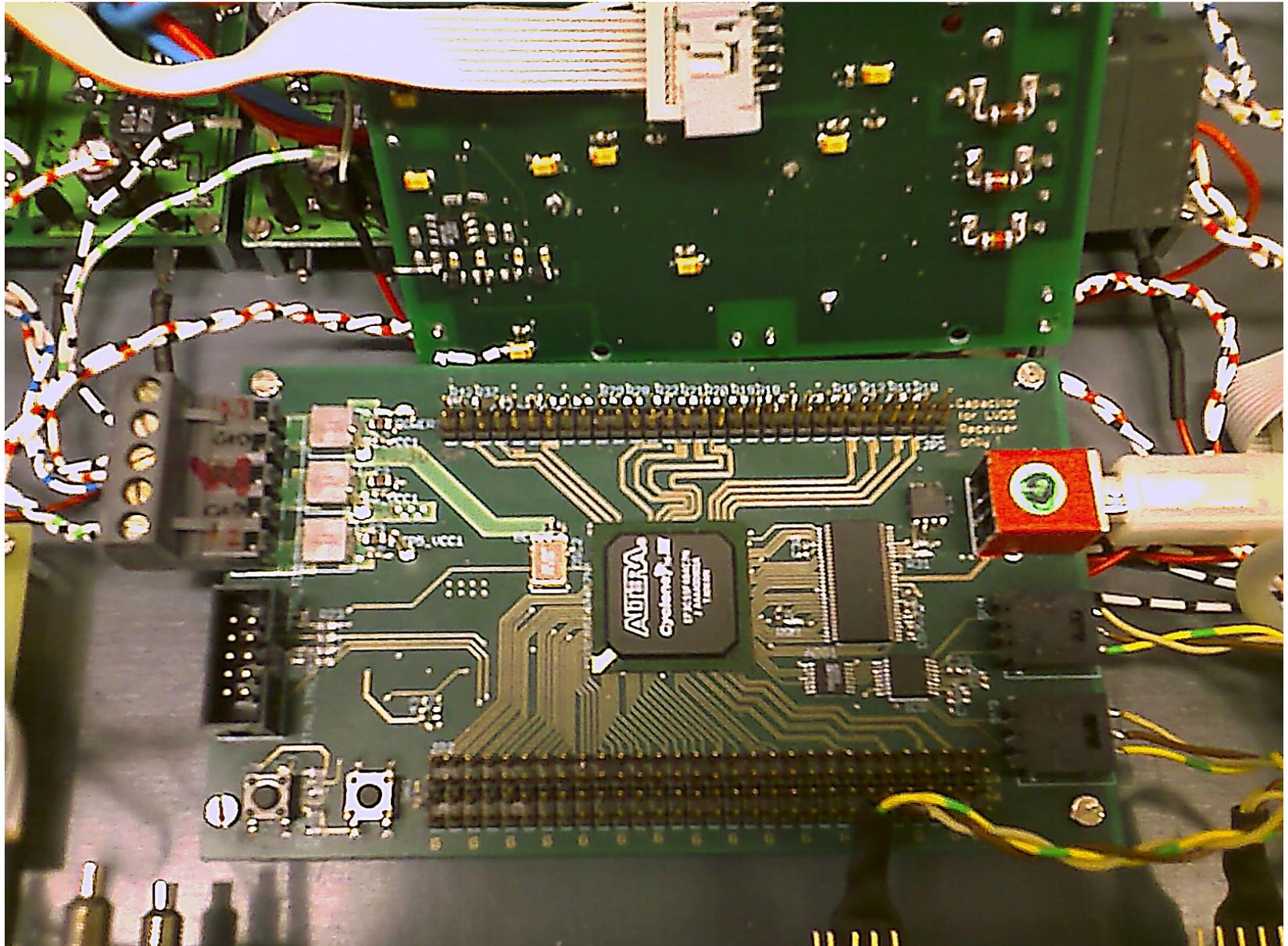
Frontansicht des Emulators



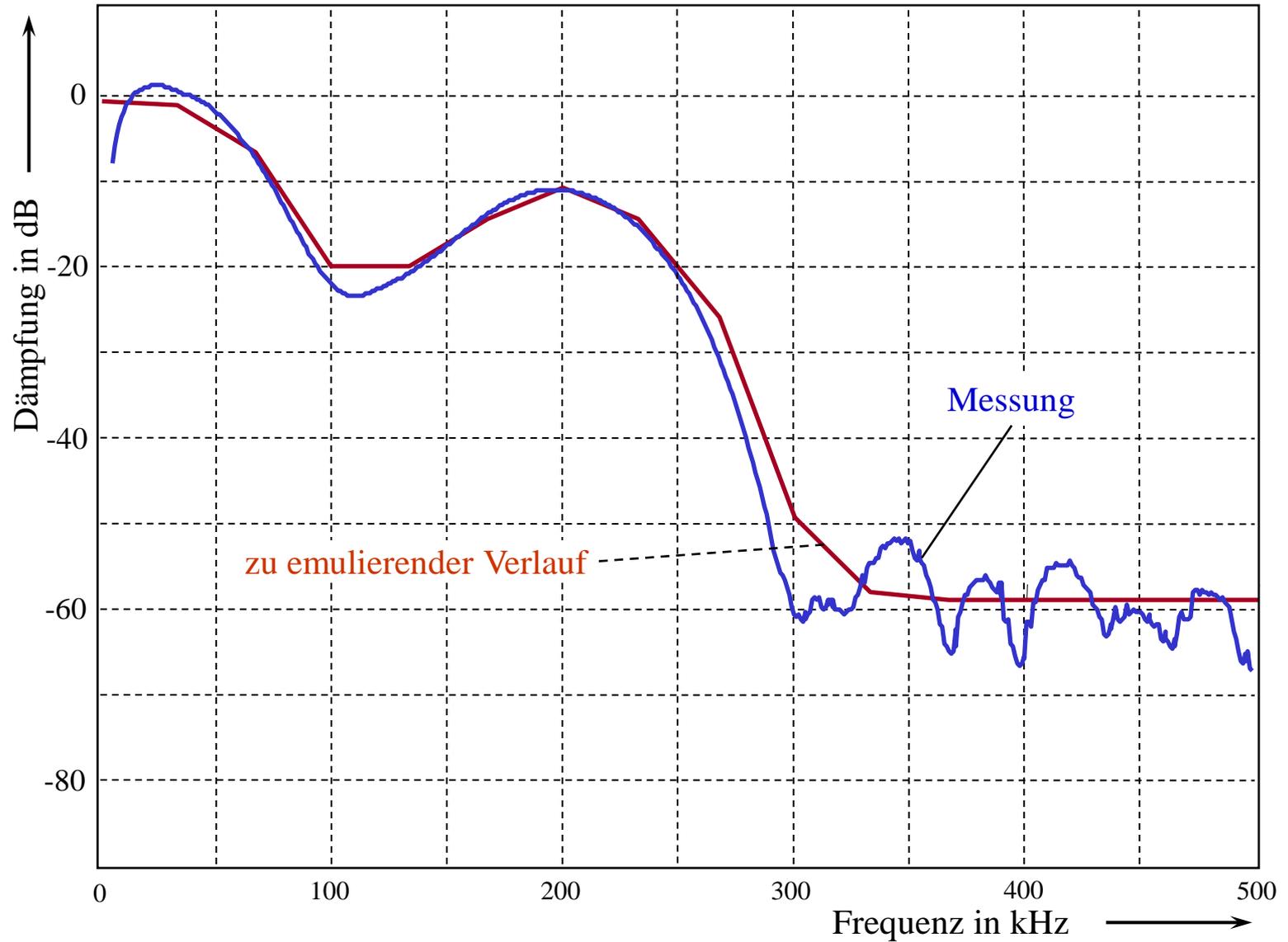
Innerer Aufbau des Emulators



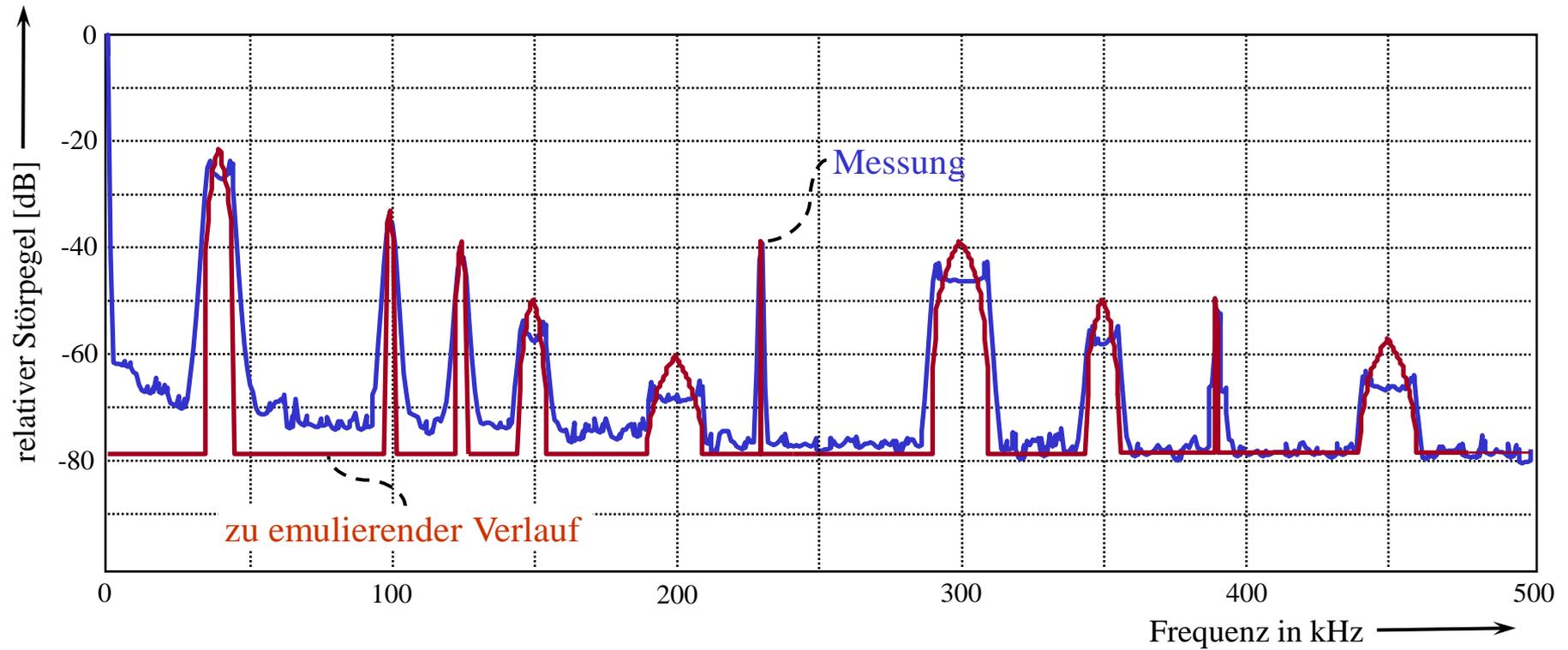
FPGA-Platine als Kernstück zur Signalverarbeitung innerhalb des Emulators



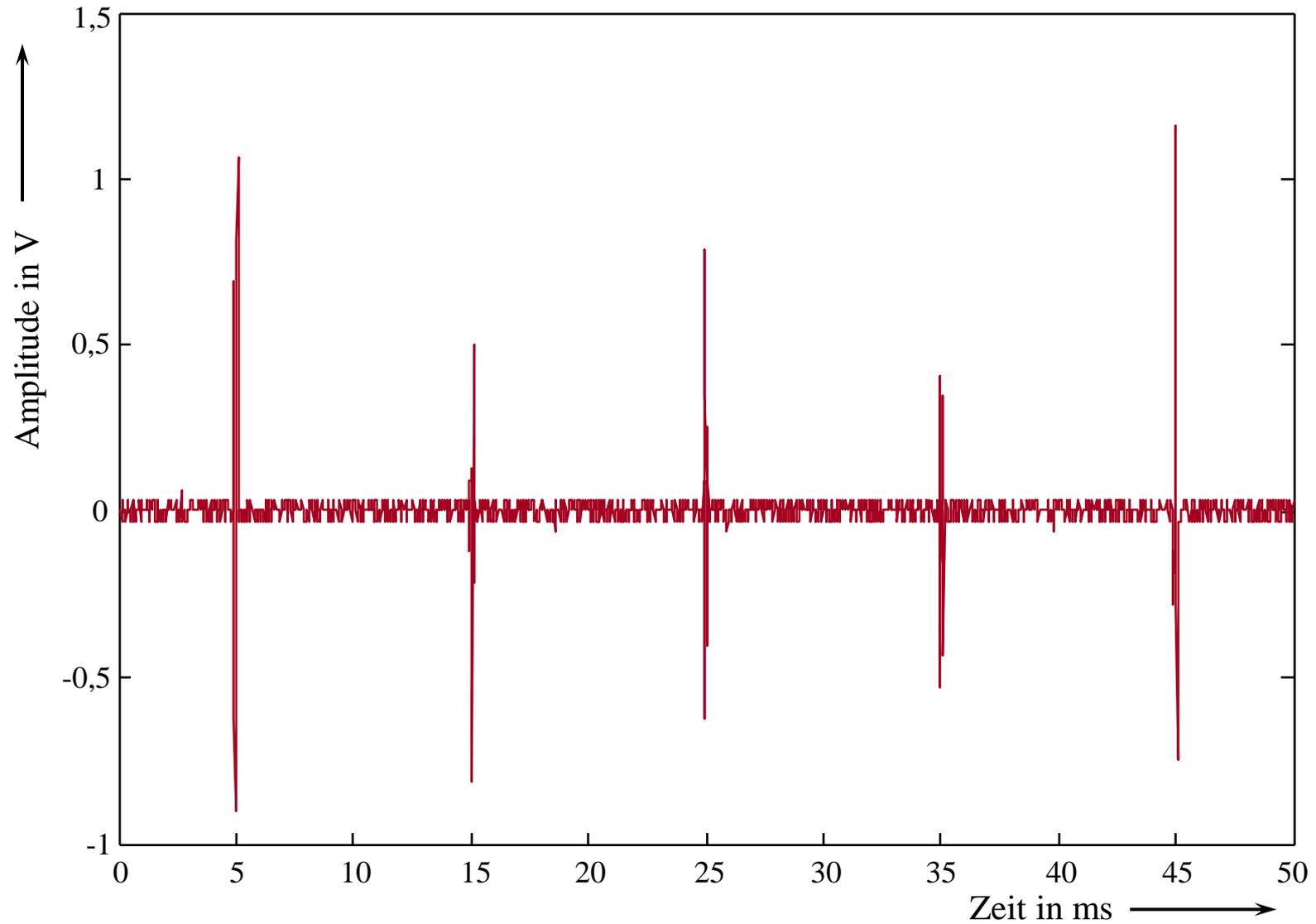
Beispiel einer Übertragungsfunktion



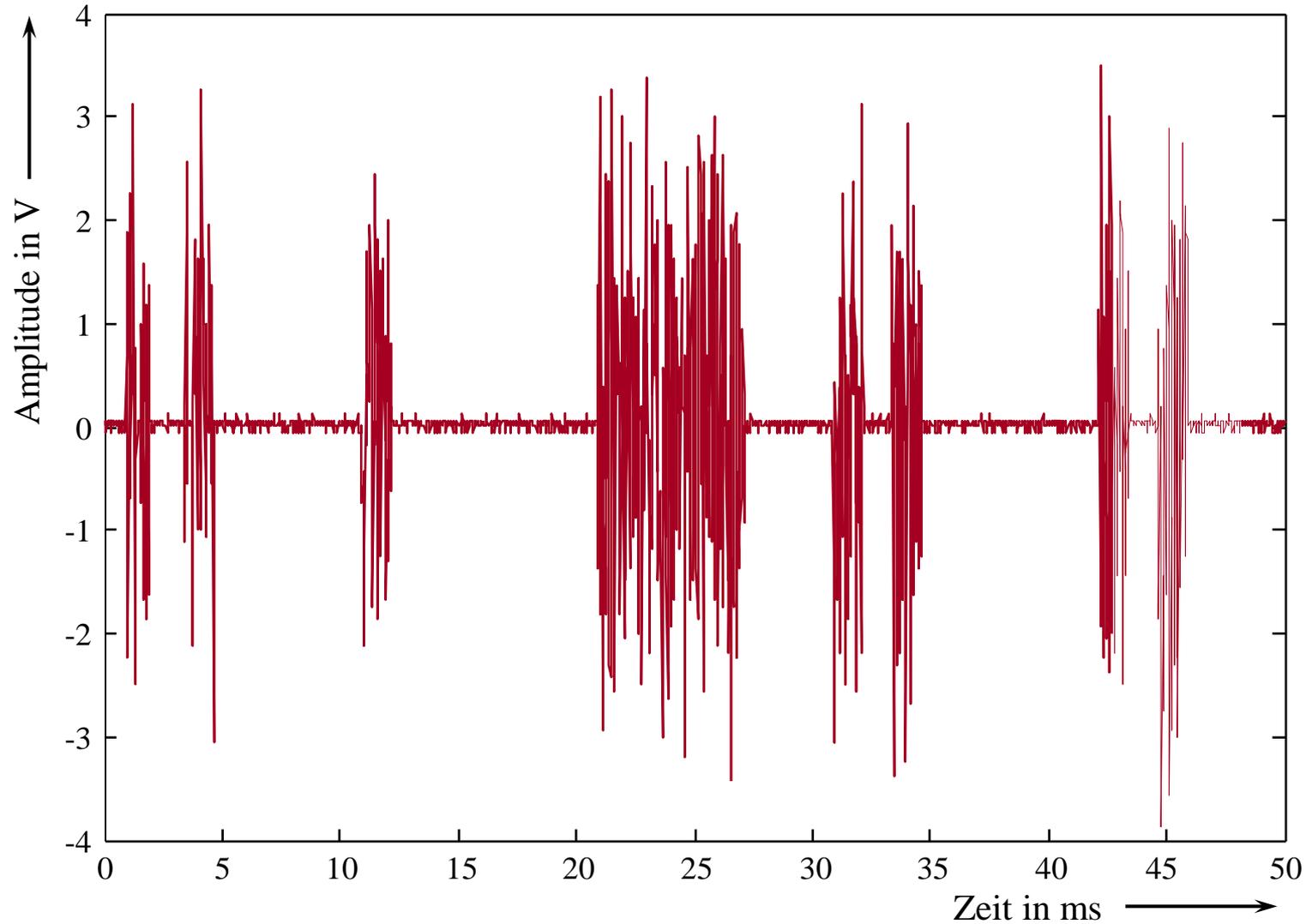
Beispiel für die Emulation von Schmalbandstörungen



Beispiel für die Emulation von synchroner periodischer Impulsstörung

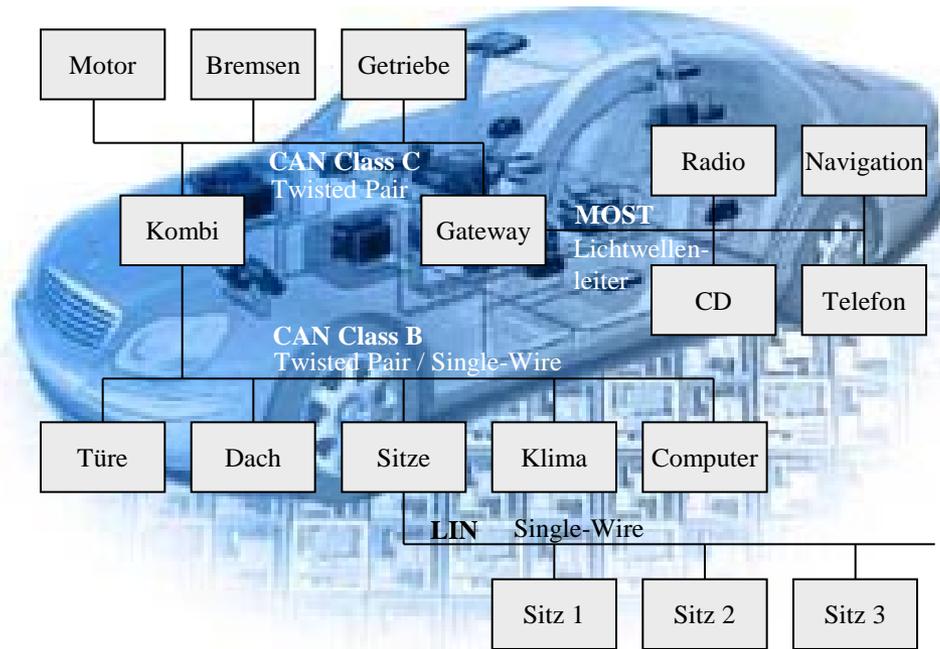


Beispiel für die Emulation von aperiodischer Impulsstörung mit 'Burstcharakter'



Wozu PLC im KFZ?

- unterschiedliche Bussysteme sind heute im Einsatz **CAN, LIN, FlexRay, MOST**
- der **Kabelbaum** ist nach Motor und Getriebe schwerste Fahrzeugkomponente
- die Anzahl elektrischer Komponenten im KFZ steigt stetig
- die Gesamtlänge aller Leitungen ist ca. 3000m, mit ca. 3800 **Steckverbindern**



Was bringt die Vereinheitlichung von schneller Informationsübertragung und Stromversorgung

- Reduktion des Kabelbaumgewichts und der Steckverbinderanzahl
- Bereitstellung eines einheitlichen Buskonzeptes mit hoher Datenrate

Eigenschaften der herkömmlichen Verkabelung im KFZ

- Verkopplung aller Fahrzeugkomponenten durch gemeinsame Masserückführung über die Karosserie
- zeitvariantes Verhalten der Übertragungsfunktion durch Fahrzeugbewegungen

Wellenwiderstand der Eindrahtleitung über Metallmasse

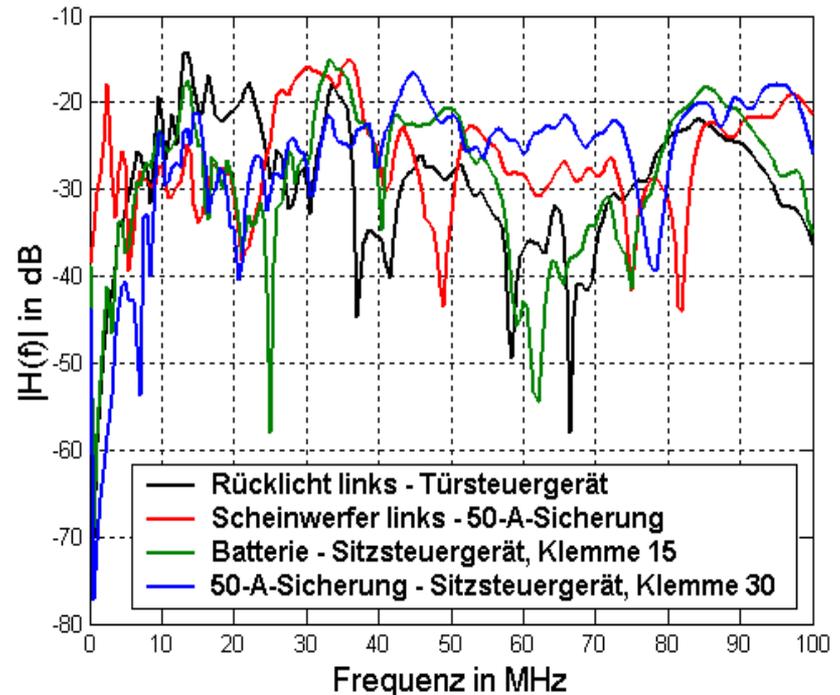
$$Z_L = \frac{60\Omega}{\sqrt{\epsilon_r}} \cdot \ln \left(\frac{2 \cdot h}{d} + \sqrt{\left(\frac{2 \cdot h}{d} \right)^2 - 1} \right)$$

- Reflexionen an Stoßstellen
- sehr schlechte EMV-Eigenschaften

Abhilfe:

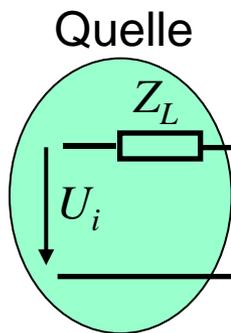
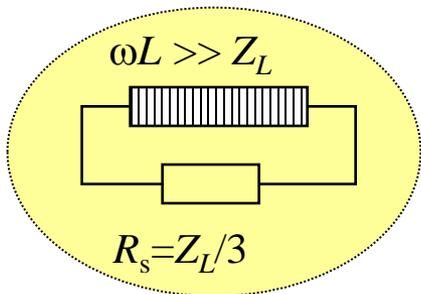
Einführung einer Sternstruktur, bestehend aus verdrehten Doppeladern

Einige typische Übertragungsfunktionen

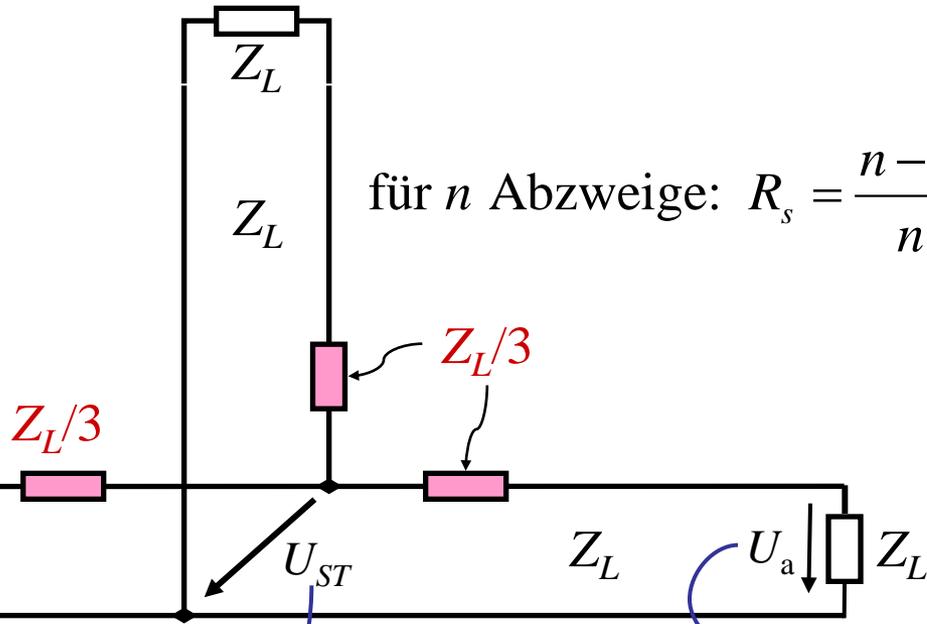


Anpassungsproblem und seine Lösung bei Verzweigungen

zusätzlicher Serienwiderstand: R_s
 nur für HF! => 0Ω bei Gleichstrom

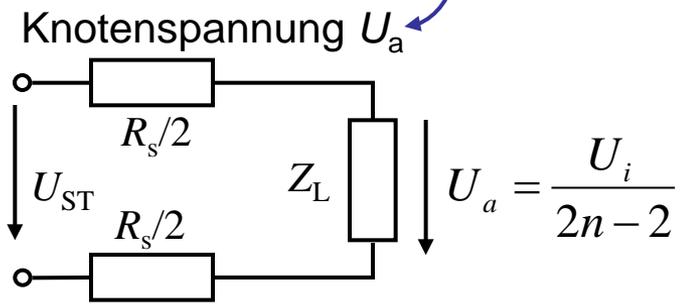
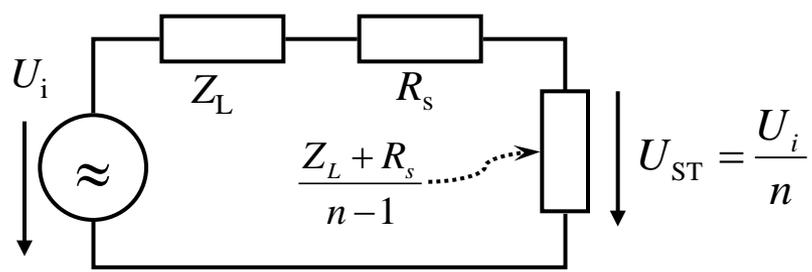


angepasst an Z_L

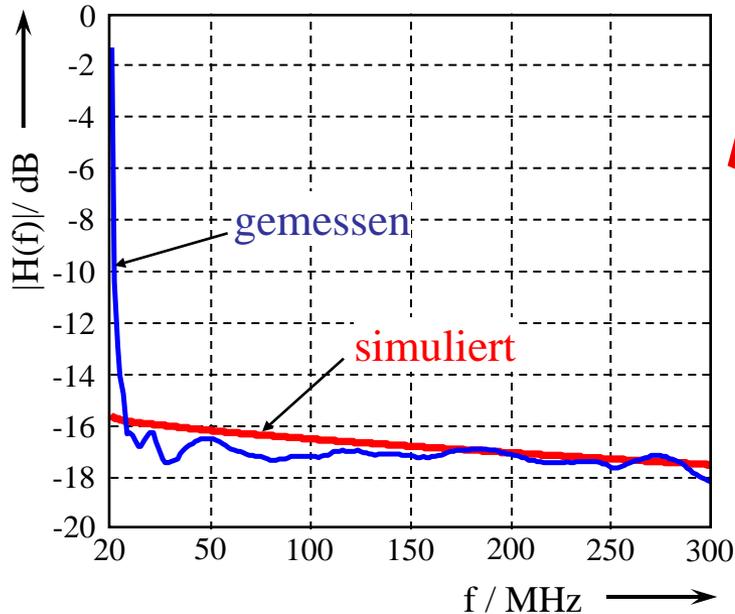
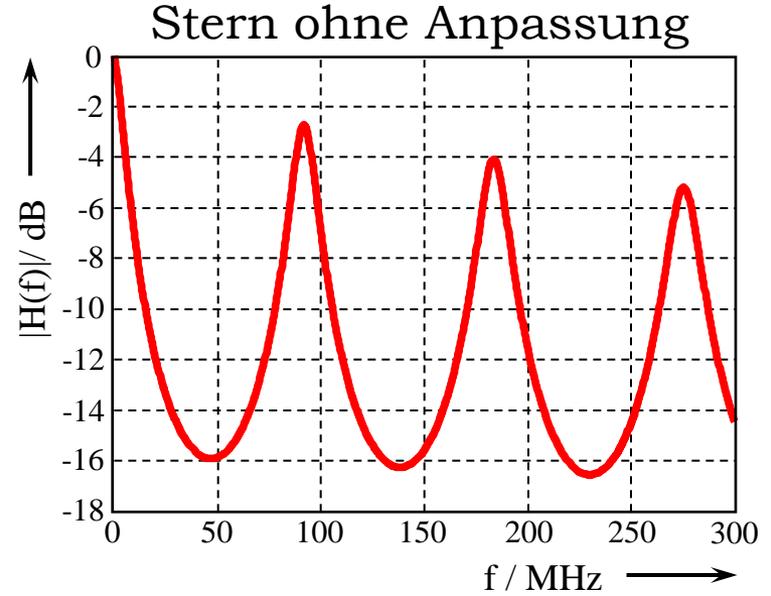
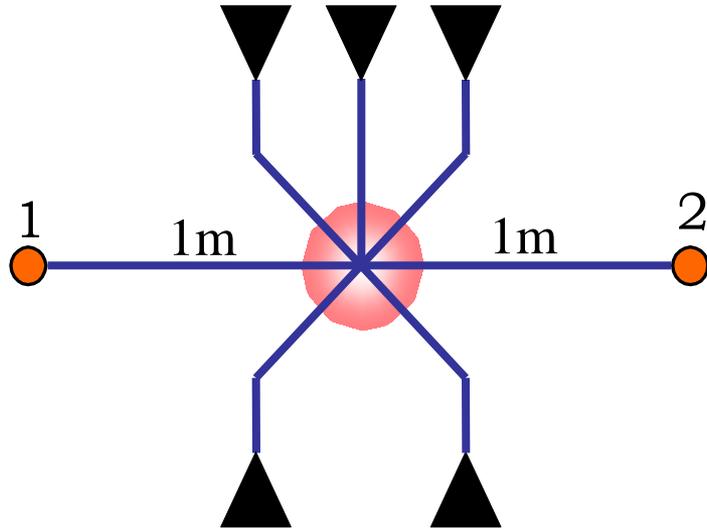


für n Abzweige: $R_s = \frac{n-2}{n} \cdot Z_L$

Sternpunktspannung U_{ST} für n Abzweige



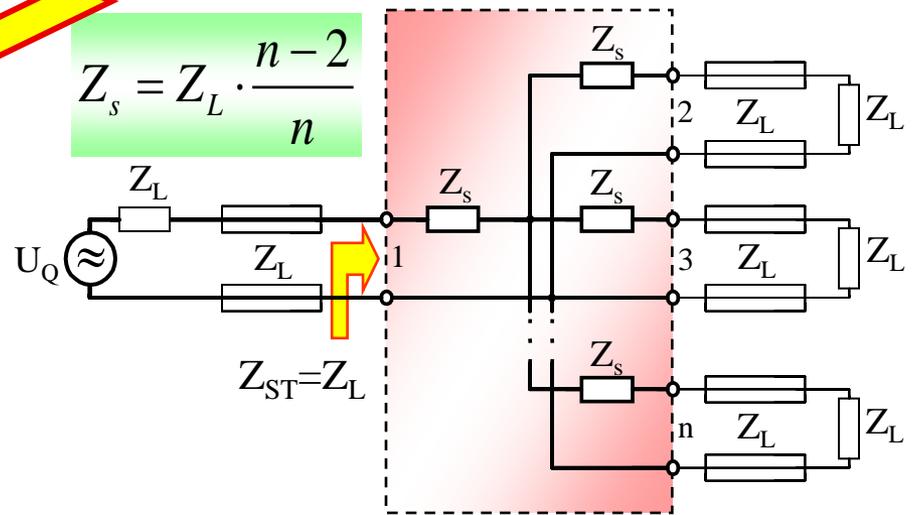
Angepasster Sternpunkt mit optimalen HF-Eigenschaften



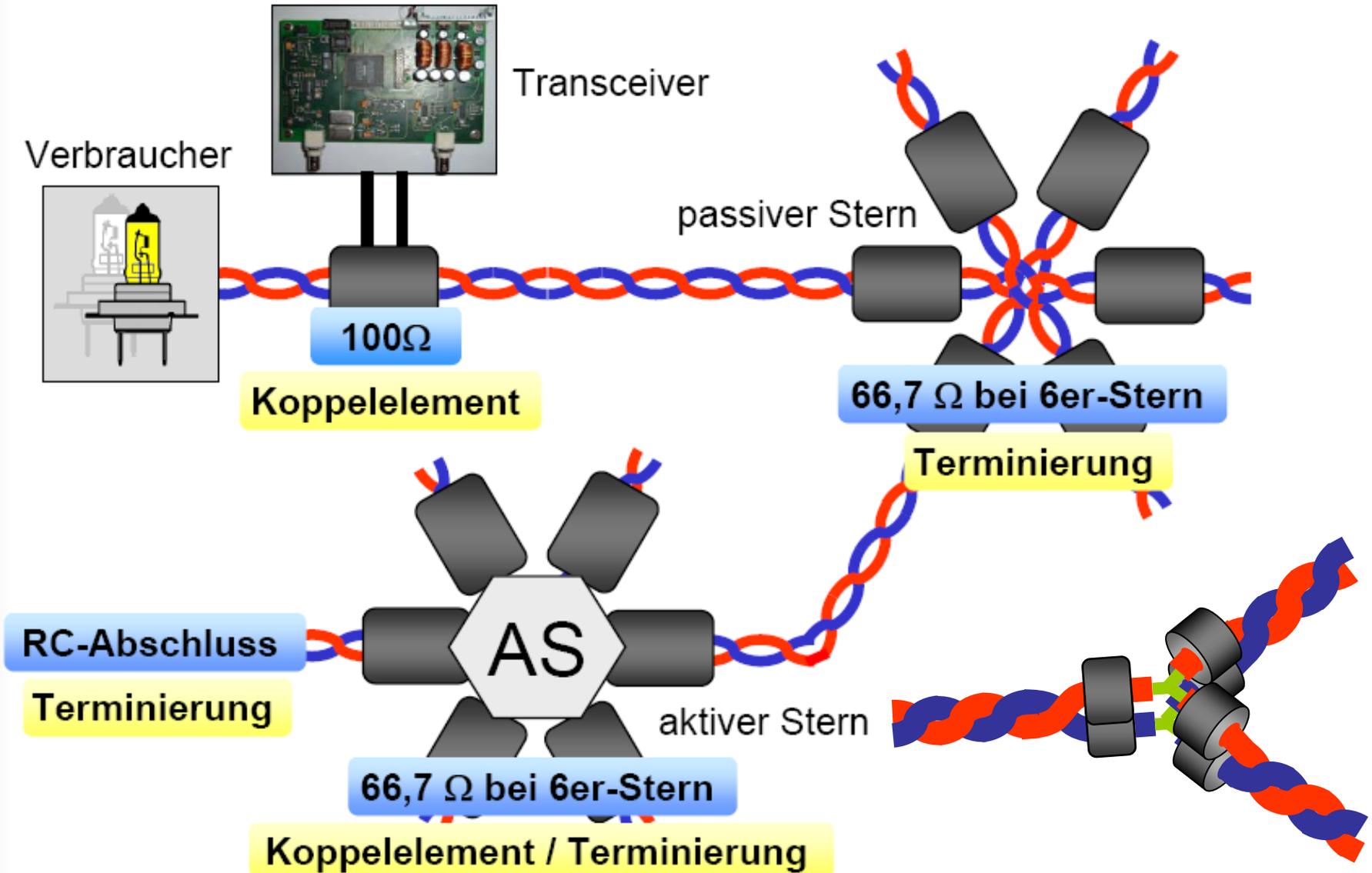
angepasster Stern



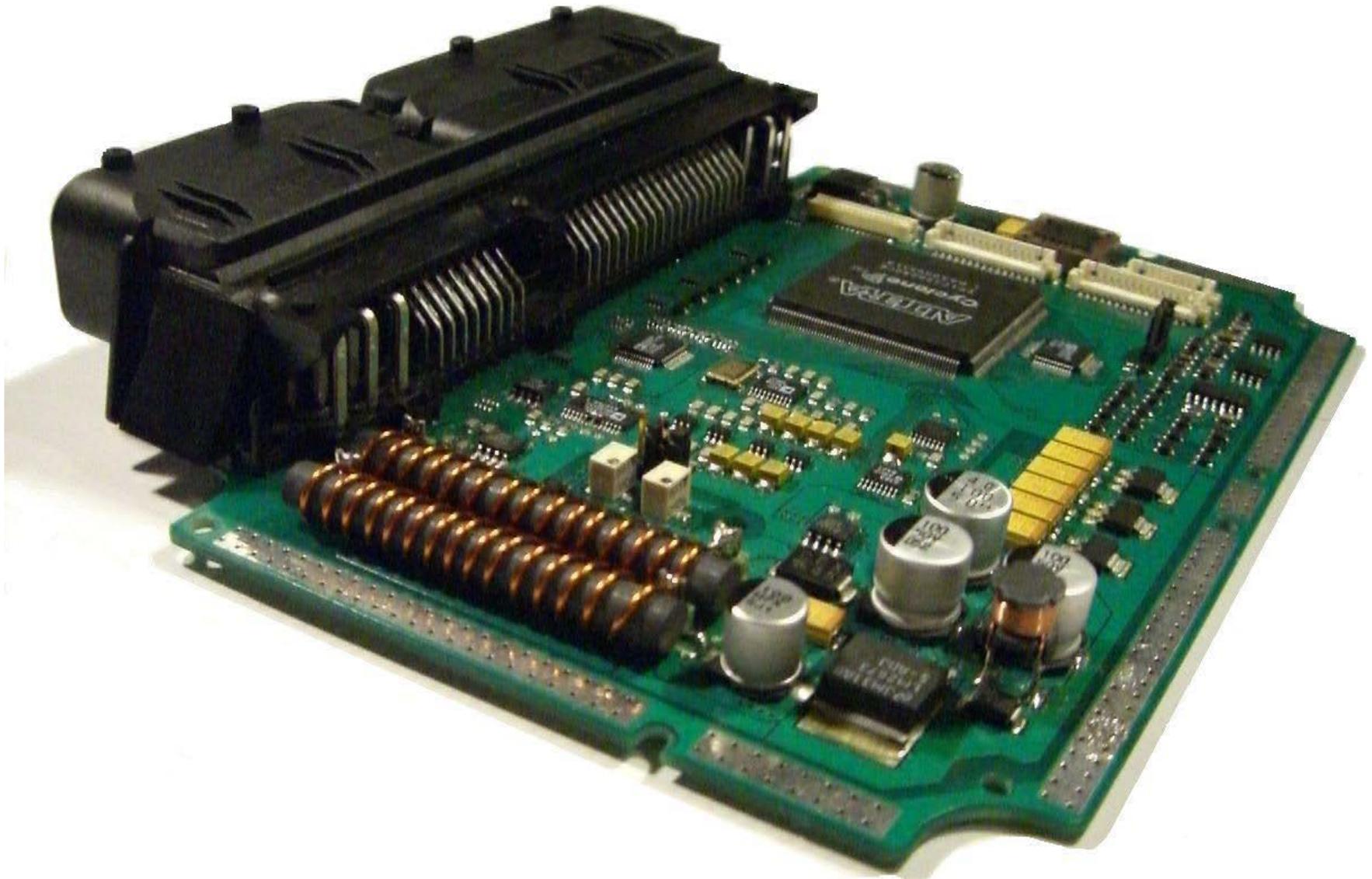
$$Z_s = Z_L \cdot \frac{n-2}{n}$$



PLC im KFZ zur schnellen Datenübertragung >10Mbit/s - neue Leitungsstrukturen und Transceiverkonzept -



Transceiver-Prototyp für Datenraten $>10\text{Mbit/s}$



Ferrite zur Herstellung der Anpassungsserienimpedanz Z_s

Impedanz einer durch Ferritmaterial verlustbehafteten Spule:

$$Z = j \cdot 2\pi \cdot f \cdot \left(\mu_r' - j \cdot \mu_r'' \right) \cdot L_0 = j \cdot 2\pi \cdot f \cdot \underbrace{\mu_r' \cdot L_0}_{L_S} + \underbrace{2\pi \cdot f \cdot \mu_r'' \cdot L_0}_{R_S}$$

Für hohe Frequenzen gilt:

Imaginärteil

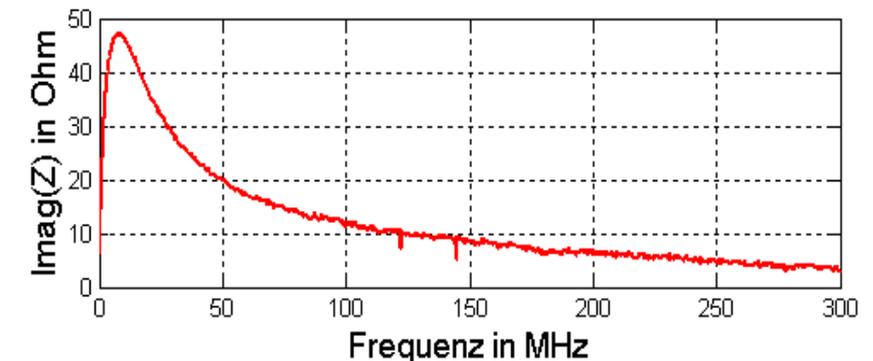
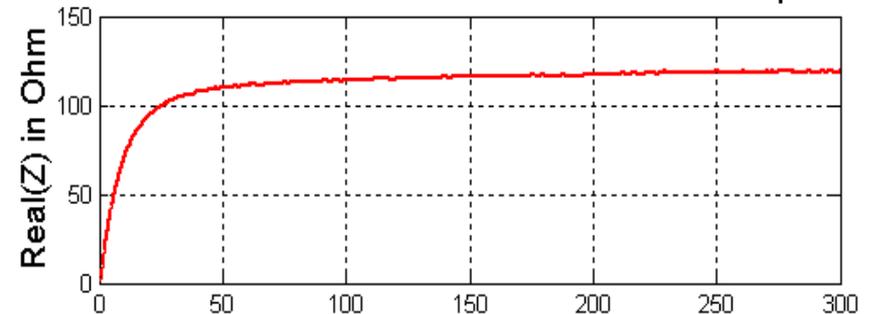
$$L_S = L_0 + \frac{f_c^2}{f^2} \cdot (\mu_i - 1) \cdot L_0$$

Realteil

$$R_S = 2\pi \cdot f_c \cdot (\mu_i - 1) \cdot L_0 = \text{const}$$

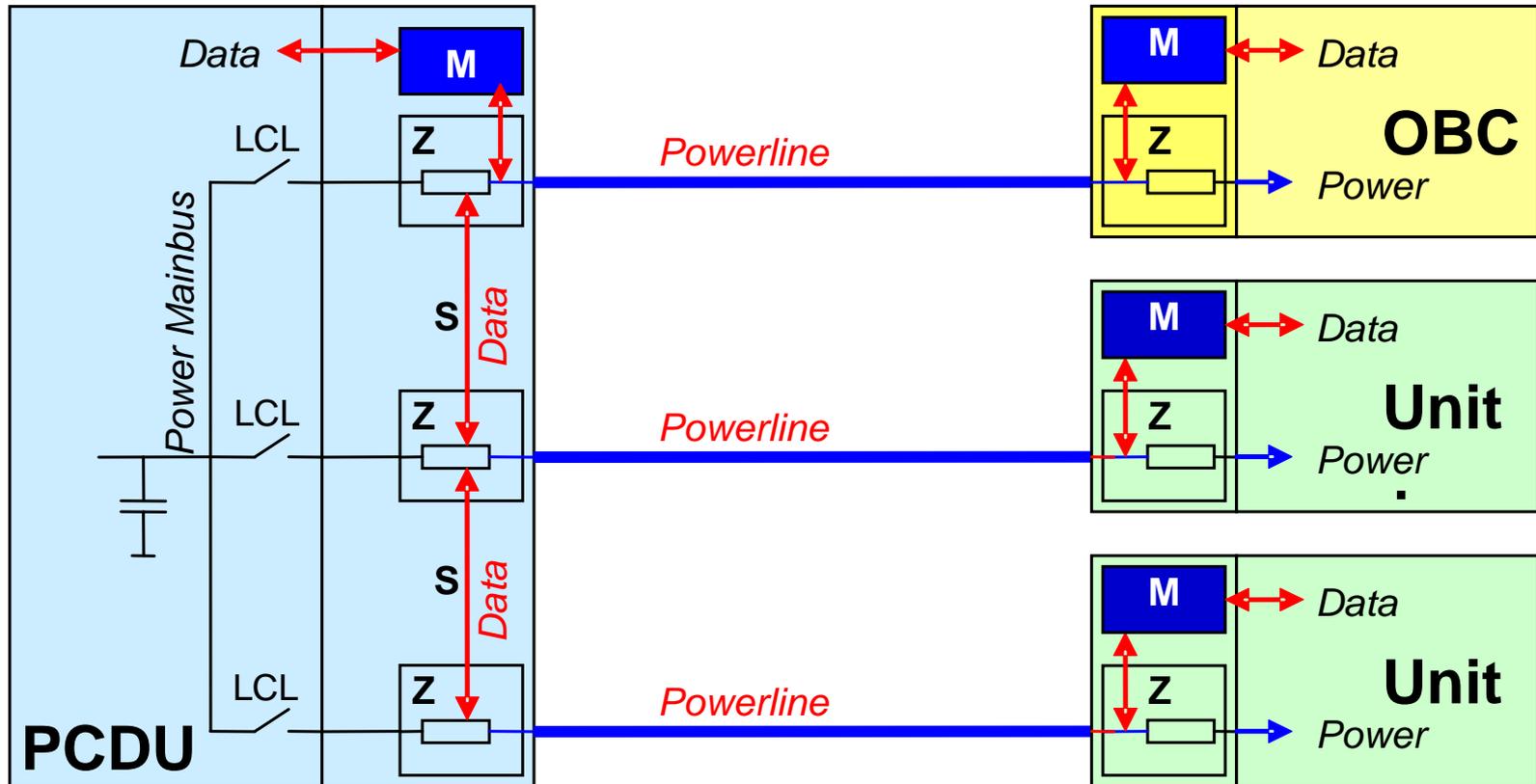
- Anpassung an den Wellenwiderstand von ca. 100Ω gelingt für $f \gg 50$ MHz
- verlustarme Energieübertragung bleibt bei Gleichstrom ($f=0$) erhalten
- **keine nachteilige Beeinflussung der Energieversorgung!**

Ohmscher und induktiver Widerstand einer Ferritperle



PLC in der Satellitentechnik

IPONS: Information & Power Network in Spacecraft



M = integrated modulator/demodulator and data interface

S = data star point (passive or active)

Z = line impedance termination with coupler/filter

Anpassungsbeispiel:

Stern mit 8 Abzweigen

$$Z_L = 100\Omega \quad R_s = 37,5\Omega \quad L = 3\mu\text{H}$$

$$R_s = \frac{n-2}{n} \cdot \frac{Z_L}{2} = \frac{8-2}{8} \cdot \frac{Z_L}{2} = 37,5\Omega \quad \text{für } Z_L = 100\Omega$$

Sternpunktspannung

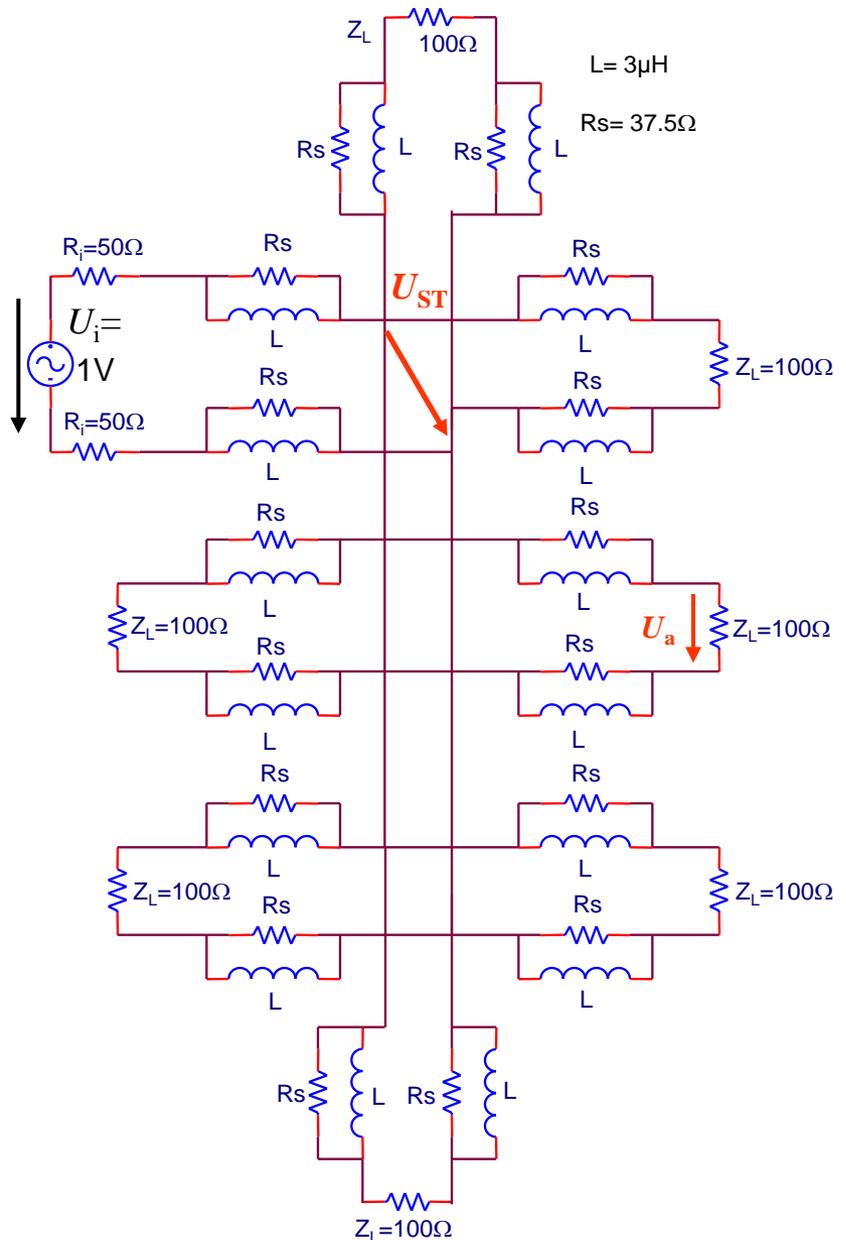
$$U_{ST} = \frac{U_i}{n}$$

Knotenspannung bei Anpassung:

$$U_a = \frac{U_i}{2n-2}$$

Dämpfung:

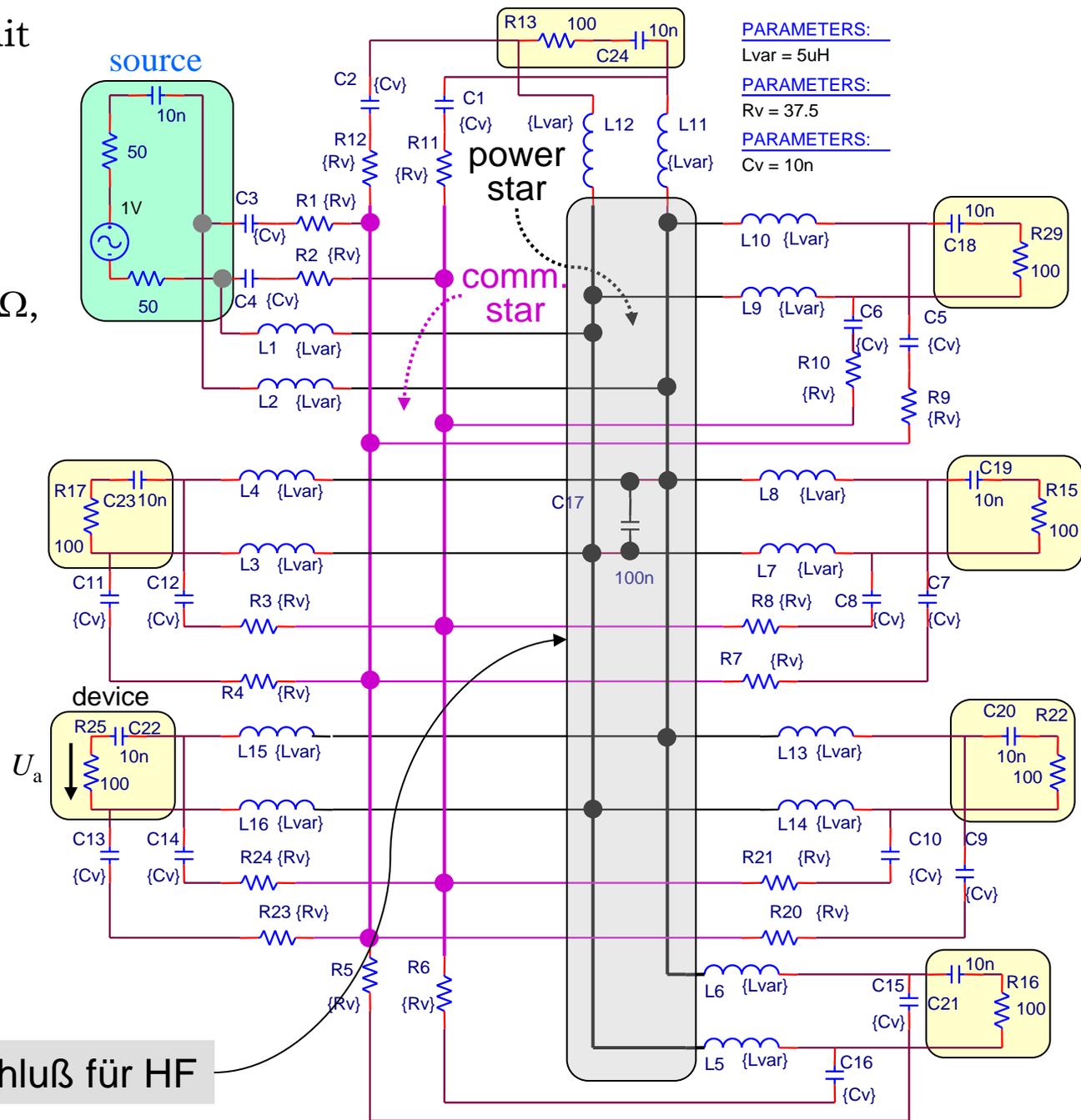
$$\begin{aligned} D/\text{dB} &= 20 \cdot \log_{10}(2n-2) \\ &= 22,9 \quad \text{für } n=8 \end{aligned}$$



angepaßter Sternpunkt mit
8 Abzweigen;
Trennung von
Kommunikations- und
Stromversorgungsstern

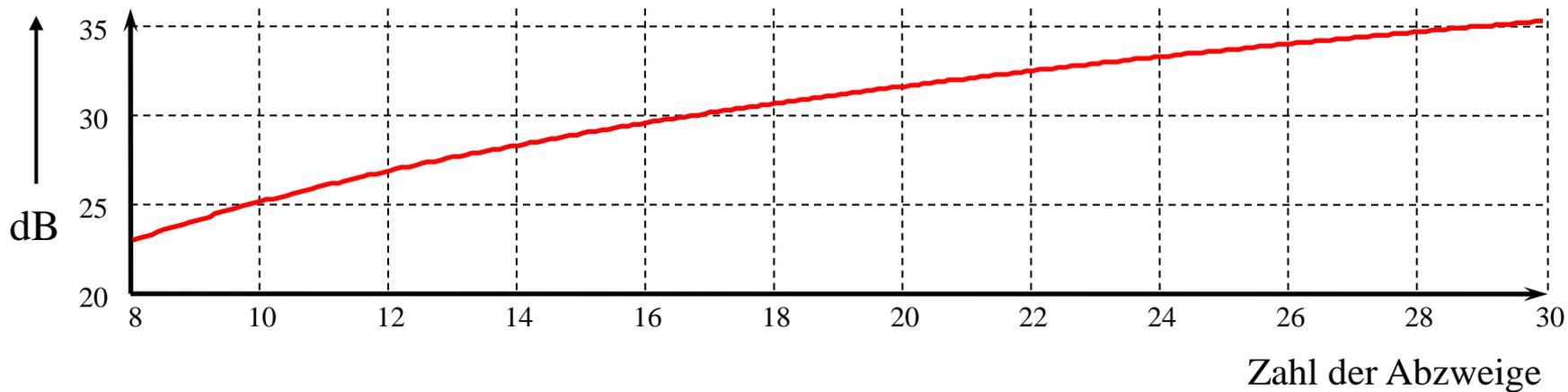
Wellenwiderstand: $Z_L = 100\Omega$,
Serienwiderstand für
Anpassung:

$$R_v = \frac{n-2}{n} \cdot \frac{Z_L}{2} = 37,5\Omega$$

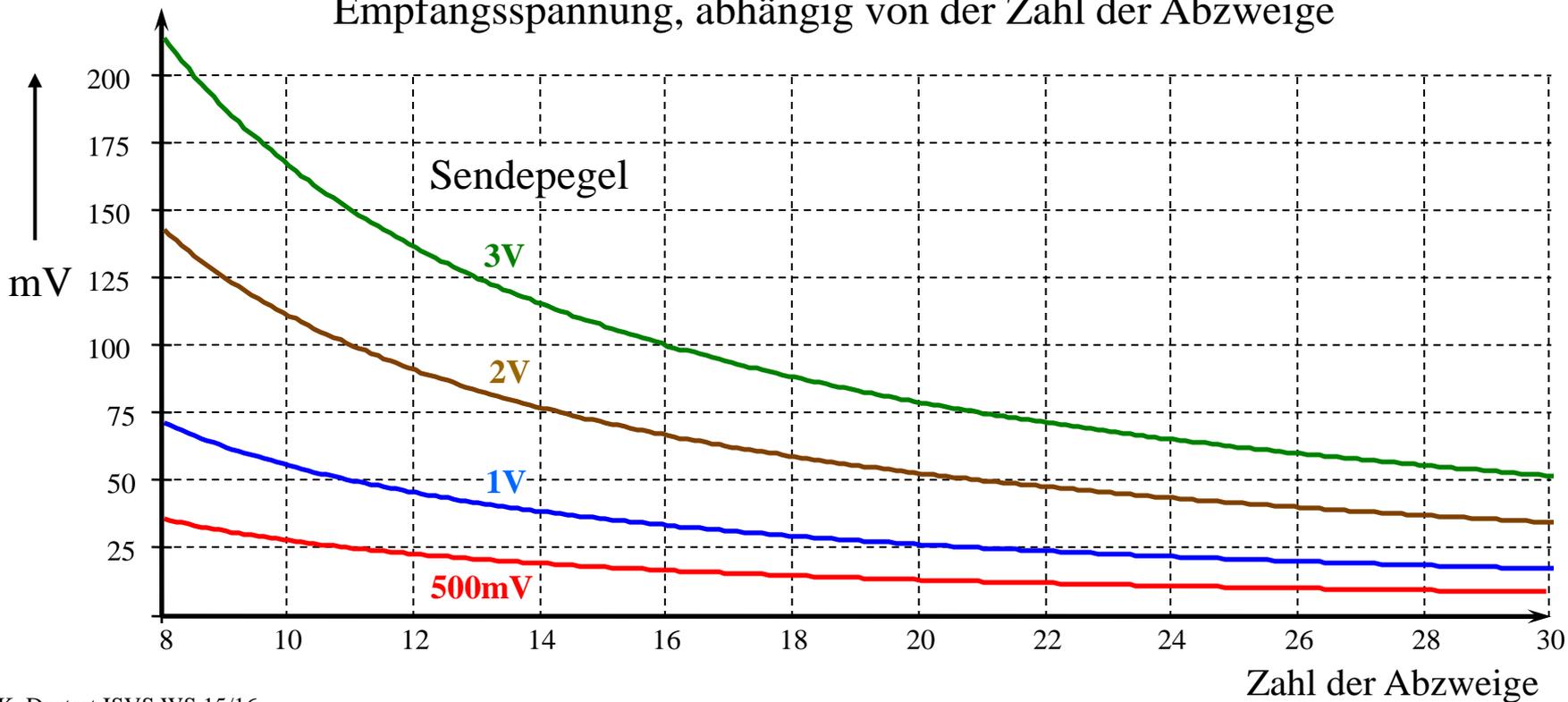


Kurzschluß für HF

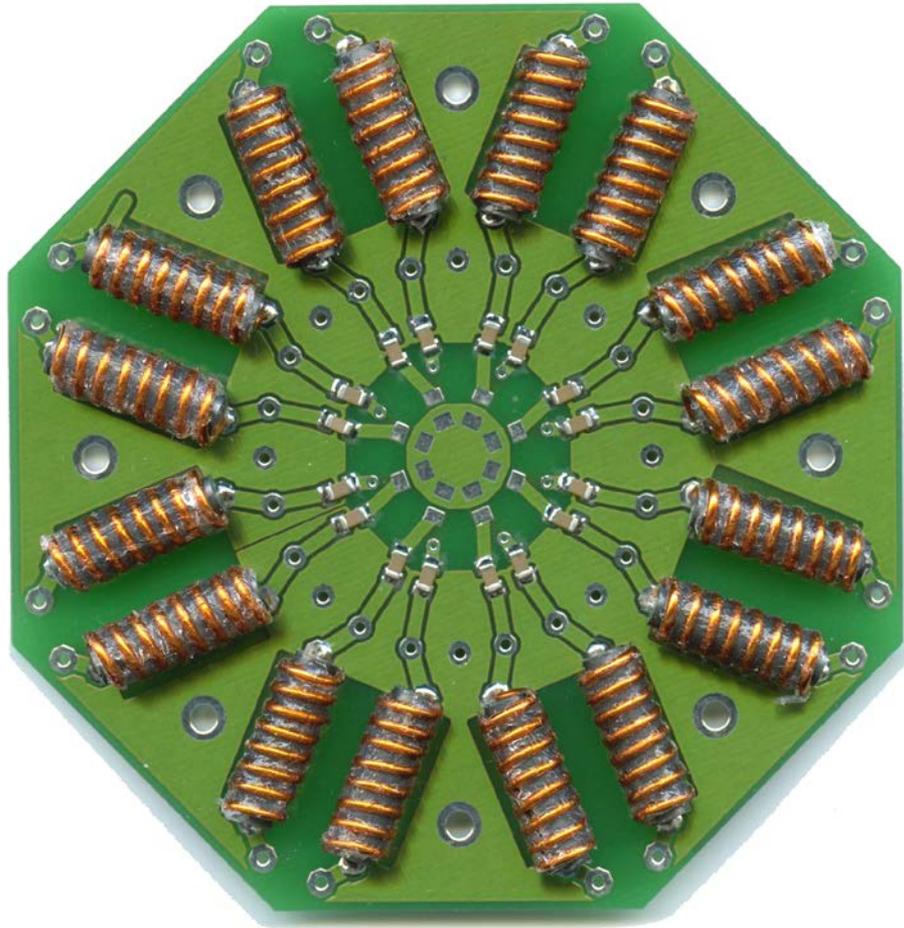
Sternpunktdämpfung, abhängig von der Zahl der Abzweige



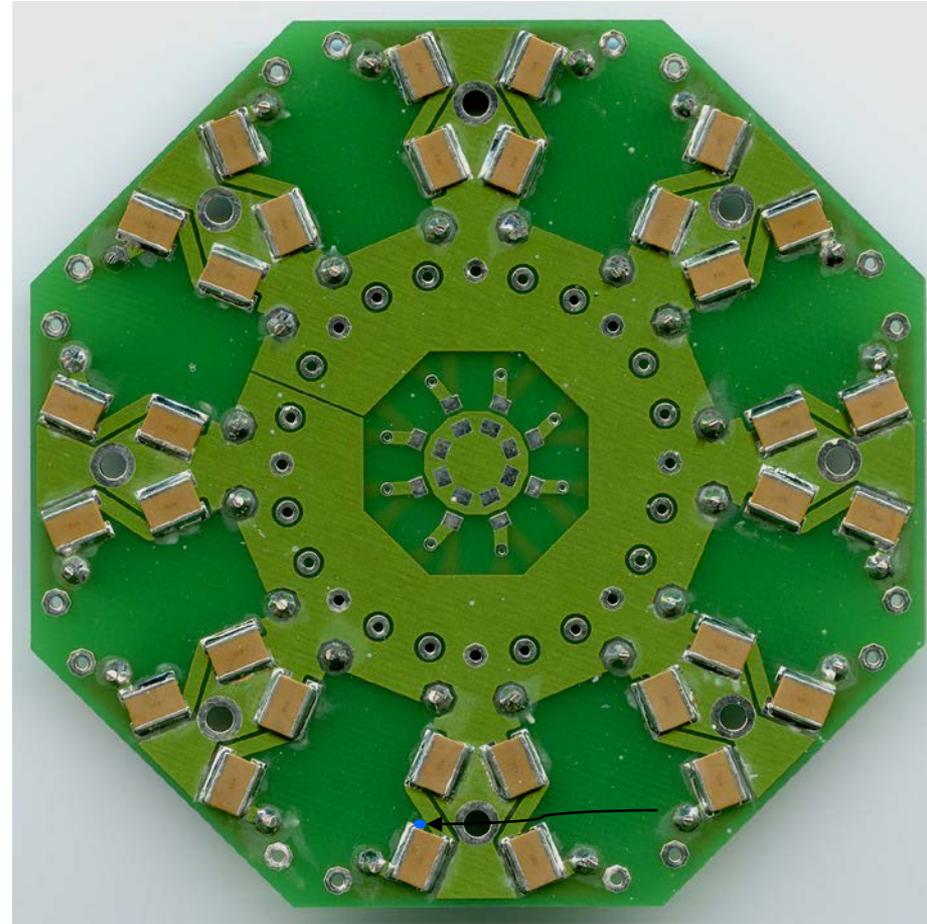
Empfangsspannung, abhängig von der Zahl der Abzweige



Sternplatine: Oberseite

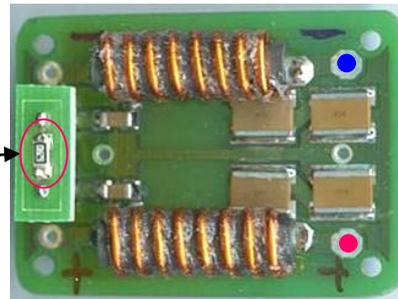


Sternplatine: Unterseite



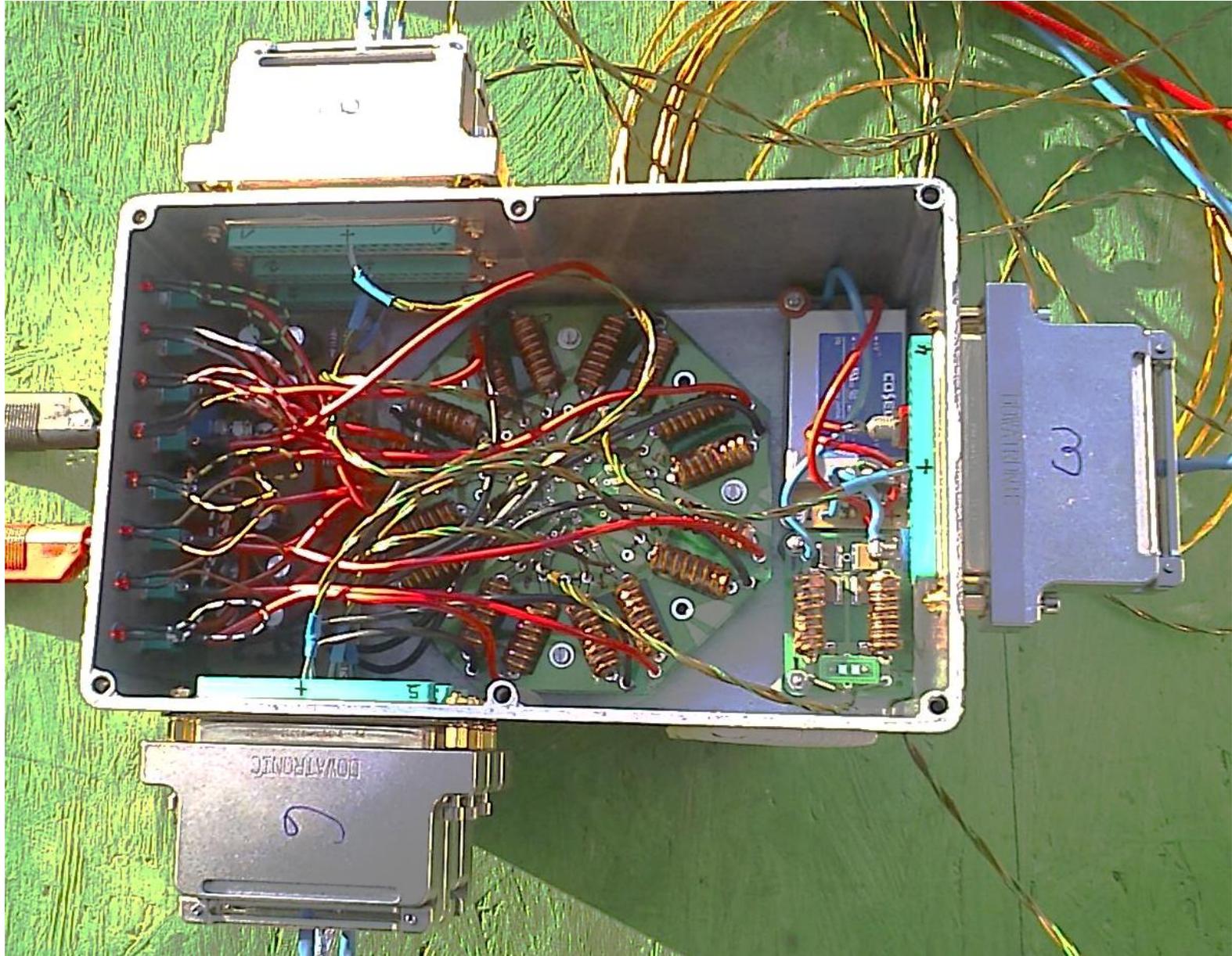
Geräteanschluß

Abschluß-
widerstand Z_L

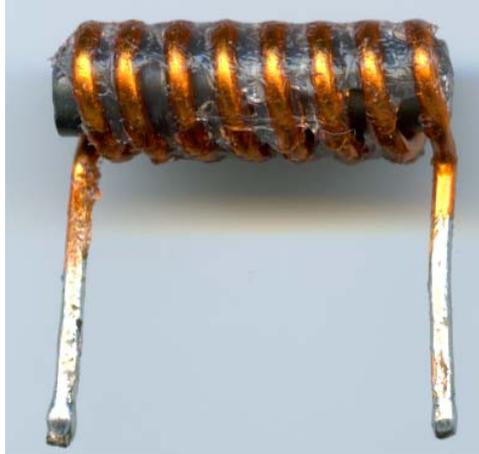


$-U_B$
DC-Seite
 $+U_B$

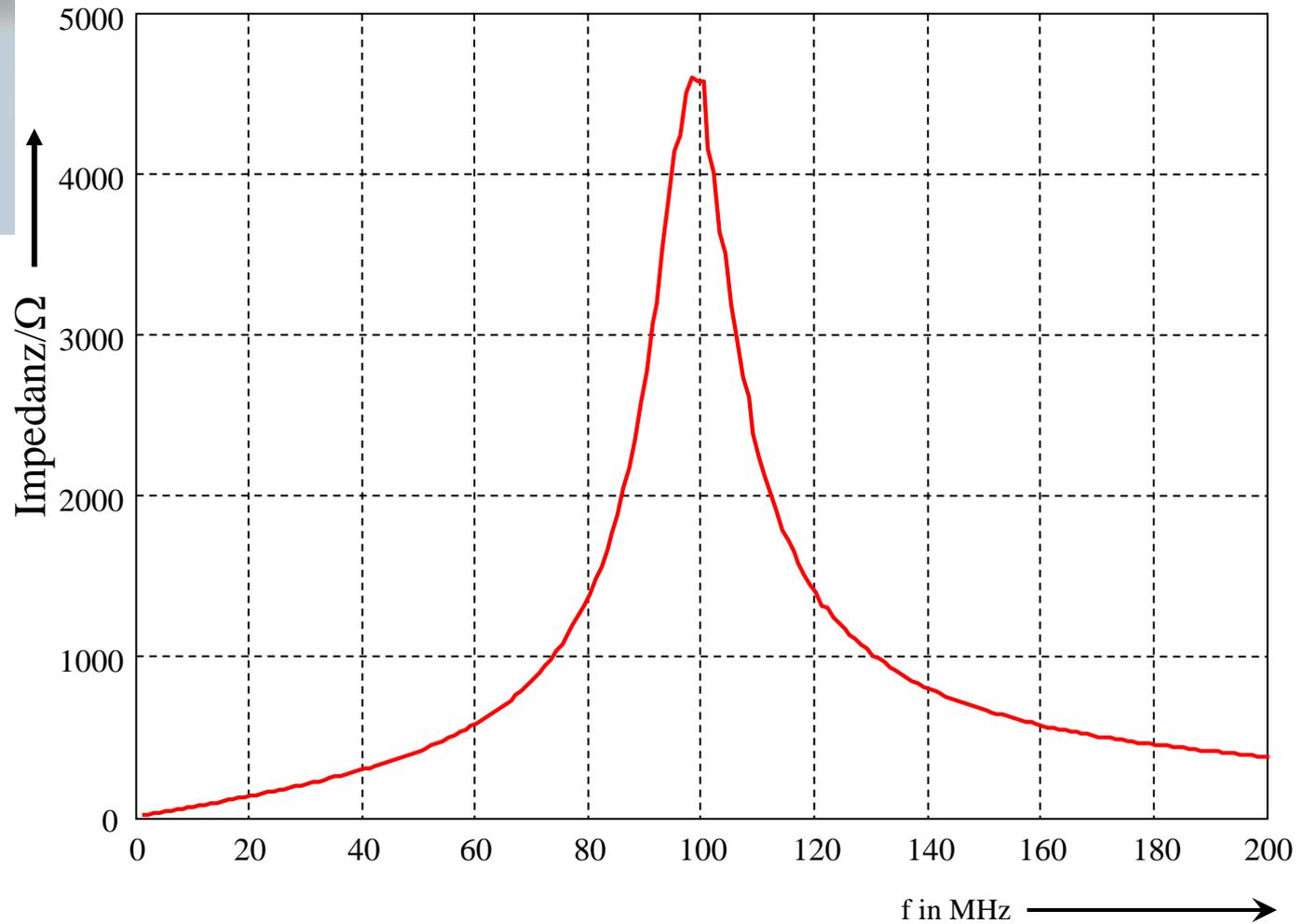
Innenansicht eines Prototypen für Demozwecke



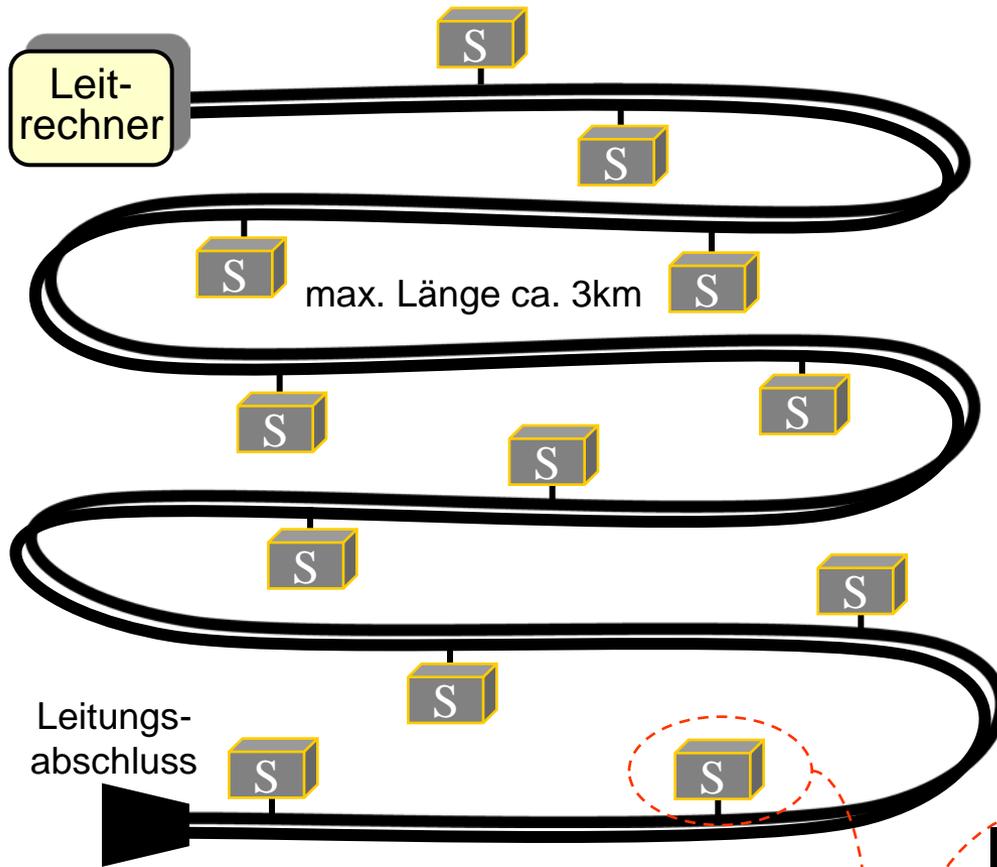
Impedanzanalyse der HF-Drosseln



Drossel auf \varnothing 5mm und 20mm Länge;
Material 3S3 mit 8 Windungen CuL \varnothing 1,5mm



PLC in der Bergwerkstechnik



Zweidrahtbussystem für elektrische Energiezufuhr und Informationsübertragung mit:

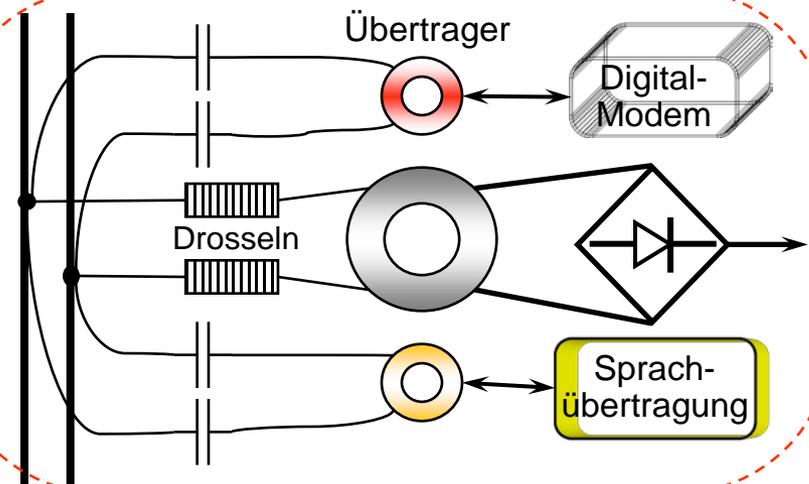
- **Eigensicherheit,**
- **Anpassung an allen Knoten**
- **Adern beliebig anschließbar**

Anwendungen:

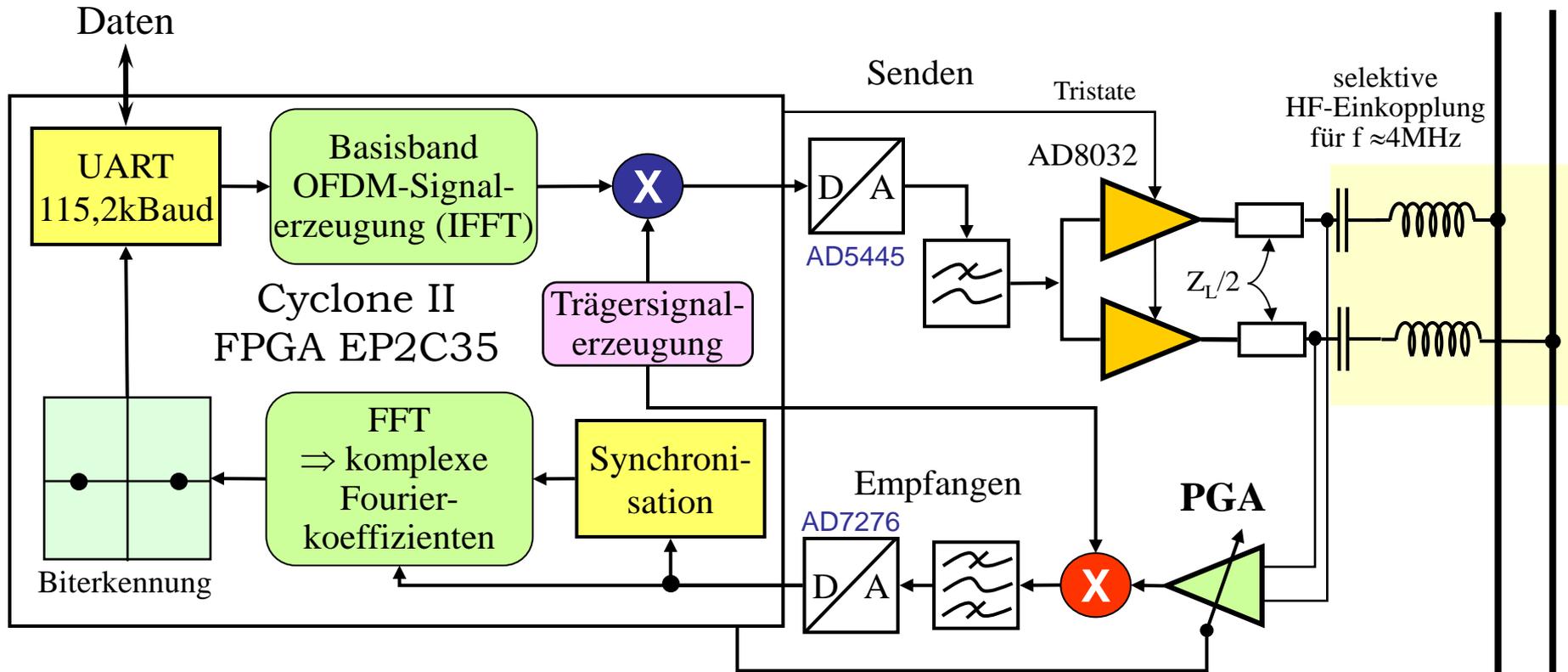
- ✓ Datenübertragung mit 100kbit/s
 - Konzentrationen versch. Gase
 - Temperatur, Feuchte
- ✓ analoge Sprachübertragung
- ✓ Alarmbotschaften

Weitere Randbedingungen:

- hohe Betriebssicherheit
- Notbetrieb auch ohne Netzversorgung
- hohe Flexibilität (leicht umkonfigurierbar)
- erweiterbar bis auf ca. 100 Teilnehmer

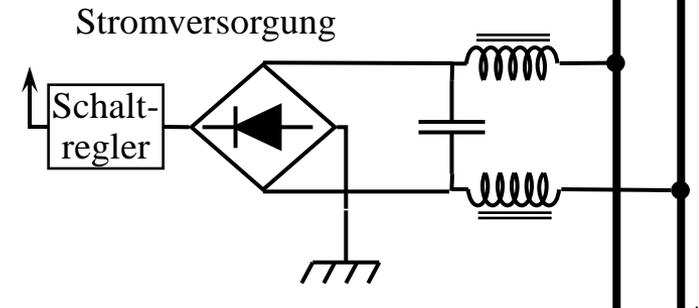


Digitalsystem zur Datenkommunikation

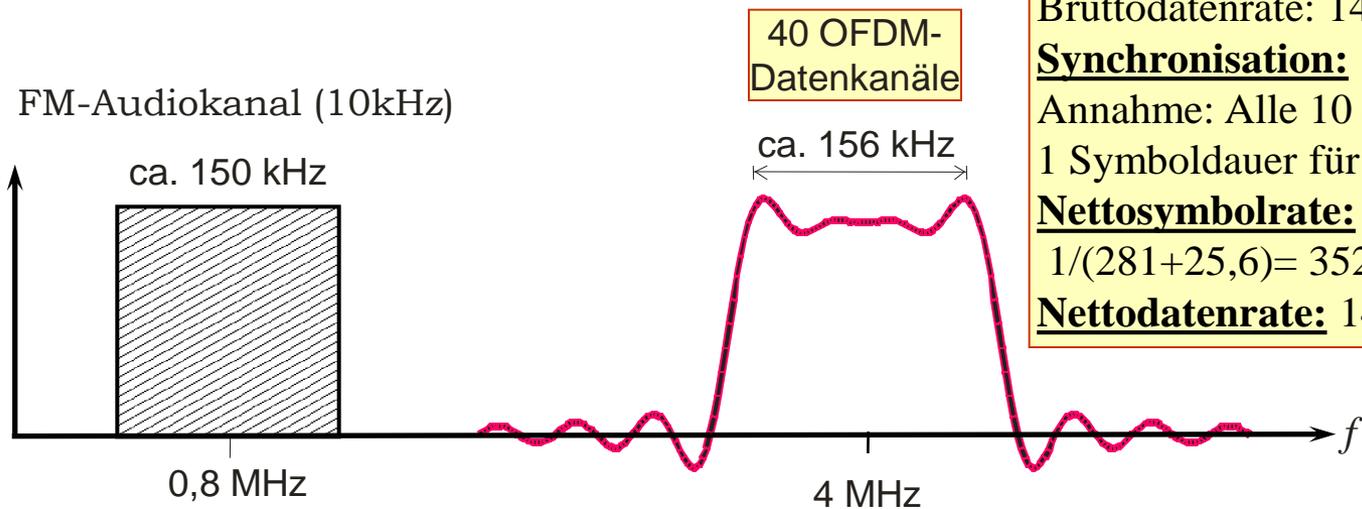


EP2C35:

- ✓ 33.216 LE
- ✓ ca. 480kbit RAM
- ✓ 35 18x18bit Parallelmultiplizierer
- ✓ BGA mit 475 Pins



Belegung des Spektrums durch das FM- und das Digitalsystem



FFT-Länge: 256
Abtastrate: 1MHz
Symboldauer: 256 μ s
Guardintervall: 25 μ s
=>Trägerabstand: 3,906kHz
Buttosymbolrate: 3.558,7s⁻¹
Bruttodatenrate: 142348,75s⁻¹
Synchronisation:
Annahme: Alle 10 Symbole
1 Symboldauer für Sync.
Nettosymbolrate:
1/(281+25,6)= 3526,59s⁻¹
Nettodatenrate: 141.063,6s⁻¹

FM-Audiokanal mit ca. 10kHz

- Sprachkanal in analoger Technik,
unabhängig vom Datenkanal

Gebäudeautomatisierung: **Smart Home** künftig auch: Intelligente Energienutzung im Rahmen neuer **Smart-Grid-Technologien**

