

Datenübertragung über Stromleitungen

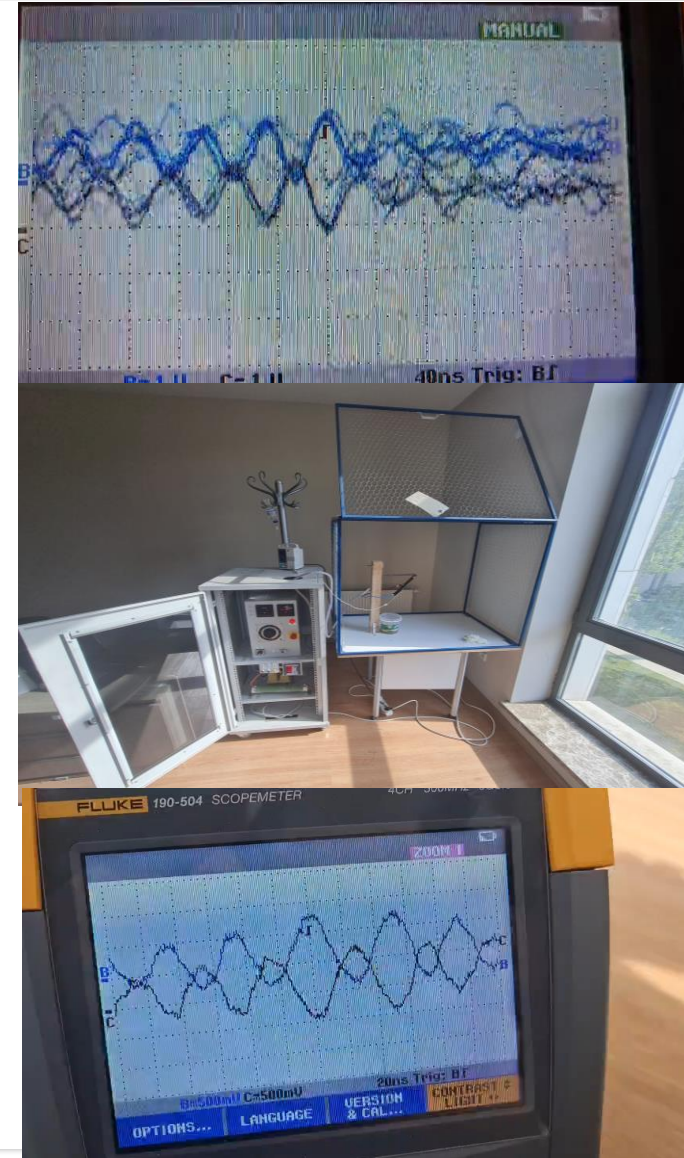
**Untersuchung und Analyse der
Auswirkungen verschiedener
Faktoren auf die Signalverzerrung**

Sude Nazlı Öztürk
200504024

Alperen Öncül
200504049

Inhalt

- **Grundlagen der PLC Systeme**
 - Locale Netzwerk und Homeplug
 - Wie funktioniert diese Systeme?
- **Arbeitsprinzipien von Powerline Adapter**
 - Modulationsverfahren
- **Herausforderungen der PLC Systeme**
 - mit dem Übertragungsmedium
 - durch externe Faktoren
- **Versuch 1-Latenzmessung**
- **Versuch 2- Oszilloskopstudie des Ethernet-Signals bei unterschiedlichen Bedingungen**
 - Powerguard Experiment
 - Raum EMI
 - Adapter Temperatur
 - Trafo
- **Ergebnis**



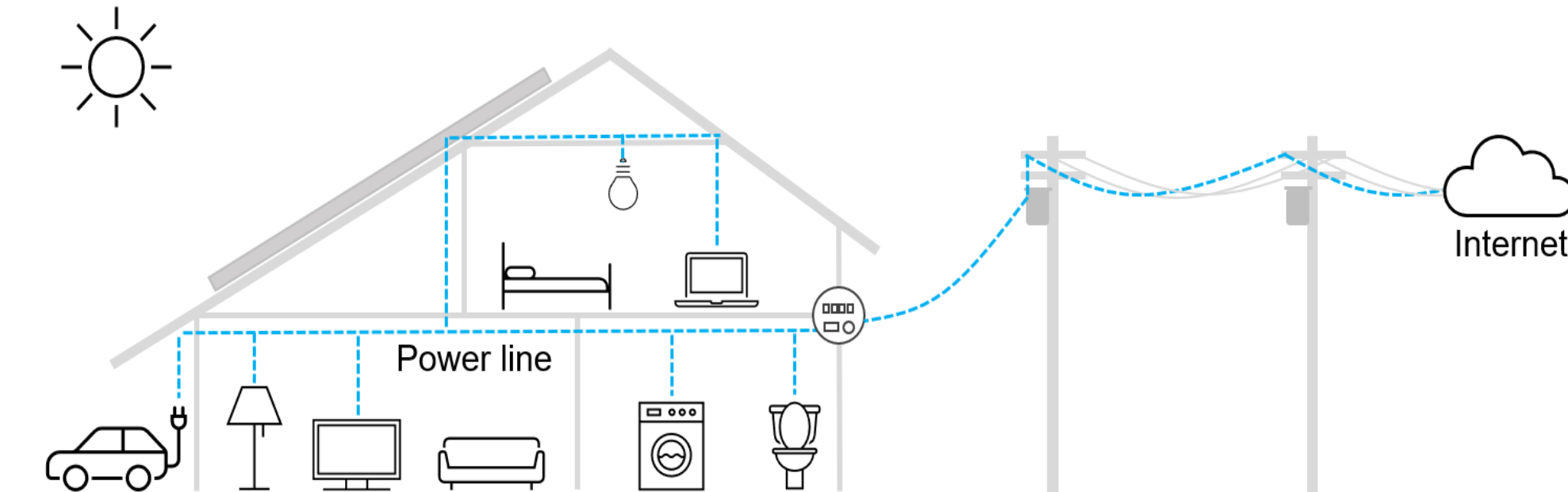
Grundlagen der PLC Systeme

Anwendungsfälle

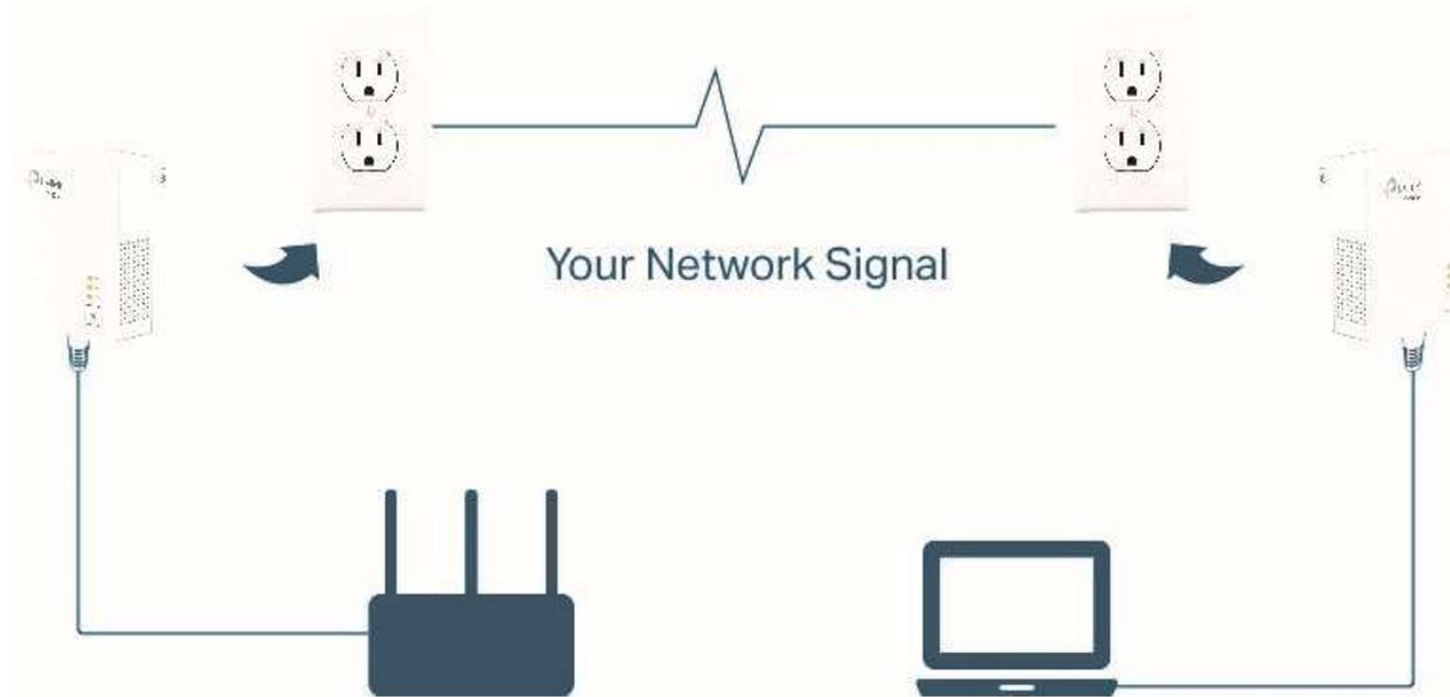
- Smart home, Smart meters, Locale Netzwerk

Definition

- Datenübertragung über dieselben Leiter, die bereits Wechselstrom führen.

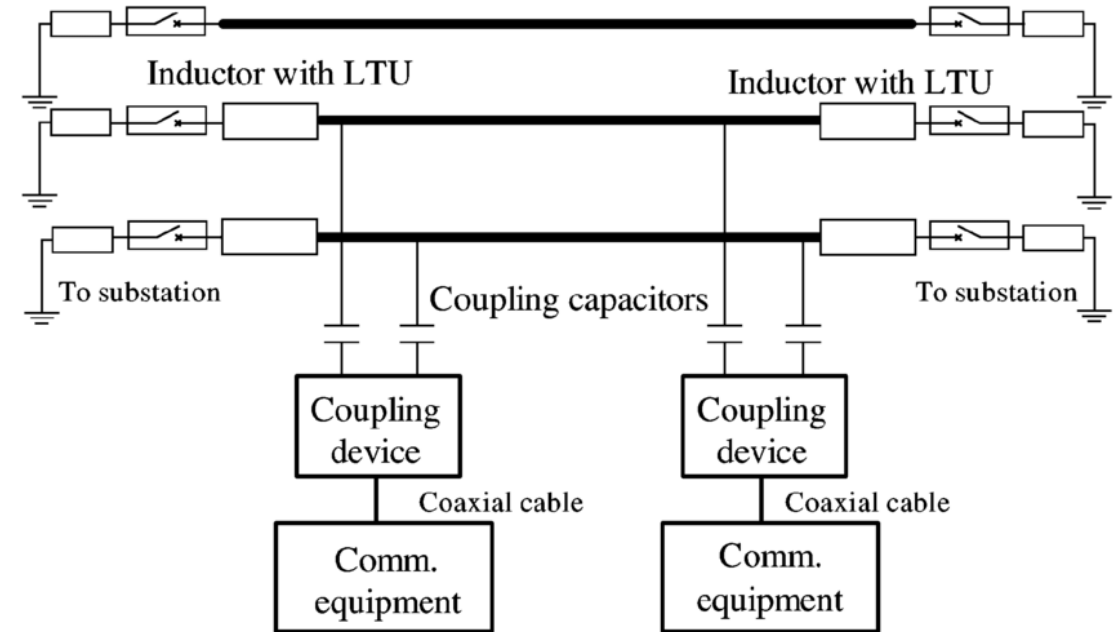
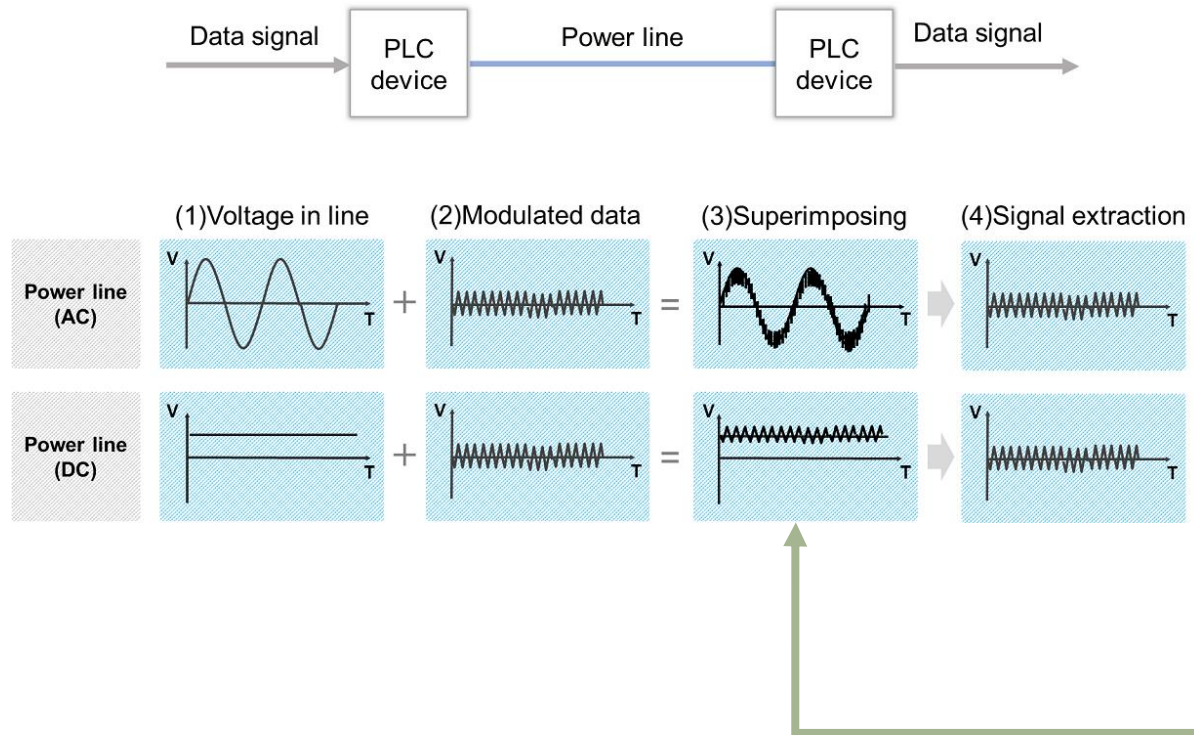


Locale Netzwerk und HomePlug AV/AV2



Standard	Signal rate	Application
HomePlug AV	Up to 600 Mbps	HDTV, home theatre
HomePlug AV2	Gigabit physical speed	4K Ultra HD video, multi-room IPTV, online gaming

Wie funktioniert?



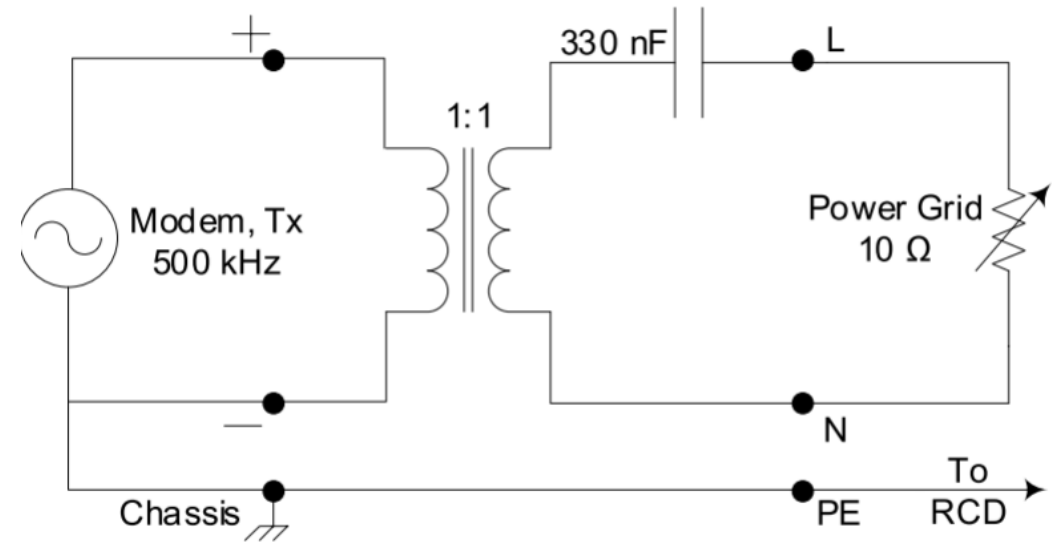
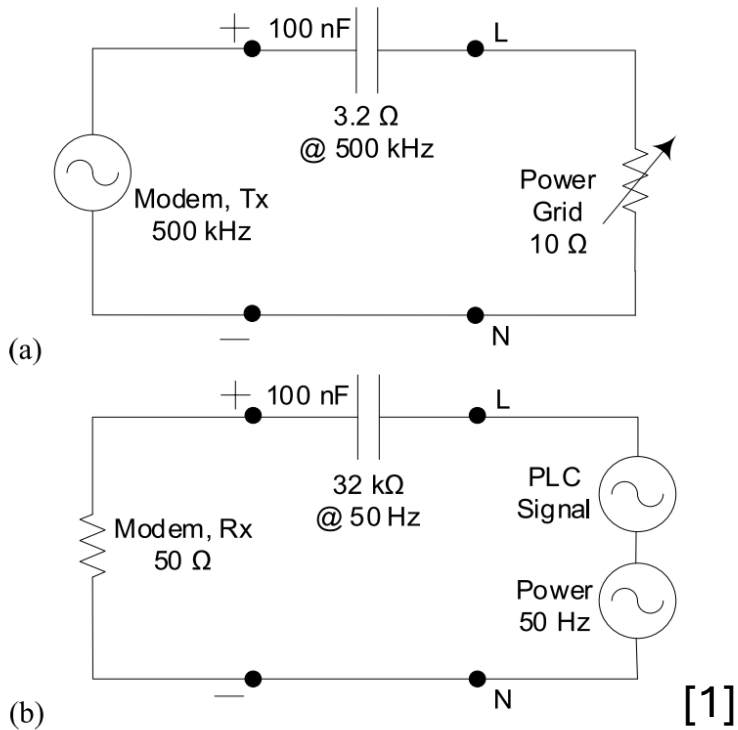
Arbeitsprinzipien von Powerline-Adapter

Kopplung

Überlagerung und Empfang

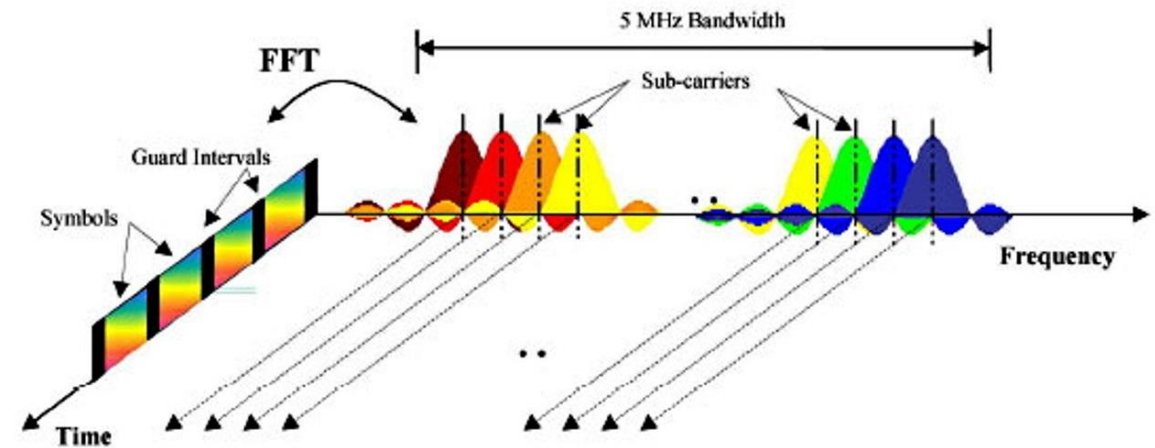
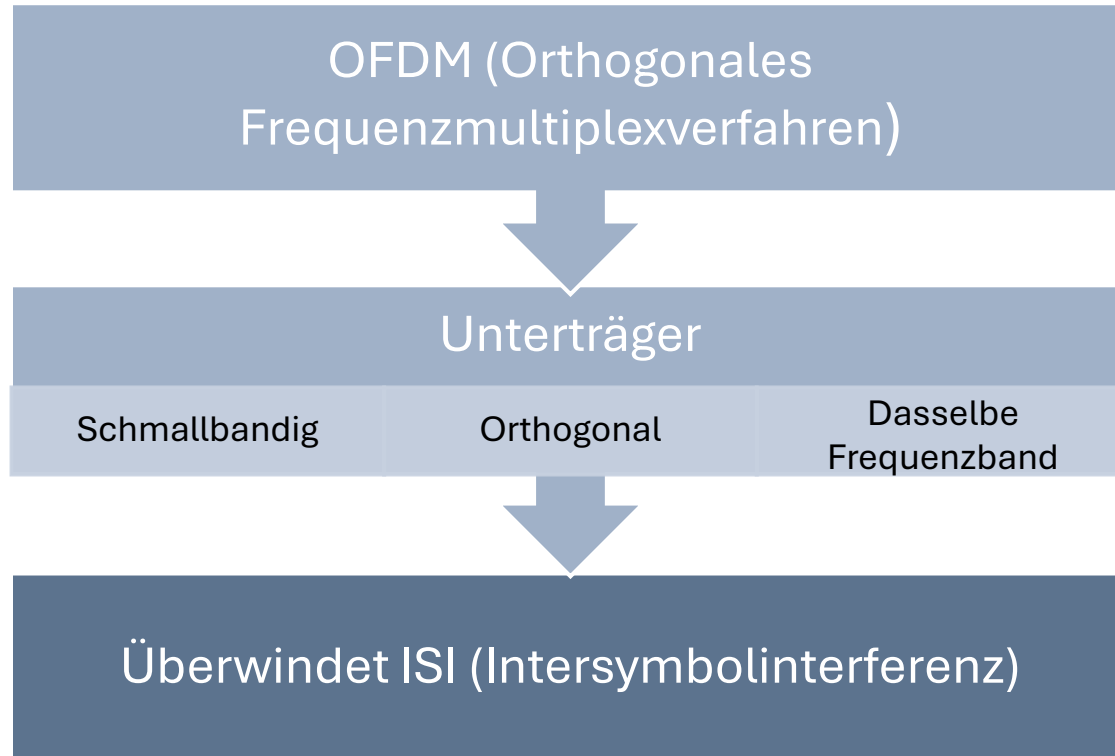
Kapazitive und induktive Koppler

Filterprinzip



[1]

Modulationsverfahren



Herausforderungen im Zusammenhang mit dem Übertragungsmedium in PLC-Systemen

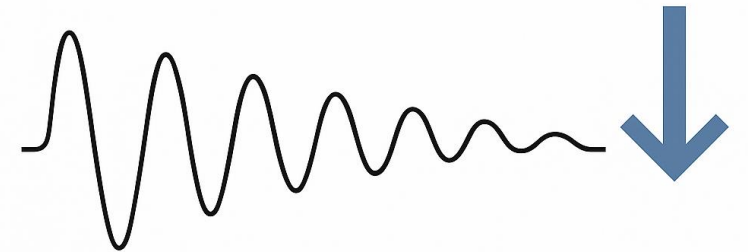
- **Rauschen im Übertragungsmedium**

- Stromleitungen → rauschende Umgebungen
- Impulsrauschen → unvorhersehbar
 - elektrische Geräte
 - Leistungsschwankungen
 - Elektromagnetische Störungen



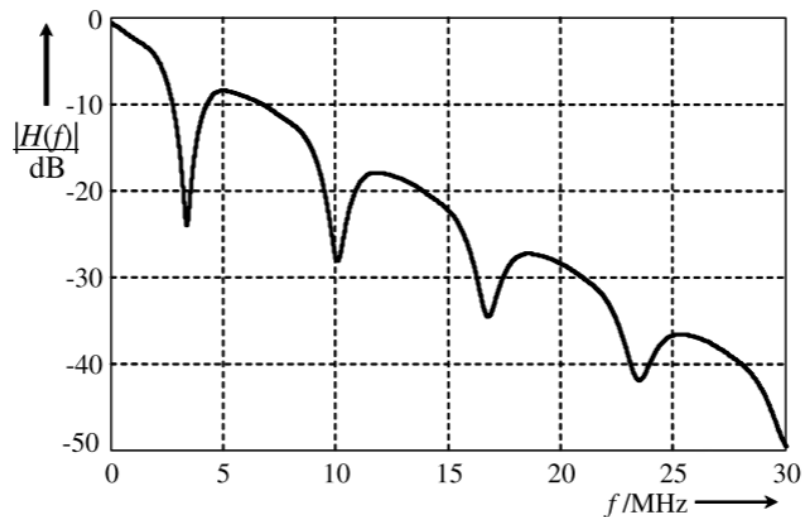
- **Dämpfung und Signalverzerrung im Übertragungsmedium**

- Signalstärke mit der Entfernung abnimmt
- Schwankungen in den elektrischen Lasten

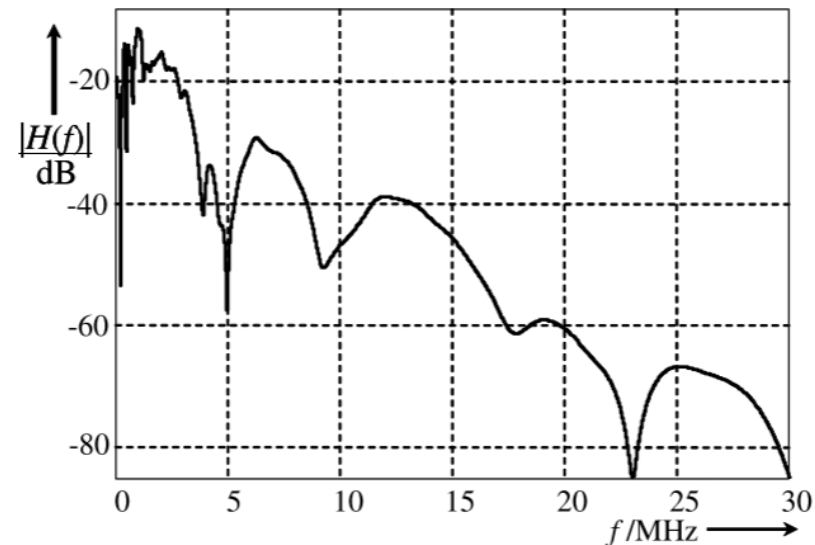


• Dämpfung und Kanalmodellierung

- Verluste → Skin Effekt und dielektrische Verluste
- Impedanzfehlanspassungen → Reflexionen und Echos
- Unterbrechungen → Signal Prallen zwischen Diskontinuitäten und Schwachung



Kanalcharakteristik des
Einzweignetzes[2]



Kanalcharakteristik des Netzes
mit sechs Zweigen[2]

Herausforderungen durch externe Faktoren



Variabler Netzwerkverkehr

- Viele Endgeräte \Rightarrow plötzliche Datenstaus & schwankende Durchsatzraten
- MU-MIMO / QoS-Scheduler



Störungen mit bestehenden Kommunikationssystemen

- Überlappende Frequenzbänder stören sich wechselseitig – Datenpakete kollidieren
- Adaptive Filter + DFS



Rauschen von externen Quellen

- EMI / RF-Einflüsse (z. B. Funkdienste) senken OFDM-SNR spürbar.
- Freq-Hopping & FEC

Versuch 1 – Latenzmessung für Raum EMI



- unter normalen Nutzungsbedingungen (Steckdosen in Universitätsräumen, tagsüber)
- Ohne mit PLC-Adaptern und rausch Elementen

→ `tracert tau.edu.tr`

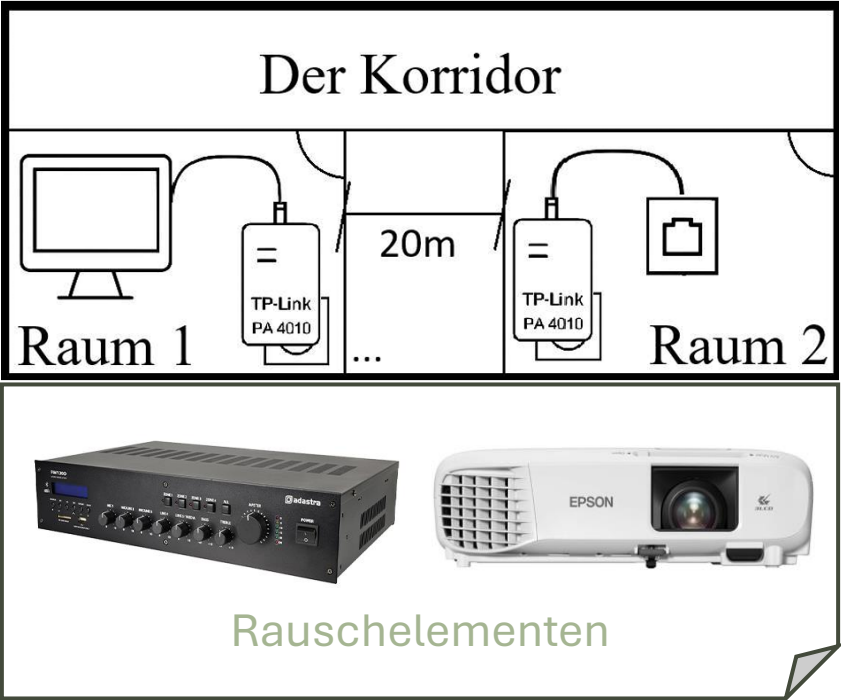
```
Tracing route to tau.edu.tr [172.16.3.19]
over a maximum of 30 hops:

 1    <1 ms    <1 ms    <1 ms    10.20.40.2
 2     1 ms    <1 ms    <1 ms    TAUDC002.tau.edu.tr [172.16.3.19]
```

→ `ping tau.edu.tr -f -l 1472`

```
Pinging tau.edu.tr [172.16.3.3] with 1472 bytes of data:
Reply from 172.16.3.3: bytes=1472 time<1ms TTL=127
Reply from 172.16.3.3: bytes=1472 time=1ms TTL=127
Reply from 172.16.3.3: bytes=1472 time=1ms TTL=127
Reply from 172.16.3.3: bytes=1472 time<1ms TTL=127

Ping statistics for 172.16.3.3:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
Approximate round trip times in milli-seconds:
    Minimum = 0ms, Maximum = 1ms, Average = 0ms
```



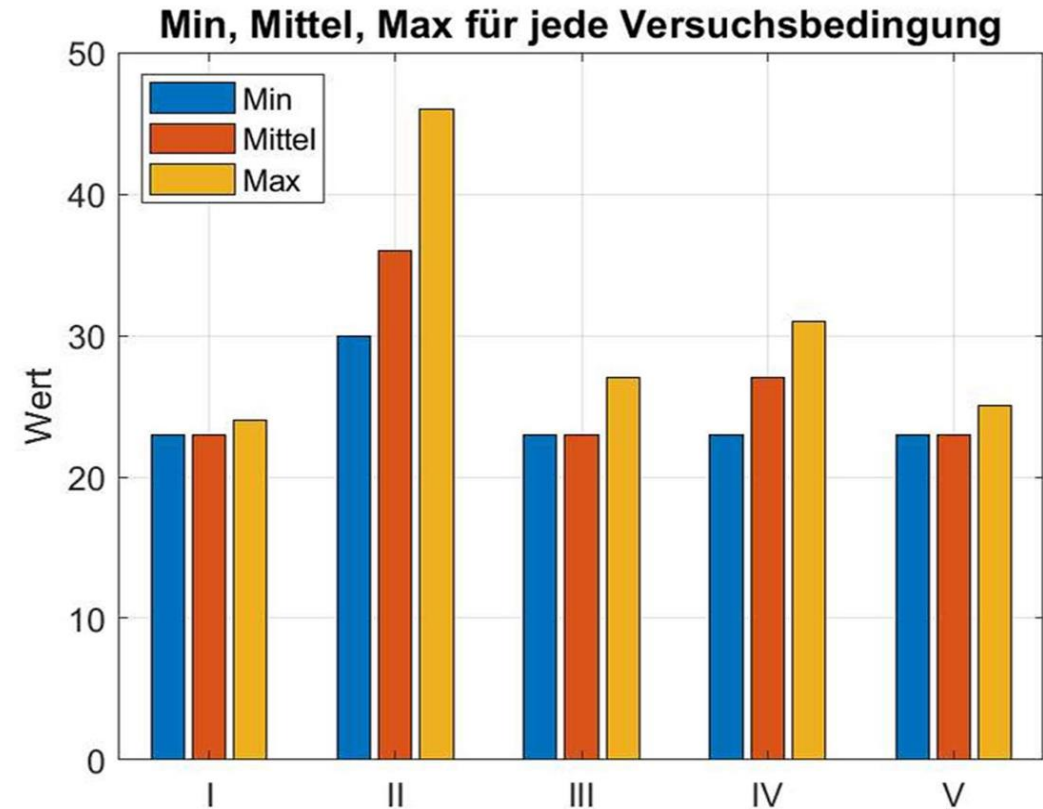
	Sender		Emp-fanger	
I	Raum 1		Raum 1	
II	Raum 1		Raum 1	
III	Raum 1		Raum 2	
IV	Raum 1		Raum 2	
V	Raum 1		Raum 2	













Ergebnis

! Der Einfluss externer Störfaktoren auf die Signalqualität wurde **klar** sichtbar.

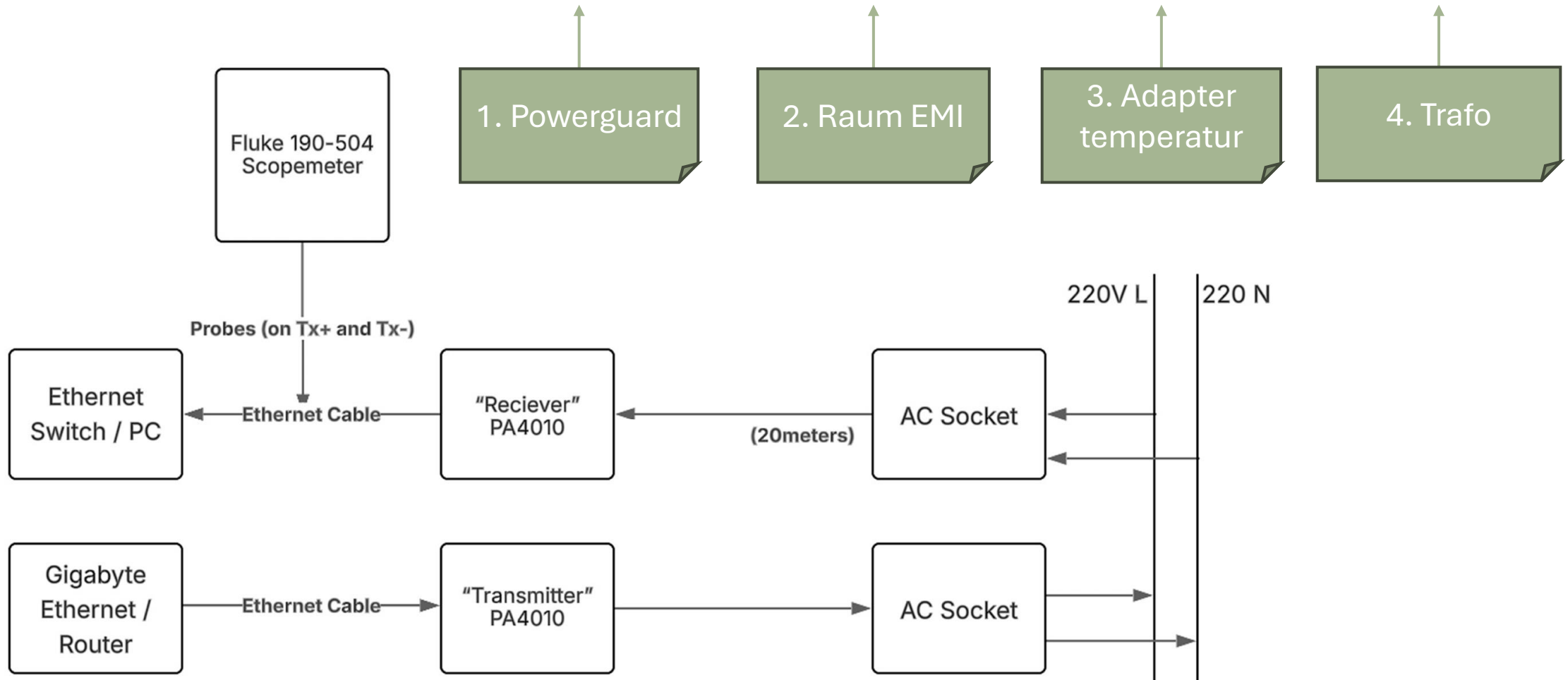


Detaillierte ausführung ist benötigt.



	Sender		Emp-fanger	
I	Raum 1		Raum 1	
II	Raum 1		Raum 1	
III	Raum 1		Raum 2	
IV	Raum 1		Raum 2	
V	Raum 1		Raum 2	

Versuch 2: Oszilloskopstudie des Ethernet-Signals bei unterschiedlichen Bedingungen



Gebrauchte Hardware

- 1
- 2
- 3
- 4
- 1
- 2
- 3
- 4
- 1
- 2
- 3
- 4



PLC Kit:

TP-Link PA4010-Paar
(HomePlug AV, 500 Mbit/s)



Oscilloscope:

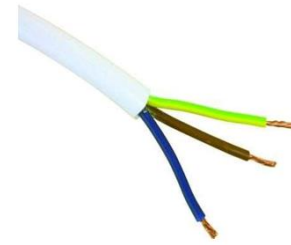
Fluke 190-504, tragbar
 • 500 MHz Analog-bandbreite
 • 625 MSa/s je Kanal
 • 40 ns/Div Zeitbasis
 • 300 Samples Speicher → ≈ 480 ns Fenster



Spannungstaster:

1 MΩ, 150 MHz, clamped on
Ethernet Tx⁺ / Tx⁻.

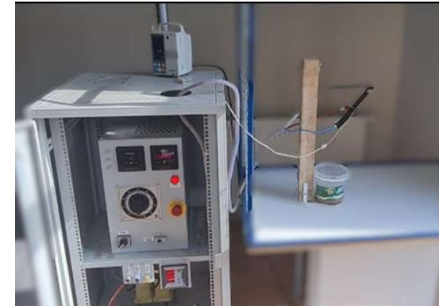
- 1
- 2
- 3
- 4



Testkabel:

20 m, 3 × 1,5 mm² PVC-
Mantelleitung (L, N, PE)

- 4



Funkenquelle:

6 kV Inclined-Plane-Prüftrafo
(IEC 60587), Primärspannung
per Variac 0–80 %

- 3



Hydrogarum Thermometer

- 1



MATLAB DATA

Main script

Data extrahieren

Differenzfunktion

Plotieren

```
clear; clc; files={'...'};
labels={'...'};
N=numel(files); Fs=625e6;
Vpp=NaN(1,N); for k=1:N
try
[t,B,C]=readFlukeCsv_v81(files{k});
[Vpp(k),vdiff]=compute_Vdiff_basic(t,B,C);
plot_waveform_combo(t,B,C,vdiff,labels{k});
plot_psd(vdiff,Fs,labels{k});
catch ME
warning("Skipping %s : %s",files{k},ME.message);
end end T=table(...
'VariableNames',{...});
disp(T);
```

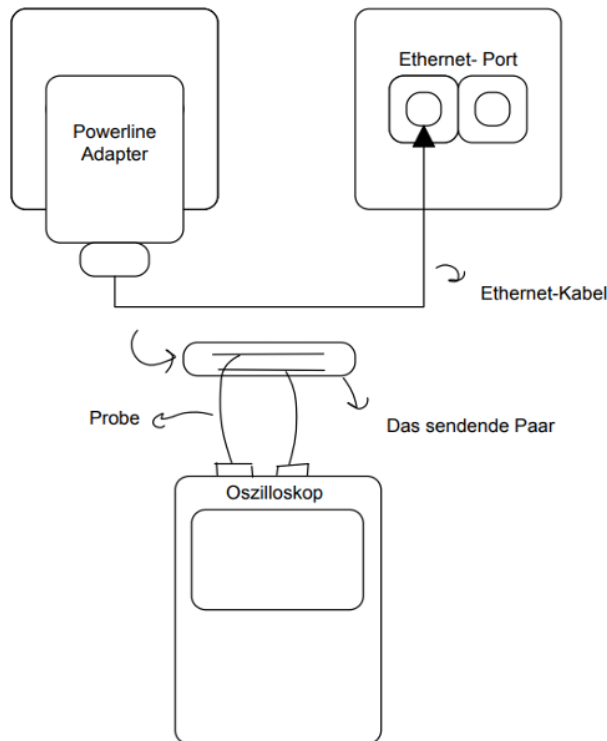
```
function [t, chB_V, chC_V]
= readFlukeCsv_v81(fname)
fid = fopen(fname,'r');
assert(fid~= -1,"File not
found: %s",fname); txt =
textscan(fid,'%s','Delimiter',
'\n','Whitespace','');
txt = txt{1}; fclose(fid);
pat = "[+-]?[0-9]*\.[0-9]+(?:[eE][+-]?[0-9]+)?";
YResB=1; YResC=1; YOffB=0;
YOffC=0;
...
```

```
function [Vpp, vdiff] =
compute_Vdiff_basic(t,chB,
chC) vdiff = chB - chC;
Vpp = max(vdiff) -
min(vdiff); end
```

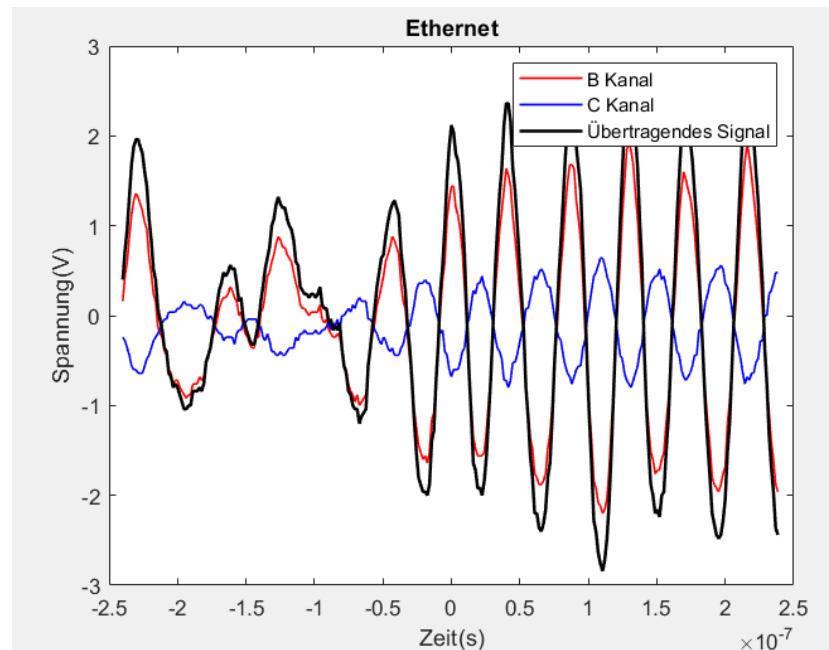
```
function
plot_waveform_combo(t,
chB, chC, vdiff, lbl) t_ns
= t*1e9;
figure('Name',['Wellenform
en - ' lbl],'Color','w');
plot(t_ns,chB,'-
b','LineWidth',1.2); hold
on; plot(t_ns,chC,'--
r','LineWidth',1.2);
plot(t_ns,vdiff,'-
k','LineWidth',1.3); hold
off; xlabel('Zeit (ns)');
ylabel('Spannung (V)');
title(['Tx^+, Tx^- & Diff
- ' lbl]);
legend({'Tx^+', 'Tx^-
', 'Tx^+-Tx^-'}); grid on;
end
```

Beobachtung des Ungestörten Ethernet-Signals

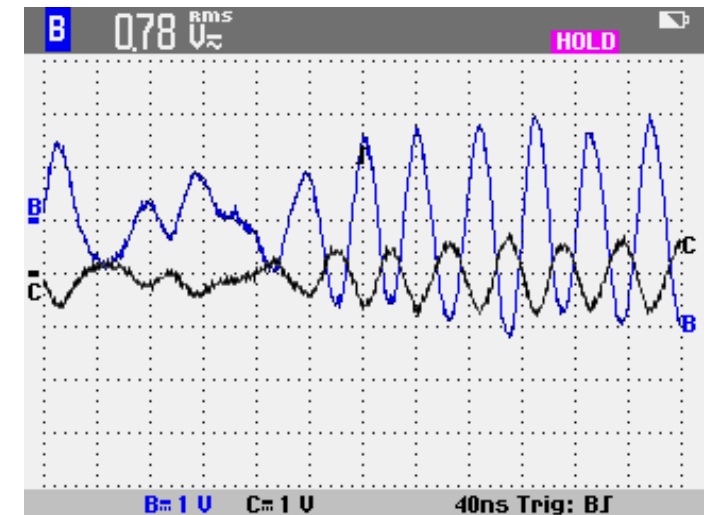
- Die Spannungswerte am Oszilloskop gemessen und speichert
- Das übertragene Signal → die Differenz der auf zwei Kanälen beobachteten Signale
- Das Ergebnis wurde für das Vergleich verwendet.



Versuchsaufbau von ungestörten Ethernet-Signal



Die Grafik des ungestörten Ethernet-Signals

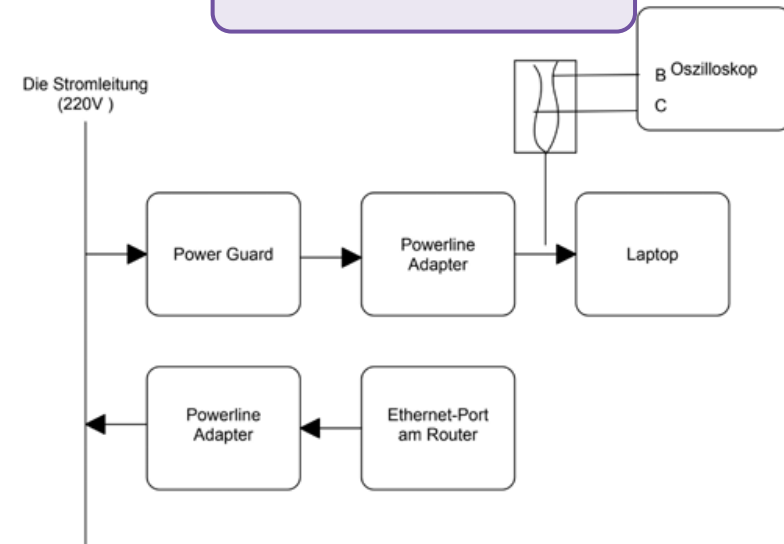


Das ungestörte Ethernet-Signal auf dem Oszilloskop

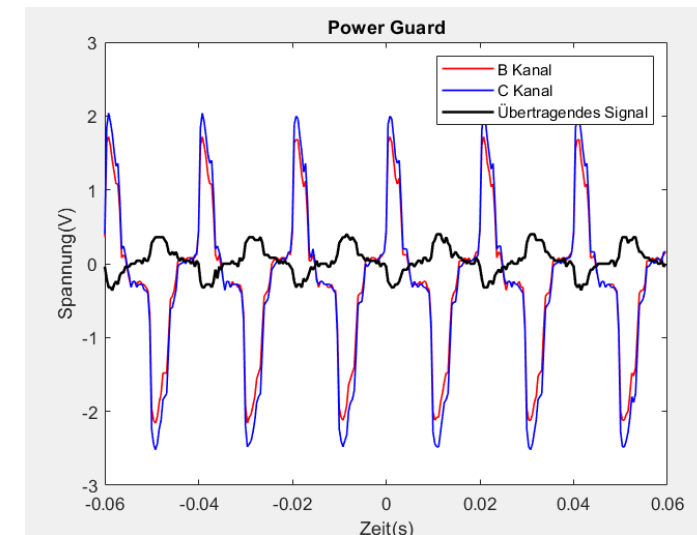
1. Power-Guard-Experiment

Merkmal	Ethernet (ungestört)	Power Guard
Signalqualität	Glatt, stabil, kaum Verzerrung	Verrauscht, unruhig, deutlich verzerrt
Amplitude	Leicht schwankend	Starke Schwankungen um den Nullpunkt
Störungen	Keine sichtbaren	Rauschähnliche Muster durch Filterung
Differenzsignal	B- und C-Kanal zeigen klare Phasendifferenz	Phasengleich, kaum Differenz
Gesamteindruck	Sauberes Übertragungssignal	Deutlich gefiltert, eventuell fälschlich als Störung erkannt

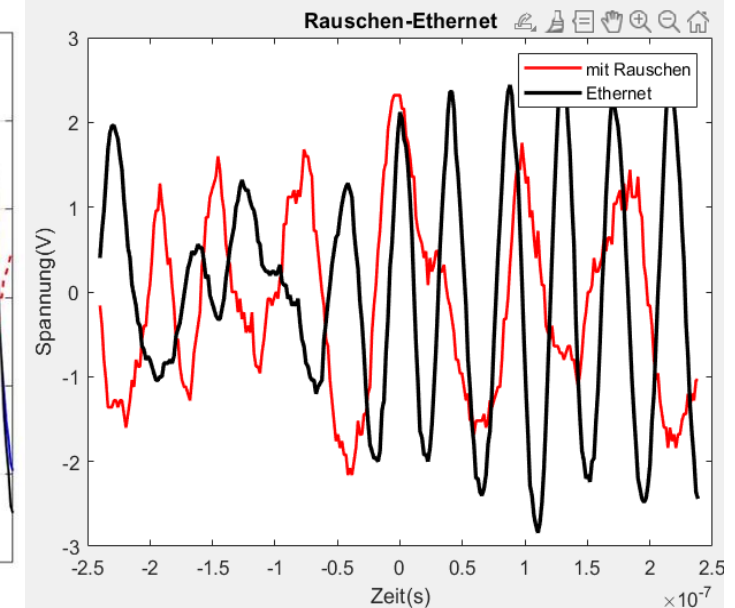
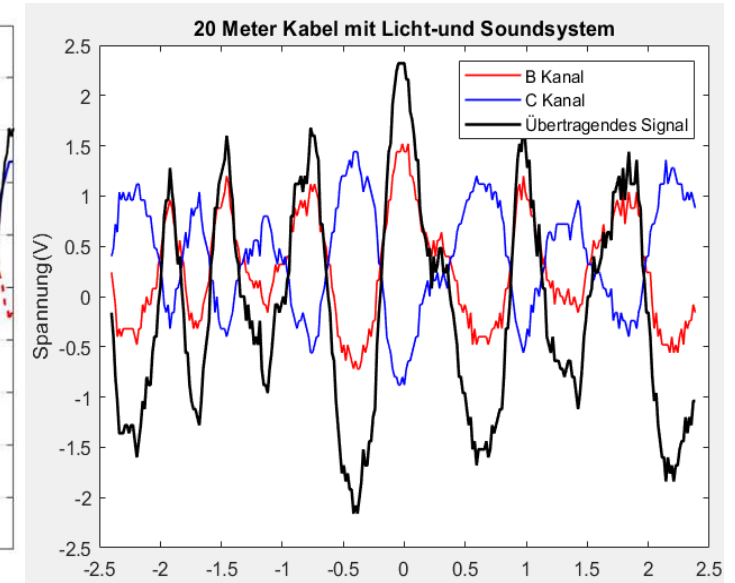
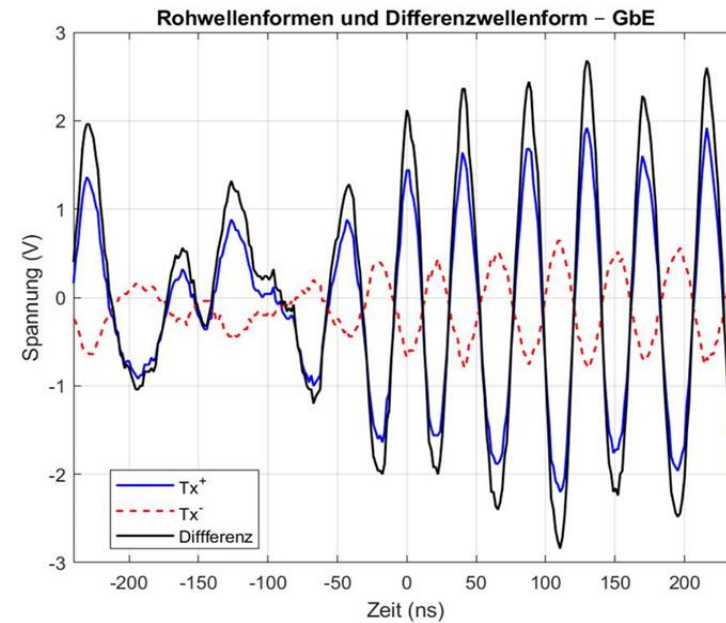
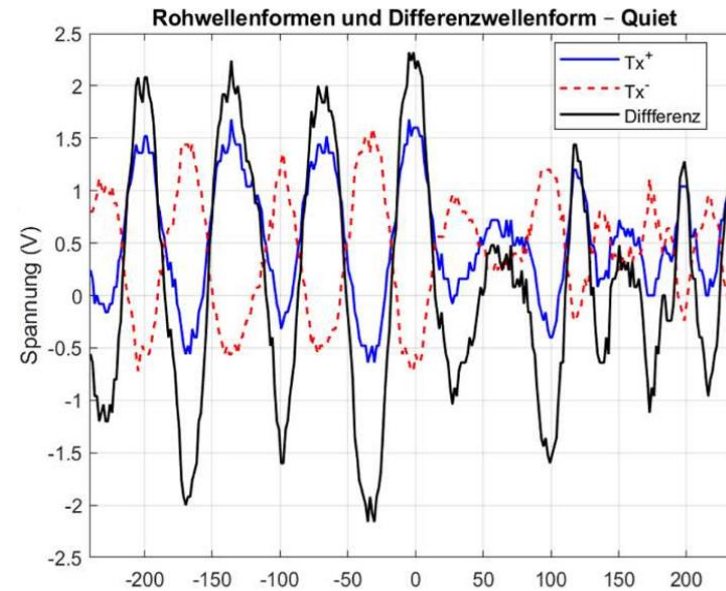
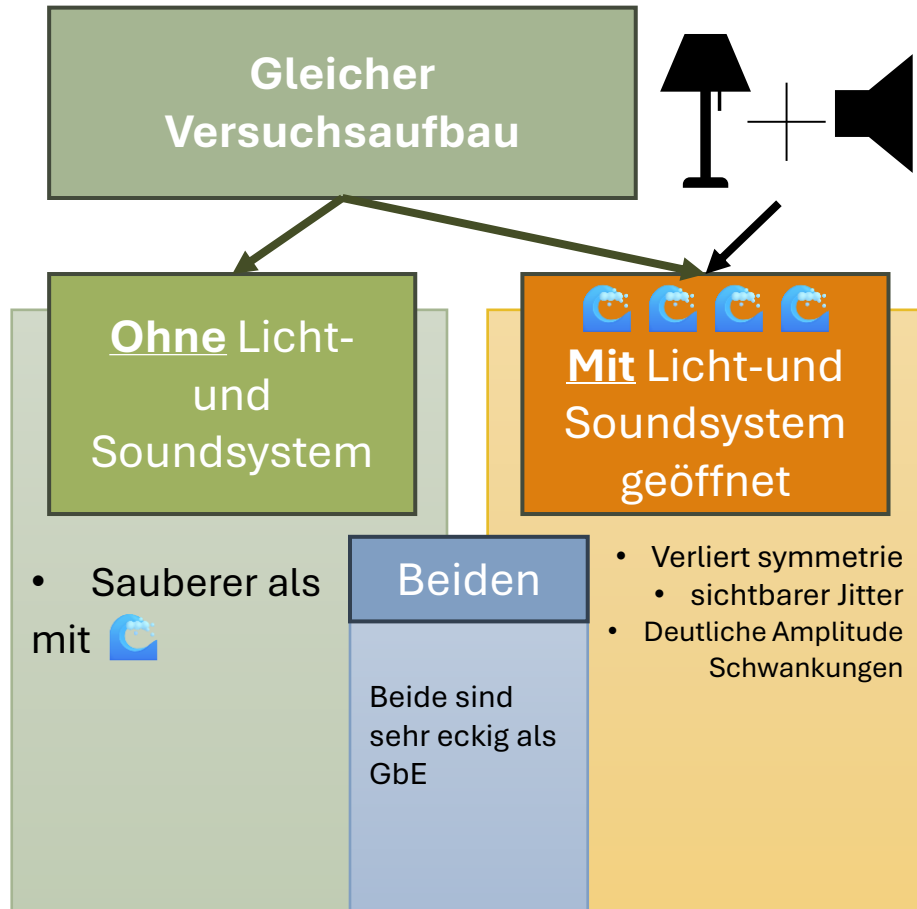
Versuchsaufbau des Power-Guard Experiments



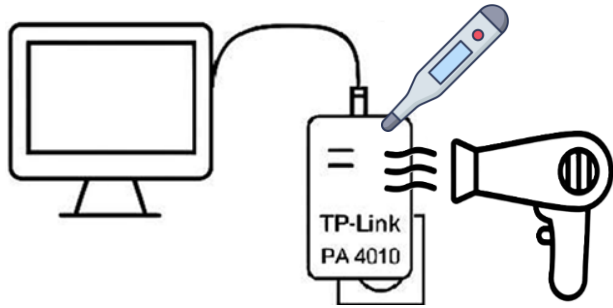
Die Grafik des Signals im Power Guard Experiment



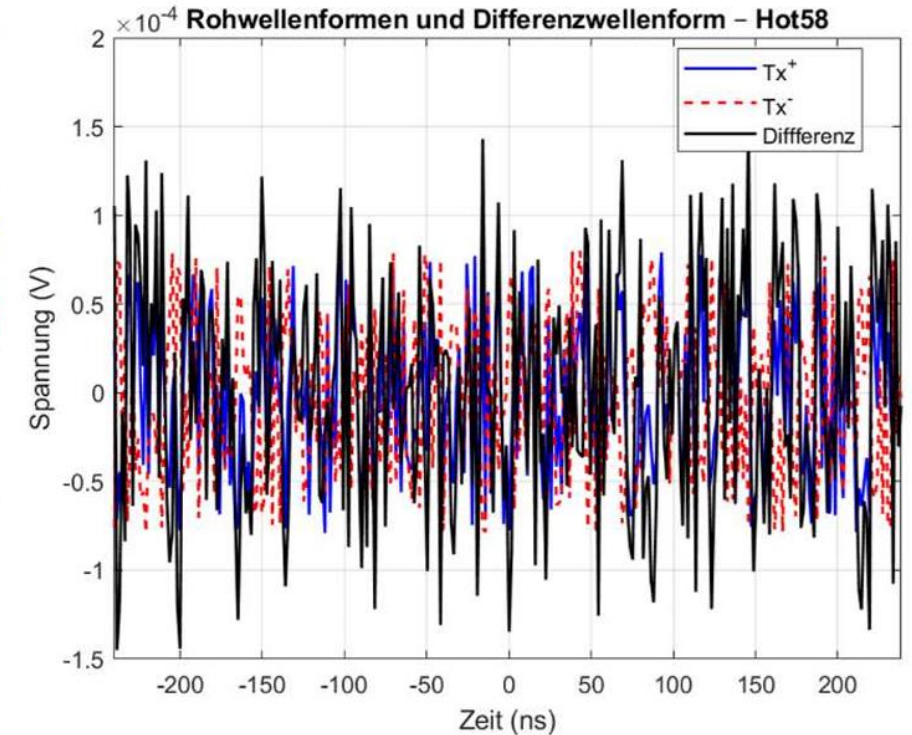
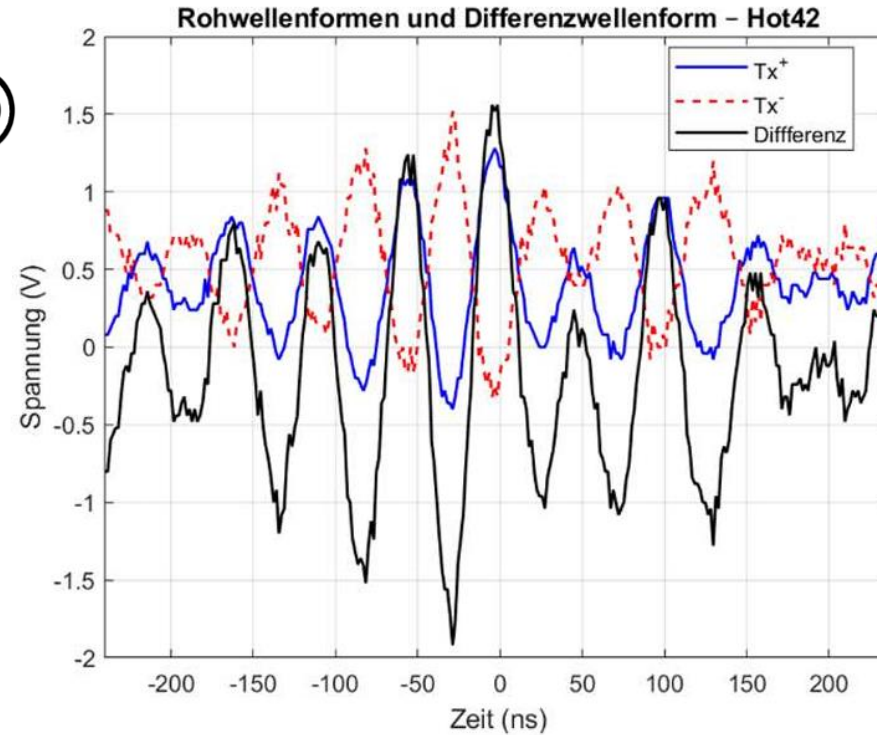
2. Raum EMI



3. Adapter-Temperatur ($\approx 42\text{ °C}$ vs $\approx 58\text{ °C}$)



- Fön → Sender-Adapter direkt beheizt
- Thermometer (5 cm Abstand) → kontinuierliche Umgebungstemperatur-Kontrolle
- Ethernet-Link während der gesamten Messung aktiv



Die thermische Abschaltschwelle liegt somit zwischen 50 °C und 60 °C Umgebung.

4. Trafo-Experiment

Versuchsaufbau

Modem & Powerline-Verbindung:

Modem per Ethernet mit Powerline-Adapter verbunden (Steckdose 1).

Zweiter Adapter & Laptop:

Zweiter Powerline-Adapter → andere Steckdose → Laptop via Ethernet.

Messung am Ethernet-Kabel:

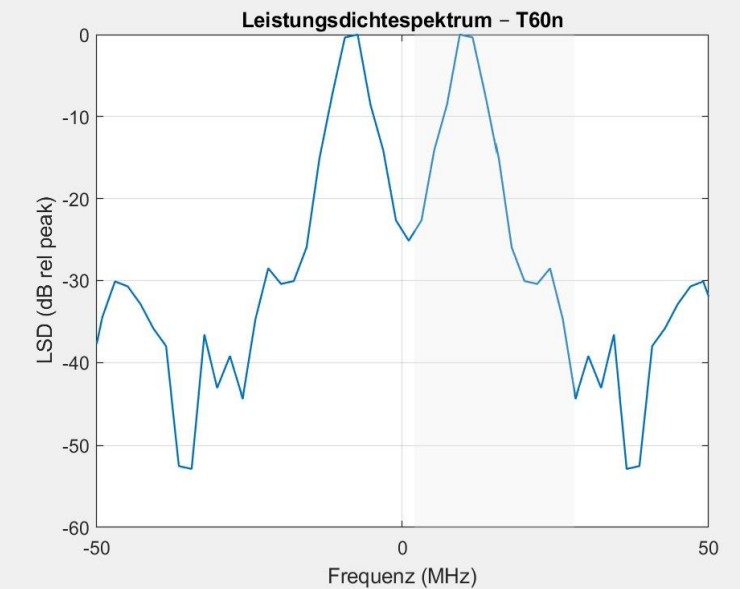
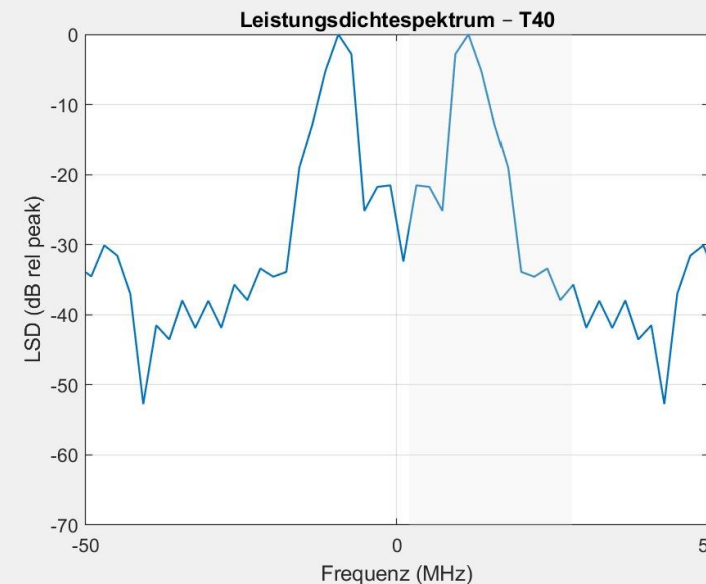
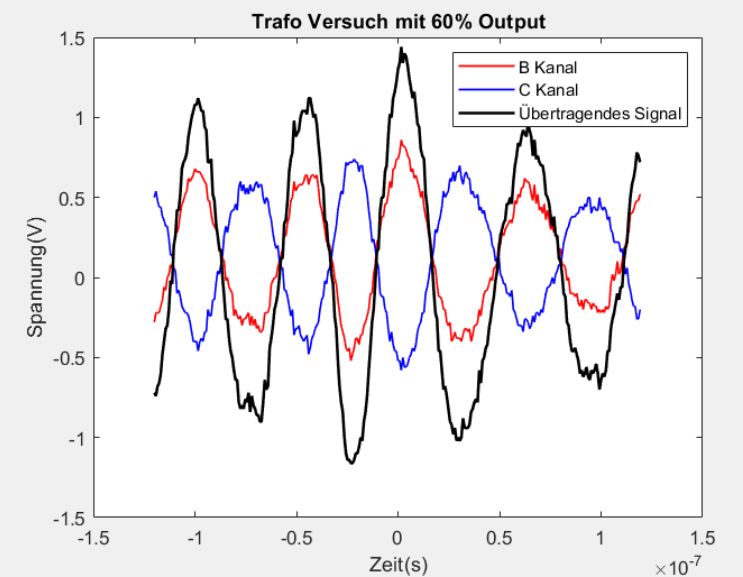
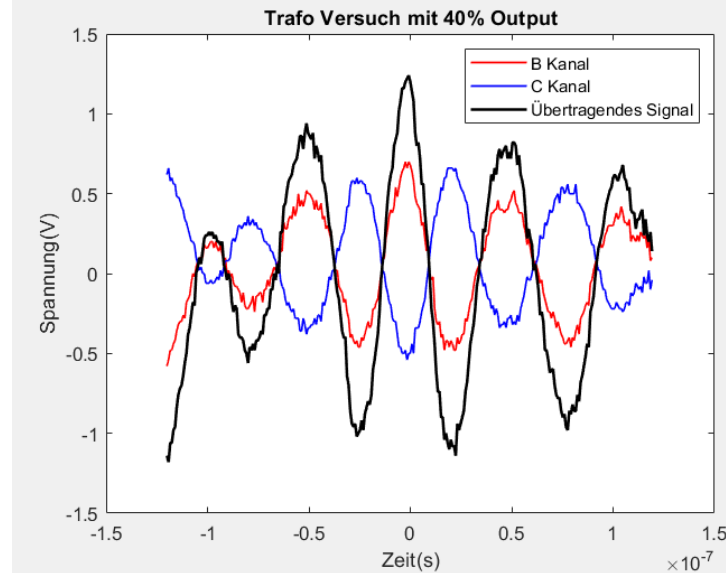
Adernpaar abisoliert, Tastköpfe an Kanäle B und C (Oszilloskop).

Schrägflächen-Versuch:

Aufbau mit Transformator und Variac zur Spannungsregelung.

Signalbeobachtung:

Ethernet-Signale bei verschiedenen Ausgangsspannungen analysiert.



- Häufigkeit von Spannungsspitzen:**

In bestimmten Zeitintervallen treten **scharfe, plötzliche Spannungsspitzen** deutlich häufiger auf.

- Amplitude:**

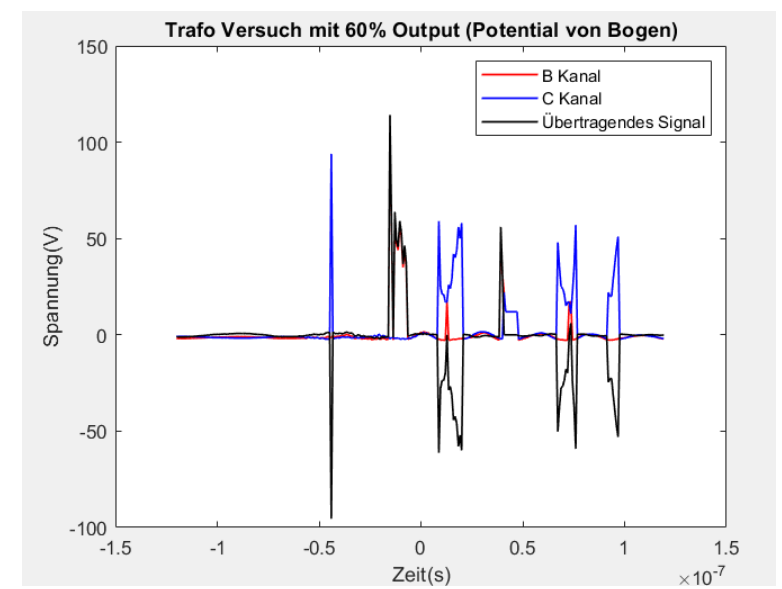
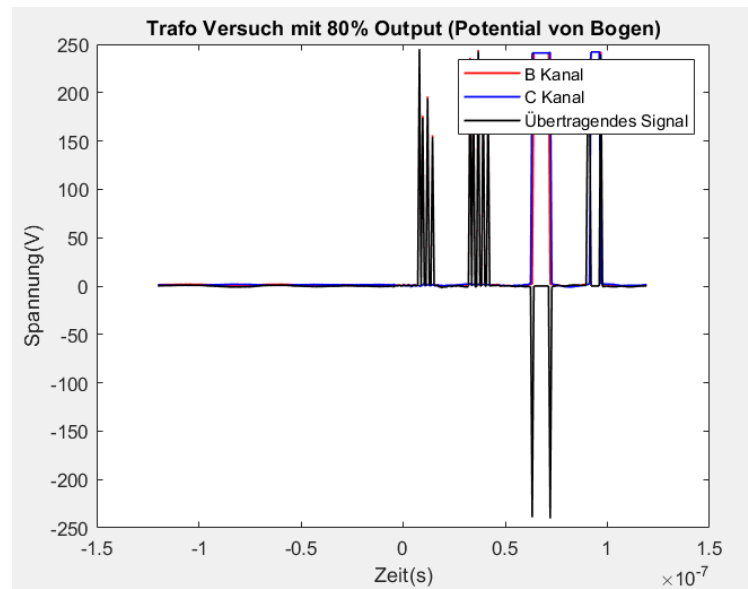
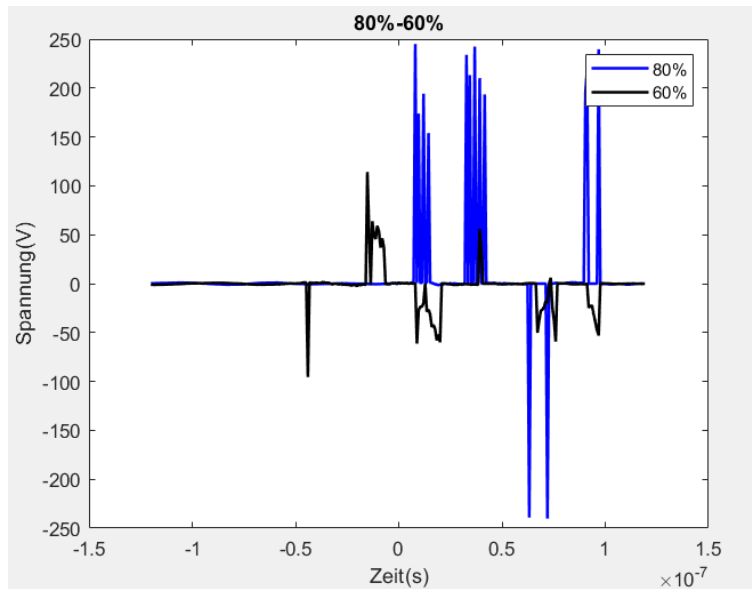
Die **Spitzen erreichen fast 250 V** – deutlich erhöht gegenüber dem Normalwert.

- Vermutung – Lichtbogen:**

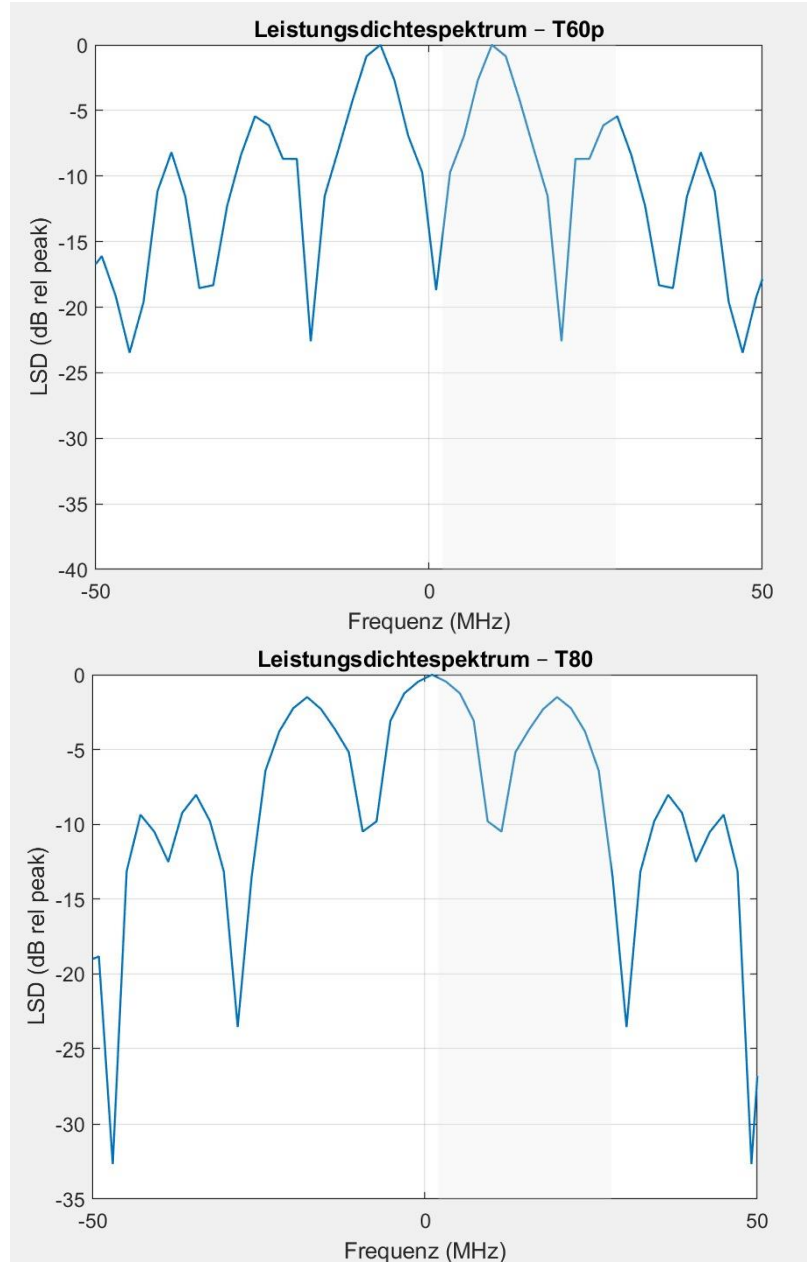
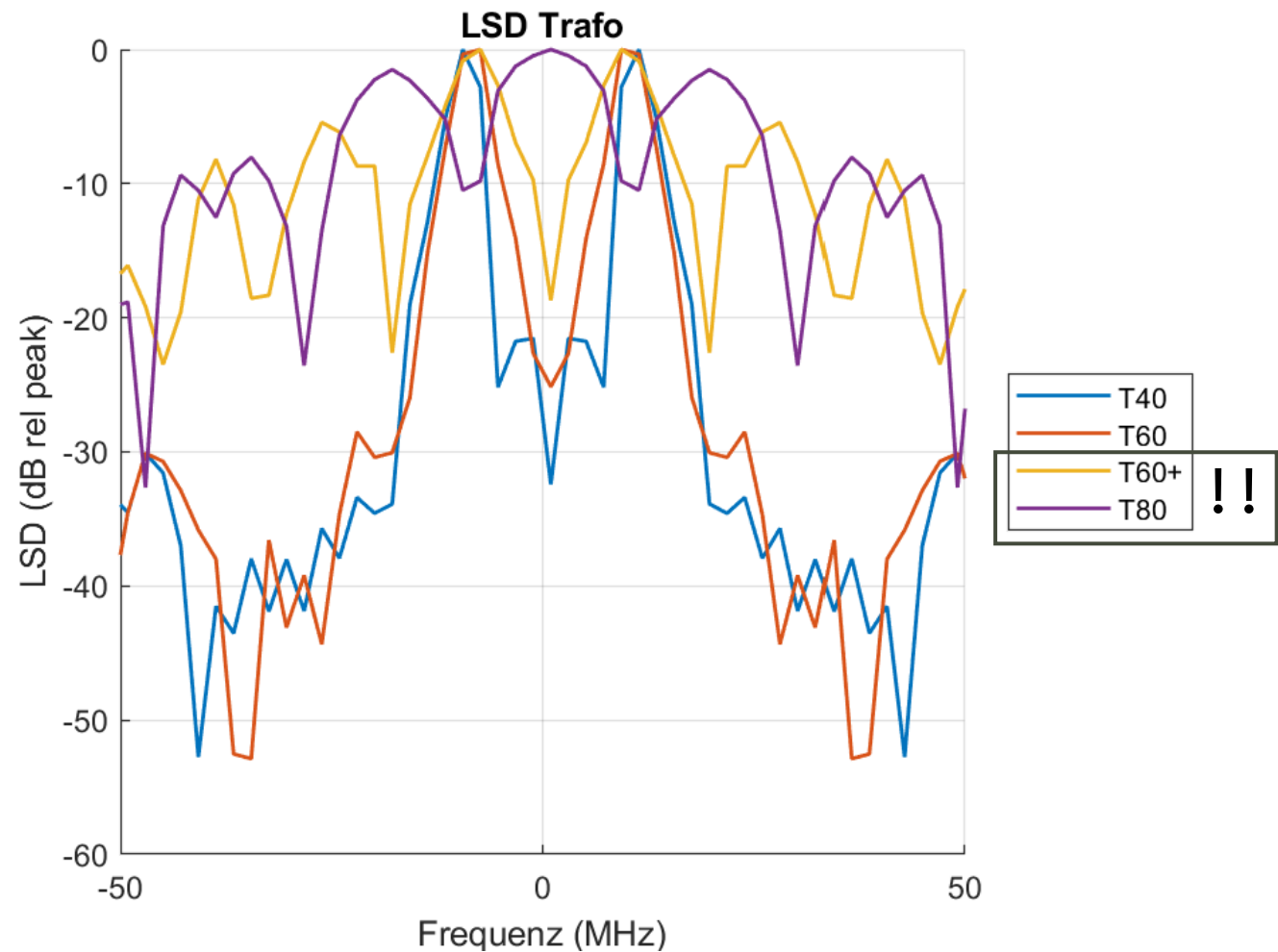
Diese Spitzen deuten **möglicherweise auf Lichtbogenprozesse** hin.

- Auswirkungen auf das Signal:**

Die **Lichtbogenstörungen übertragen sich auf das Powerline-Signal** → und somit auch auf das Ethernet-Signal.



LSD Trafo



Ergebnisse der Experimente



Störquellen:

Elektrische Geräte und Lichtbögen verursachen **Rauschen**, das die Signalform beeinflusst.



Power Guard Verhalten:

Kann **Ethernet-Signale fälschlich als Störung** erkennen und entsprechend **filtern**.



Leitungsverluste:

Signalstärke nimmt mit Leitungslänge ab → Datenübertragungsqualität sinkt.



Gesamtfazit:

PLC-Systeme sind zwar **praktisch**, aber:

Umgebungseinflüsse

und die **physikalische Beschaffenheit der Stromleitungen** stellen **zentrale Herausforderungen** dar.



Empfehlung:

Diese Faktoren sollten bei der **Netzplanung und Gerätewahl** berücksichtigt werden.