

Protokollant: Name

Kurs: Anfängerpraktikum 2

Zusammenarbeit¹ mit: Name

Assistent: Name

Datum: 15. März 2021

Versuch-Nr.: 31

Ab **HIER** vom Assistenten auszufüllen:

Eingangsstempel:

Rückgabedatum: _____

Bemerkungen:

Protokoll OK

Protokoll **nicht** OK

2. Abgabedatum: _____

Rückgabedatum: _____

Bemerkungen:

Protokoll OK

Protokoll **nicht** OK

3. Abgabedatum: _____

Rückgabedatum: _____

Bemerkungen:

Protokoll OK

Protokoll **nicht** OK

Versuch bestanden

Versuch **NICHT BESTANDEN**

Unterschrift Assistent: _____

Inhaltsverzeichnis

1 Aufgabenstellung	2
1.1 Physikalischer Hintergrund	2
1.2 Verifikation der Wellengleichung	2
2 Messmethoden	2
2.1 Versuchsaufbau & -durchführung	3
3 Versuchsergebnisse und Diskussion	3
4 Fazit	4
5 Appendix: Rohdaten	5

1 Aufgabenstellung

Der Versuch 31 behandelt das Ermitteln der Licht- und Signalgeschwindigkeit im Experiment. Dabei unterteilen wir diesen Versuch in zwei Teile.

Teil I: Lichtgeschwindigkeit

Die Lichtgeschwindigkeit anhand der Laufzeit des Lichtes bei verschiedenen Strecken bestimmen.

Teil II: Signalgeschwindigkeit

Die Signaldauer in verschiedenen Langen Kabeln ermitteln und daraus die Signalgeschwindigkeit bestimmen.

1.1 Physikalischer Hintergrund

Das Licht bewegt sich mit der Lichtgeschwindigkeit, die ca. $300\,000 \frac{km}{s}$ beträgt. Licht ist dabei das schnellste „Objekt“.

Zusätzlich kann man die Dielektrizitätszahl ε_r von Signalleitern über die Signalgeschwindigkeit der elektromagnetischen Wellen im Kabel bestimmen. Diese gibt die relative Verringerung der Ausbreitungsgeschwindigkeit an.

$$v = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_r}} c_0 \quad (1)$$

1.2 Verifikation der Wellengleichung

Bevor wir den Versuch durchführen wollen wir zunächst die Wellengleichung verifizieren. Die Wellengleichung ist beschrieben durch

$$\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 U}{\partial t^2} \quad (2)$$

Die Lösungsfunktionen sind angegeben durch

$$U(x, t) = U_1(x - vt) + U_2(x + vt) \quad (3)$$

Wir setzen die Lösung nun in die Wellengleichung ein, um sie zu verifizieren:

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2}{\partial x^2} U_1(x - vt) + U_2(x + vt) &= \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} U_1(x - vt) + U_2(x + vt) \\ U_1''(x - vt) + U_2''(x - vt) &= \frac{1}{v^2} (U_1''(x - vt)v^2 + U_2''(x - vt)v^2) \\ U_1''(x - vt) + U_2''(x - vt) &= U_1''(x - vt) + U_2''(x - vt) \\ 0 &= 0 \end{aligned}$$

Wir haben somit die Wellengleichung verifiziert.

2 Messmethoden

Für diesen Versuch erzeugen wir ein Signal mit einem *Signalgenerator* und senden dieses für Teil I an eine LED, die Licht zu einem Reflektor ausstrahlt, der das Signal dann an eine Leuchtdiode reflektiert und für Teil II durch ein Kabel und in beiden Fällen zurück zu einem Oszillatator. Wir können so durch die Intensitätsschwankungen des Lichtes die Zeit bestimmen, die das Licht für die Strecke benötigt.

2.1 Versuchsaufbau & -durchführung

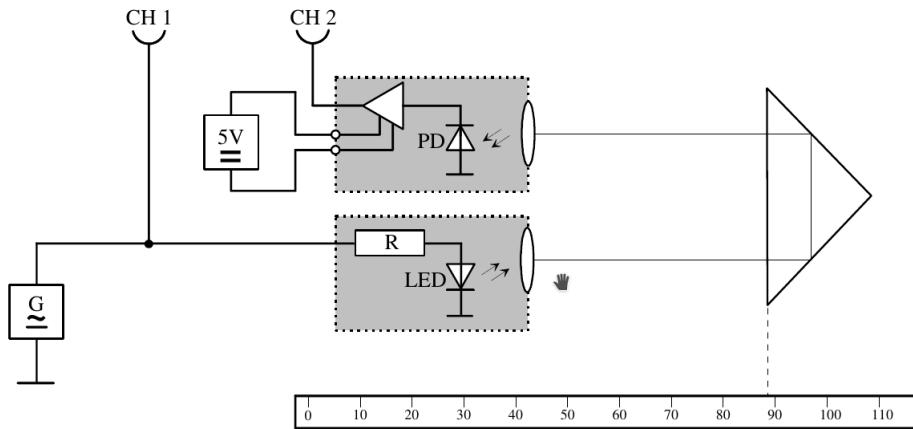


Abbildung 1: Schaltbild zur Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit (Teil I).

Die Abbildung 1 zeigt den Aufbau zur Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit.

- G = Signalgenerator
- CH1 / CH2 = Kanal 1 / 2 Oszilloskop

Die dünne Linie in der Abbildung zeigt den Weg des Lichtes.

Für **Teil II** verbinden wir *CH1* sowie *CH2* mit dem jeweiligen Kabel und hängen hinter *CH2* einen Widerstand von $R = 50\Omega$.

3 Versuchsergebnisse und Diskussion

Teil I

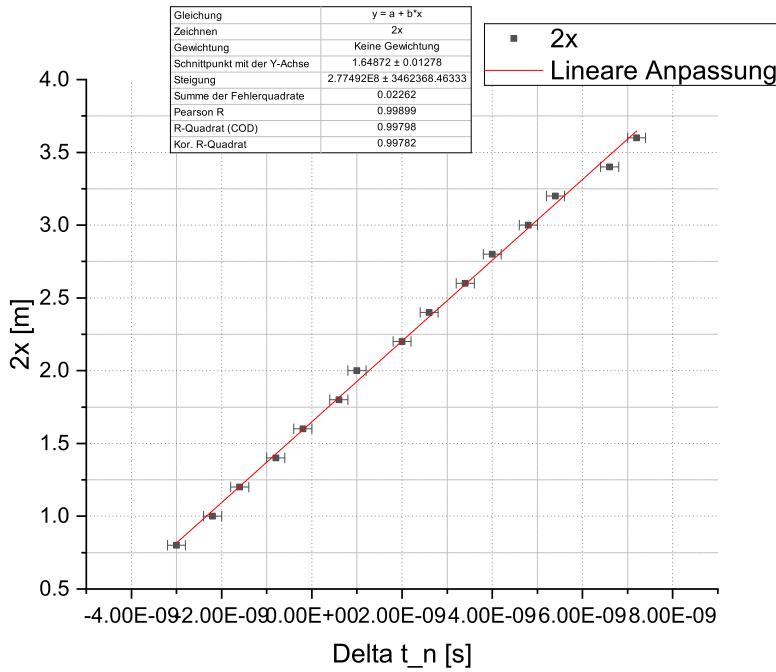


Abbildung 2: Laufzeiten des Lichtes.

Aus den Messdaten können wir nun die Lichtgeschwindigkeit bestimmen. Die lineare Regression ergibt dabei $(277.492 \pm 0.346) \cdot 10^6 \frac{m}{s}$ für die Lichtgeschwindigkeit.

Der Literaturwert der Lichtgeschwindigkeit beläuft sich auf $299\,792\,458 \frac{m}{s}$. Der von uns ermittelte Wert weicht um rund $22.3 \cdot 10^6 \frac{m}{s}$ bzw. 7.44% ab. Diese Abweichung ist sehr wahrscheinlich durch äußere Einflüsse verursacht.

Teil II

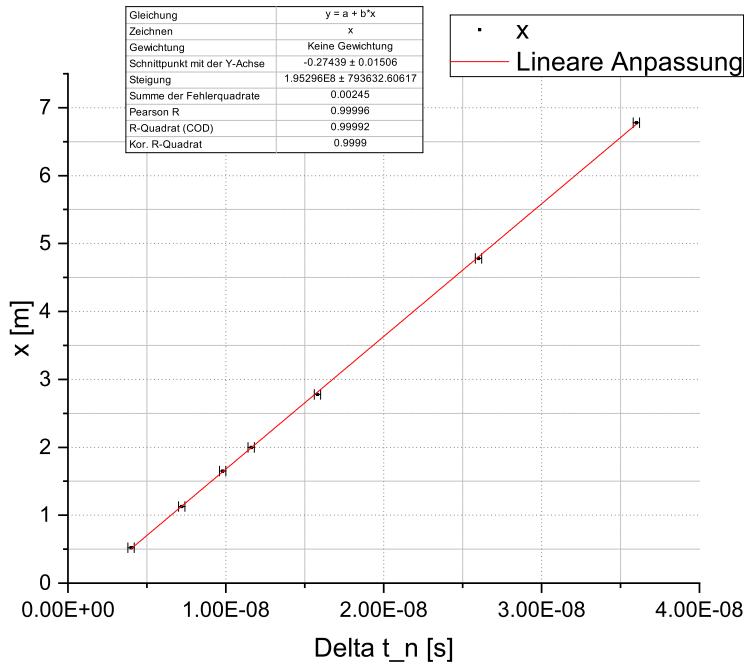


Abbildung 3: Signallaufzeiten der Kabel.

Aus der Linearen Regression können wir die Signalgeschwindigkeit c des Kabels bestimmen. Die Signalgeschwindigkeit des verwendeten Kabels haben wir somit auf $(195.296 \pm 0.794) \cdot 10^6 \frac{m}{s}$. Ein Koaxialkabel besitzt dabei typischerweise eine Signalgeschwindigkeit von rund $200\,000 \frac{km}{s}$; somit ist

unser Ergebnis ziemlich genau. Die Abweichung beträgt rund $4.7 \cdot 10^6 \frac{m}{s}$ (2.35%).
Mit diesem ermittelten Wert können wir nun die Dielektrizitätszahl ε_r des Kabels bestimmen
(Gleichung 1, $v = c$).

$$\varepsilon_r = \frac{c_0^2}{v} = \frac{c_0}{195.296 \cdot 10^6 \frac{m}{s}}^2 \approx 2.356$$
$$\Delta\varepsilon_r = \left| -c_0^2 \cdot \frac{2 \cdot \Delta v}{(v^2)^2} \right| = \left| -c_0^2 \cdot \frac{2 \cdot 0.794 \cdot 10^6}{((195.296 \cdot 10^6)^2)^2} \right| \approx 0.98 \cdot 10^{-10} \approx 1 \cdot 10^{-9}$$

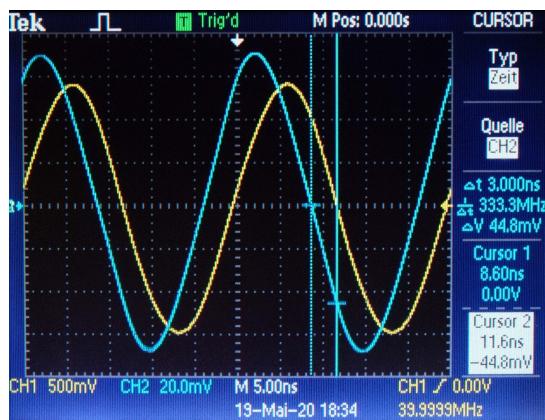
4 Fazit

Der Versuch 31 hat gezeigt, dass das Ermitteln der Lichtgeschwindigkeit durchaus komplex ist.

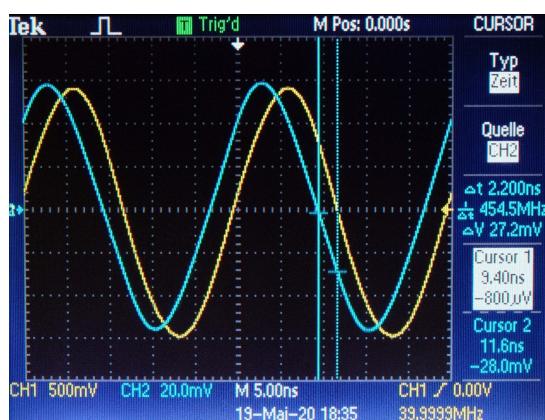
5 Appendix: Rohdaten

Anbei sind die Rohdaten (Signalverläufe) für diesen Versuch beigelegt. Die ersten Signalverläufe (wohlgeformter Sinus) sind dabei die Verläufe zur Messung mit der Photodiode, die restlichen sind zu der Messung mit Kabel (mit *BNC-KABEL* beschriftet). Es ist zu beachten, dass für die Messungen mit der Photodiode der Wert von x die **einfache Weglänge** beschreibt (wir senden das Licht aber zu einem Reflektor und zurück - Siehe Abbildung 1 zum Versuchsaufbau).

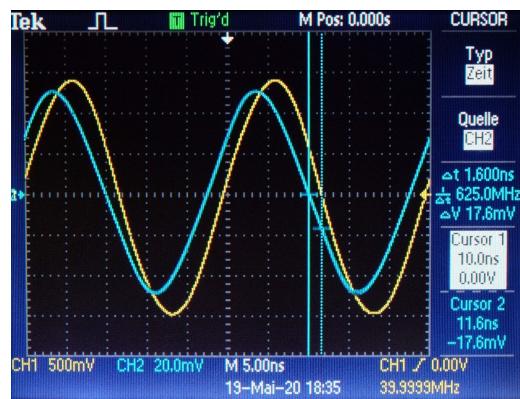
$x=40\text{cm}$



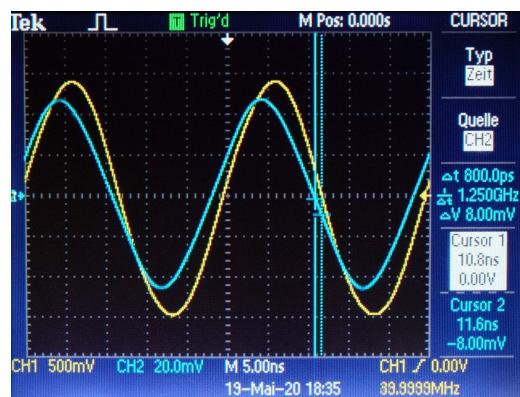
$x=50\text{cm}$



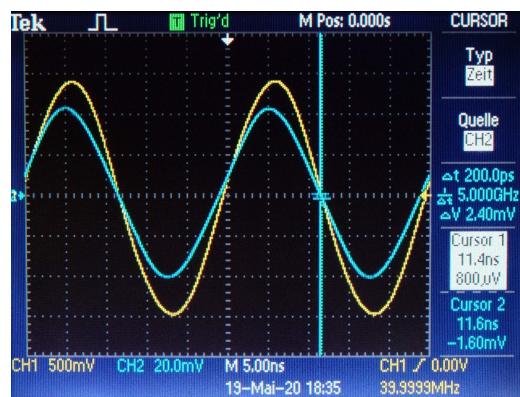
x=60cm



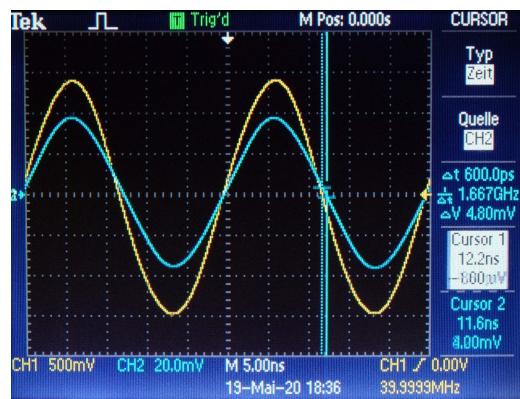
x=70cm



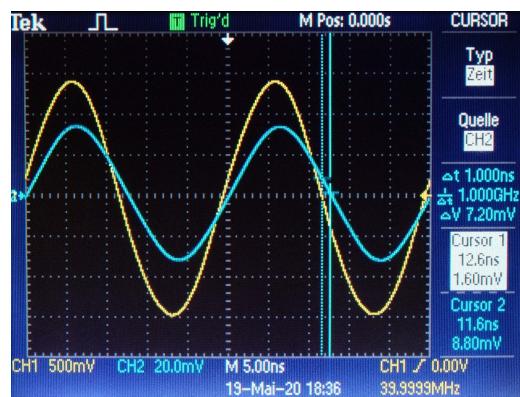
x=80cm



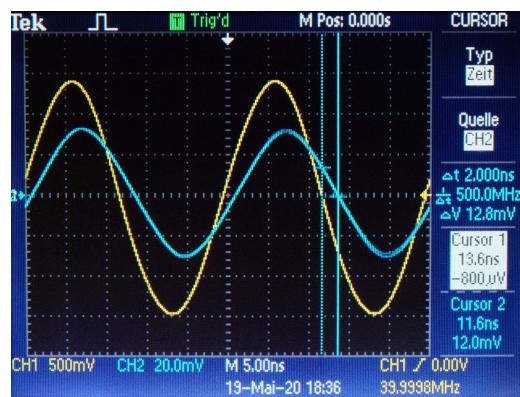
x=90cm



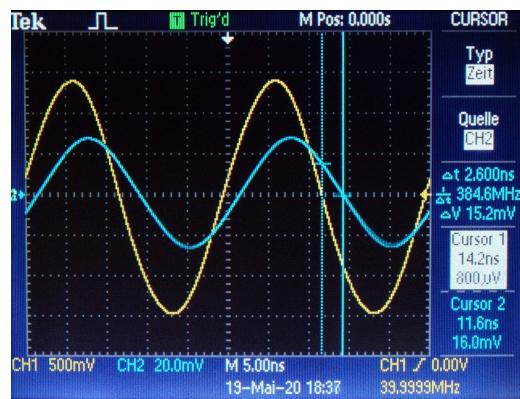
x=100cm



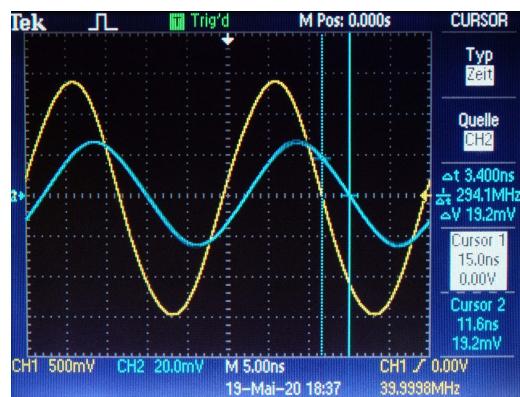
x=110cm



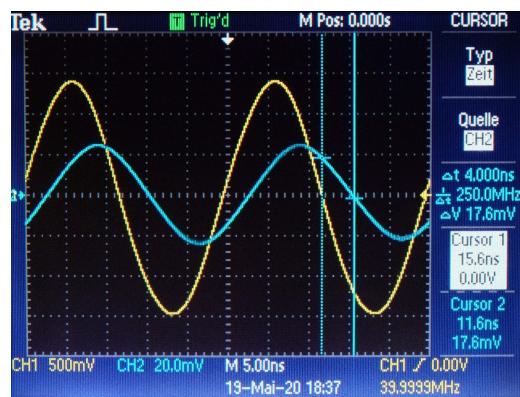
x=120cm



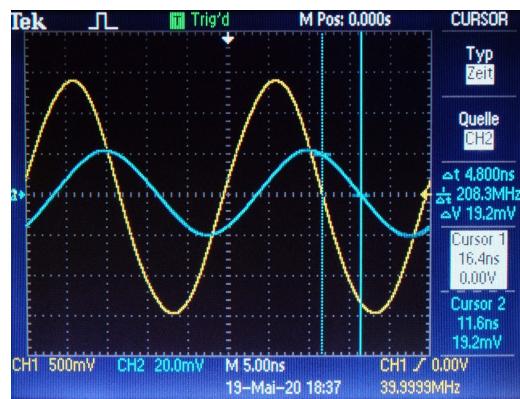
x=130cm



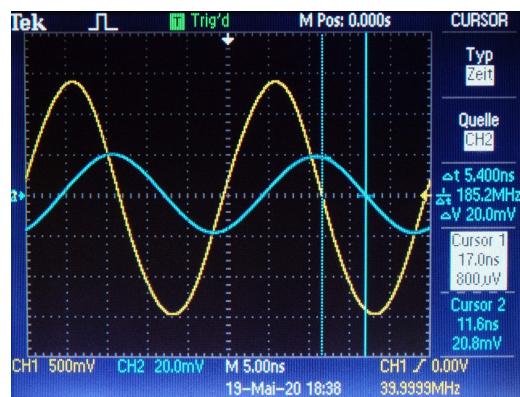
x=140cm



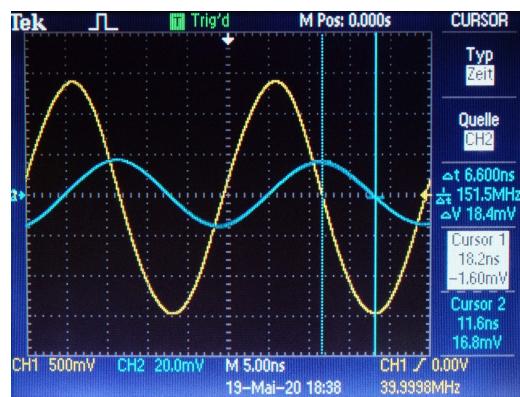
x=150cm



x=160cm



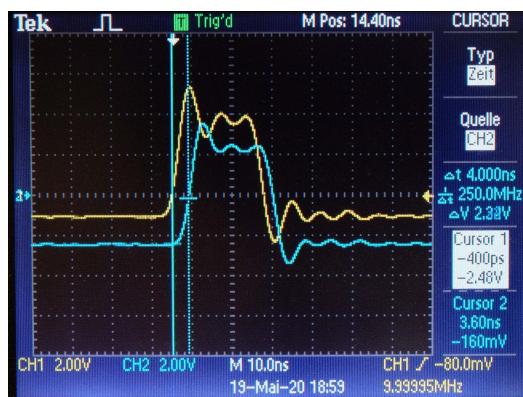
x=170cm



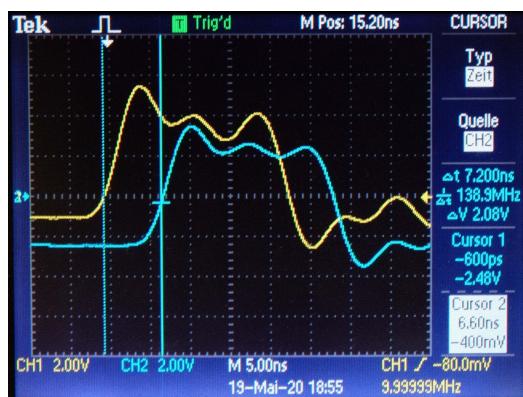
$x=180\text{cm}$



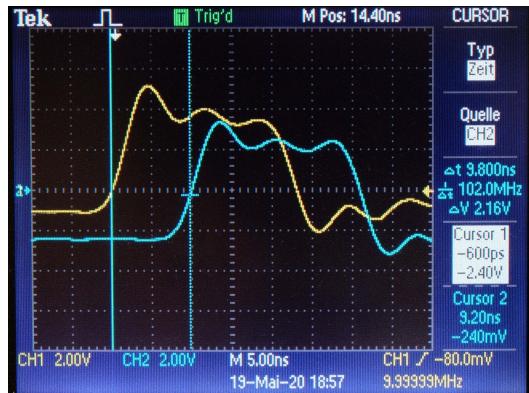
BNC-KABEL:
 $x=52\text{cm}$



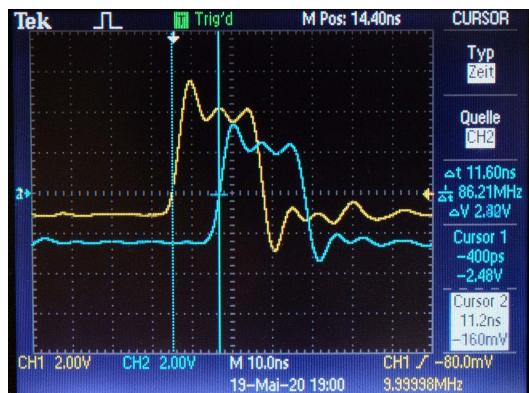
BNC-KABEL:
 $x=113\text{cm}$



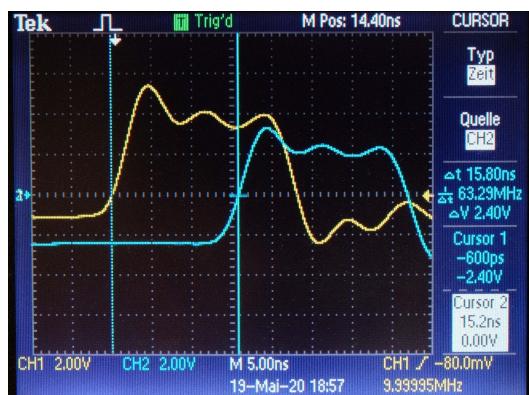
BNC-KABEL: x=165cm



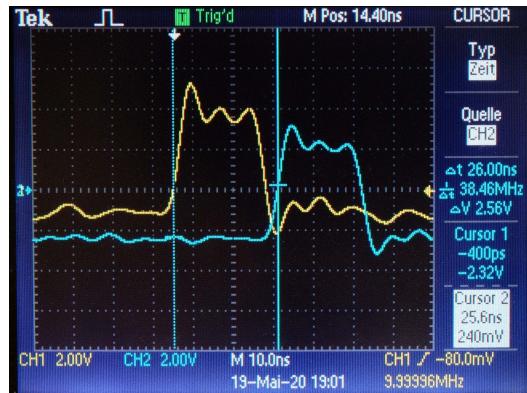
BNC-KABEL: x=200cm



BNC-KABEL: x=278cm



BNC-KABEL:
x=478cm



BNC-KABEL:
x=678cm

