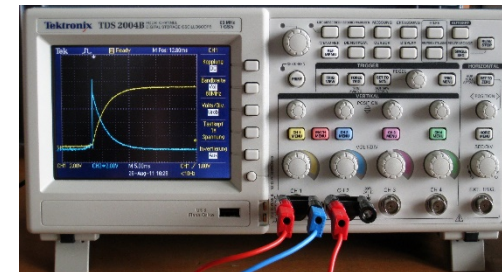
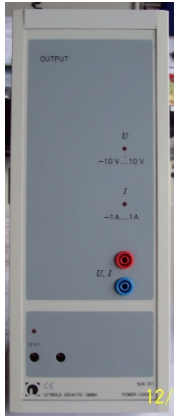


Messinstrumente im physikalischen Grundpraktikum Dr. Th. Kirn

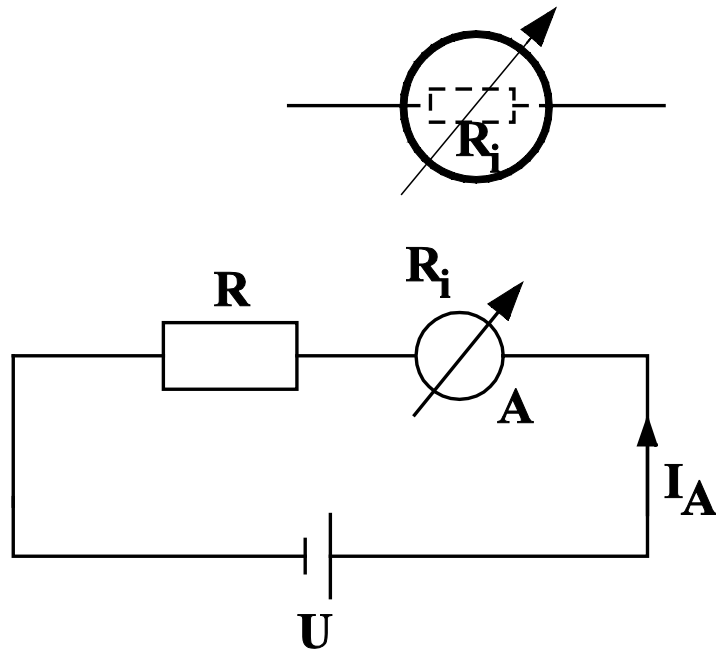


Messinstrumente im physikalischen Grundpraktikum

- 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:

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

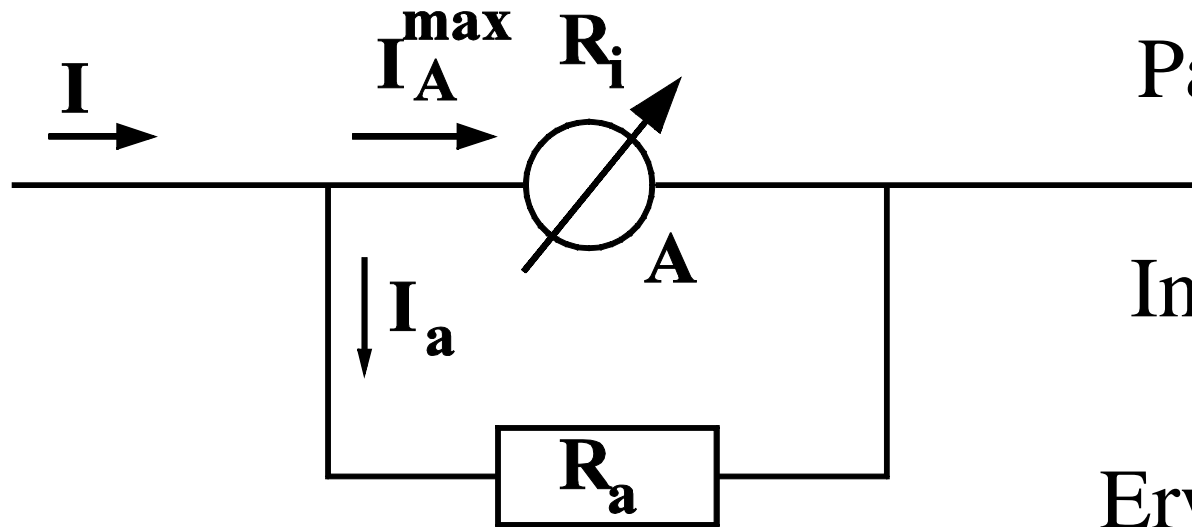
Mit Amperemeter:

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

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

typischerweise $R_i \leq 1\Omega$

Messbereichserweiterung



Parallelschaltung eines Shunt

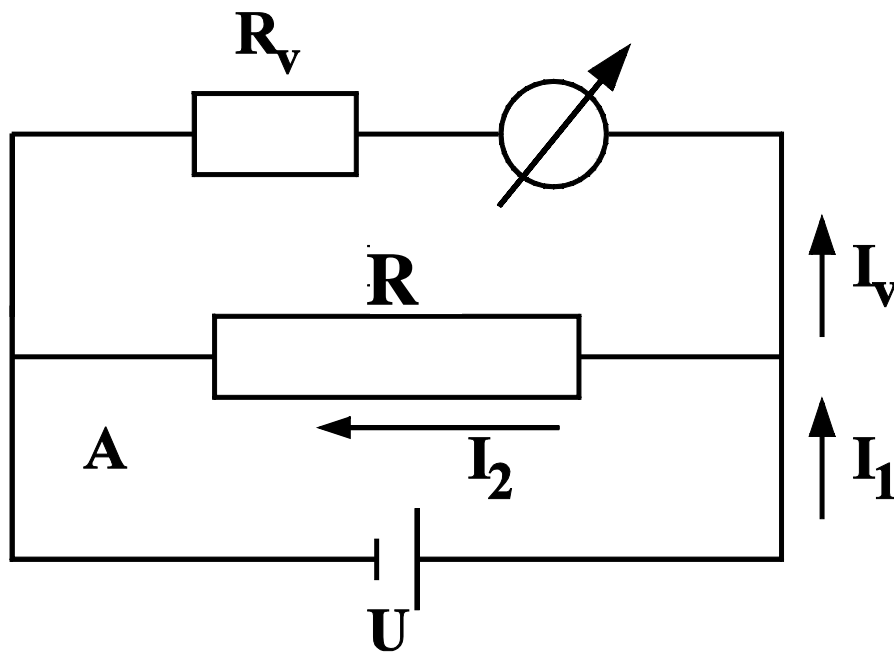
Instrument misst I_A^{\max}

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



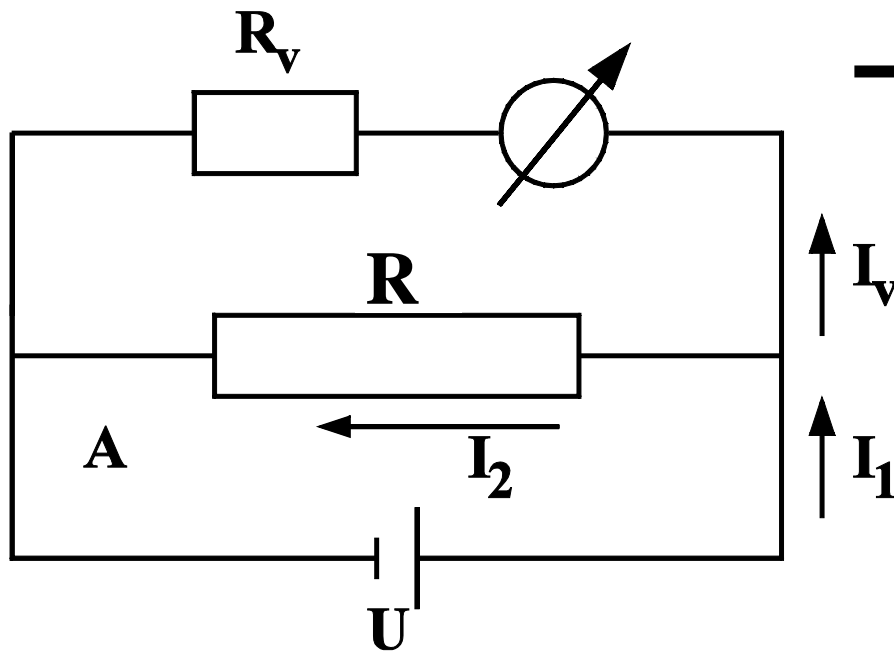
Spannungsmesser sind mittels
Ohmschen Gesetz in Volt geeichte
Amperemeter

Vorschaltung eines Vor-
widerstandes $R_v \gg R$

Durch Instrument fließt Strom I_v

→ angezeigte Spannung $U = I_v \cdot R_v$

Prinzip Spannungsmessung



→ Änderung der Stromstärke
im Kreis A

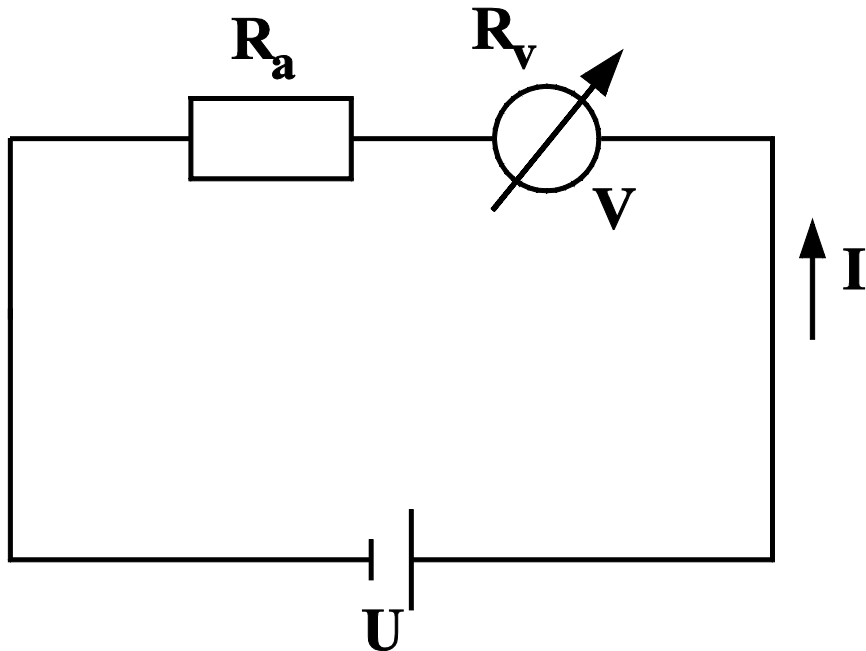
Quelle liefert Strom

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

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?



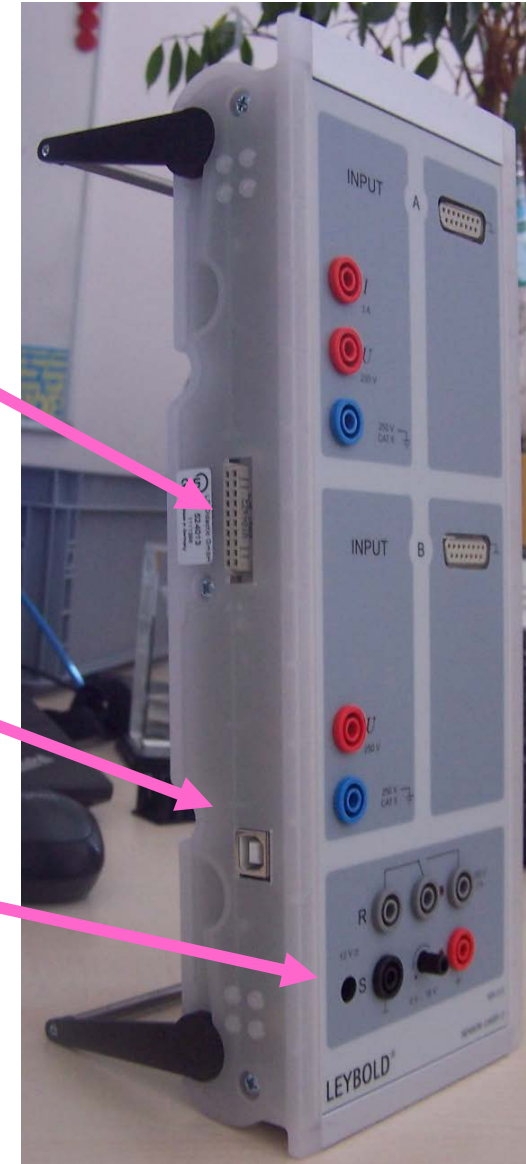
Sensor-Cassy-2 Interface

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

Anschluß an USB-Port
des Computers

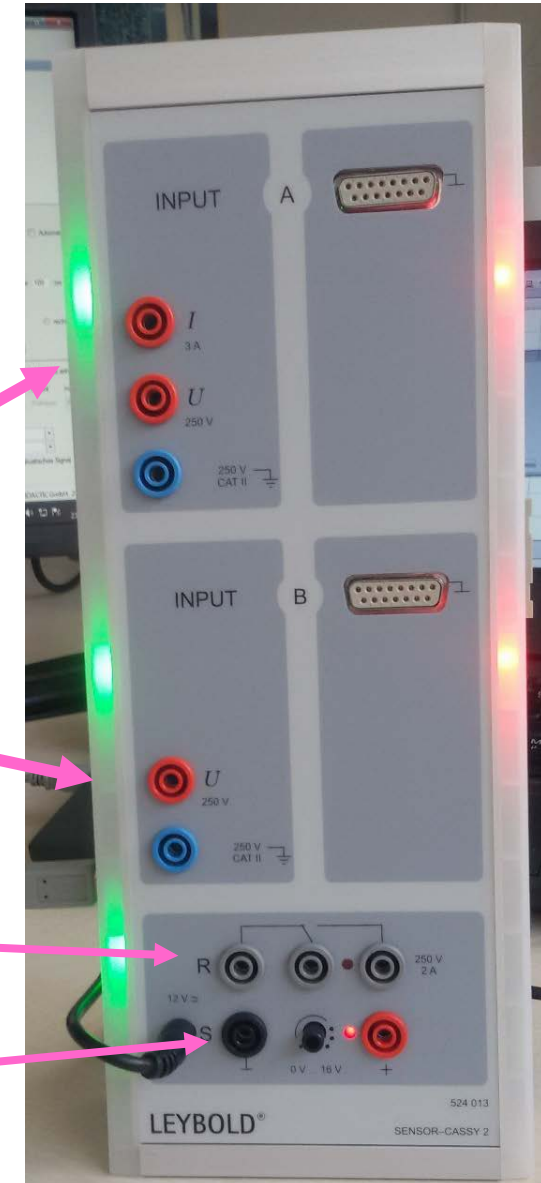
Spannungsversorgung:

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

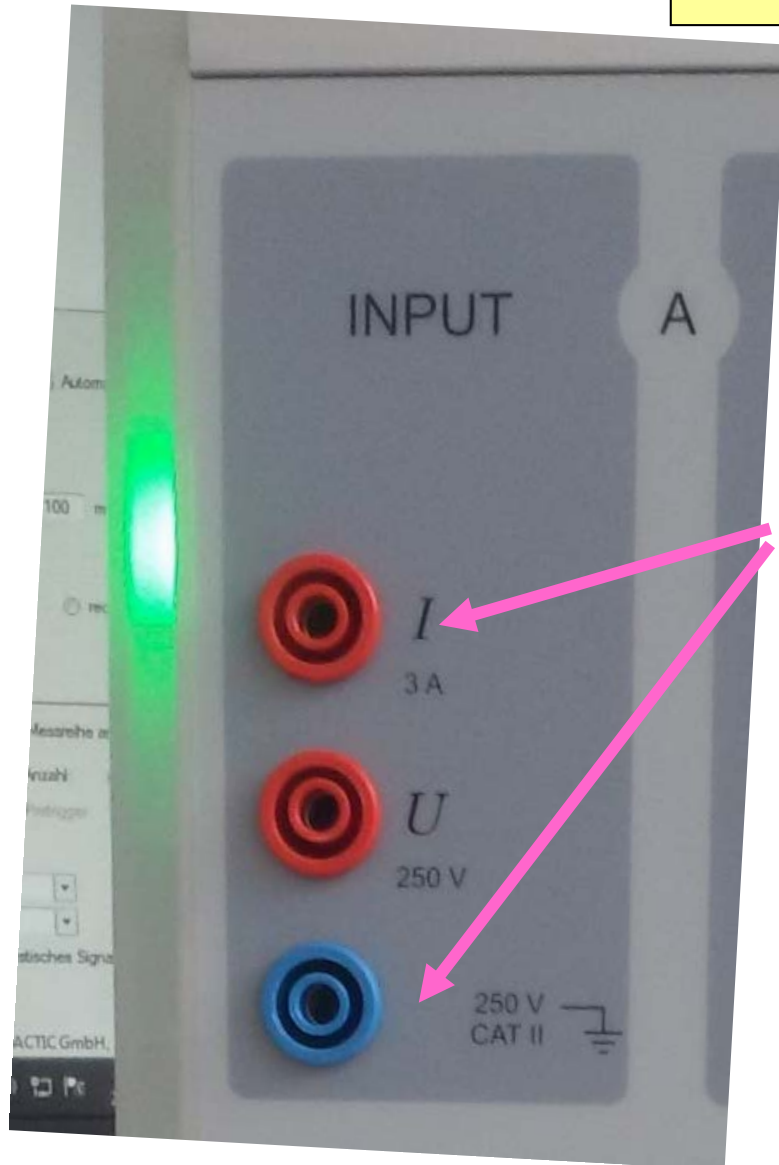
2 analoge Spannungseingänge A und B:

- 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

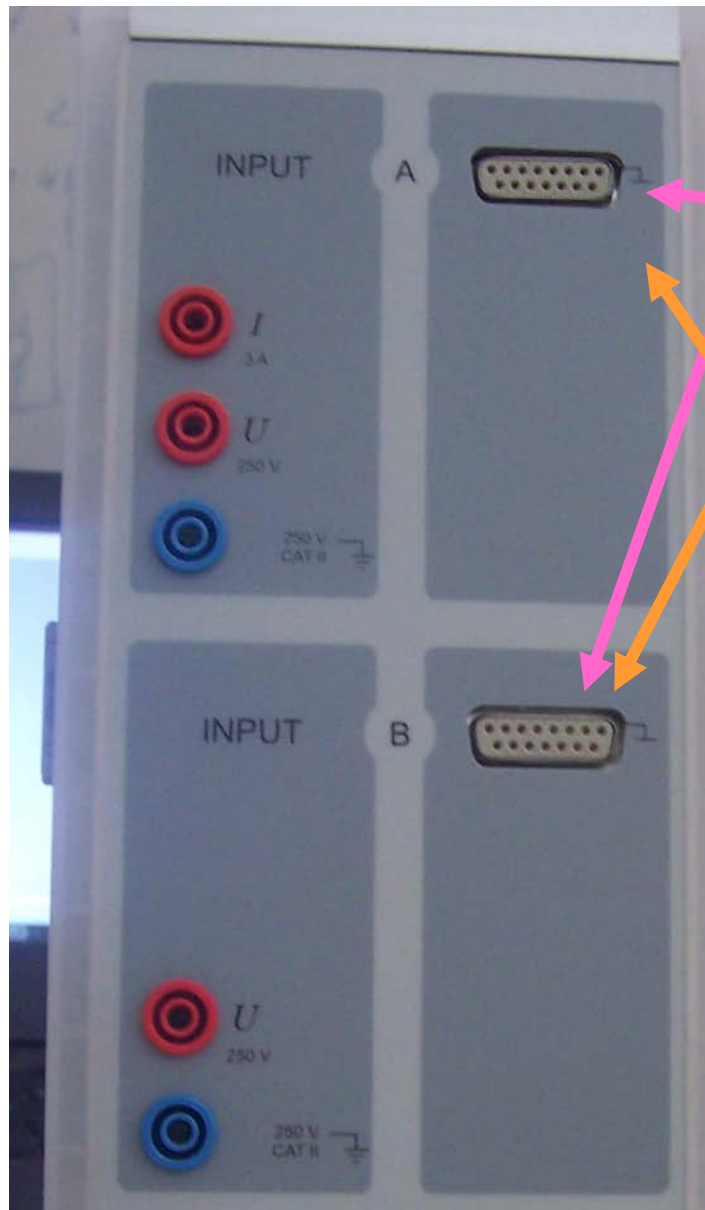


Eingang A:

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



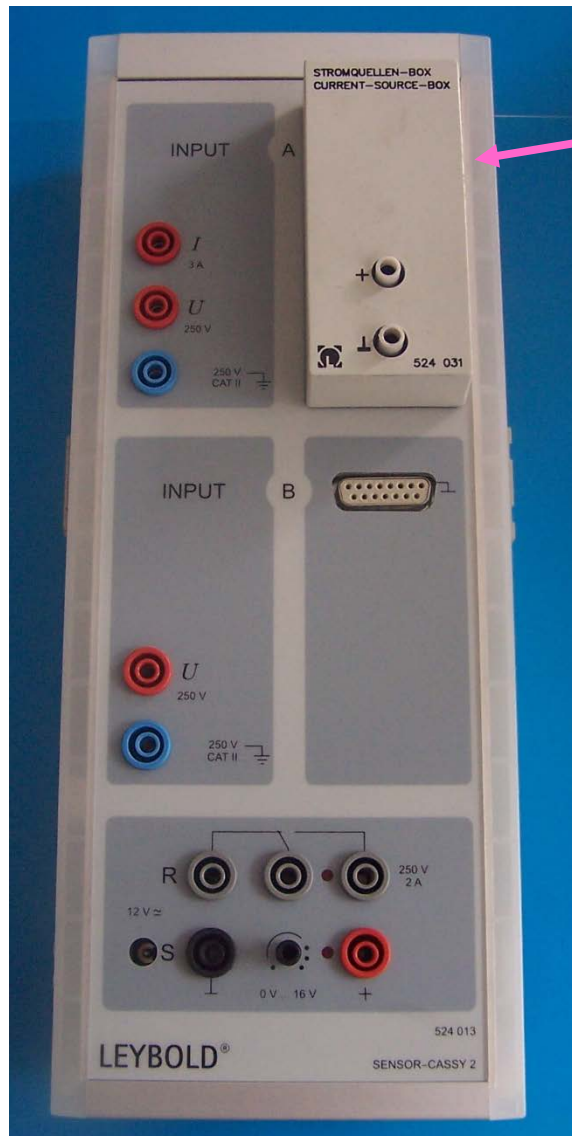
2 analoge Eingänge auf Sensorbox-Steckplätzen A und B

- 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:

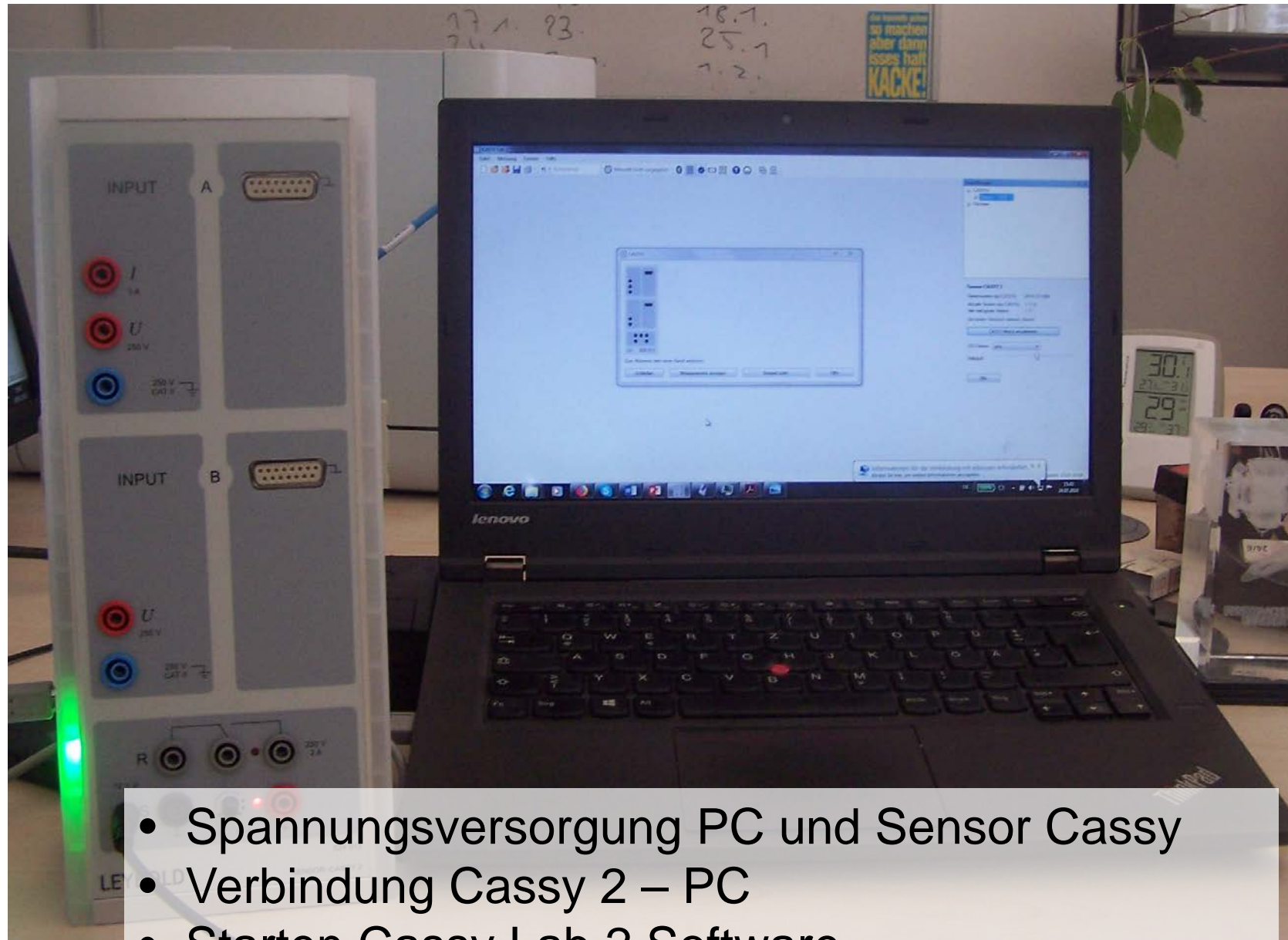
Timer Box → Laufzeit Messung

Temperatur Box

B-Box → B-Feldmessung,
→ Druckmessung

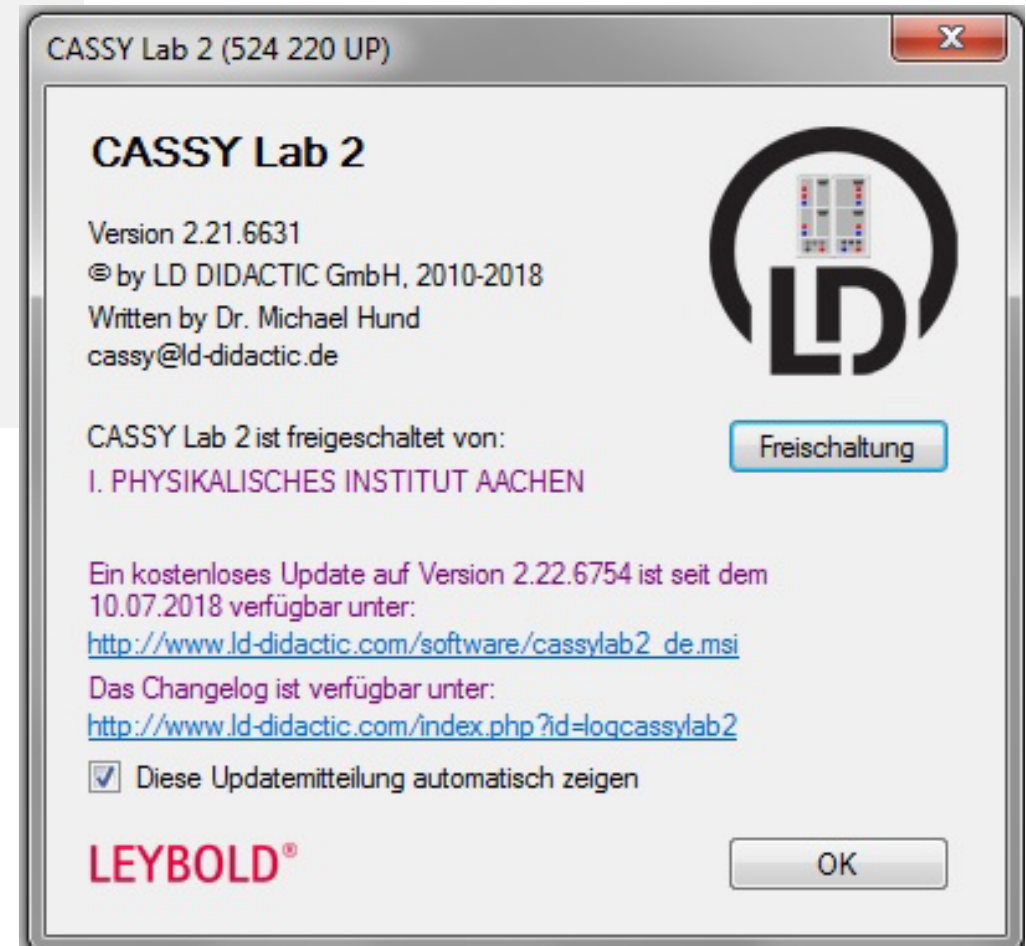
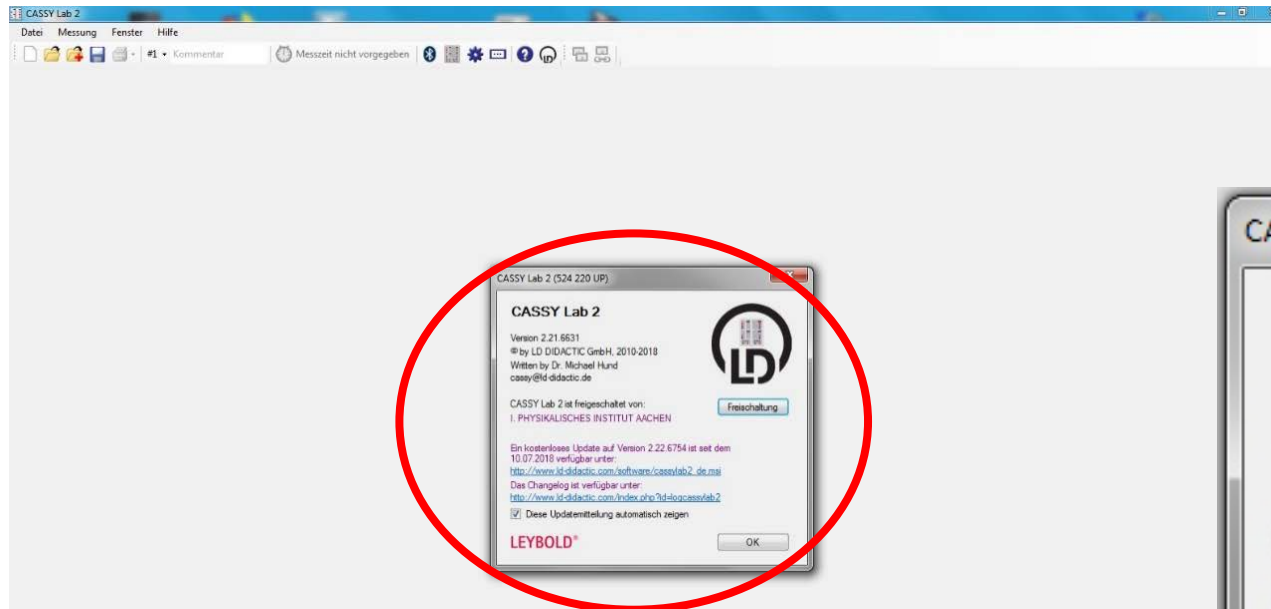
Stromquellen-Box

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.

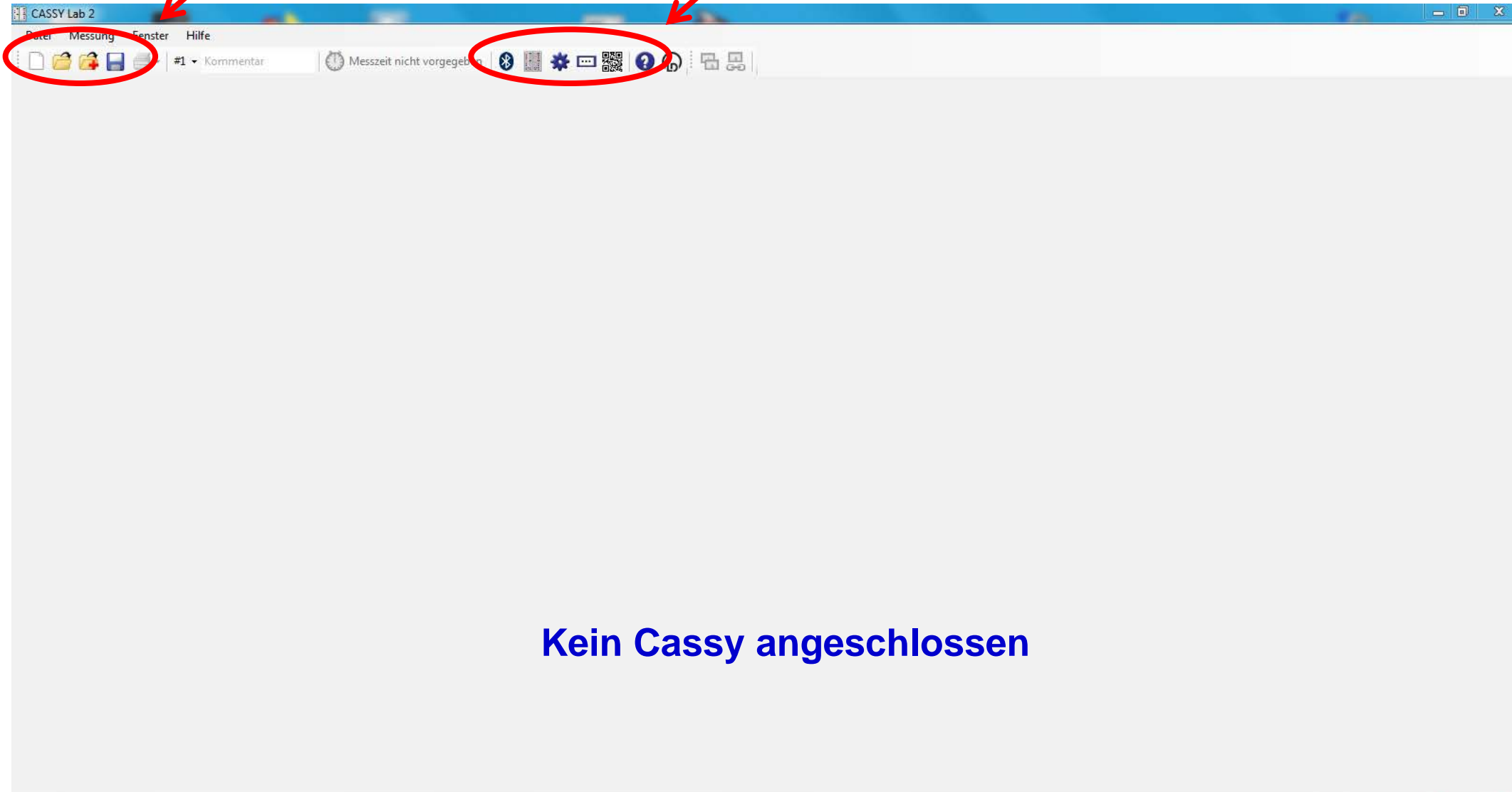
Notfalls Freischaltung vornehmen.

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 area is divided into several windows. On the left, a 'CASSYs' window displays a list of sensors with a yellow warning icon and the ID '524 013'. Below this list, there is a message: 'Zum Aktivieren bitte einen Kanal anklicken.' and four buttons: 'Schließen', 'Messparameter anzeigen', 'Beispiel laden', and 'Hilfe'. On the right, an 'Einstellungen' (Settings) window is open, showing a tree view with 'CASSYs' and 'Rechner'. Under 'CASSYs', 'Sensor-CASSY 2' is selected, indicated by a yellow warning icon. Below the tree view, the 'Sensor-CASSY 2' settings are displayed, including the serial number '2014.513.004', the current version '1.10.E', and the available version '1.11'. A red message states: 'Sie sollten das CASSY-Modul jetzt aktualisieren.' Below this message is a button with a yellow warning icon and the text 'CASSY-Modul aktualisieren'. Other settings include 'LED-Farben: grün' and a 'Helligkeit' slider. A 'Hilfe' button is at the bottom of the settings window. Two red arrows point from text boxes to the warning icon in the 'CASSYs' window and the 'CASSY-Modul aktualisieren' button in the 'Einstellungen' window.

Gelbes Warnsymbol beachten!

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

Cassy angeschlossen über USB-Port → automatische Erkennung

Cassy Lab 2 Start

The screenshot shows the 'CASSY Lab 2' software interface. The main window has a menu bar with 'Datei', 'Messung', 'Fenster', and 'Hilfe'. Below the menu is a toolbar with various icons. The main area is mostly empty. On the right side, there is a 'Einstellungen' (Settings) window. This window has a tree view on the left with 'CASSYs' expanded to show 'Sensor-CASSY 2' and 'Rechner'. Below the tree view, the 'Sensor-CASSY 2' settings are displayed:

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

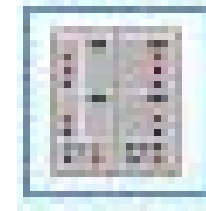
In the center of the main window, there is a smaller window titled 'CASSYs'. It shows a schematic of the Cassy sensor with four channels. Below the schematic, it says 'LD 524 013' and 'Zum Aktivieren bitte einen Kanal anklicken.' There are four buttons at the bottom: 'Schließen', 'Messparameter anzeigen', 'Beispiel laden', and 'Hilfe'.

Alles OK und Einsatzbereit

Cassy angeschlossen über USB-Port → automatische Erkennung

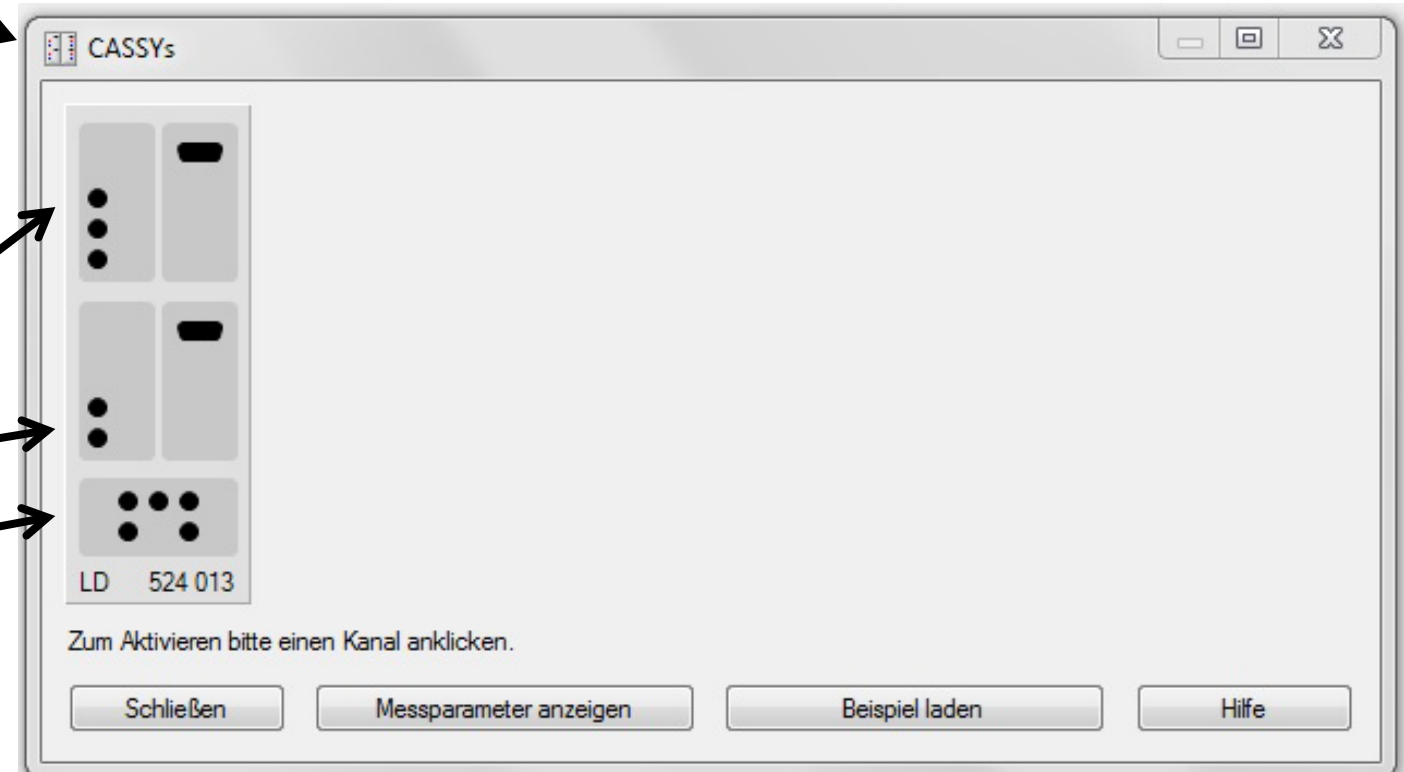
Cassy Lab 2, Einstellungen

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

Standard

Spannungsquelle S_1

$S_1 = 1$

CASSYs

LD 524 013

Zum Aktivieren bitte einen Kanal anklicken.

Schließen Messparameter anzeigen Beispiel laden Hilfe

Einstellungen

- CASSYs
 - Sensor-CASSY 2
 - Eingang A_1 (links)
 - Eingang A_1 (ohne Sensorbox)
 - Eingang B_1 (links)
 - Eingang B_1 (ohne Sensorbox)
 - Relais $R_1 = 0$
 - Spannungsquelle $S_1 = 1$
 - Rechner
 - Darstellungen
 - Standard

Spannungsquelle $S_1 = 1$

$S1(date,time,n,t,S1) =$
1 = AN

Umschalten während automatischer Aufnahme

Hilfe

Umfahme: automatisch Neue Messreihe anhängen

Messzeit: s Anzahl: maximal

Intervall: 100 ms Pretrigger: 0

Trigger:

Messbedingung: 1

Stoppbedingung: 0

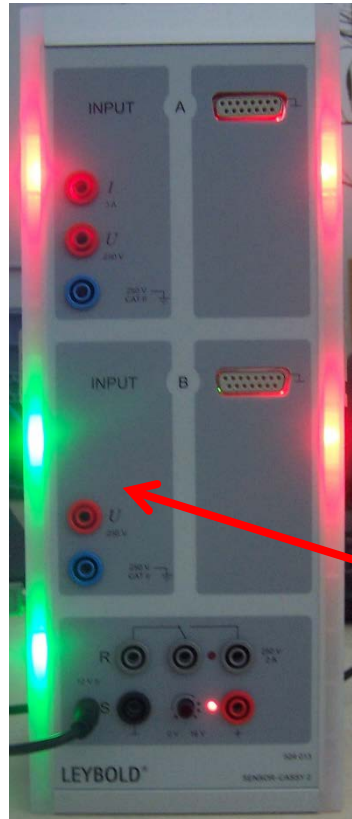
Wiederholende Messung Akustisches Signal

Hilfe

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

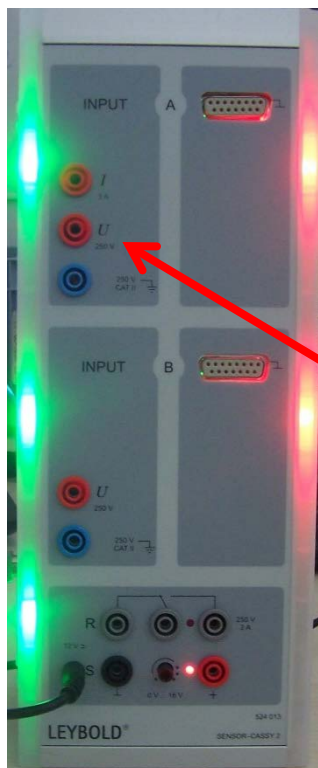
Einstellungen Spannungsquelle:
„1“ bedeutet „AN“,
„0“ bedeutet „AUS“,
Option: Umschalten während automatischer Aufnahme

Cassy Lab 2, Einstellungen Messparameter



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 Anschlusschule
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

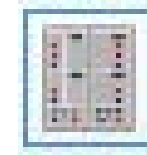
The screenshot displays the CASSY Lab 2 software interface. On the left, a physical device with two input channels (A and B) is shown. Red arrows indicate the connection between the physical device and the software interface. The software interface shows a main window with a graph and two measurement windows: 'Spannung U_{A1} ' and 'Spannung U_{B1} ', both showing 0.00 V. A 'CASSYs' window is open, showing buttons for 'Schließen', 'Messparameter anzeigen', 'Beispiel laden', and 'Hilfe'. A red circle highlights the 'Einstellungen' panel on the right, which shows settings for 'Spannung U_{A1} ' such as 'Bereich: -10 V.. 10 V', 'Messwert erfassung' (Momentanwerte selected), and 'Nullpunkt' (mittig selected).

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 two measurement windows: 'Stromstärke I_{A1} ' (Current) and 'Spannung U_{B1} ' (Voltage). The current window shows a scale from -1 to 1 A with a needle at 0.000 A. The voltage window shows a scale from -10 to 10 V with a needle at 0.00 V. A central 'CASSYs' window displays the physical device with channel selection buttons for I_{A1} , U_{B1} , and S_1 . The settings panel on the right is titled 'Einstellungen' and shows a tree view of 'CASSYs' with 'Stromstärke I_{A1} ' selected. Below the tree, the 'Stromstärke I_{A1} ' settings are shown, including a range of -1 A to 1 A, measurement mode (Momentanwerte), and a null point set to 'mittig'. The bottom right corner contains a small information box with the text 'Informationen für die Verbindung mit eduram erforderlich. Klicken Sie hier, um weitere Informationen anzugeben.'

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 Korrigieren

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 Korrigieren

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

Neu Löschen

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

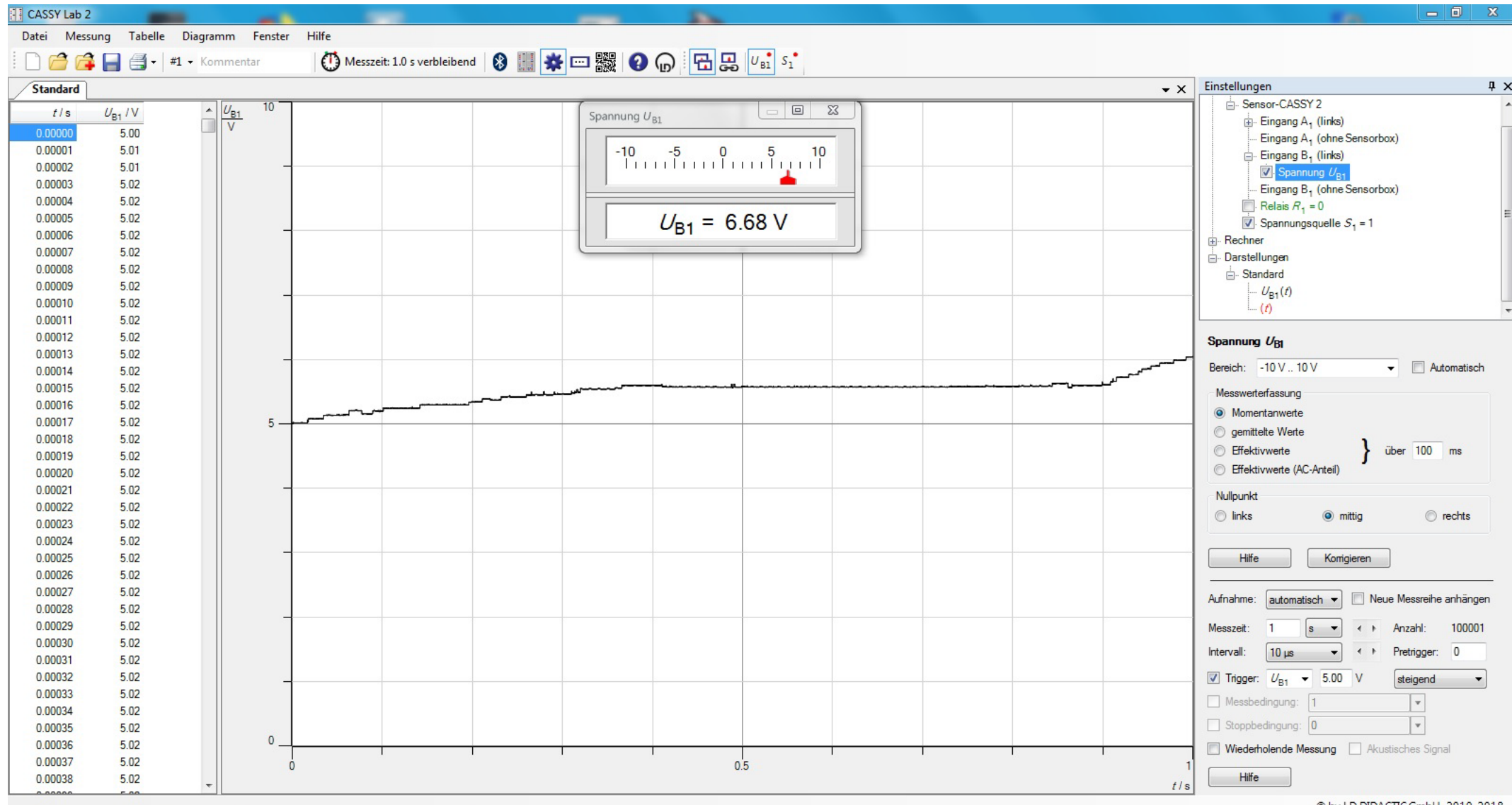
Stoppbedingung: 0

Wiederholende Messung Akustisches Signal

Hilfe

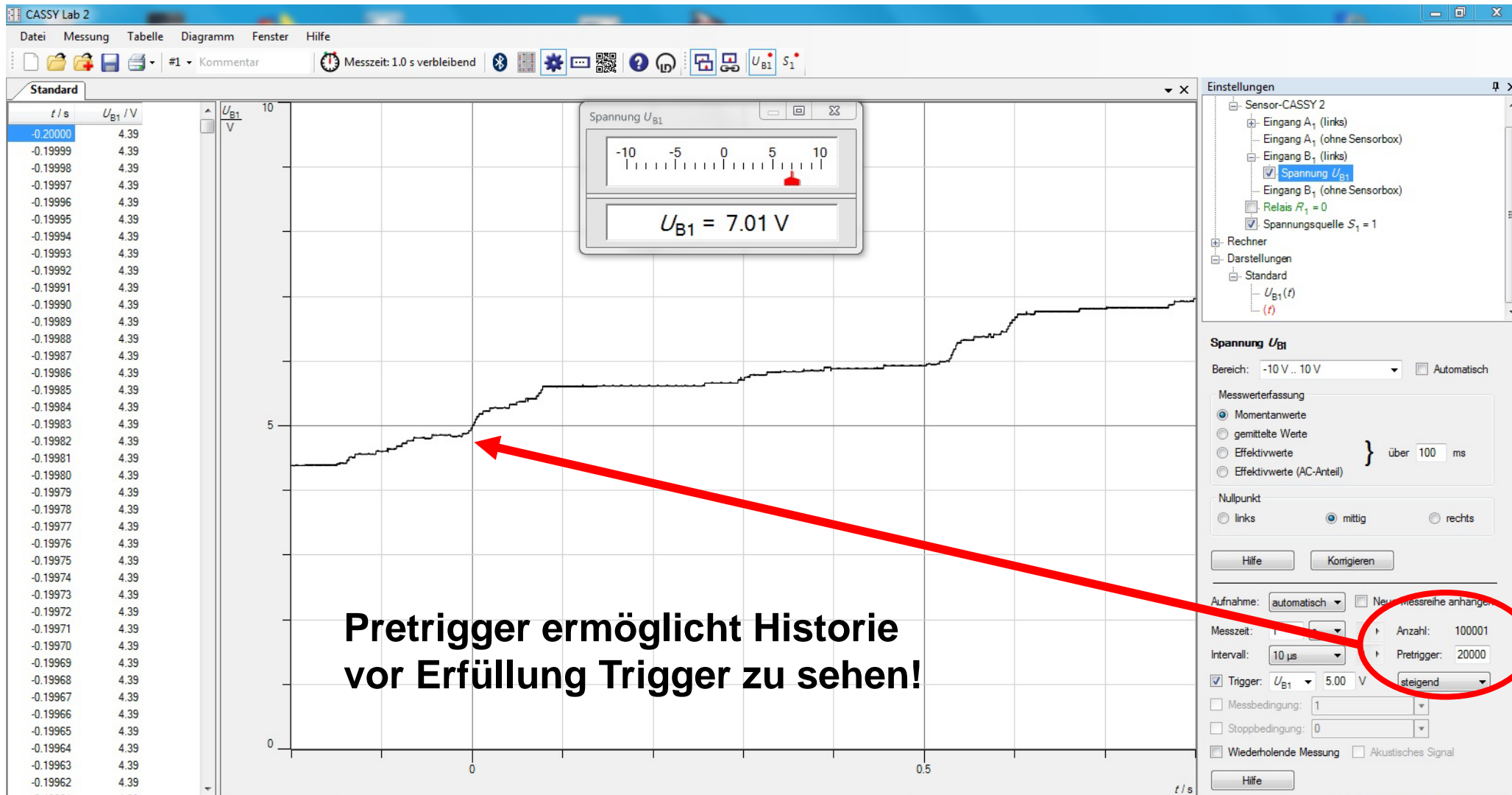
Messintervall und -anzahl,
Trigger und Messbedingungen
(falls benötigt) einstellen und
im Messprotokoll notieren!

Cassy Lab 2, Einstellungen, Messparameter



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

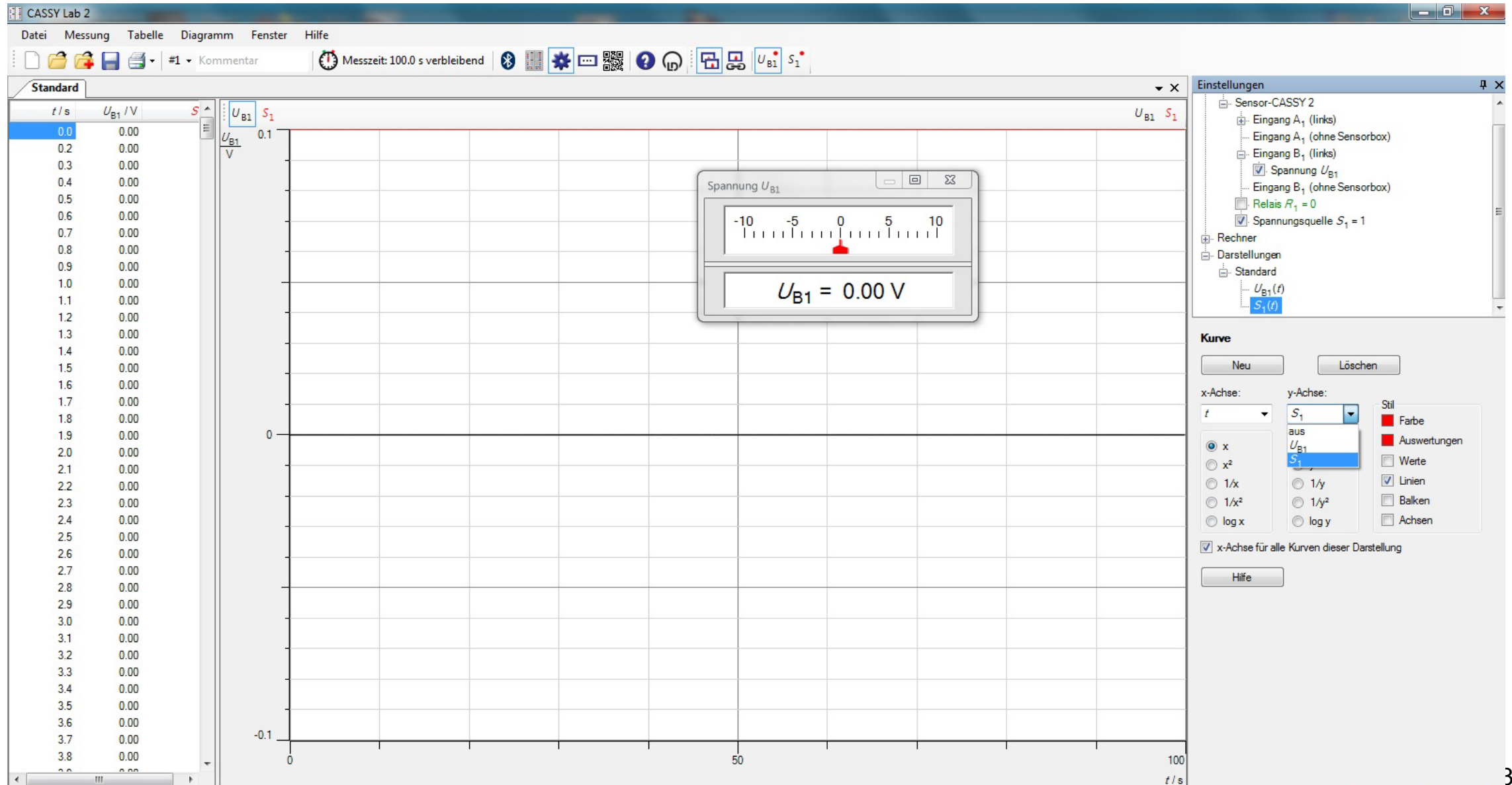
Cassy Lab 2, Einstellungen, Messparameter



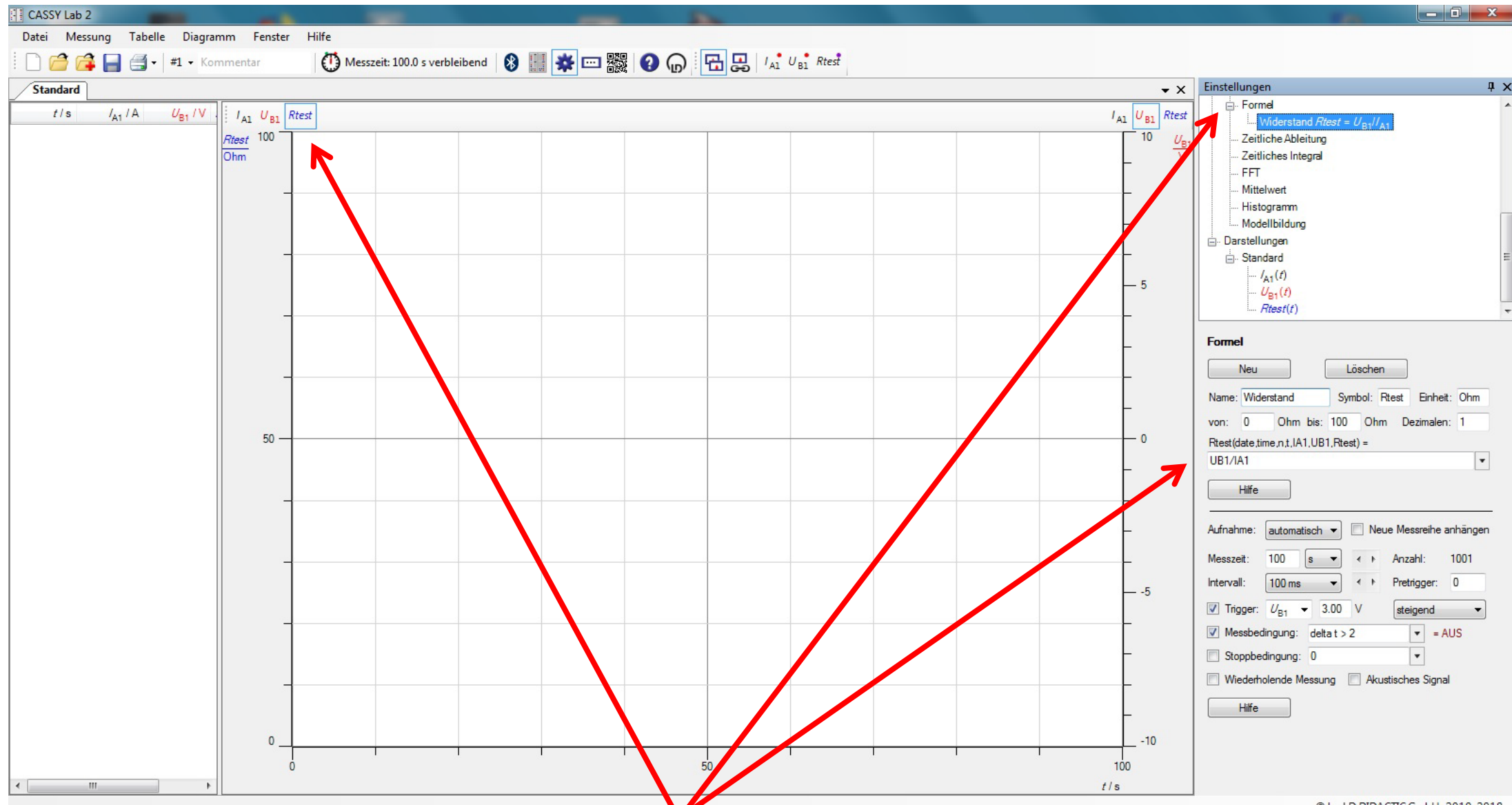
**Pretrigger ermöglicht Historie
vor Erfüllung Trigger zu sehen!**

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

Cassy Lab 2, Einstellungen, Darstellungen

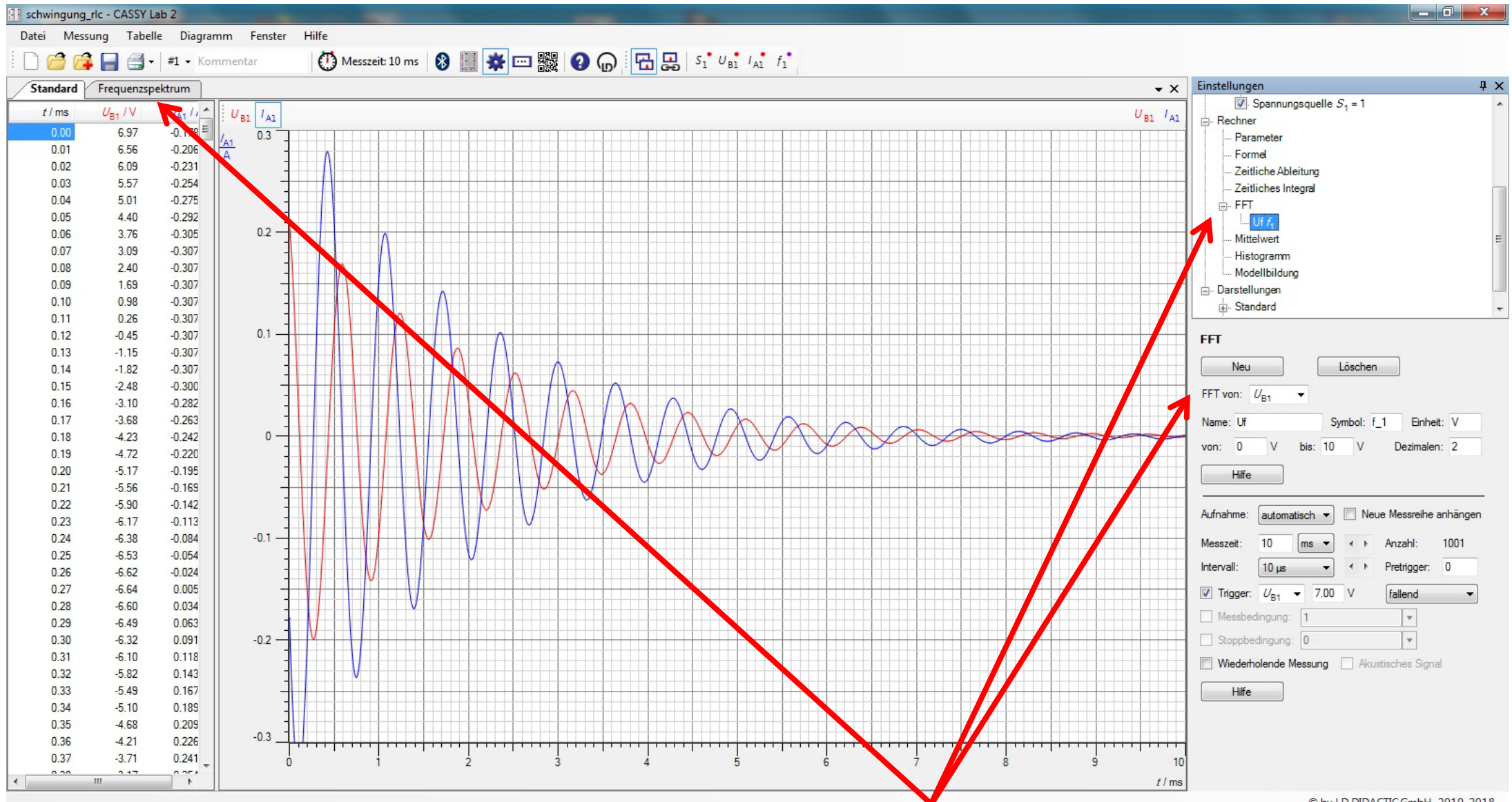


Cassy Lab 2, Einstellungen, Parameter/Formel/FFT

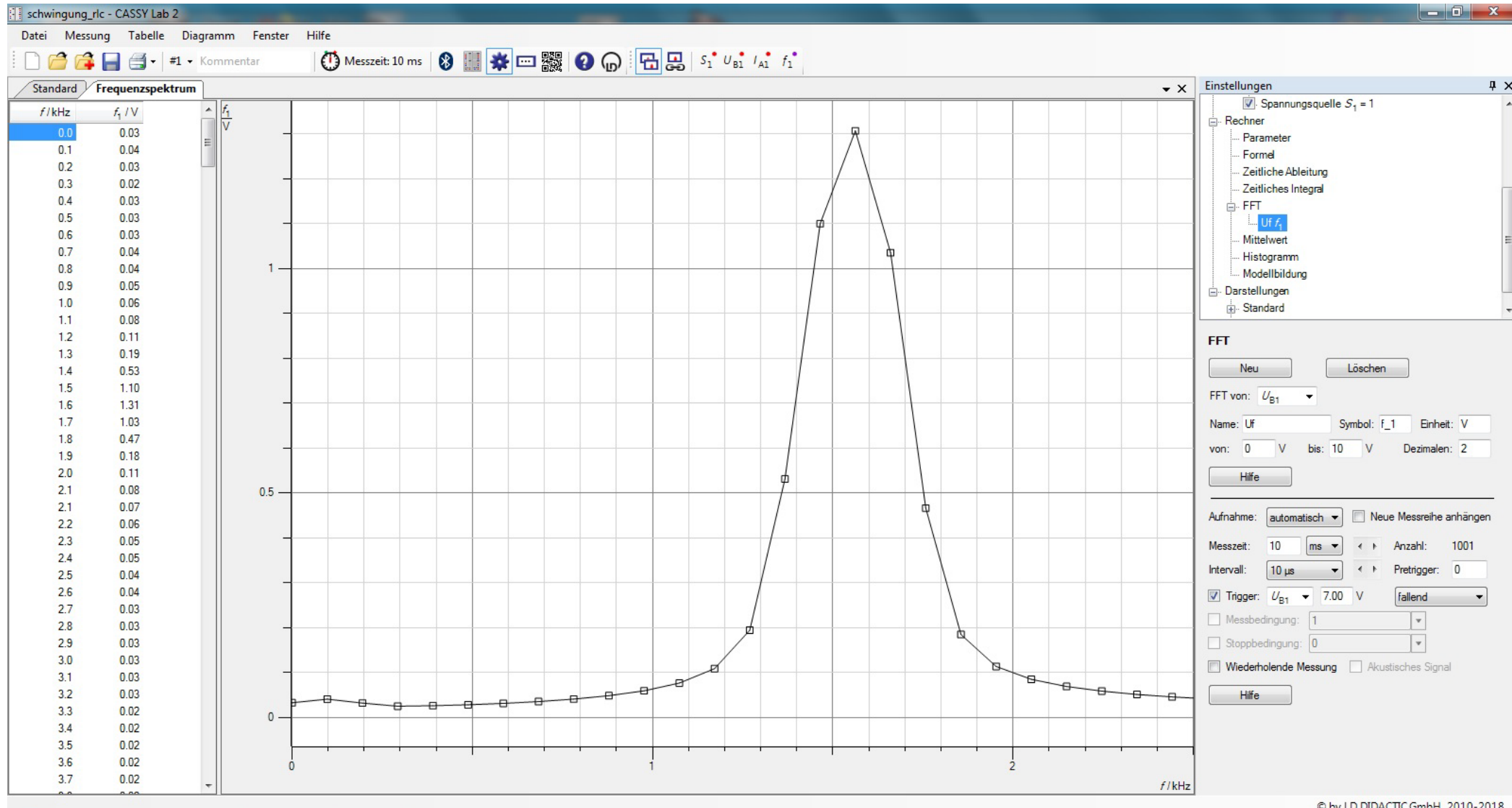


Konstante oder Parameter oder Formel oder FFT: Definition einer neuen Größe

Cassy Lab 2, Einstellungen, Parameter/Formel/FFT

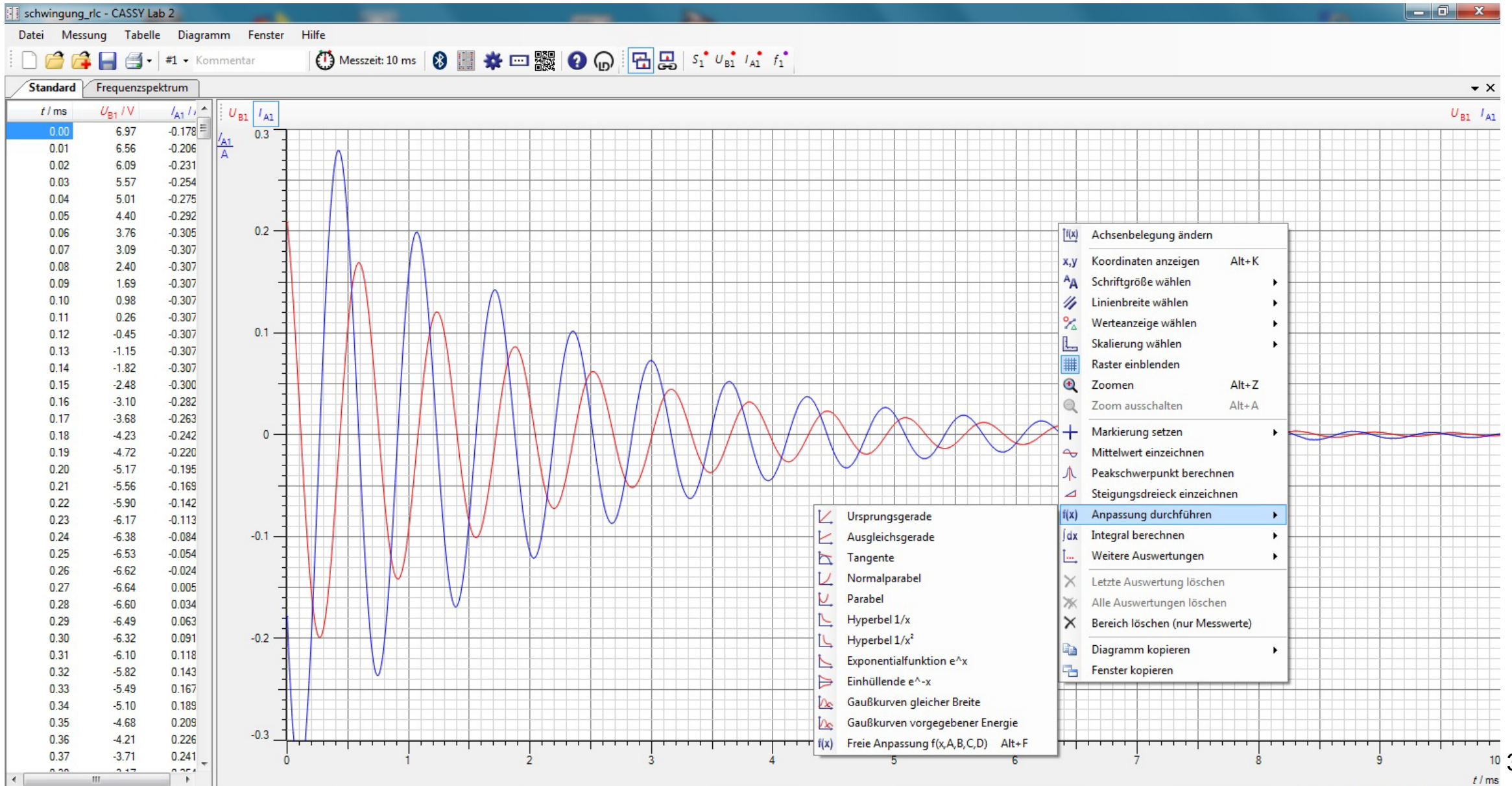


Cassy Lab 2, Einstellungen, Parameter/Formel/FFT

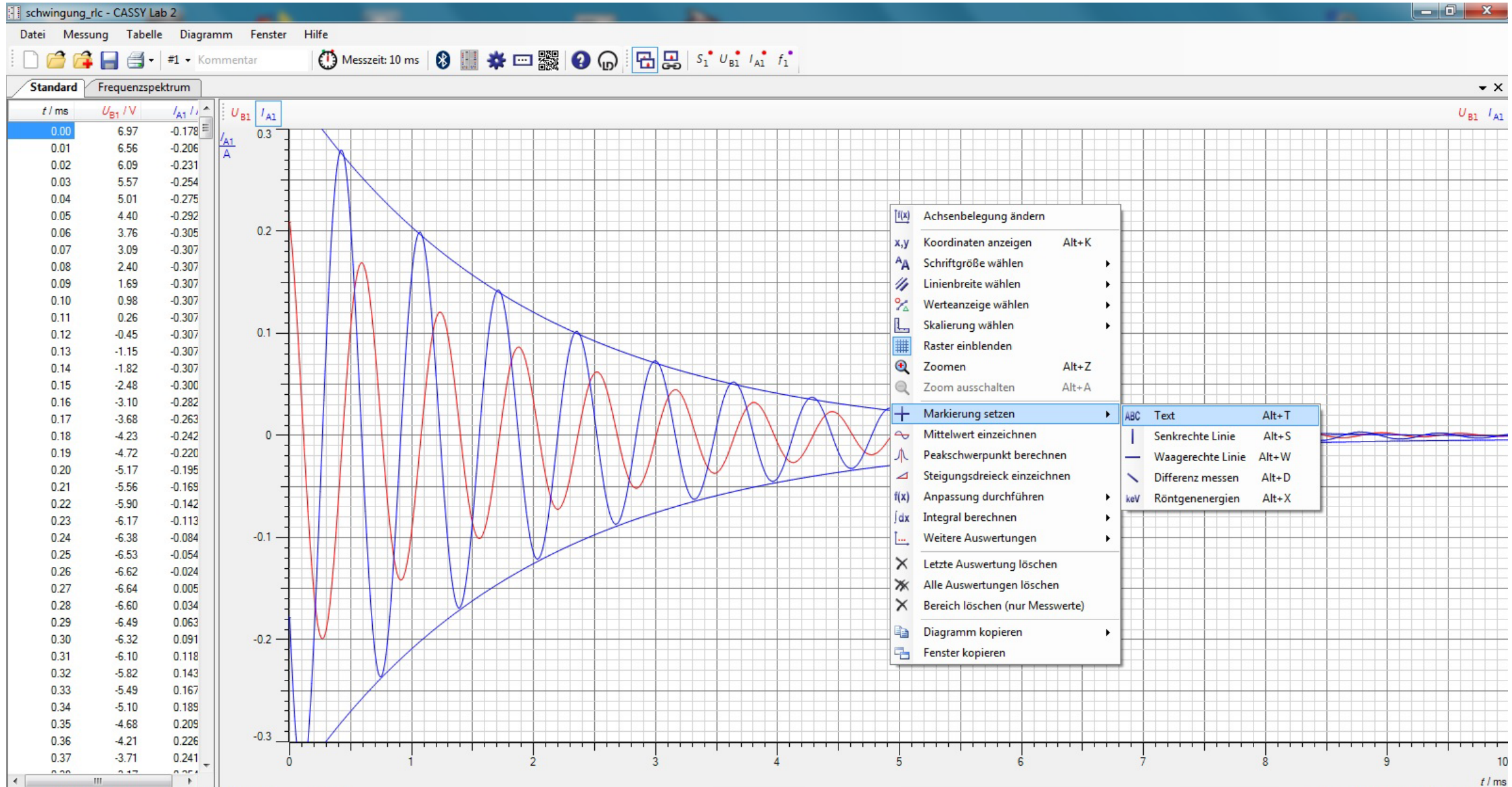


Konstante oder Parameter oder Formel oder FFT: Definition einer neuen Größe

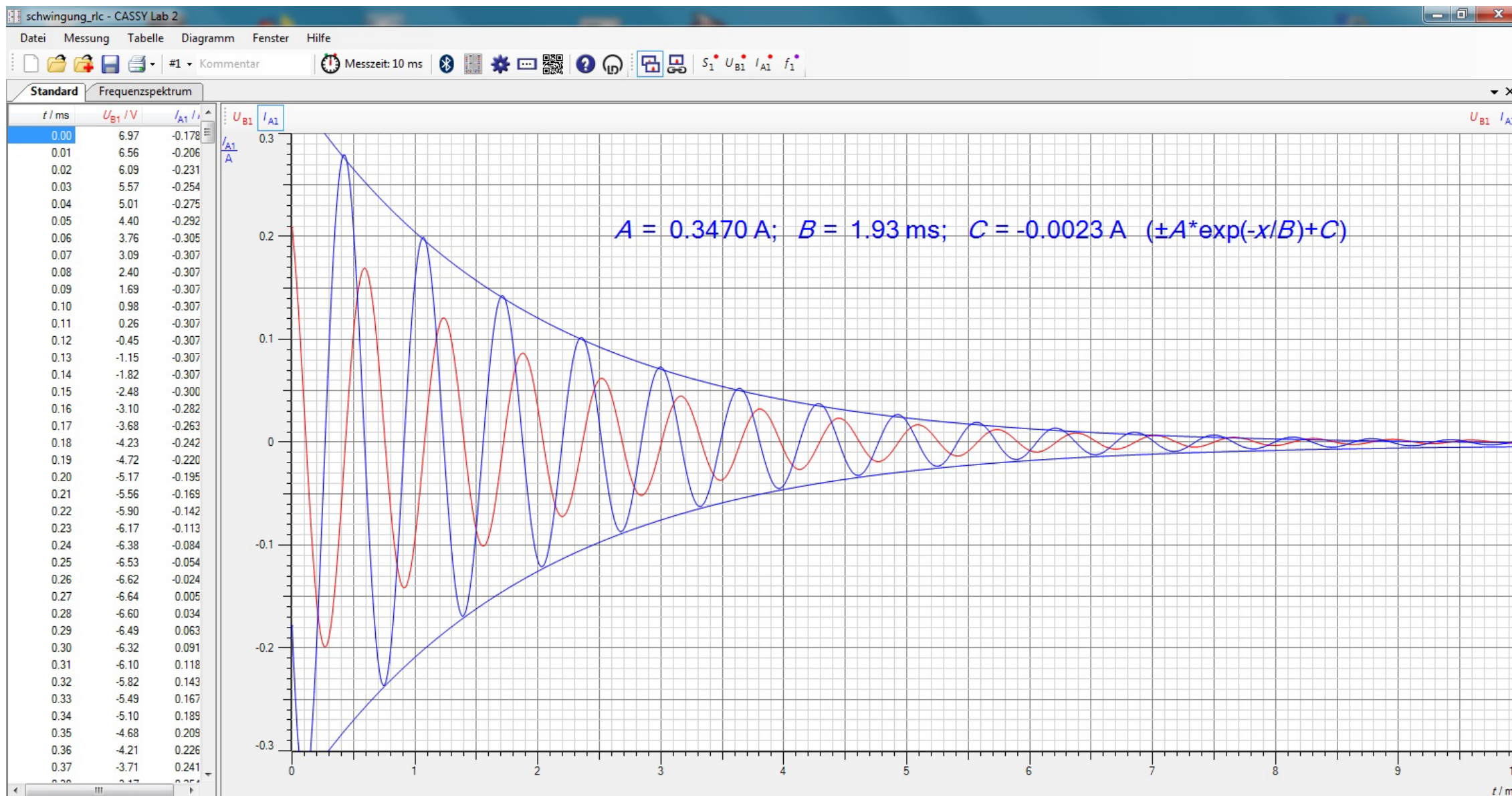
Cassy Lab 2, Anpassungen



Cassy Lab 2, Anpassungen



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 and measurement control. The main window is divided into several sections:

- Left Panel:** A table with columns 't / ms' and 'U_{B1} / V'. It contains a list of time and voltage values.
- Center:** A graph showing a signal over time. The y-axis is labeled 'U_{B1} / V' and ranges from -0.1 to 0.1. The x-axis is labeled 't / ms' and ranges from 0 to 100. 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:** A settings window titled 'Einstellungen' with a tree view of sensor and measurement settings. Below it is a detailed settings panel for 'Spannung U_{B1}' with options for range, averaging, and triggering.

Annotations with red arrows point to various parts of the interface:

- Top center: 'Messung starten/stoppen (F9)' points to the measurement control icons.
- Top right: 'Anzeigefenster ein bzw. ausschalten' points to the window control icons.
- Left side: A box contains 'F2: Dateien speichern', 'F3: Dateien laden', and 'F4: Daten löschen', with an arrow pointing to the file icons in the toolbar.
- Center: 'Einstellungen (F5)' points to the gear icon in the toolbar.
- Center: 'Anzeigefenster für Messwerte' points to the 'Spannung U_{B1}' window.
- Bottom center: A yellow box contains 'Messungen abspeichern und Dateinamen notieren!' with an arrow pointing to the 'Datei' menu.
- Bottom left: 'Messwerttabelle' points to the data table.
- Bottom center: 'Diagramme, In Diagramm mit Mausklick öffnet Fenster für Anpassungen etc.' points to the graph area.
- Bottom right: 'Einstellungsfenster' points to the settings panel.

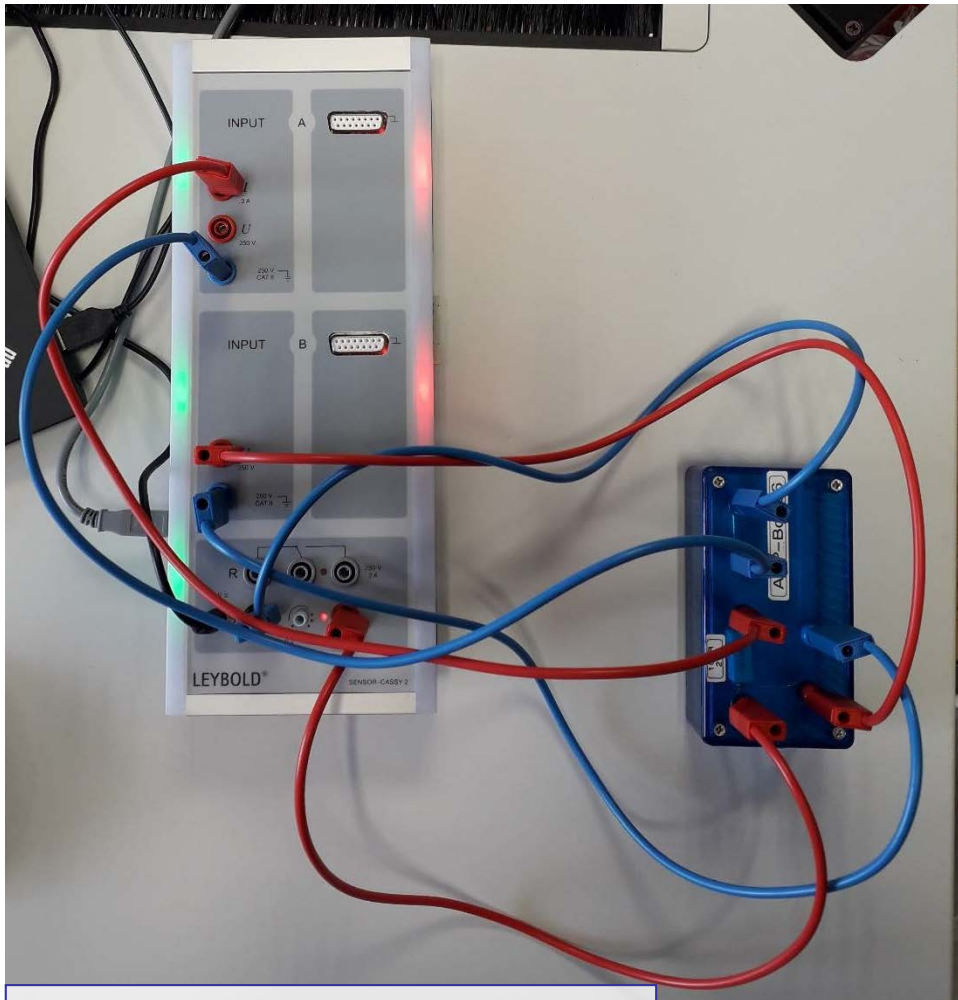
© by U.D. DIDACTIC GmbH, 2010-2018

Messwerttabelle

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

Einstellungsfenster

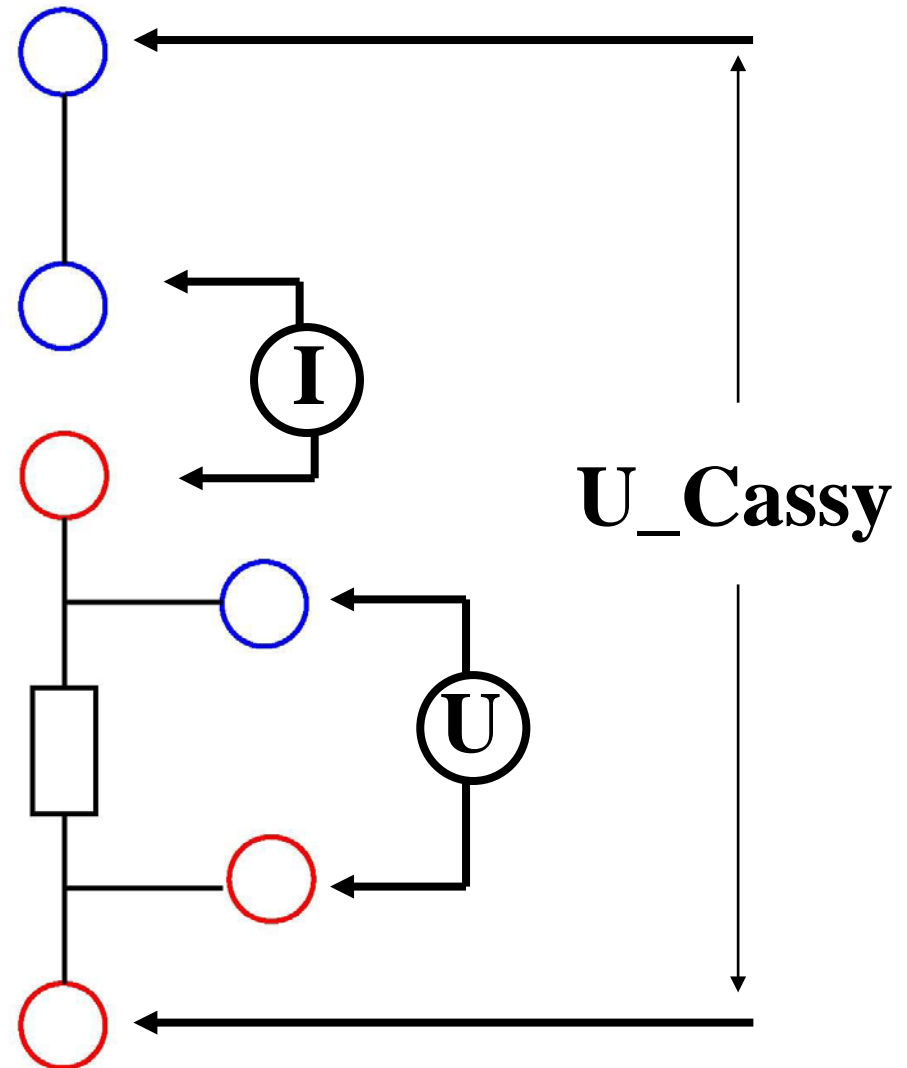
Cassy Lab 2, 2.Übung



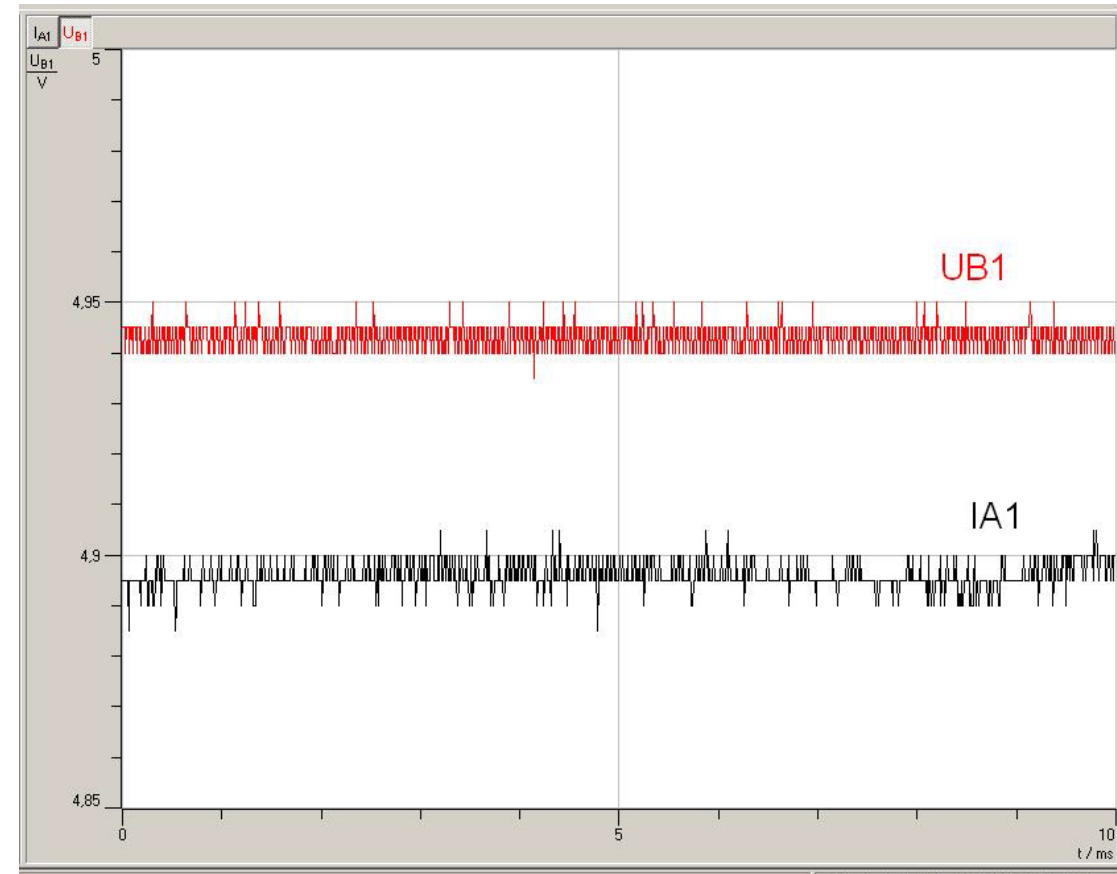
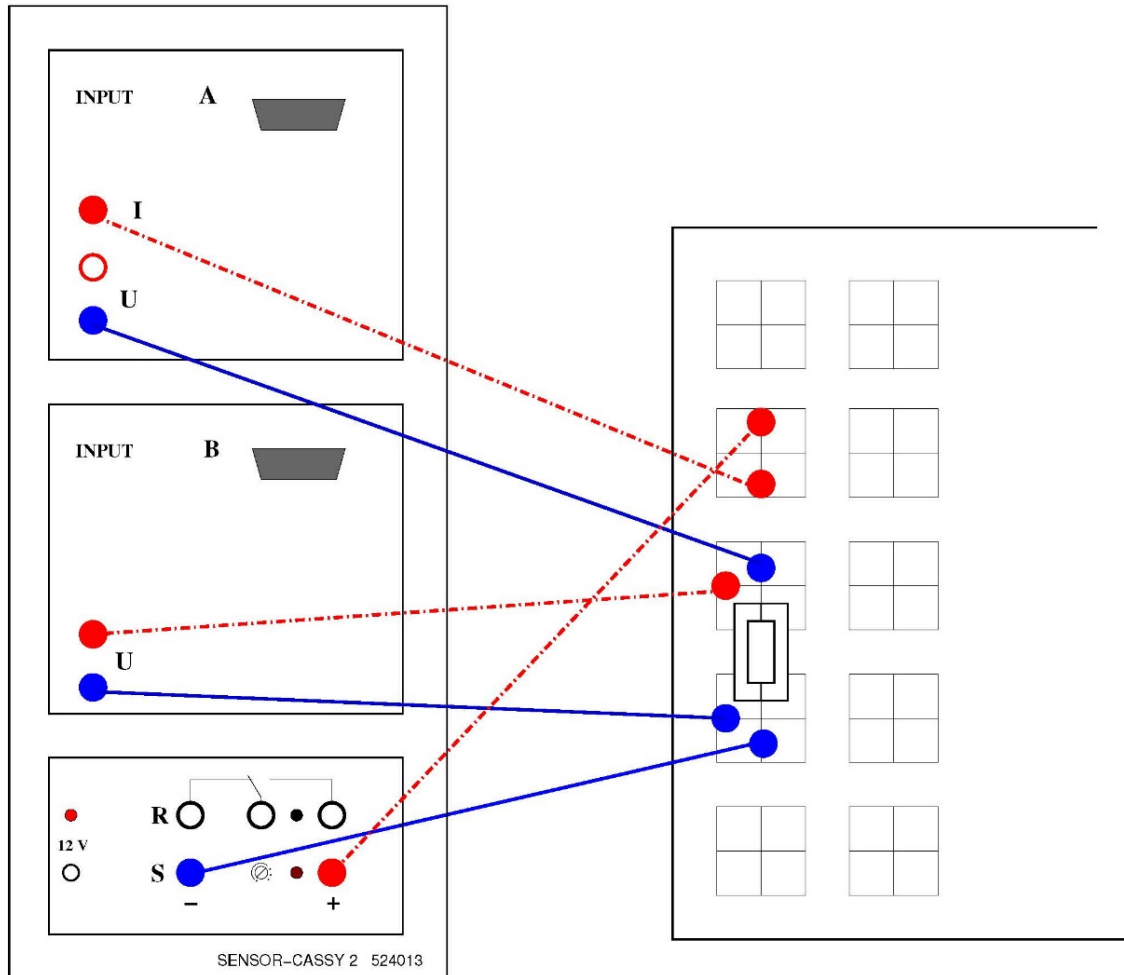
Messbereich:

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

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



Sensor Cassy 2 Interface, Messungengenauigkeiten

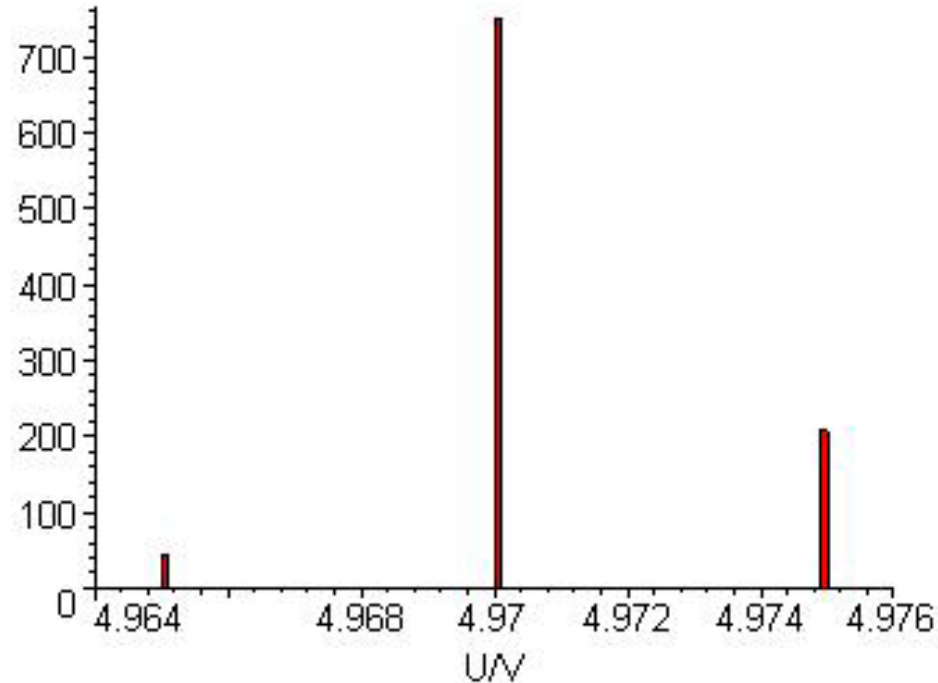


Messaufbau: $R=100\Omega$

Angelegte Spannung: $U=5V$

Im Kreis fließender Strom: $I=0,05A$

Sensor-Cassy 2 Interface, statistische Messungengenauigkeit?



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)

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

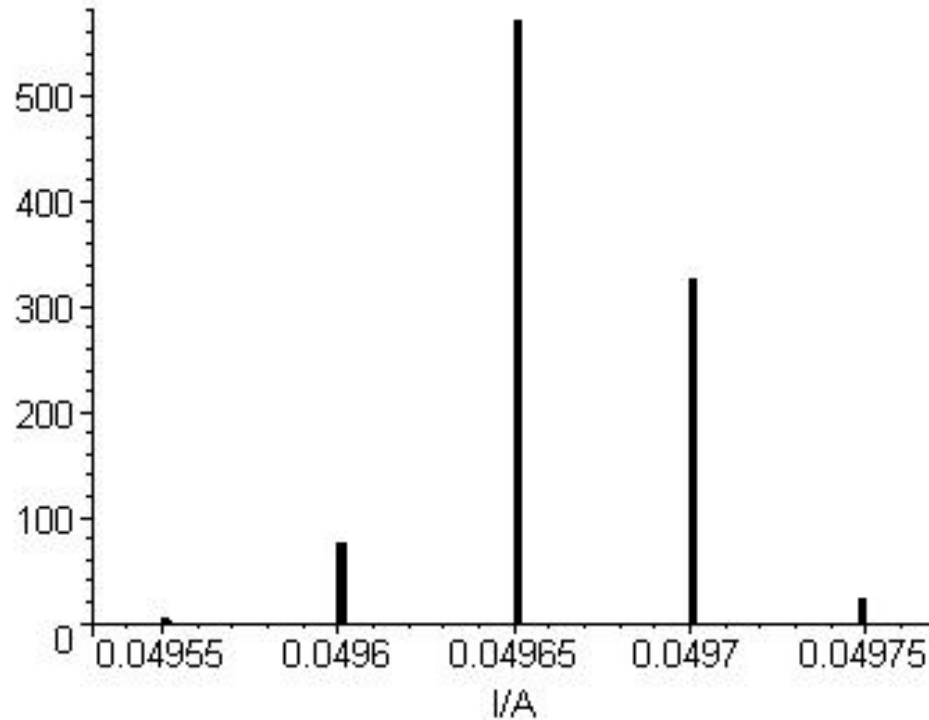
Digitale Auflösung: 12 bit = 4096 ,

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 Messungenauigkeit?



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)

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

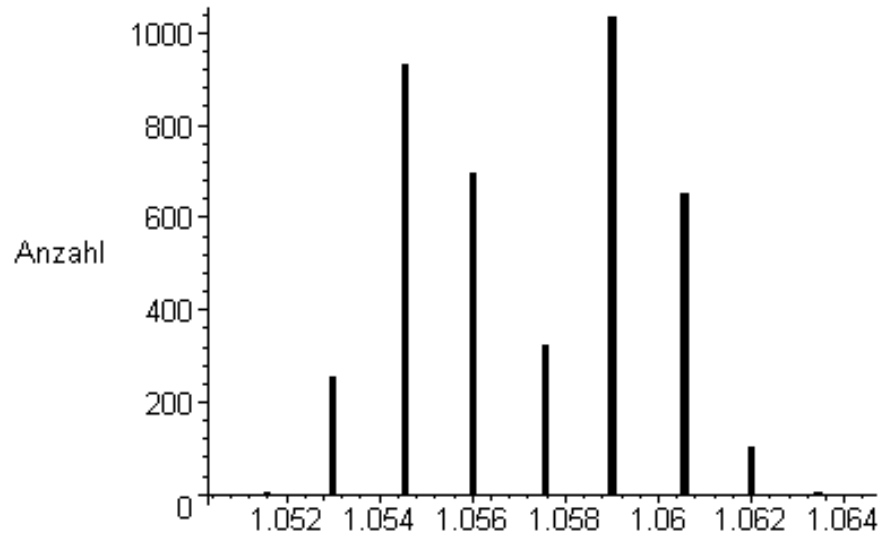
Digitale Auflösung: 12 bit = 4096 ,

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

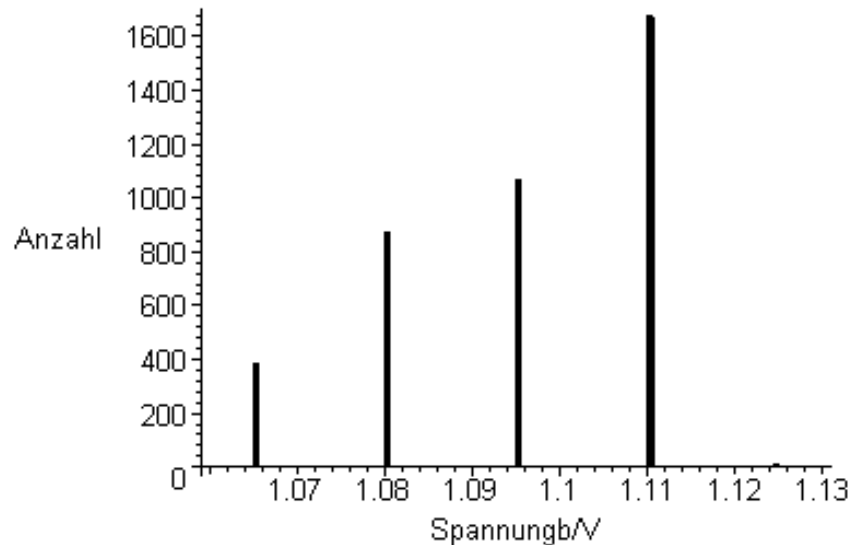
RMS = 2,5 mV

→ 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 $\pm 100V$

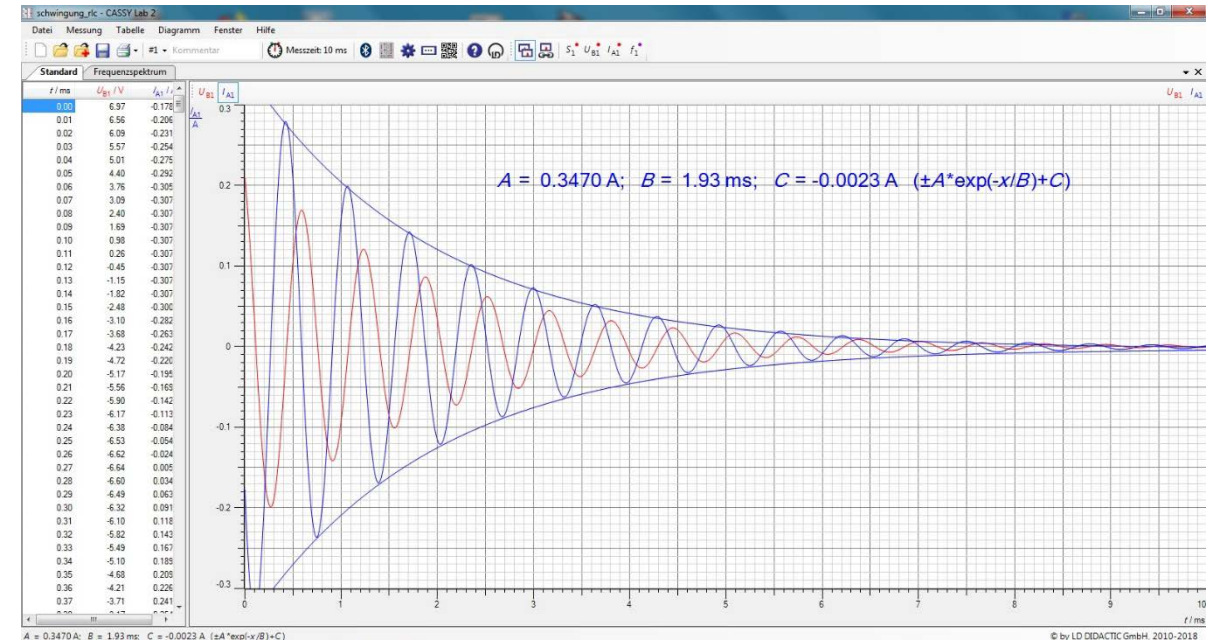
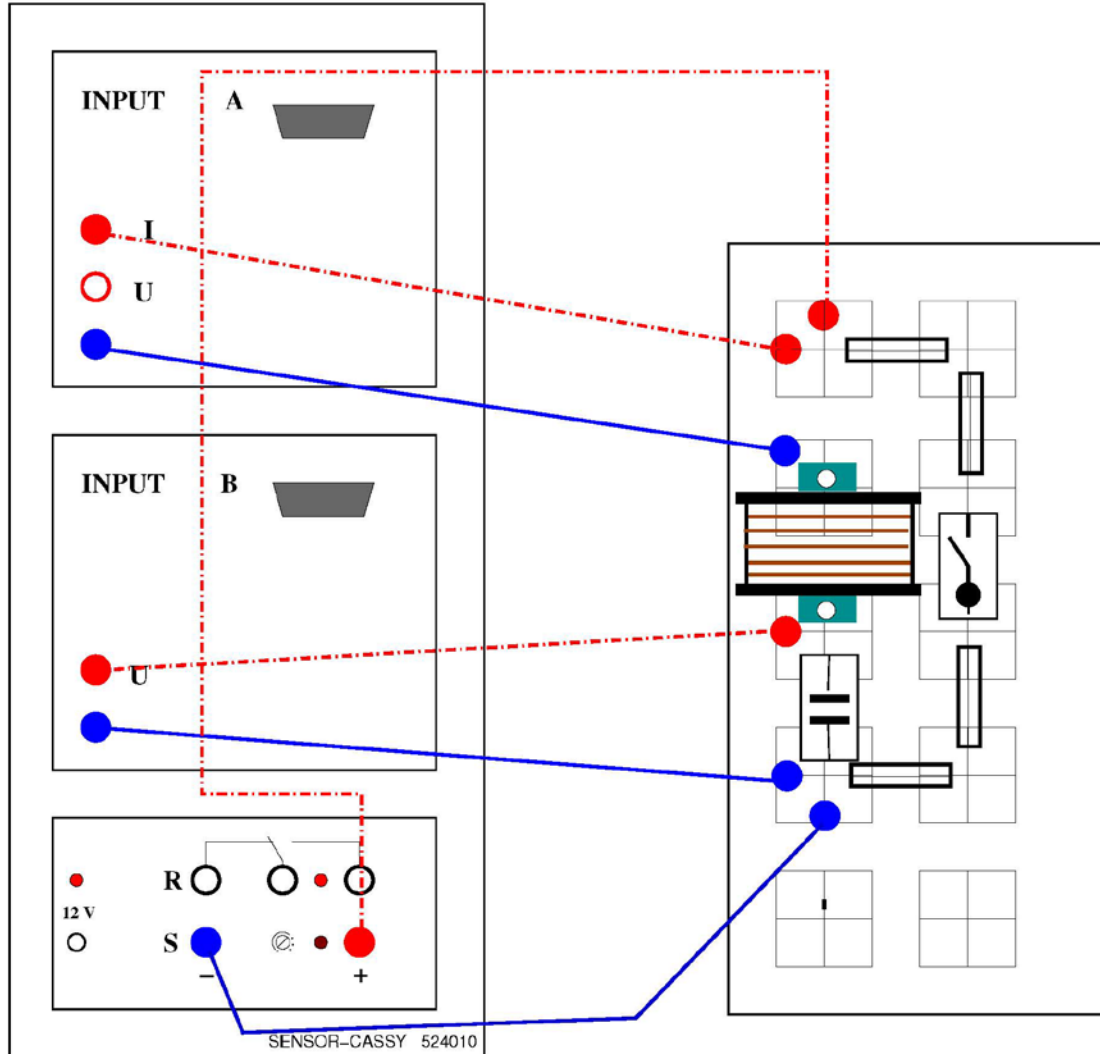
$$U_{sys} : (0,01 \cdot 2 + 0,005 \cdot 100) V = 0,52 V$$

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

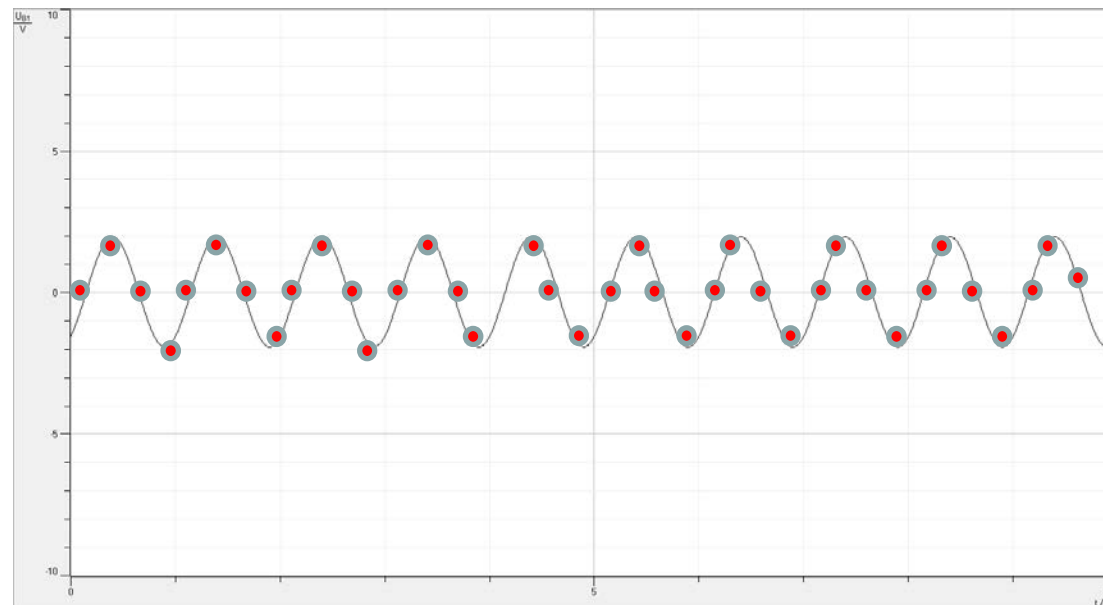


Umwandlung analog \rightarrow digital nicht kontinuierlich, sondern zu diskreten, periodisch angeordneten Zeitpunkten (**Abtastpunkte** bzw. **sampling points**).

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

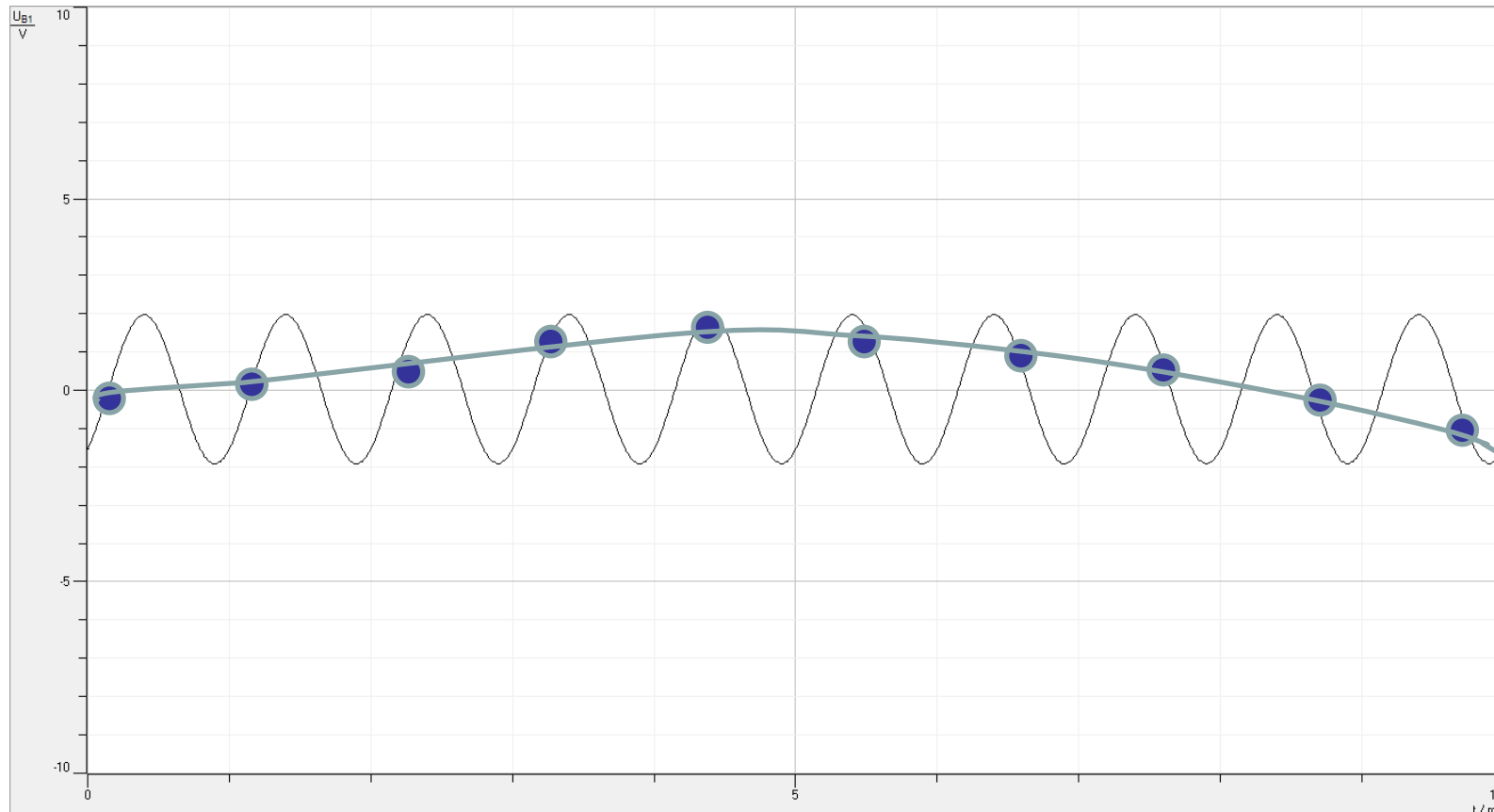
Je höher $f_{\text{Abtastung}}$, desto präziser kann zeitlicher Verlauf eines Eingangssignals dargestellt werden. Die höchstmögliche Abtastfrequenz $f_{\text{Abtastung}}$ bestimmt nach dem Nyquist Shannon Theorem gleichzeitig die maximale Frequenz f_{Signal} eines noch erfassbaren harmonischen Eingangssignals.

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



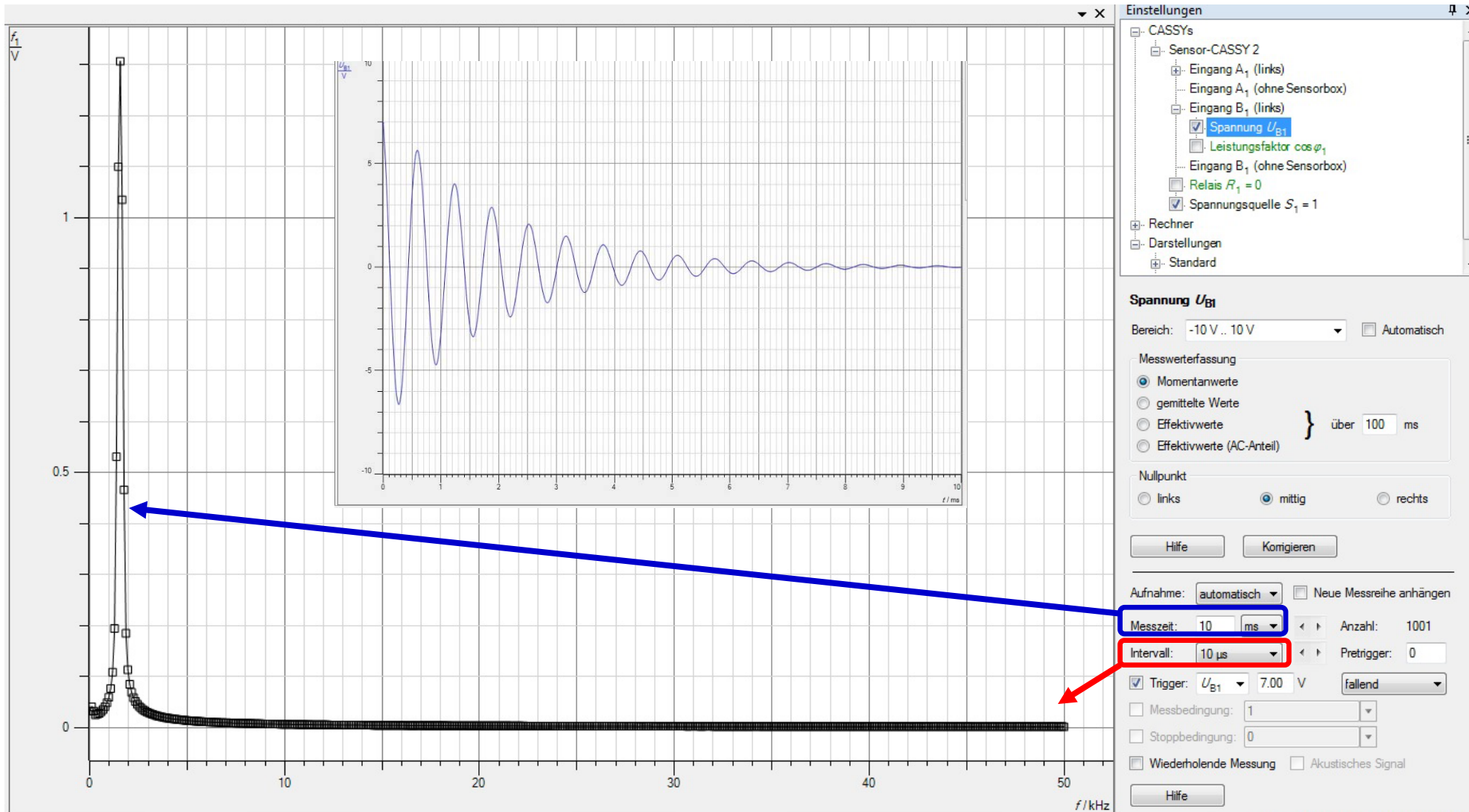
Nyquist Shannon Theorem $f_{\text{Abtastung}} > 2 \cdot f_{\text{Signal}}$

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

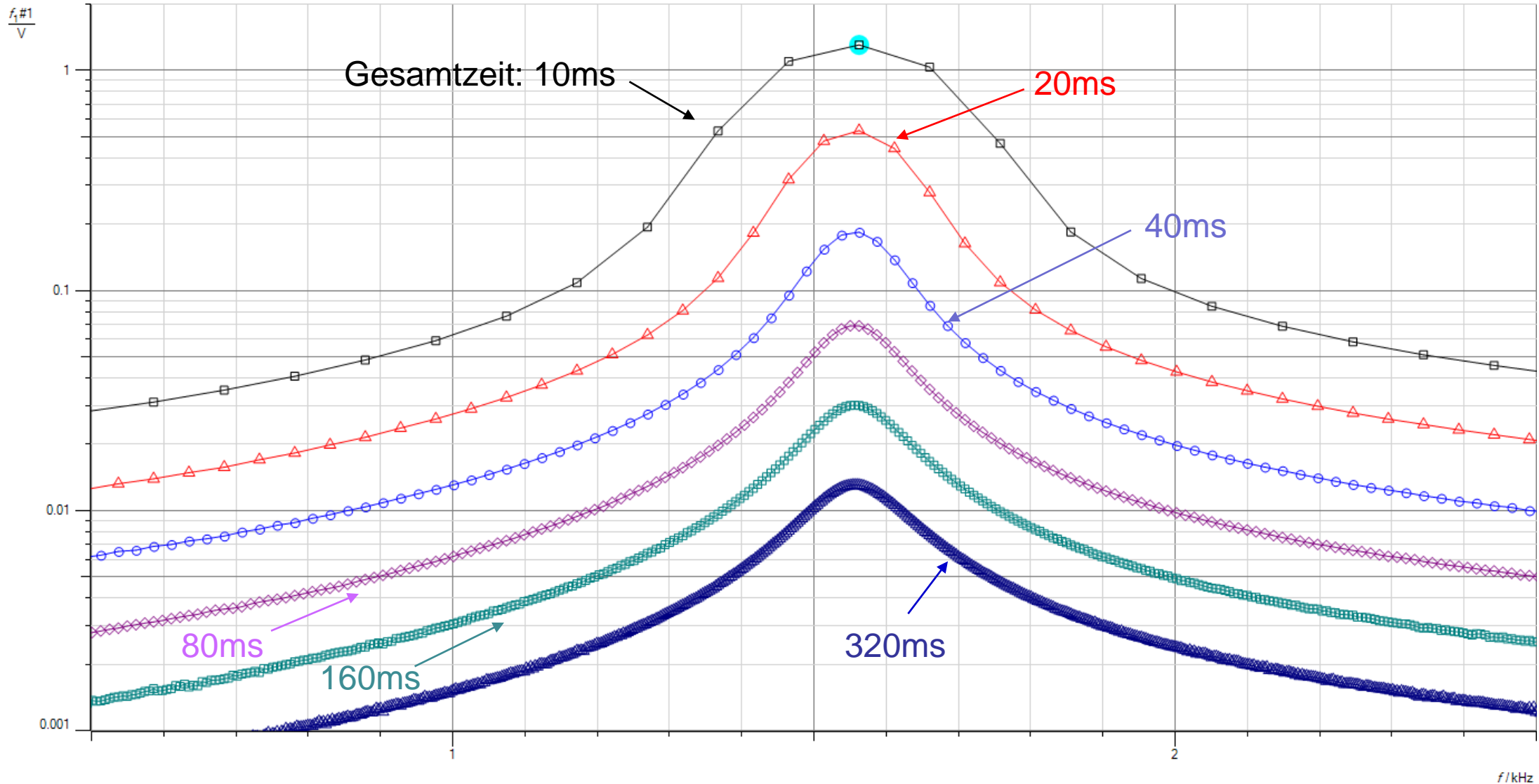


Frequenzbereich und Abtastung CASSY 2 FFT

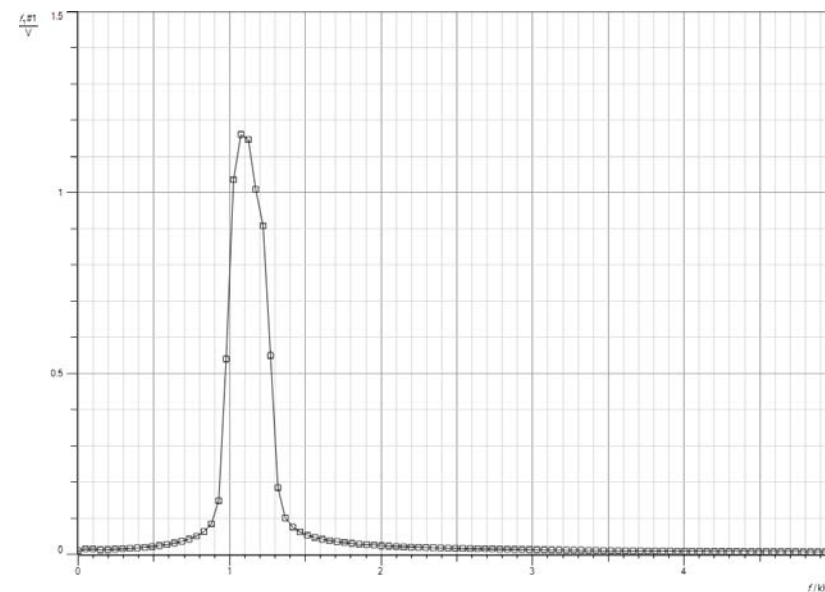
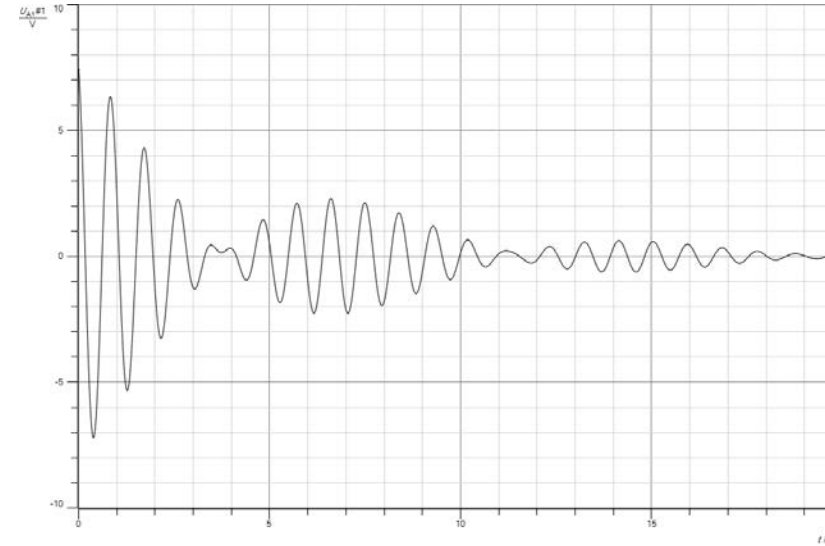
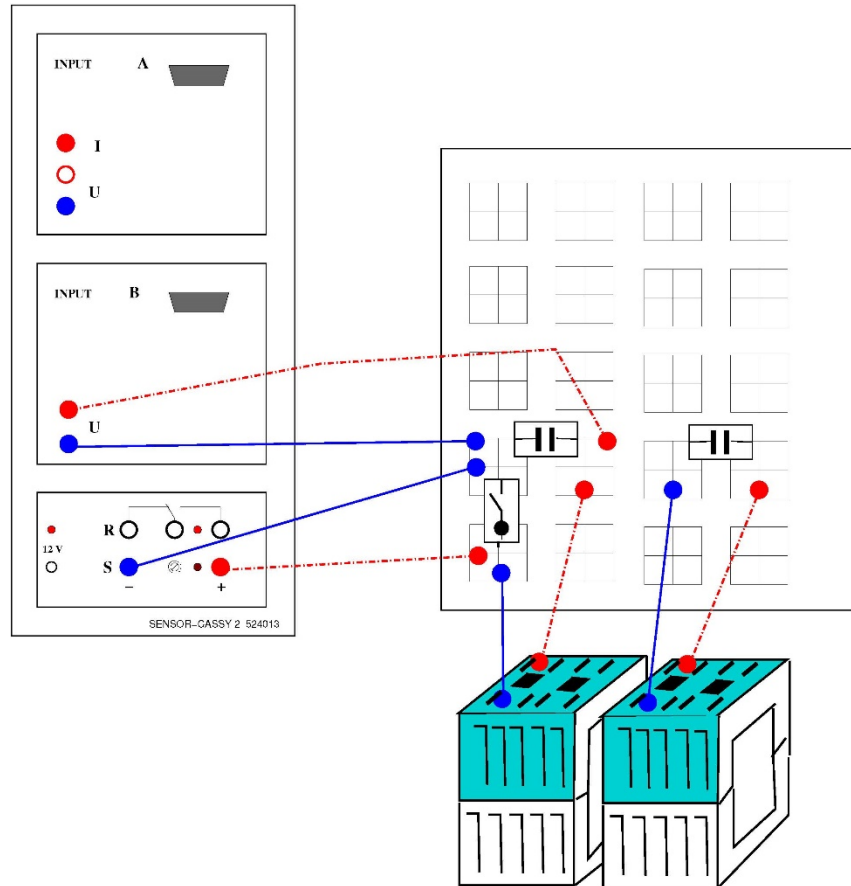
Messzeit Intervall gibt maximale Frequenz /2 vor
Gesamt-Messzeit gibt Abtastung vor



Frequenzbereich und Abtastung, CASSY 2 FFT

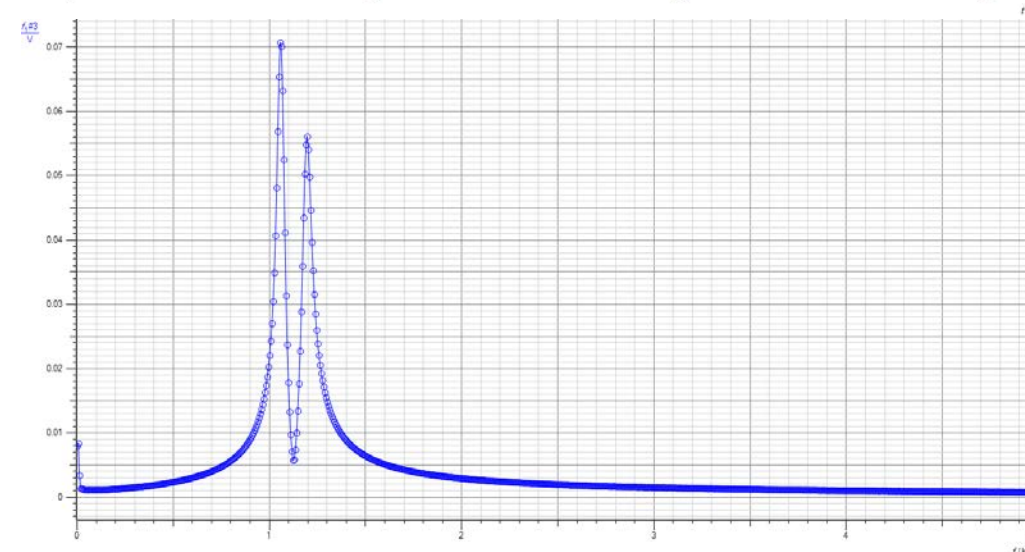
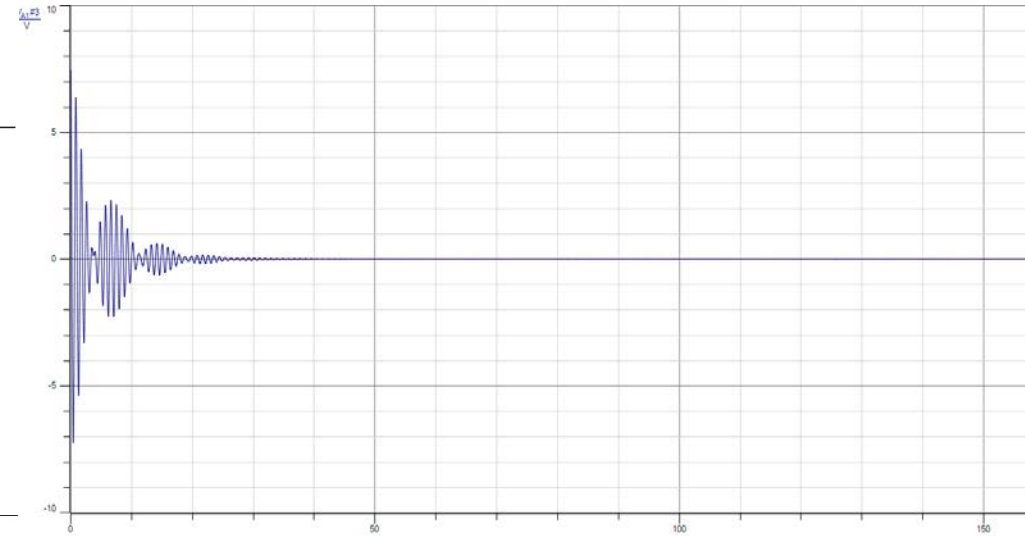
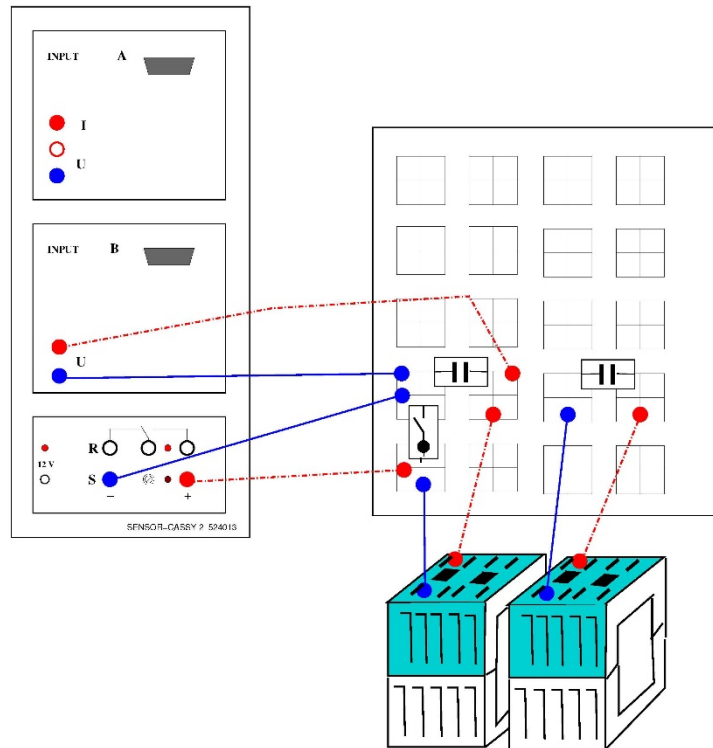


Gekoppelte Schwingungen: Das Ende der CASSY FFT oder bessere Abtastung?



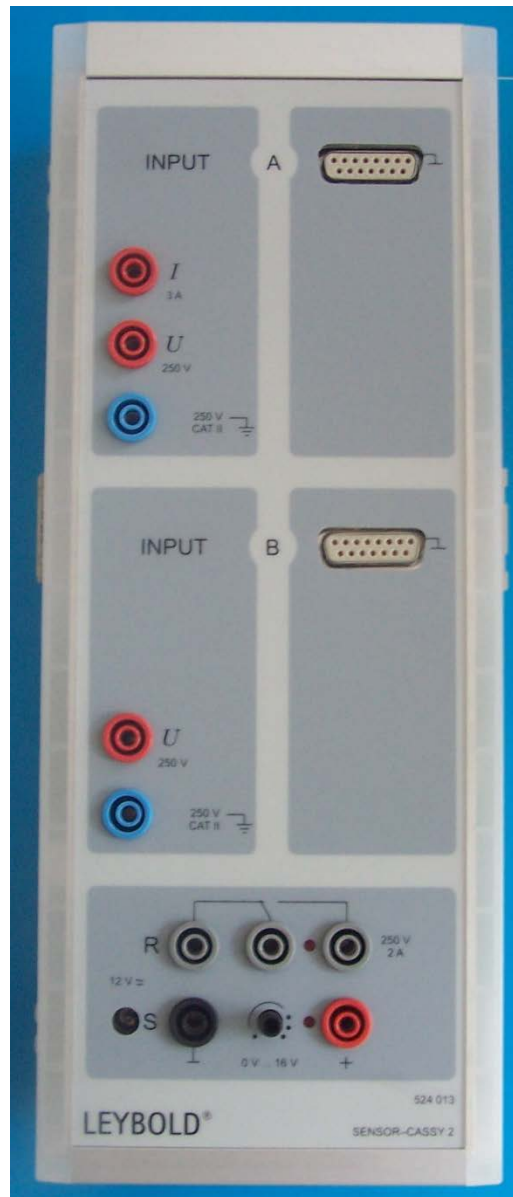
Gesamtmesszeit 20 ms reicht nicht zur Auflösung der beiden Fundamentalschwingungen

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 ✓

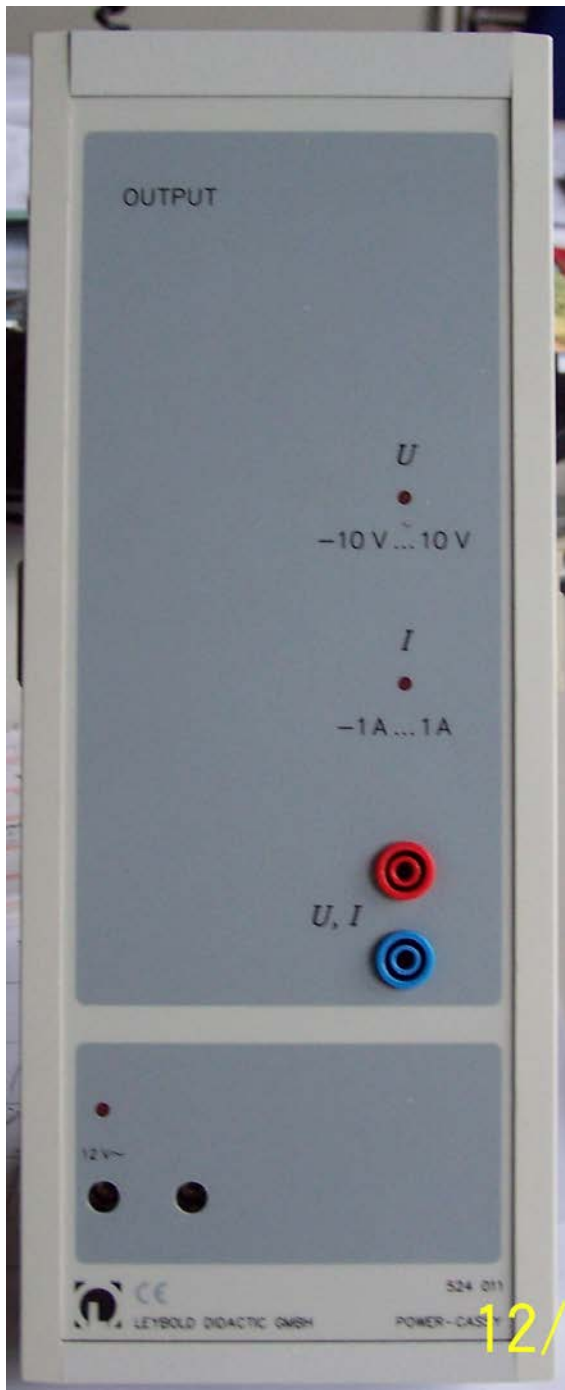
Funktionsgenerator Power Cassy

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

Anschluß an USB-Port oder über Sensor Cassy 2

Spannungsversorgung:

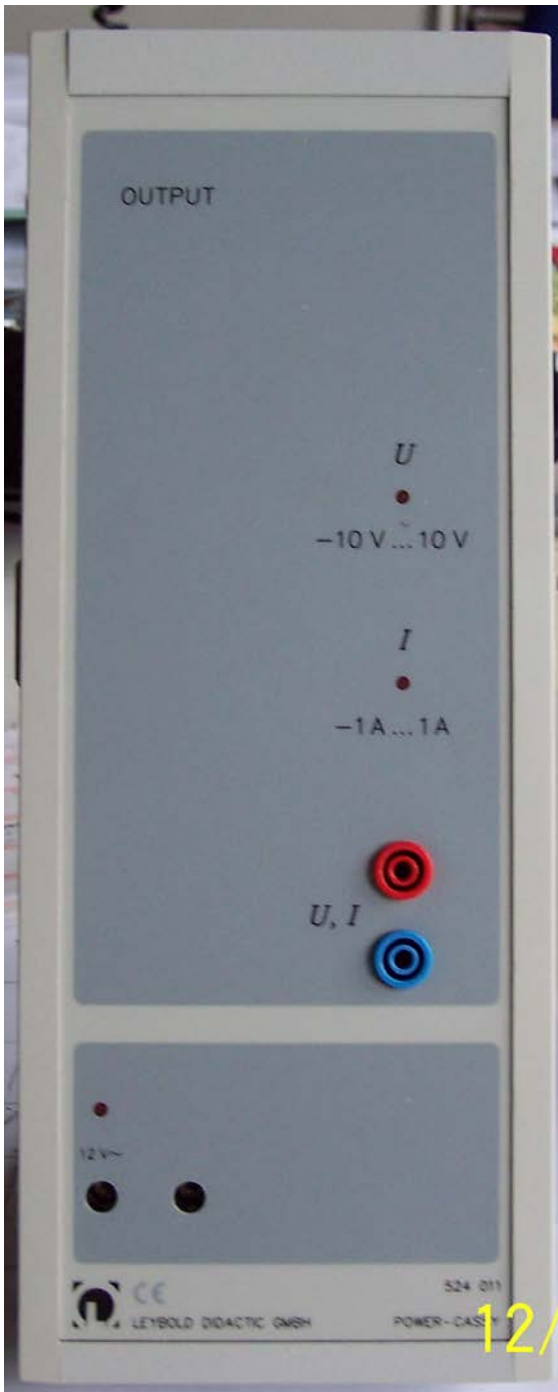
12V AC/DC über Hohlstecker oder benachbartes
Cassy 2 Modul



Funktionsgenerator Power Cassy

Programmierbare Stromquelle mit gleichzeitiger Spannungsmessung:

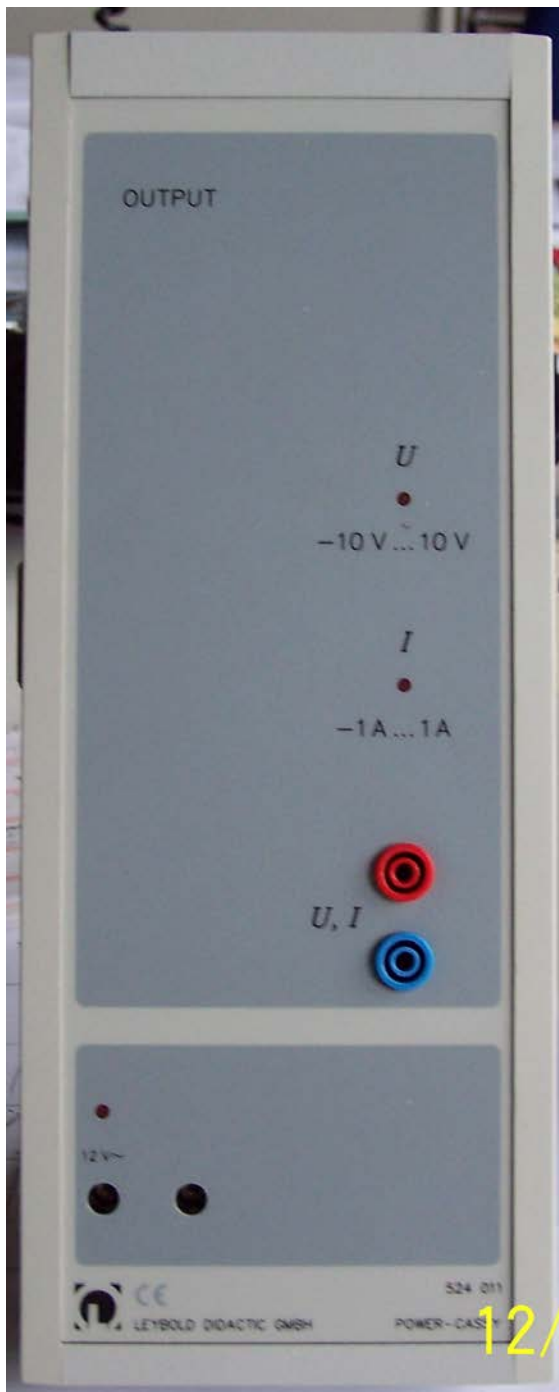
- Auflösung: 12 Bit
- Aussteuerbereich: ± 1 A
- Messbereiche: $\pm 1/3/10$ V
- Abtastrate: max. 200.000 Werte/s
(=100.000 Werte/s Spannung und Strom)



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 shows the Cassy Lab 2 software interface. The main window has a menu bar with 'Datei', 'Messung', 'Fenster', and 'Hilfe'. Below the menu bar is a toolbar with various icons. The status bar at the bottom of the main window displays 'Messzeit nicht vorgegeben'. A central window titled 'CASSYs' shows a vertical bar with two black dots and a label 'LD 524 011'. Below this, it says 'Zum Aktivieren bitte einen Kanal anklicken.' and has buttons for 'Schließen', 'Messparameter anzeigen', 'Beispiel laden', and 'Hilfe'. On the right side, there is a 'Einstellungen' (Settings) window. It shows a tree view with 'CASSYs' expanded to show 'Power-CASSY' and 'Rechner'. Below the tree view, it displays 'Power-CASSY' details: 'Seriennummer des CASSYs: 2019.364.006', 'Aktuelle Version des CASSYs: 1.08.E', and 'Hier verfügbare Version: 1.08'. It also states 'Die beiden Versionen stimmen überein.' and has buttons for '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 voltage measurement of $U_1 = 0.00 \text{ V}$. A 'CASSYs' dialog box is open, showing a schematic of the device with a red arrow pointing to the 'U1' input. The 'Einstellungen' (Settings) window is also open, showing various measurement parameters and options. Red arrows point from the text below to specific elements in the software interface.

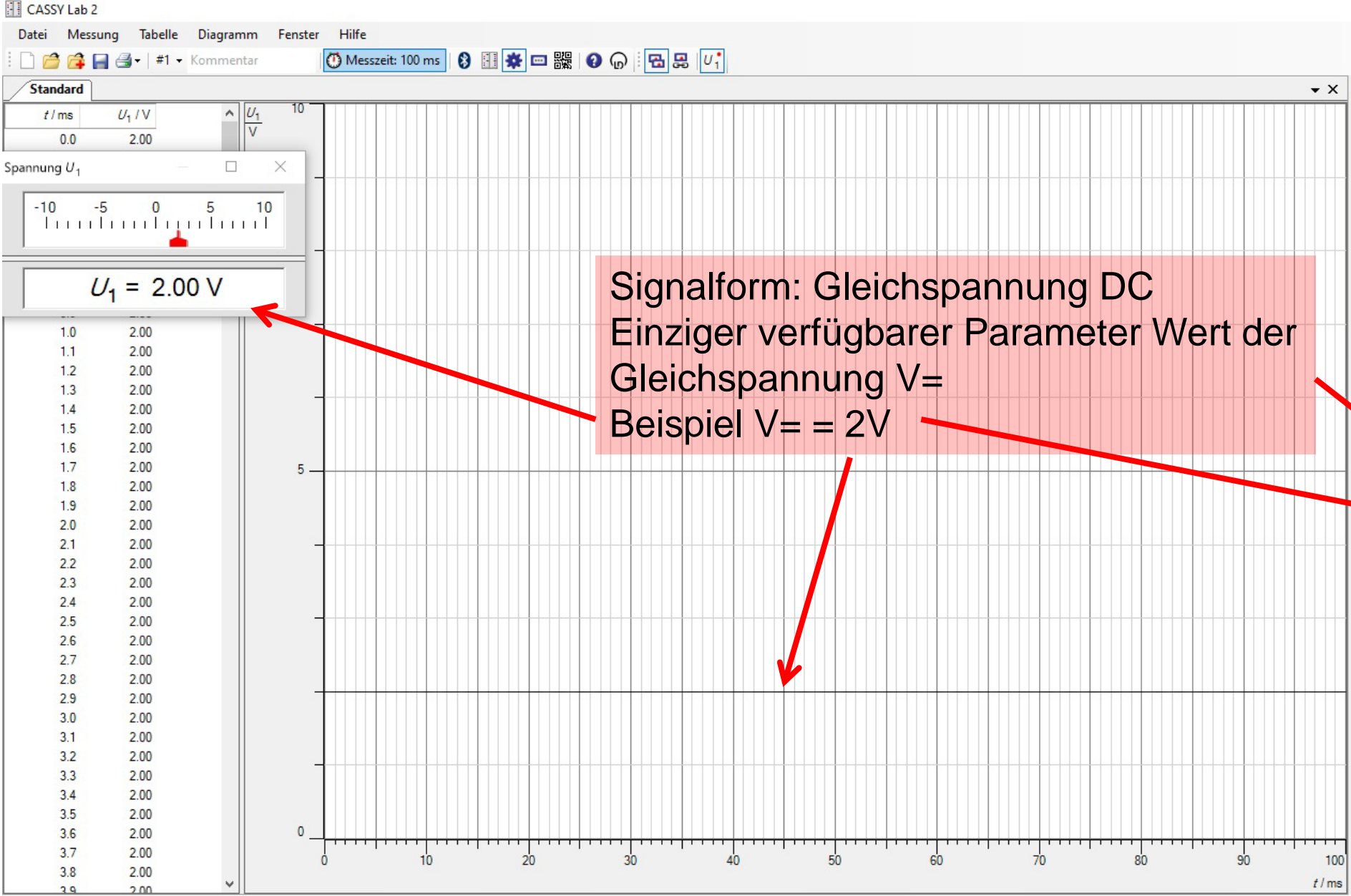
Aktivierung Eingang U1 durch Anklicken und Auswählen von Spannung $U_1(\text{out})$, Messanzeige erscheint für generierte Spannung $U_1(\text{out}) \rightarrow$ Einstellungen Spannung $U_1(\text{out})$ aktiviert, Messparameter für Daten-Aufnahme einstellbar

Cassy Lab 2, Einstellungen Power Cassy

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, there are icons for file operations and system settings. The main window displays a grid with a plot area. In the top-left corner, there is a 'Standard' window showing a voltage scale from -10 to 10 V and a digital display showing $U_1 = 0.00 \text{ V}$. In the center, there is a 'CASSYs' window showing a diagram of the measurement setup with a red and blue terminal labeled U_1 and a component labeled 'LD 524 011'. Below the diagram are buttons for 'Schließen', 'Messparameter anzeigen', 'Beispiel laden', and 'Hilfe'. On the right side, there is an 'Einstellungen' (Settings) window. Under 'CASSYs', 'Power-CASSY' is expanded, and 'Spannung U_1 (Out)' is selected. Below this, the settings for 'Spannung U_1 (Out)' are shown: 'Bereich: -10 V .. 10 V', 'Signalform: DC' (highlighted with a red arrow), 'f(0<x<1) = 0', and 'Messwert: Momentanwerte'. At the bottom right, there are settings for 'Aufnahme: automatisch', 'Messzeit: 100 ms', 'Intervall: 100 μs ', and 'Anzahl: 1001'.

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

Cassy Lab 2, Einstellungen Power Cassy



Einstellungen

- CASSYs
 - Power-CASSY
 - Spannung U₁ (Out)
 - Stromstärke I₁ (Out)
 - Spannung U₁
 - Stromstärke I₁
 - Phasenverschiebung φ₁
 - Rechner
 - Darstellungen
 - Standard

Spannung U₁ (Out)

Bereich: -10 V.. 10 V

Nur während einer Messung aktiv (single shot)

Signalform: DC f(0 ≤ x < 1) = 0

Parameter

50 Hz 0 Vp

50 % 2 V=

Messwert erfassung

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: 0 58

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: Wechselfspannung Sinus
4 verfügbare Parameter:
1. Frequenz f der Wechselfspannung
2. Amplitude der Wechselfspannung 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

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

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

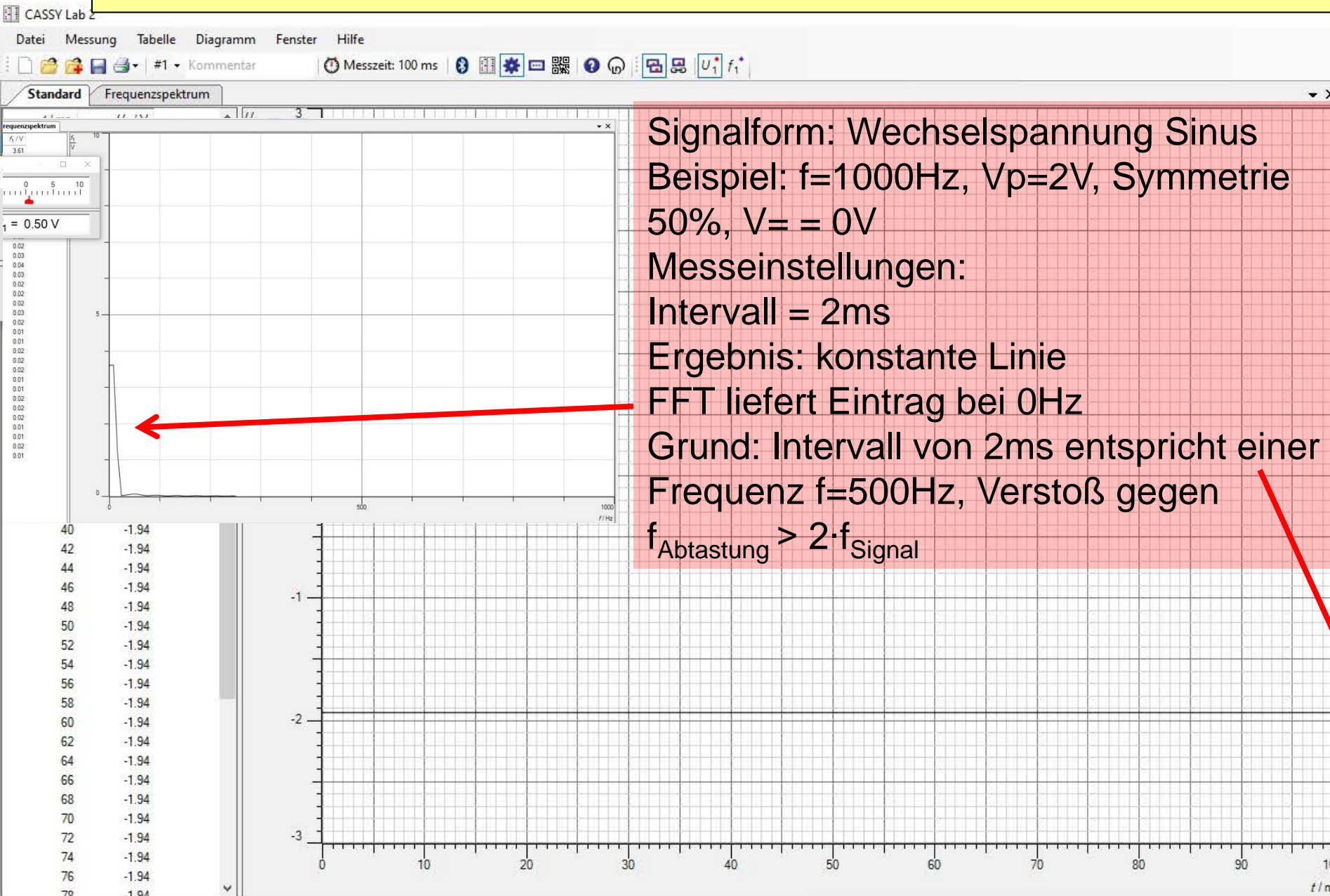
Trigger: \square

Messbedingung: 1

59

© by LD DIDACTIC GmbH, 2010-2018

Cassy Lab 2, Einstellungen Power Cassy, Abtastung Signal



Signalform: Wechselfspannung Sinus
Beispiel: $f=1000\text{Hz}$, $V_p=2\text{V}$, Symmetrie 50%, $V_- = 0\text{V}$
Messeinstellungen:
Intervall = 2ms
Ergebnis: konstante Linie
FFT liefert Eintrag bei 0Hz
Grund: Intervall von 2ms entspricht einer Frequenz $f=500\text{Hz}$, 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
 - Phasenverschiebung φ_1
 - Rechner
 - Parameter
 - Formel
 - Zeitliche Ableitung

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 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

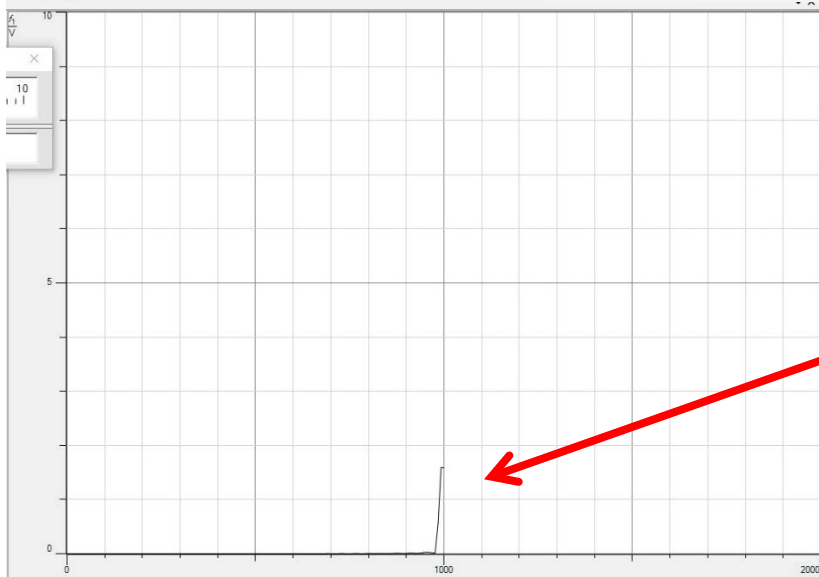
Trigger:

Messbedingung: 1

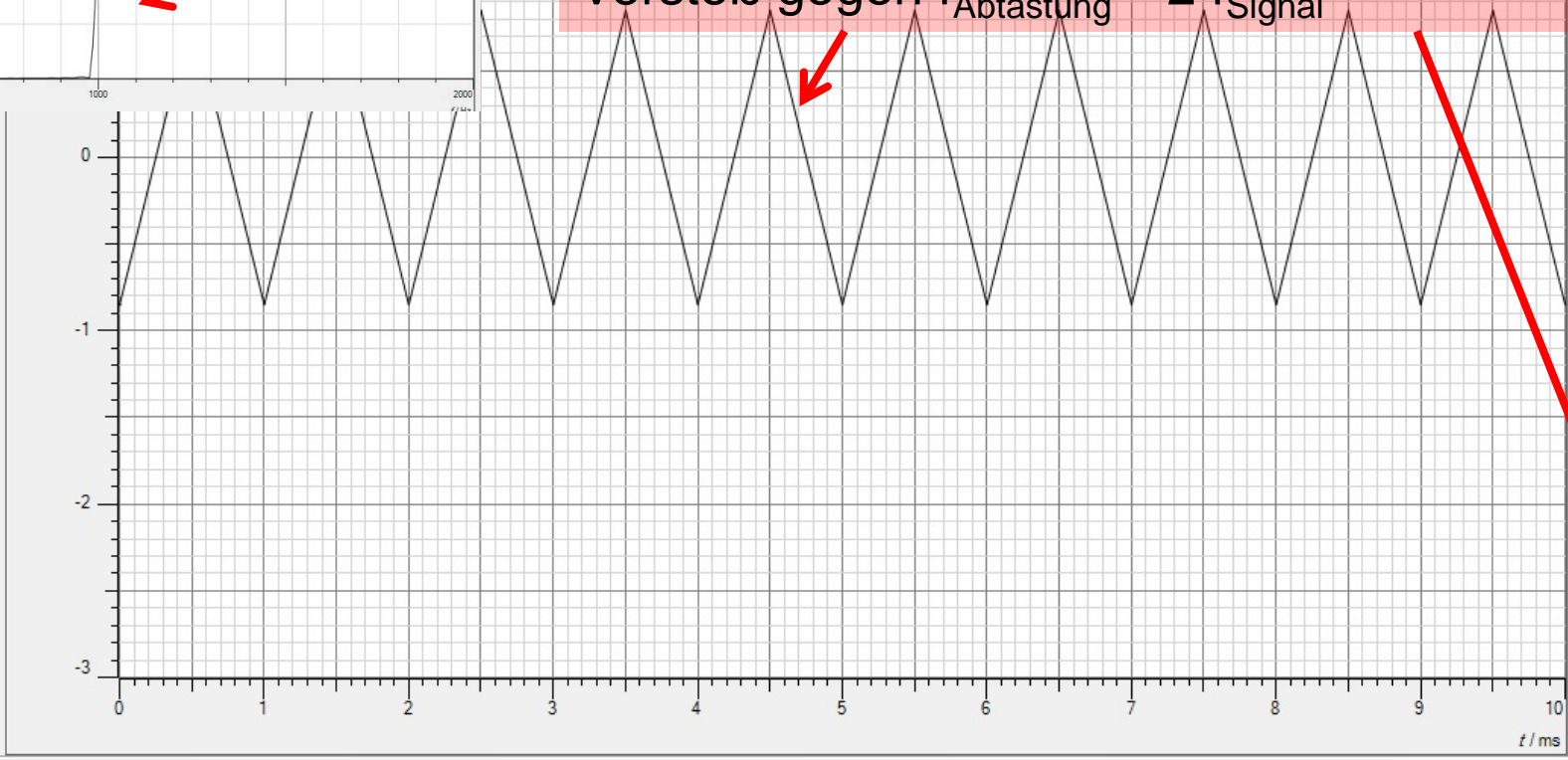
60

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: Wechselfspannung 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

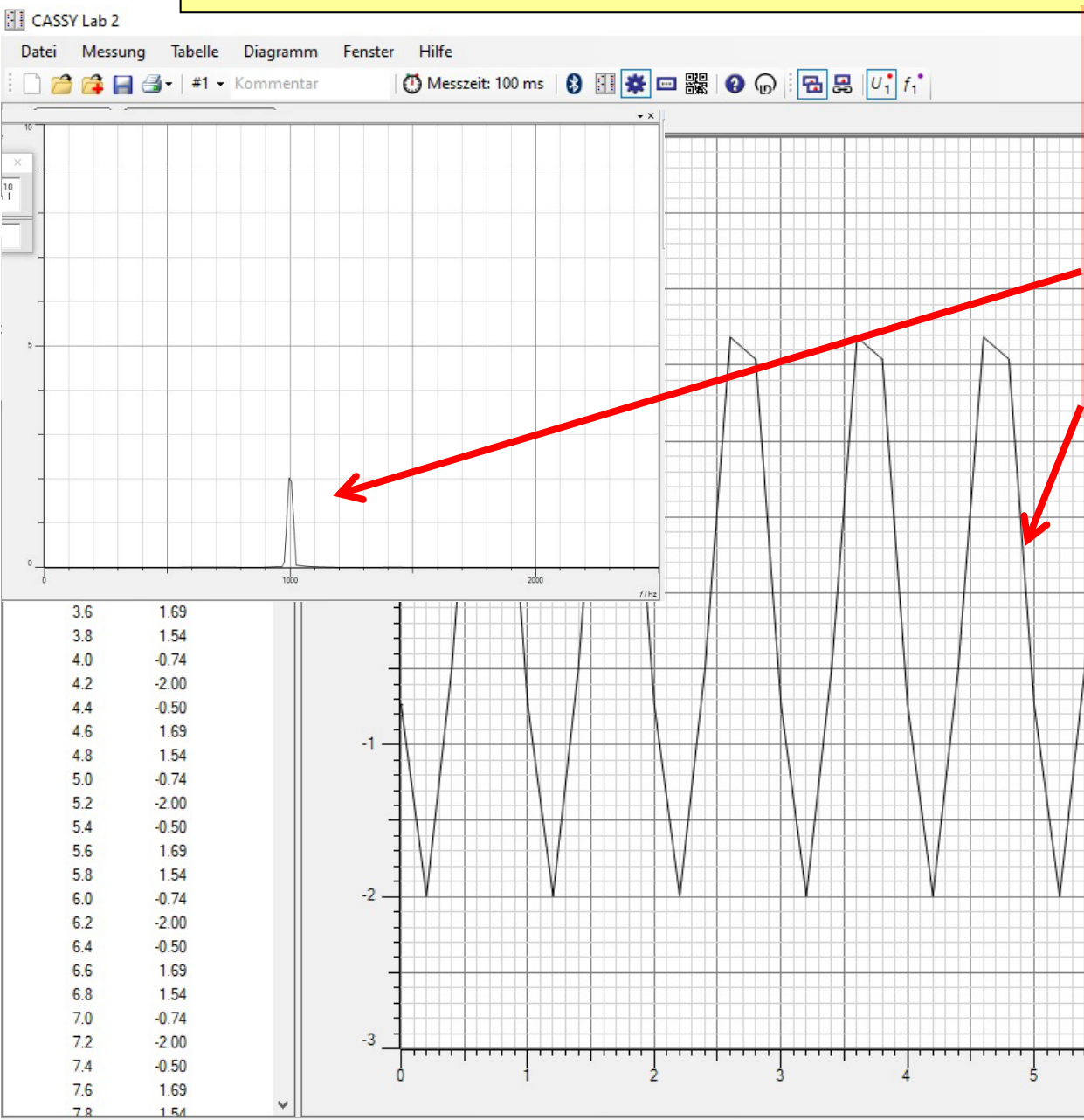
Intervall: 500 µs Pretrigger: 0

Trigger:

Messbedingung: 1

61

Cassy Lab 2, Einstellungen Power Cassy, Abtastung Signal

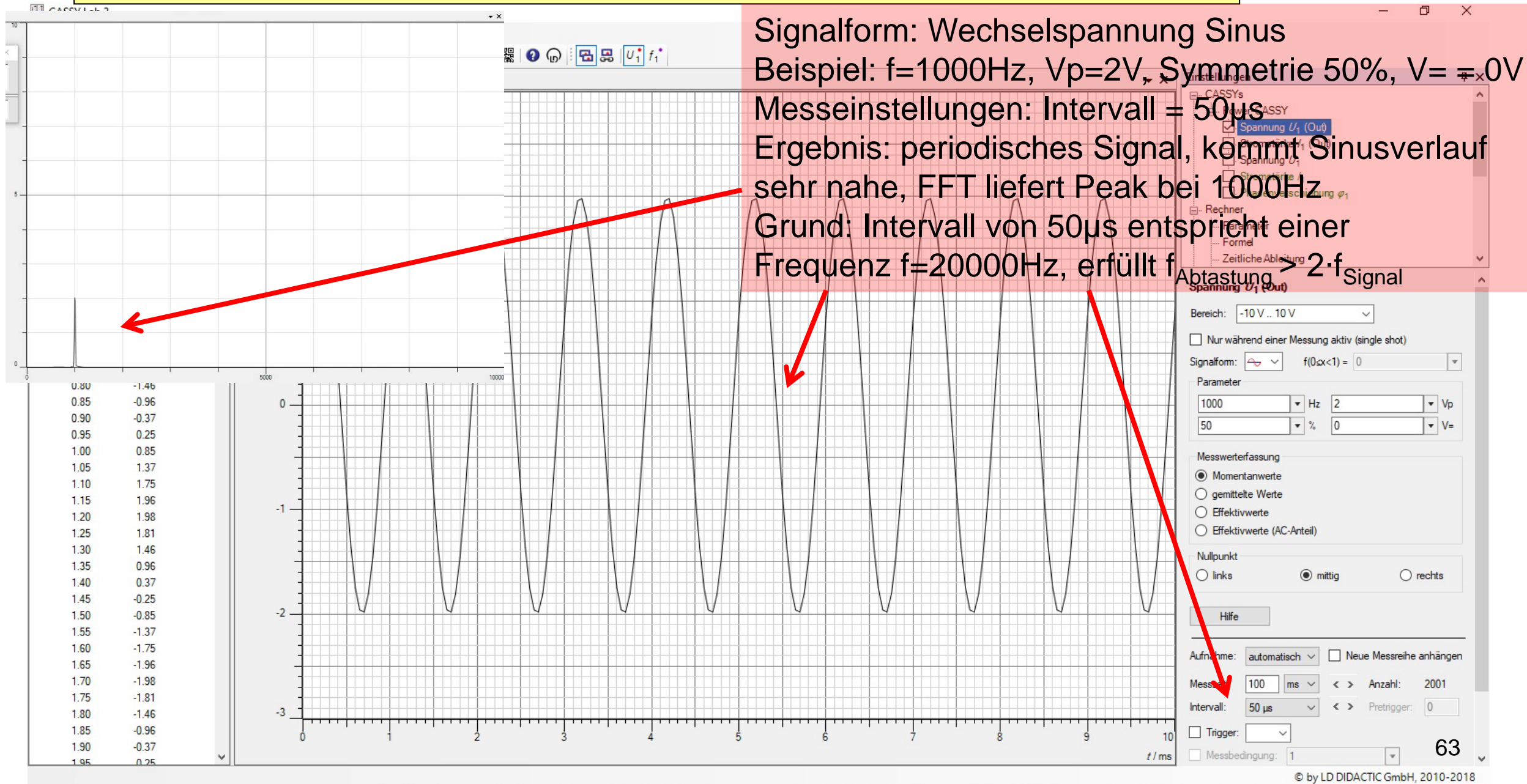


Signalform: Wechselspannung Sinus
Beispiel: $f=1000\text{Hz}$, $V_p=2\text{V}$, Symmetrie 50%, $V_{\text{eff}} = 0\text{V}$
Messeinstellungen: Intervall = $200\mu\text{s}$
Ergebnis: periodisches Signal, aber noch kein Sinus
FFT liefert Peaks bei 1000Hz
Grund: Intervall von $200\mu\text{s}$ entspricht einer Frequenz $f=5000\text{Hz}$, erfüllt $f_{\text{Abtastung}} > 2 \cdot f_{\text{Signal}}$

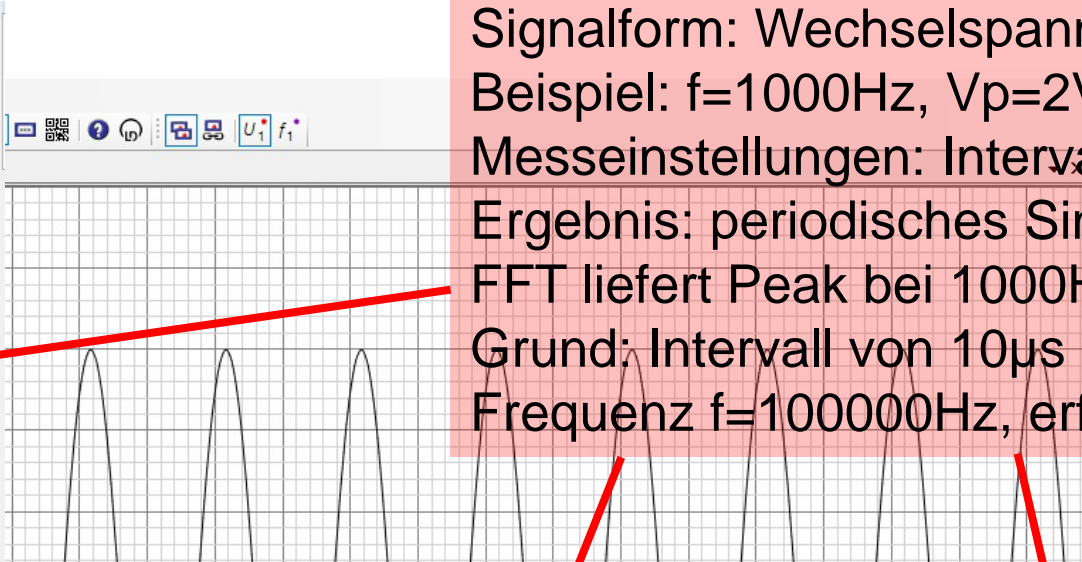
Spannung U_1 (Out)
Bereich: -10 V .. 10 V
 Nur während einer Messung aktiv (single shot)
Signalform: $f(0 \leq x < 1) = 0$
Parameter
1000 Hz 2 Vp
50 % 0 V=
Messwertaufzeichnung
 Momentanwerte
 gemittelte Werte
 Effektivwerte
 Effektivwerte (AC-Anteil)
Nullpunkt
 links mittig rechts
Aufnahme: automatisch Neue Messreihe anhängen
Messzeit: 100 ms Anzahl: 501
Intervall: 200 μs Pretrigger: 0
 Trigger:
 Messbedingung: 1

Cassy Lab 2, Einstellungen Power Cassy, Abtastung Signal

Signalform: Wechselfspannung 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 $f_{\text{Abtastung}} > 2 \cdot f_{\text{Signal}}$

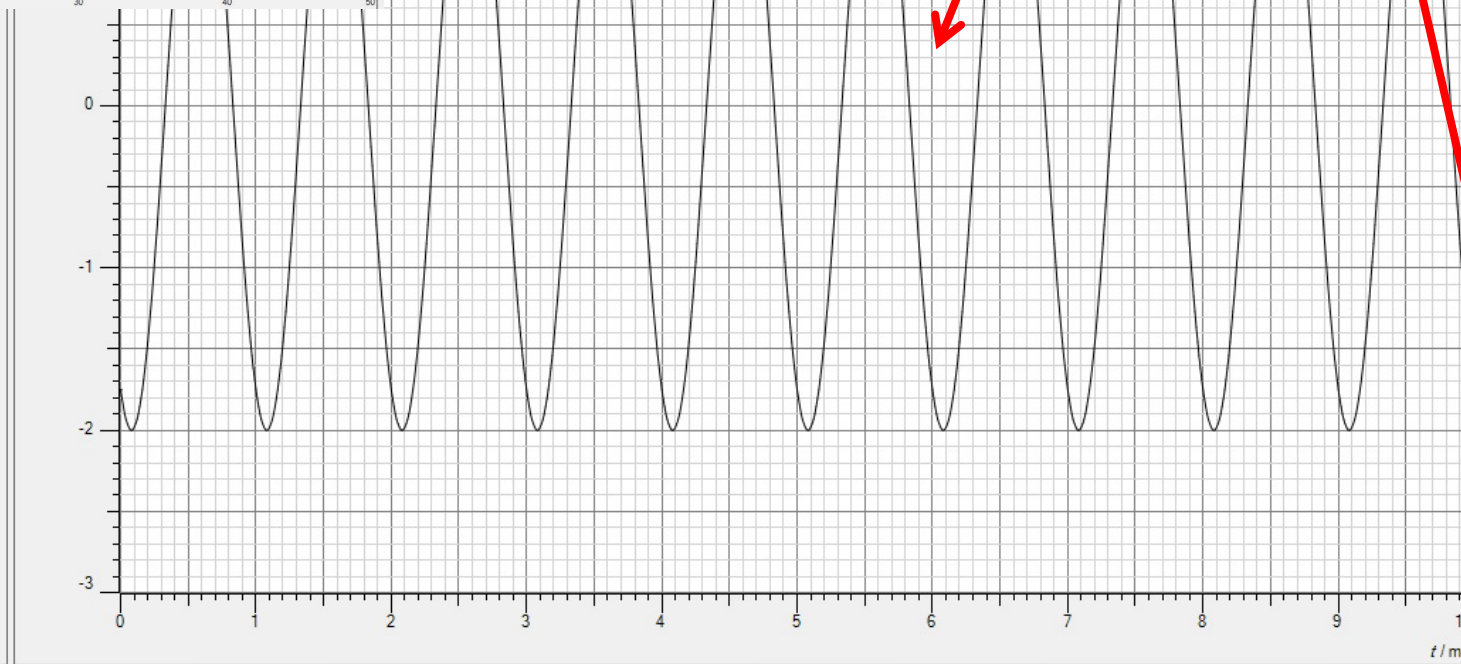


Cassy Lab 2, Einstellungen Power Cassy, Abtastung Signal



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

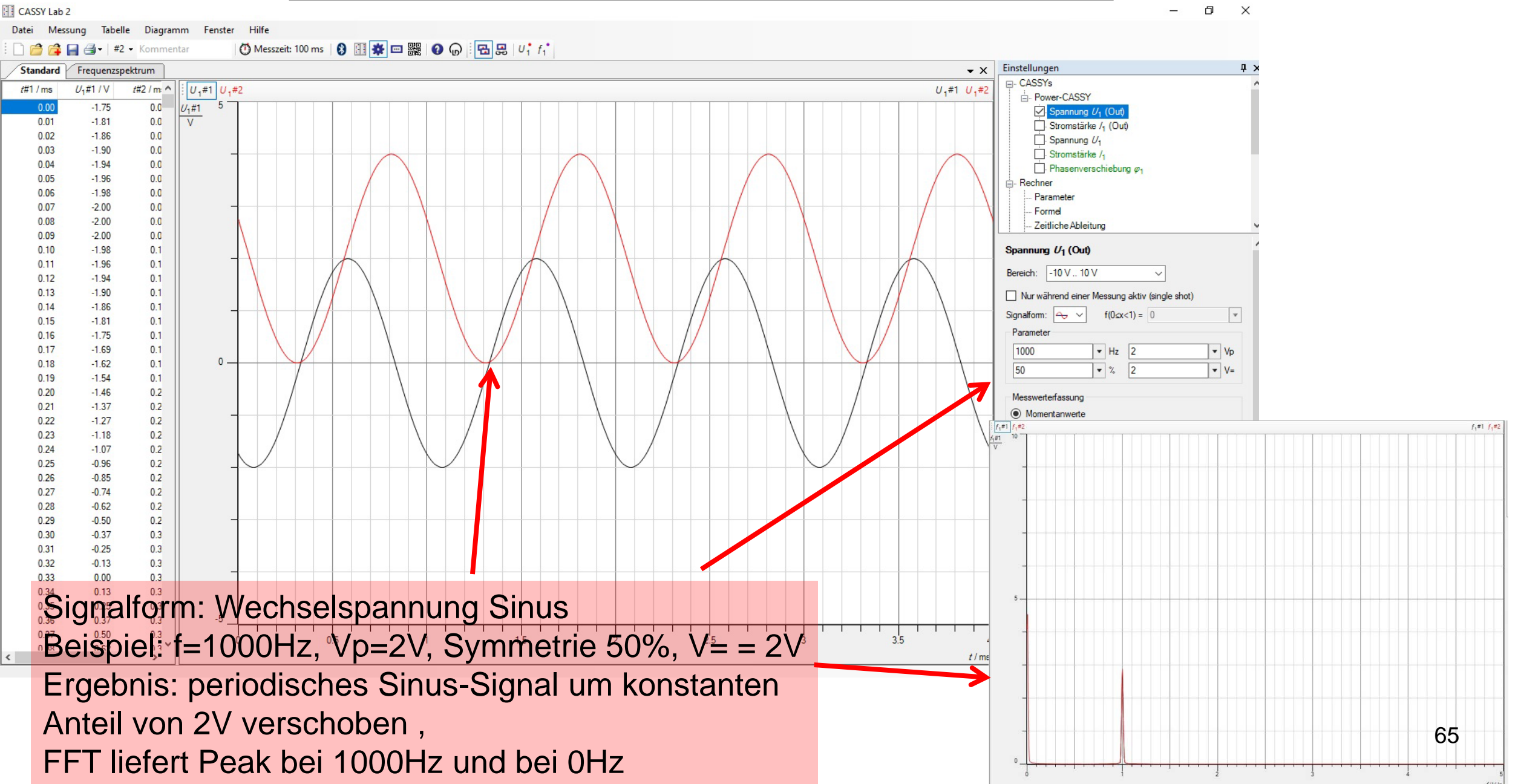
Messzeit: 100 ms < > Anzahl: 10001

Intervall: 10 μs < > Pretrigger: 0

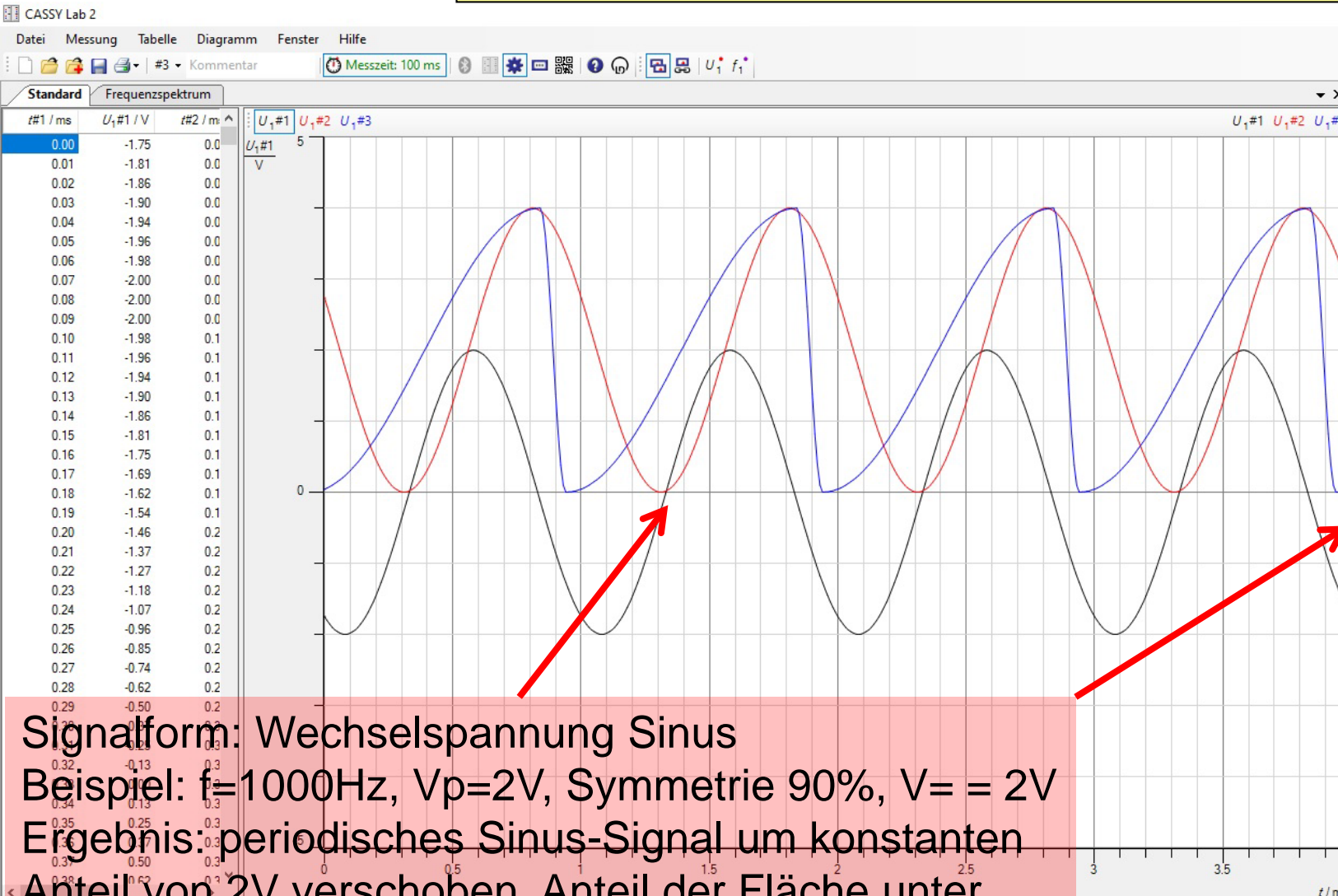
Trigger:

Messbedingung: 1

Cassy Lab 2, Einstellungen Power Cassy



Cassy Lab 2, Einstellungen Power Cassy



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

Nur während einer Messung aktiv (single shot)

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

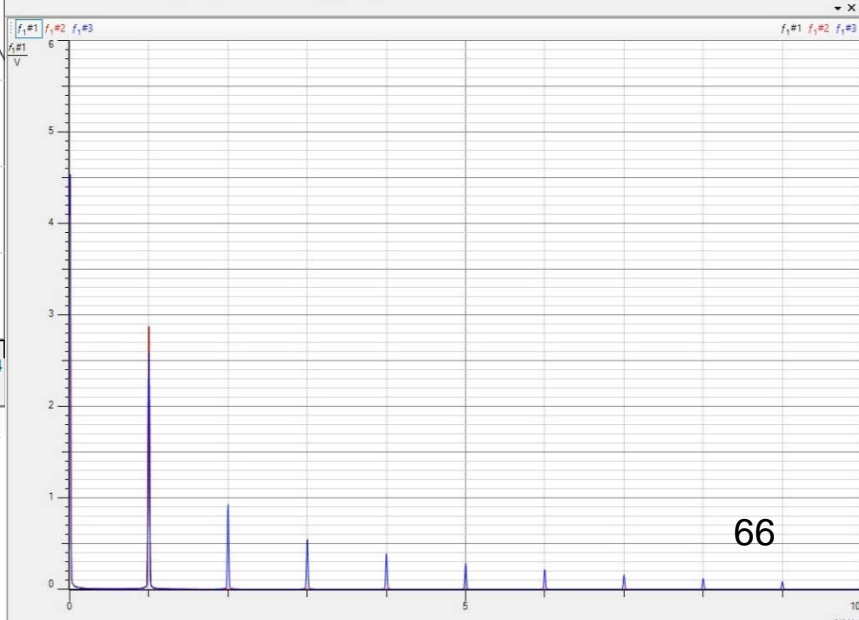
Parameter

1000 Hz 2 Vp

90 % 2 V=

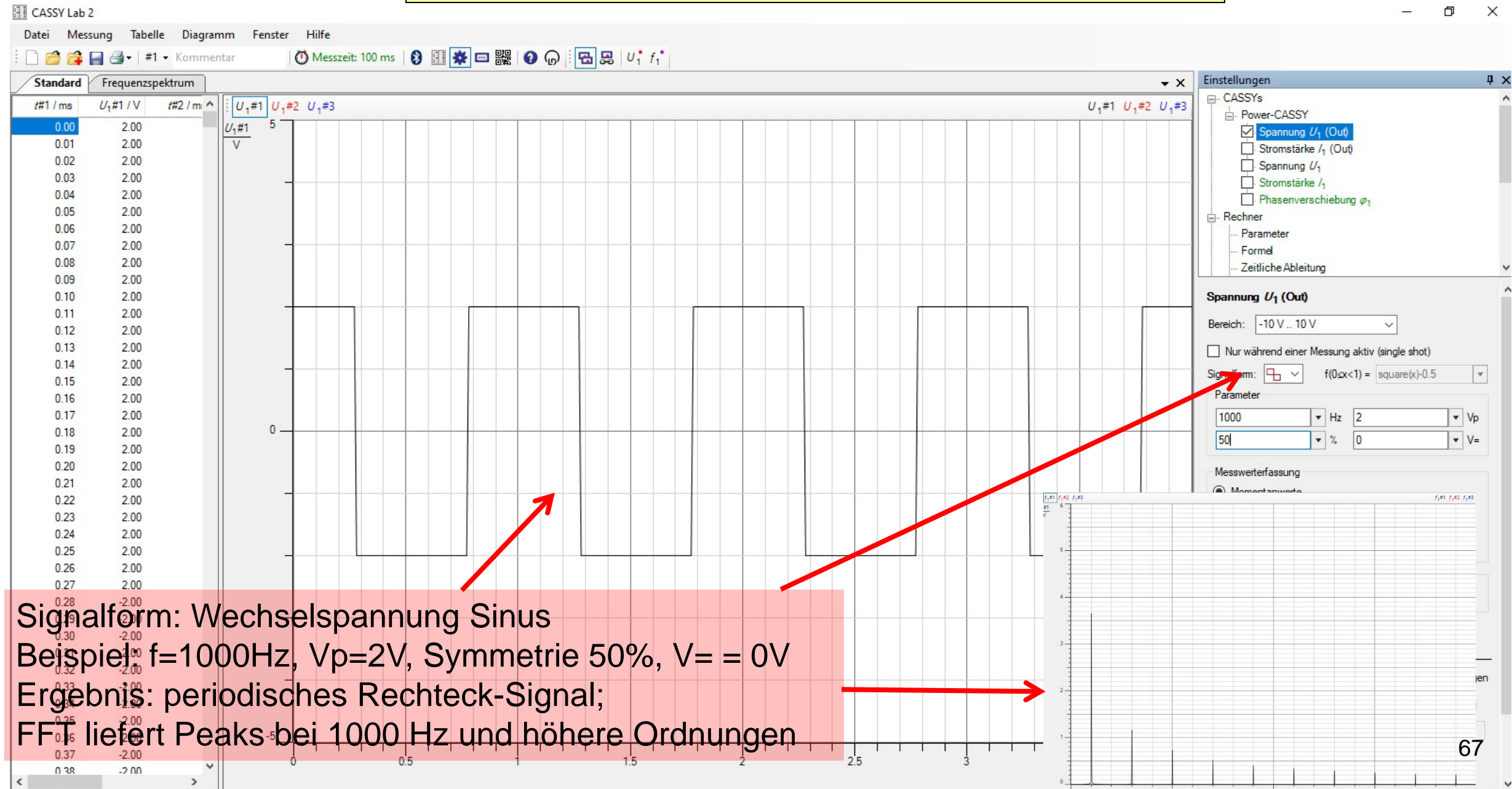
Messwertaufbereitung

Momentanwerte



Signalform: Wechselfeld Sinus
Beispiel: $f=1000\text{Hz}$, $V_p=2\text{V}$, Symmetrie 90%, $V_-=2\text{V}$
Ergebnis: periodisches Sinus-Signal um konstanten
Anteil von 2V verschoben, Anteil der Fläche unter
steigender Kurve deutlich größer als unter fallender
Kurve; FFT liefert Peak bei 0Hz, 1000 Hz und höhere
Ordnungen

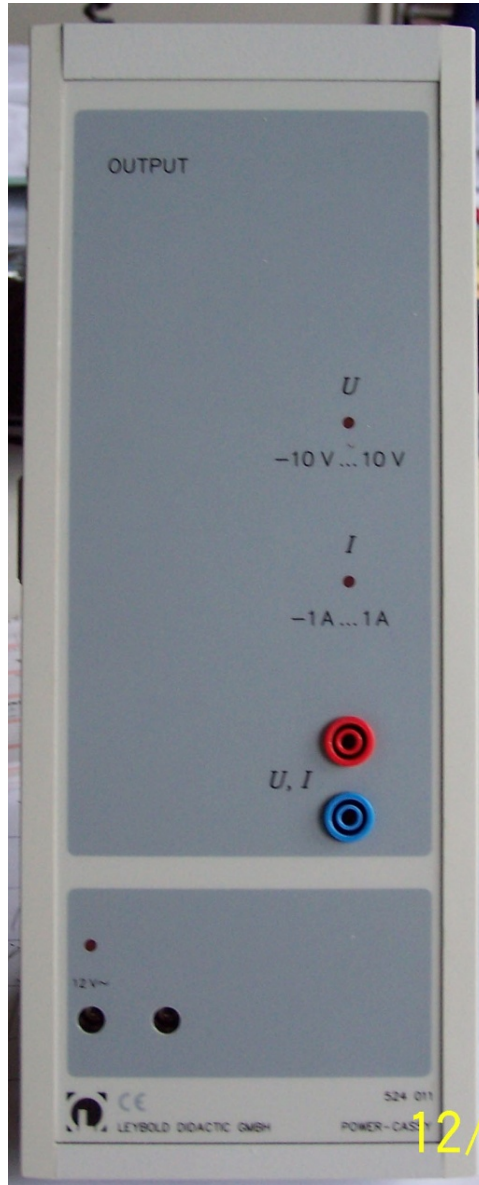
Cassy Lab 2, Einstellungen Power Cassy



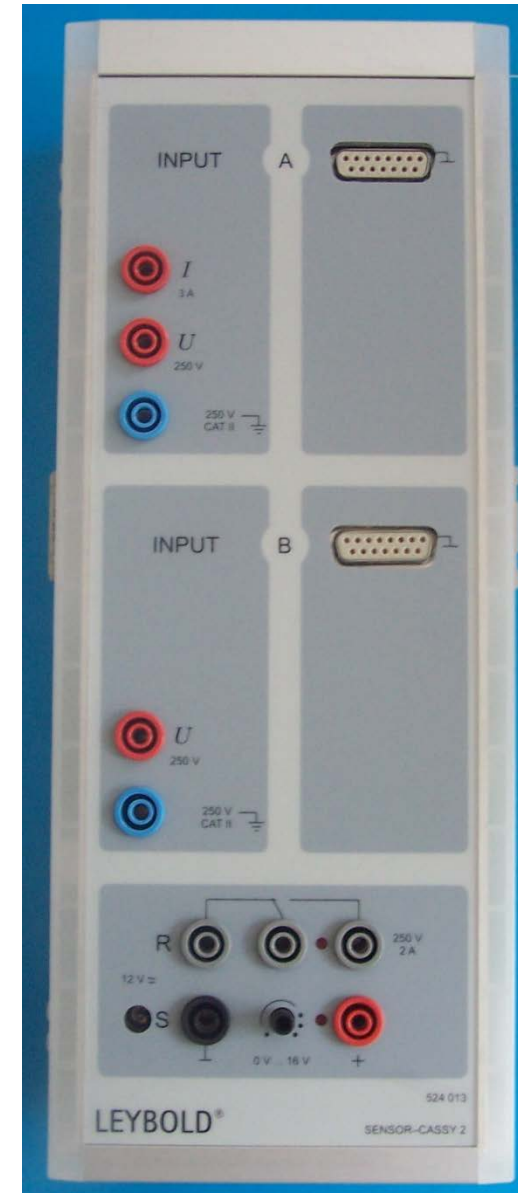
Signalform: Wechselspannung Sinus
Beispiel: $f=1000\text{Hz}$, $V_p=2\text{V}$, Symmetrie 50%, $V=0\text{V}$
Ergebnis: periodisches Rechteck-Signal;
FFT liefert Peaks bei 1000 Hz und höhere Ordnungen

Power Cassy vs Sensor Cassy 2

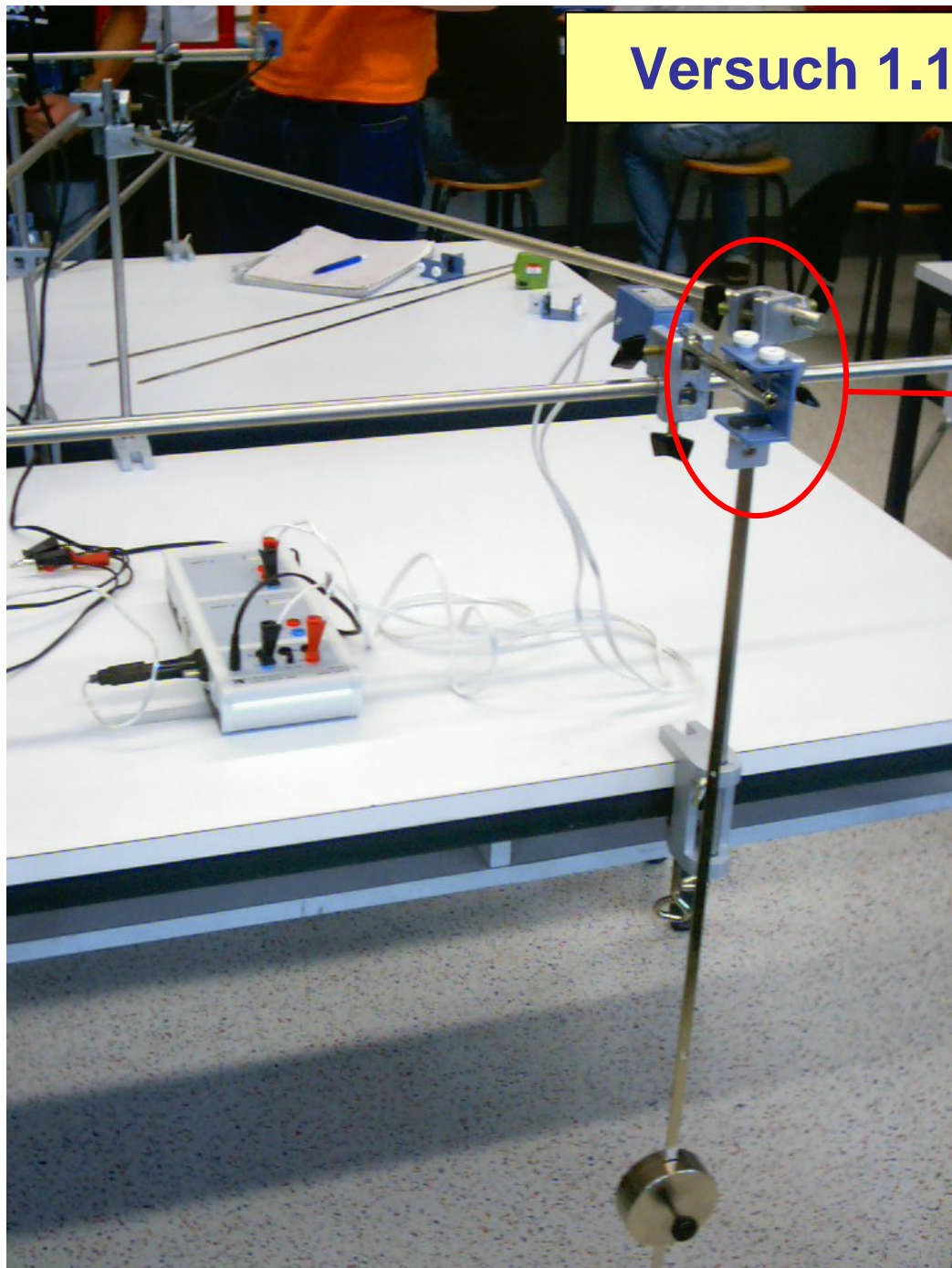
3. Übung



Power Cassy:
Sinusspannung mit
 $f = ? \text{ Hz}$
Sensor Cassy:
Welche f (FFT) ?



Versuch 1.1 Pendel



Lagerspitzen

Winkelaufnehmer

Magnete

Pendelstange

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

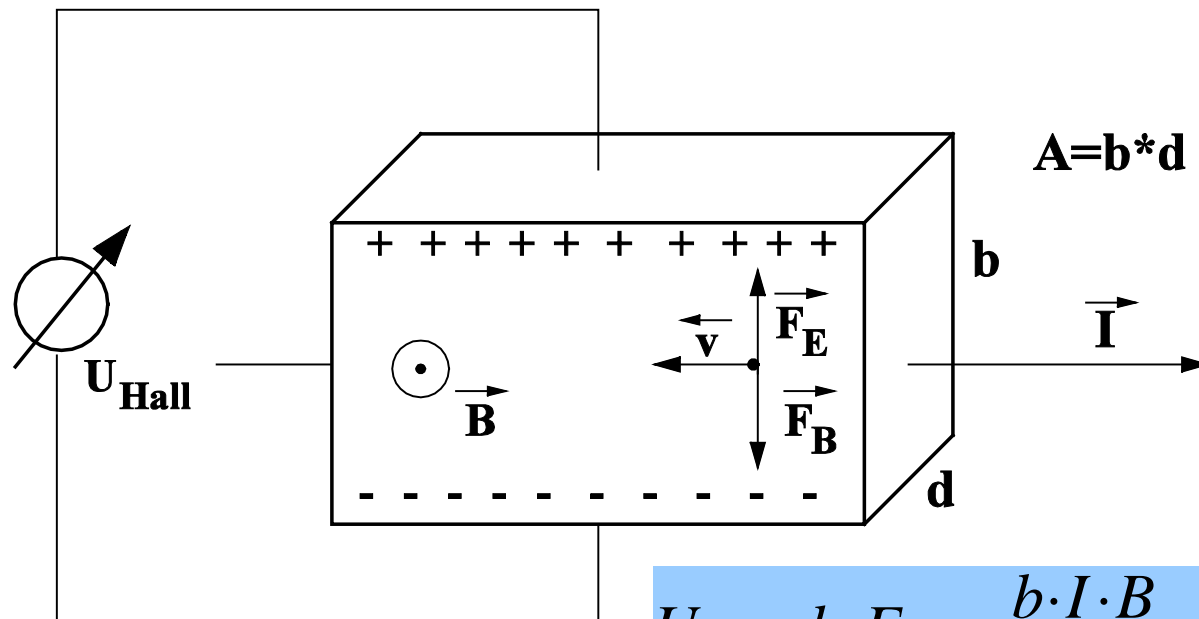
Halleffekt

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 $\vec{F}_E = q \cdot \vec{E}$

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

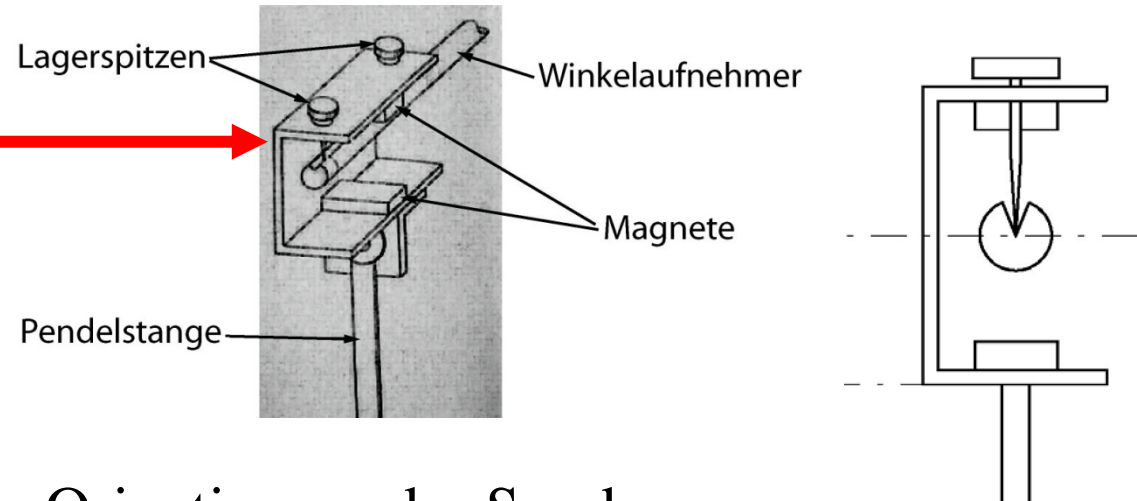
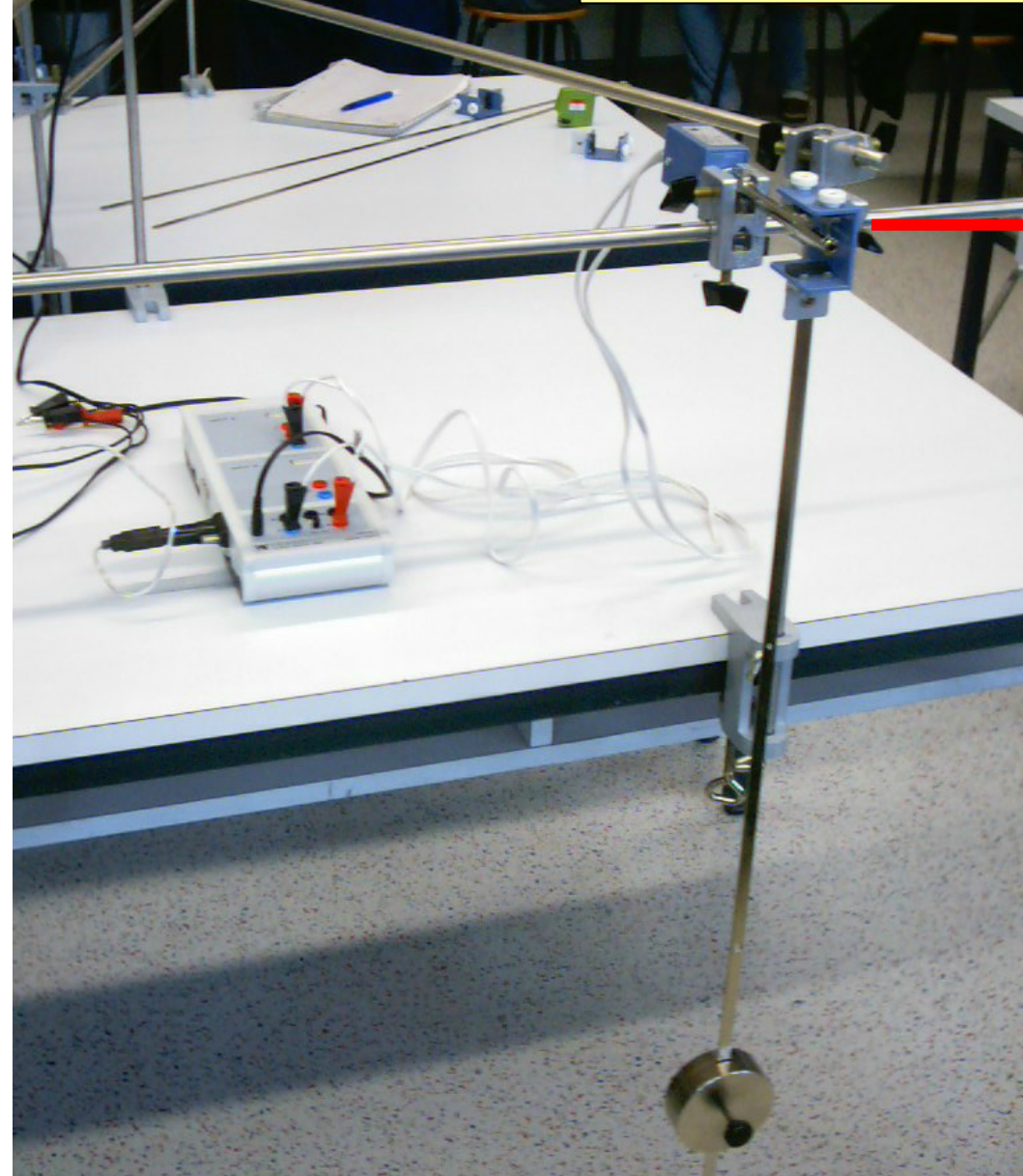
allgemein: $\vec{I} = q \cdot n \cdot A \cdot \vec{v}$



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

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

Spannungsmessung mit Hallsonde



Orientierung der Sonde \rightarrow Empfindlich

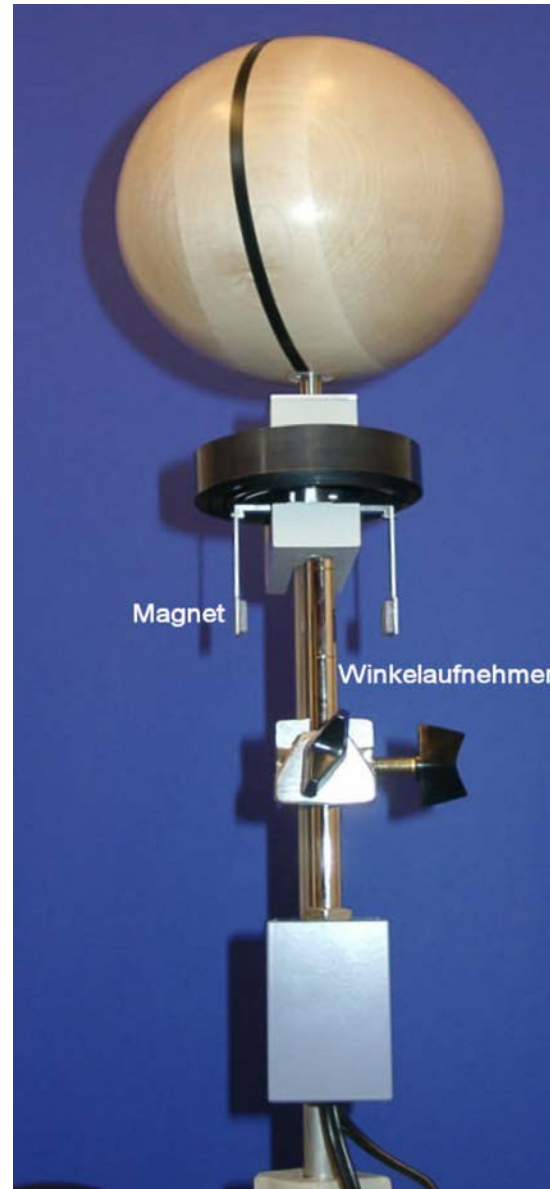
auf horizontale B-Komponente B_h

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:

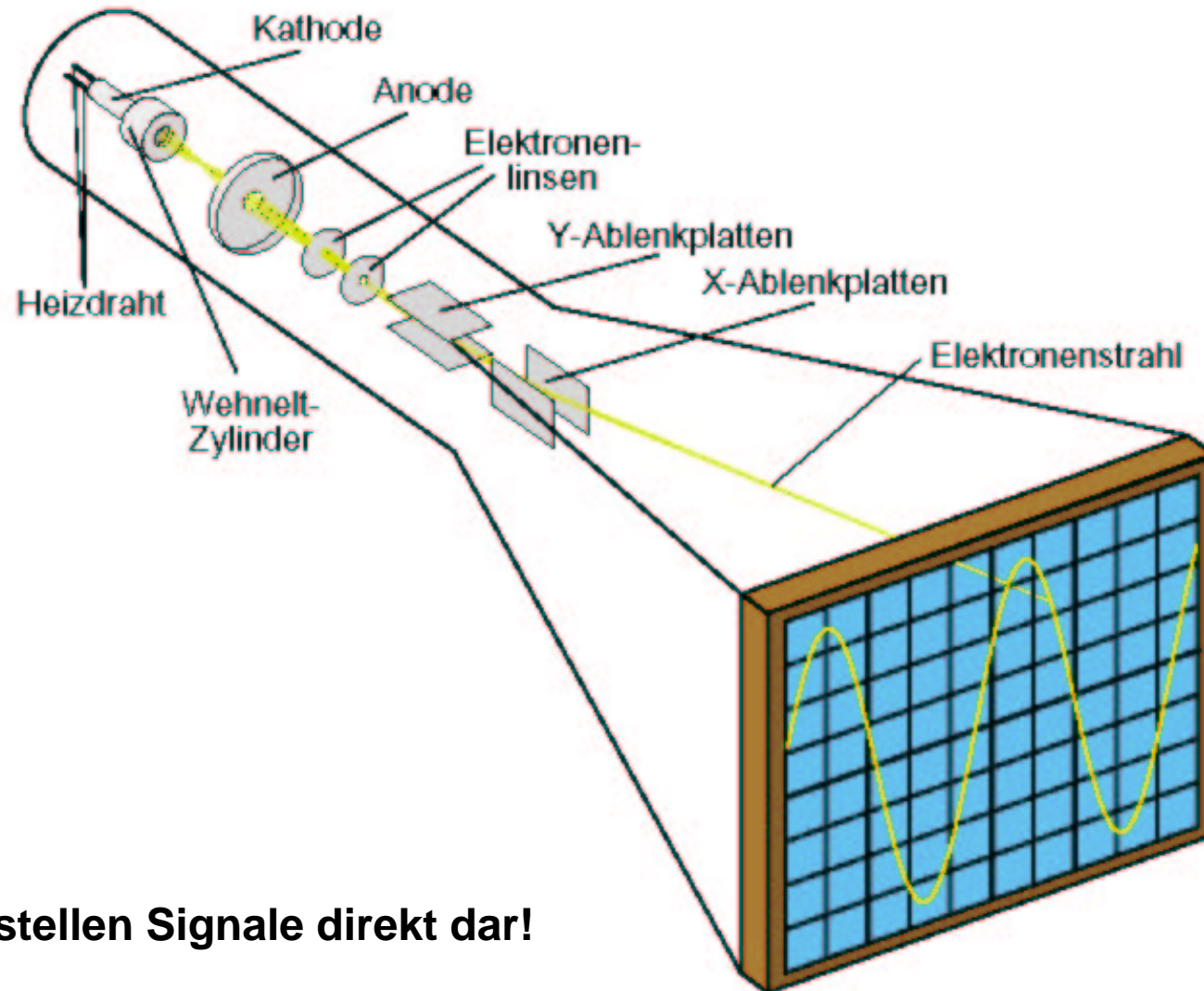
$-20\text{ °C} < T < +70\text{ °C}$: $0,2\text{ °C}$

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

Ansprechzeit:

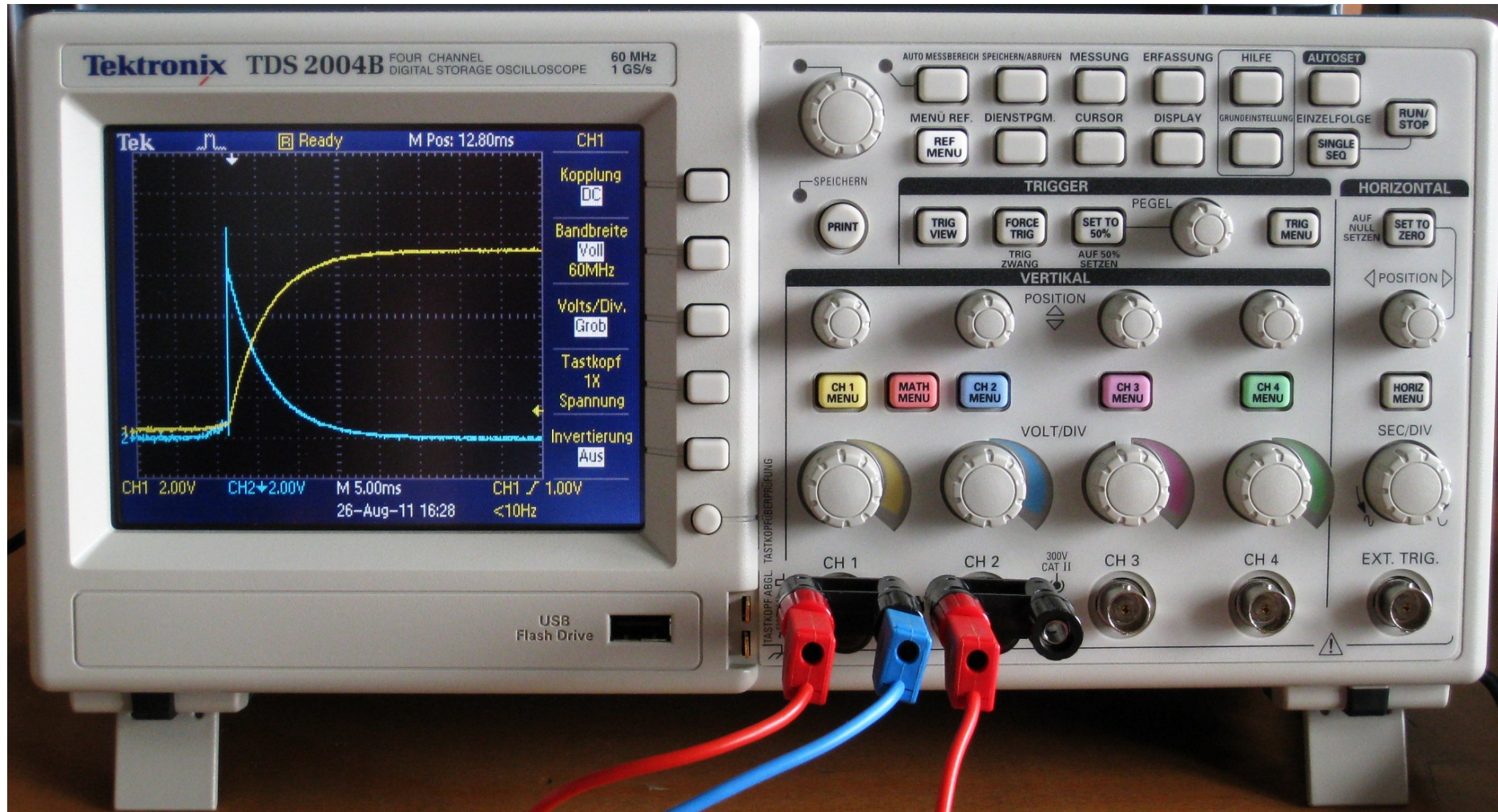
$>7\text{ s}$ in Flüssigkeiten

Oszilloskop (Braunsche Röhre)



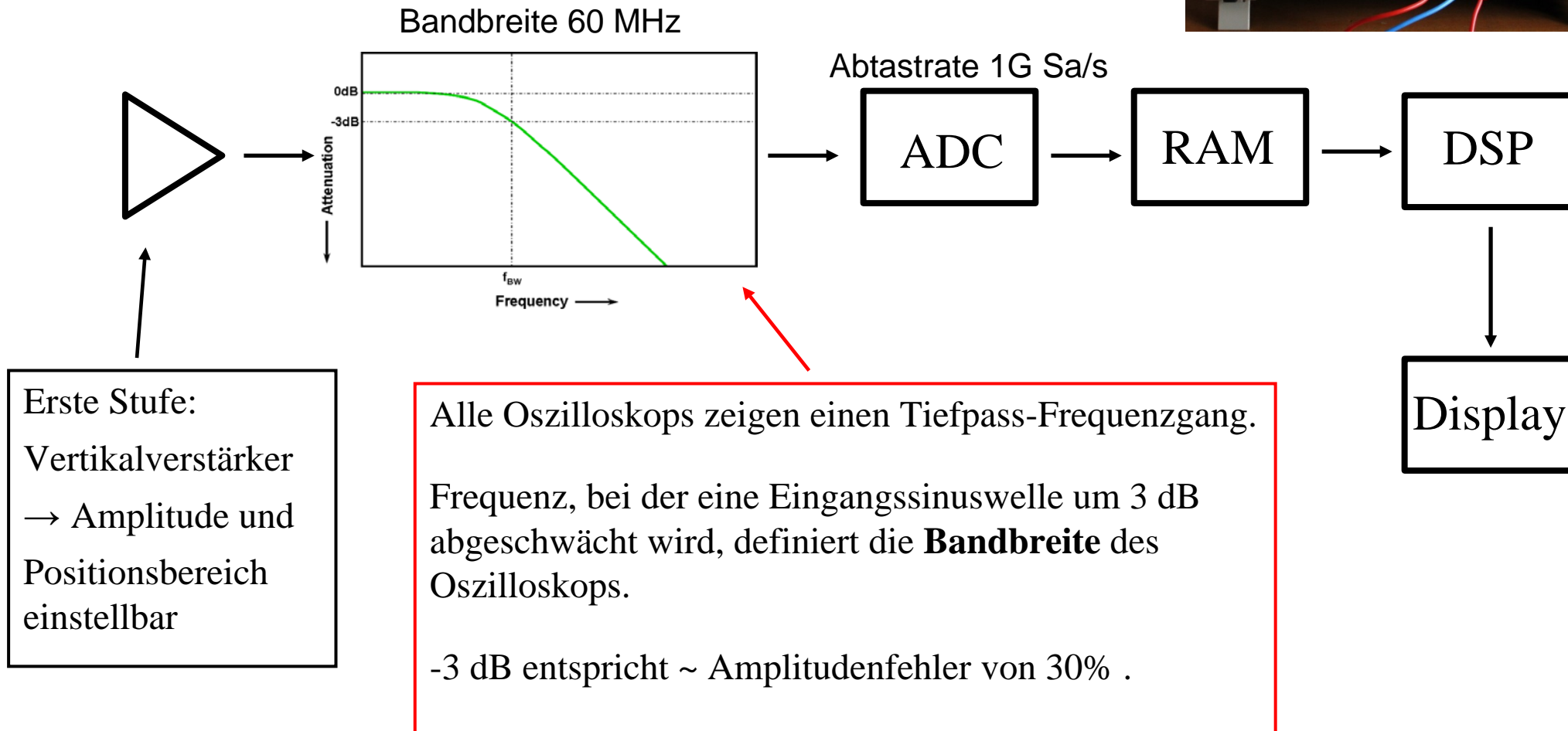
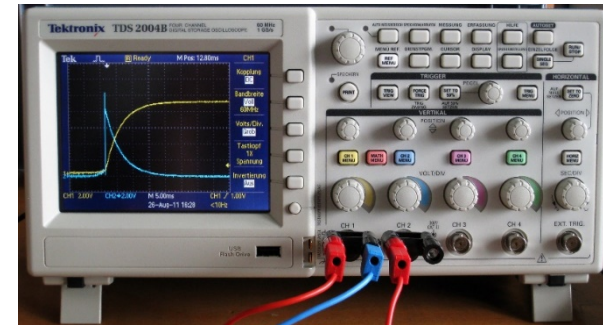
Analoge Oszilloskope stellen Signale direkt dar!

Digital Oszilloskop

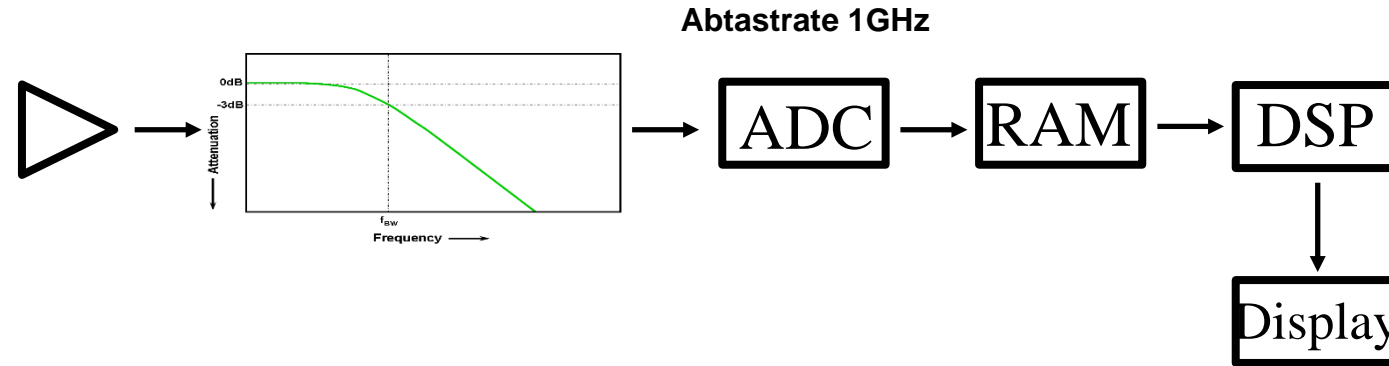


Digitale Oszilloskope tasten Signale ab und konstruieren Darstellungen!

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)

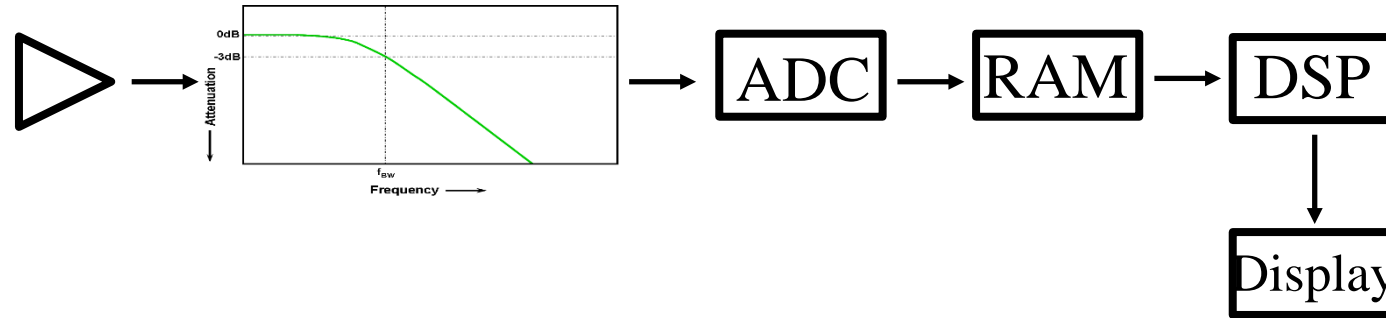
Abtastpunkte werden im Erfassungsspeicher als Signalpunkte gespeichert

Zusammen ergeben die Signalpunkte eine Signalaufzeichnung,

Anzahl der Signalpunkte einer Signalaufzeichnung wird Aufzeichnungslänge genannt

Triggersystem bestimmt Anfangs- und Endpunkt der Aufzeichnungslänge

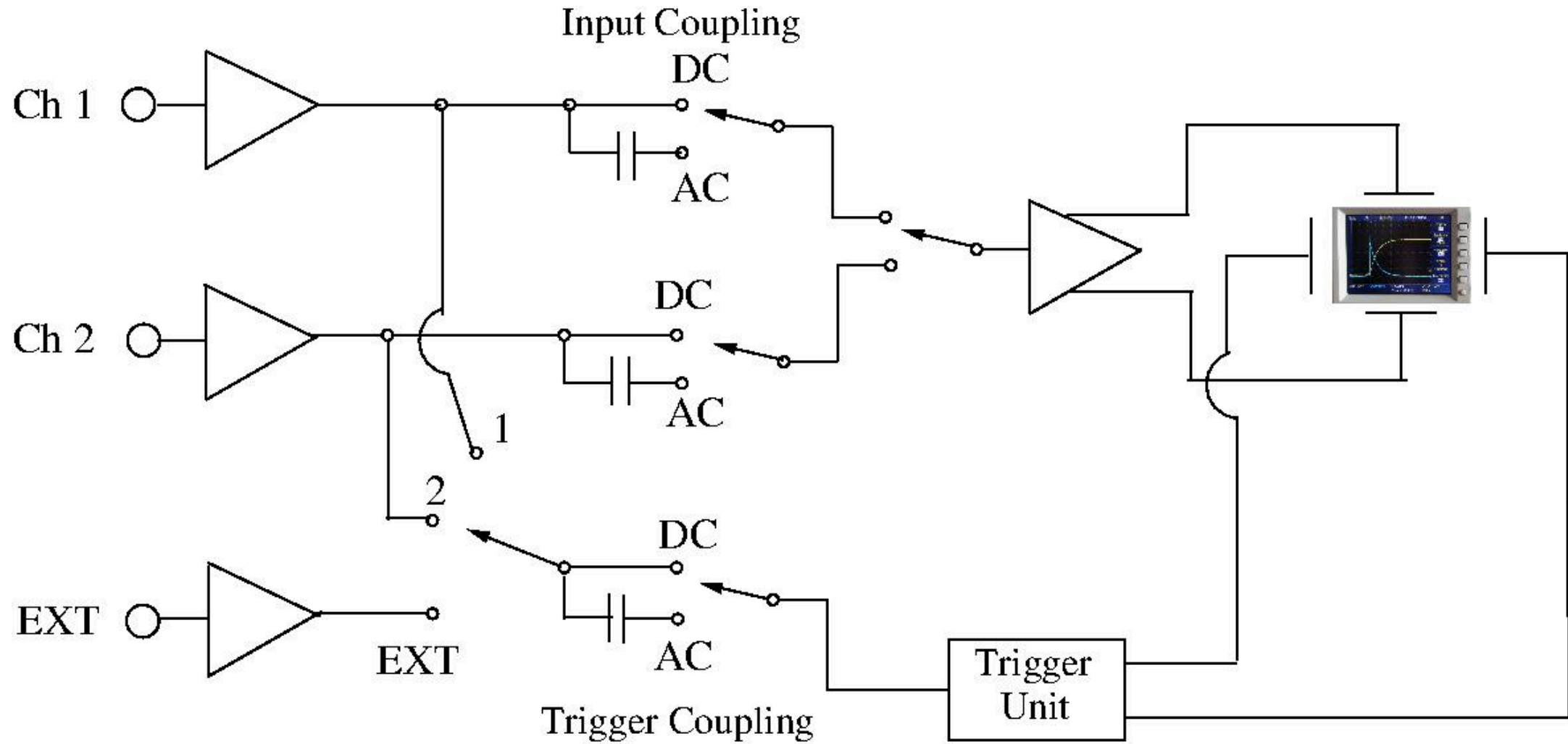
Digital Oszilloskop: Funktionsprinzip



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

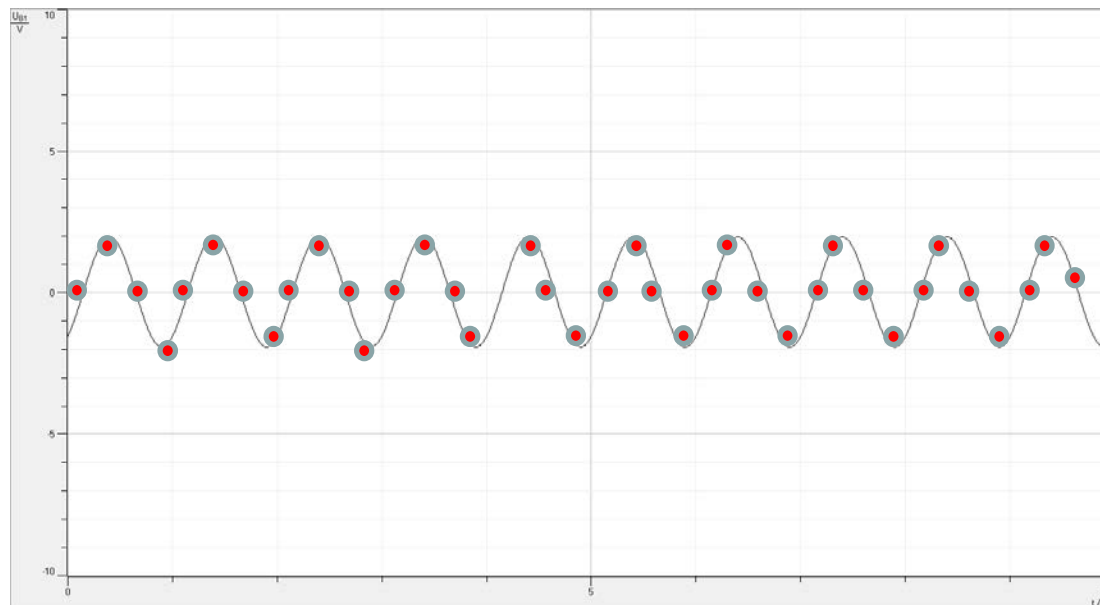


Umwandlung analog \rightarrow digital nicht kontinuierlich, sondern zu diskreten, periodisch angeordneten Zeitpunkten (**Abtastpunkte** bzw. **sampling points**).

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

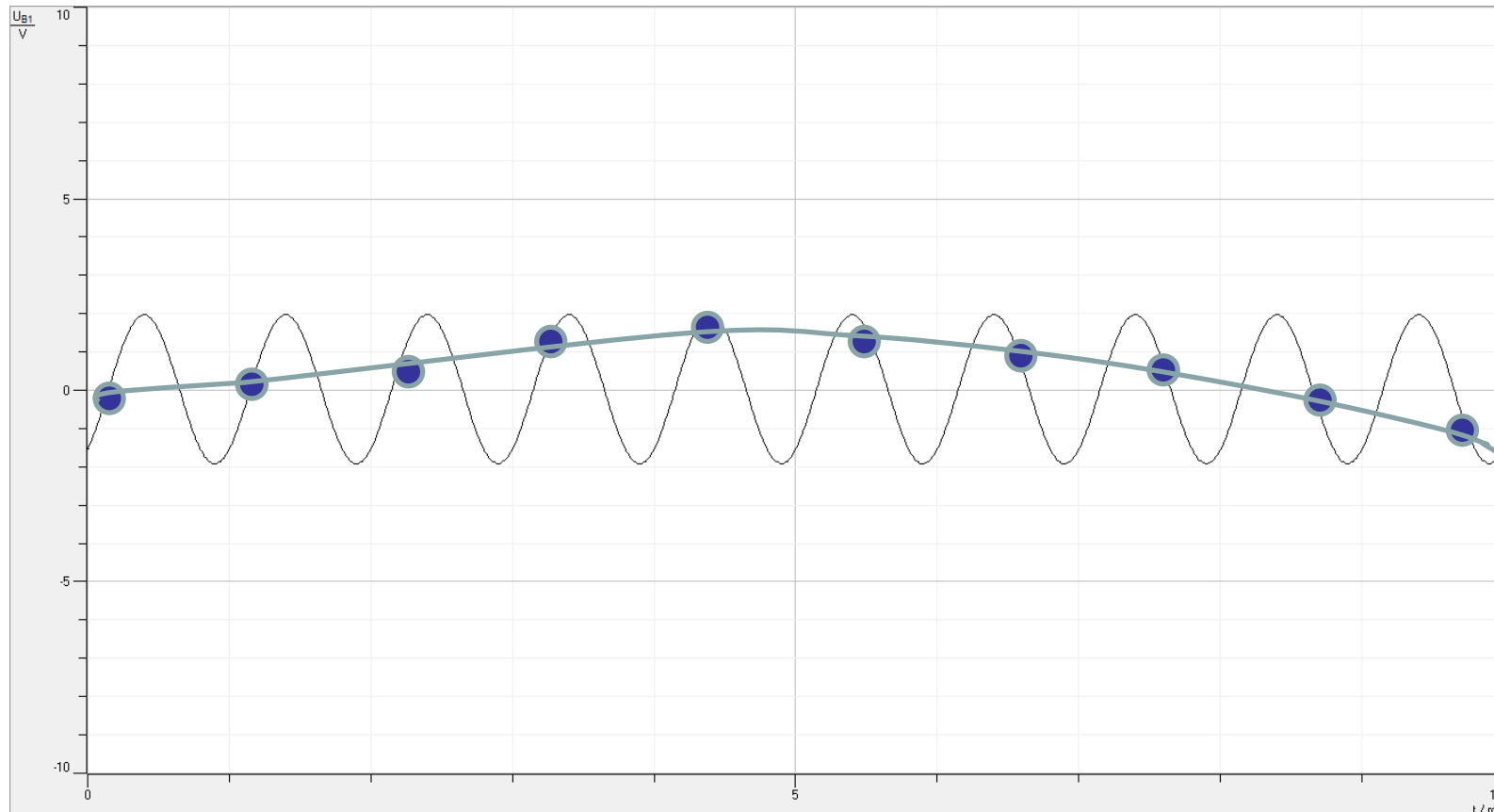
Je höher $f_{\text{Abtastung}}$, desto präziser kann zeitlicher Verlauf eines Eingangssignals dargestellt werden. Die höchstmögliche Abtastfrequenz $f_{\text{Abtastung}}$ bestimmt nach dem Nyquist Shannon Theorem gleichzeitig die maximale Frequenz f_{Signal} eines noch erfassbaren harmonischen Eingangssignals.

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

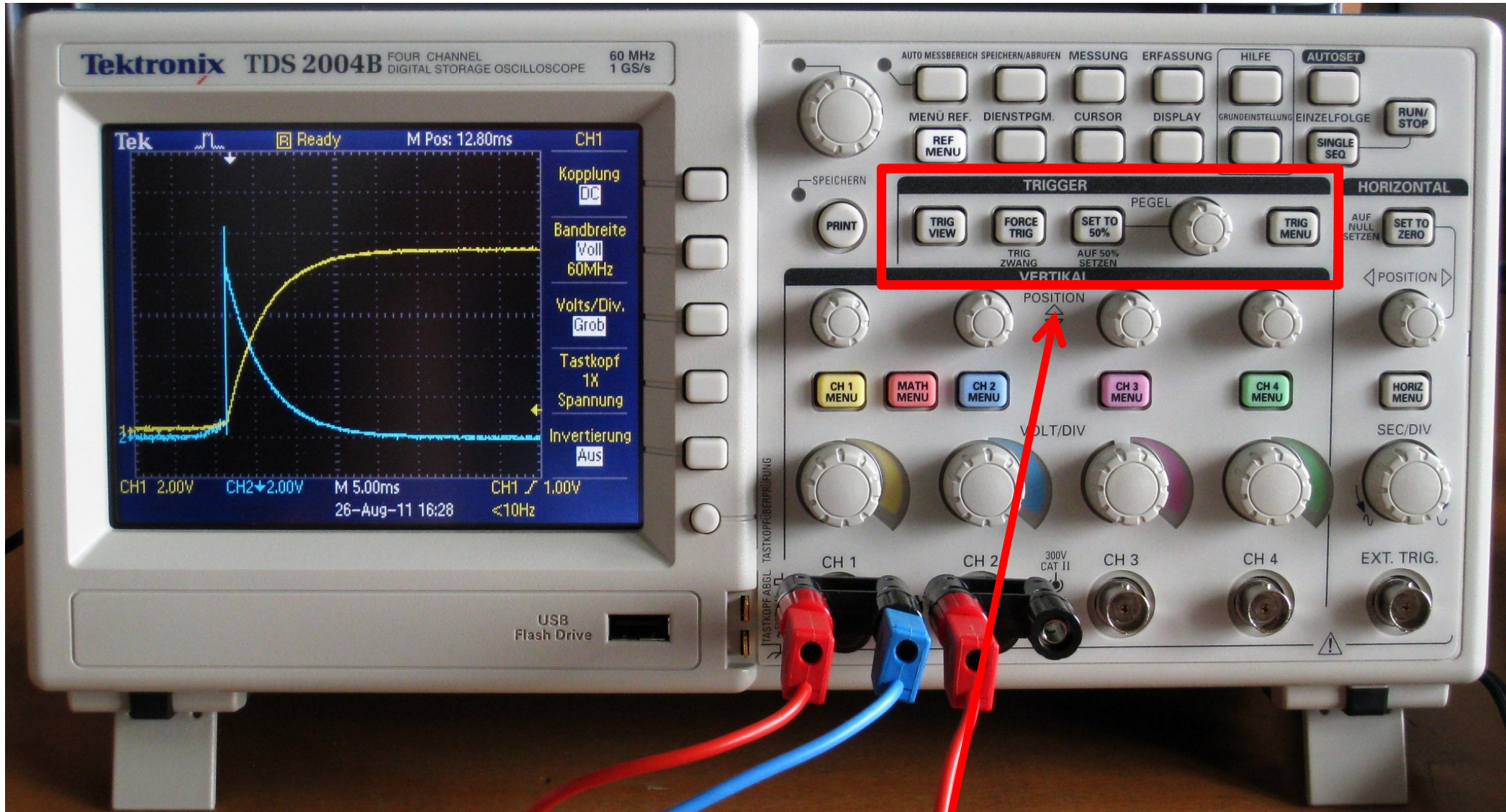


Nyquist Shannon Theorem $f_{\text{Abtastung}} > 2 \cdot f_{\text{Signal}}$

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

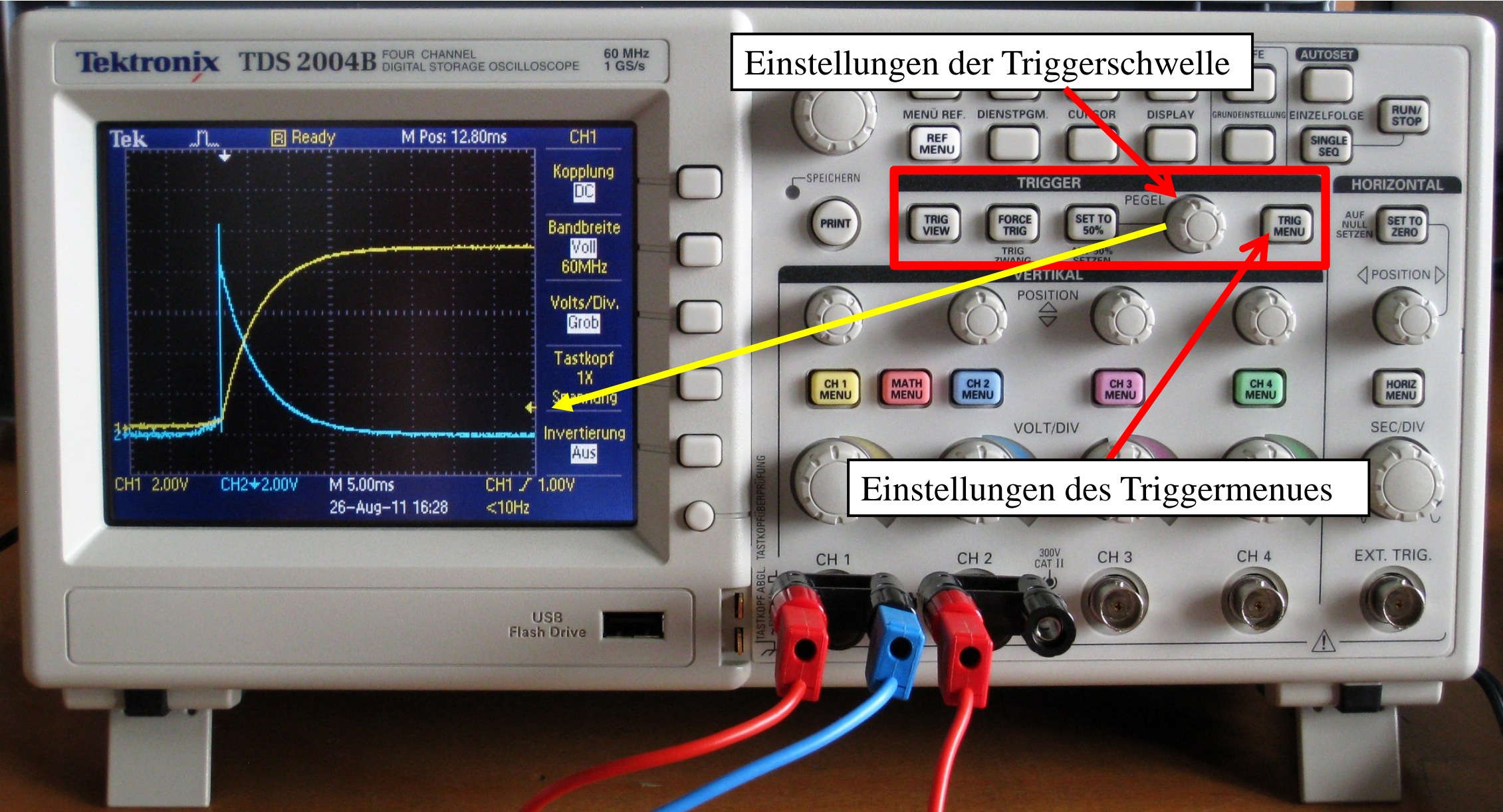


Digital Oszilloskop

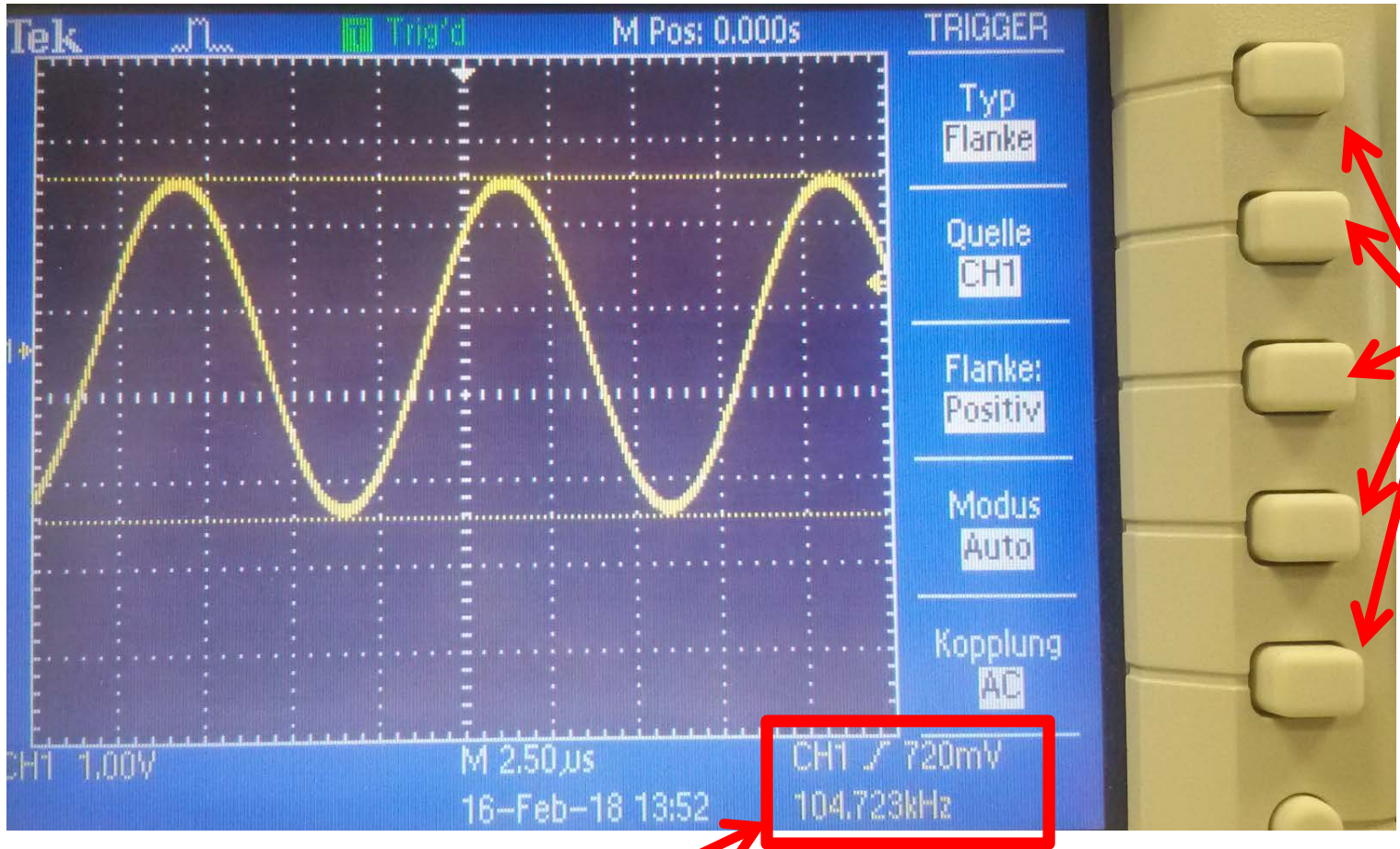


Einstellungen des Triggers, der steuert, wann ein Signal auf Display angezeigt werden soll

Digital Oszilloskop



Digital Oszilloskop

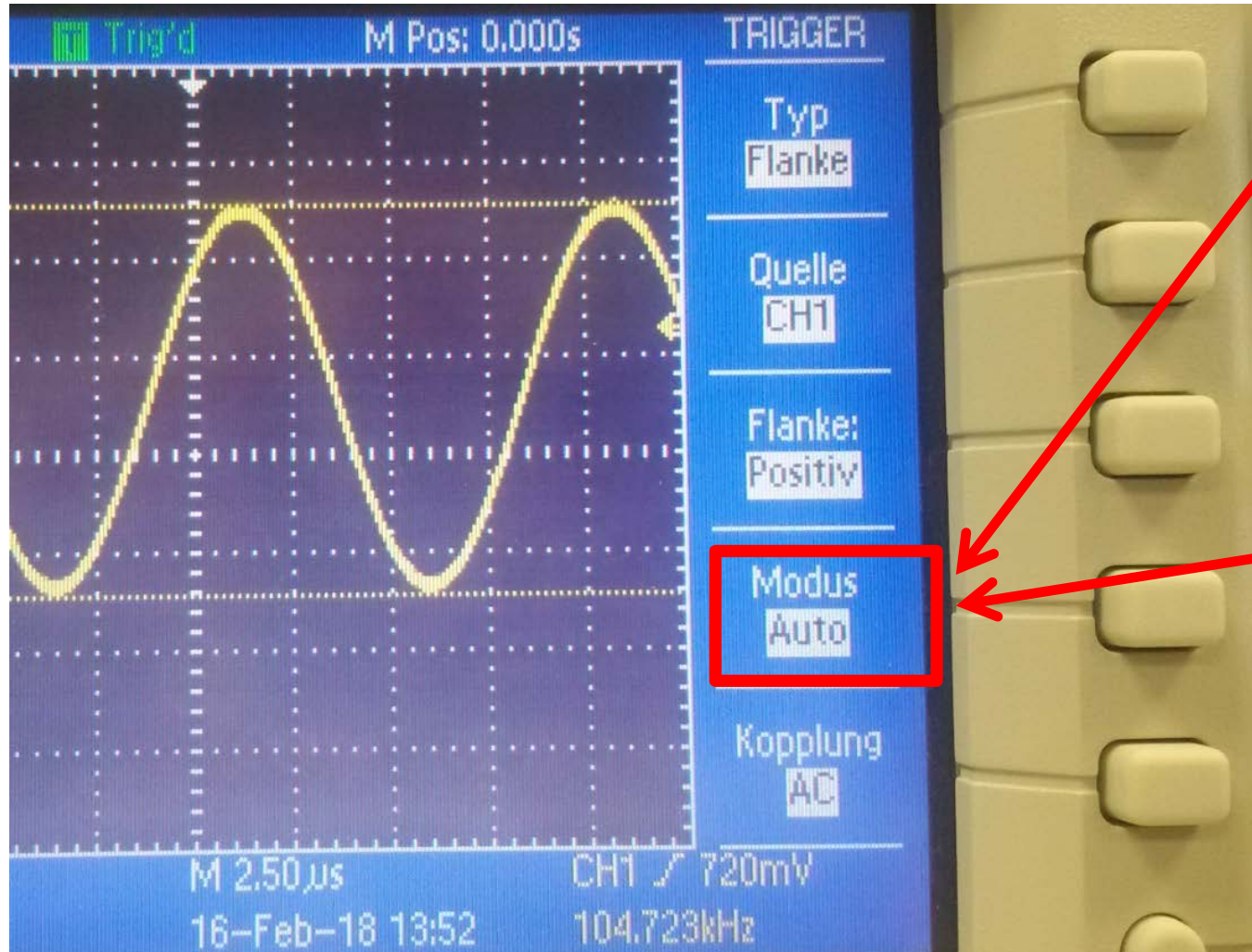


Triggermenü
Auswahl durch seitliche Knöpfe

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

\nearrow
 \searrow

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



Modus:

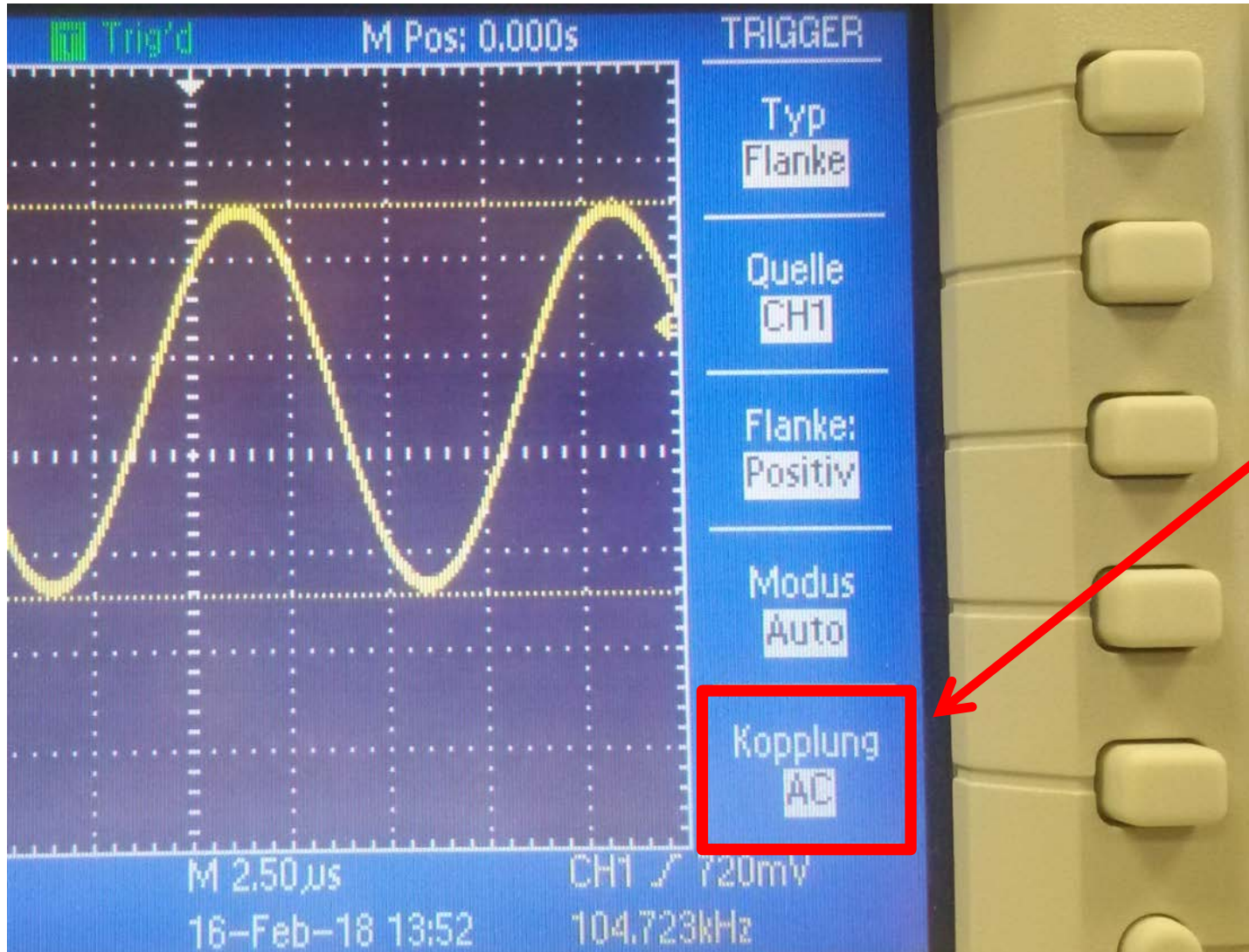
Normal: Ablenkung wird ausgelöst, wenn Eingangssignal einen bestimmten Schwellwert übersteigt.

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.

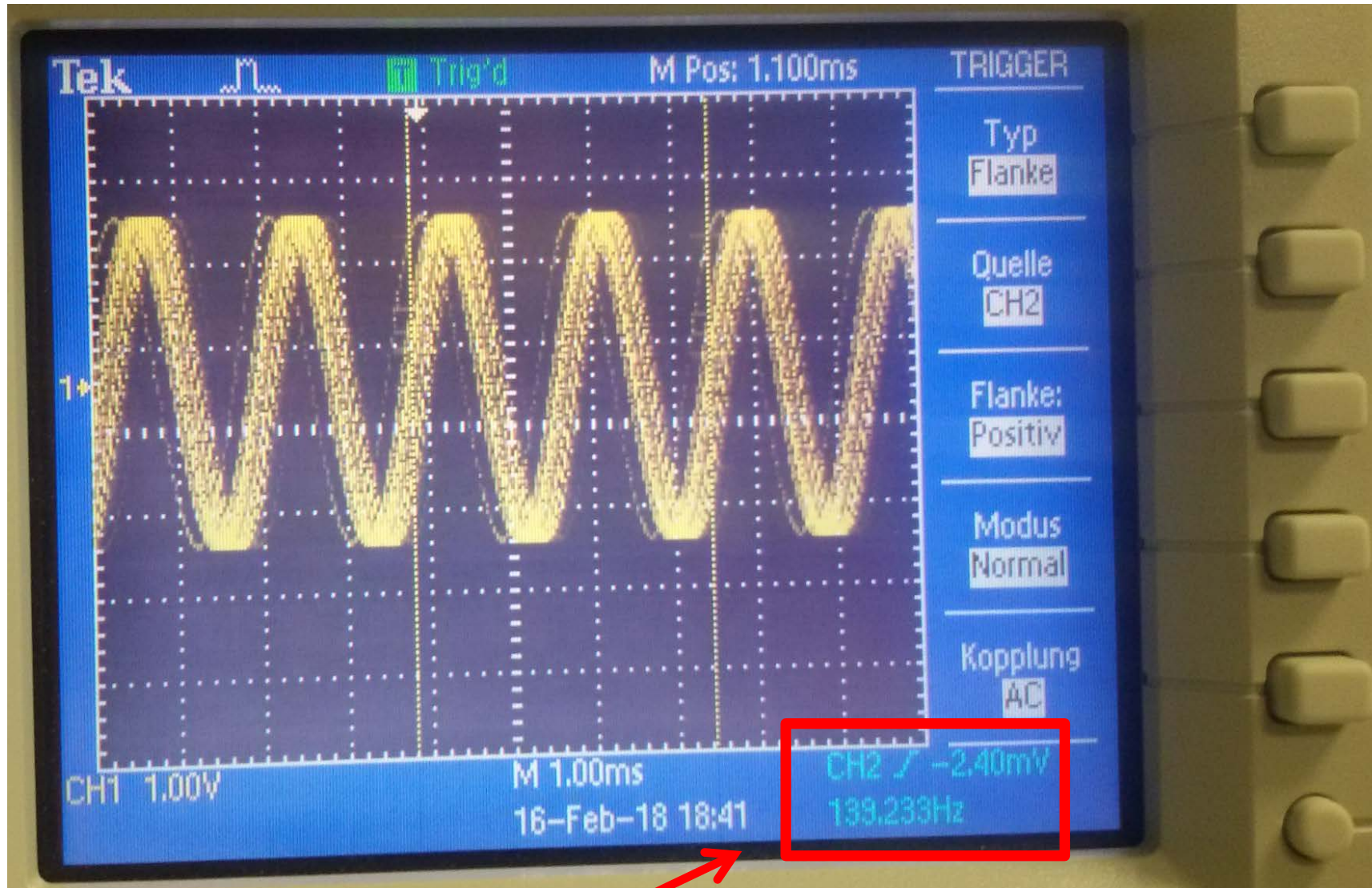
Digital Oszilloskop



Kopplung:

DC, AC, Hoch- oder Tiefpassfilter etc.

Digital Oszilloskop



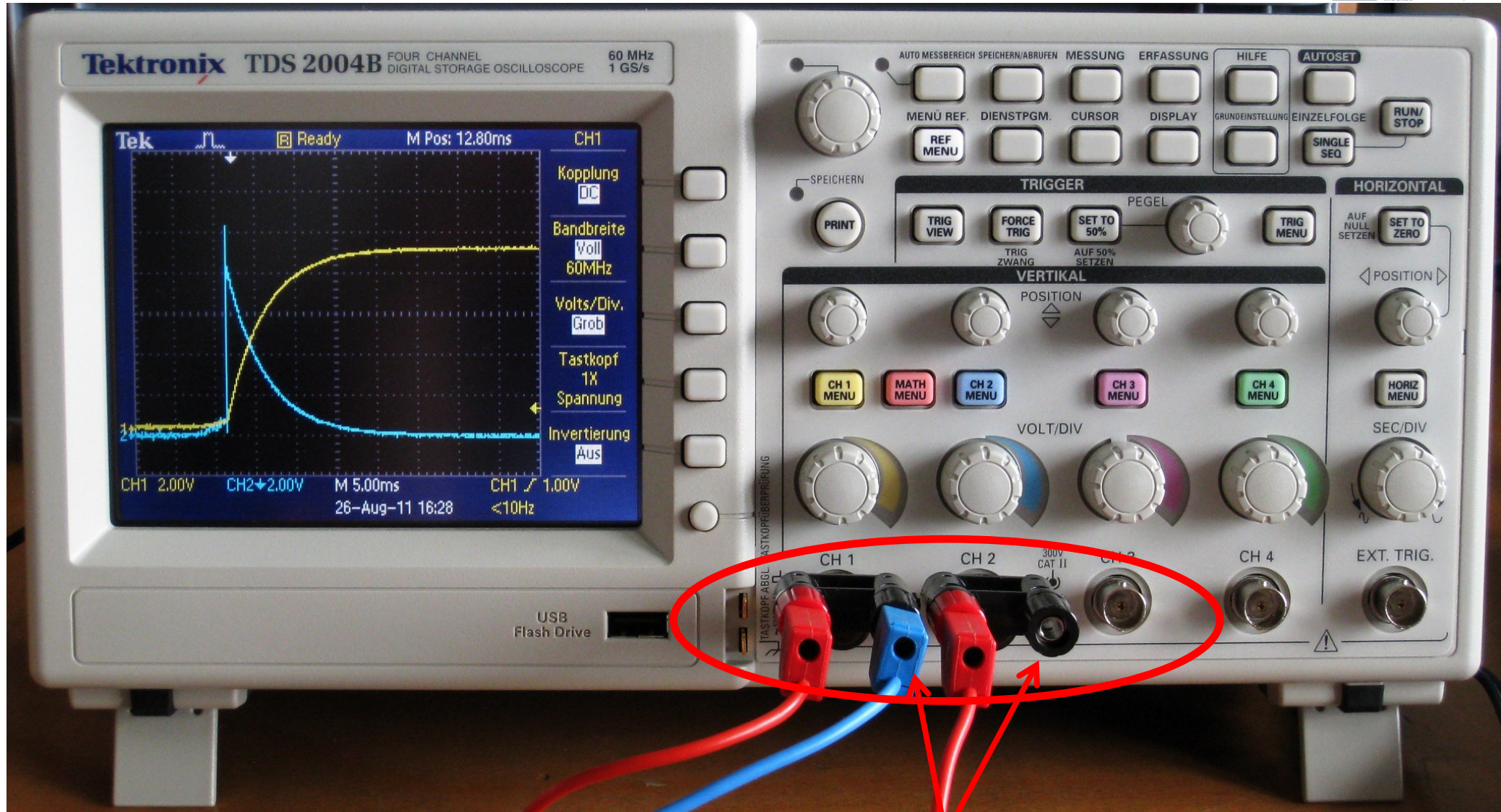
Unschärfe Signale bzw. „durchlaufende“ Signale: z.B. durch falsch gesetzten CH als Triggerquelle

Digital Oszilloskop



Unscharfe Signale bzw. „durchlaufende“ Signale bzw. kein Signal: z.B. durch zu hohe Triggerschwelle 88

Digital Oszilloskop



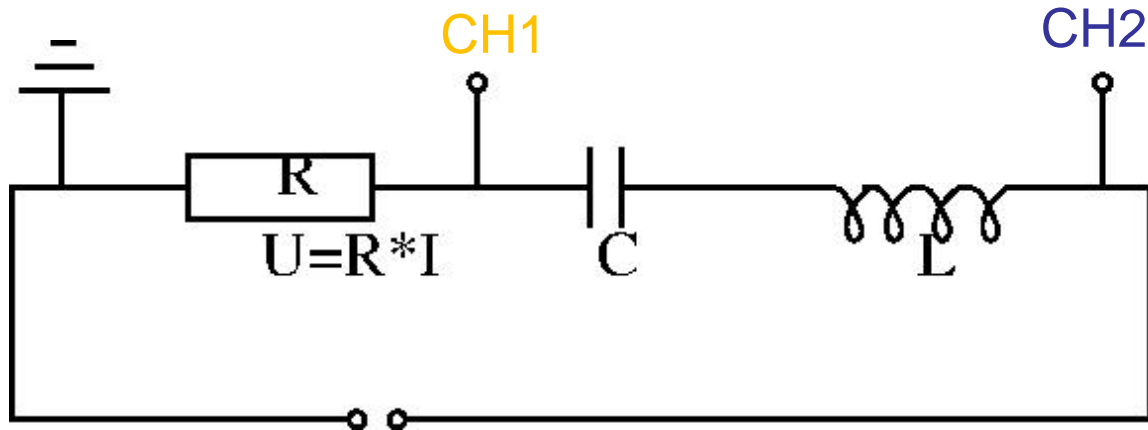
4 Kanal Oszilloskop, die alle die gleiche Masse (Erde) haben

4 Kanäle mit gleicher Masse (Erde), schlimm?

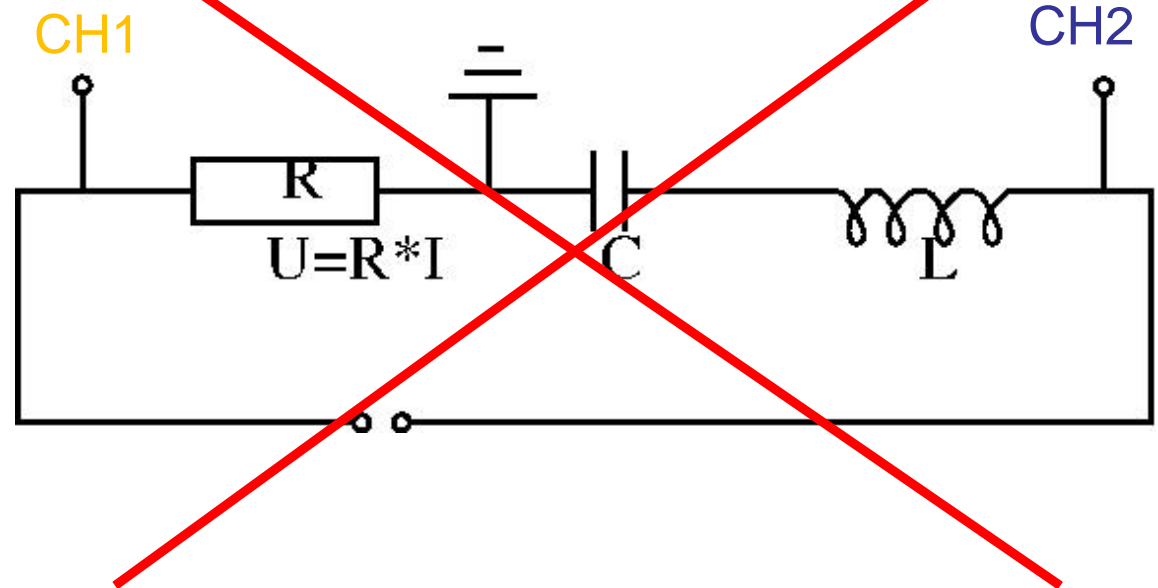
Aufgabe: Messen sie die Phasenverschiebung zwischen Strom und Gesamtspannung mit dem Oszilloskop.

Erfüllt Schaltung 1 oder 2 die Aufgabe?

1:

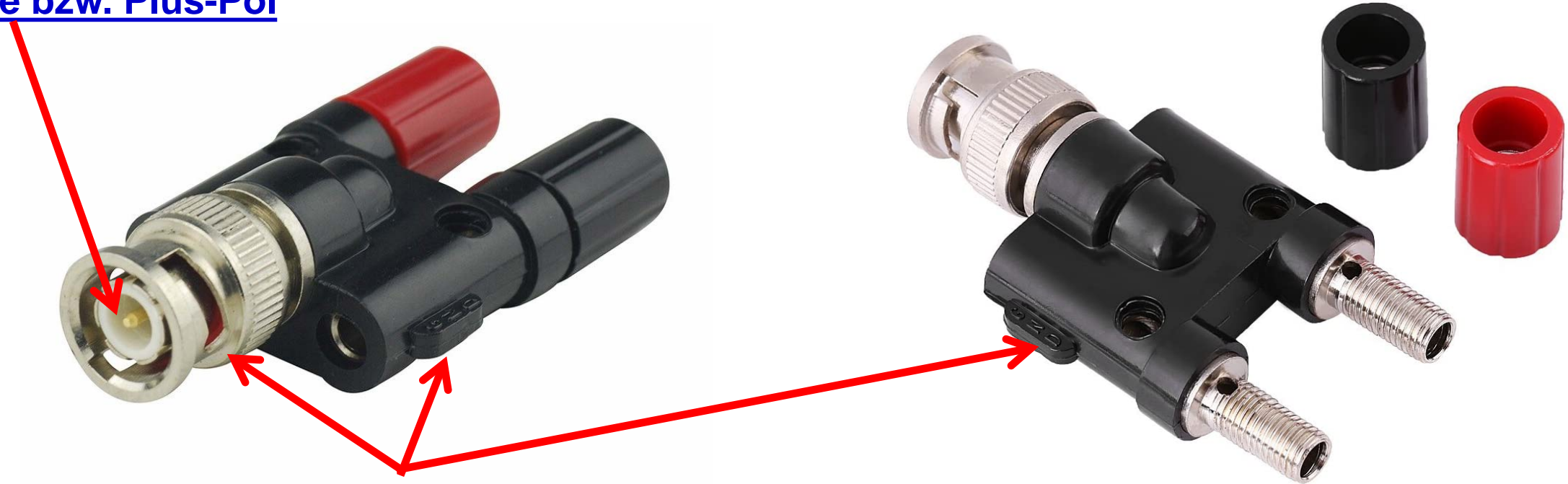


2:



BNC-Banane-Stecker

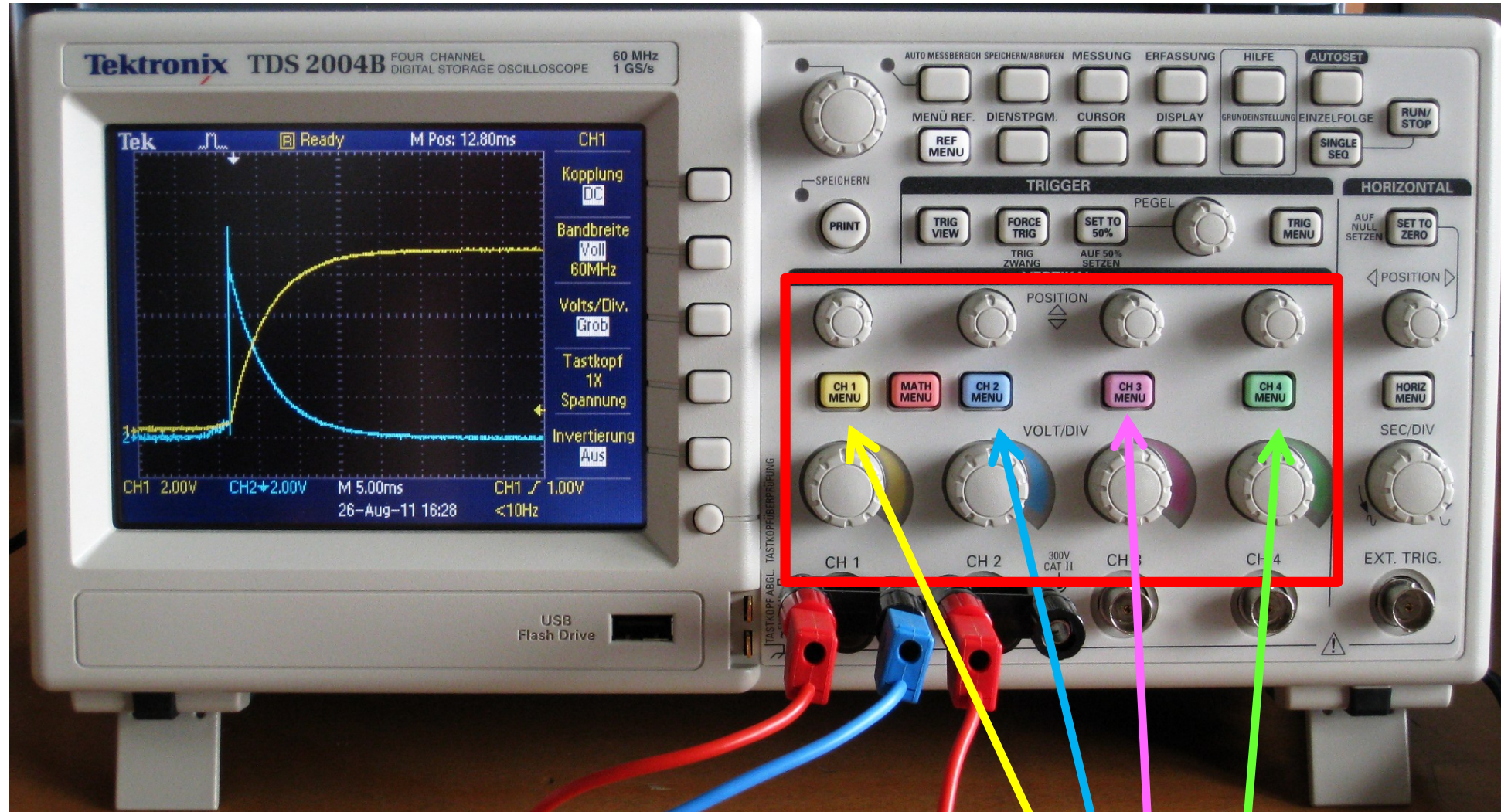
Goldener Pin im BNC-Teil:
Seele bzw. Plus-Pol



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

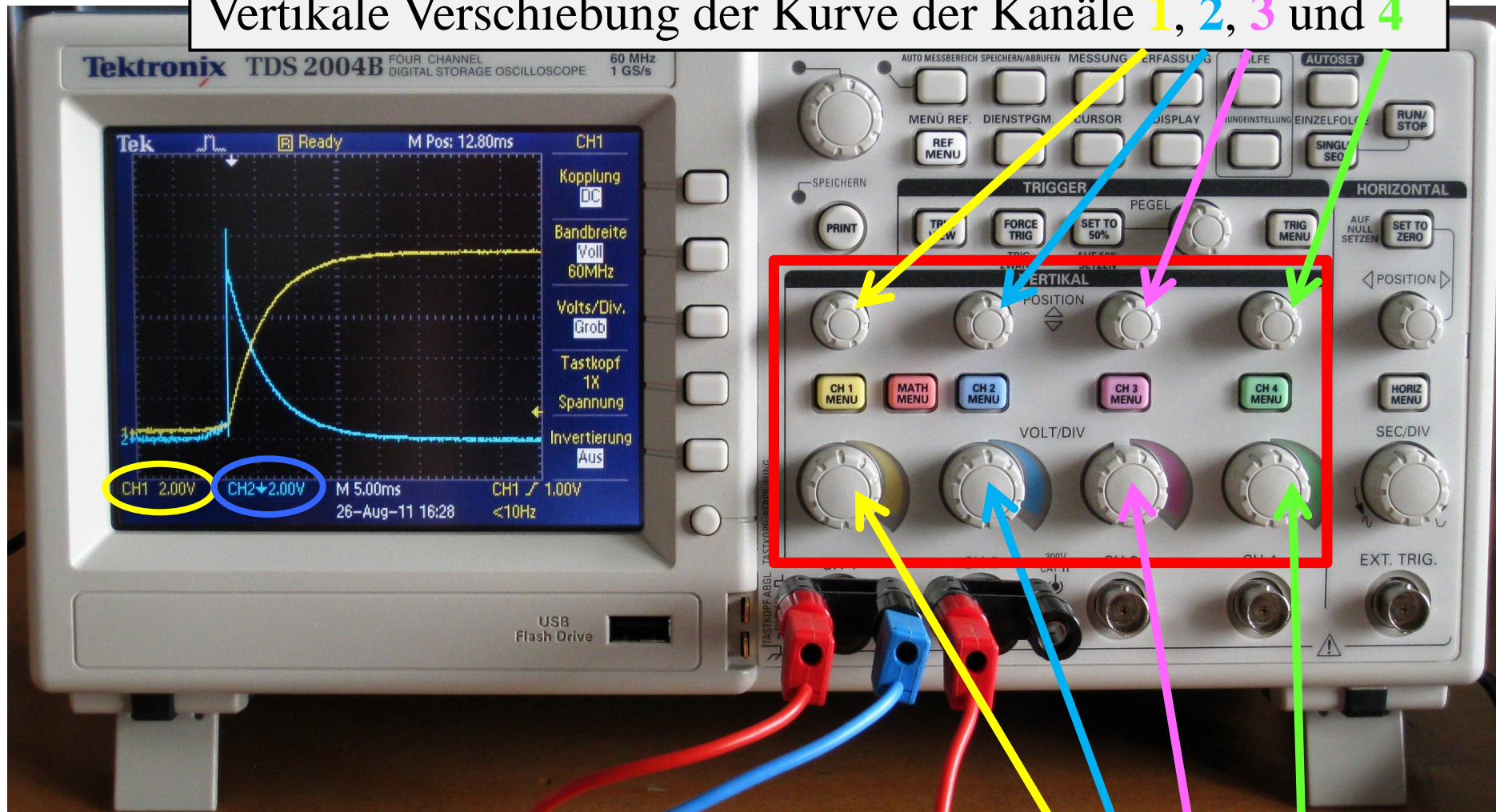
Digital Oszilloskop



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

Digital Oszilloskop

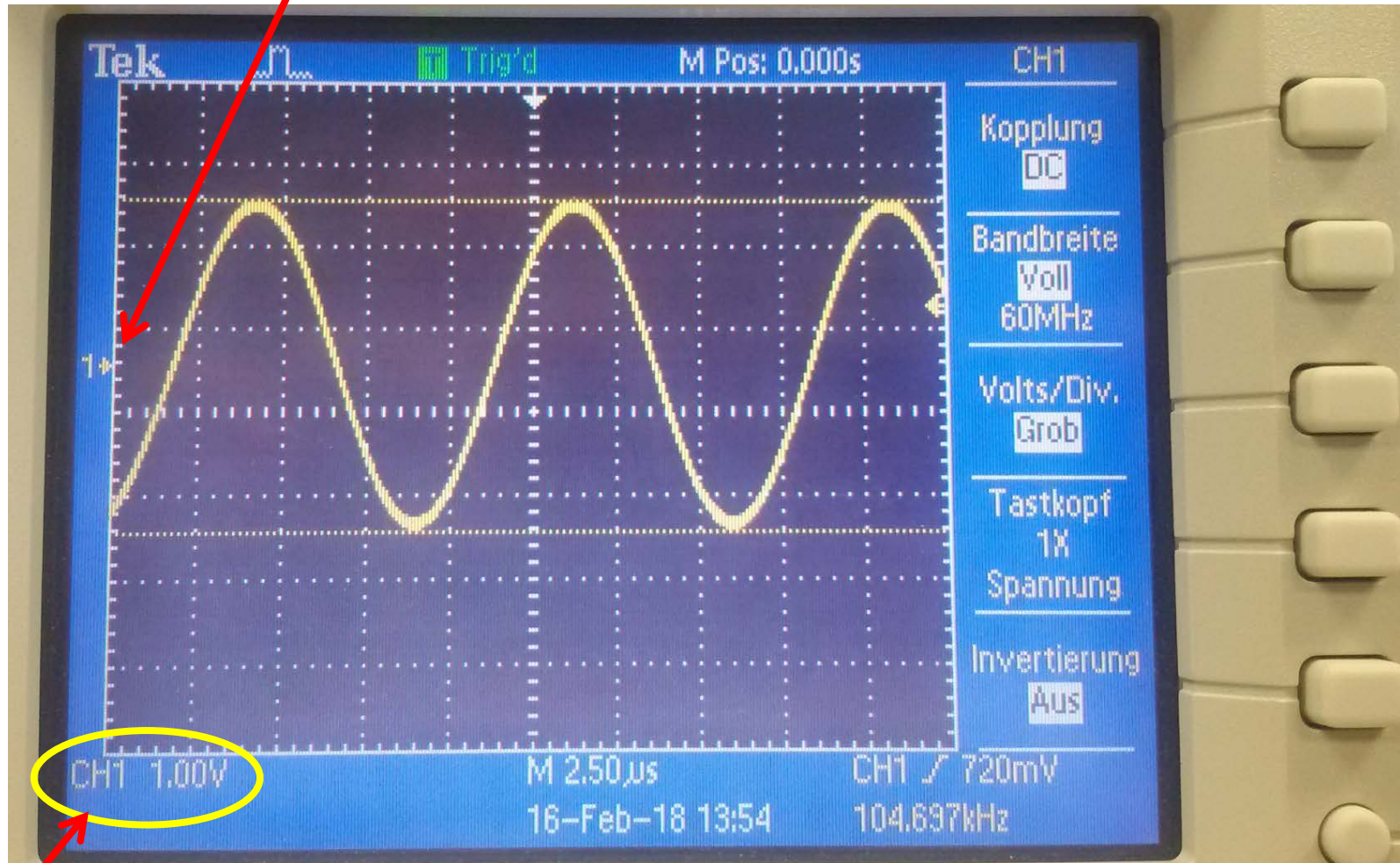
Vertikale Verschiebung der Kurve der Kanäle 1, 2, 3 und 4



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

Digital Oszilloskop

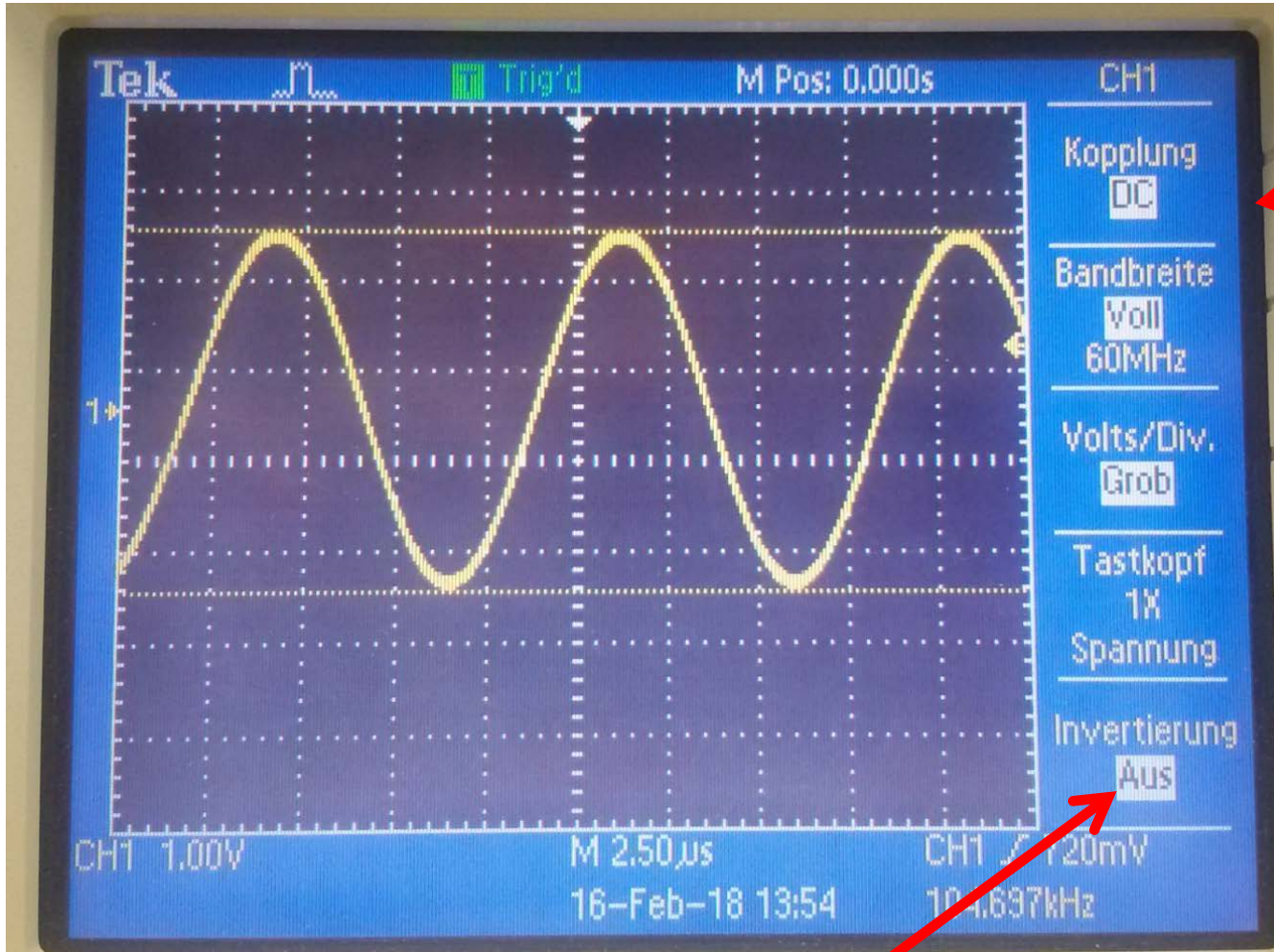
Anzeige der Nulllinie (erdbezogene Messpunkte) des CH1



Kanal-Menü

Auswahl durch
seitliche Knöpfe

Anzeige der vertikalen Skalenfaktoren für die einzelnen Kanäle



Kopplung:

Einstellmöglichkeiten:

DC/AC/GND

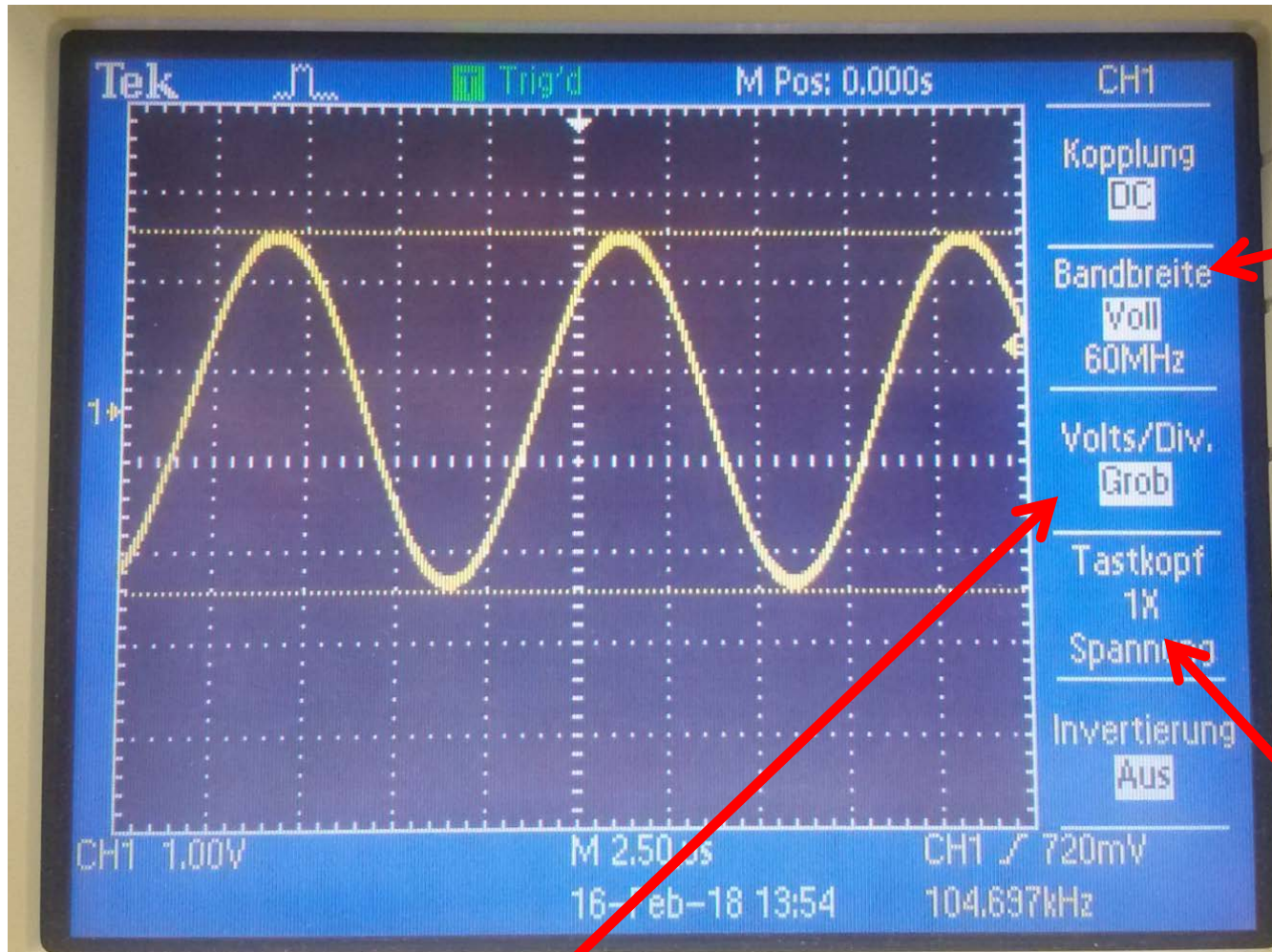
DC: Signaleingang direkt mit dem Eingang des Verstärkers verbunden.

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

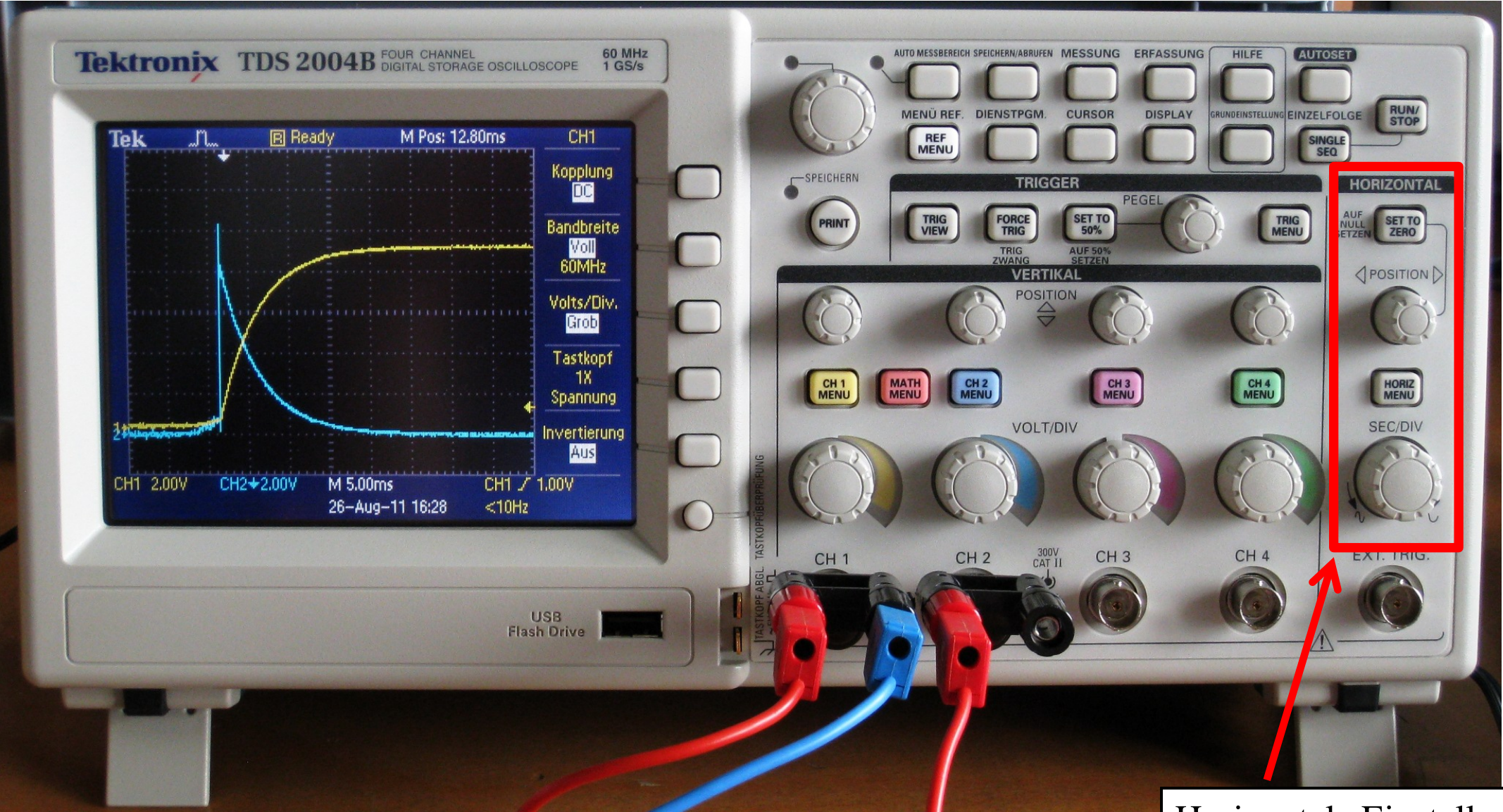
→ Reduzierung des Rauschens, das auf dargestellten Signal auftreten kann
Ergebnis: schärfere Signal-darstellung

ABER: Reduzierung oder Eliminierung hochfrequenter Anteile des Signals → Signalverfälschung

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

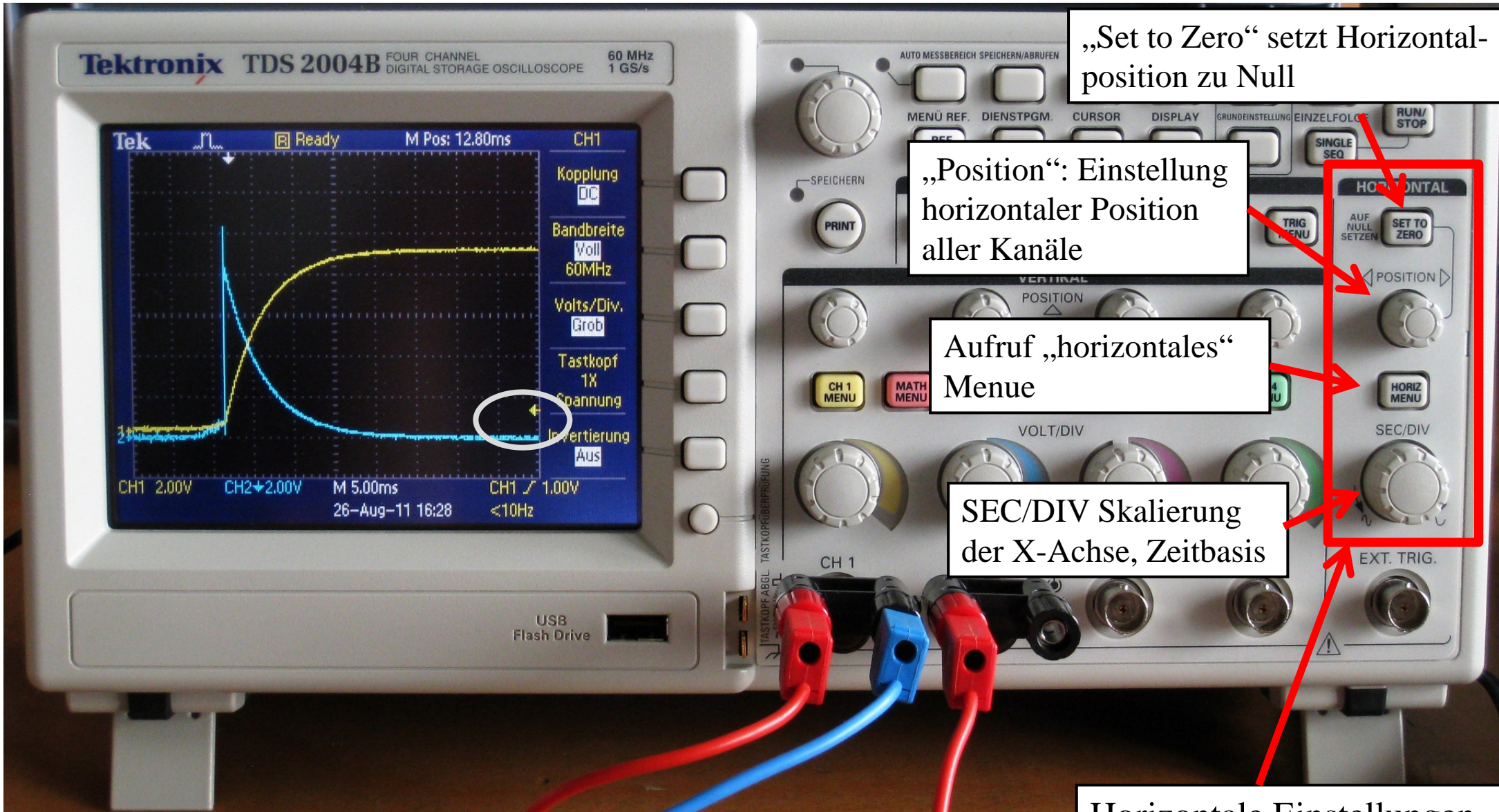
Tastkopf → x-fache Verstärkung des Signals einstellbar

Digital Oszilloskop



Horizontale Einstellungen

Digital Oszilloskop



„Set to Zero“ setzt Horizontalposition zu Null

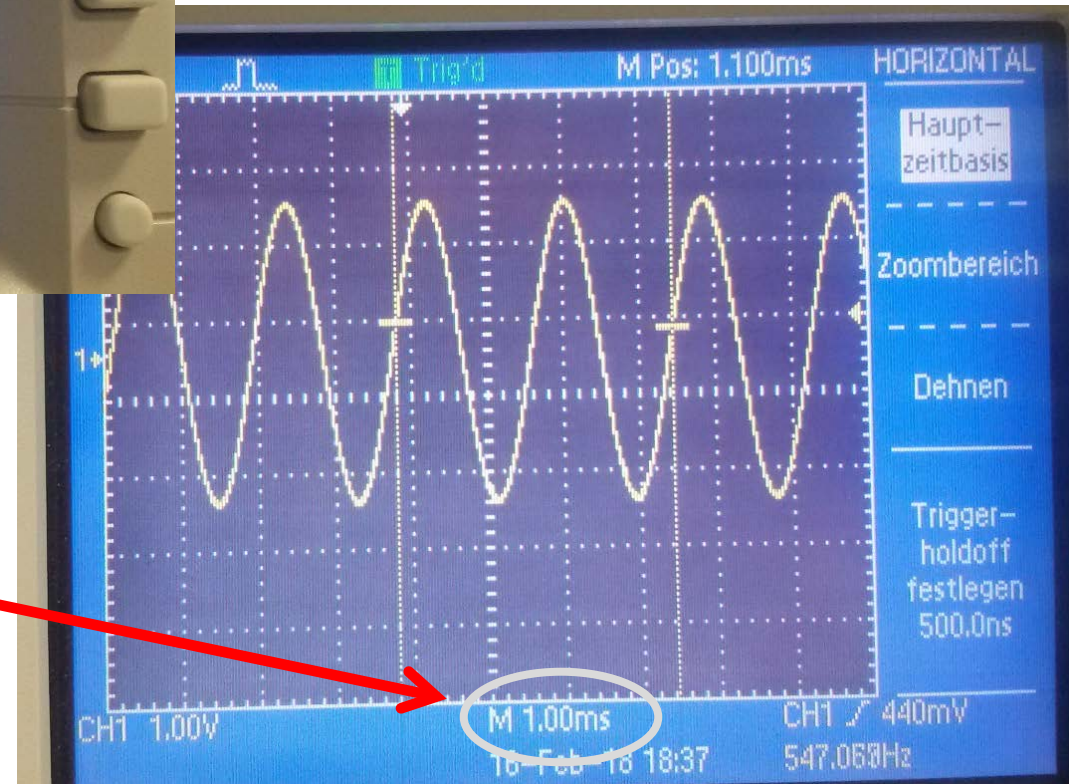
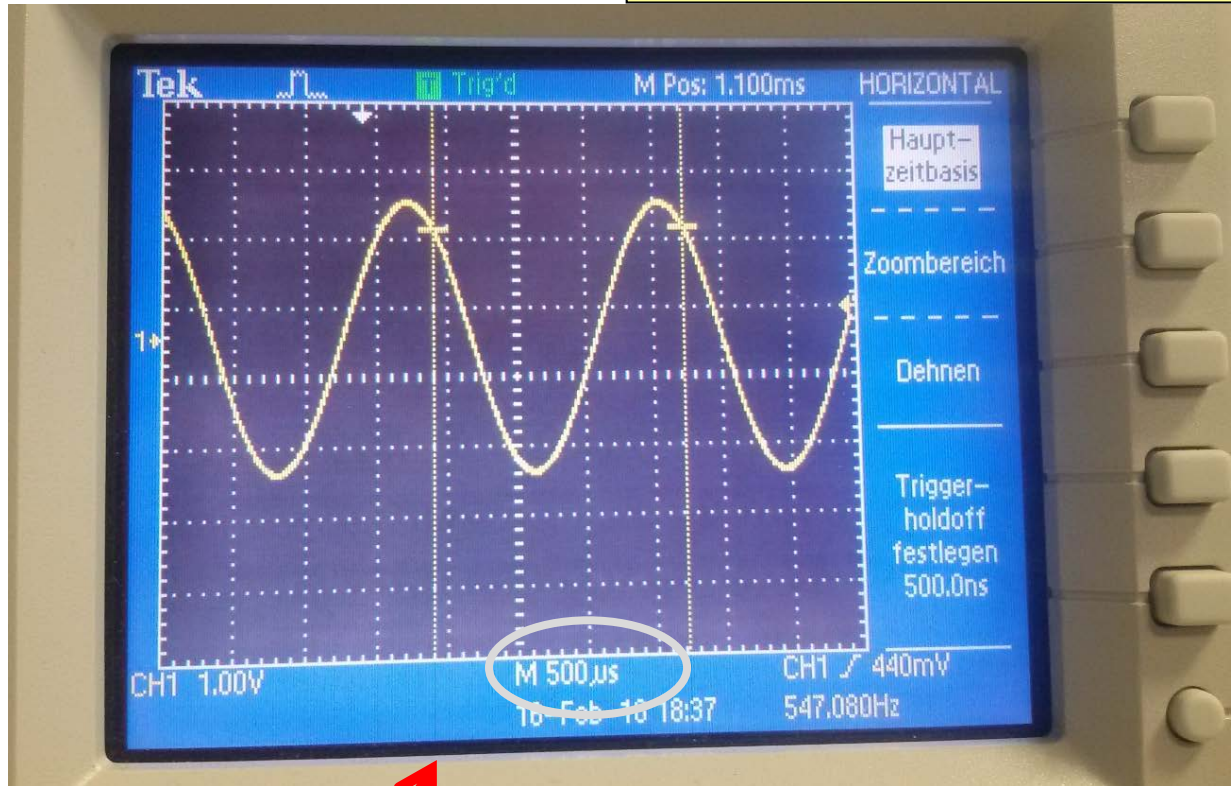
„Position“: Einstellung horizontaler Position aller Kanäle

Aufruf „horizontales“ Menue

SEC/DIV Skalierung der X-Achse, Zeitbasis

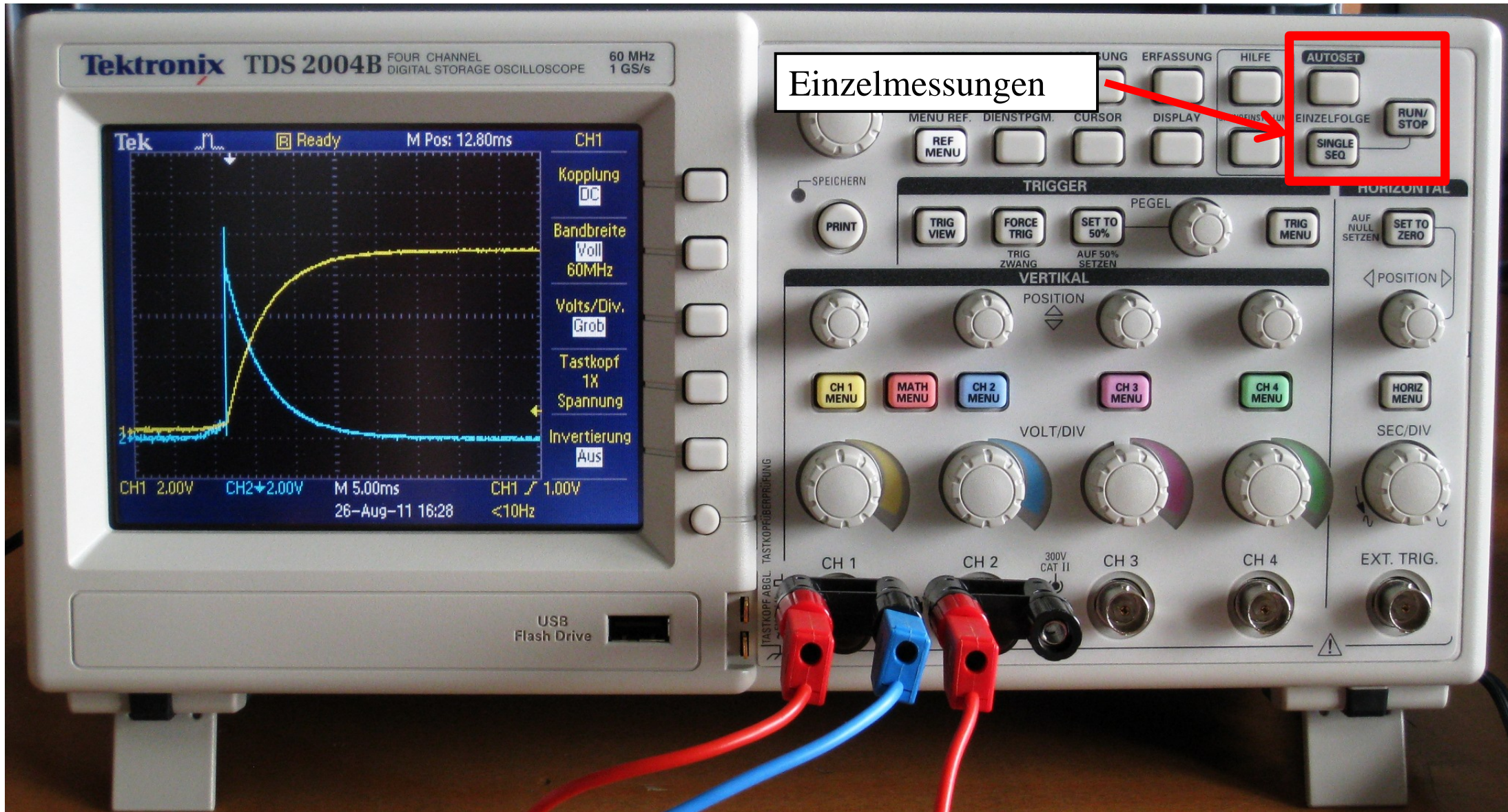
Horizontale Einstellungen

Digital Oszilloskop



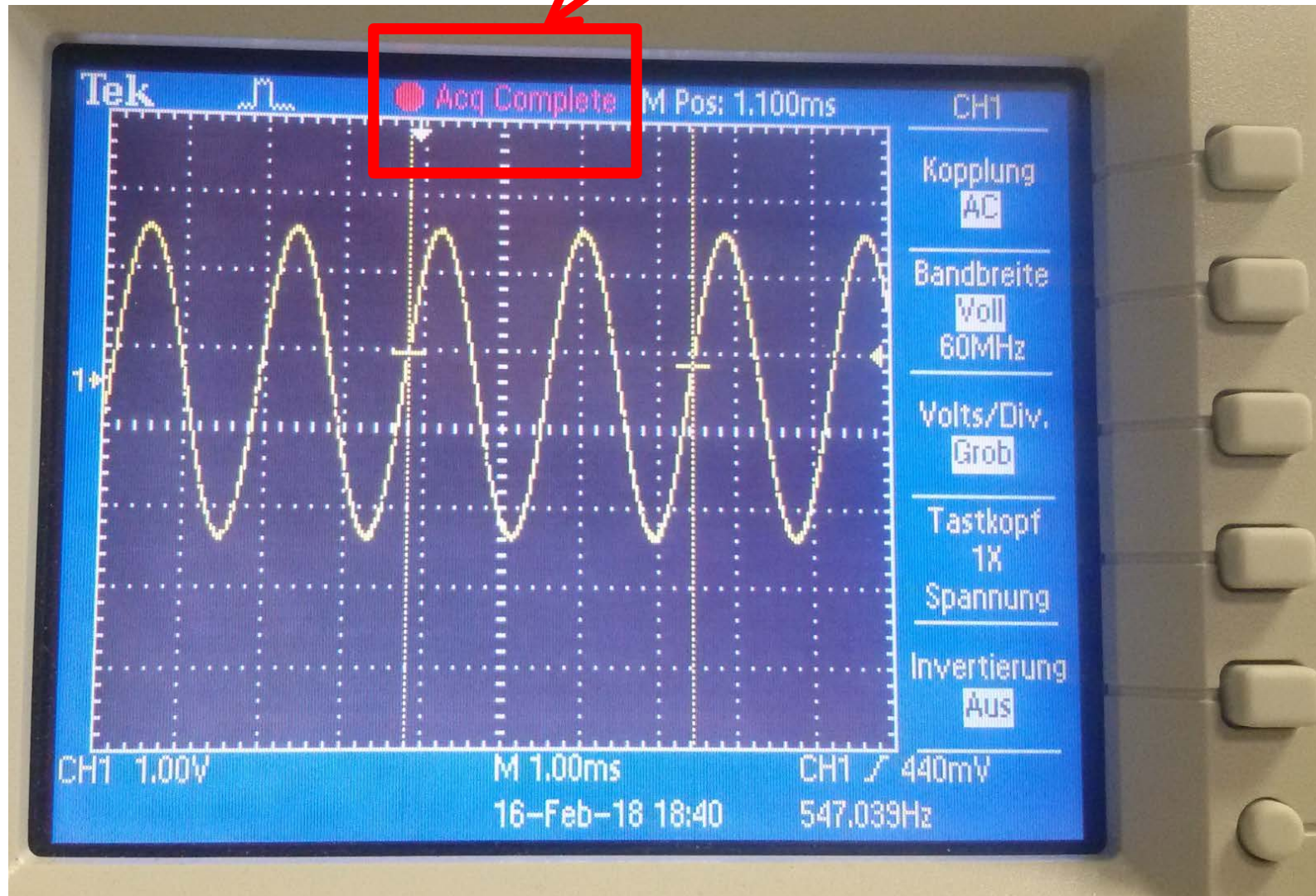
Horizontale Einstellungen: SEC/DIV
Skalierung der X-Achse, Zeitbasis

Digital Oszilloskop



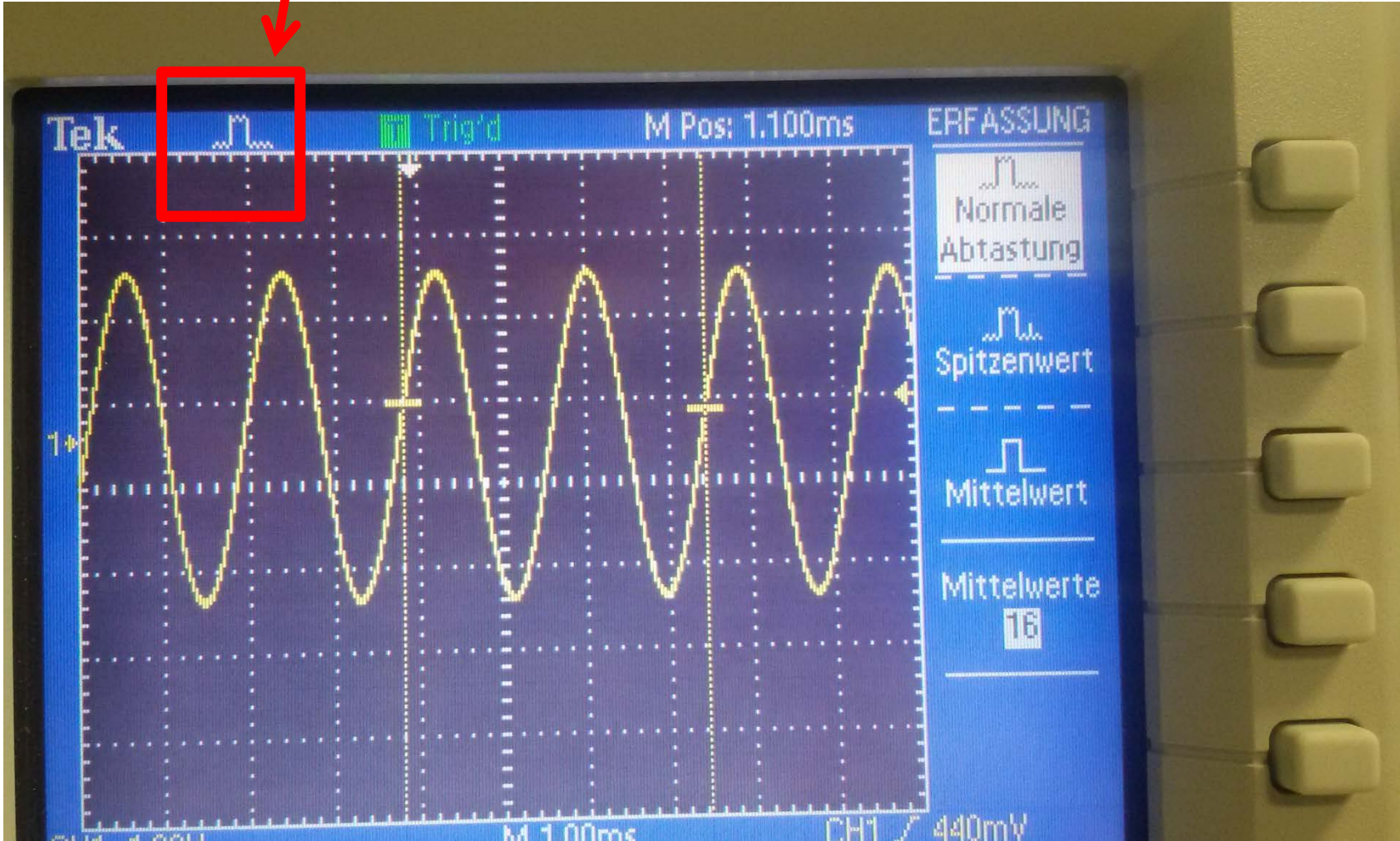
Digital Oszilloskop

Nach Aufnahme der Einzelmessungen

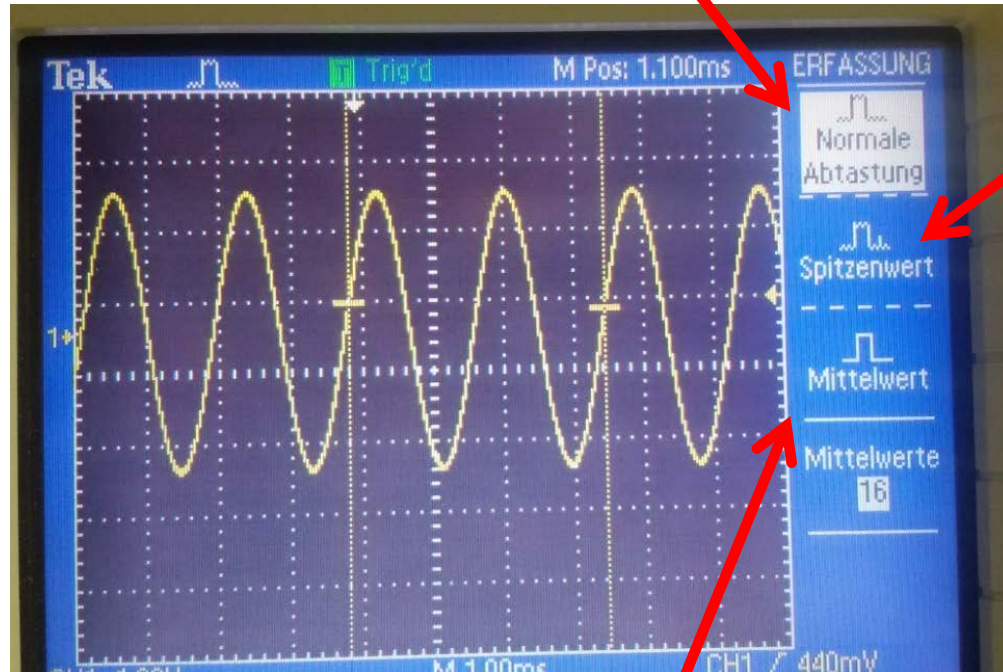


Digital Oszilloskop

Erfassungsmodus



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

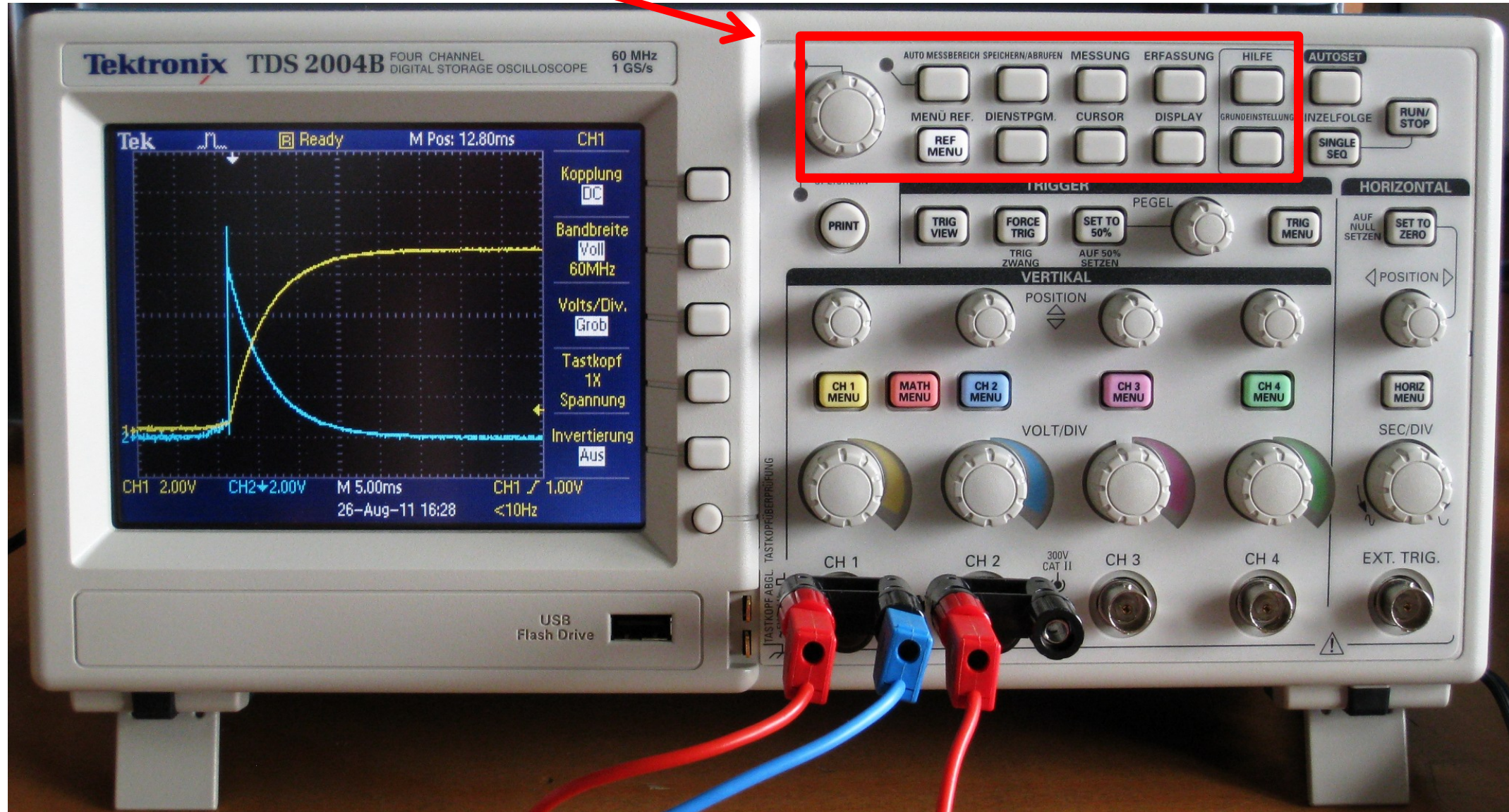


Spitzenwert: Oszi speichert Minima und Maxima der in zwei Signalintervallen erfassten Abtastpunkte und verwendet diese als die beiden einander zugeordneten Signalpunkte → Erfassung schneller Signaländerungen; Modus von Vorteil bei Darstellung von schmalen Impulsen in zeitlich großen Abständen

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

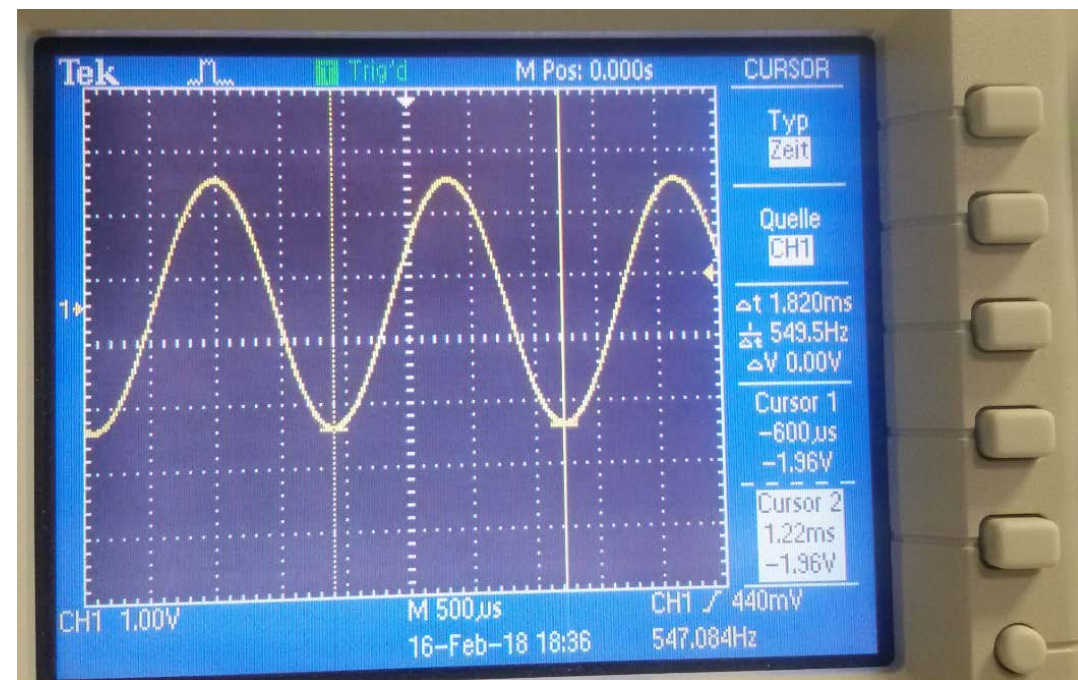
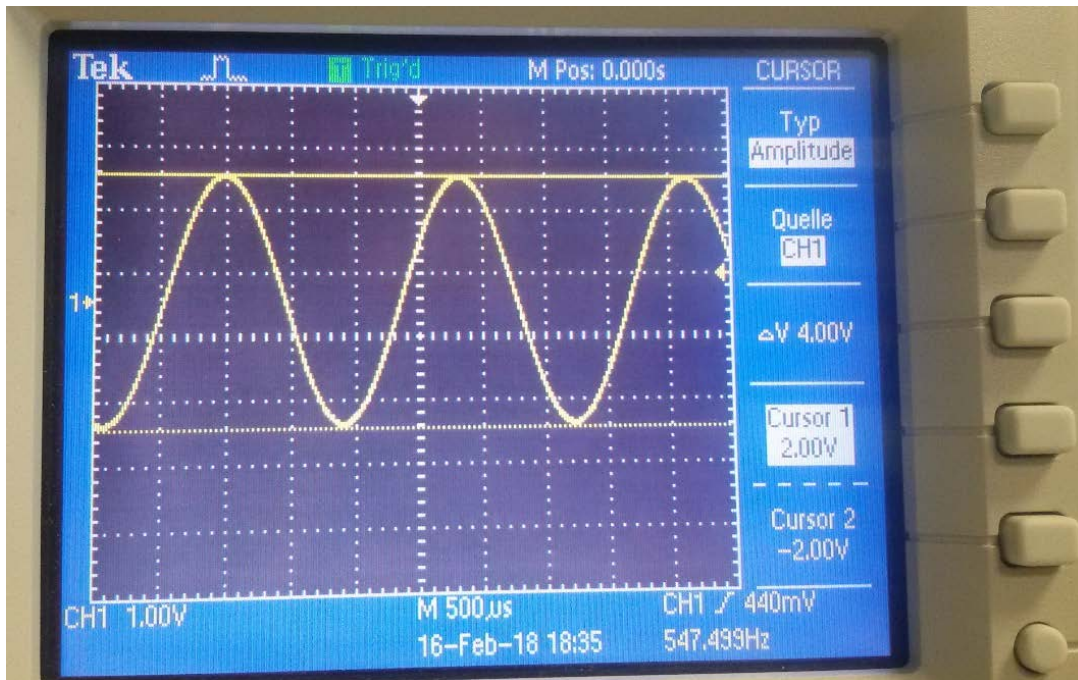


Digital Oszilloskop

Messungen mit Cursor

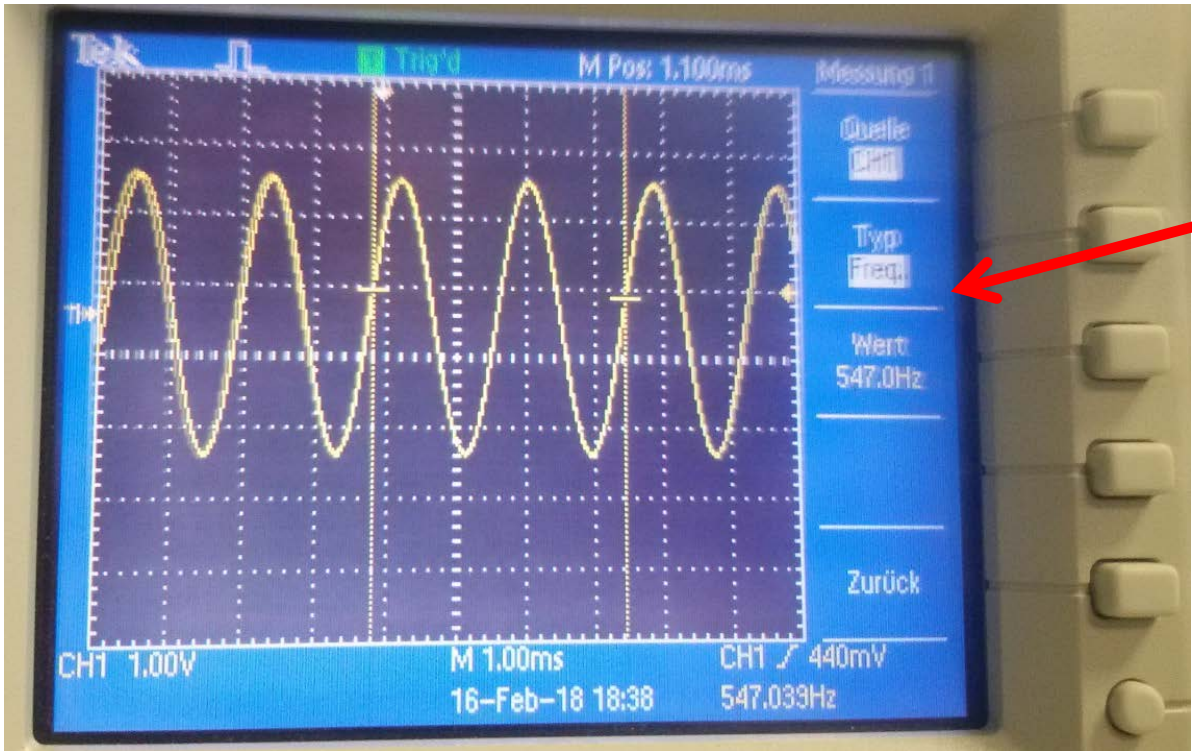


Cursor bewegen mit Mehrfunktions Drehknopf



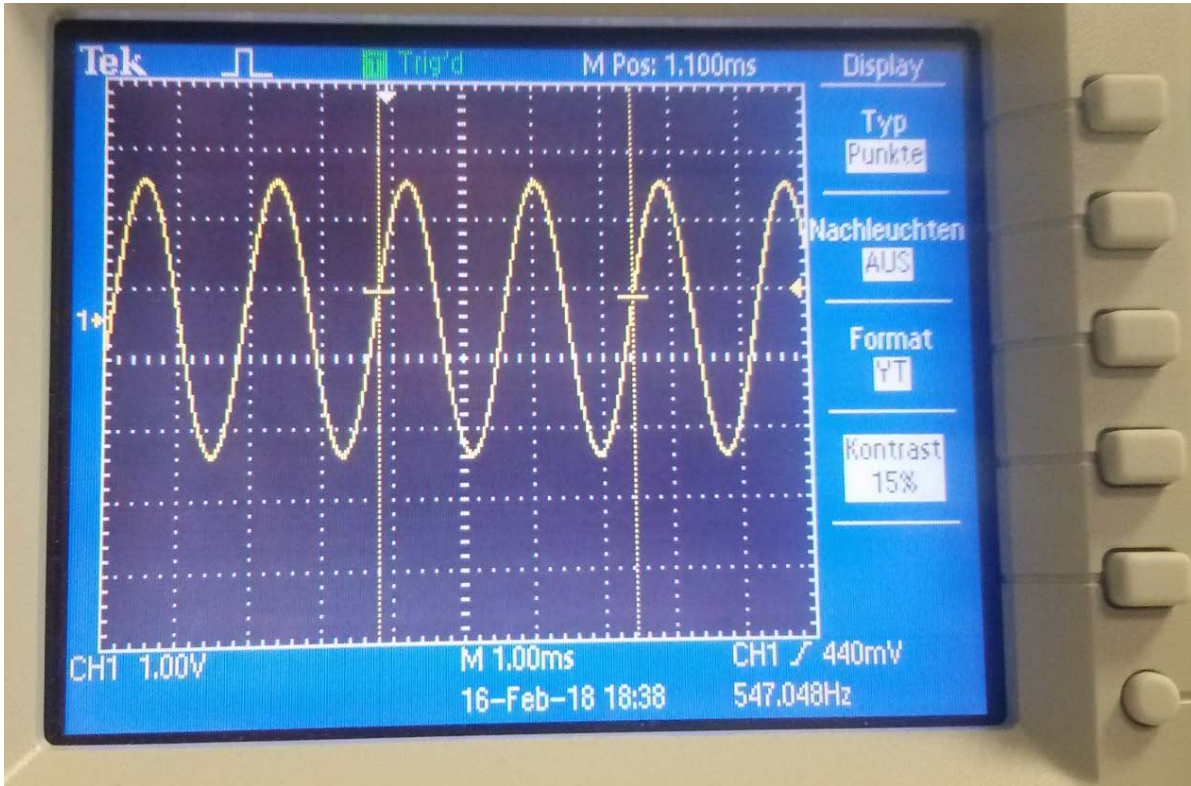
Digital Oszilloskop

Messung



Digital Oszilloskop

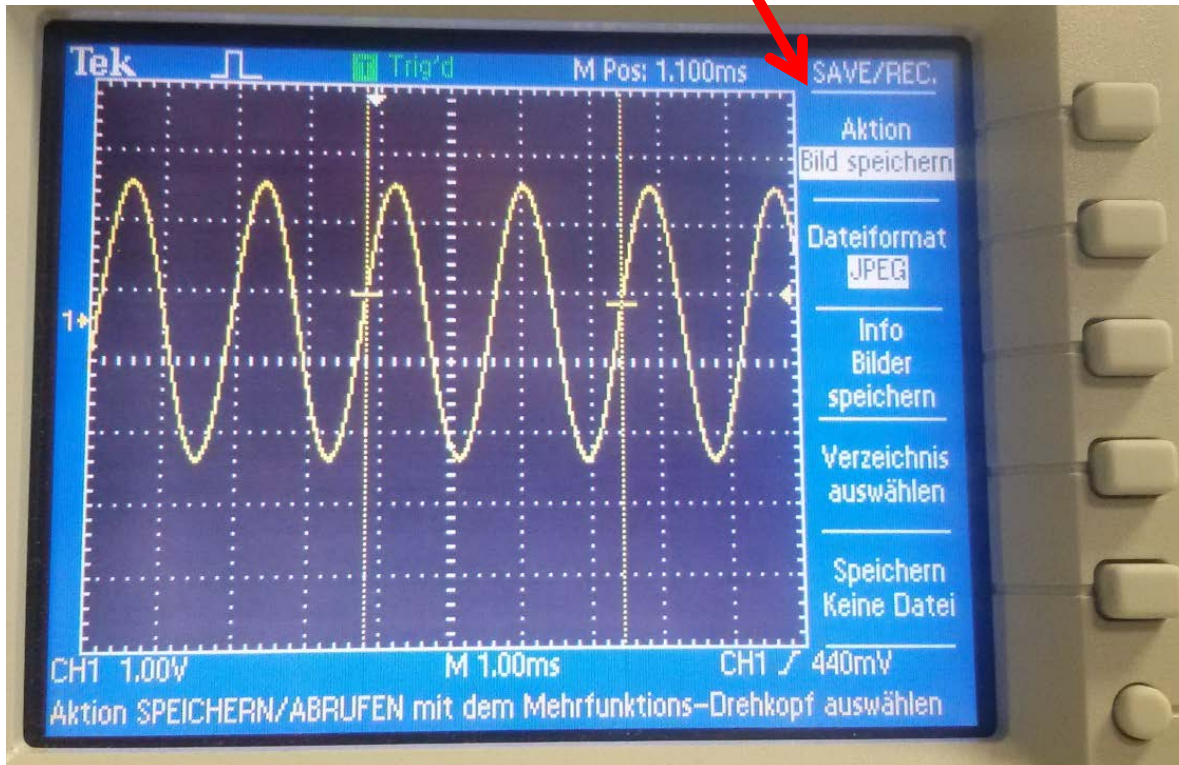
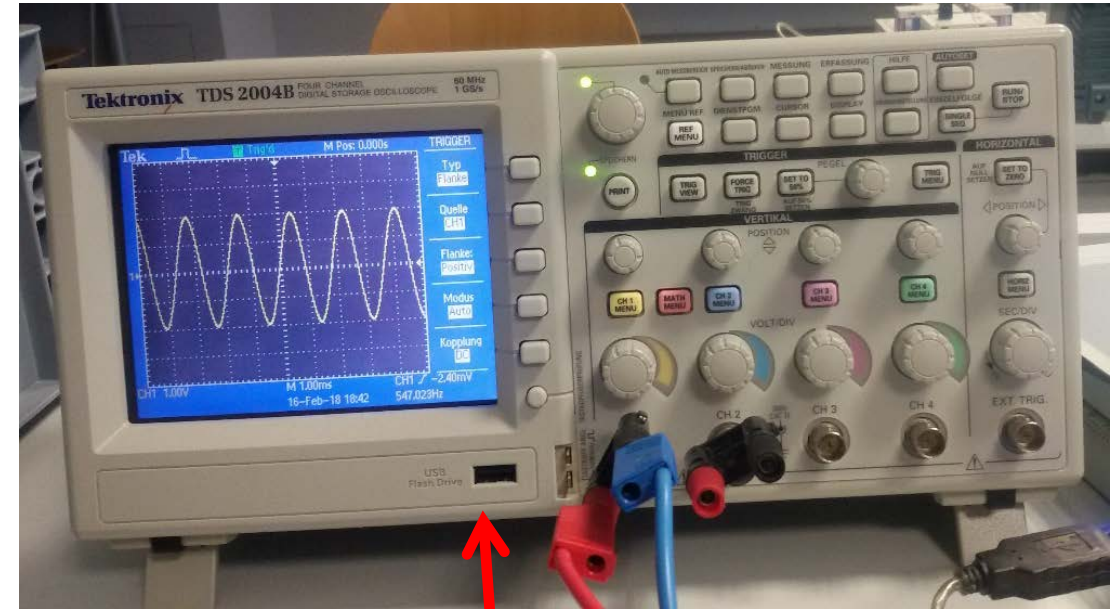
Display



Format:
YT oder
XY: → Lissajous-Figuren

Speichern

Digital Oszilloskop



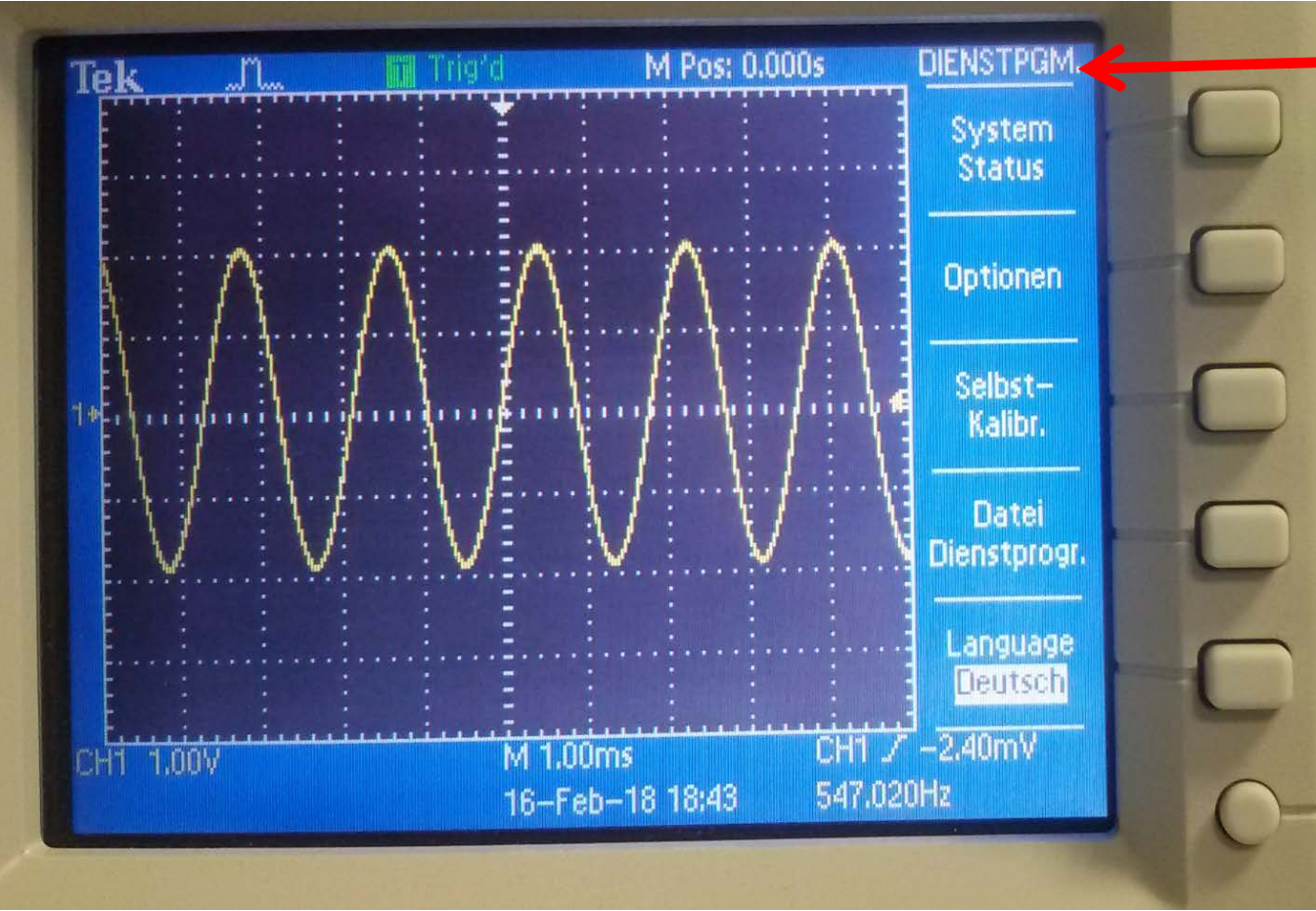
SAVE/REC:

Bilder oder Daten speichern auf USB Stick

ABER: Nicht jeder USB-Stick wird erkannt

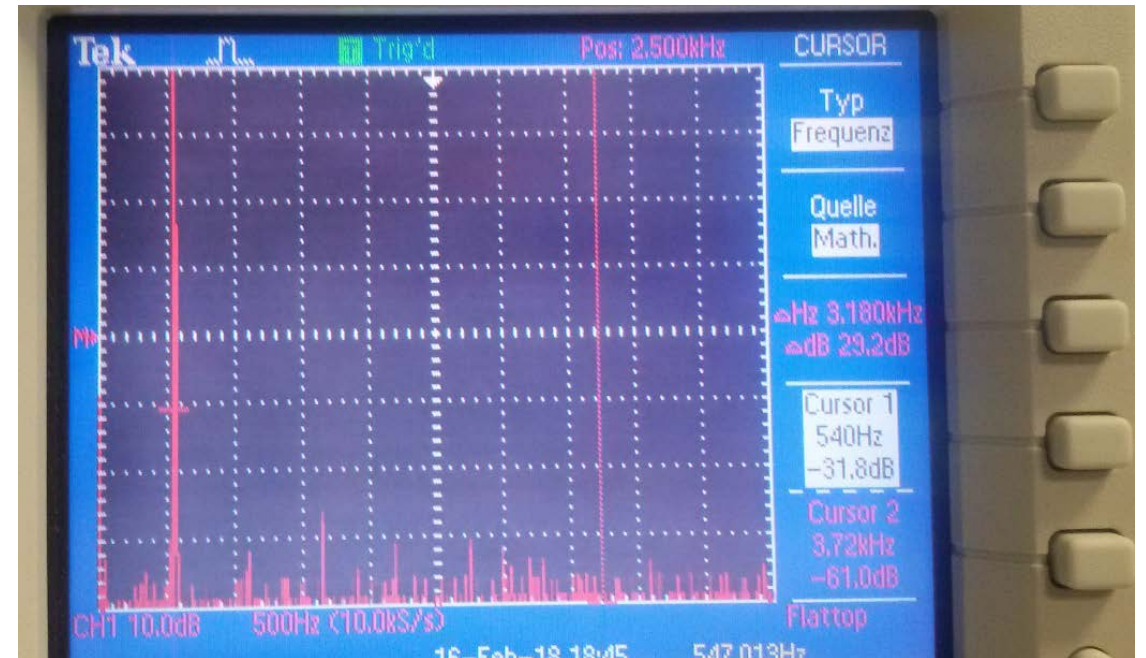
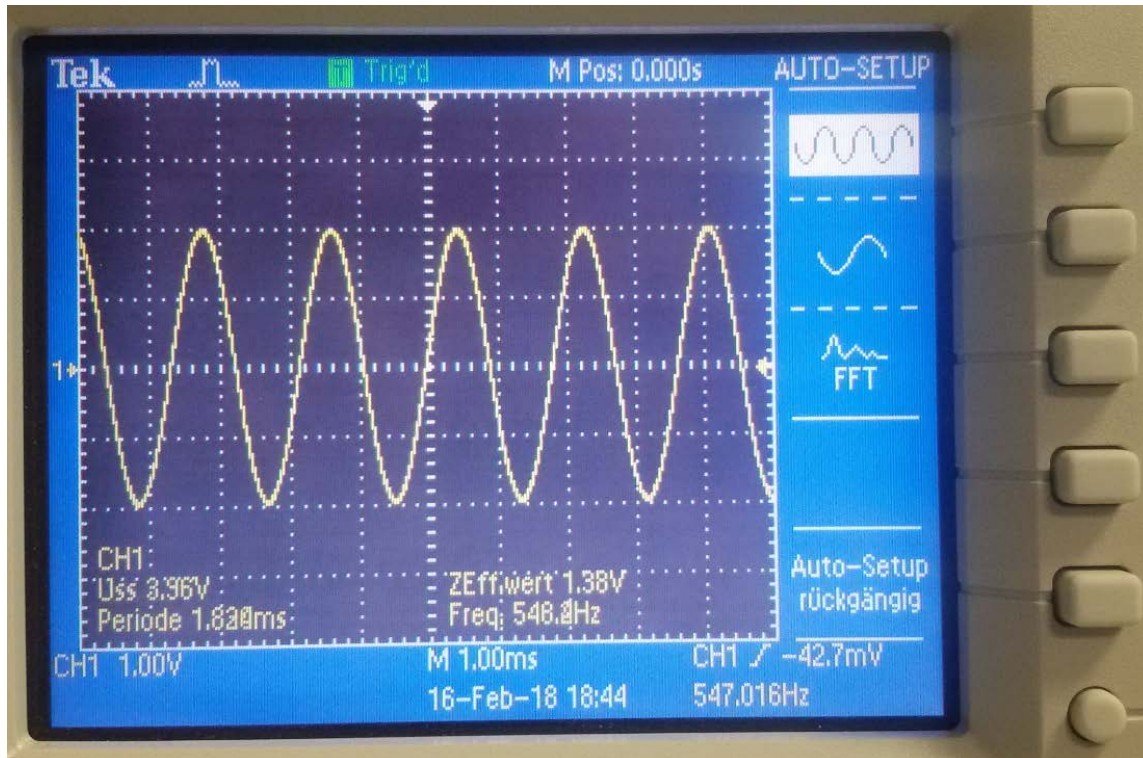
Digital Oszilloskop

Dienstprogramme

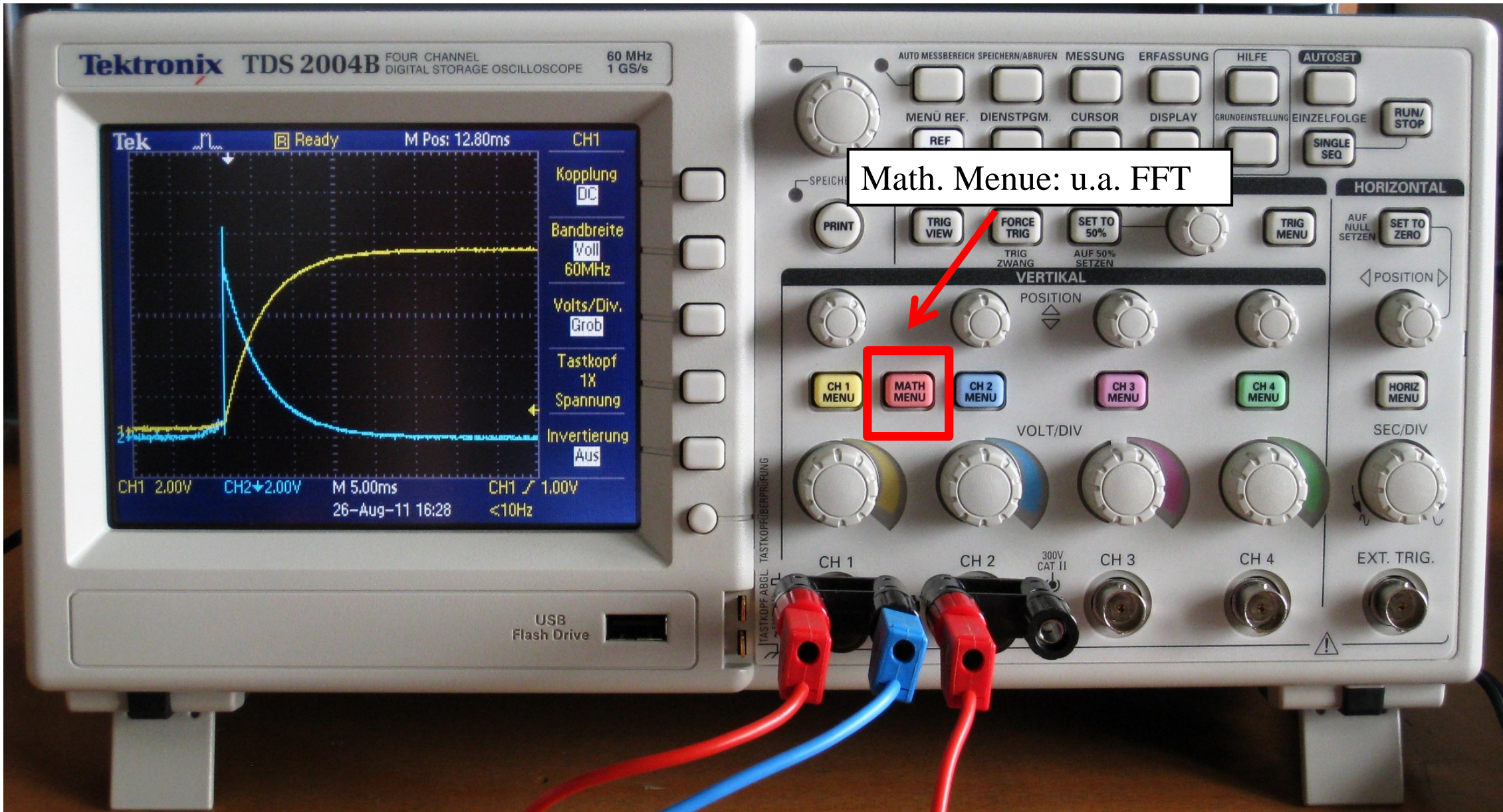


Digital Oszilloskop

Autosetup

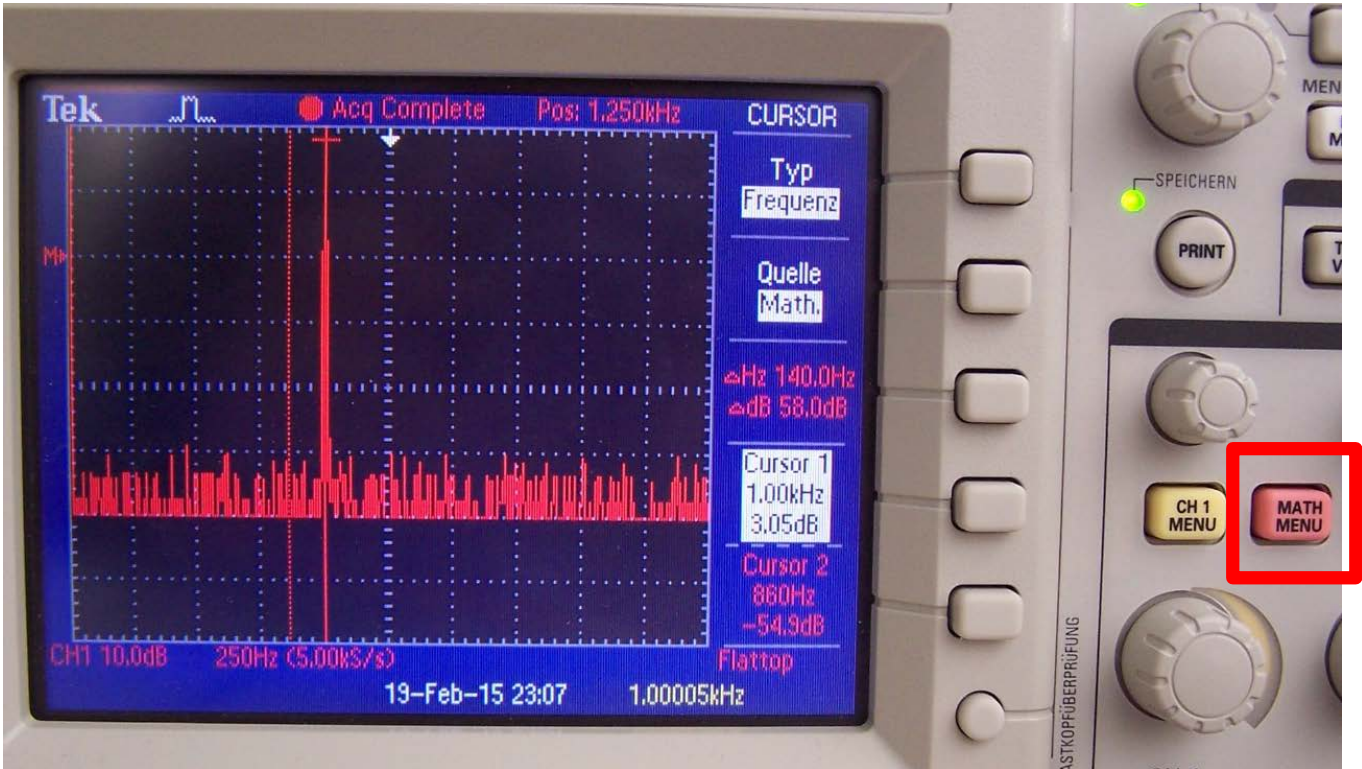
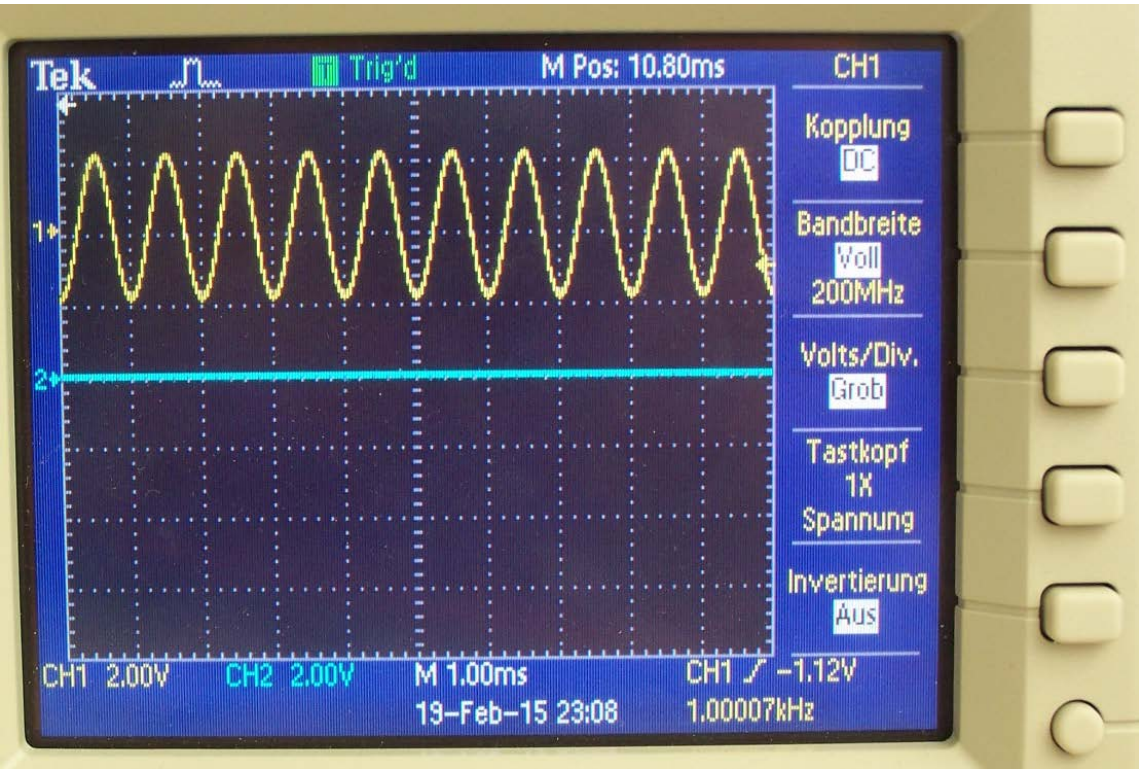


Digital Oszilloskop

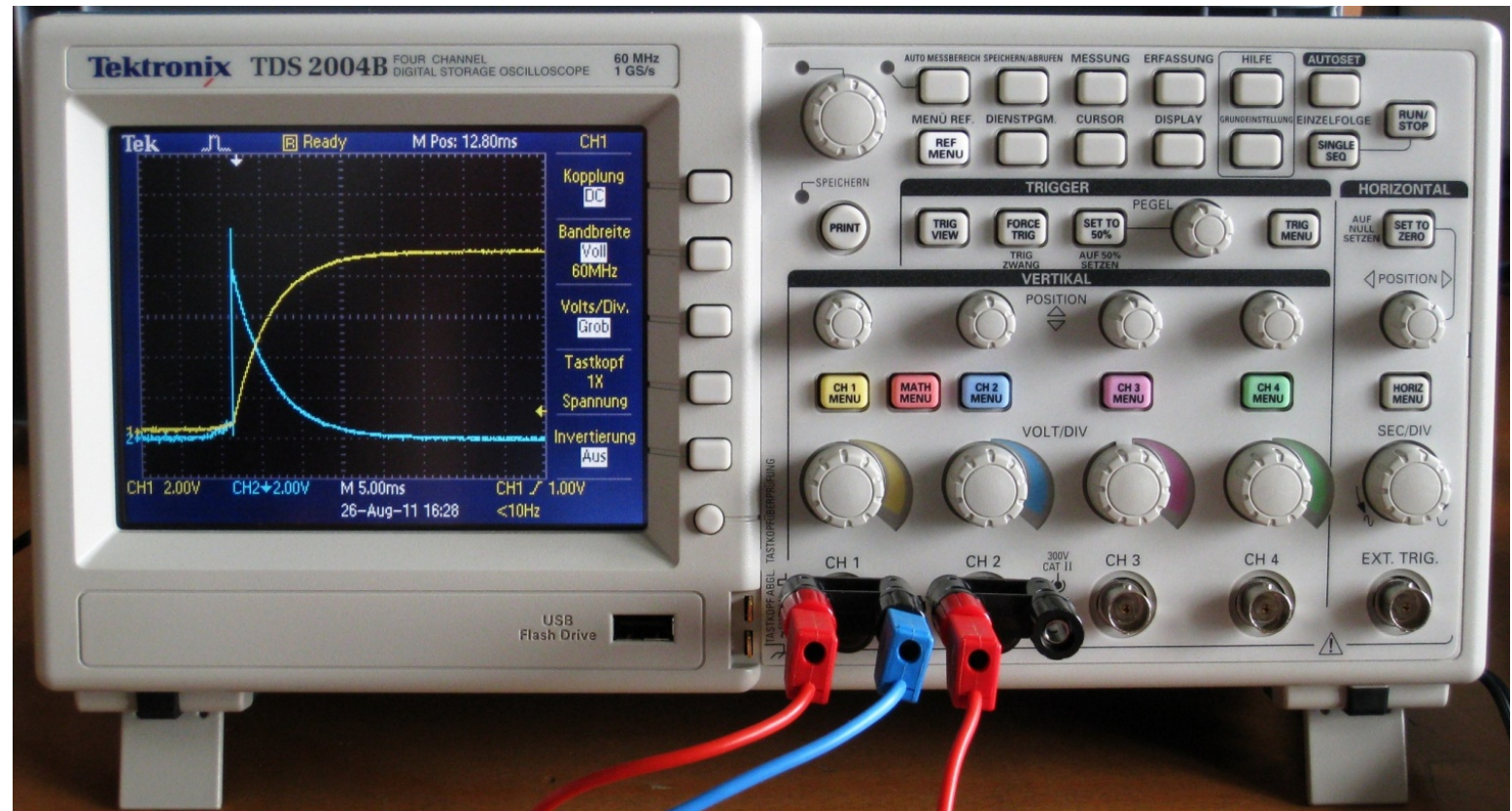
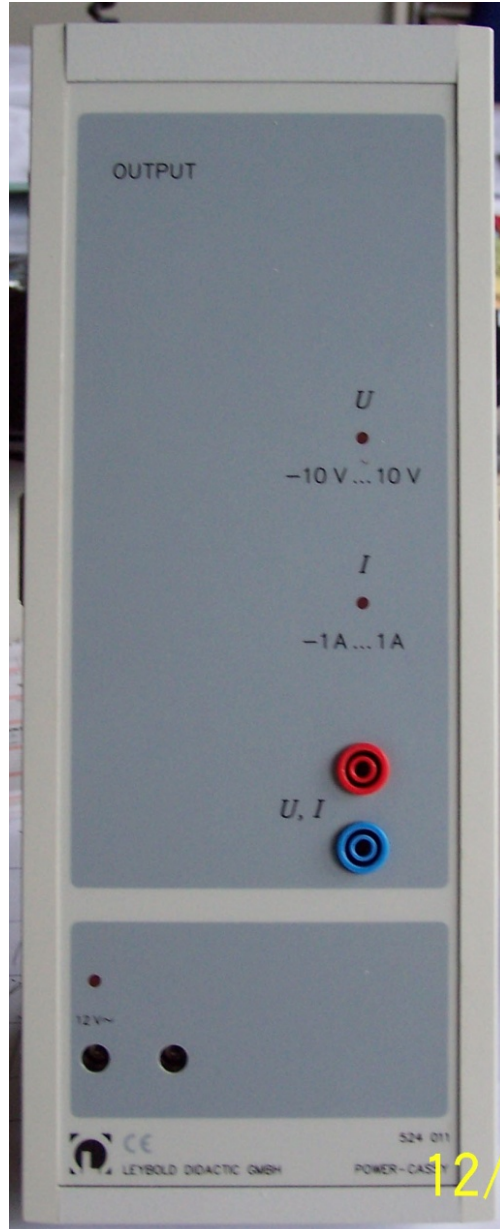


Digital Oszilloskop

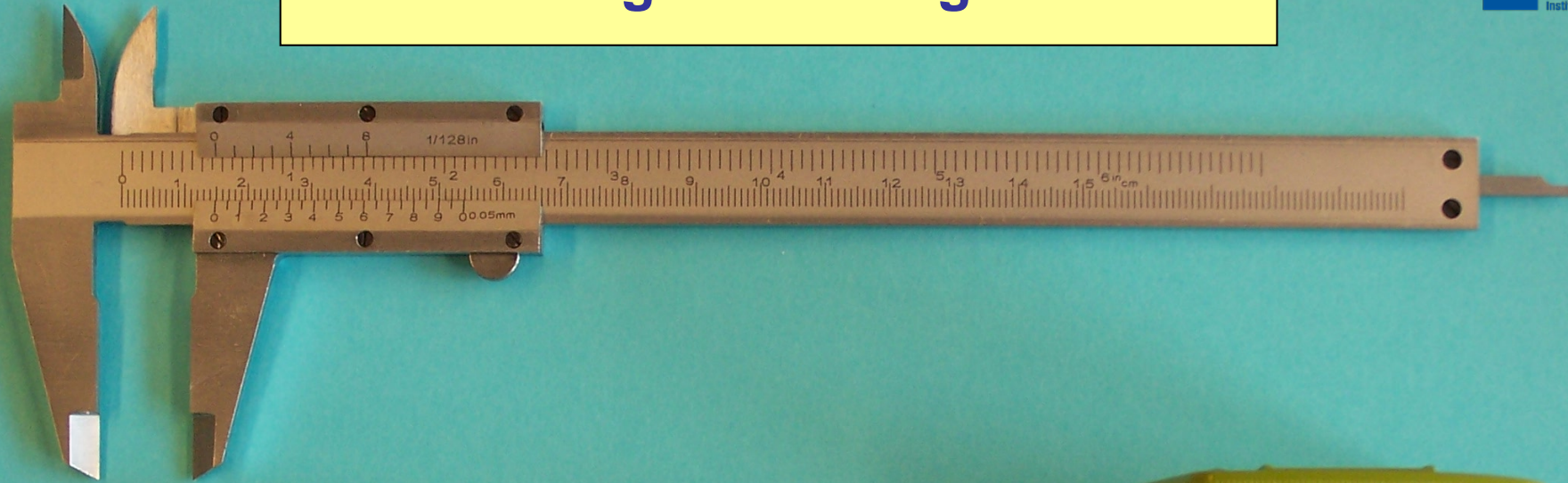
FFT einer Einzelmessung einer Schwingung



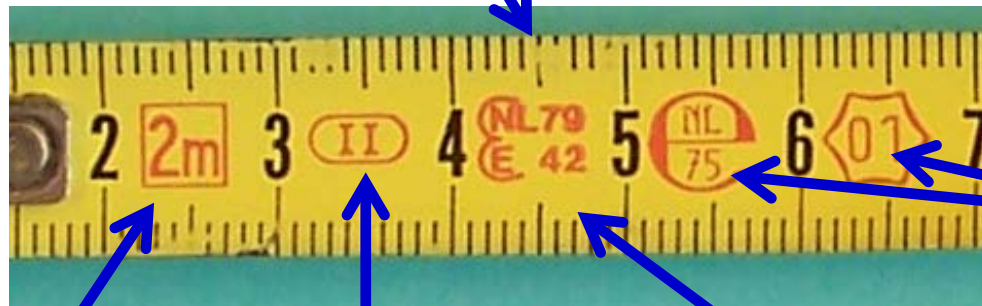
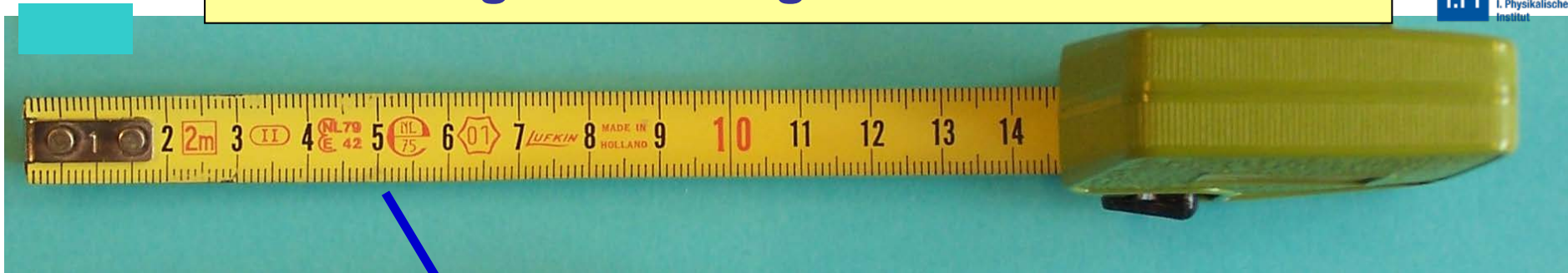
Power Cassy vs Oszilloskop, 4. Übung



Längenmessungen



Längenmessungen mit Maßband



Länge
Maßband

EG-Genauigkeits-
klasse

Modell
Genehmigungs-Nr.

Aufdruck für
Eichung

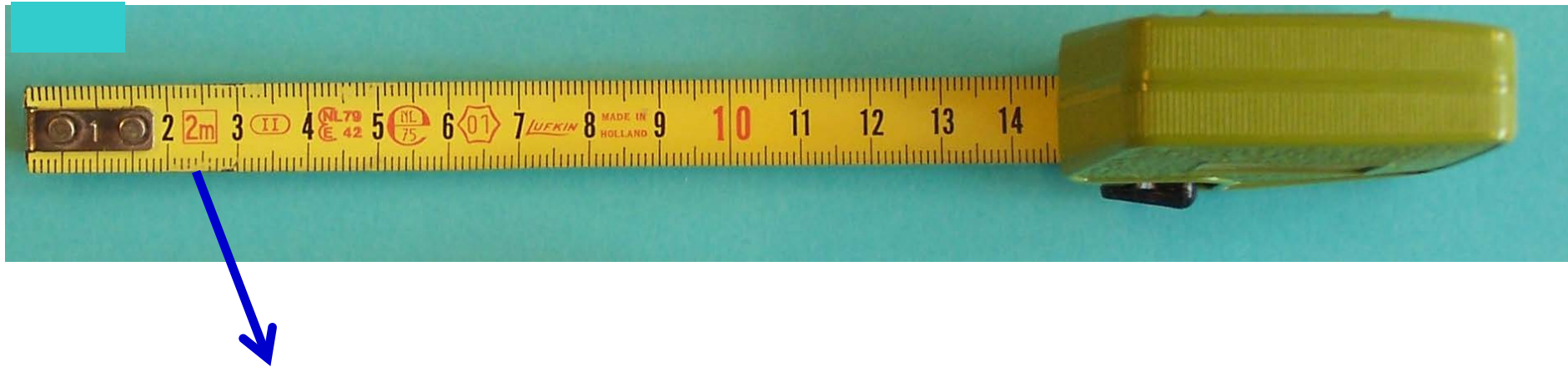
Toleranzen der Maßbänder nach Klasse I und II werden ermittelt:

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

L = Nominallänge in Metern

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

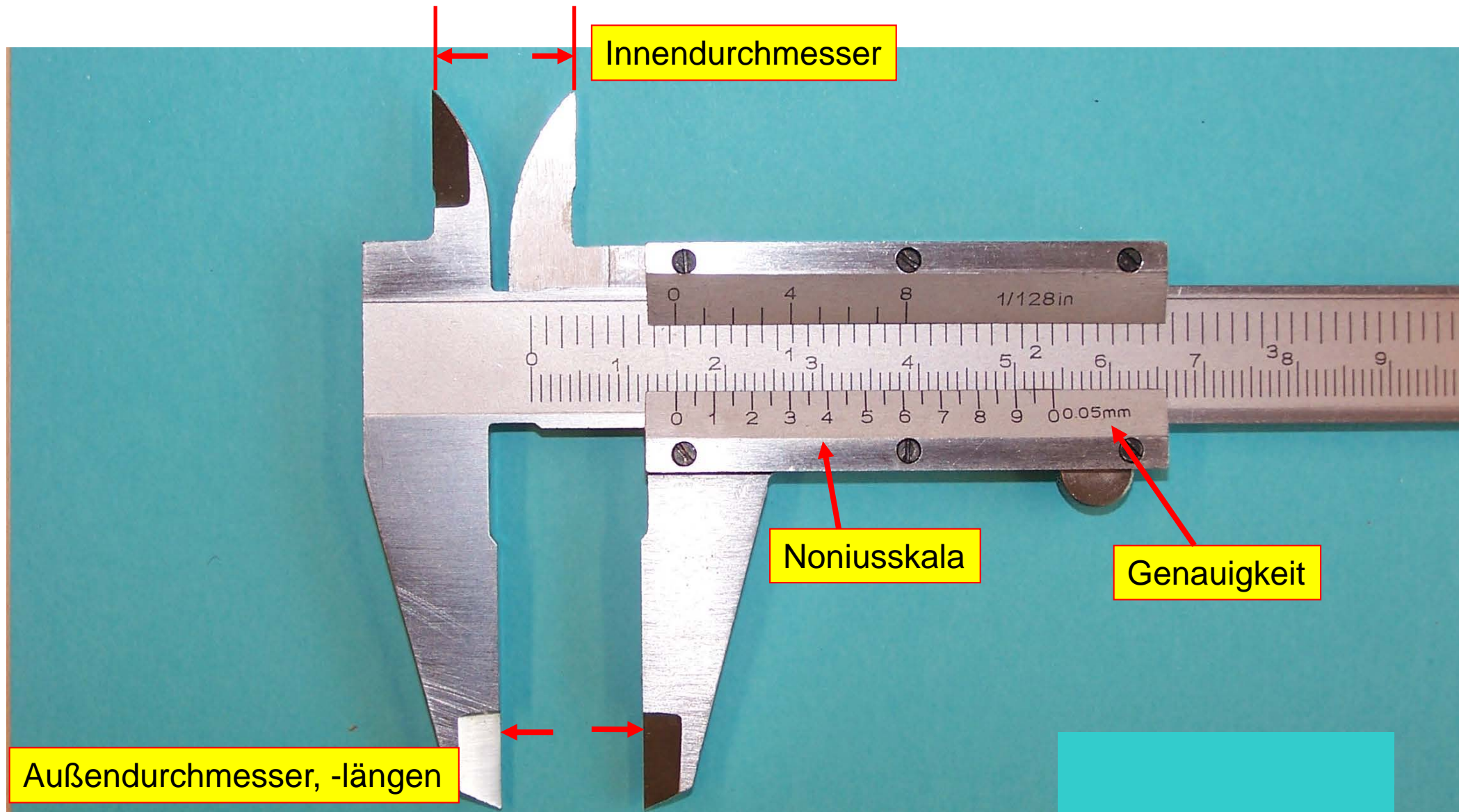
$$2 \text{ m Band / EG-Klasse II: } (0,3 + 0,2 \times 2) = \pm 0,7 \text{ mm Abweichung}$$



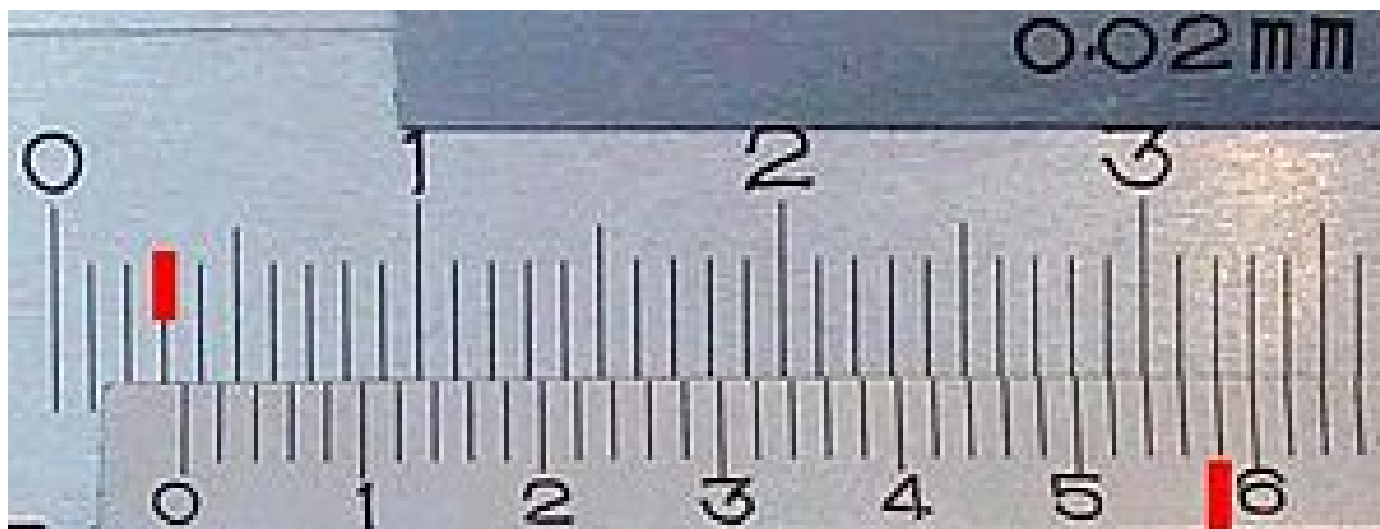
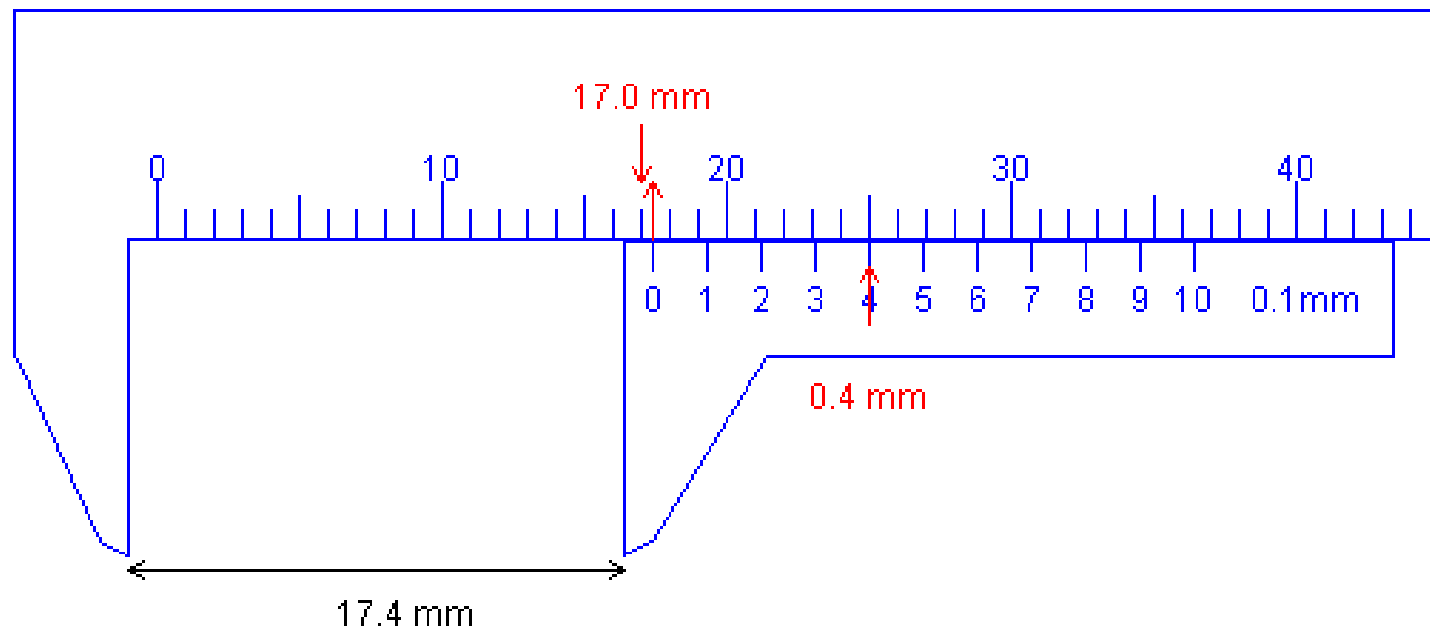
Messunsicherheiten:

- 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

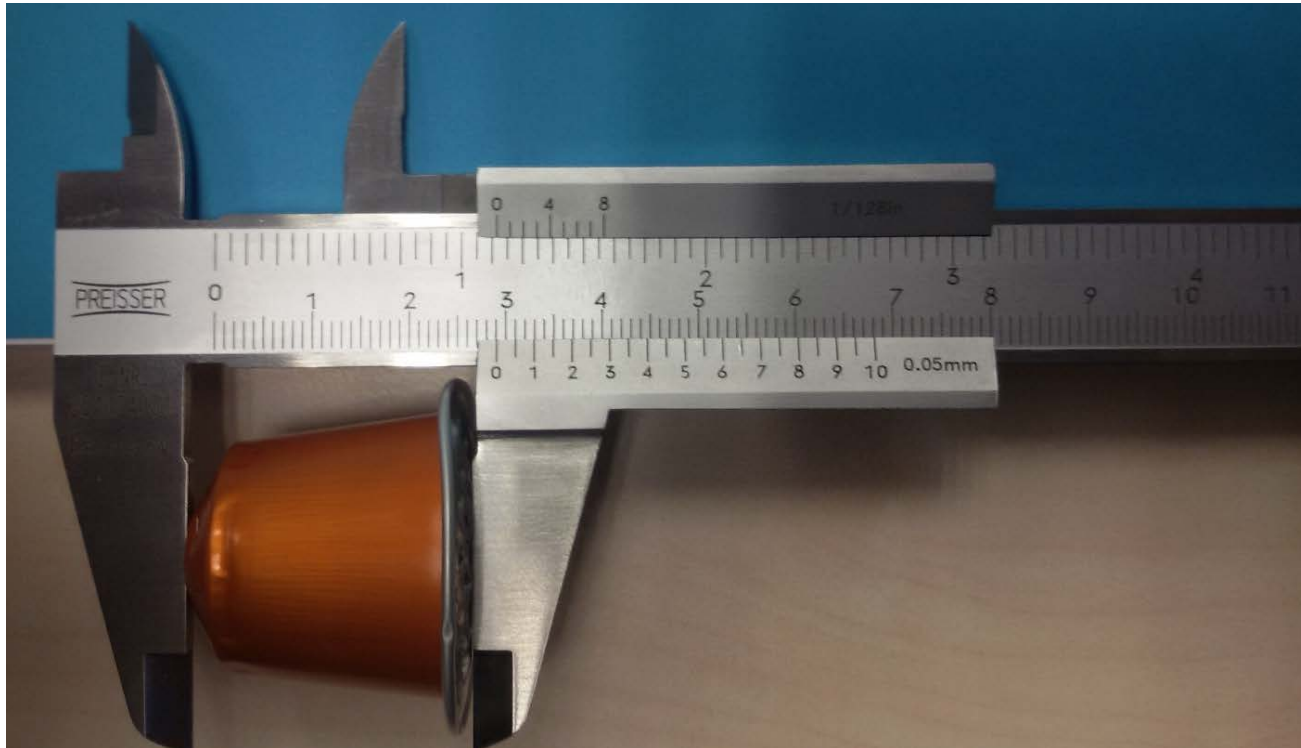
Längenmessungen mit Messschieber



Längenmessungen mit Messschieber



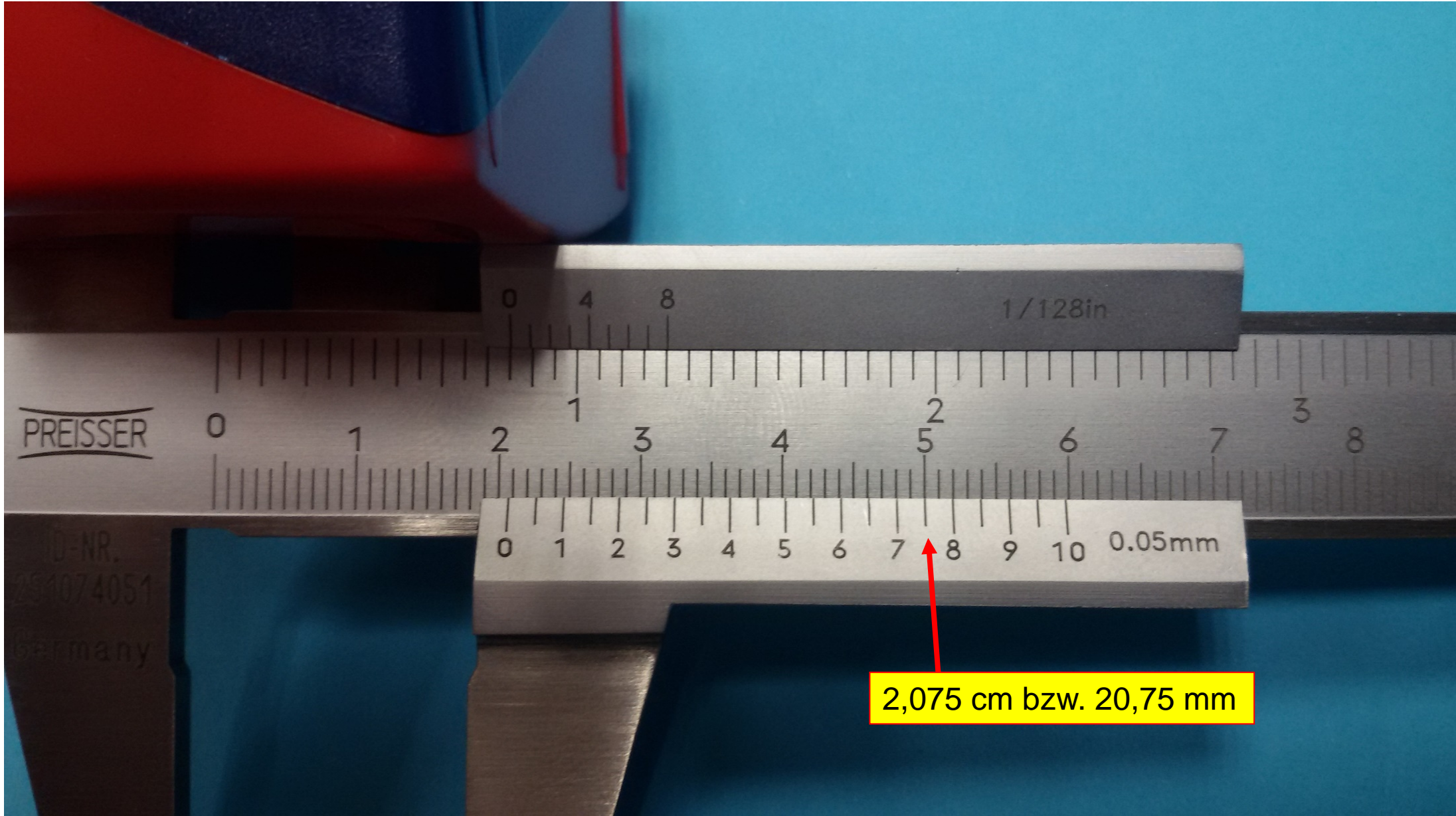
Längenmessungen mit Messschieber



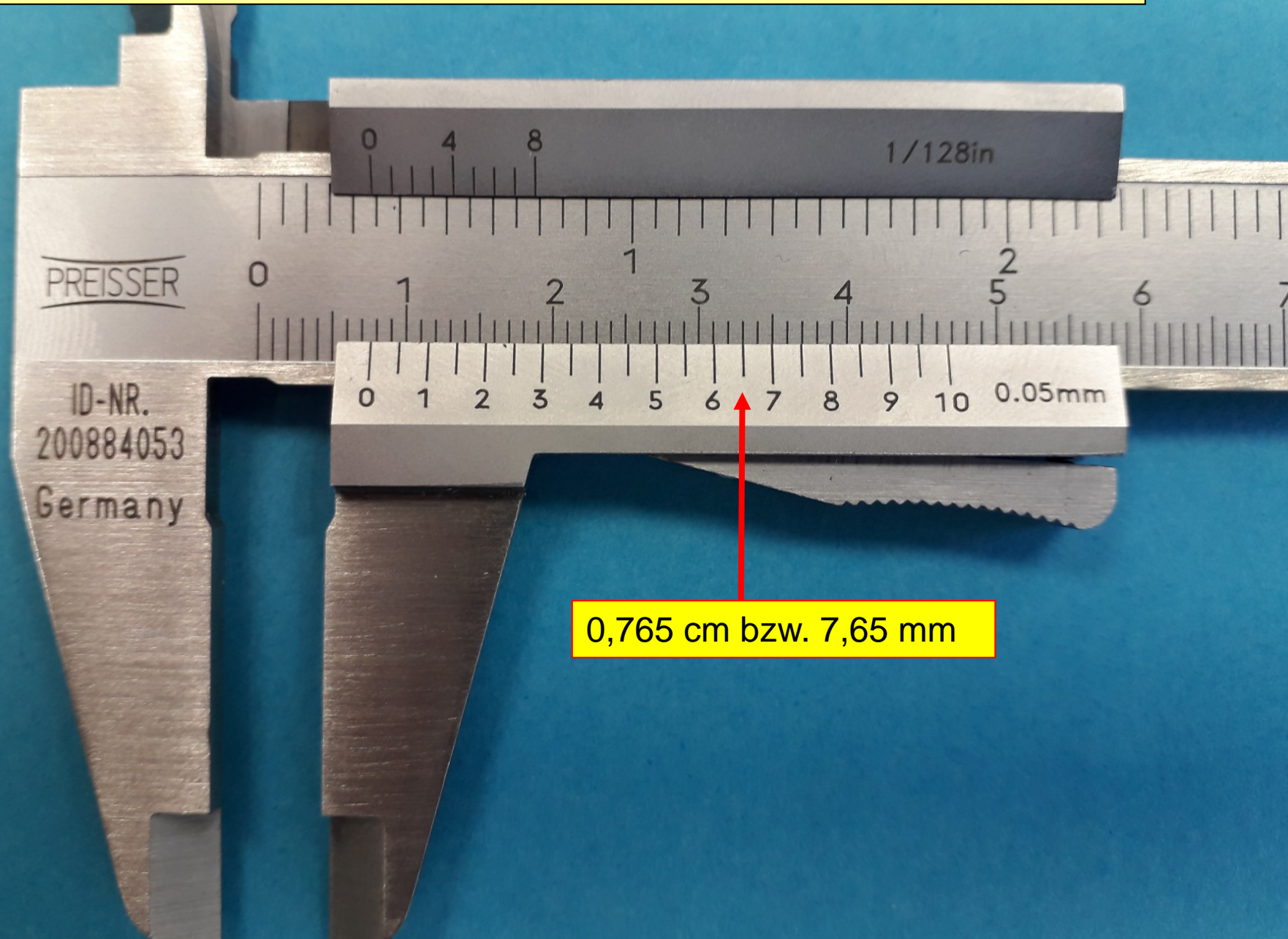
29,05 mm



Längenmessungen mit Messschieber

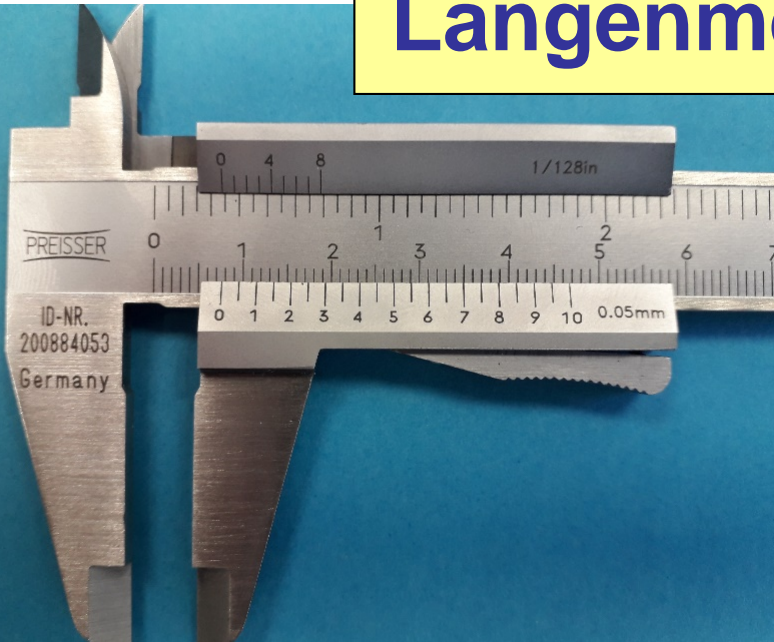


Längenmessungen mit Messschieber



0,765 cm bzw. 7,65 mm

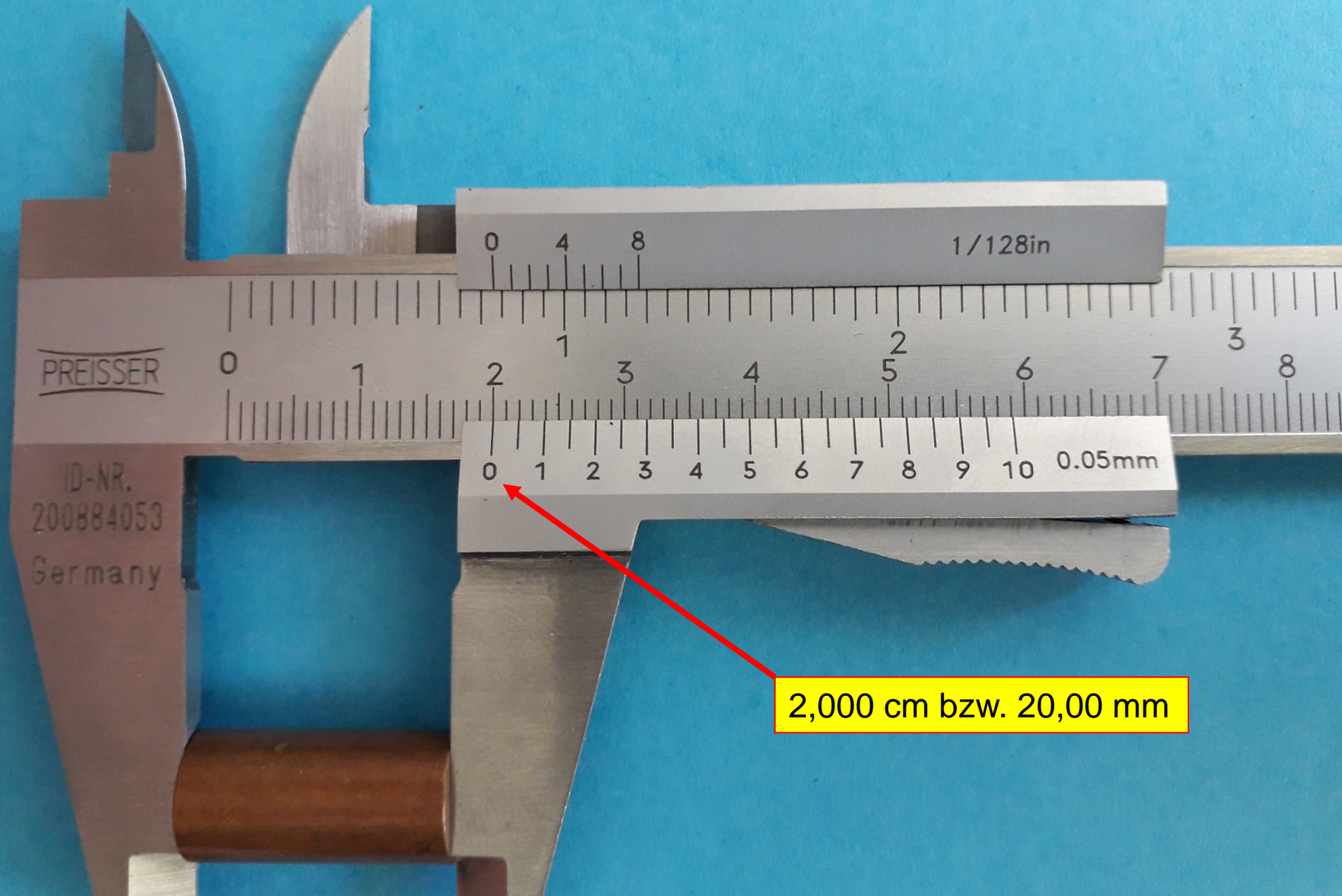
Längenmessungen mit Messschieber



0,765 cm bzw. 7,65 mm



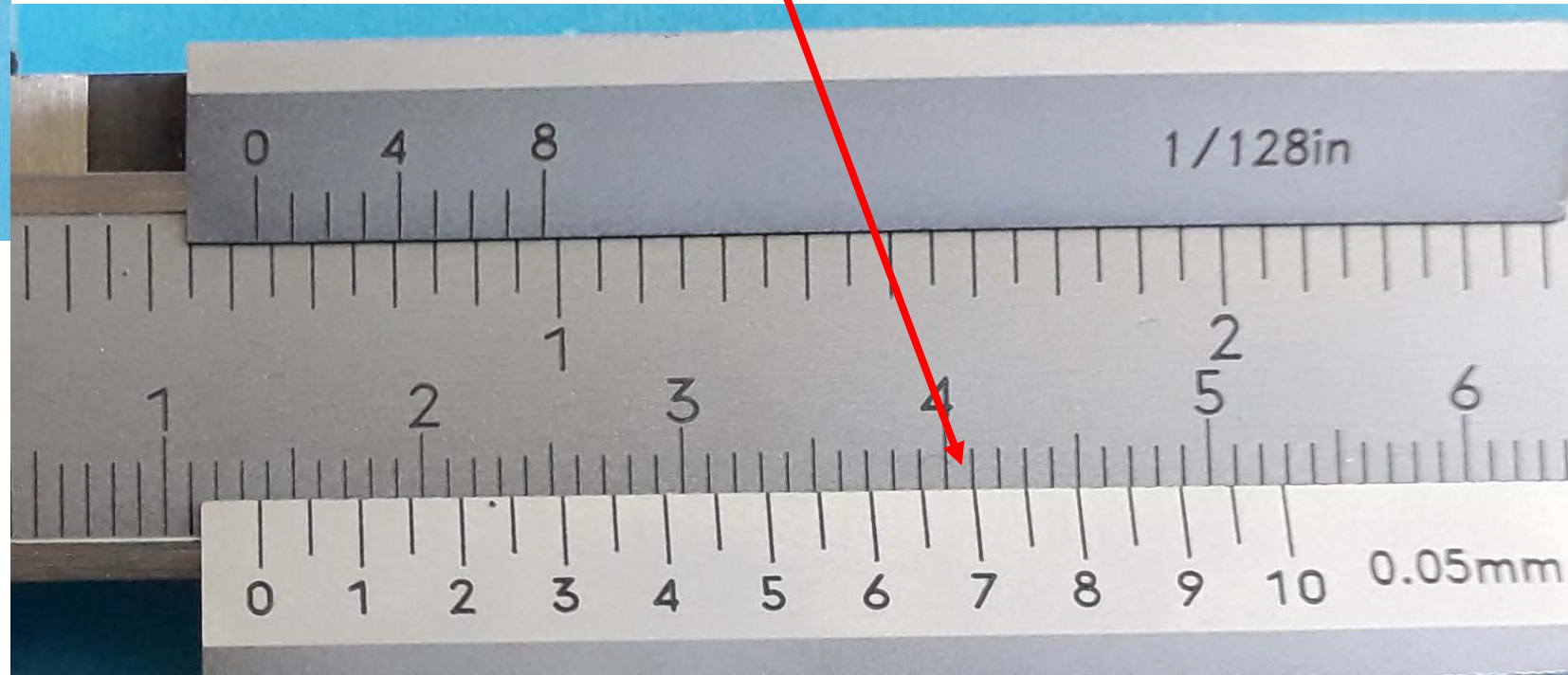
Längenmessungen mit Messschieber



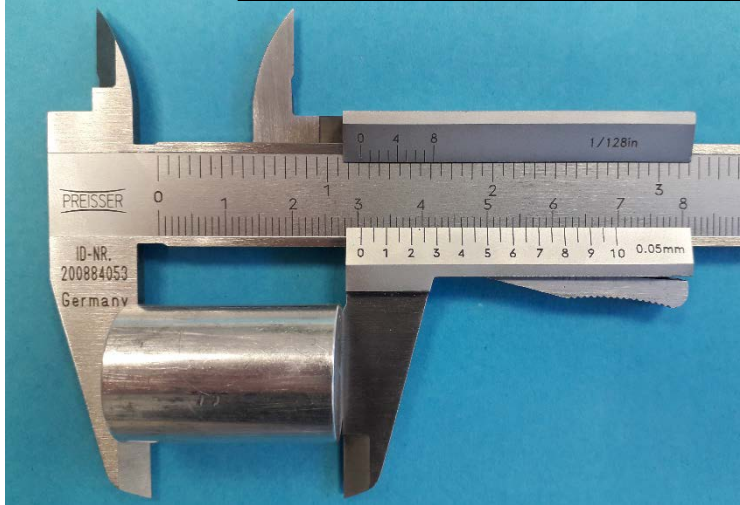
Längenmessungen mit Messschieber



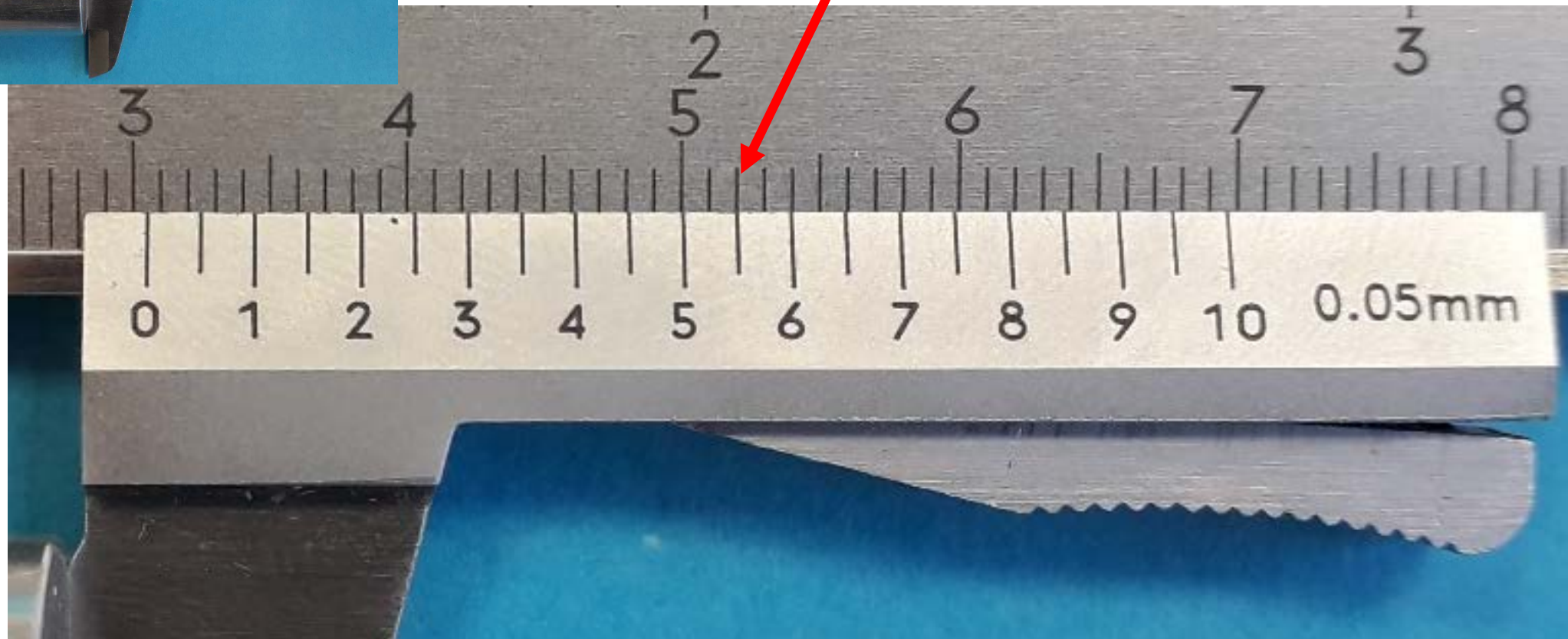
1,37 cm bzw. 13,70 mm



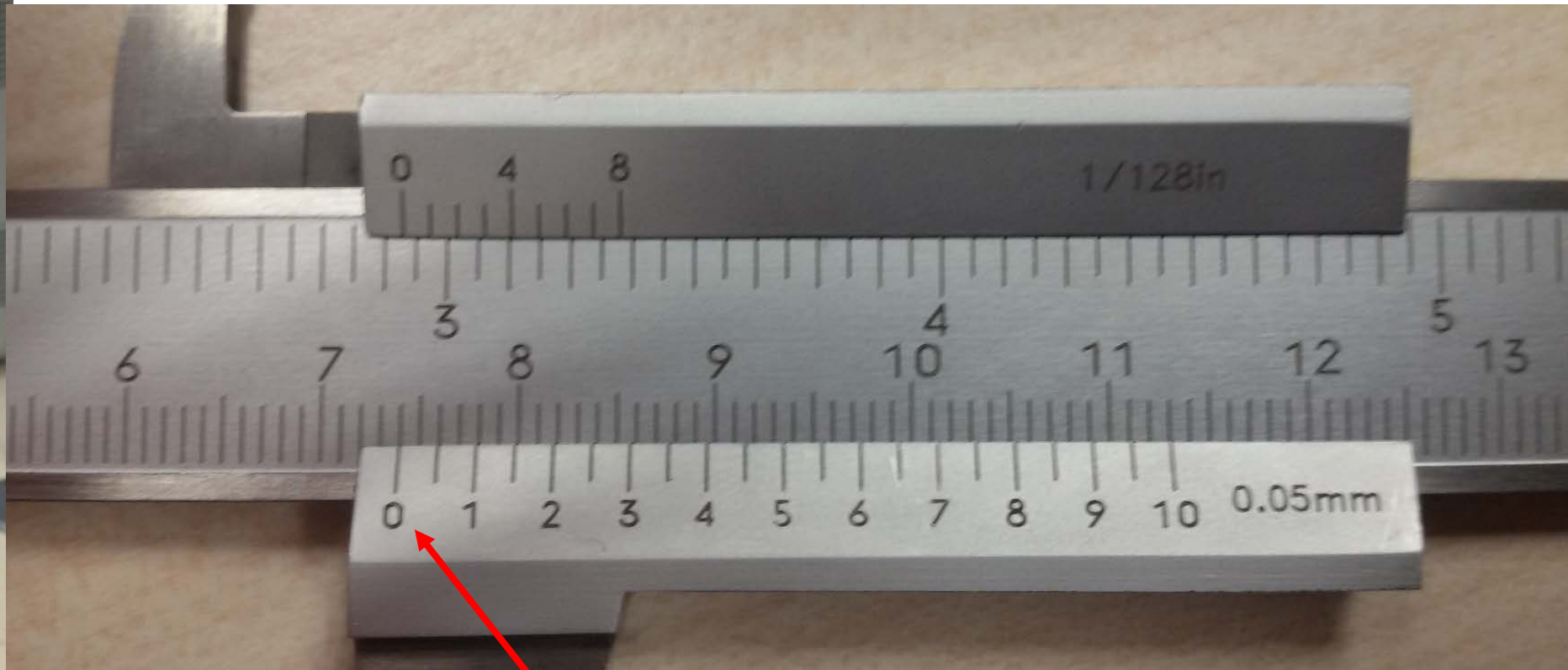
Längenmessungen mit Messschieber



3,055 cm bzw. 30,55 mm

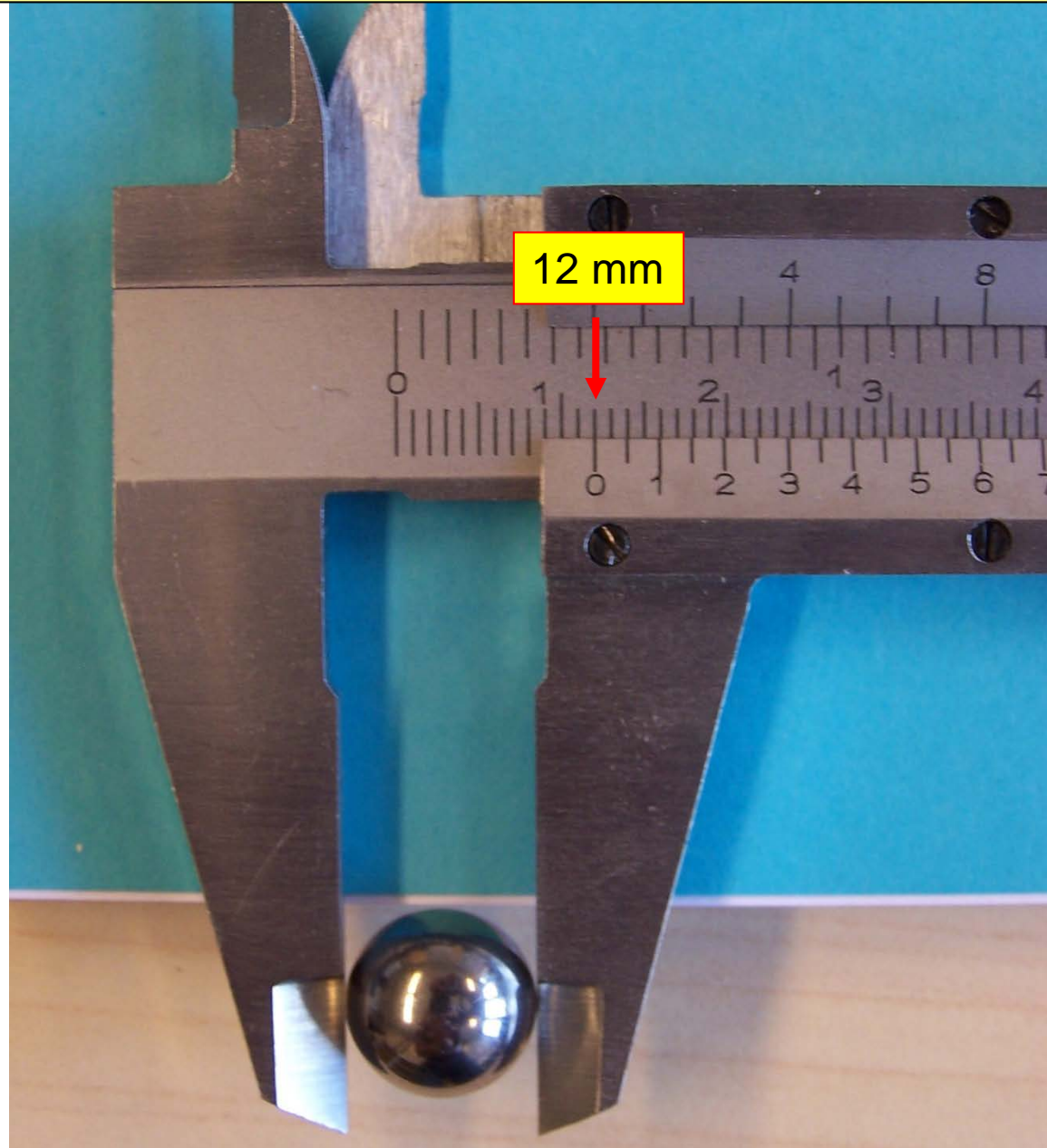


Längenmessungen mit Messschieber

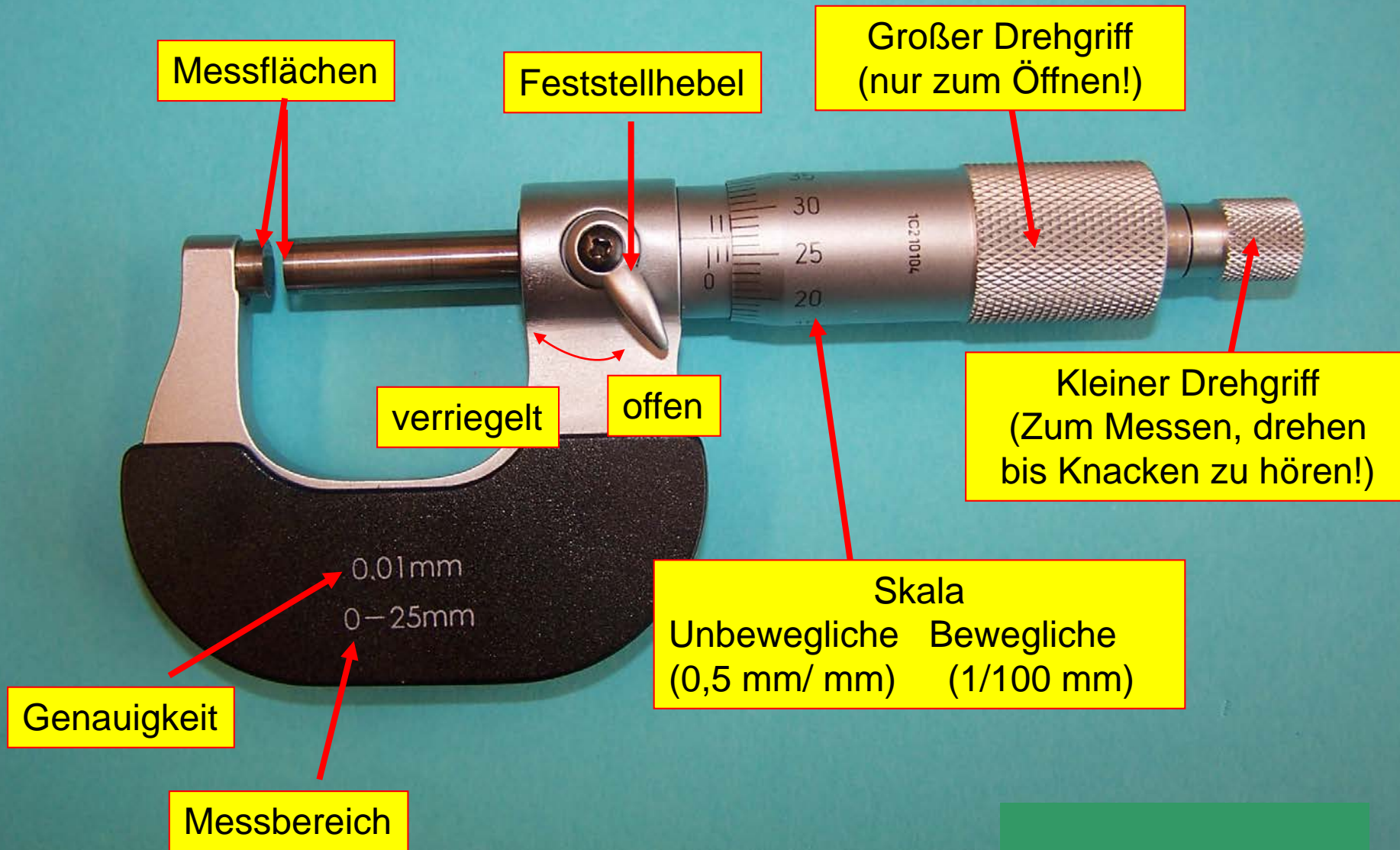


7,40 cm bzw. 74,00 mm

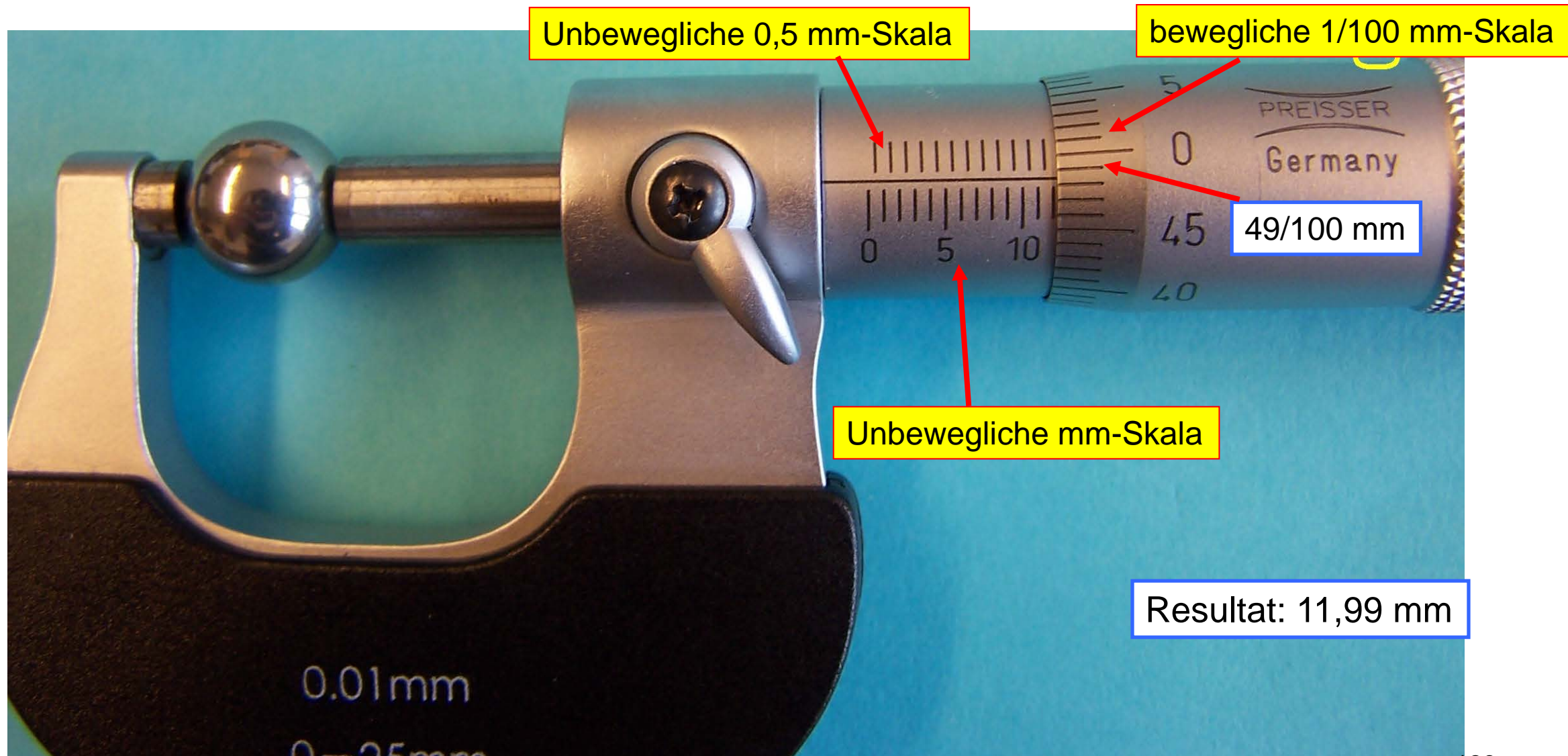
Längenmessungen mit Messschieber



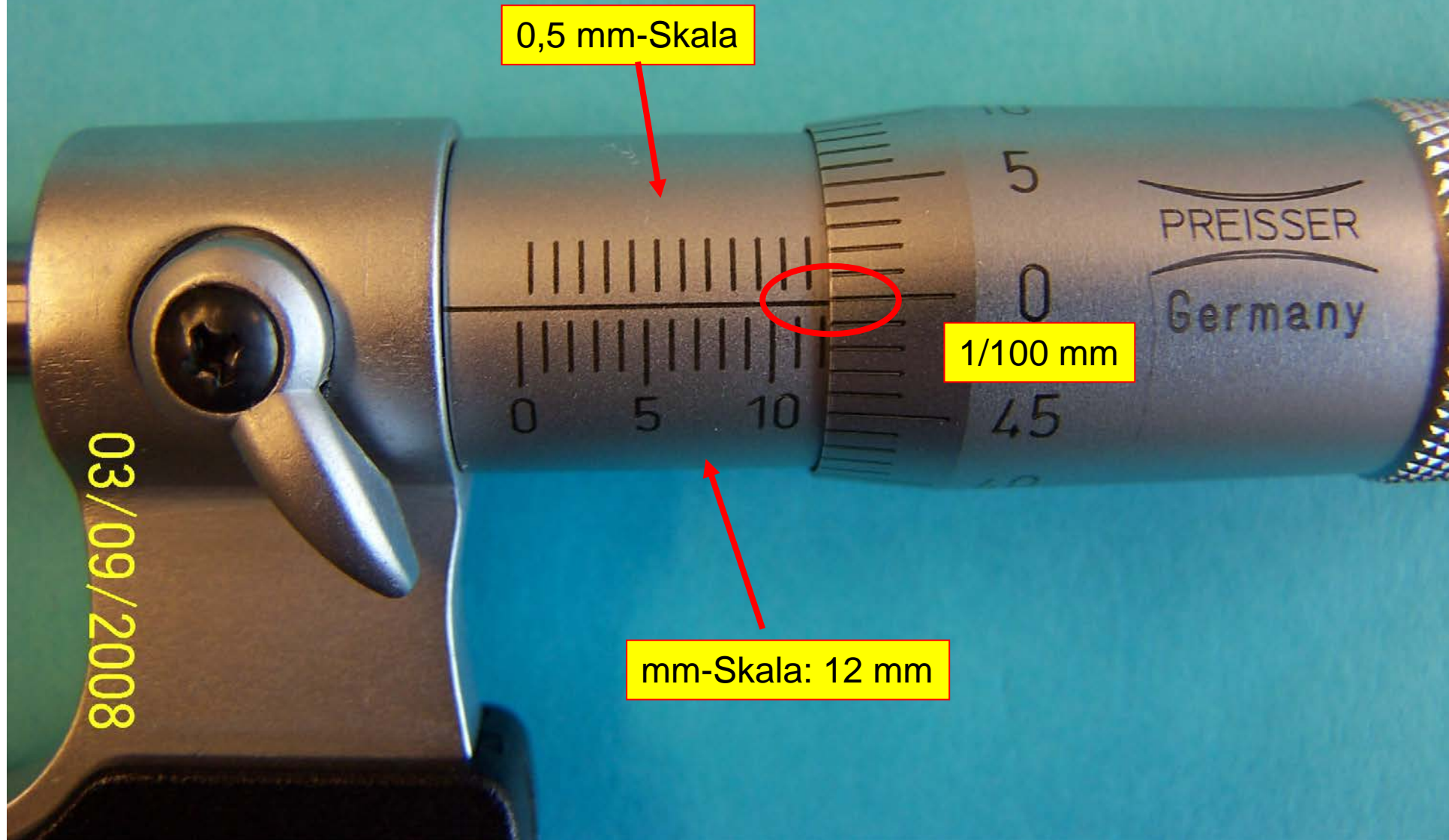
Längenmessungen mit Mikrometerschraube



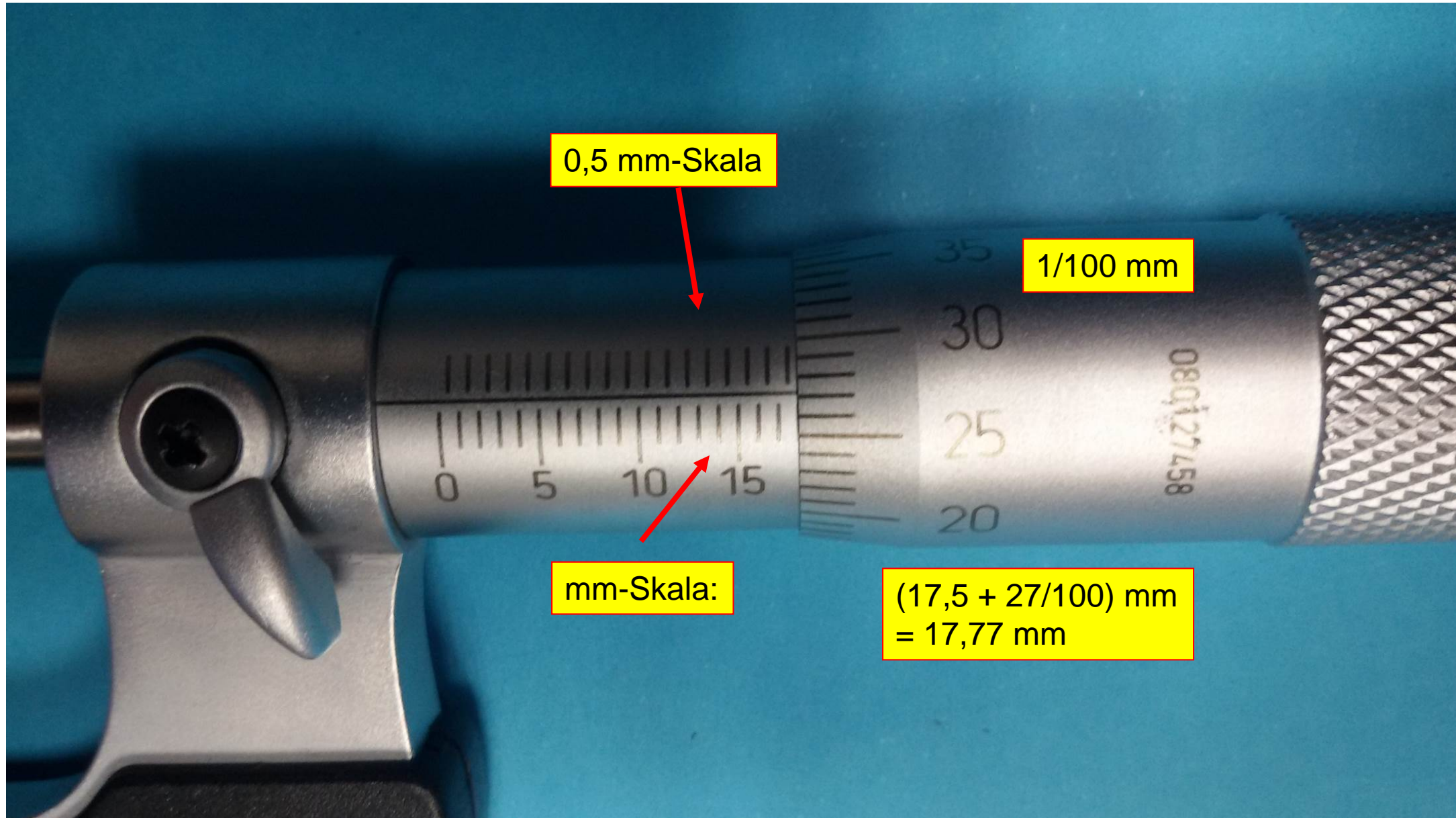
Längenmessungen mit Mikrometerschraube



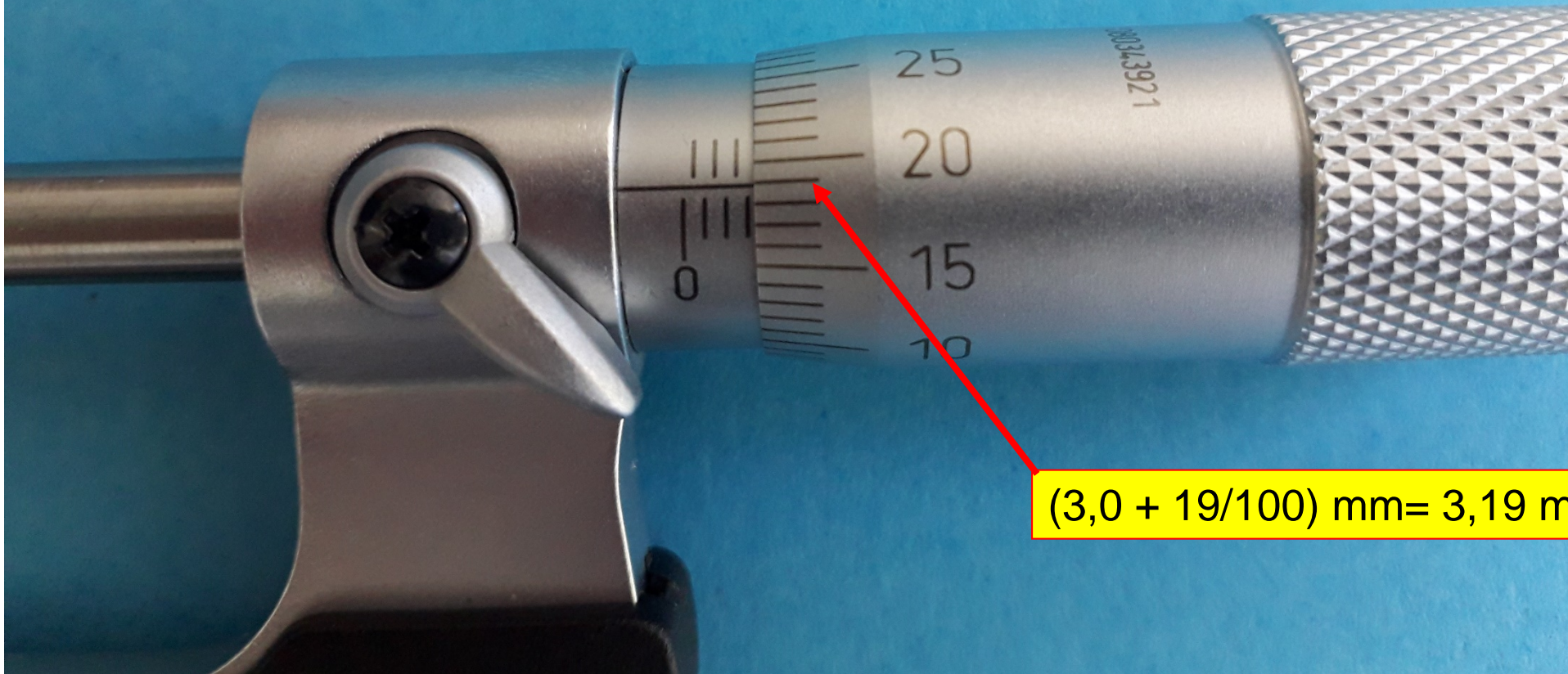
Längenmessungen mit Mikrometerschraube



Längenmessungen mit Mikrometerschraube



Längenmessungen mit Mikrometerschraube



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

Längenmessungen mit Mikrometerschraube



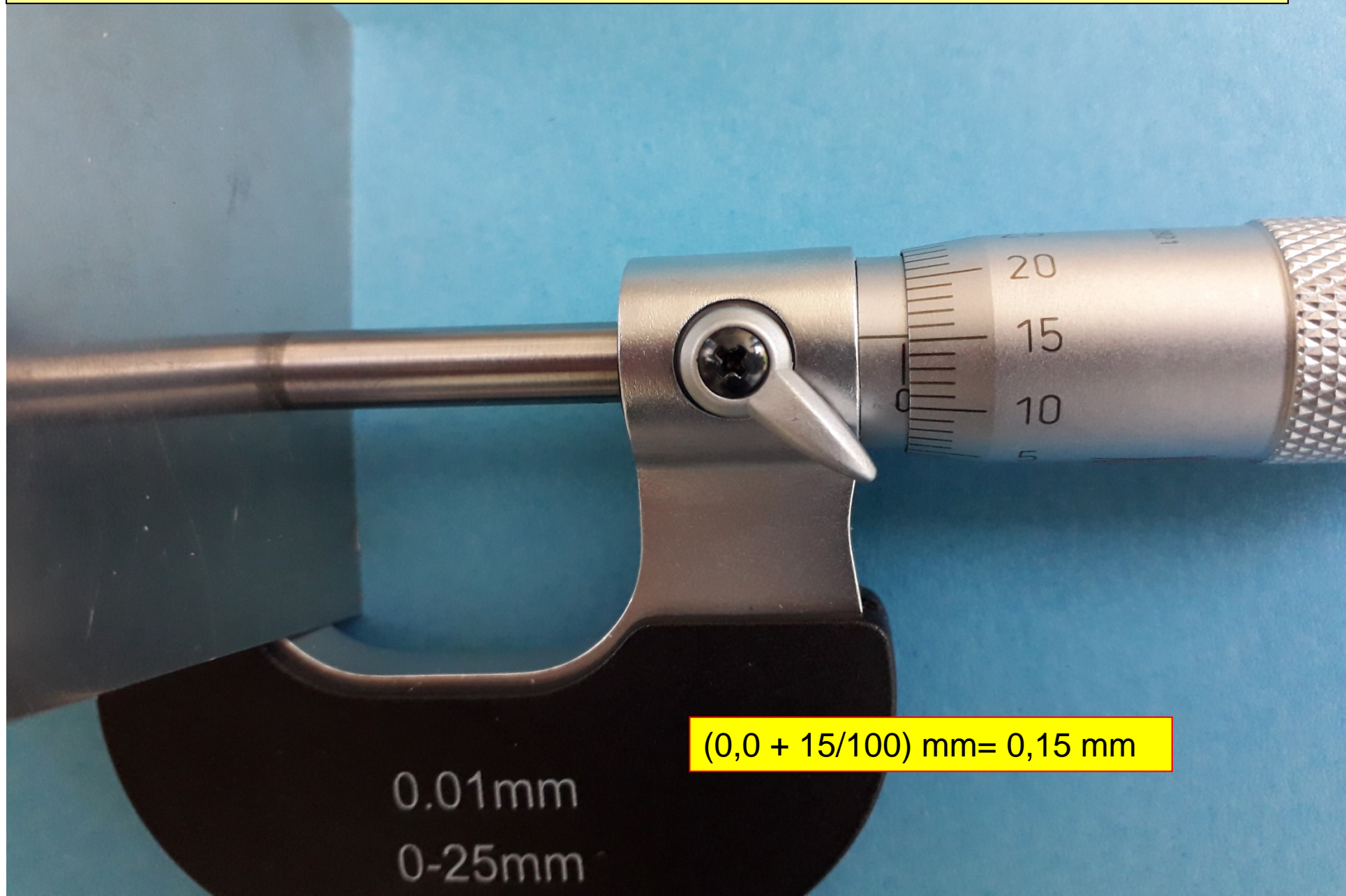
Längenmessungen mit Mikrometerschraube



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

0.01mm
0-25mm

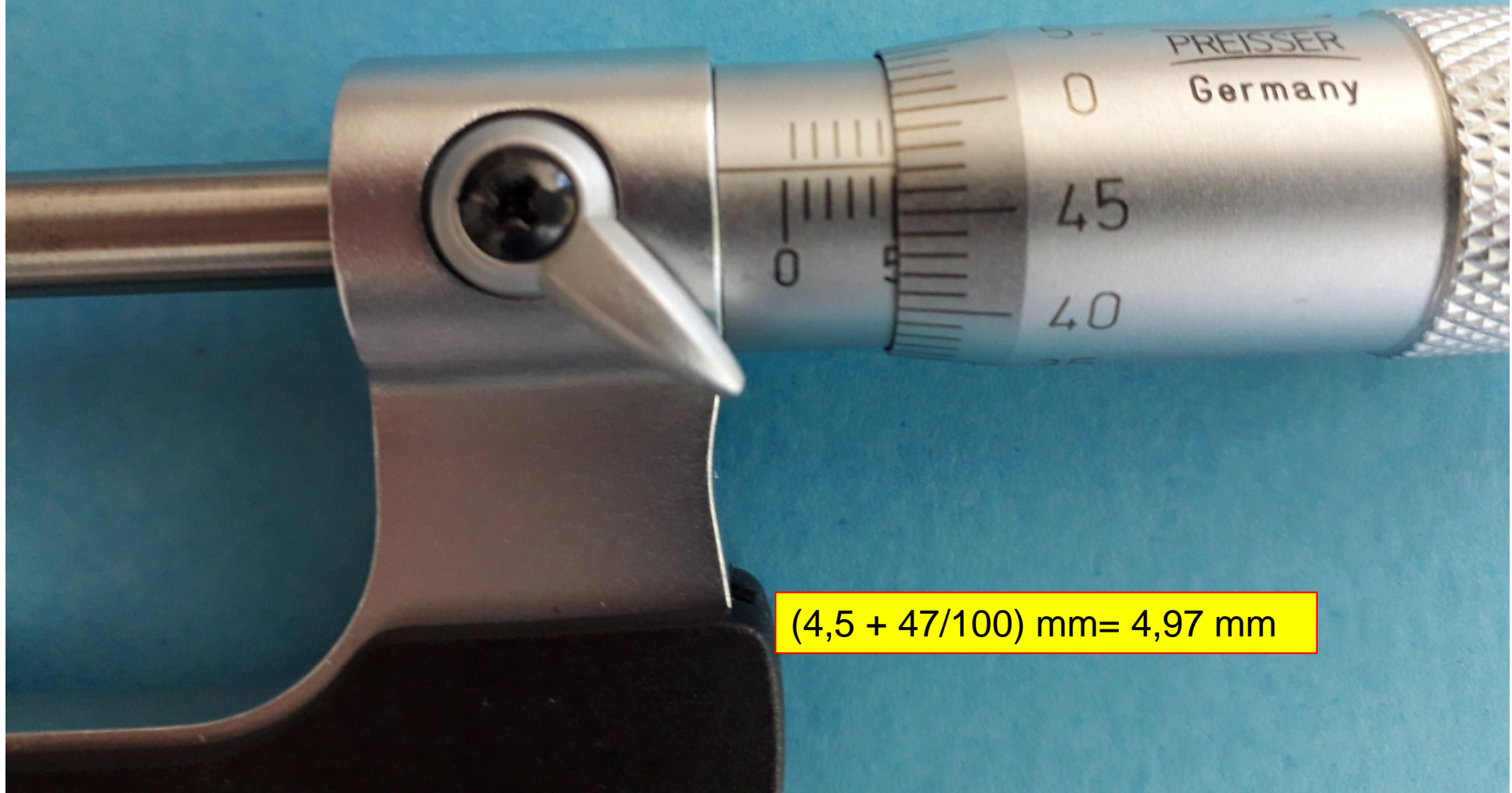
Längenmessungen mit Mikrometerschraube



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

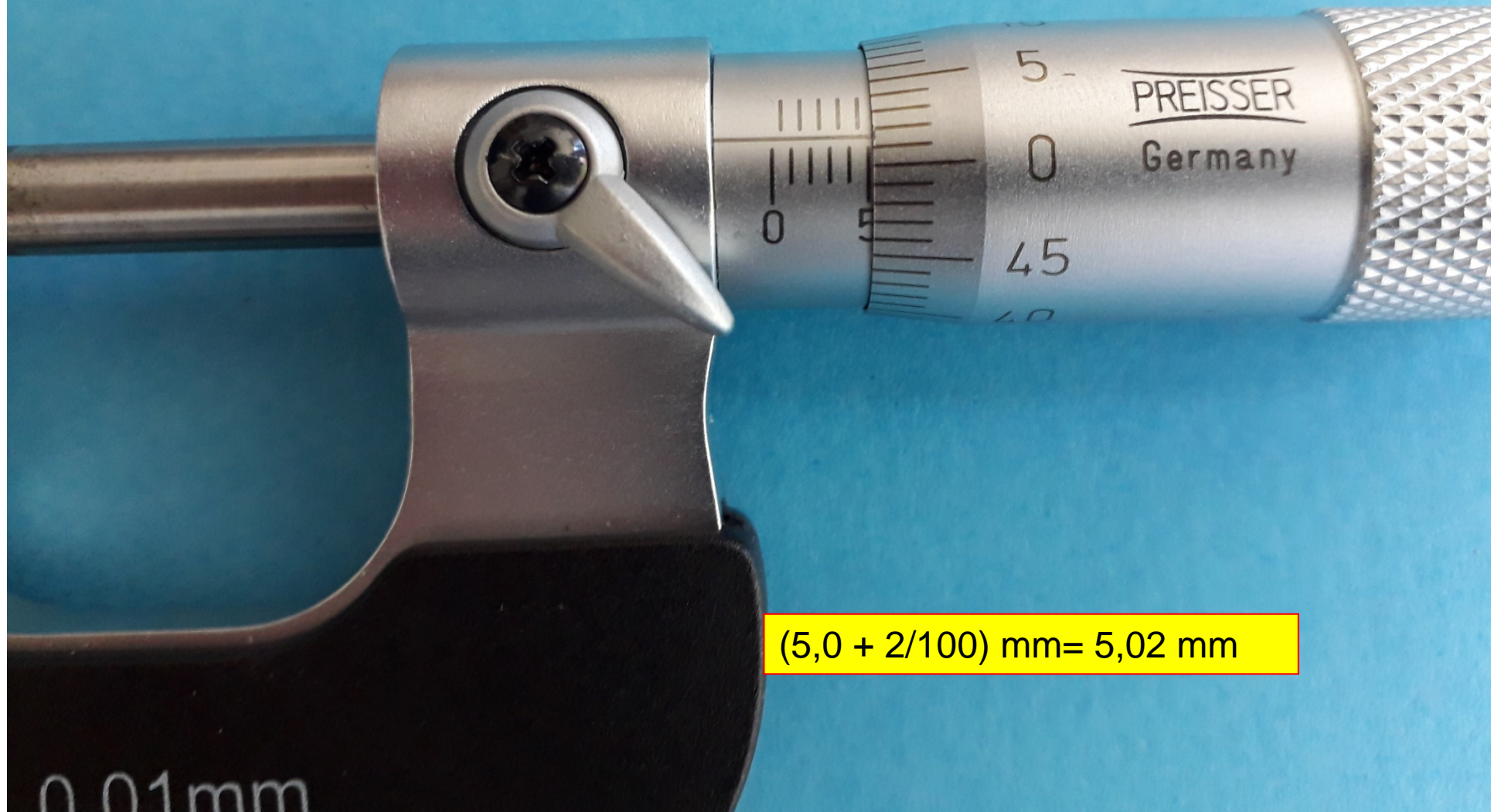
0.01mm
0-25mm

Längenmessungen mit Mikrometerschraube



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

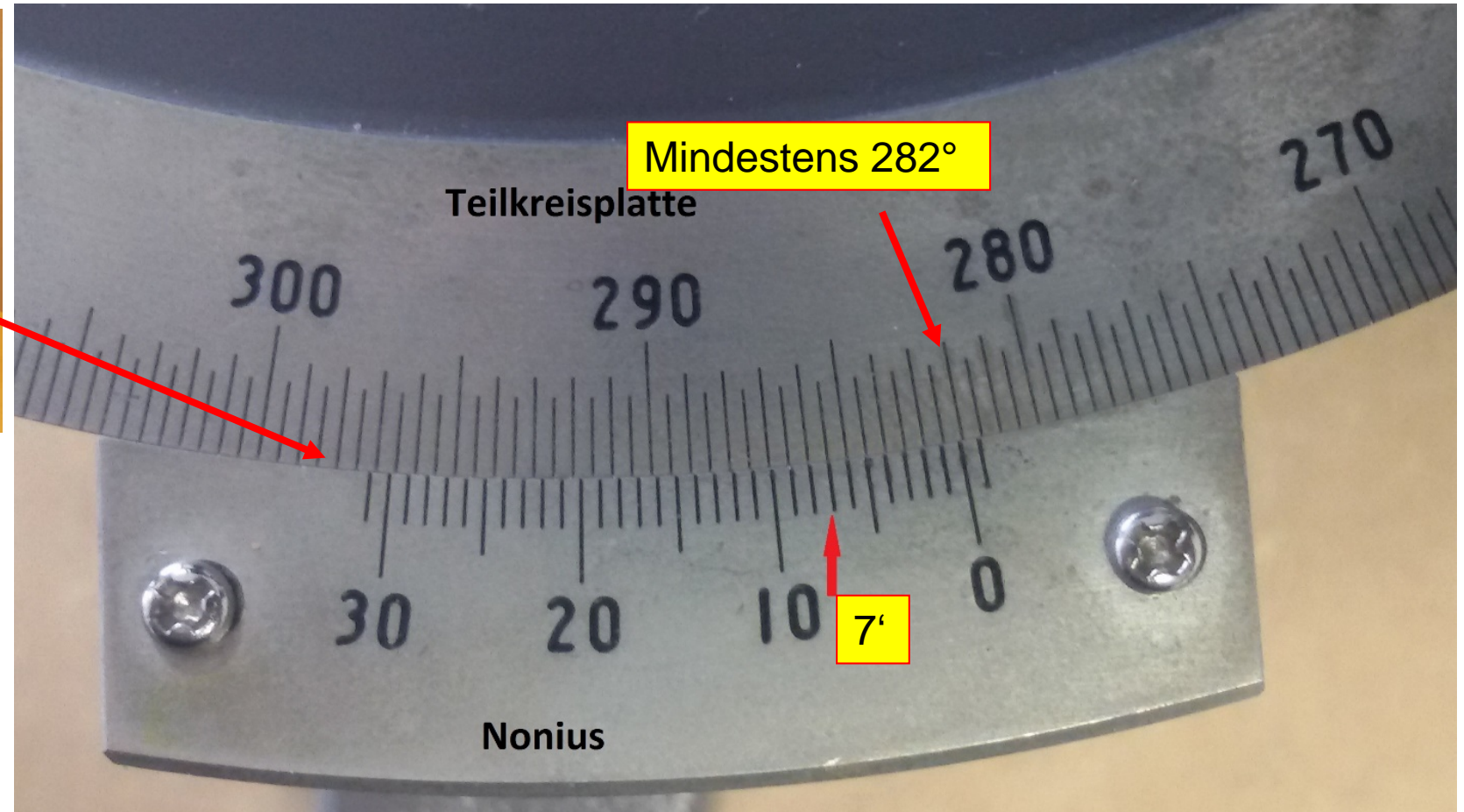
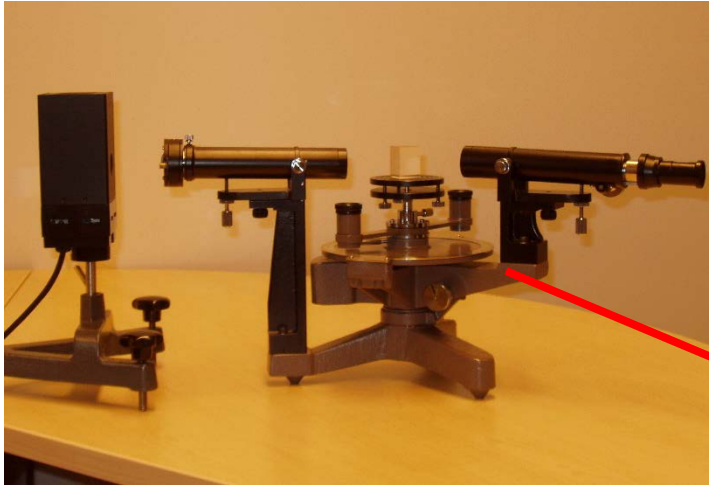
Längenmessungen mit Mikrometerschraube



$$(5,0 + 2/100) \text{ mm} = 5,02 \text{ mm}$$

0.01mm

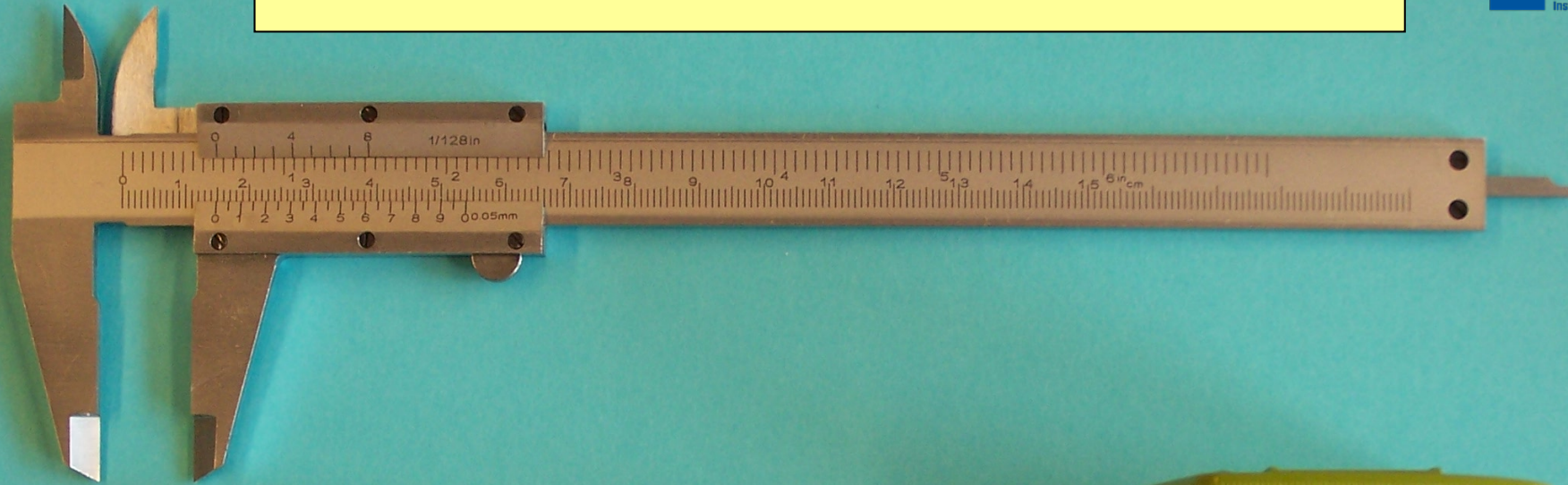
Winkelmessungen mit Nonius



Ergebnis: $282^{\circ} 7'$

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

Längenmessungen:



Viel Erfolg !