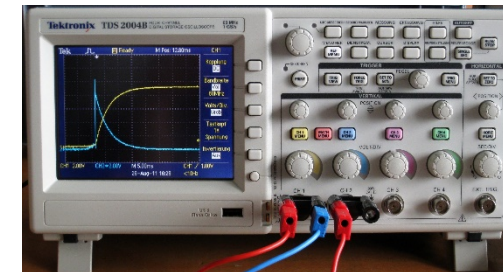
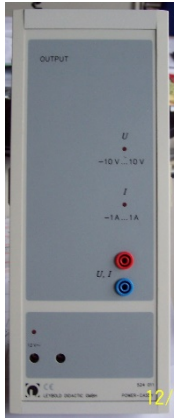


# Messinstrumente im physikalischen Grundpraktikum

Dr. Th. Kirn

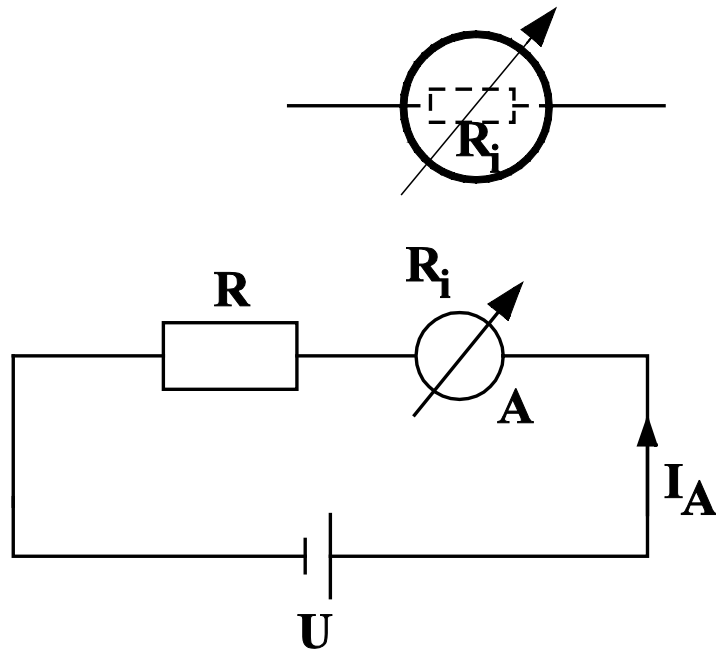
# Messinstrumente im physikalischen Grundpraktikum

- 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:

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

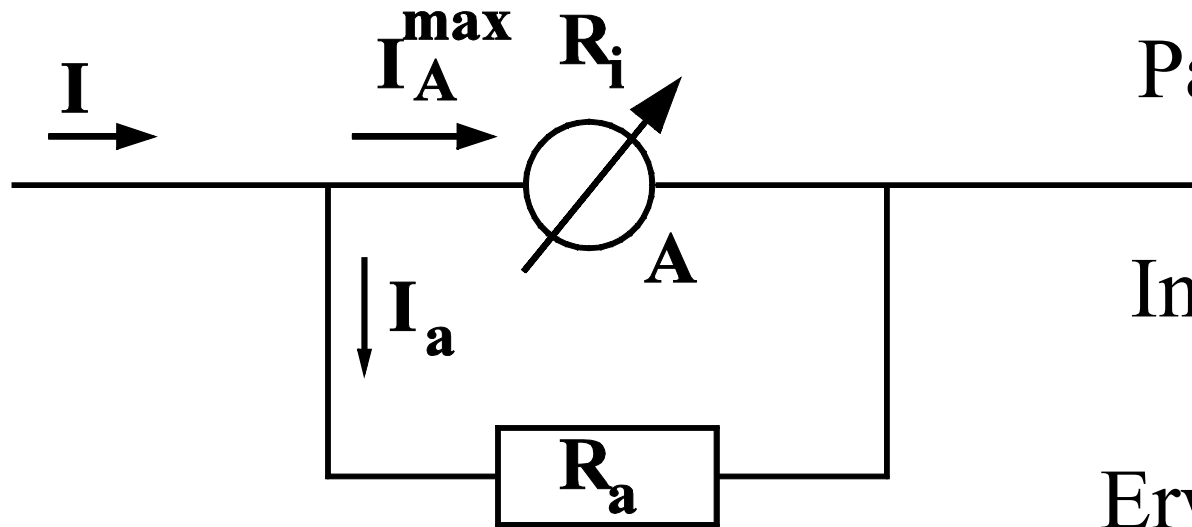
Mit Amperemeter:

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

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

typischerweise  $R_i \leq 1\Omega$

# Messbereichserweiterung



Parallelschaltung eines Shunt

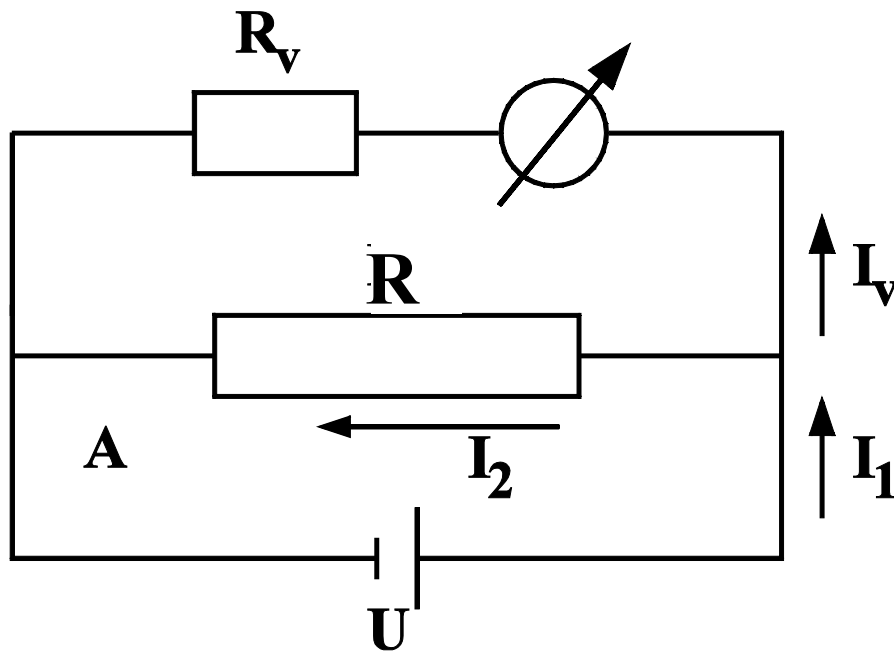
Instrument misst  $I_A^{\max}$

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



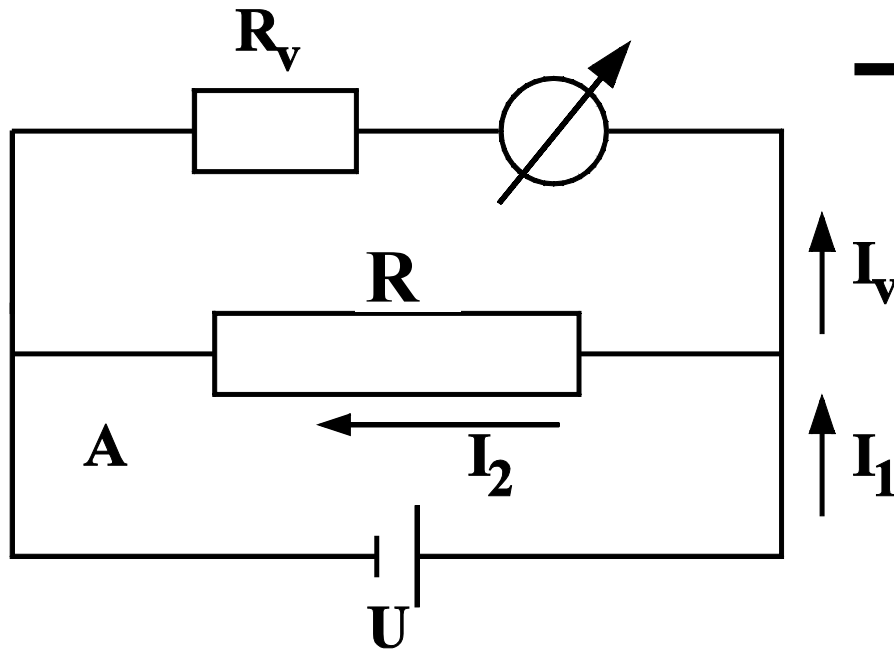
Spannungsmesser sind mittels  
Ohmschen Gesetz in Volt geeichte  
Amperemeter

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

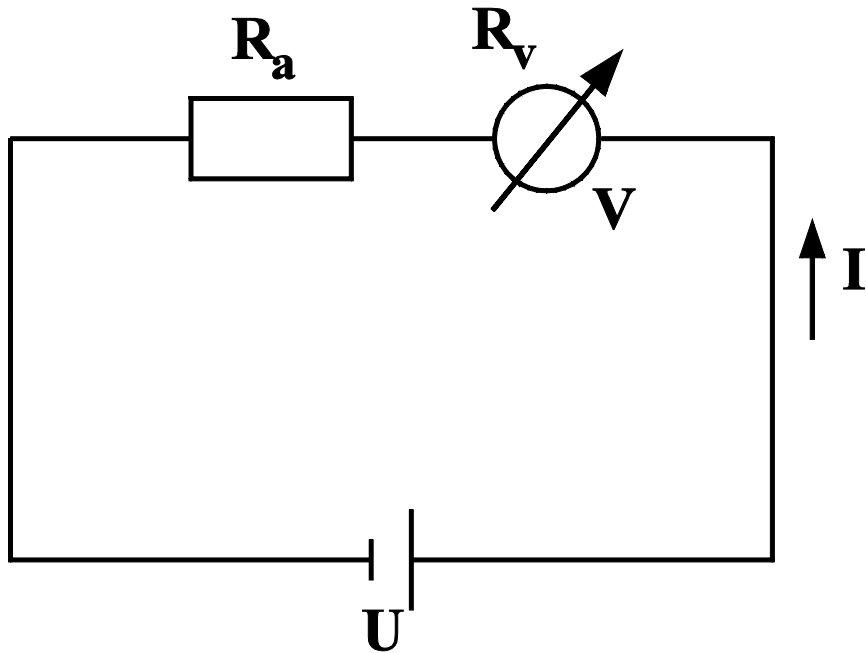
Quelle liefert Strom

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

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?



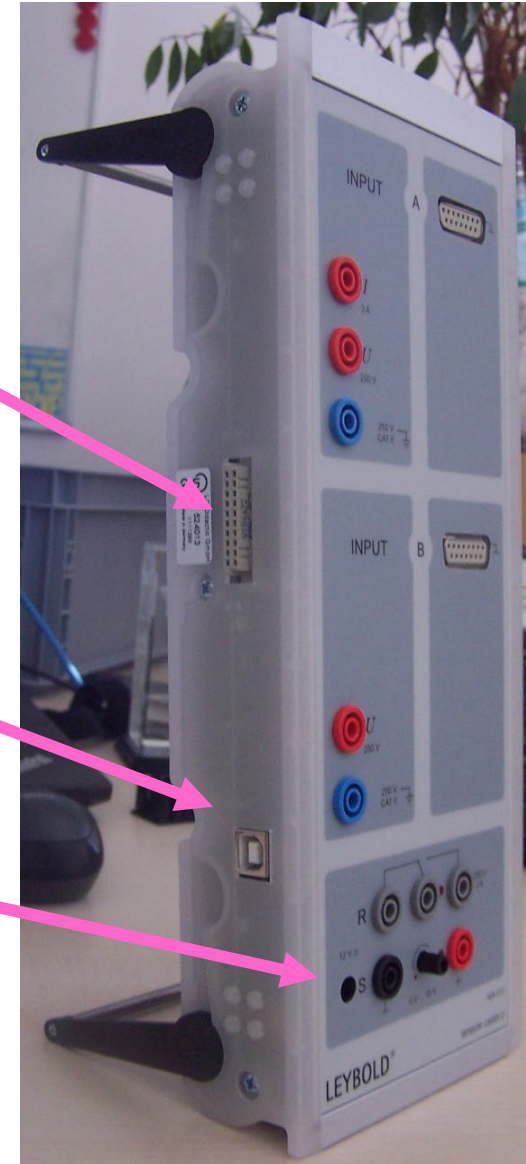
# Sensor-Cassy-2 Interface

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

Anschluß an USB-Port  
des Computers

Spannungsversorgung:

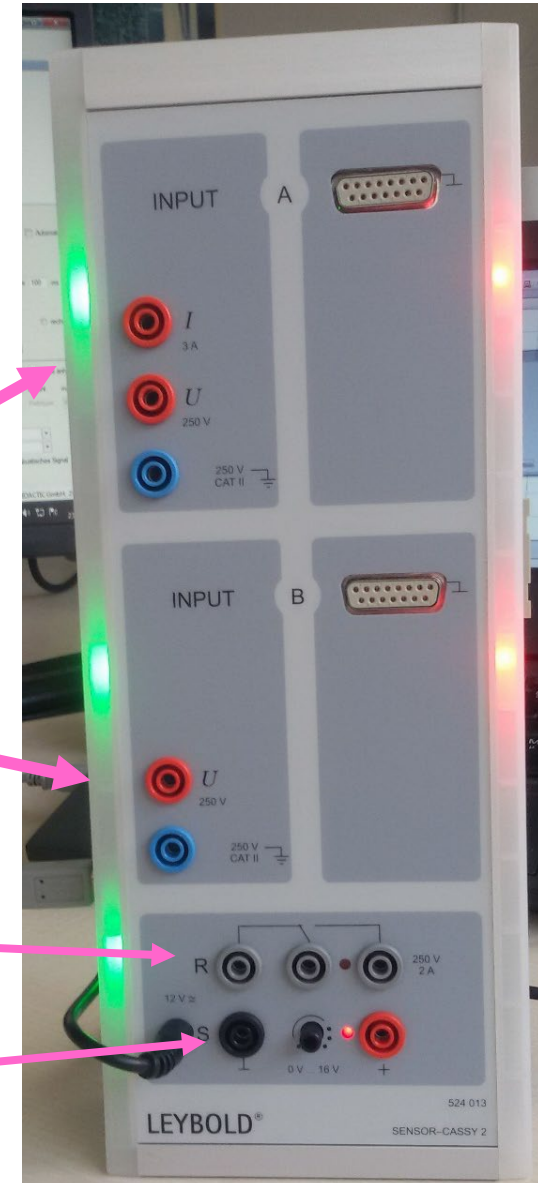
12V AC/DC über Hohlstecker  
oder benachbartes Cassy-Modul





# 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)



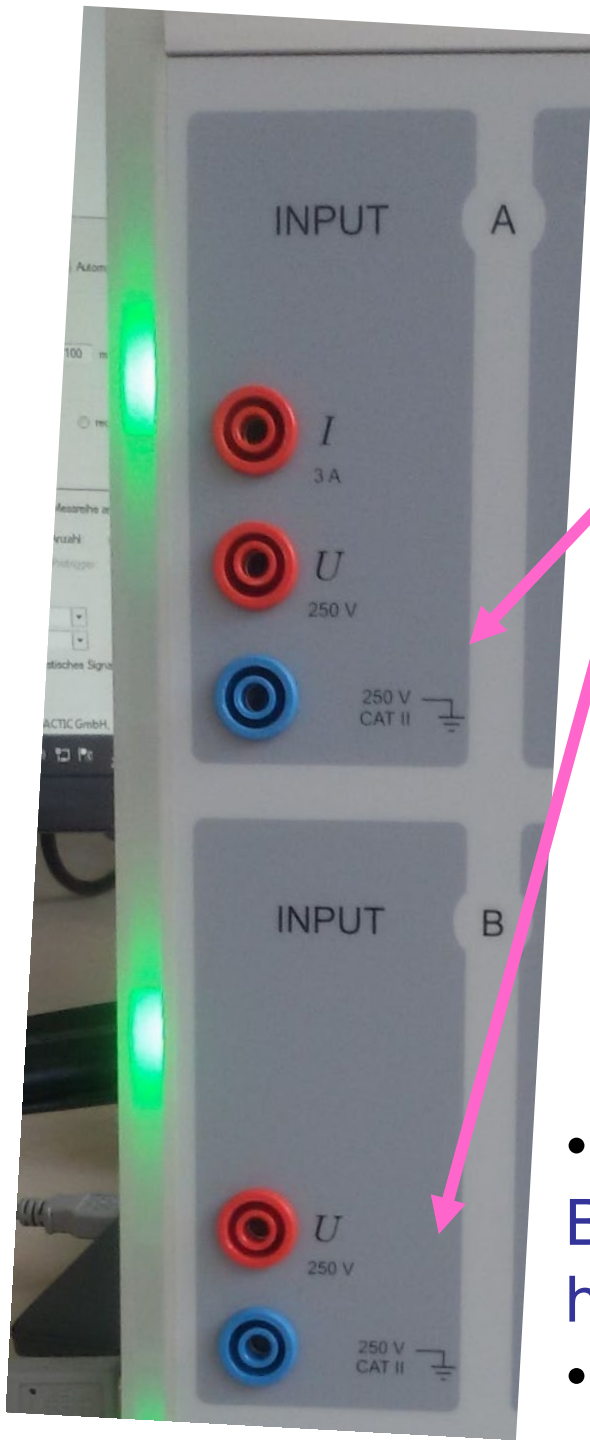
# Sensor-Cassy-2 Interface

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

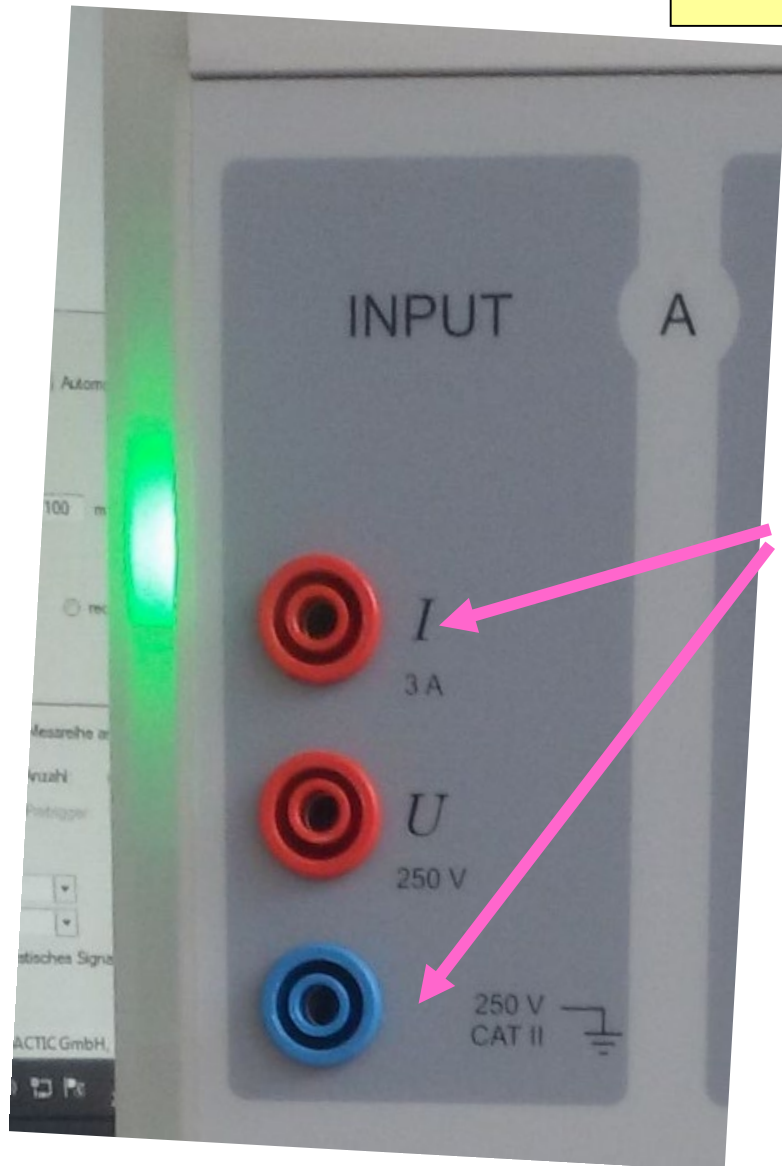
2 analoge Spannungseingänge A und B:

- 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

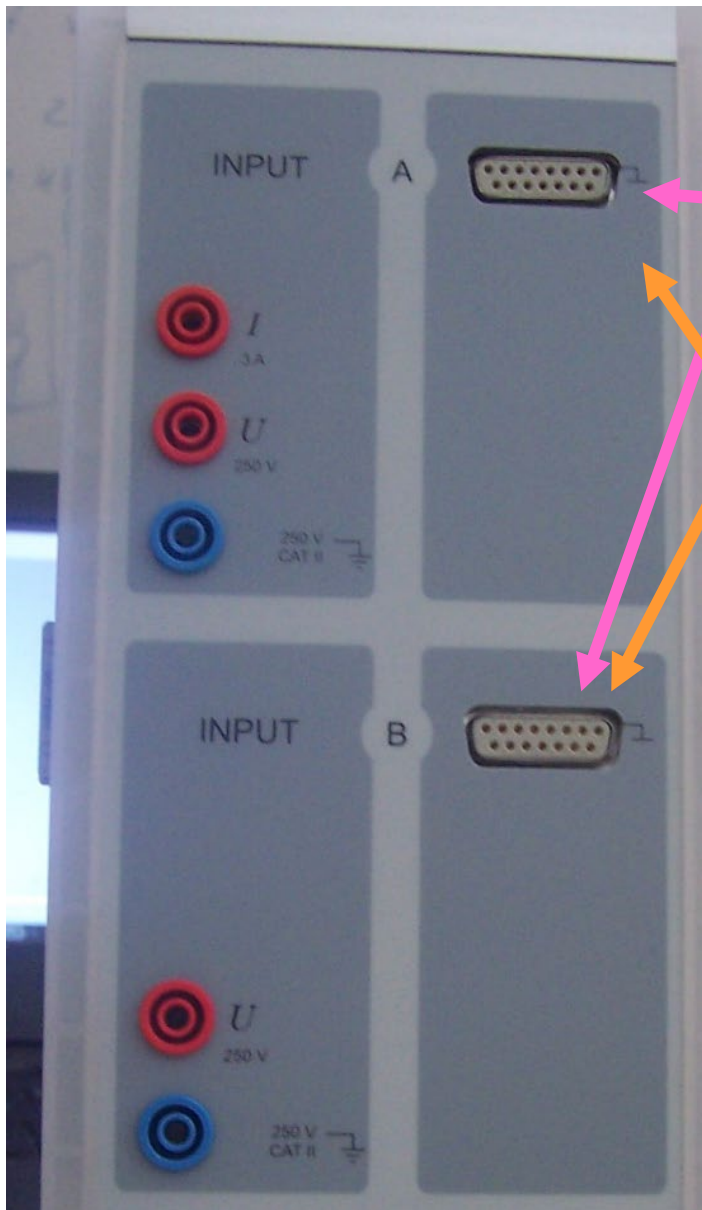


## Eingang A:

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

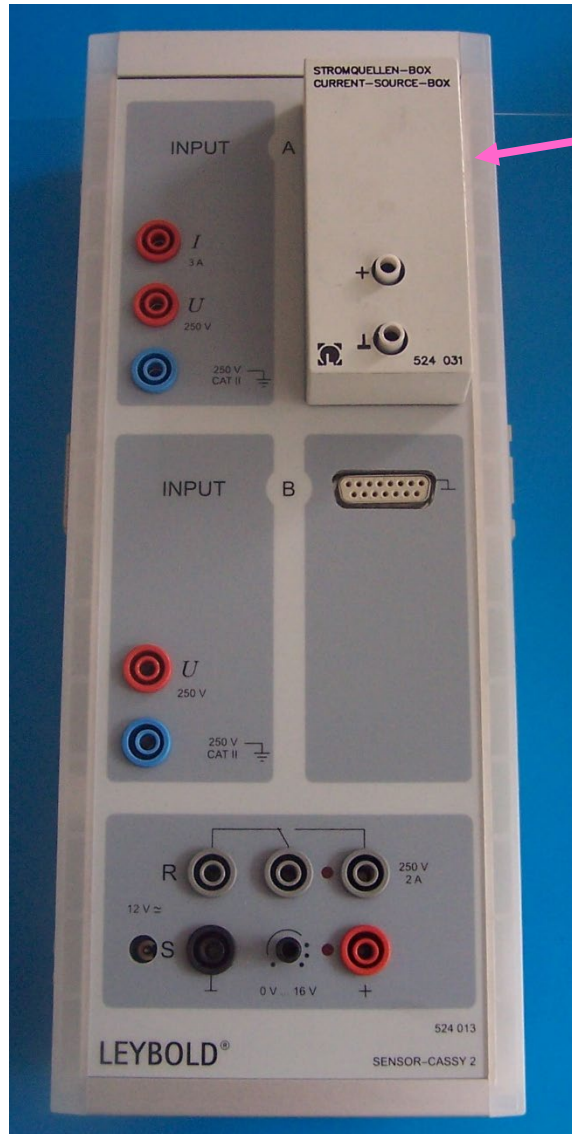
- Messbereiche:  $\pm 0,003/0,01/0,03/0,1/0,3/1$  V
- Eingangswiderstand:  $10\text{ k}\Omega$

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:

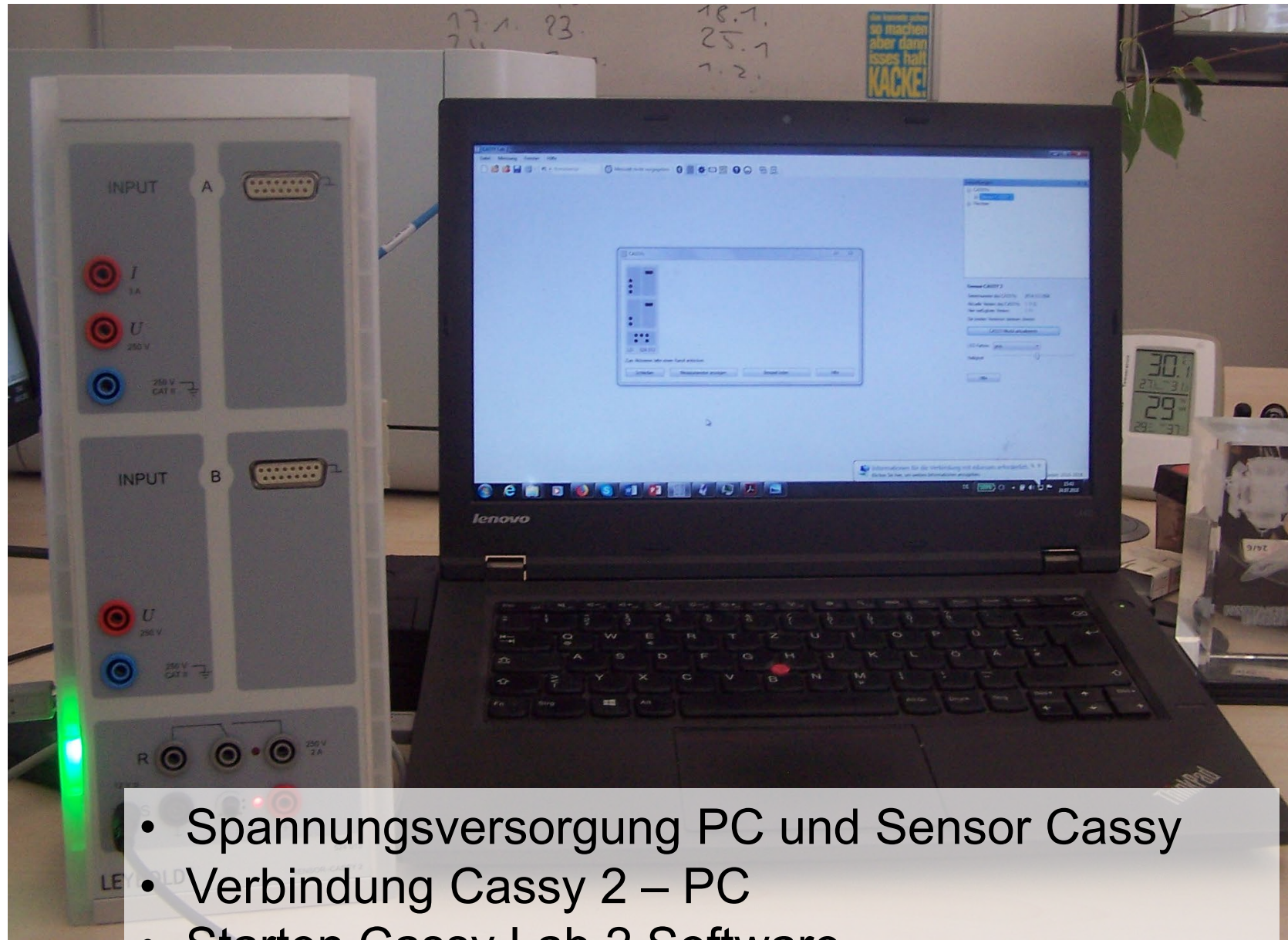
Timer Box → Laufzeit Messung

Temperatur Box

B-Box → B-Feldmessung,  
→ Druckmessung

Stromquellen-Box

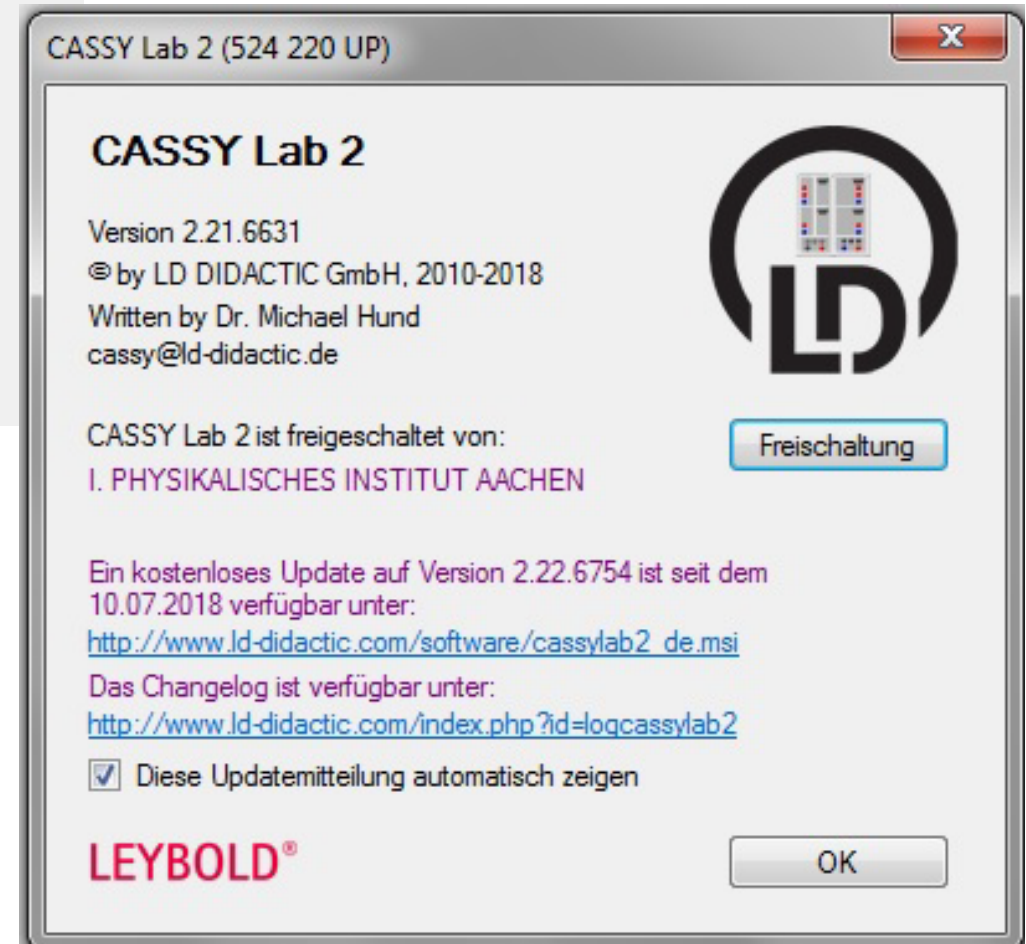
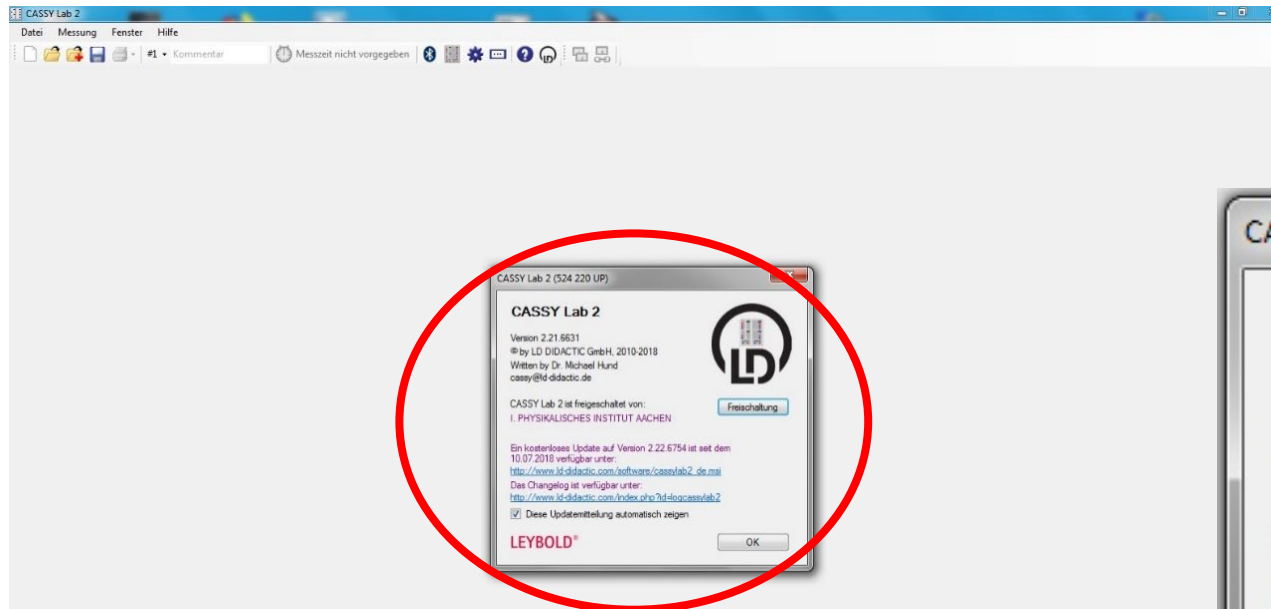
# Cassy Lab 2, Inbetriebnahme



- 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.

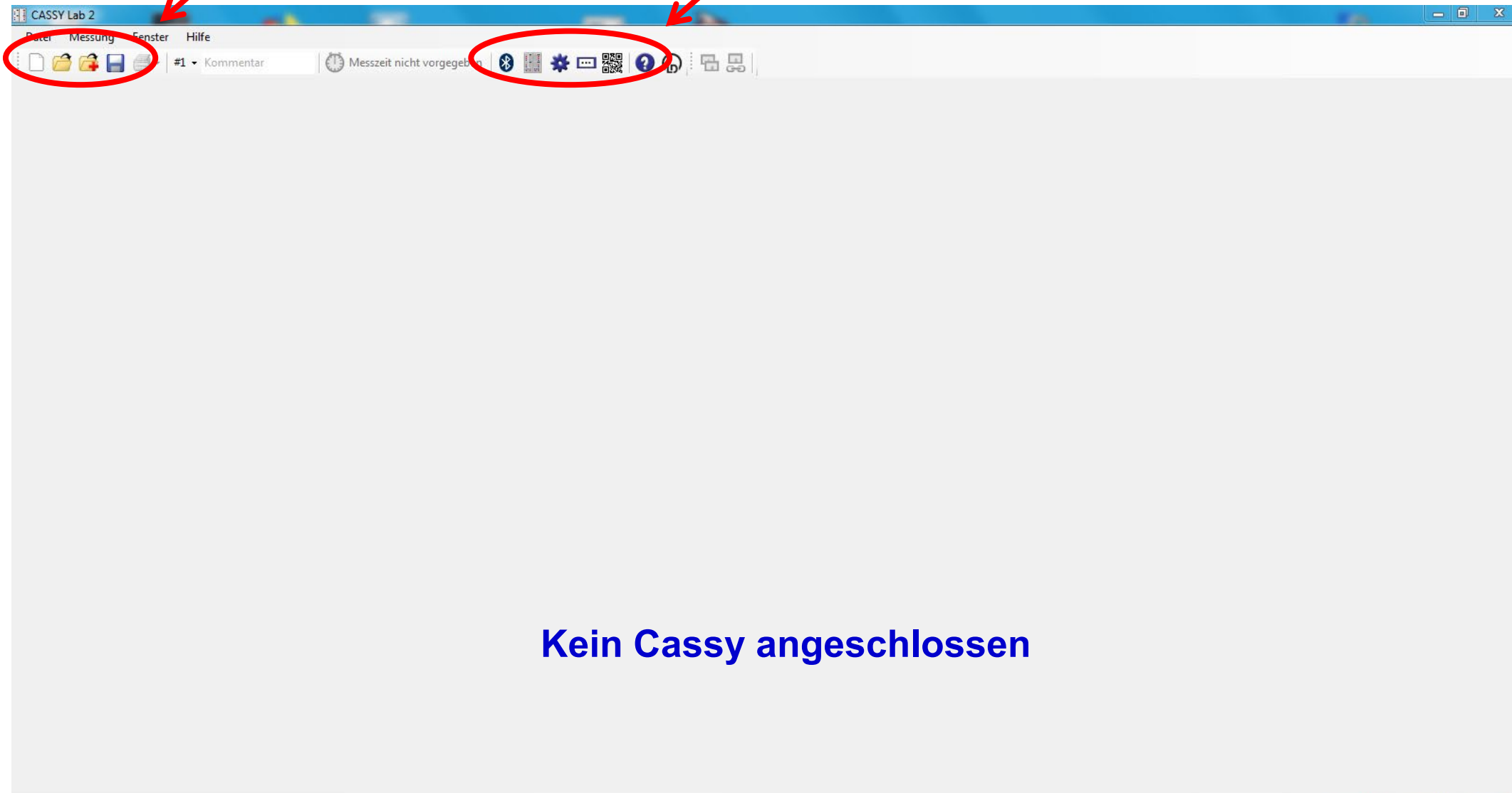
Notfalls Freischaltung vornehmen.

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 window displays a tree view on the right side with 'Einstellungen', 'CASSYs', 'Sensor-CASSY 2', and 'Rechner'. The 'Sensor-CASSY 2' entry has a yellow warning icon. Below the tree view, the 'Sensor-CASSY 2' settings are shown, including the serial number (2014.513.004), the current version (1.10.E), and the available version (1.11). A red text 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'. Below the button are dropdown menus for 'LED-Farben' (set to 'grün') and a slider for 'Helligkeit'. A 'Hilfe' button is also present.

**Gelbes Warnsymbol beachten!**

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

**Cassy angeschlossen über USB-Port → automatische Erkennung**

# Cassy Lab 2 Start

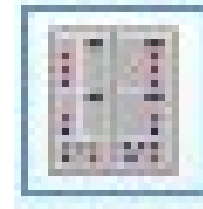
The screenshot displays the Cassy Lab 2 software interface. At the top, there is a menu bar with 'Datei', 'Messung', 'Fenster', and 'Hilfe'. Below the menu bar is a toolbar with various icons. The main window area is mostly empty, with a 'CASSYs' window open in the center. This window shows a graphical representation of the Cassy sensor module with four channels. Below the graphic, the text 'LD 524 013' is visible, followed by the instruction 'Zum Aktivieren bitte einen Kanal anklicken.' and four buttons: 'Schließen', 'Messparameter anzeigen', 'Beispiel laden', and 'Hilfe'. On the right side, the 'Einstellungen' (Settings) panel is open, showing a tree view with 'CASSYs' expanded to 'Sensor-CASSY 2' and 'Rechner'. Below the tree view, the 'Sensor-CASSY 2' section displays the following information: 'Seriennummer des CASSYs: 2014.513.004', 'Aktuelle Version des CASSYs: 1.11.E', and 'Hier verfügbare Version: 1.11'. A message states 'Die beiden Versionen stimmen überein.' Below this is a button labeled 'CASSY-Modul aktualisieren'. Further down, there is a dropdown menu for 'LED-Farben' set to 'grün' and a slider for 'Helligkeit'. A 'Hilfe' button is located at the bottom of the settings panel.

**Alles OK und Einsatzbereit**

**Cassy angeschlossen über USB-Port → automatische Erkennung**

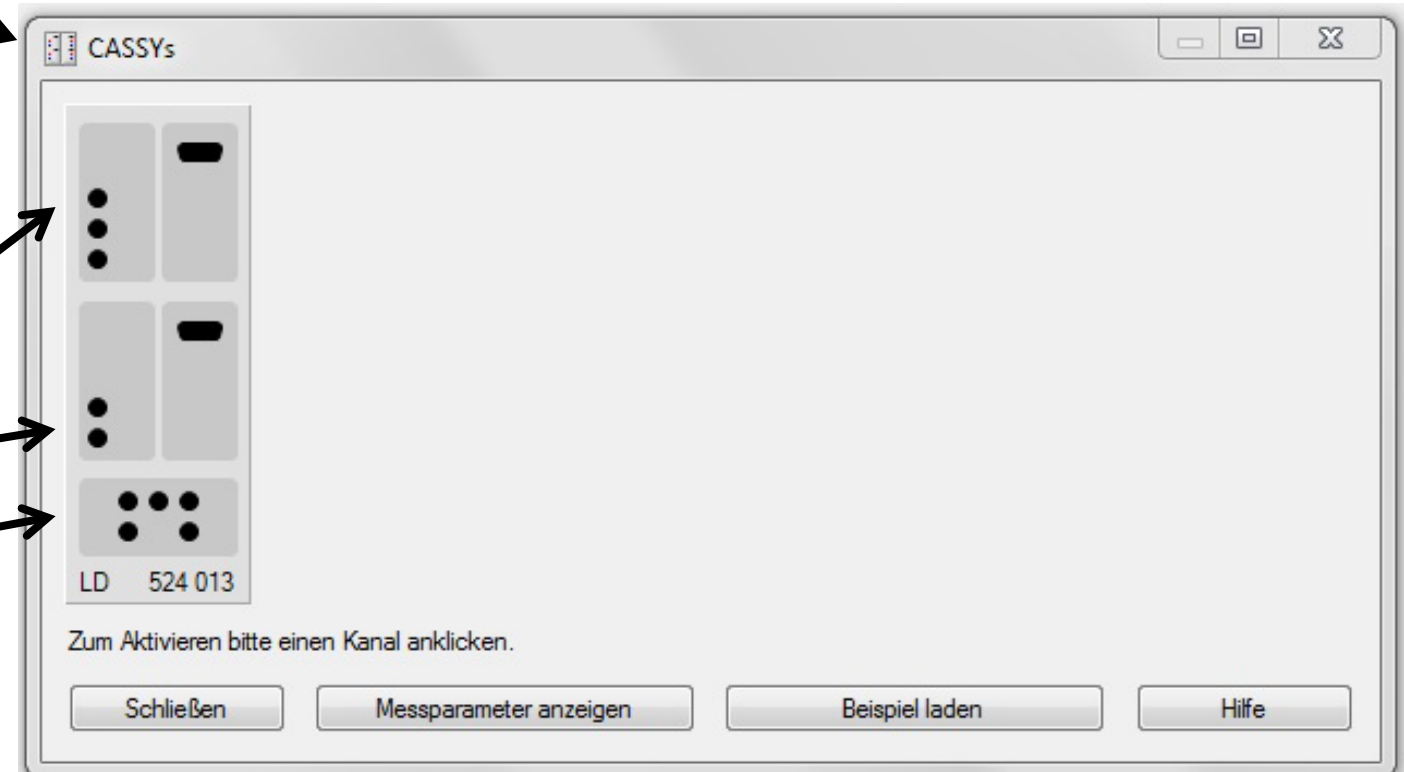
## Cassy Lab 2, Einstellungen

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 S<sub>1</sub>' with a red bar and 'S<sub>1</sub> = 1'. A 'CASSYs' window shows a physical device with a green light and 'LD 524 013'. The 'Einstellungen' window is circled in red and shows the following settings:

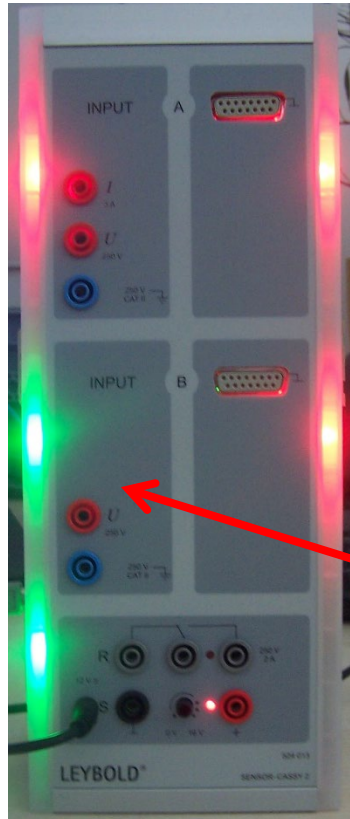
- Spannungsquelle S<sub>1</sub> = 1
- S1(date,time,n,t,S1) = 1 = AN
- Umschalten während automatischer Aufnahme
- Hilfe
- Aufnahme: automatisch  Neue Messreihe anhängen
- Messzeit: s Anzahl: maximal
- Intervall: 100 ms Pretrigger: 0
- Trigger:
- Messbedingung: 1
- Stoppbedingung: 0
- Wiederholende Messung  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



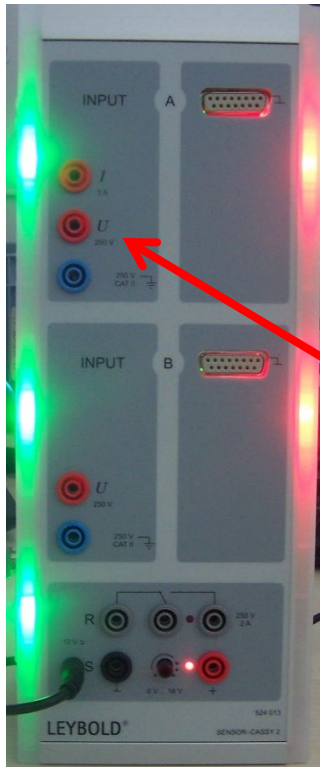
# Cassy Lab 2, Einstellungen Messparameter



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



Aktivierung Eingang A durch Anklicken,  
Strommessung bei Klick auf oberste Anschluss­hülse  
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

Spannung  $U_{A1}$   
 $U_{A1} = 0.00 \text{ V}$

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

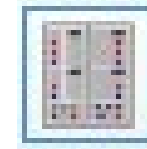
Einstellungen  
CASSYs  
Sensor-CASSY 2  
Eingang A<sub>1</sub> (links)  
Spannung  $U_{A1}$   
Stromstärke  $I_{A1}$   
Eingang A<sub>1</sub> (ohne Sensorbox)  
Eingang B<sub>1</sub> (links)  
Spannung  $U_{B1}$   
Leistungsfaktor  $\cos \varphi_{B1}$   
Eingang B<sub>1</sub> (ohne Sensorbox)  
Relais  $R_1 = 0$   
Spannungsquelle  $S_1 = 1$   
Rechner  
Spannung  $U_{A1}$   
Bereich: -10 V.. 10 V Automatisch  
Messwert erfassung  
Momentanwerte  
gemittelte Werte  
Effektivwerte  
Effektivwerte (AC-Anteil) } über 100 ms  
Nullpunkt  
links mittig rechts  
Hilfe Komprimieren  
Aufnahme: automatisch Neue Messreihe anhängen  
Messzeit: s Anzahl: maximal  
Intervall: 100 ms Pretigger: 0  
Trigger:  
Messbedingung: 1  
Stoppbedingung: 0  
Wiederholende Messung Akustisches Signal

Aktivierung Eingang A durch Anklicken,  
Strommessung bei Klick auf oberste Anschlusshülse  
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  $I_{A1}$ ) and 'Spannung  $U_{B1}$ ' (Voltage  $U_{B1}$ ). 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 indicators for  $I_{A1}$ ,  $U_{B1}$ , and  $S_1$ . The settings panel on the right is titled 'Einstellungen' and shows a tree view of 'CASSYs' channels. Under 'Sensor-CASSY 2', 'Stromstärke  $I_{A1}$ ' is selected. The 'Stromstärke  $I_{A1}$ ' settings show a range of -1 A to 1 A, 'Automatisch' checked, and 'Messwertfassung' set to 'Momentanwerte'. The 'Nullpunkt' is set to 'mittig'. The 'Aufnahme' is set to 'automatisch', 'Messzeit' is 1 s, and 'Intervall' is 100 ms. A footer note says '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 A<sub>1</sub> (links)
    - Eingang A<sub>1</sub> (ohne Sensorbox)
    - Eingang B<sub>1</sub> (links)
    - Spannung  $U_{B1}$
    - Eingang B<sub>1</sub> (ohne Sensorbox)
    - Relais  $R_1 = 0$
    - Spannungsquelle  $S_1 = 1$
- Rechner
- Darstellungen
  - Standard

Spannung  $U_{B1}$

Bereich: -10 V .. 10 V  Automatisch

Messwertauffassung

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  $\mu$ s Pretrigger: 0

Trigger:

Messbedingung: 1

Stoppbedingung: 0

Wiederholende Messung  Akustisches Signal

Hilfe

Einstellungen

- Sensor-CASSY 2
  - Eingang A<sub>1</sub> (links)
  - Eingang A<sub>1</sub> (ohne Sensorbox)
  - Eingang B<sub>1</sub> (links)
  - Spannung  $U_{B1}$
  - Eingang B<sub>1</sub> (ohne Sensorbox)
  - Relais  $R_1 = 0$
  - Spannungsquelle  $S_1 = 1$
- Rechner
- Darstellungen
  - Standard
    - $U_{B1}(t)$

Spannung  $U_{B1}$

Bereich: -10 V .. 10 V  Automatisch

Messwertauffassung

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

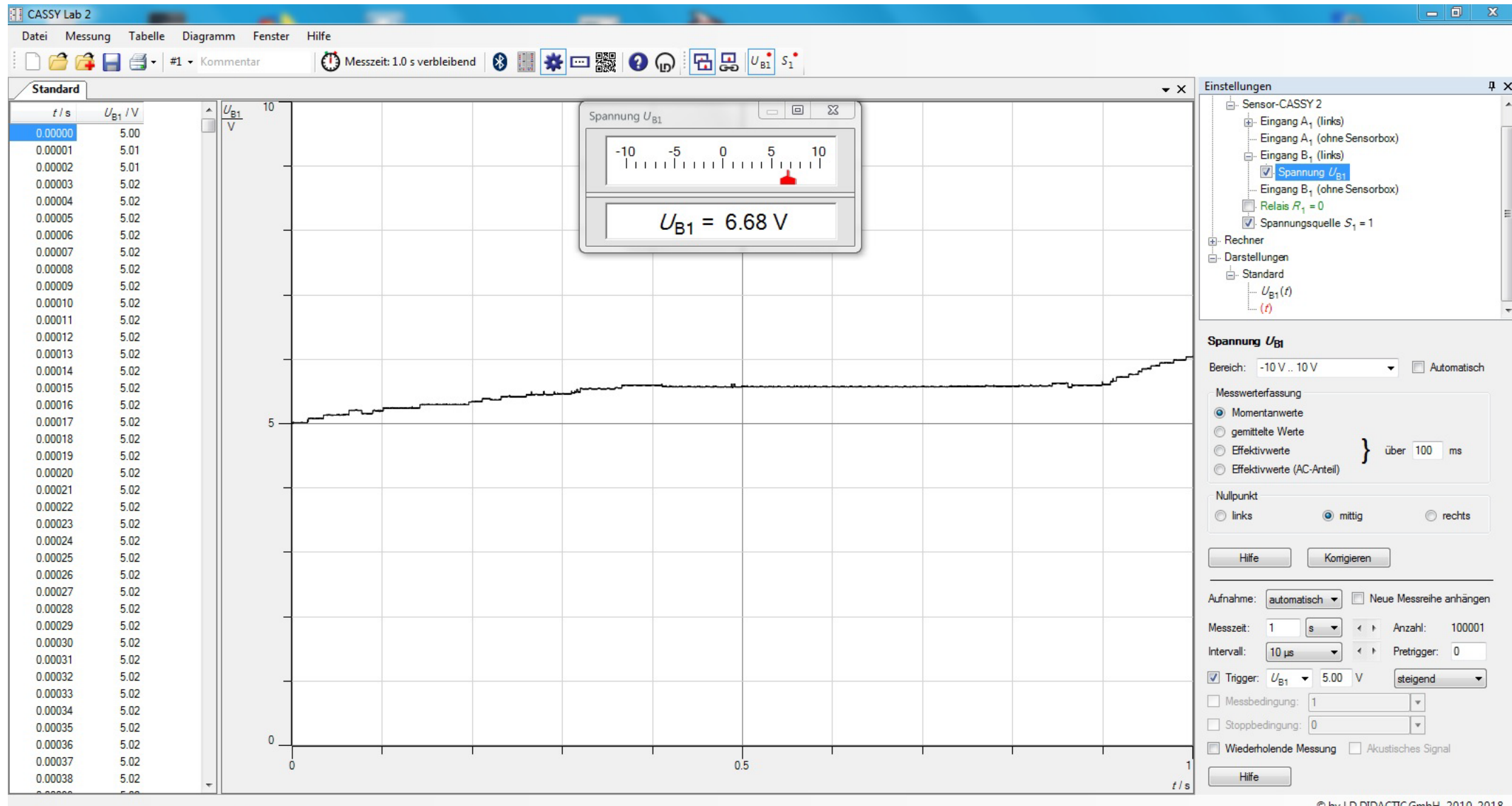
Wiederholende Messung  Akustisches Signal

Hilfe

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

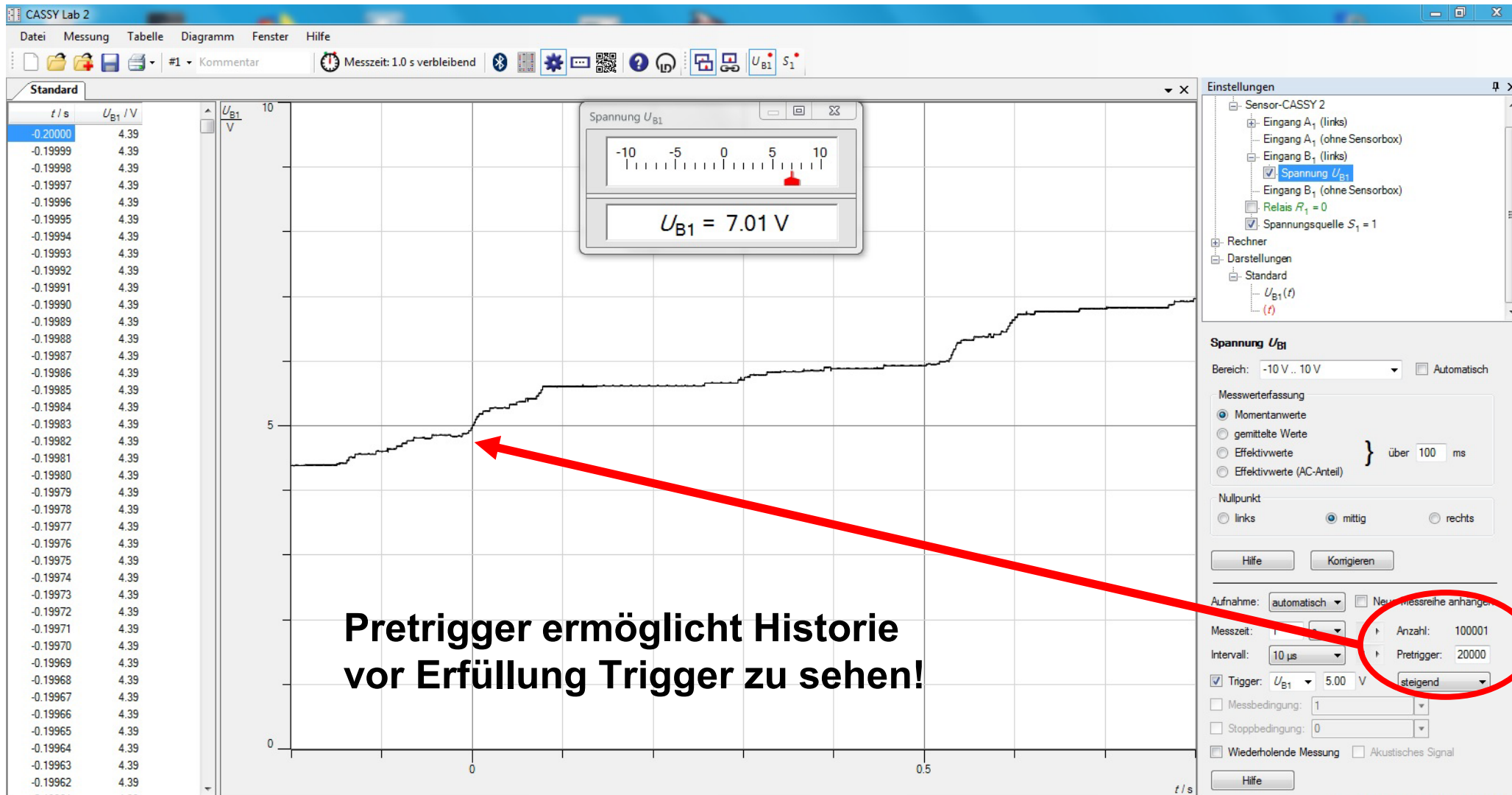


# Cassy Lab 2, Einstellungen, Messparameter



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

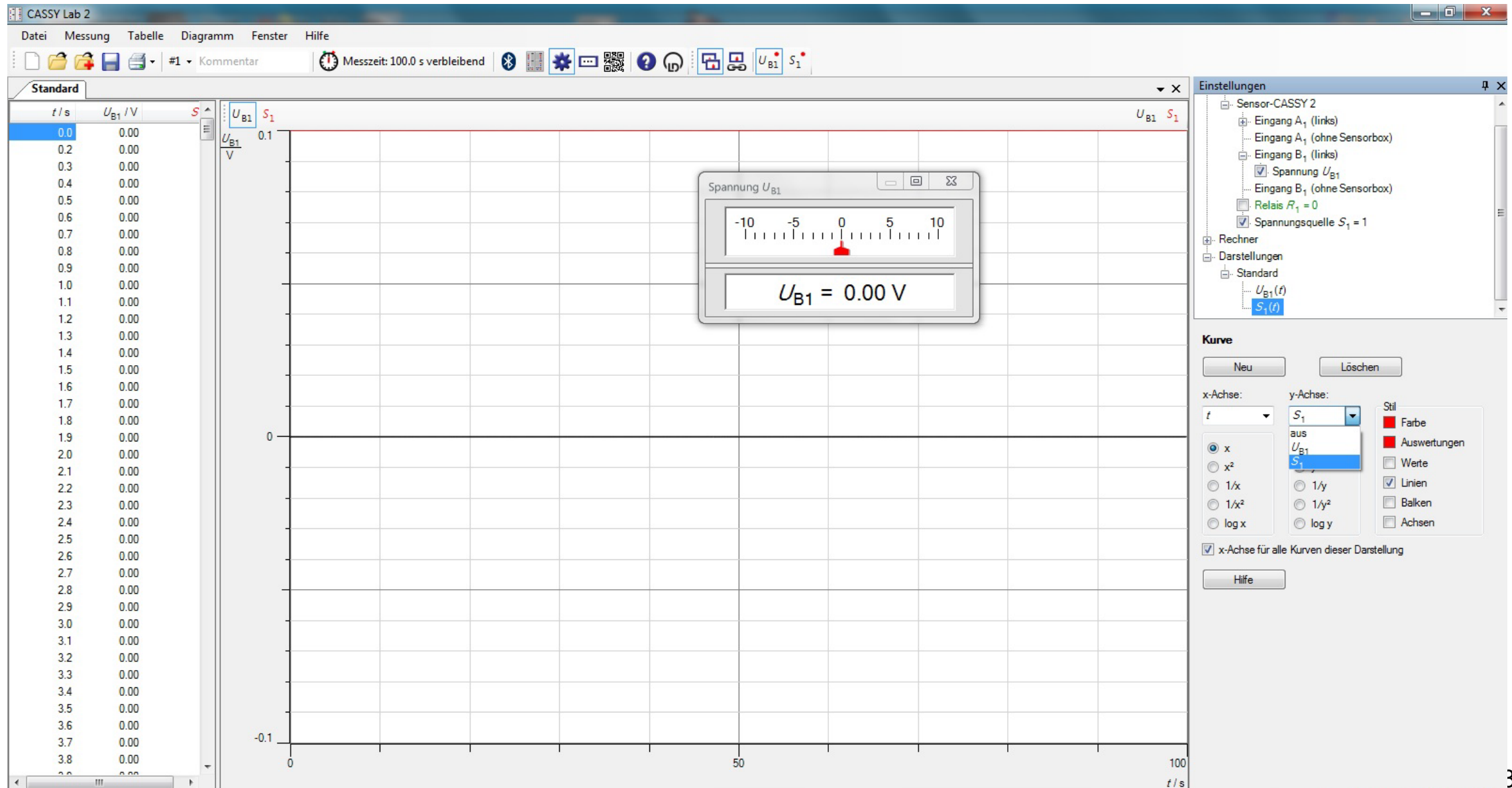
# Cassy Lab 2, Einstellungen, Messparameter



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

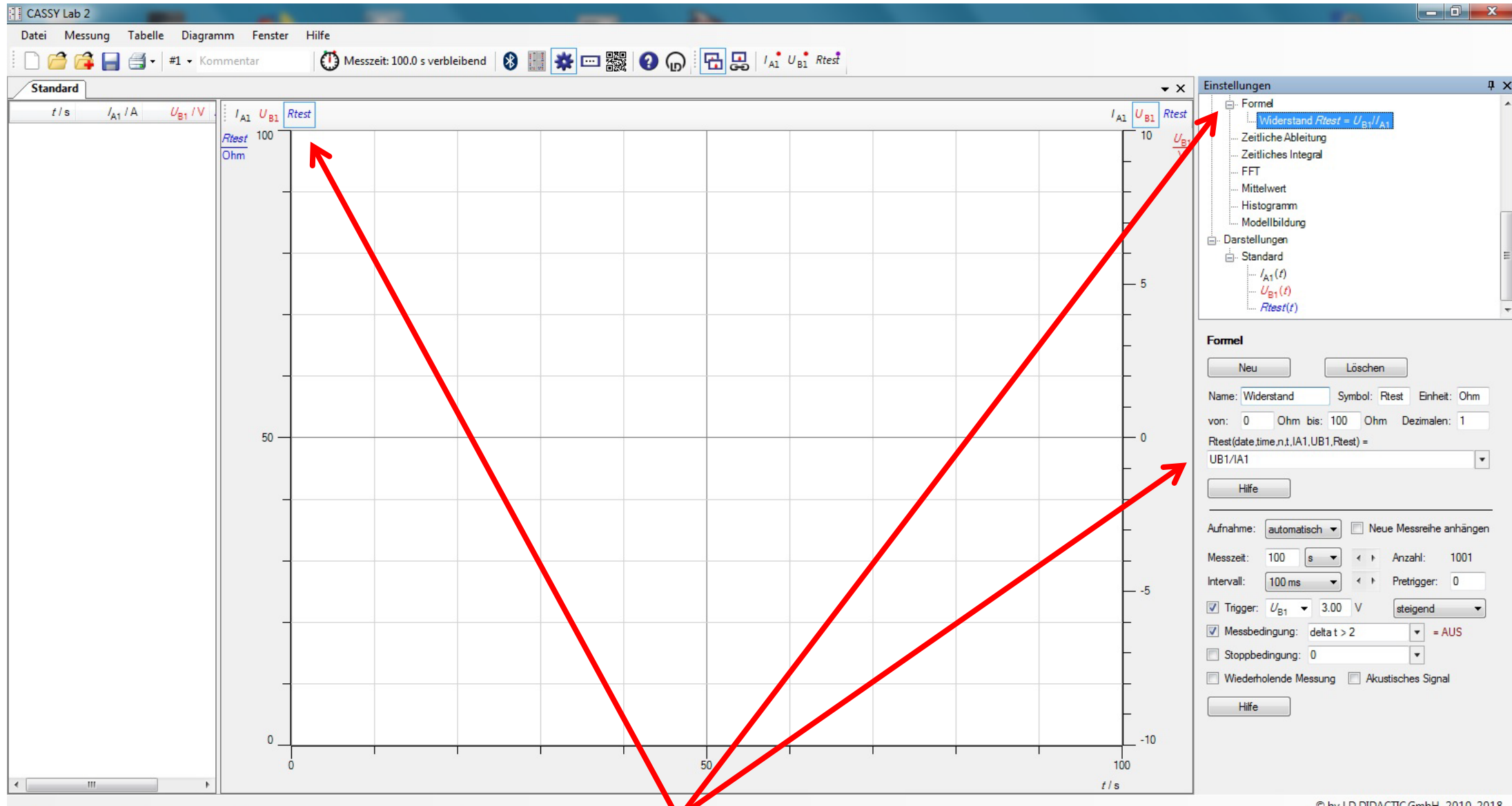
**Messintervall und –anzahl, Trigger und Messbedingungen (falls benötigt) einstellen und im Messprotokoll notieren!**

# Cassy Lab 2, Einstellungen, Darstellungen



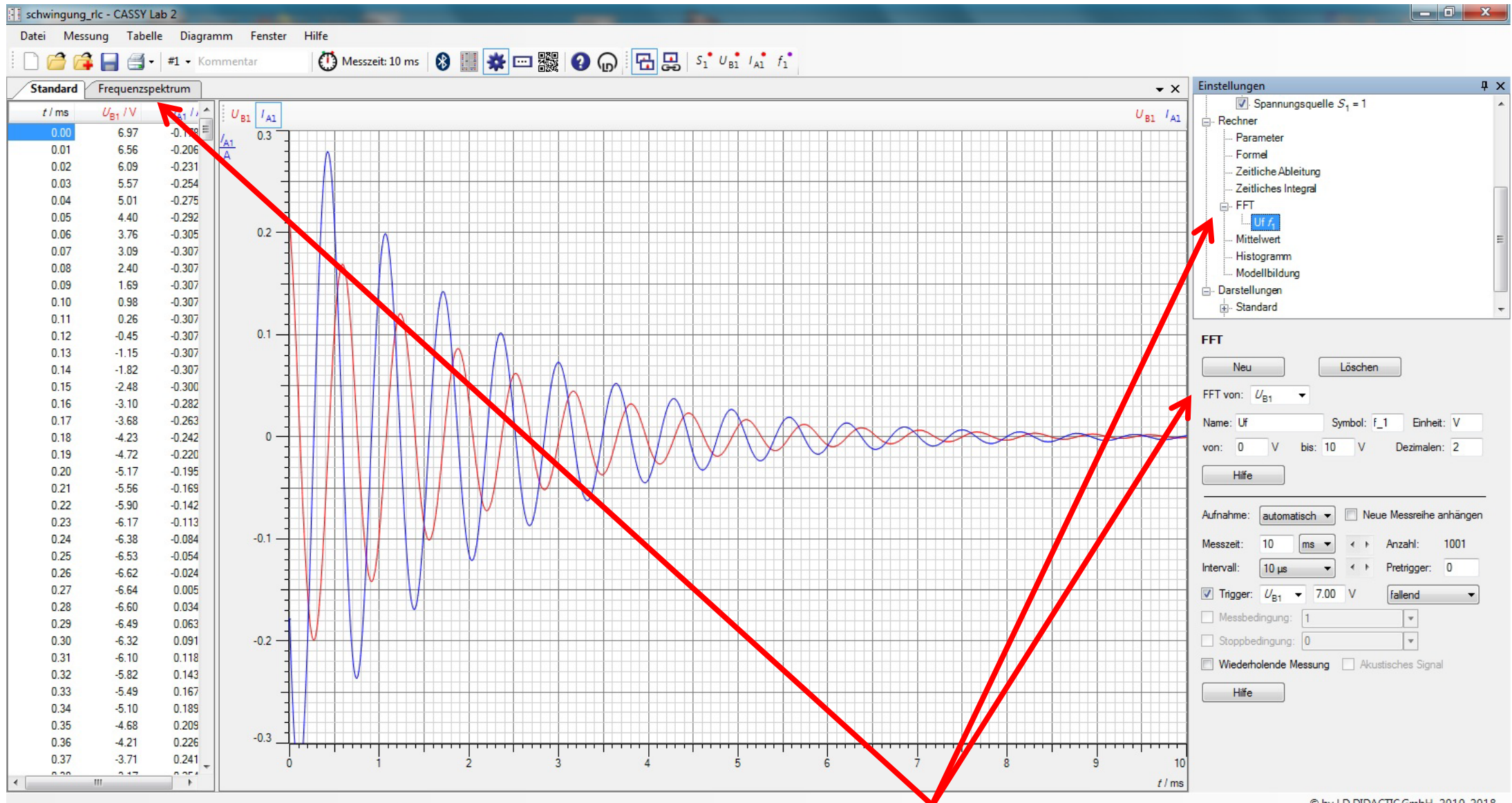


# Cassy Lab 2, Einstellungen, Parameter/Formel/FFT

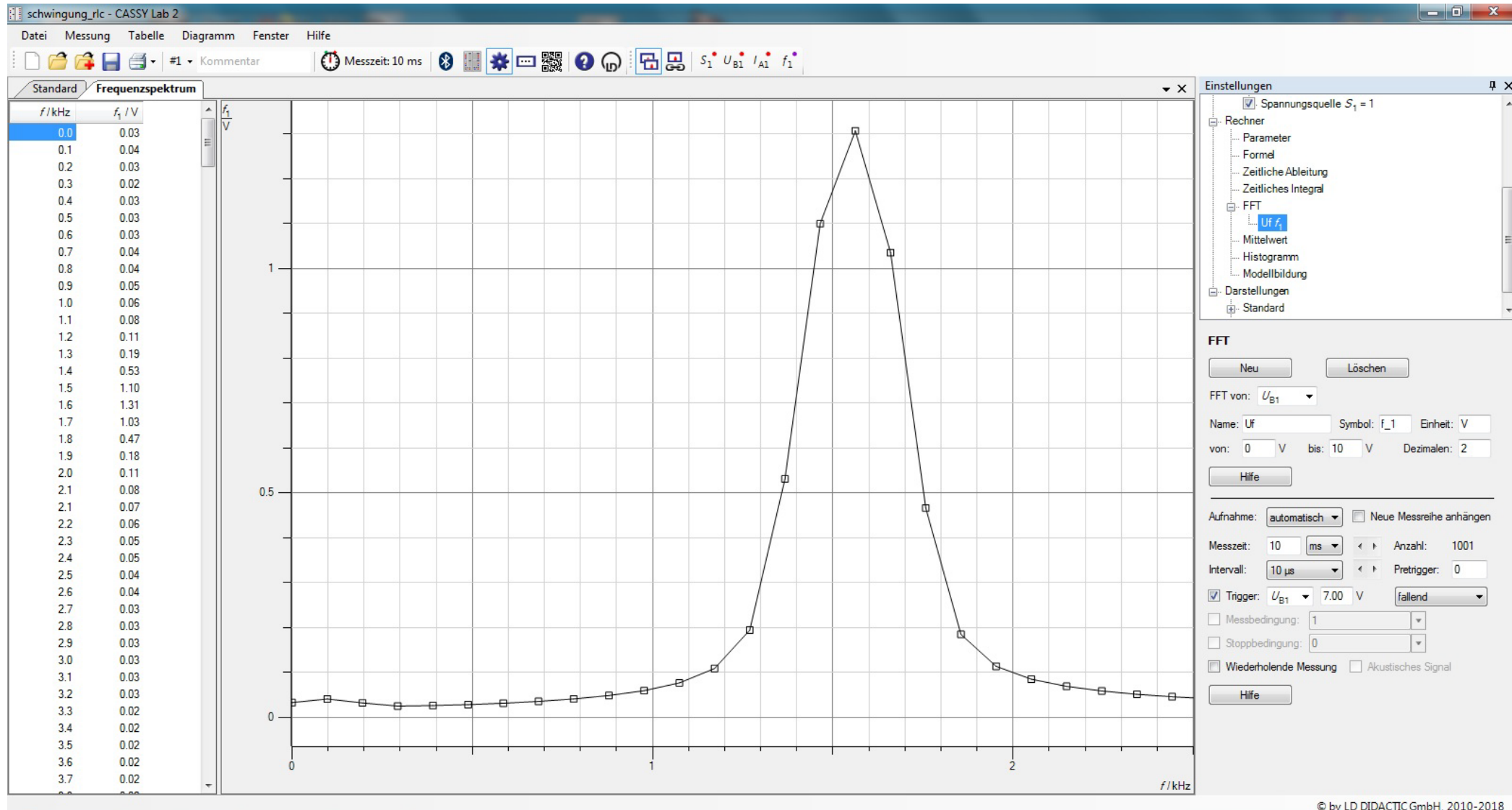


**Konstante oder Parameter oder Formel oder FFT: Definition einer neuen Größe**

# Cassy Lab 2, Einstellungen, Parameter/Formel/FFT



# Cassy Lab 2, Einstellungen, Parameter/Formel/FFT

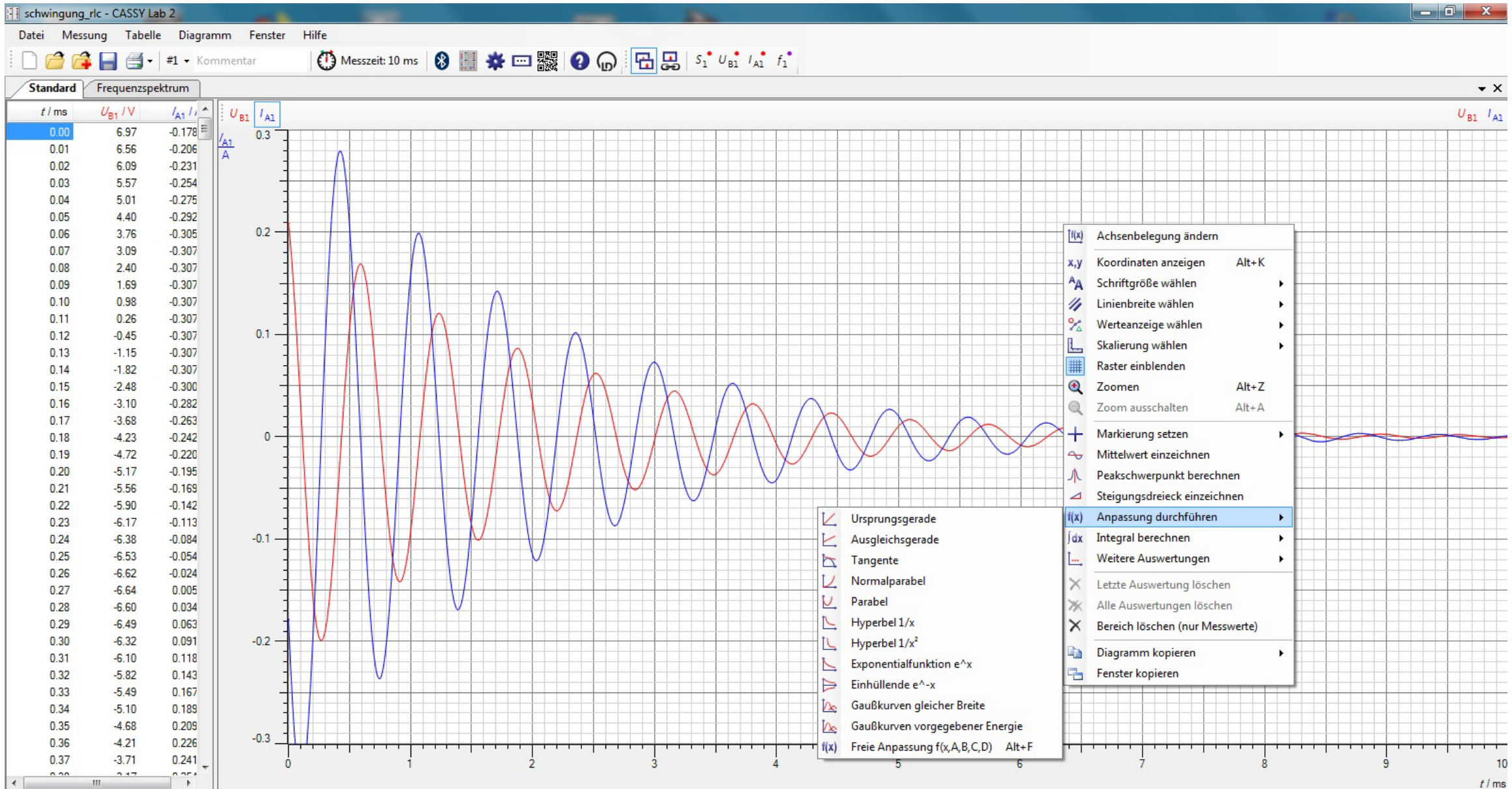


© by LD DIDACTIC GmbH, 2010-2018

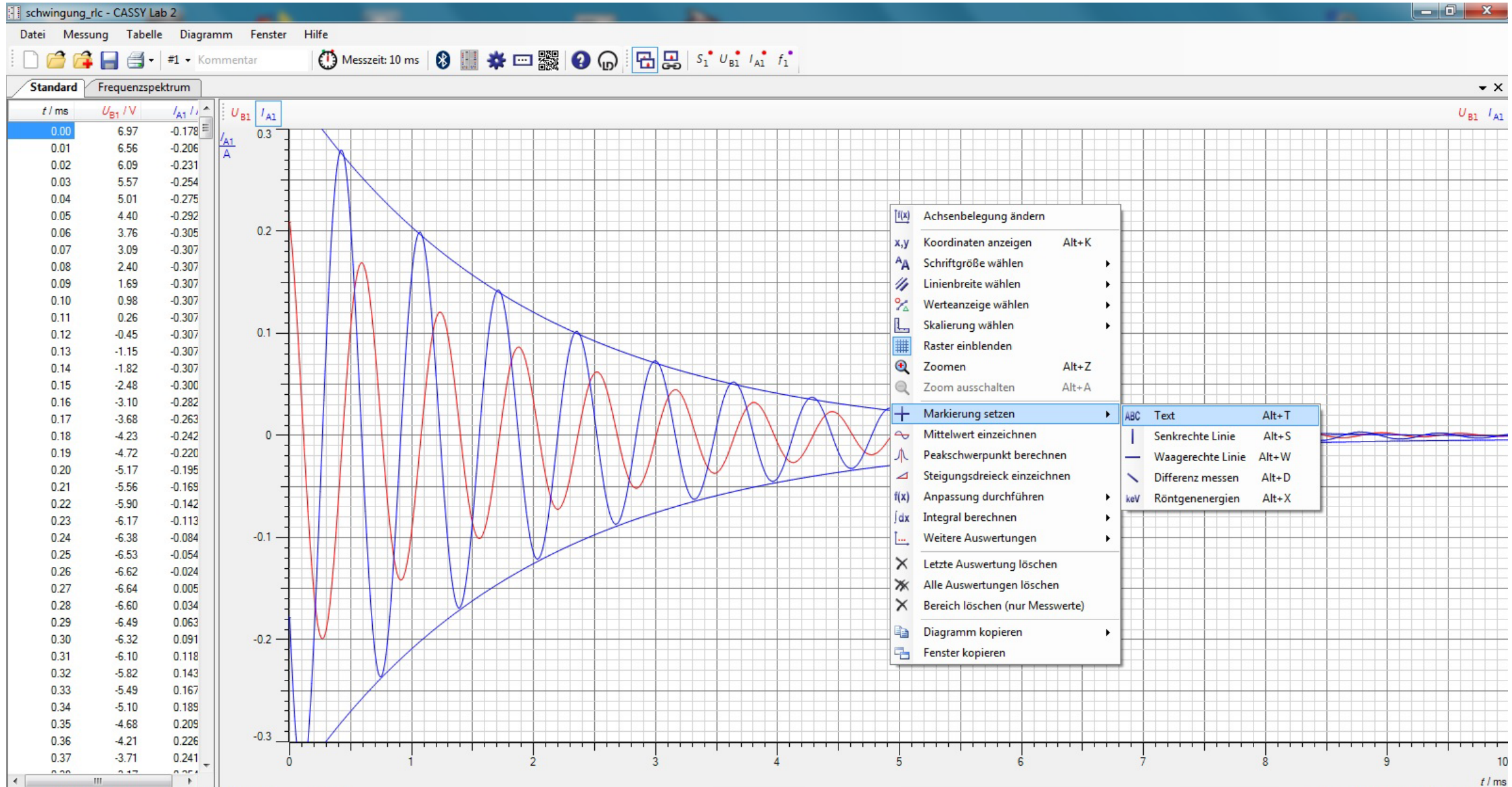
**Konstante oder Parameter oder Formel oder FFT: Definition einer neuen Größe**



# Cassy Lab 2, Anpassungen

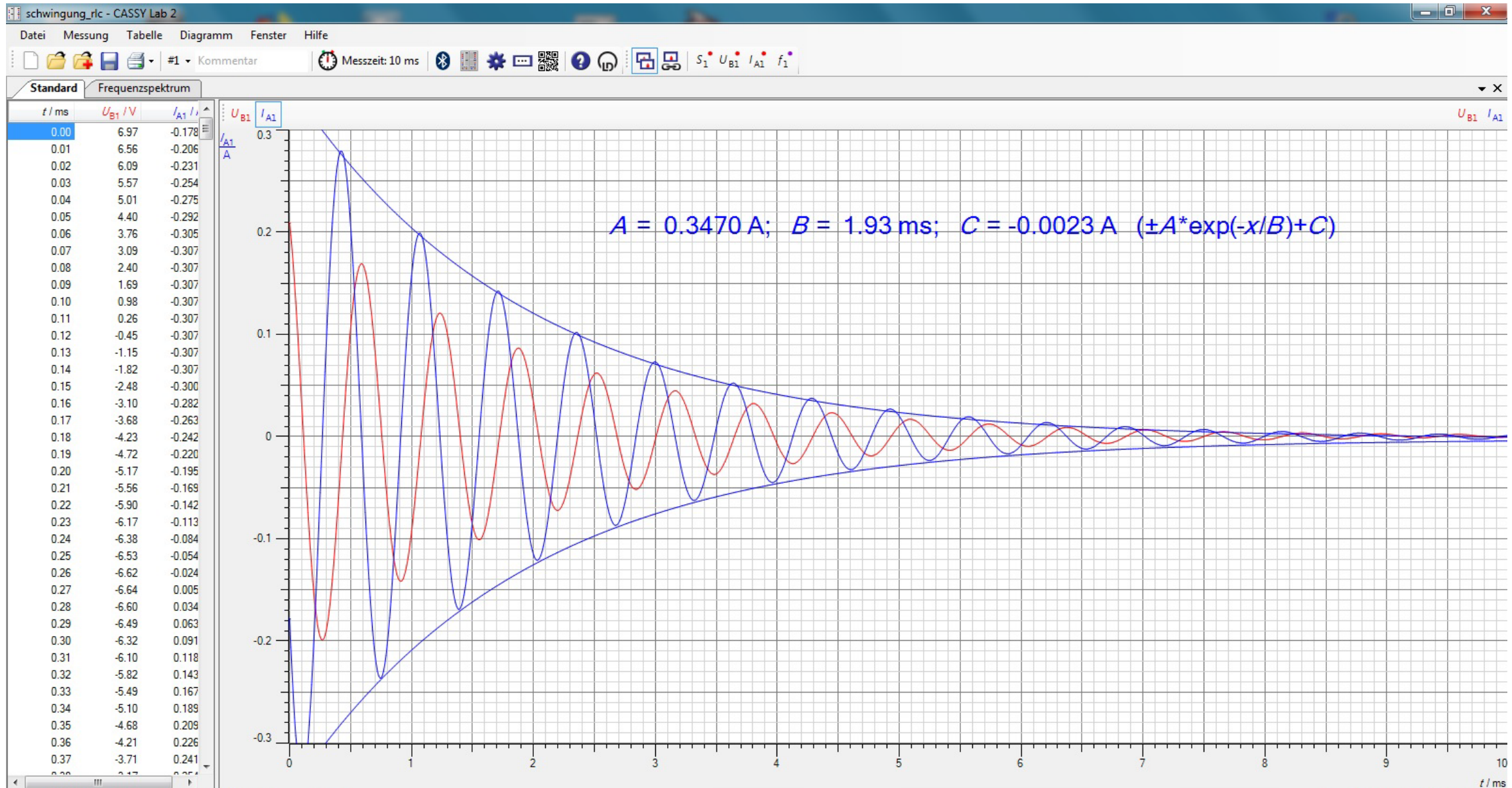


# Cassy Lab 2, Anpassungen





# Cassy Lab 2, Anpassungen



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<sub>B1</sub> / V'. It contains a list of time and voltage values.
- Center Panel:** A graph showing a signal trace for 'U<sub>B1</sub> / V' over time. The x-axis is labeled 't / ms' and ranges from 0 to 100. The y-axis is labeled 'U<sub>B1</sub> / V' and ranges from -0.1 to 0.1. A small window titled 'Spannung U<sub>B1</sub>' is overlaid on the graph, showing a scale from -10 to 10 and a current reading of 'U<sub>B1</sub> = 0.00 V'.
- Right Panel:** A settings window titled 'Einstellungen' with a tree view showing the measurement setup. Below the tree view, there are settings for 'Spannung U<sub>B1</sub>', including range, measurement type, and trigger settings.

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

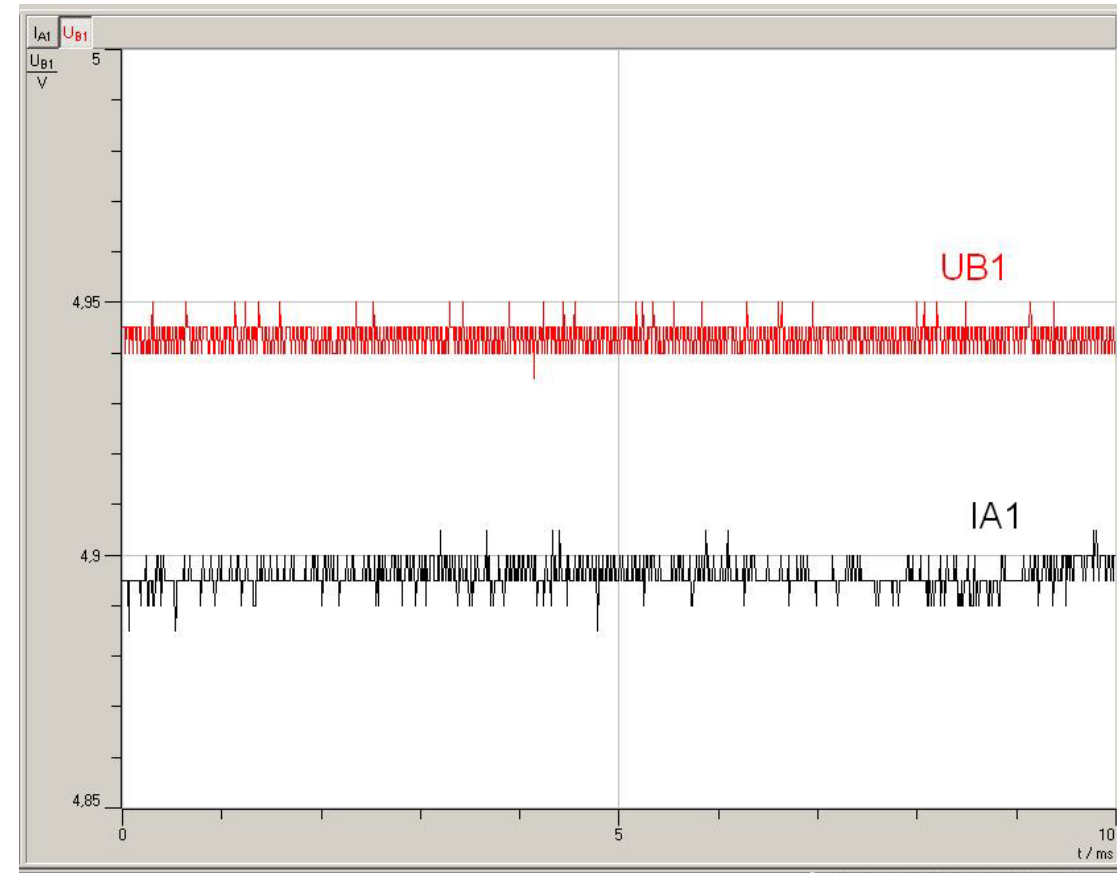
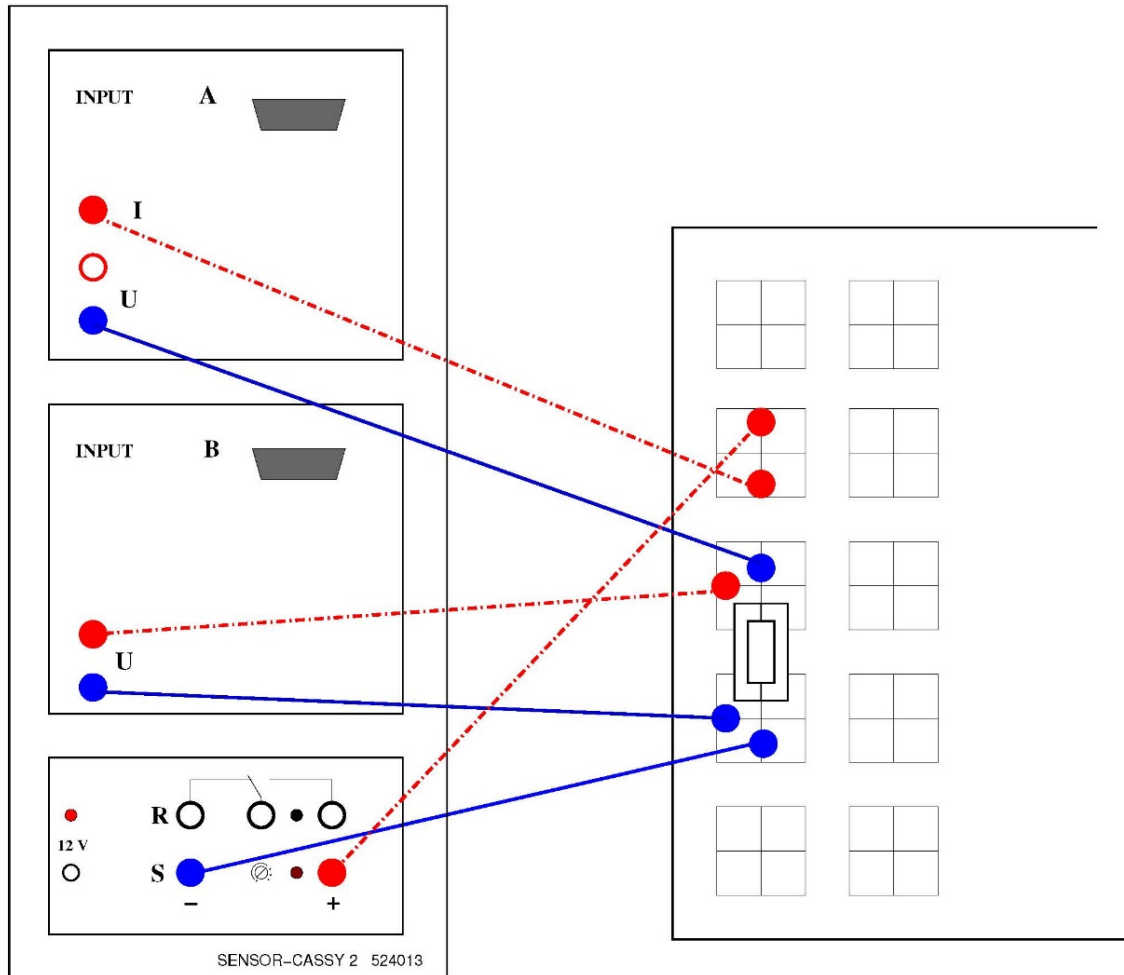
- Red arrow pointing to the 'Messung' menu item: 'Messung starten/stoppen (F9)'
- Red arrow pointing to the 'Einstellungen' icon in the toolbar: 'Einstellungen (F5)'
- Red arrow pointing to the 'Spannung U<sub>B1</sub>' window: 'Anzeigefenster für Messwerte'
- Red arrow pointing to the 'Einstellungen' window: 'Einstellungenfenster'
- Red arrow pointing to the table: 'Messwerttabelle'
- Red arrow pointing to the graph: 'Diagramme, In Diagramm mit Mausklick öffnet Fenster für Anpassungen etc.'
- Red arrow pointing to the 'Datei' menu: 'F2: Dateien speichern, F3: Dateien laden, F4: Daten löschen'
- Yellow box at the bottom: 'Messungen abspeichern und Dateinamen notieren!'

Messwerttabelle

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

Einstellungsfenster

# Sensor Cassy 2 Interface, Messungengenauigkeiten



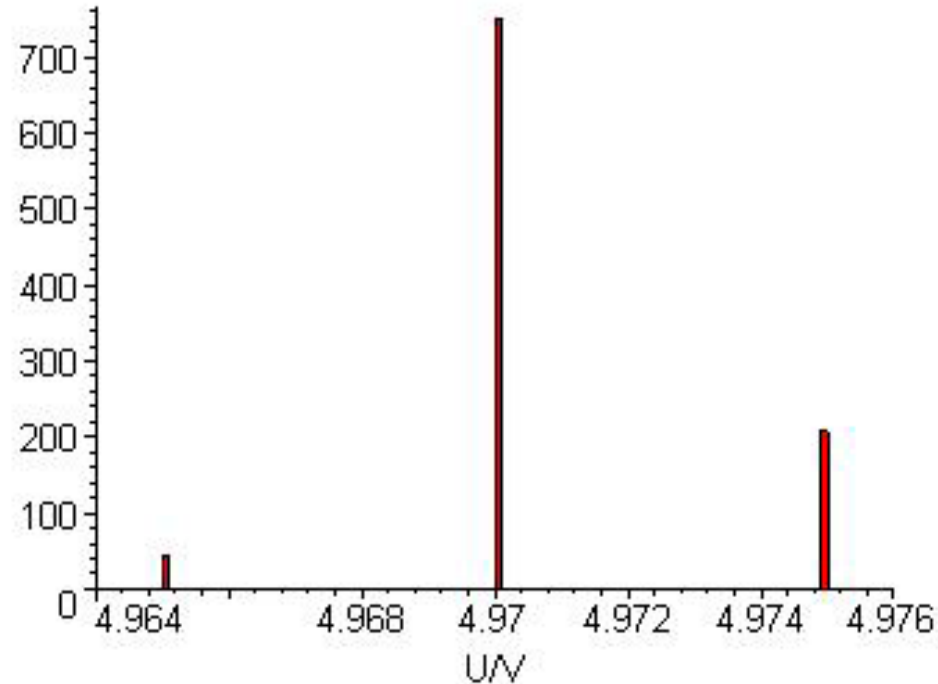
Messaufbau:  $R=100\Omega$

Angelegte Spannung:  $U=5V$

Im Kreis fließender Strom:  $I=0,05A$



# Sensor-Cassy 2 Interface, statistische Messungsgenauigkeit?



Messbereich:  $\pm 10$  V

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

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

= (MU Einzelmessung)

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

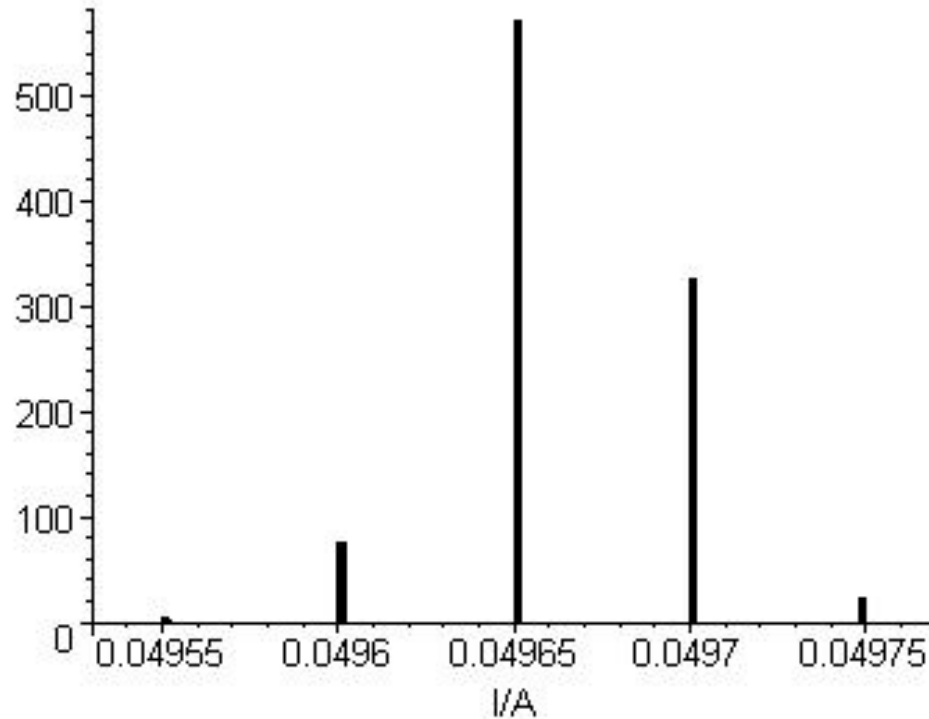
Digitale Auflösung: 12 bit = 4096 ,

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

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

**MU durch Messung bestimmen!**

# Sensor-Cassy 2 Interface, statistische Messungenauigkeit?



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

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

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

= (MU Einzelmessung)

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

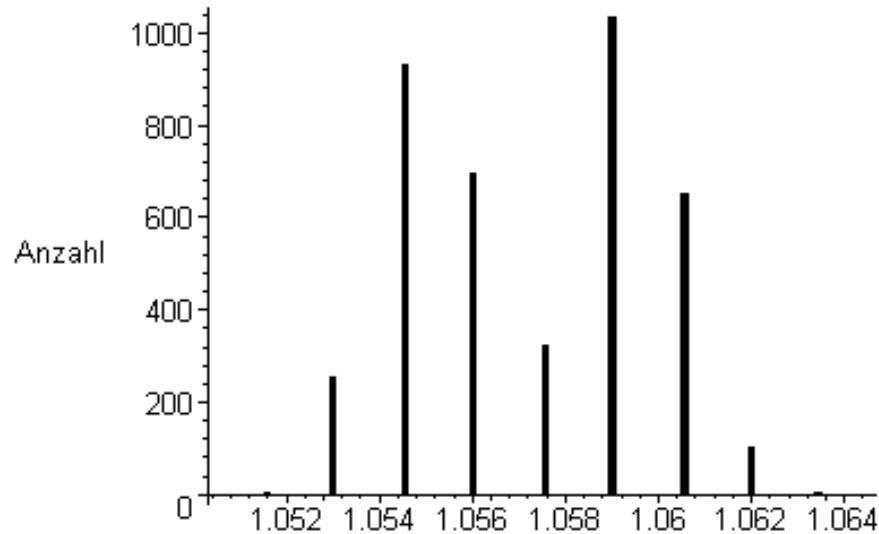
Digitale Auflösung: 12 bit = 4096 ,

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:  $\pm 3$  V

Mean =  $(1.0572 \pm 0.00004)$  V

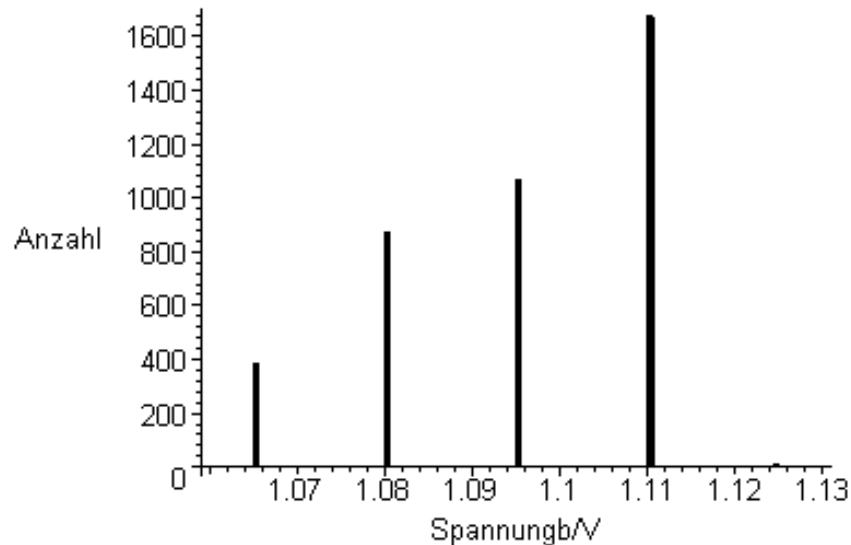
RMS = 2,5 mV

→ relativer Fehler: 2,4‰

Digitale Auflösung: 12 bit = 4096

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

→ „Fehler“ = 0,4 mV



Messbereich:  $\pm 30$  V

Mean =  $(1.095 \pm 0.0000003)$  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  $\pm 100V$

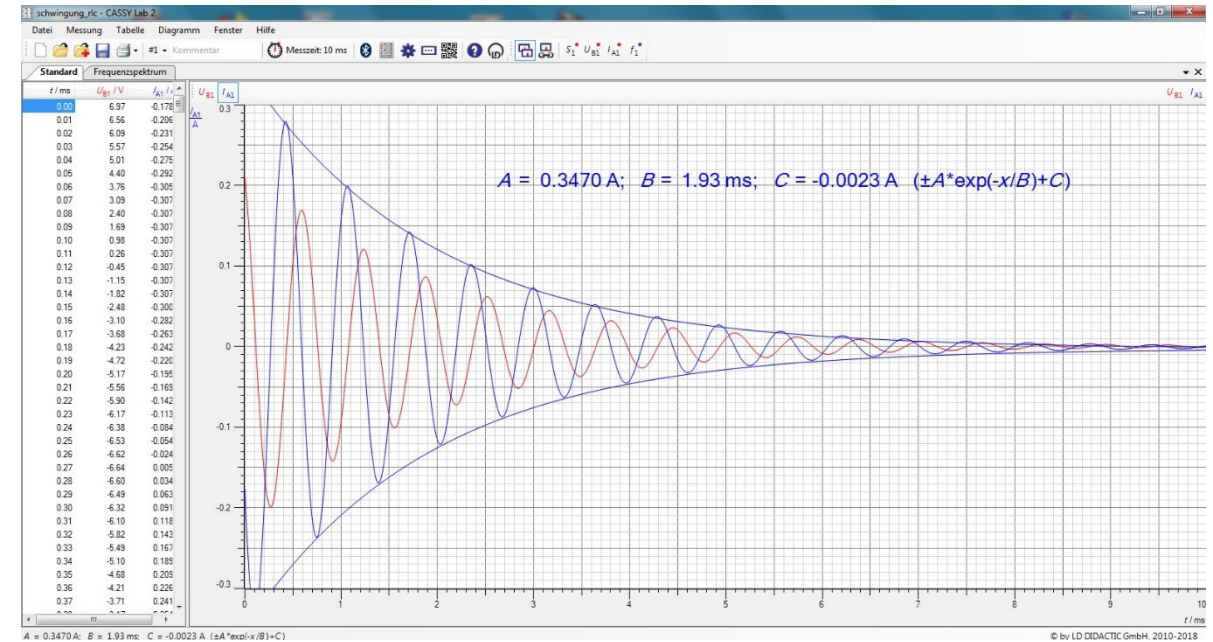
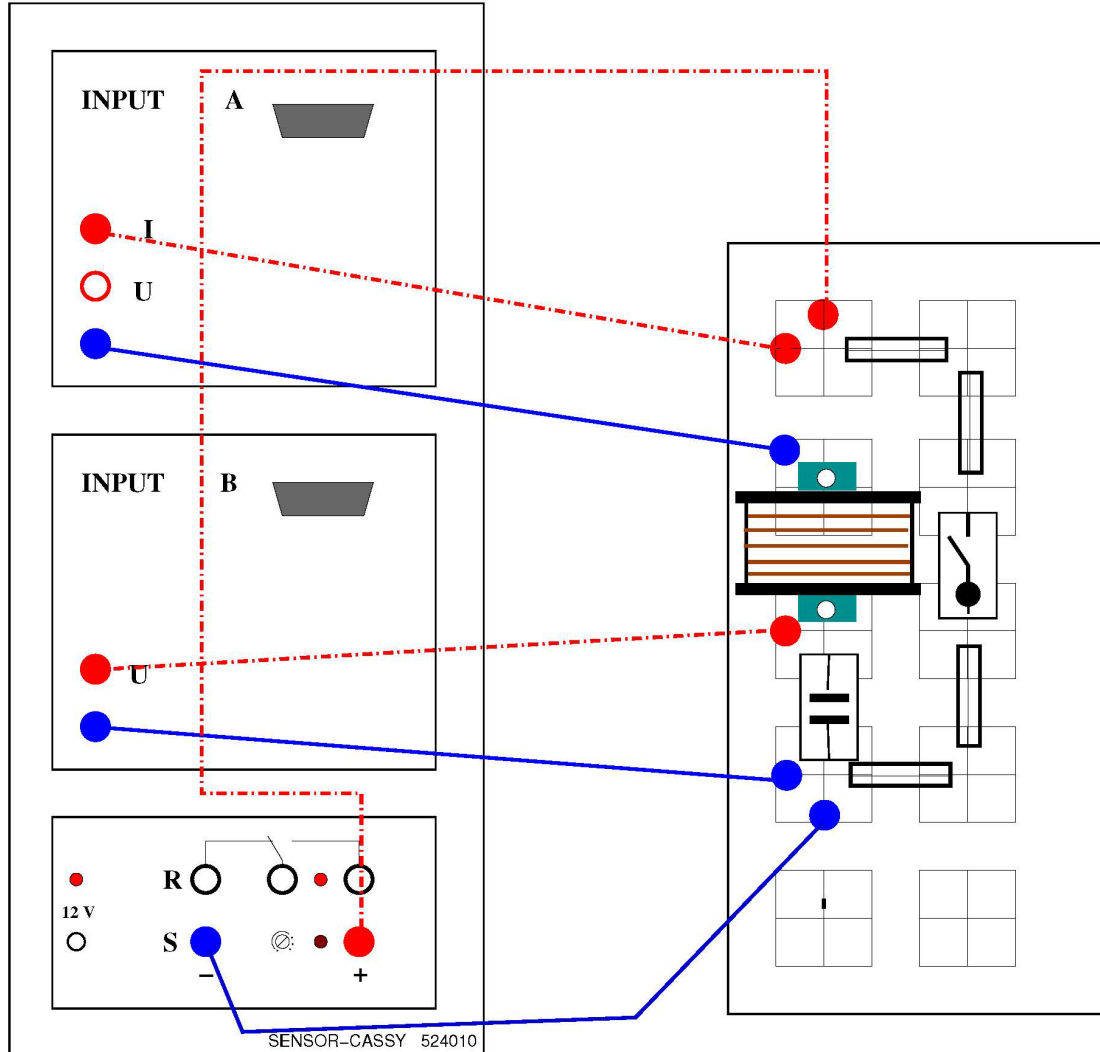
$$U_{sys} : (0,01 \cdot 2 + 0,005 \cdot 100) V = 0,52 V$$

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



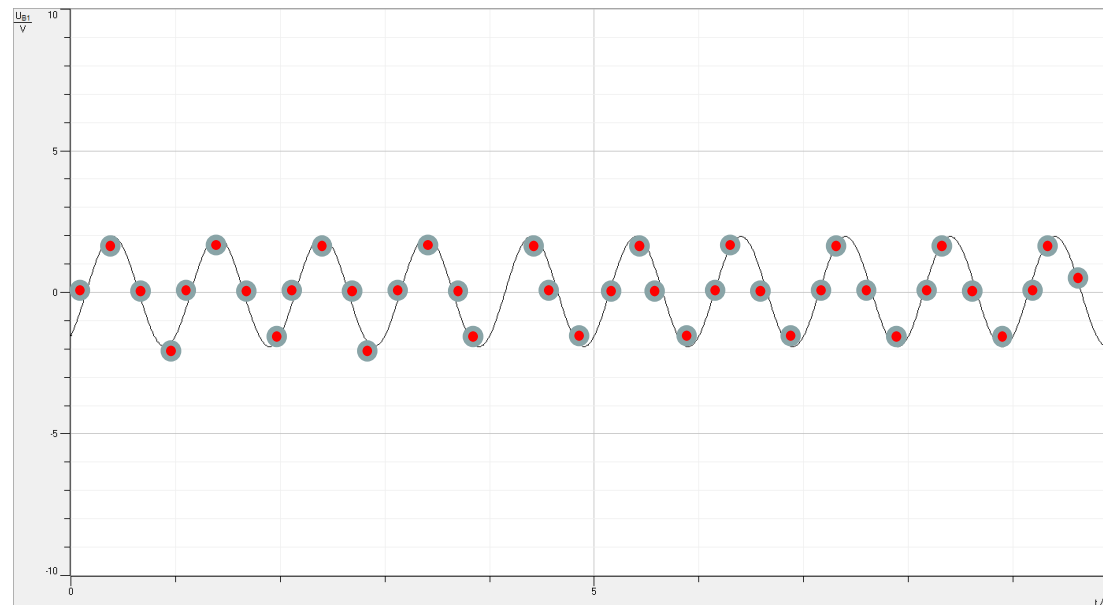


Umwandlung analog  $\rightarrow$  digital nicht kontinuierlich, sondern zu diskreten, periodisch angeordneten Zeitpunkten (**Abtastpunkte** bzw. **sampling points**).

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

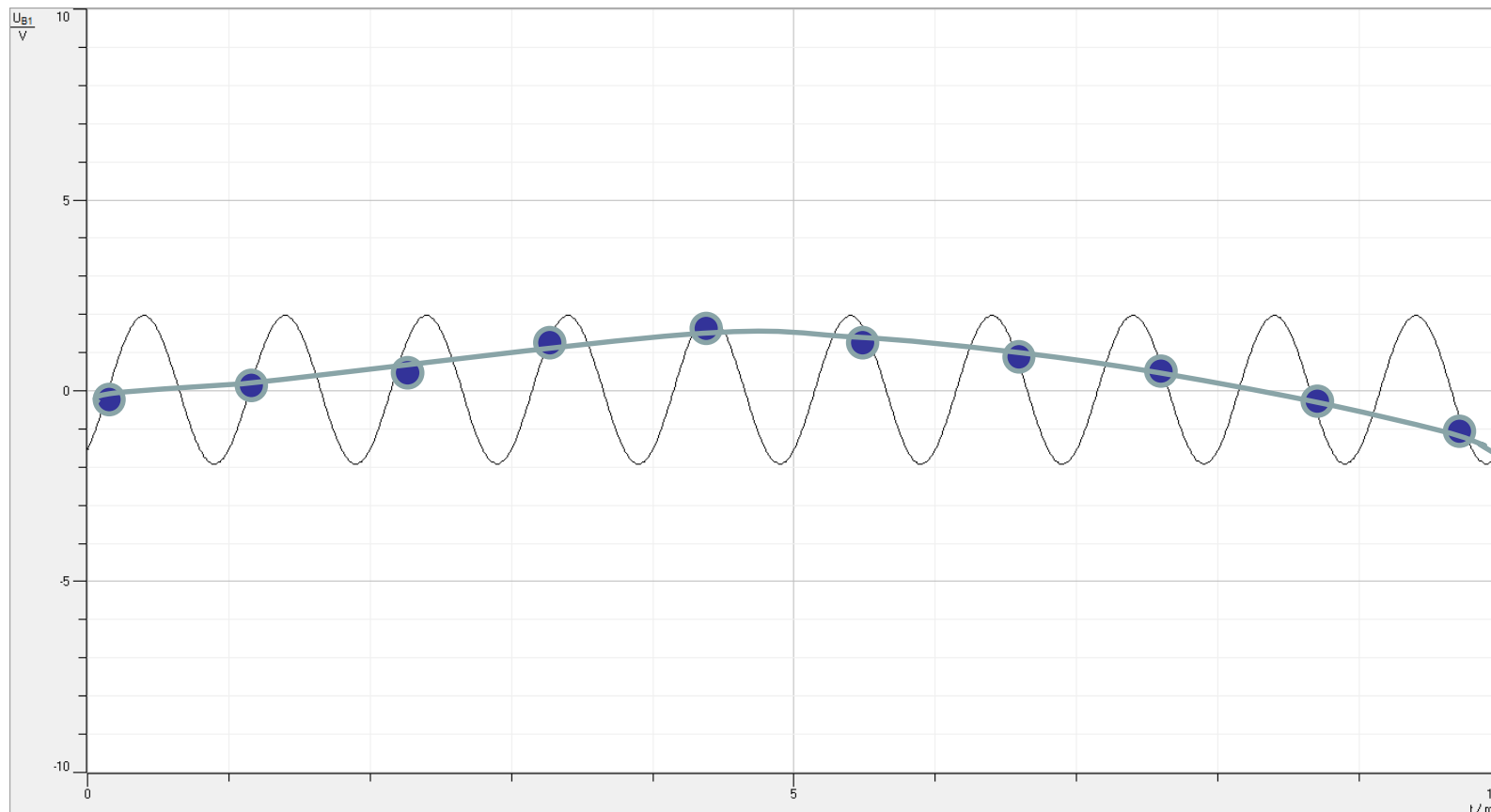
Je höher  $f_{\text{Abtastung}}$ , desto präziser kann zeitlicher Verlauf eines Eingangssignals dargestellt werden. Die höchstmögliche Abtastfrequenz  $f_{\text{Abtastung}}$  bestimmt nach dem Nyquist Shannon Theorem gleichzeitig die maximale Frequenz  $f_{\text{Signal}}$  eines noch erfassbaren harmonischen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

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



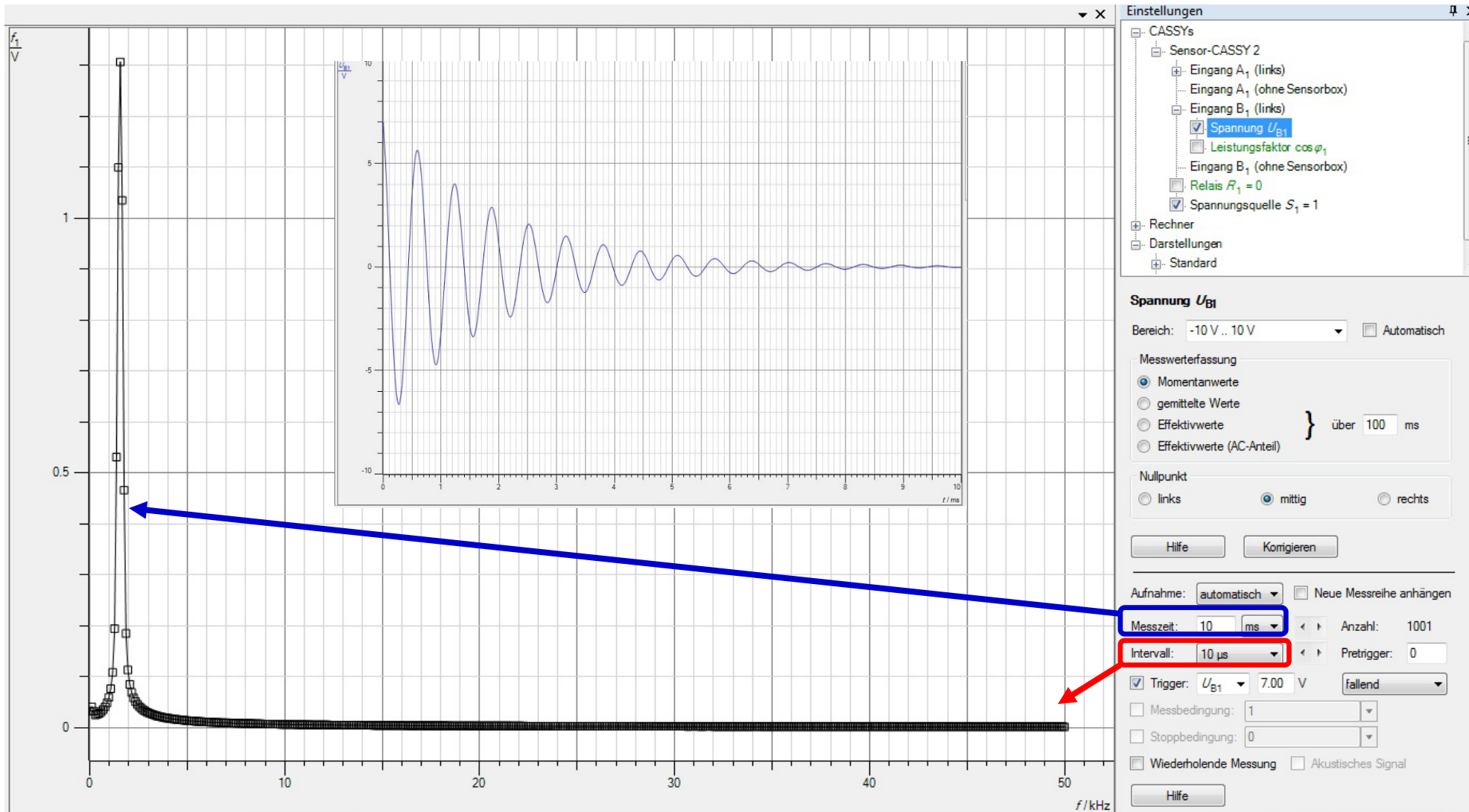
Nyquist Shannon Theorem  $f_{\text{Abtastung}} > 2 \cdot f_{\text{Signal}}$

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

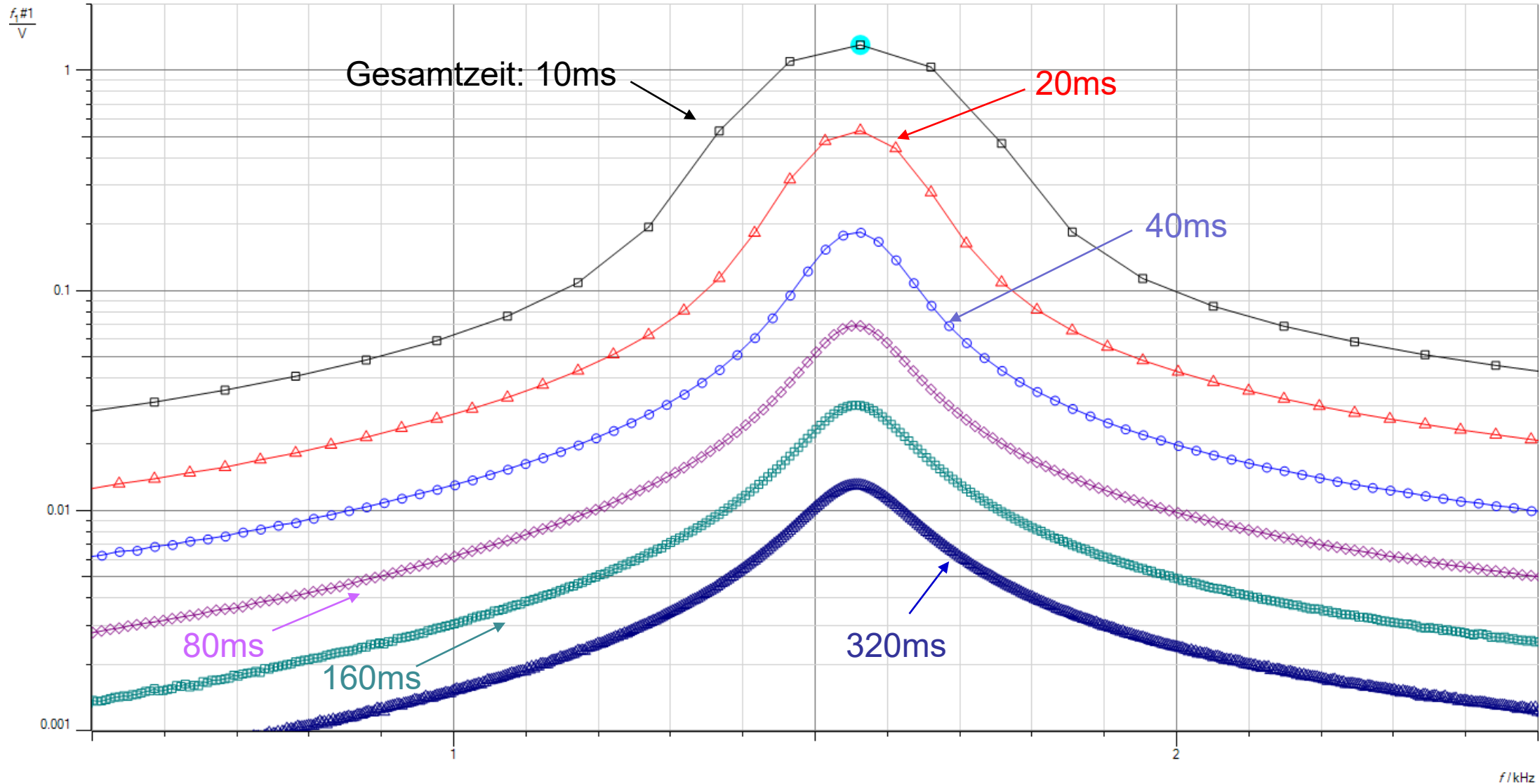


# Frequenzbereich und Abtastung CASSY 2 FFT

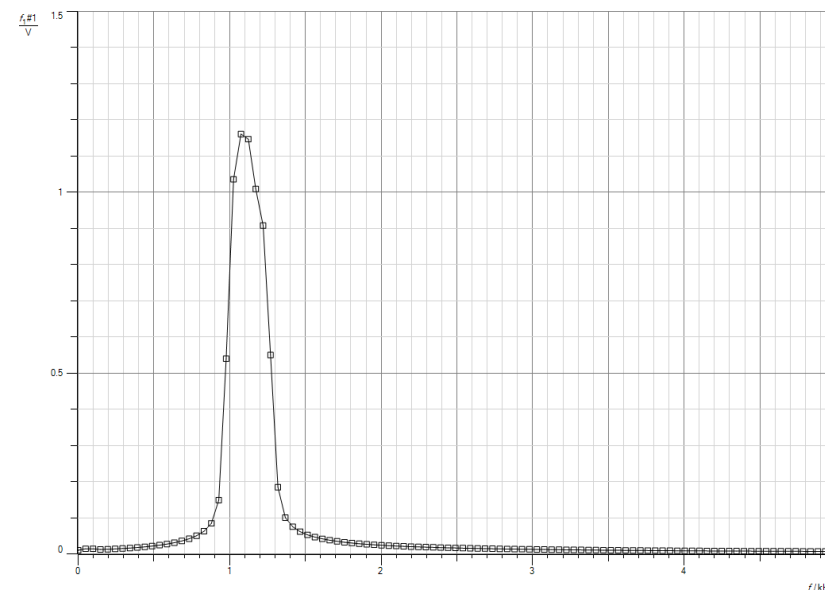
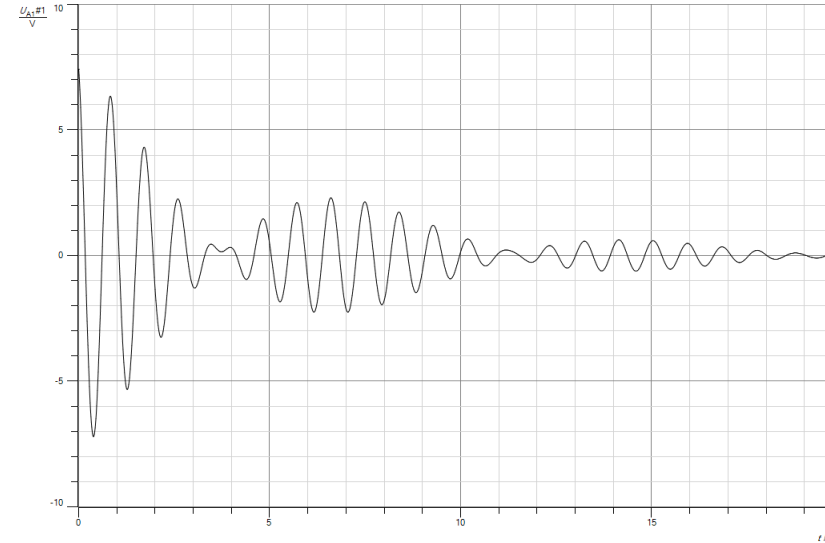
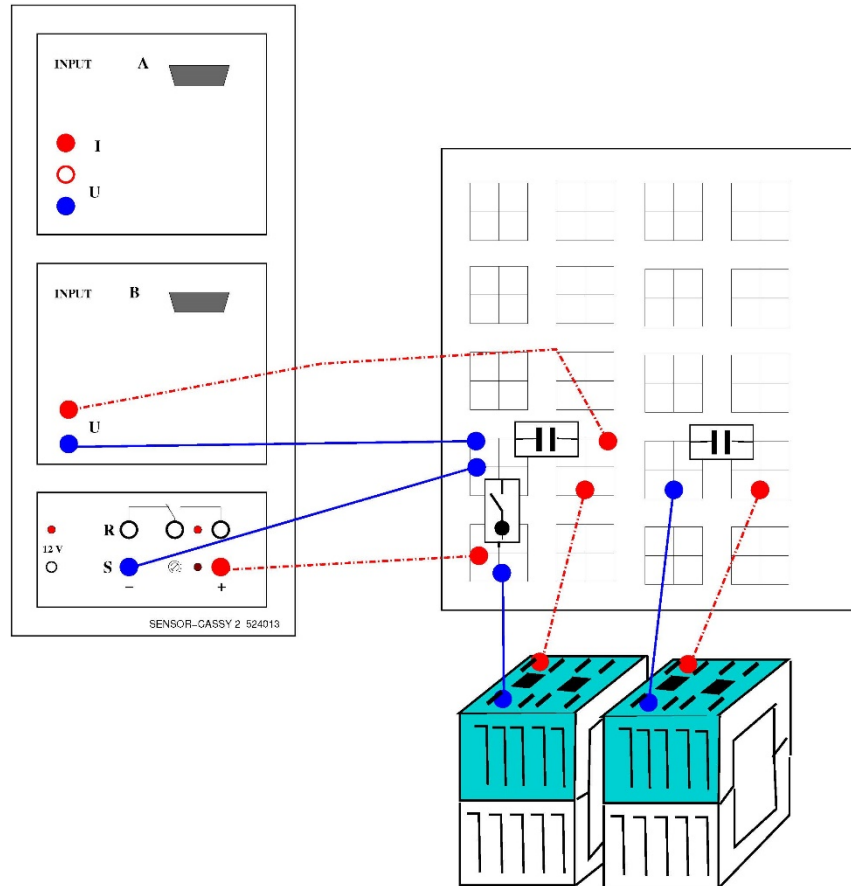
Messzeit Intervall gibt maximale Frequenz /2 vor  
Gesamt-Messzeit gibt Abtastung vor



# Frequenzbereich und Abtastung, CASSY 2 FFT



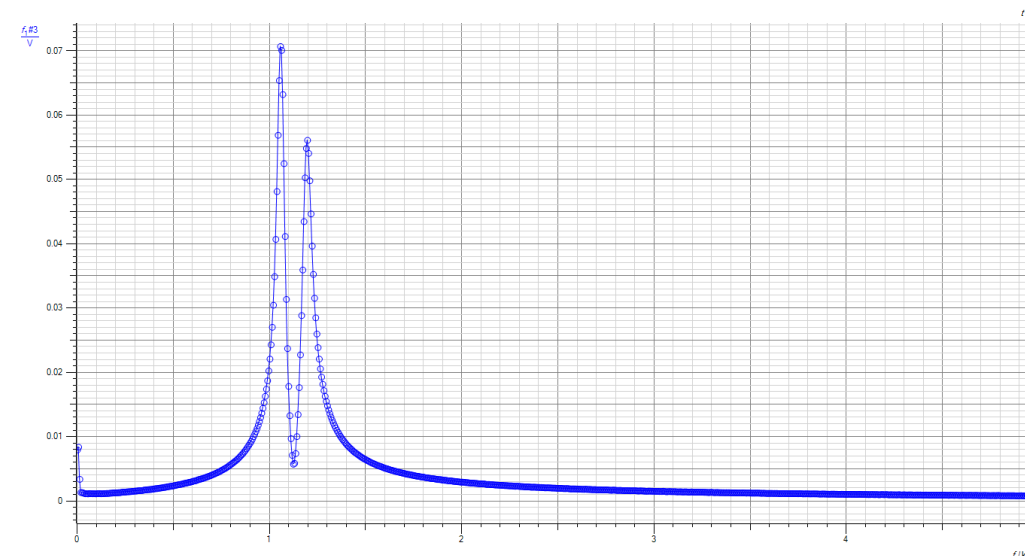
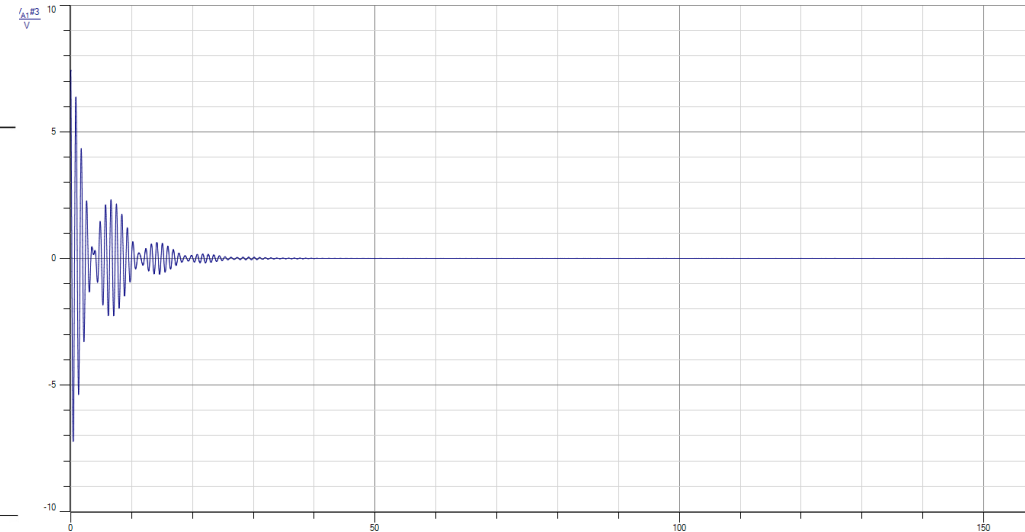
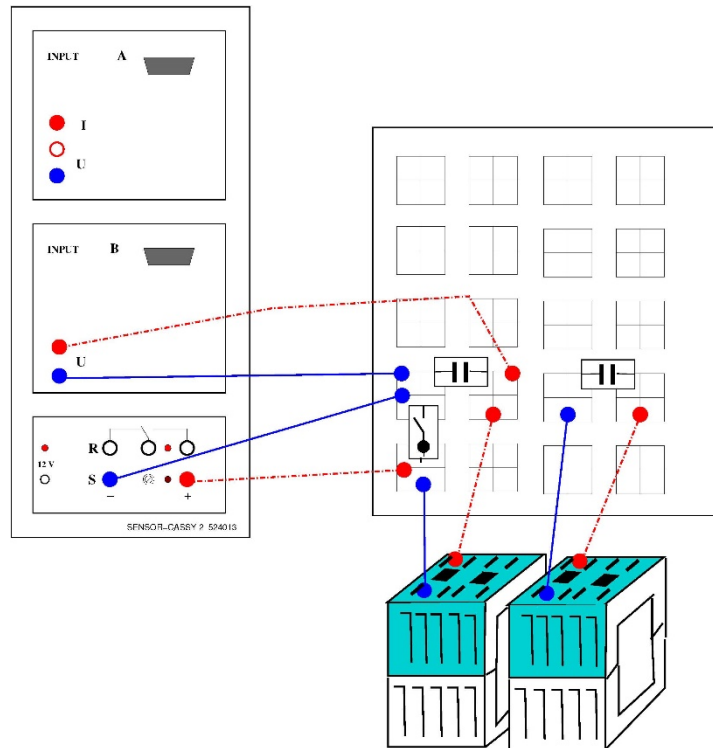
# Gekoppelte Schwingungen: Das Ende der CASSY FFT oder bessere Abtastung?



Gesamtmesszeit 20 ms reicht nicht zur Auflösung der beiden Fundamentalschwingungen

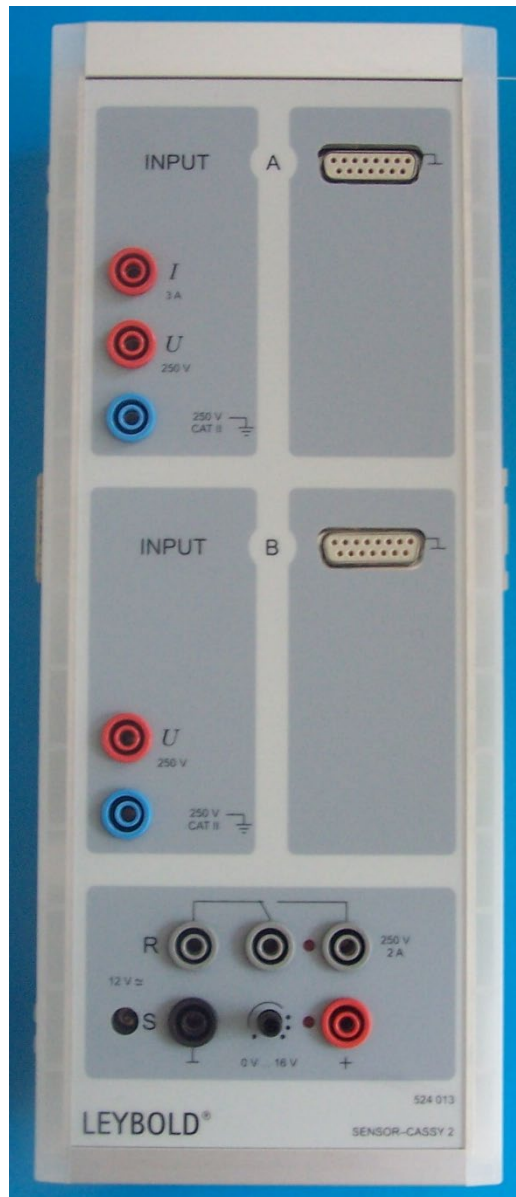


# Gekoppelte Schwingungen: Das Ende der CASSY FFT oder bessere Abtastung?



Gesamtmesszeit 160 ms reicht zur Auflösung der beiden Fundamentalschwingungen

# Zusammenfassung Sensor Cassy 2



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

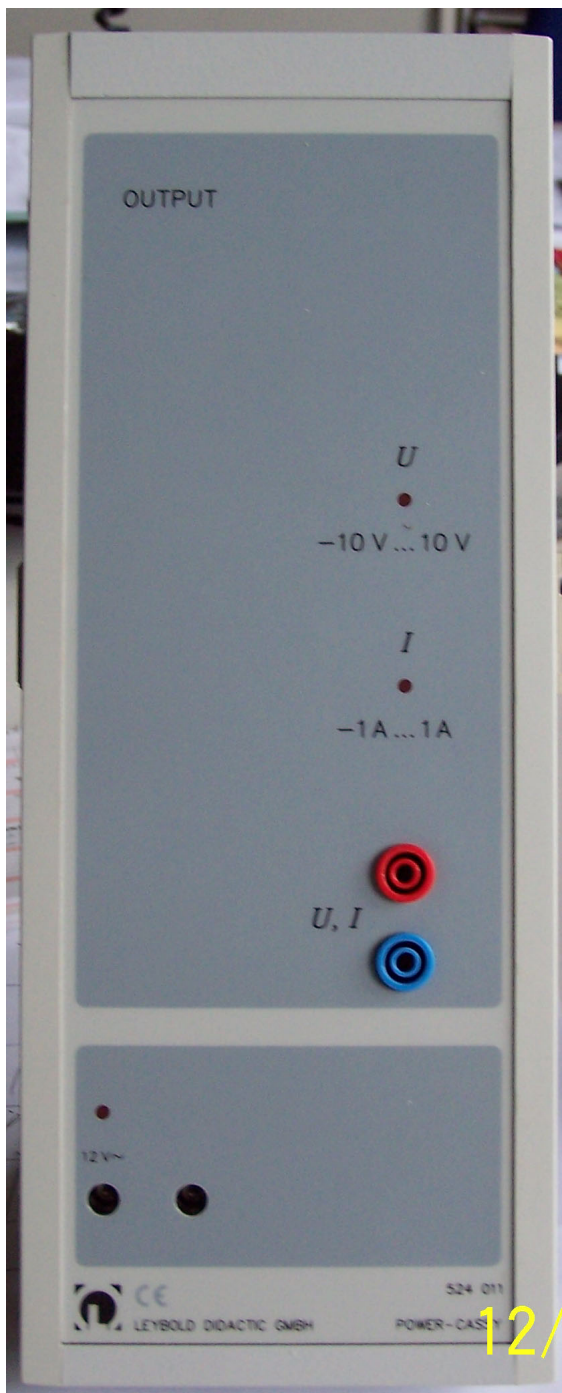
# Funktionsgenerator Power Cassy

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

Anschluß an USB-Port oder über Sensor Cassy 2

Spannungsversorgung:

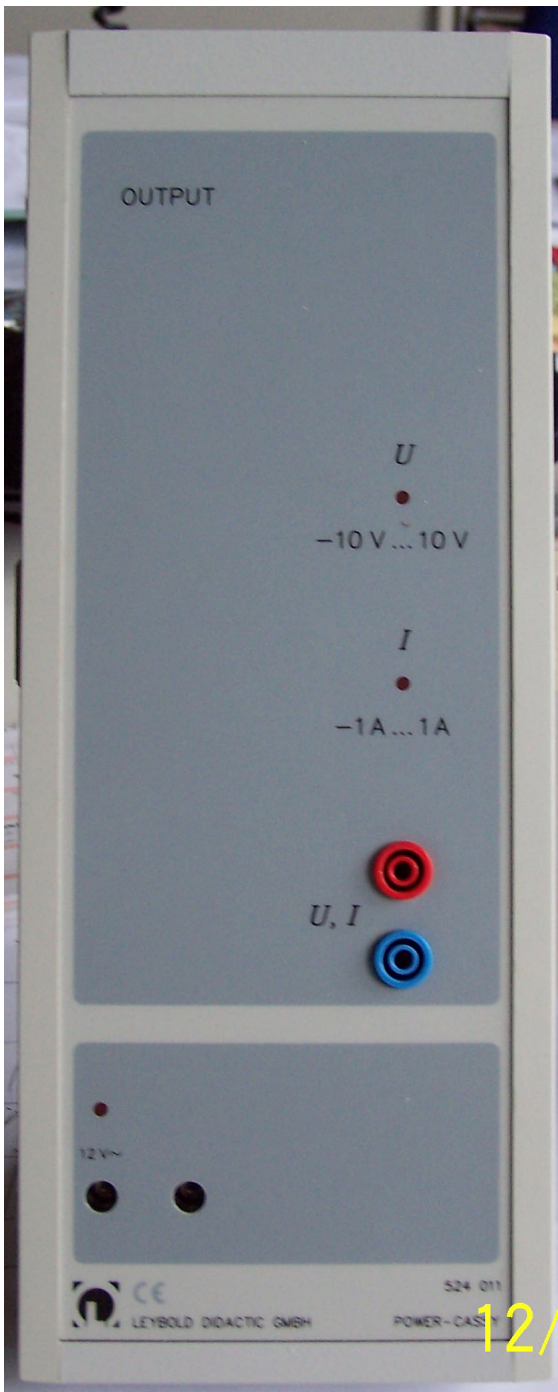
12V AC/DC über Hohlstecker oder benachbartes  
Cassy 2 Modul



# Funktionsgenerator Power Cassy

Programmierbare Stromquelle mit gleichzeitiger Spannungsmessung:

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

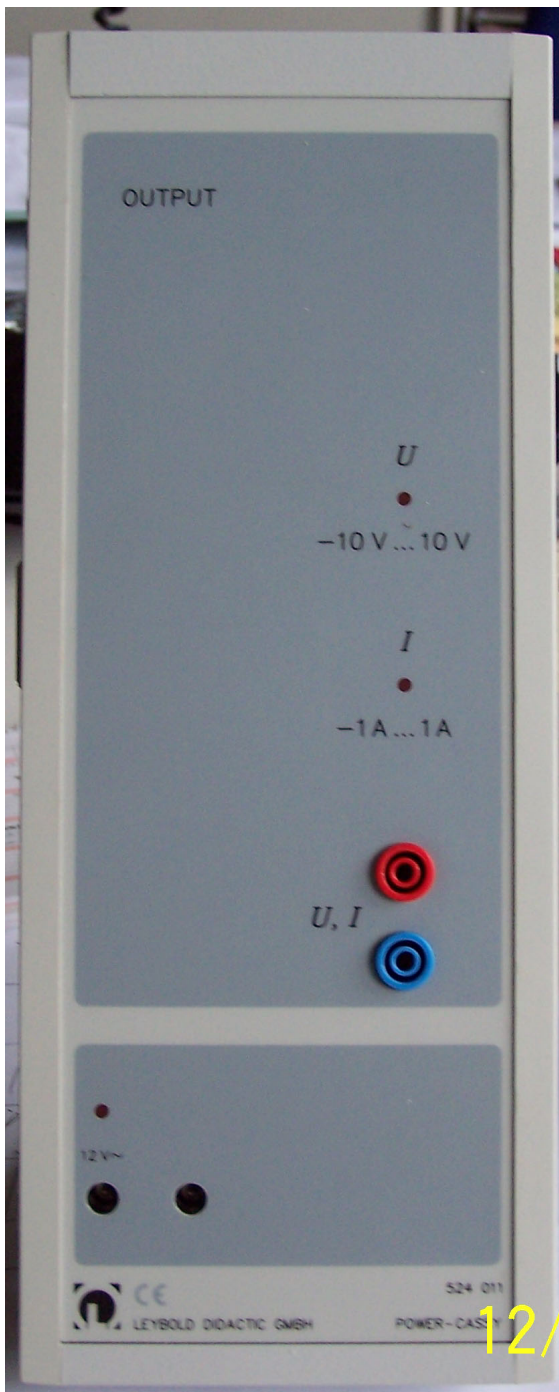




## Funktionsgenerator Power Cassy

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. 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 displays a window titled 'CASSYs' which contains a representation of the Power-CASSY device and its identification number 'LD 524 011'. Below the device representation, there is a message: 'Zum Aktivieren bitte einen Kanal anklicken.' and four buttons: 'Schließen', 'Messparameter anzeigen', 'Beispiel laden', and 'Hilfe'. To the right of the main window is a settings panel titled 'Einstellungen' which shows a tree view with 'CASSYs' expanded to show 'Power-CASSY' and 'Rechner'. 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', and 'Hier verfügbare Version: 1.08'. A message states '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

Standard

Spannung  $U_1$

-10 -5 0 5 10

$U_1 = 0.00 \text{ V}$

CASSYs

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  $\varphi_1$
  - Rechner
  - Darstellungen
    - Standard

Spannung  $U_1$  (Out)

Bereich: -10 V.. 10 V

Nur während einer Messung aktiv (single shot)

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

Parameter

50 Hz 0 Vp

50 % 0 V=

Messwertaufassung

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

Nulppunkt

- links
- mittig
- rechts

Hilfe

Aufnahme: automatisch  Neue Messreihe anhängen

Messzeit: 100 ms <> Anzahl: 1001

Intervall: 100  $\mu\text{s}$  <> Pretrigger: 0

t / ms

© 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

CASSY Lab 2

Standard

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  $\varphi_1$
  - 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

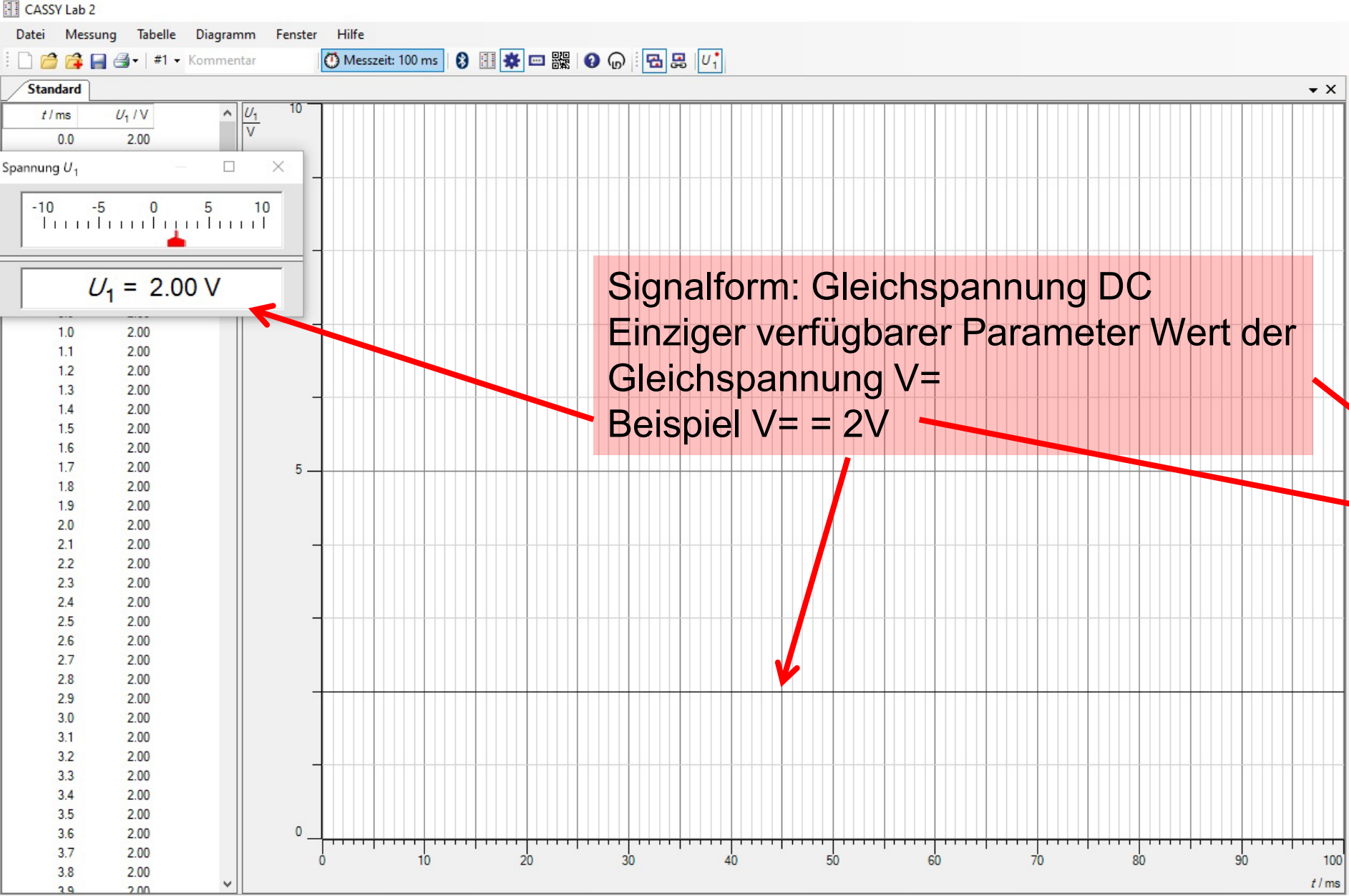
Intervall: 100  $\mu\text{s}$  Pretrigger: 56

56

© by LD DIDACTIC GmbH, 2010-2018

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  $V= = 2V$

Einstellungen

- CASSYs
  - Power-CASSY
    - Spannung  $U_1$  (Out)
    - Stromstärke  $I_1$  (Out)
    - Spannung  $U_1$
    - Stromstärke  $I_1$
    - Phasenverschiebung  $\varphi_1$
  - Rechner
  - Darstellungen
  - Standard

Spannung  $U_1$  (Out)

Bereich: -10 V.. 10 V

Nur während einer Messung aktiv (single shot)

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

Parameter

50 Hz 0 Vp

50 % 2 V=

Messwertaufzeichnung

Momentanwerte

gemittelte Werte

Effektivwerte

Effektivwerte (AC-Anteil)

Nullpunkt

links  mittig  rechts

Hilfe

Aufnahme: automatisch  Neue Messreihe anhängen

Messzeit: 100 ms < > Anzahl: 1001

Intervall: 100  $\mu$ s < > Pretrigger: 0 57

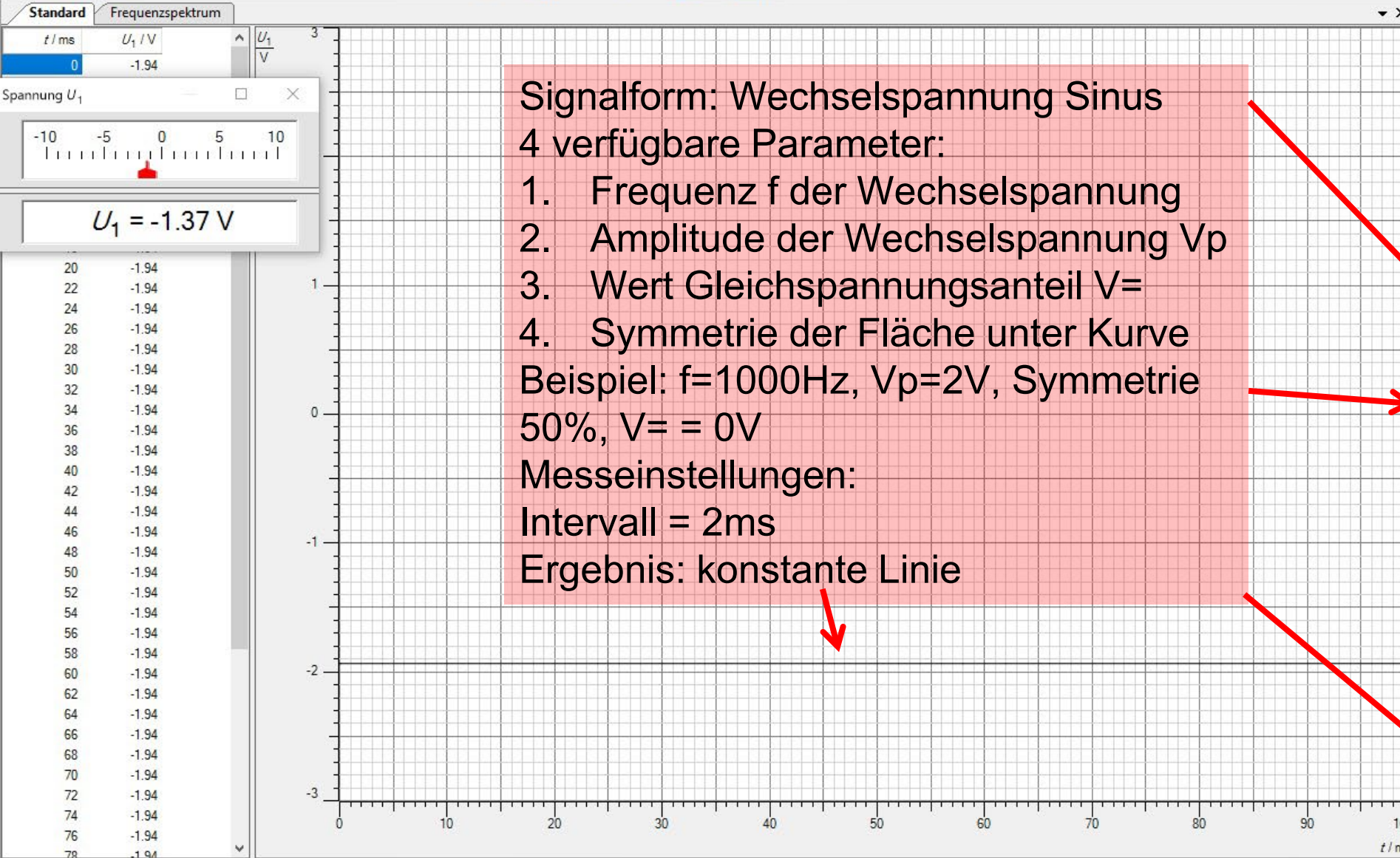


CASSY Lab 2

Datei Messung Tabelle Diagramm Fenster Hilfe

#1 - Kommentar

Messzeit: 100 ms



Signalform: Wechselspannung Sinus

4 verfügbare Parameter:

1. Frequenz  $f$  der Wechselspannung
2. Amplitude der Wechselspannung  $V_p$
3. Wert Gleichspannungsanteil  $V=$
4. Symmetrie der Fläche unter Kurve

Beispiel:  $f=1000\text{Hz}$ ,  $V_p=2\text{V}$ , Symmetrie

50%,  $V= = 0\text{V}$

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  $\varphi_1$
  - 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

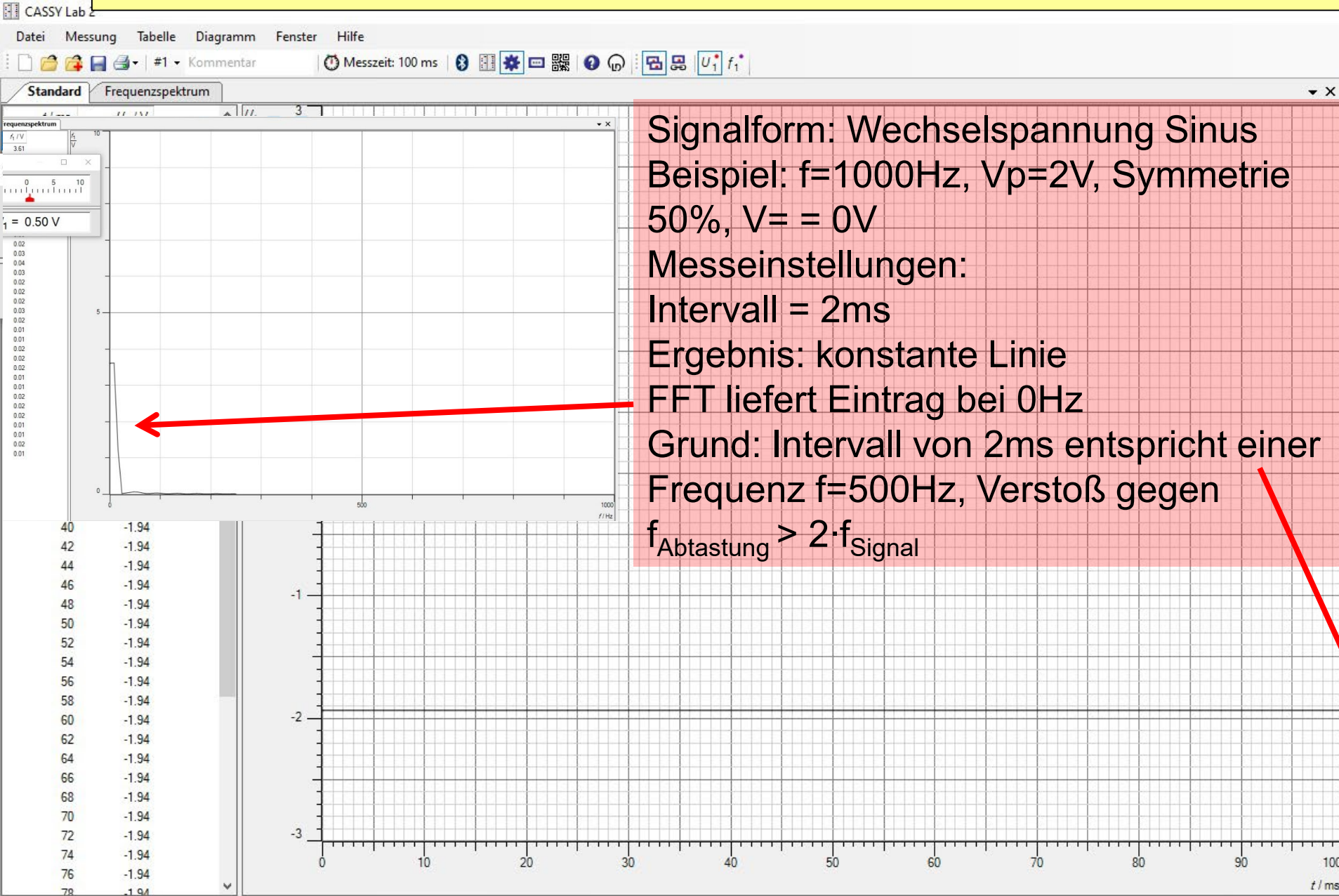
Messzeit: 100 ms Anzahl: 51

Intervall: 2 ms Pretigger: 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 = 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  $\varphi_1$
  - 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

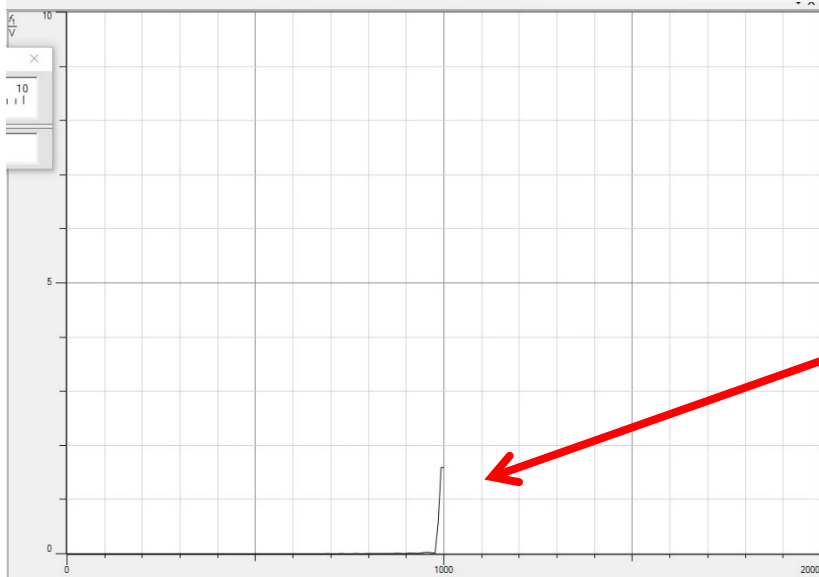
Trigger:

Messbedingung: 1

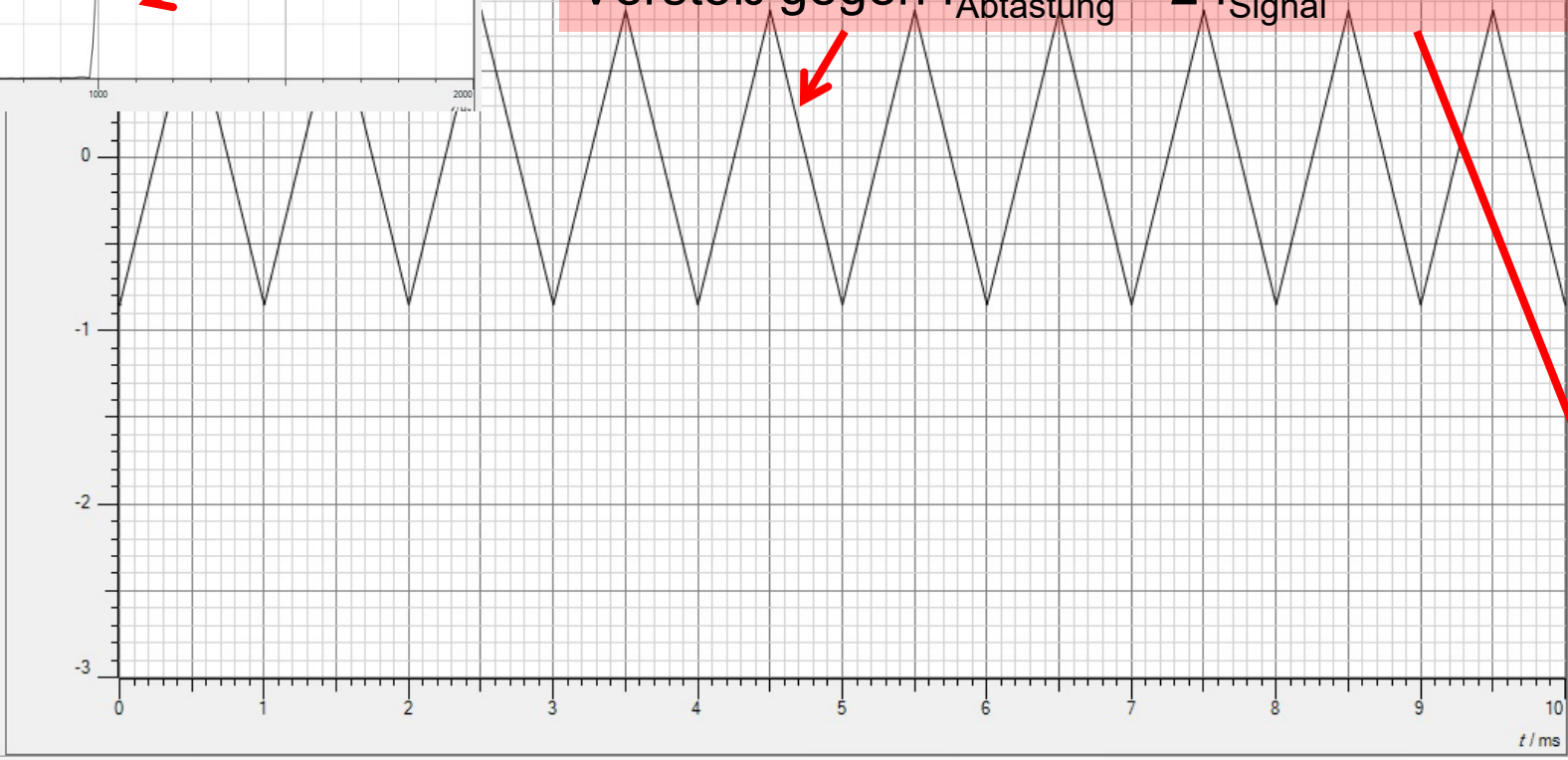


# Cassy Lab 2, Einstellungen Power Cassy, Abtastung Signal

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  $500\mu\text{s}$  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  $\varphi_1$
  - 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

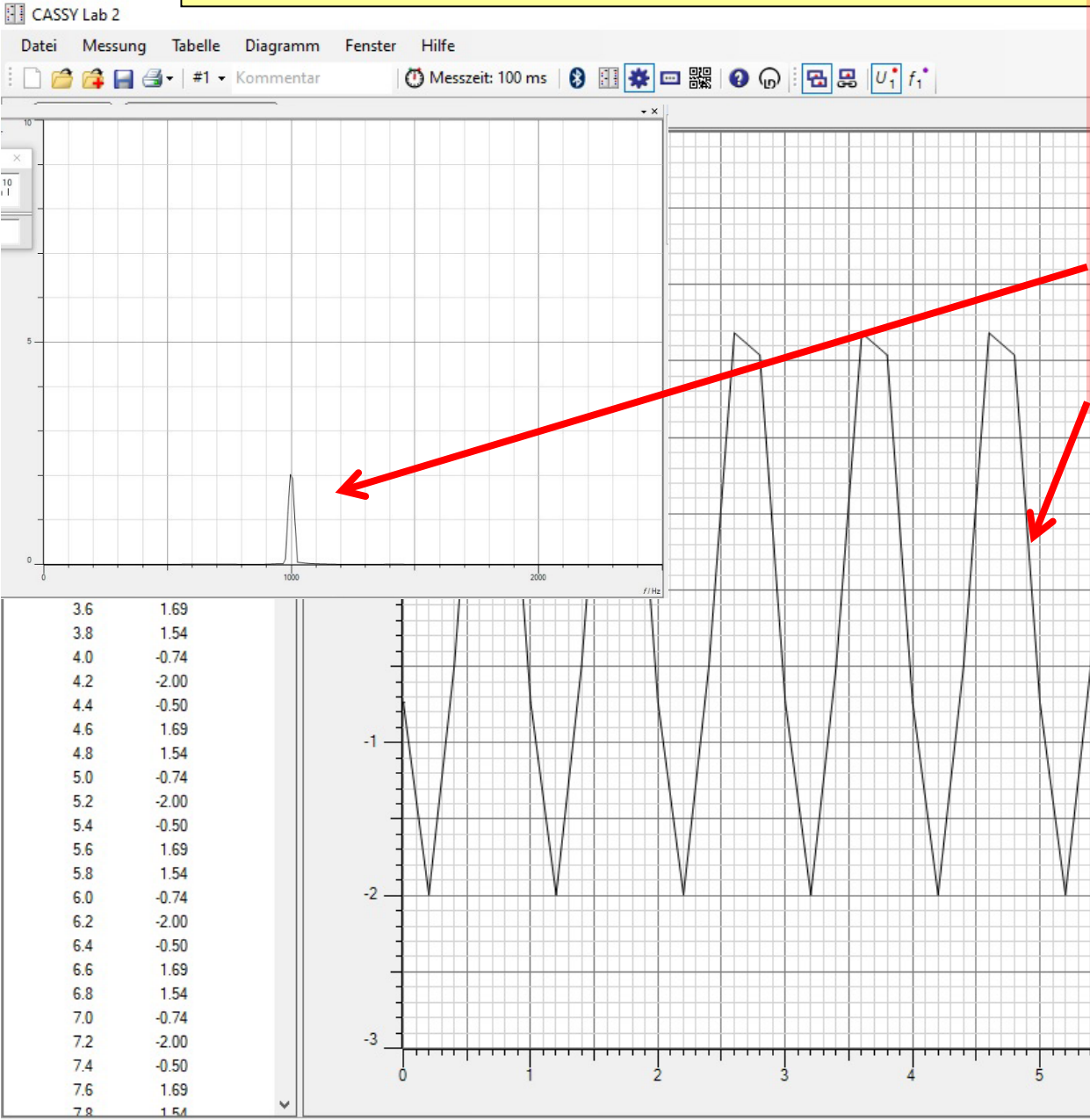
Messzeit: 100 ms Anzahl: 201

Intervall: 500  $\mu\text{s}$  Pretrigger: 0

Trigger: 60

Messbedingung: 1

# Cassy Lab 2, Einstellungen Power Cassy, Abtastung Signal



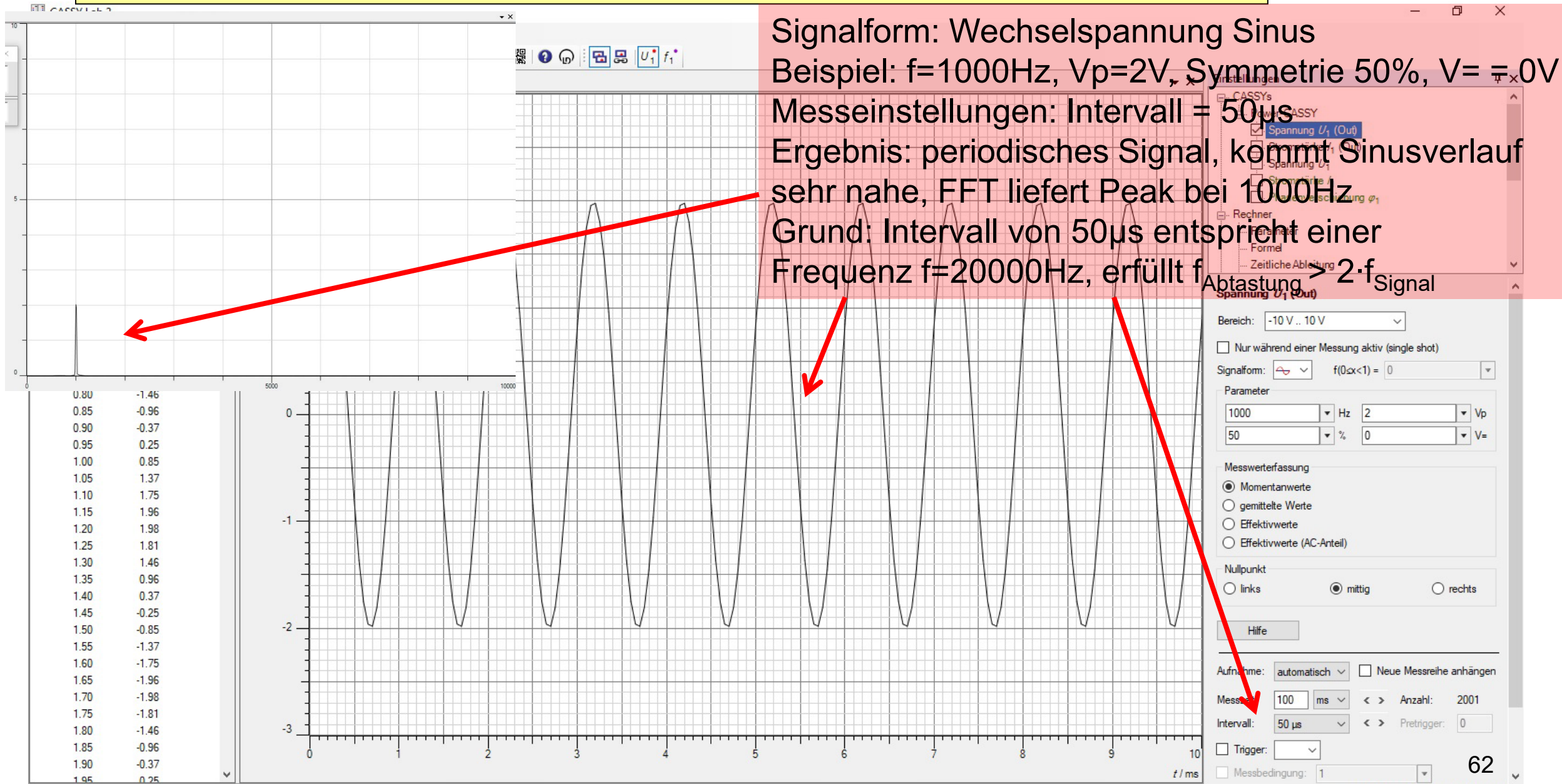
Signalform: Wechselfspannung Sinus  
Beispiel:  $f=1000\text{Hz}$ ,  $V_p=2\text{V}$ , Symmetrie 50%,  $V_-=0\text{V}$   
Messeinstellungen: Intervall =  $200\mu\text{s}$   
Ergebnis: periodisches Signal, aber noch kein Sinus  
FFT liefert Peaks bei 1000Hz  
Grund: Intervall von  $200\mu\text{s}$  entspricht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

The screenshot shows the settings window for 'Spannung U<sub>1</sub> (Out)'. The 'Bereich' is set to '-10 V .. 10 V'. The 'Signalform' is set to a sine wave. The 'Parameter' section shows 'f' set to 1000 Hz, 'V<sub>p</sub>' set to 2 V, and 'Symmetrie' set to 50%. The 'Messwertaufzeichnung' section has 'Momentanwerte' selected. The 'Nullpunkt' section has 'mittig' selected. The 'Aufnahme' section has 'automatisch' selected. The 'Messzeit' is set to 100 ms and 'Anzahl' is 501. The 'Intervall' is set to 200 μs. The 'Trigger' is set to a default value. The 'Messbedingung' is set to 1.



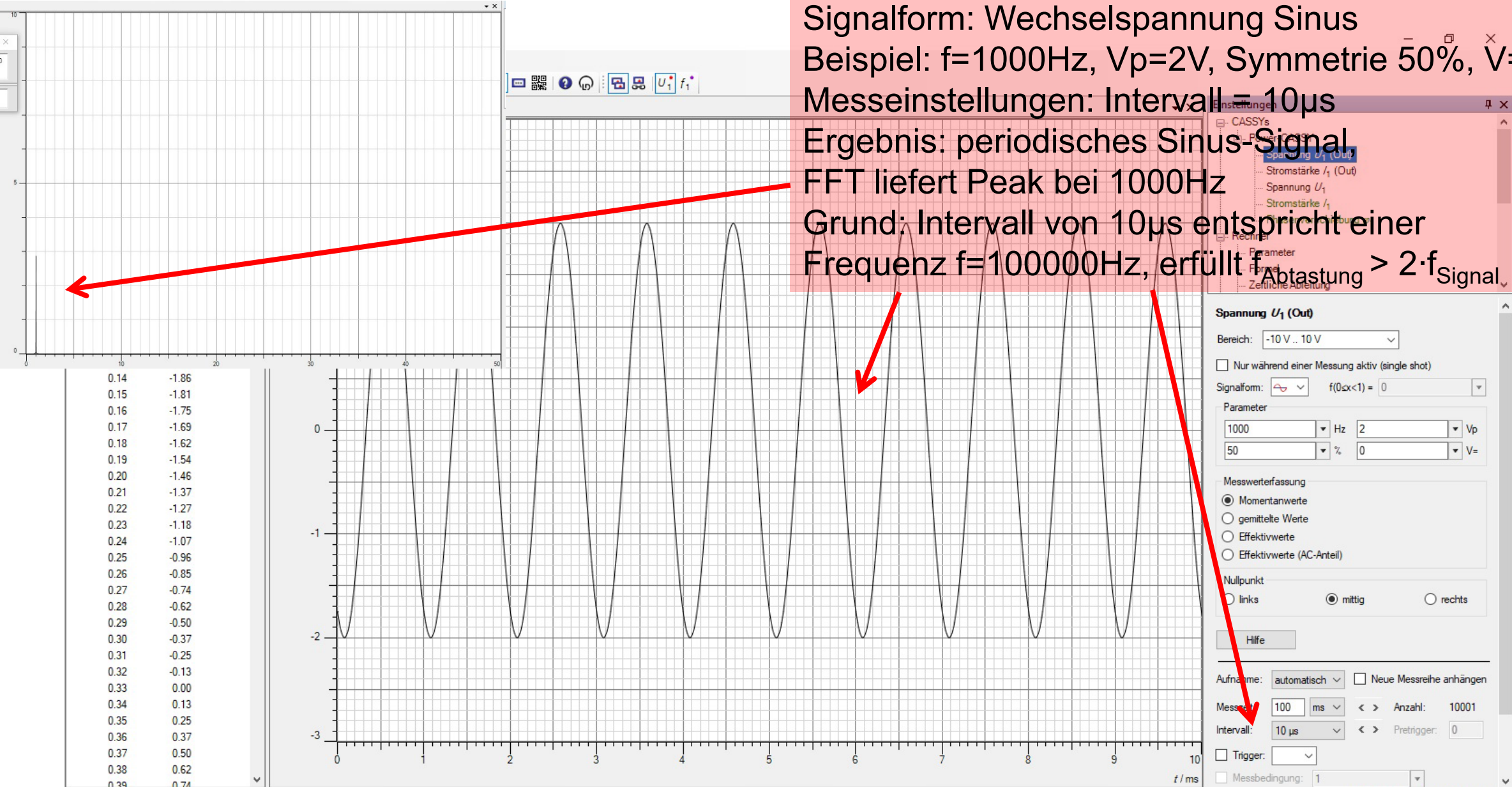
# Cassy Lab 2, Einstellungen Power Cassy, Abtastung Signal

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  $1000\text{Hz}$   
Grund: Intervall von  $50\mu\text{s}$  entspricht einer  
Frequenz  $f=20000\text{Hz}$ , erfüllt  $f_{\text{Abtastung}} > 2 \cdot f_{\text{Signal}}$

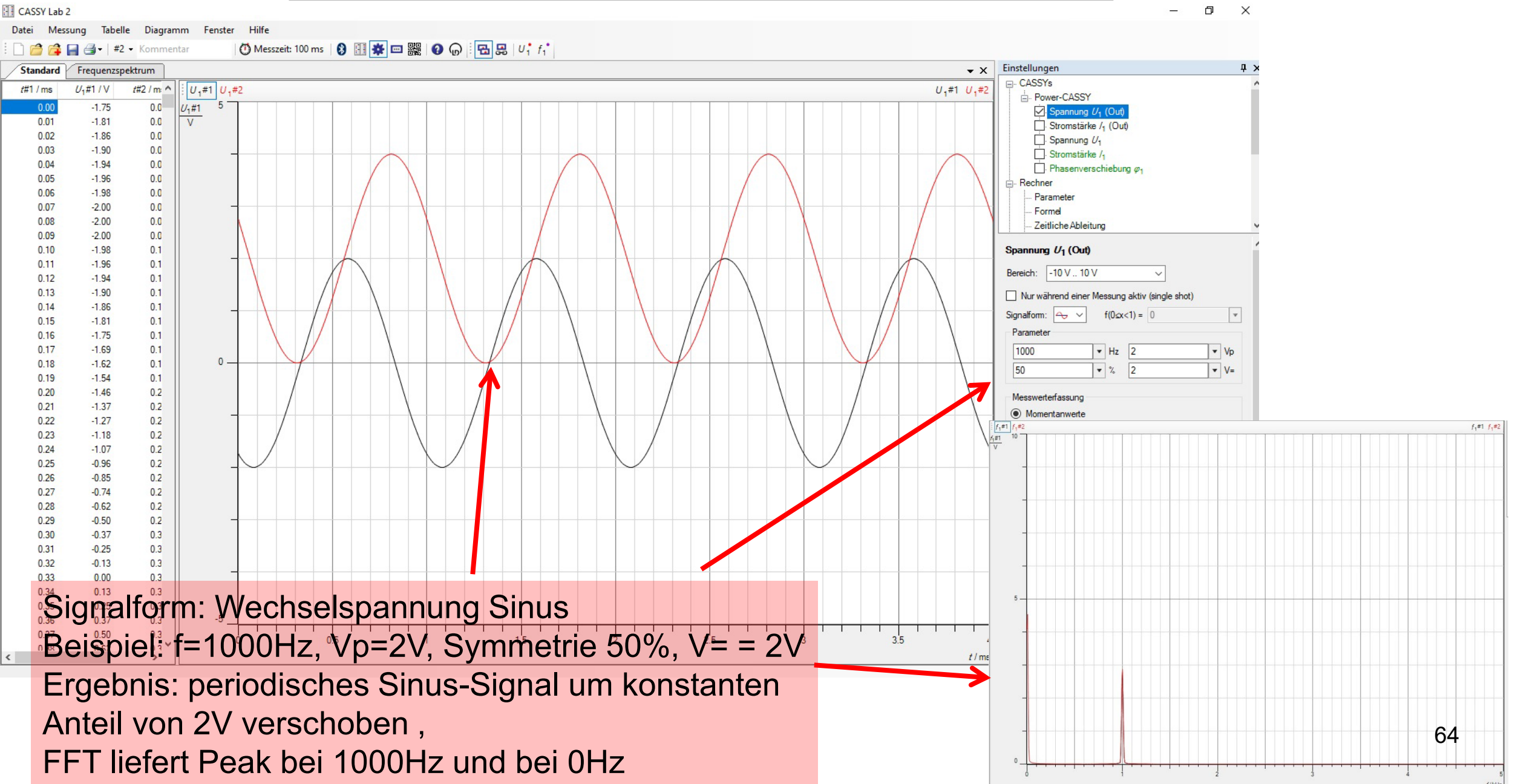


# Cassy Lab 2, Einstellungen Power Cassy, Abtastung Signal

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  $1000\text{Hz}$   
Grund: Intervall von  $10\mu\text{s}$  entspricht einer  
Frequenz  $f=100000\text{Hz}$ , erfüllt  $f_{\text{Abtastung}} > 2 \cdot f_{\text{Signal}}$

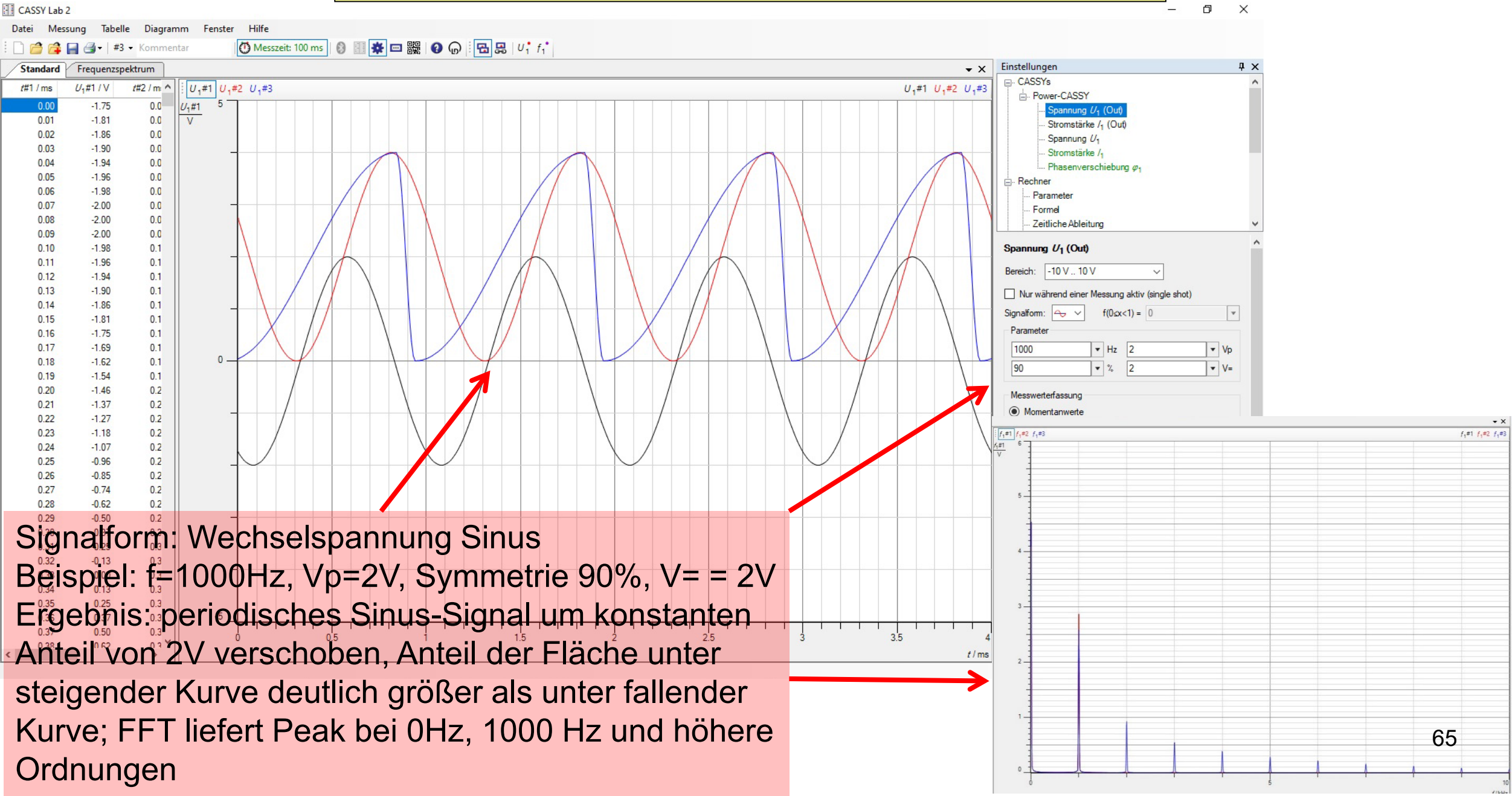


# Cassy Lab 2, Einstellungen Power Cassy





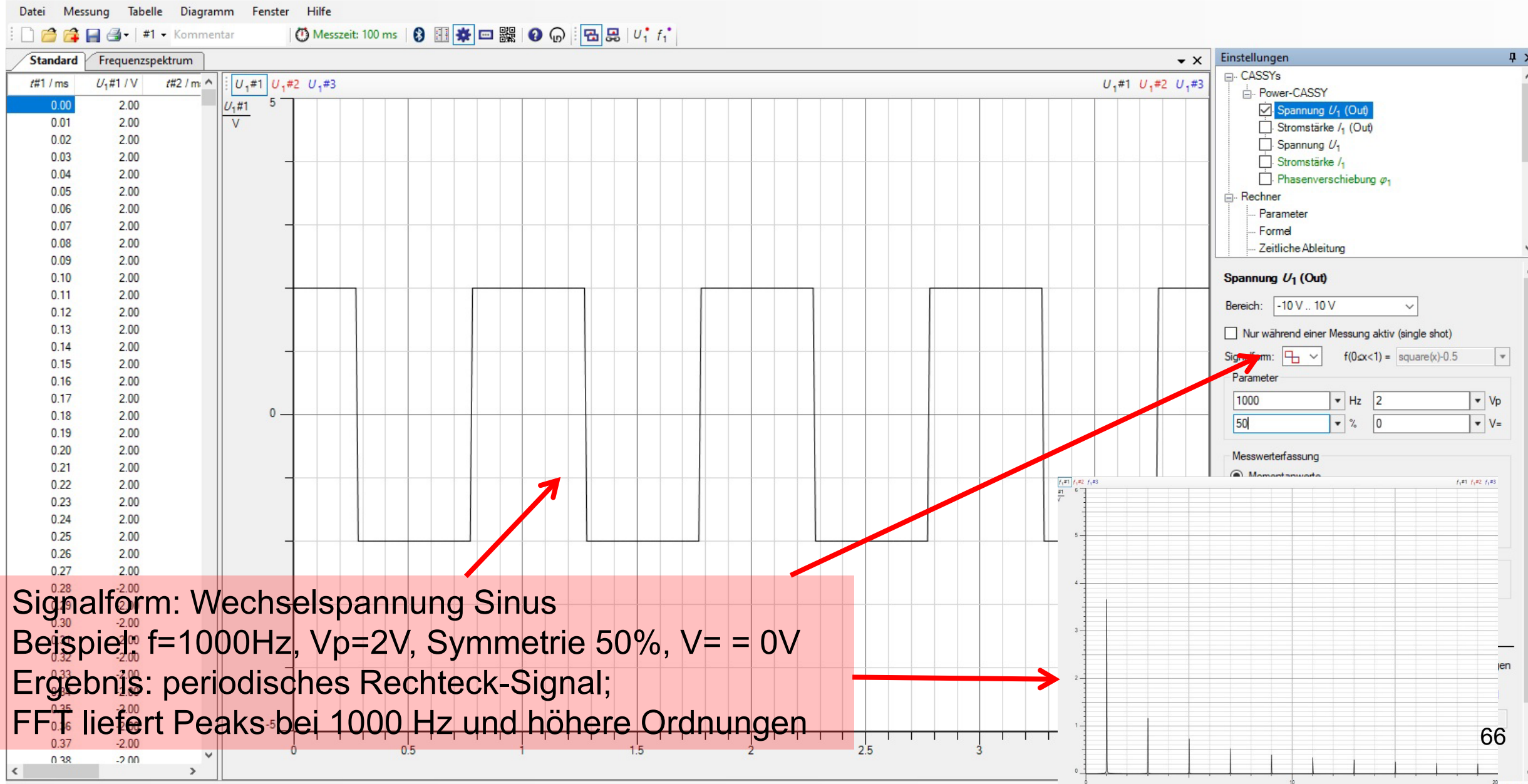
# Cassy Lab 2, Einstellungen Power Cassy



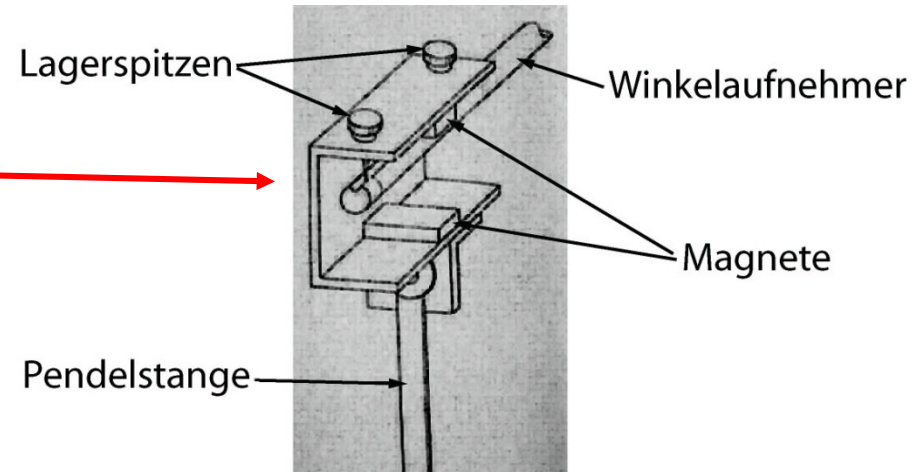
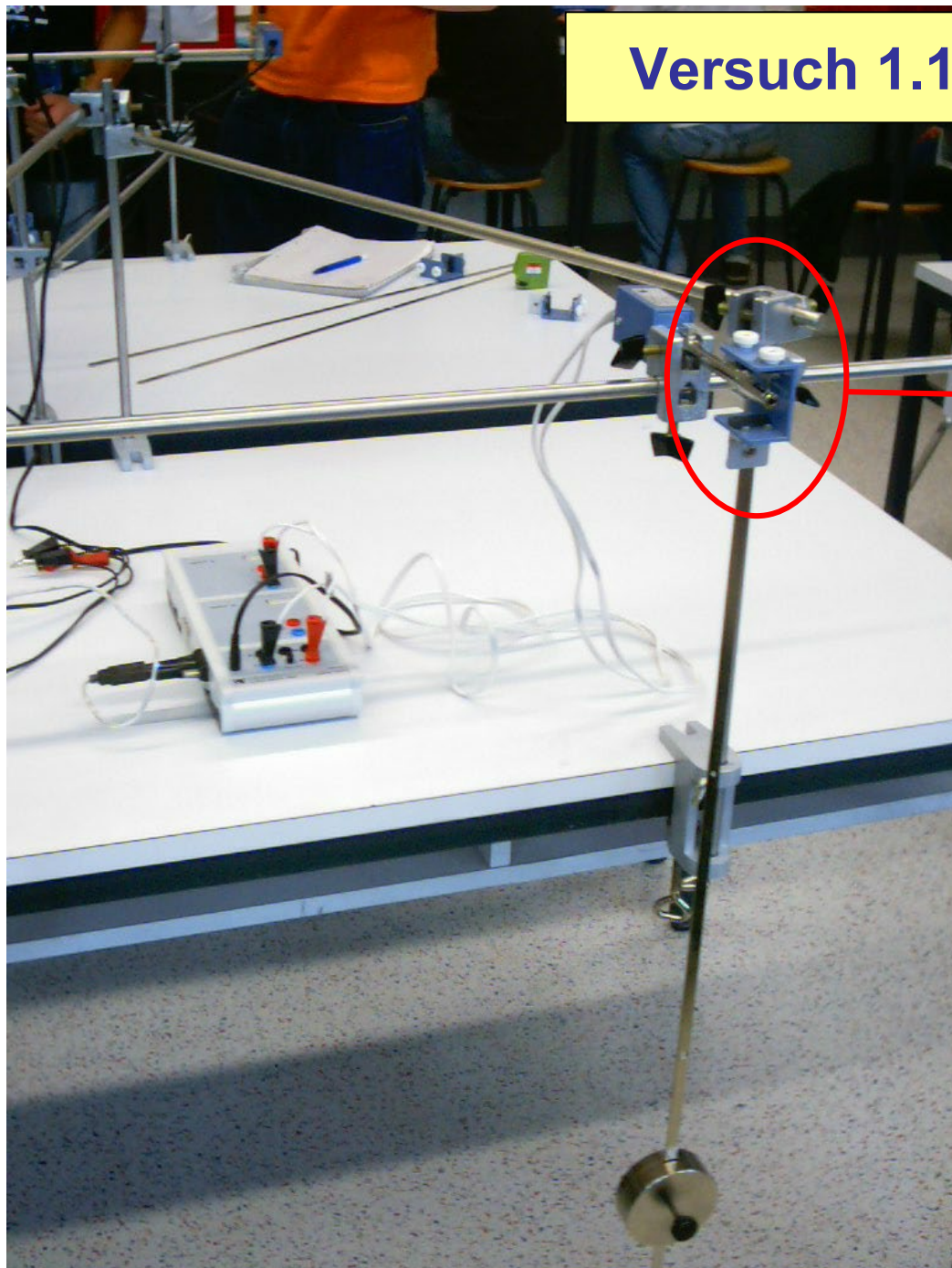


# Cassy Lab 2, Einstellungen Power Cassy

CASSY Lab 2



# Versuch 1.1 Pendel

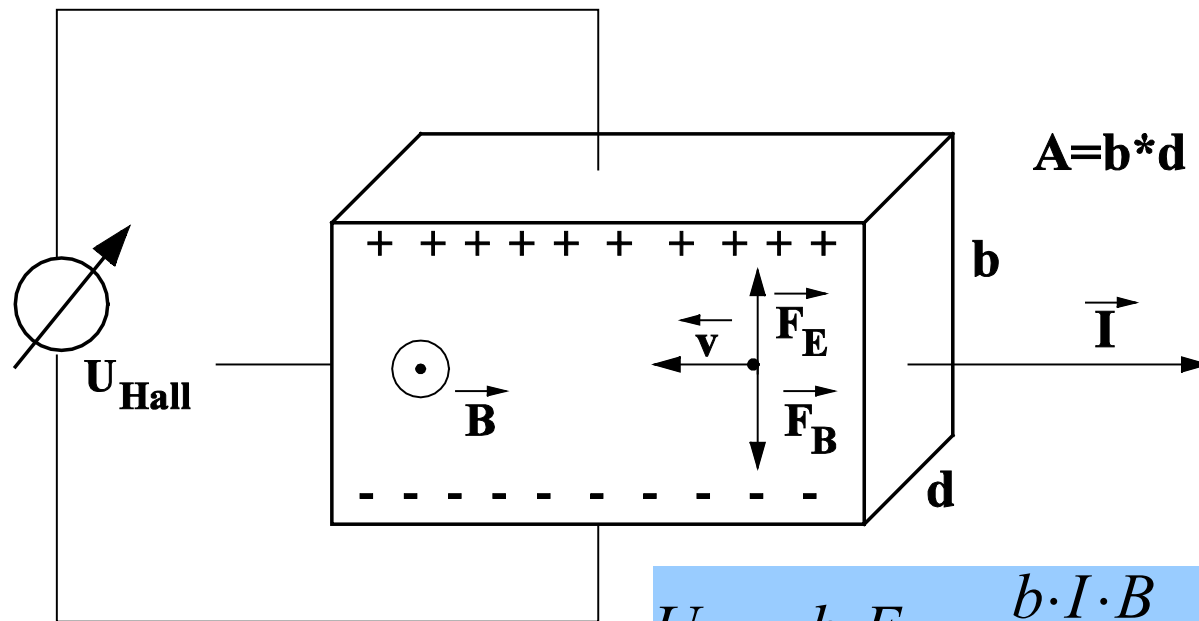


**Mit Sensor Cassy können wir Spannungen messen, aber wie messen wir einen Winkel?**

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



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

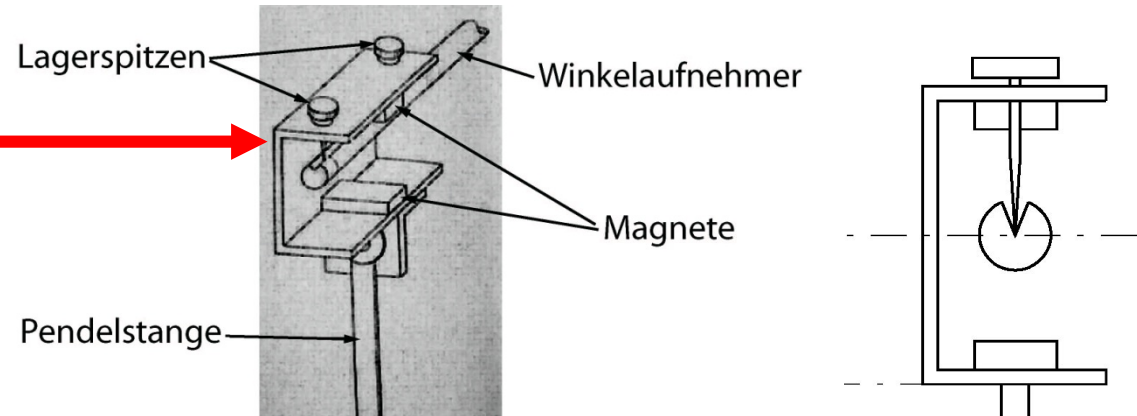
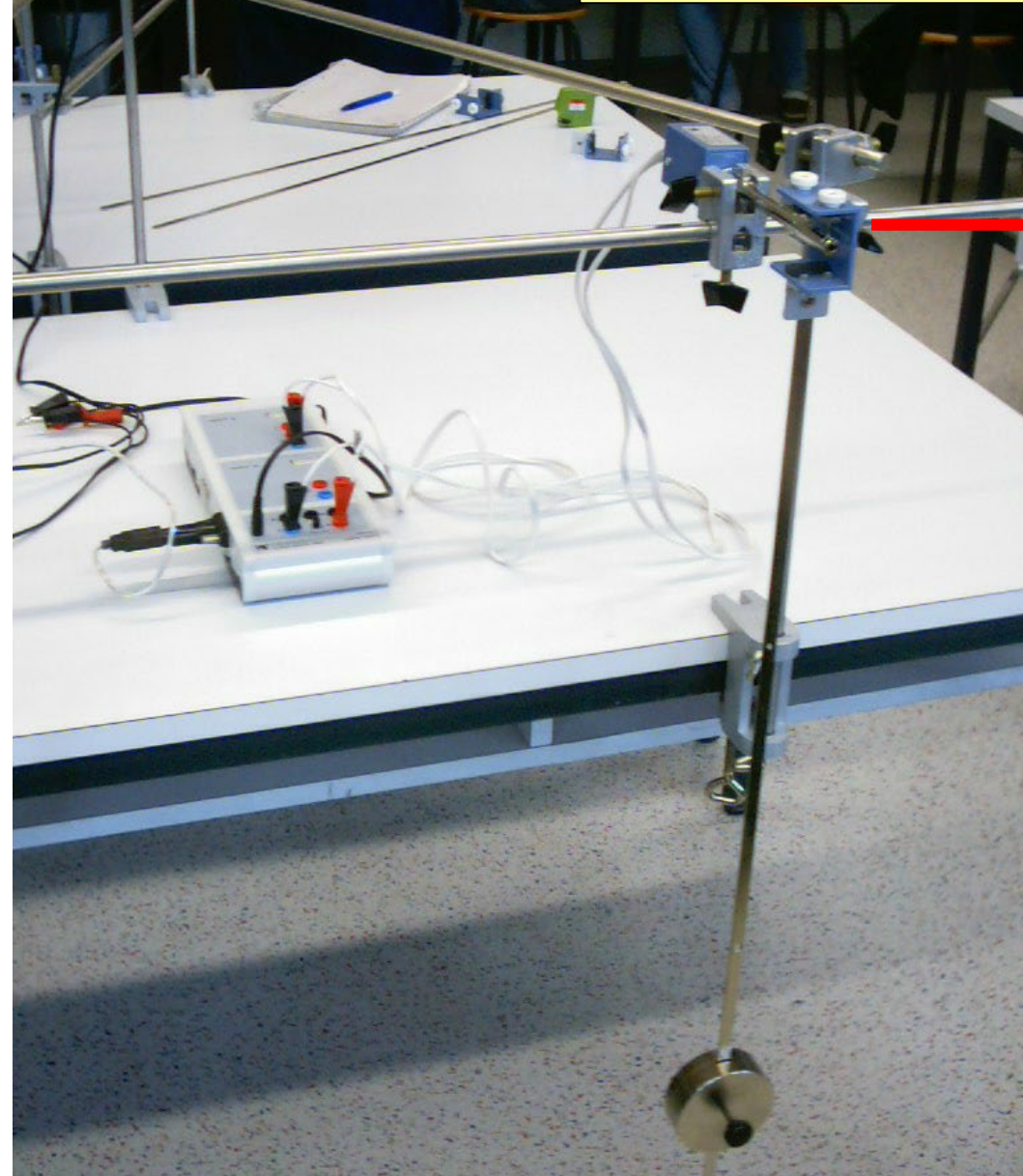
allgemein:  $\vec{I} = q \cdot n \cdot A \cdot \vec{v}$

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

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



# Spannungsmessung mit Hallsonde



Orientierung der Sonde  $\rightarrow$  Empfindlich

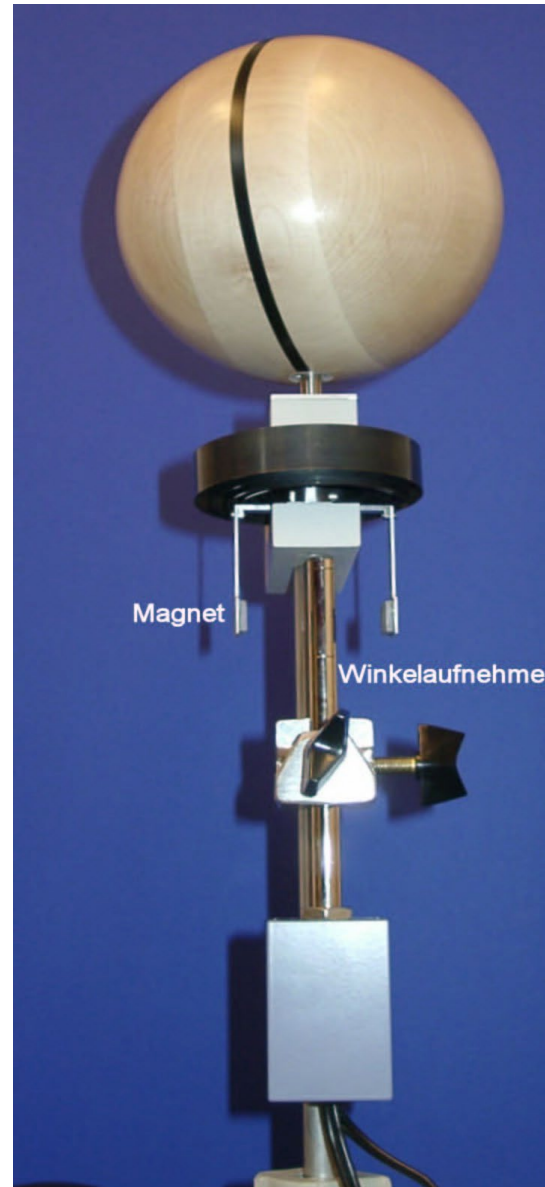
auf horizontale B-Komponente  $B_h$

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

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

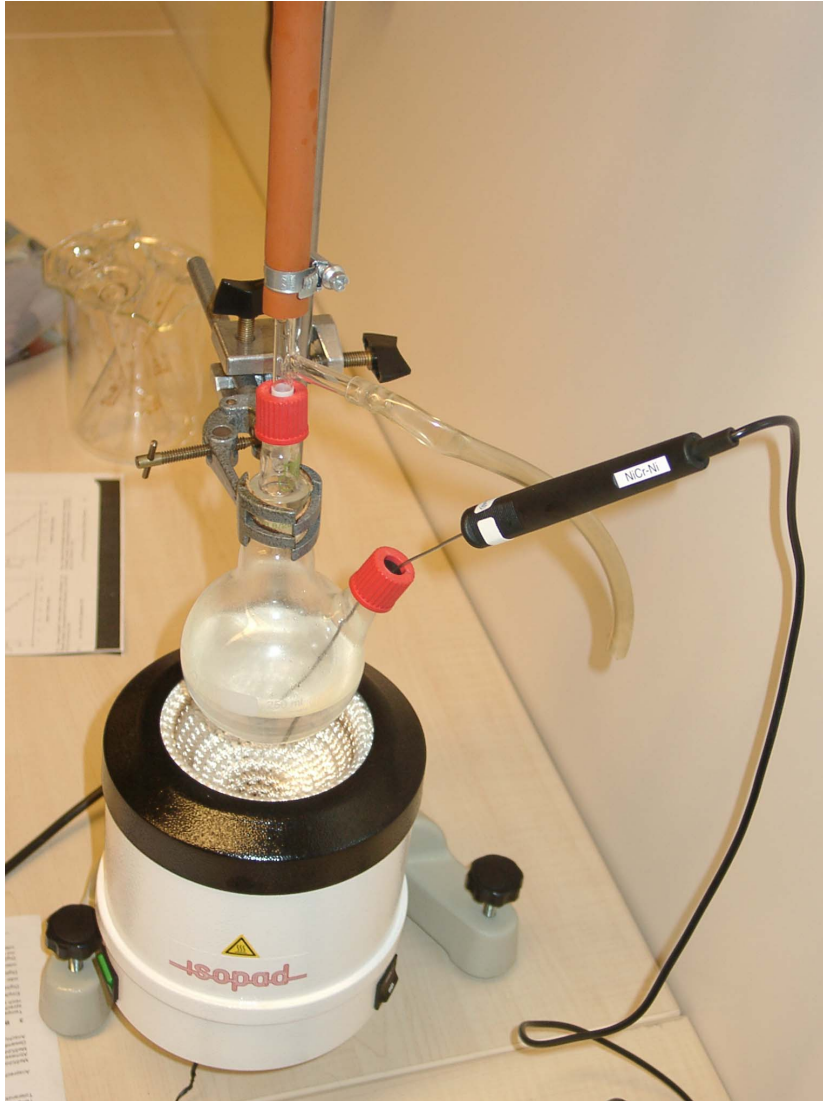
$\rightarrow U \approx B_h \approx \delta$  Linearität:  $\delta = \pm 14^\circ$

# Spannungsmessung mit Hallsonde





# Thermospannungen - Thermistor



Thermistor: NTC

Temperaturbereich:

$-20\text{ °C} \dots +120\text{ °C}$

Messunsicherheit:

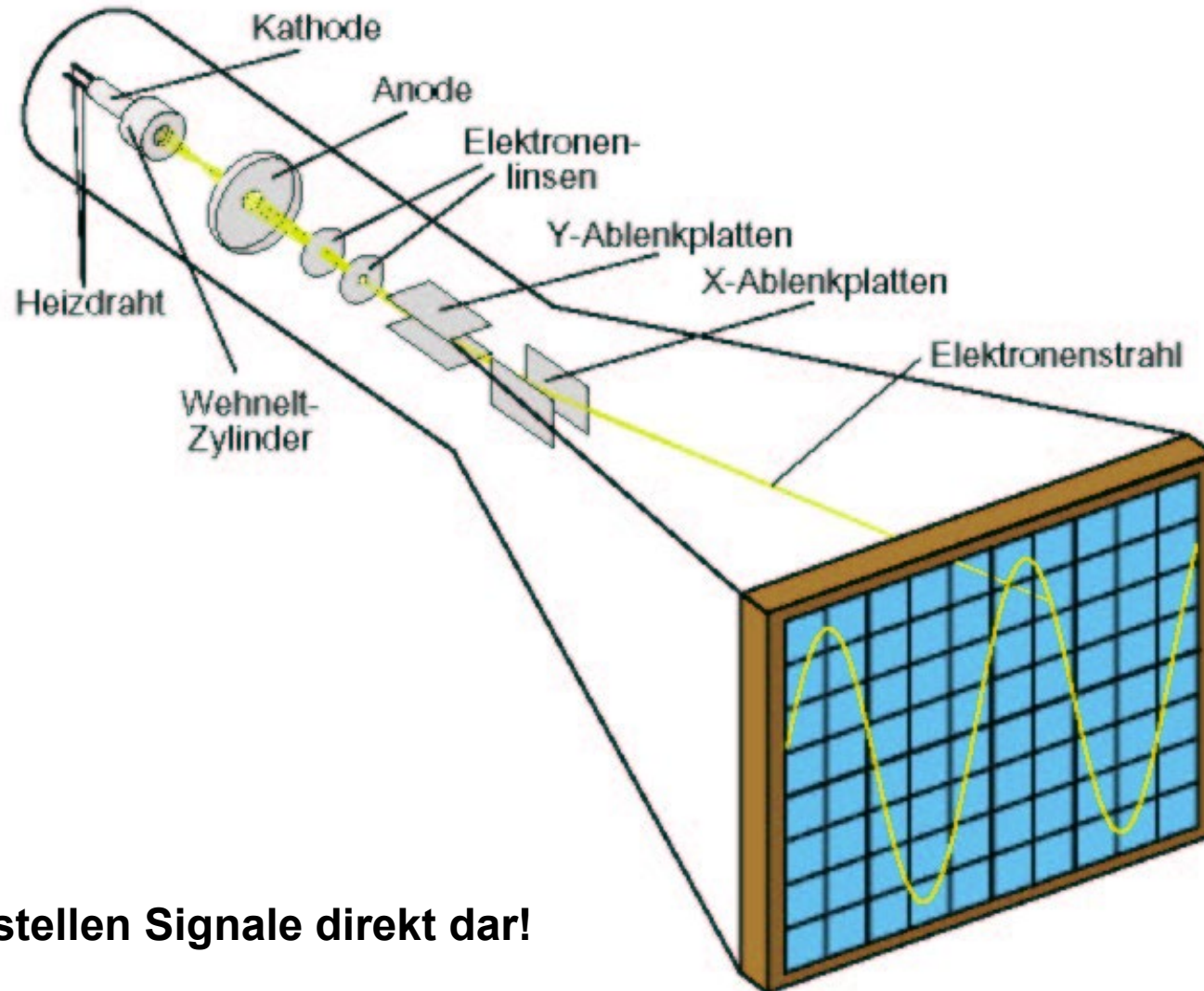
$-20\text{ °C} < T < +70\text{ °C}$ :  $0,2\text{ °C}$

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

Ansprechzeit:

$>7\text{ s}$  in Flüssigkeiten

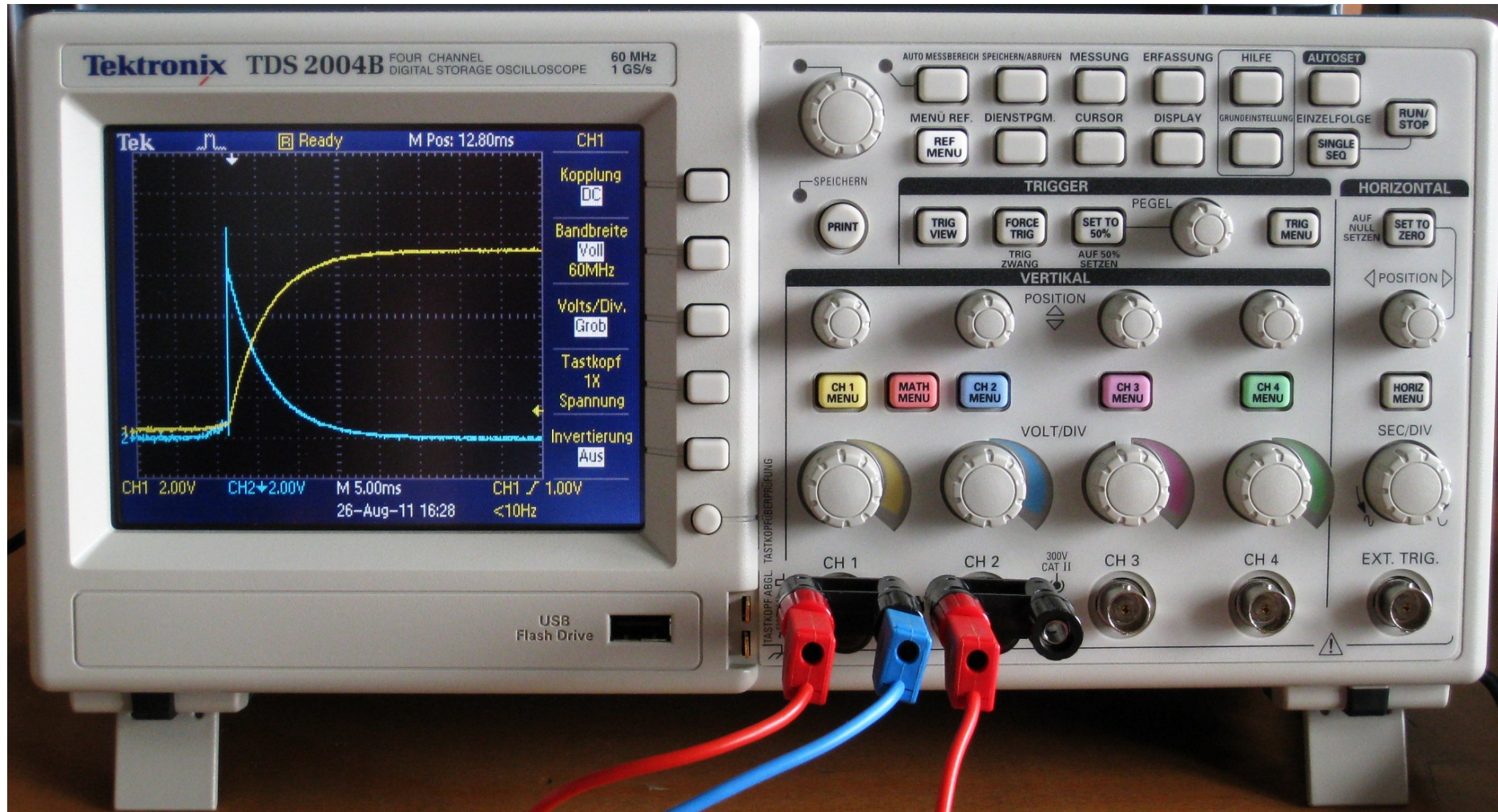
# Oszilloskop (Braunsche Röhre)



**Analoge Oszilloskope stellen Signale direkt dar!**

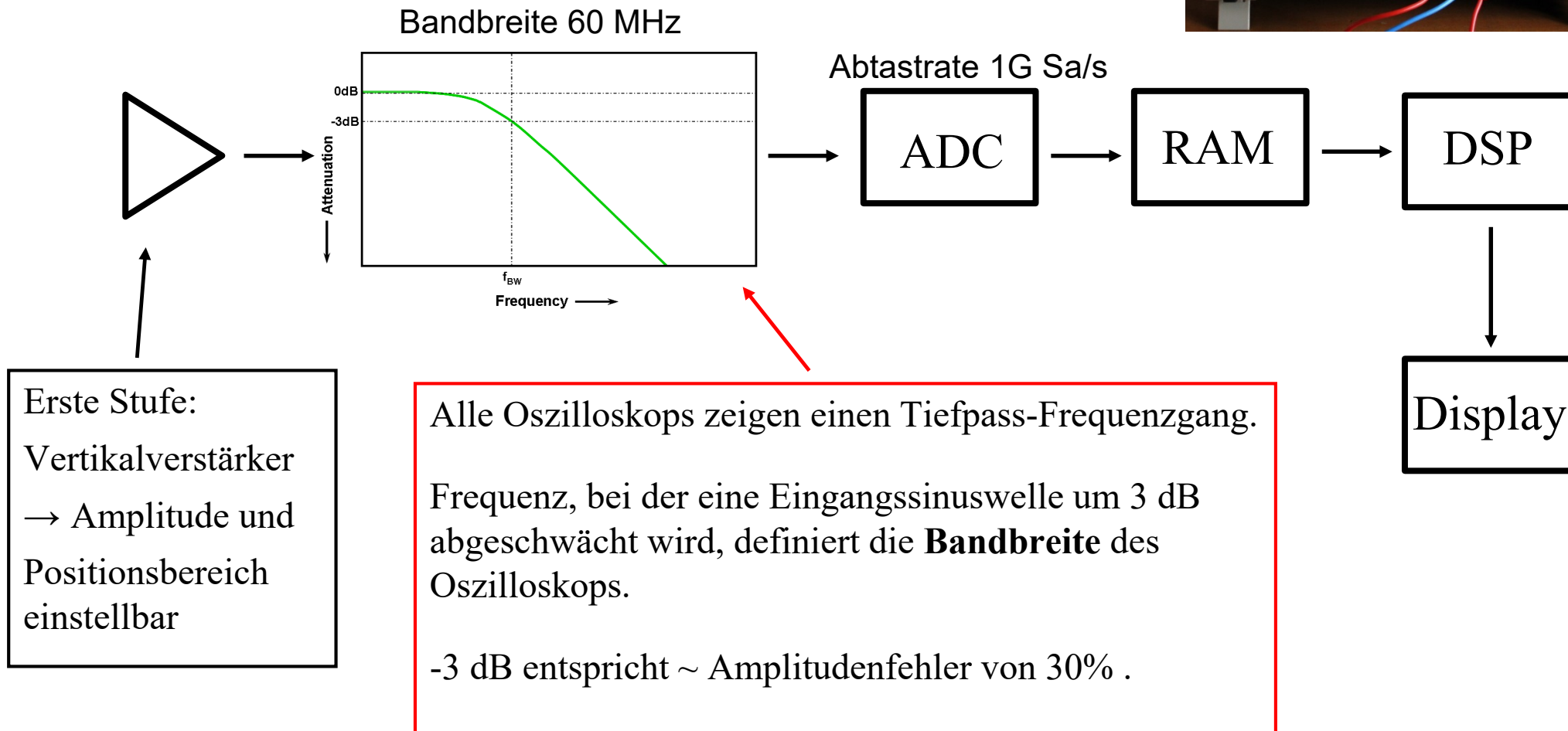
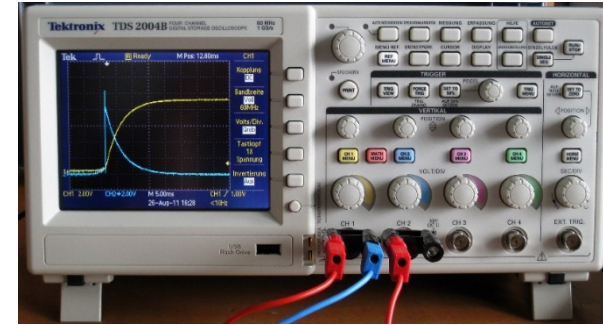


# Digital Oszilloskop

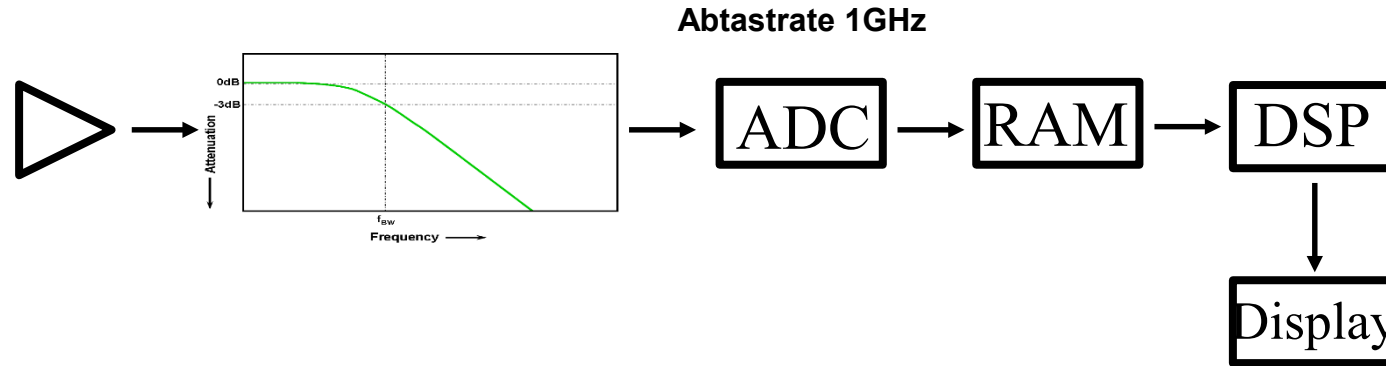


**Digitale Oszilloskope tasten Signale ab und konstruieren Darstellungen!**

# 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

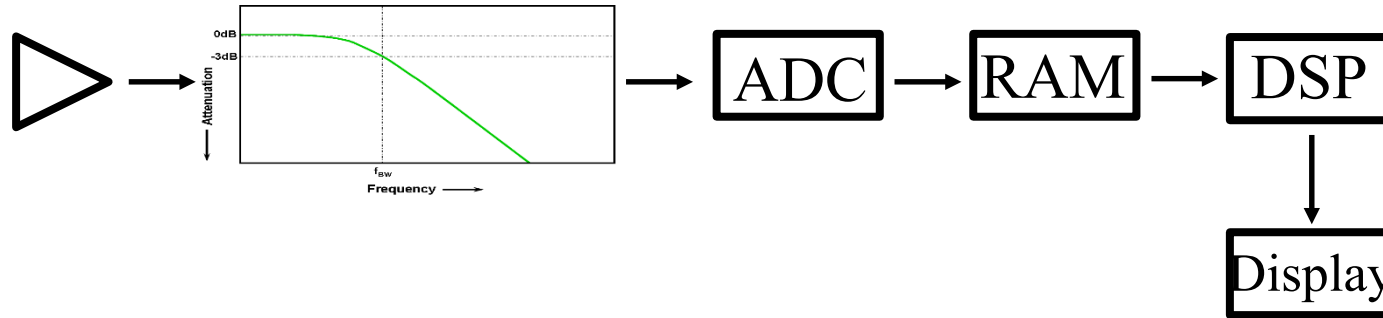
Zusammen ergeben die Signalpunkte eine Signalaufzeichnung,

Anzahl der Signalpunkte einer Signalaufzeichnung wird Aufzeichnungslänge genannt

Triggersystem bestimmt Anfangs- und Endpunkt der Aufzeichnungslänge



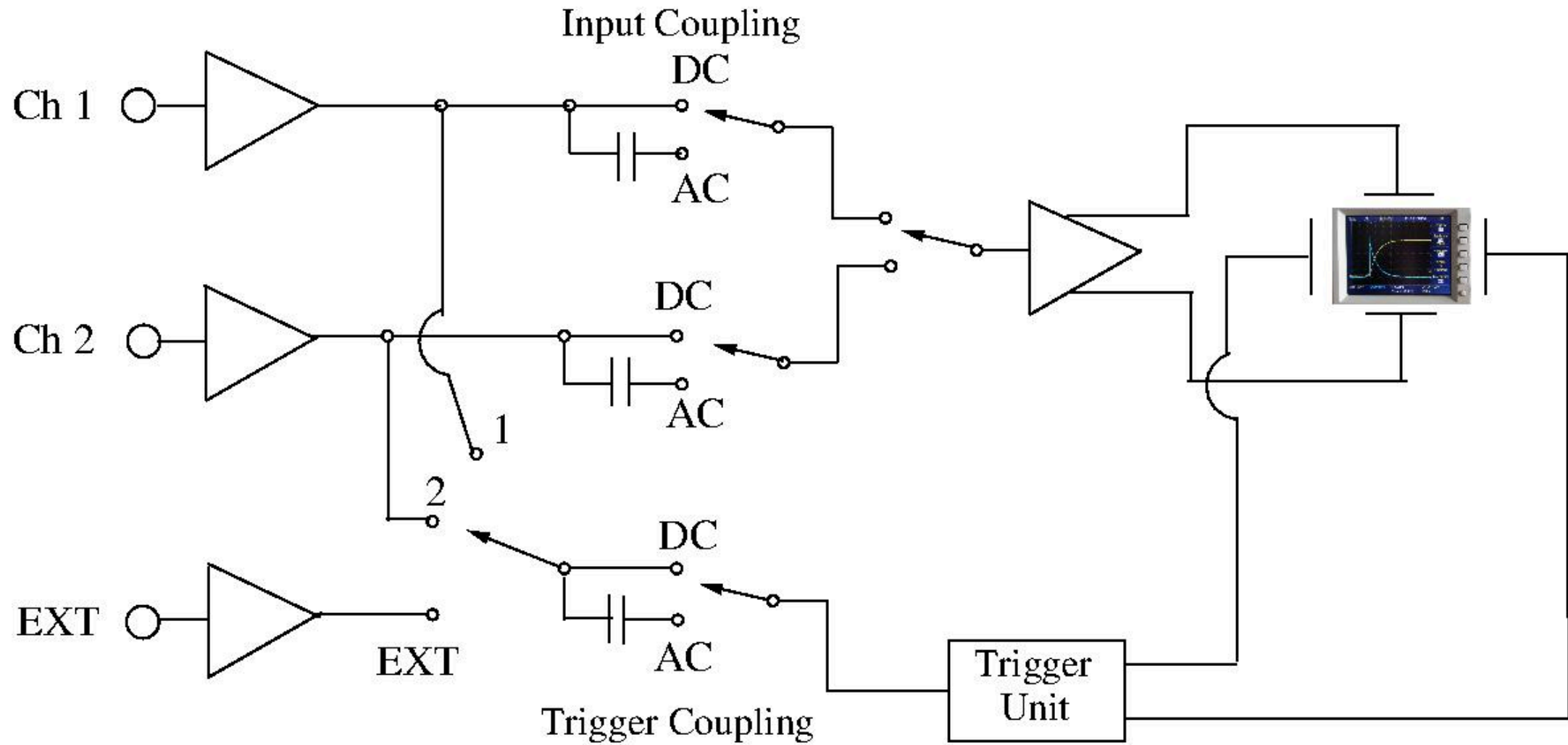
# Digital Oszilloskop: Funktionsprinzip



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

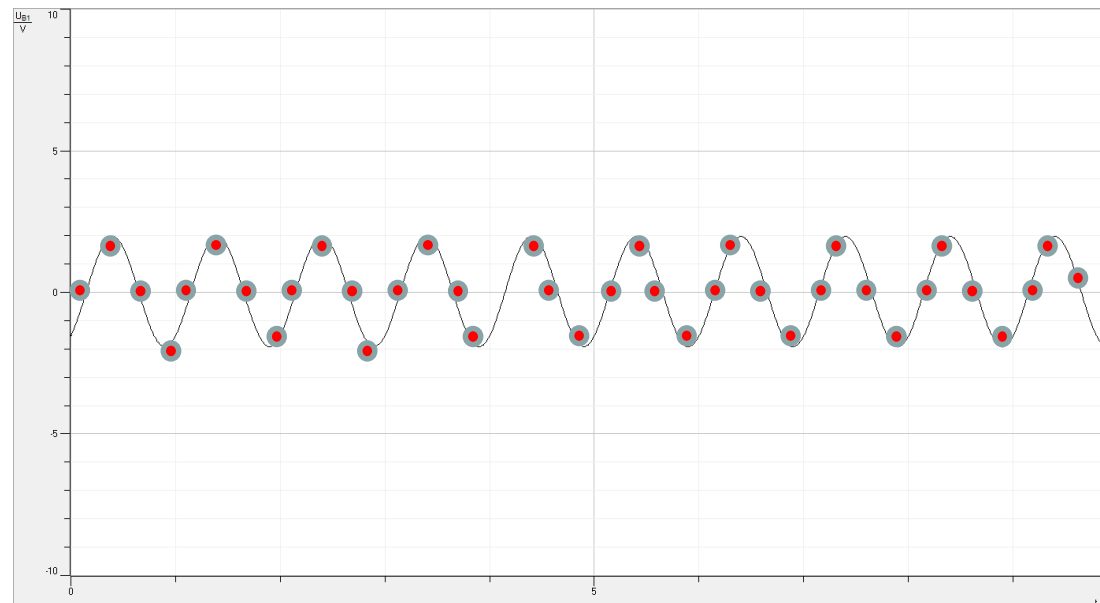


Umwandlung analog  $\rightarrow$  digital nicht kontinuierlich, sondern zu diskreten, periodisch angeordneten Zeitpunkten (**Abtastpunkte** bzw. **sampling points**).

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  $f_{\text{Signal}}$  eines noch erfassbaren harmonischen Eingangssignals.

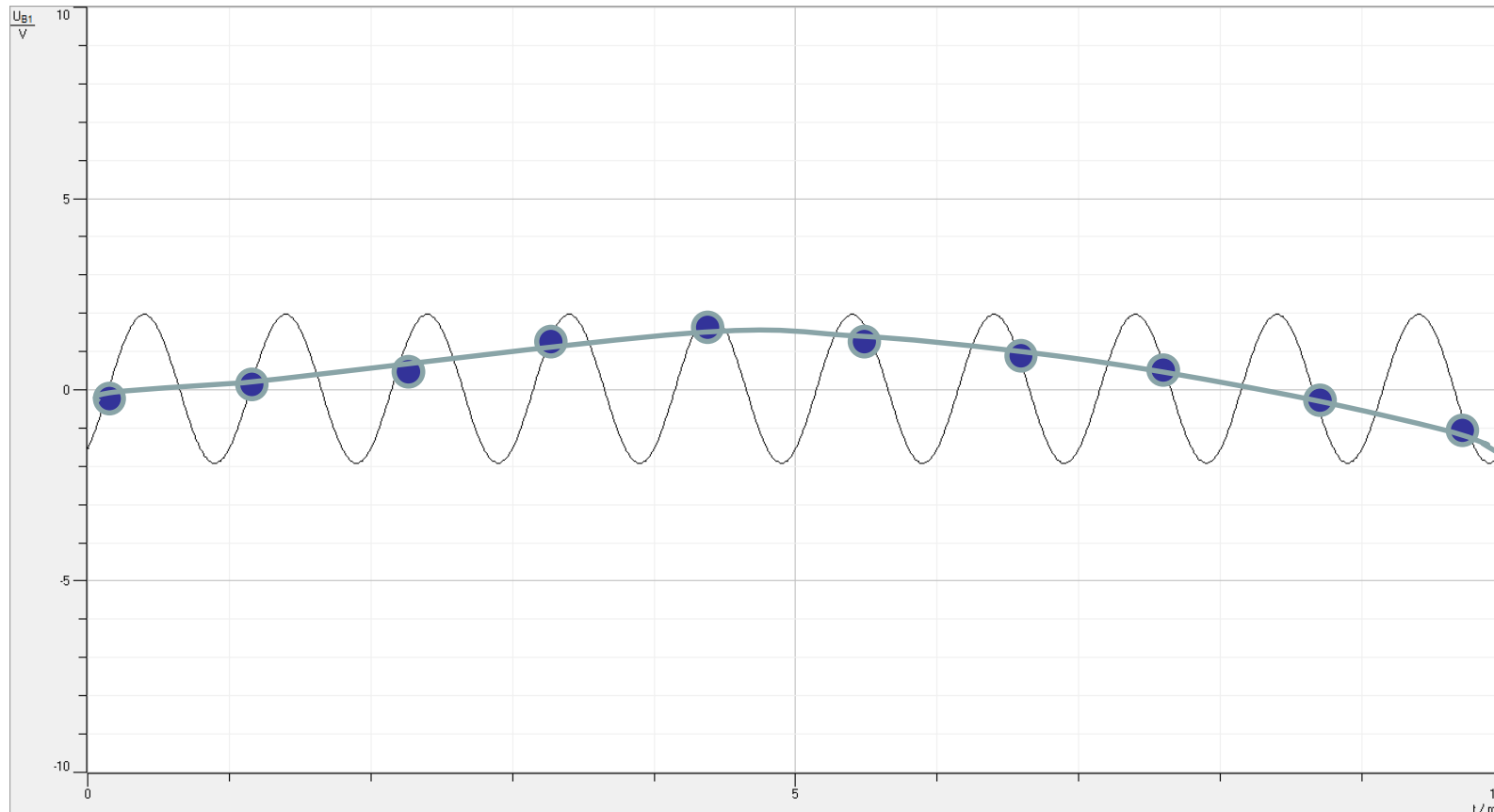
$$f_{\text{Abtastung}} > 2 \cdot f_{\text{Signal}}$$



# Signaldigitalisierung

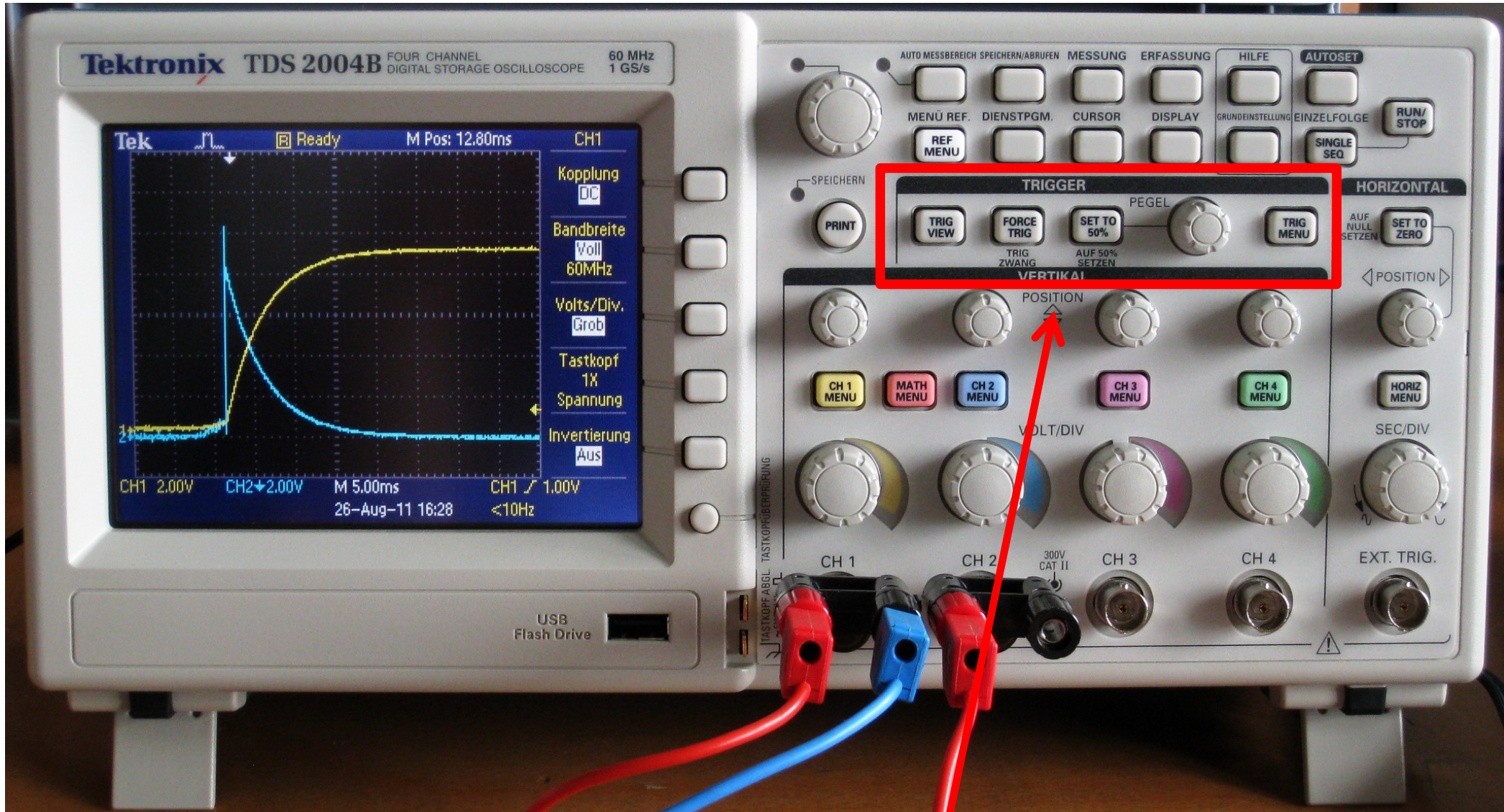
Nyquist Shannon Theorem  $f_{\text{Abtastung}} > 2 \cdot f_{\text{Signal}}$

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





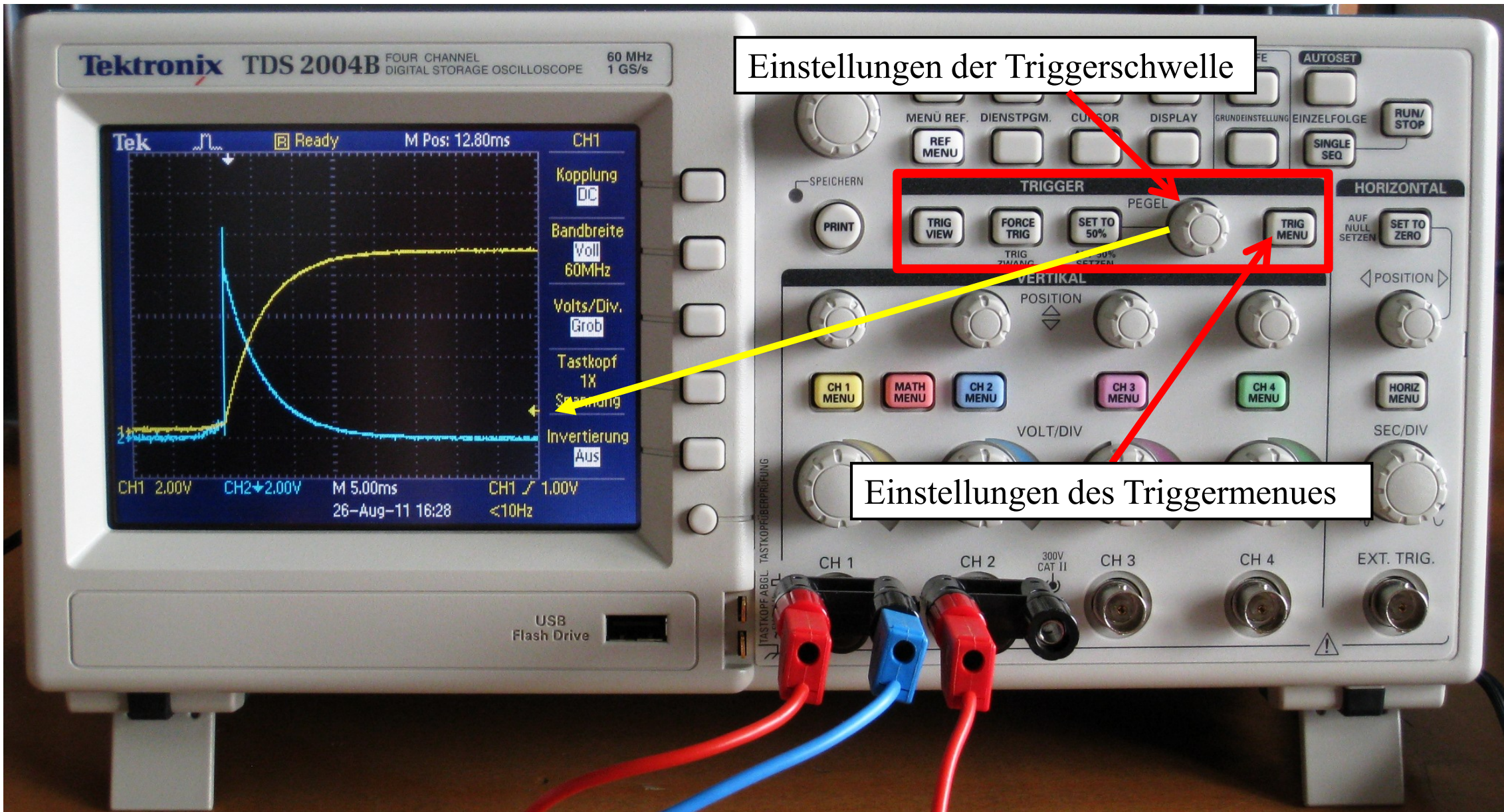
# Digital Oszilloskop



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

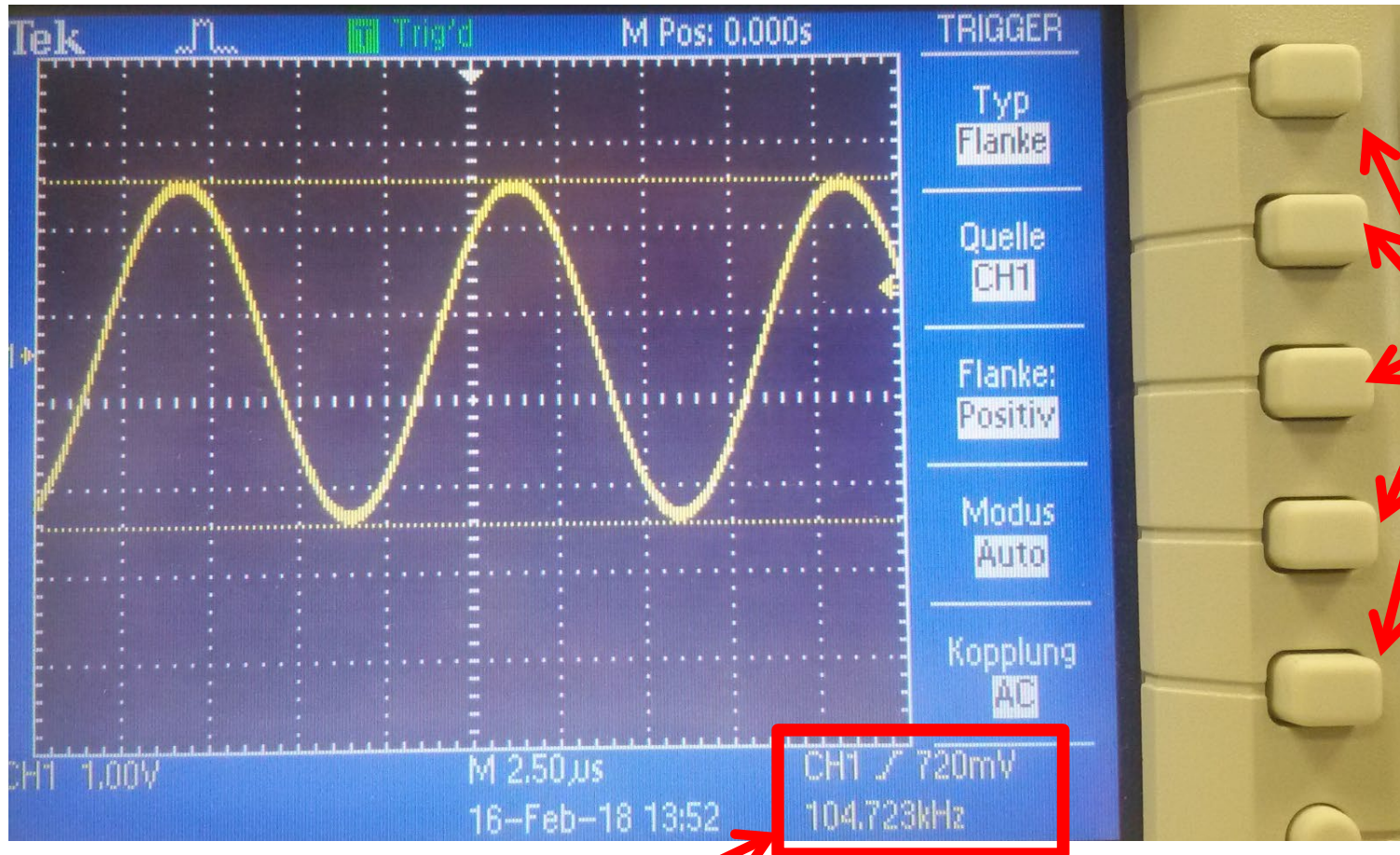


# Digital Oszilloskop





# Digital Oszilloskop

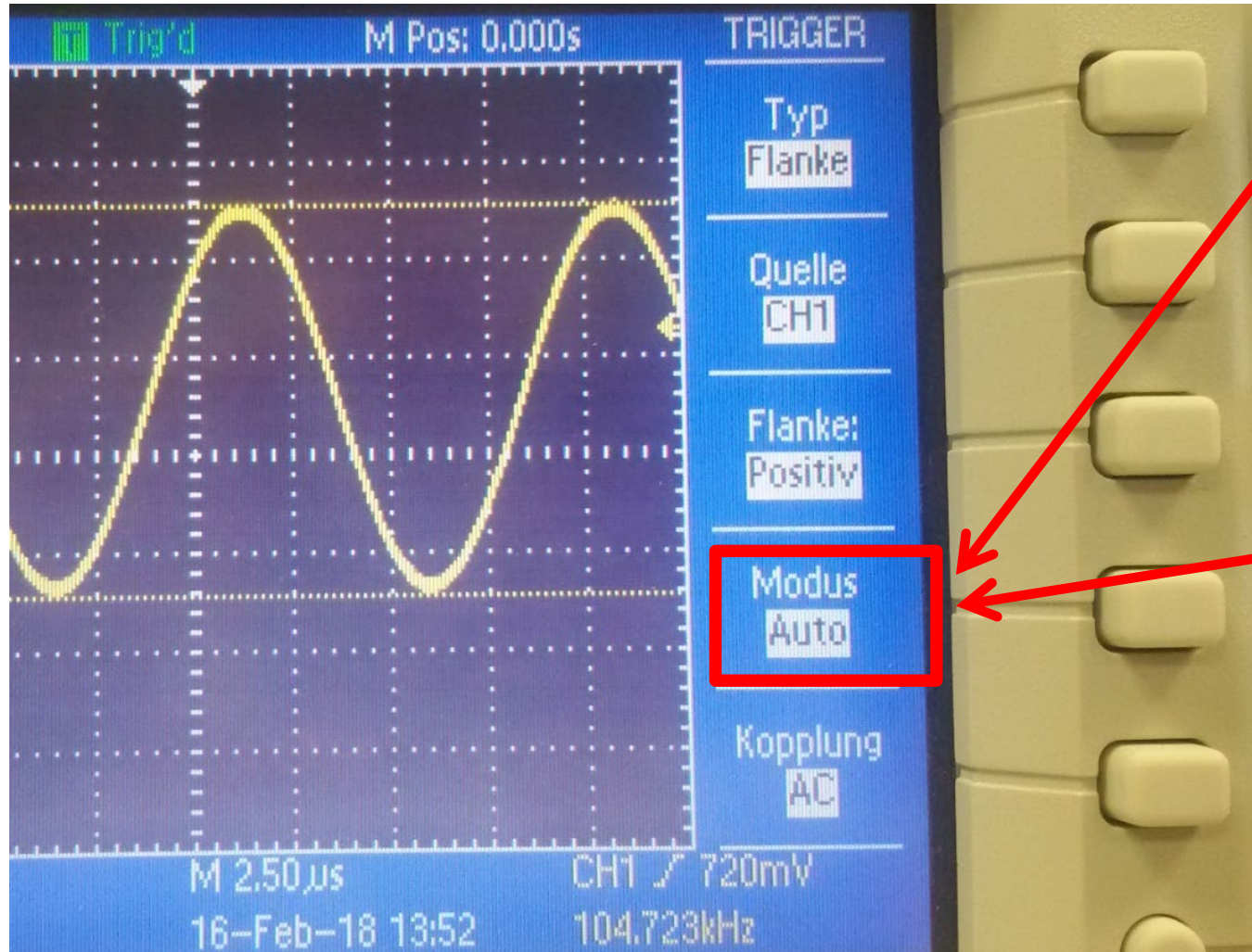


Triggermenü  
Auswahl durch seitliche Knöpfe

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.

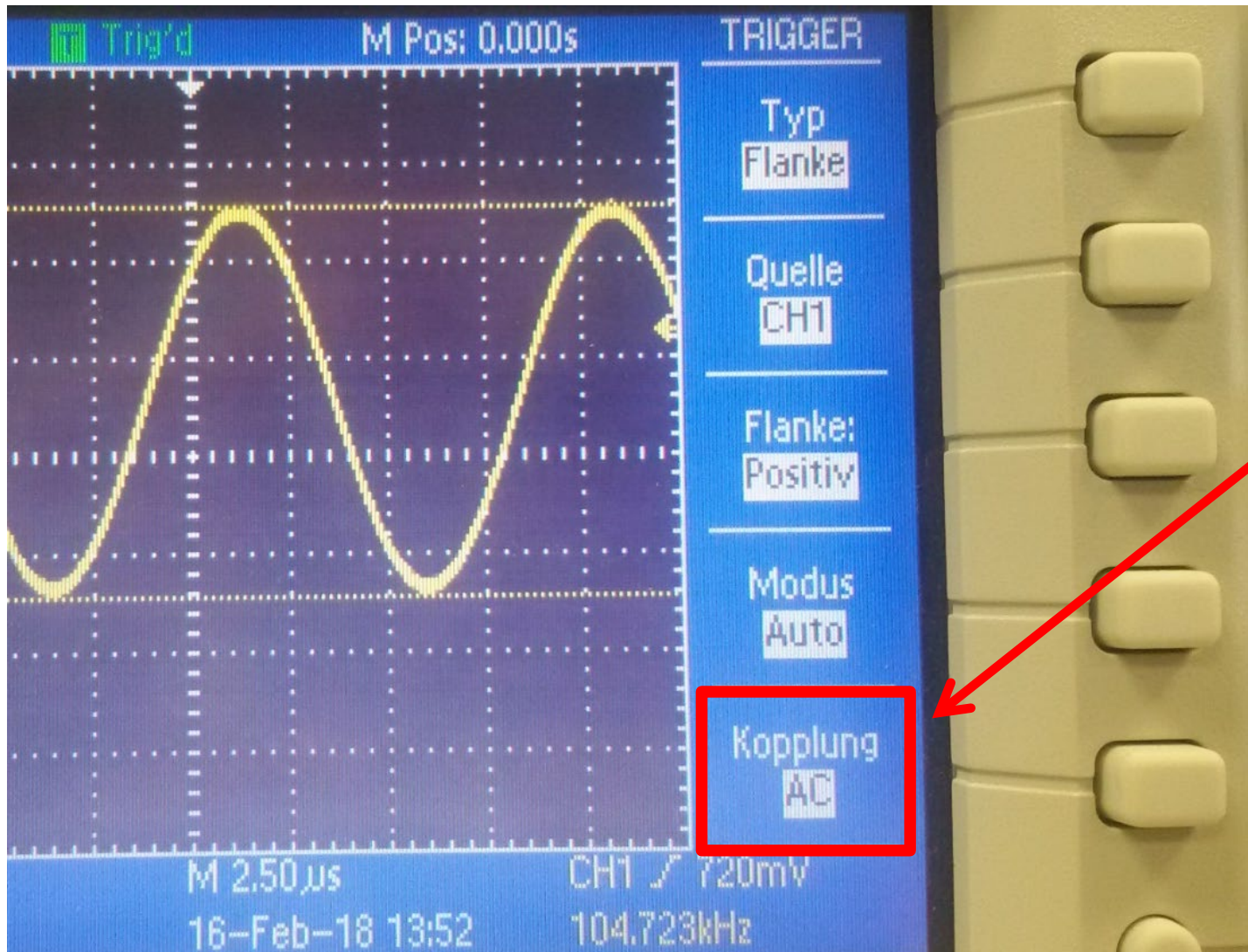
Dabei ist noch einstellbar, ob die Auslösung bei ansteigendem oder abfallendem Signal erfolgen soll.

**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.



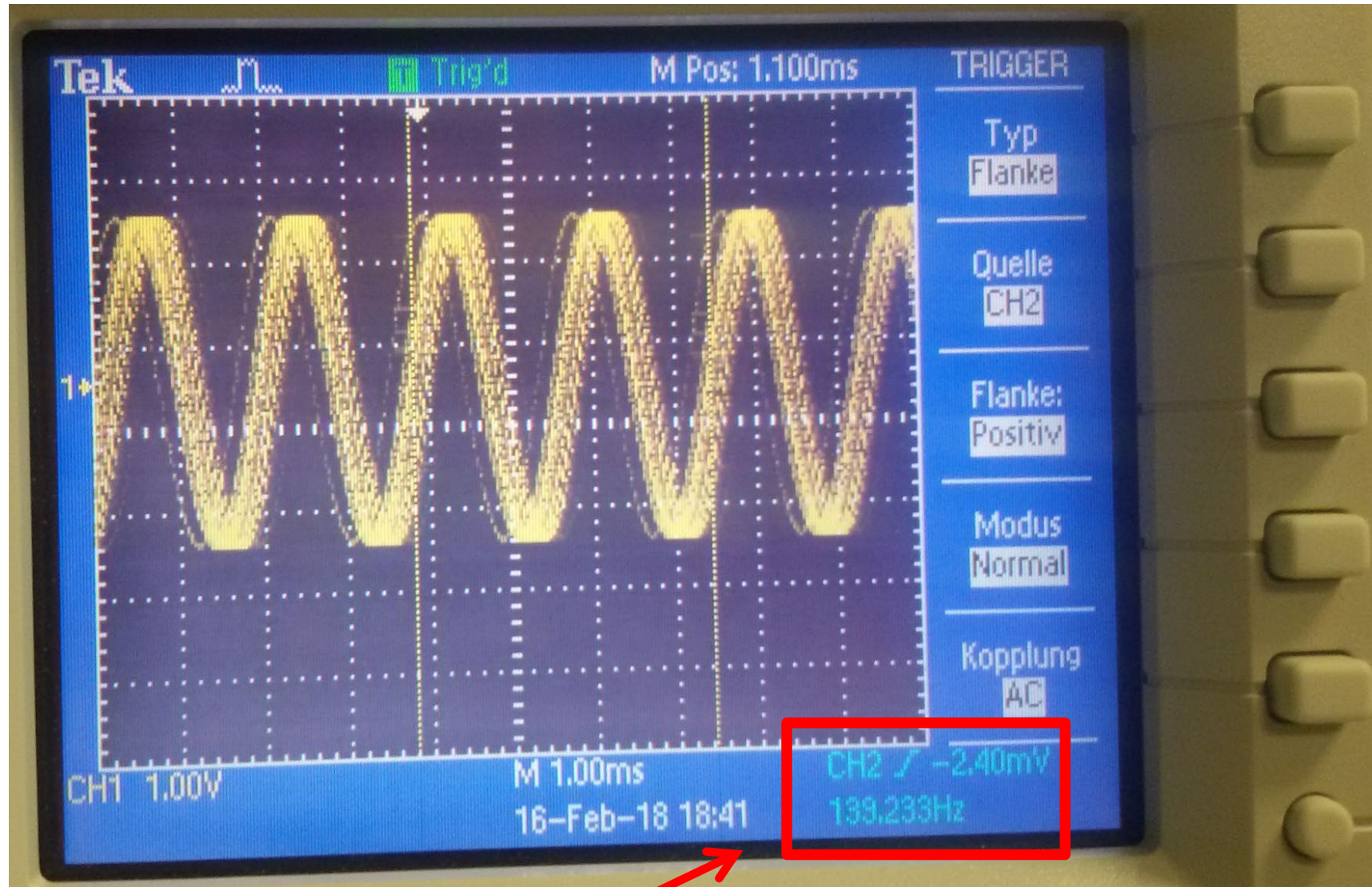
# Digital Oszilloskop



**Kopplung:**

**DC, AC, Hoch- oder Tiefpassfilter etc.**

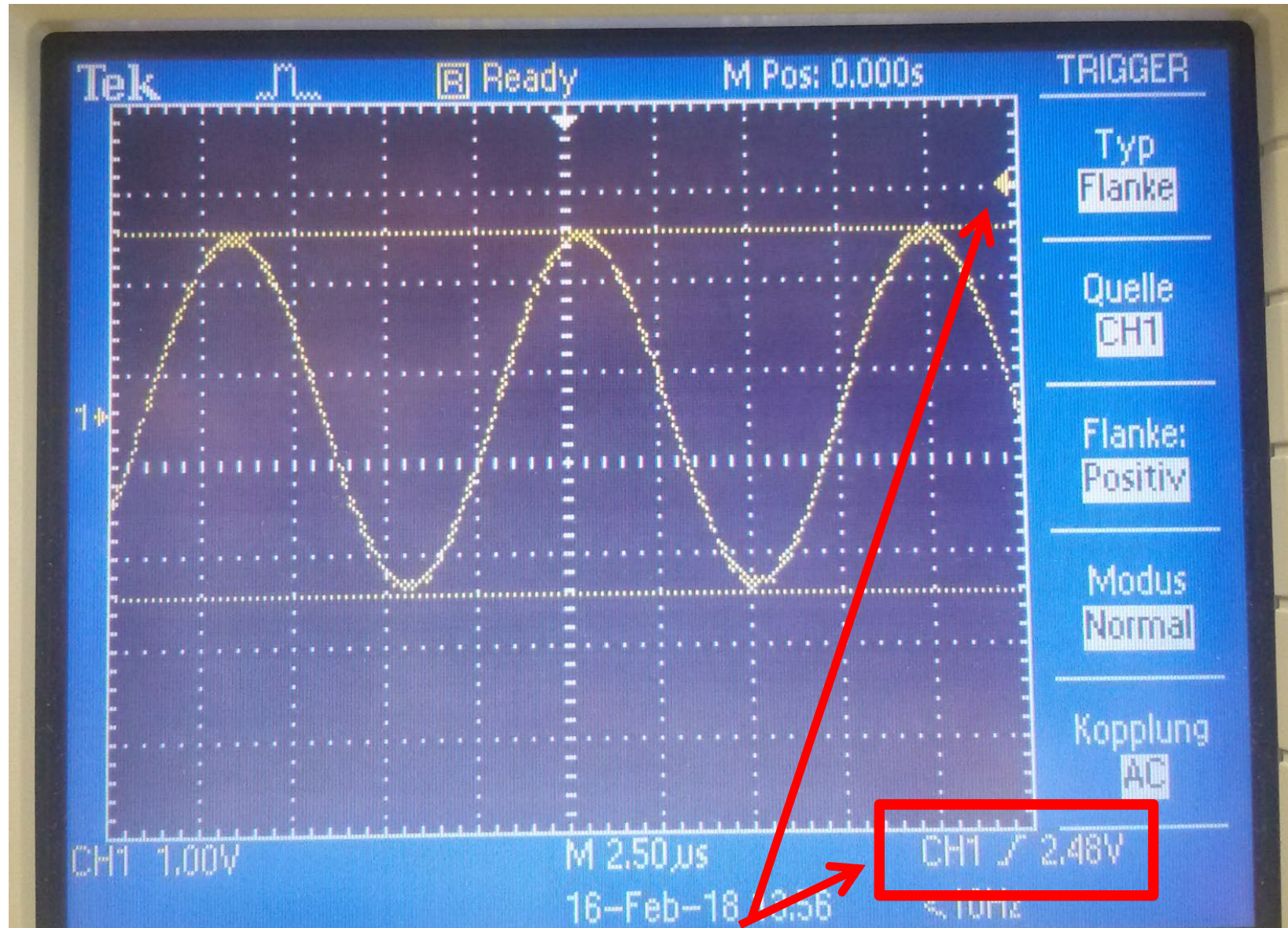
# Digital Oszilloskop



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



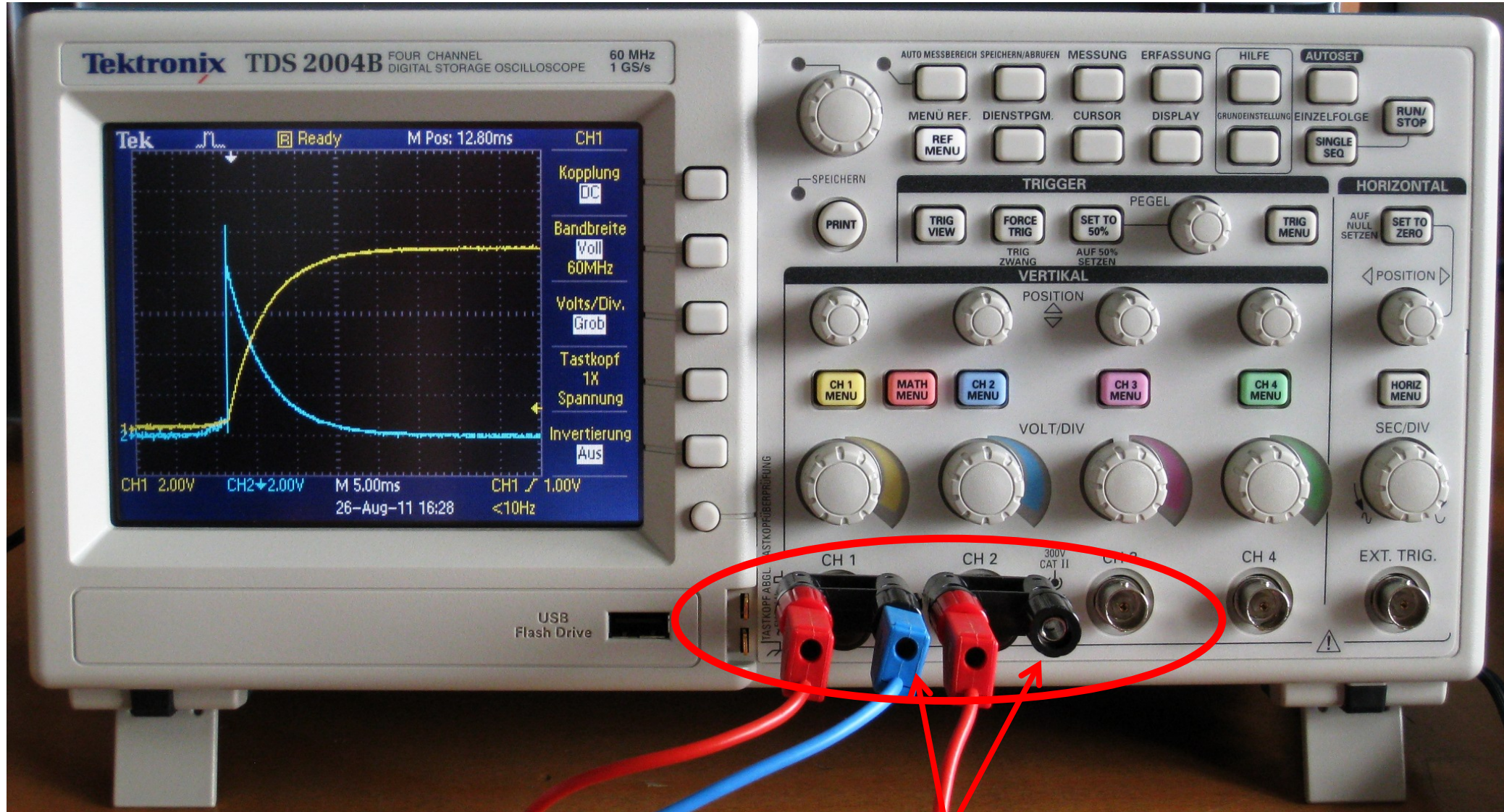
# Digital Oszilloskop



Unschärfe Signale bzw. „durchlaufende“ Signale bzw. kein Signal: z.B. durch zu hohe Triggerschwelle 86



# Digital Oszilloskop



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

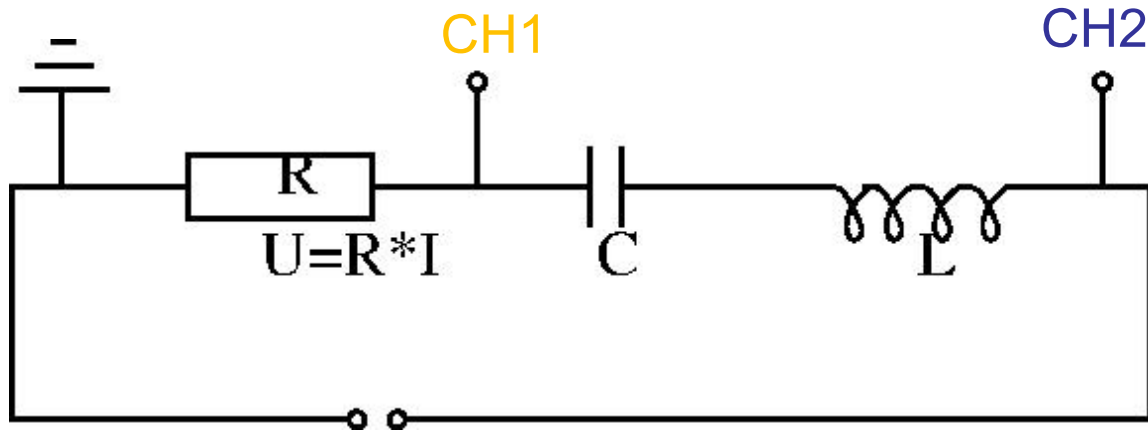


4 Kanäle mit gleicher Masse (Erde), schlimm?

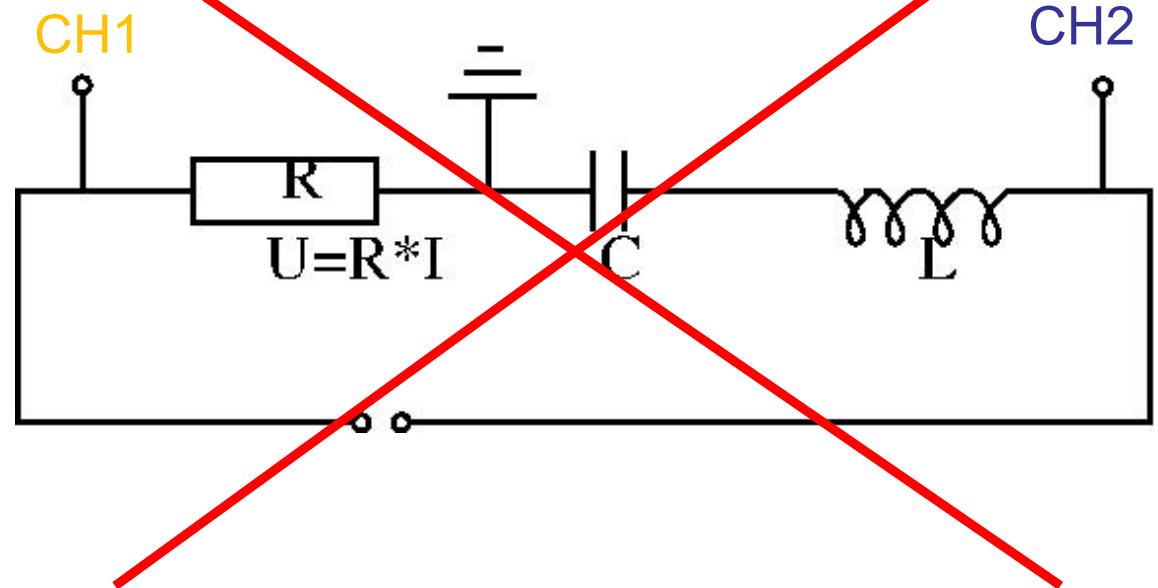
**Aufgabe: Messen sie die Phasenverschiebung zwischen Strom und Gesamtspannung mit dem Oszilloskop.**

Erfüllt Schaltung 1 oder 2 die Aufgabe?

1:

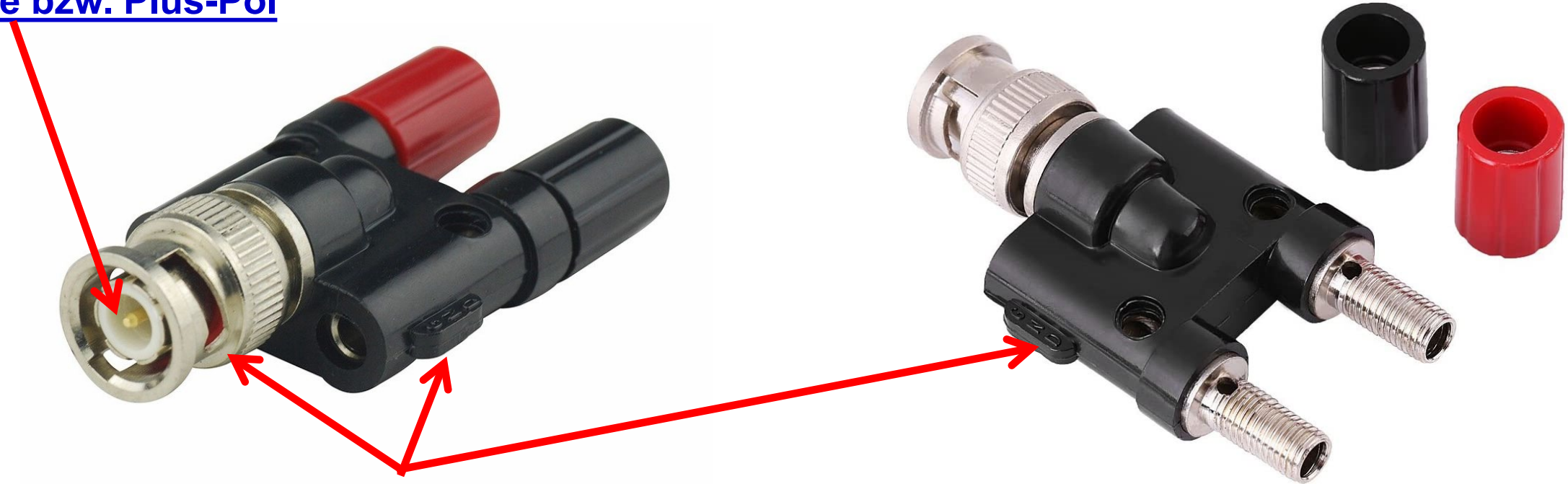


2:



## BNC-Banane-Stecker

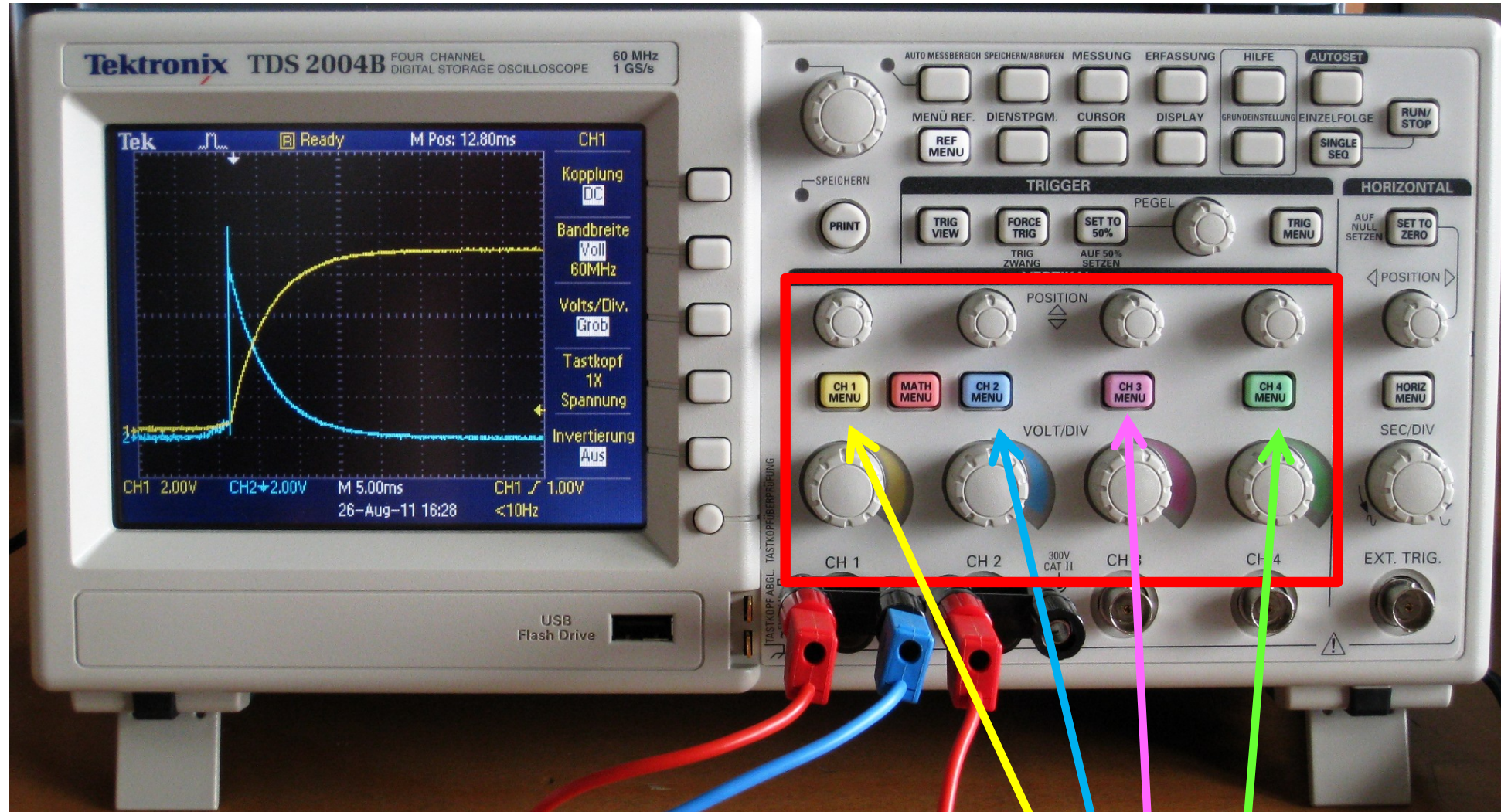
Goldener Pin im BNC-Teil:  
Seele bzw. Plus-Pol



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

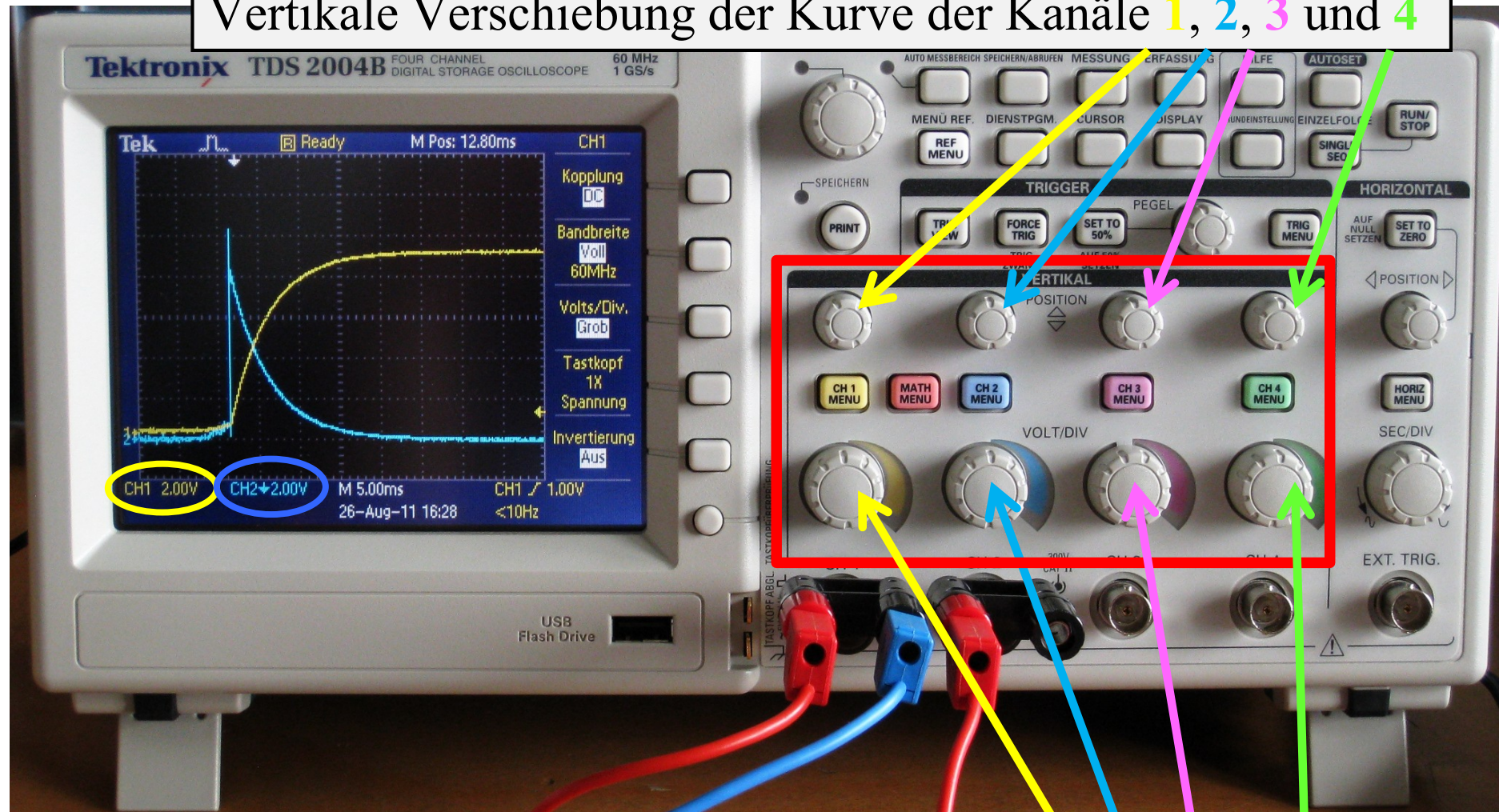


Kanalspezifische Einstellungen: Anzeige der Kanäle 1, 2, 3 und 4 über Druck auf jeweiligen farbigen Schalter



# Digital Oszilloskop

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

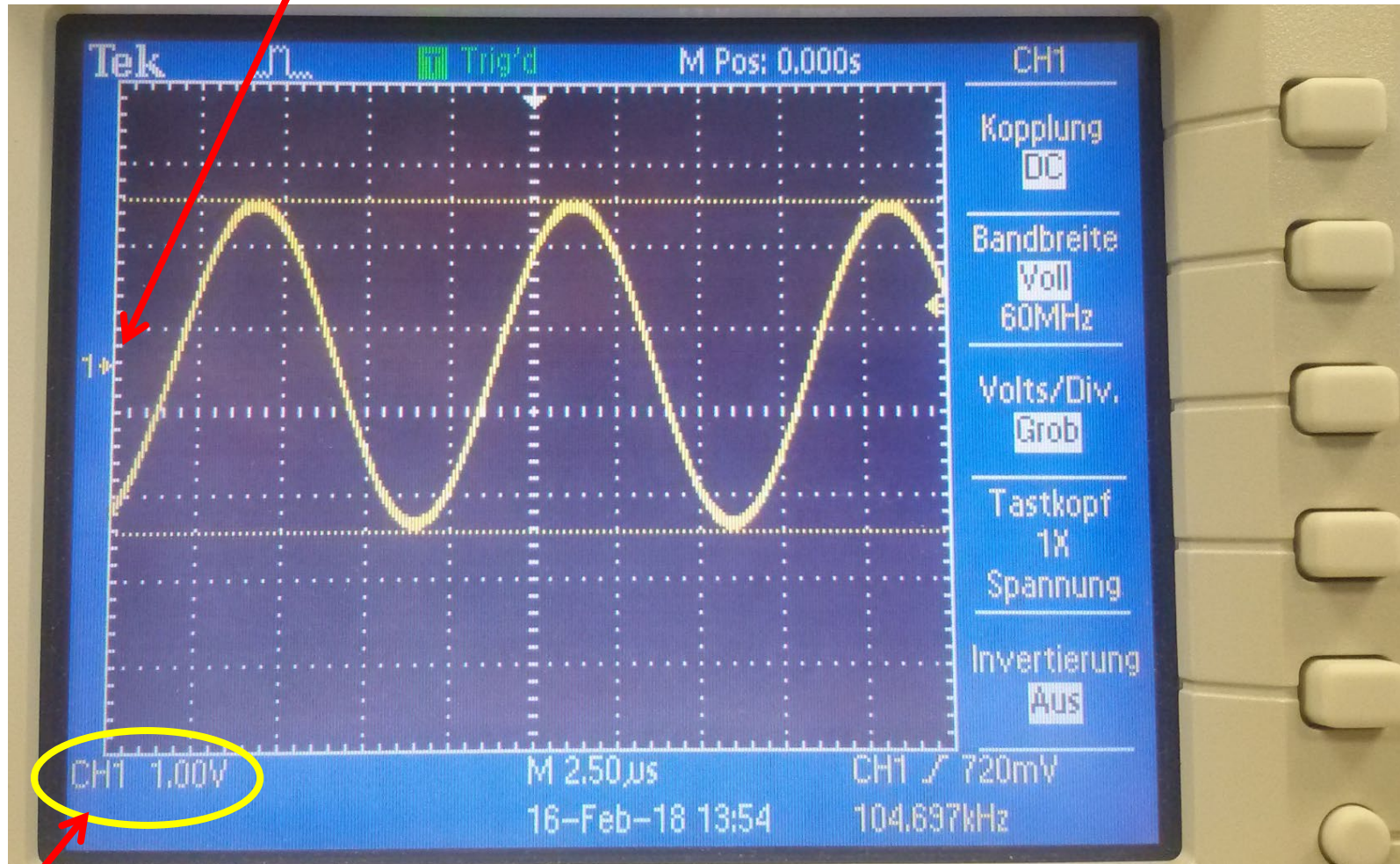


Volt/Div Einstellung der Skalierung der y-Achsen der Kanäle 1, 2, 3 und 4



# Digital Oszilloskop

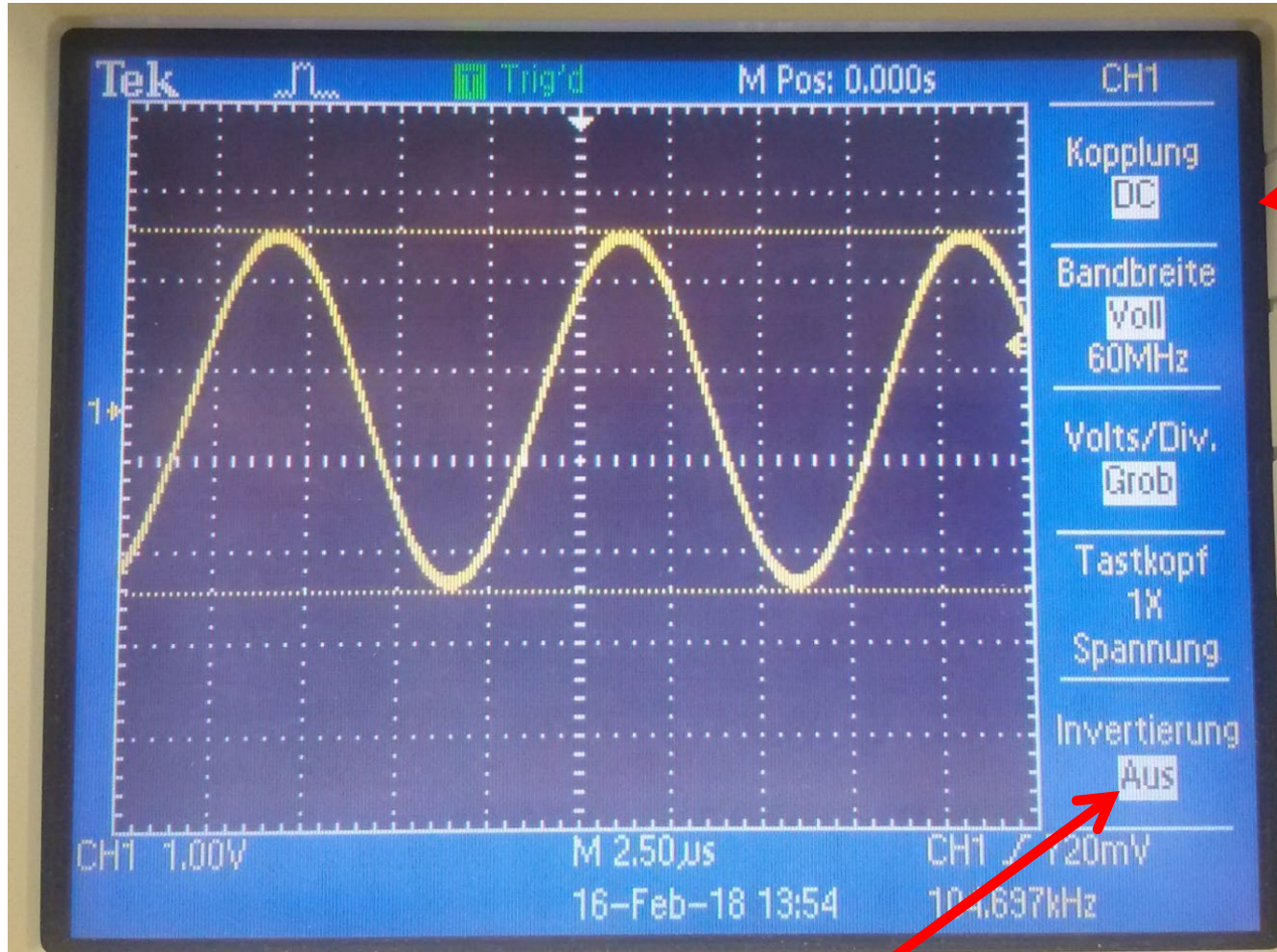
Anzeige der Nulllinie (erdbezogene Messpunkte) des CH1



Kanal-Menü

Auswahl durch  
seitliche Knöpfe

Anzeige der vertikalen Skalenfaktoren für die einzelnen Kanäle



## Kopplung:

Einstellmöglichkeiten:

**DC/AC/GND**

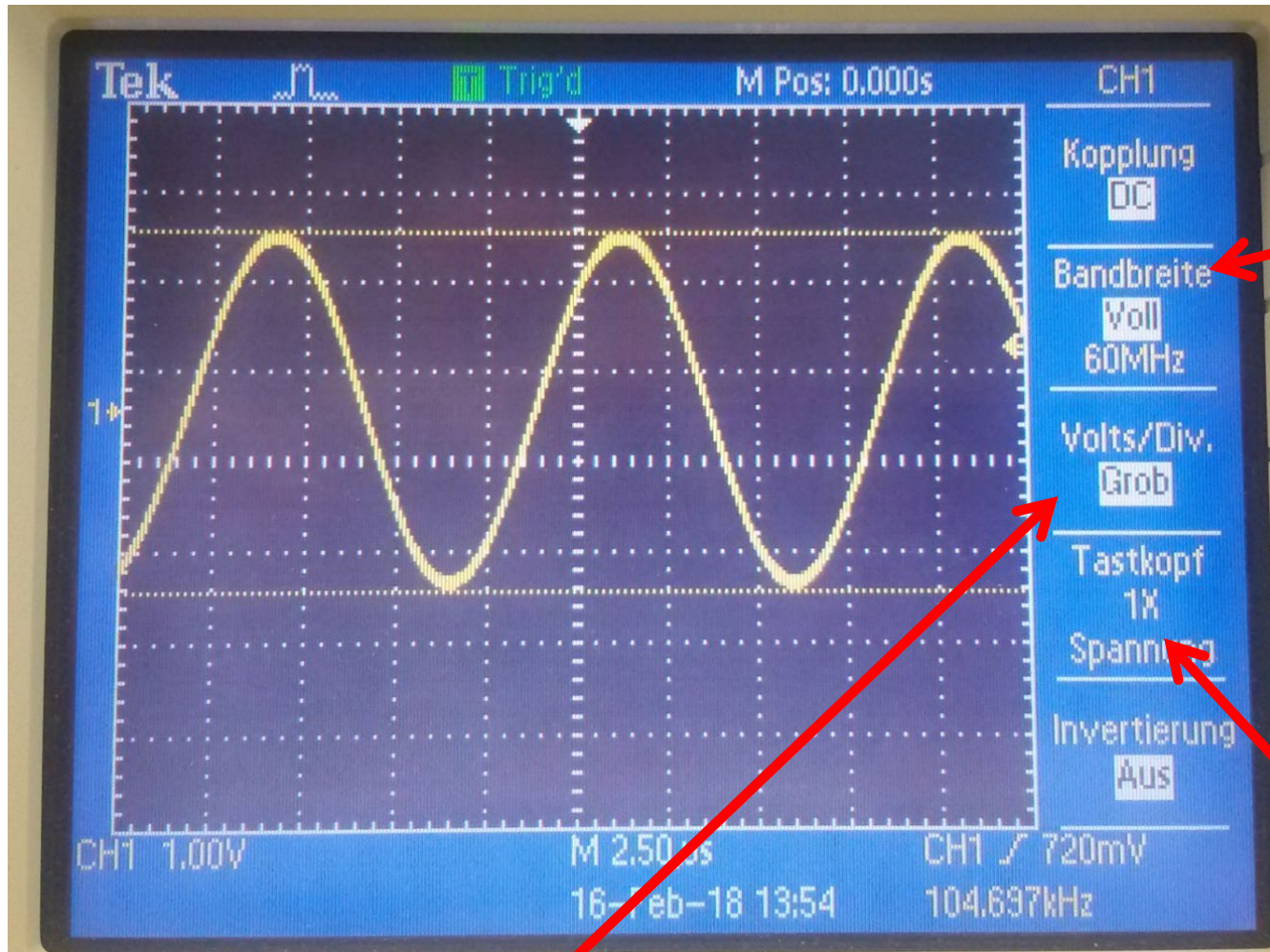
**DC:** Signaleingang direkt mit dem Eingang des Verstärkers verbunden.

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

**GND:** (Ground, Masse) Signaleingang ist unterbrochen, und Eingang des Verstärkers liegt auf Masse.

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





## Bandbreite:

Bandbreitenbegrenzung

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

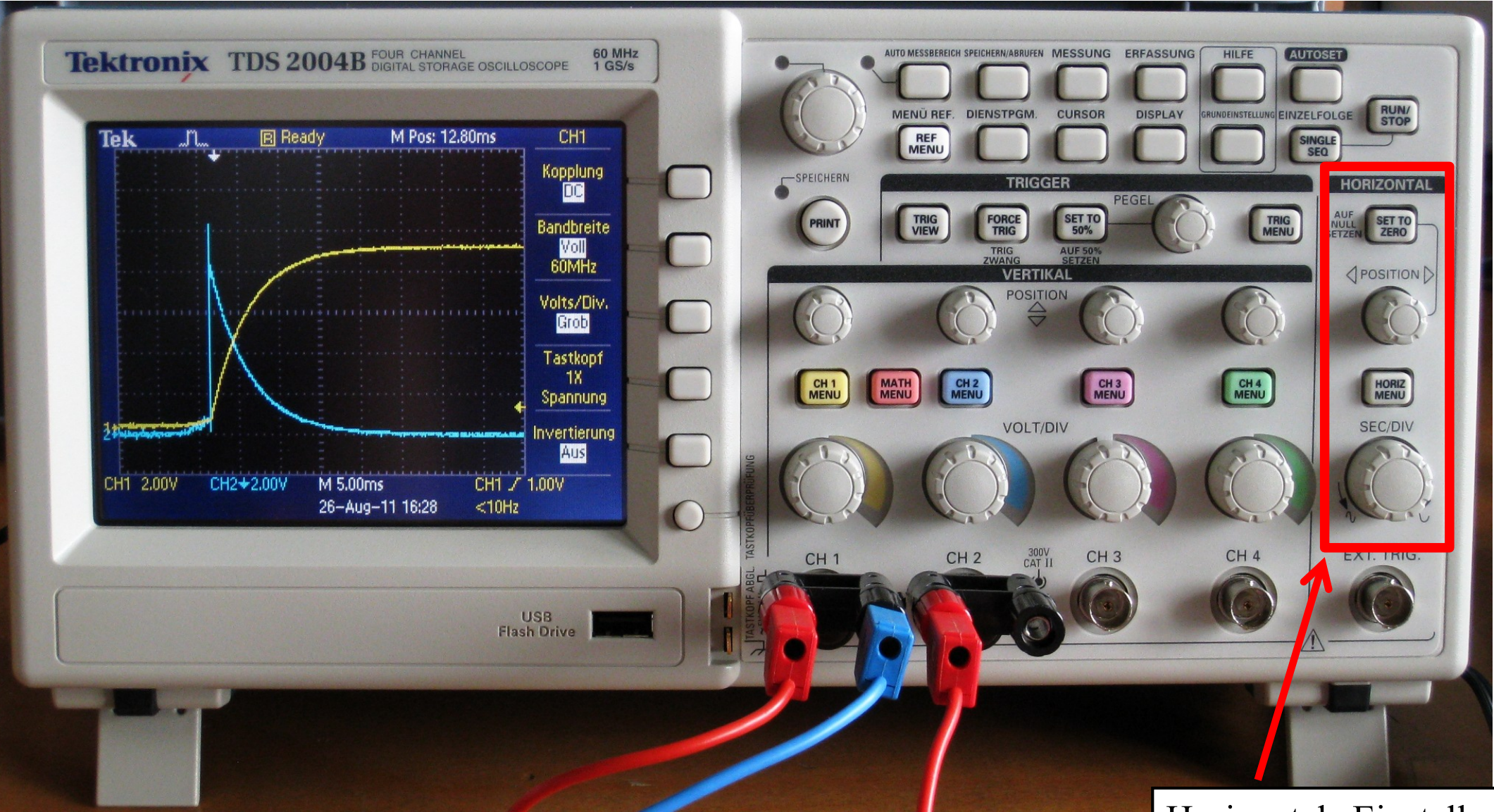
**ABER:** Reduzierung oder Eliminierung hochfrequenter Anteile des Signals → Signalverfälschung

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

**Tastkopf** → x-fache Verstärkung des Signals einstellbar



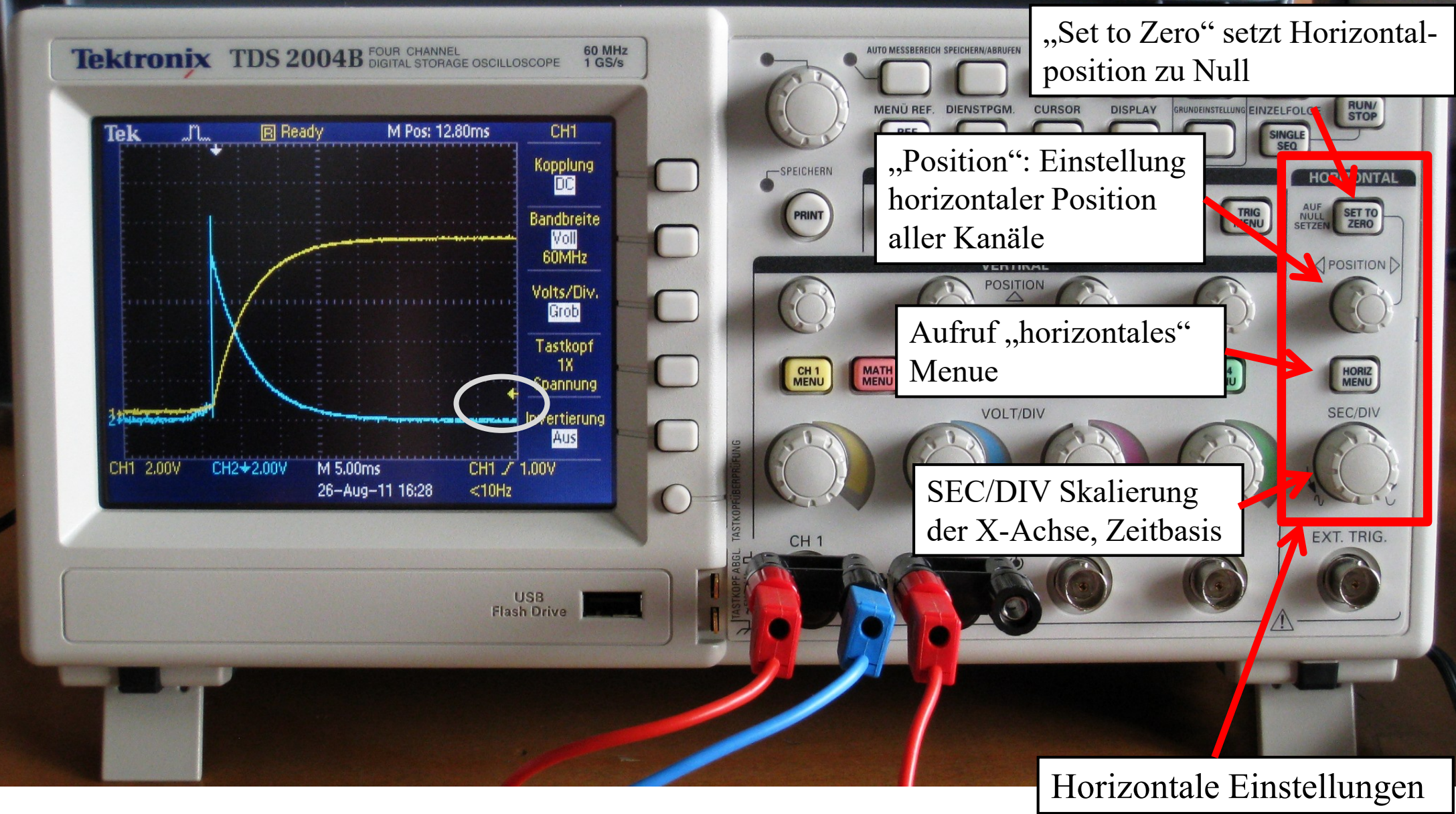
# Digital Oszilloskop



Horizontale Einstellungen

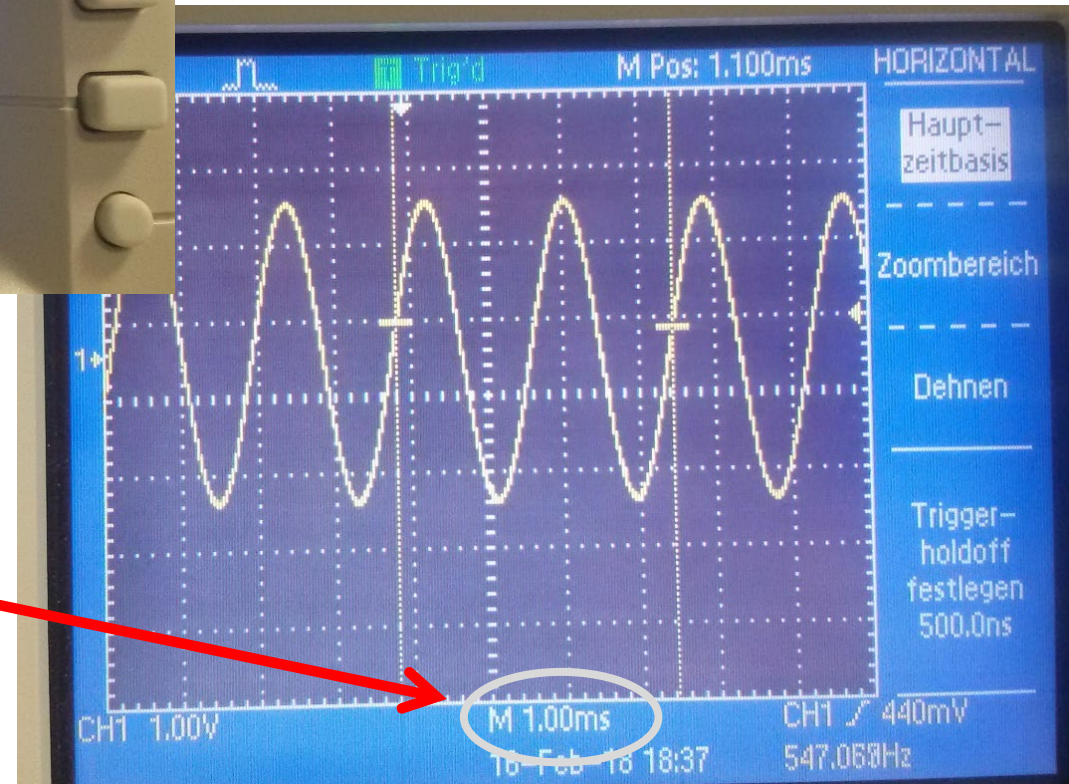
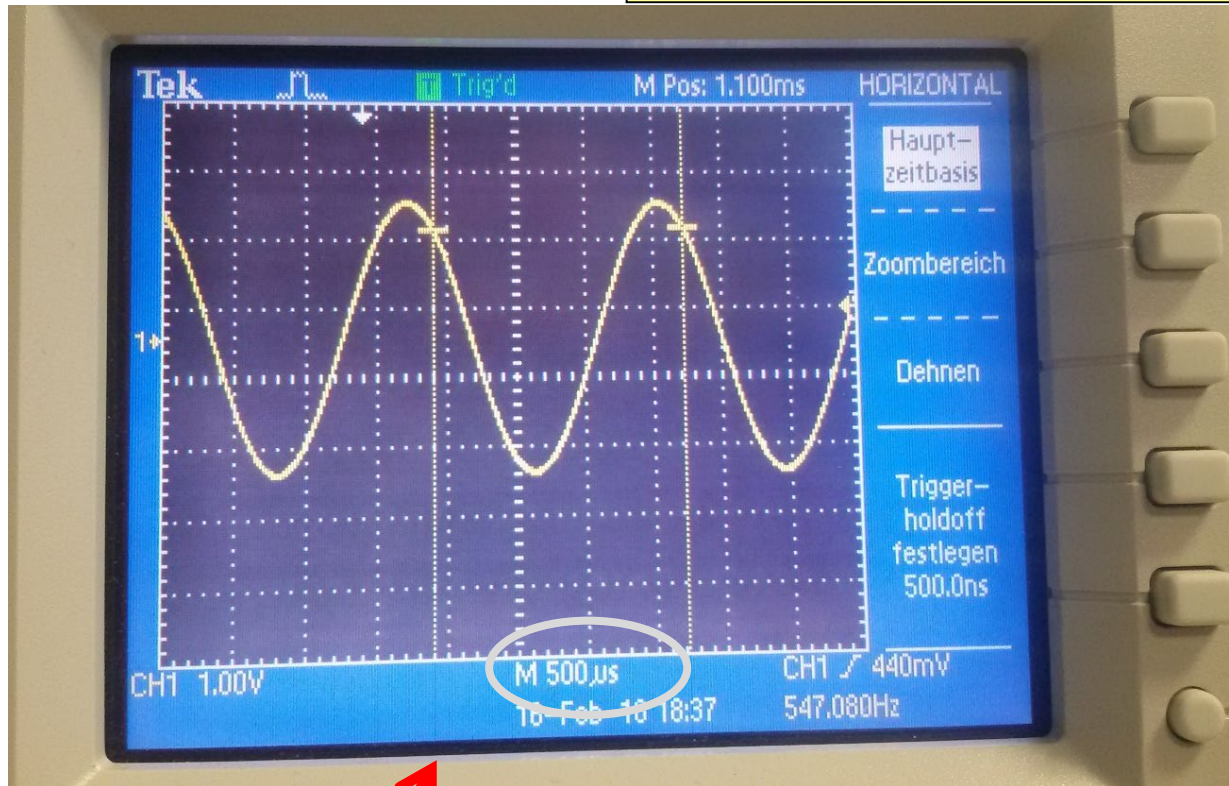


# Digital Oszilloskop





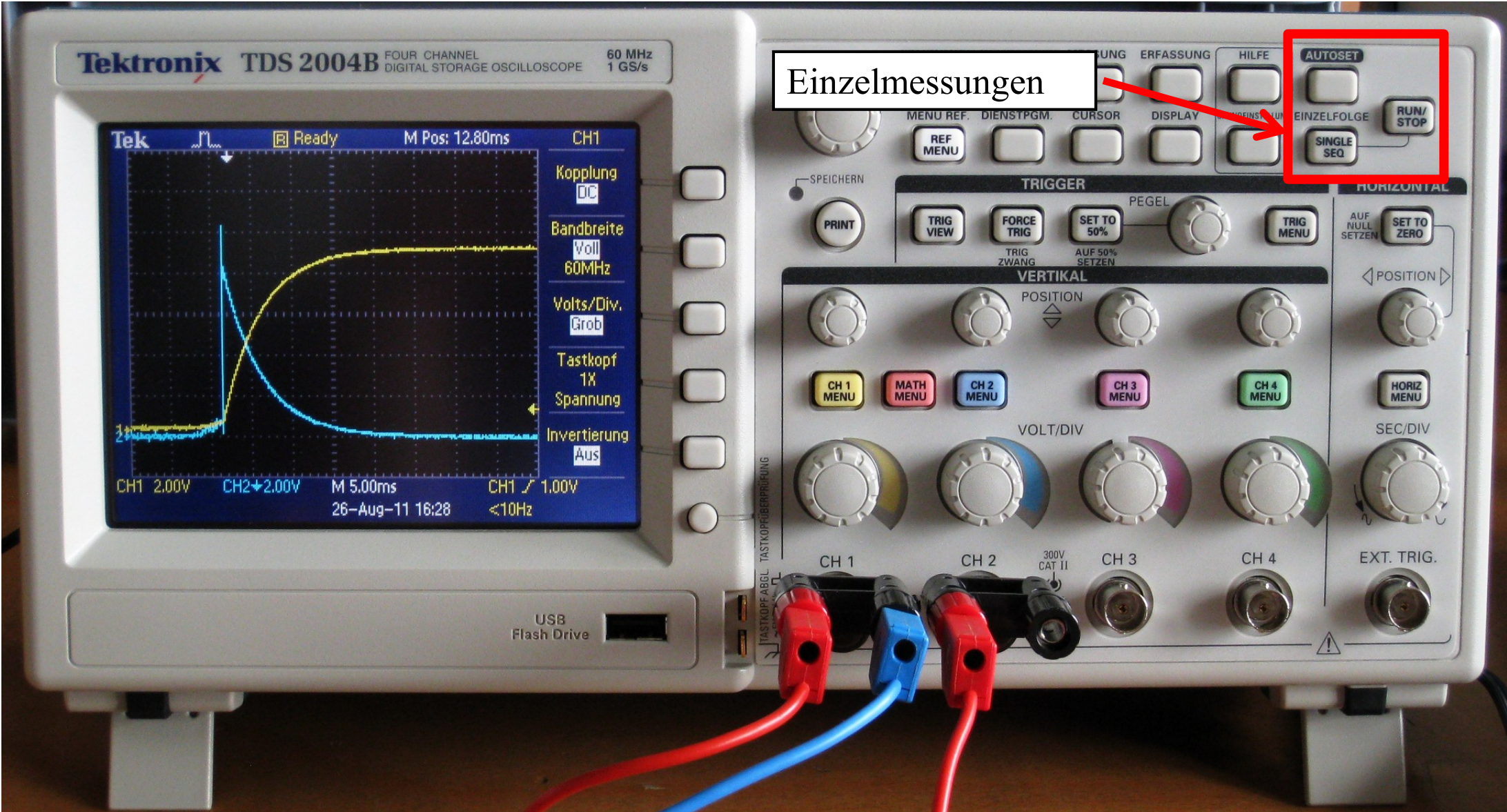
# Digital Oszilloskop



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



# Digital Oszilloskop



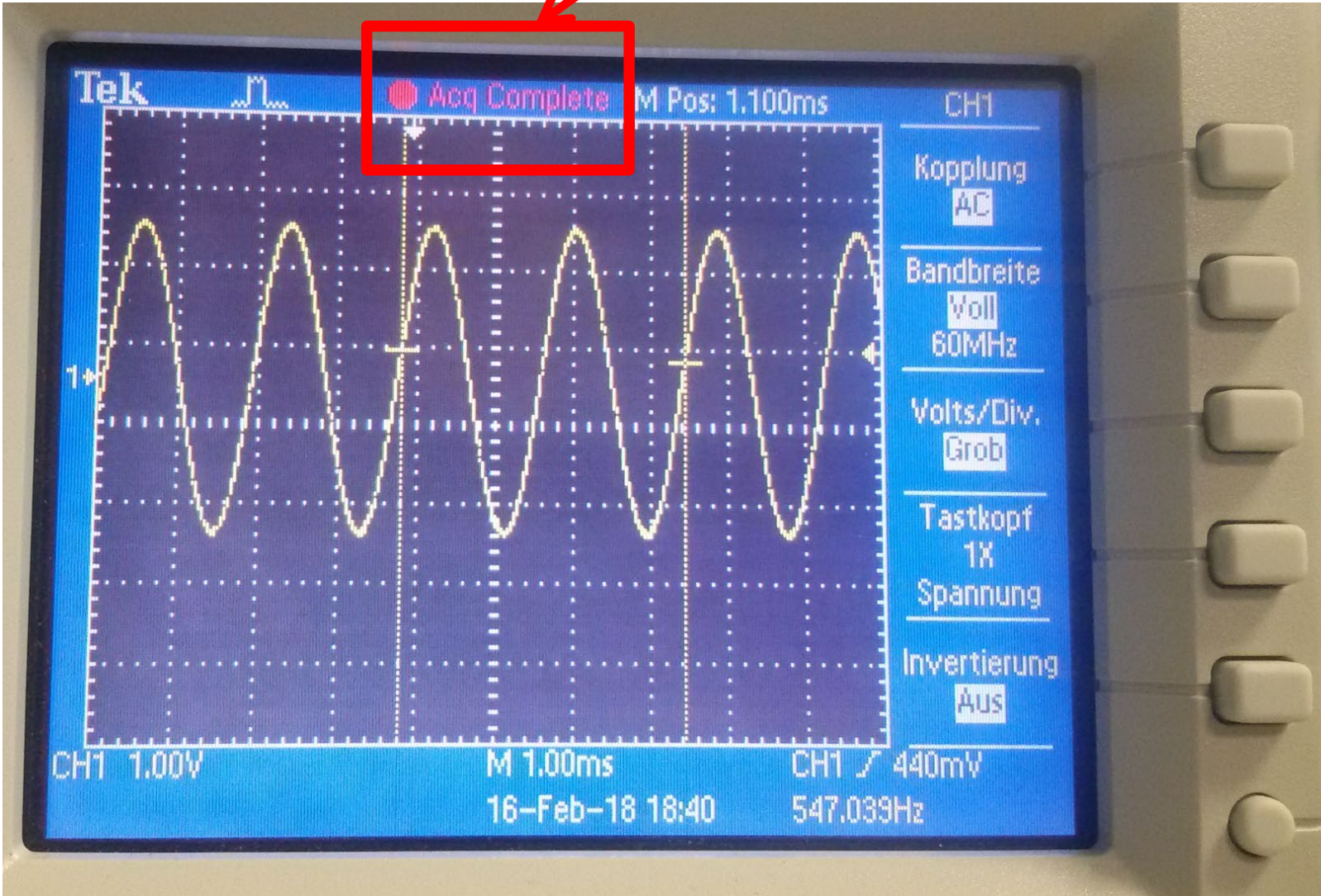
Einzelmessungen

AUTOSET  
EINZELFOLGE  
SINGLE SEQ.



# Digital Oszilloskop

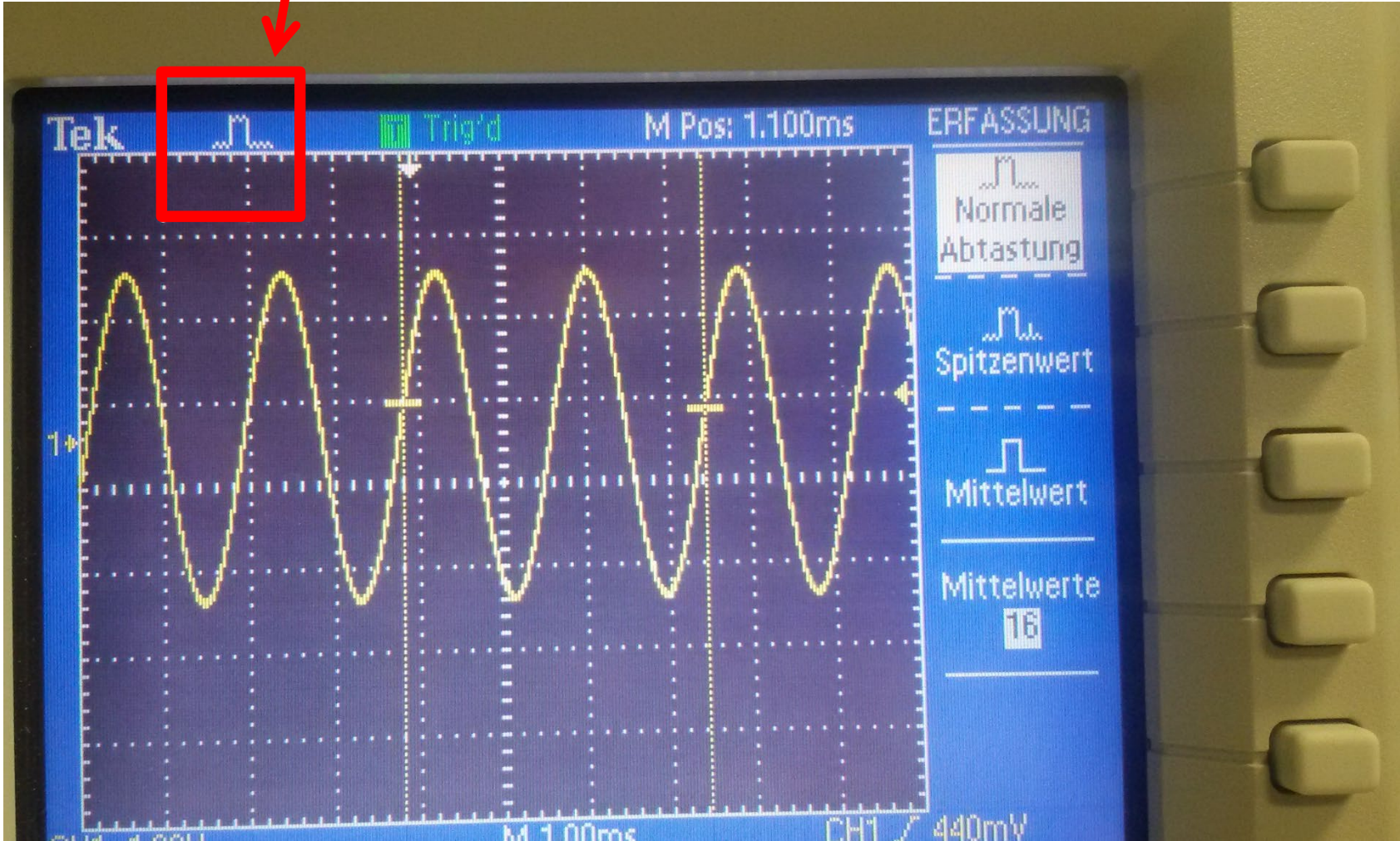
Nach Aufnahme der Einzelmessungen



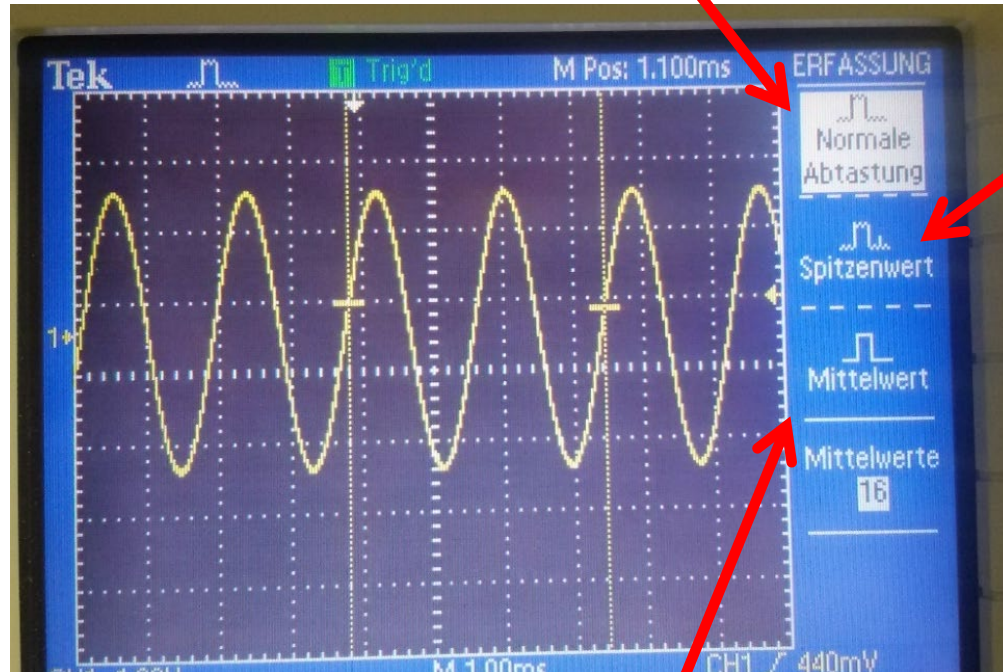


# Digital Oszilloskop

Erfassungsmodus



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



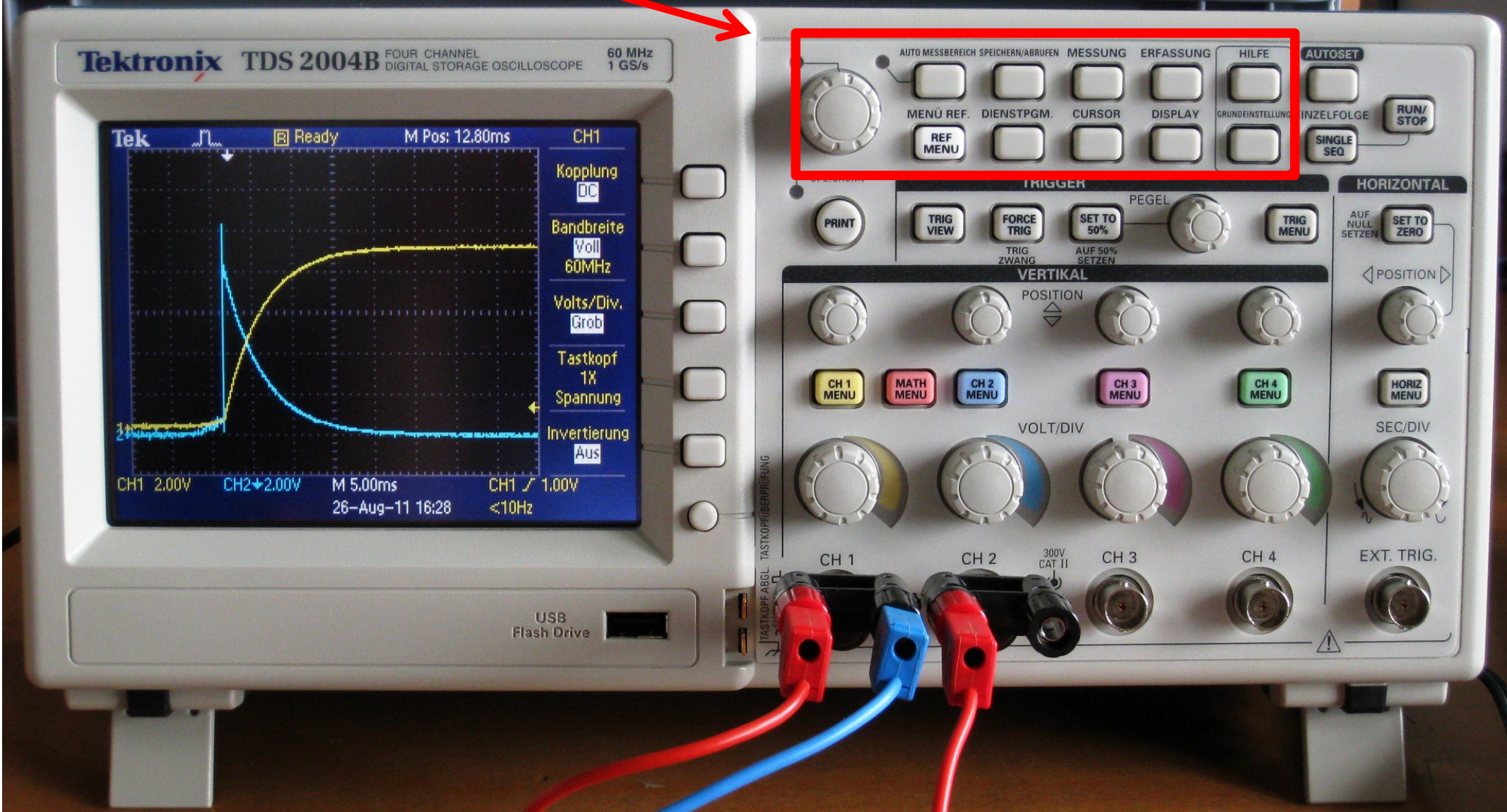
**Spitzenwert:** Oszi speichert Minima und Maxima der in zwei Signalintervallen erfassten Abtastpunkte und verwendet diese als die beiden einander zugeordneten Signalpunkte → Erfassung schneller Signaländerungen; **Modus von Vorteil bei Darstellung von schmalen Impulsen in zeitlich großen Abständen**

**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

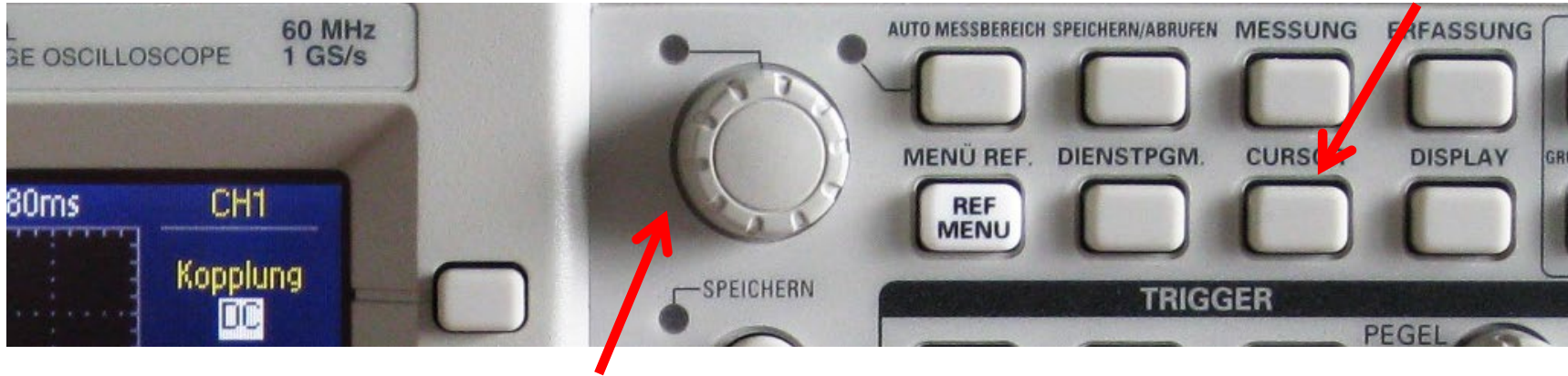
Allgem. Einstellungen, Cursor, Messungen



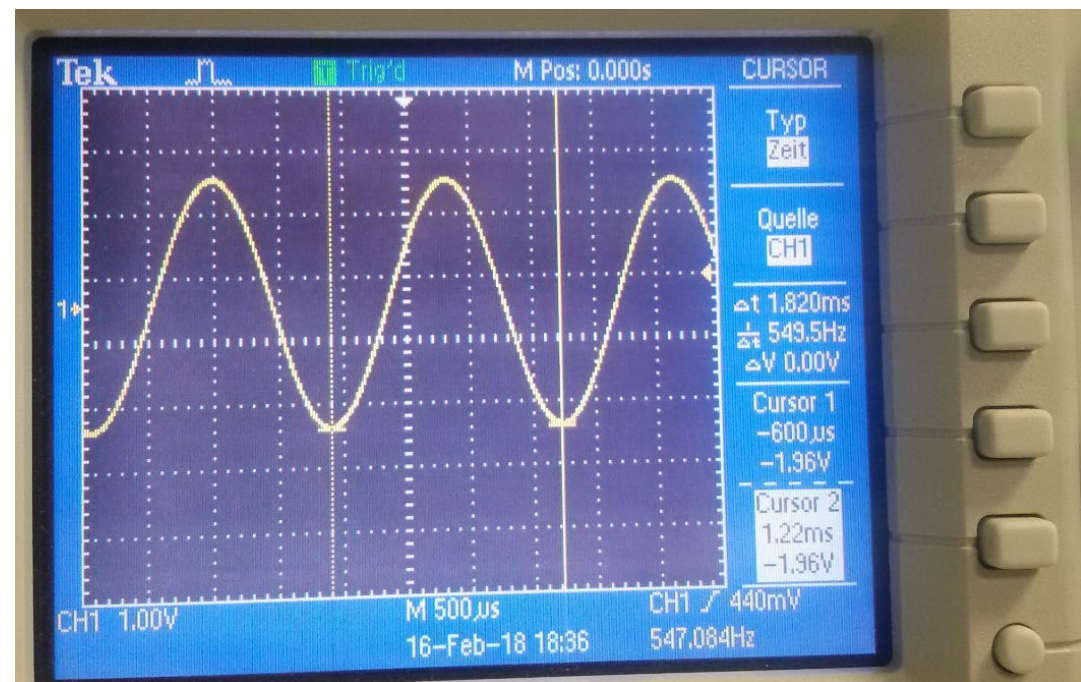
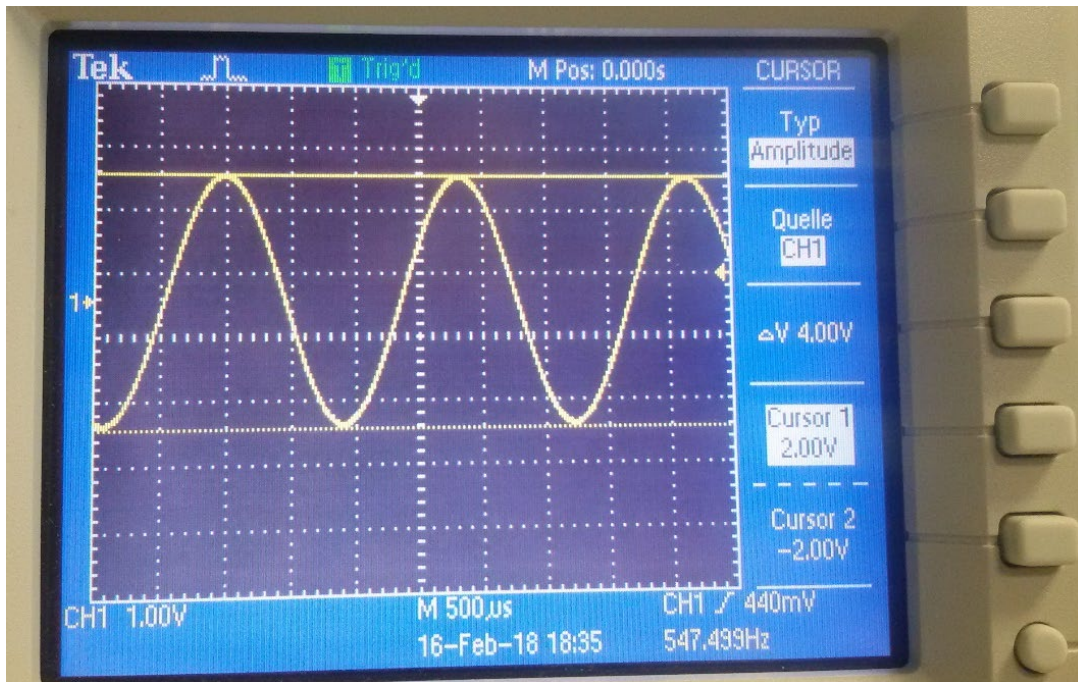


# Digital Oszilloskop

## Messungen mit Cursor



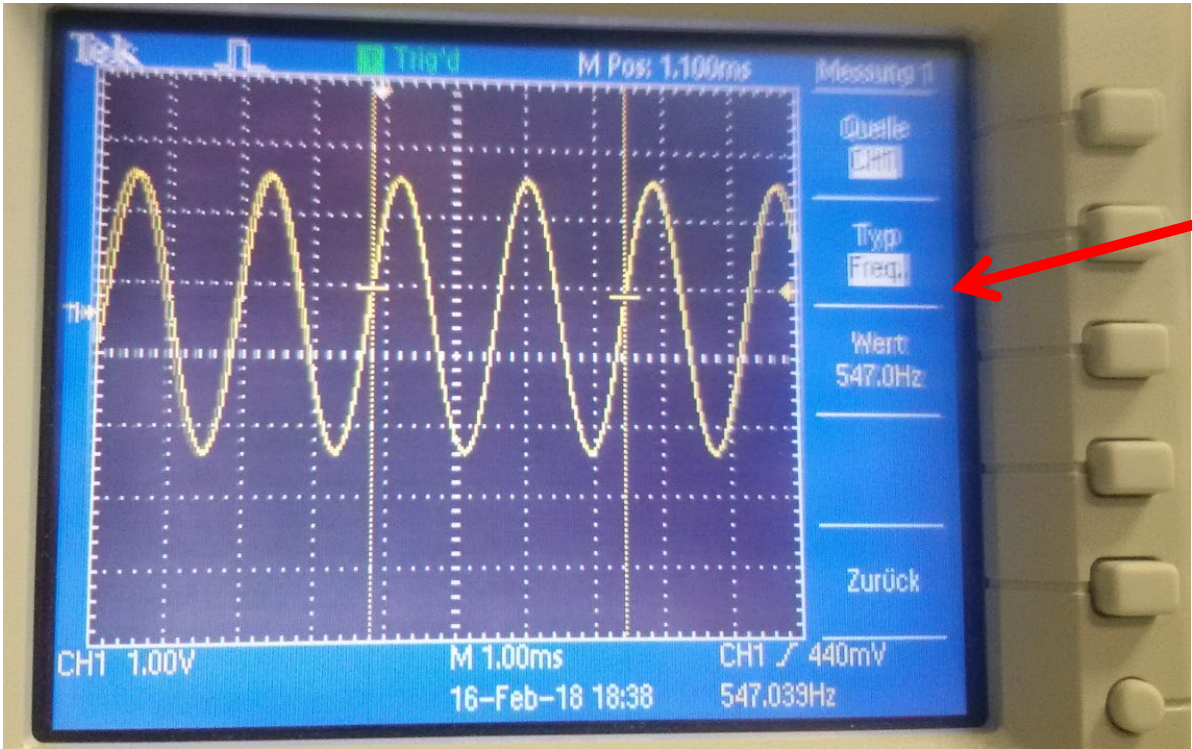
## Cursor bewegen mit Mehrfunktions Drehknopf





# Digital Oszilloskop

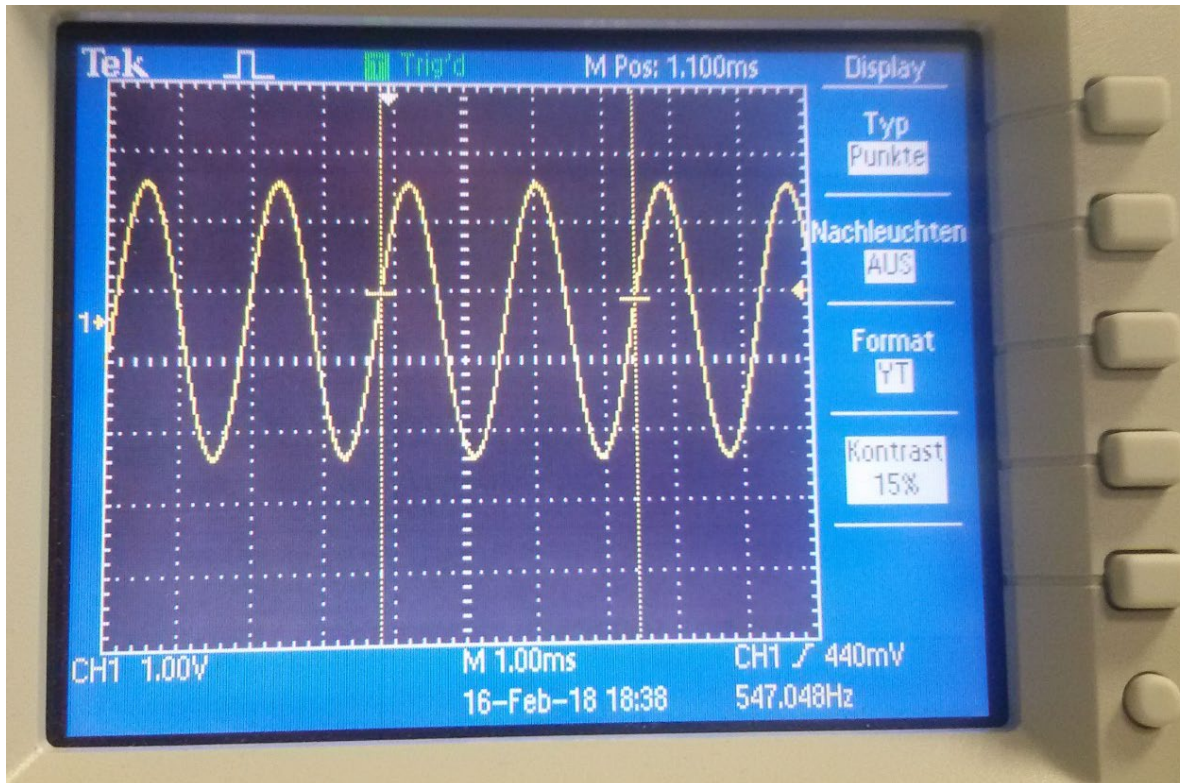
Messung





# Digital Oszilloskop

Display

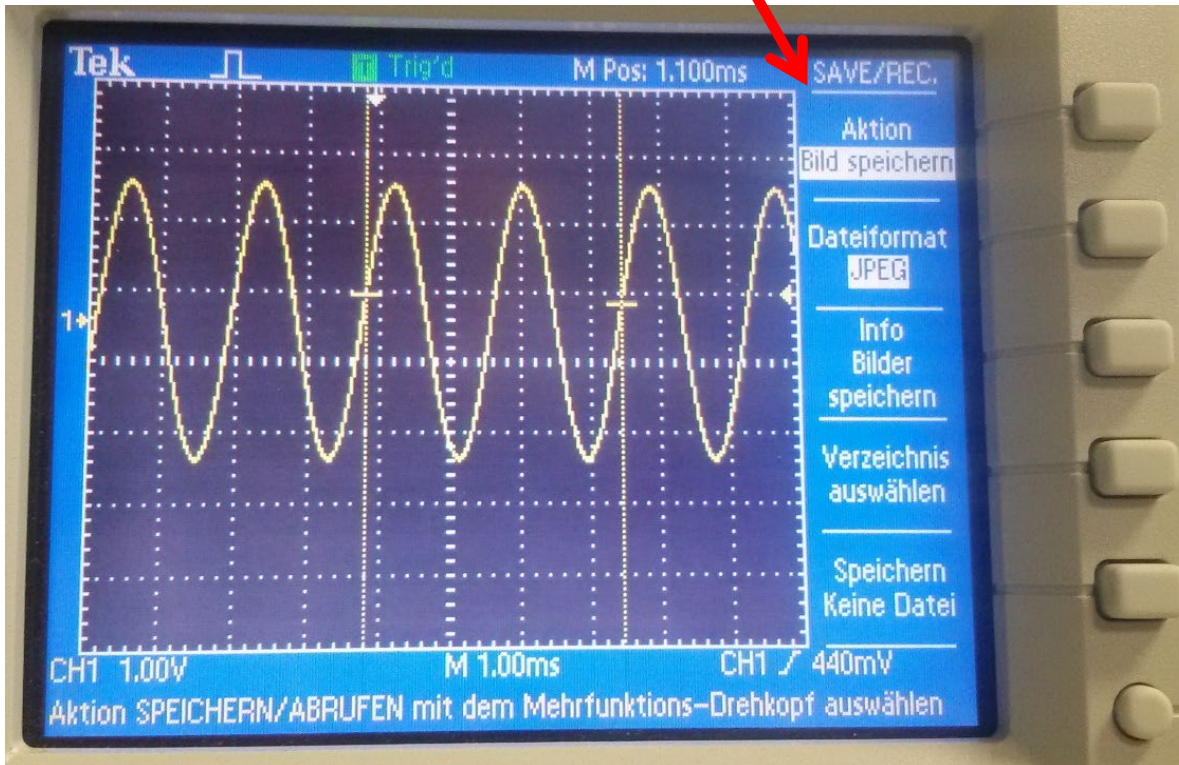
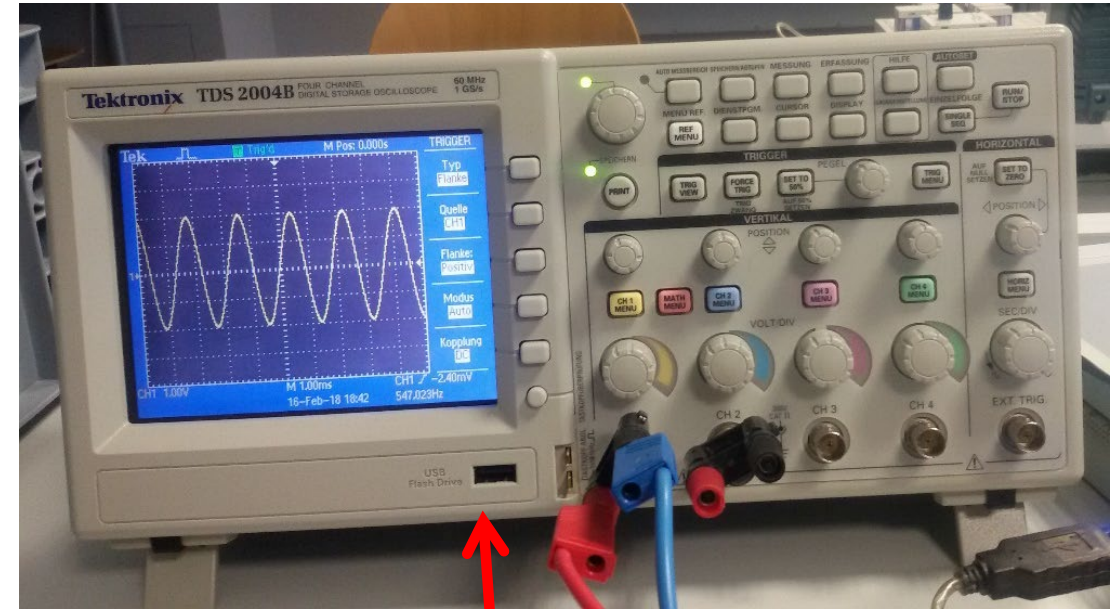


**Format:**  
YT oder  
XY: → Lissajous-Figuren



Speichern

# Digital Oszilloskop



## SAVE/REC:

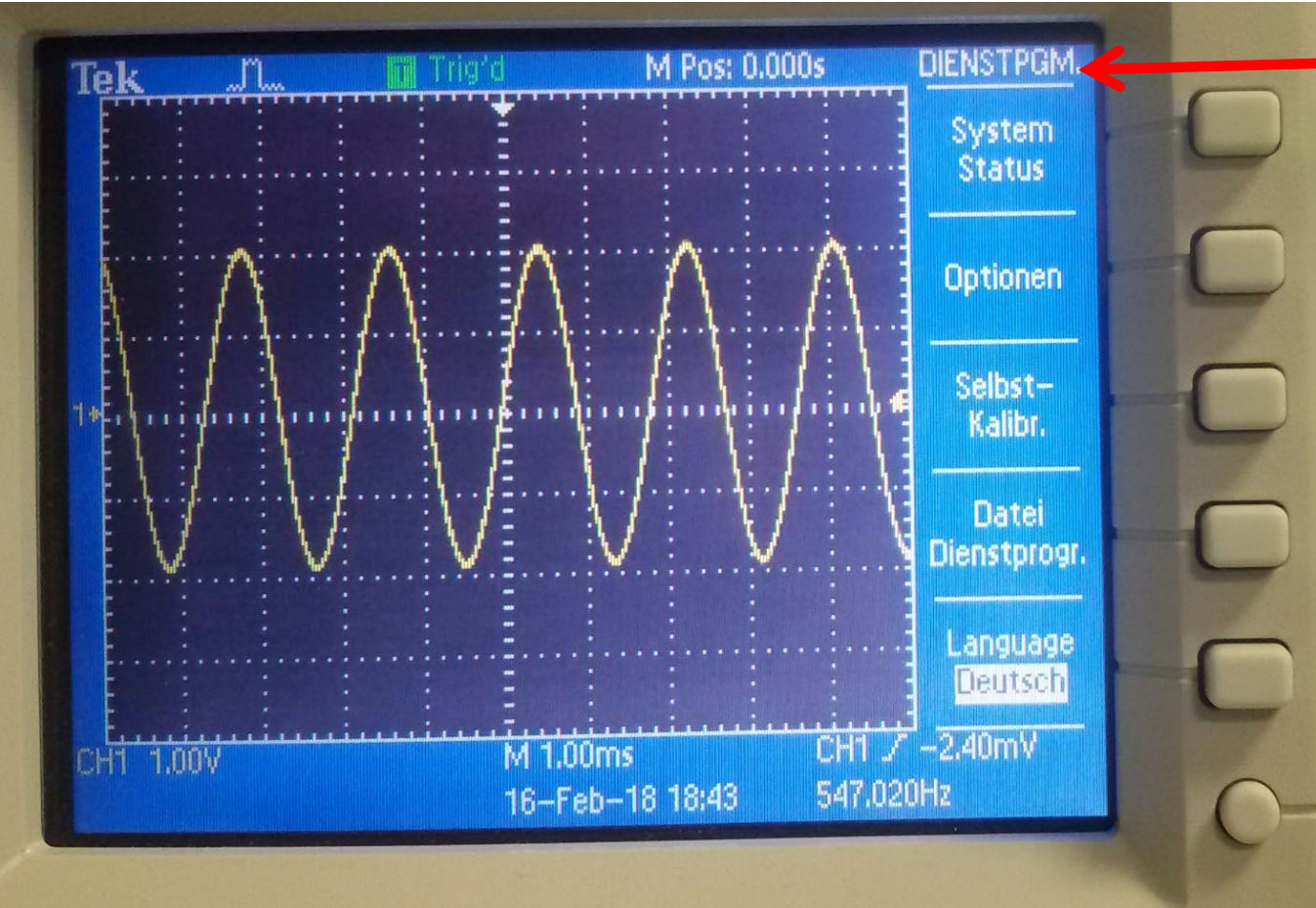
Bilder oder Daten speichern auf USB Stick

**ABER: Nicht jeder USB-Stick wird erkannt**



# Digital Oszilloskop

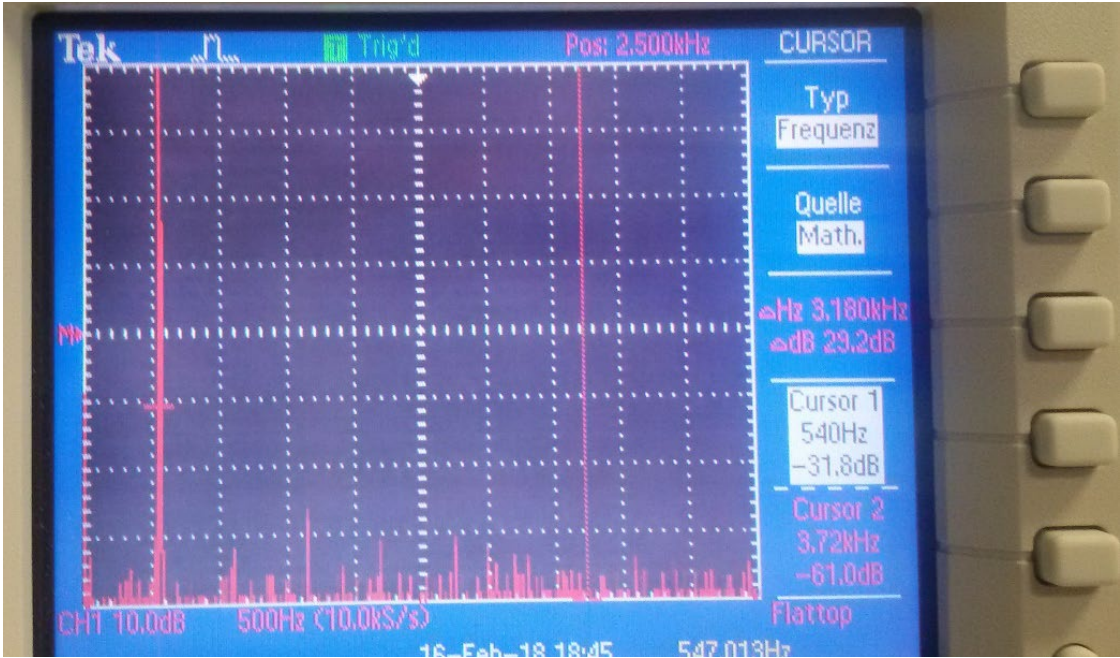
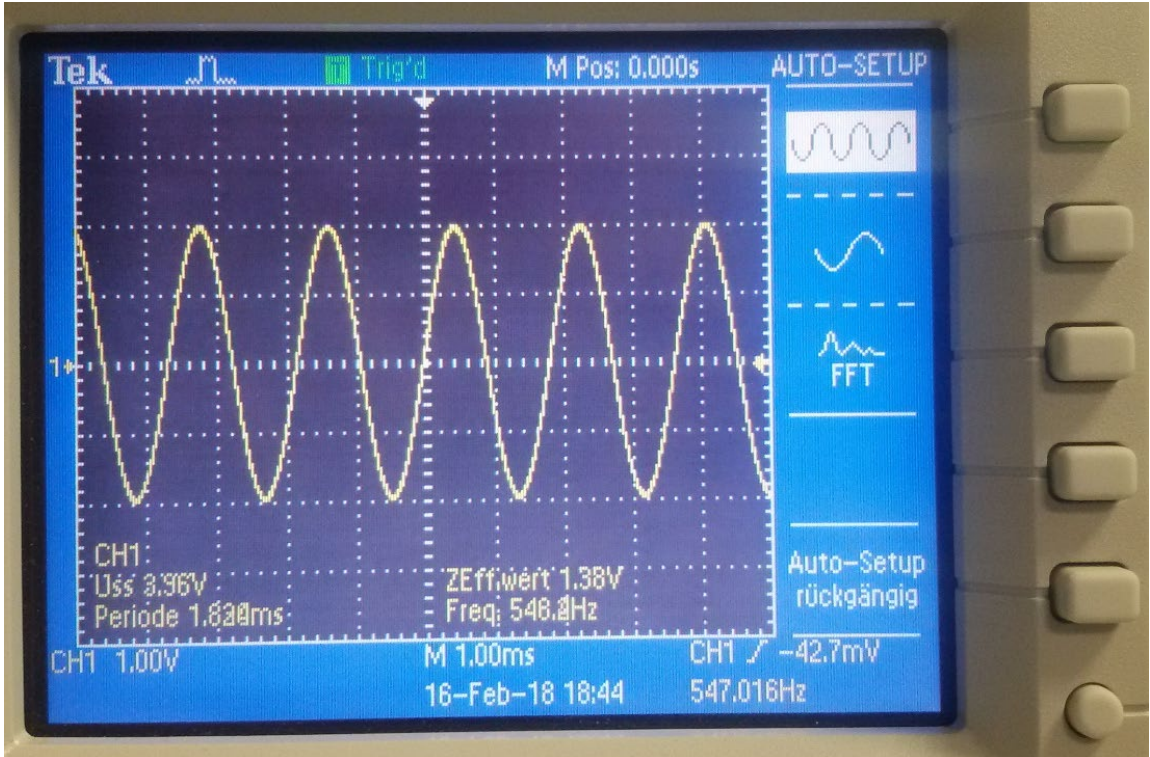
## Dienstprogramme





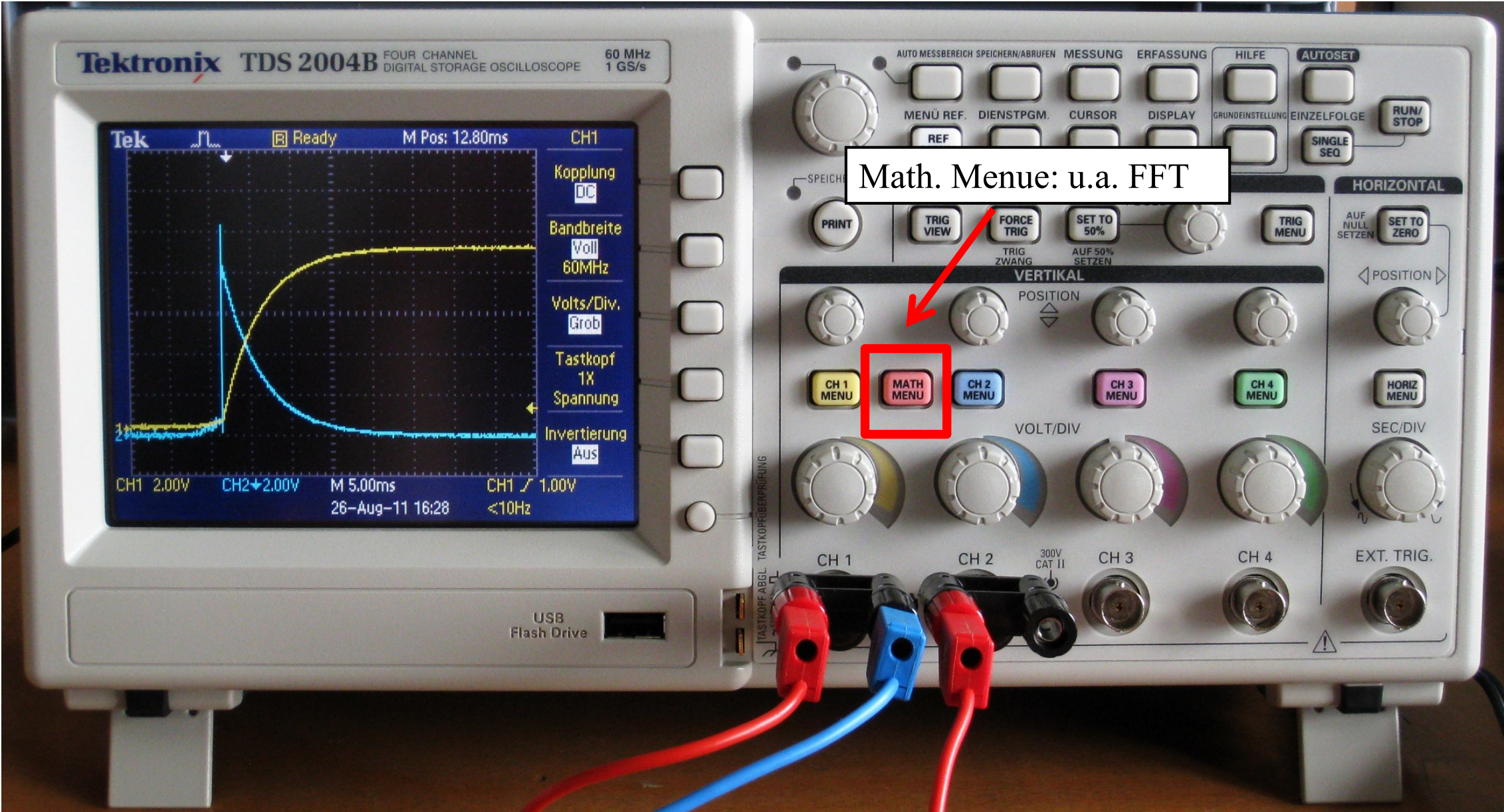
# Digital Oszilloskop

Autosetup





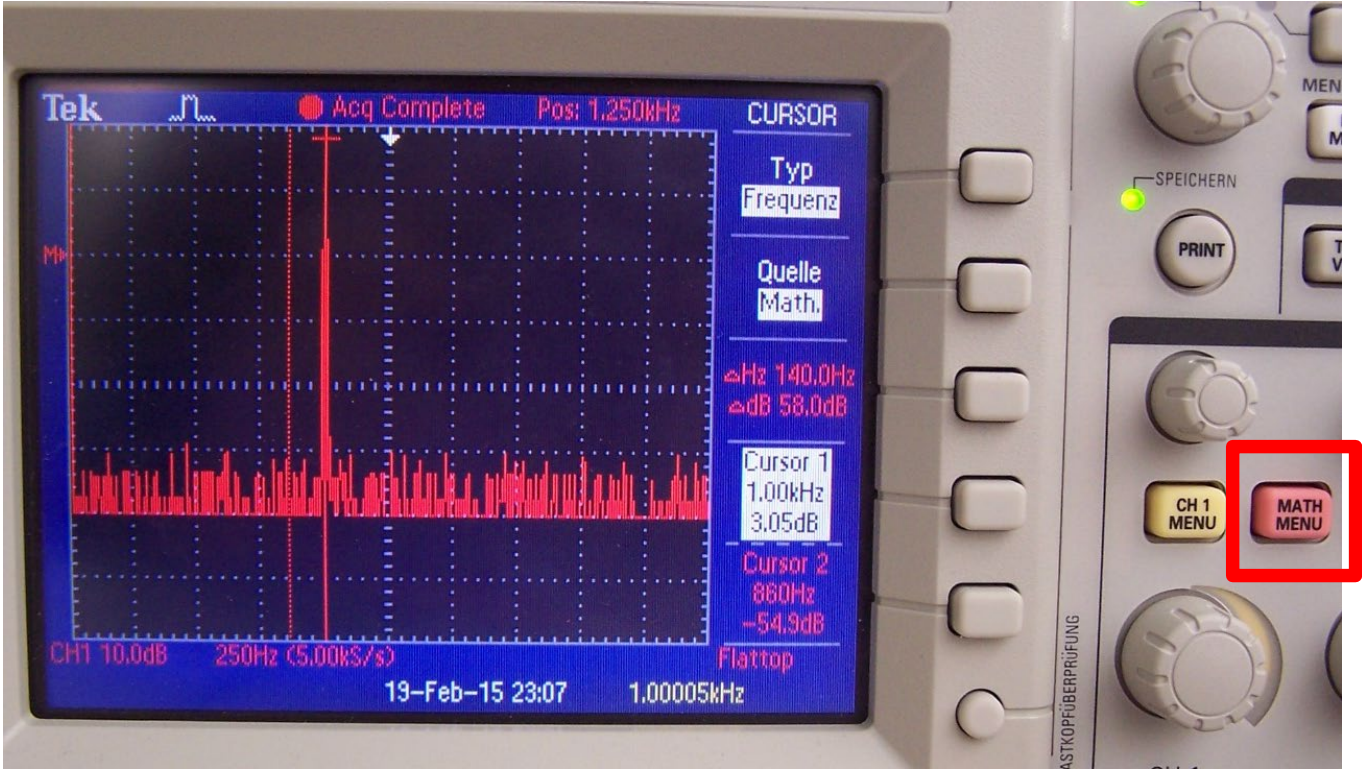
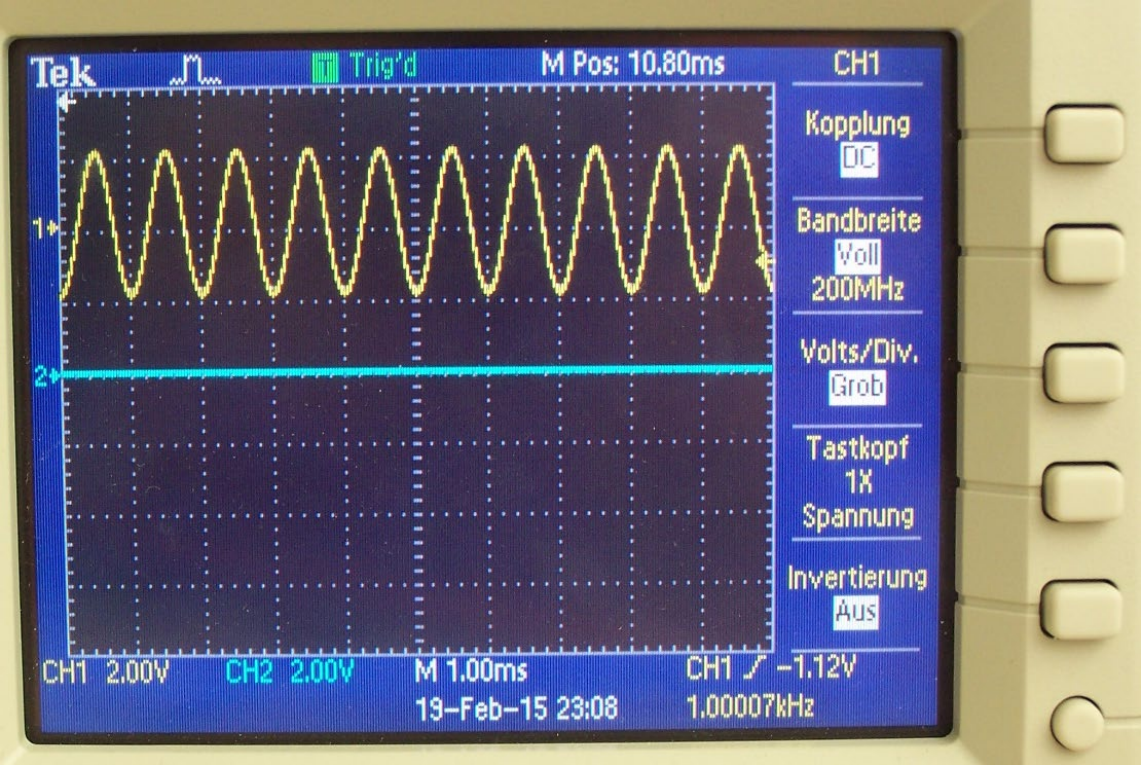
# Digital Oszilloskop





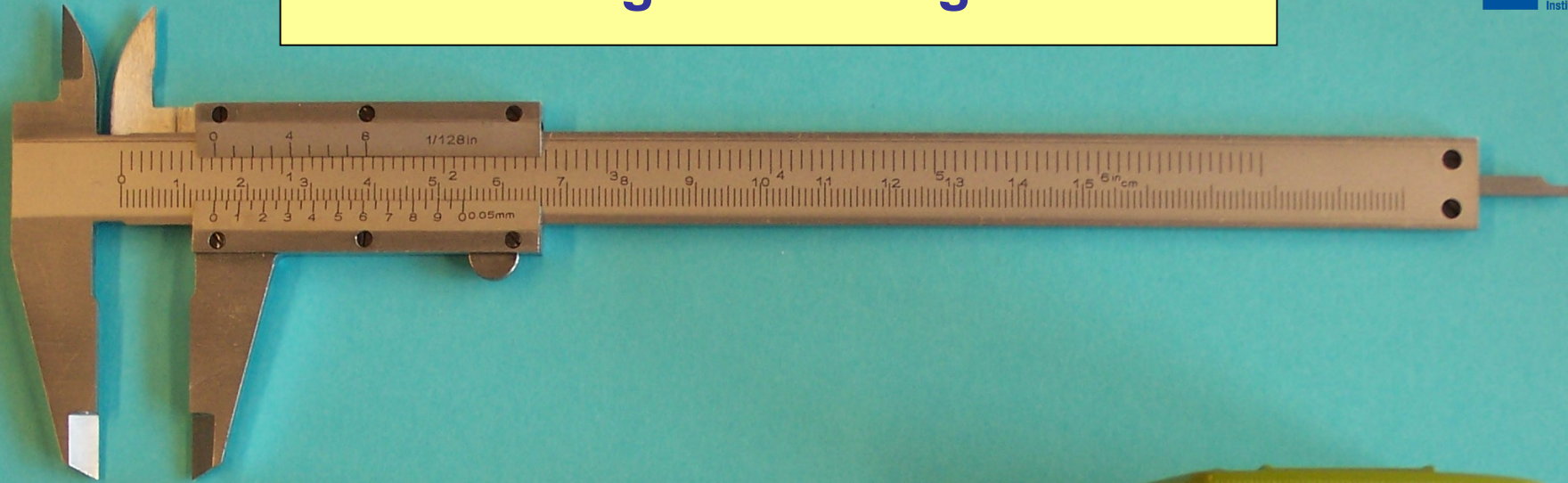
# Digital Oszilloskop

FFT einer Einzelmessung einer Schwingung



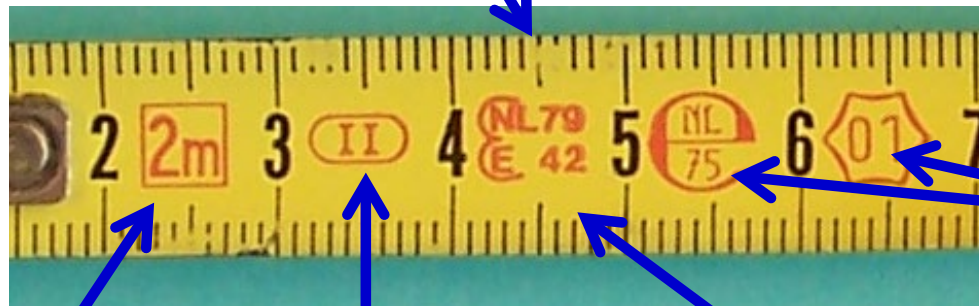
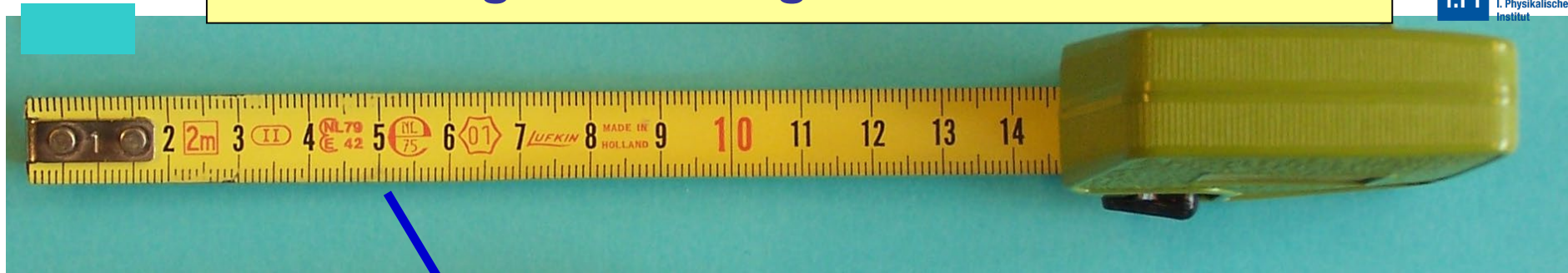


# Längenmessungen



0.01mm  
0-25mm

# Längenmessungen mit Maßband



Länge  
Maßband

EG-Genauigkeits-  
klasse

Modell  
Genehmigungs-Nr.

Aufdruck für  
Eichung

Toleranzen der Maßbänder nach Klasse I und II werden ermittelt:

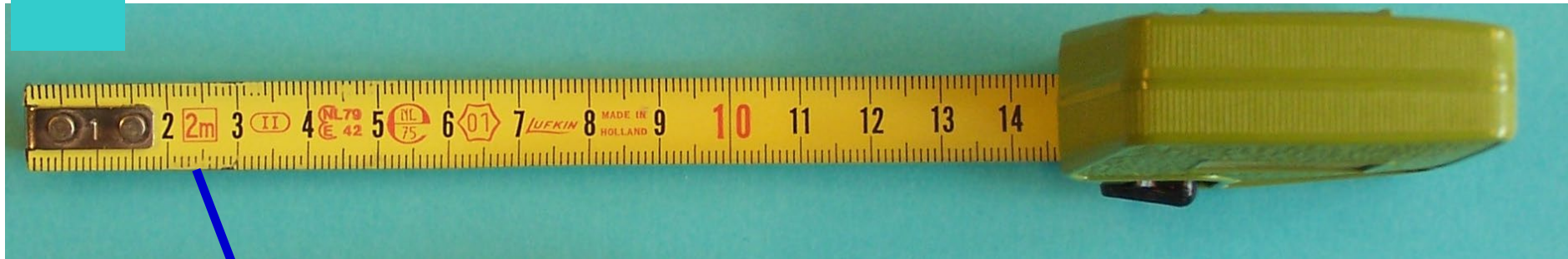
$$(a + b \times L)$$

L = Nominallänge in Metern

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

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



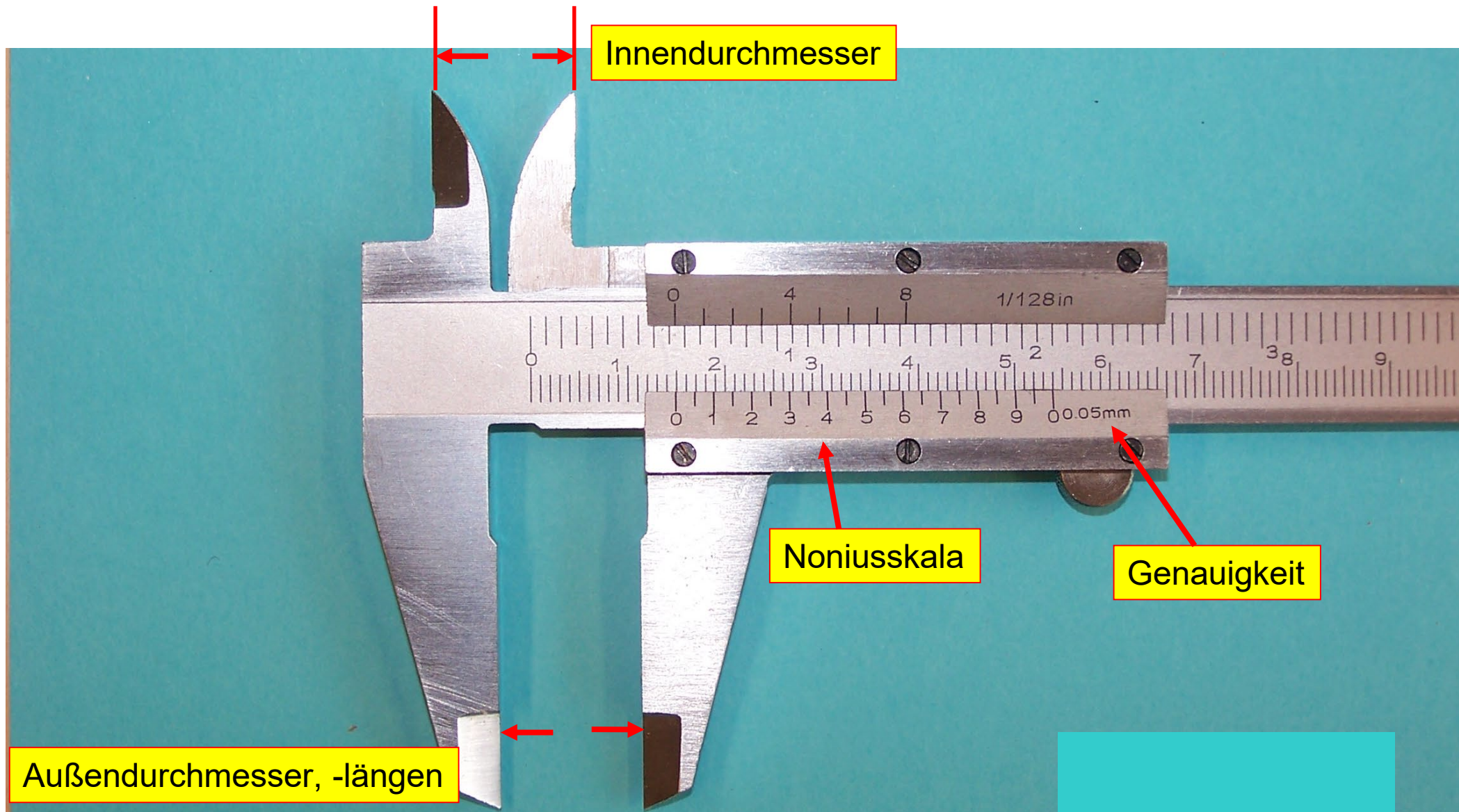


Messunsicherheiten:

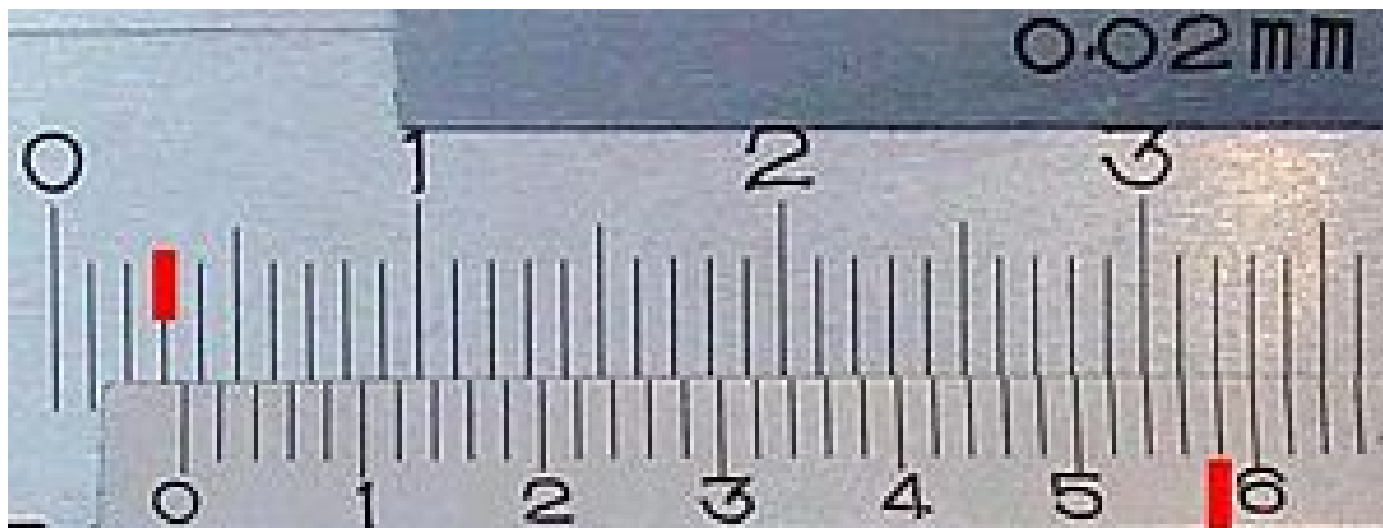
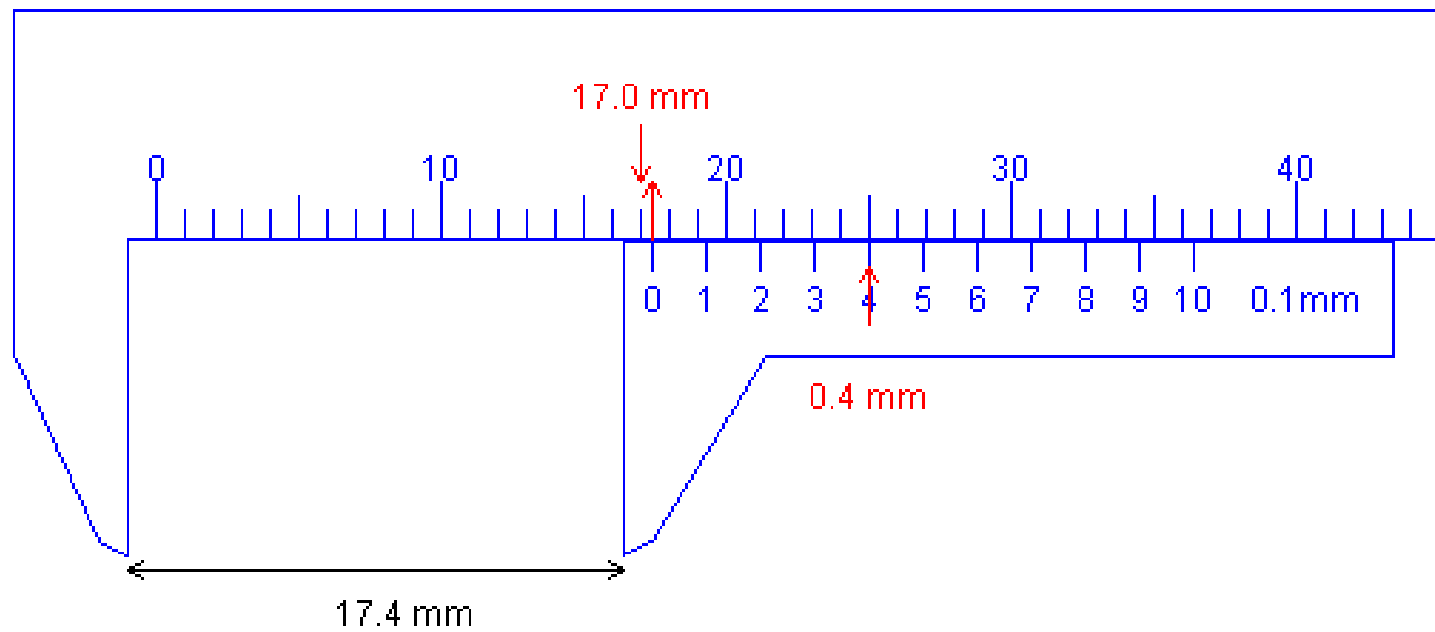
- Ableseunsicherheit: kleinste Skaleneinheit (z.B. 1 mm),  
Gleichverteilung  $1 \text{ mm} / \sqrt{12} = 0.29 \text{ mm}$
- Kalibrierunsicherheit: Toleranz von  $\pm 0.7 \text{ mm}$   
Gleichverteilung  $0.7 \text{ mm} / \sqrt{3} = 0,40 \text{ mm}$
- Mehrfachmessungen



# Längenmessungen mit Messschieber

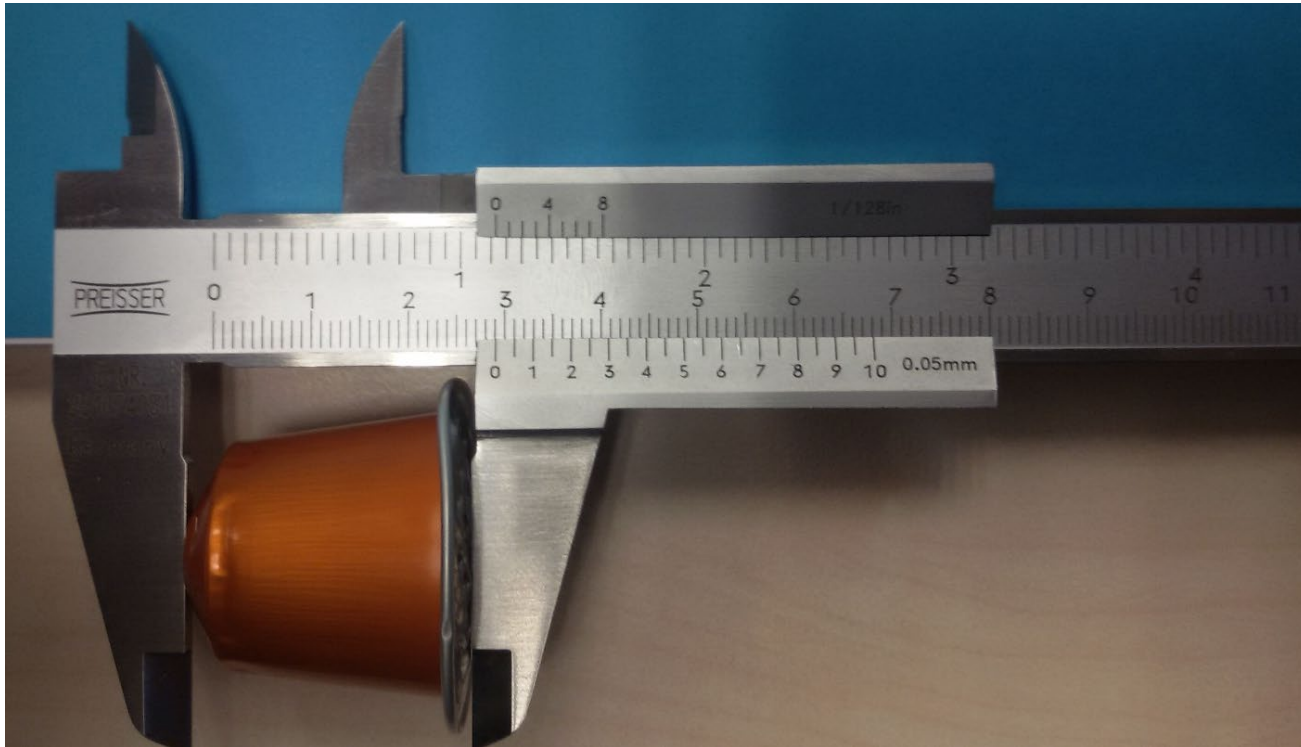


# Längenmessungen mit Messschieber

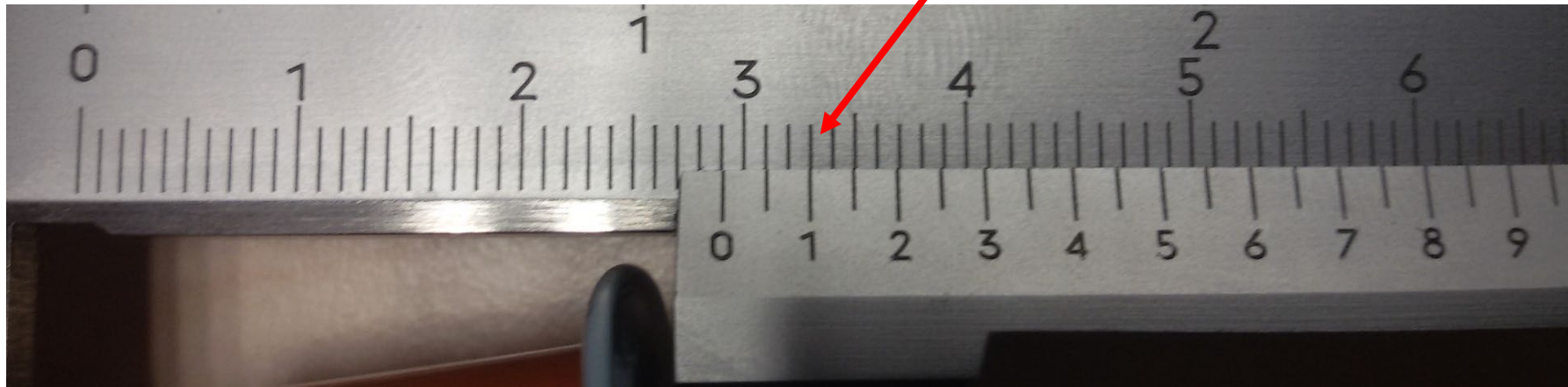


3,58 mm

# Längenmessungen mit Messschieber

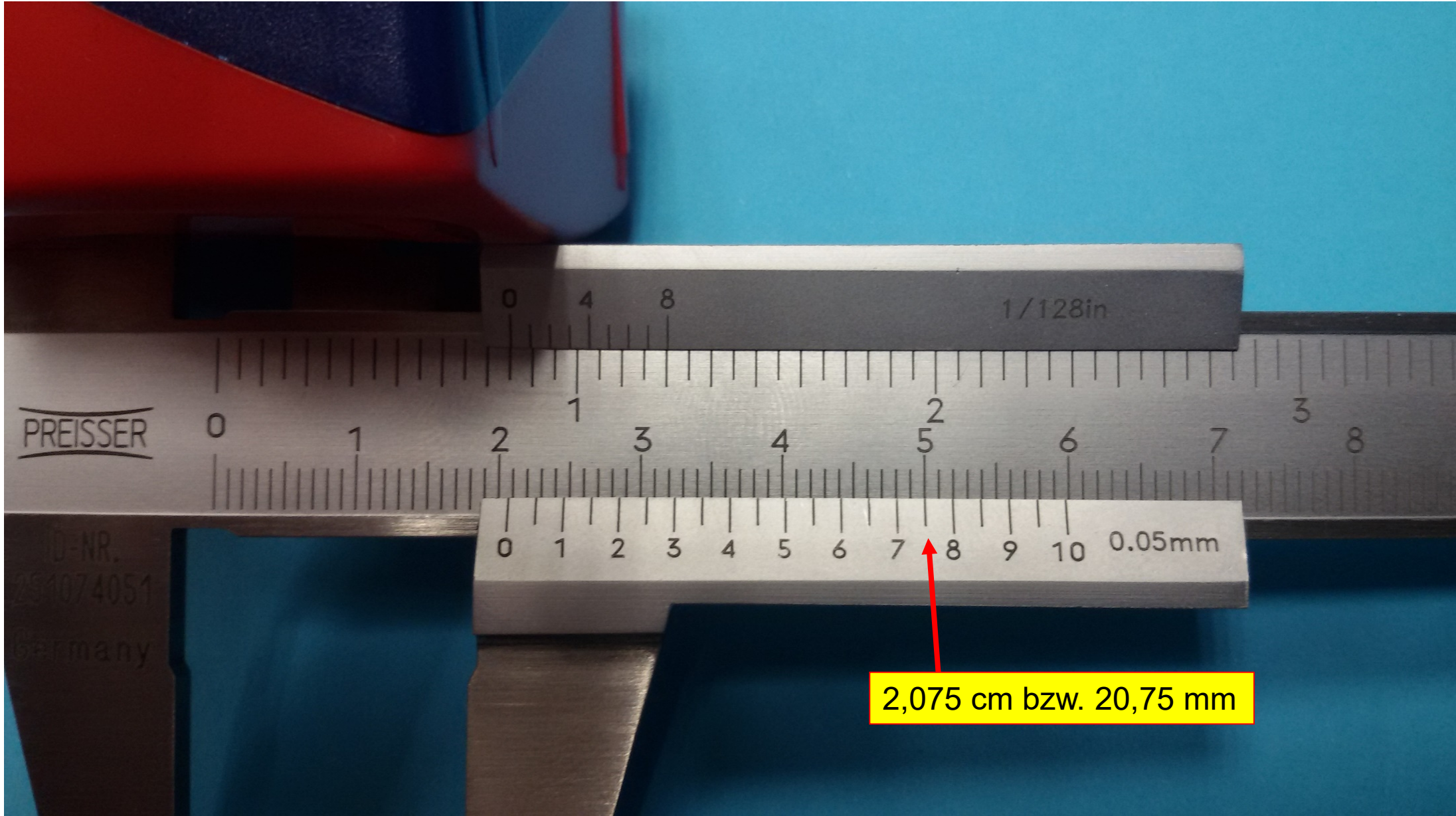


29,05 mm



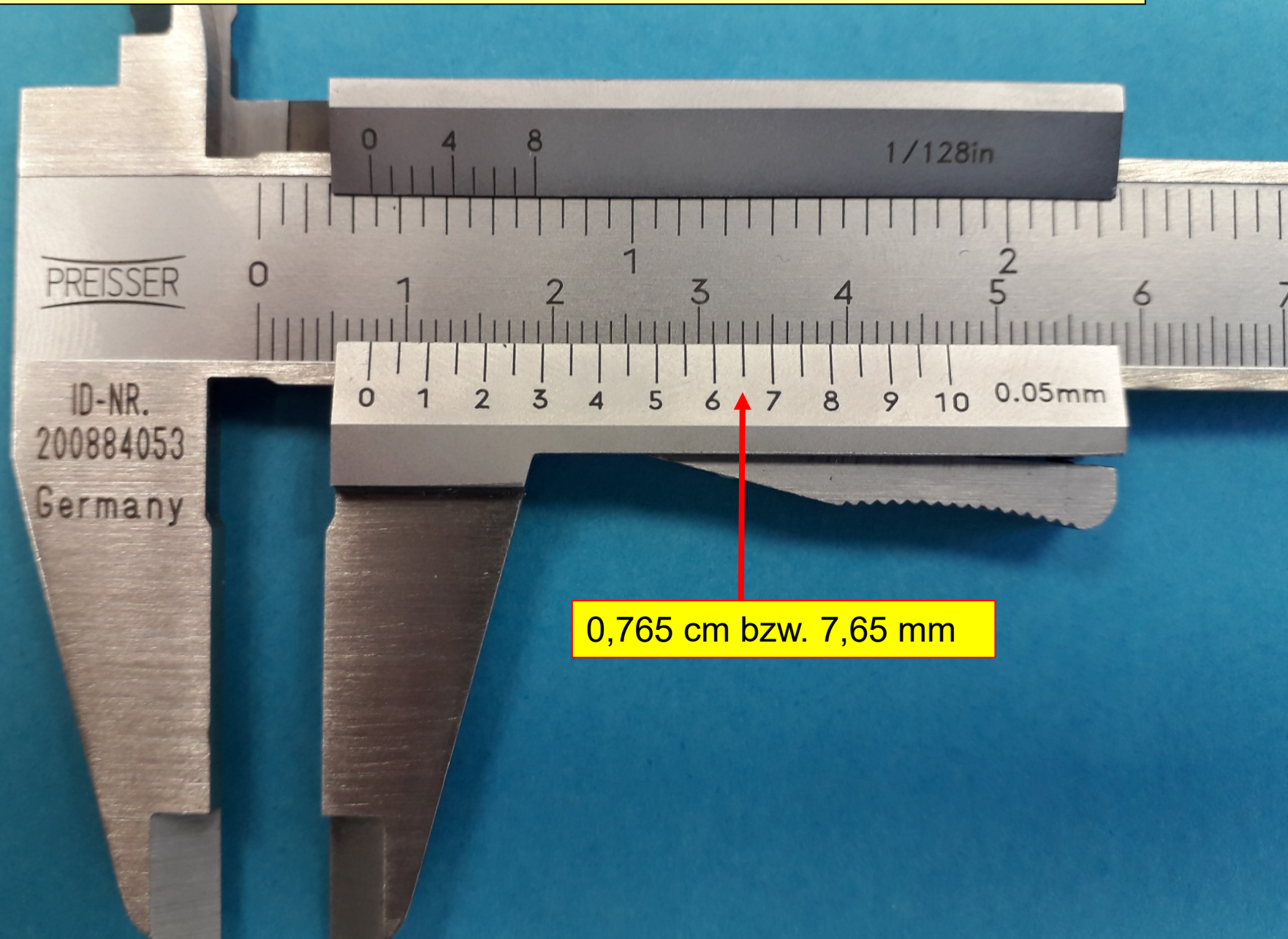


# Längenmessungen mit Messschieber



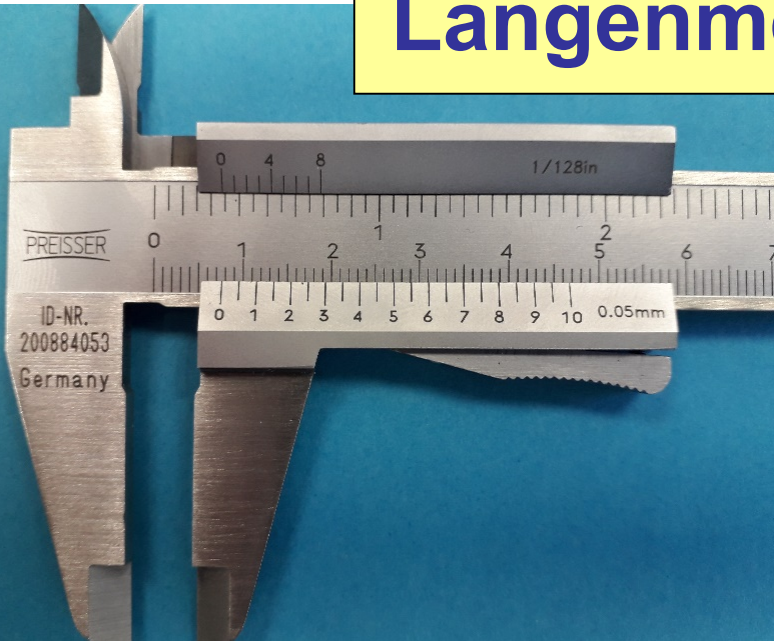


# Längenmessungen mit Messschieber

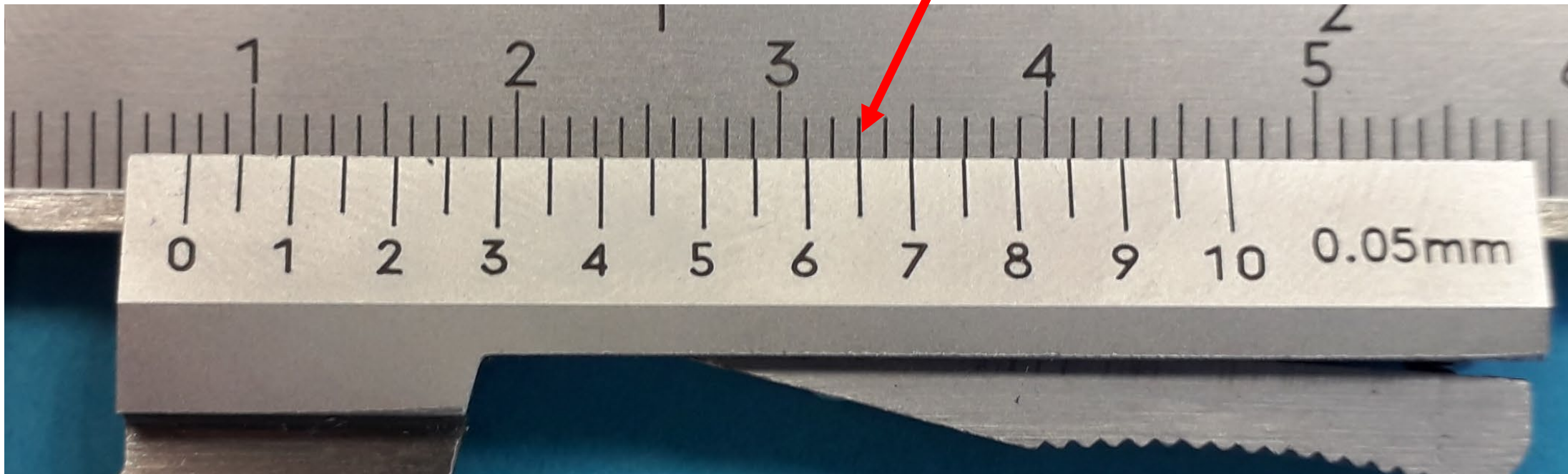


0,765 cm bzw. 7,65 mm

# Längenmessungen mit Messschieber

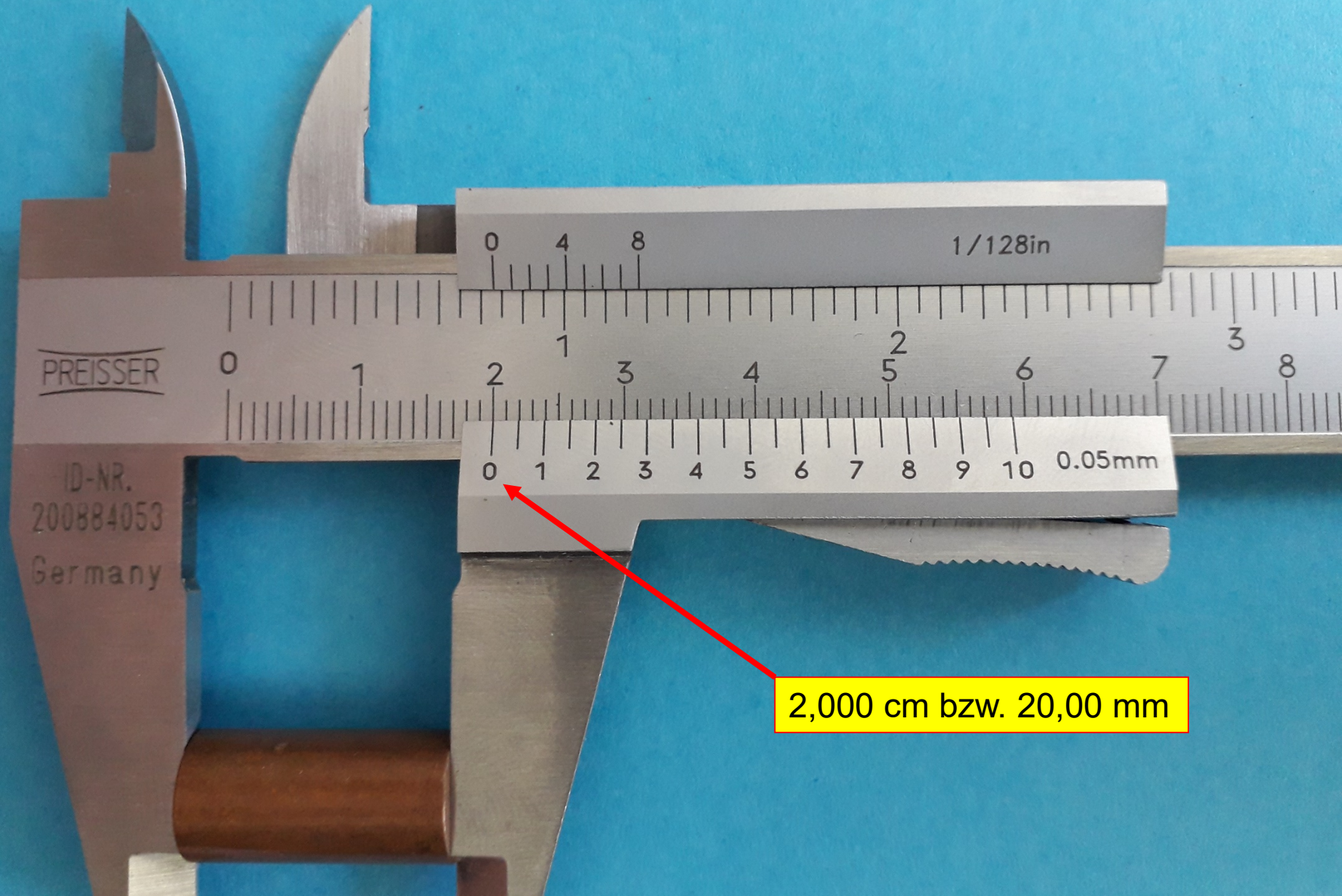


0,765 cm bzw. 7,65 mm





# Längenmessungen mit Messschieber

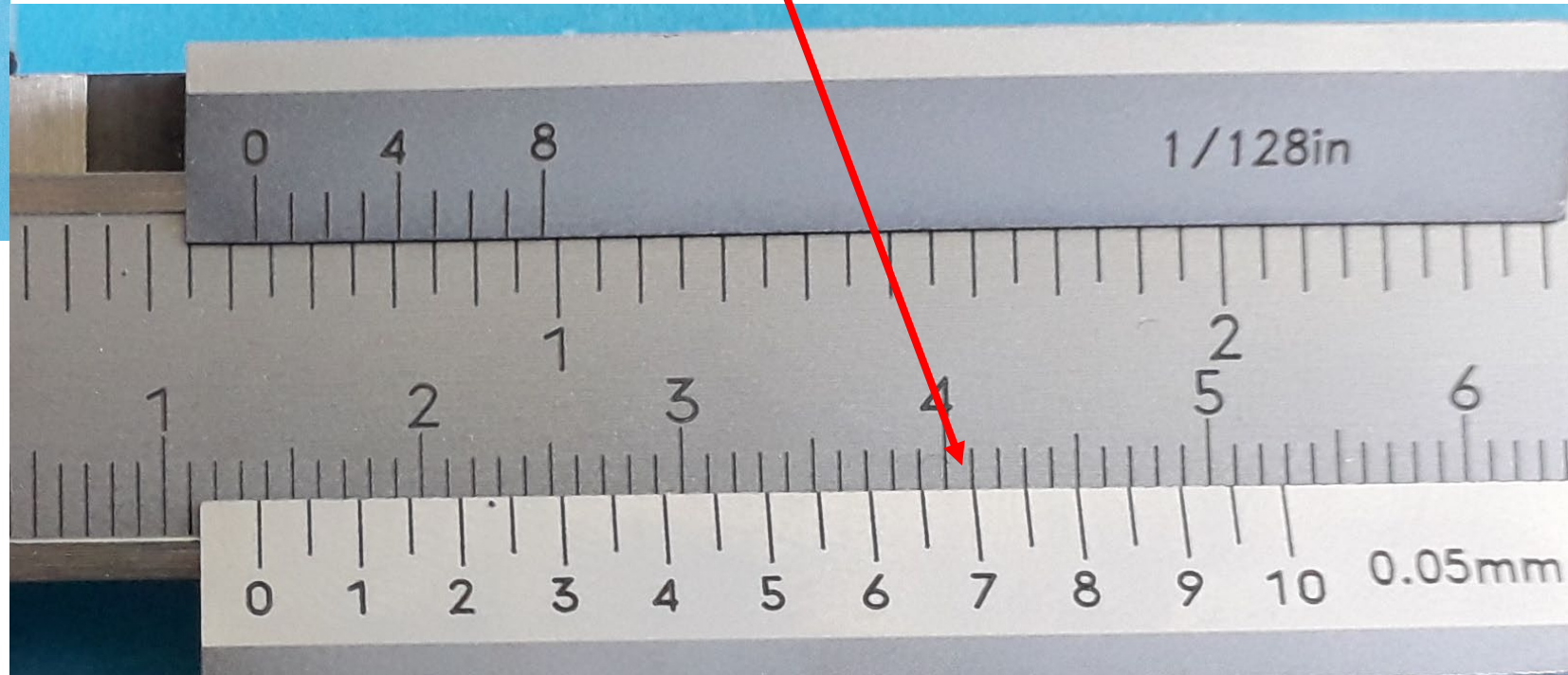




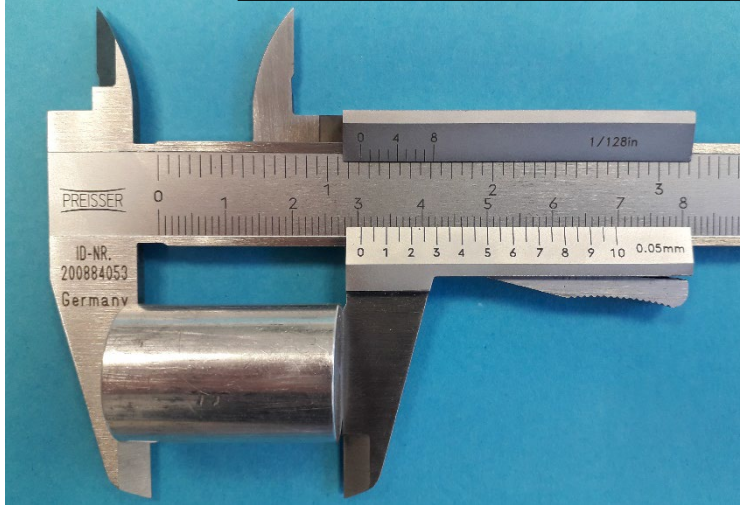
# Längenmessungen mit Messschieber



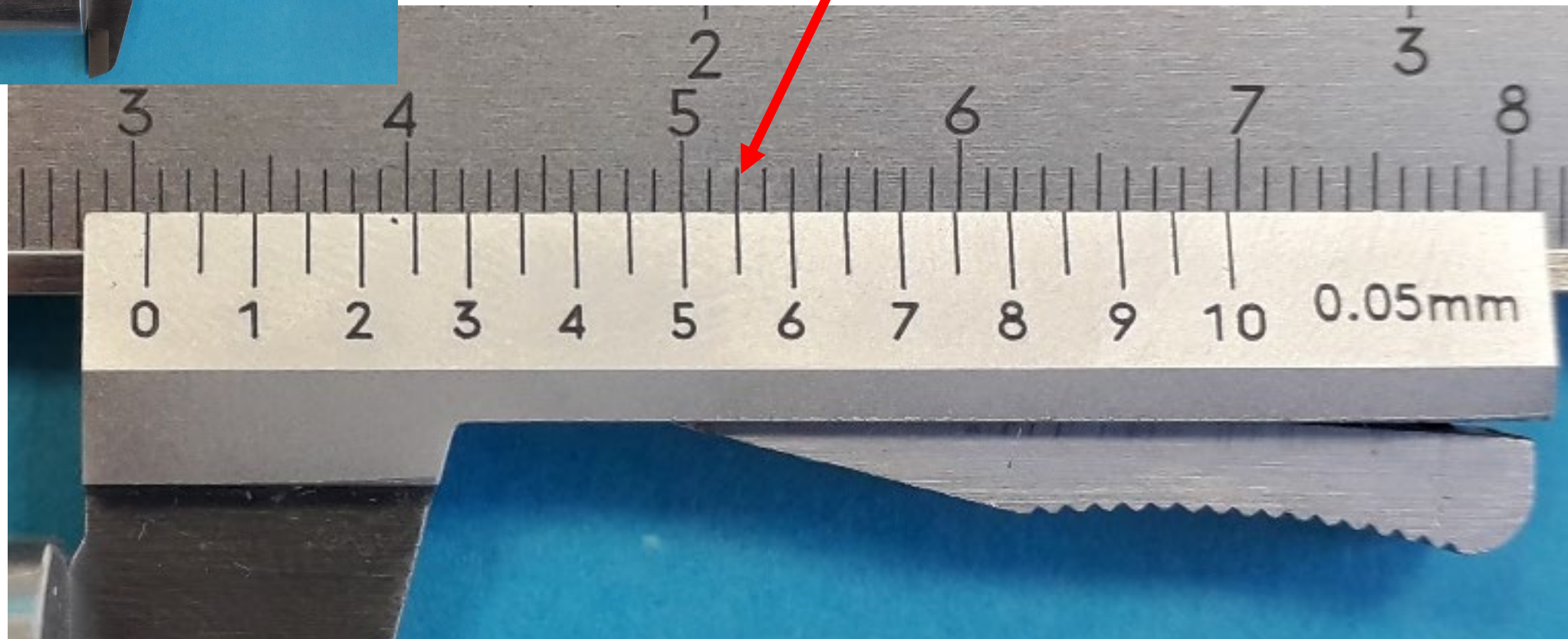
1,37 cm bzw. 13,70 mm



# Längenmessungen mit Messschieber

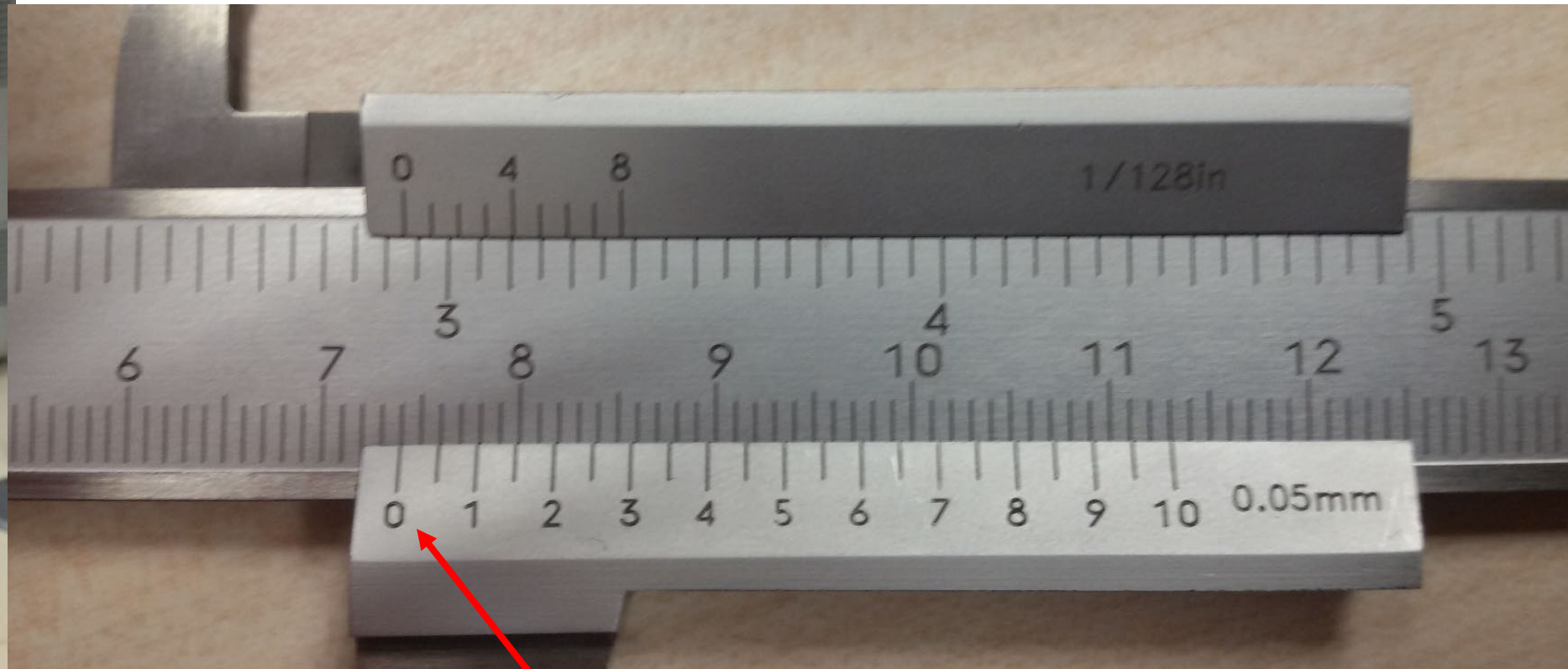


3,055 cm bzw. 30,55 mm



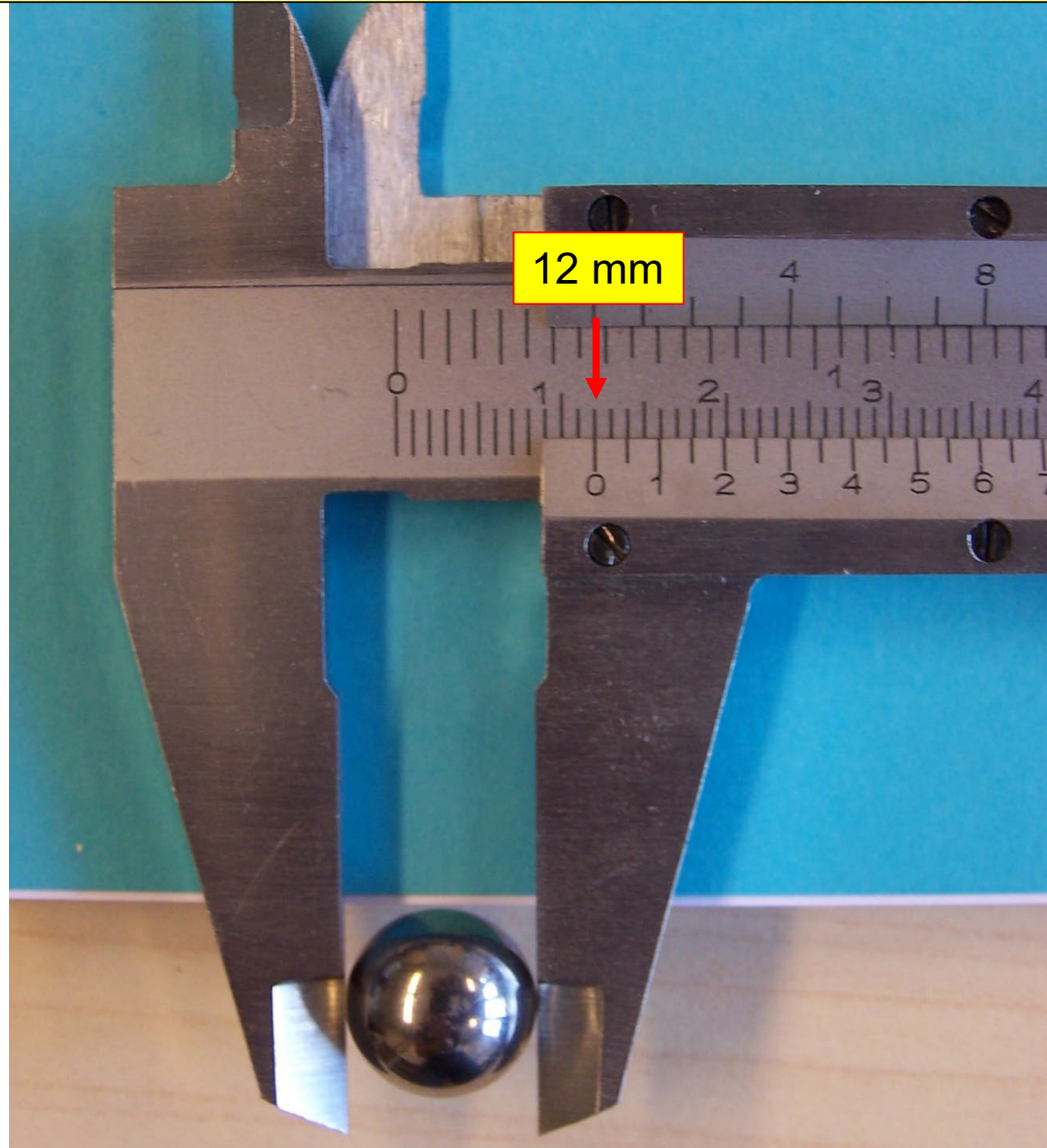


# Längenmessungen mit Messschieber



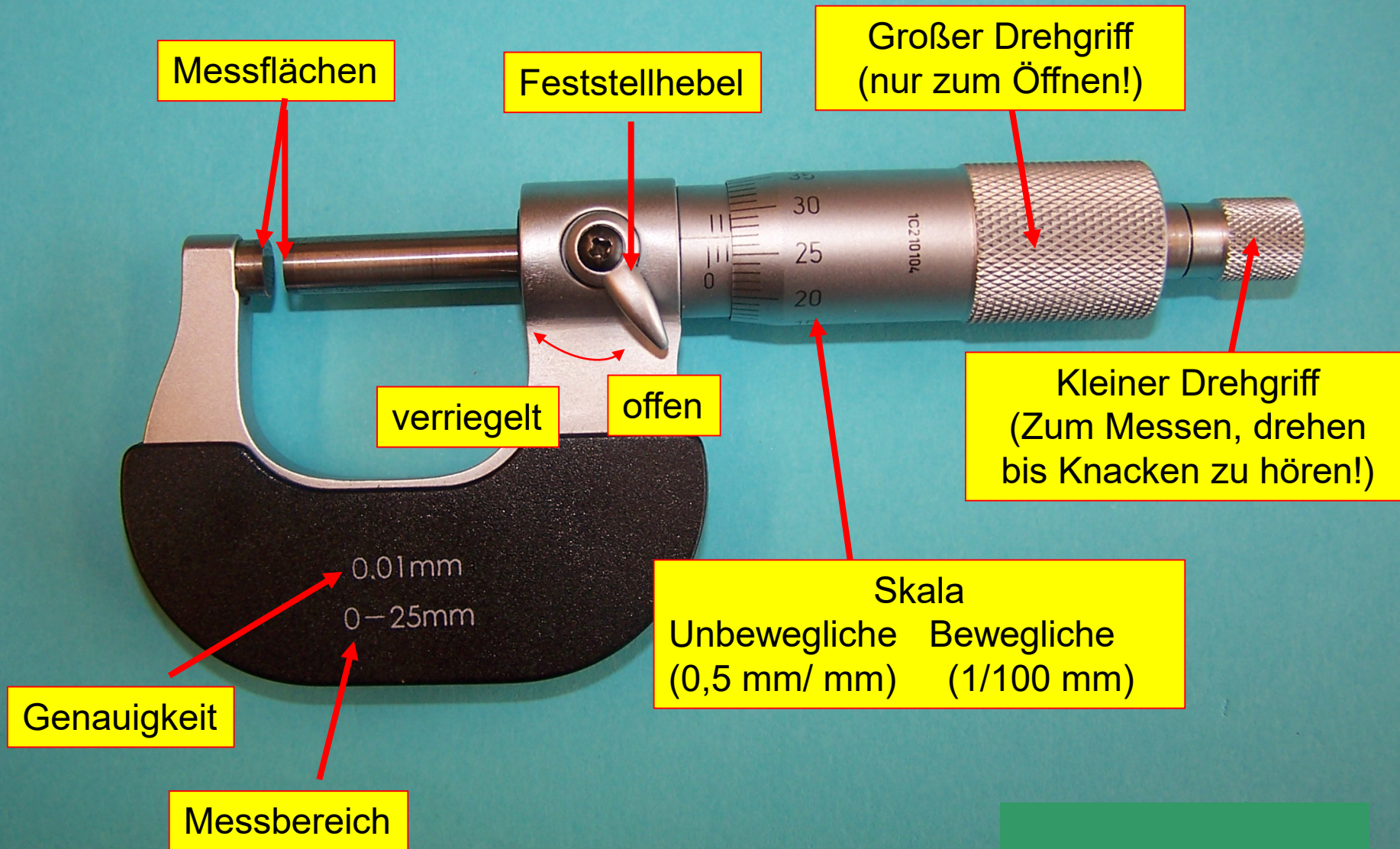
7,40 cm bzw. 74,00 mm

# Längenmessungen mit Messschieber



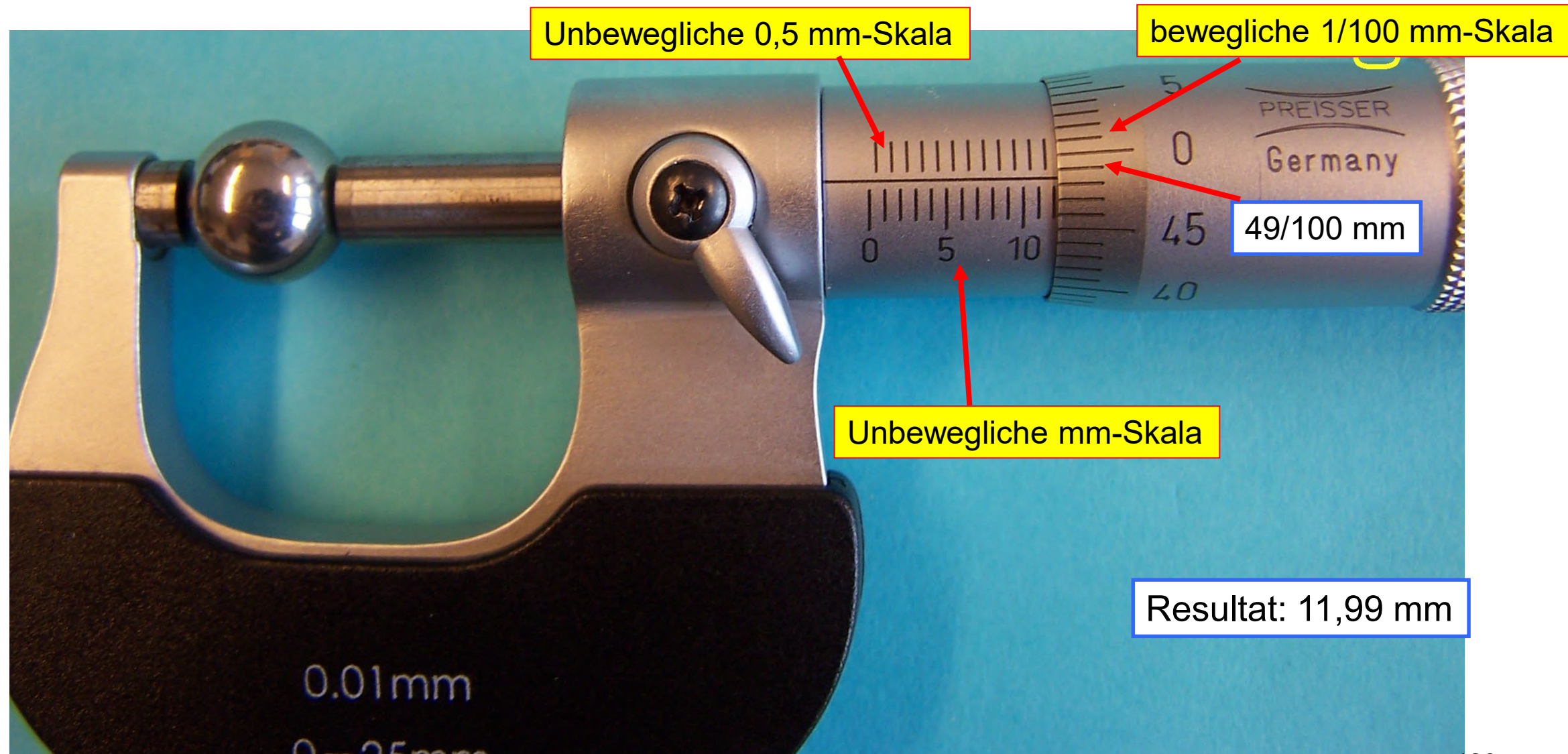


# Längenmessungen mit Mikrometerschraube



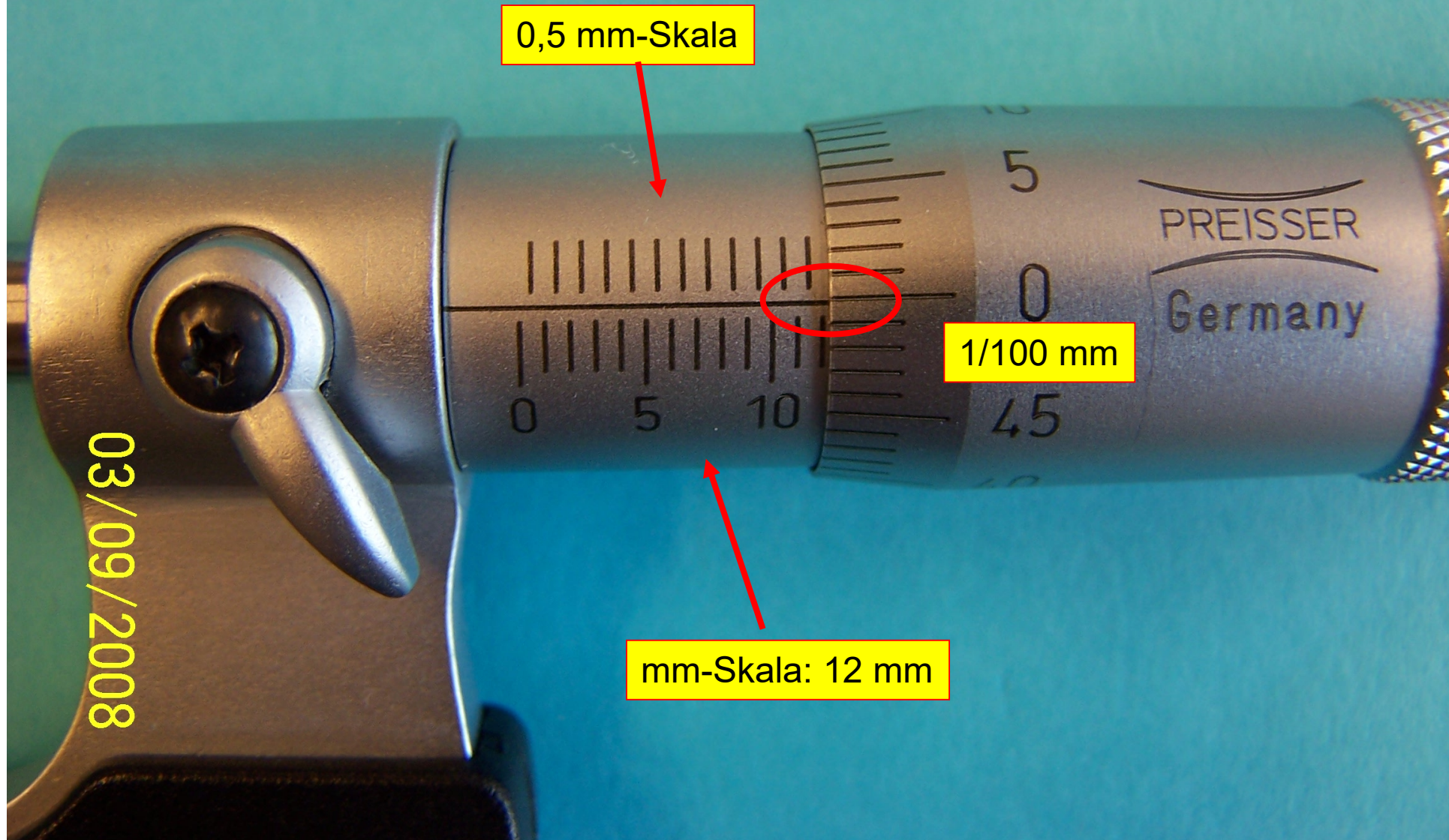


# Längenmessungen mit Mikrometerschraube



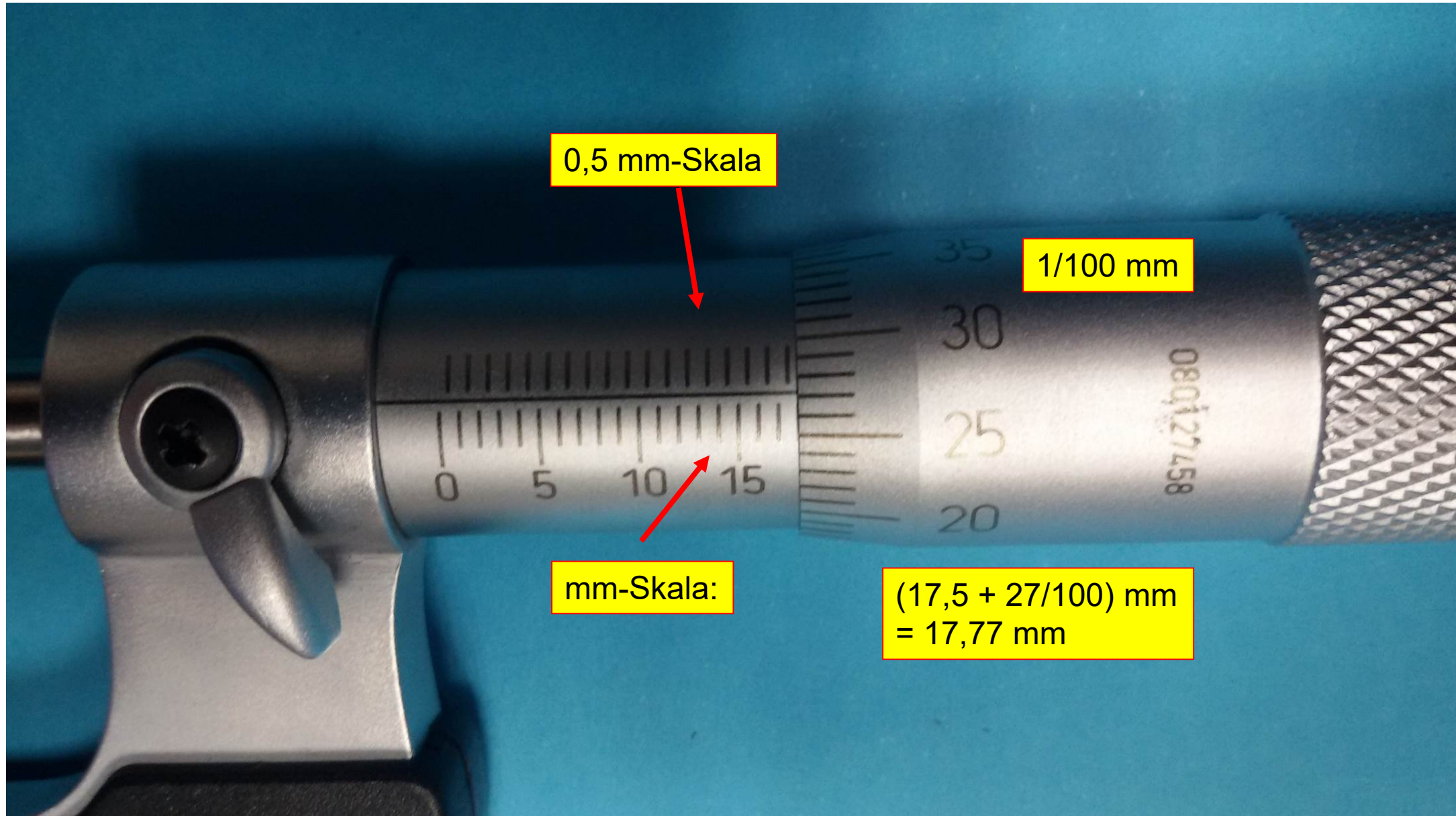


# Längenmessungen mit Mikrometerschraube



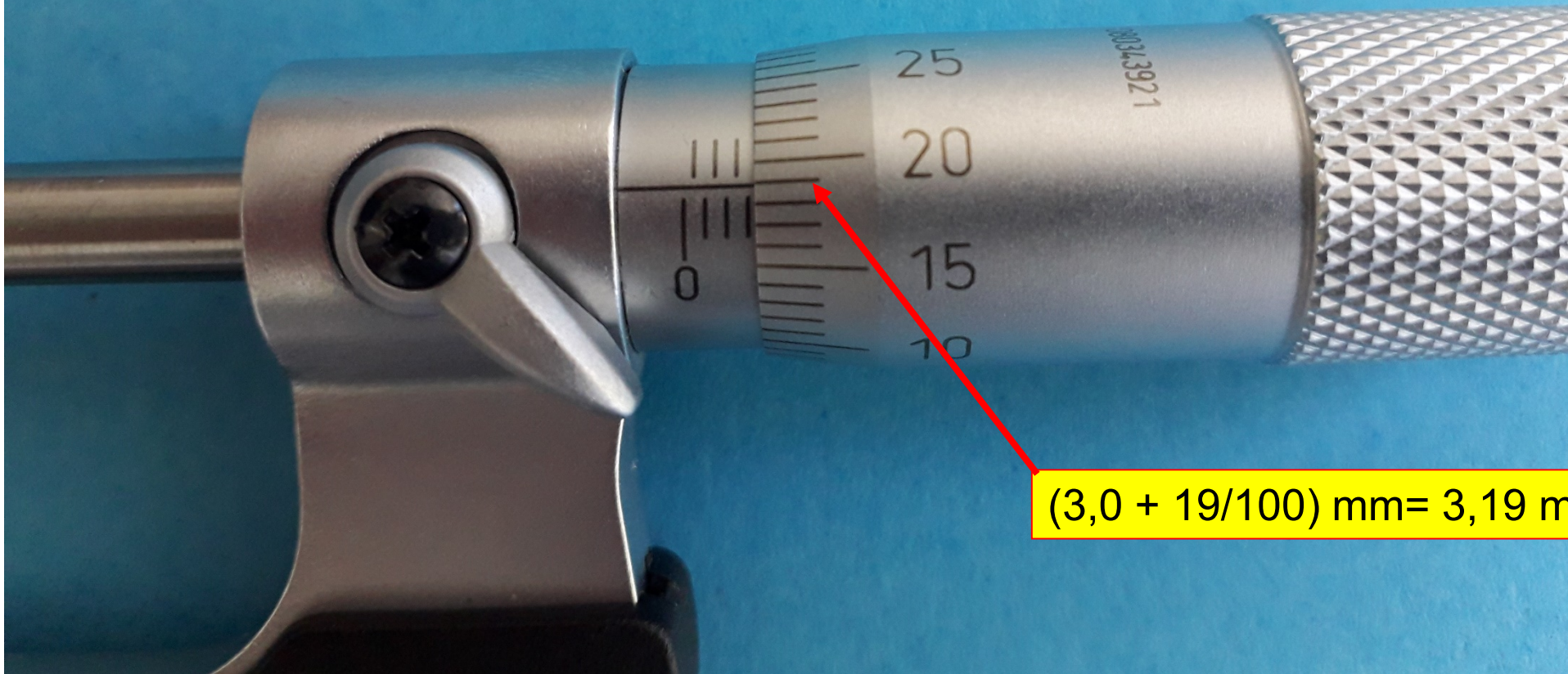


# Längenmessungen mit Mikrometerschraube





# Längenmessungen mit Mikrometerschraube



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



# Längenmessungen mit Mikrometerschraube



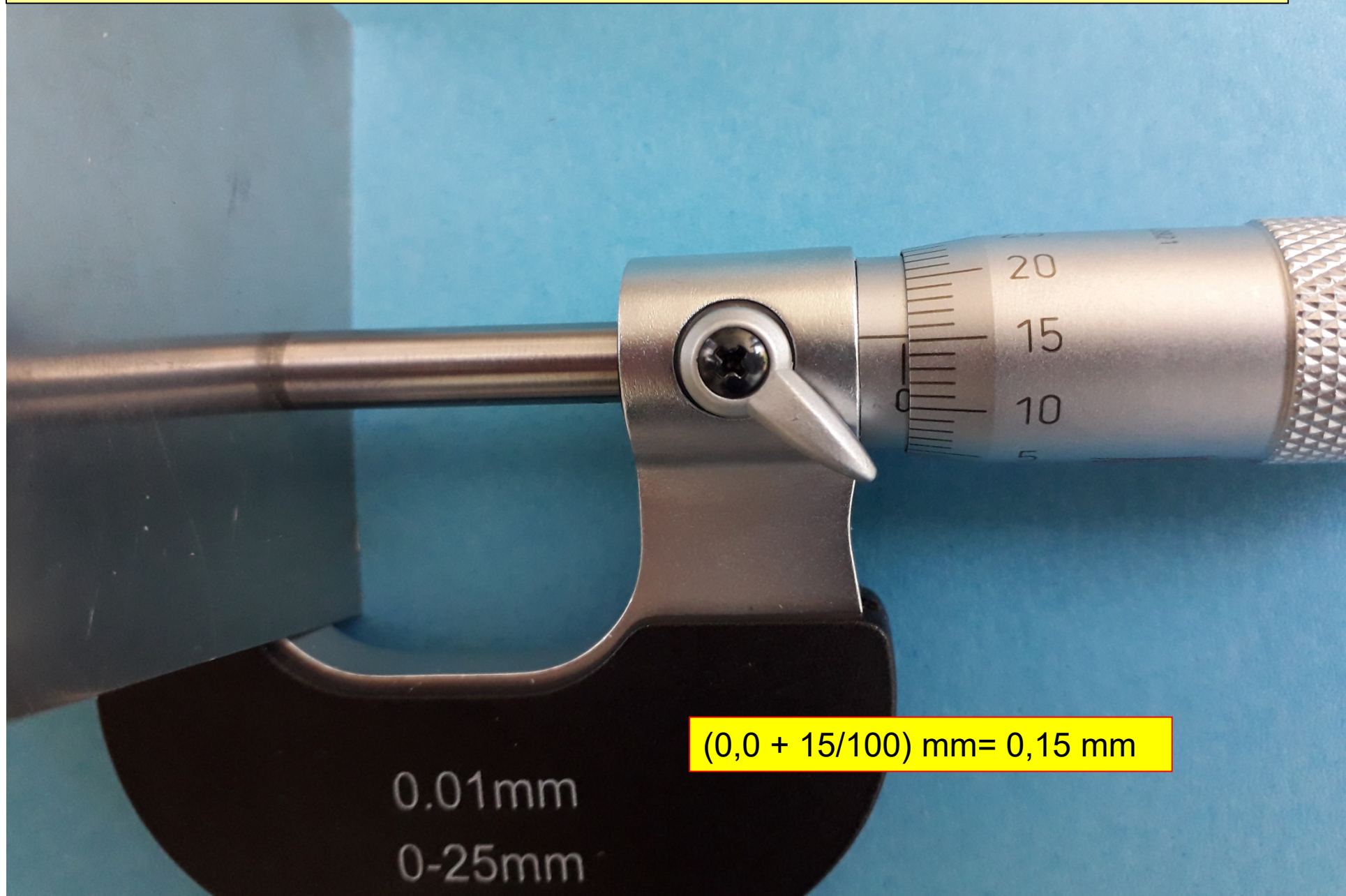


# Längenmessungen mit Mikrometerschraube





# Längenmessungen mit Mikrometerschraube

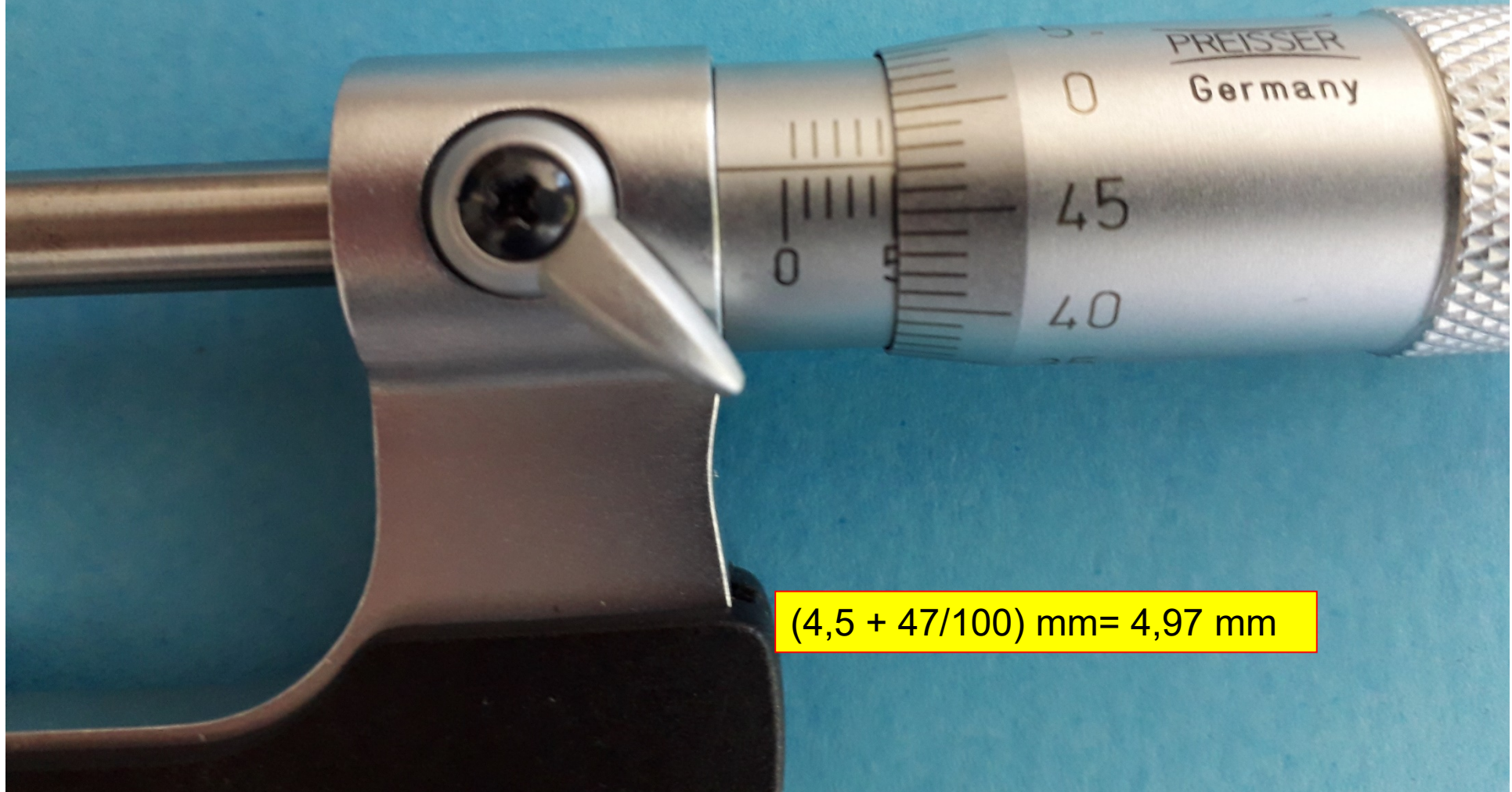


$$(0,0 + 15/100) \text{ mm} = 0,15 \text{ mm}$$

0.01mm  
0-25mm



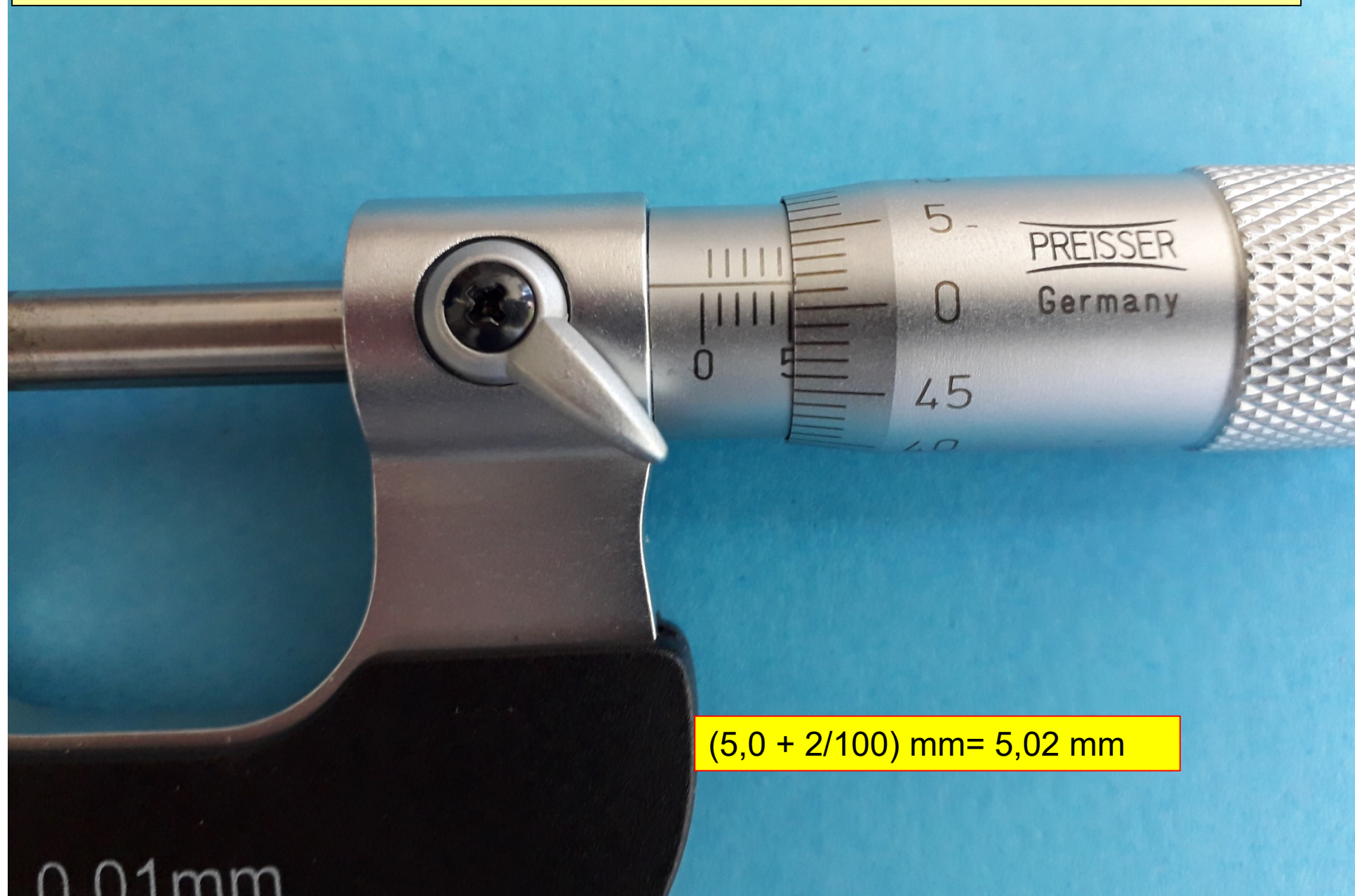
# Längenmessungen mit Mikrometerschraube



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



# Längenmessungen mit Mikrometerschraube

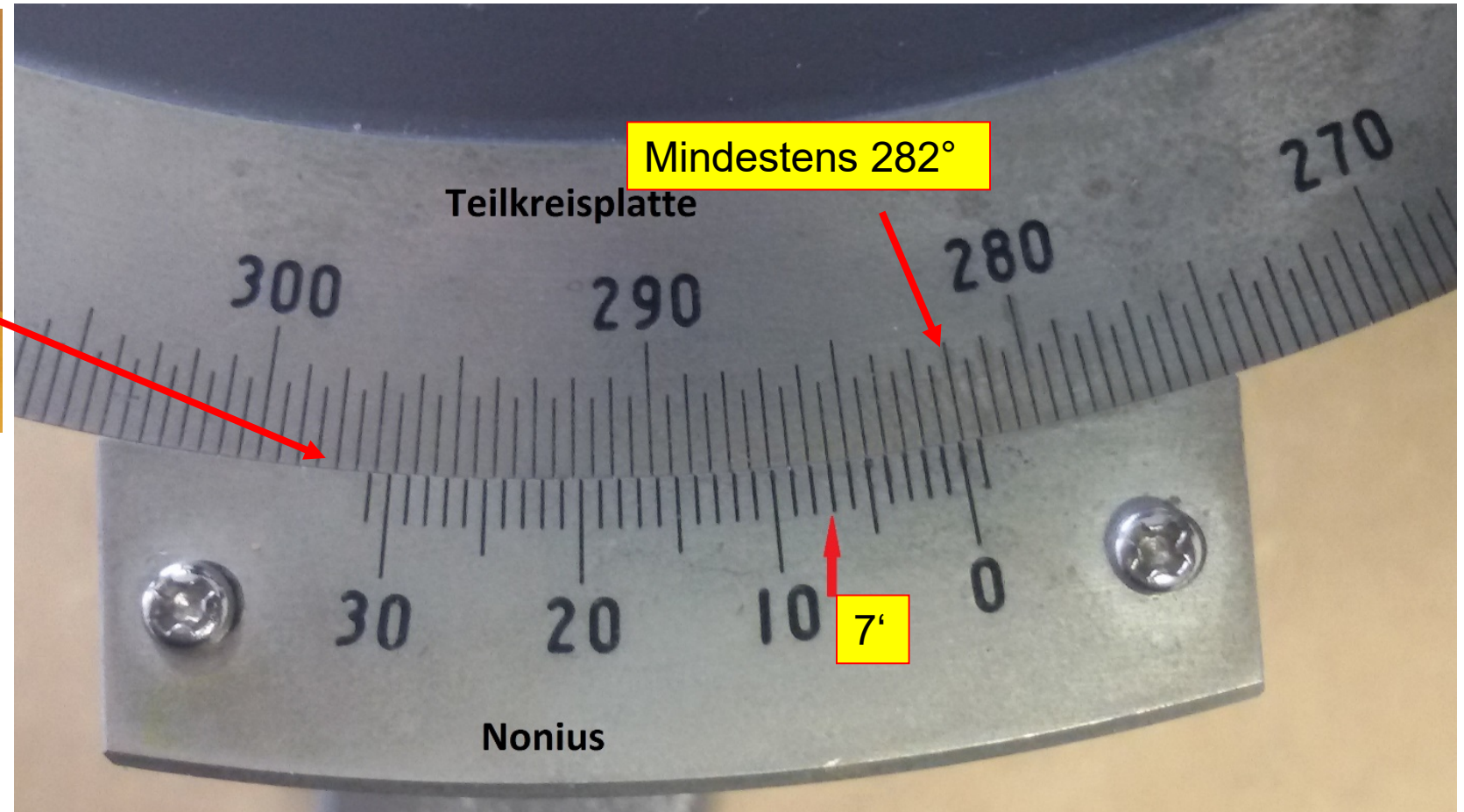


$$(5,0 + 2/100) \text{ mm} = 5,02 \text{ mm}$$

0.01mm



# Winkelmessungen mit Nonius

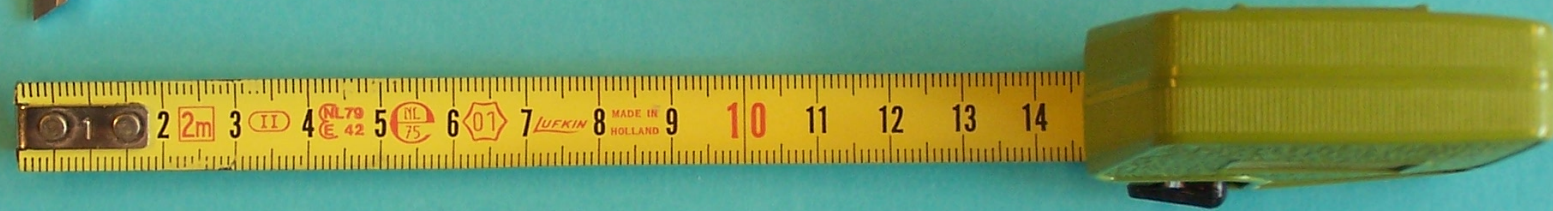
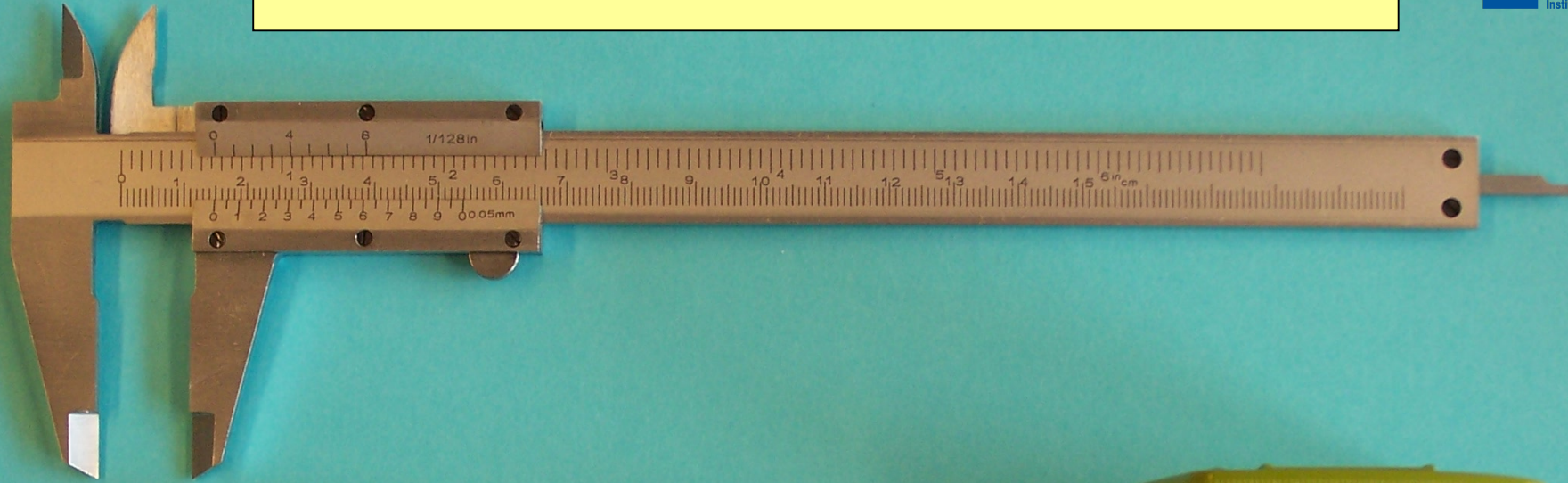


Ergebnis:  $282^{\circ} 7'$

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



# Längenmessungen:





**Viel Erfolg !**