

Grundlagen Rechnernetze und Verteilte Systeme (GRNVS)

IN0010 – SoSe 2026

Prof. Dr.-Ing. Georg Carle

Lorenz Lehle, Christian Dietze, Stefan Lachnit, Manuel Simon, Markus Sosnowski

Lehrstuhl für Netzarchitekturen und Netzdienste
School of Computation, Information and Technology
Technische Universität München

Ethernet Standards

Messgeräte

10BASE-T

Literaturangaben

Ethernet Standards

10BASE-T

Messgeräte

10BASE-T

Literaturangaben

Standard Name	10BASE-T	100BASE-TX Fast Ethernet	1000BASE-T Gigabit Ethernet
Leitungscode	Manchester	MLT-3 und 4B5B †	PAM5‡
Baudrate	20 Mbd	125 Mbd	125 Mbd
Geschwindigkeit	10 Mbit/s	100 Mbit/s	1 Gbit/s
Leitungspaare	2 (TX+RX)	2 (TX+RX)	4 (Bidirektional)

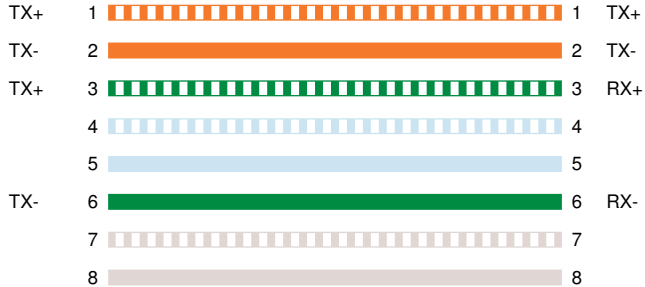
Tabelle 1: Vergleich einer Auswahl von Ethernet Varianten. Siehe IEEE 802.3 [1]

† Der 4B5B Code sichert hier nur Taktrückgewinnung und bis zu einem gewissen Grad Gleichstromfreiheit. Er bietet keine Fehlerkorrektur und ist daher eher als Teil des Leitungscode zu sehen.

‡ PAM-5 ist, vereinfacht, ein NRZ Code mit 5 Amplituden. Bei Gigabit Ethernet kommt weiterhin Trellis Coded Modulation (TCM) zum Einsatz.

10BASE-T

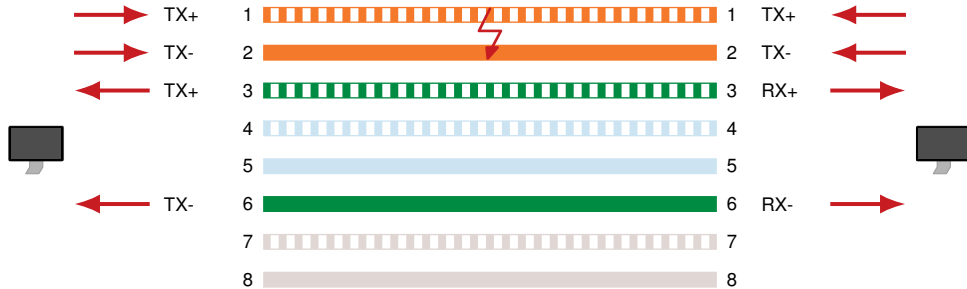
Kabelverbindung



- Das blaue und braune Kabelpaar werden bei 10BASE-T nicht benutzt

10BASE-T

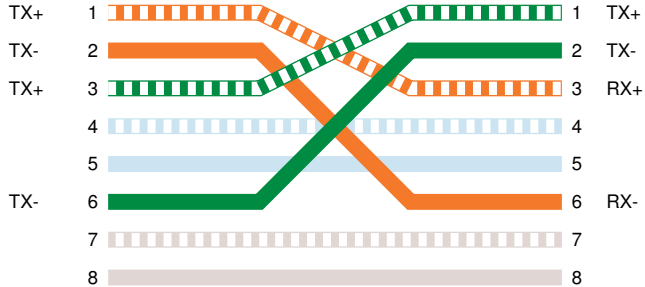
Kabelverbindung



- Das blaue und braune Kabelpaar werden bei 10BASE-T nicht benutzt
- Normale Kabel sind für die Verbindung von Hosts zu Hubs oder Switches gedacht

10BASE-T

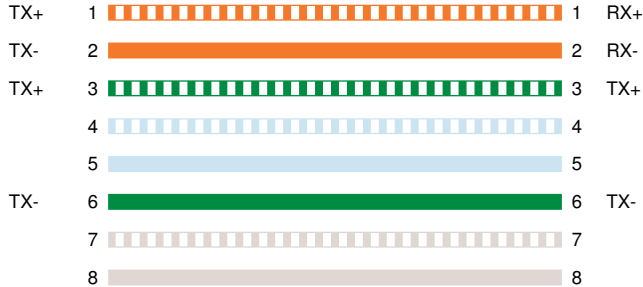
Kabelverbindung



- Das blaue und braune Kabelpaar werden bei 10BASE-T nicht benutzt
- Normale Kabel sind für die Verbindung von Hosts zu Hubs oder Switches gedacht
- Zur Verbindung von Hosts werden **Crossover**-Kabel verwendet

10BASE-T

Kabelverbindung



- Das blaue und braune Kabelpaar werden bei 10BASE-T nicht benutzt
- Normale Kabel sind für die Verbindung von Hosts zu Hubs oder Switches gedacht
- Zur Verbindung von Hosts werden [Crossover](#)-Kabel verwendet
- Netzwerkkarten können [Auto-Crossover](#) unterstützen

Ethernet Standards

Messgeräte

- Digitalmultimeter

- Oszilloskop

- Beispiel Rechtecksignal

- Beispiel Netzspannung

10BASE-T

Literaturangaben

Ermöglicht Messungen von

- Wechsel- und Gleichspannung (Volt, V)
- Strom (Ampere, A)
- Widerstand (Ohm, Ω)
- Kapazität (Farad, F)
- Durchgangsprüfung

Im Regelfall Bildung eines Mittelwertes über mehrere einzelne Messwerte

- Änderungen werden sehr träge abgebildet
- Keine Nachvollziehbarkeit von sich schnell ändernden digitalen Signalen



Abbildung 1: UNI-T 61E Digitalmultimeter¹

¹ <https://meters.uni-trend.com/product/ut61plus-series/>

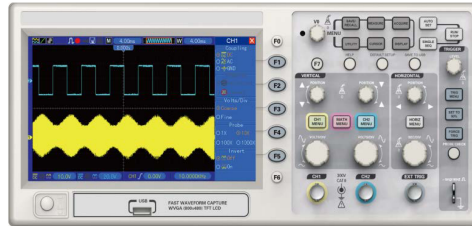


Abbildung 2: Voltcraft DSO-1062D-VGA Oszilloskop⁴

- kontinuierliches Erfassen von Messwerten
- Darstellung als Diagramm: Spannung als Funktion der Zeit
- Einfache Betrachtung von Signalabschnitten durch passenden Trigger
- Enterprise-Grade: Integriertes Dekodieren verschiedener Protokolle (I²C, SPI, CAN, etc.)

⁴ Voltcraft DSO-1062D-VGA User Manual

Zwei wesentliche Eigenschaften:

Bandbreite

- Maximale Bandbreite eines Signals
- Hier: 60 MHz
- Signale mit höherer Bandbreite werden verzerrt, da die höheren spektralen Anteile die Schaltung nicht ungehindert passieren können (vgl. Tiefpass)

Abtastrate

- Anzahl der Messpunkte pro Sekunde
- Hier: 1 GSa/s, also einen Messwert pro Nanosekunde
- Abtastrate muss zur Rekonstruktion größer sein als die Nyquistrate ($f_a > 2B$)

Einstellungsmöglichkeiten:

- V/Div: Vertikale Auflösung in Volt pro Einteilung
- s/Div: Horizontale Auflösung in Sekunden pro Einteilung
- Vertikale und Horizontale Position
- **Trigger**: für periodische Signale bzw. zur Aufzeichnung einer längeren Nachricht
 - Steigende Flanke
 - Fallende Flanke
 - Externer Trigger

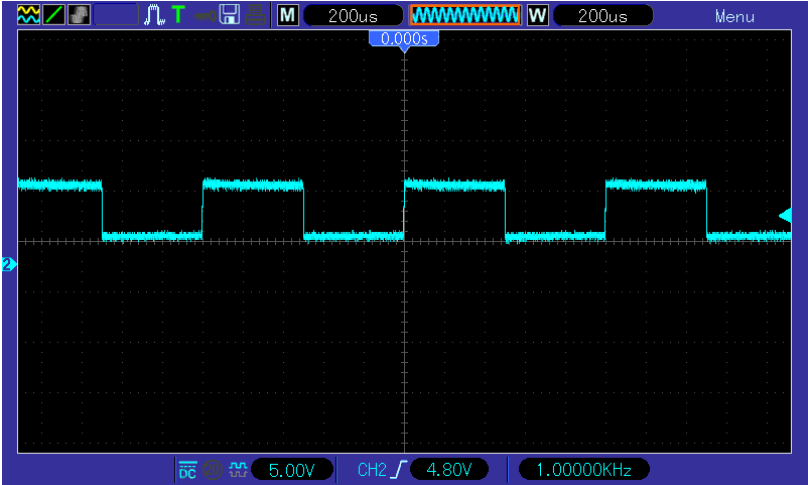


Abbildung 3: Beispiel Rechtecksignal

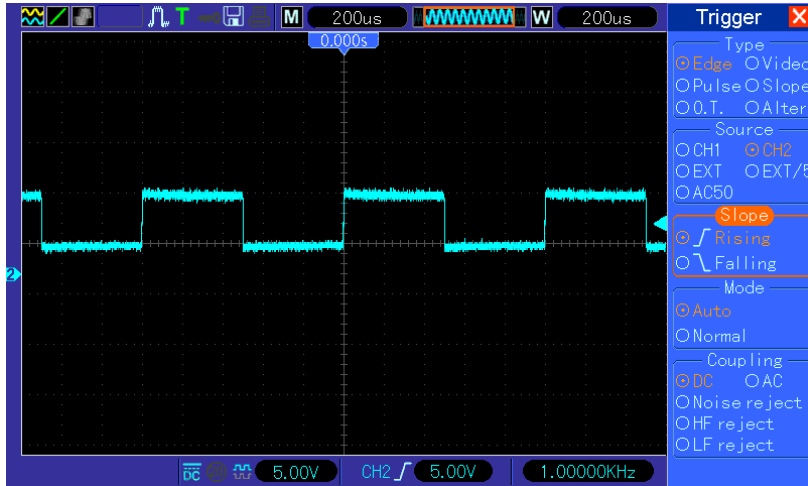


Abbildung 3: Beispiel Rechtecksignal mit Trigger bei steigender Flanke

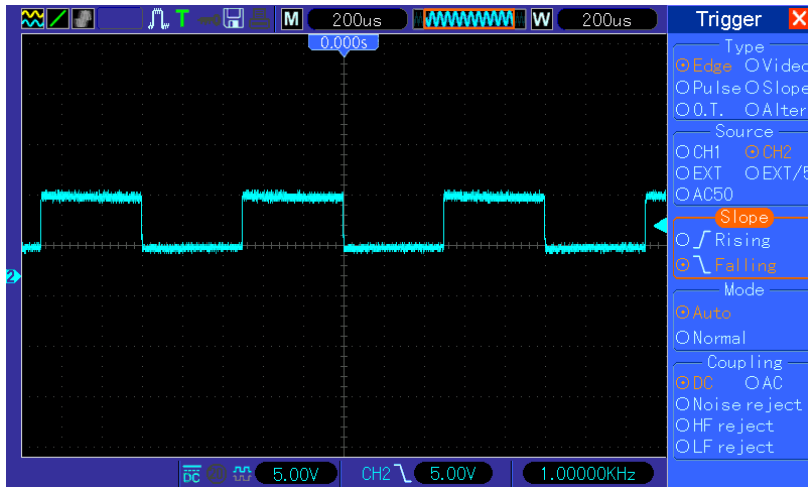


Abbildung 3: Beispiel Rechtecksignal mit Trigger bei fallender Flanke

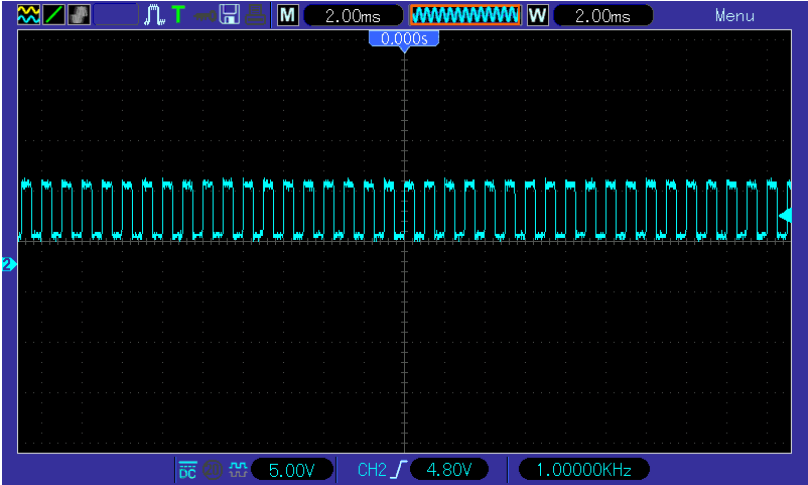


Abbildung 3: Beispiel Rechtecksignal mit großem Zeitfenster von 2 ms/Div

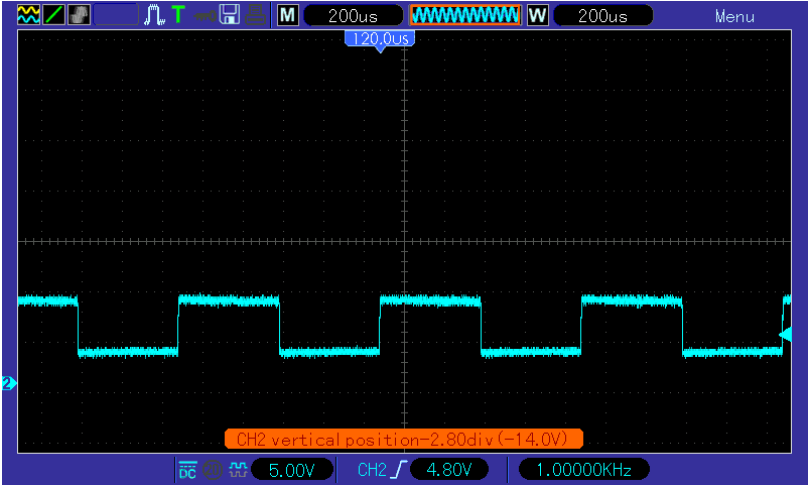


Abbildung 3: Beispiel Rechtecksignal horizontal um 120 μ s und vertikal um 14 V verschoben

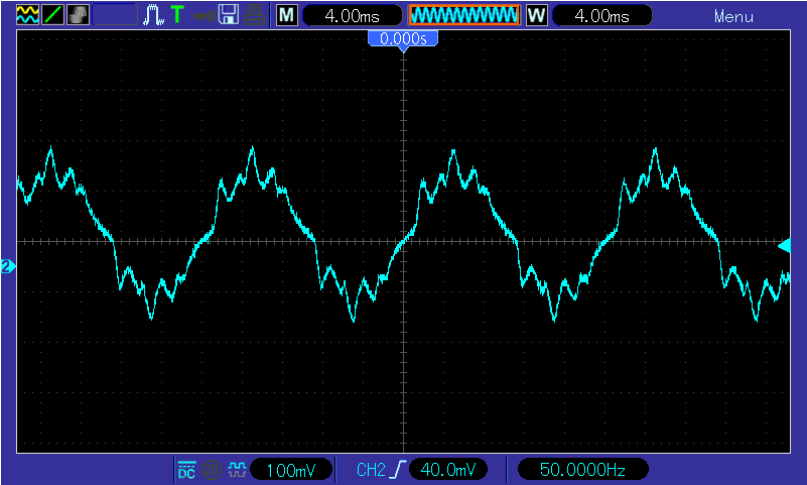


Abbildung 4: Beispiel 50 Hz Netzspannung

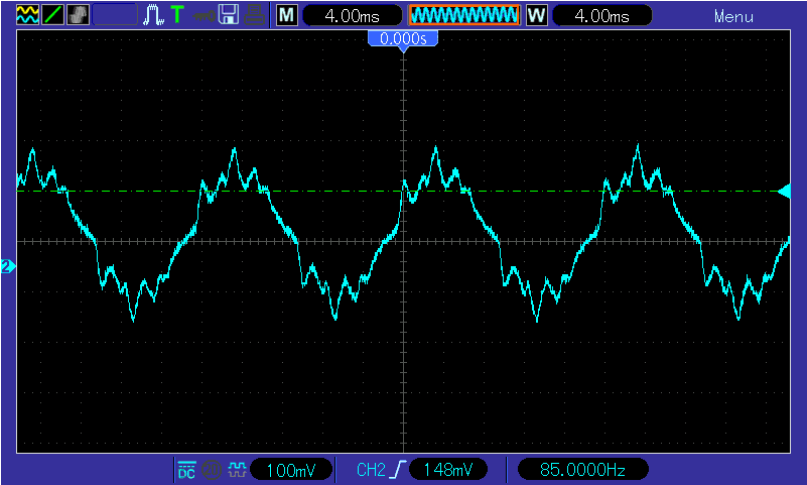


Abbildung 4: Beispiel 50 Hz Netzspannung mit Trigger bei 148 mV

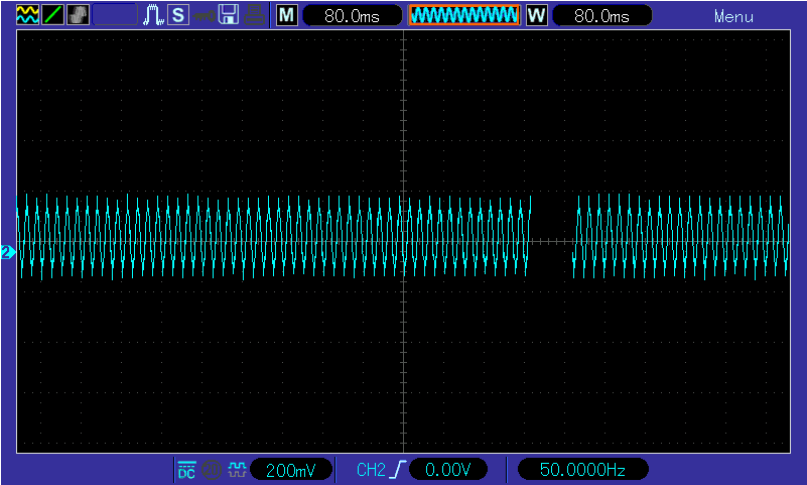


Abbildung 4: Beispiel 50 Hz Netzspannung mit großem Zeitfenster von 80 ms/Div

Ethernet Standards

Messgeräte

10BASE-T

Versuchsaufbau

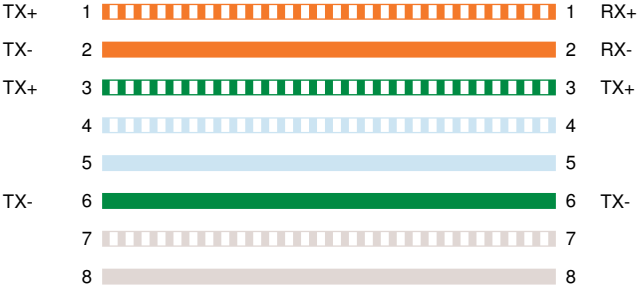
Medium Idle

Datenübertragung

Literaturangaben



tom



jerry

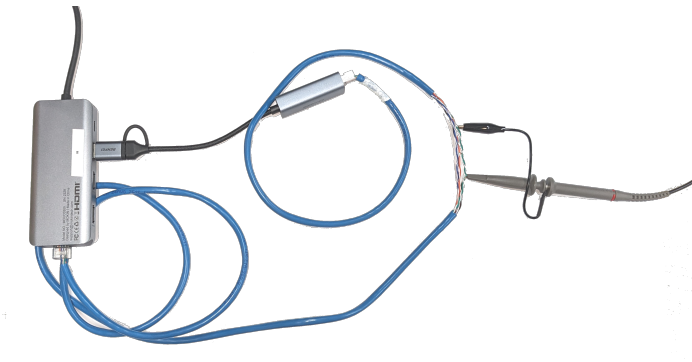


Abbildung 5: Messaufbau

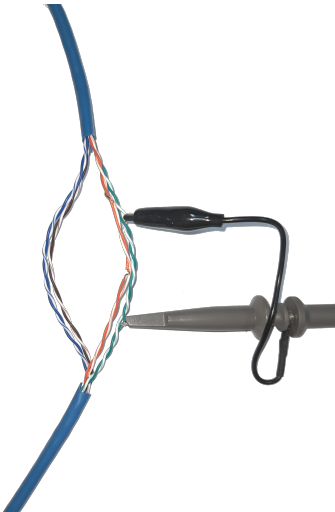


Abbildung 6: Abgriff (hier grünes Adernpaar)

Listing 1: Interface Konfiguration auf 10BASE-T

```
ip l set dev enx207bd2a80739 down
ip l set dev enx207bd2a80739 name tom
ip l set dev tom up

ip l set dev enx00e04c0a8664 down
ip l set dev enx00e04c0a8664 name jerry
ip l set dev jerry up

ethtool -s tom speed 10 duplex full autoneg off
ethtool -s jerry speed 10 duplex full autoneg off
```

Medium Idle

Normal Link Pulse

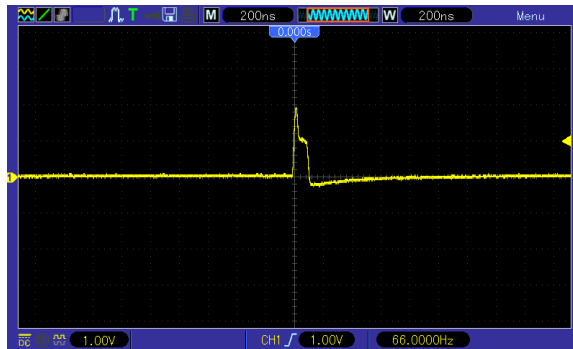


Abbildung 7: Normal Link Pulse bei Zustand Idle

- Normal Link Pulse oder auch Link Test Pulse
- alle 16 ms ($\equiv 62,5$ Hz) während keine Daten gesendet werden

	Länge	Beschreibung	Wert
Präambel	7 B	alternierendes Bitmuster 10	0x55555555555555
SFD	1 B	Start of Frame Delimiter	0xd5
Destination MAC	6 B	Broadcast Adresse	ff:ff:ff:ff:ff:ff
Source MAC	6 B	Adresse des sendenden Interfaces	
EtherType	2 B	zur leichten Erkennung im Plot	0xffff
Payload	5 B	ASCII-kodiert	GRNVS
Padding	41 B	auf Mindestrahmenlänge 64 B aufgefüllt	0000...
FCS	4 B	CRC-32 Checksum	

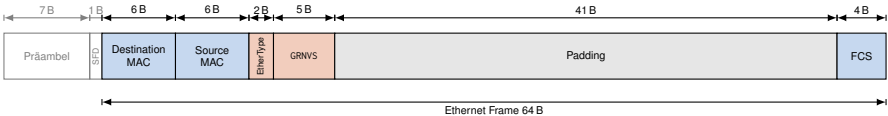


Abbildung 8: Schema des erzeugten Rahmens

	Länge	Beschreibung	Wert
Präambel	7 B	alternierendes Bitmuster 10	0x55555555555555
SFD	1 B	Start of Frame Delimiter	0xd5
Destination MAC	6 B	Broadcast Adresse	ff:ff:ff:ff:ff:ff
Source MAC	6 B	Adresse des sendenden Interfaces	
EtherType	2 B	zur leichteren Erkennung im Plot	0xffff
Payload	5 B	ASCII-kodiert	GRNVS
Padding	41 B	auf Mindestrahmenlänge 64 B aufgefüllt	0000...
FCS	4 B	CRC-32 Checksum	



Abbildung 8: Erzeugter Rahmen mit Präambel, Padding und Frame Check Sequence

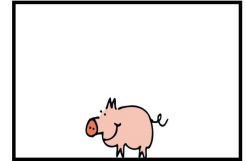
Byte Order: Multi-Byte Felder werden in **Network Byte Order**, also Big Endian, übertragen

- MSB zuerst, LSB zuletzt
- Beispiel Ethertype 0x86dd: [0x86, 0xdd]

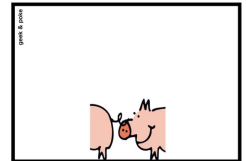
Bit Order: Die Bits in einem Byte werden seriell übertragen

- LSbit zuerst, MSbit zuletzt
- Beispiel Präambel 0x55 $\equiv$ 01010101 wird seriell zu [1, 0, 1, 0, 1, 0, 1, 0]
- Beispiel SFD 0xd5 $\equiv$ 11010101 wird seriell zu [1, 0, 1, 0, 1, 0, 1, 1]

SIMPLY EXPLAINED



BIG-ENDIAN



LITTLE-ENDIAN

Abbildung 9: Geek & Poke - Big Endian¹

¹ <https://owidder.github.io/gapall/node/images/geekandpoke201197simply-explained.html.jpeg>

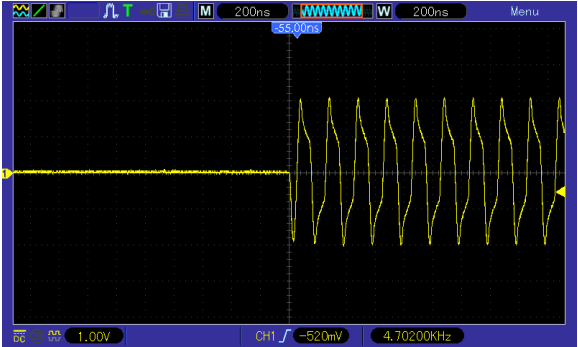


Abbildung 10: Start des Rahmens mit der Präambel

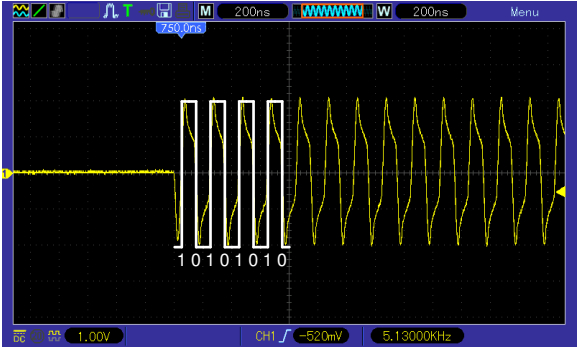


Abbildung 10: Start des Rahmens mit der Präambel

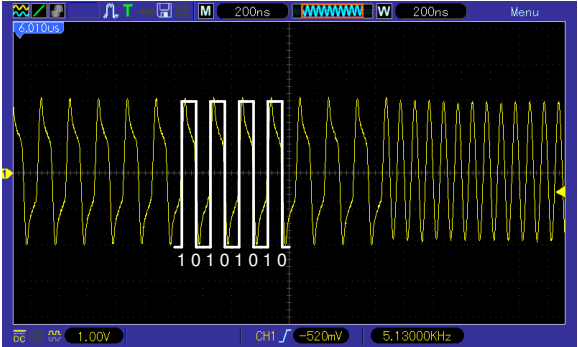


Abbildung 11: SFD nach der Präambel (Präambel markiert)

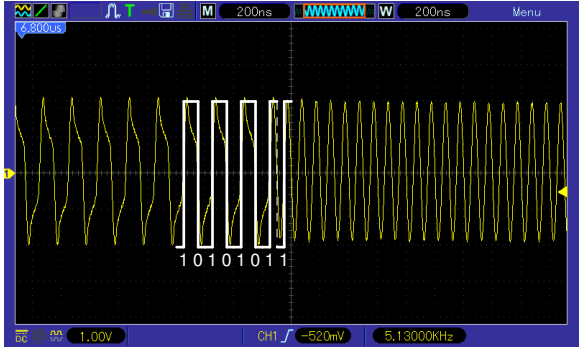


Abbildung 11: SFD nach der Präambel

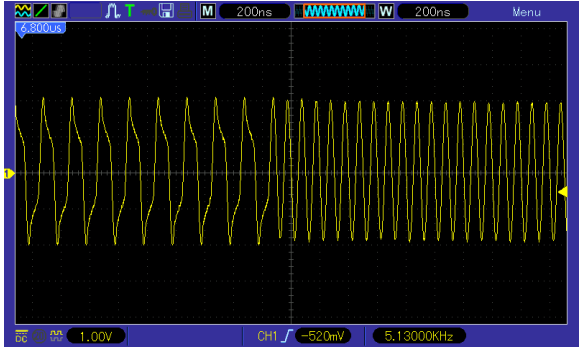


Abbildung 12: Beginn Destination MAC: Broadcast Adresse

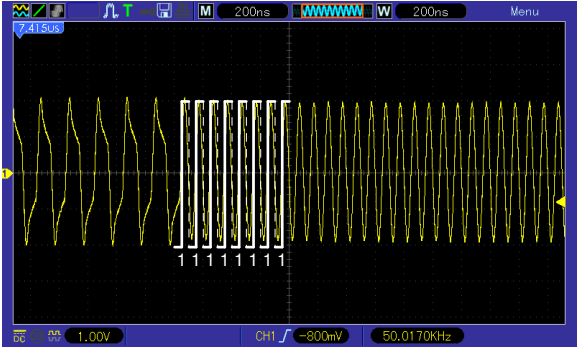


Abbildung 12: Erstes Byte der Destination MAC Adresse

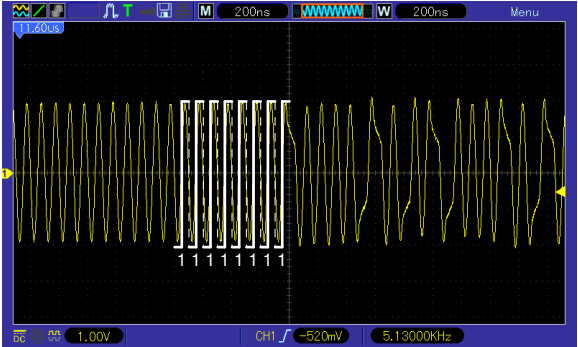


Abbildung 12: Letztes Byte der Destination MAC Adresse

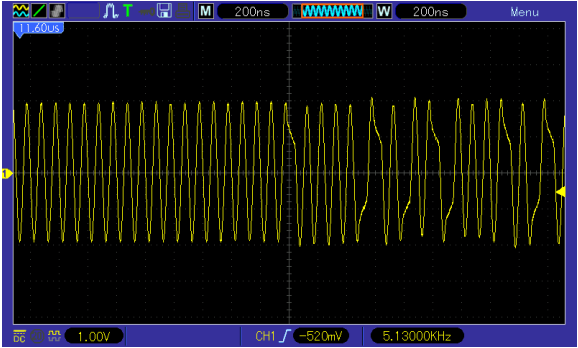


Abbildung 13: Beginn Source MAC Adresse

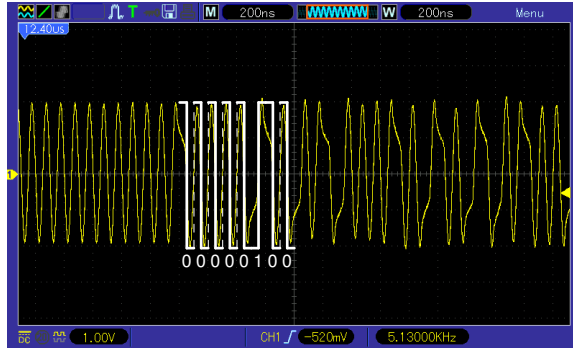


Abbildung 13: Erstes Byte der Source MAC Adresse

00000100 -> 0010 0000 -> 0x20

Source MAC: 20:

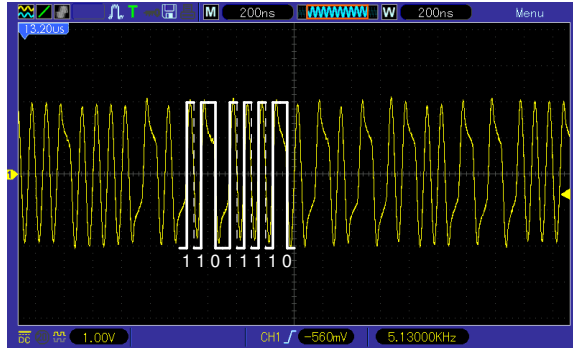


Abbildung 13: Zweites Byte der Source MAC Adresse

11011110 -> 0111 1011 -> 0x7b

Source MAC: 20:7b:

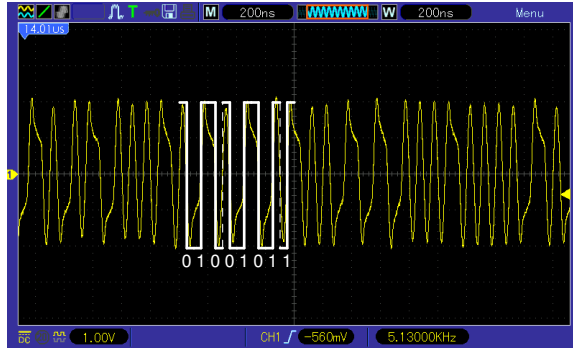


Abbildung 13: Drittes Byte der Source MAC Adresse

01001011 -> 1101 0010 -> 0xd2

Source MAC: 20:7b:d2:

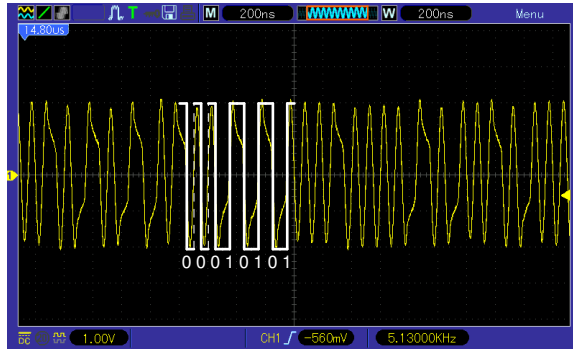


Abbildung 13: Viertes Byte der Source MAC Adresse

00010101 -> 1010 1000 -> 0xa8

Source MAC: 20:7b:d2:a8:

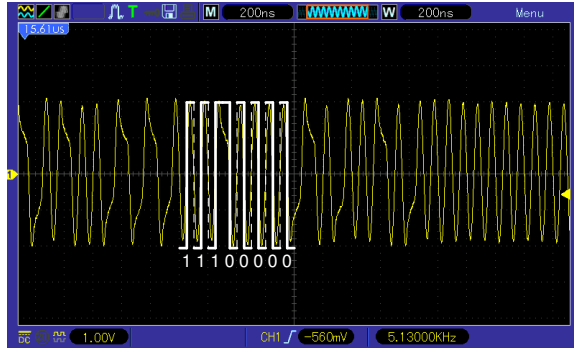


Abbildung 13: Fünftes Byte der Source MAC Adresse

11100000 -> 0000 0111 -> 0x07

Source MAC: 20:7b:d2:a8:07:

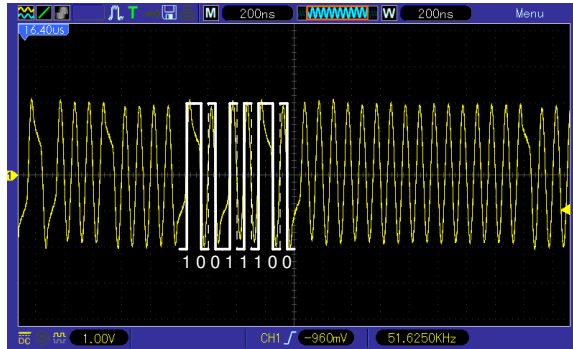


Abbildung 13: Letztes Byte der Source MAC Adresse

10011100 -> 0011 1001 -> 0x39

Source MAC: 20:7b:d2:a8:07:39

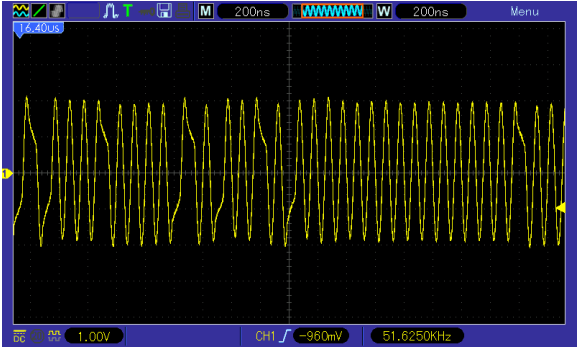


Abbildung 14: Beginn EtherType

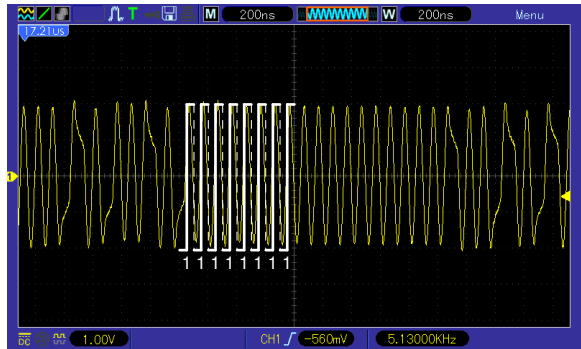


Abbildung 14: Erstes Byte des EtherType

11111111 -> 1111 1111 -> 0xff

EtherType: 0xff

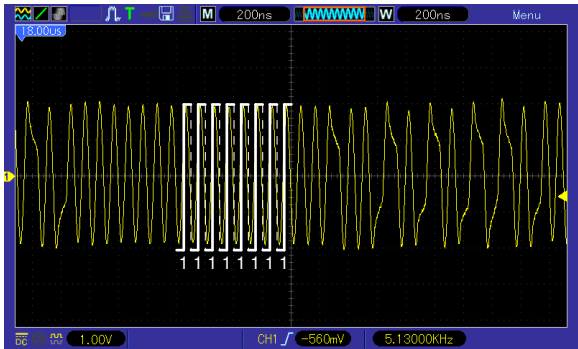


Abbildung 14: Zweites Byte des EtherType

11111111 -> 1111 1111 -> 0xff

EtherType: 0xffff

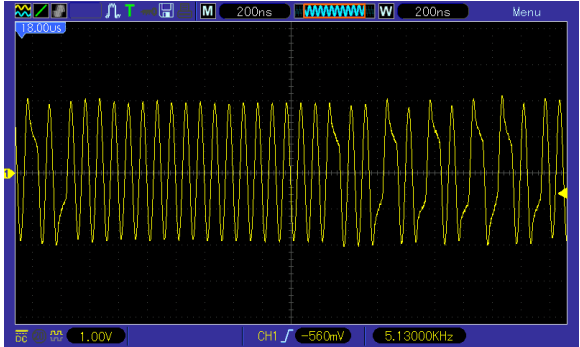


Abbildung 15: Beginn Payload

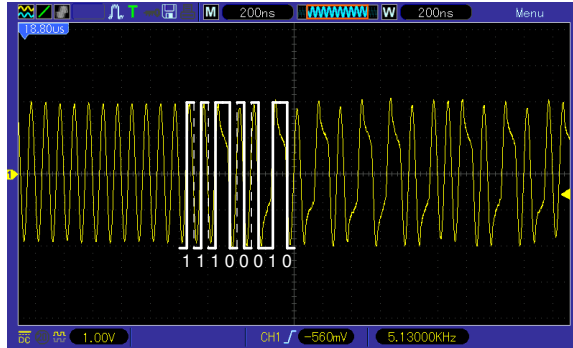


Abbildung 15: Erstes Byte der Payload

11100010 -> 0100 0111 -> 0x47 -> G

Payload (ASCII): G

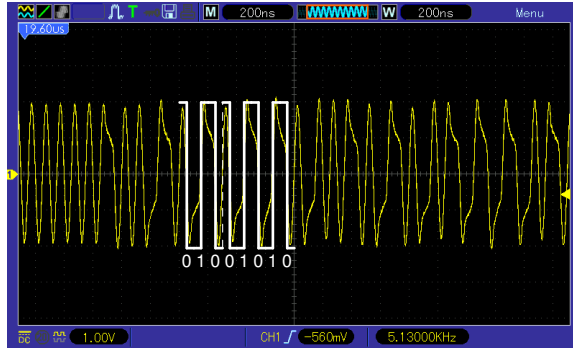


Abbildung 15: Zweites Byte der Payload

01001010 -> 0101 0010 -> 0x52 -> R

Payload (ASCII): GR

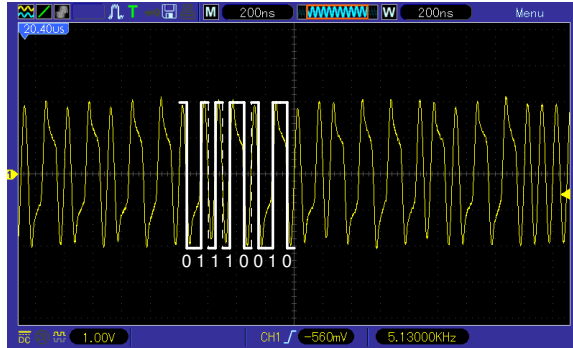


Abbildung 15: Drittes Byte der Payload

01001010 -> 0100 1110 -> 0x4e -> N

Payload (ASCII): GRN

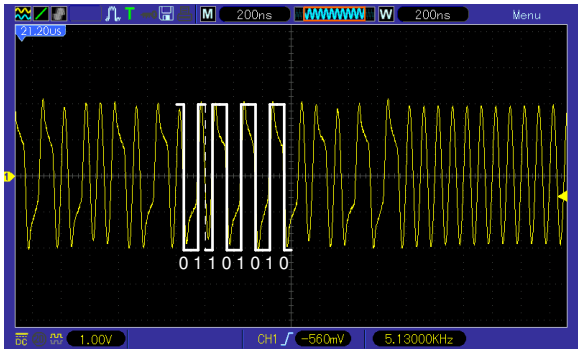


Abbildung 15: Viertes Byte der Payload

01101010 -> 0101 0110 -> 0x56 -> V

Payload (ASCII): GRNV

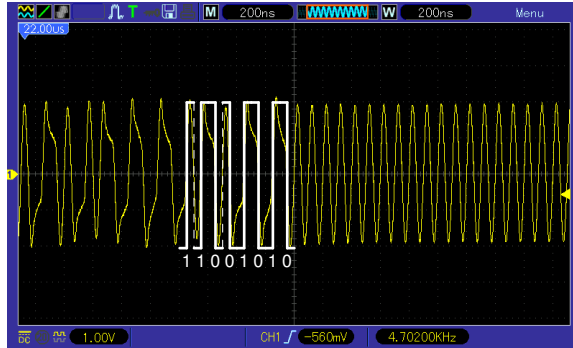


Abbildung 15: Fünftes Byte der Payload

11001010 -> 0101 0011 -> 0x53 -> S

Payload (ASCII): GRNVS

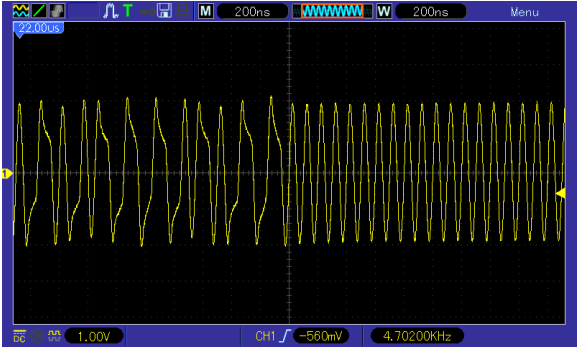


Abbildung 16: Beginn Padding

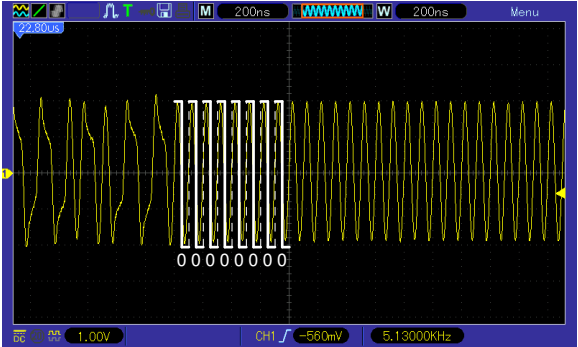


Abbildung 16: Erstes Byte des Padding

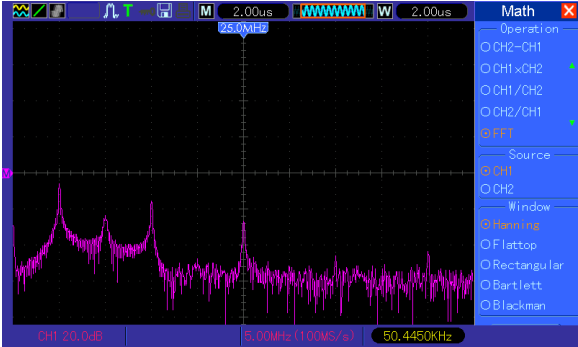


Abbildung 17: FFT Frequenzanalyse des Signals

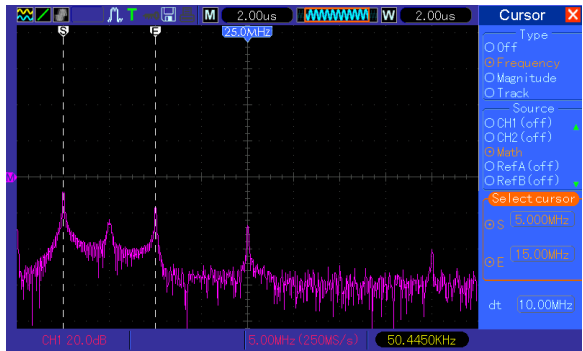


Abbildung 17: FFT Frequenzanalyse des Signals

Ethernet Standards

Messgeräte

10BASE-T

Literaturangaben

- [1] IEEE.
IEEE Standard for Ethernet.
IEEE Std 802.3-2022, July 2022.
Electronic ISBN: 978-1-5044-8725-2.