

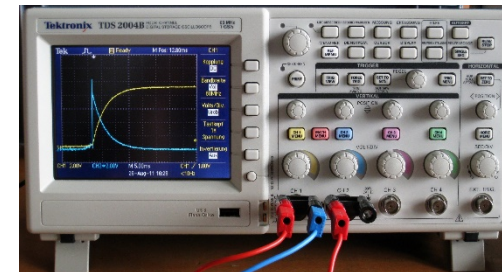
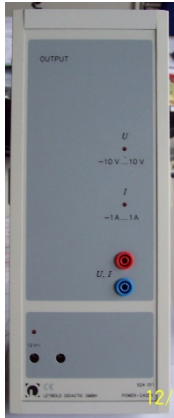
**Messinstrumente im
physikalischen
Grundpraktikum
SS 20**

Dr. Th. Kirn

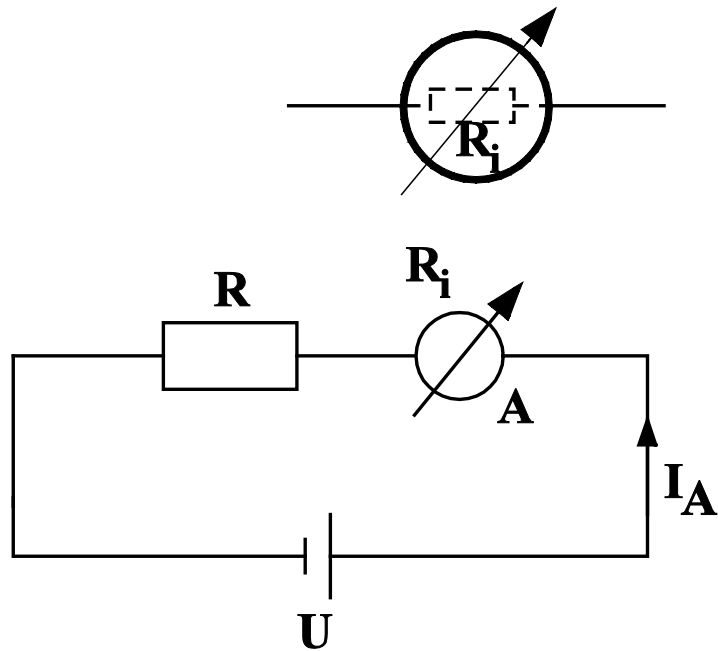
I. Physikalisches Institut B

Messinstrumente im physikalischen Grundpraktikum

- Strommessung
 - ↳ Sensor Cassy
- Spannungsmessung
 - ↳ Sensor Cassy
 - ↳ Power Cassy
 - ↳ Hallsonde
 - ↳ Thermoelement
- Oszilloskop
- Längenmessung
 - ↳ Maßband
 - ↳ Messschieber
 - ↳ Bügelmessschraube



Prinzip Strommessung



Messvorgang darf zu messenden Strom nicht beeinflussen!

Erwarteter Strom:

$$I = \frac{U}{R}$$

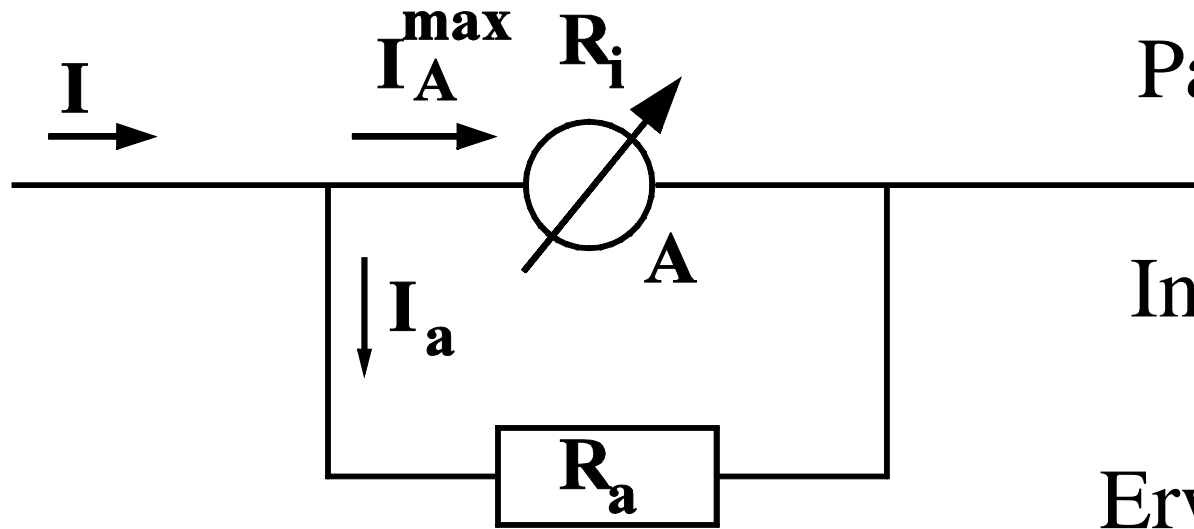
Mit Amperemeter:

$$I_A = \frac{U}{R + R_i} < I$$

Wenn $R_i \ll R$, gilt $I = I_A$

typischerweise $R_i \leq 1\Omega$

Messbereichserweiterung



Parallelschaltung eines Shunt

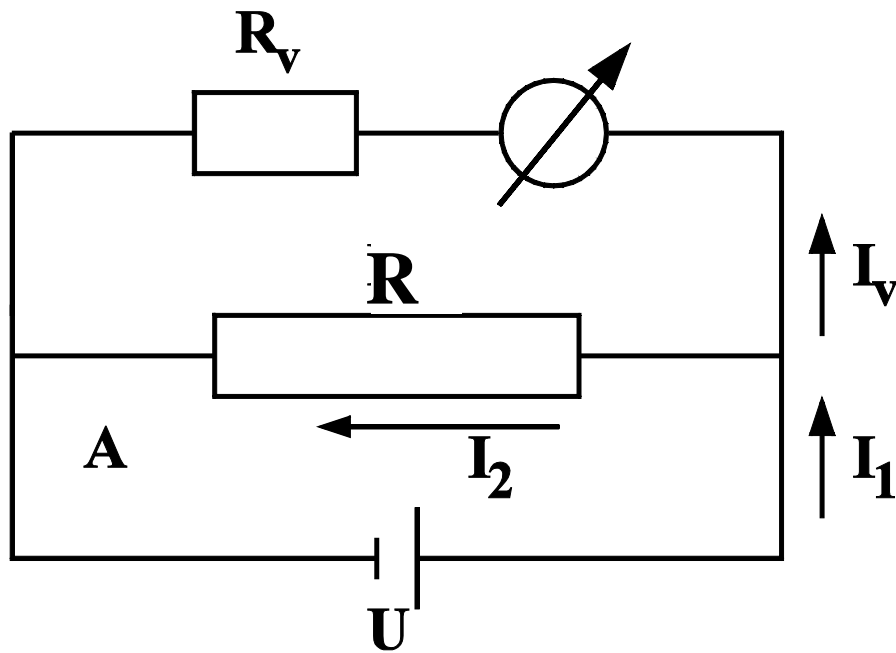
Instrument misst I_A^{\max}

Erweiterung auf: $I_{A,n}^{\max} = n \cdot I_A^{\max}$

Es muß gelten: $I = I_A^{\max} + I_a = n \cdot I_A^{\max}$ und $R_a \cdot I_a = R_i \cdot I_A^{\max}$

$$\longrightarrow I_a = (n-1) \cdot I_A^{\max} = \frac{R_i}{R_a} \cdot I_A^{\max} \longrightarrow R_a = \frac{R_i}{n-1}$$

Prinzip Spannungsmessung



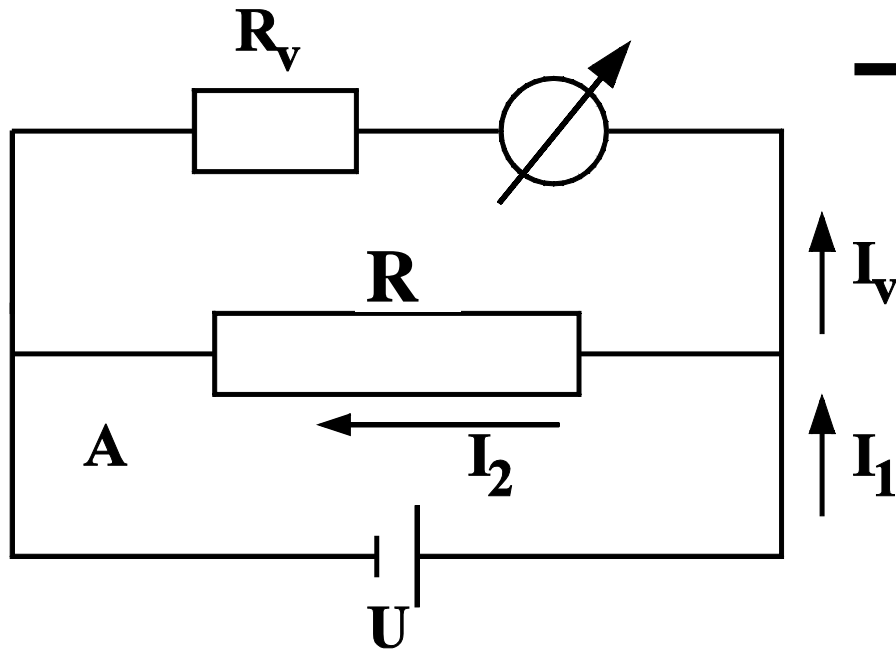
Spannungsmesser sind mittels Ohmschen Gesetz in Volt geeichte Amperemeter

Vorschaltung eines Vorwiderstandes $R_v \gg R$

Durch Instrument fließt Strom I_v

→ angezeigte Spannung $U = I_v \cdot R_v$

Prinzip Spannungsmessung



→ Änderung der Stromstärke
im Kreis A

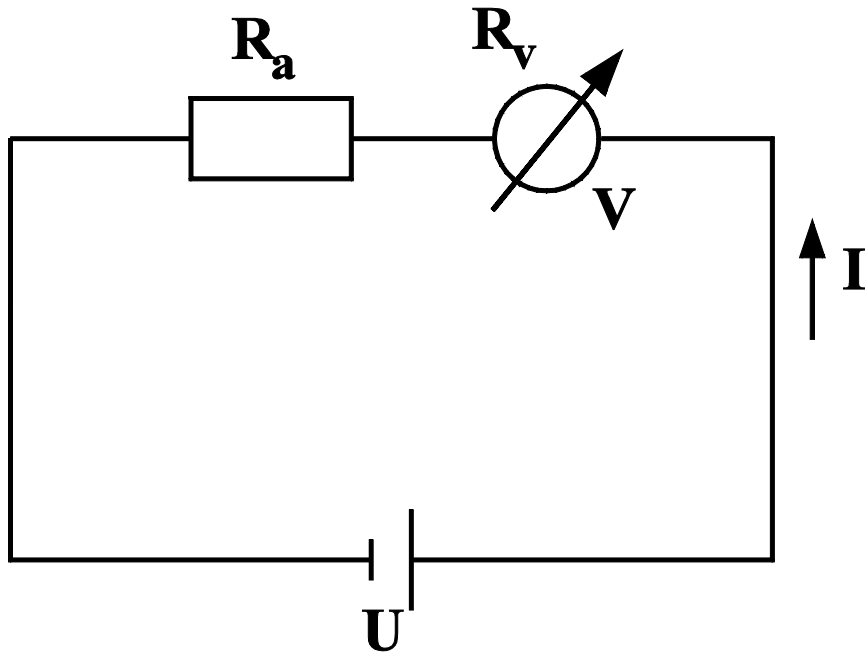
Quelle liefert Strom

$$I_1 = U \cdot \left(\frac{1}{R_v} + \frac{1}{R} \right) = I \cdot \frac{R + R_v}{R_v} > I = \frac{U}{R}$$

Es ist $I_1 = I$ wenn $R_v \gg R$

Spannungsmesser sind hochohmige Strommesser $R_v > 10k\Omega$

Messbereichserweiterung



Reihenschaltung eines Vorwiderstandes R_a

Instrument misst U_{\max}

Erweiterung auf: $U'_{\max} = n \cdot U_{\max}$ ($n > 1$)

Es ist:

$$I = \frac{n \cdot U_{\max}}{R_a + R_v} = \frac{U_{\max}}{R_v}$$



Vorschaltwiderstand:

$$R_a = (n - 1) \cdot R_v$$

Realisation der Strom- und Spannungsmessung im Praktikum?



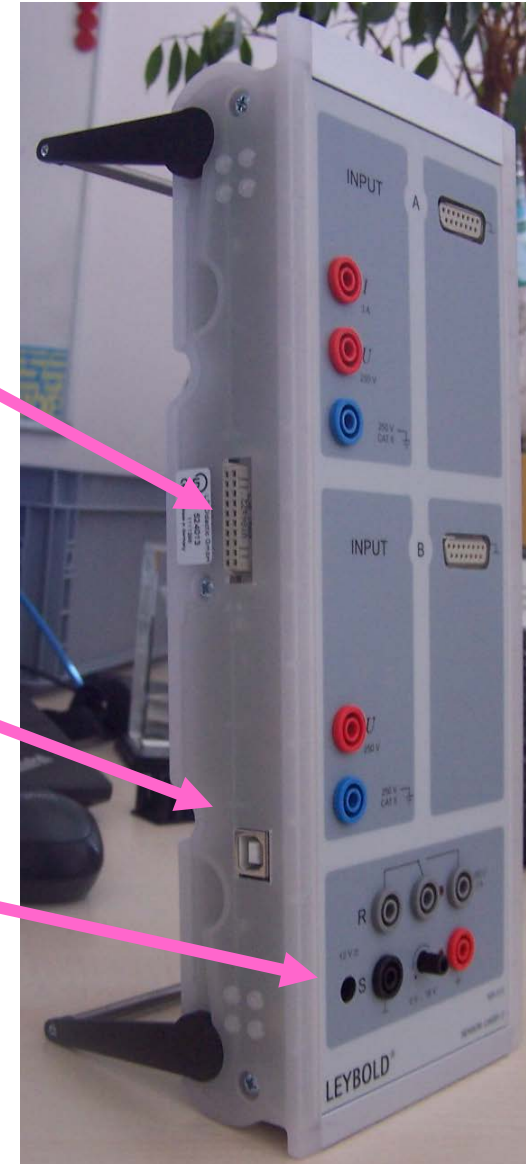
Sensor-Cassy-2 Interface

Kaskadierbares Interface
zur Messdatenaufnahme
(bis zu 8 Cassy-Module)

Anschluß an USB-Port
des Computers

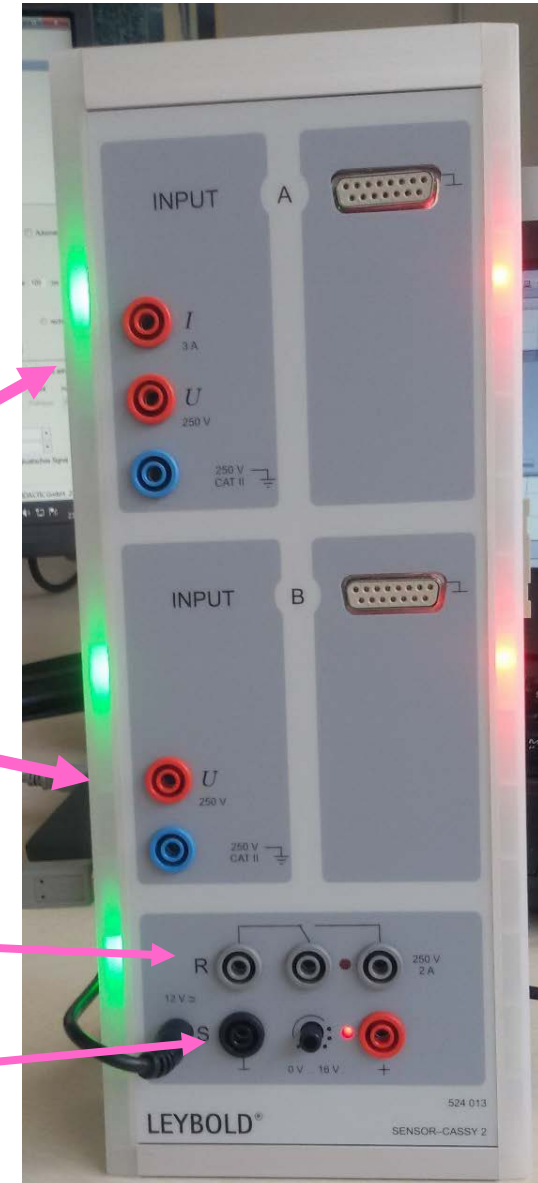
Spannungsversorgung:

12V AC/DC über Hohlstecker
oder benachbartes Cassy-Modul



Sensor Cassy-2 Interface

- 3-fach galvanisch getrennt:
4mm-Eingänge **A** und **B**, Relais **R**
- 4-Kanal Messgerät:
 - Eingang **A**: parallele Messung von **I** oder **U** und **Sensorbox-Steckplatz**
 - Eingang **B**: parallele Messung von **U** und **Sensorbox-Steckplatz**
- Relais **R**
- Spannungsquelle **S** (0 – 16V)



Sensor-Cassy-2 Interface

Umschaltrelais R
(Schaltanzeige mit LED)
Bereich: max. 250V / 2 A



1 analoger Ausgang:
Schaltbare Spannungsquelle S,
Schaltanzeige mit LED,
Spannung: max. 16 V / 200 mV
(Last $\geq 80 \Omega$)

Sensor-Cassy-2 Interface

3 analoge Eingänge

2 analoge Spannungseingänge A und B:

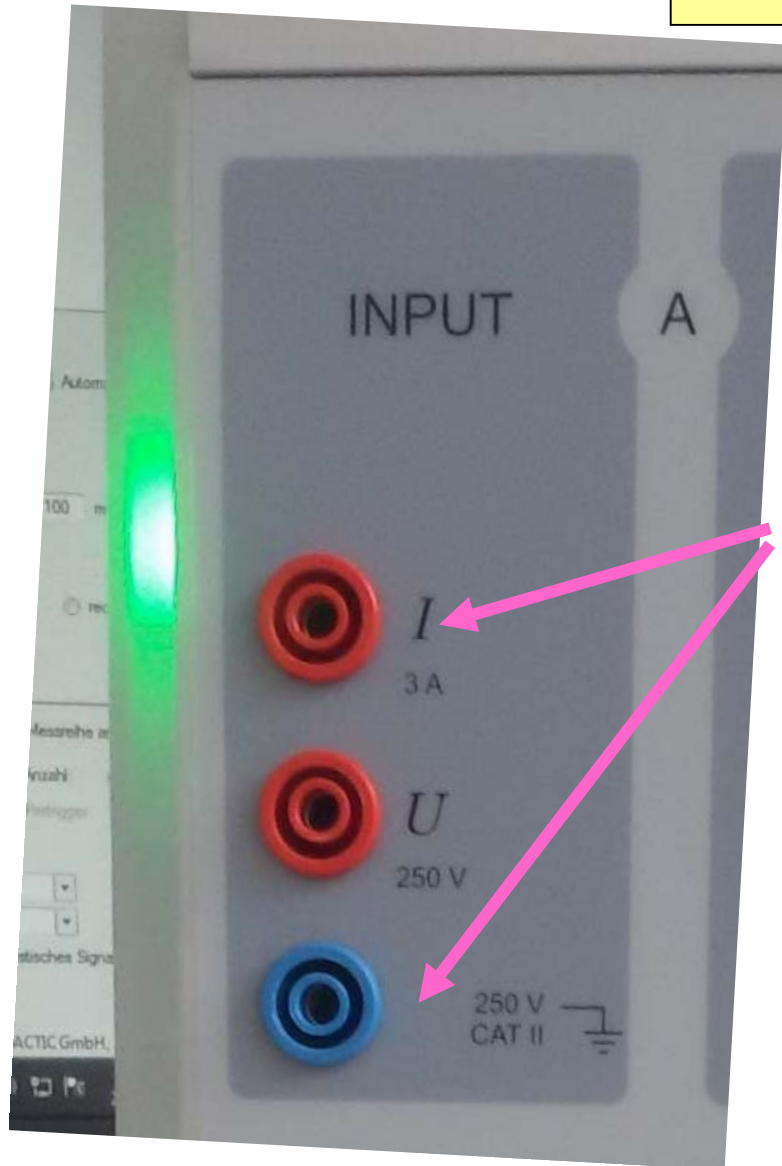
- Auflösung: 12 Bit ($2^{12} = 4096$)
- Messbereiche: $\pm 0,1/0,3/1/3/10/30/100 /250V$
- Digitalisierung: $\pm 0,05 \text{ mV}/\dots/ 122,1\text{mV}$
- sys. Messfehler: $\pm 1\% + 0,5\%$ Endwert
- Eingangswiderstand: $1 \text{ M}\Omega$
- Abtastrate: max. 2.000.000 Werte/s

(=1.000.000 Werte/s pro Eingang)

- Anzahl Messwerte: praktisch unbegrenzt,
Bis 10000 Werte/s,
höhere Messrate max. 200.000 Werte,
- Pretrigger: max. 50.000 Werte



Sensor-Cassy-2 Interface

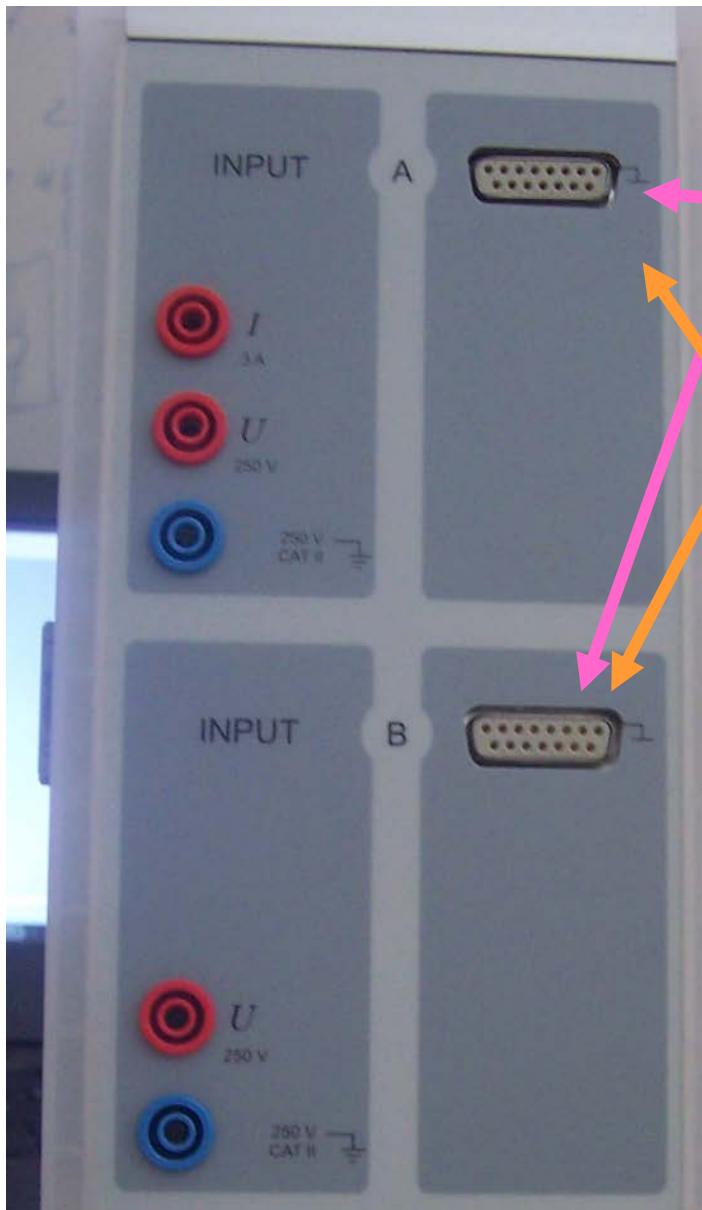


Eingang A:

1 analoger Stromeingang :

- Messbereiche: $\pm 0,03/0,1/0,3/1/3$ A
- Digitalisierung: $\pm 0,015$ mA/ ... / 1,5 mA
- sys. Messfehler: Spannungsfehler + 1%
- Eingangswiderstand: $< 0,5 \Omega$

Sensor-Cassy-2 Interface



2 analoge Eingänge auf Sensorbox-Steckplätzen A und B

- Messbereiche: $\pm 0,003/0,01/0,03/0,1/0,3/1$ V
- Eingangswiderstand: $10\text{ k}\Omega$

4 Timer-Eingänge (32 Bit Zähler) auf Sensor-Steckplätzen A und B

- Zählfrequenz: max. 1 MHz
- Zeitauflösung: 20 ns

Sensor-Cassy-2 Interface



automatische Sensorboxerkennung
durch Cassy Lab (plug and play)

Sensorboxen:

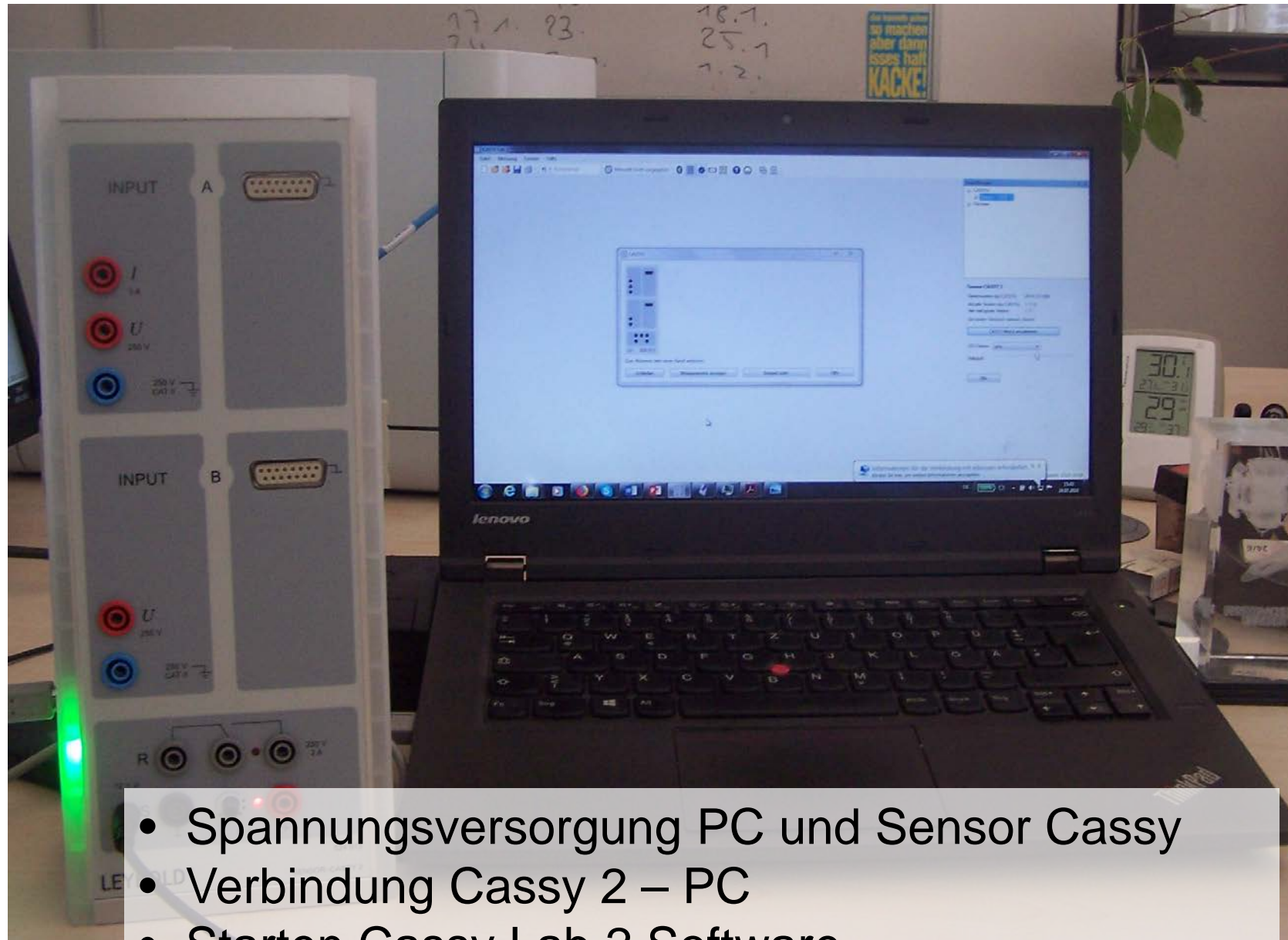
Timer Box → Laufzeit Messung

Temperatur Box

B-Box → B-Feldmessung,
→ Druckmessung

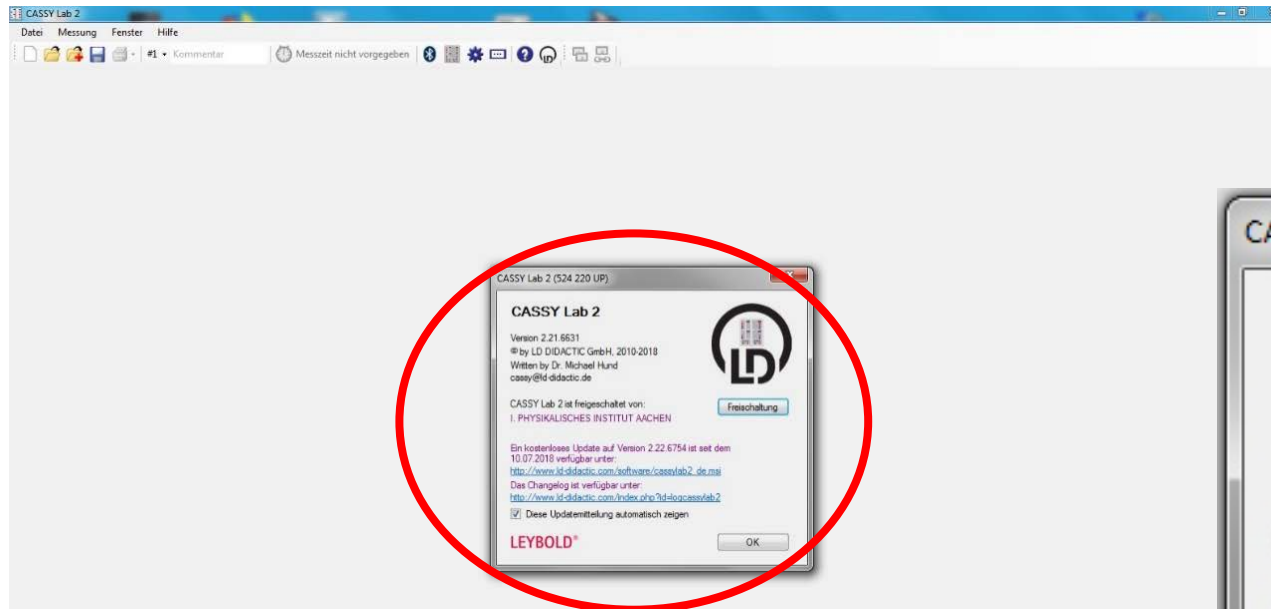
Stromquellen-Box

Cassy Lab 2, Inbetriebnahme



- Spannungsversorgung PC und Sensor Cassy
- Verbindung Cassy 2 – PC
- Starten Cassy Lab 2 Software

Cassy Lab 2 Start

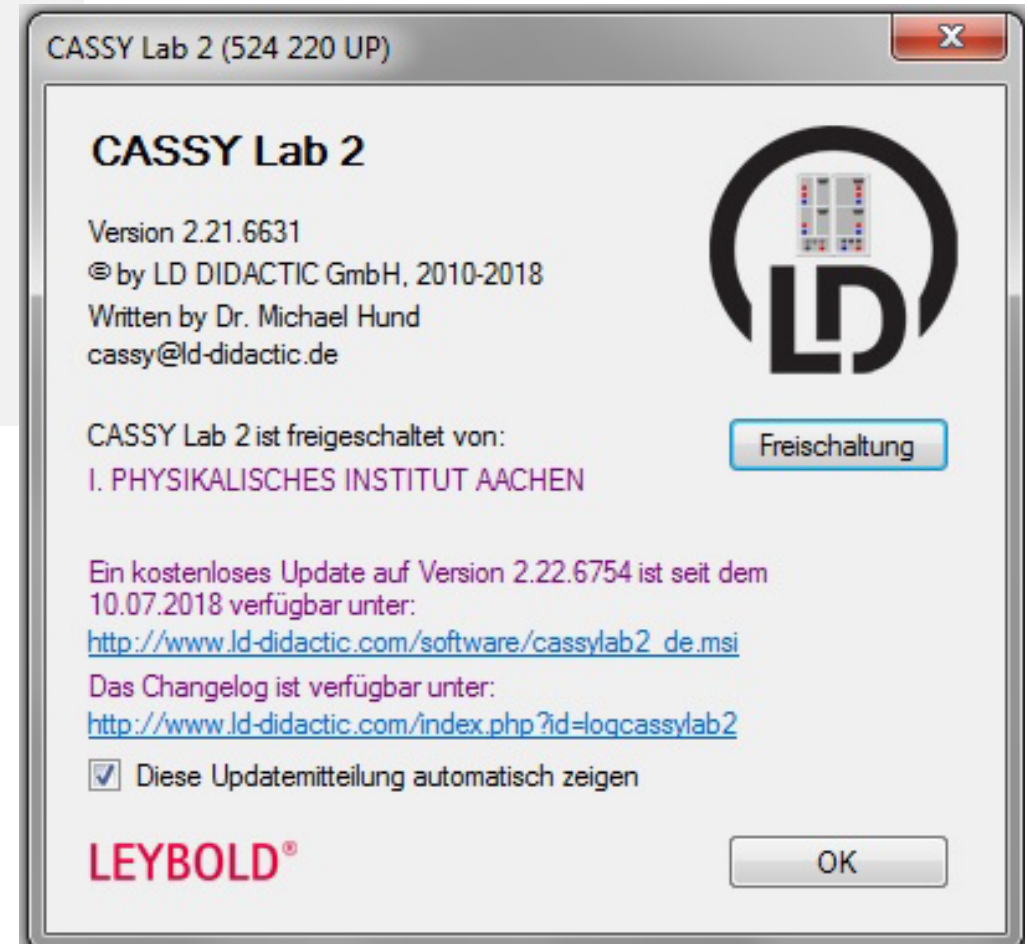


Eröffnungsfenster:

Bei Start des Programms erscheint dargestelltes Fenster mit dem Hinweis, dass es sich um eine (nicht) freigeschaltete Version von CASSY Lab 2 handelt.

Notfalls Freischaltung vornehmen.

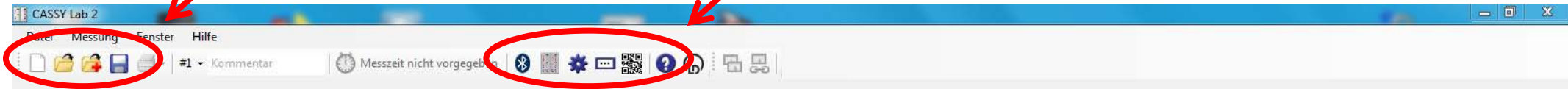
Dann dieses Fenster mit OK schließen



Cassy Lab 2 Start

Daten laden, speichern,
drucken, löschen

Einstellungen vornehmen



Kein Cassy angeschlossen

Cassy Lab 2 Start

The screenshot shows the CASSY Lab 2 software interface. At the top, there is a menu bar with 'Datei', 'Messung', 'Fenster', and 'Hilfe'. Below the menu bar is a toolbar with various icons. The main window displays a list of CASSYs on the left, with a yellow warning icon next to the entry '524 013'. A red arrow points from a text box below to this warning icon. On the right side, there is a 'Einstellungen' (Settings) panel. Under the 'Sensor-CASSY 2' section, there is a yellow warning icon next to a button labeled 'CASSY-Modul aktualisieren'. A red arrow points from a text box below to this button. The text box below the button contains the instruction: 'Gelbes Warnsymbol: Klicken auf Button „Cassy-Modul aktualisieren“'. The bottom right corner of the software window shows the copyright notice: '© by LD DIDACTIC GmbH, 2010-2018'.

Gelbes Warnsymbol beachten!

**Gelbes Warnsymbol:
Klicken auf Button
„Cassy-Modul aktualisieren“**

Cassy angeschlossen über USB-Port → automatische Erkennung

Cassy Lab 2 Start

The screenshot displays the CASSY Lab 2 software interface. The main window shows a list of CASSYs with the following details:

- LD 524 013
- Zum Aktivieren bitte einen Kanal anklicken.
- Buttons: Schließen, Messparameter anzeigen, Beispiel laden, Hilfe

The 'Einstellungen' (Settings) panel on the right shows the following configuration for 'Sensor-CASSY 2':

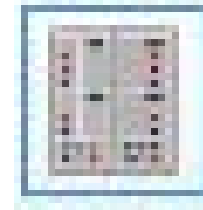
- Seriennummer des CASSYs: 2014.513.004
- Aktuelle Version des CASSYs: 1.11.E
- Hier verfügbare Version: 1.11
- Die beiden Versionen stimmen überein.
- Button: CASSY-Modul aktualisieren
- LED-Farben: grün
- Helligkeit: (slider)
- Button: Hilfe

Alles OK und Einsatzbereit

Cassy angeschlossen über USB-Port → automatische Erkennung

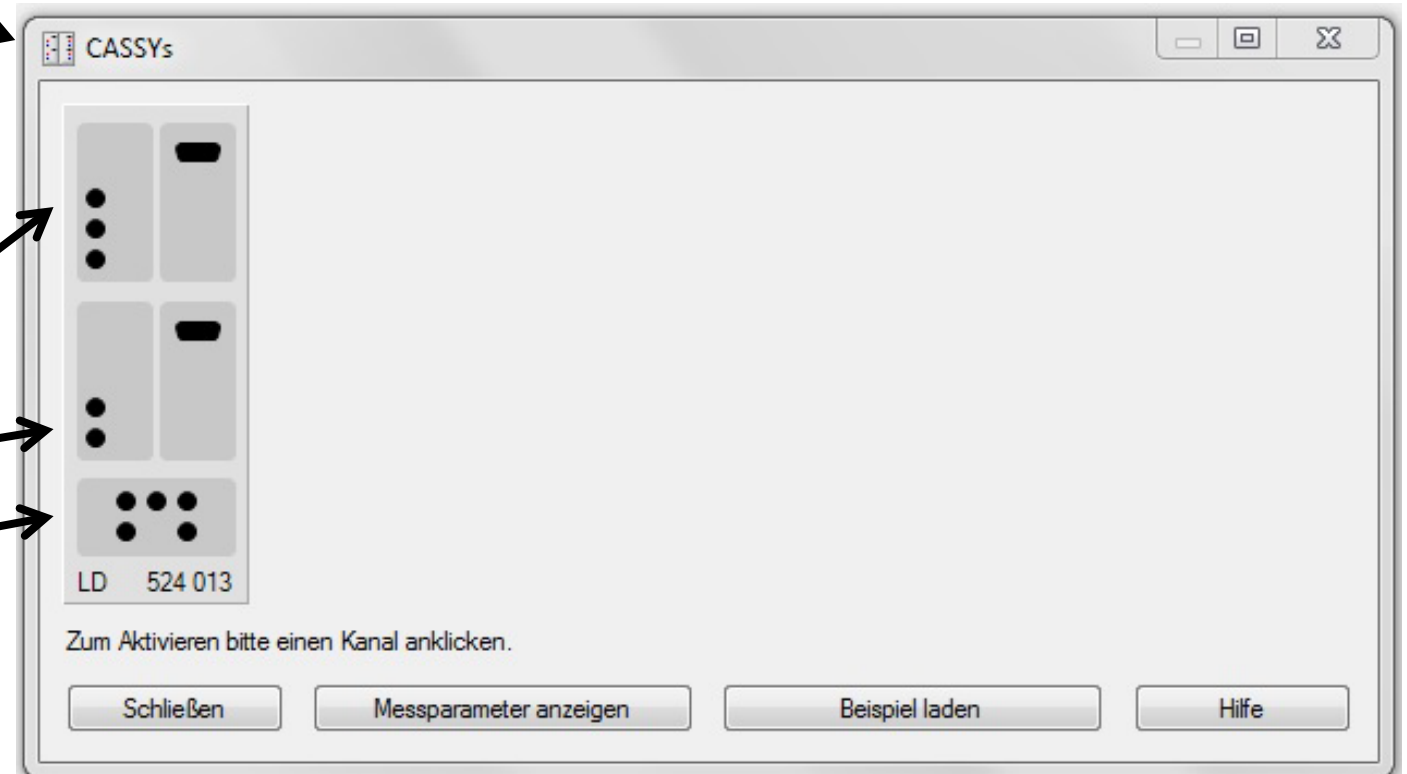
Cassy Lab 2, Einstellungen

Einstellungen via Symbolknopf oder F5



Anzeige der aktuellen Anordnung von CASSY-Modulen unter Tab „CASSYs“

Aktivierung und Einstellung der Eingänge A und B, sowie des Relais und der Spannungsquelle durch Anklicken



Einstellung der Messgrößen und -bereiche vorher überlegen, einstellen und im Messprotokoll notieren!

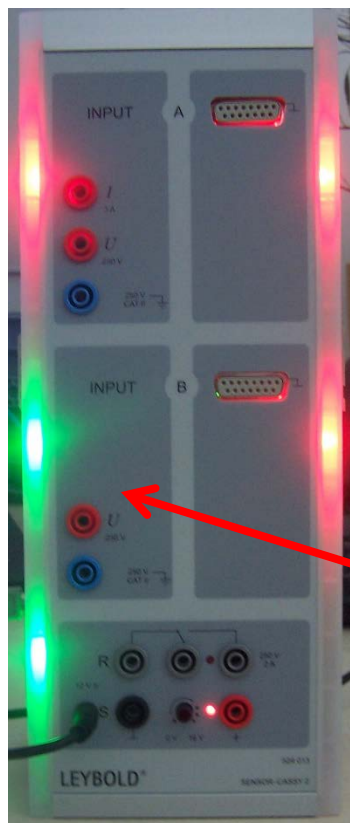
Cassy Lab 2, Einstellungen Messparameter

The screenshot shows the CASSY Lab 2 software interface. The main window displays a grid with a vertical axis labeled '0.5'. A 'Standard' window shows 'Spannungsquelle S₁' with a red bar and 'S₁ = 1'. A 'CASSYs' window shows a control panel with a green light and 'LD 524 013'. The 'Einstellungen' window on the right shows 'Spannungsquelle S₁ = 1' selected in a dropdown menu, with a red circle around it. Below the dropdown is the text 'S1(date,time,n,t,S1) = 1 = AN'. Other options include 'Umschalten während automatischer Aufnahme' (unchecked), 'Hilfe', 'Uahme: automatisch', 'Neue Messreihe anhängen', 'Messzeit: s', 'Anzahl: maximal', 'Intervall: 100 ms', 'Pretrigger: 0', 'Trigger:', 'Messbedingung: 1', 'Stoppbedingung: 0', 'Wiederholende Messung', and 'Akustisches Signal'.

Aktivierung Spannungsquelle durch Anklicken, Spannungsquelle leuchtet grün, Anzeigefenster S erscheint

Einstellungen Spannungsquelle: „1“ bedeutet „AN“, „0“ bedeutet „AUS“, Option: Umschalten während automatischer Aufnahme

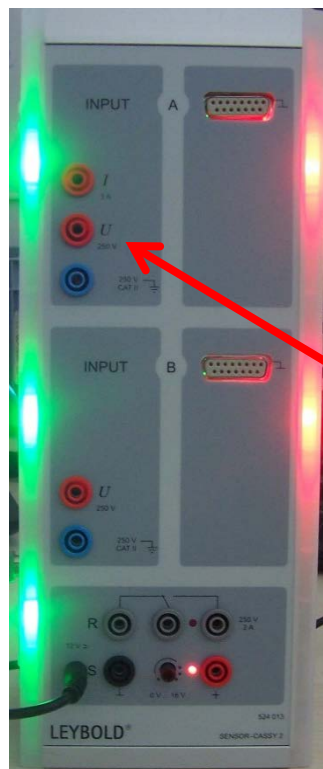
Cassy Lab 2, Einstellungen Messparameter



The screenshot shows the CASSY Lab 2 software interface. The main window displays a graph of voltage U_{B1} over time t/s , with a value of $U_{B1} = 0.00 \text{ V}$. A smaller window titled "CASSYs" shows a button for U_{B1} being clicked. On the right, the "Einstellungen" (Settings) panel is open, showing a tree view where "Spannung U_{B1} " is selected. A red circle highlights this settings panel, and a red arrow points from it to the hardware unit's green light.

Aktivierung Eingang B durch Anklicken,
Eingang B leuchtet grün
Messanzeige erscheint für Eingang B → Einstellungen Eingang B aktiviert
Messparameter für Daten-**Aufnahme** einstellbar

Cassy Lab 2, Einstellungen Messparameter



Stromstärke I_{A1}

$I_{A1} = 0.000 \text{ A}$

Spannung U_{B1}

$U_{B1} = 0.00 \text{ V}$

CASSYs

LD 524 013

Zum Aktivieren bitte einen Kanal anklicken.

Schließen Messparameter anzeigen Beispiel laden Hilfe

Einstellungen

- CASSYs
 - Sensor-CASSY 2
 - Eingang A₁ (links)
 - Spannung U_{A1}
 - Stromstärke I_{A1}
 - Eingang A₁ (ohne Sensorbox)
 - Eingang B₁ (links)
 - Spannung U_{B1}
 - Leistungsfaktor $\cos \varphi_1$
 - Eingang B₁ (ohne Sensorbox)
 - Relais $R_1 = 0$
 - Spannungsquelle $S_1 = 1$
 - Rechner

Stromstärke I_{A1}

Bereich: -1 A .. 1 A Automatisch

Messwertfassung

- Momentanwerte
- gemittelte Werte
- Effektivwerte
- Effektivwerte (AC-Anteil) } über 100 ms

Nullpunkt

- links
- mittig
- rechts

Hilfe Konfigurieren

Aufnahme: automatisch Neue Messreihe anhängen

Messzeit: s Anzahl: maximal

Intervall: 100 ms Pretrigger: 0

Trigger:

Messbedingung: 1

Stoppbedingung: 0

Wiederholende Messung Akustisches Signal

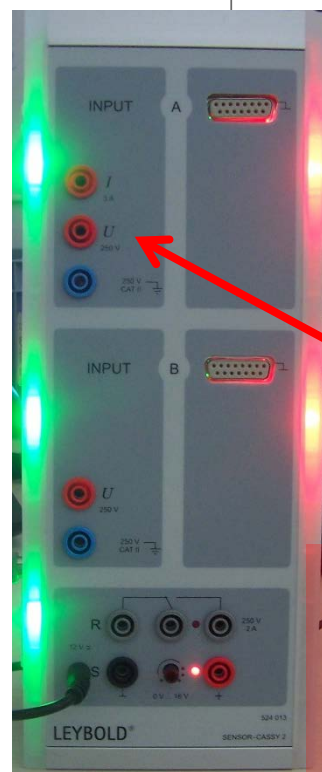
Hilfe

© by LD DIDACTIC GmbH, 2010-2018

Aktivierung Eingang A durch Anklicken,
Strommessung bei Klick auf oberste Anschlusschülse
Spannungsmessung bei Klick auf die Mittlere
Eingang A leuchtet grün, Messanzeige erscheint für Eingang A
→ Einstellungen Eingang A aktiviert
Messparameter für Daten-**Aufnahme** einstellbar

Cassy Lab 2, Einstellungen Messparameter

The screenshot shows the CASSY Lab 2 software interface. The main window displays a grid with two floating windows for voltage measurements: $U_{A1} = 0.00 \text{ V}$ and $U_{B1} = 0.00 \text{ V}$. A 'CASSYs' control window is also visible, showing the device ID LD 524 013 and buttons for 'Schließen', 'Messparameter anzeigen', 'Beispiel laden', and 'Hilfe'. On the right, a settings panel for 'Spannung U_{A1} ' is highlighted with a red circle. This panel includes options for 'Bereich: -10 V .. 10 V', 'Messwert erfassung' (Momentanwerte, gemittelte Werte, Effektivwerte), 'Nullpunkt' (links, mittig, rechts), and recording parameters like 'Aufnahme: automatisch', 'Messzeit', 'Intervall', and 'Trigger'. A red circle is drawn around the settings panel, and red arrows point from the physical device to the software elements.



Aktivierung Eingang A durch Anklicken,
Strommessung bei Klick auf oberste Anschlusschülse
Spannungsmessung bei Klick auf die Mittlere
Eingang A leuchtet grün, Messanzeige erscheint für Eingang A
→ Einstellungen Eingang A aktiviert
Messparameter für Daten-**Aufnahme** einstellbar

Datenauslese: Cassy Lab 2

The screenshot displays the Cassy Lab 2 software interface. The main window shows a grid with a central plot area. Two measurement windows are overlaid on the grid:

- Stromstärke I_{A1}** : A window showing a scale from -1 to 1 A. The needle is at 0.000 A.
- Spannung U_{B1}** : A window showing a scale from -10 to 10 V. The needle is at 0.00 V.

A central window titled "CASSYs" is open, showing a control panel with buttons for I_{A1} , U_{B1} , and S_1 . Below the buttons, it displays "LD 524 013" and the instruction "Zum Aktivieren bitte einen Kanal anklicken." (To activate, please click a channel). Buttons at the bottom include "Schließen", "Messparameter anzeigen", "Beispiel laden", and "Hilfe".

On the right side, the "Einstellungen" (Settings) panel is visible. It shows a tree view for "CASSYs" with the following settings:

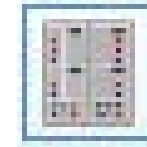
- Sensor-CASSY 2**
 - Eingang A_1 (links)
 - Spannung U_{A1} (unchecked)
 - Stromstärke I_{A1} (checked)
 - Eingang A_1 (ohne Sensorbox) (unchecked)
 - Eingang B_1 (links)
 - Spannung U_{B1} (checked)
 - Leistungsfaktor $\cos \varphi_1$ (unchecked)
 - Eingang B_1 (ohne Sensorbox) (unchecked)
 - Relais $R_1 = 0$ (unchecked)
 - Spannungsquelle $S_1 = 1$ (checked)
- Rechner**

Below the tree view, the "Stromstärke I_{A1} " settings are shown:

- Bereich: -1 A .. 1 A
- Automatisch (checked)
- Messwertaufzeichnung:
 - Momentanwerte (selected)
 - gemittelte Werte (unchecked)
 - Effektivwerte (unchecked)
 - Effektivwerte (AC-Anteil) (unchecked)
- Nullpunkt:
 - links (unchecked)
 - mittig (selected)
 - rechts (unchecked)
- Aufnahme: automatisch
- Messzeit: s
- Intervall: 100 ms
- Trigger: (empty)
- Messbedingung: 1
- Stoppbedingung: 0
- Wiederholende Messung (unchecked)
- Akustisches Signal (unchecked)

Cassy Lab 2, Einstellungen, Messparameter

Zweimalige Betätigung des Einstellungsknopfs oder der F5-Taste



Einstellungen

- CASSYs
 - Sensor-CASSY 2
 - Eingang A₁ (links)
 - Eingang A₁ (ohne Sensorbox)
 - Eingang B₁ (links)
 - Spannung U_{B1}
 - Eingang B₁ (ohne Sensorbox)
 - Relais $R_1 = 0$
 - Spannungsquelle $S_1 = 1$
- Rechner
- Darstellungen
 - Standard

Spannung U_{B1}

Bereich: -10 V .. 10 V Automatisch

Messwertfassung

Momentanwerte
 gemittelte Werte
 Effektivwerte
 Effektivwerte (AC-Anteil) } über 100 ms

Nullpunkt
 links mittig rechts

Hilfe

Aufnahme: automatisch Neue Messreihe anhängen

Messzeit: 100 ms Anzahl: 100001
Intervall: 1 μ s Pretrigger: 0

Trigger:
 Messbedingung: 1
 Stoppbedingung: 0

Wiederholende Messung Akustisches Signal

Hilfe

Einstellungen

- Sensor-CASSY 2
 - Eingang A₁ (links)
 - Eingang A₁ (ohne Sensorbox)
 - Eingang B₁ (links)
 - Spannung U_{B1}
 - Eingang B₁ (ohne Sensorbox)
 - Relais $R_1 = 0$
 - Spannungsquelle $S_1 = 1$
- Rechner
- Darstellungen
 - Standard
 - $U_{B1}(t)$
 - (t)

Spannung U_{B1}

Bereich: -10 V .. 10 V Automatisch

Messwertfassung

Momentanwerte
 gemittelte Werte
 Effektivwerte
 Effektivwerte (AC-Anteil) } über 100 ms

Nullpunkt
 links mittig rechts

Hilfe

Aufnahme: automatisch Neue Messreihe anhängen

Messzeit: 100 s Anzahl: 1001
Intervall: 100 ms Pretrigger: 0

Trigger:
 Messbedingung: 1
 Stoppbedingung: 0

Wiederholende Messung Akustisches Signal

Hilfe

Einstellungen

- Formel
 - Widerstand $R_{test} = U_{B1}/I_{A1}$
 - Zeitliche Ableitung
 - Zeitliches Integral
 - FFT
 - Mittelwert
 - Histogramm
 - Modellbildung
- Darstellungen
- Standard
 - $I_{A1}(t)$
 - $U_{B1}(t)$
 - $R_{test}(t)$

Formel

Name: Widerstand Symbol: R_{test} Einheit: Ohm
von: 0 Ohm bis: 100 Ohm Dezimalen: 1

$R_{test}(date.time.n.t,IA1,UB1,R_{test}) =$
 $UB1/IA1$

Hilfe

Aufnahme: automatisch Neue Messreihe anhängen

Messzeit: 100 s Anzahl: 1001
Intervall: 100 ms Pretrigger: 0

Trigger: U_{B1} 3.00 V steigend

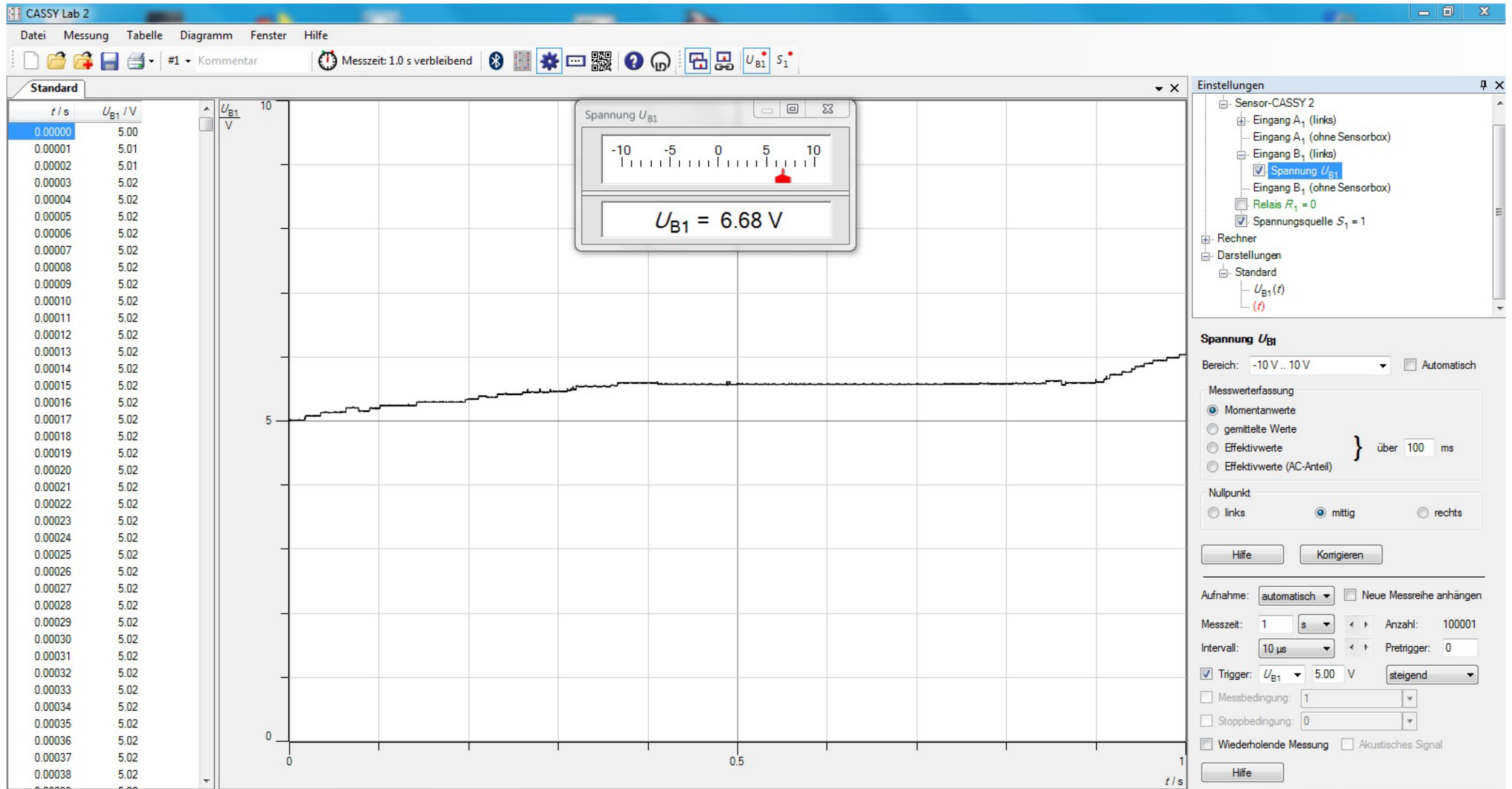
Messbedingung: delta t > 2 = AUS
 Stoppbedingung: 0

Wiederholende Messung Akustisches Signal

Hilfe

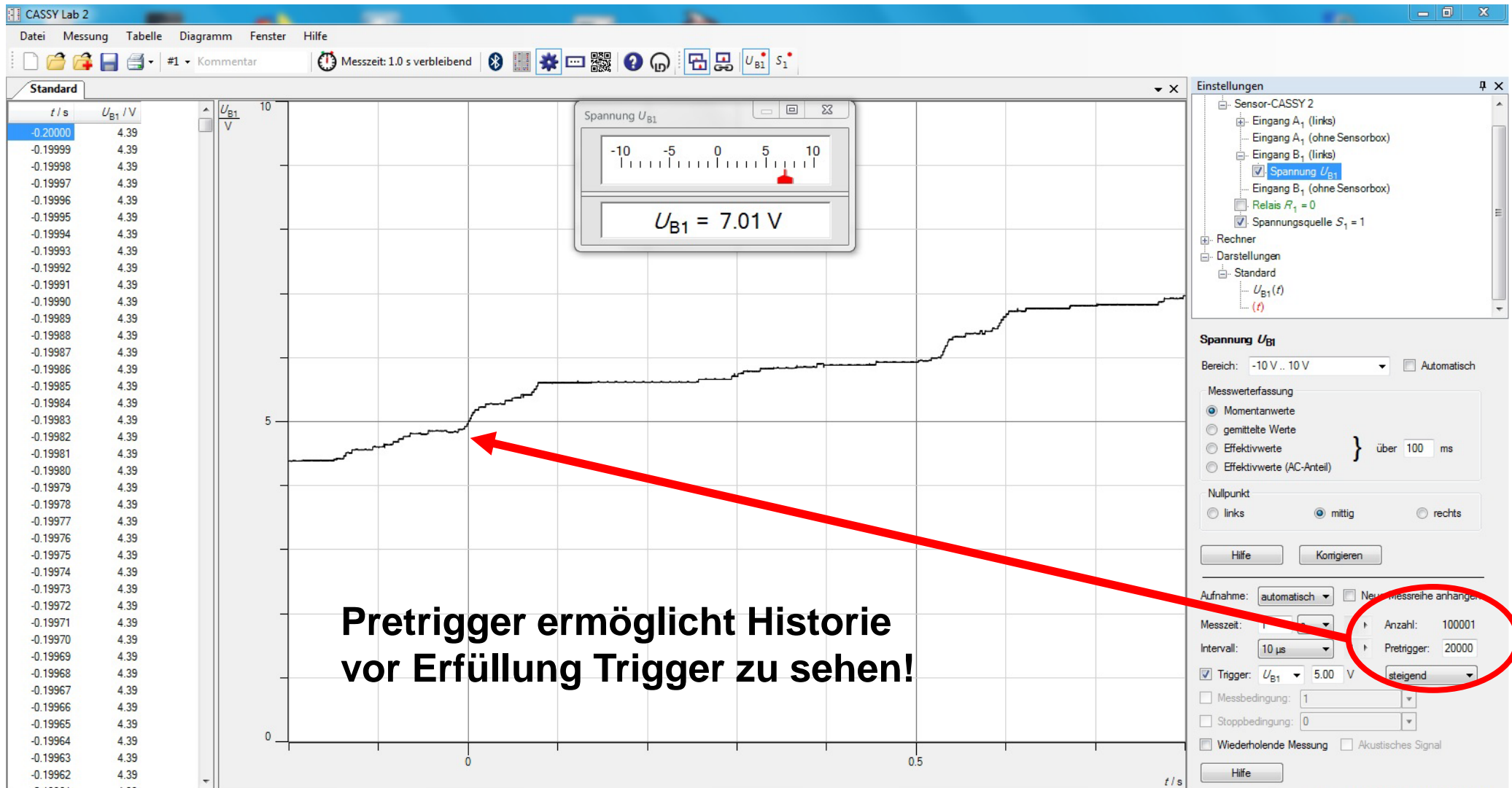
Messintervall und -anzahl, Trigger und Messbedingungen (falls benötigt) einstellen und im Messprotokoll notieren!

Cassy Lab 2, Einstellungen, Messparameter



Messintervall und -anzahl, Trigger und Messbedingungen (falls benötigt) einstellen und im Messprotokoll notieren!

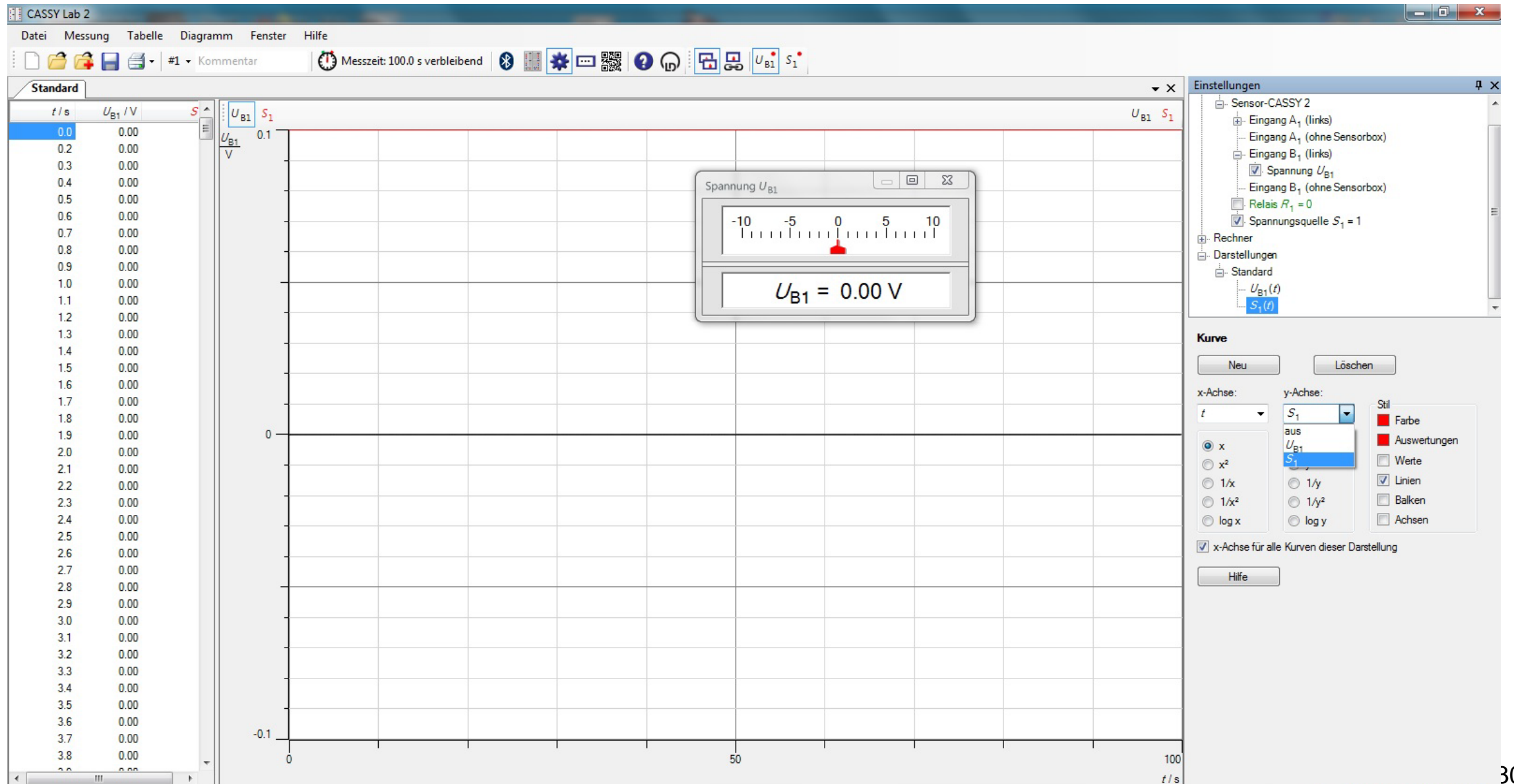
Cassy Lab 2, Einstellungen, Messparameter



Pretrigger ermöglicht Historie vor Erfüllung Trigger zu sehen!

Messintervall und -anzahl, Trigger und Messbedingungen (falls benötigt) einstellen und im Messprotokoll notieren!

Cassy Lab 2, Einstellungen, Darstellungen



Cassy Lab 2, Einstellungen, Parameter/Formel/FFT

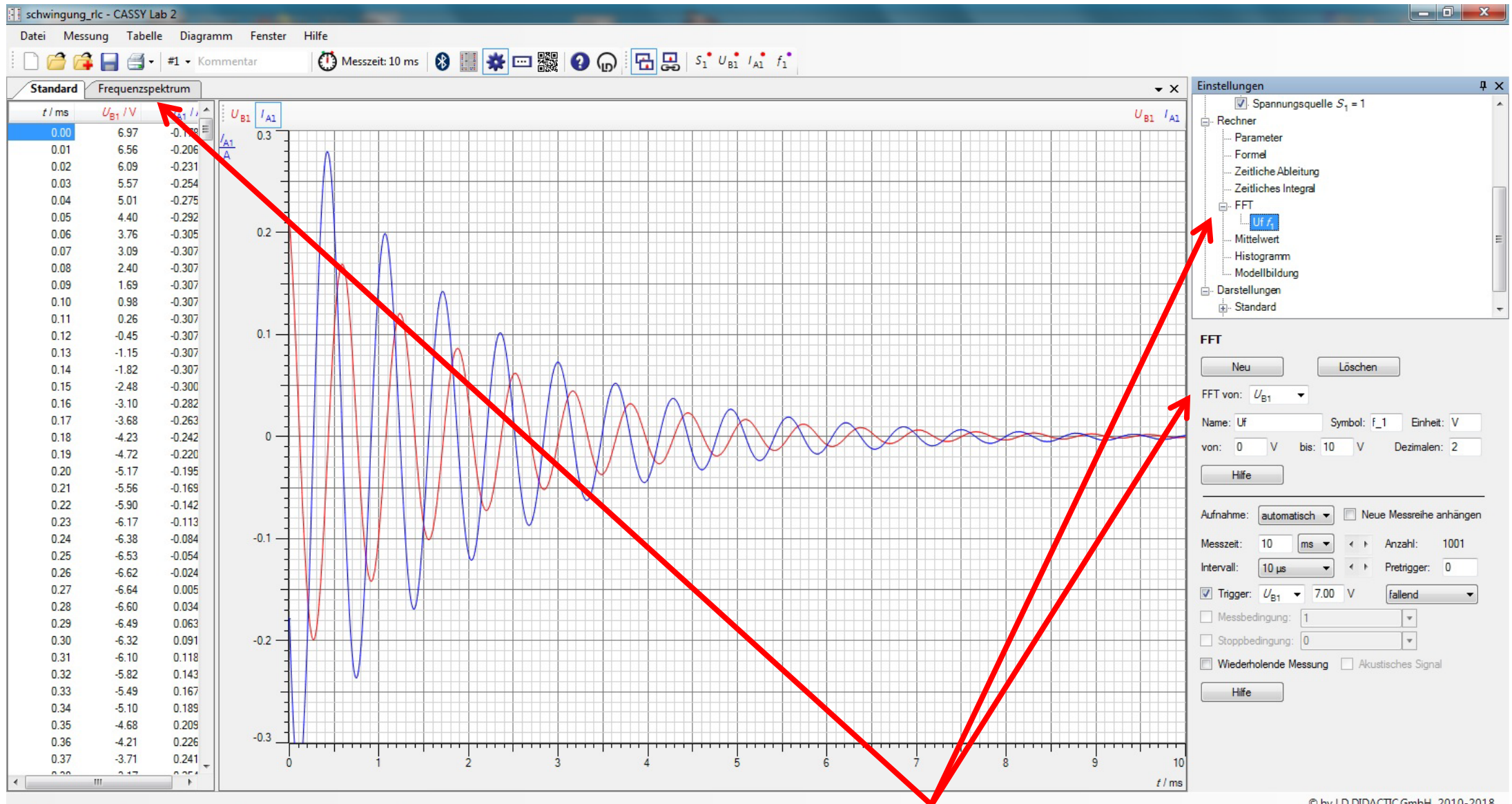
The screenshot displays the Cassy Lab 2 software interface. The main window features a graph with a grid. The x-axis is labeled 't / s' and ranges from 0 to 100. The y-axis is labeled 'Rtest / Ohm' and ranges from 0 to 100. A red arrow points from the origin (0,0) to the 'Rtest' label on the y-axis. Another red arrow points from the origin to the 'Einstellungen' (Settings) panel on the right. A third red arrow points from the origin to the 'Formel' (Formula) section within the settings panel.

The 'Einstellungen' panel on the right contains the following sections:

- Formel**
 - Widerstand $R_{test} = U_{B1} / I_{A1}$
 - Zeitliche Ableitung
 - Zeitliches Integral
 - FFT
 - Mittelwert
 - Histogramm
 - Modellbildung
- Darstellungen**
 - Standard
 - $I_{A1}(t)$
 - $U_{B1}(t)$
 - $R_{test}(t)$
- Formel**
 - Buttons: Neu, Löschen
 - Name: Widerstand, Symbol: Rtest, Einheit: Ohm
 - von: 0 Ohm bis: 100 Ohm, Dezimalen: 1
 - Formel: $R_{test}(date,time,n,t,I_{A1},U_{B1},R_{test}) = U_{B1}/I_{A1}$
 - Buttons: Hilfe
 - Aufnahme: automatisch, Neue Messreihe anhängen
 - Messzeit: 100 s, Anzahl: 1001
 - Intervall: 100 ms, Pretrigger: 0
 - Trigger: U_{B1} , 3.00 V, steigend
 - Messbedingung: $\Delta t > 2$ = AUS
 - Stoppbedingung: 0
 - Wiederholende Messung Akustisches Signal
 - Buttons: Hilfe

Konstante oder Parameter oder Formel oder FFT: Definition einer neuen Größe

Cassy Lab 2, Einstellungen, Parameter/Formel/FFT



Konstante oder Parameter oder Formel oder FFT: Definition einer neuen Größe 32

Cassy Lab 2, Einstellungen, Parameter/Formel/FFT

The screenshot displays the Cassy Lab 2 software interface. The main window shows a frequency spectrum plot with a peak at approximately 1.5 kHz. The y-axis represents the amplitude f_1/V and the x-axis represents frequency f/kHz . A table on the left lists the data points for the spectrum.

f / kHz	f ₁ / V
0.0	0.03
0.1	0.04
0.2	0.03
0.3	0.02
0.4	0.03
0.5	0.03
0.6	0.03
0.7	0.04
0.8	0.04
0.9	0.05
1.0	0.06
1.1	0.08
1.2	0.11
1.3	0.19
1.4	0.53
1.5	1.10
1.6	1.31
1.7	1.03
1.8	0.47
1.9	0.18
2.0	0.11
2.1	0.08
2.1	0.07
2.2	0.06
2.3	0.05
2.4	0.05
2.5	0.04
2.6	0.04
2.7	0.03
2.8	0.03
2.9	0.03
3.0	0.03
3.1	0.03
3.2	0.03
3.3	0.02
3.4	0.02
3.5	0.02
3.6	0.02
3.7	0.02

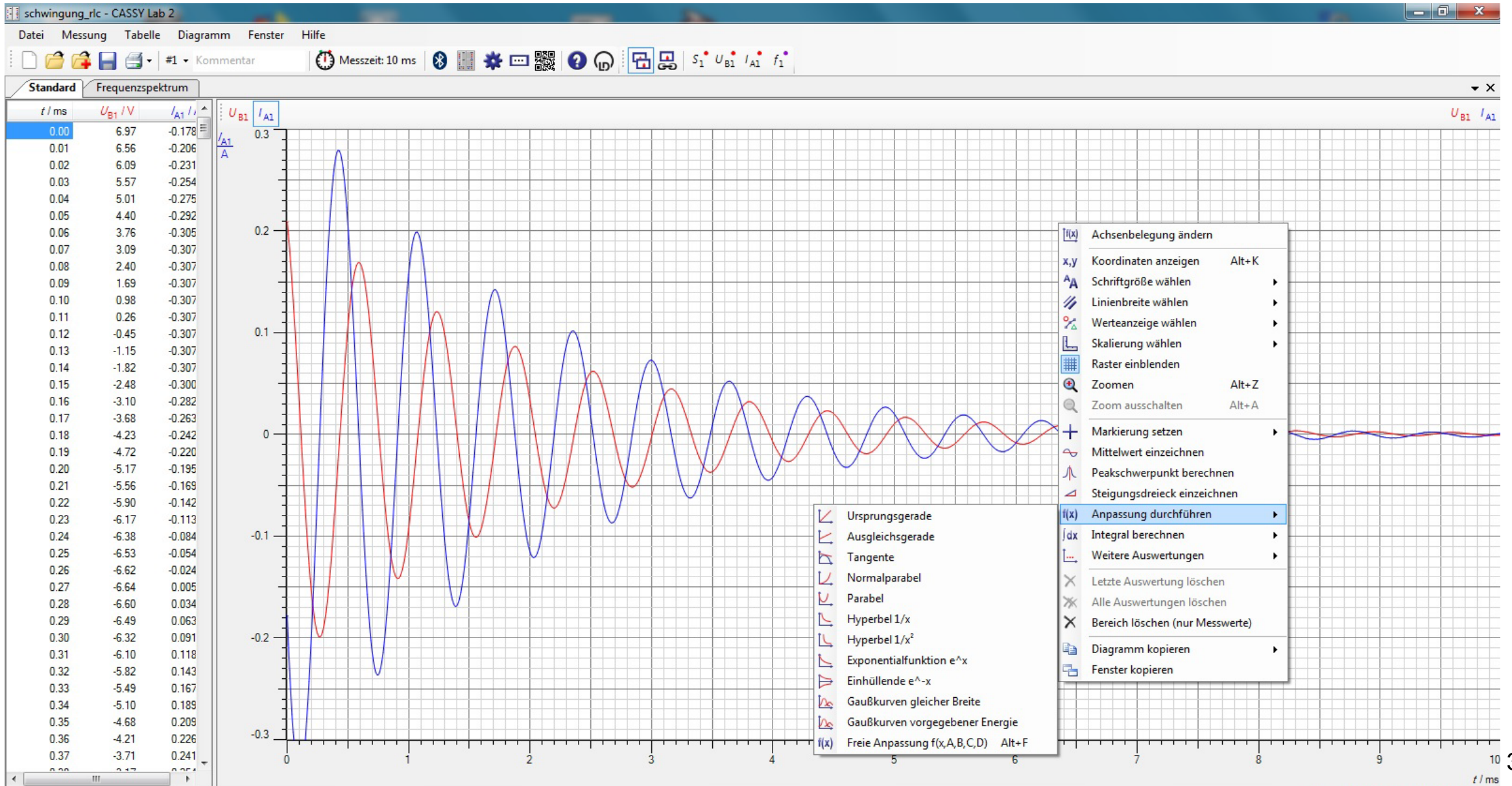
The right-hand side of the interface shows the 'Einstellungen' (Settings) panel. The 'FFT' section is active, with the following configuration:

- FFT von: U_{B1}
- Name: Uf
- Symbol: f_1
- Einheit: V
- von: 0 V bis: 10 V
- Dezimalen: 2
- Aufnahme: automatisch
- Messzeit: 10 ms
- Anzahl: 1001
- Intervall: 10 μ s
- Trigger: U_{B1} 7.00 V fallend

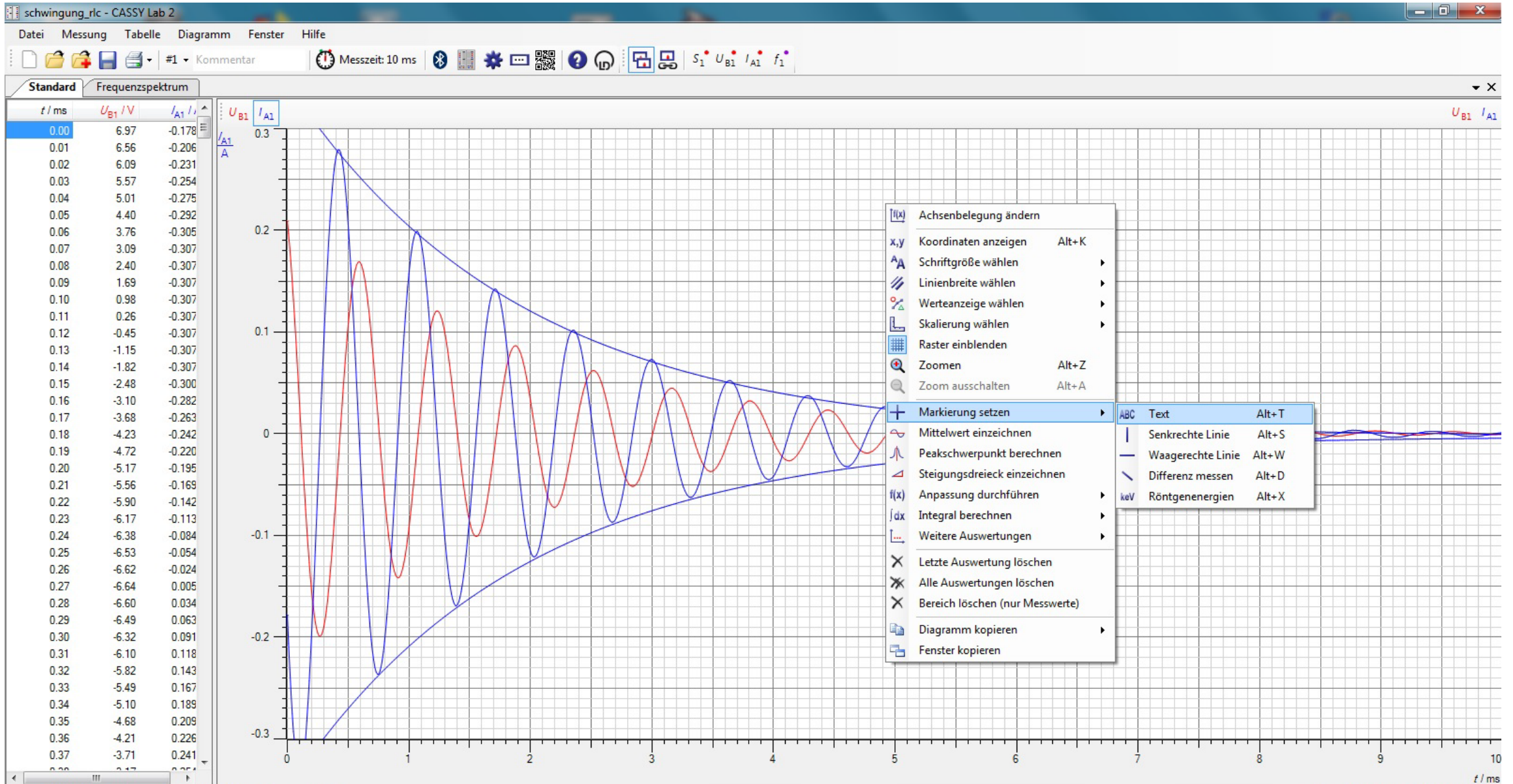
© by LD DIDACTIC GmbH, 2010-2018

Konstante oder Parameter oder Formel oder FFT: Definition einer neuen Größe

Cassy Lab 2, Anpassungen



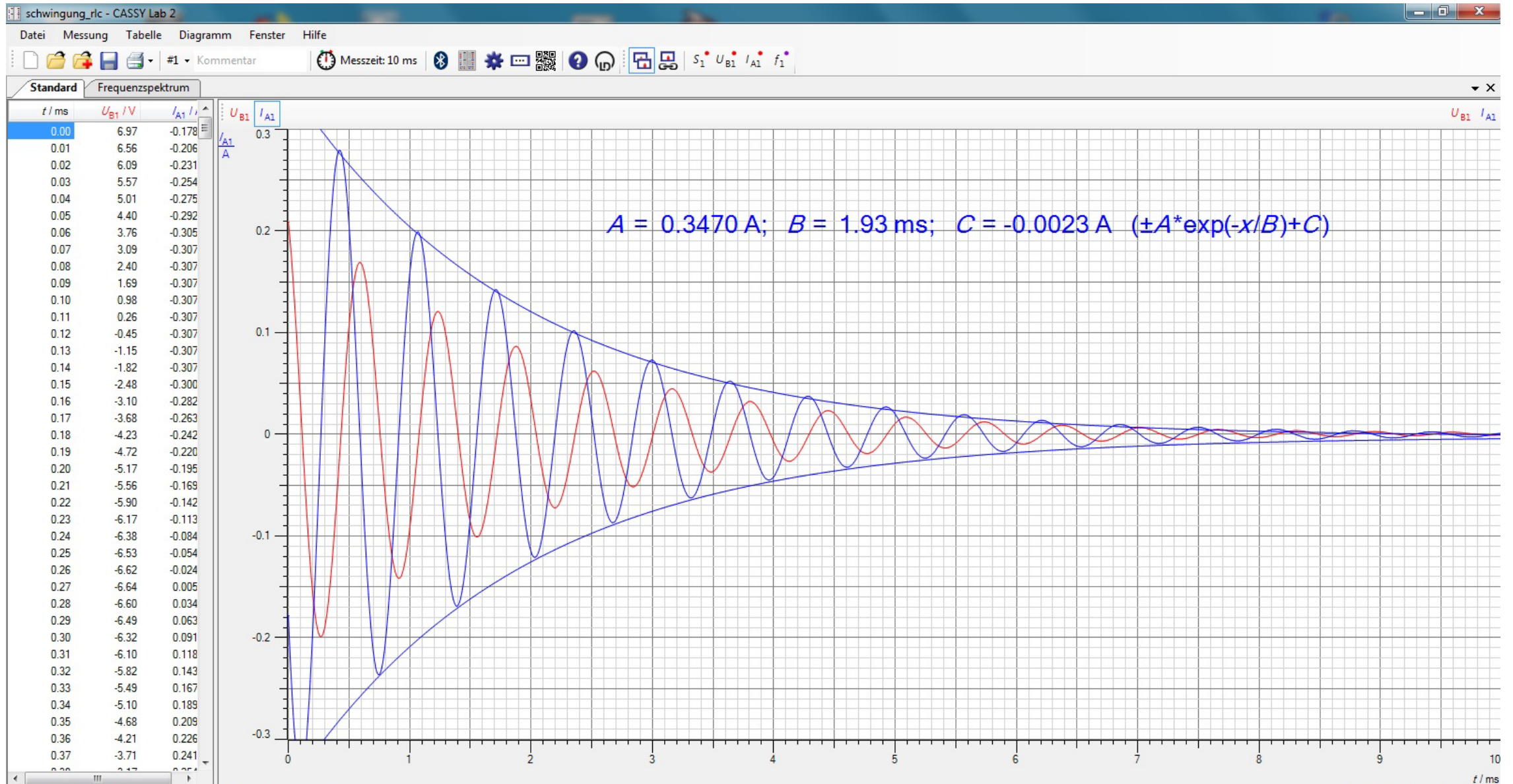
Cassy Lab 2, Anpassungen



A = 0.3470 A; B = 1.93 ms; C = -0.0023 A ($\pm A \cdot \exp(-x/B) + C$)

© by LD DIDACTIC GmbH, 2010-2018

Cassy Lab 2, Anpassungen



Cassy Lab 2

Messung starten/stoppen (F9)

Anzeigefenster ein bzw. ausschalten

The screenshot shows the Cassy Lab 2 software interface. At the top, there is a menu bar with 'Datei', 'Messung', 'Tabelle', 'Diagramm', 'Fenster', and 'Hilfe'. Below the menu bar is a toolbar with icons for file operations, measurement control, and settings. The main window is divided into several sections:

- Left Panel:** A table titled 'standard' with columns 't / ms' and 'U_{B1} / V'. It contains a list of time values from 0.000 to 0.038 and corresponding voltage values, mostly 0.00.
- Center Panel:** A graph showing a signal trace for 'U_{B1} / V' over time. The y-axis ranges from -0.1 to 0.1, and the x-axis ranges from 0 to 100 ms. A small window titled 'Spannung U_{B1}' is overlaid on the graph, showing a scale from -10 to 10 and a current reading of 'U_{B1} = 0.00 V'.
- Right Panel:** An 'Einstellungen' (Settings) window with a tree view on the left showing a hierarchy of sensors and relays. The 'Spannung U_{B1}' settings are expanded, showing options for 'Bereich' (-10 V .. 10 V), 'Messwertaufzeichnung' (Momentanwerte, gemittelte Werte, Effektivwerte), 'Nullpunkt' (links, mittig, rechts), and 'Aufnahme' (automatisch). Other settings include 'Messzeit' (100 ms), 'Intervall' (1 µs), and 'Anzahl' (100001).

Red arrows point from text boxes to specific elements in the interface:

- From 'Messung starten/stoppen (F9)' to the measurement control icon in the toolbar.
- From 'Anzeigefenster ein bzw. ausschalten' to the 'U_{B1}' and 'S₁' icons in the toolbar.
- From 'Einstellungen (F5)' to the settings gear icon in the toolbar.
- From 'Anzeigefenster für Messwerte' to the 'Spannung U_{B1}' window.
- From 'Messungen abspeichern und Dateinamen notieren!' to the 'Datei' menu.
- From 'Messwerttabelle' to the table on the left.
- From 'Diagramme, In Diagramm mit Mausklick öffnet Fenster für Anpassungen etc.' to the graph area.
- From 'Einstellungsfenster' to the settings window.

F2: Dateien speichern
F3: Dateien laden
F4: Daten löschen

Anzeigefenster für Messwerte

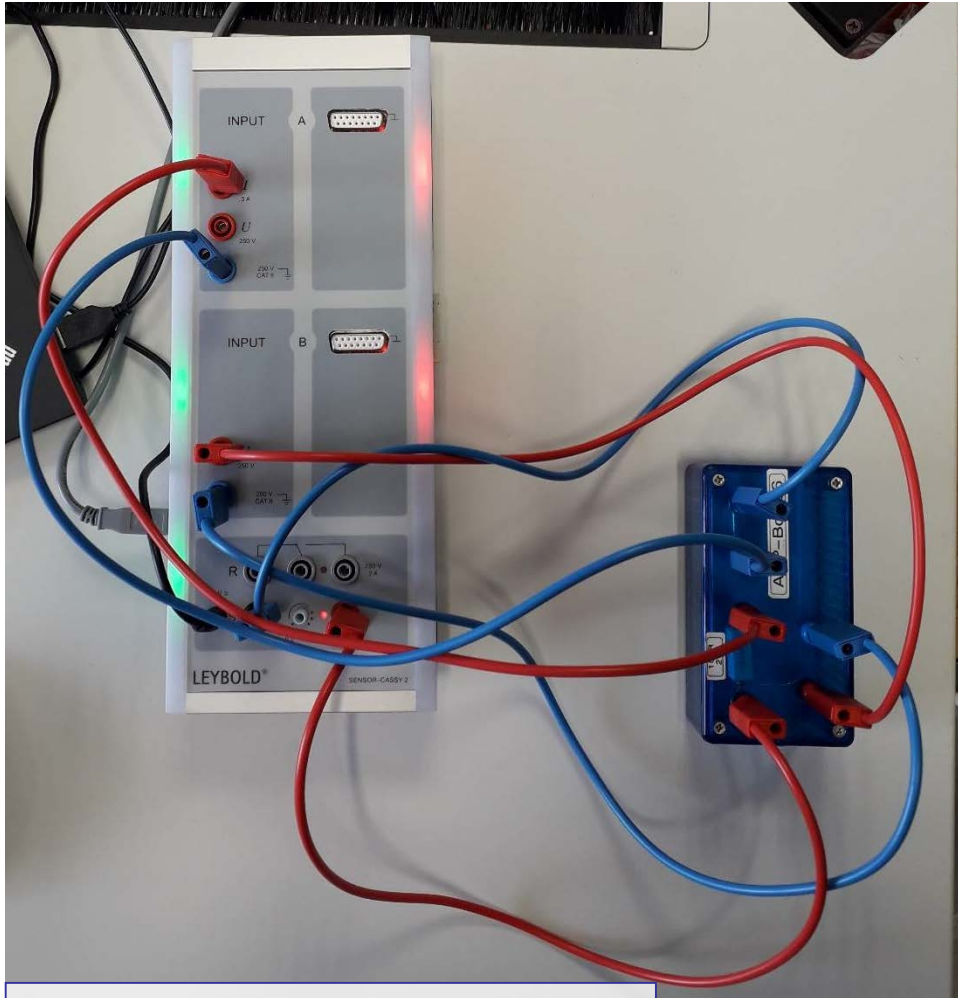
Messungen abspeichern und Dateinamen notieren!

Messwerttabelle

Diagramme,
In Diagramm mit Mausklick öffnet
Fenster für Anpassungen etc.

Einstellungsfenster

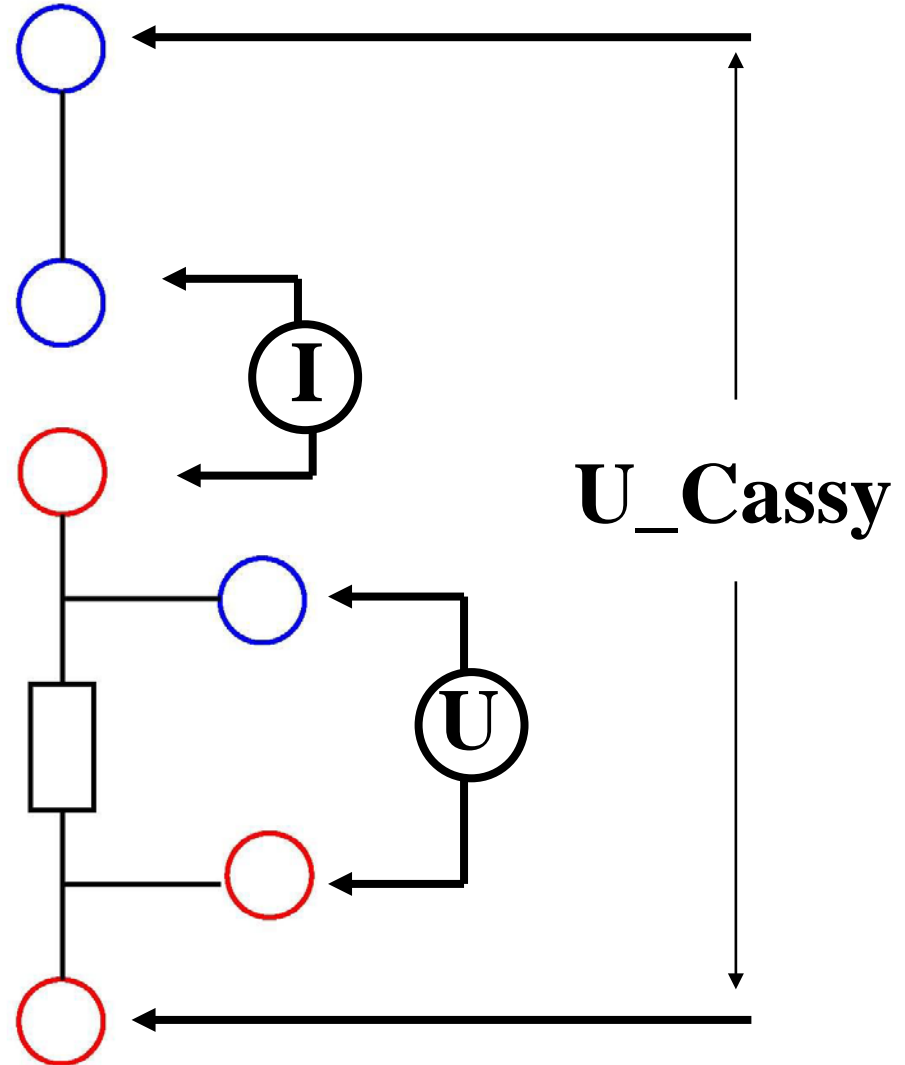
Cassy Lab 2, 2.Übung



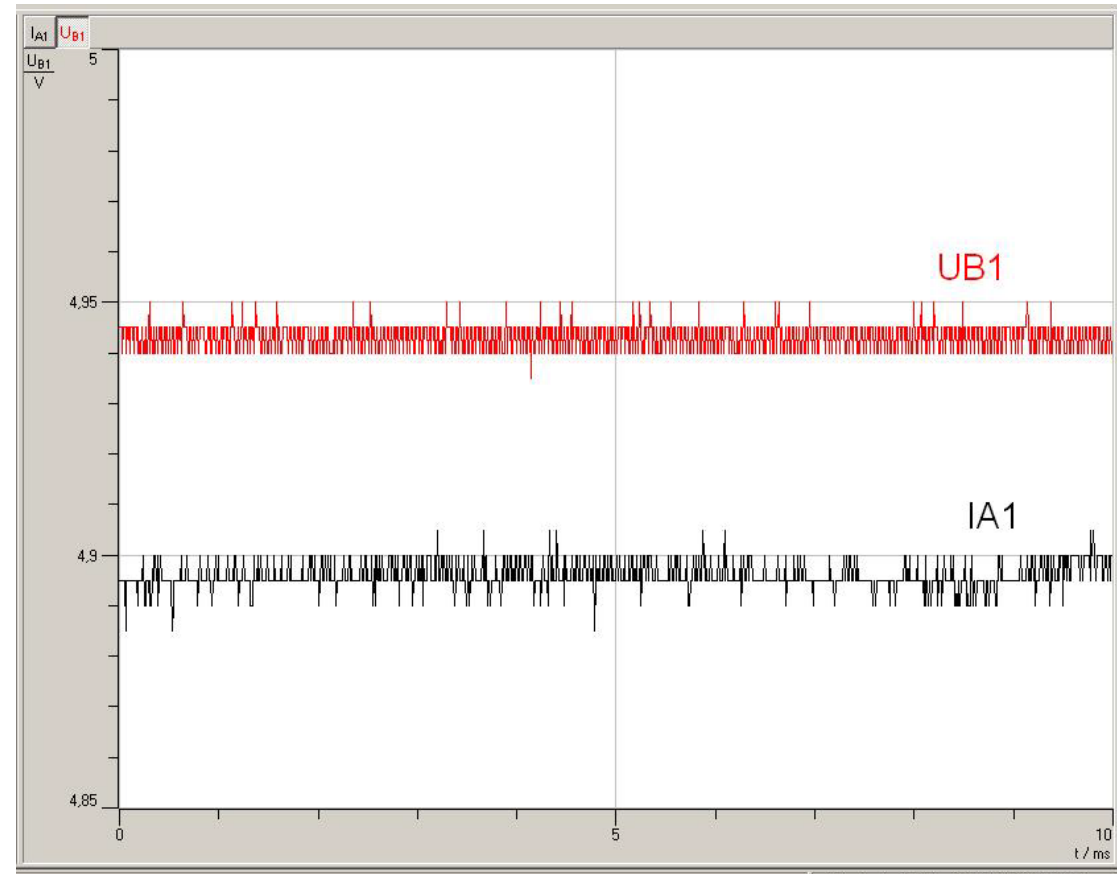
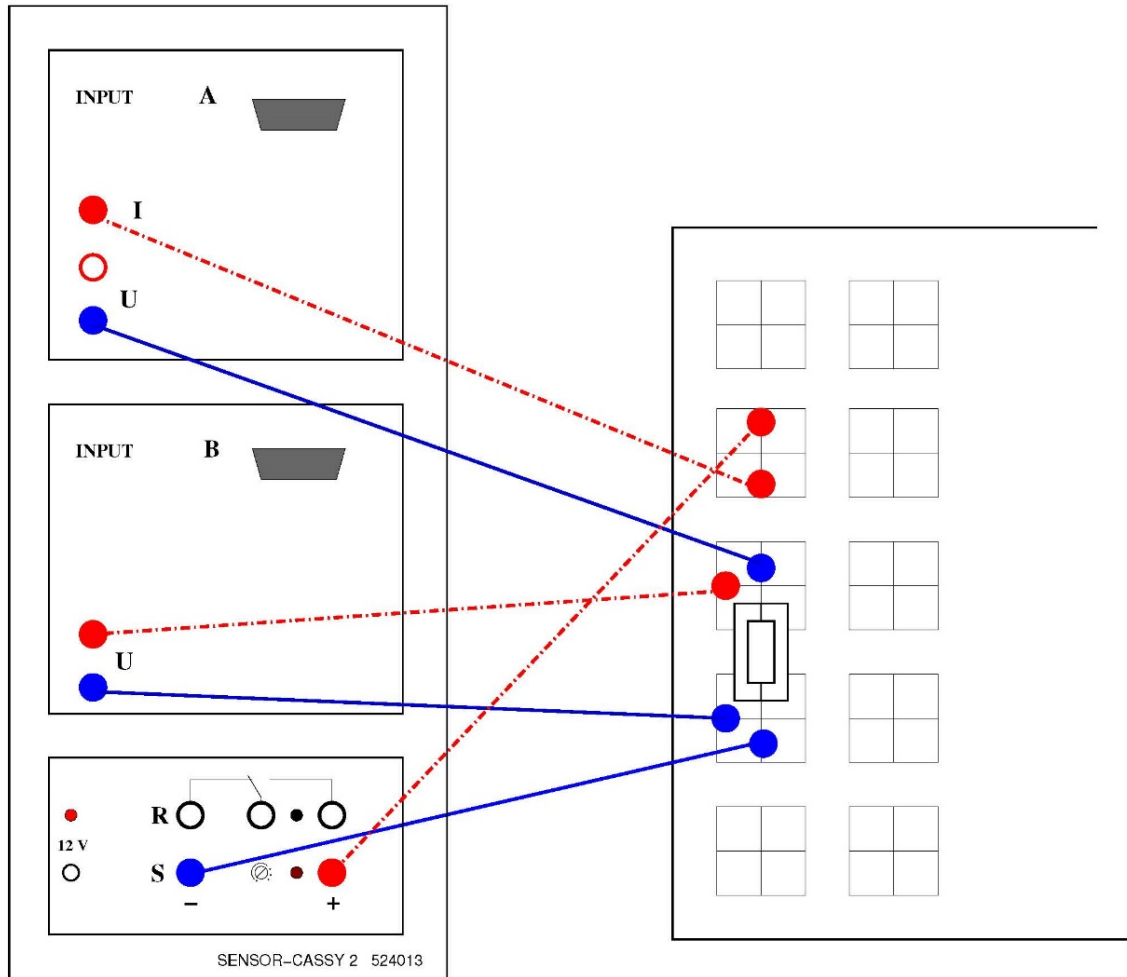
Messbereich:

$$I_{A1} = -0.1 \text{ A bis } 0.1 \text{ A}$$

$$U_{B1} = -10 \text{ V bis } 10 \text{ V}$$



Sensor Cassy 2 Interface, Messungengenauigkeiten

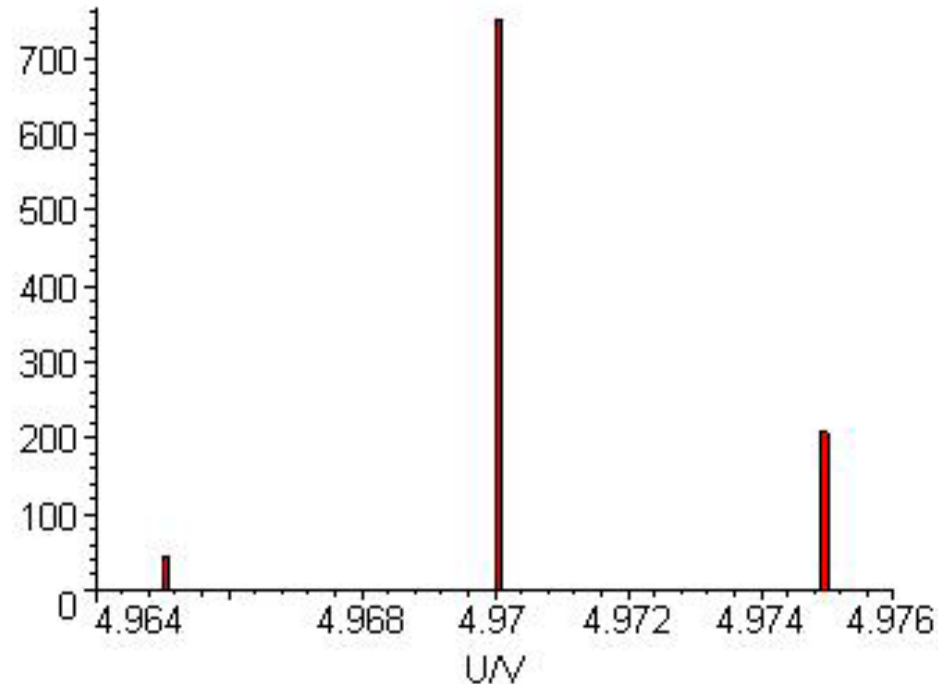


Messaufbau: $R=100\Omega$

Angelegte Spannung: $U=5V$

Im Kreis fließender Strom: $I=0,05A$

Sensor-Cassy 2 Interface, statistische Messungsgenauigkeit?



Messbereich: ± 10 V

$$\langle \mathbf{x} \rangle = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \mathbf{x}_i = 4.971 \text{ V}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\mathbf{x}_i - \langle \mathbf{x} \rangle)^2}{n-1}} = 2.4 \text{ mV}$$

= (MU Einzelmessung)

$$\sigma_{\langle \mathbf{x} \rangle} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = 0,07 \text{ mV}$$

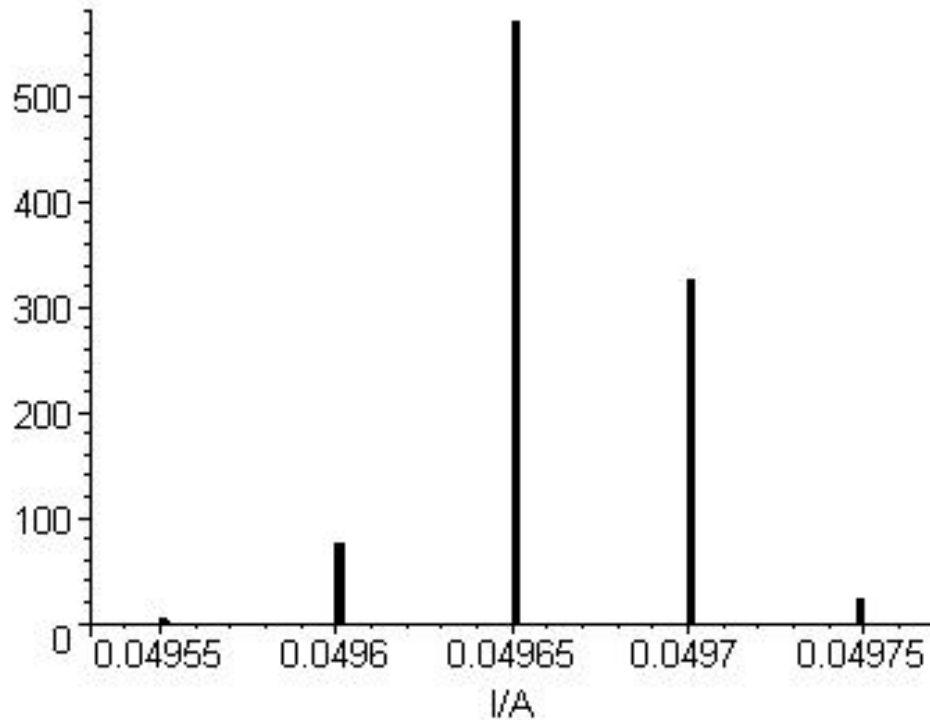
Digitale Auflösung: 12 bit = 4096 ,

d.h. kleinste Skaleneinheit in dem Messbereich: $U_{\min} = 5$ mV

Annahme der Gleichverteilung: $U_{\min}/\sqrt{12} \rightarrow$ „Fehler“ = 1.4 mV \neq gesamte stat. MU

MU durch Messung bestimmen!

Sensor-Cassy 2 Interface, statistische Messungsgenauigkeit?



Messbereich: $\pm 0,1\text{A}$

$$\langle \mathbf{x} \rangle = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \mathbf{x}_i = 49,66 \text{ mA}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\mathbf{x}_i - \langle \mathbf{x} \rangle)^2}{n-1}} = 0,03 \text{ mA}$$

= (MU Einzelmessung)

$$\sigma_{\langle \mathbf{x} \rangle} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = 0,0009 \text{ mA}$$

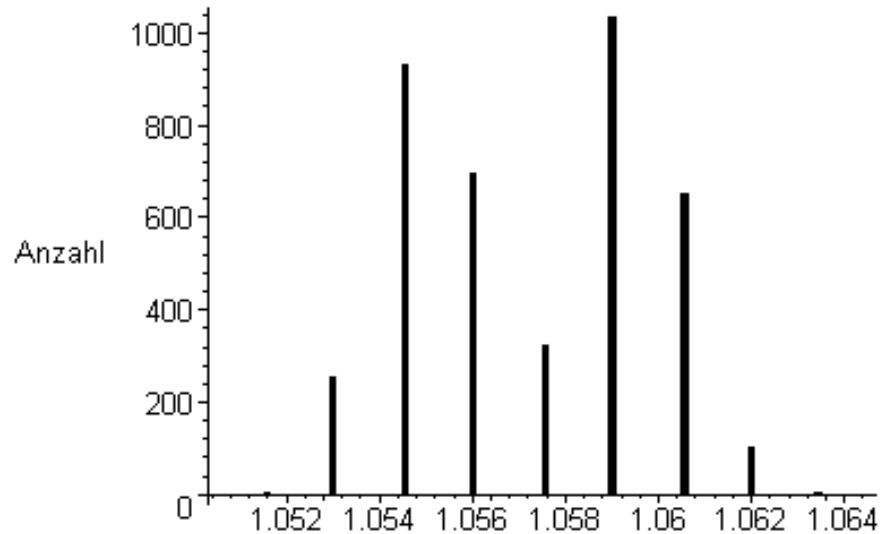
Digitale Auflösung: 12 bit = 4096 ,

d.h. kleinste Skaleneinheit in dem Messbereich: $I_{\text{min}} = 0,05 \text{ mA}$

Annahme der Gleichverteilung: $I_{\text{min}}/\sqrt{12} \rightarrow$ „Fehler“ = $0,014 \text{ mA} \neq$ gesamte stat. MU

MU durch Messung bestimmen!

Sensor-Cassy 2 Interface, stat. & system. Messungenauigkeit (4SC)



Messbereich: ± 3 V

Mean = (1.0572 ± 0.00004) V

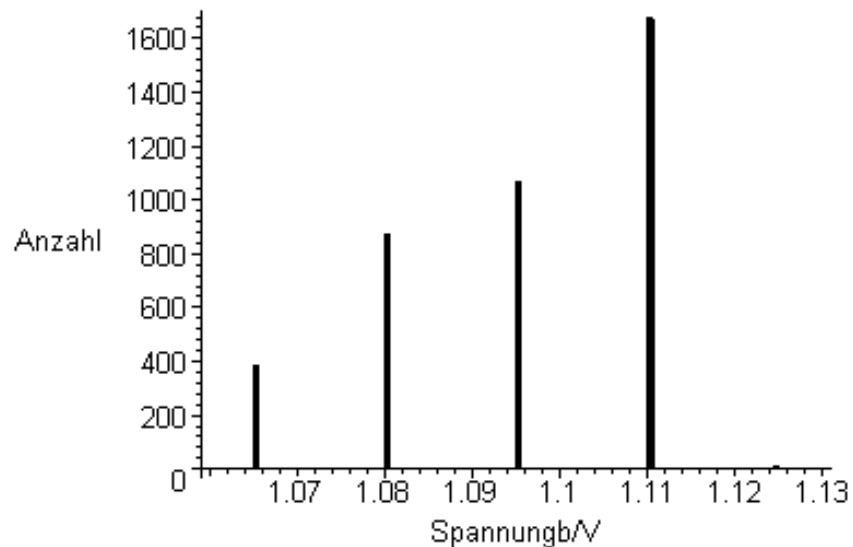
RMS = 2,5 mV

→ relativer Fehler: 2,4‰

Digitale Auflösung: 12 bit = 4096

→ $U_{\min} = 1,5$ mV → $U_{\min}/\sqrt{12}$

→ „Fehler“ = 0,4 mV



Messbereich: ± 30 V

Mean = (1.095 ± 0.0000003) V

RMS = 15.2 mV

→ relativer Fehler: 1.4 %

Digitale Auflösung: 12 bit = 4096

→ $U_{\min} = 15$ mV → $U_{\min}/\sqrt{12}$

→ „Fehler“ = 4.3 mV

MU durch Messung bestimmen!

Sensor-Cassy 2 Interface, stat. & system. Messungenauigkeiten

Quellen für Messungenauigkeiten:

- Ableseunsicherheit, kleinste Skaleneinheit (Digitalisierung)
- Elektronisches Rauschen (weißes Rauschen → Gauß´förmig)
- Systematische Messunsicherheiten:
 $a \cdot X_i + b \cdot X_{BE}$

X_i : momentan eingestellter Wert; X_{BE} : Messbereichs-Endwert

Spannungsmessung: $a = 1\%$, $b = 0,5\%$, Strommessung: $a = 2\%$, $b = 0,5\%$

Beispiel: eingestellte Spannung 2V, Messbereich $\pm 100V$

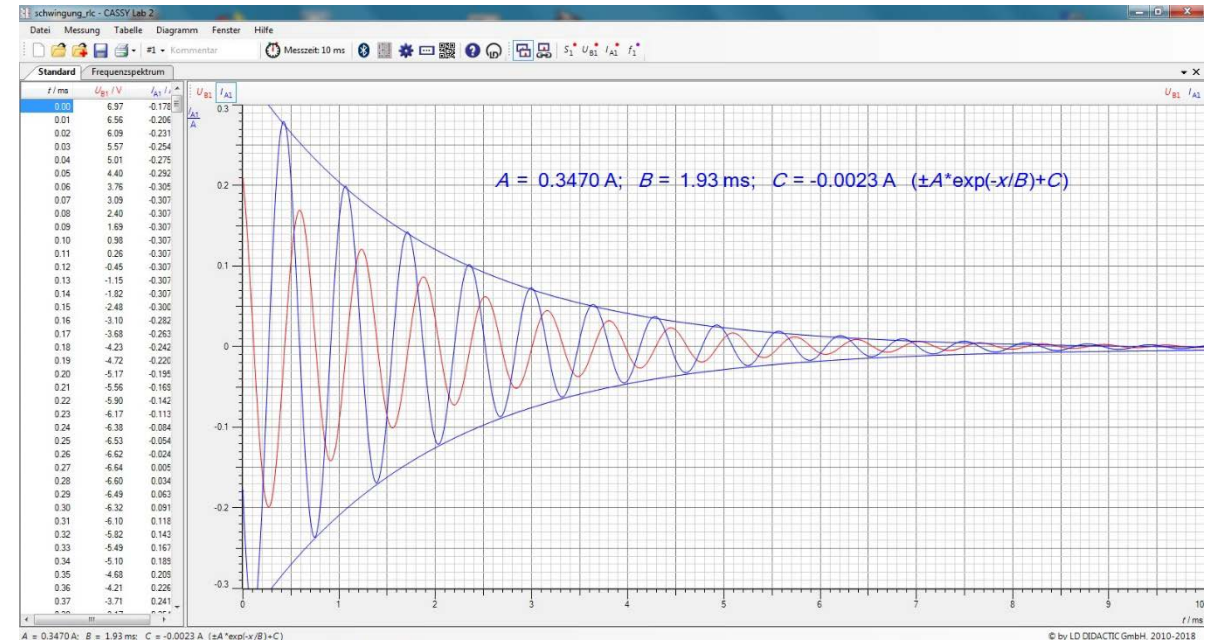
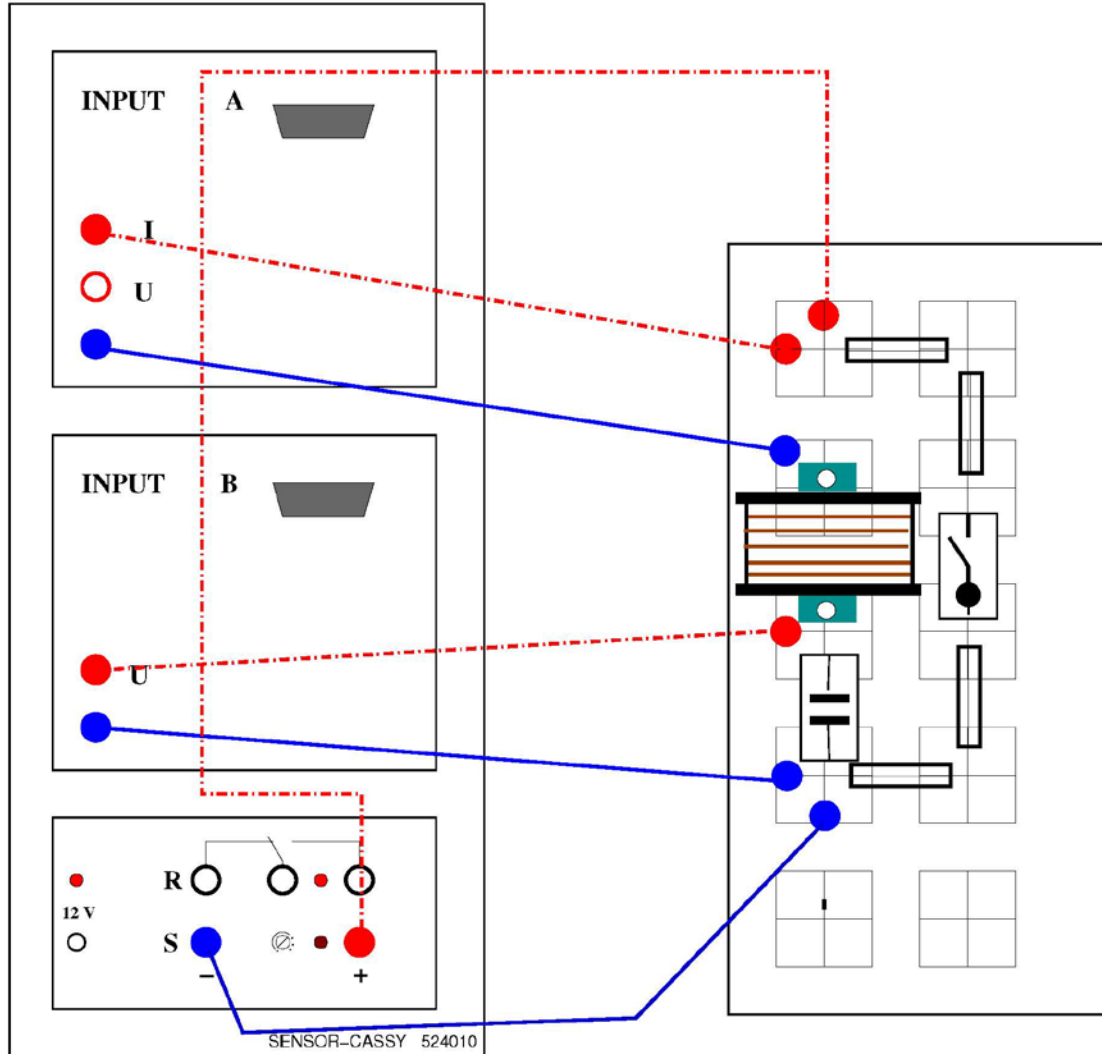
$$U_{sys} : (0,01 \cdot 2 + 0,005 \cdot 100) V = 0,52 V$$

Annahme einer Gleichverteilung: $\sigma_{U_{sys}} = U_{sys} / \sqrt{3} = 0,3 V$

Relativer Fehler: $\sigma_{U_{sys}} / U_i = 15 \% !$

Sinnvoller Messbereich vorher überlegen und MU durch Messung bestimmen!

Signaldigitalisierung, Beispiel gedämpfter Schwingkreis



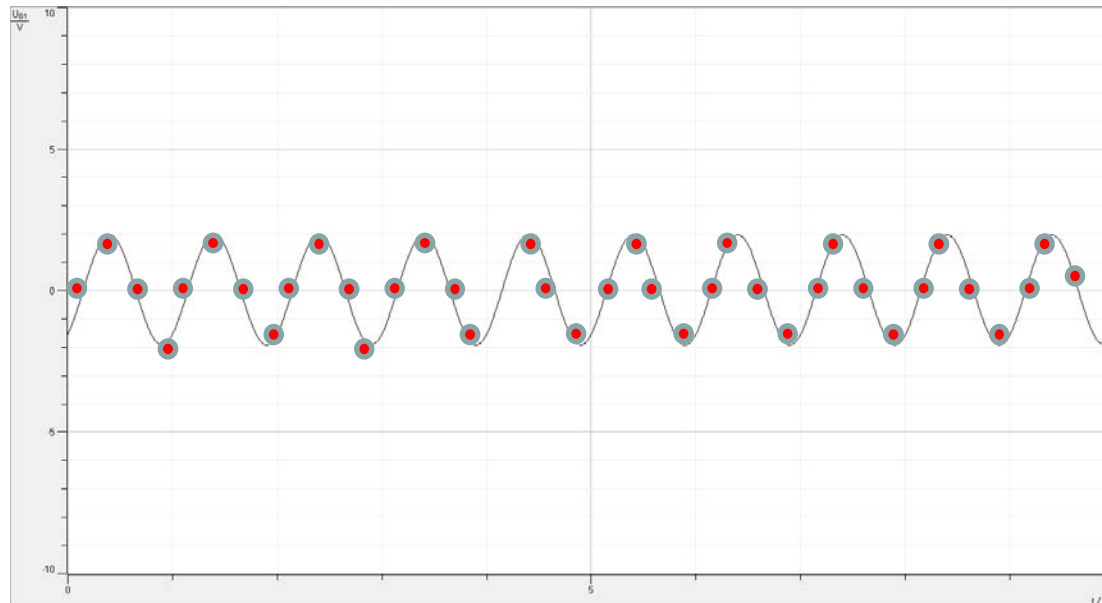
Signaldigitalisierung

Umwandlung analog \rightarrow digital nicht kontinuierlich, sondern zu diskreten, periodisch angeordneten Zeitpunkten (**Abtastpunkte** bzw. **sampling points**).

Häufigkeit der Signalabtastung durch Abtastrate oder Abtastfrequenz $f_{\text{Abtastung}}$ vorgegeben (Kehrwert ist Abtastintervall $T_{\text{abtastung}}$).

Je höher $f_{\text{Abtastung}}$, desto präziser kann zeitlicher Verlauf eines Eingangssignals dargestellt werden. Die höchstmögliche Abtastfrequenz $f_{\text{Abtastung}}$ bestimmt nach dem Nyquist Shannon Theorem gleichzeitig die maximale Frequenz f_{Signal} eines noch erfassbaren harmonischen Eingangssignals.

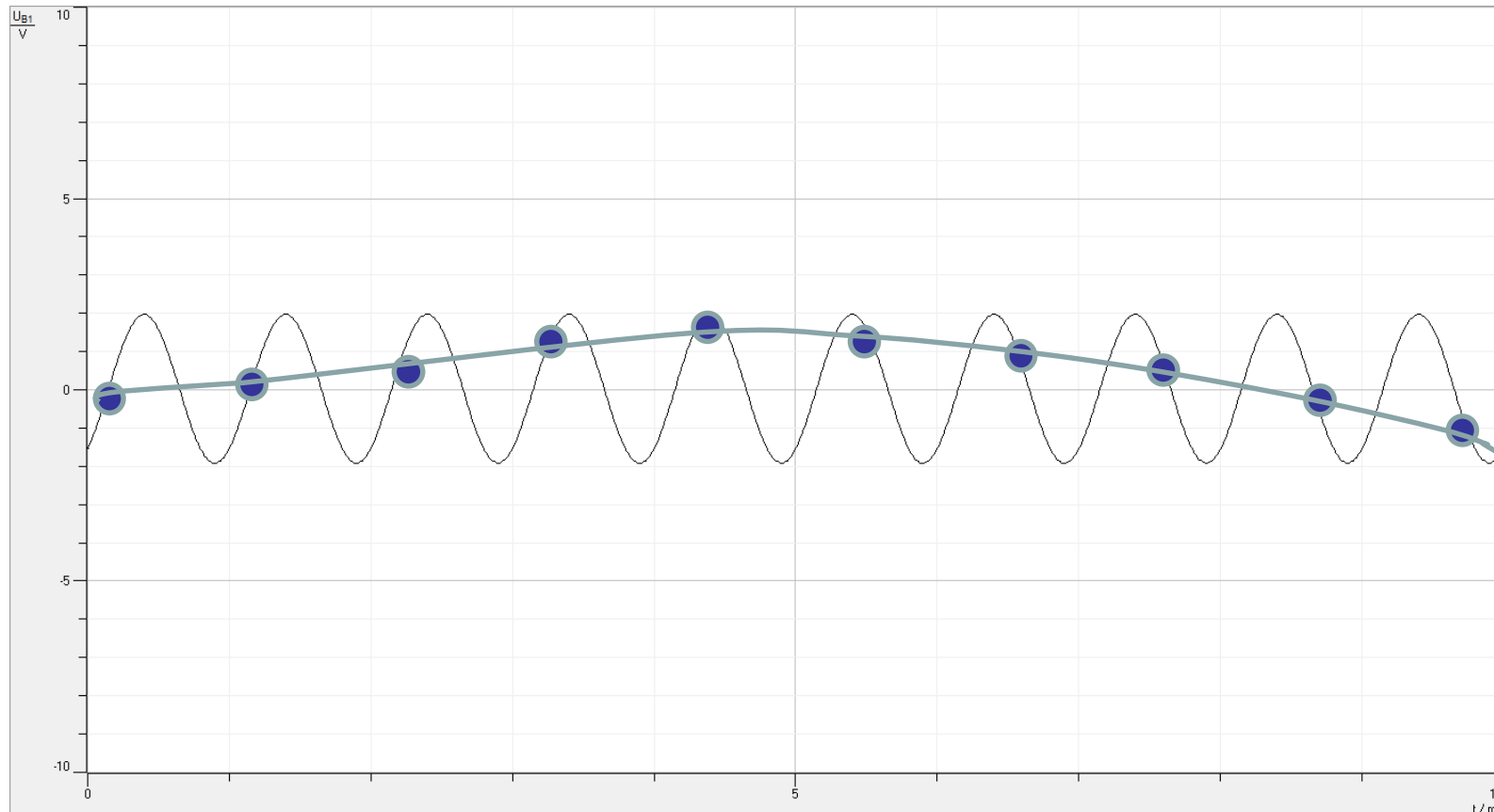
$$f_{\text{Abtastung}} > 2 \cdot f_{\text{Signal}}$$



Signaldigitalisierung

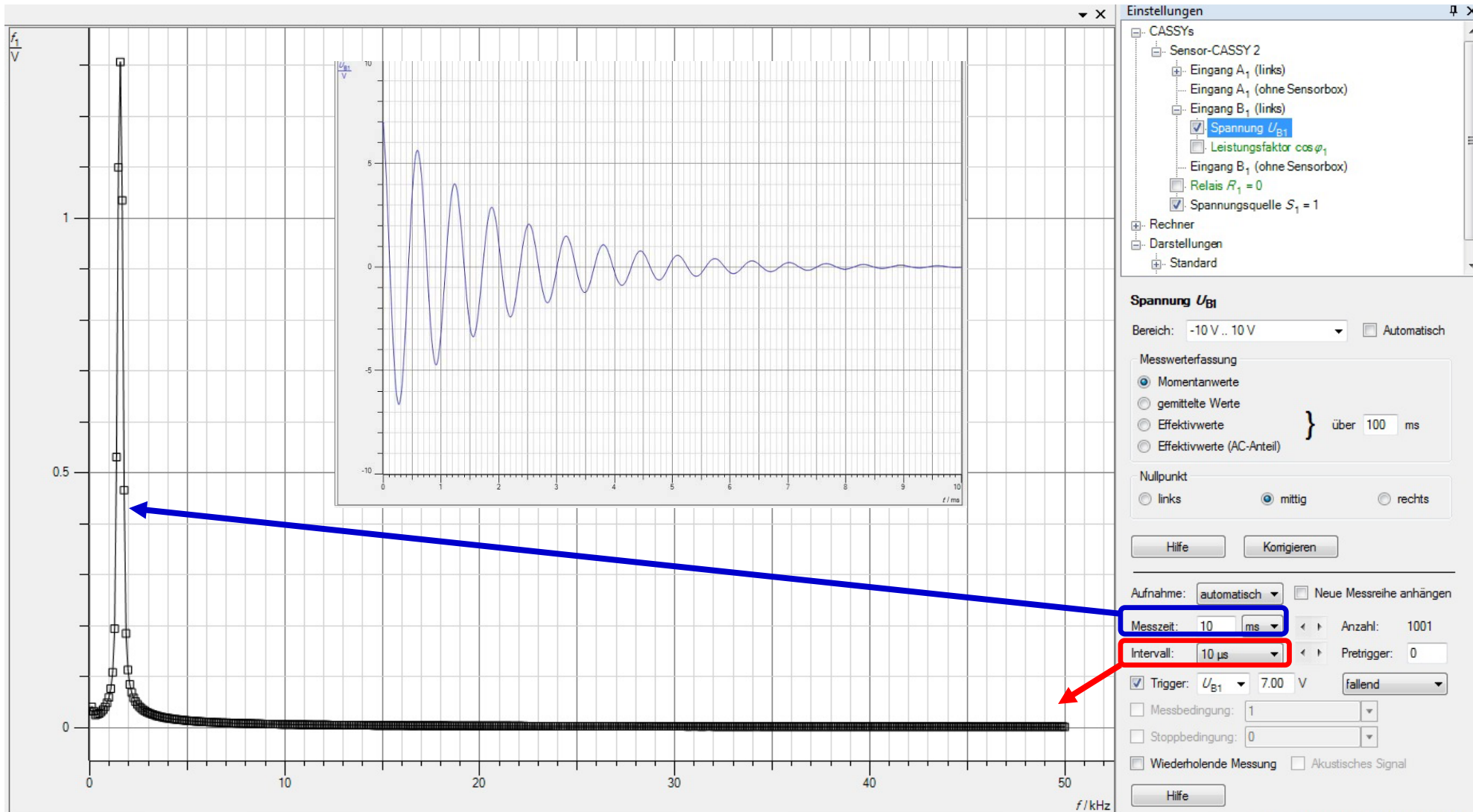
Nyquist Shannon Theorem $f_{\text{Abtastung}} > 2 \cdot f_{\text{Signal}}$

hier nicht erfüllt ($T_{\text{abtastung}} = T_{\text{signal}}$)

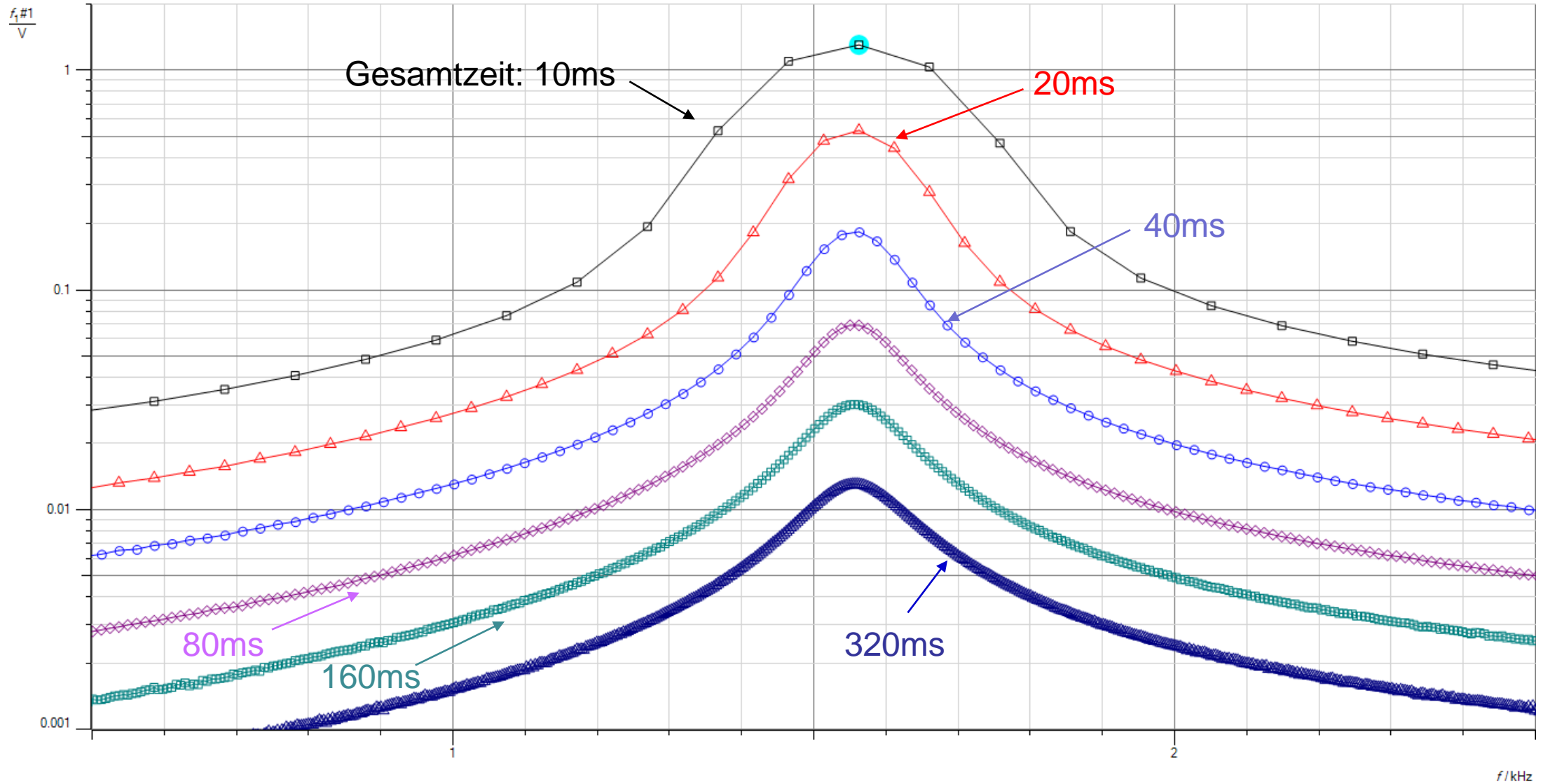


Frequenzbereich und Abtastung CASSY 2 FFT

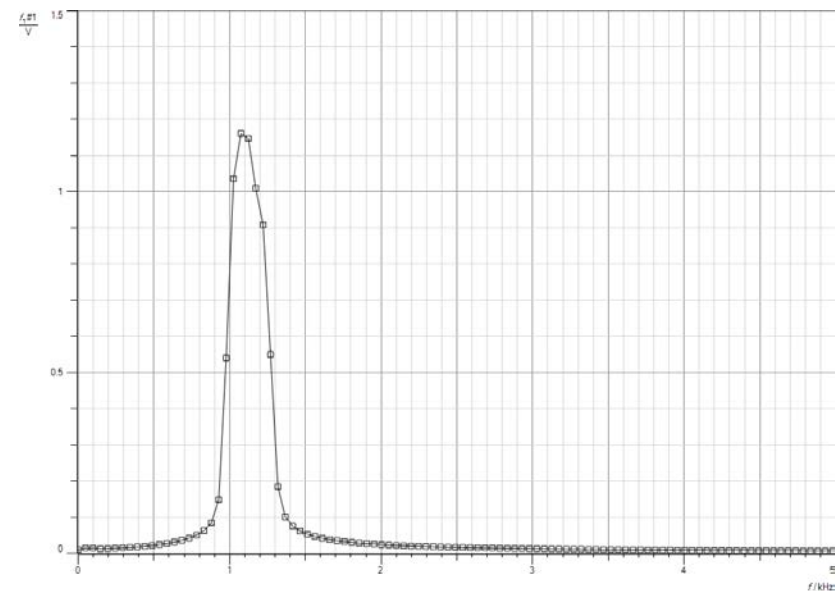
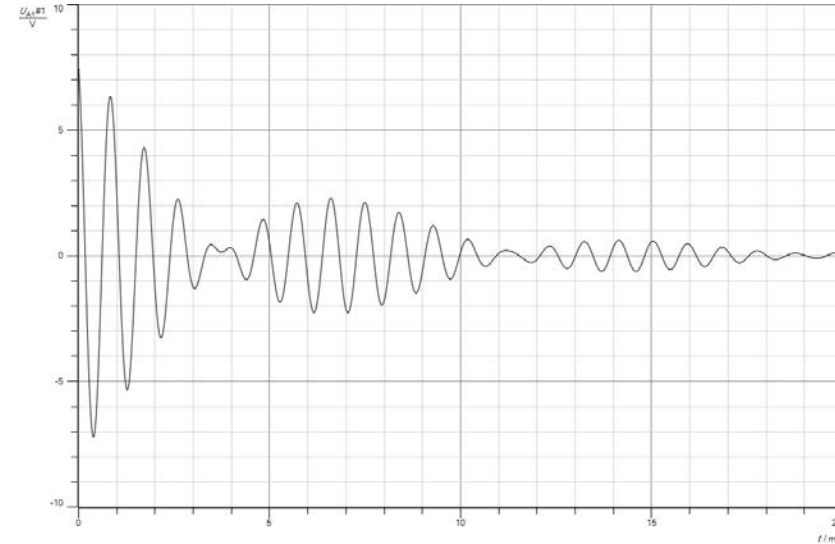
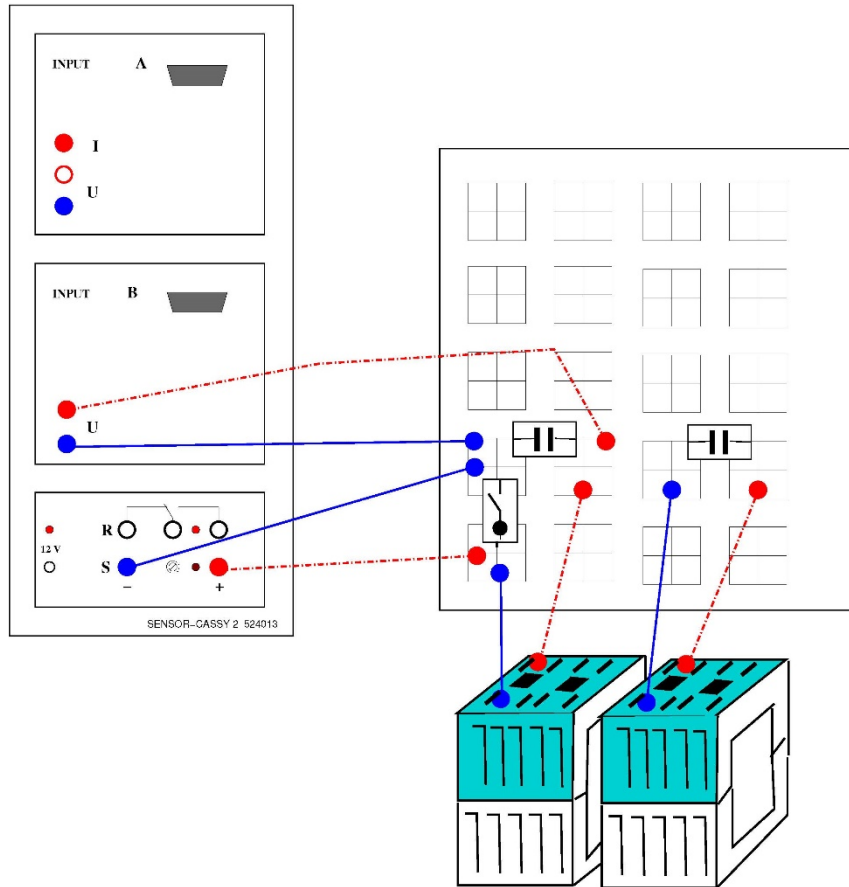
Messzeit Intervall gibt maximale Frequenz /2 vor
Gesamt-Messzeit gibt Abtastung vor



Frequenzbereich und Abtastung, CASSY 2 FFT

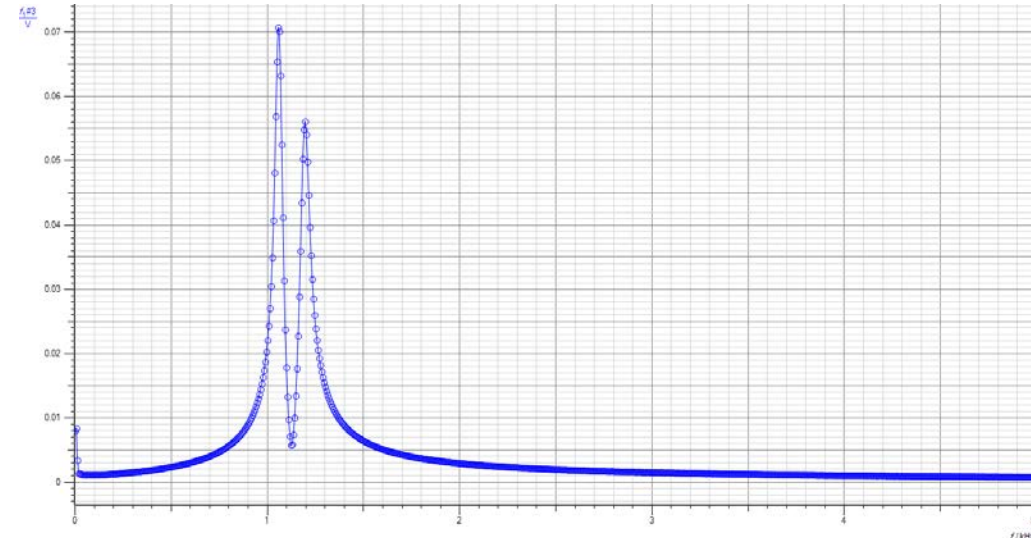
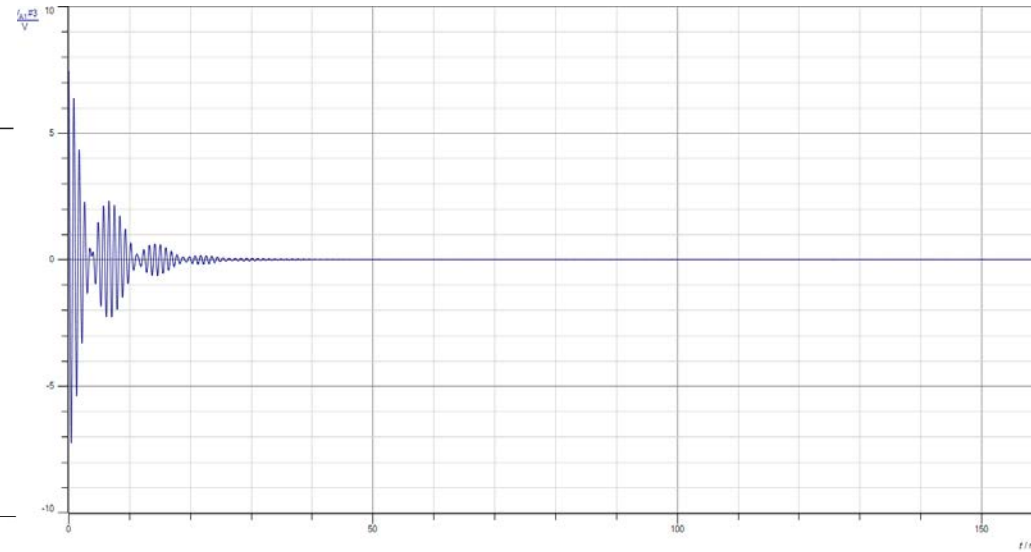
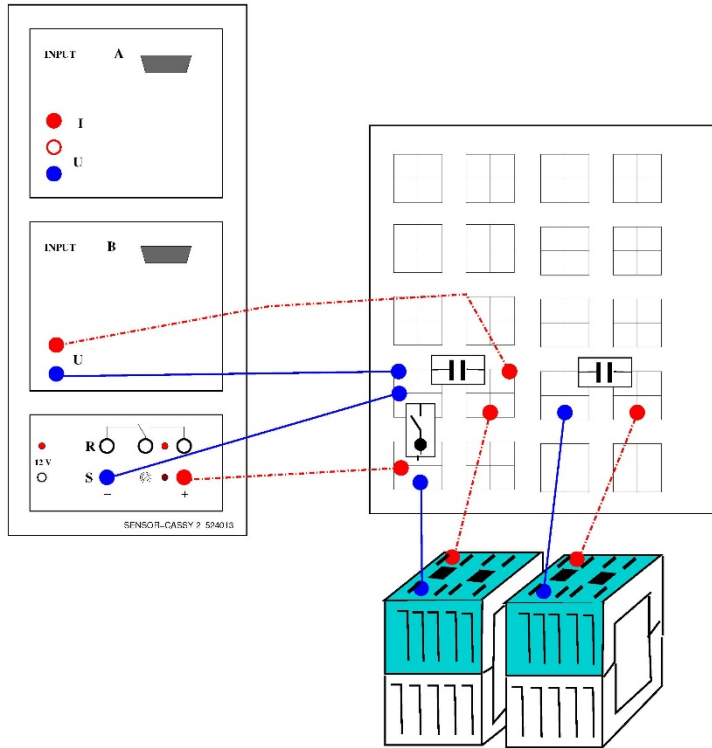


Gekoppelte Schwingungen: Das Ende der CASSY FFT oder bessere Abtastung?



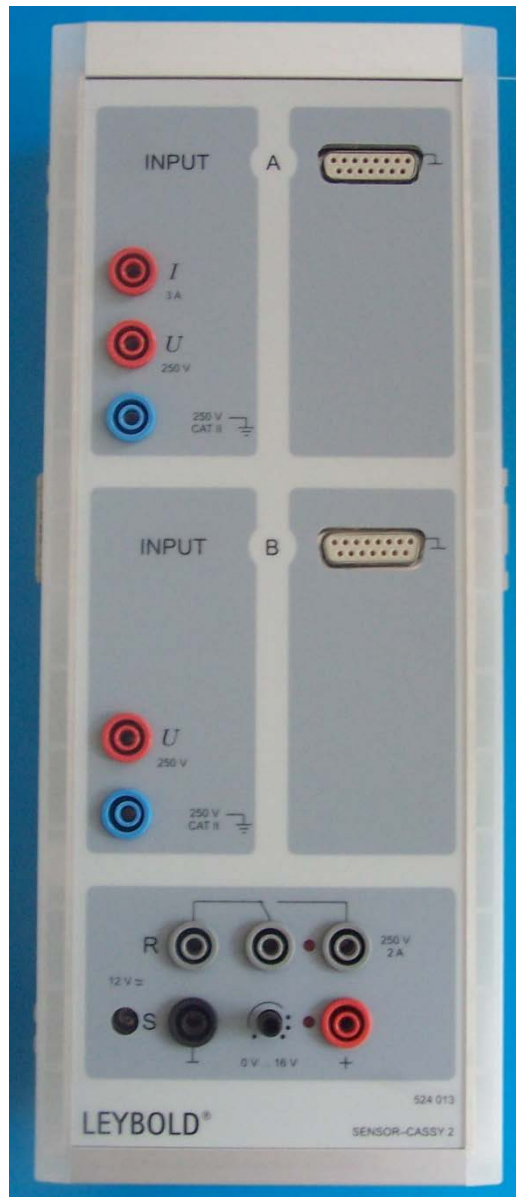
Gesamtmesszeit 20 ms reicht nicht zur Auflösung der beiden Fundamentalschwingungen

Gekoppelte Schwingungen: Das Ende der CASSY FFT oder bessere Abtastung?



Gesamtmesszeit 160 ms reicht zur Auflösung der beiden Fundamentalschwingungen

Zusammenfassung Sensor Cassy 2



- Spannungsmessung ✓
- Strommessung ✓
- Datenaufnahme ✓
- Datenanalyse ✓

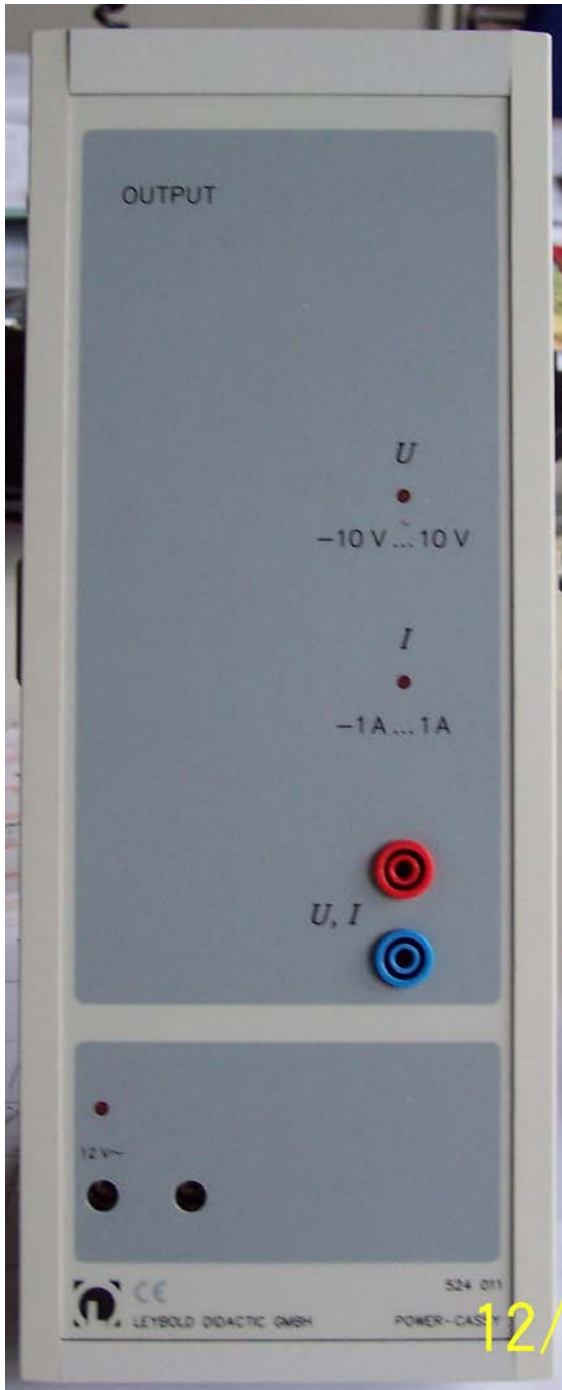
Funktionsgenerator Power Cassy

Kaskadierbares Interface
zur Messdatenaufnahme
(bis zu 8 Cassy-Module)

Anschluß an USB-Port oder
über Sensor Cassy 2

Spannungsversorgung:

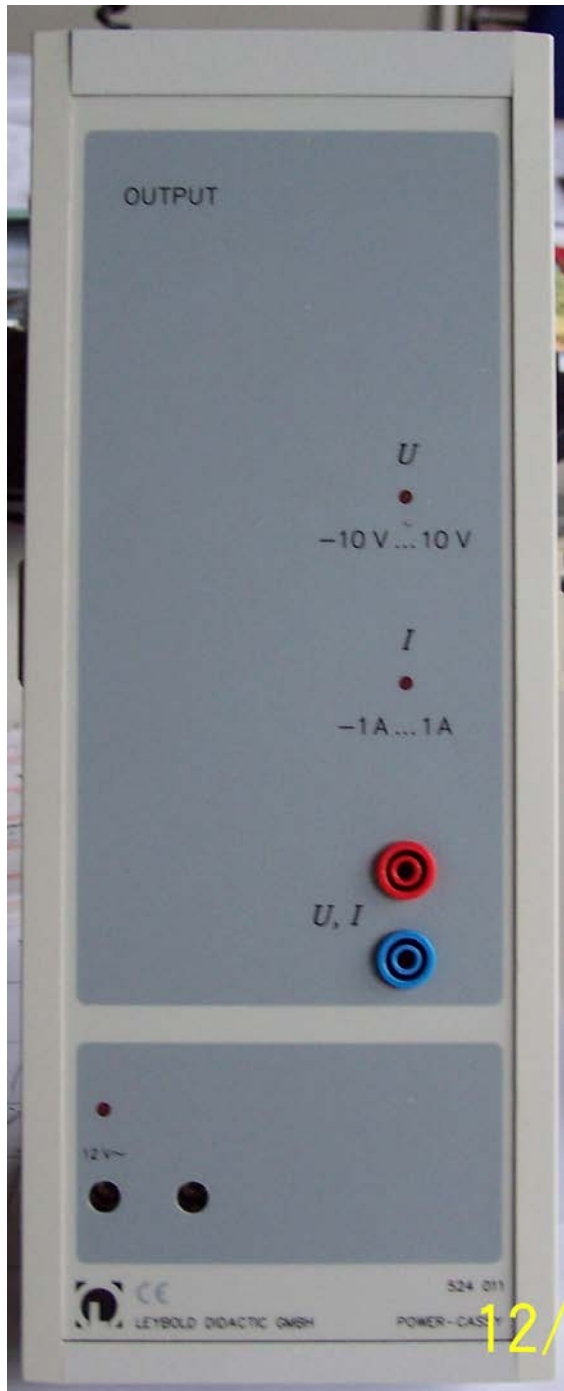
12V AC/DC über Hohlstecker oder
benachbartes Cassy-Modul



Funktionsgenerator Power Cassy

Programmierbare Stromquelle mit gleichzeitiger Spannungsmessung:

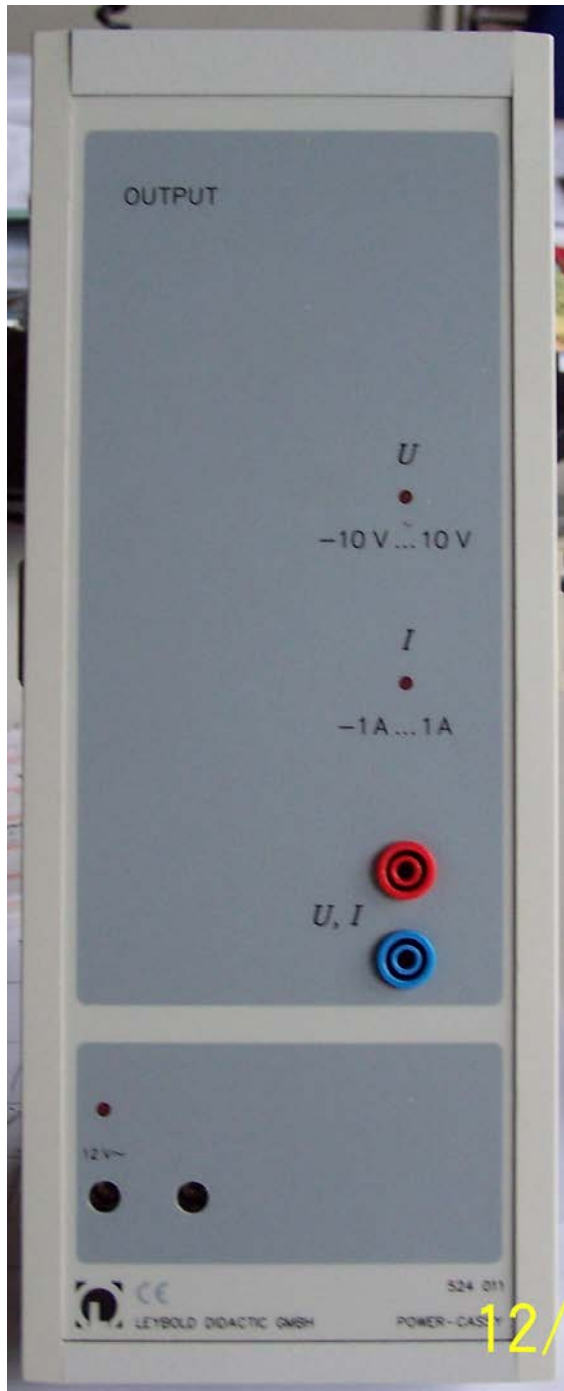
- Auflösung: 12 Bit
- Aussteuerbereich: $\pm 1 \text{ A}$
- Messbereiche: $\pm 1/3/10 \text{ V}$
- Abtastrate: max. 200.000 Werte/s
(=100.000 Werte/s Spannung und Strom)



Funktionsgenerator Power Cassy

Programmierbare Spannungsquelle mit gleichzeitiger Strommessung:

- Auflösung: 12 Bit
- Aussteuerbereich: $\pm 10 \text{ V}$
- Messbereiche: $\pm 0,1/0,3/1 \text{ A}$
- Abtastrate: max. 200.000 Werte/s
(=100.000 Werte/s Spannung und Strom)



Power Cassy in Cassy Lab2

The screenshot displays the Cassy Lab 2 software interface. At the top, a yellow banner reads "Power Cassy in Cassy Lab2". The main window has a menu bar with "Datei", "Messung", "Fenster", and "Hilfe". Below the menu bar is a toolbar with various icons. A status bar at the bottom of the main window shows "Messzeit nicht vorgegeben".

In the center, a window titled "CASSYs" is open. It shows a vertical list of modules with two black dots indicating the selected module. Below the list, the text "LD 524 011" is visible. At the bottom of this window, there is a message: "Zum Aktivieren bitte einen Kanal anklicken." and four buttons: "Schließen", "Messparameter anzeigen", "Beispiel laden", and "Hilfe".

On the right side, a window titled "Einstellungen" is open. It shows a tree view with "CASSYs" expanded, and "Power-CASSY" selected. Below the tree view, the "Power-CASSY" section displays the following information:

- Seriennummer des CASSYs: 2019.364.006
- Aktuelle Version des CASSYs: 1.08.E
- Hier verfügbare Version: 1.08
- Die beiden Versionen stimmen überein.

Below this information are two buttons: "CASSY-Modul aktualisieren" and "Hilfe".

Alles OK und einsatzbereit

Power Cassy angeschlossen über USB-Port → automatische Erkennung

Cassy Lab 2, Einstellungen Power Cassy

The screenshot shows the Cassy Lab 2 software interface. The main window displays a graph of voltage U_1 over time, with a current reading of $U_1 = 0.00 \text{ V}$. A smaller window shows a circuit diagram with a channel U_1 selected. The settings window on the right shows various parameters for the measurement, including range, signal form, and recording options.

Einstellungen

- CASSYs
 - Power-CASSY
 - Spannung U_1 (Out)
 - Stromstärke I_1 (Out)
 - Spannung U_1
 - Stromstärke I_1
 - Phasenverschiebung φ_1
 - Rechner
 - Darstellungen
 - Standard

Spannung U_1 (Out)

Bereich:

Nur während einer Messung aktiv (single shot)

Signalform: $f(0 < x < 1) =$

Parameter

> Momentanwerte

gemittelte Werte

Effektivwerte

Effektivwerte (AC-Anteil)

Nulppunkt

links mittig rechts

Hilfe

Aufnahme: Neue Messreihe anhängen

Messzeit:

Intervall:

© by LD DIDACTIC GmbH, 2010-2018

Aktivierung Eingang U_1 durch Anklicken und Auswählen von Spannung U_1 (out), Messanzeige erscheint für generierte Spannung U_1 (out) → Einstellungen Spannung U_1 (out) aktiviert, Messparameter für Daten-Aufnahme einstellbar

Cassy Lab 2, Einstellungen Power Cassy

The screenshot displays the Cassy Lab 2 software interface. At the top, a yellow banner contains the title "Cassy Lab 2, Einstellungen Power Cassy". The main window shows a measurement setup for voltage U_1 . A small window in the top left shows a scale from -10 to 10 V with a red needle pointing to 0.00 V. The main display area features a grid with a vertical axis from -5 to 5 and a horizontal axis from 0 to 100 ms. A central dialog box titled "CASSYs" shows a schematic of the device with terminals U_1 and "LD 524 011". Below the schematic are buttons for "Schließen", "Messparameter anzeigen", "Beispiel laden", and "Hilfe". On the right, the "Einstellungen" (Settings) panel is open, showing a tree view with "Spannung U_1 (Out)" selected. The settings for this channel include a range of -10 V to 10 V, a signal type dropdown menu currently set to "DC", and various measurement options like "Momentanwerte" (instantaneous values) and "gemittelte Werte" (averaged values). A red arrow points from the "DC" option in the signal type dropdown to a text box at the bottom.

Spannung U_1

$U_1 = 0.00 \text{ V}$

CASSYs

U_1

LD 524 011

Zum Aktivieren bitte einen Kanal anklicken.

Schließen Messparameter anzeigen Beispiel laden Hilfe

Einstellungen

- CASSYs
 - Power-CASSY
 - Spannung U_1 (Out)
 - Stromstärke I_1 (Out)
 - Spannung U_1
 - Stromstärke I_1
 - Phasenverschiebung φ_1
 - Rechner
 - Darstellungen
 - Standard

Spannung U_1 (Out)

Bereich: -10 V .. 10 V

Nur während einer Messung aktiv (single shot)

Signalform: DC

Parameter

50 Hz 0 Vp

50 % 0 V=

Messwerte $f(x)$

- Momentanwerte
- gemittelte Werte
- Effektivwerte
- Effektivwerte (AC-Anteil)

Nullpunkt

- links
- mittig
- rechts

Hilfe

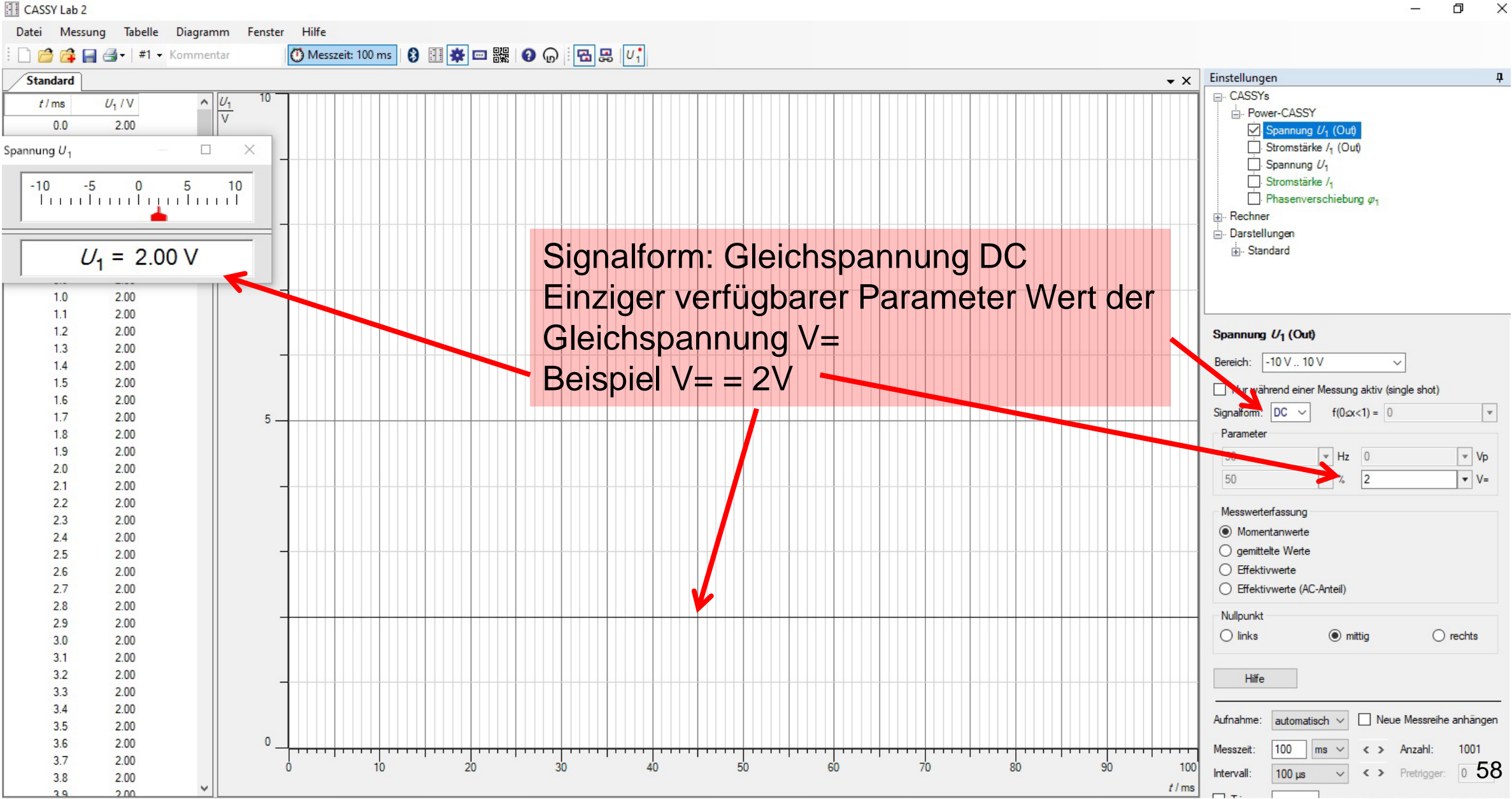
Aufnahme: automatisch Neue Messreihe anhängen

Messzeit: 100 ms Anzahl: 1001

Intervall: 100 μs Pretrigger: 57

Einstellung der Signalform: Gleichspannung DC, Sinus-, Rechteck-, Dreieck-, frei definierbare Funktion

Cassy Lab 2, Einstellungen Power Cassy



Signalform: Gleichspannung DC
Einziger verfügbarer Parameter Wert der Gleichspannung V=
Beispiel V= = 2V

Cassy Lab 2, Einstellungen Power Cassy, Signaldigitalisierung

CASSY Lab 2

Standard Frequenzspektrum

t / ms	U_1 / V
0	-1.94
20	-1.94
22	-1.94
24	-1.94
26	-1.94
28	-1.94
30	-1.94
32	-1.94
34	-1.94
36	-1.94
38	-1.94
40	-1.94
42	-1.94
44	-1.94
46	-1.94
48	-1.94
50	-1.94
52	-1.94
54	-1.94
56	-1.94
58	-1.94
60	-1.94
62	-1.94
64	-1.94
66	-1.94
68	-1.94
70	-1.94
72	-1.94
74	-1.94
76	-1.94
78	-1.94

Spannung U_1

$U_1 = -1.37$ V

Signalform: Wechsellspannung Sinus
4 verfügbare Parameter:
1. Frequenz f der Wechsellspannung
2. Amplitude der Wechsellspannung V_p
3. Wert Gleichspannungsanteil $V=$
4. Symmetrie der Fläche unter Kurve
Beispiel: $f=1000$ Hz, $V_p=2$ V, Symmetrie 50%, $V= = 0$ V
Messeinstellungen:
Intervall = 2ms
Ergebnis: konstante Linie

Einstellungen

- CASSYs
 - Power-CASSY
 - Spannung U_1 (Out)
 - Stromstärke I_1 (Out)
 - Spannung U_1
 - Stromstärke I_1
 - Phasenverschiebung φ_1
 - Rechner
 - Parameter
 - Formel
 - Zeitliche Ableitung

Spannung U_1 (Out)

Bereich: -10 V .. 10 V

während einer Messung aktiv (single shot)

Signalform: $f(0 \leq x < 1) = 0$

Parameter

1000 Hz 2 V_p
50 % 0 $V=$

Messwertaufzeichnung

Momentanwerte
 gemittelte Werte
 Effektivwerte
 Effektivwerte (AC-Anteil)

Nullpunkt

links mittig rechts

Hilfe

Aufnahme: automatisch Neue Messreihe anhängen

Messzeit: 100 ms < > Anzahl: 51
Intervall: 2 ms < > Pretrigger: 0

Trigger:

Messbedingung: 1

59

Cassy Lab 2, Einstellungen Power Cassy, Abtastung Signal

The screenshot displays the Cassy Lab 2 software interface. The main window is titled 'Standard' and 'Frequenzspektrum'. The left side shows a frequency spectrum plot with a peak at 0 Hz. The right side shows a time-domain plot with a constant line at -1.94 V. The settings panel on the right is titled 'Einstellungen' and shows the configuration for a 'Power-CASSY' measurement. The 'Spannung U₁ (Out)' parameter is selected, and the 'Rechner' section is expanded to show the 'Parameter' section. The 'Parameter' section shows the following settings: '1000 Hz', '2 Vp', '50 %', and '0 V='. The 'Messwertfassung' section is set to 'Momentanwerte'. The 'Nullpunkt' section is set to 'mittig'. The 'Aufnahme' section is set to 'automatisch'. The 'Messzeit' is set to '100 ms' and the 'Anzahl' is set to '51'. The 'Intervall' is set to '2 ms' and the 'Pretrigger' is set to '0'. A red arrow points from the text 'Grund: Intervall von 2ms entspricht einer Frequenz f=500Hz, Verstoß gegen f_{Abtastung} > 2·f_{Signal}' to the 'Intervall' setting in the settings panel.

Standard Frequenzspektrum

requispektrum

U₁ = 0.50 V

0.02
0.03
0.04
0.03
0.02
0.02
0.03
0.02
0.01
0.01
0.02
0.02
0.01
0.01
0.02
0.02
0.01
0.01

40 -1.94
42 -1.94
44 -1.94
46 -1.94
48 -1.94
50 -1.94
52 -1.94
54 -1.94
56 -1.94
58 -1.94
60 -1.94
62 -1.94
64 -1.94
66 -1.94
68 -1.94
70 -1.94
72 -1.94
74 -1.94
76 -1.94
78 -1.94

0 -1
-2
-3

0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

f/Hz

t/ms

Signalform: Wechspannung Sinus
Beispiel: f=1000Hz, V_p=2V, Symmetrie 50%, V₌ = 0V
Messeinstellungen:
Intervall = 2ms
Ergebnis: konstante Linie
FFT liefert Eintrag bei 0Hz
Grund: Intervall von 2ms entspricht einer Frequenz f=500Hz, Verstoß gegen $f_{\text{Abtastung}} > 2 \cdot f_{\text{Signal}}$

Einstellungen

- CASSYs
 - Power-CASSY
 - Spannung U₁ (Out)
 - Stromstärke I₁ (Out)
 - Spannung U₁
 - Stromstärke I₁
 - Phasenverschiebung φ₁
 - Rechner
 - Parameter
 - Formel
 - Zeitliche Ableitung

Spannung U₁ (Out)

Bereich: -10 V .. 10 V

Nur während einer Messung aktiv (single shot)

Signalform: f(0≤x<1) = 0

Parameter

1000 Hz 2 V_p
50 % 0 V₌

Messwertfassung

Momentanwerte
 gemittelte Werte
 Effektivwerte
 Effektivwerte (AC-Anteil)

Nullpunkt

links mittig rechts

Hilfe

Aufnahme: automatisch Neue Messreihe anhängen

Messzeit: 100 ms Anzahl: 51
Intervall: 2 ms Pretrigger: 0

Trigger:

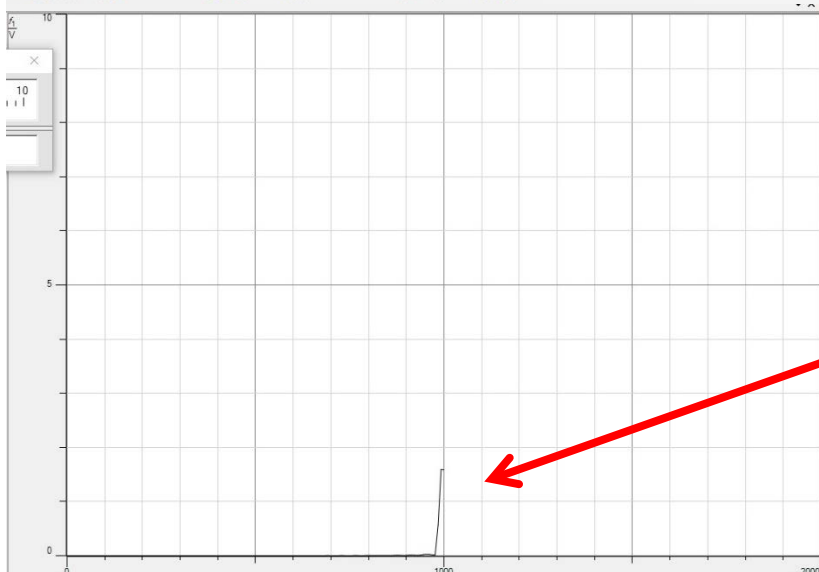
Messbedingung: 1

60

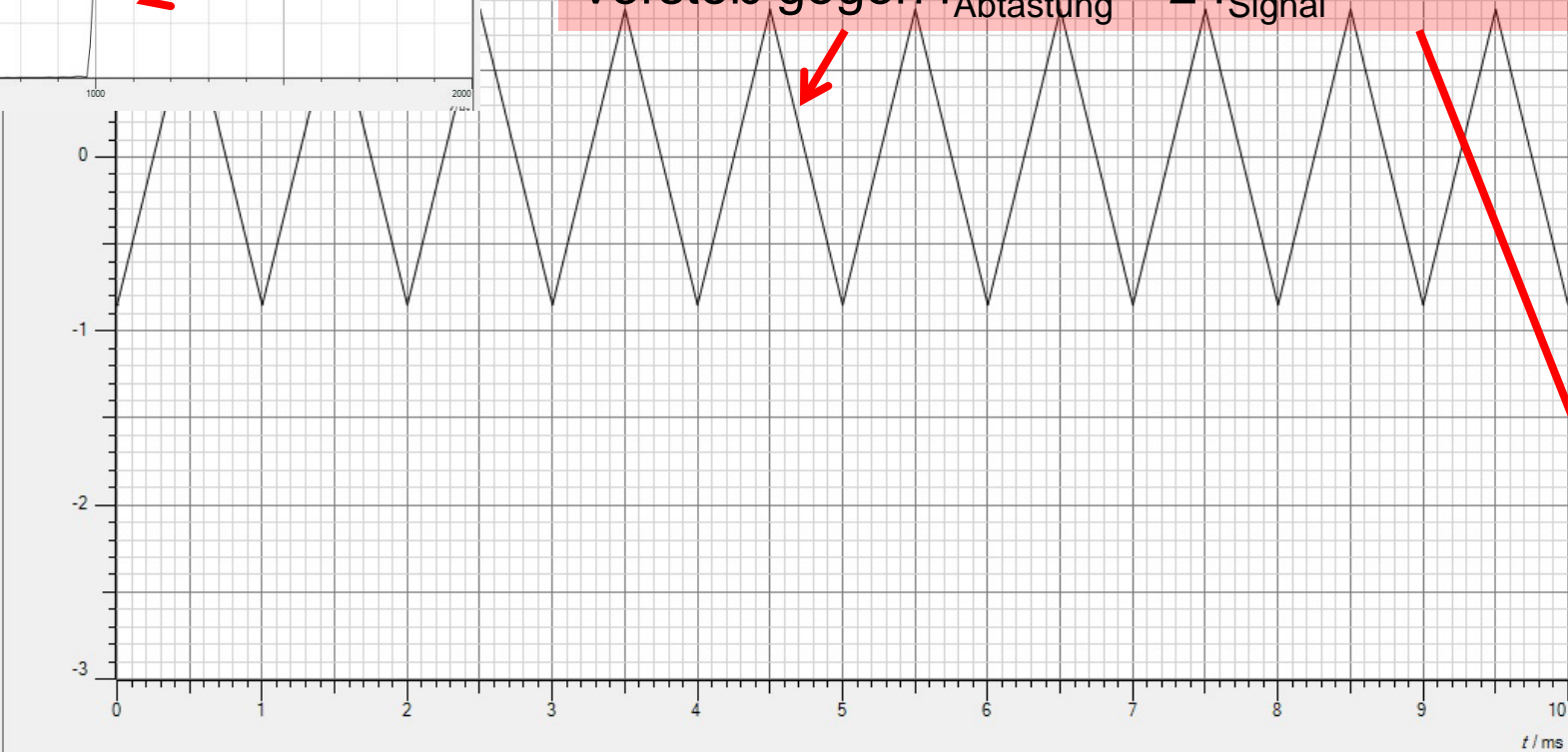
© by LD DIDACTIC GmbH, 2010-2018

Cassy Lab 2, Einstellungen Power Cassy, Abtastung Signal

CASSY Lab 2



8.0	-0.85
8.5	0.85
9.0	-0.85
9.5	0.85
10.0	-0.85
10.5	0.85
11.0	-0.85
11.5	0.85
12.0	-0.85
12.5	0.85
13.0	-0.85
13.5	0.85
14.0	-0.85
14.5	0.85
15.0	-0.85
15.5	0.85
16.0	-0.85
16.5	0.85
17.0	-0.85
17.5	0.85
18.0	-0.85
18.5	0.85
19.0	-0.85
19.5	0.85



Signalform: Wechselspannung Sinus

Beispiel: $f=1000\text{Hz}$, $V_p=2\text{V}$, Symmetrie 50%, $V_- = 0\text{V}$

Messeinstellungen:

Intervall = 2ms

Ergebnis: dreieckiges periodisches Signal, kein Sinus

FFT liefert Anfang eines Peaks bei ca. 1000Hz

Grund: Intervall von 500µs entspricht einer Frequenz $f=2000\text{Hz}$

Verstoß gegen $f_{\text{Abtastung}} > 2 \cdot f_{\text{Signal}}$

Einstellungen

- CASSYs
 - Power-CASSY
 - Spannung U_1 (Out)
 - Stromstärke I_1 (Out)
 - Spannung U_1
 - Stromstärke I_1
 - Phasenwinkel φ_1
 - Rechner
 - Parameter
 - Formel
 - Zusätzliche Abtastung

Spannung U_1 (Out)

Bereich: -10 V .. 10 V

Nur während einer Messung aktiv (single shot)

Signalform: $f(0 \leq x < 1) = 0$

Parameter

1000 Hz 2 Vp

50 % 0 V-

Messwertaufzeichnung

Momentanwerte

gemittelte Werte

Effektivwerte

Effektivwerte (AC-Anteil)

Nullpunkt

links mittig rechts

Hilfe

Aufnahme: automatisch Neue Messreihe anhängen

Messzeit: 100 ms Anzahl: 201

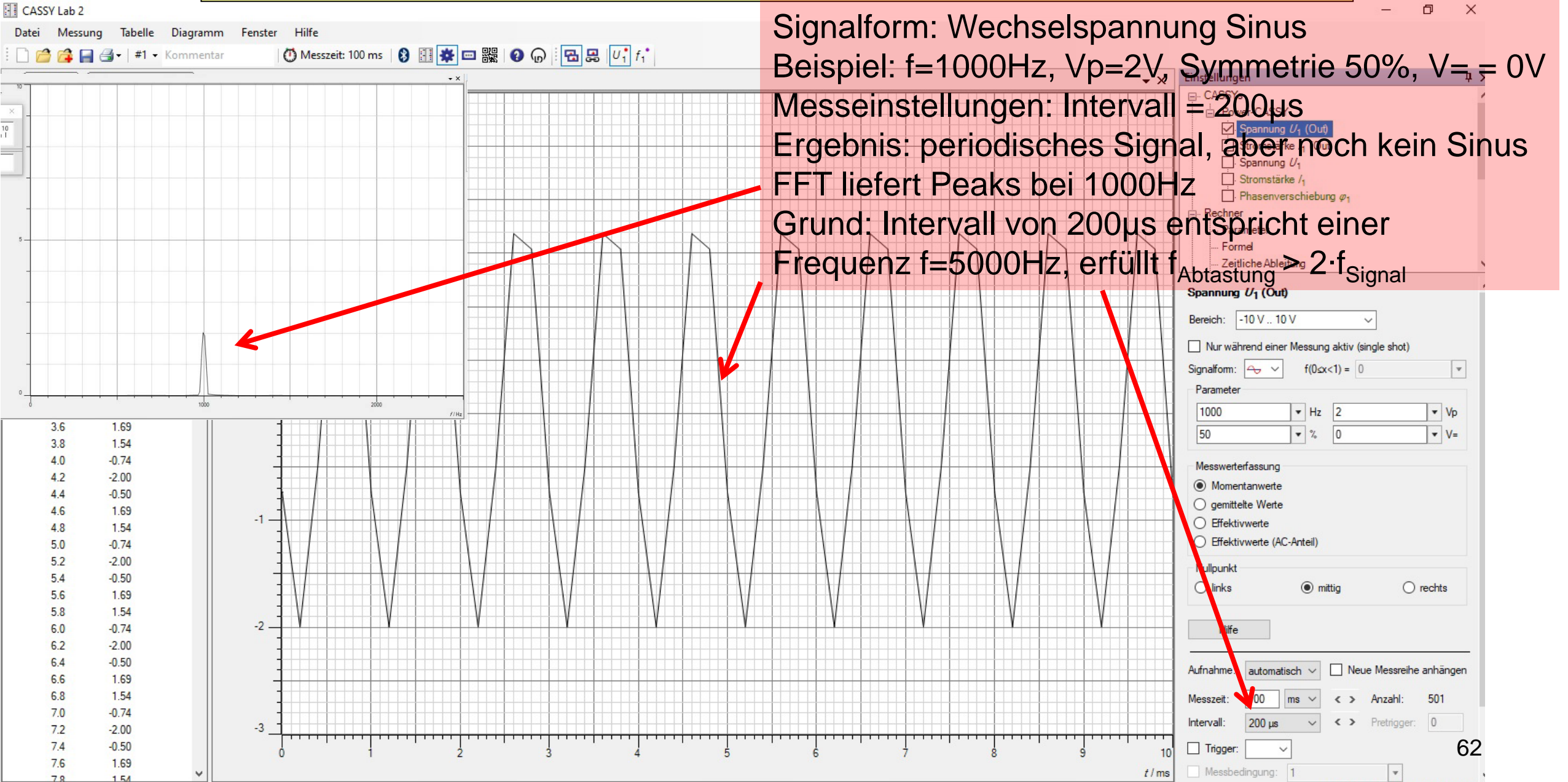
Intervall: 500 µs Pretrigger: 0

Trigger:

Messbedingung: 1

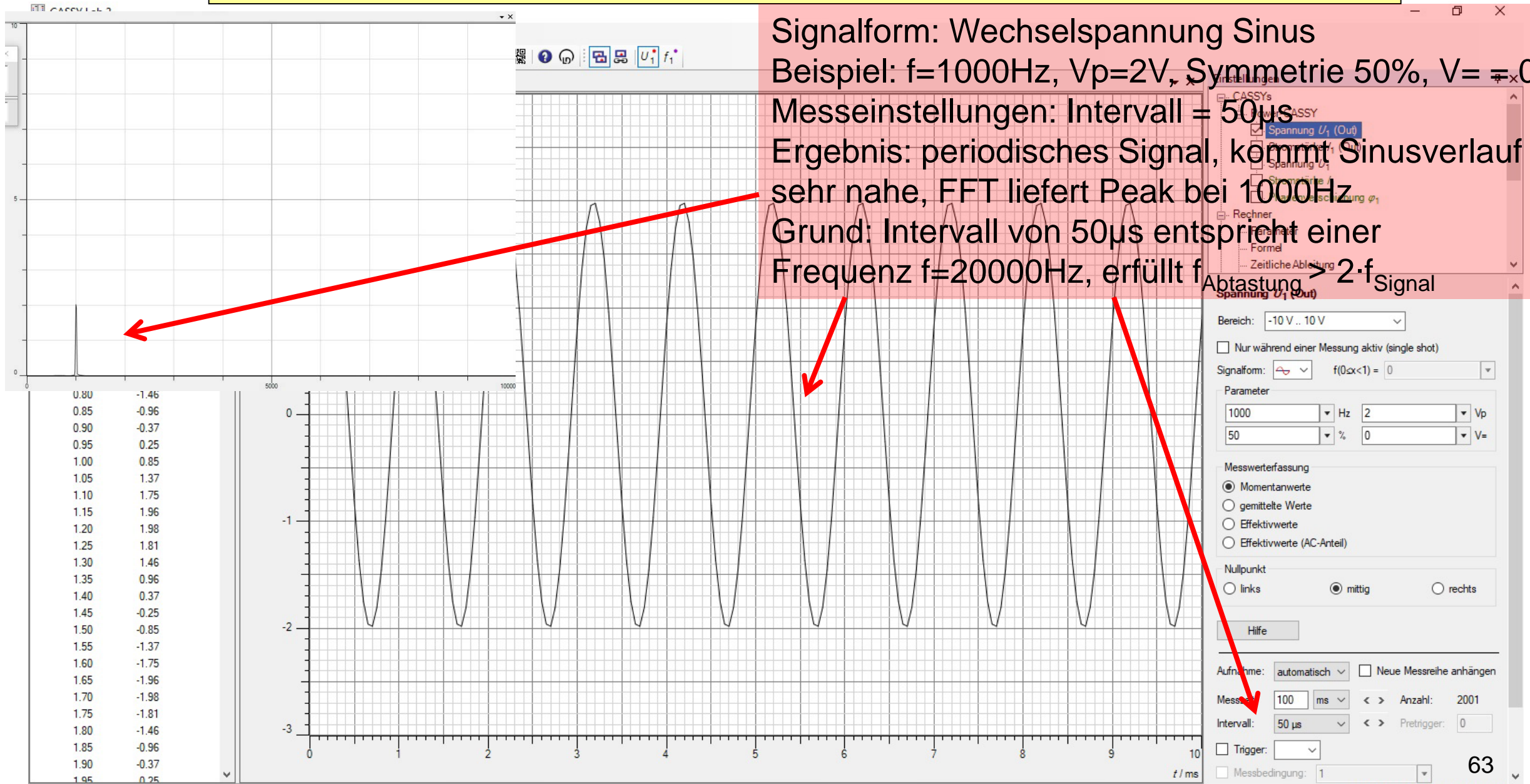
61

Cassy Lab 2, Einstellungen Power Cassy, Abtastung Signal



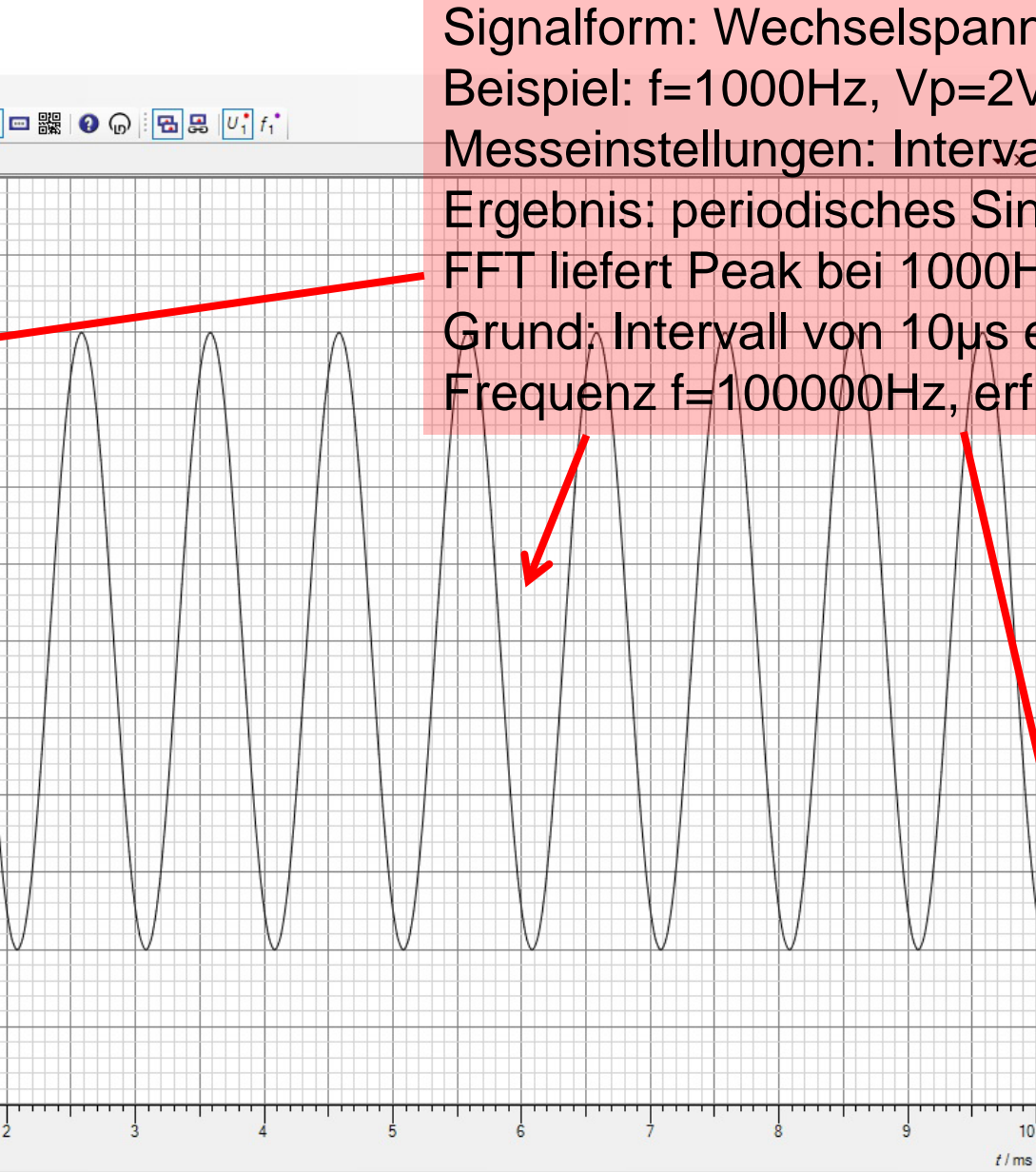
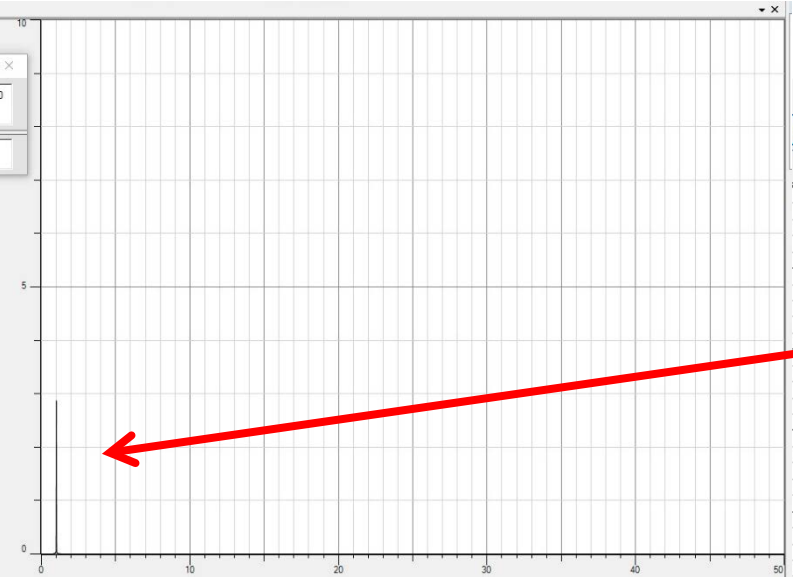
Cassy Lab 2, Einstellungen Power Cassy, Abtastung Signal

Signalform: Wechselspannung Sinus
Beispiel: $f=1000\text{Hz}$, $V_p=2\text{V}$, Symmetrie 50%, $V_-=0\text{V}$
Messeinstellungen: Intervall = $50\mu\text{s}$
Ergebnis: periodisches Signal, kommt Sinusverlauf
sehr nahe, FFT liefert Peak bei 1000Hz
Grund: Intervall von $50\mu\text{s}$ entspricht einer
Frequenz $f=20000\text{Hz}$, erfüllt $f_{\text{Abtastung}} > 2 \cdot f_{\text{Signal}}$



Cassy Lab 2, Einstellungen Power Cassy, Abtastung Signal

Signalform: Wechselspannung Sinus
Beispiel: $f=1000\text{Hz}$, $V_p=2\text{V}$, Symmetrie 50%, $V_-= = 0\text{V}$
Messeinstellungen: Intervall = $10\mu\text{s}$
Ergebnis: periodisches Sinus-Signal
FFT liefert Peak bei 1000Hz
Grund: Intervall von $10\mu\text{s}$ entspricht einer Frequenz $f=100000\text{Hz}$, erfüllt $f_{\text{Abtastung}} > 2 \cdot f_{\text{Signal}}$



0.14	-1.86
0.15	-1.81
0.16	-1.75
0.17	-1.69
0.18	-1.62
0.19	-1.54
0.20	-1.46
0.21	-1.37
0.22	-1.27
0.23	-1.18
0.24	-1.07
0.25	-0.96
0.26	-0.85
0.27	-0.74
0.28	-0.62
0.29	-0.50
0.30	-0.37
0.31	-0.25
0.32	-0.13
0.33	0.00
0.34	0.13
0.35	0.25
0.36	0.37
0.37	0.50
0.38	0.62
0.39	0.74

Spannung U_1 (Out)

Bereich: -10 V .. 10 V

Nur während einer Messung aktiv (single shot)

Signalform: $f(0 \leq x < 1) = 0$

Parameter

1000 Hz 2 Vp

50 % 0 V=

Messwertaufzeichnung

Momentanwerte

gemittelte Werte

Effektivwerte

Effektivwerte (AC-Anteil)

Nullpunkt

links mittig rechts

Hilfe

Aufnahme: automatisch Neue Messreihe anhängen

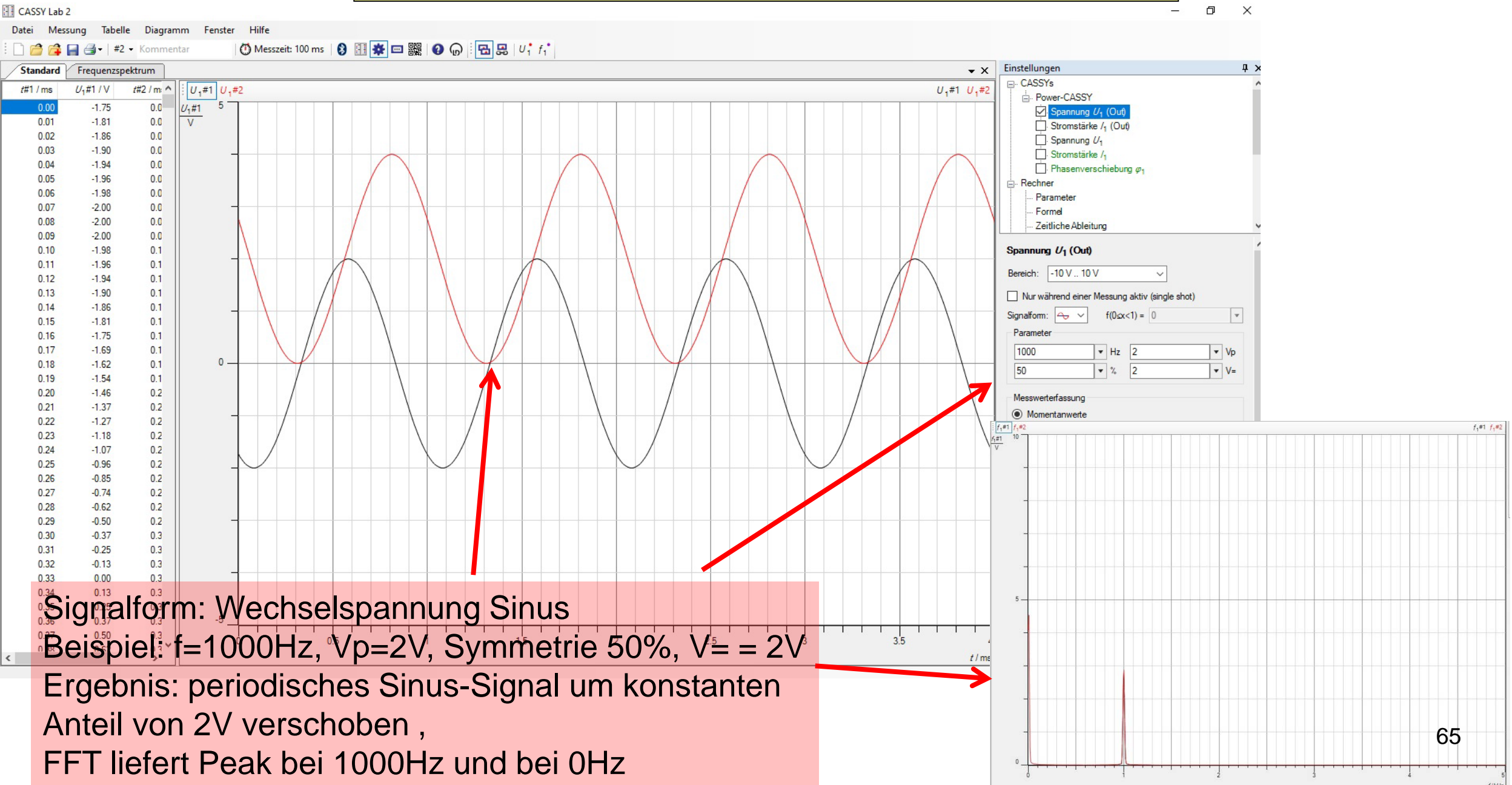
Messzeit: 100 ms < > Anzahl: 10001

Intervall: 10 μs < > Pretrigger: 0

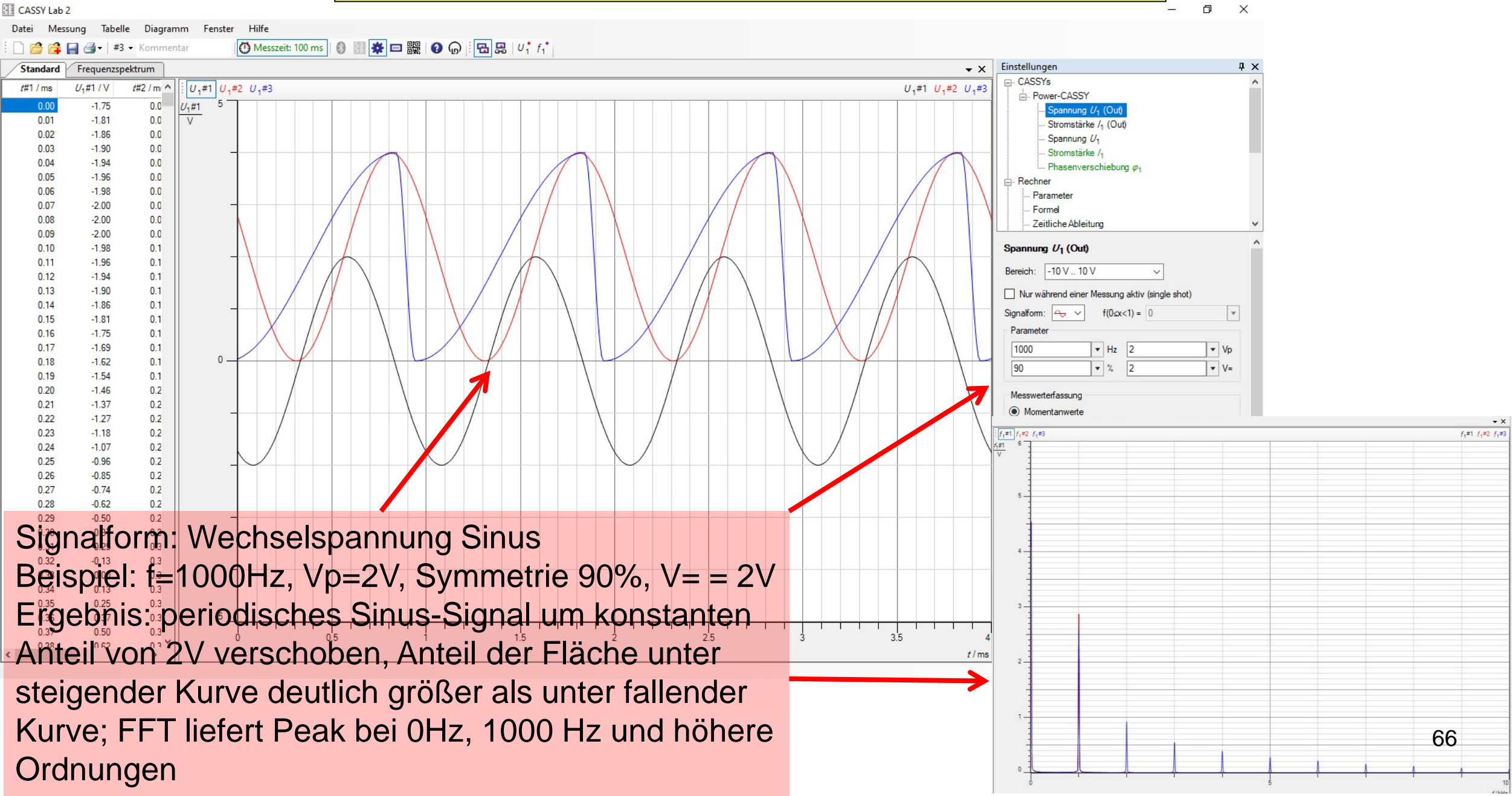
Trigger:

Messbedingung: 1

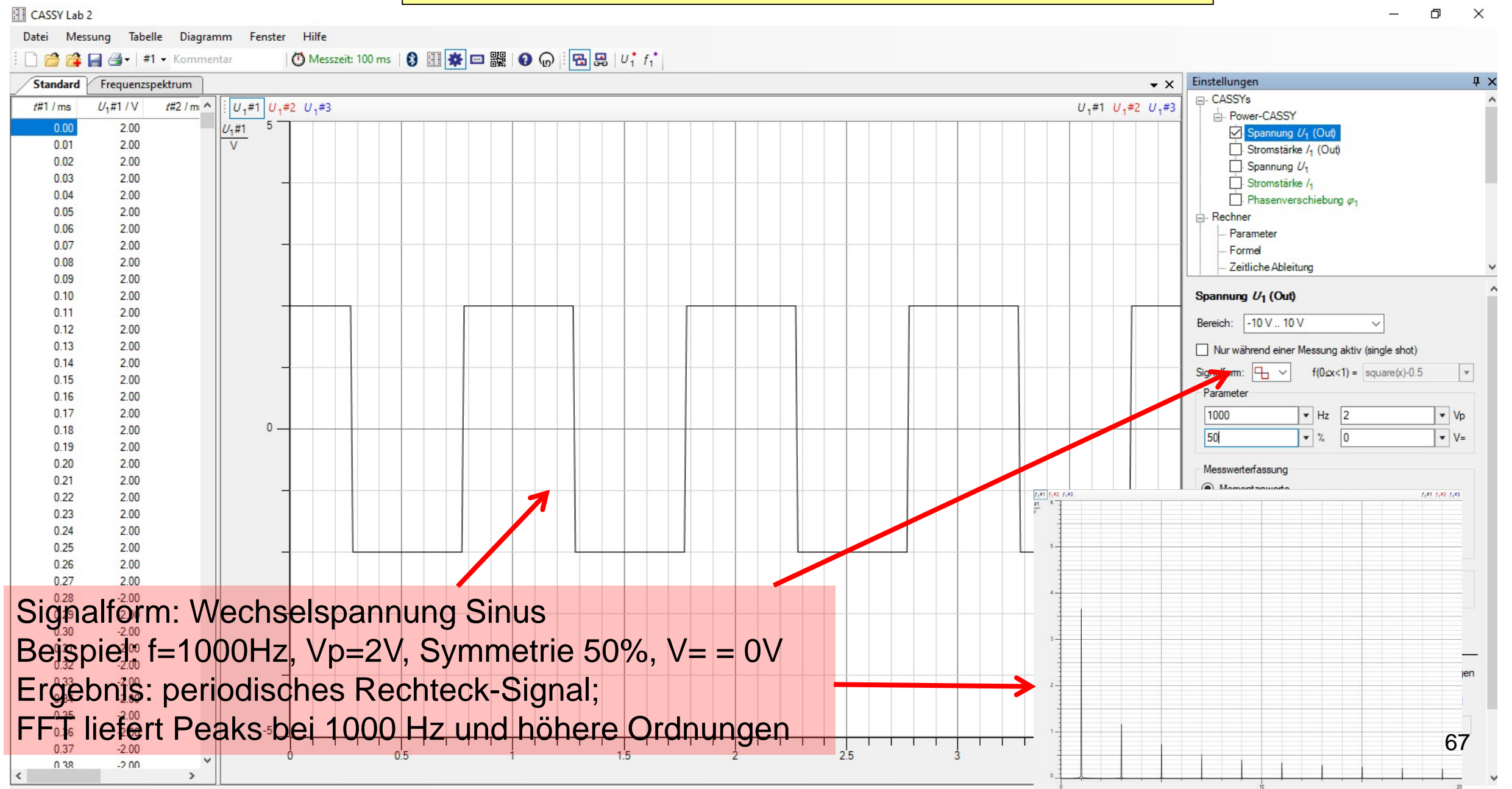
Cassy Lab 2, Einstellungen Power Cassy



Cassy Lab 2, Einstellungen Power Cassy

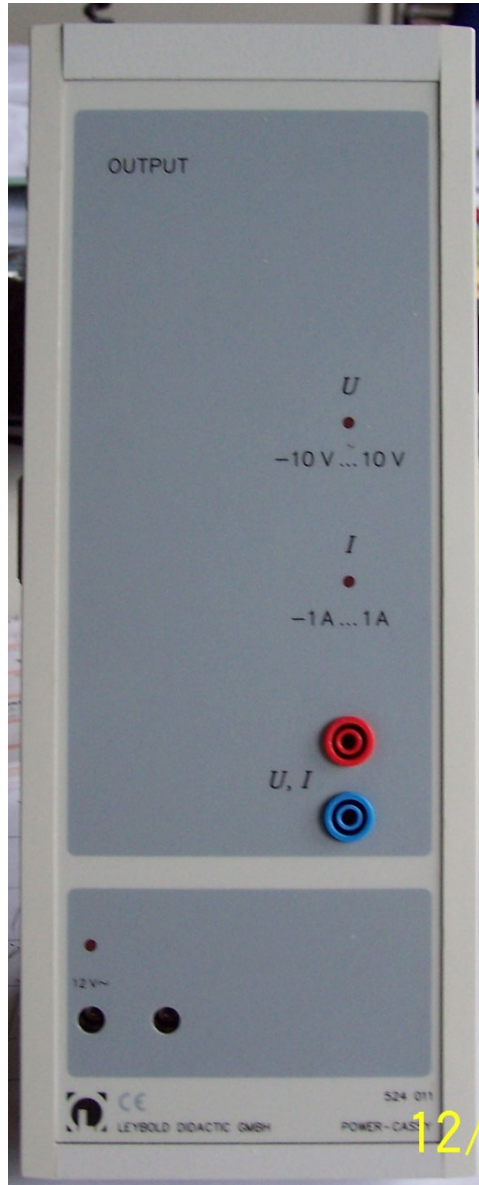


Cassy Lab 2, Einstellungen Power Cassy



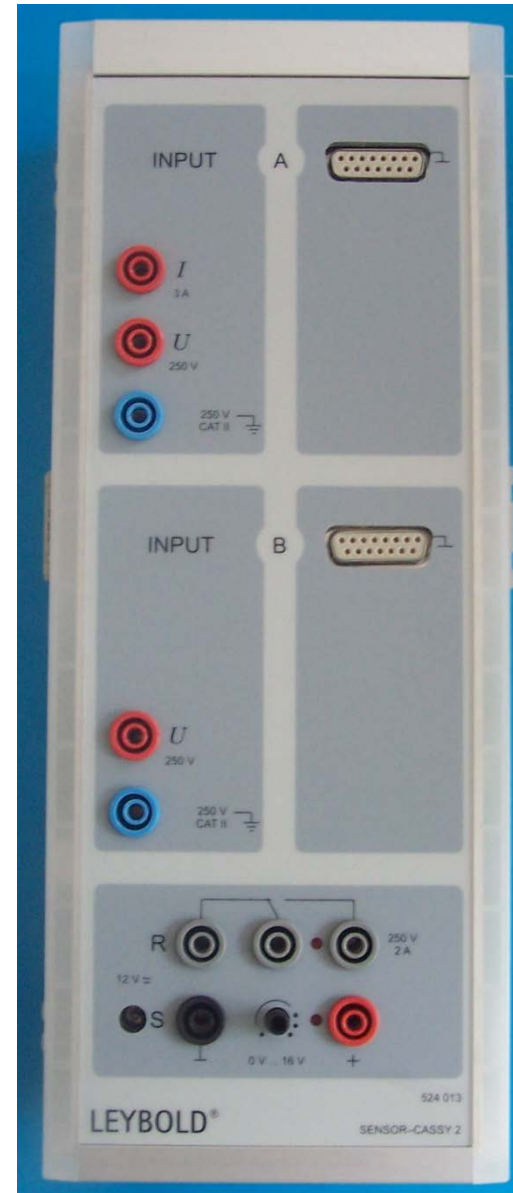
Power Cassy vs Sensor Cassy 2

3. Übung

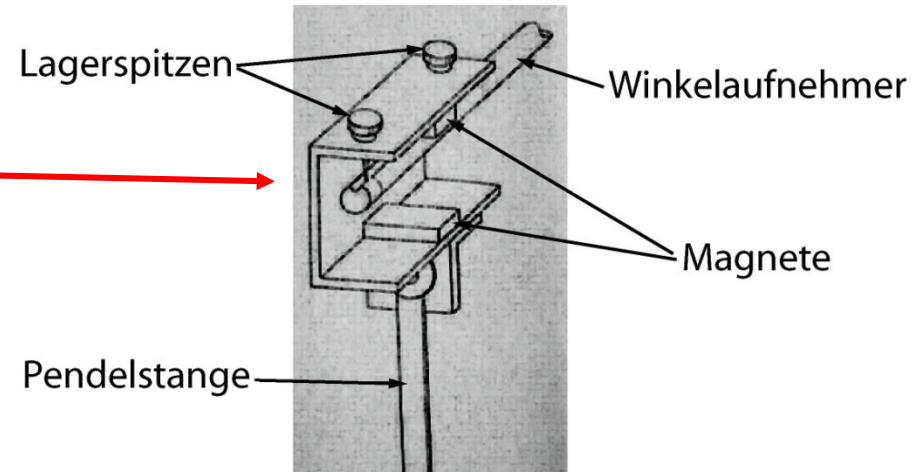
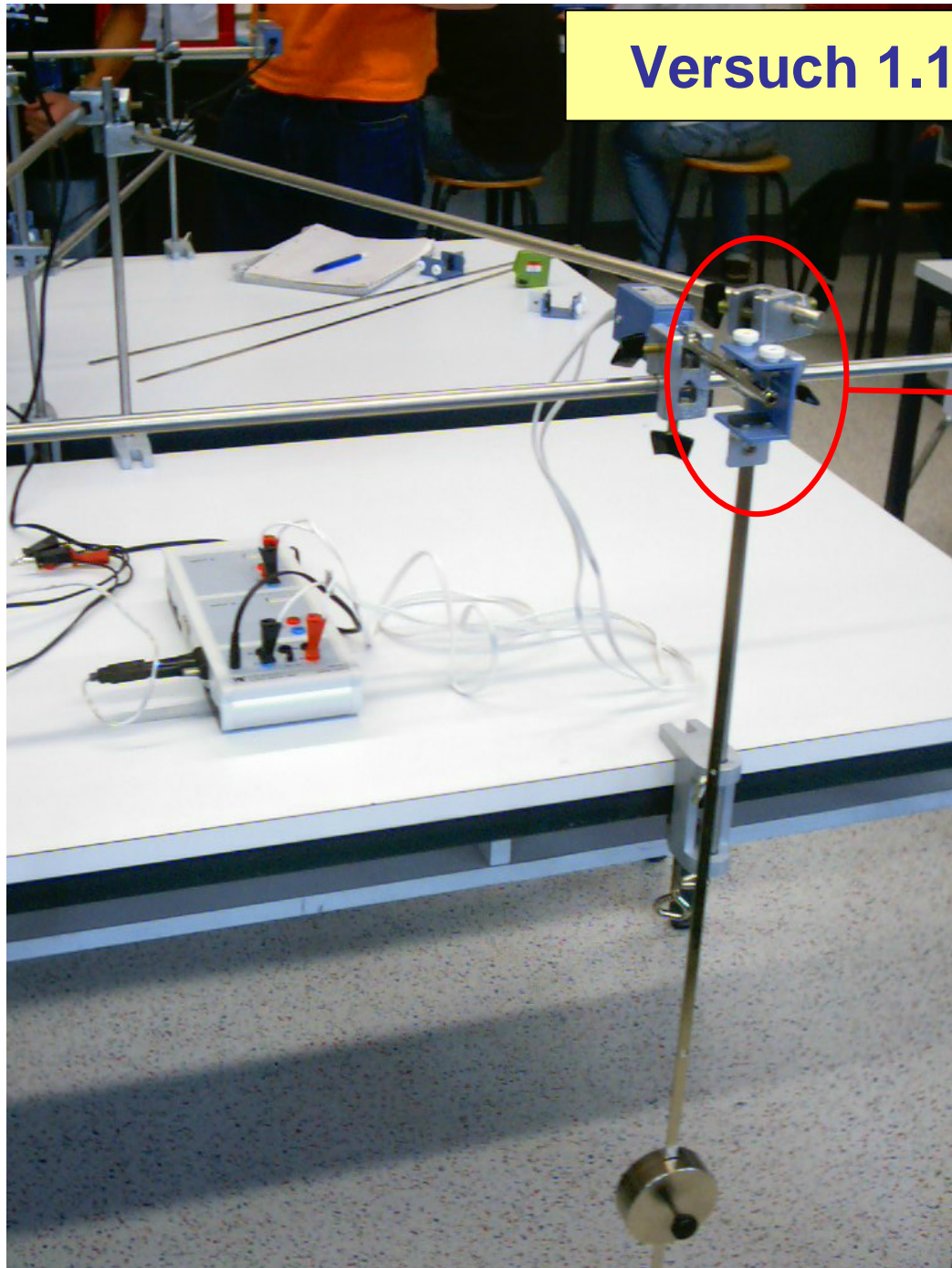


Power Cassy:
Sinusspannung mit
 $f = ? \text{ Hz}$

Sensor Cassy:
Welche f (FFT) ?



Versuch 1.1 Pendel



Mit Sensor Cassy können wir Spannungen messen, aber wie messen wir einen Winkel?

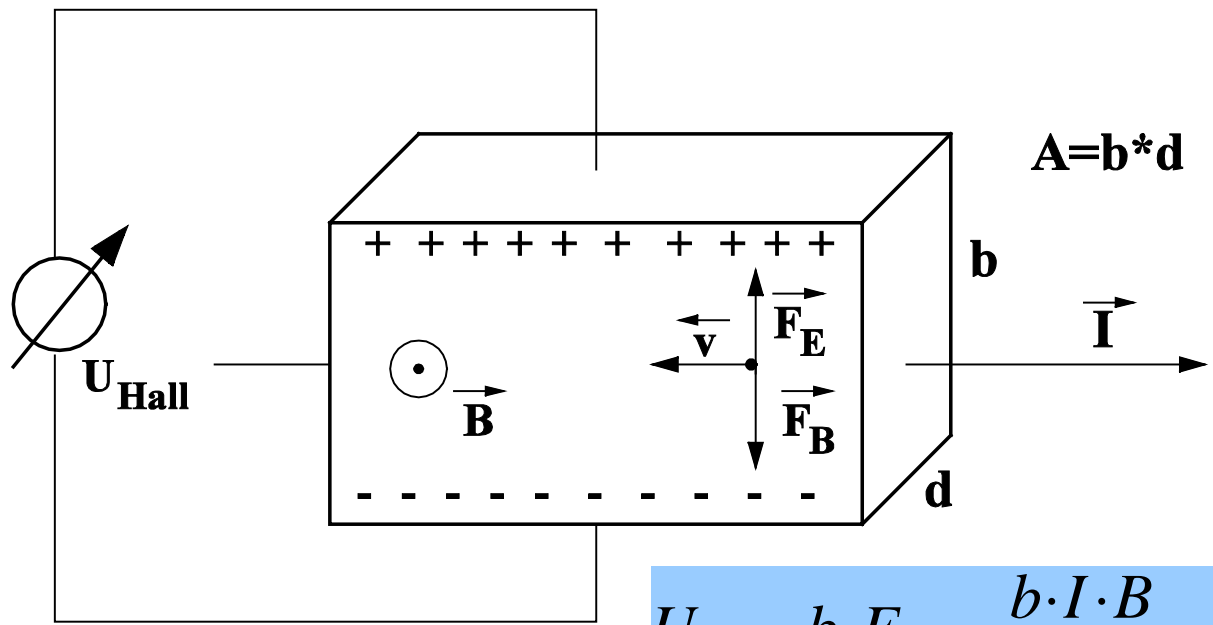
Halleffekt

Stromfluß I durch dünnen Leiter der Dicke d und Breite b , Elektronen bewegen sich mit v durch Magnetfeld $\vec{v} \perp \vec{B} \rightarrow \vec{F}_B = q \cdot \vec{v} \times \vec{B}$

\rightarrow Ladungstrennung \rightarrow E-Feld: $\vec{E} \perp \vec{I}$ und $\vec{F}_E = q \cdot \vec{E}$

$$\vec{F}_E = -\vec{F}_B \rightarrow \vec{E}_H = \vec{v} \times \vec{B}$$

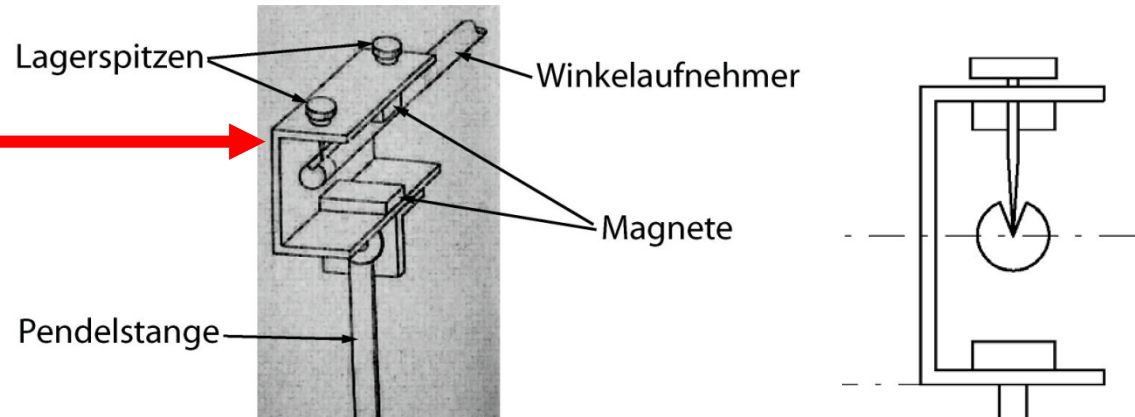
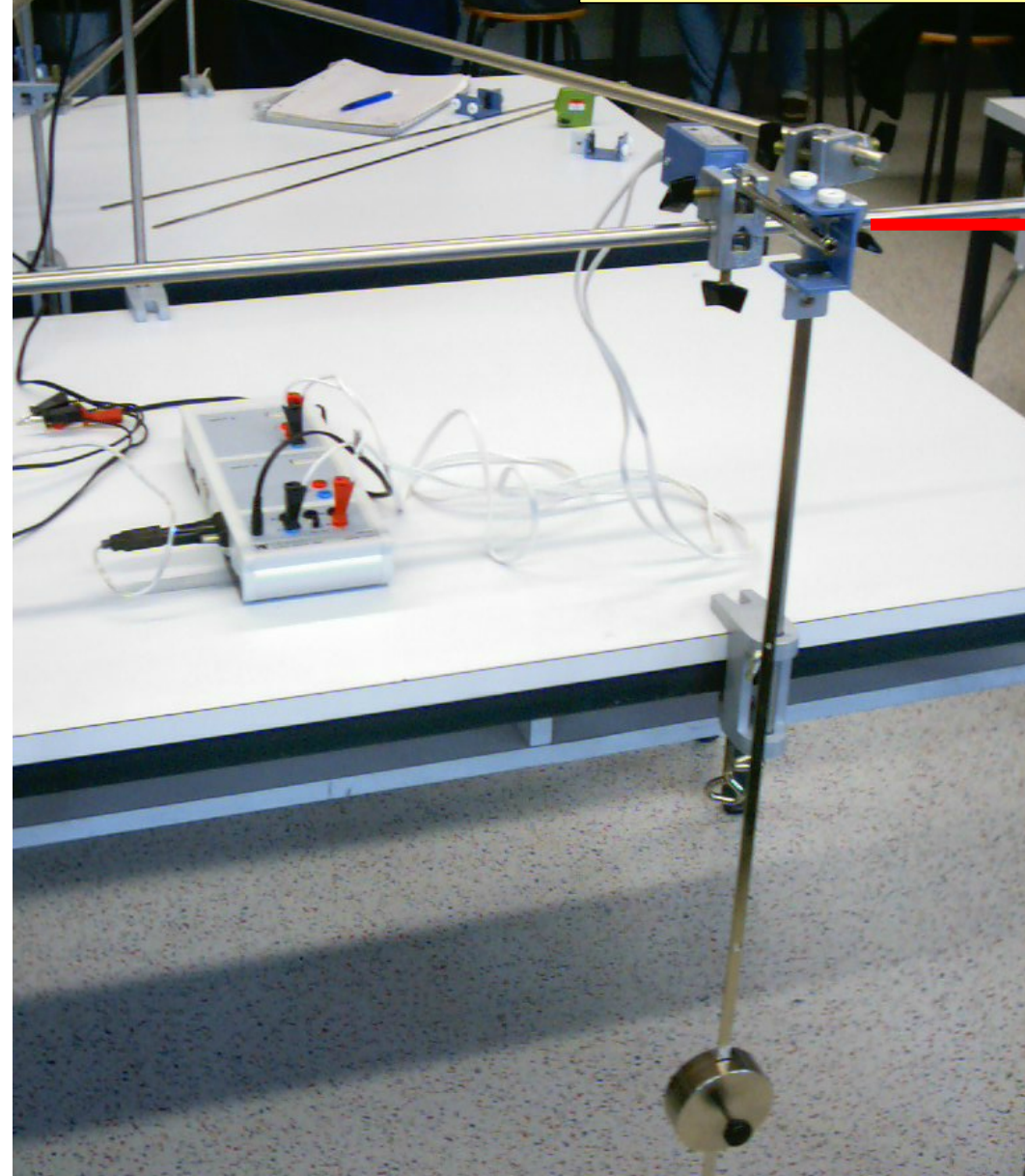
allgemein: $\vec{I} = q \cdot n \cdot A \cdot \vec{v}$



$$\vec{I} \perp \vec{B} \rightarrow E_H = \frac{1}{n \cdot q \cdot A} I \cdot B$$

$$U_H = b \cdot E_H = \frac{b \cdot I \cdot B}{n \cdot q \cdot A} = \frac{1}{n \cdot q} \cdot \frac{B}{d} \cdot I \rightarrow R_H = \frac{1}{n \cdot q} \cdot \frac{B}{d}$$

Spannungsmessung mit Hallsonde



Orientierung der Sonde \rightarrow Empfindlich

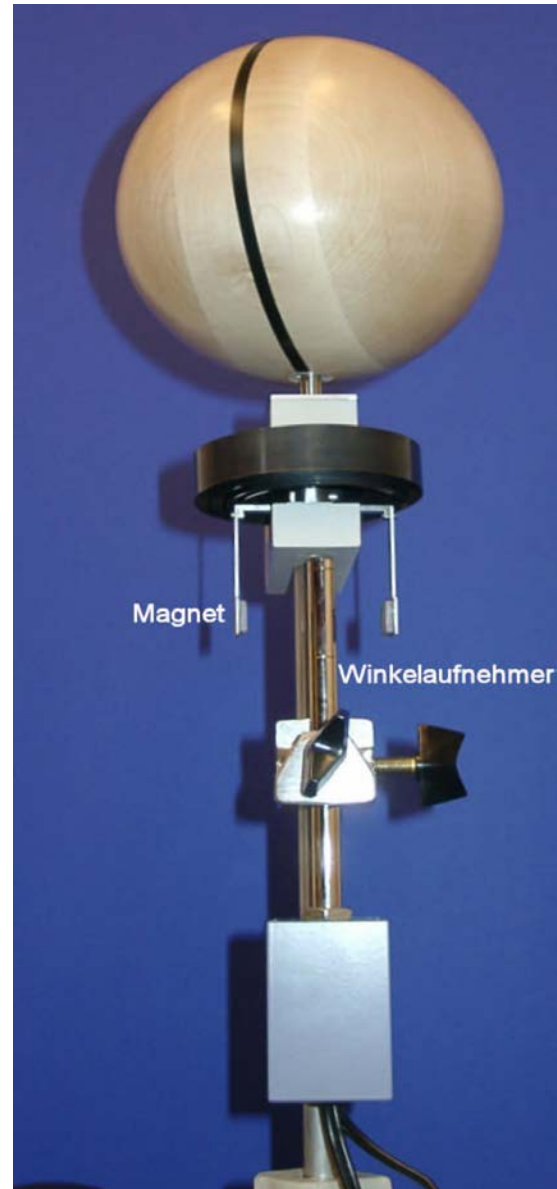
auf horizontale B-Komponente B_h

Ruhezustand $\rightarrow B_h = 0 \rightarrow U = 0$

Auslenkung um Winkel $\rightarrow B_h = B \cdot \sin \delta$

$\rightarrow U \approx B_h \approx \delta$ Linearität: $\delta = \pm 14^\circ$

Spannungsmessung mit Hallsonde



Thermospannungen - Thermistor



Thermistor: NTC

Temperaturbereich:

$-20\text{ °C} \dots +120\text{ °C}$

Messunsicherheit:

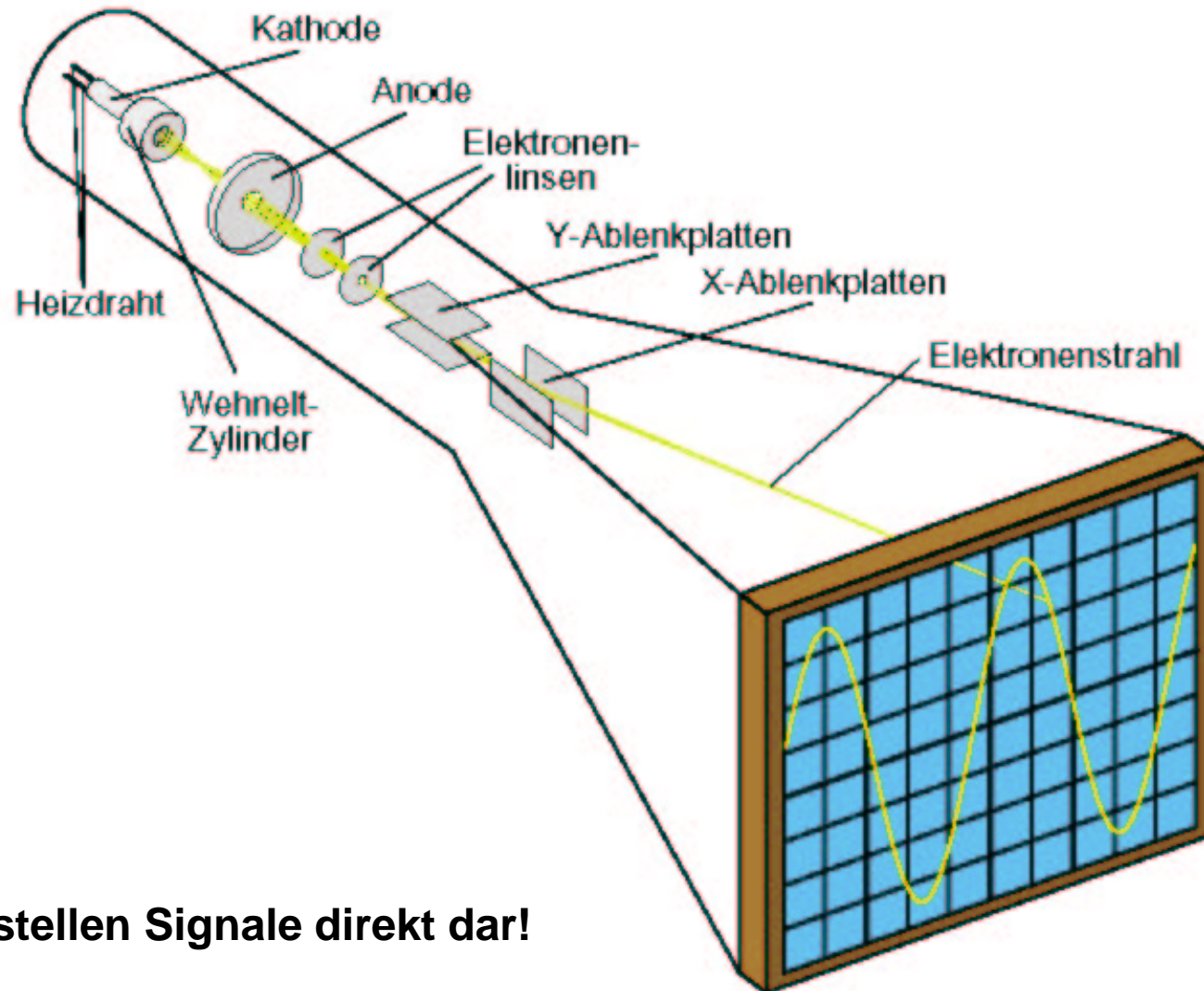
$-20\text{ °C} < T < +70\text{ °C}$: $0,2\text{ °C}$

$70\text{ °C} < T < 120\text{ °C}$: $0,4\text{ °C}$

Ansprechzeit:

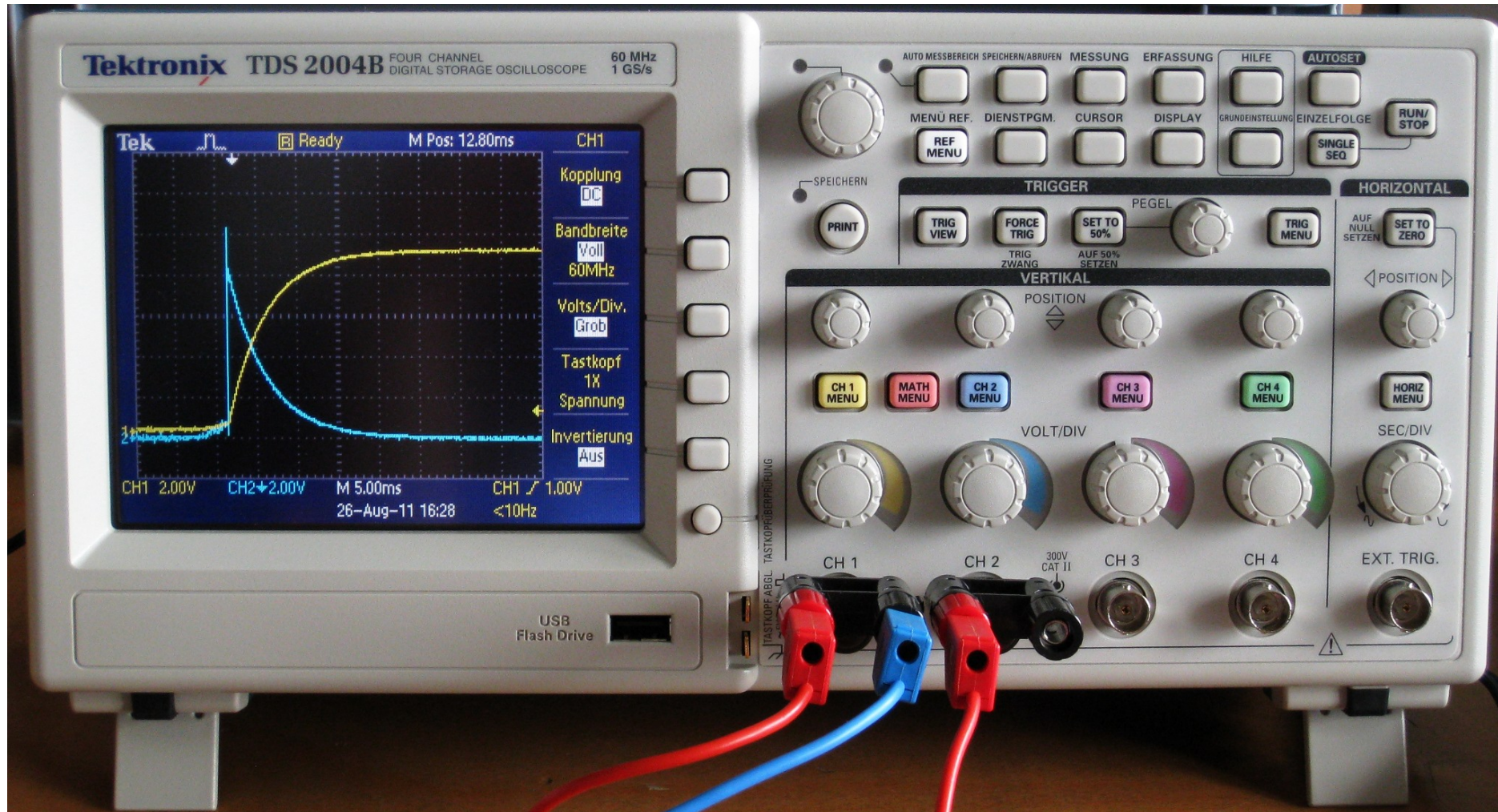
$>7\text{ s}$ in Flüssigkeiten

Oszilloskop (Braunsche Röhre)



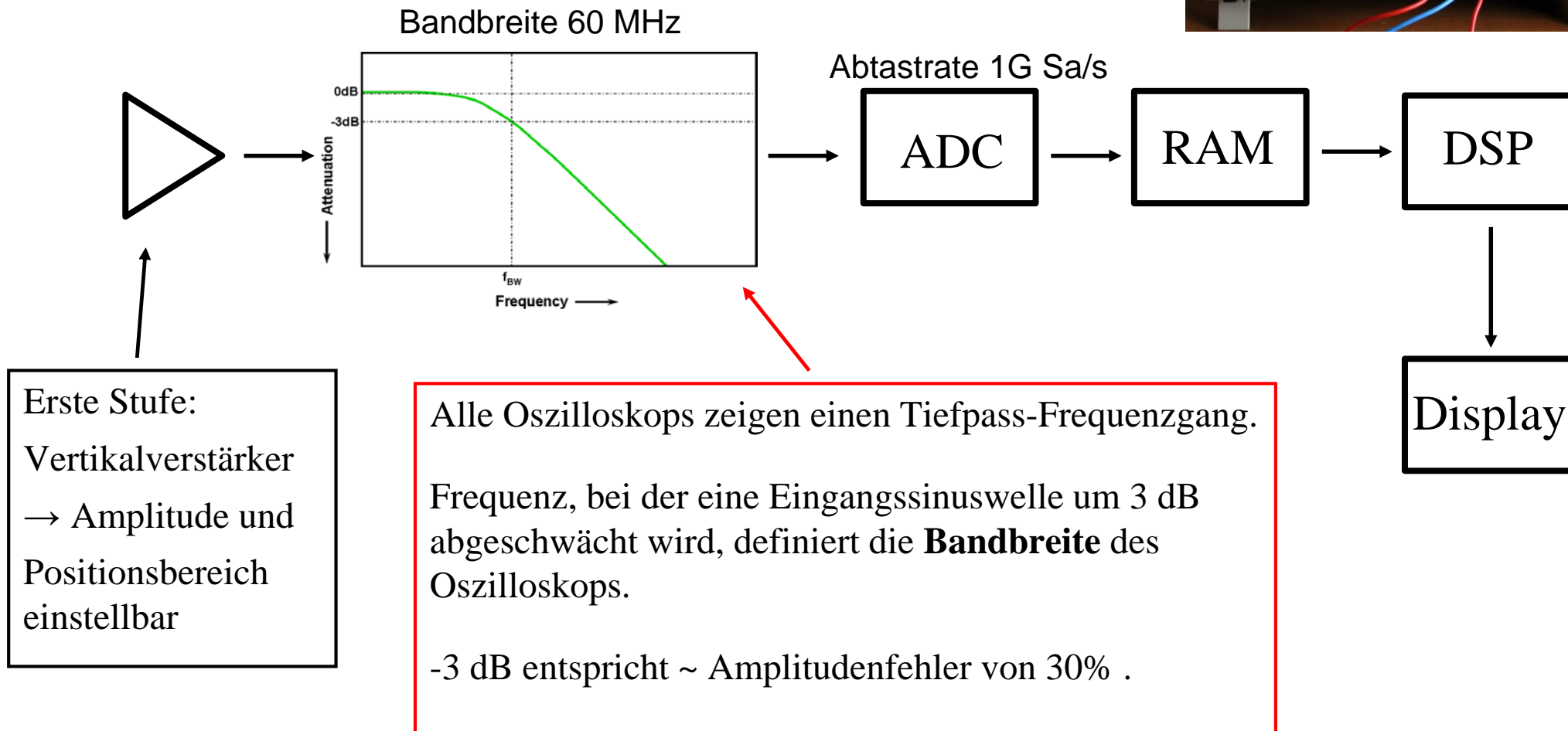
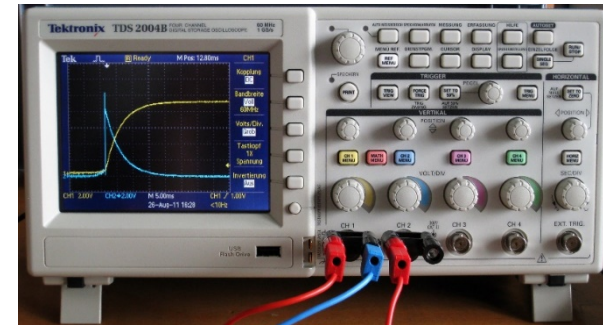
Analoge Oszilloskope stellen Signale direkt dar!

Digital Oszilloskop

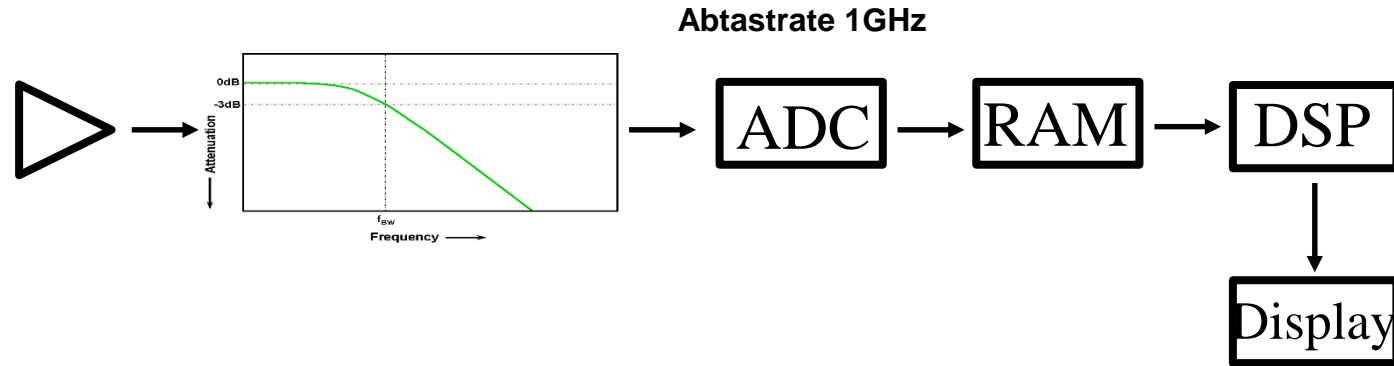


Digitale Oszilloskope tasten Signale ab und konstruieren Darstellungen!

Digital Oszilloskop: Funktionsprinzip



Digital Oszilloskop: Funktionsprinzip



Digitalisierung des Signal: Analog-Digital-Wandler (ADC) tastet im Horizontalsystem Signal zu diskreten Zeitpunkten ab und wandelt die Spannung des Signals an diesen Punkten in digitale Werte um → **Abtastpunkte**

Abtast-Taktrate des Horizontalsystems bestimmt, wie oft der ADC eine Abtastung durchführt → **Abtastrate** (Angabe in Abtastungen pro Sekunde)

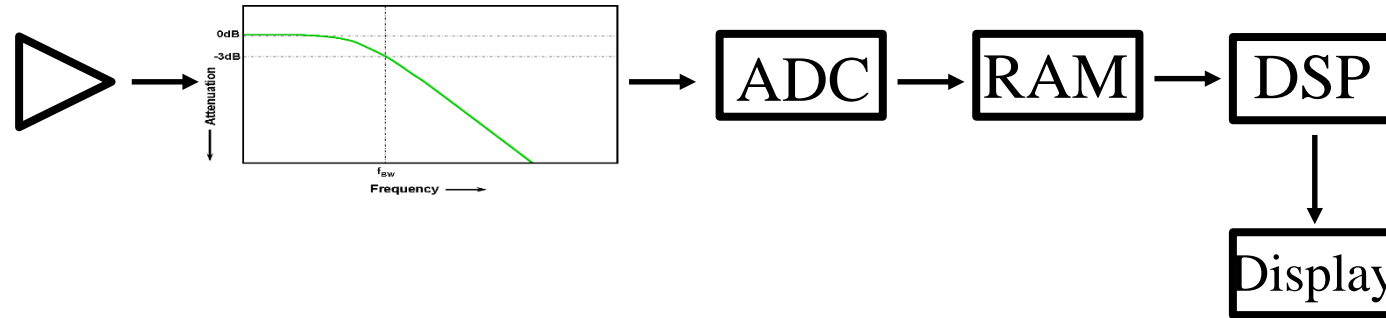
Abtastpunkte werden im Erfassungsspeicher als Signalpunkte gespeichert

Zusammen ergeben die Signalpunkte eine Signalaufzeichnung,

Anzahl der Signalpunkte einer Signalaufzeichnung wird Aufzeichnungslänge genannt

Triggersystem bestimmt Anfangs- und Endpunkt der Aufzeichnungslänge

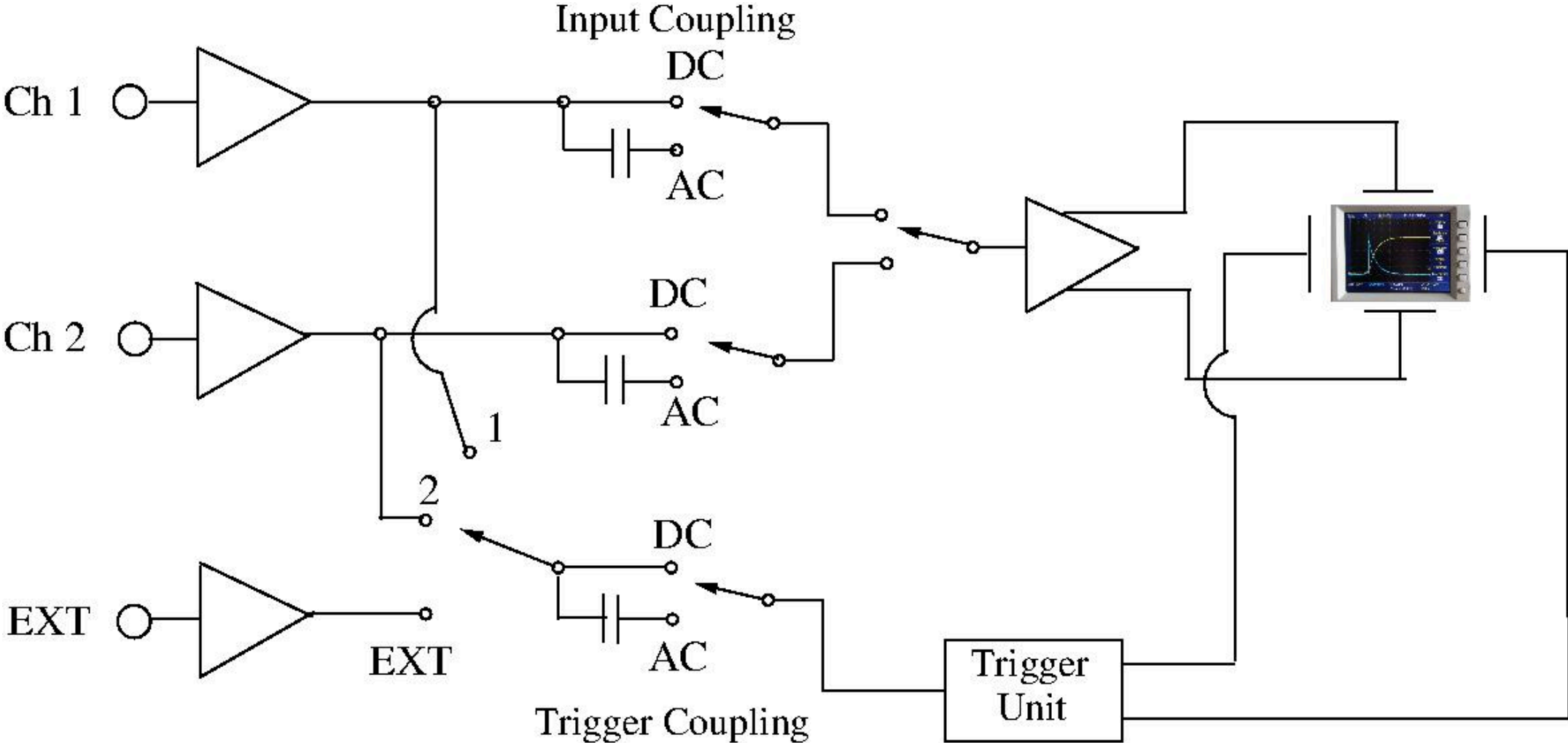
Digital Oszilloskop: Funktionsprinzip



Mikroprozessor leitet gemessenes Signal an Display weiter

Mikroprozessor verarbeitet Signal, koordiniert Bildschirmaktivitäten, steuert Bedienelemente des vorderen Bedienfeldes und führt weitere Aufgaben durch

Digital Oszilloskop: Funktionsprinzip



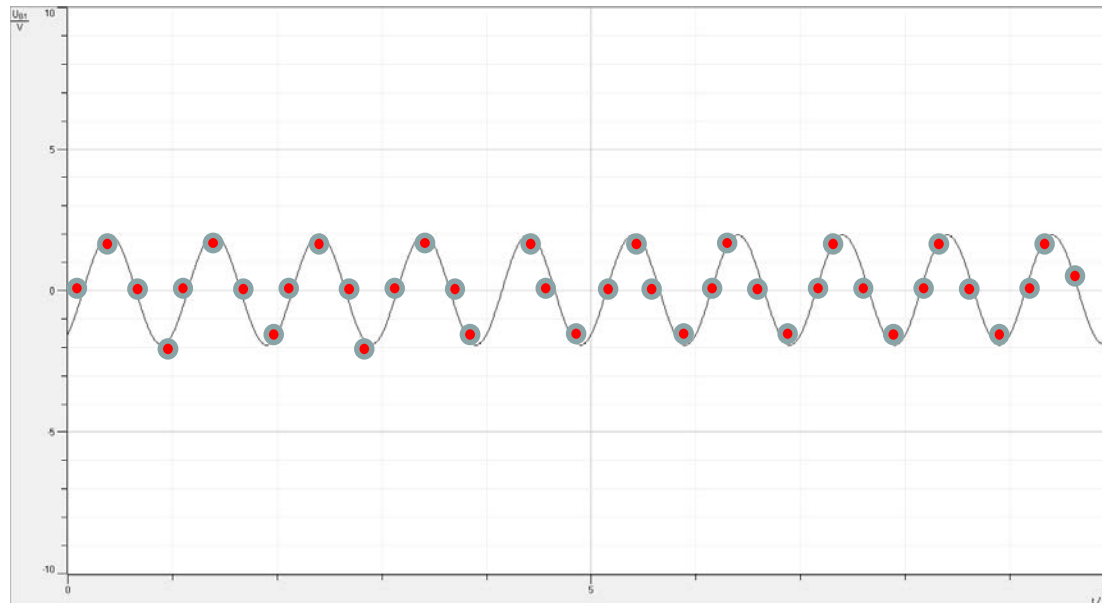
Wiederholung Signaldigitalisierung

Umwandlung analog \rightarrow digital nicht kontinuierlich, sondern zu diskreten, periodisch angeordneten Zeitpunkten (**Abtastpunkte** bzw. **sampling points**).

Häufigkeit der Signalabtastung durch Abtastrate oder Abtastfrequenz $f_{\text{Abtastung}}$ vorgegeben (Kehrwert ist Abtastintervall $T_{\text{abtastung}}$).

Je höher $f_{\text{Abtastung}}$, desto präziser kann zeitlicher Verlauf eines Eingangssignals dargestellt werden. Die höchstmögliche Abtastfrequenz $f_{\text{Abtastung}}$ bestimmt nach dem Nyquist Shannon Theorem gleichzeitig die maximale Frequenz f_{Signal} eines noch erfassbaren harmonischen Eingangssignals.

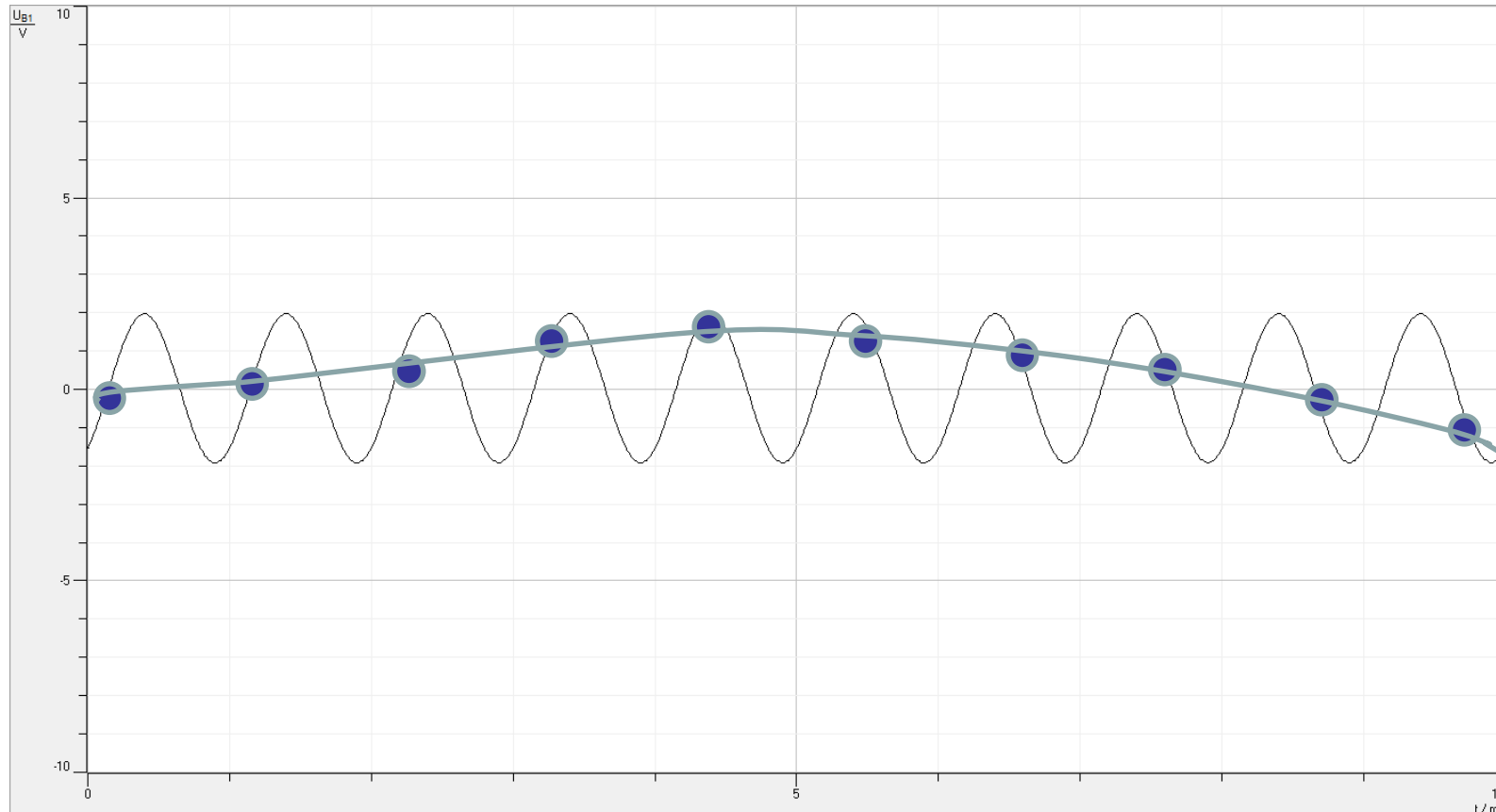
$$f_{\text{Abtastung}} > 2 \cdot f_{\text{Signal}}$$



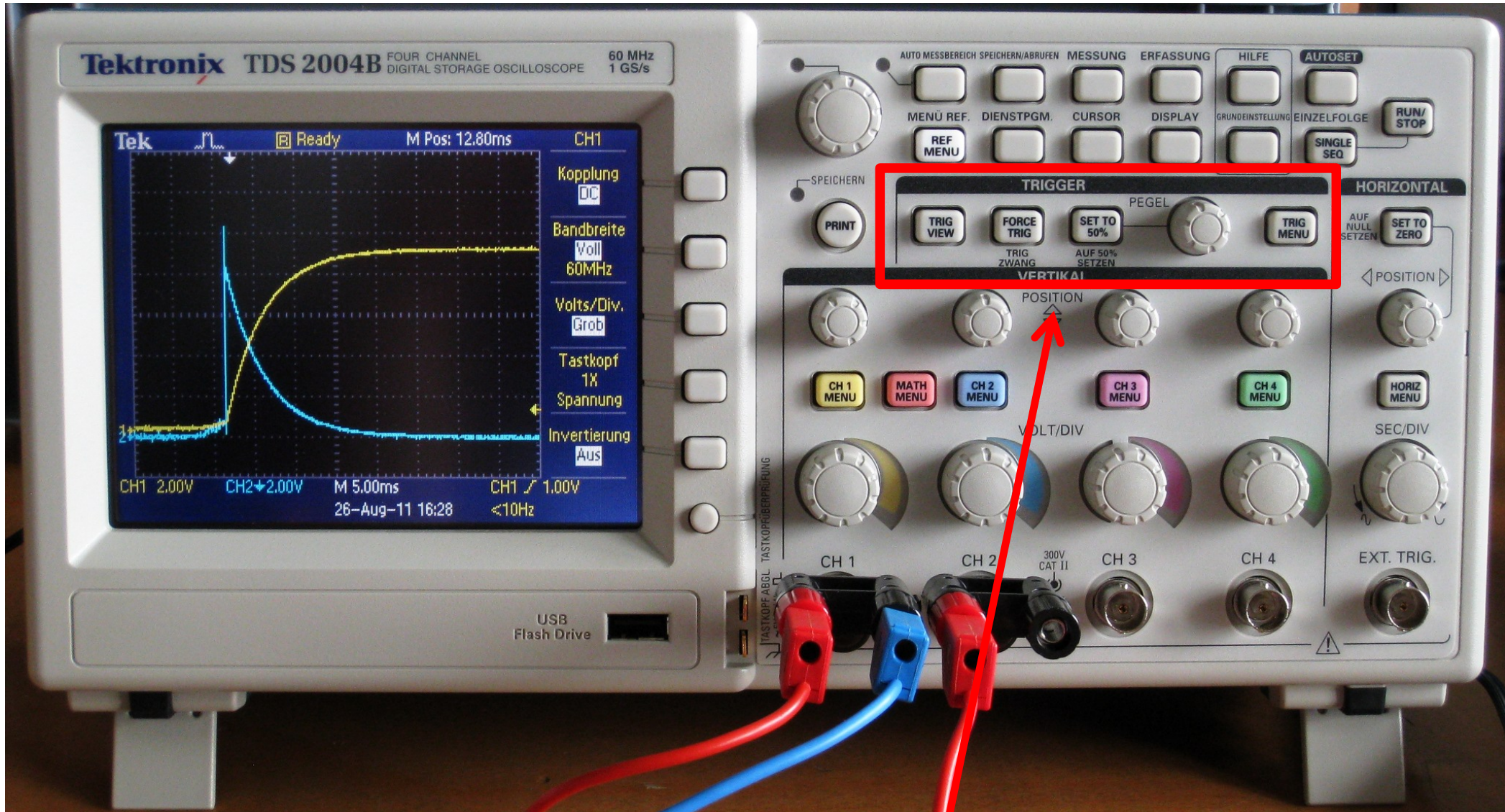
Signaldigitalisierung

Nyquist Shannon Theorem $f_{\text{Abtastung}} > 2 \cdot f_{\text{Signal}}$

hier nicht erfüllt ($T_{\text{abtastung}} = T_{\text{signal}}$)

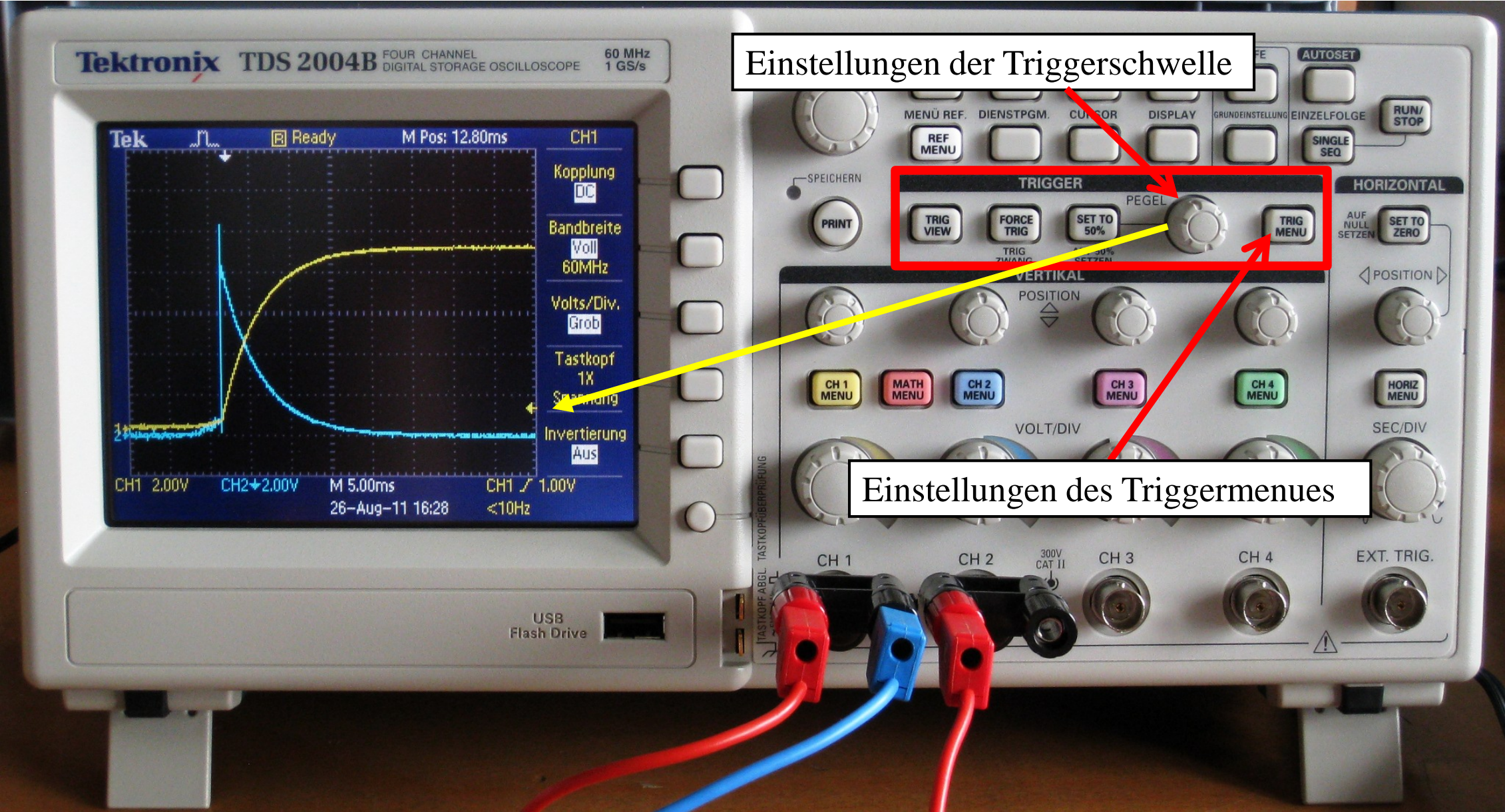


Digital Oszilloskop



Einstellungen des Triggers, der steuert, wann ein Signal auf Display angezeigt werden soll

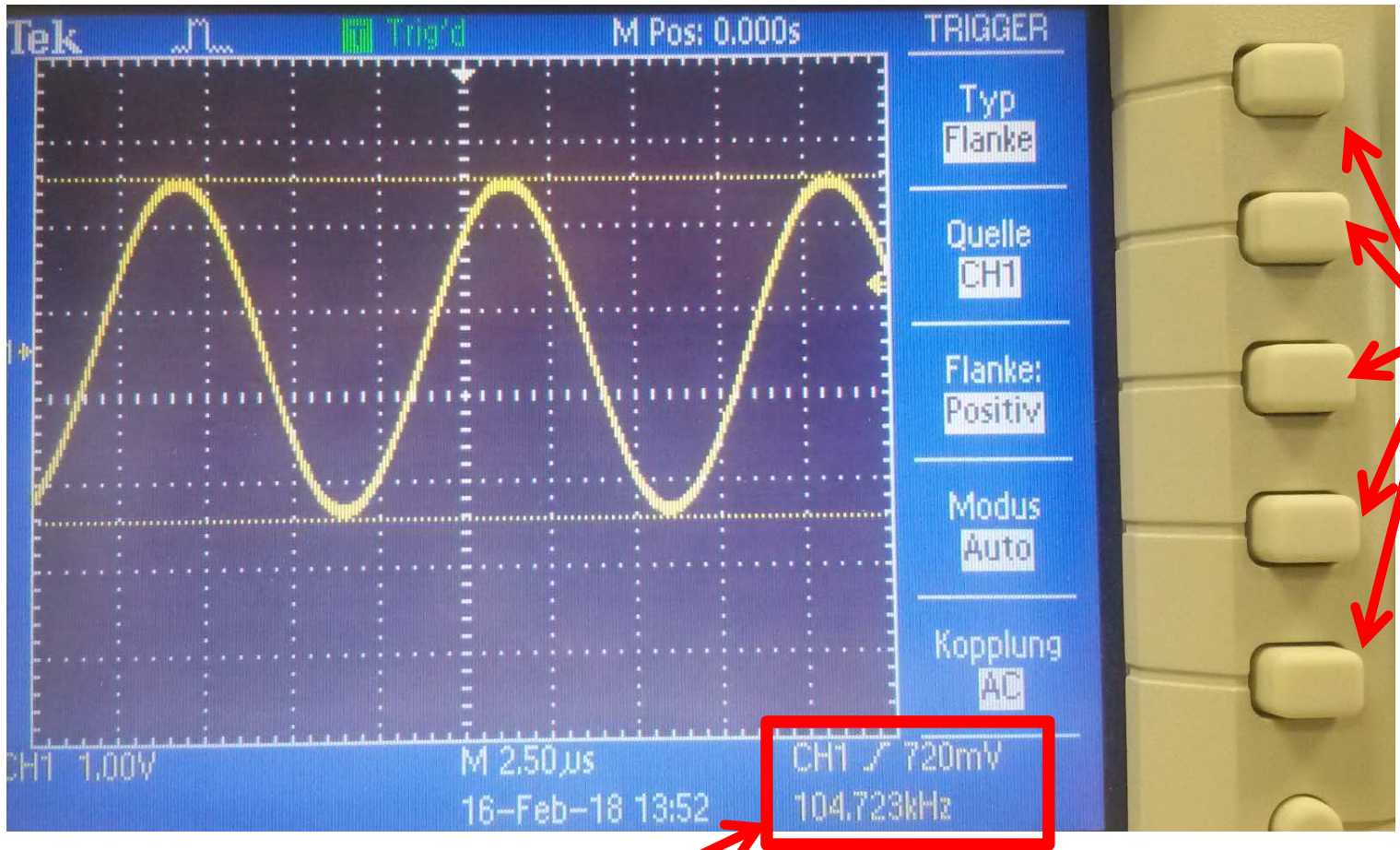
Digital Oszilloskop



Einstellungen der Triggerschwelle

Einstellungen des Triggermenues

Digital Oszilloskop



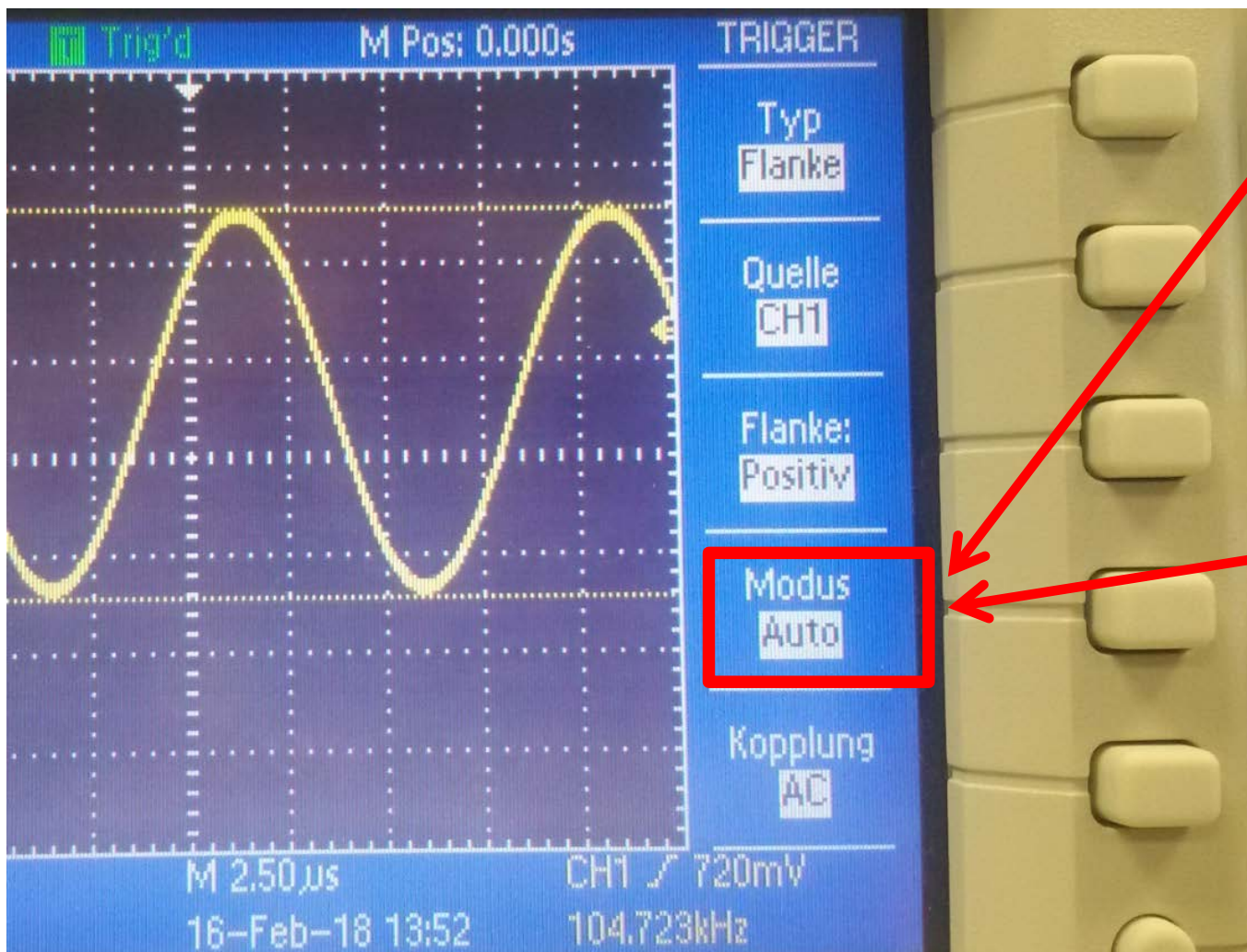
Triggermenü
Auswahl durch seitliche Knöpfe

Weitere Informationen zum Triggersignal:
CH1: Anzeige der zur Triggerung verwendete Triggerquelle
720 mV: Anzeige des Flankentriggerpegels
Symbol steht für jeweils ausgewählte Triggerart



Flankentrigger auf der steigenden Flanke.
Flankentrigger auf der fallenden Flanke.

Digital Oszilloskop



Modus:

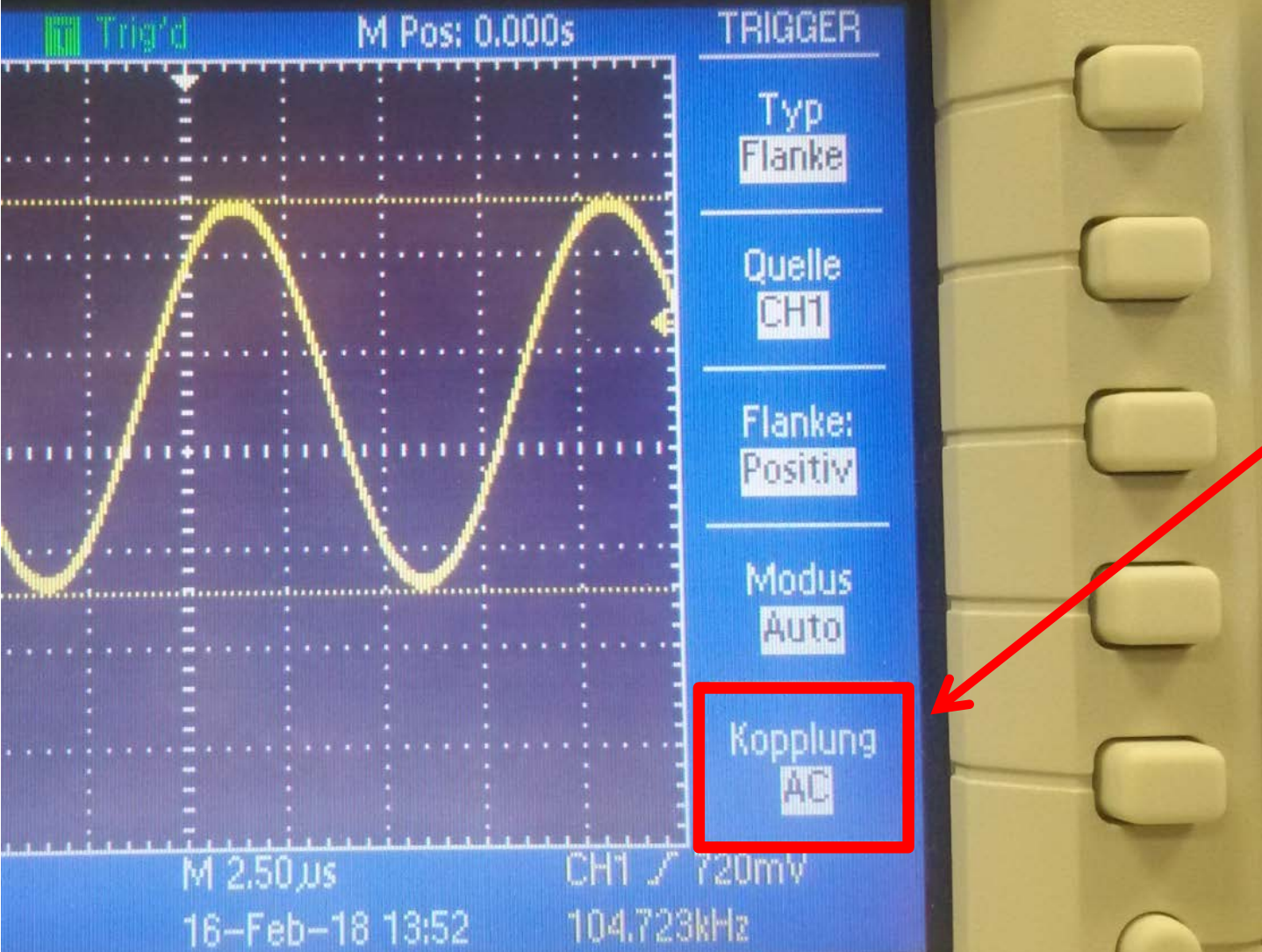
Normal: Ablenkung wird ausgelöst, wenn Eingangssignal einen bestimmten Schwellwert übersteigt.

Dabei ist noch einstellbar, ob die Auslösung bei ansteigendem oder abfallendem Signal erfolgen soll.

Auto: Ablenkung wird regelmäßig ausgelöst, wenn Elektronenstrahl eine volle Auslenkung über den Schirm beendet hat und zum linken Rand zurückgekehrt ist;

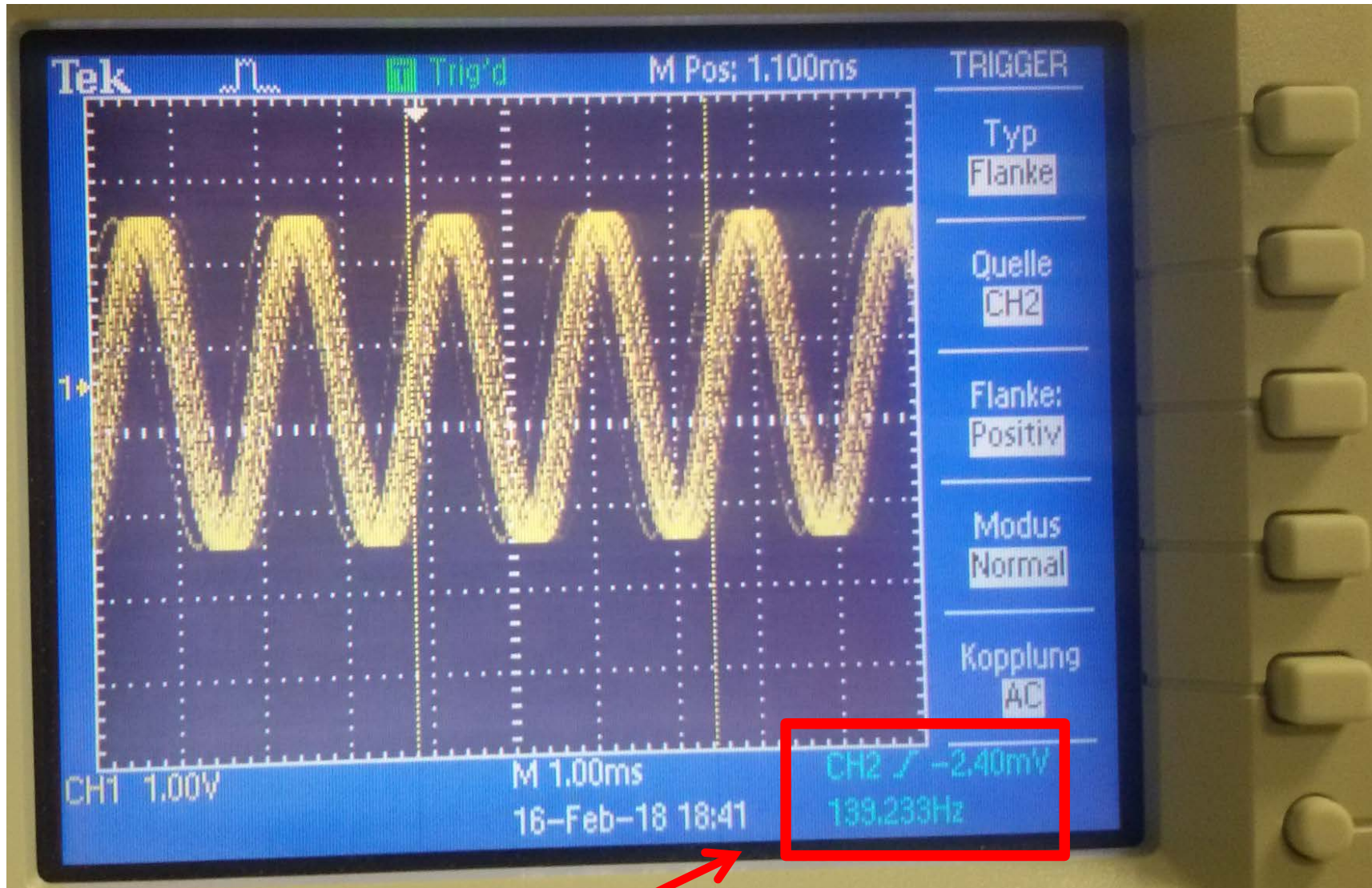
außer es tritt vorher ein Triggerereignis ein: dann beginnt die Auslenkung sofort. Auf diese Weise bleibt der Elektronenstrahl auch dann sichtbar, wenn kein Triggerereignis eintritt.

Digital Oszilloskop



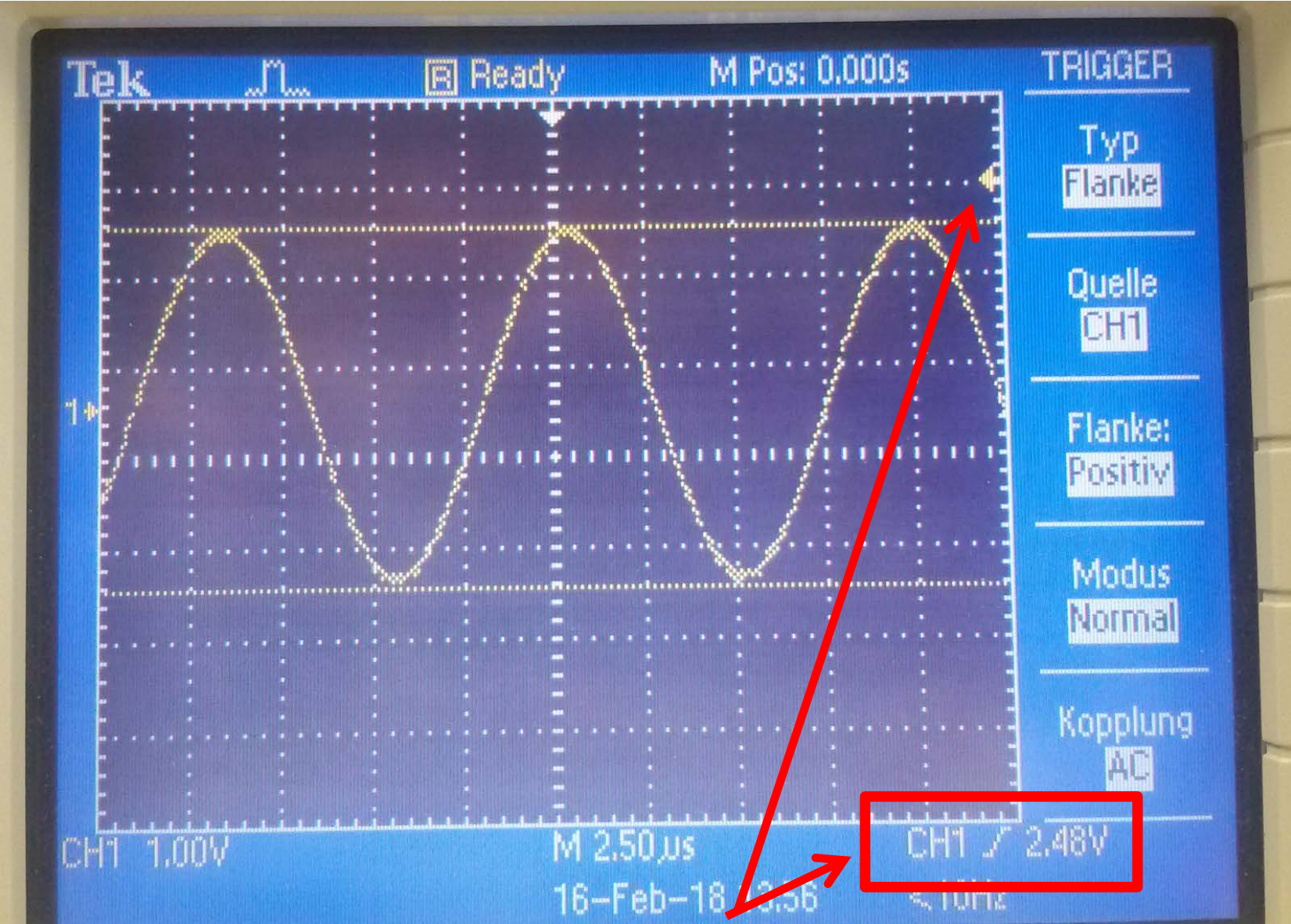
Kopplung:
DC, AC, Hoch- oder Tiefpassfilter etc.

Digital Oszilloskop



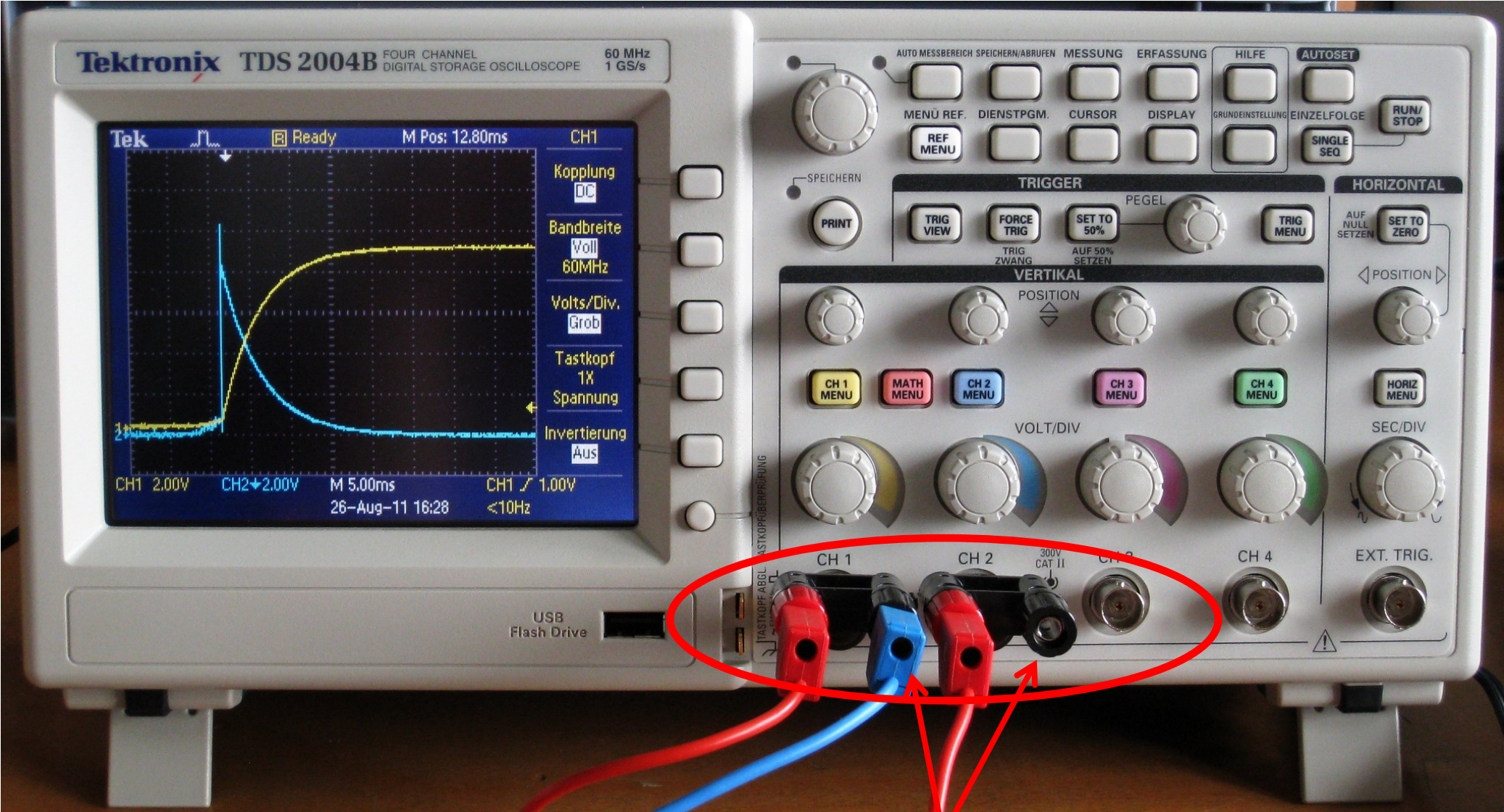
Unscharfe Signale bzw. „durchlaufende“ Signale: z.B. durch falsch gesetzten CH als Triggerquelle

Digital Oszilloskop



Unscharfe Signale bzw. „durchlaufende“ Signale bzw. kein Signal: z.B. durch zu hohe Triggerschwelle

Digital Oszilloskop



4 Kanal Oszilloskop, die alle die gleiche Masse (Erde) haben

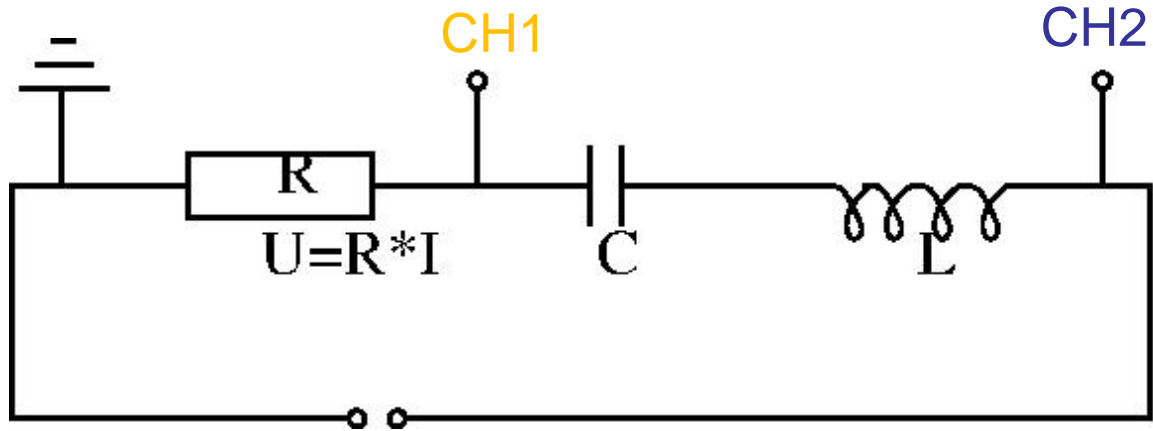
Digital Oszilloskop

4 Kanäle mit gleicher Masse (Erde), schlimm?

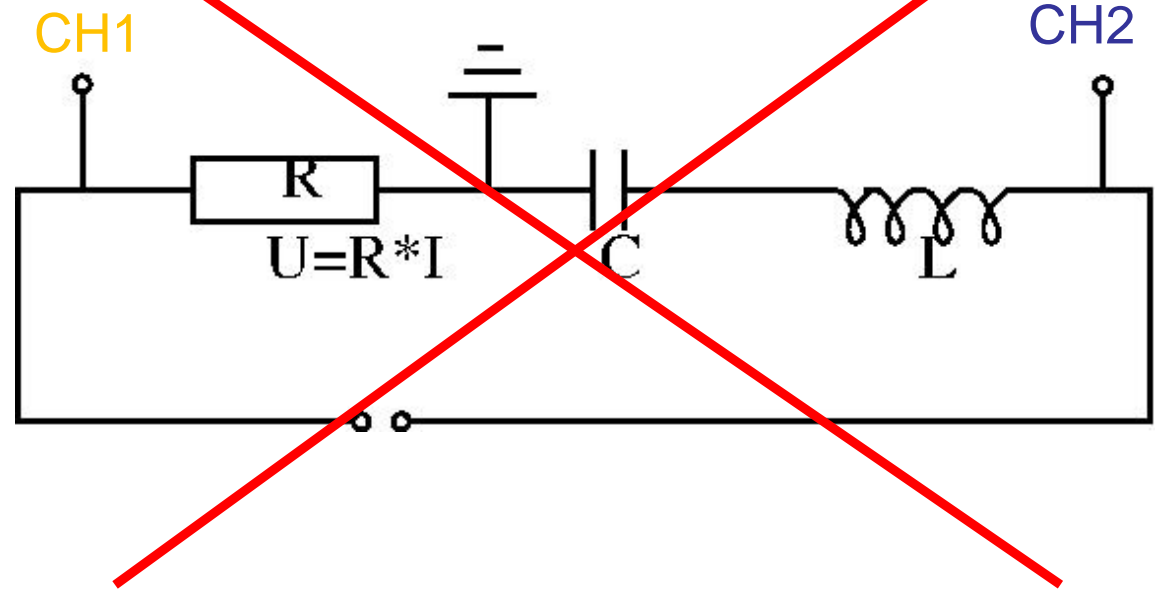
Aufgabe: Messen sie die Phasenverschiebung zwischen Strom und Gesamtspannung mit dem Oszilloskop.

Erfüllt Schaltung 1 oder 2 die Aufgabe?

1:



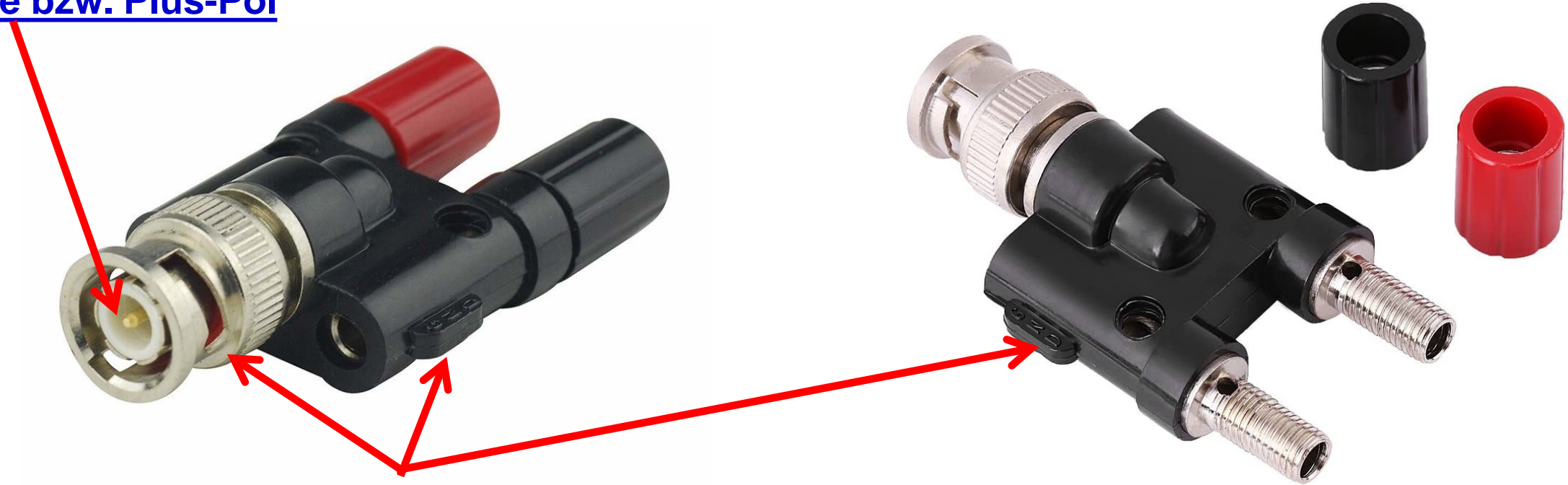
2:



Digital Oszilloskop

BNC-Banane-Stecker

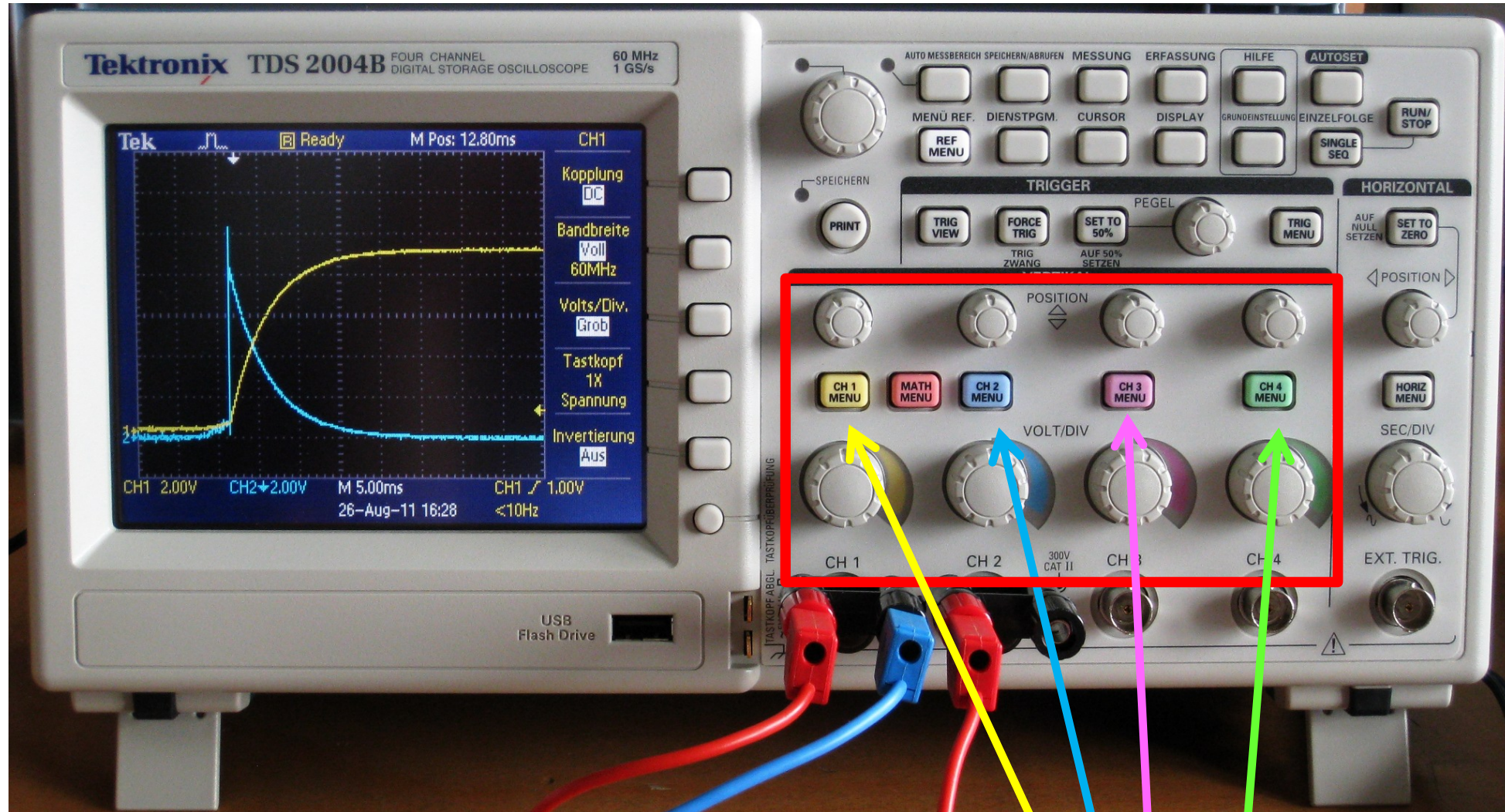
Goldener Pin im BNC-Teil:
Seele bzw. Plus-Pol



Metallisches Gehäuse im BNC-Teil bzw. Anschluss mit Fähnchen, auf dem GND für Ground steht: Masse-Anschluss

ACHTUNG: Nicht an Farbe der Bananen-Anschluss-Hülsen orientieren, da diese abschraubbar sind

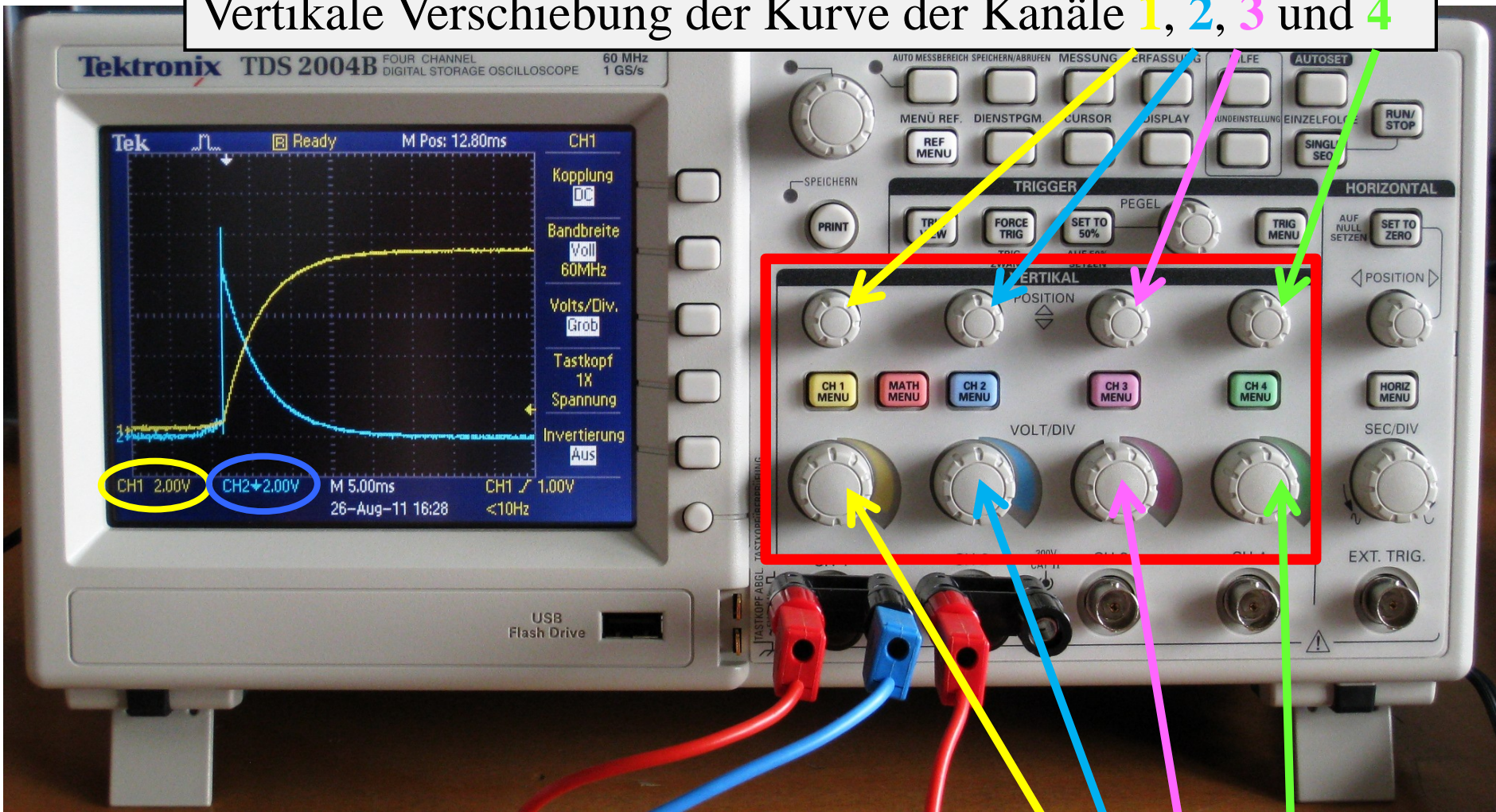
Digital Oszilloskop



Kanalspezifische Einstellungen: Anzeige der Kanäle 1, 2, 3 und 4 über Druck auf jeweiligen farbigen Schalter

Digital Oszilloskop

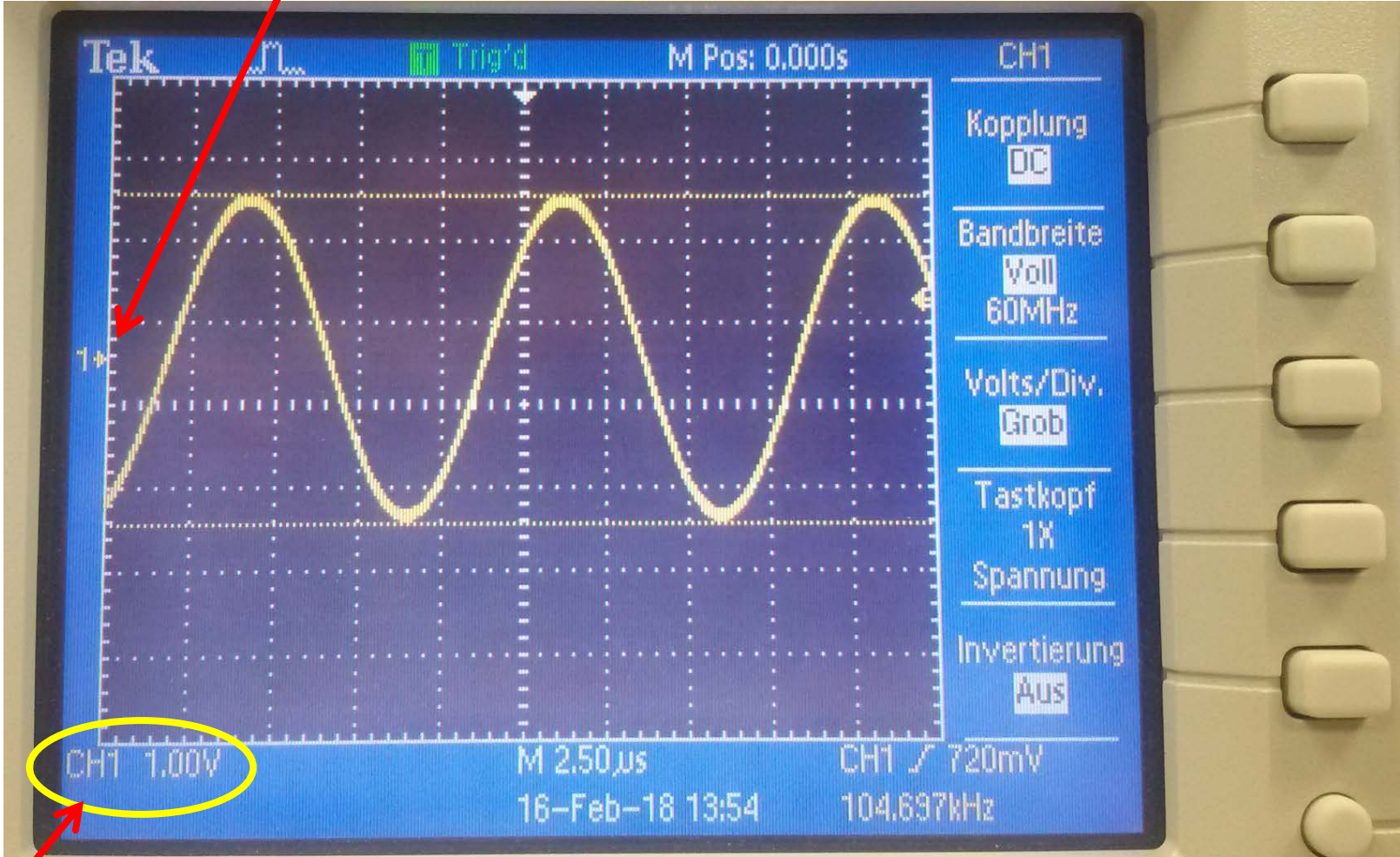
Vertikale Verschiebung der Kurve der Kanäle 1, 2, 3 und 4



Volt/Div Einstellung der Skalierung der y-Achsen der Kanäle 1, 2, 3 und 4

Digital Oszilloskop

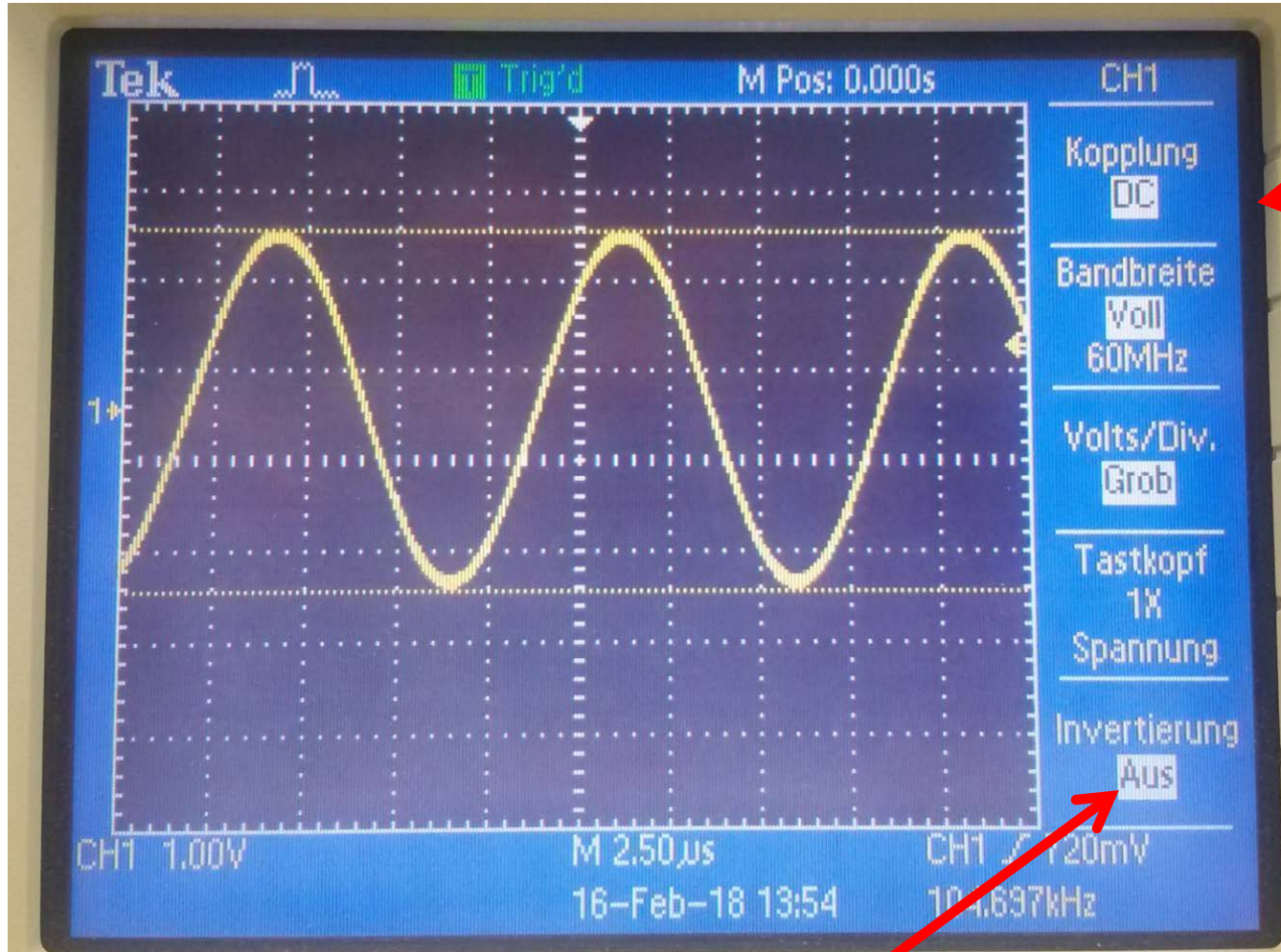
Anzeige der Nulllinie (erdbezogene Messpunkte) des CH1



Kanal-Menü
Auswahl durch
seitliche Knöpfe

Anzeige der vertikalen Skalenfaktoren für die einzelnen Kanäle

Digital Oszilloskop



Kopplung:

Einstellmöglichkeiten:

DC/AC/GND

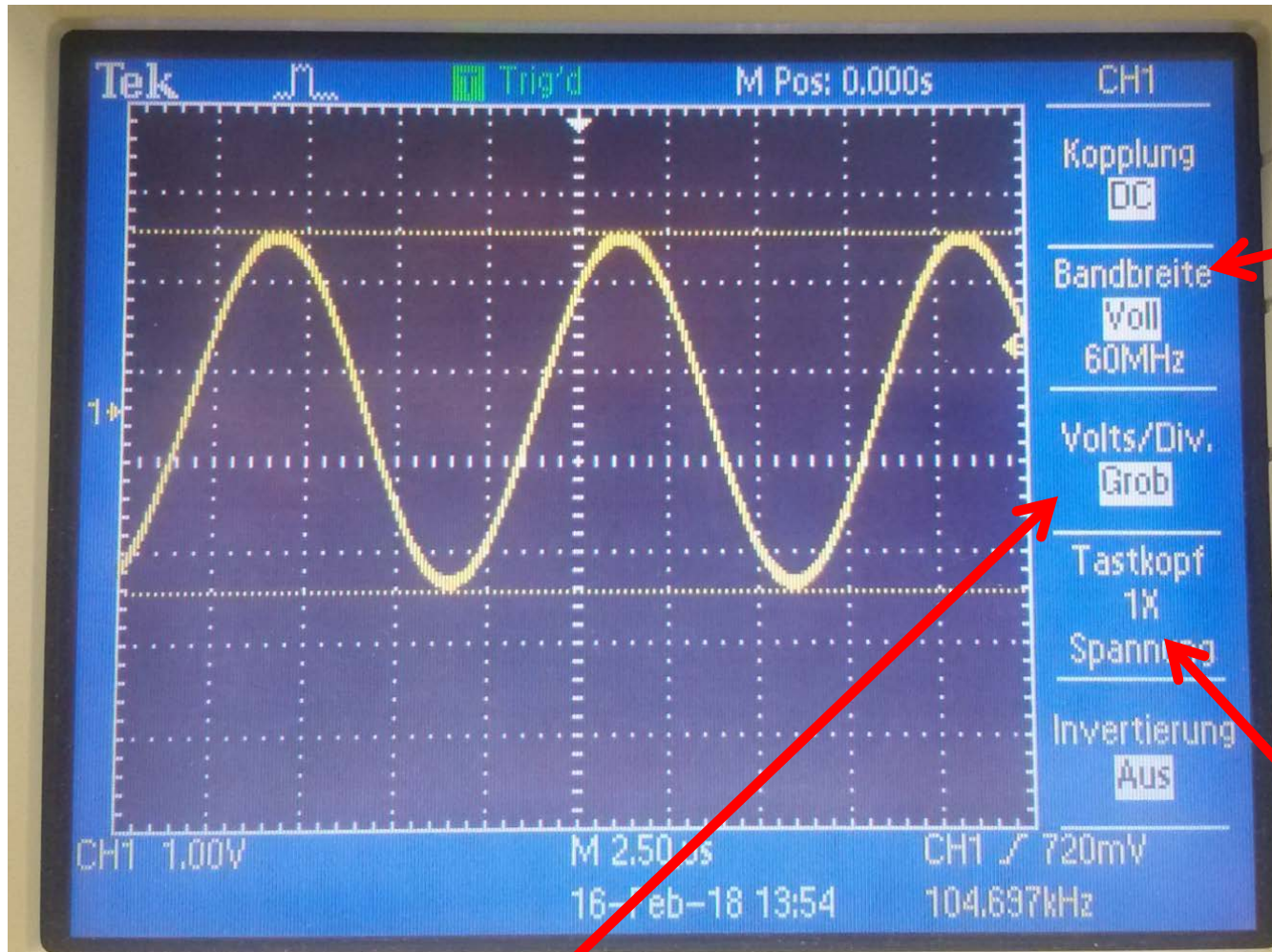
DC: Signaleingang direkt mit dem Eingang des Verstärkers verbunden.

AC: Kapazität liegt zwischen Signaleingang und Eingang Verstärker, die einen Gleich-spannungsanteil des Signals unterdrückt und nur den Wechselspannungsanteil des Signals überträgt.

GND: (Ground, Masse) Signaleingang ist unter-brochen, und Eingang des Verstärkers liegt auf Masse.

Invertierung → an X-Achse gespiegelter Verlauf,
**ACHTUNG: Trigger ignoriert Invertierung
und bleibt sensitiv auf nicht invertiertes Signal!**

Digital Oszilloskop



Bandbreite:

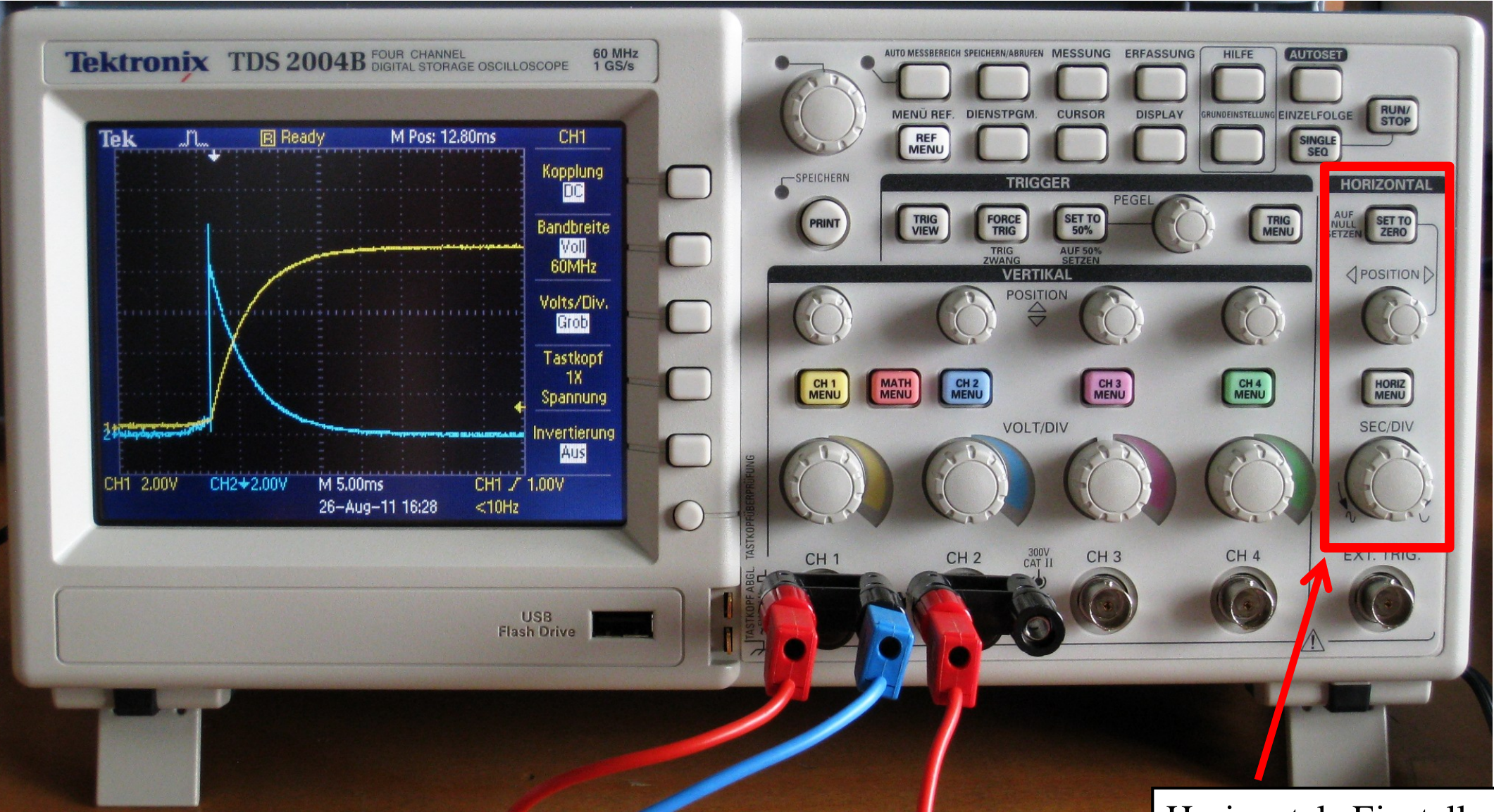
Bandbreitenbegrenzung
→ Reduzierung des Rauschens, das auf dem dargestellten Signal auftreten kann
Ergebnis: schärfere Signal-darstellung

ABER: Reduzierung oder Eliminierung hochfrequenter Anteile des Signals → Signalverfälschung

Volts/Div → grobe oder feine Einstellung der y-Achsenkalibrierung via Drehregler

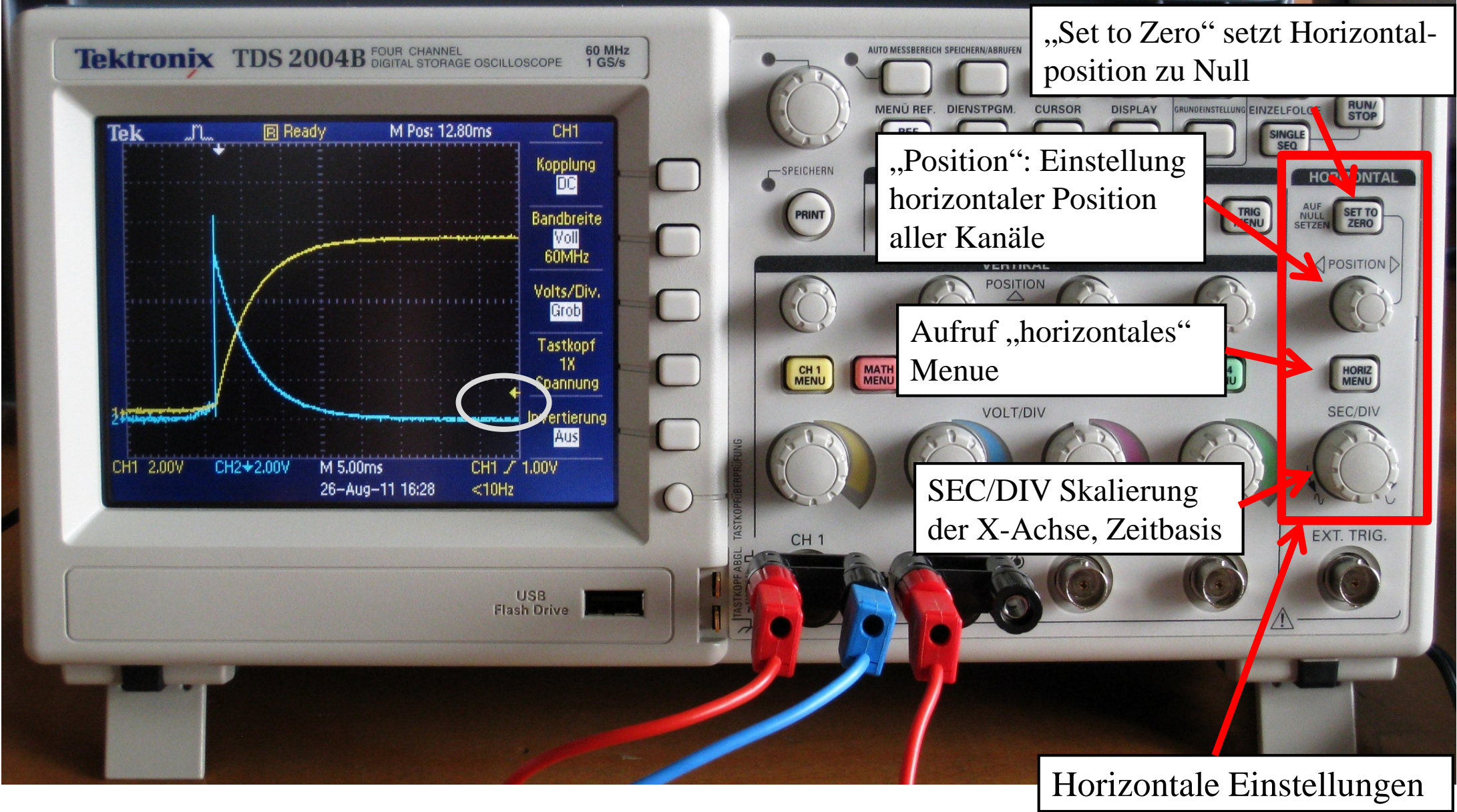
Tastkopf → x-fache Verstärkung des Signals einstellbar

Digital Oszilloskop

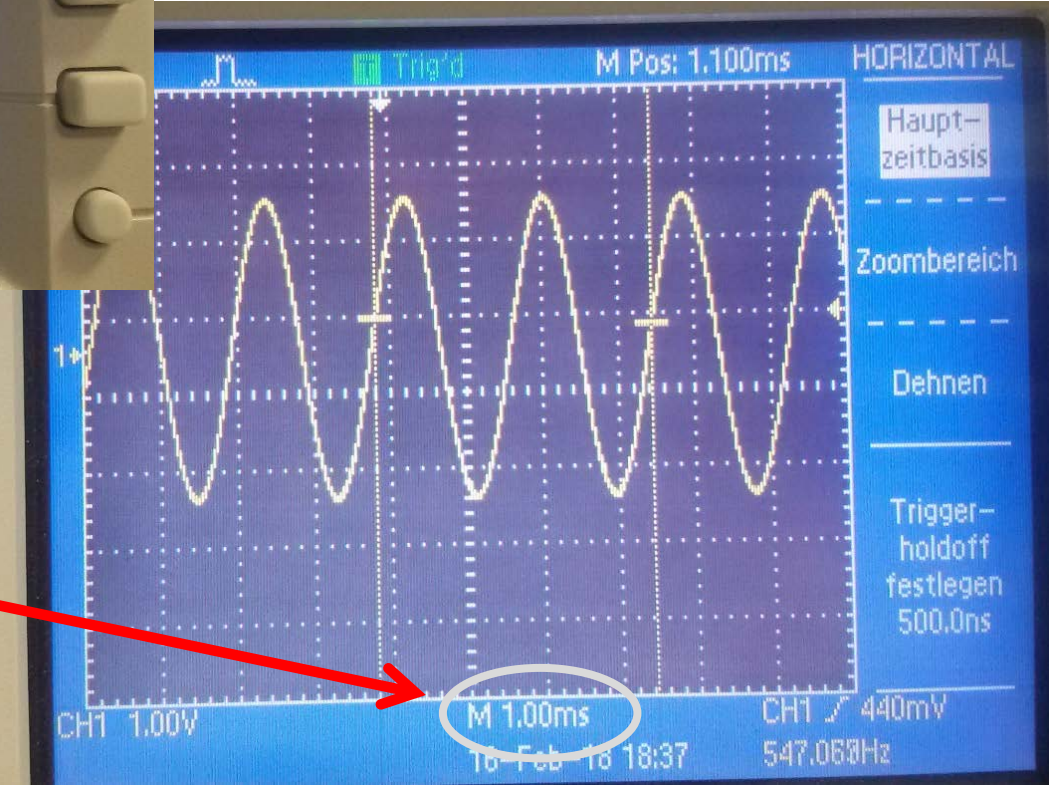
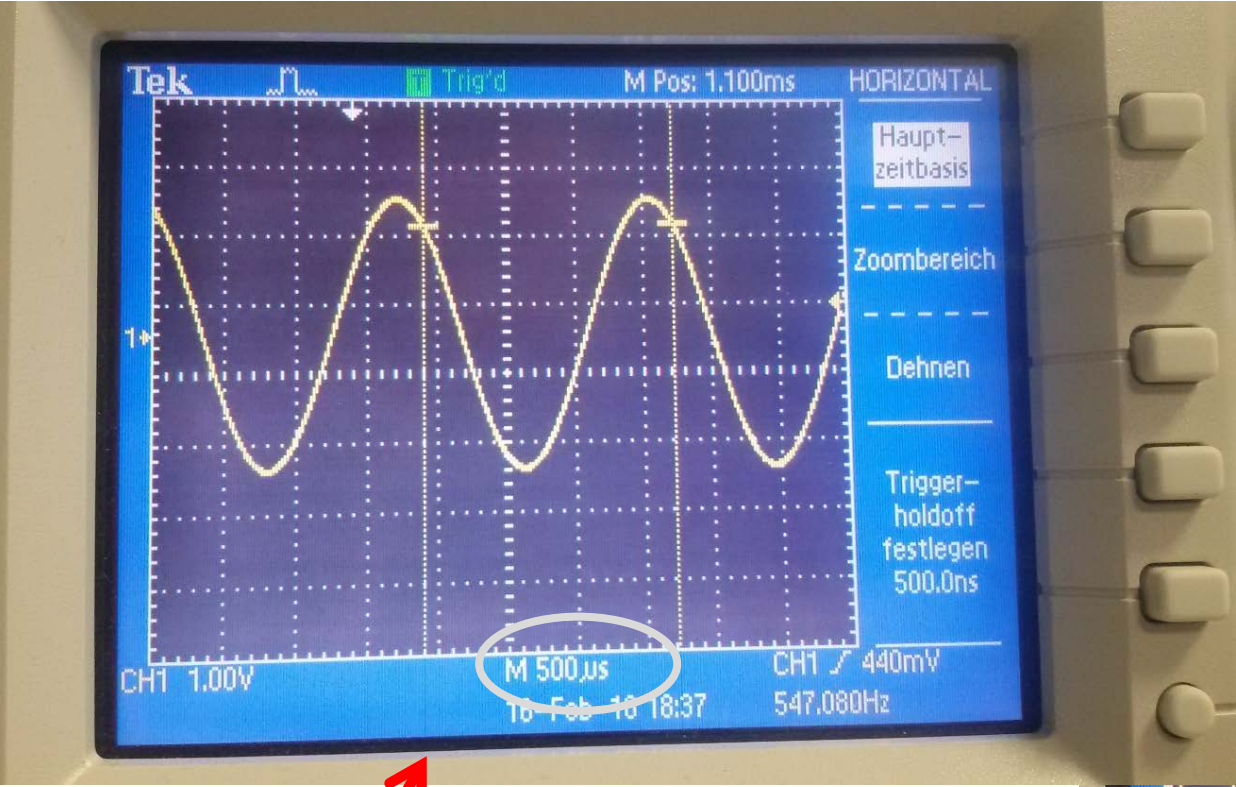


Horizontale Einstellungen

Digital Oszilloskop

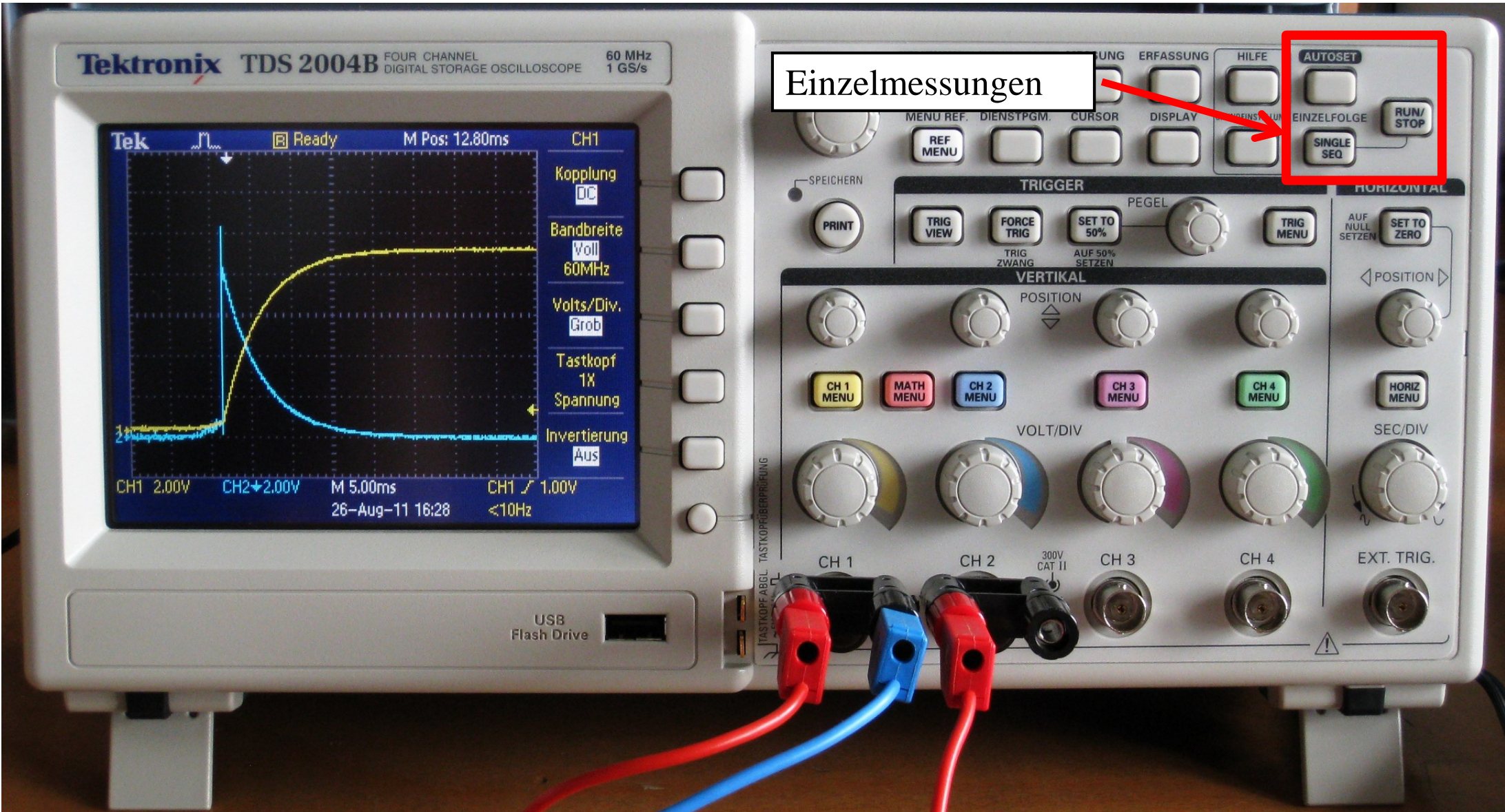


Digital Oszilloskop

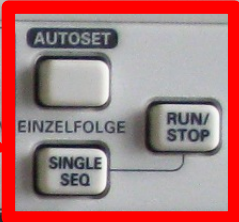


Horizontale Einstellungen: SEC/DIV
Skalierung der X-Achse, Zeitbasis

Digital Oszilloskop

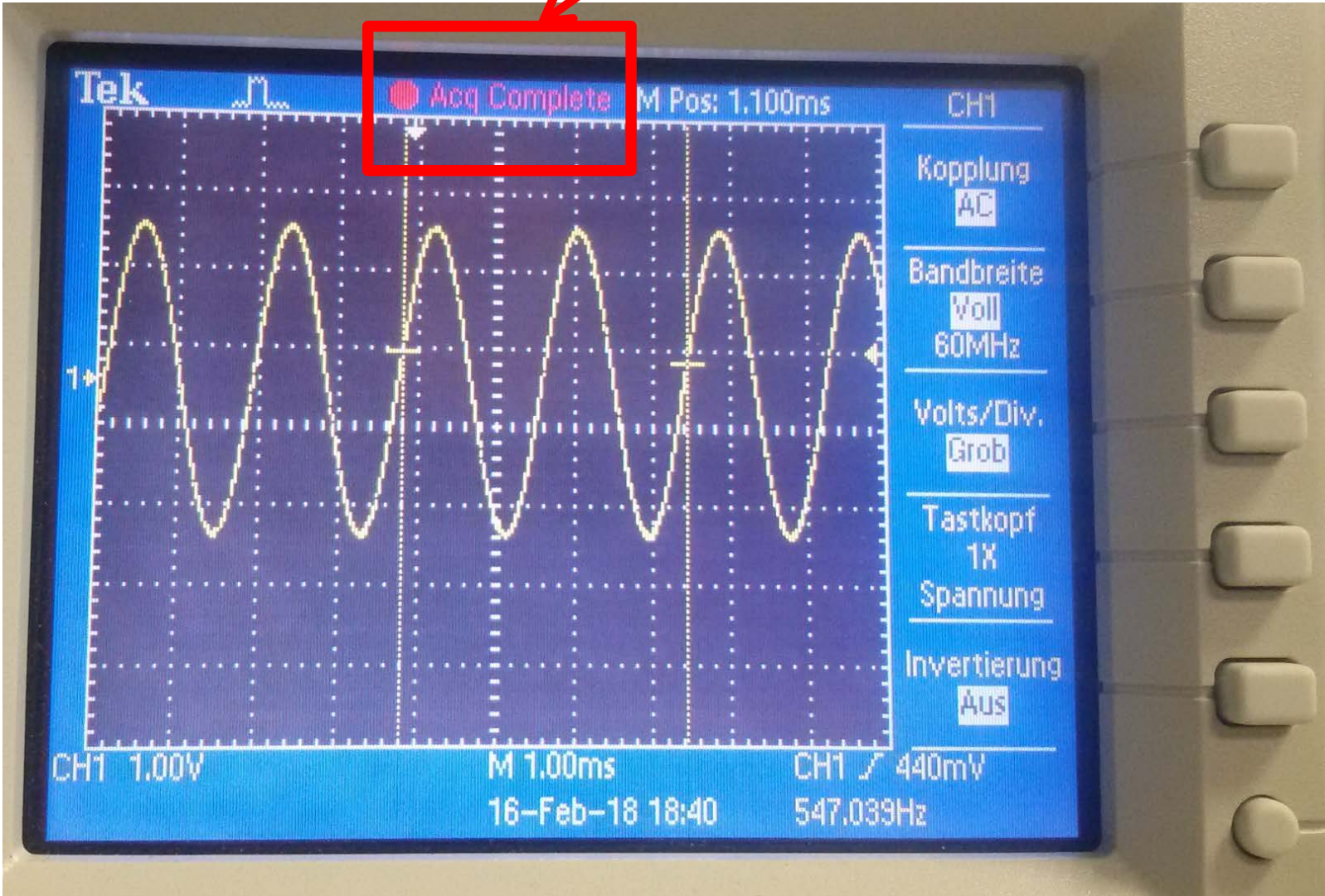


Einzelmessungen



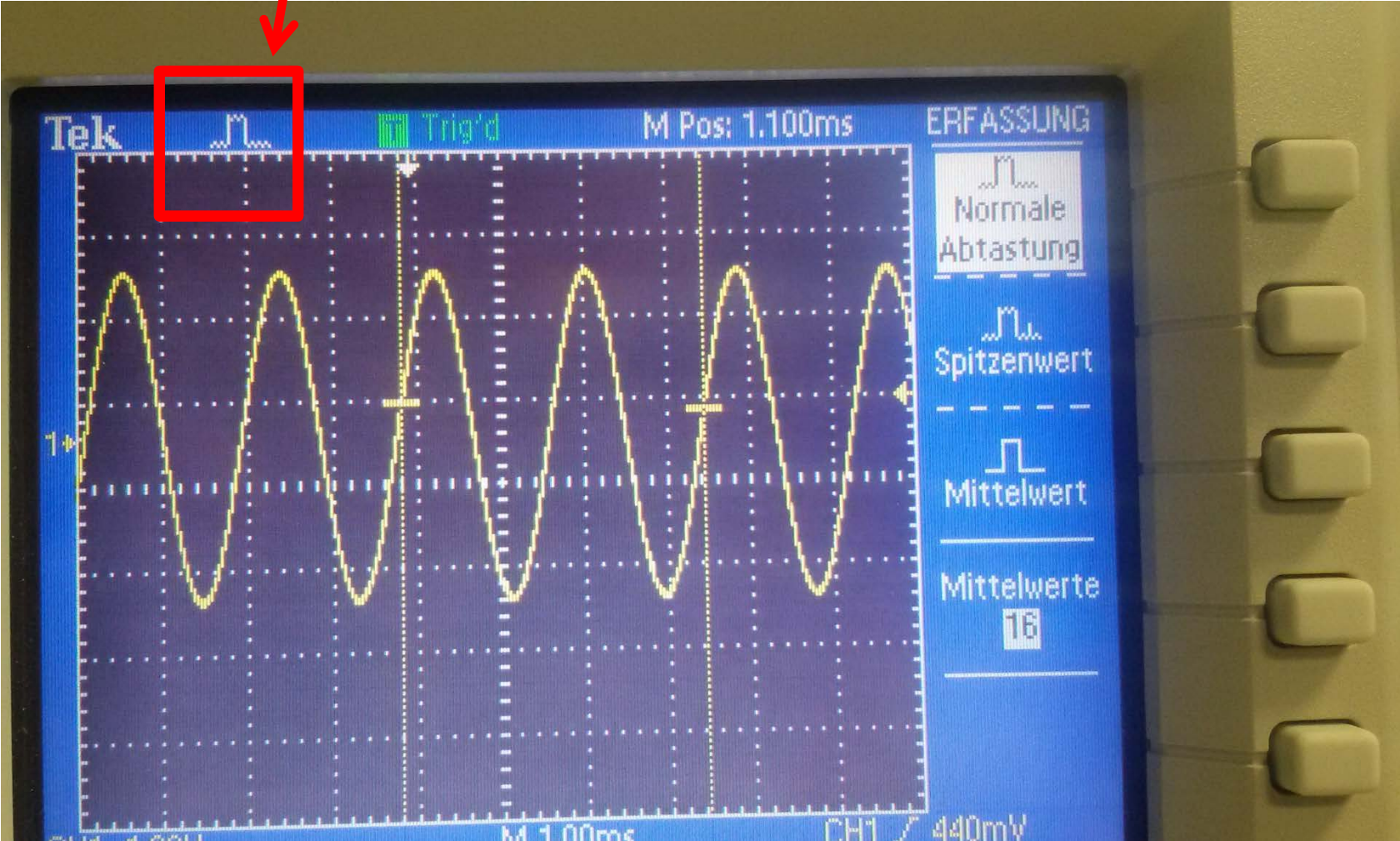
Digital Oszilloskop

Nach Aufnahme der Einzelmessungen



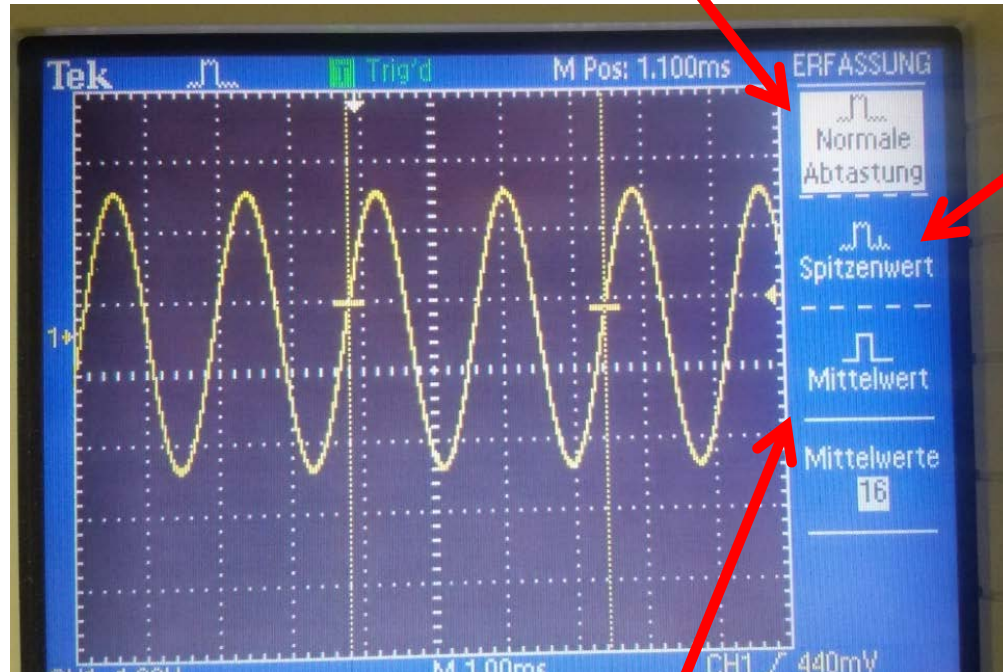
Digital Oszilloskop

Erfassungsmodus



Digital Oszilloskop

Normale Abtastung: Oszi erzeugt einen Signalpunkt, indem in jedem Signalintervall ein Abtastpunkt gespeichert wird

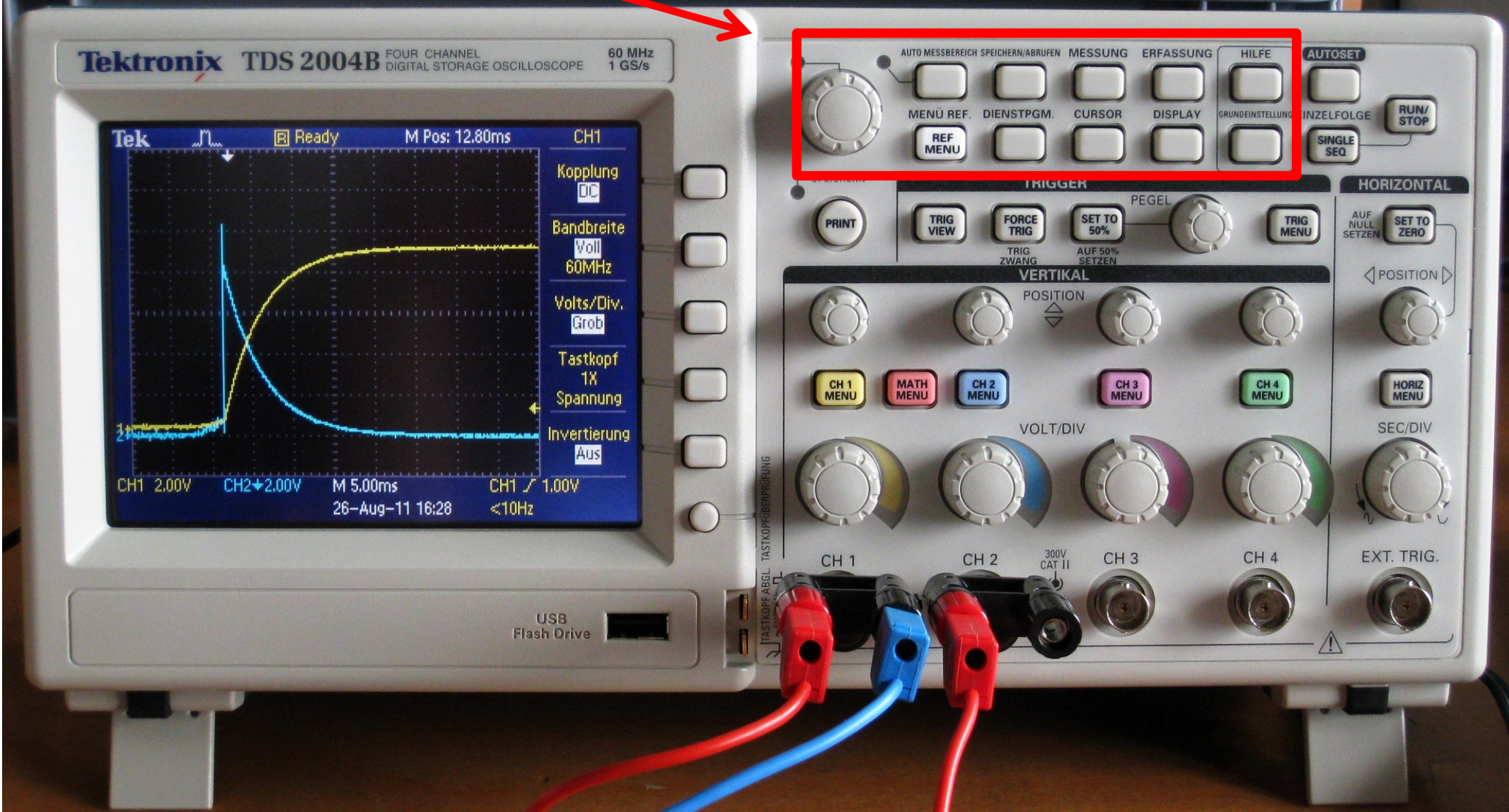


Spitzenwert: Oszi speichert Minima und Maxima der in zwei Signalintervallen erfassten Abtastpunkte und verwendet diese als die beiden einander zugeordneten Signalpunkte → Erfassung schneller Signaländerungen; Modus von Vorteil bei Darstellung von schmalen Impulsen in zeitlich großen Abständen

Mittelwert: Oszi speichert einen Abtastpunkt pro Signalintervall; Signalpunkte aus aufeinanderfolgenden Erfassungen werden anschließend gemittelt, um endgültiges dargestelltes Signal zu erzeugen; Modus verringert Rauschen ohne Bandbreitenbegrenzung, setzt jedoch ein sich wiederholendes Signal voraus

Digital Oszilloskop

Allgem. Einstellungen, Cursor, Messungen

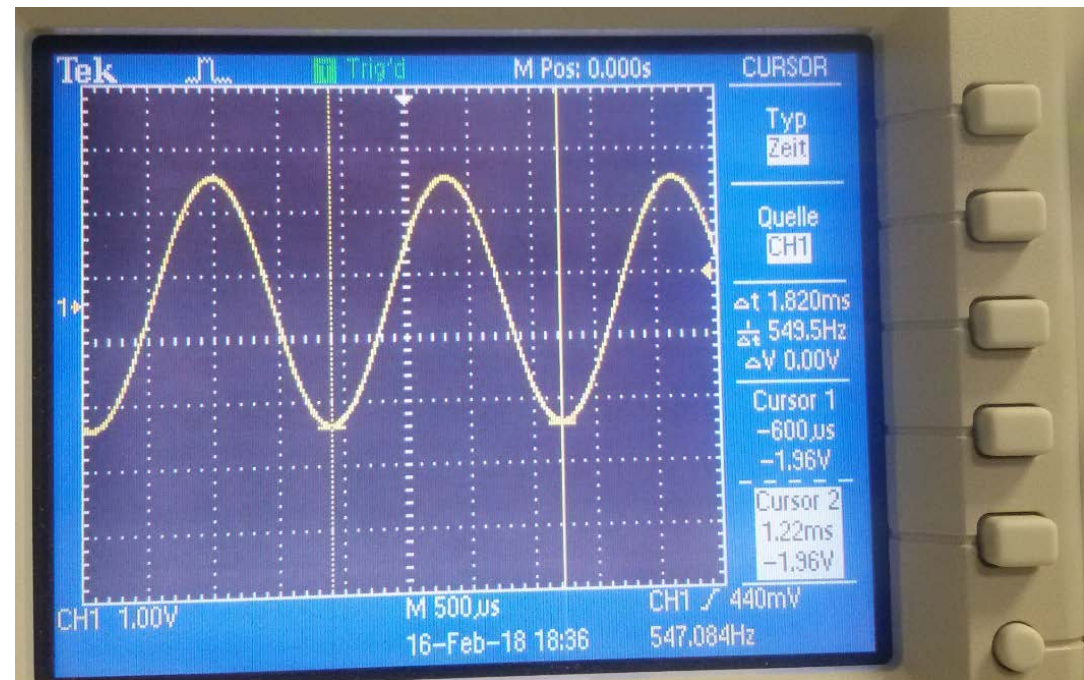
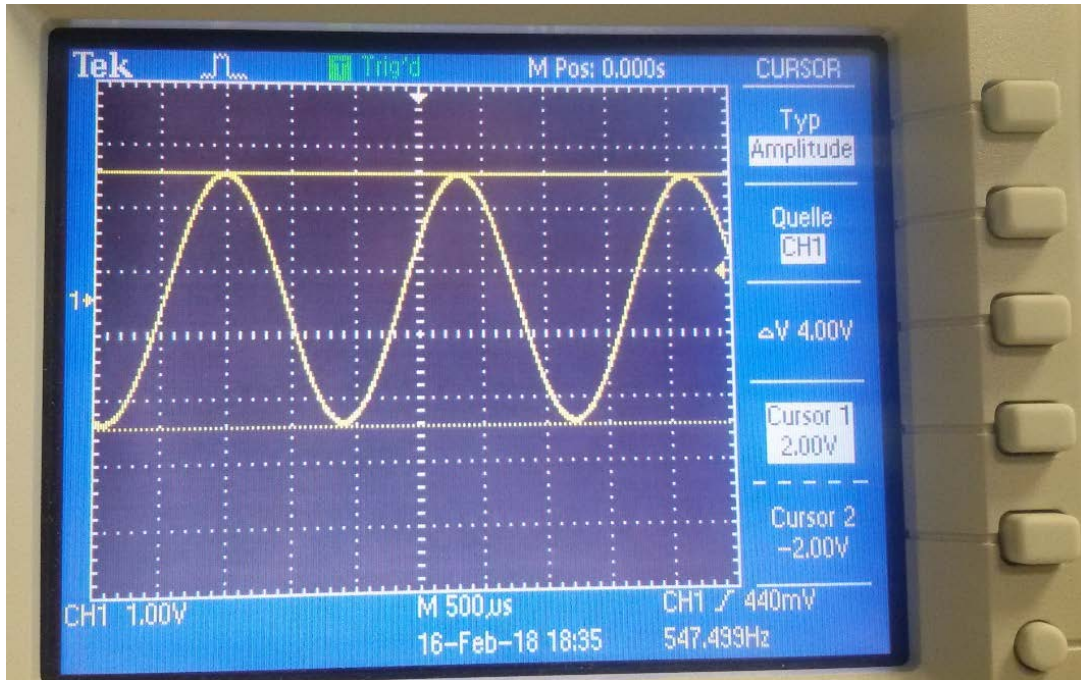


Digital Oszilloskop

Messungen mit Cursor

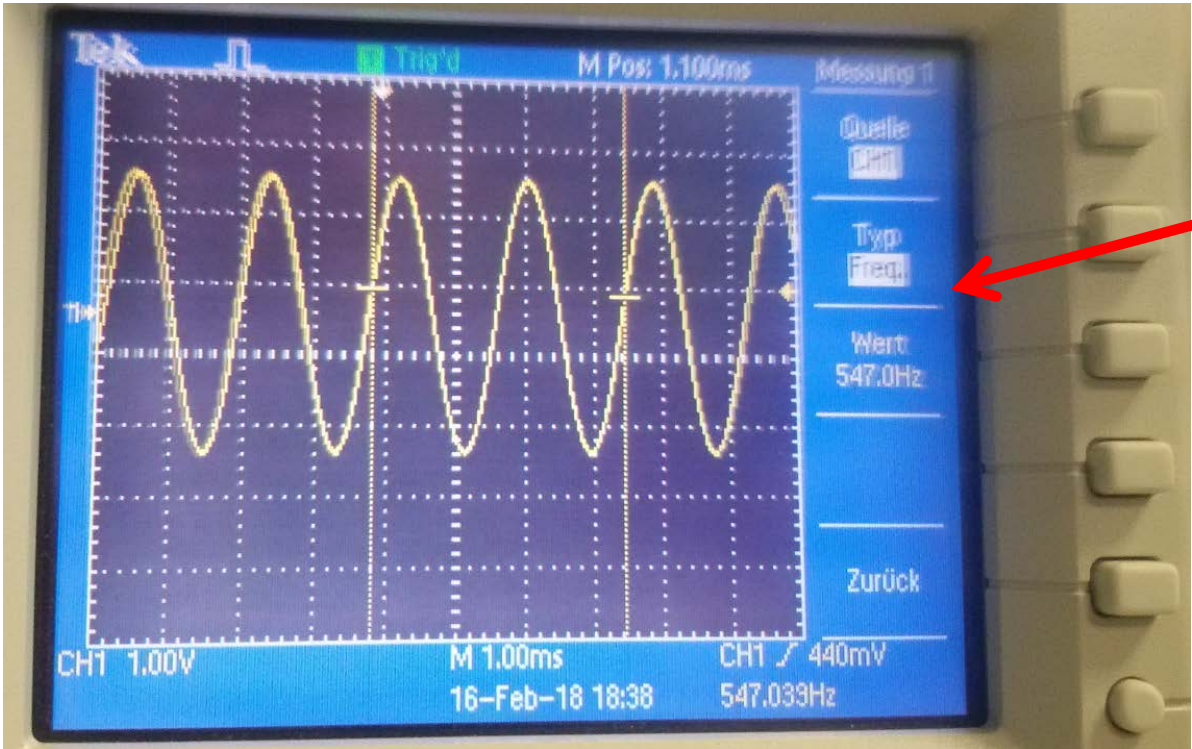


Cursor bewegen mit Mehrfunktions Drehknopf



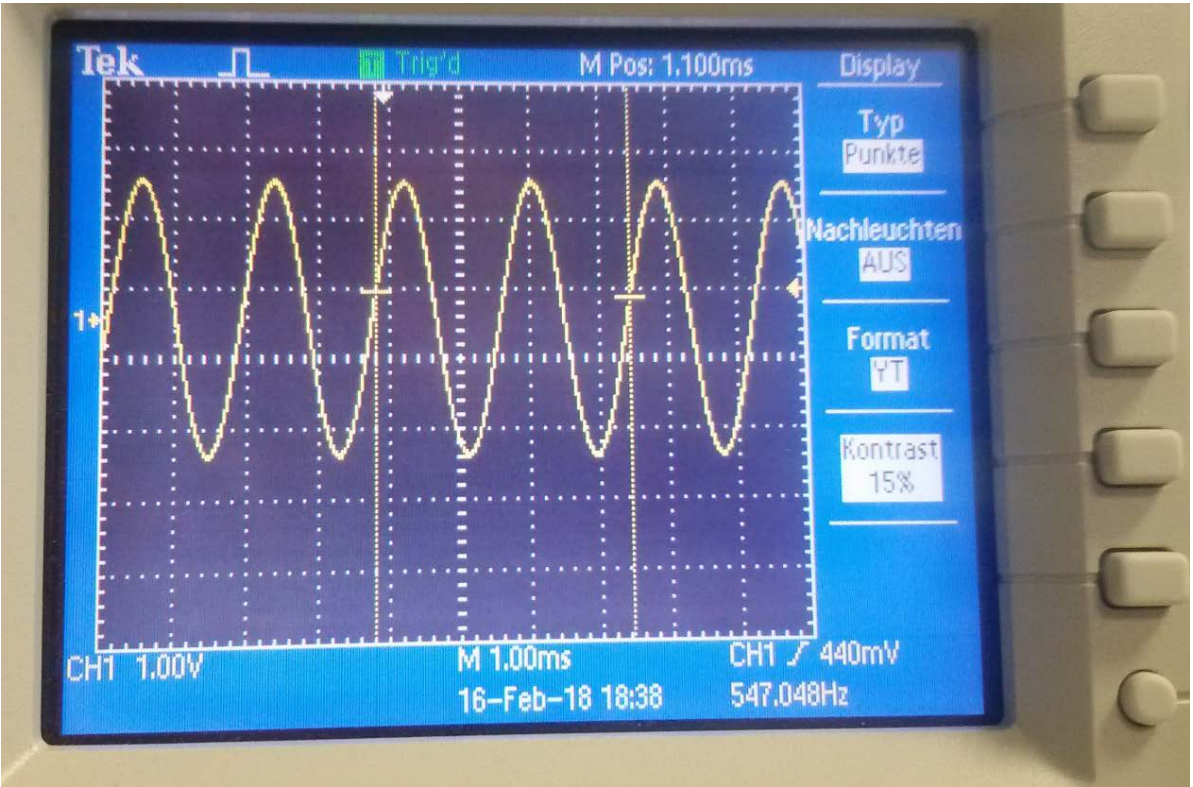
Digital Oszilloskop

Messung



Digital Oszilloskop

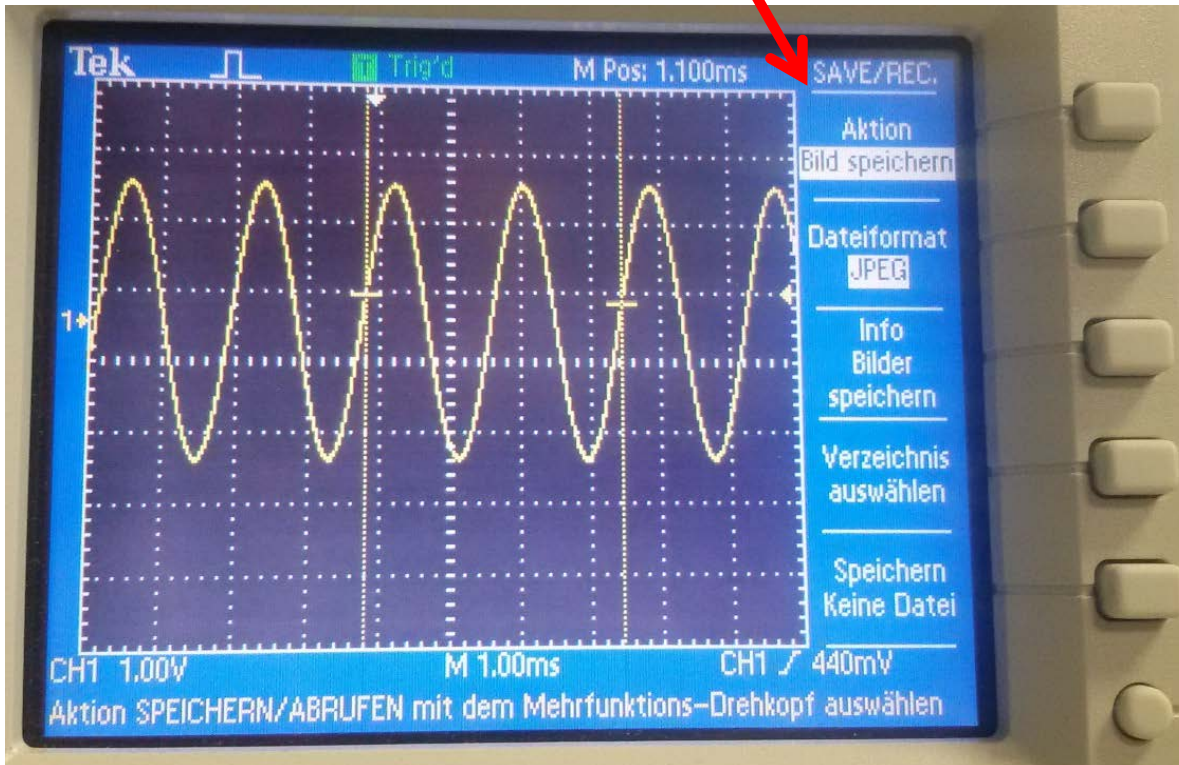
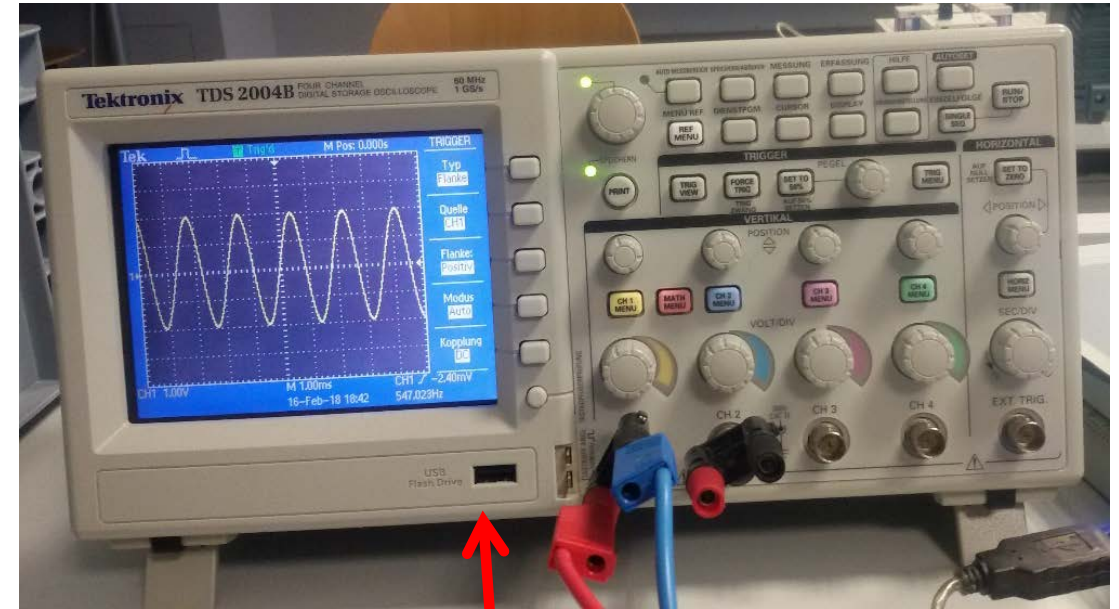
Display



Format:
YT oder
XY: → Lissajous-Figuren

Speichern

Digital Oszilloskop



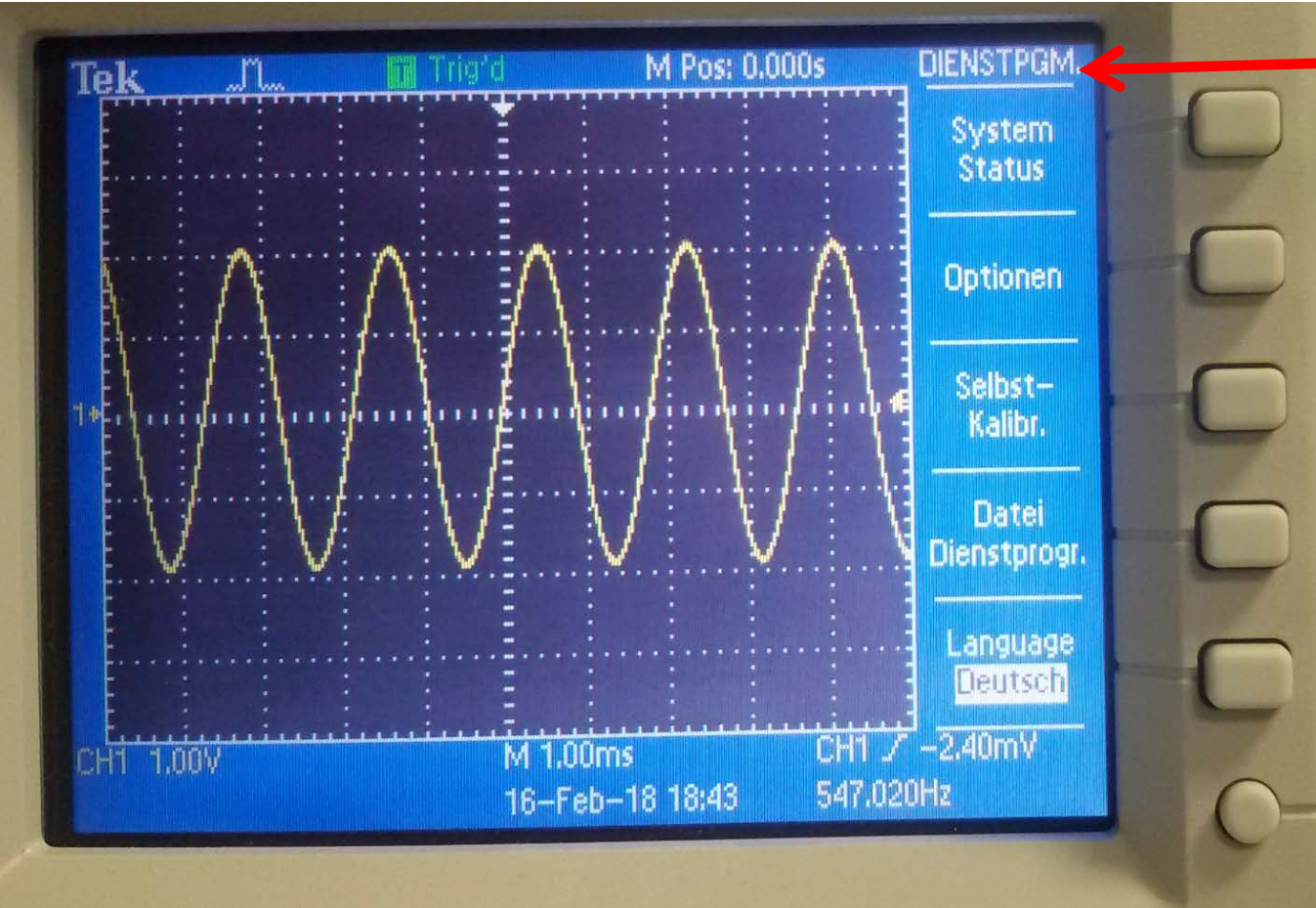
SAVE/REC:

Bilder oder Daten speichern auf USB Stick

ABER: Nicht jeder USB-Stick wird erkannt

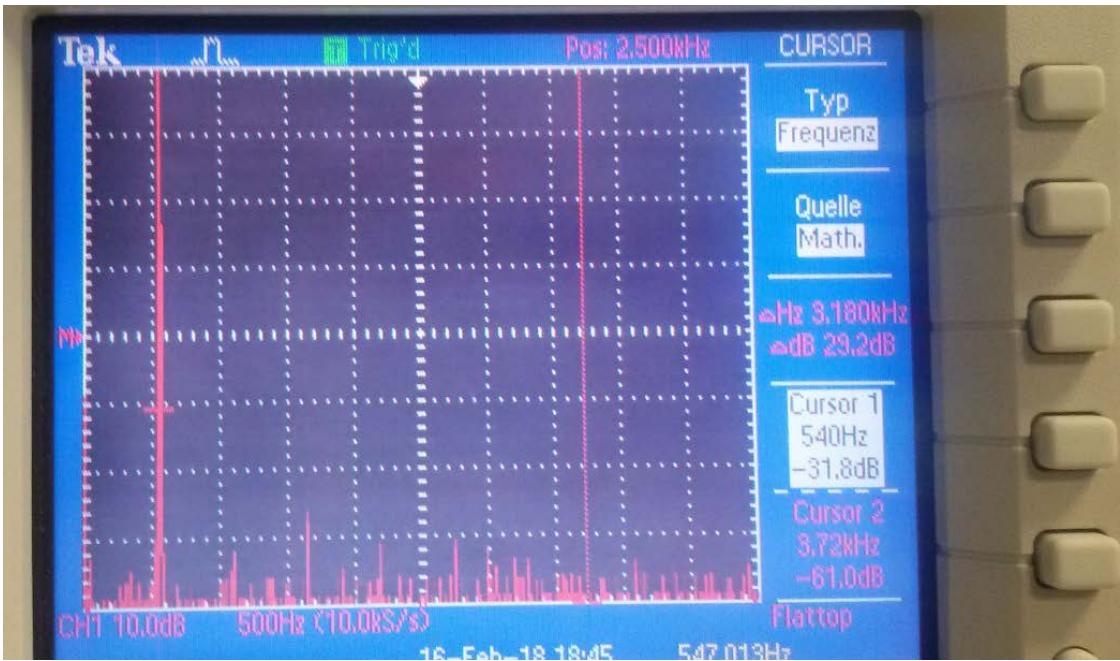
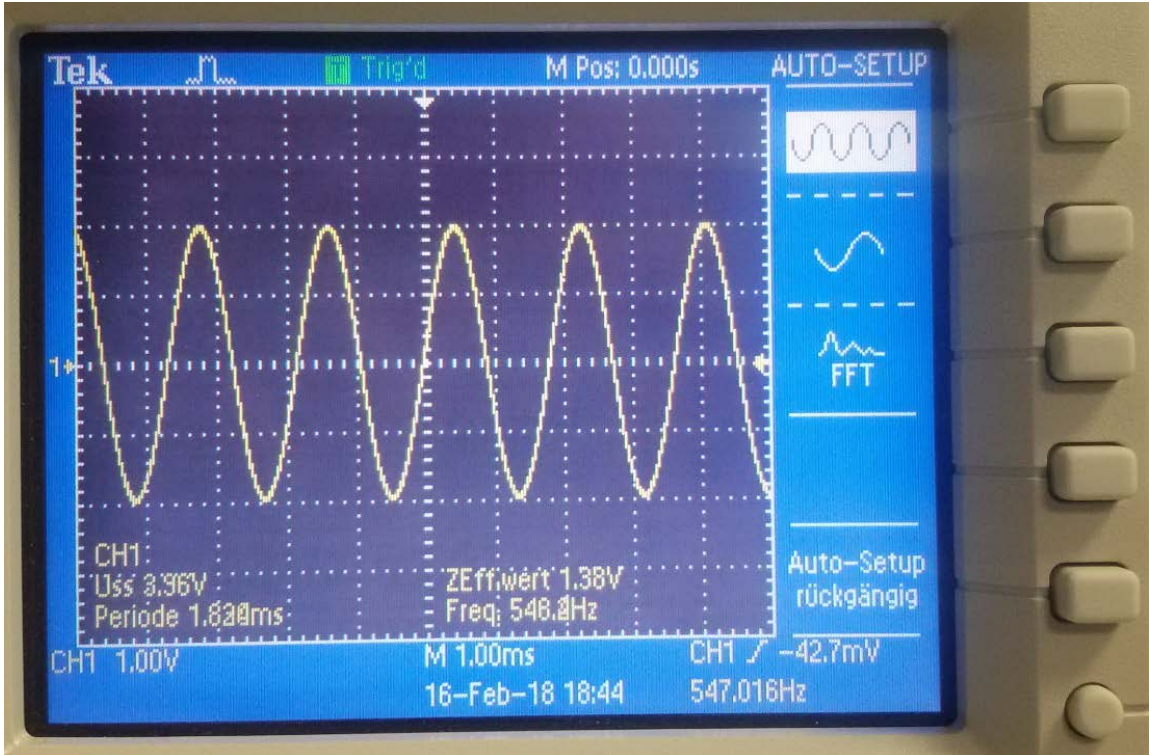
Digital Oszilloskop

Dienstprogramme

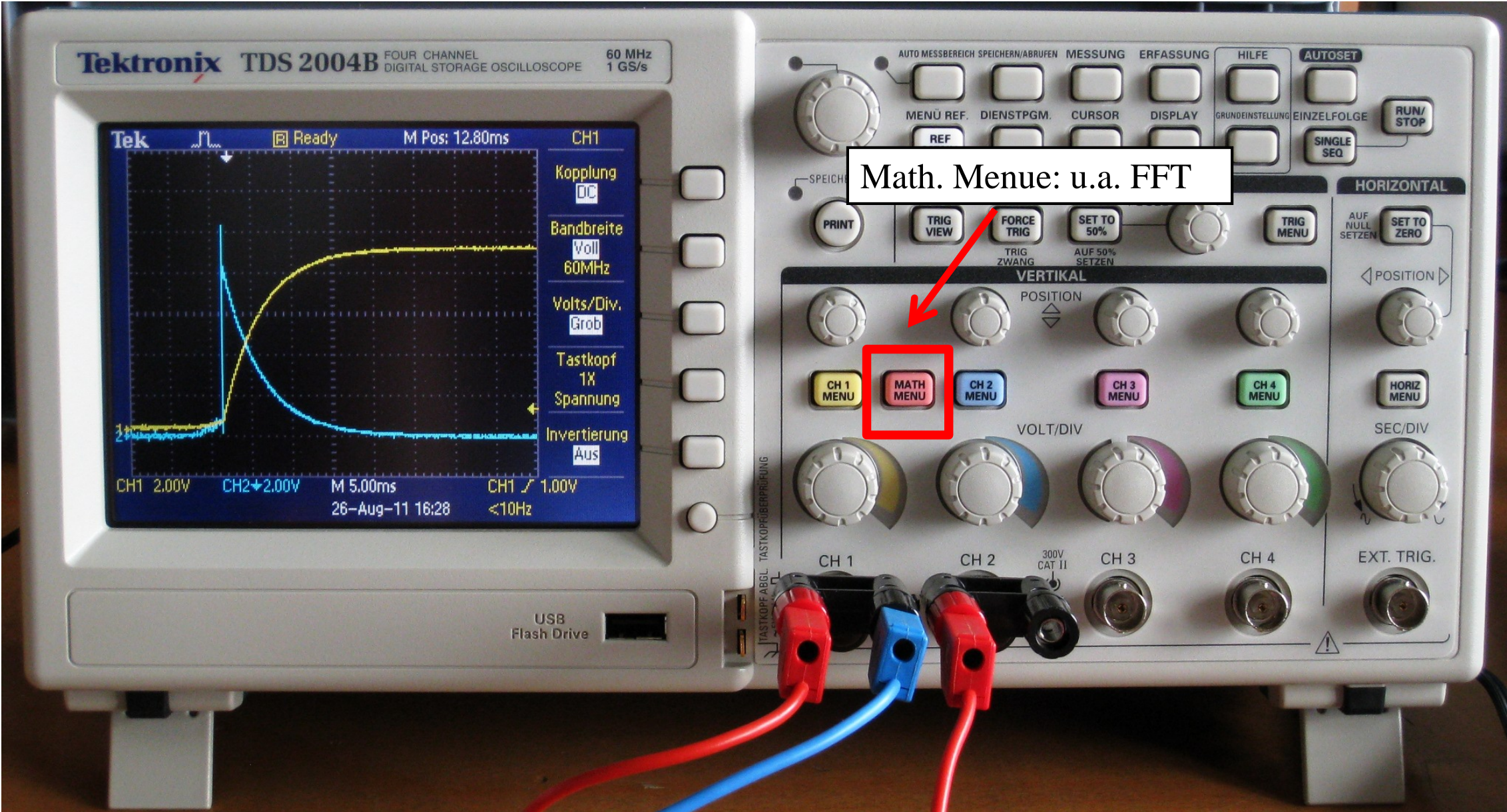


Digital Oszilloskop

Autosetup



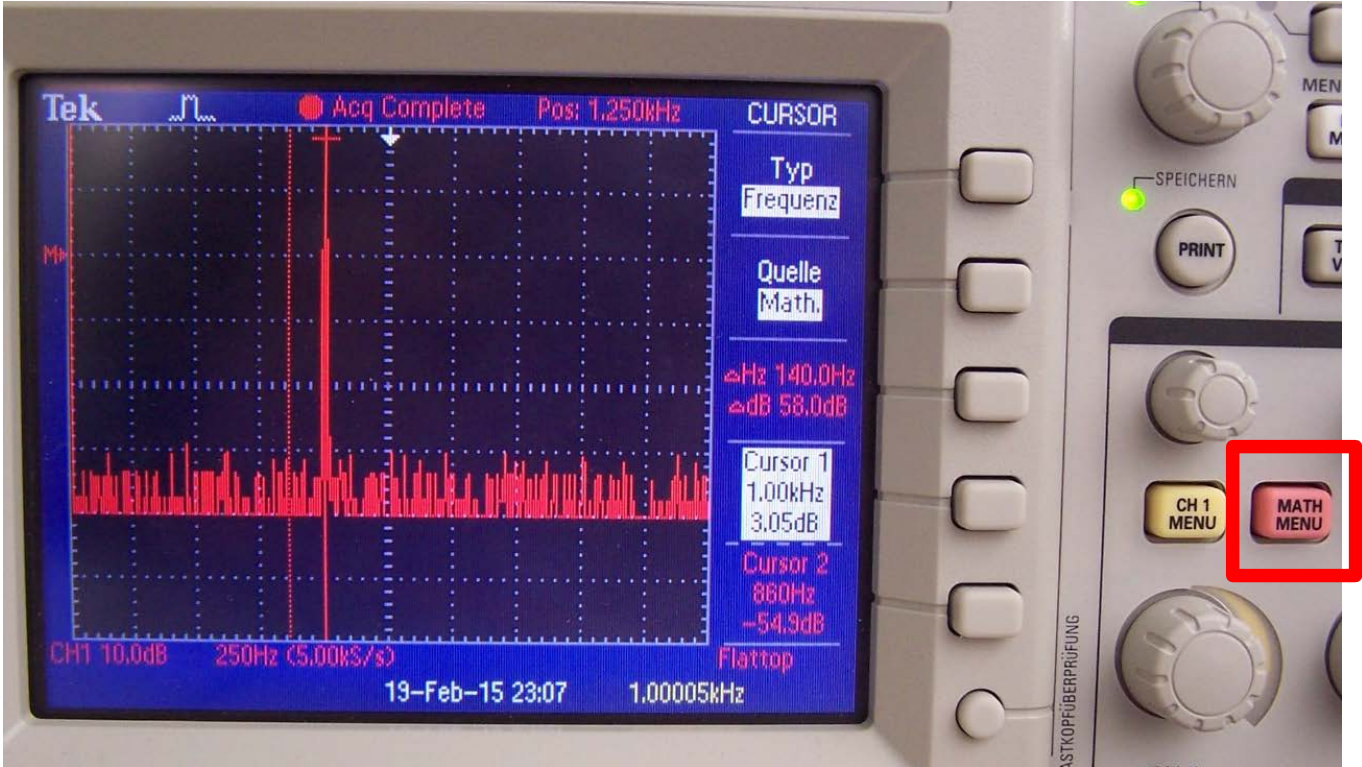
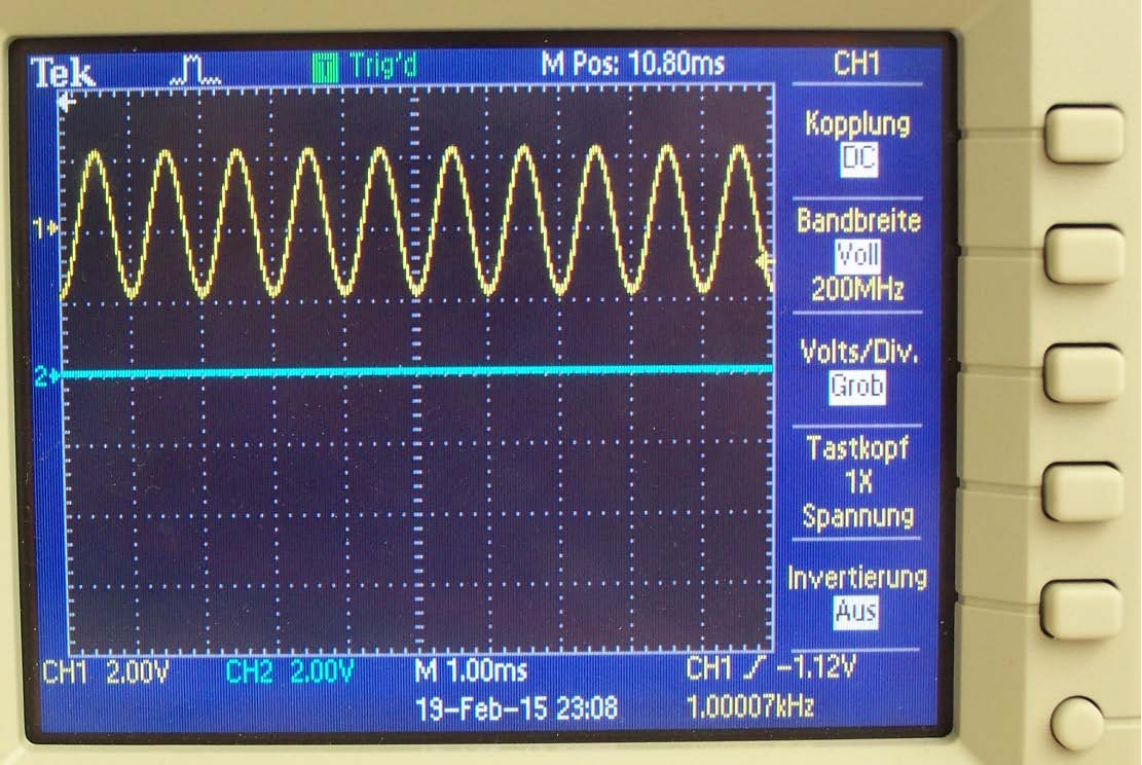
Digital Oszilloskop



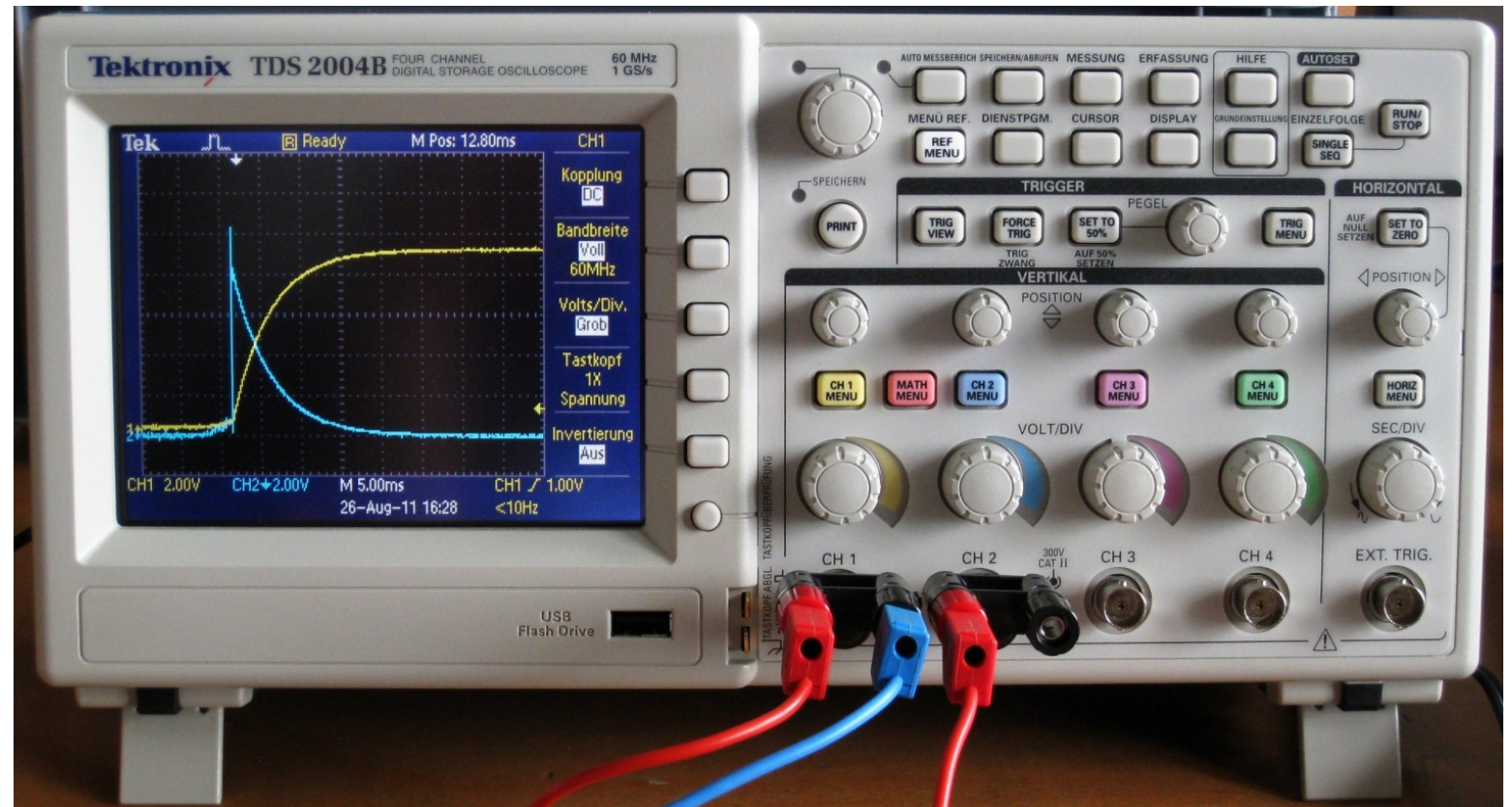
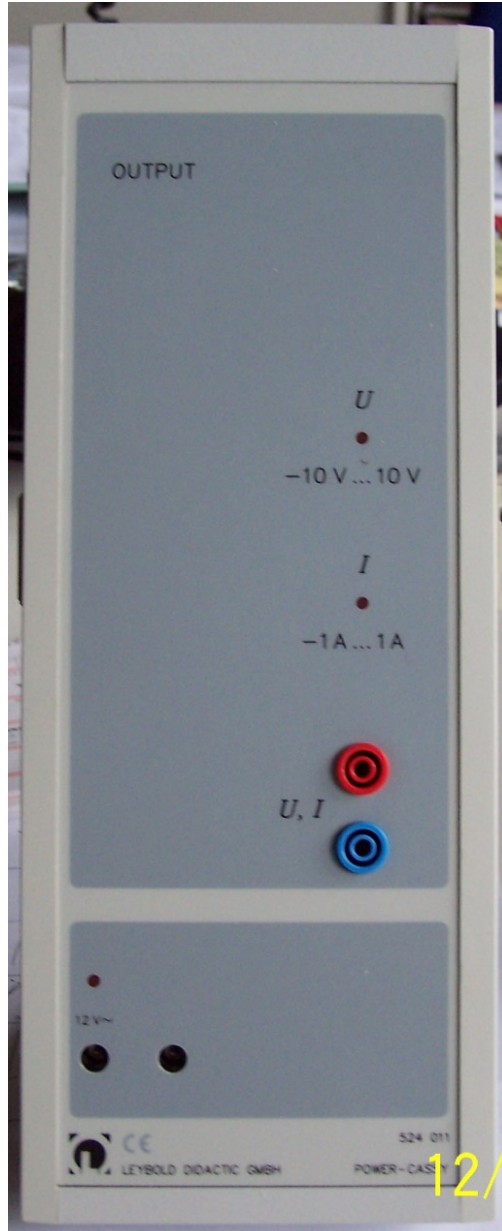
Math. Menue: u.a. FFT

Digital Oszilloskop

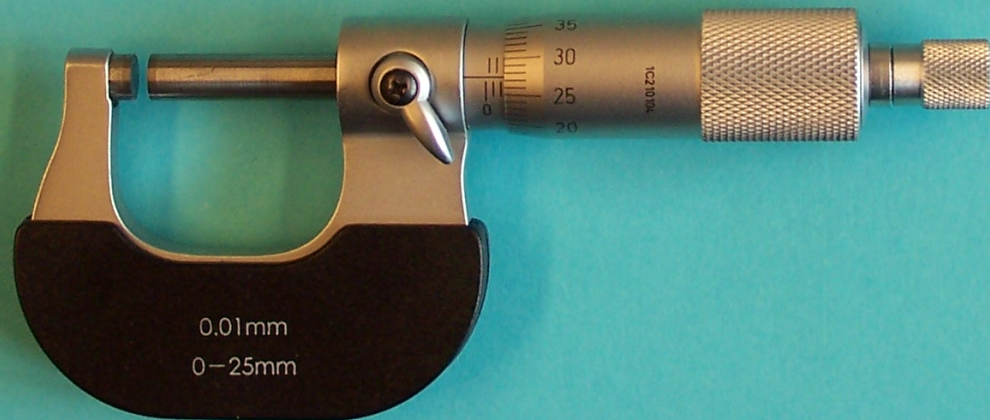
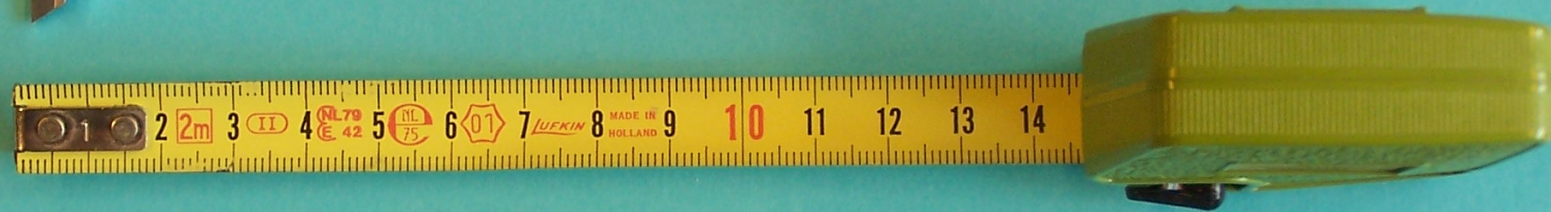
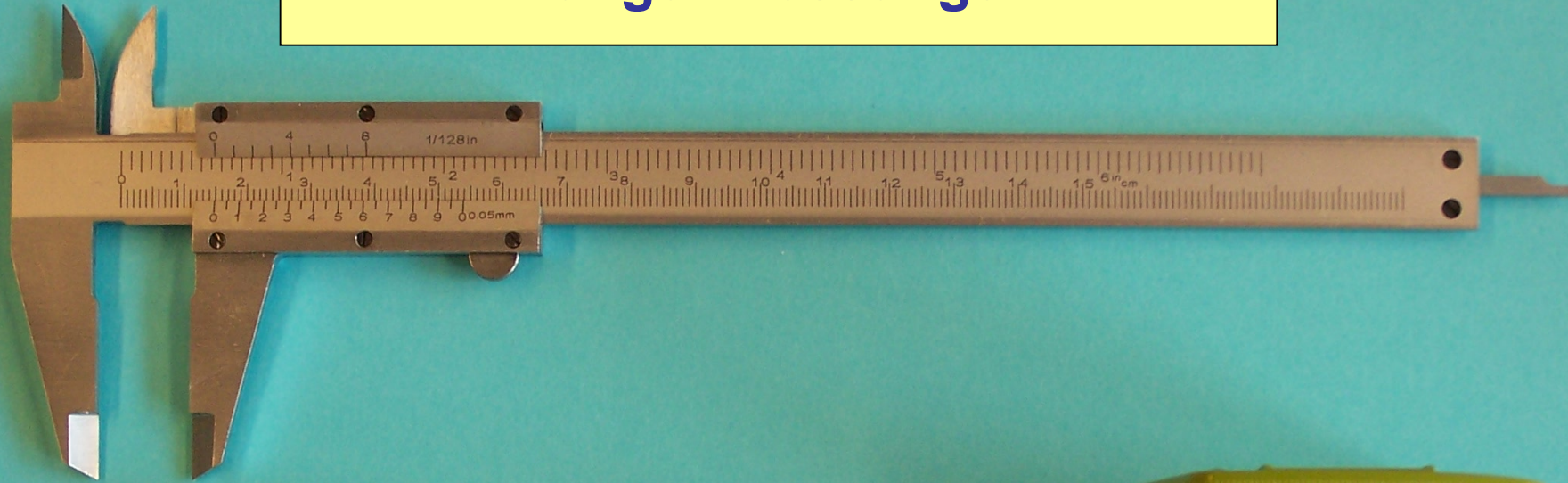
FFT einer Einzelmessung einer Schwingung



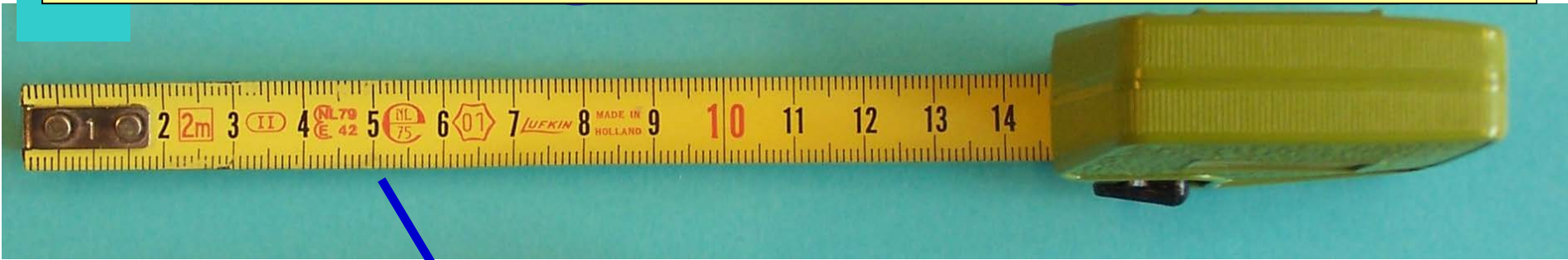
Power Cassy vs Oszilloskop, 4. Übung



Längenmessungen



Längenmessungen mit Maßband



Länge
Maßband

EG-Genauigkeits-
klasse

Modell
Genehmigungs-Nr.

Aufdruck für
Eichung

Toleranzen der Maßbänder nach Klasse I und II werden ermittelt:

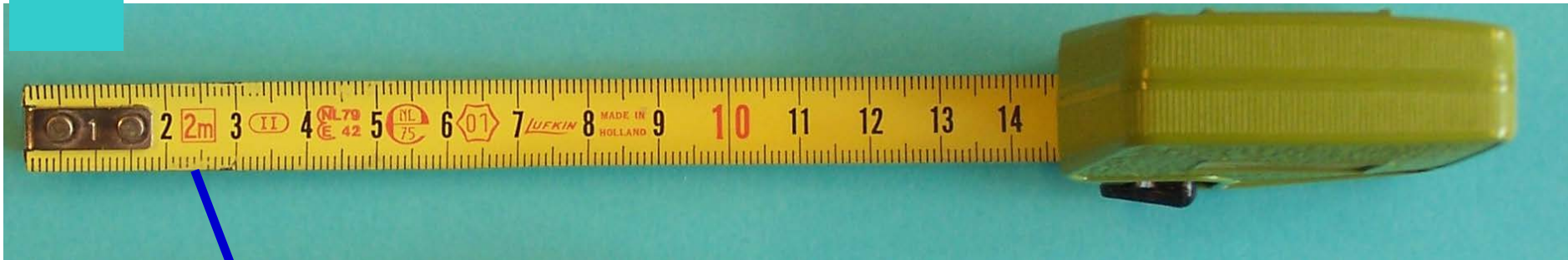
$$(a + b \times L)$$

2 m Band / EG-Klasse II: $(0,3 + 0,2 \times 2) = \pm 0,7$ mm Abweichung

L = Nominallänge in Metern

	a	b
Klasse I:	0,1	0,1
Klasse II:	0,3	0,2

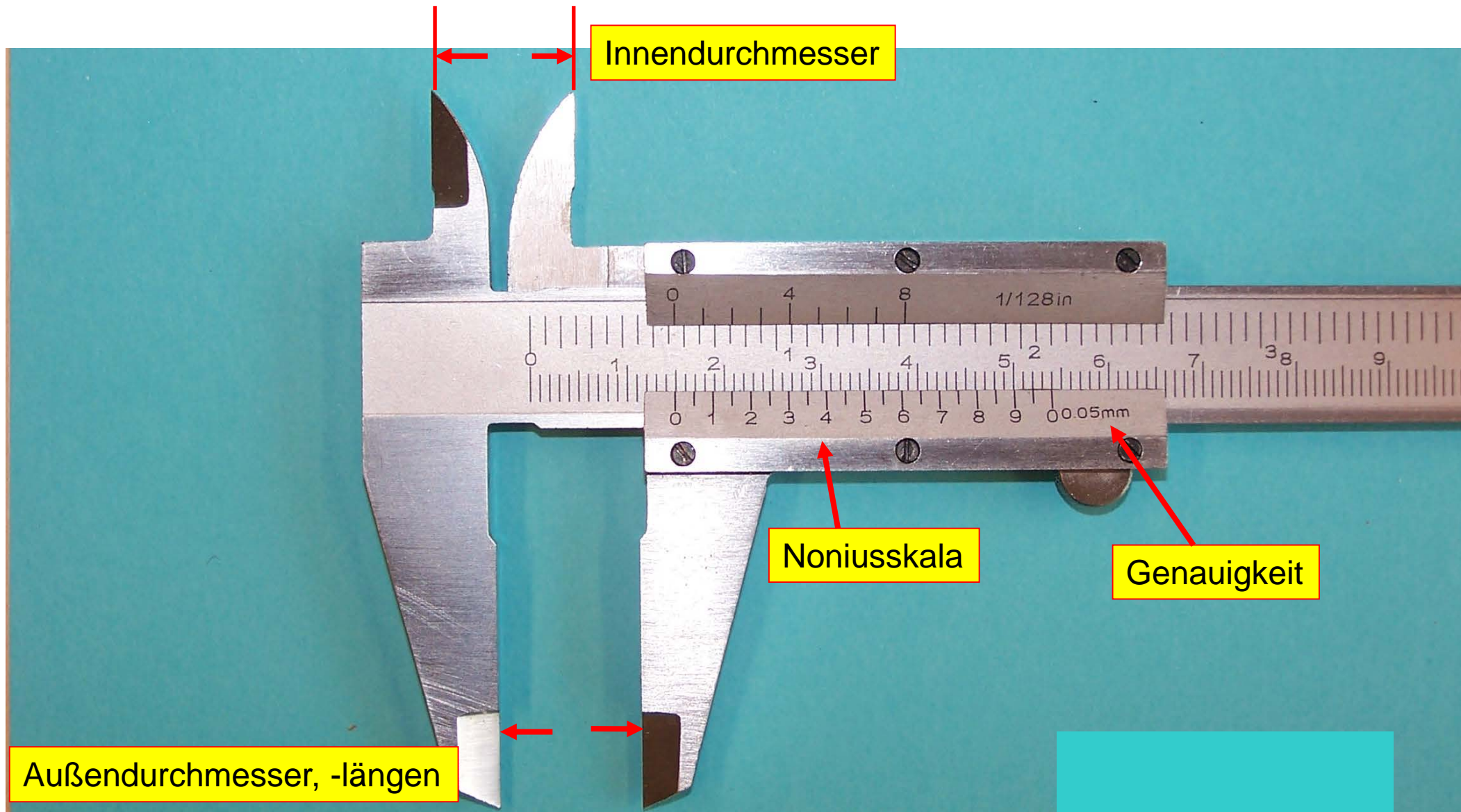
Längenmessungen mit Maßband



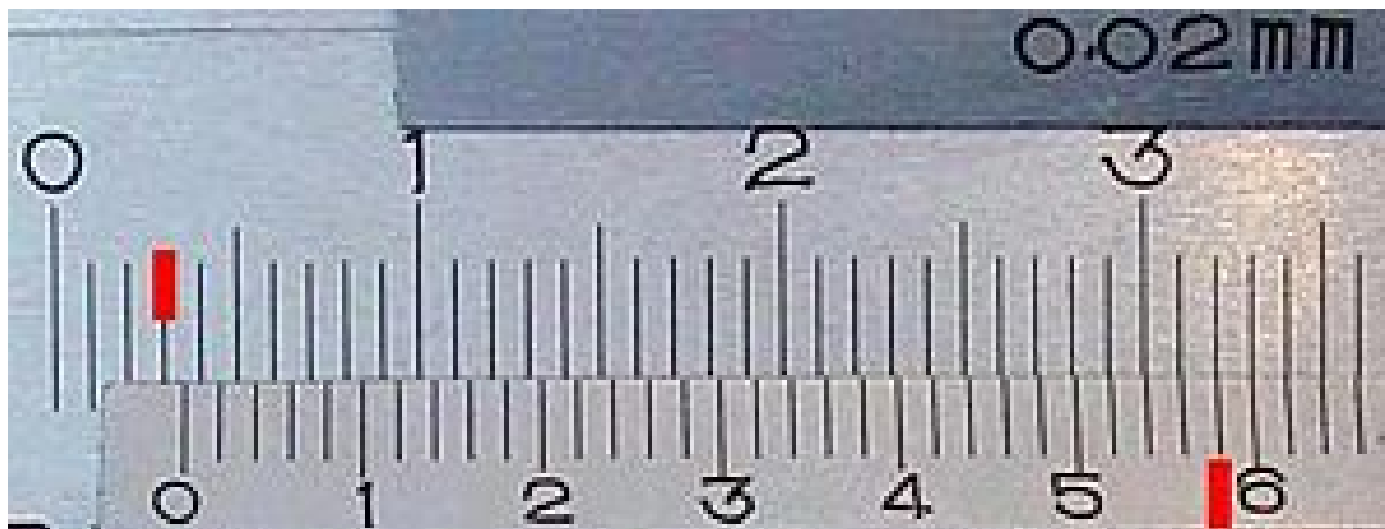
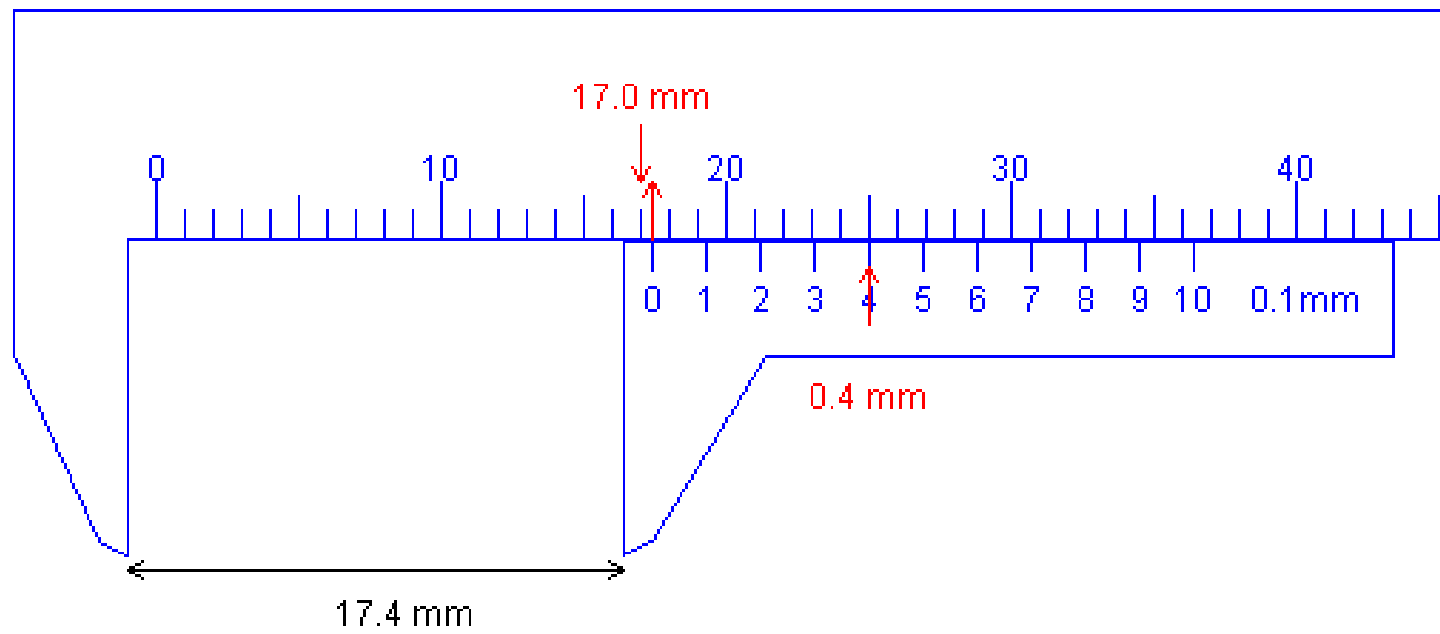
Messunsicherheiten:

- Ableseunsicherheit: kleinste Skaleneinheit (z.B. 1 mm),
Gleichverteilung $1 \text{ mm} / \sqrt{12} = 0.29 \text{ mm}$
- Kalibrierunsicherheit: Toleranz von $\pm 0.7 \text{ mm}$
Gleichverteilung $0.7 \text{ mm} / \sqrt{3} = 0,40 \text{ mm}$
- Mehrfachmessungen

Längenmessungen mit Messschieber

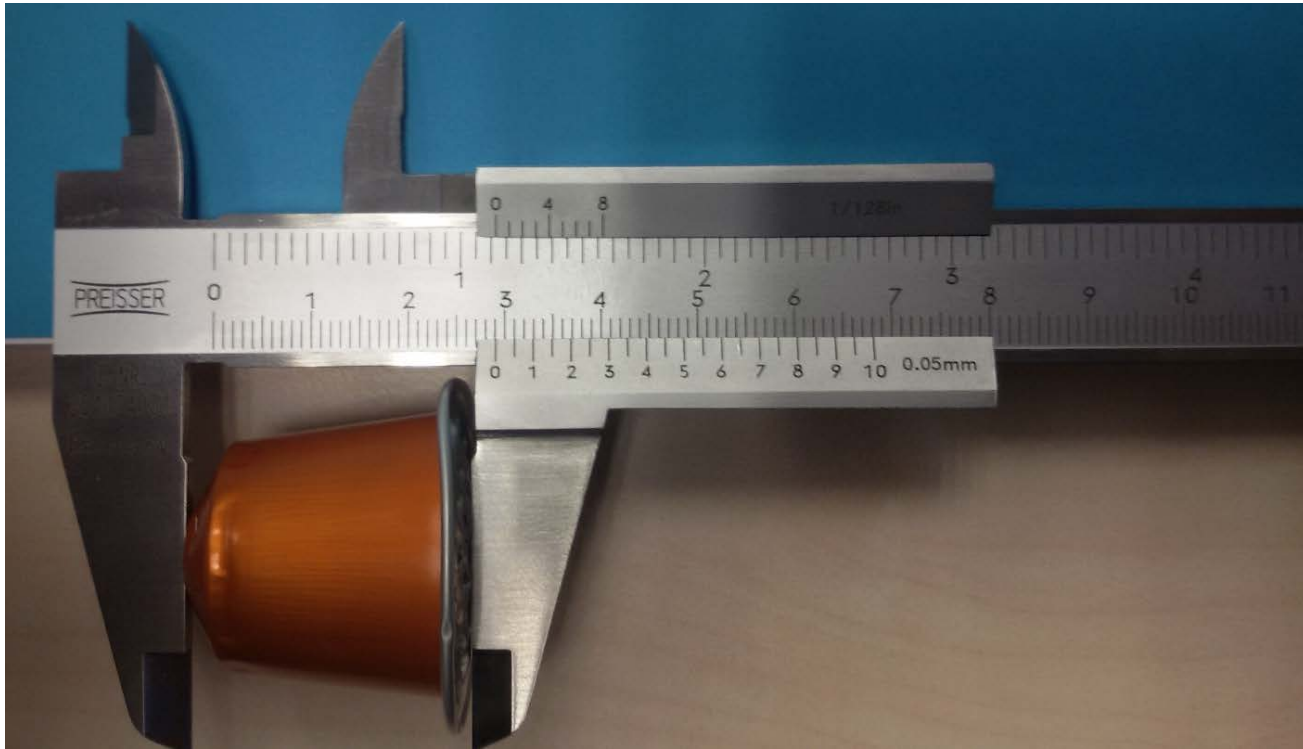


Längenmessungen mit Messschieber



3,58 mm

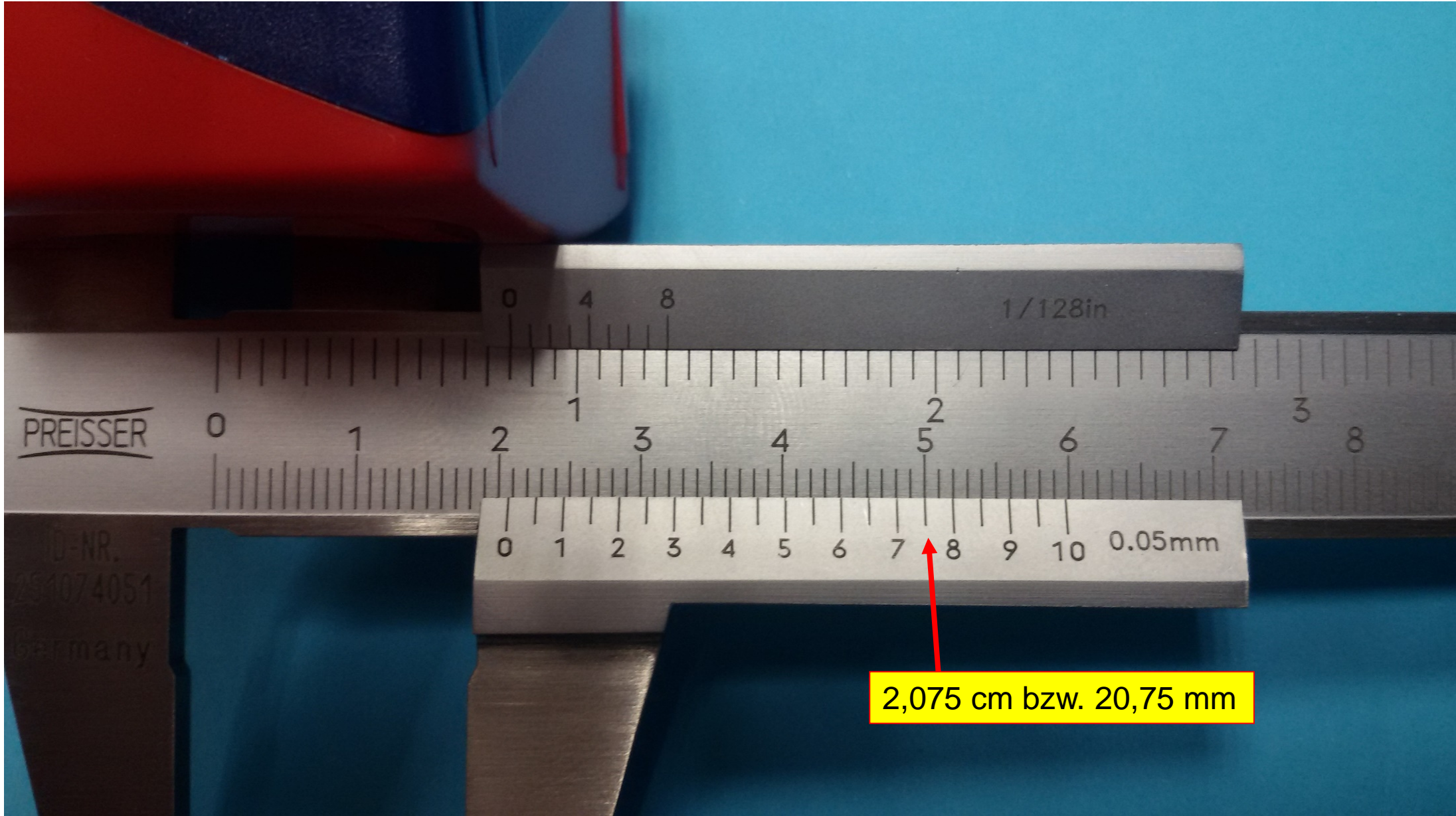
Längenmessungen mit Messschieber



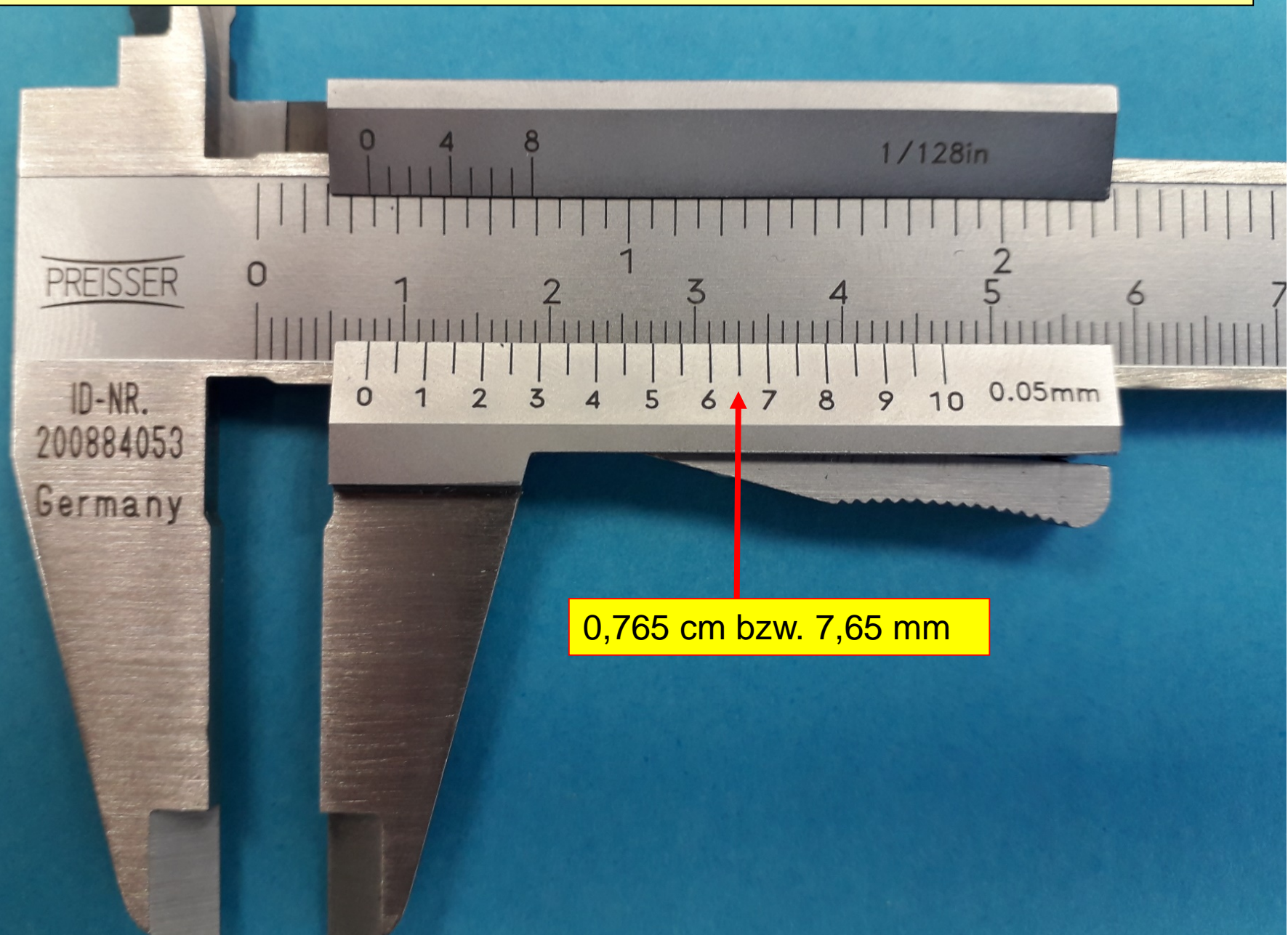
29,05 mm



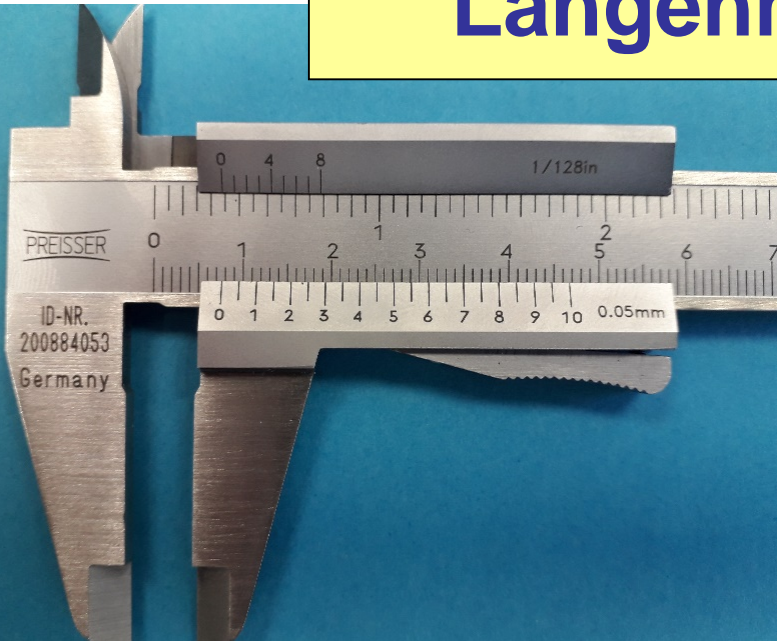
Längenmessungen mit Messschieber



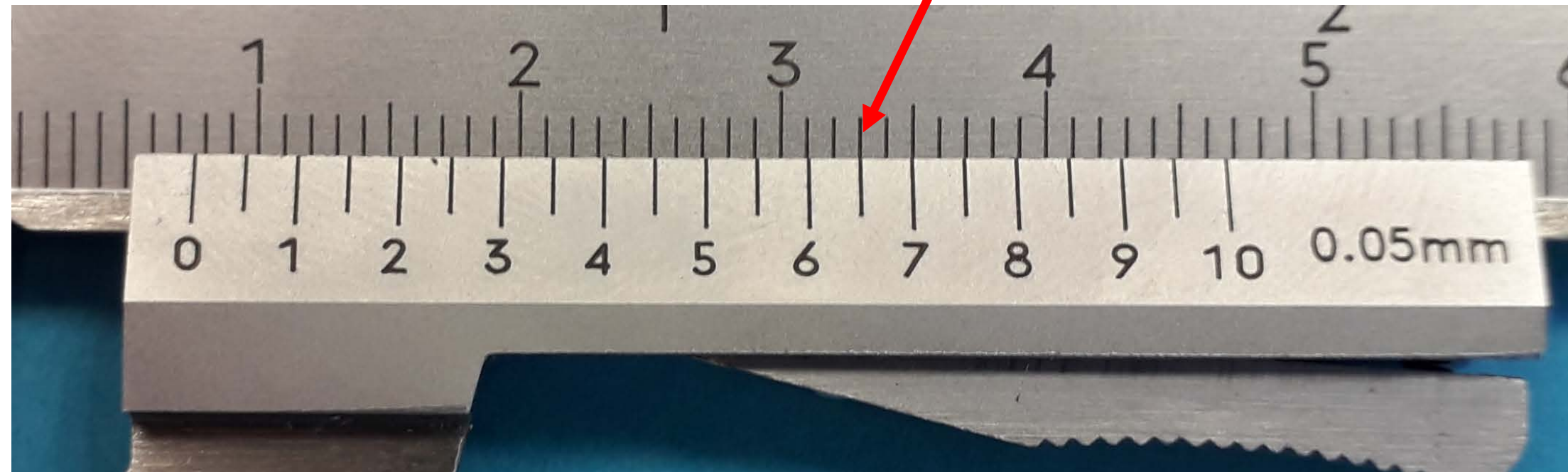
Längenmessungen mit Messschieber



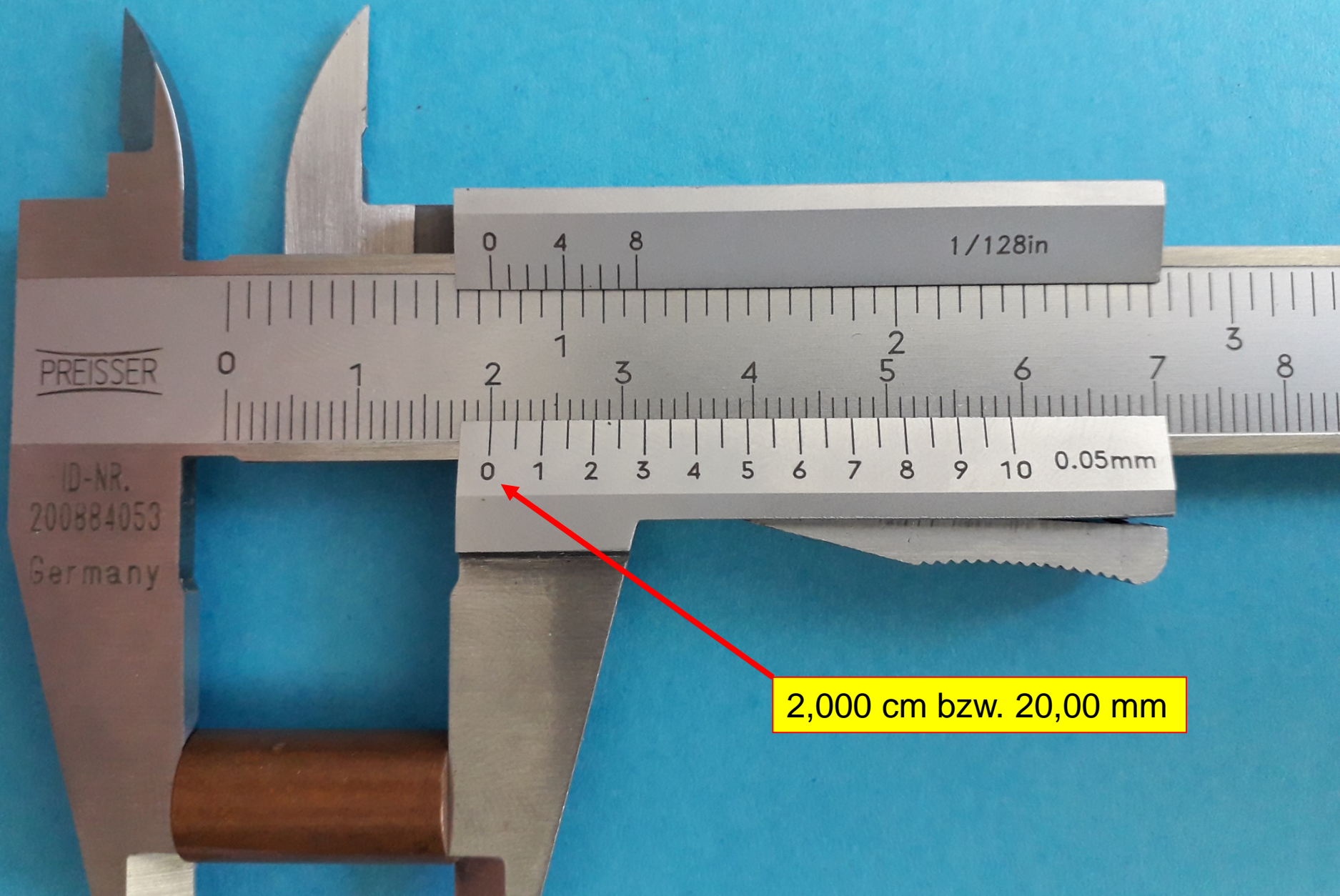
Längenmessungen mit Messschieber



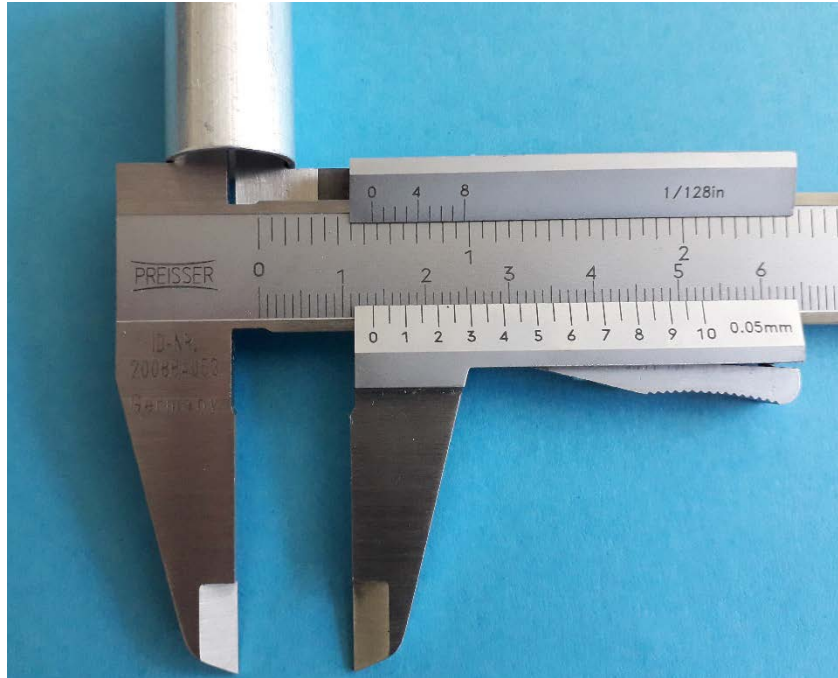
0,765 cm bzw. 7,65 mm



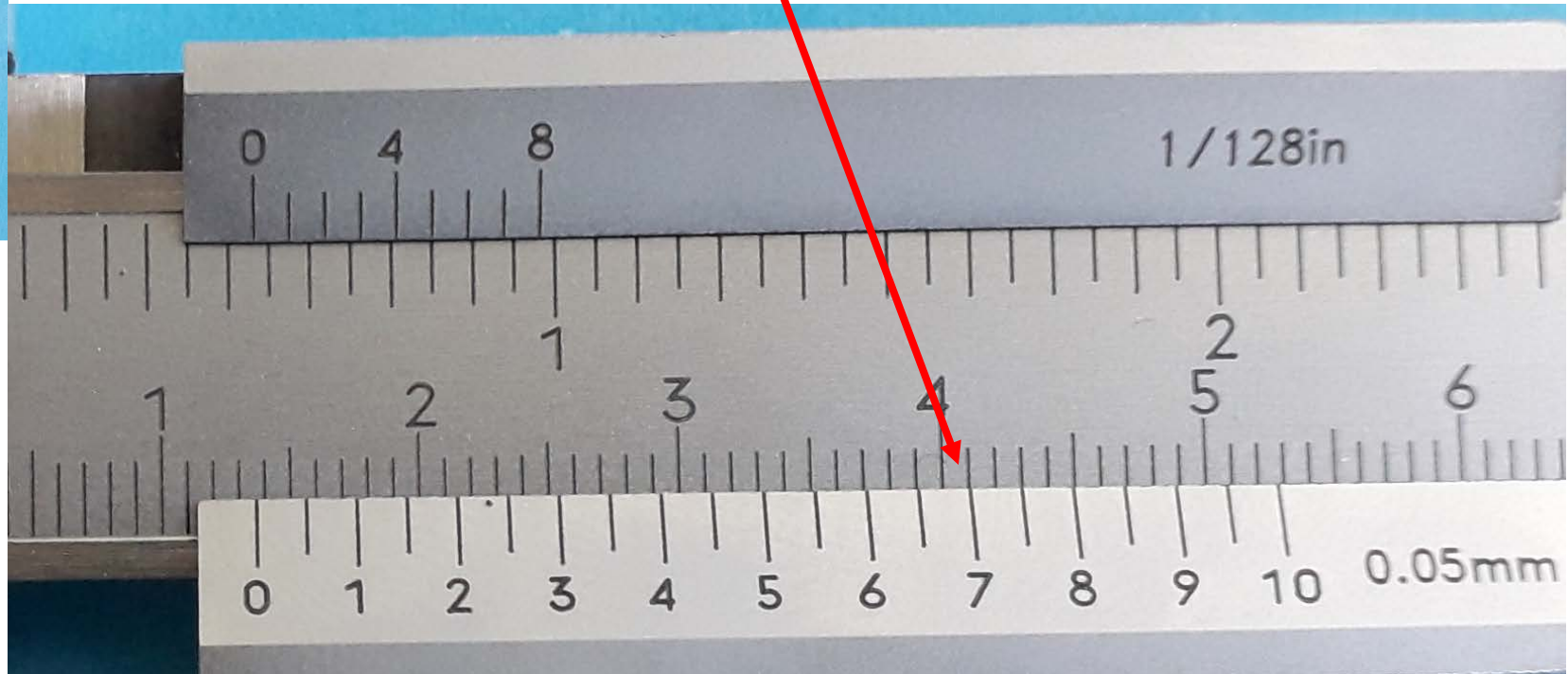
Längenmessungen mit Messschieber



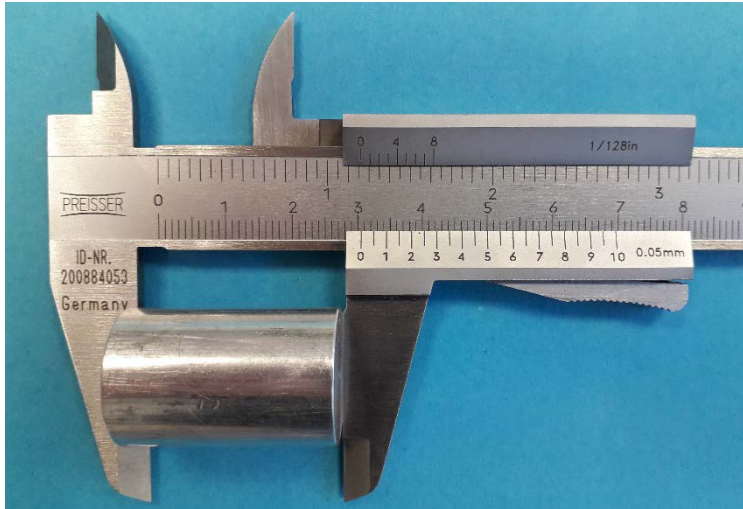
Längenmessungen mit Messschieber



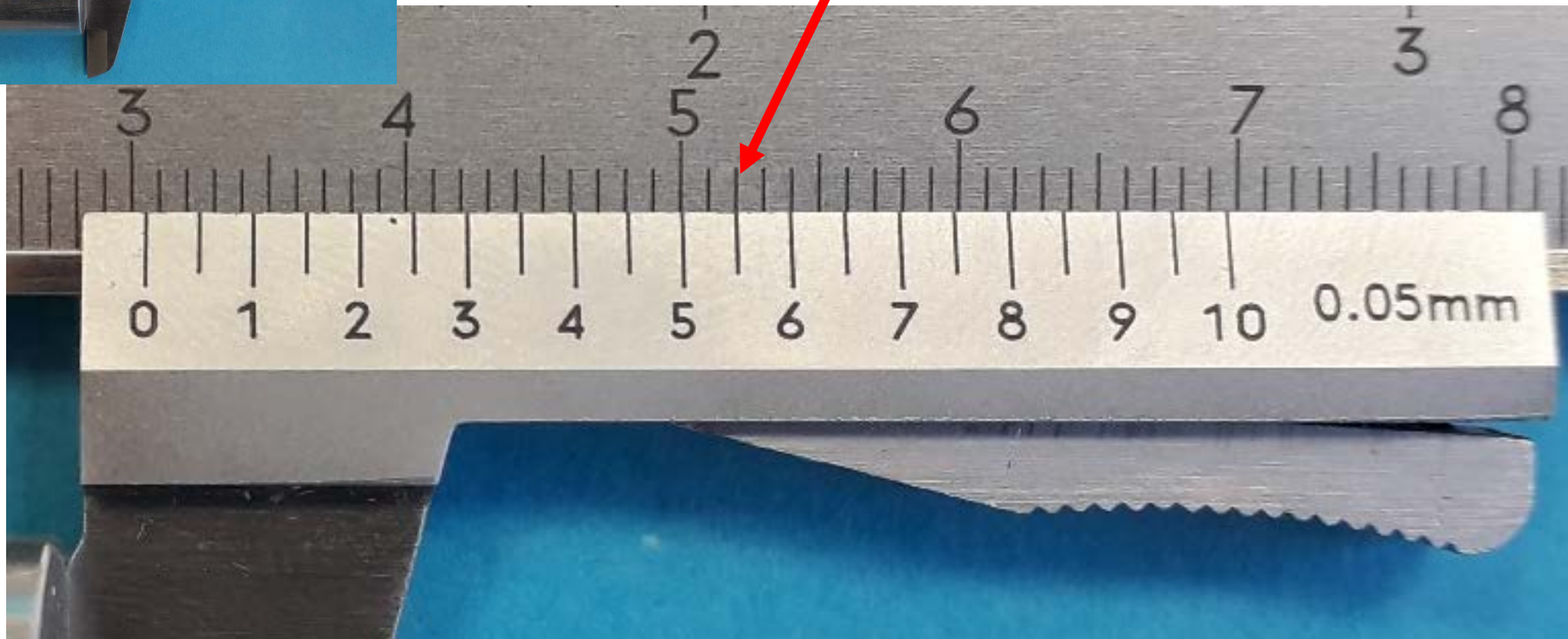
1,37 cm bzw. 13,70 mm



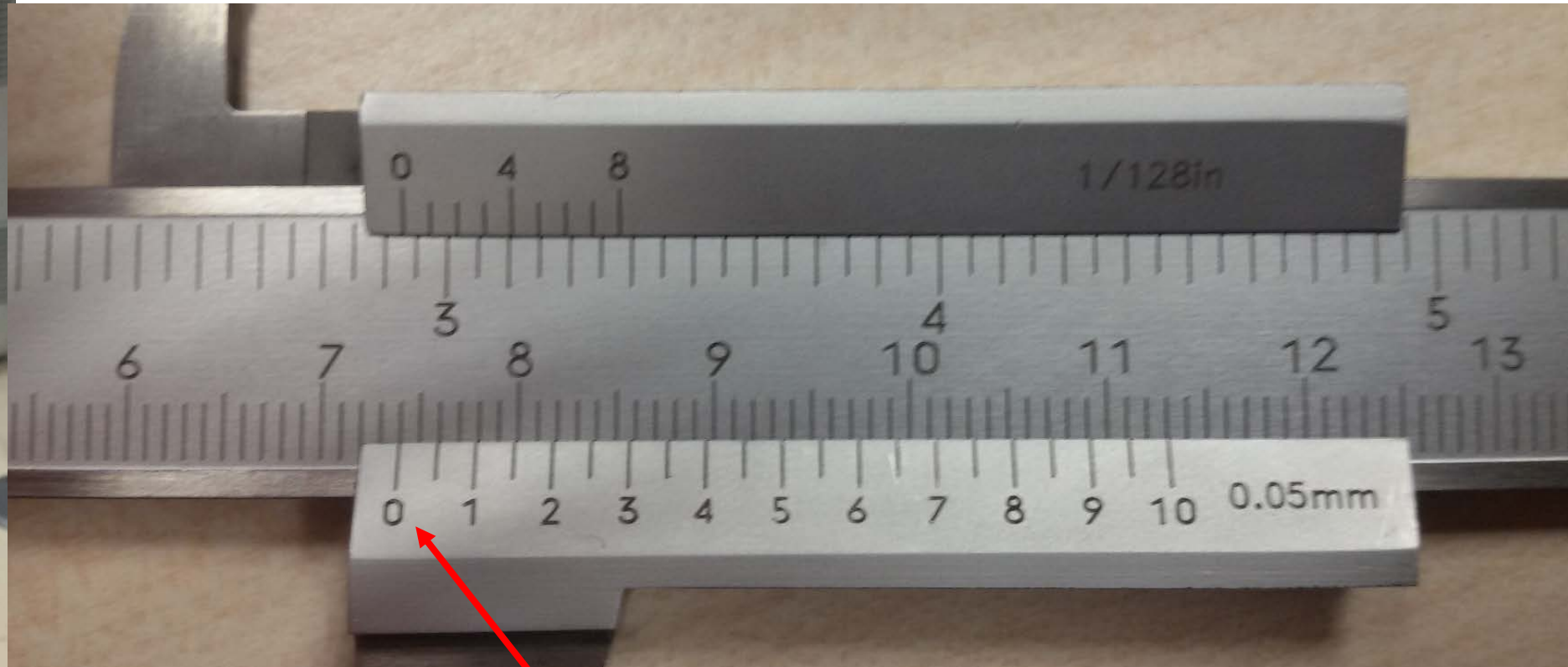
Längenmessungen mit Messschieber



3,055 cm bzw. 30,55 mm

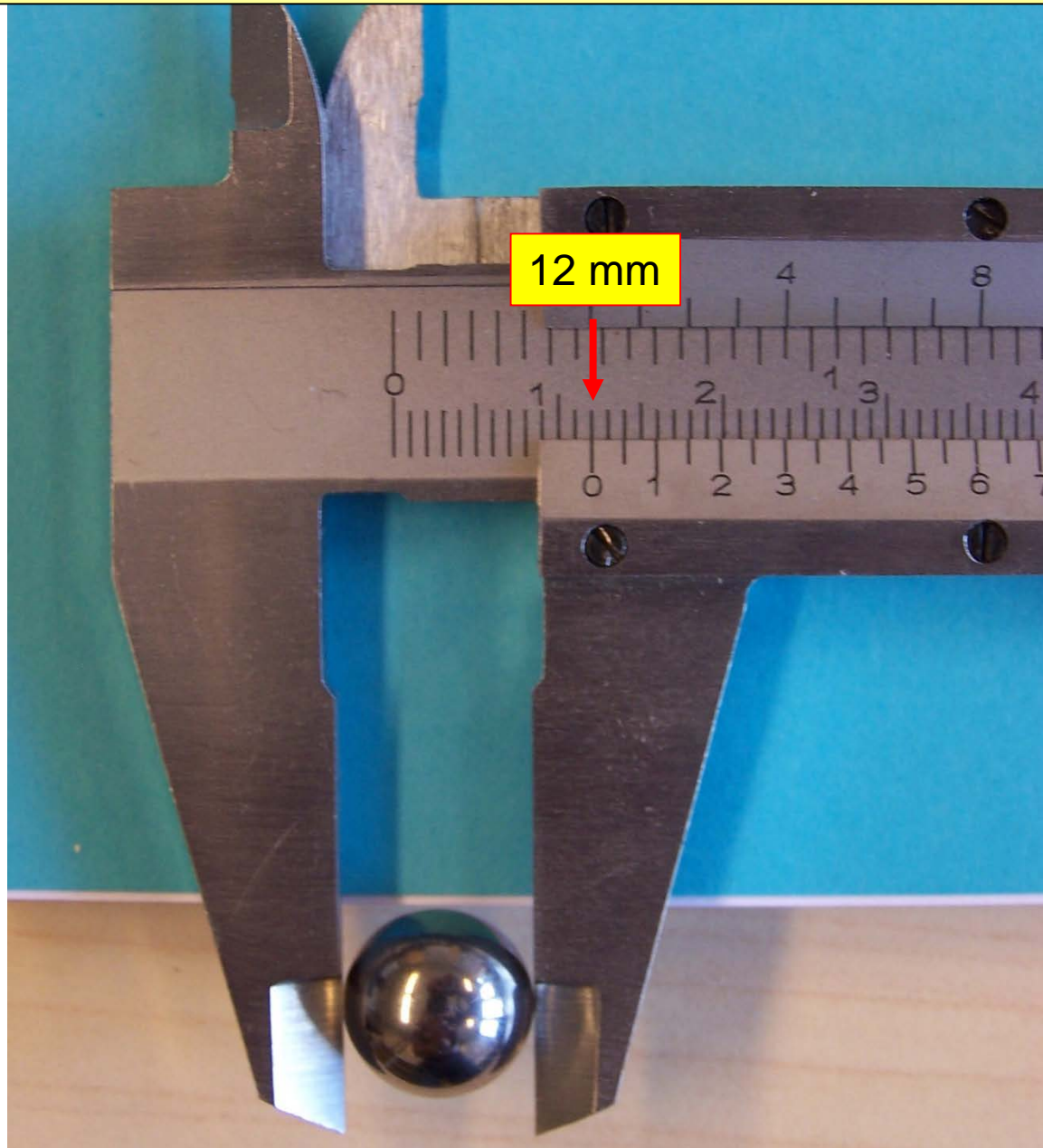


Längenmessungen mit Messschieber

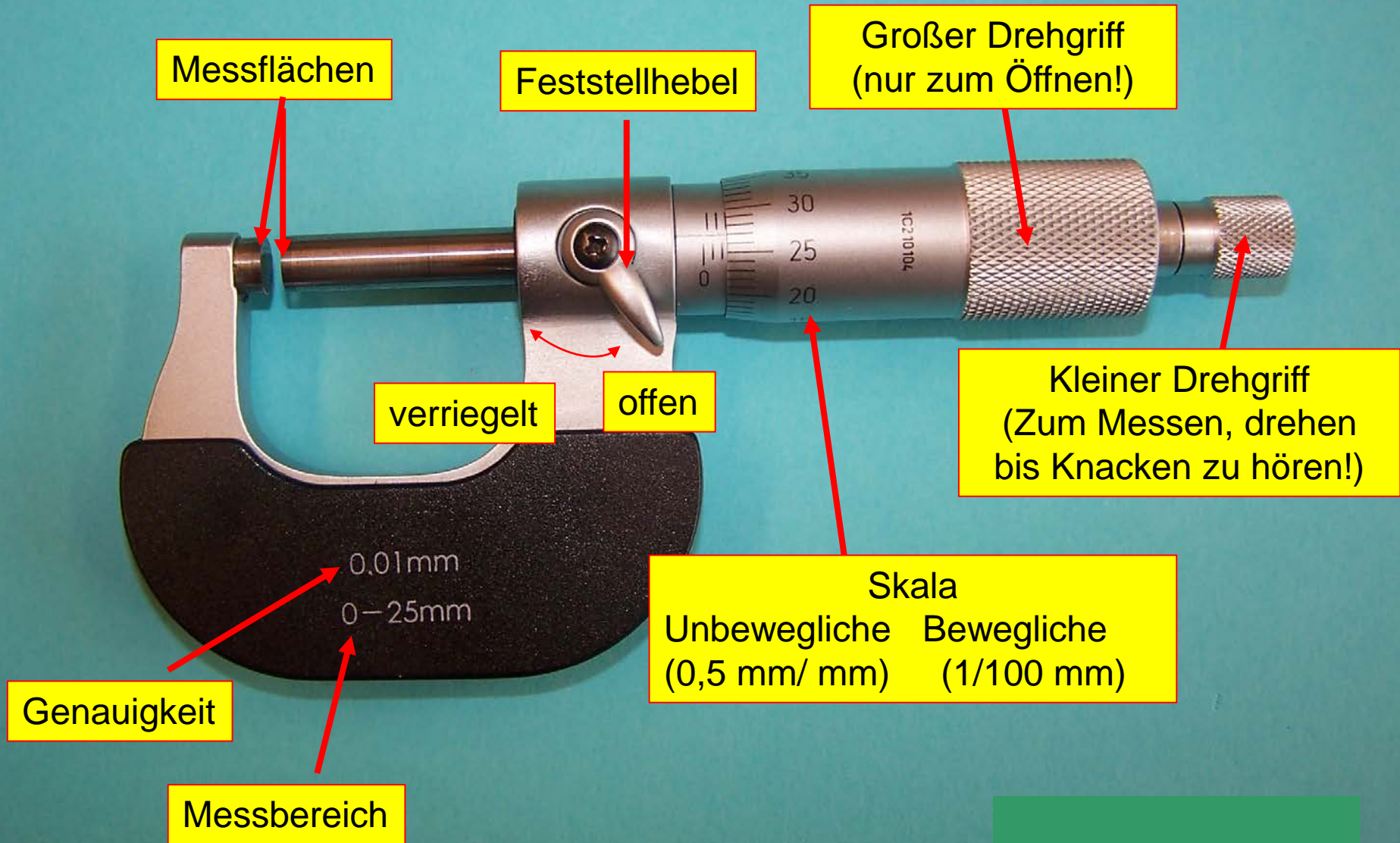


7,40 cm bzw. 74,00 mm

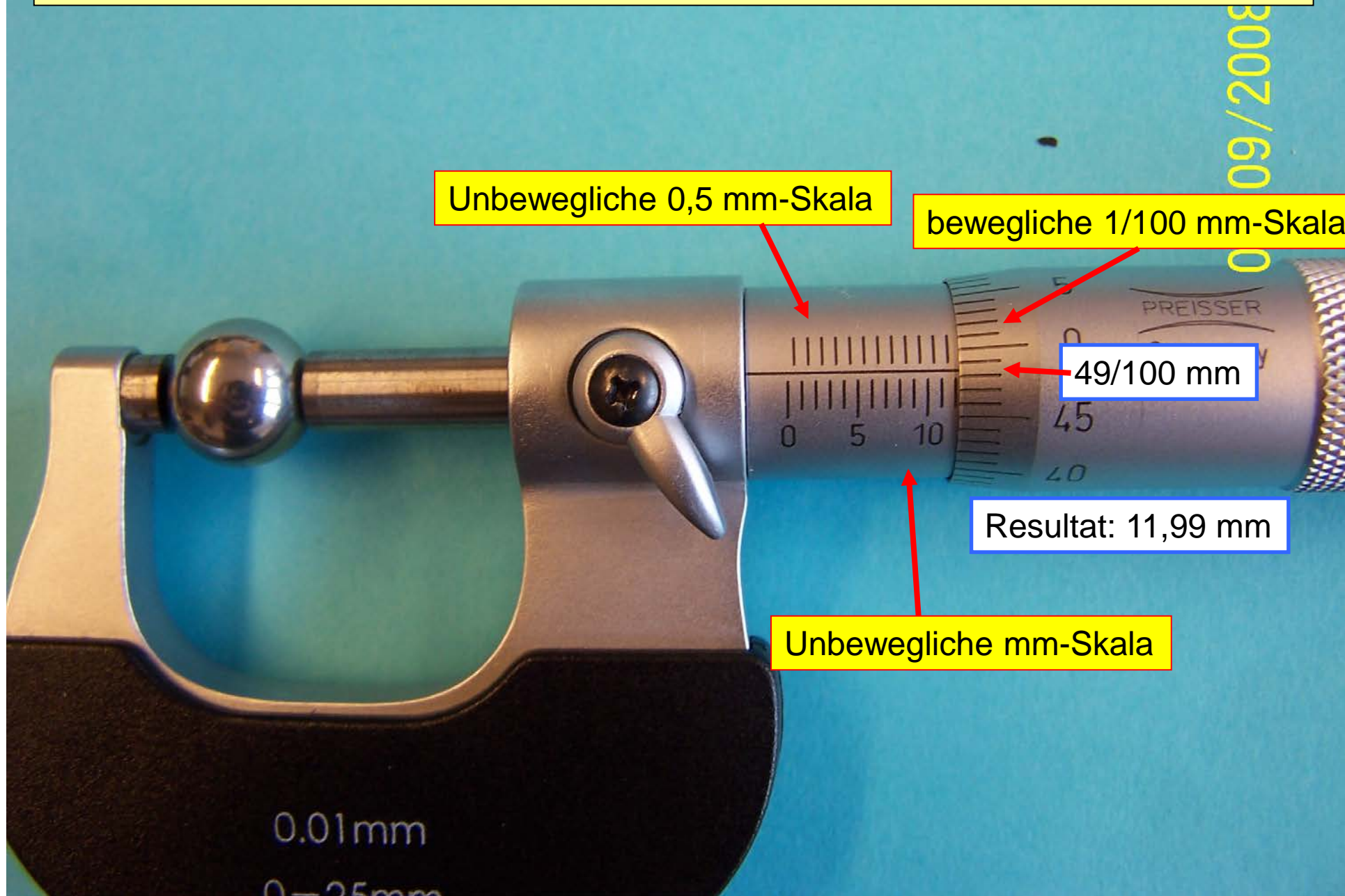
Längenmessungen mit Messschieber



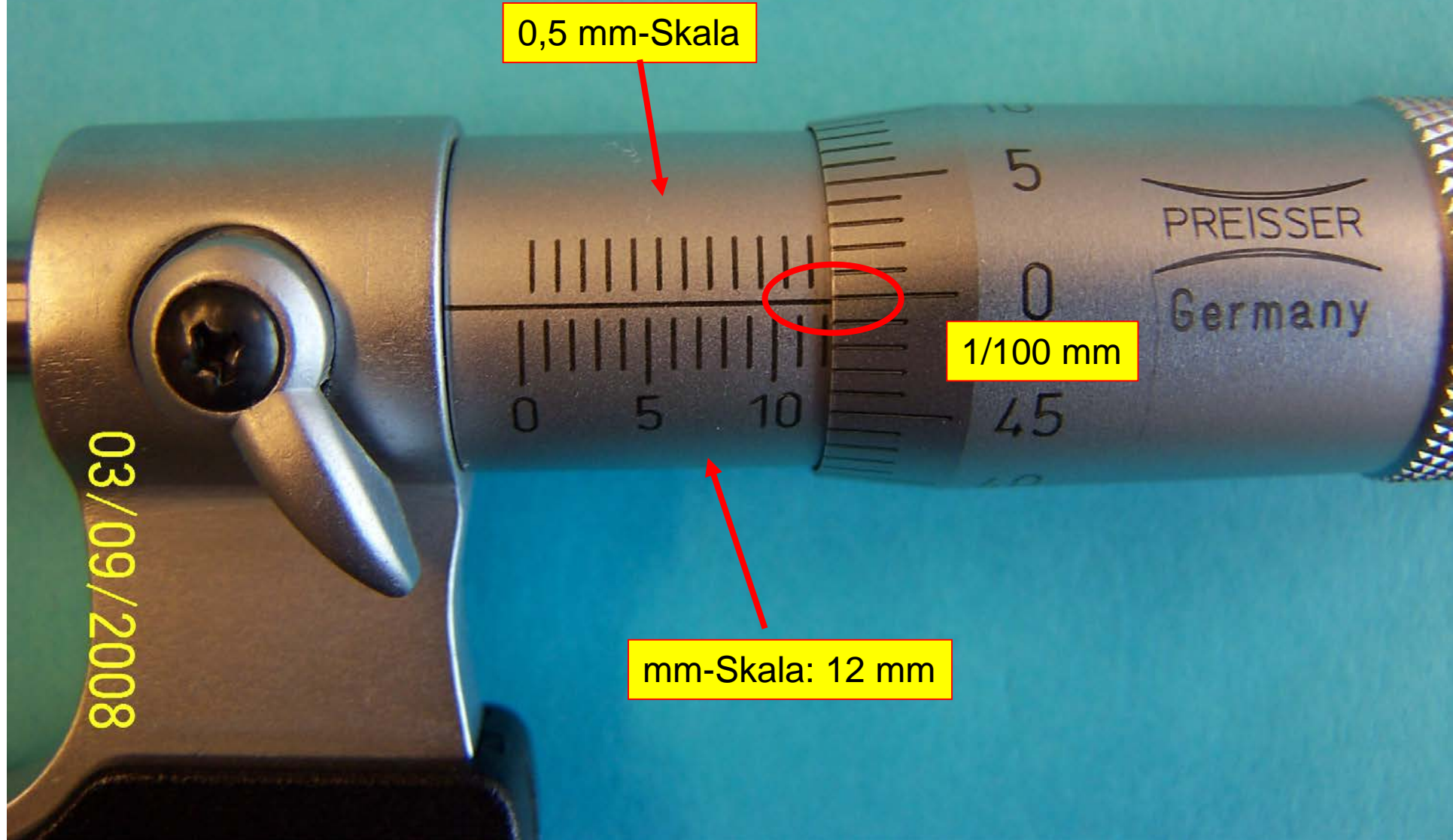
Längenmessungen mit Mikrometerschraube



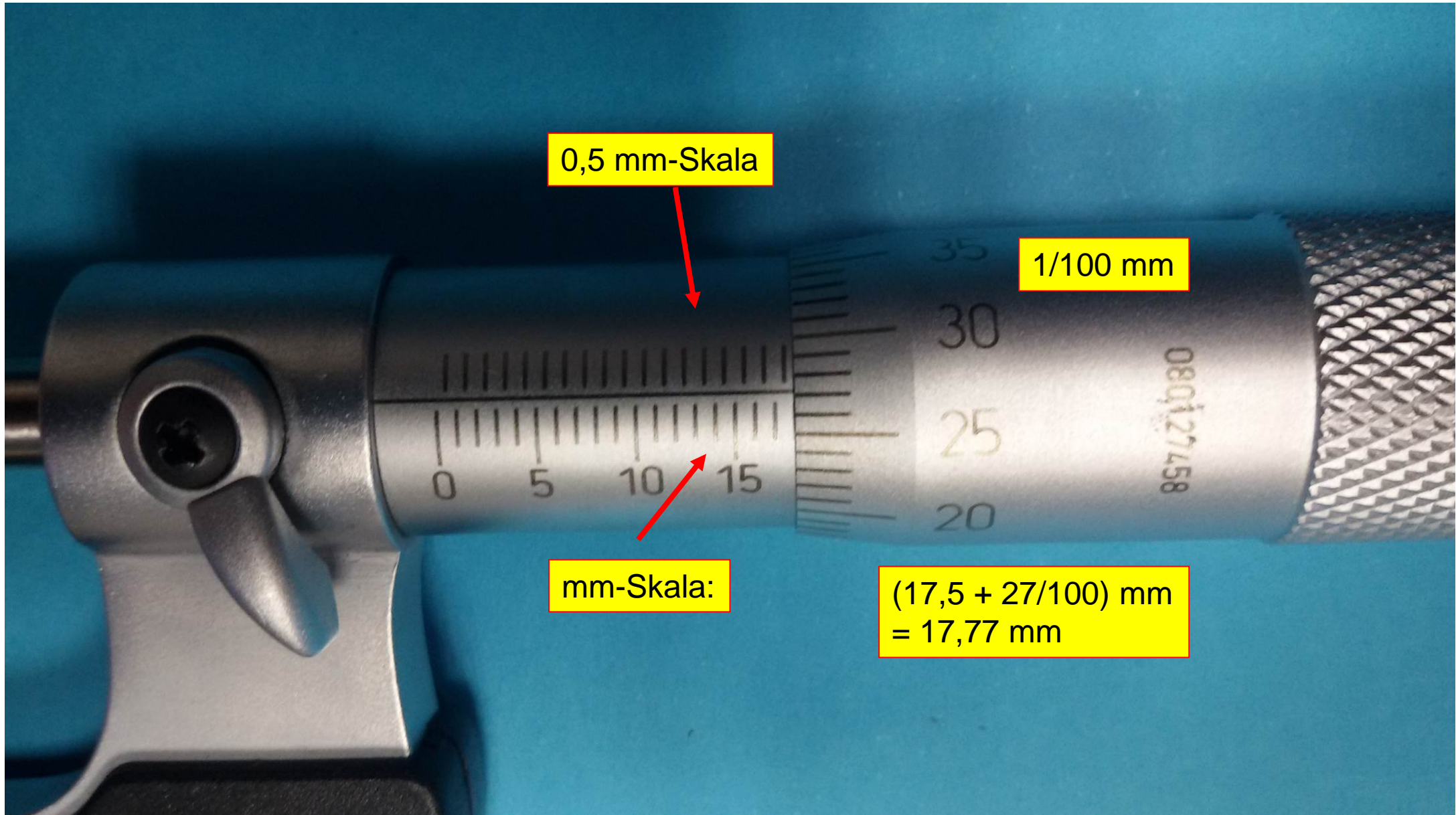
Längenmessungen mit Mikrometerschraube



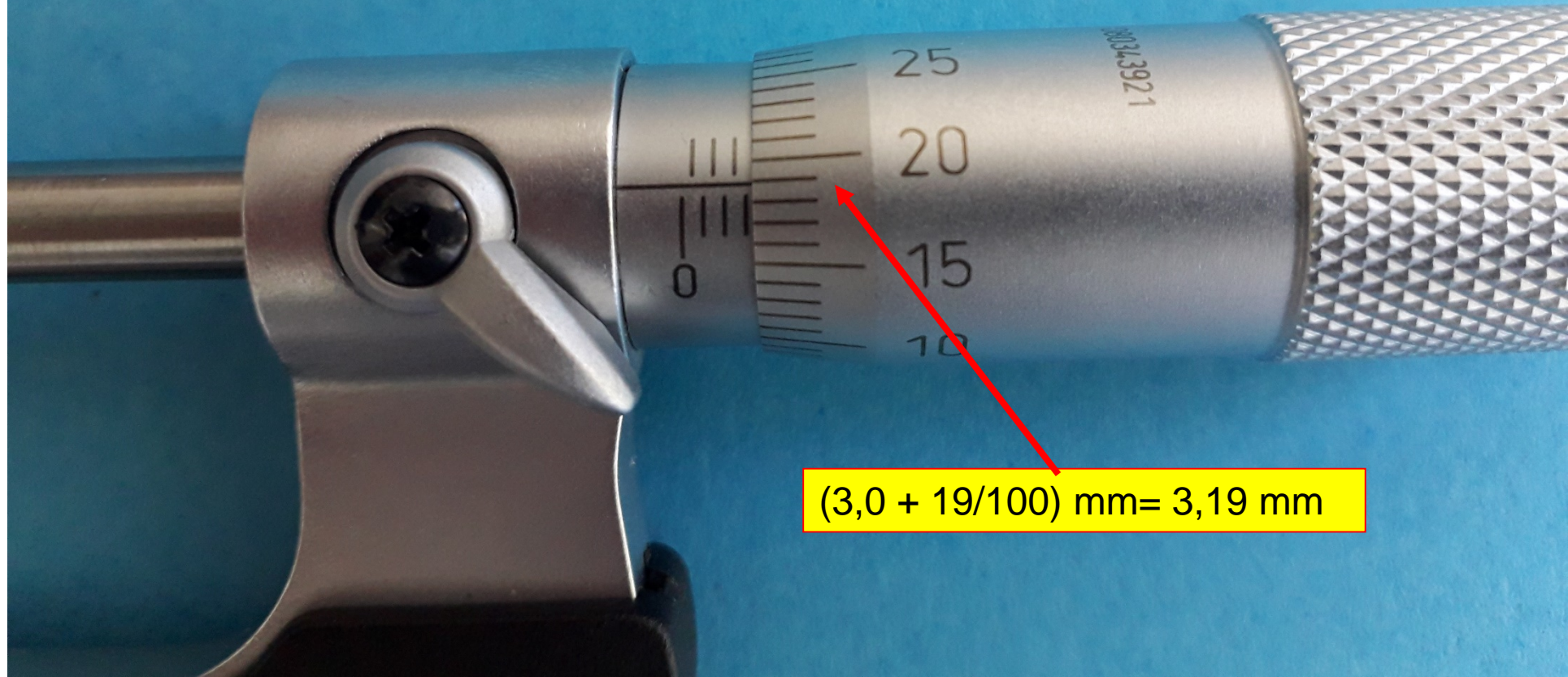
Längenmessungen mit Mikrometerschraube



Längenmessungen mit Mikrometerschraube

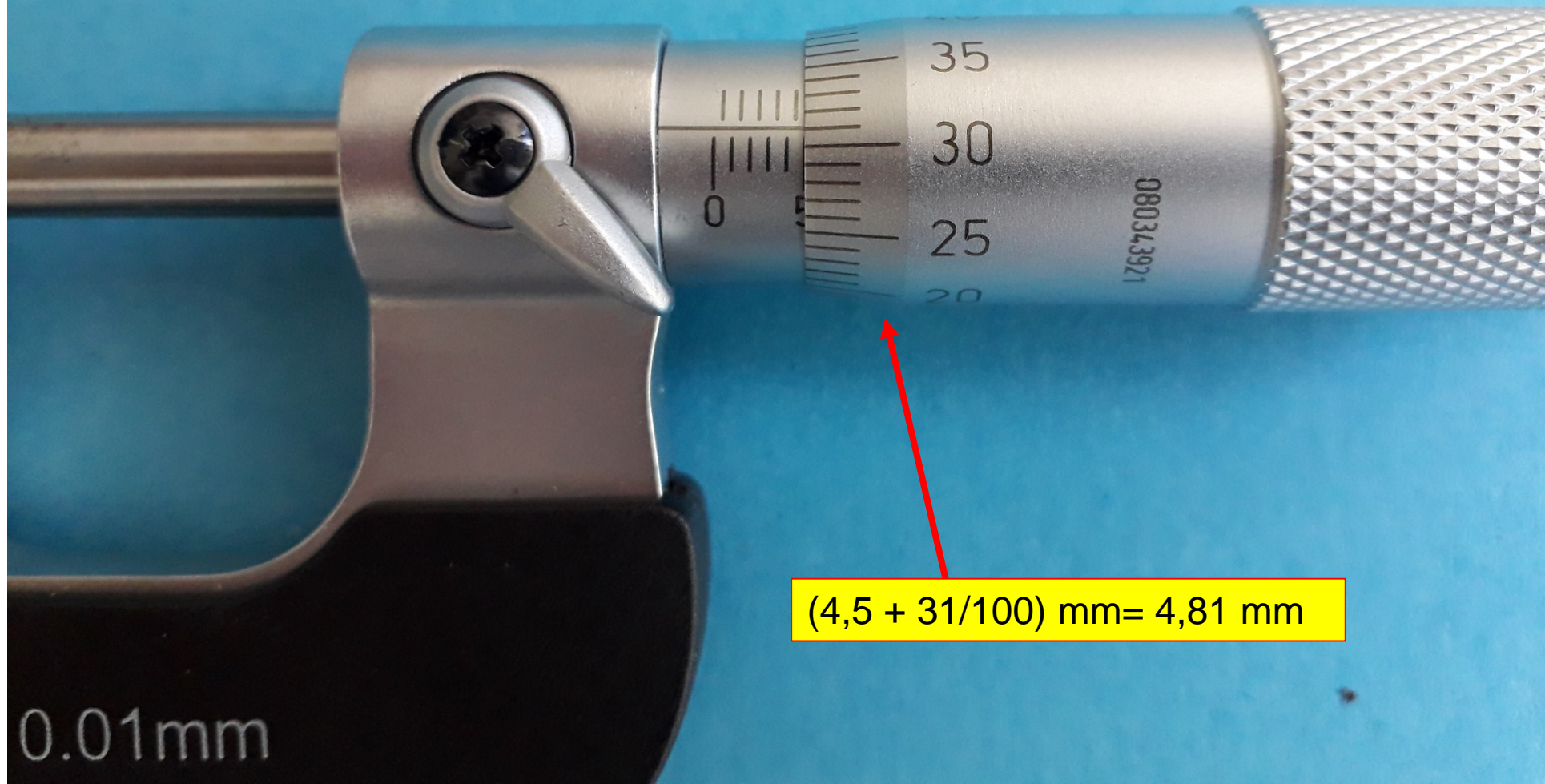


Längenmessungen mit Mikrometerschraube



$$(3,0 + 19/100) \text{ mm} = 3,19 \text{ mm}$$

Längenmessungen mit Mikrometerschraube



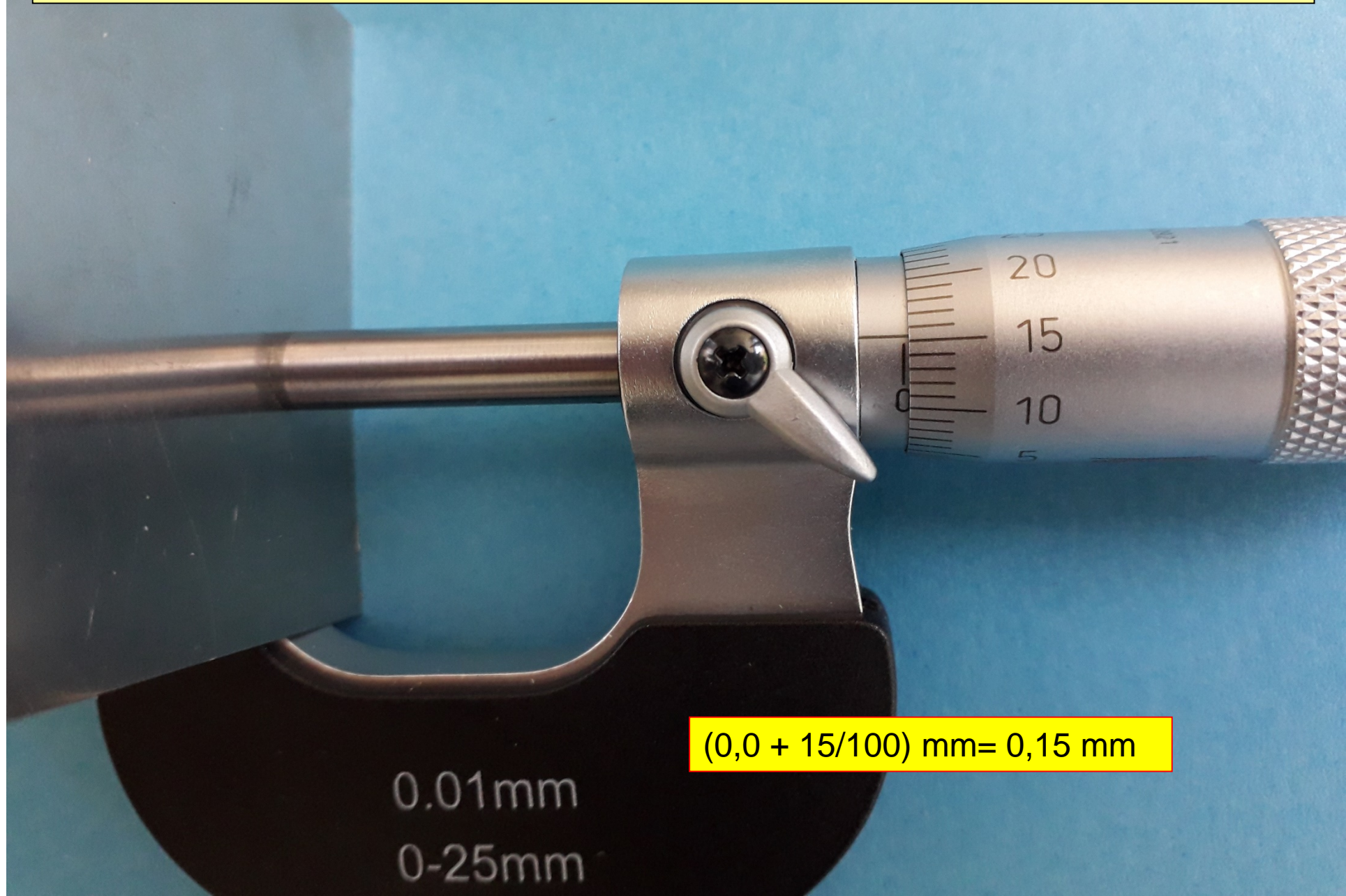
$$(4,5 + 31/100) \text{ mm} = 4,81 \text{ mm}$$

Längenmessungen mit Mikrometerschraube



$$(0,0 + 21/100) \text{ mm} = 0,21 \text{ mm}$$

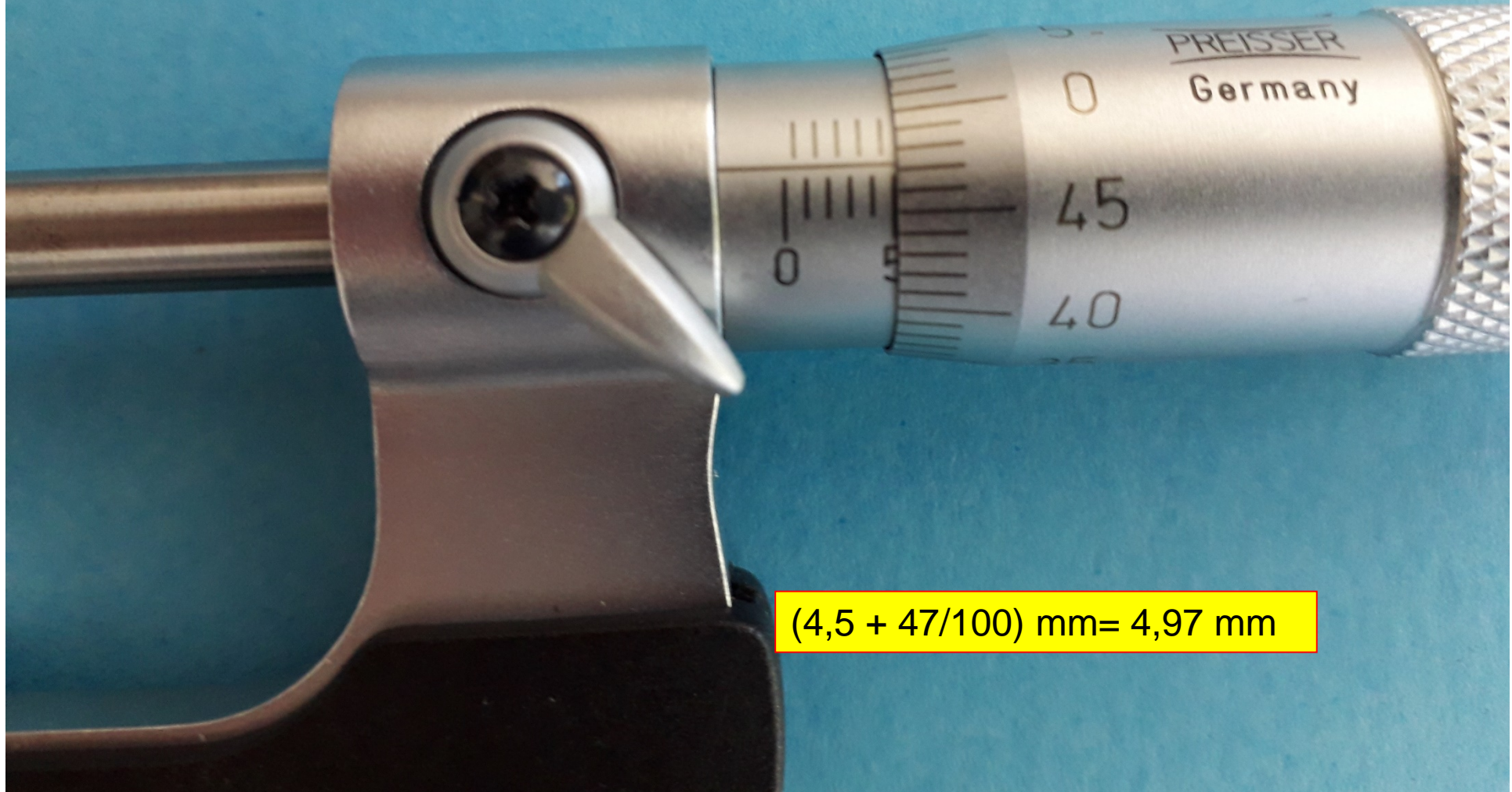
Längenmessungen mit Mikrometerschraube



$$(0,0 + 15/100) \text{ mm} = 0,15 \text{ mm}$$

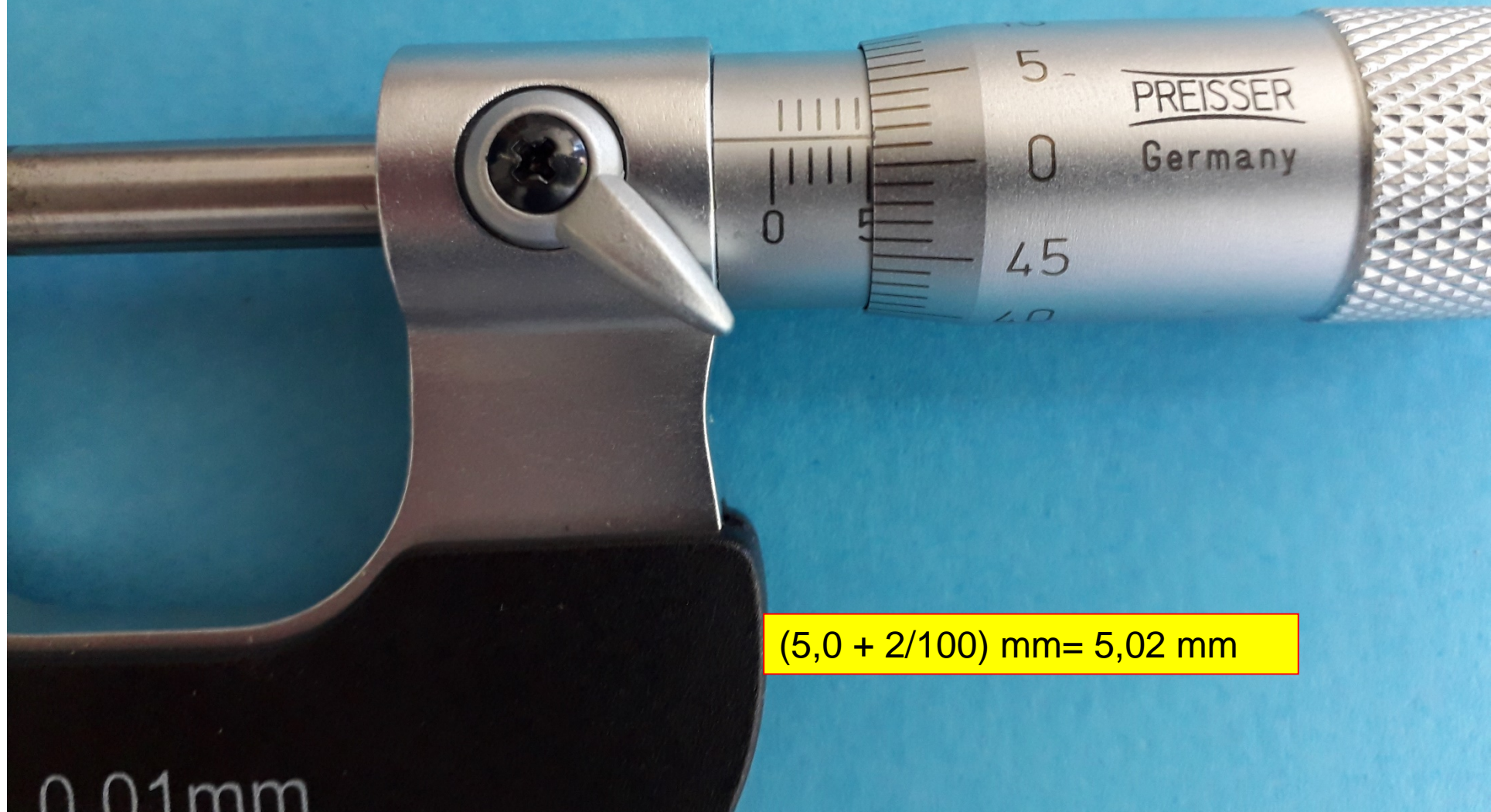
0.01mm
0-25mm

Längenmessungen mit Mikrometerschraube

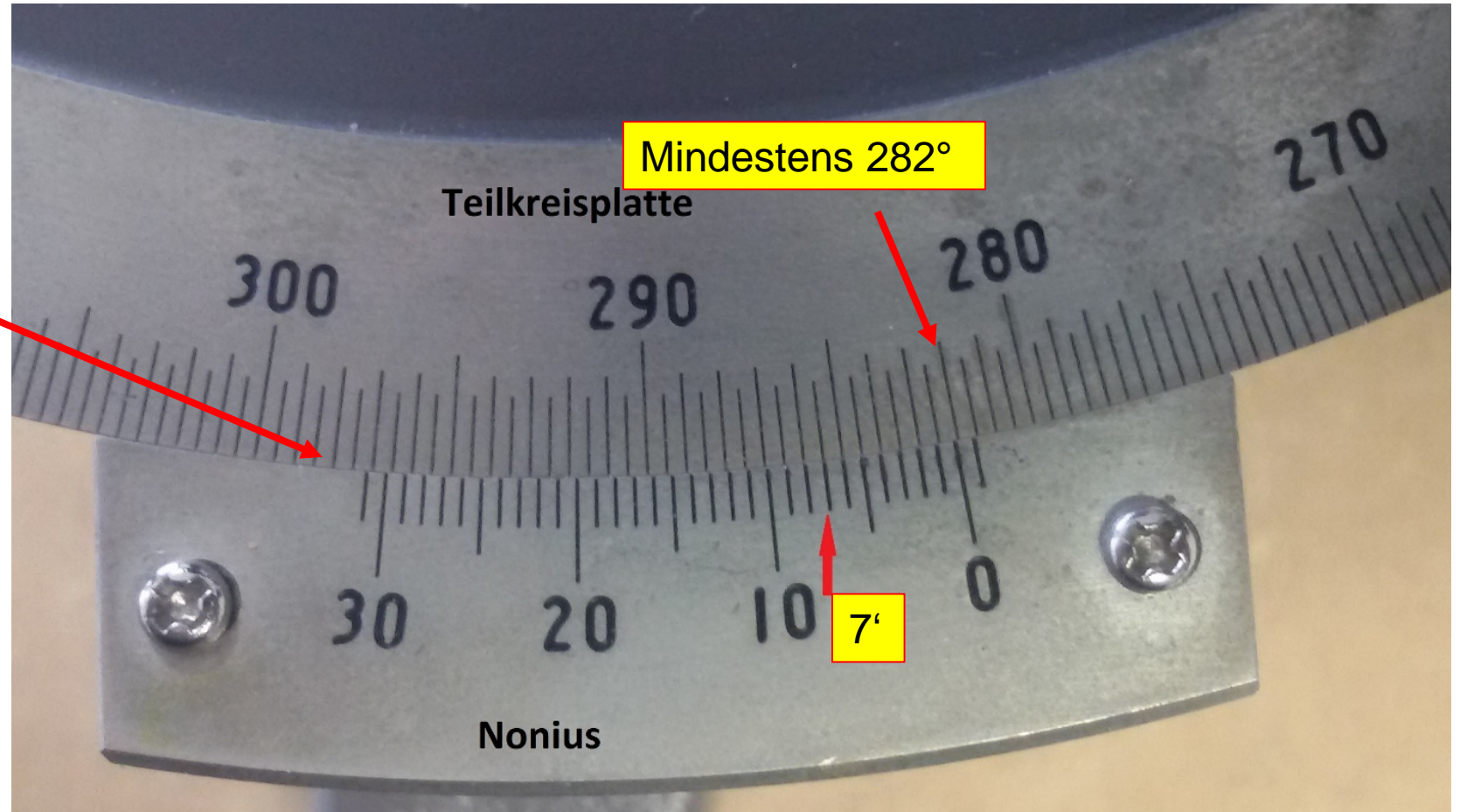
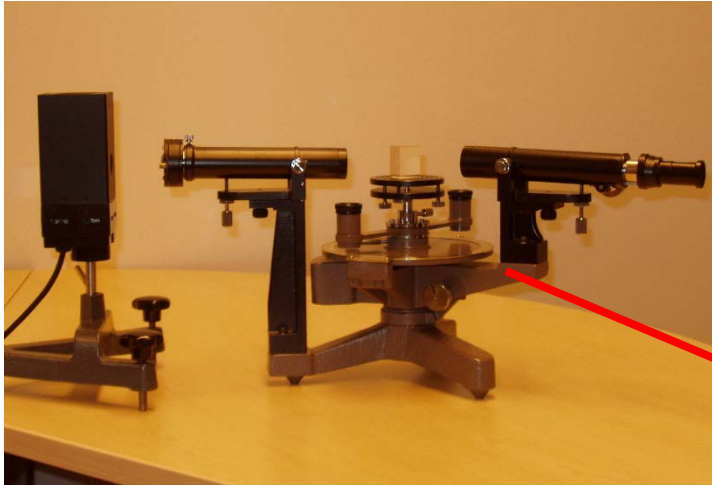


$$(4,5 + 47/100) \text{ mm} = 4,97 \text{ mm}$$

Längenmessungen mit Mikrometerschraube



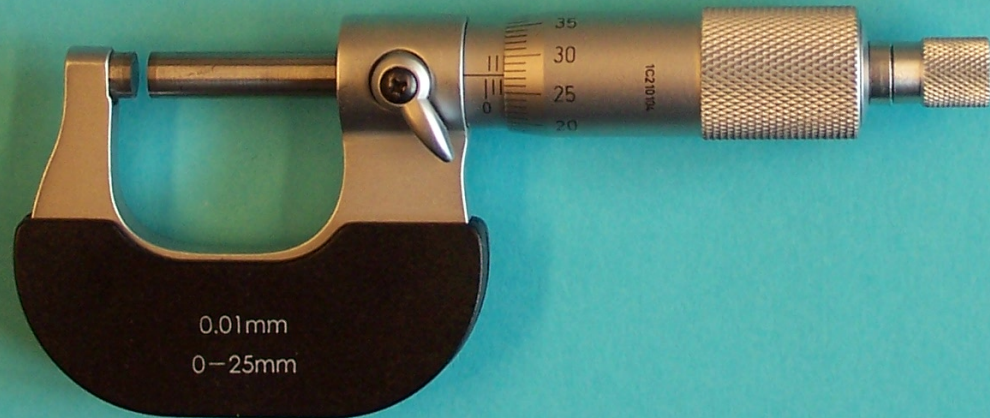
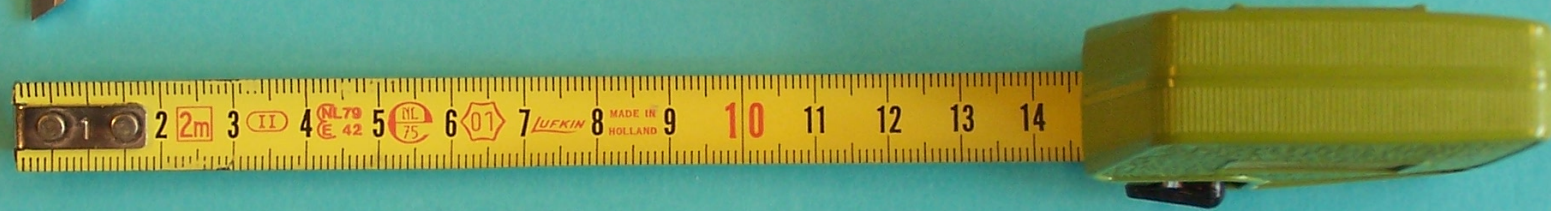
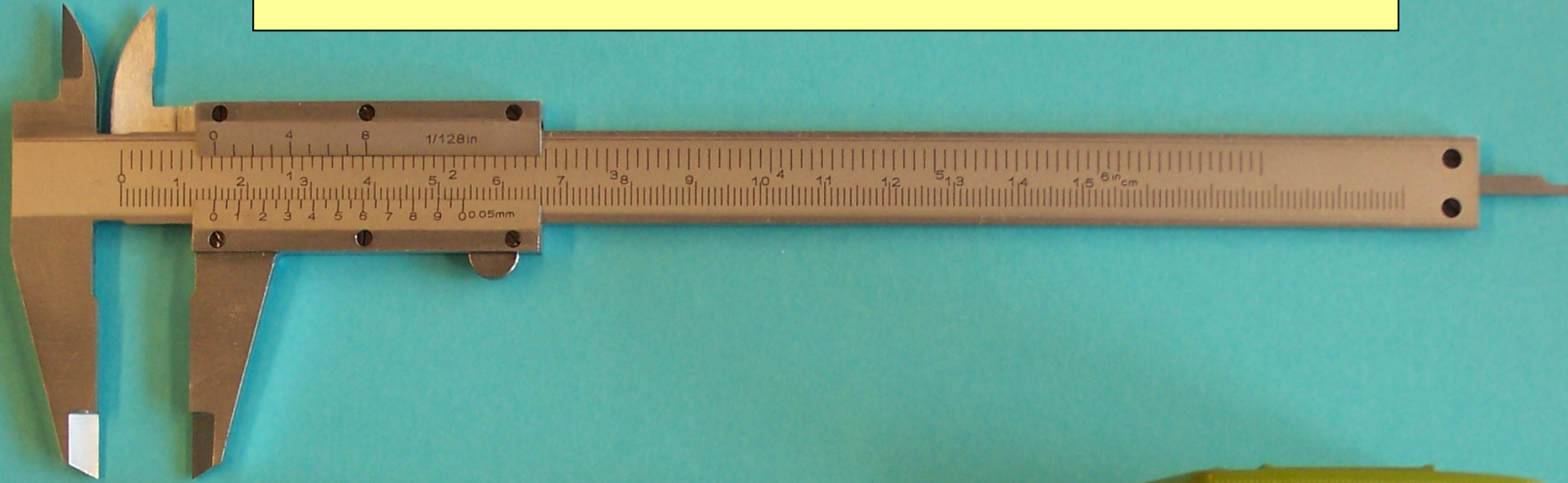
Winkelmessungen mit Nonius



Ergebnis: 282° 7'

Im Gradmass: $282^\circ + (7'/60') = 282,12^\circ$

Längenmessungen:



Viel Erfolg !