

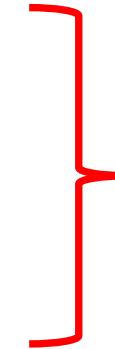
Messinstrumente im physikalischen Grundpraktikum

Dr. Th. Kirn

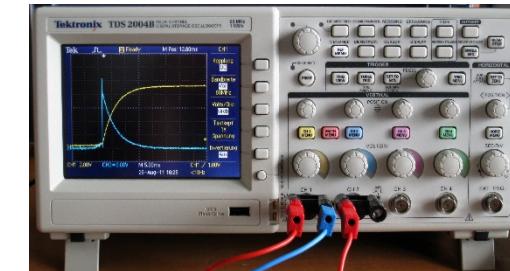
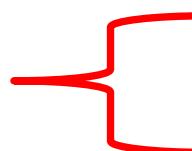


Messinstrumente im physikalischen Grundpraktikum

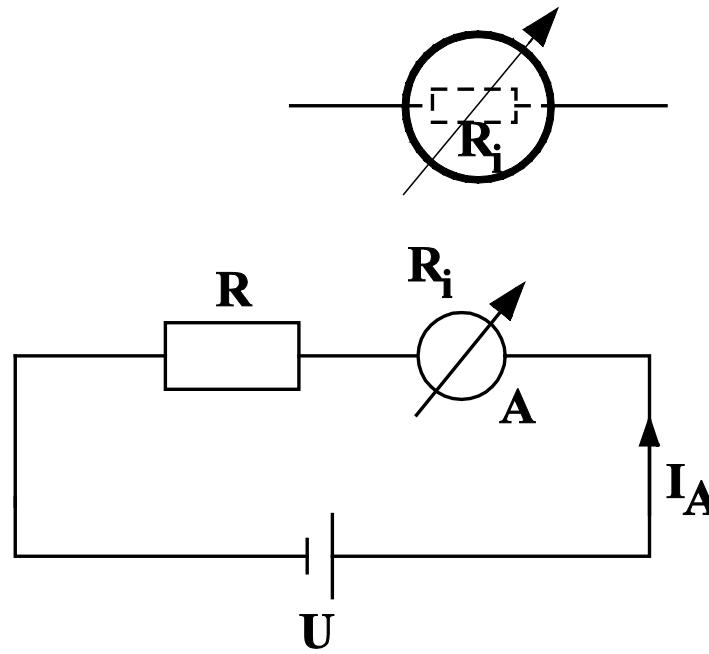
- Strommessung
 - ↳ Sensor Cassy
- Spannungsmessung
 - ↳ Sensor Cassy
- Power Cassy
- Hallsonde
- Thermoelement



- Oszilloskop
- Längenmessung
 - ↳ Maßband
 - ↳ Messschieber
 - ↳ Bügelmessschraube



Prinzip Strommessung

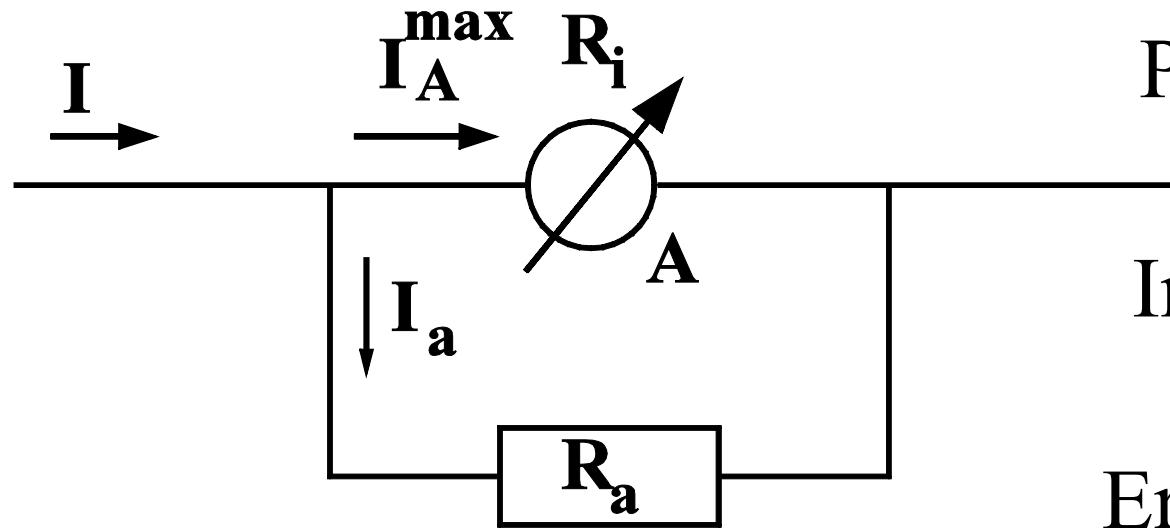


Messvorgang darf zu messenden Strom nicht beeinflussen!

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 $R_i \leq 1\Omega$



Parallelschaltung eines Shunt

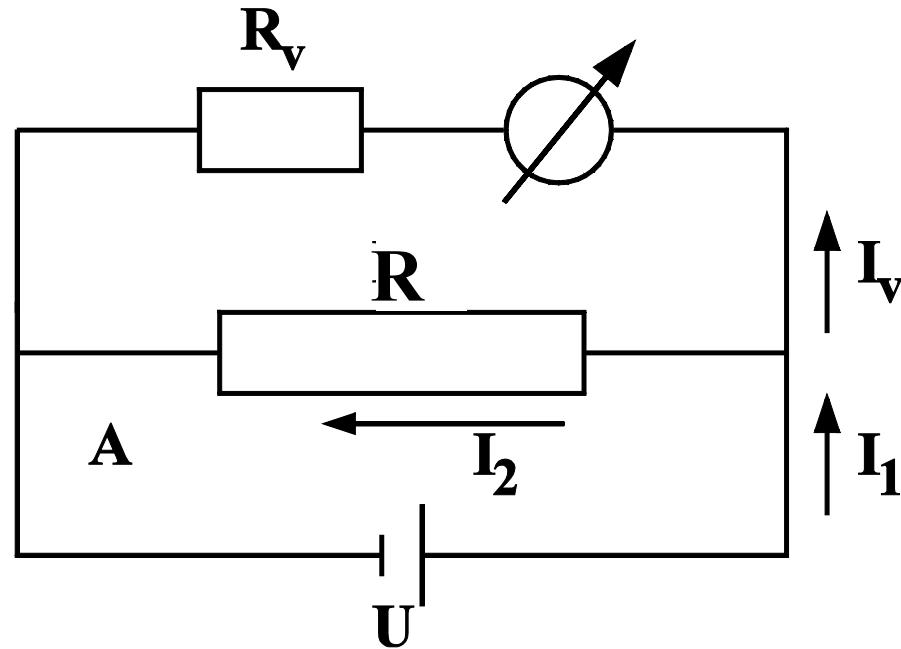
Instrument misst I_A^{\max}

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 $R_a \cdot I_a = R_i \cdot I_A^{\max}$

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

Prinzip Spannungsmessung



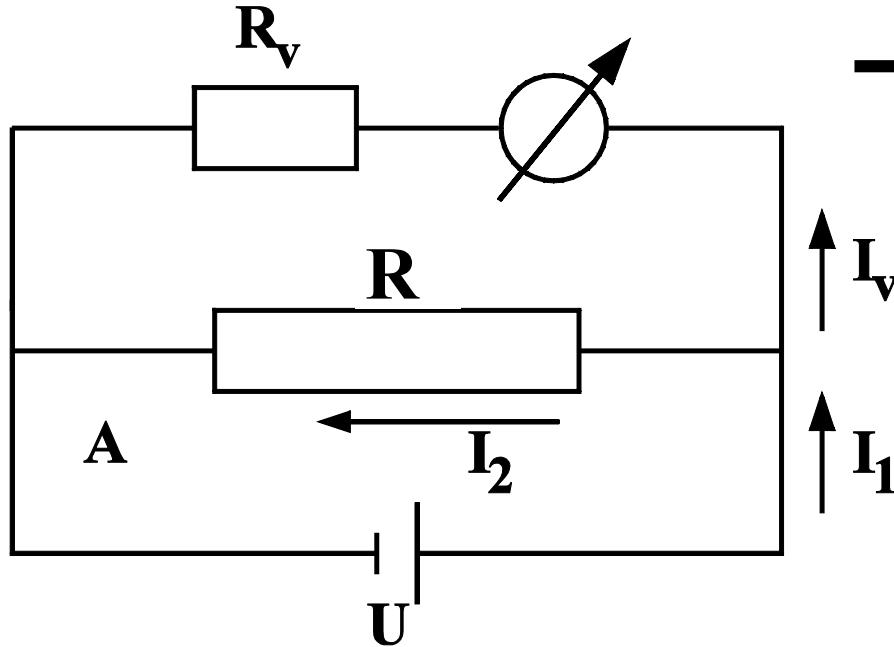
Spannungsmesser sind mittels
Ohmschen Gesetz in Volt geeichte
Amperemeter

Vorschaltung eines Vor-
widerstandes $R_v \gg R$

Durch Instrument fließt Strom I_v

→ angezeigte Spannung $U = I_v \cdot R_v$

Prinzip Spannungsmessung



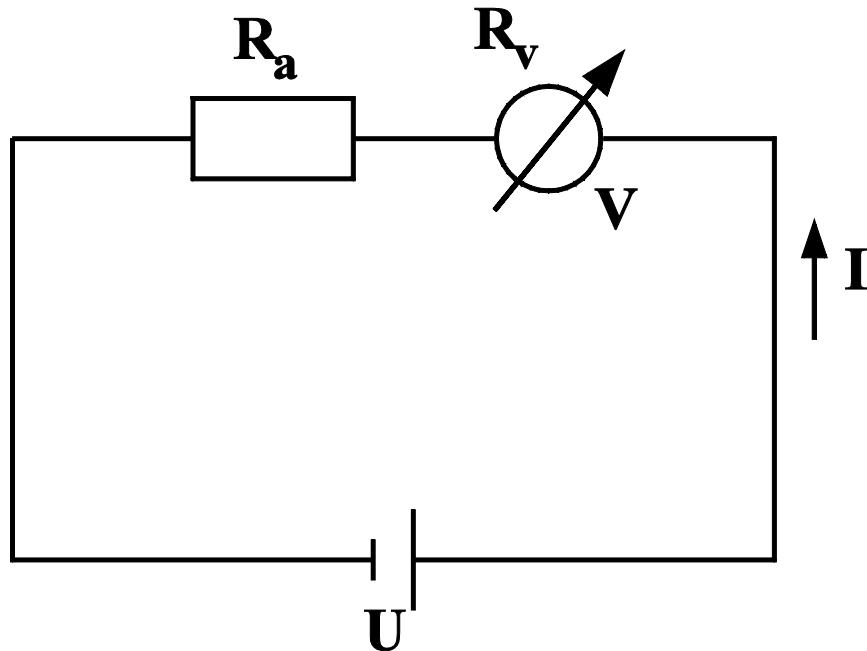
→ Änderung der Stromstärke
im Kreis A
Quelle liefert Strom

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

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?

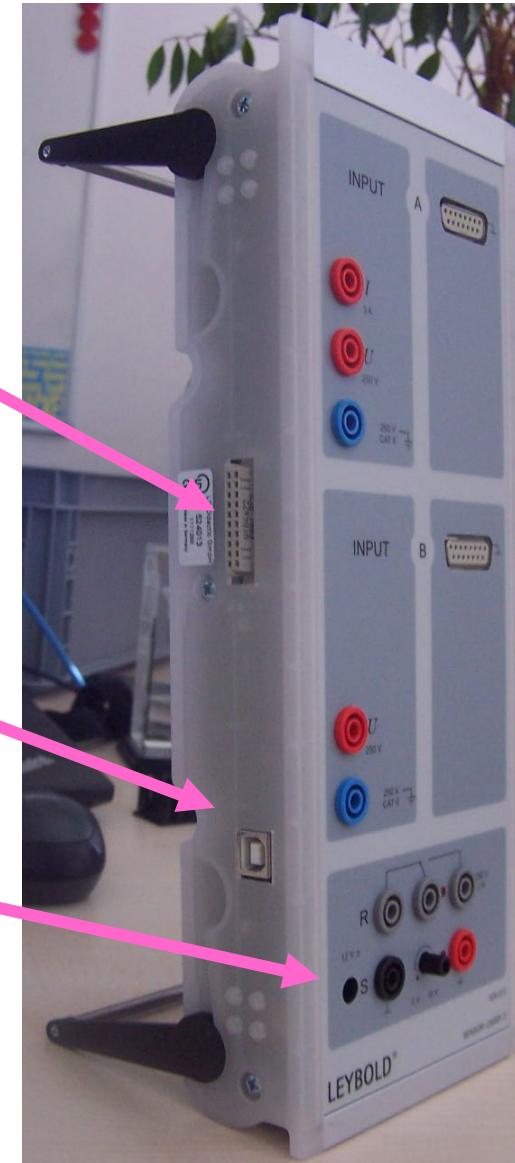


Sensor-Cassy-2 Interface

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

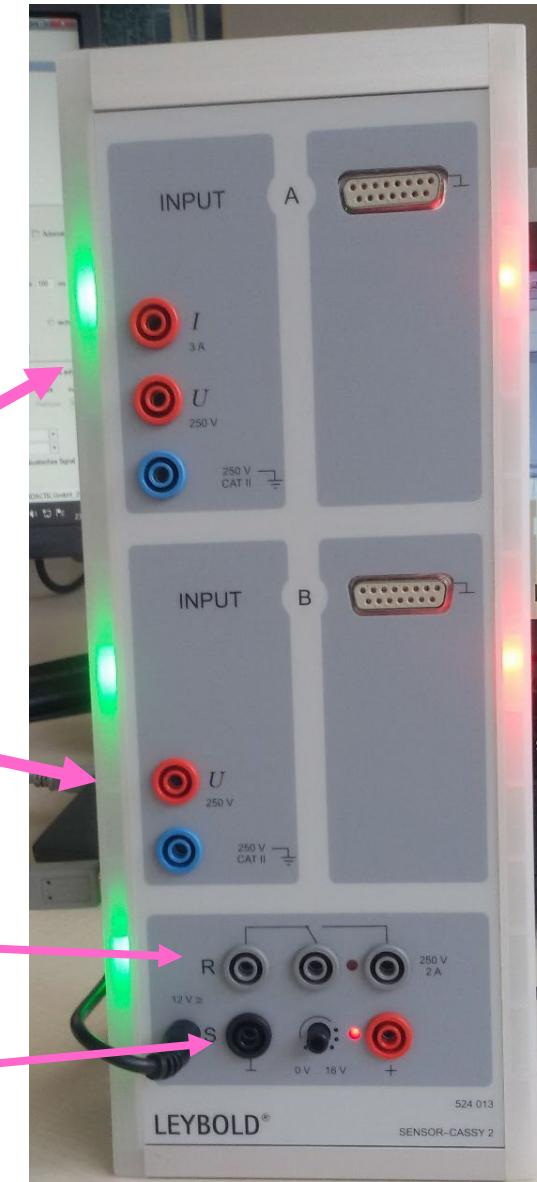
Anschluß an USB-Port
des Computers

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)



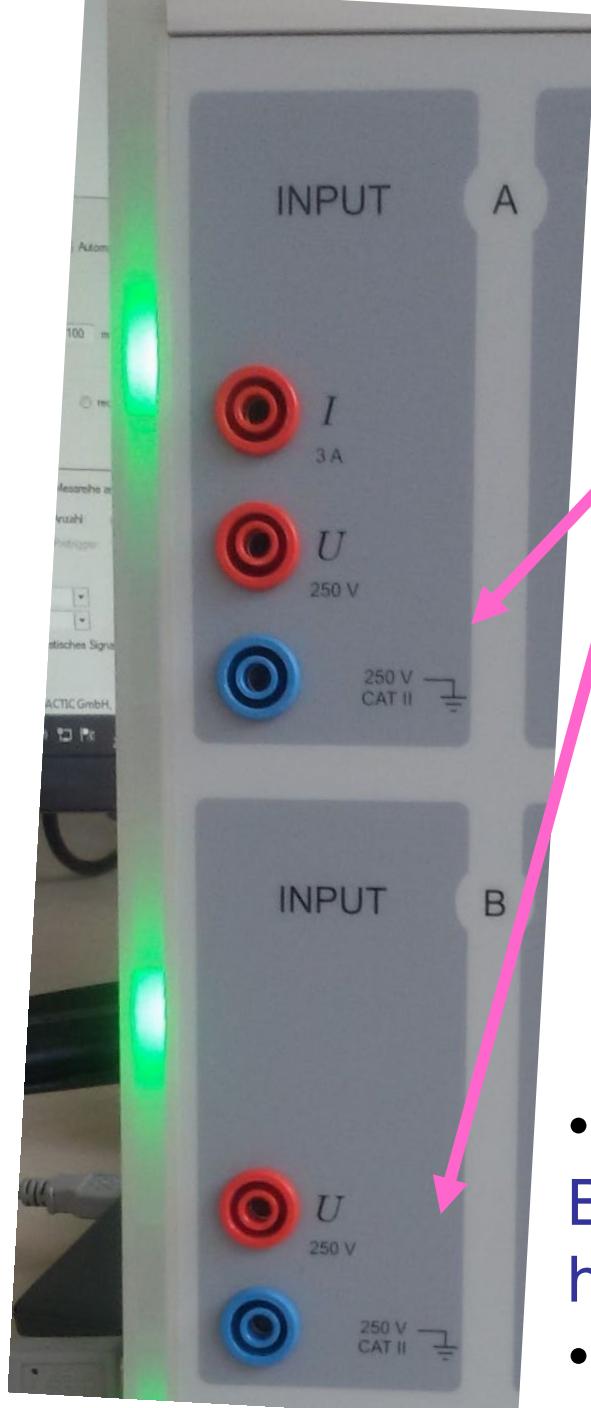
Sensor-Cassy-2 Interface



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

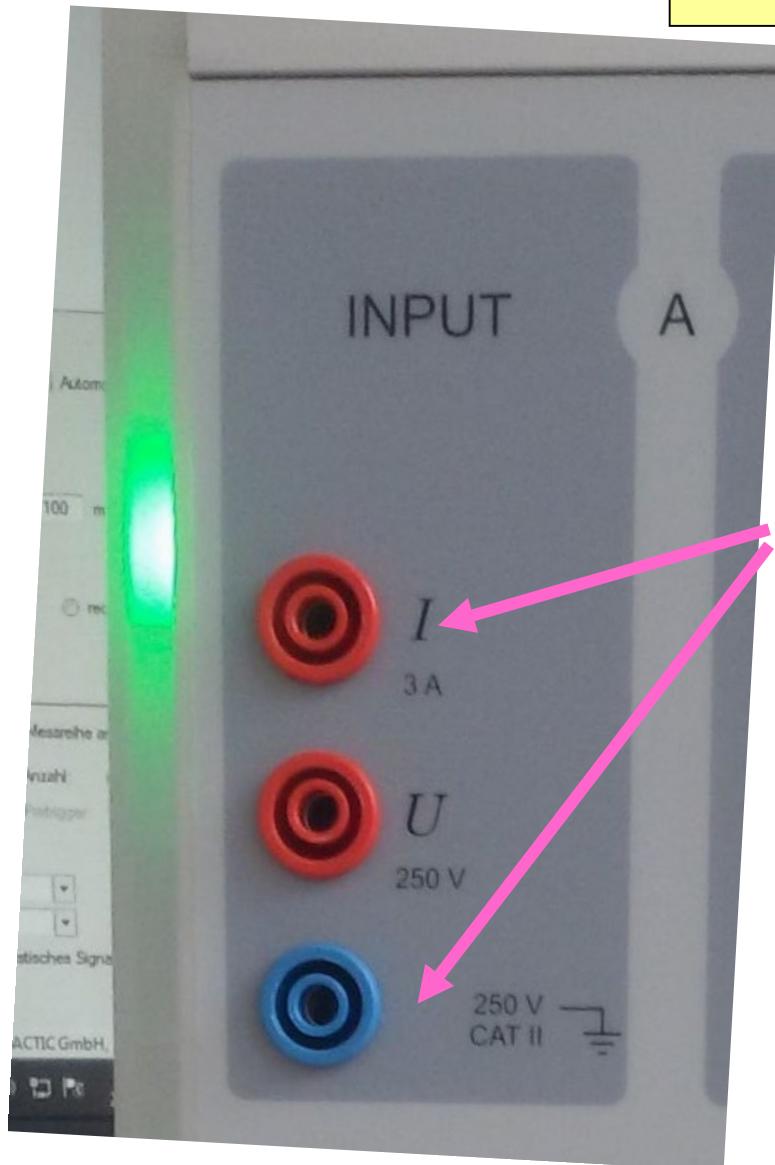


3 analoge Eingänge

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

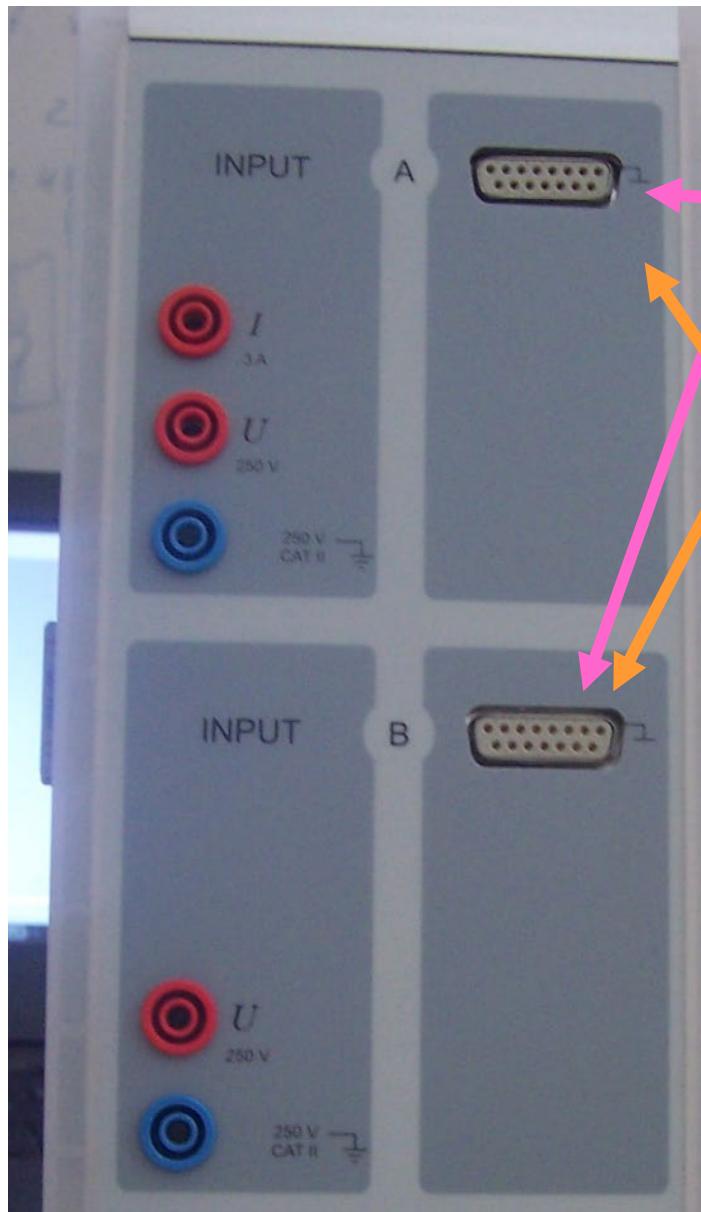


Eingang A:

1 analoger Stromeingang :

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

Sensor-Cassy-2 Interface



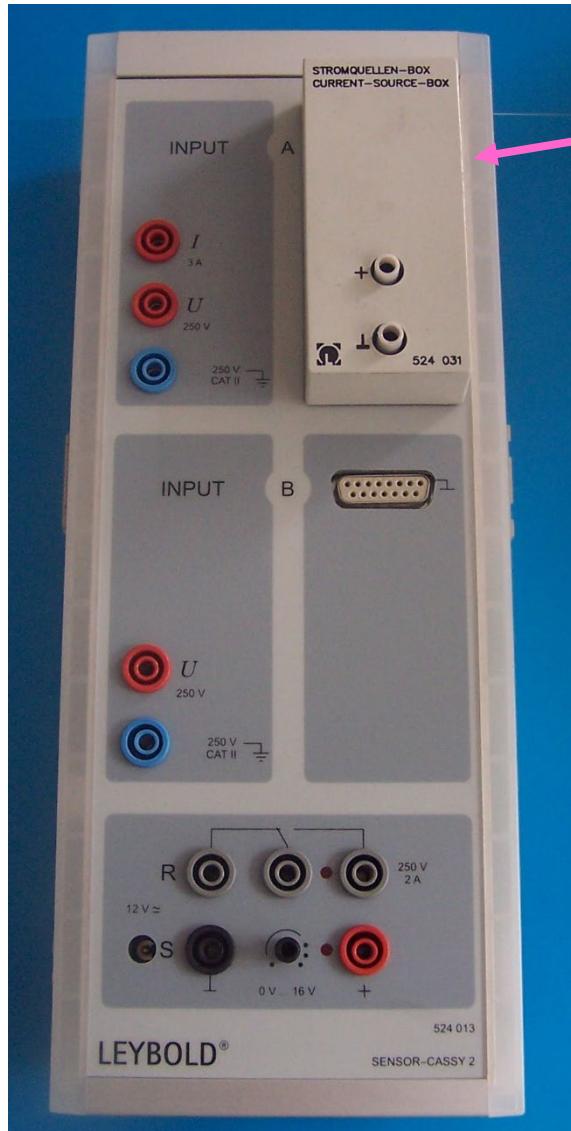
2 analoge Eingänge auf Sensorbox-Steckplätzen A und B

- 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:

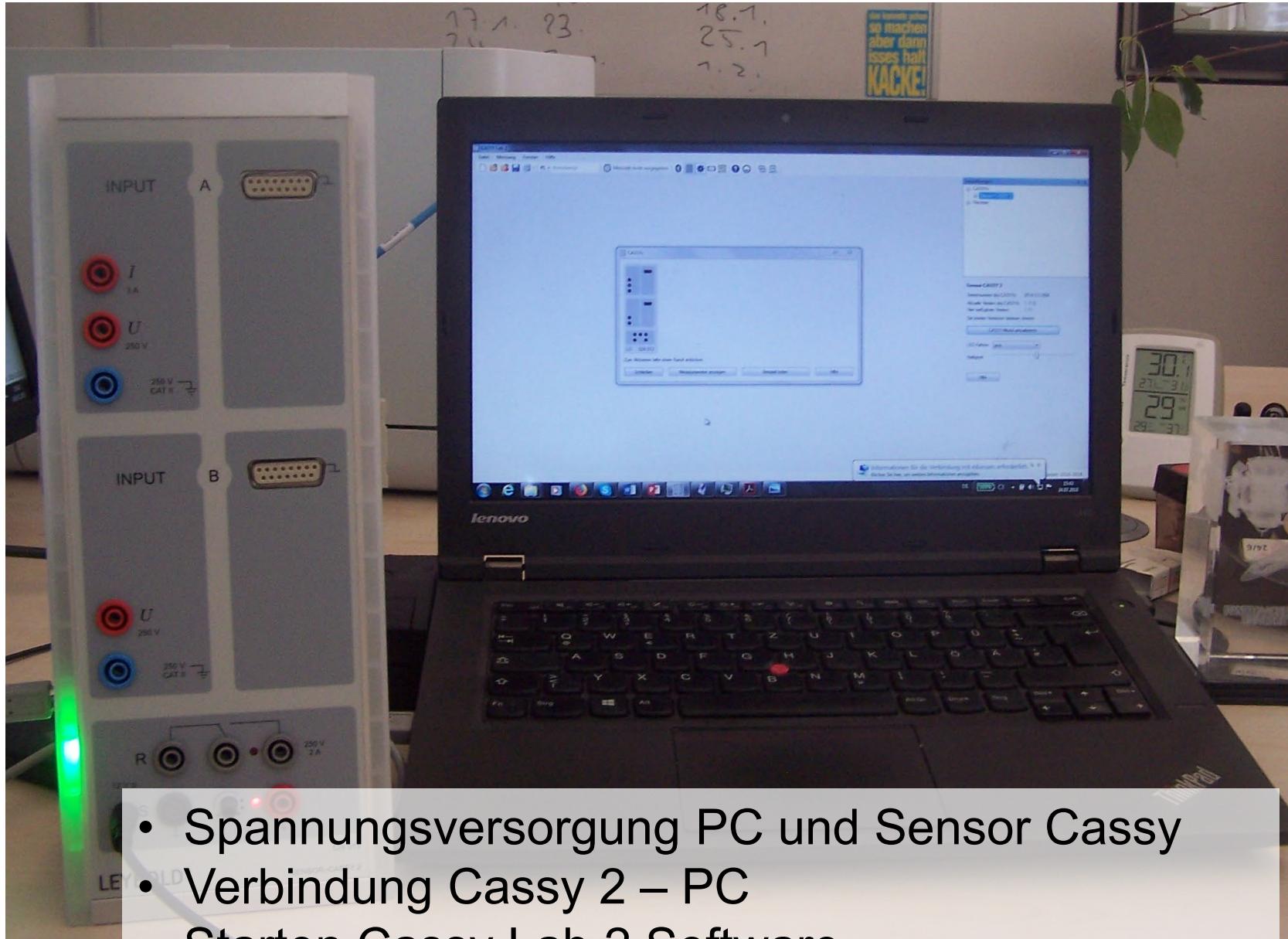
Timer Box → Laufzeit Messung

Temperatur Box

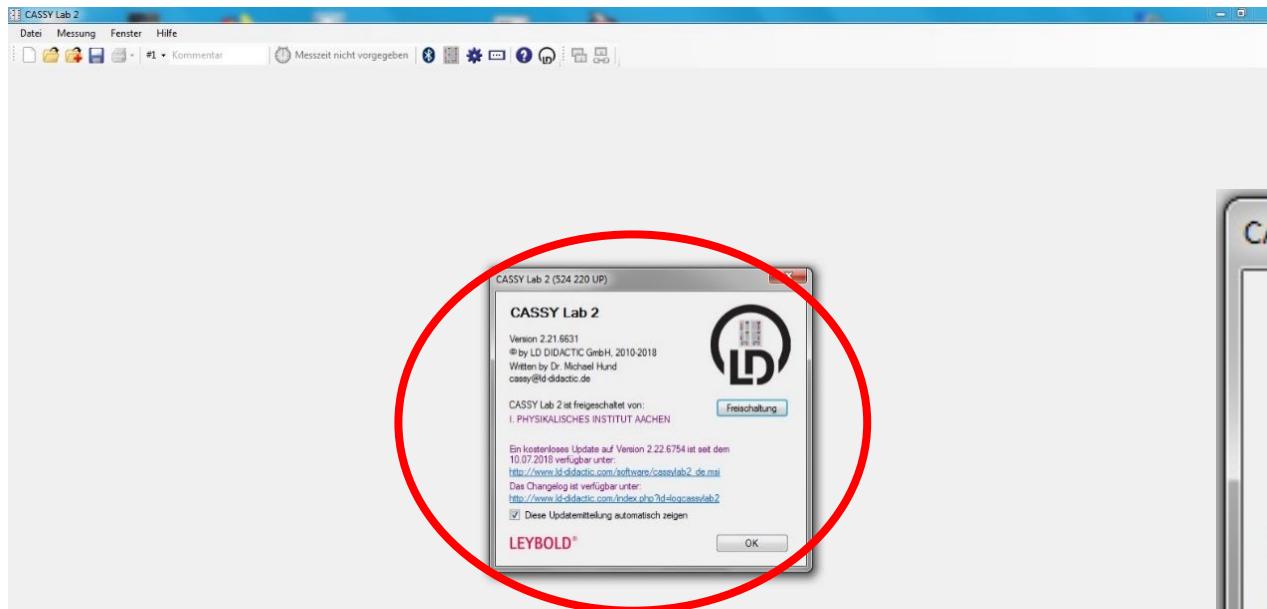
B-Box → B-Feldmessung,
→ Druckmessung

Stromquellen-Box

Cassy Lab 2, Inbetriebnahme



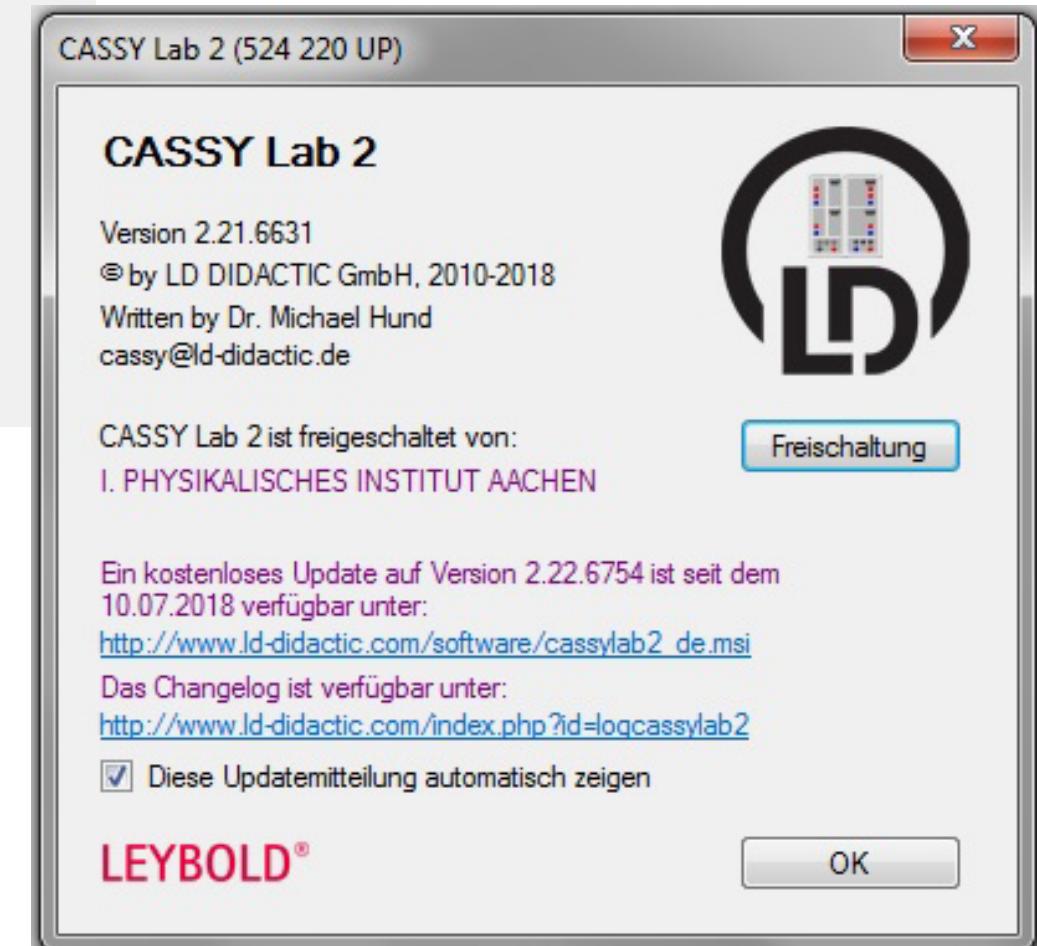
Cassy Lab 2 Start



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.

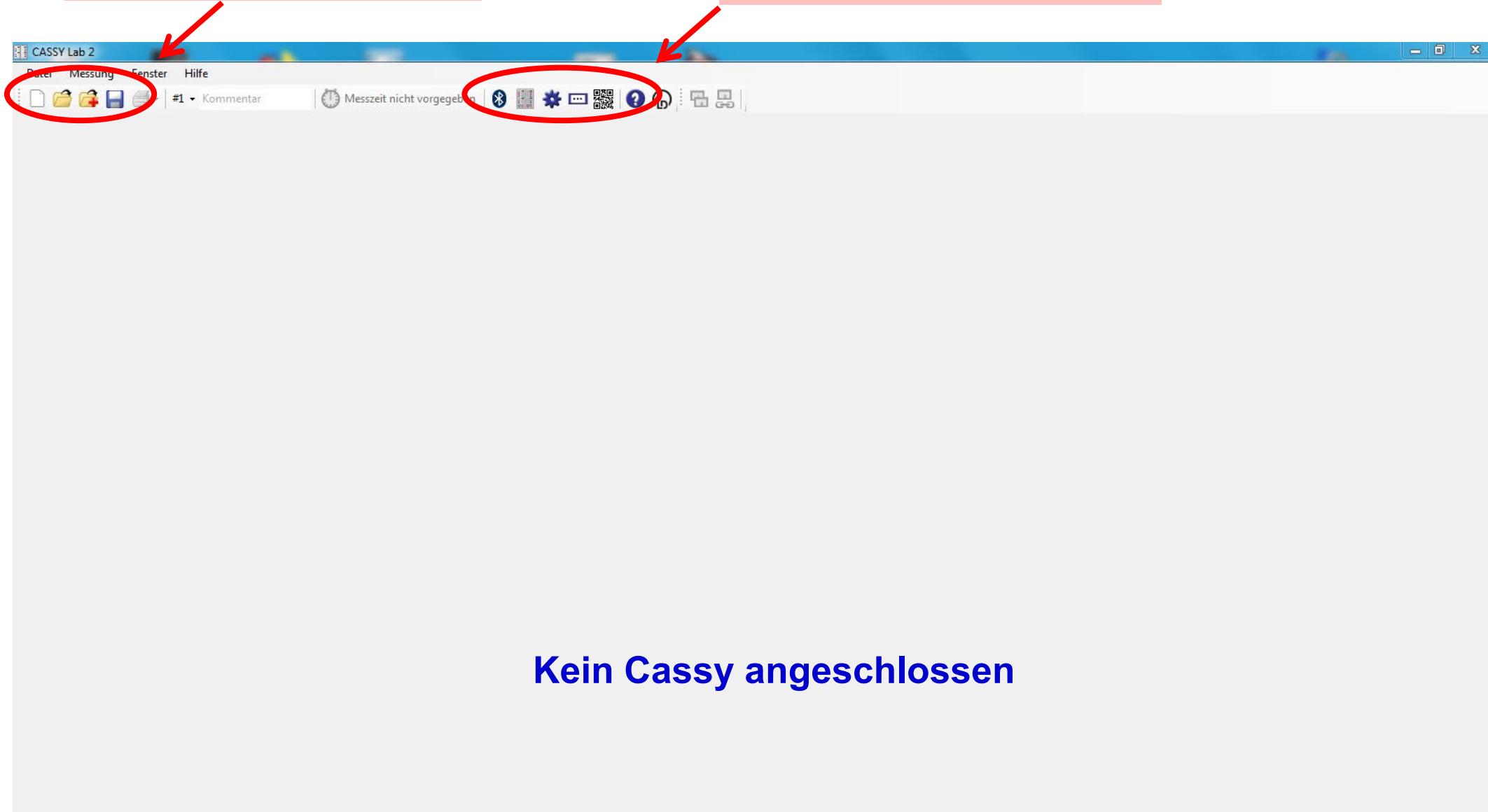
Dann dieses Fenster mit OK schließen



Cassy Lab 2 Start

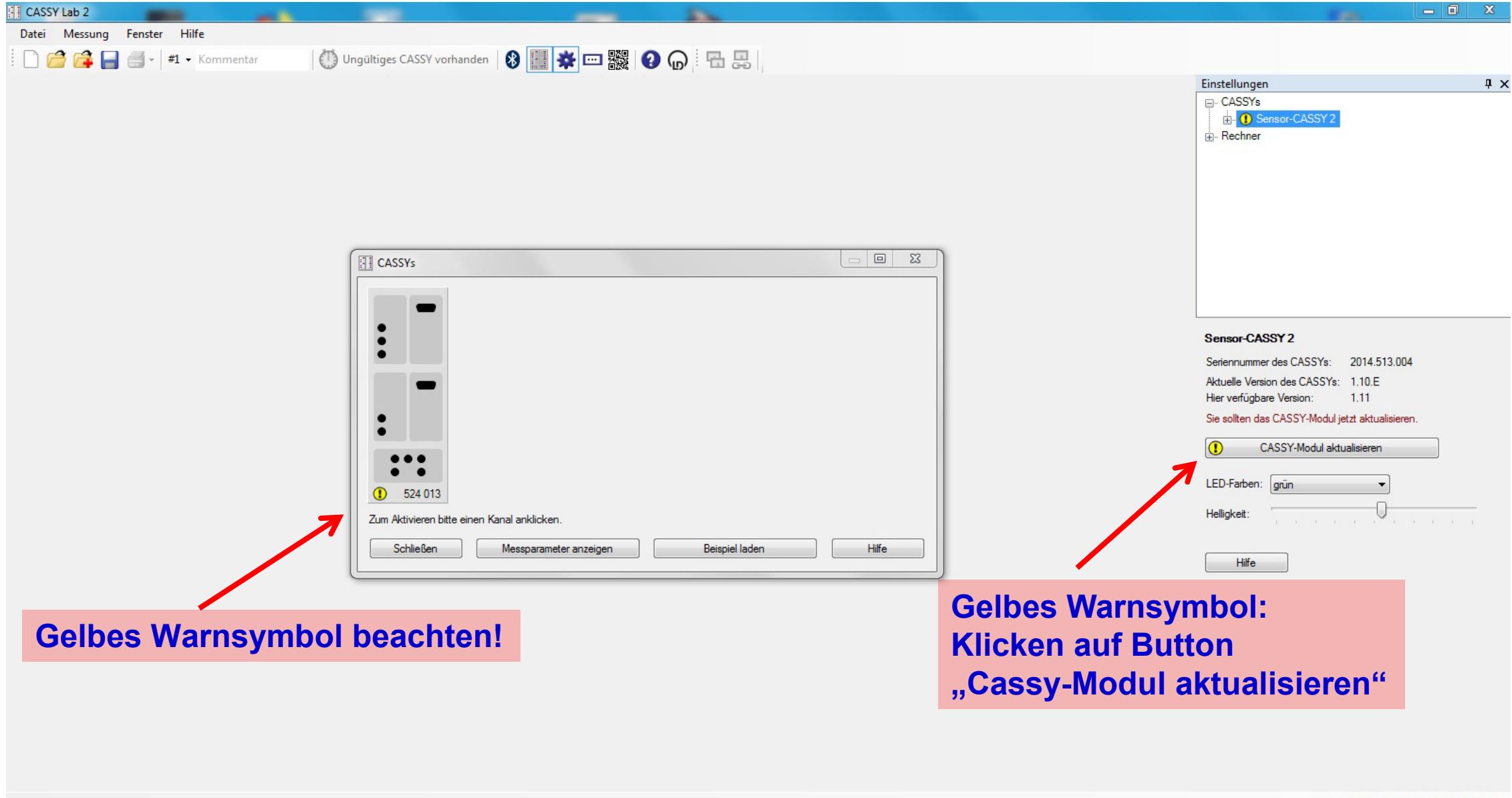
Daten laden, speichern,
drucken, löschen

Einstellungen vornehmen



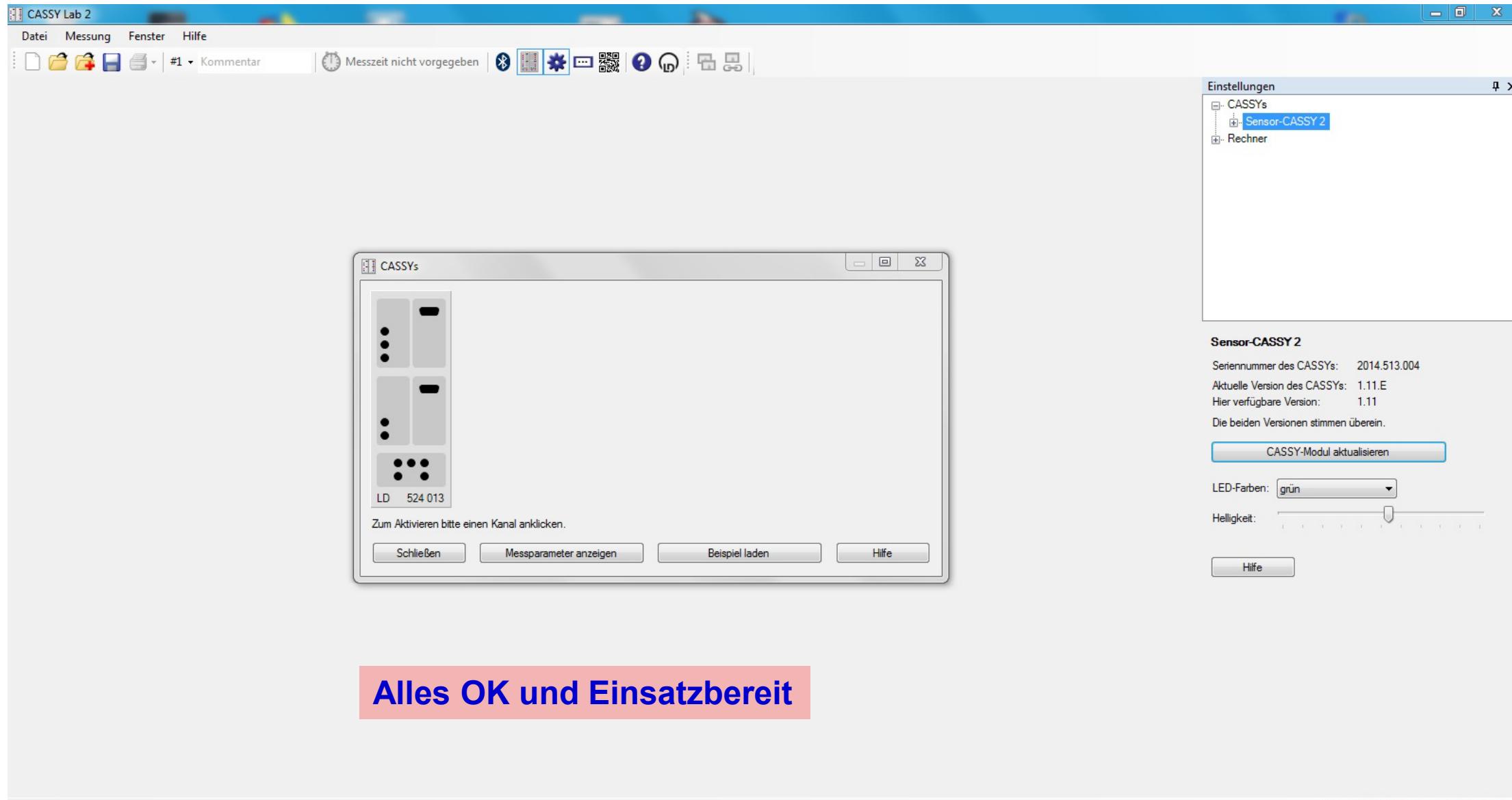
Kein Cassy angeschlossen

Cassy Lab 2 Start



Cassy angeschlossen über USB-Port → automatische Erkennung

Cassy Lab 2 Start



© by LD DIDACTIC GmbH, 2010-2018

Cassy angeschlossen über USB-Port → automatische Erkennung

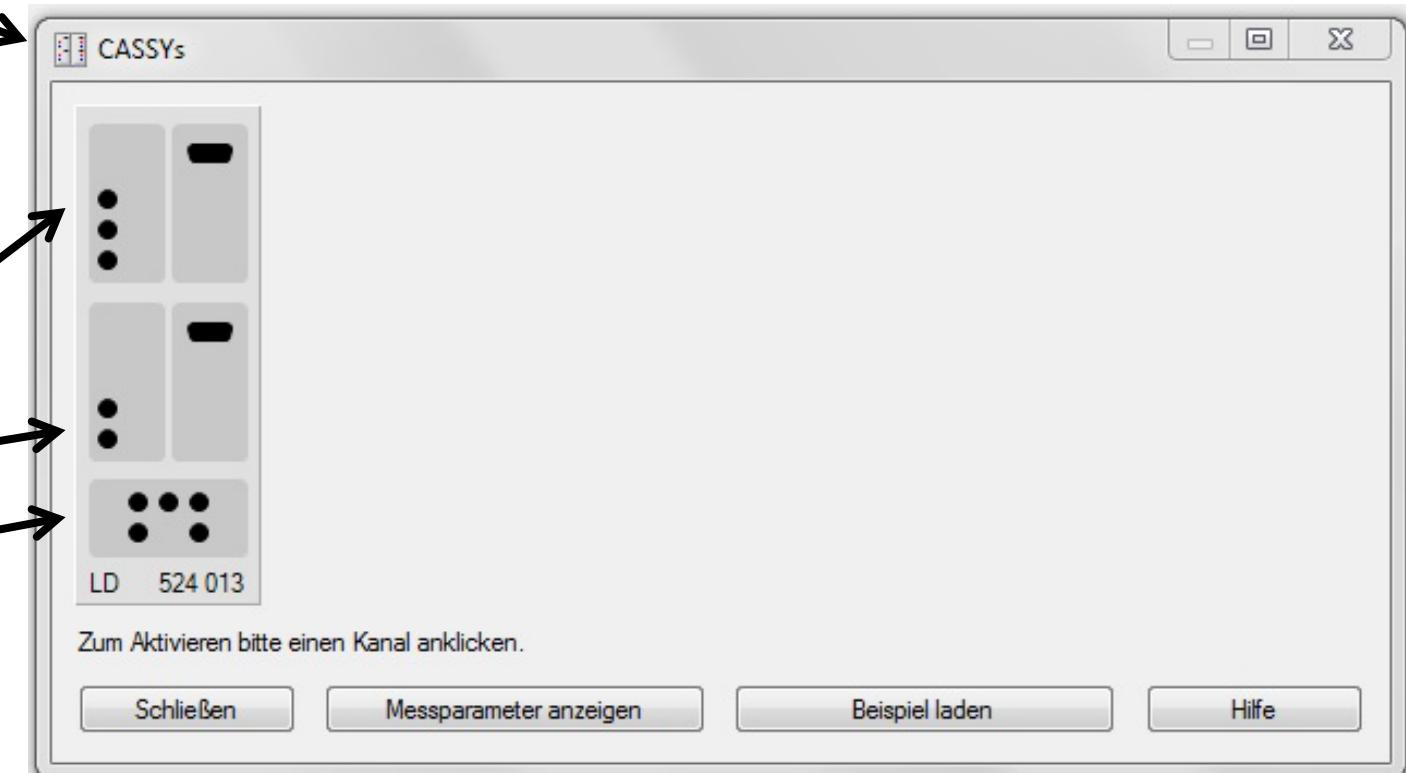
Cassy Lab 2, Einstellungen

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 with several windows open:

- Standard**: A dialog box for "Spannungsquelle S_1 " showing $S_1 = 1$.
- CASSYs**: A control panel with a digital display showing "LD 524 013". Below it, a message says "Zum Aktivieren bitte einen Kanal anklicken." (Click a channel to activate). Buttons include "Schließen", "Messparameter anzeigen", "Beispiel laden", and "Hilfe".
- Einstellungen**: A configuration window with a tree view:
 - CASSYS
 - Sensor-CASSY 2
 - Eingang A₁ (links)
 - Eingang A₁ (ohne Sensorbox)
 - Eingang B₁ (links)
 - Eingang B₁ (ohne Sensorbox)
 - Relais R₁ = 0
 - Spannungsquelle S₁ = 1
 - Rechner
 - Darstellungen
 - Standard
 - Spannungsquelle S₁ = 1
 - S1(date,time,n,t) = 1
 - Umschalten während automatischer Aufnahme
 -

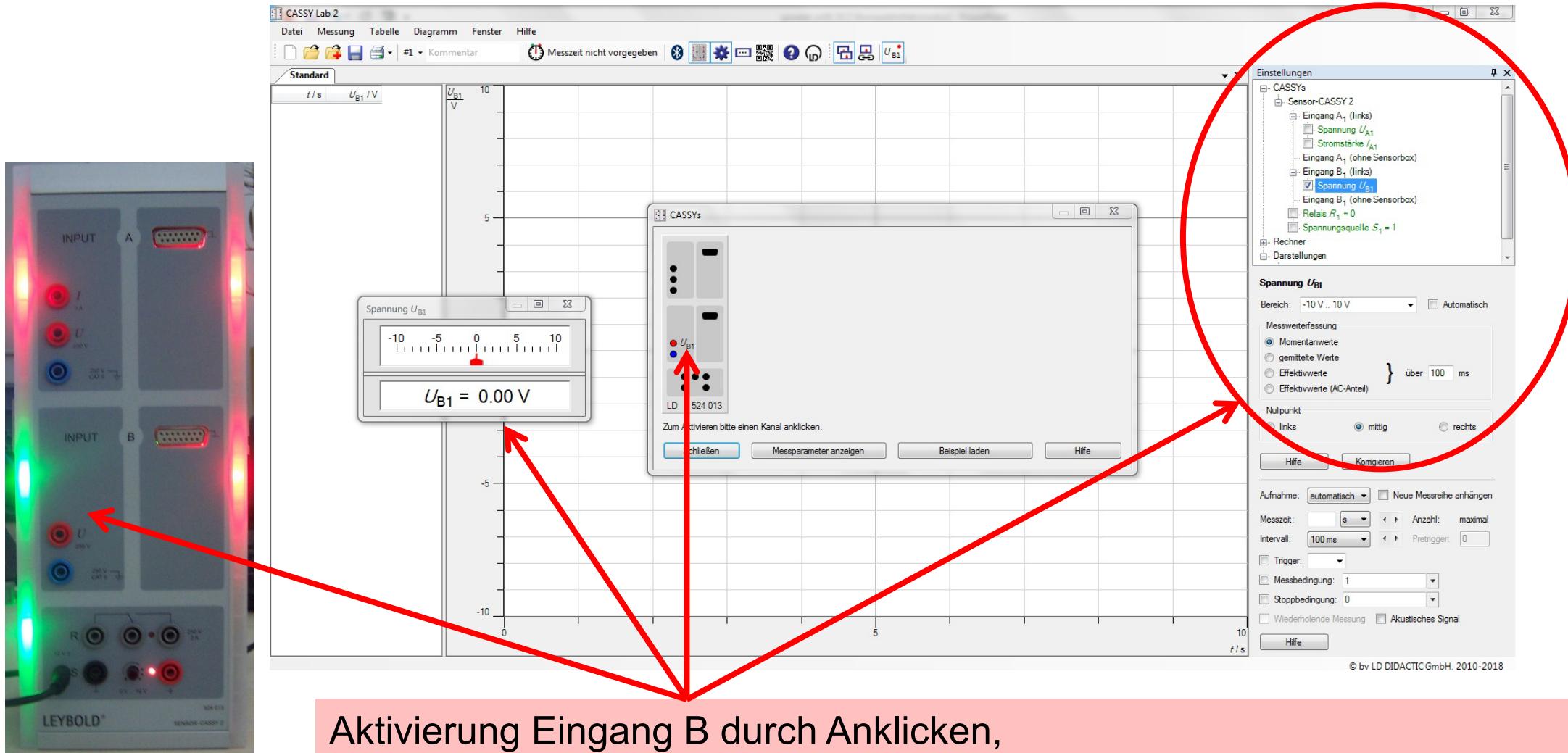
A red arrow points from the "S1 = 1" entry in the "Einstellungen" window to the "S1" button in the "CASSYs" window.

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

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

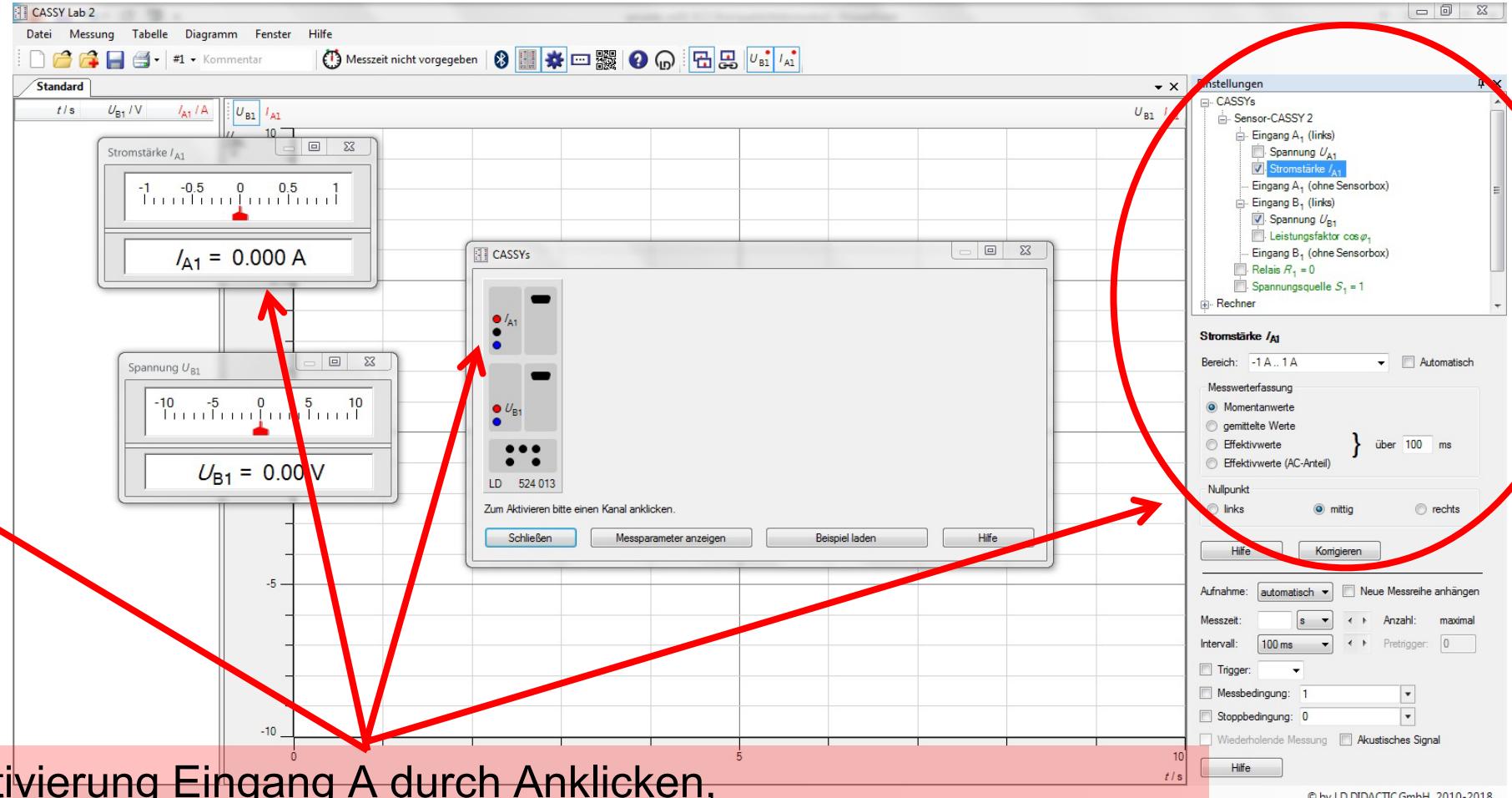
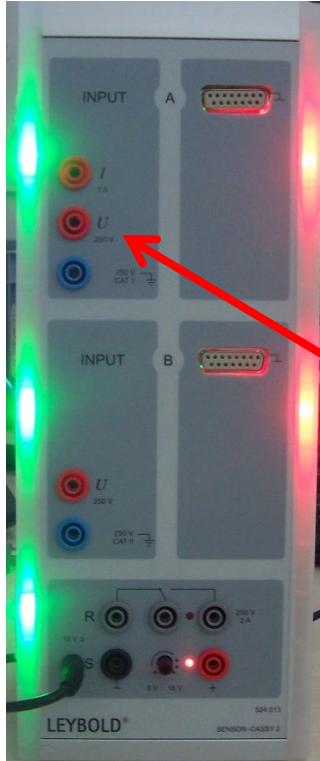
22

Cassy Lab 2, Einstellungen Messparameter



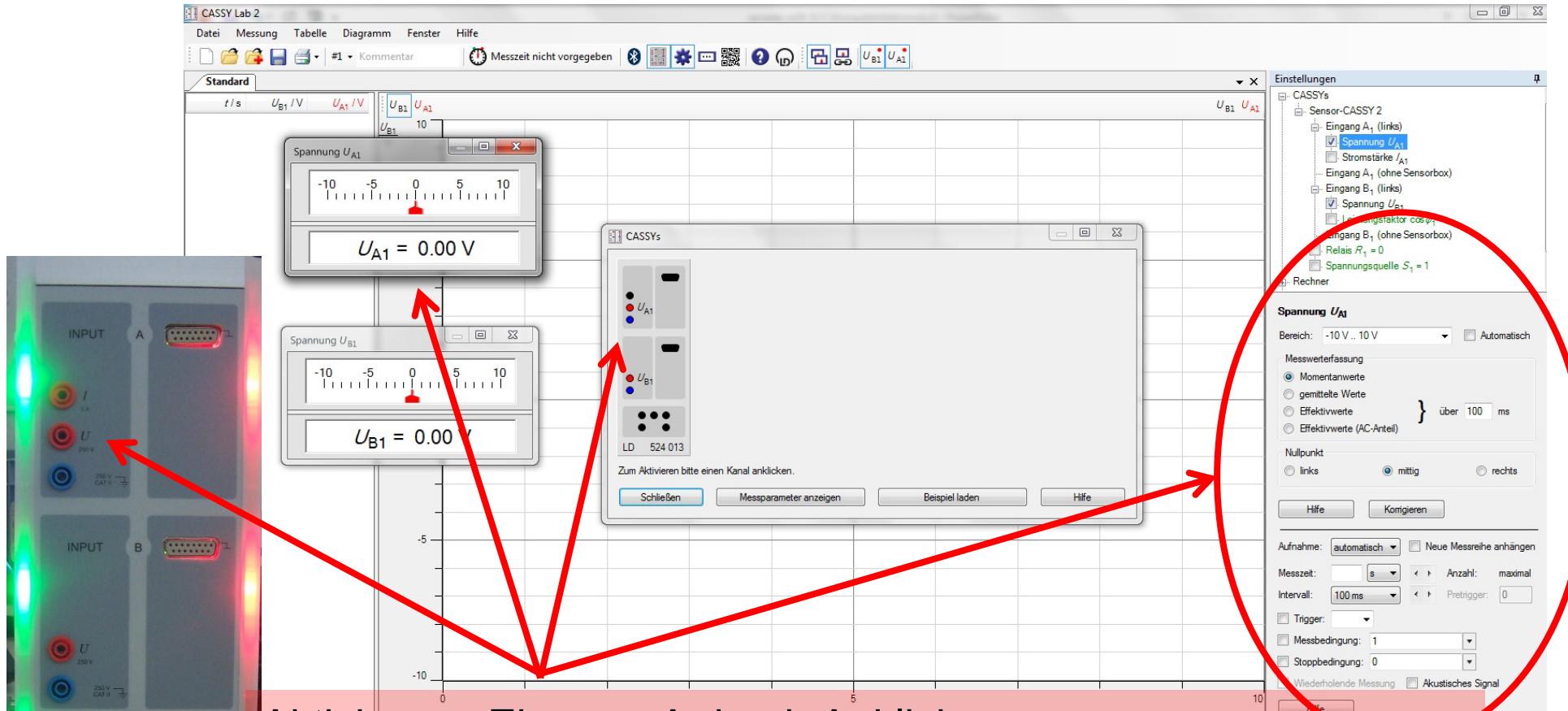
Aktivierung Eingang B durch Anklicken,
Eingang B leuchtet grün
Messanzeige erscheint für Eingang B → Einstellungen Eingang B aktiviert
Messparameter für Daten-Aufnahme einstellbar

Cassy Lab 2, Einstellungen Messparameter



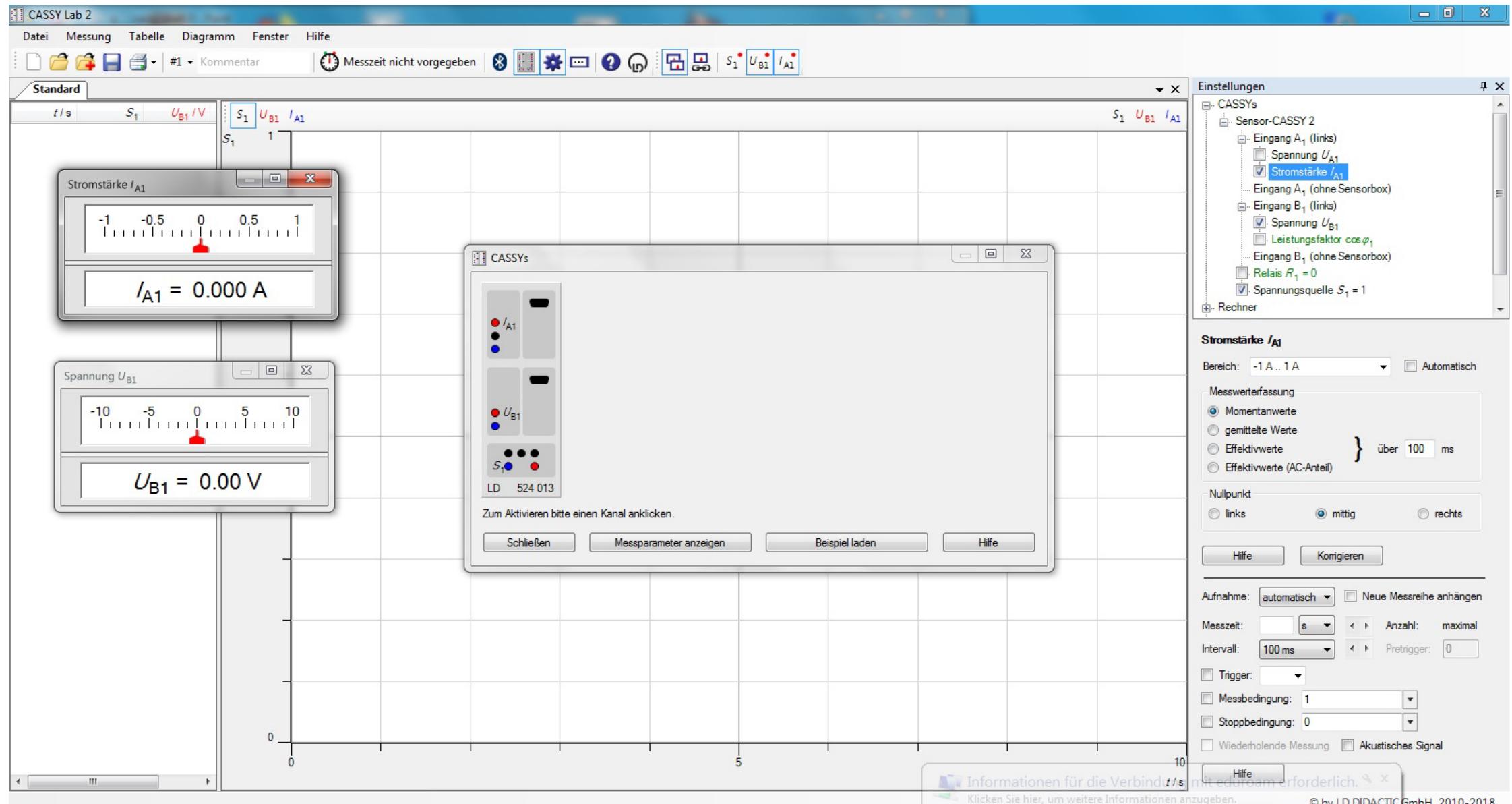
Aktivierung Eingang A durch Anklicken,
Strommessung bei Klick auf oberste Anschlusshülse
Spannungsmessung bei Klick auf die Mittlere
Eingang A leuchtet grün, Messanzeige erscheint für Eingang A
→ Einstellungen Eingang A aktiviert
Messparameter für Daten-Aufnahme einstellbar

Cassy Lab 2, Einstellungen Messparameter



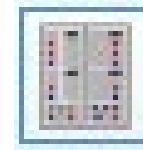
Aktivierung Eingang A durch Anklicken,
Strommessung bei Klick auf oberste Anschlusshülse
Spannungsmessung bei Klick auf die Mittlere
Eingang A leuchtet grün, Messanzeige erscheint für Eingang A
→ Einstellungen Eingang A aktiviert
Messparameter für Daten-Aufnahme einstellbar

Datenauslese: Cassy Lab 2



Cassy Lab 2, Einstellungen, Messparameter

Zweimalige Betätigung des Einstellungsknopfs oder der F5-Taste



Einstellungen

- CASSYs
 - Sensor-CASSY 2
 - Eingang A₁ (links)
 - Eingang A₁ (ohne Sensorbox)
 - Eingang B₁ (links)
 - Spannung U_{B1}** (selected)
 - Eingang B₁ (ohne Sensorbox)
 - Relais R₁ = 0
 - Spannungsquelle S₁ = 1
- Rechner
- Darstellungen
 - Standard

Spannung U_{B1}

Bereich: -10 V .. 10 V Automatisch

Messwertaufzeichnung

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

über 100 ms

Nulnpunkt

- links mittig rechts

Hilfe Komigieren

Aufnahme: automatisch Neue Messreihe anhängen

Messzeit: 100 ms Anzahl: 100001

Interval: 1 μs Pretrigger: 0

Trigger: Messbedingung: 1 Stoppbedingung: 0 Wiederholende Messung Akustisches Signal

Hilfe Mit eddorcam erforderlich.

Einstellungen

- Sensor-CASSY 2
 - Eingang A₁ (links)
 - Eingang A₁ (ohne Sensorbox)
 - Eingang B₁ (links)
 - Spannung U_{B1}** (selected)
 - Eingang B₁ (ohne Sensorbox)
- Rechner
- Darstellungen
 - Standard
 - U_{B1}(t)
 - (t)

Spannung U_{B1}

Bereich: -10 V .. 10 V Automatisch

Messwertaufzeichnung

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

über 100 ms

Nulnpunkt

- links mittig rechts

Hilfe Komigieren

Aufnahme: automatisch Neue Messreihe anhängen

Messzeit: 100 s Anzahl: 1001

Interval: 100 ms Pretrigger: 0

Trigger: Messbedingung: 1 Stoppbedingung: 0 Wiederholende Messung Akustisches Signal

Hilfe Mit eddorcam erforderlich.

Einstellungen

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

Formel

Neu Löschen

Name: Widerstand Symbol: Rtest Einheit: Ohm

von: 0 Ohm bis: 100 Ohm Dezimalen: 1

Rtest(date,time,n,tIA1,UB1,Rtest) = UB1/IA1

Hilfe

Aufnahme: automatisch Neue Messreihe anhängen

Messzeit: 100 s Anzahl: 1001

Interval: 100 ms Pretrigger: 0

Trigger: U_{B1} 3.00 V steigend

Messbedingung: delta t > 2 = AUS

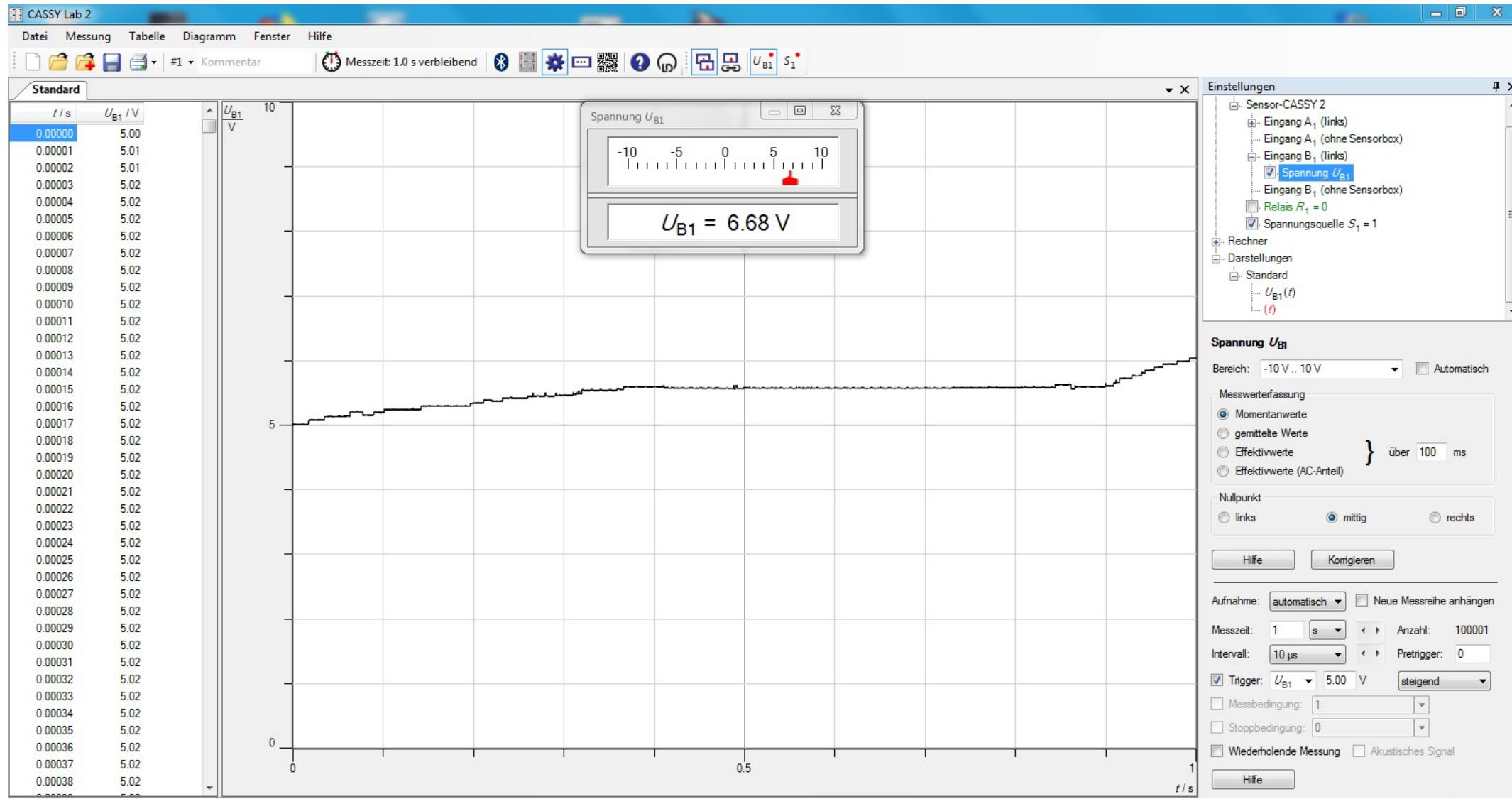
Stoppbedingung: 0

Wiederholende Messung Akustisches Signal

Hilfe

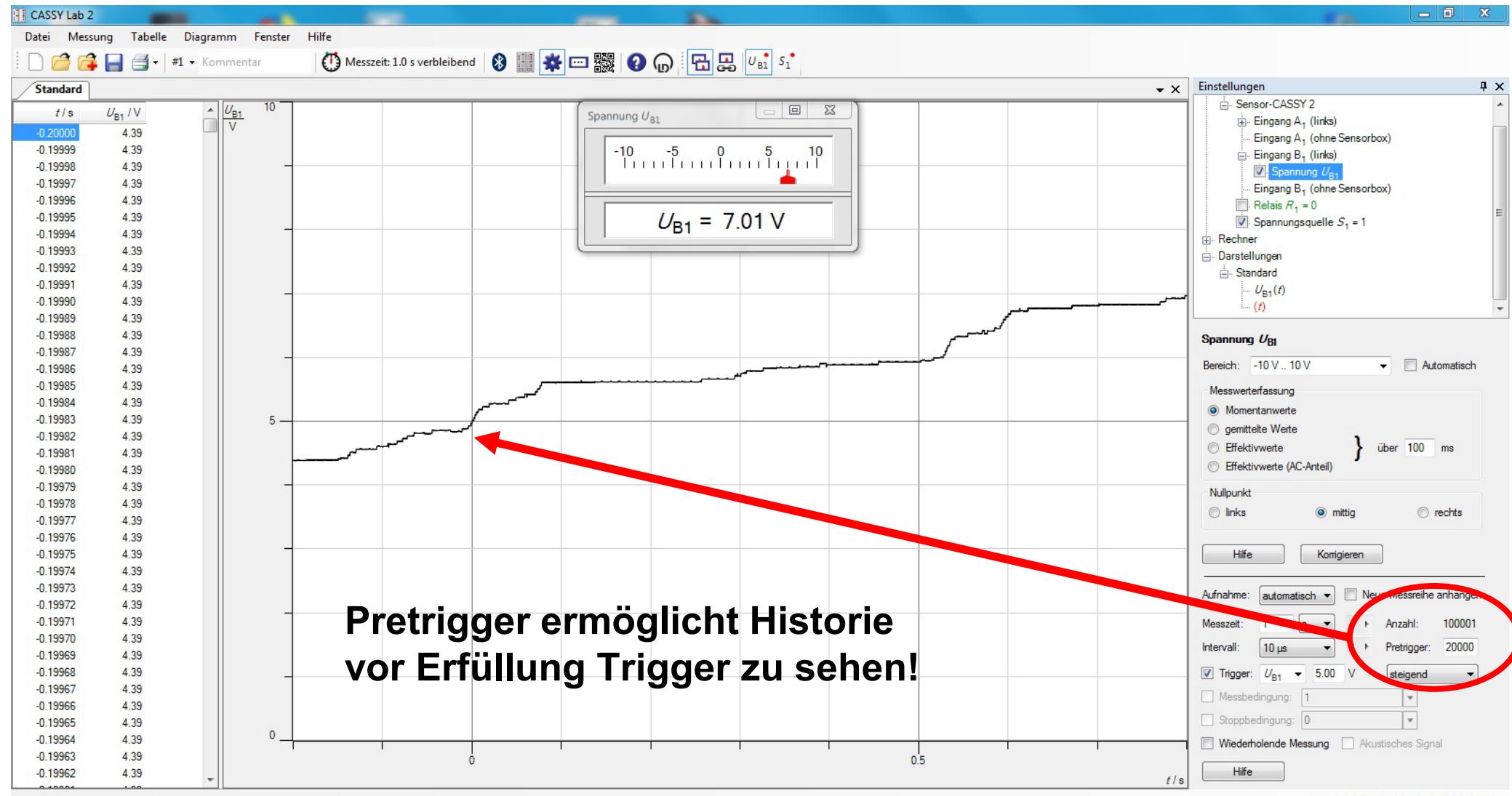
Messintervall und –anzahl, Trigger und Messbedingungen (falls benötigt) einstellen und im Messprotokoll notieren!

Cassy Lab 2, Einstellungen, Messparameter



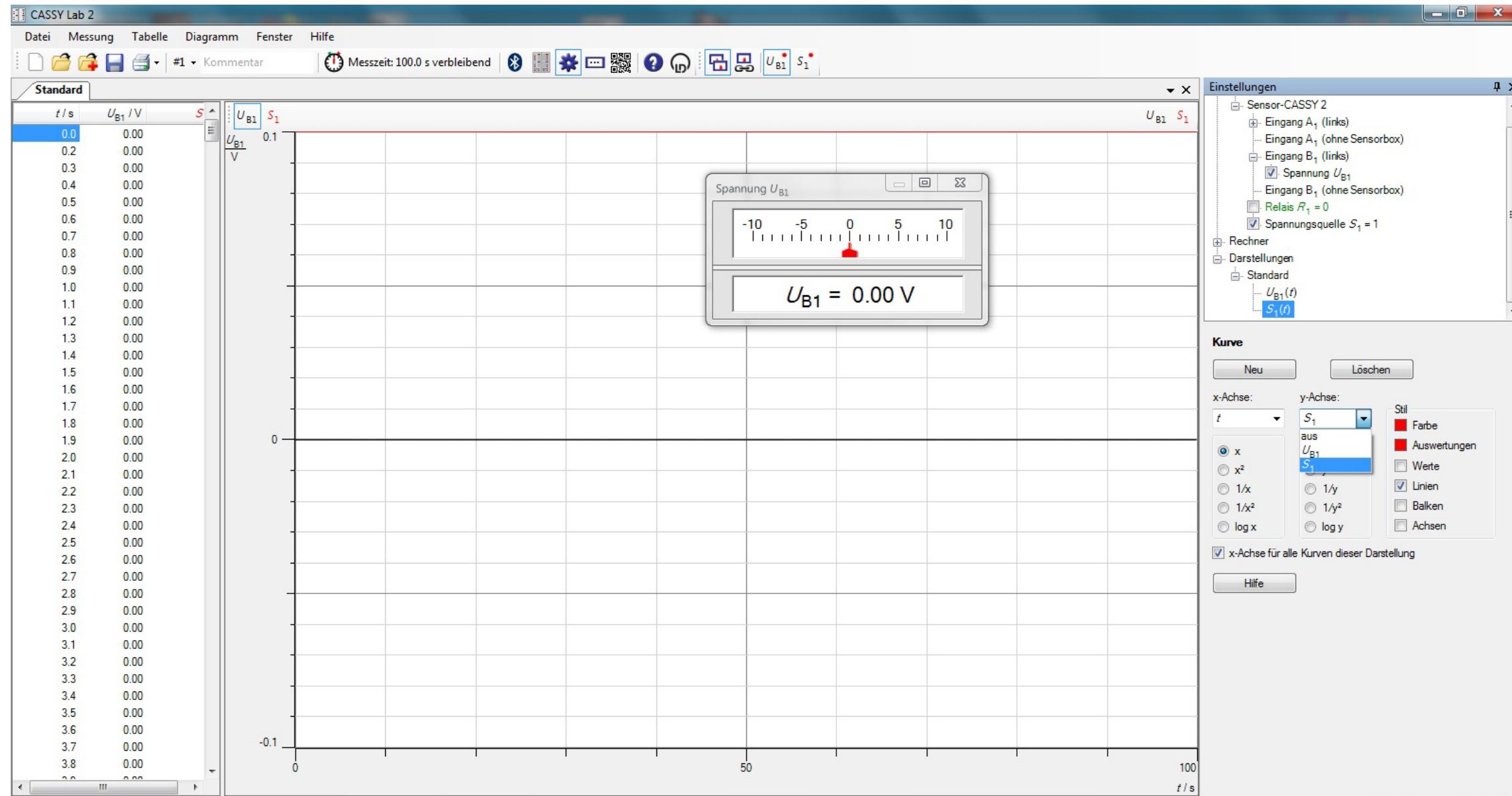
Messintervall und –anzahl, Trigger und Messbedingungen (falls benötigt) einstellen und im Messprotokoll notieren!

Cassy Lab 2, Einstellungen, Messparameter

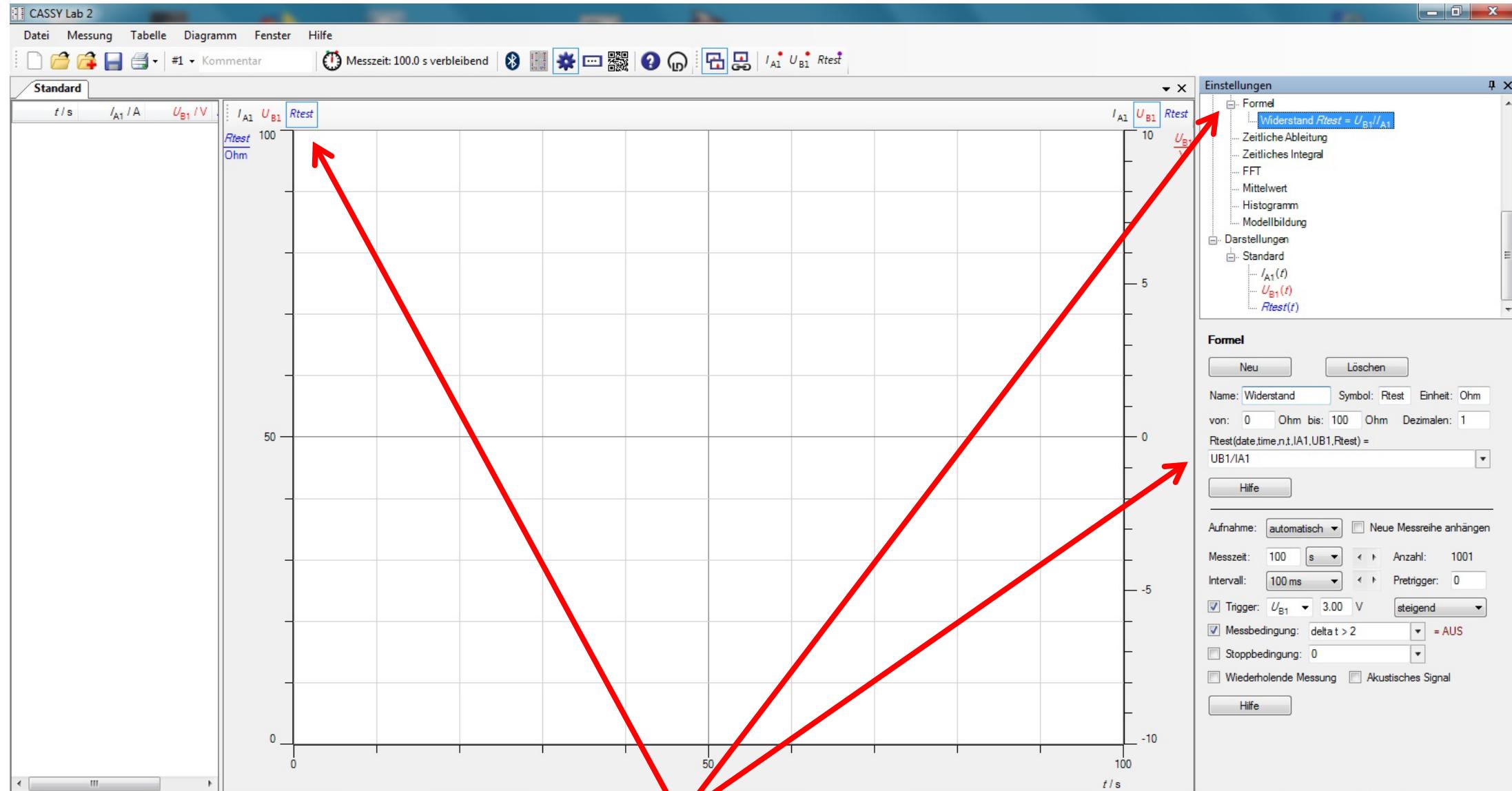


Messintervall und –anzahl, Trigger und Messbedingungen (falls benötigt) einstellen und im Messprotokoll notieren!

Cassy Lab 2, Einstellungen, Darstellungen

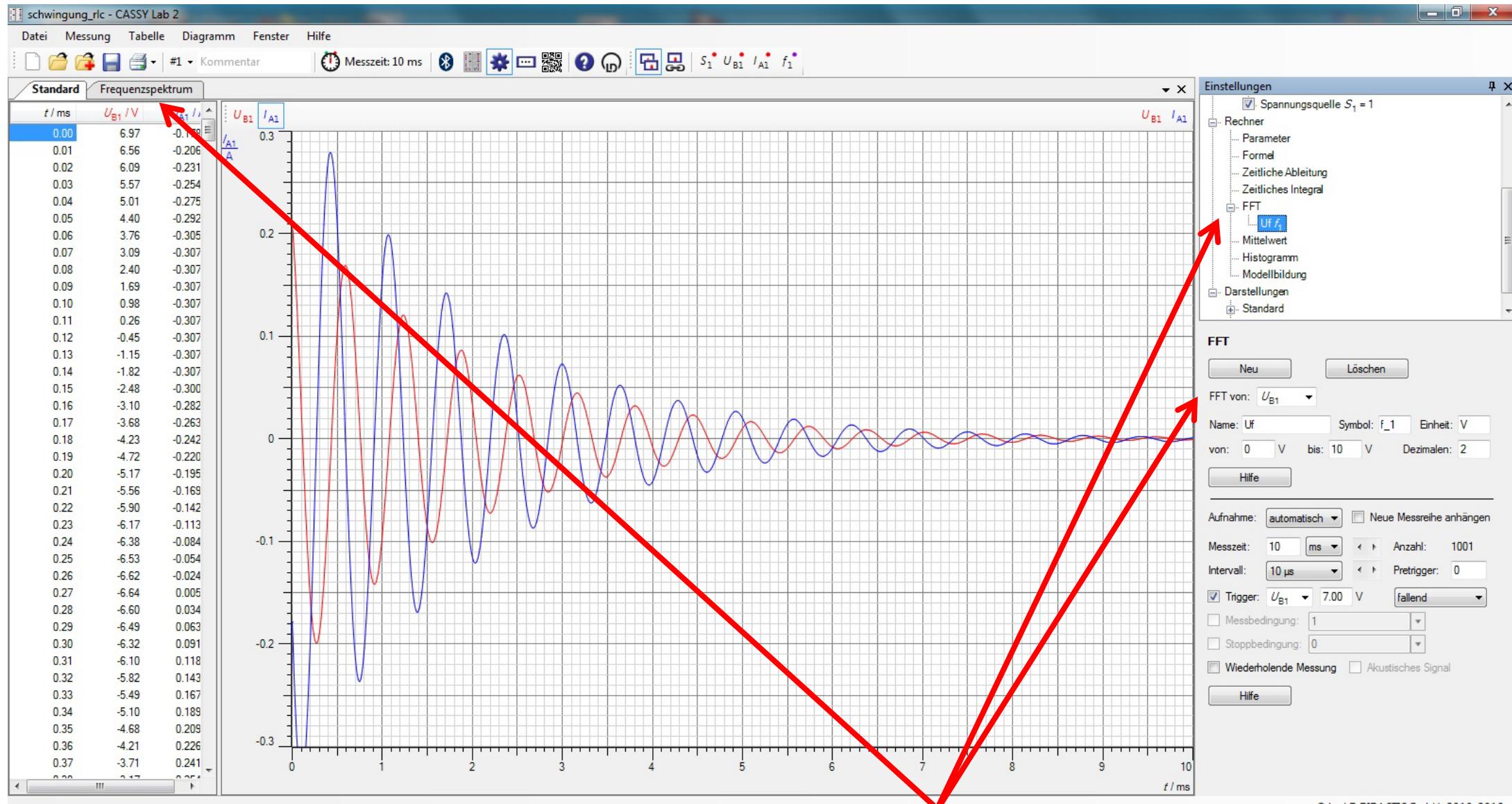


Cassy Lab 2, Einstellungen, Parameter/Formel/FFT



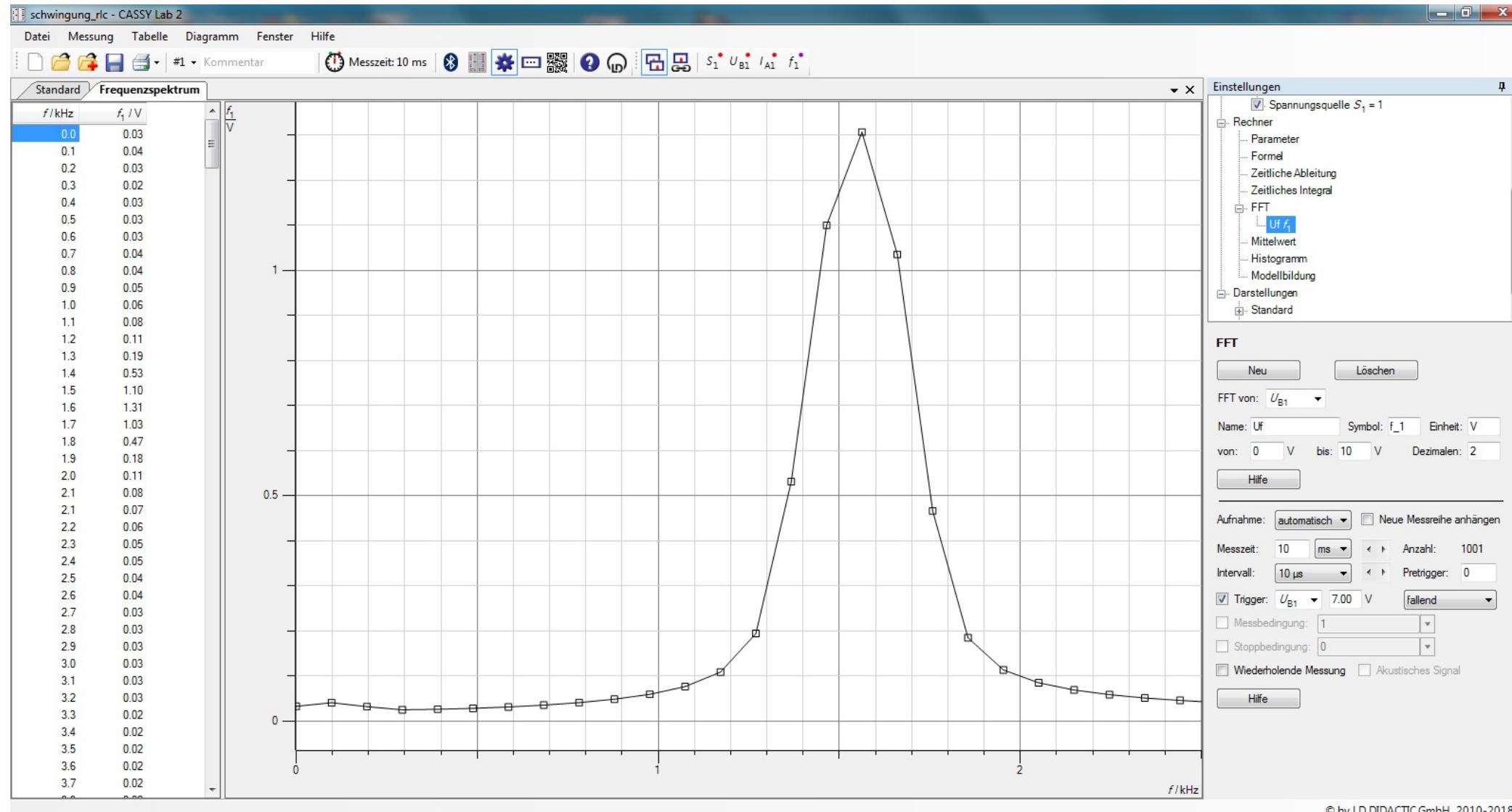
Konstante oder Parameter oder Formel oder FFT: Definition einer neuen Größe

Cassy Lab 2, Einstellungen, Parameter/Formel/FFT



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

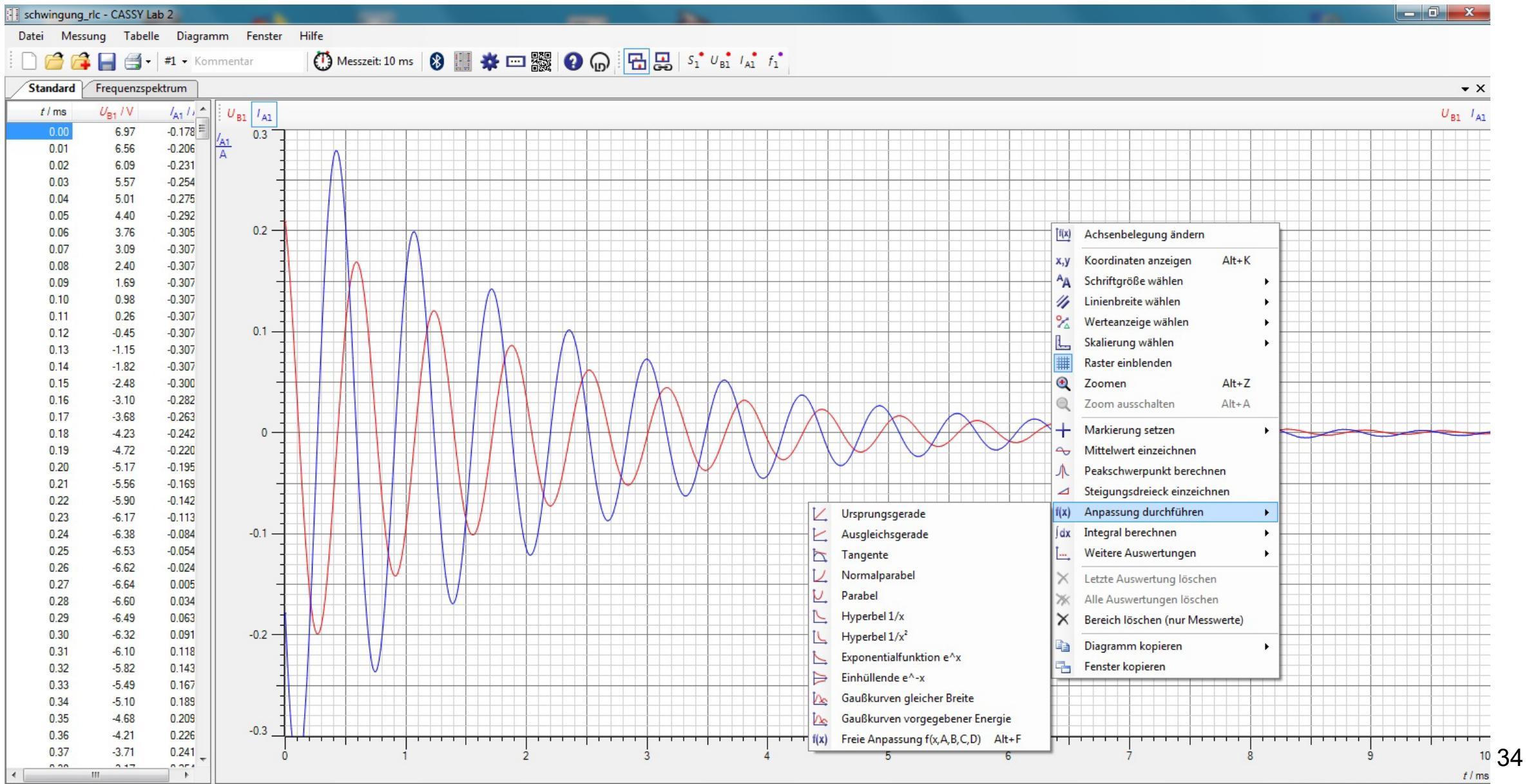
Cassy Lab 2, Einstellungen, Parameter/Formel/FFT



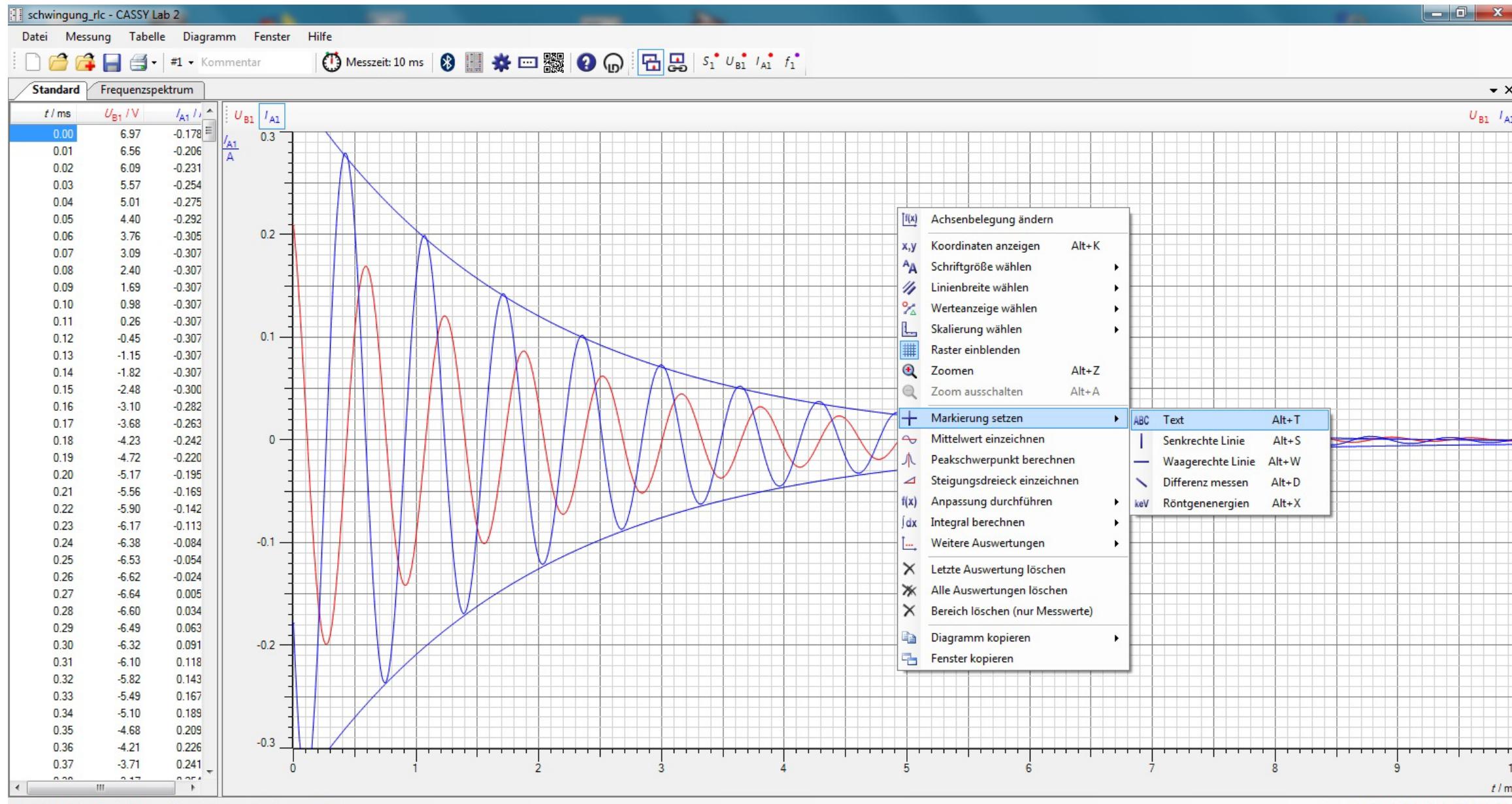
© by LD DIDACTIC GmbH, 2010-2018

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

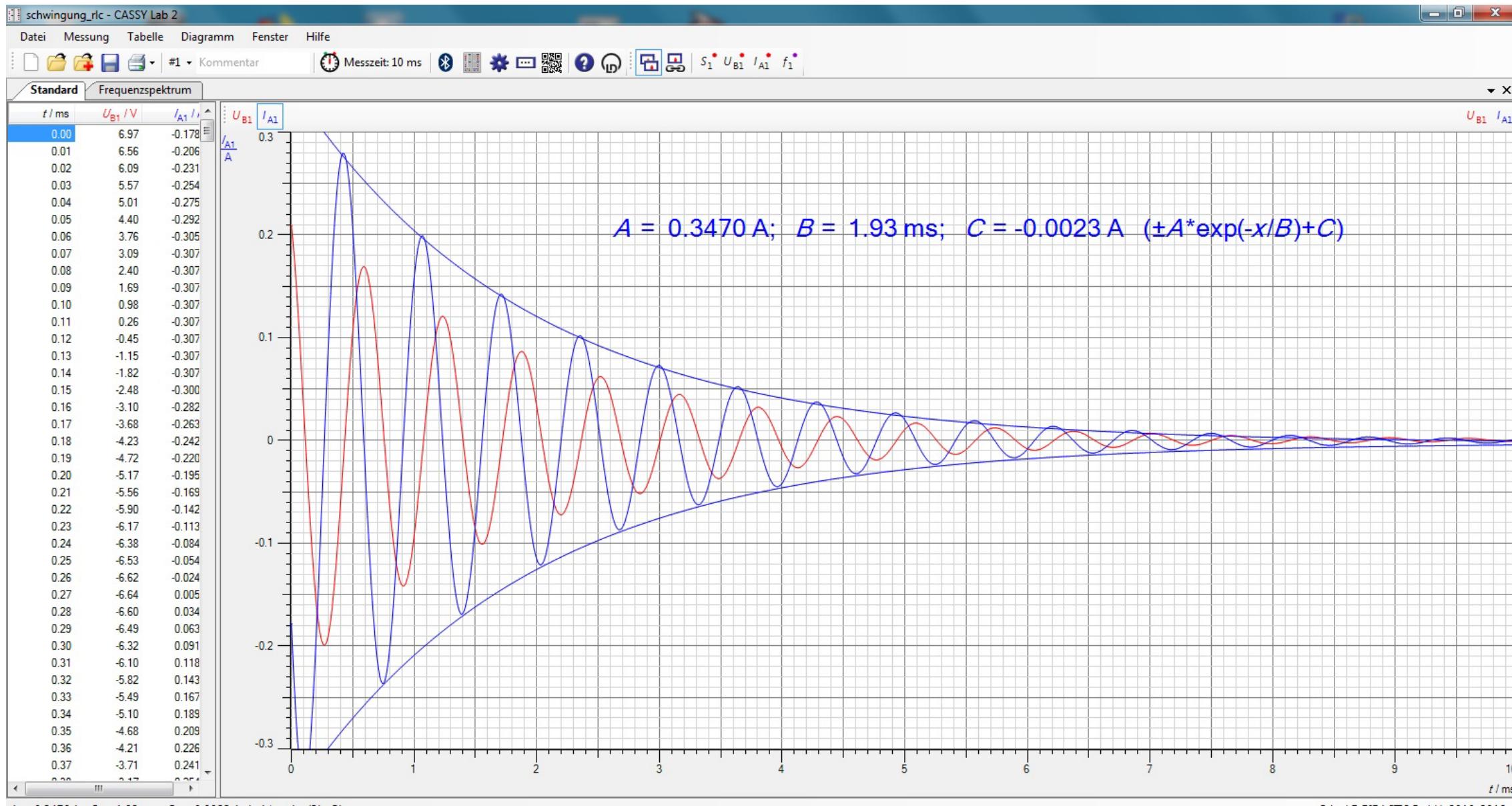
Cassy Lab 2, Anpassungen



Cassy Lab 2, Anpassungen



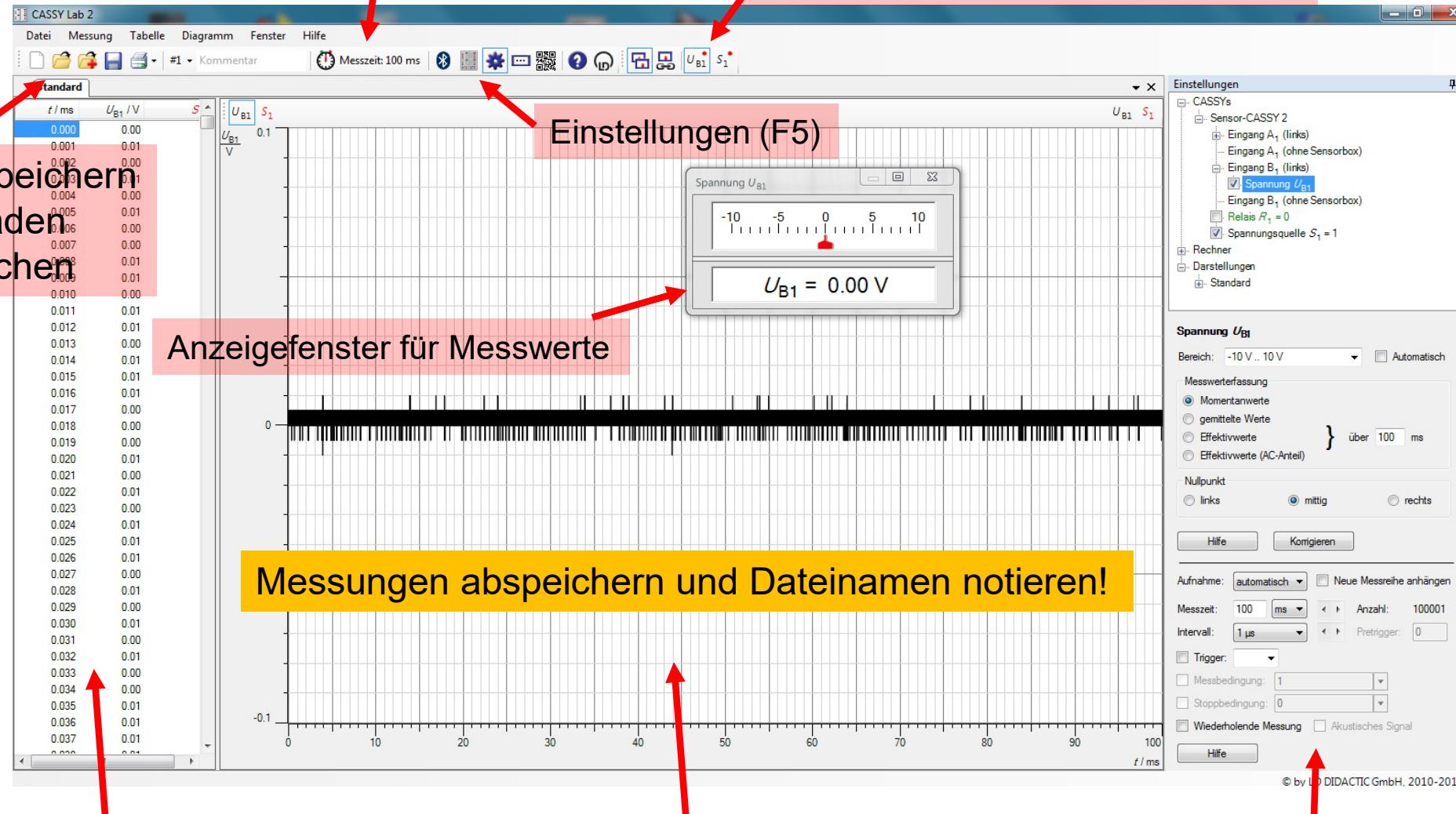
Cassy Lab 2, Anpassungen



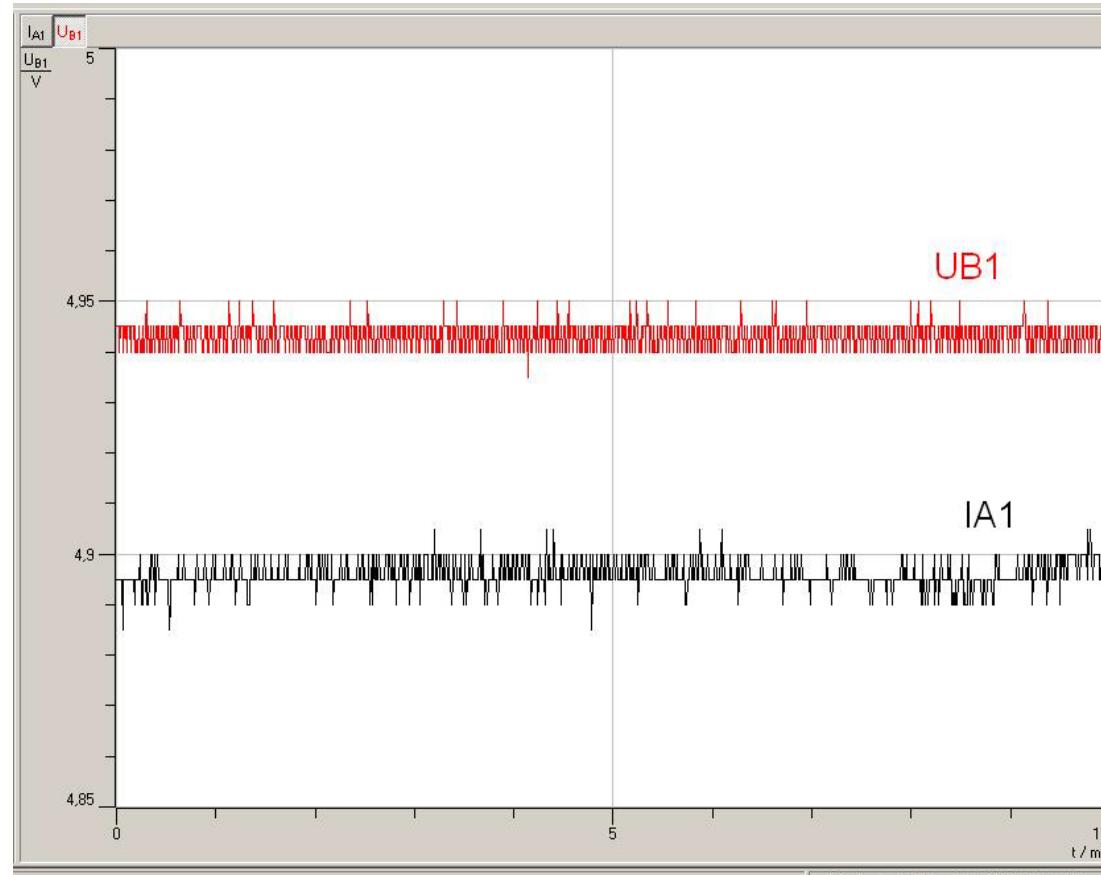
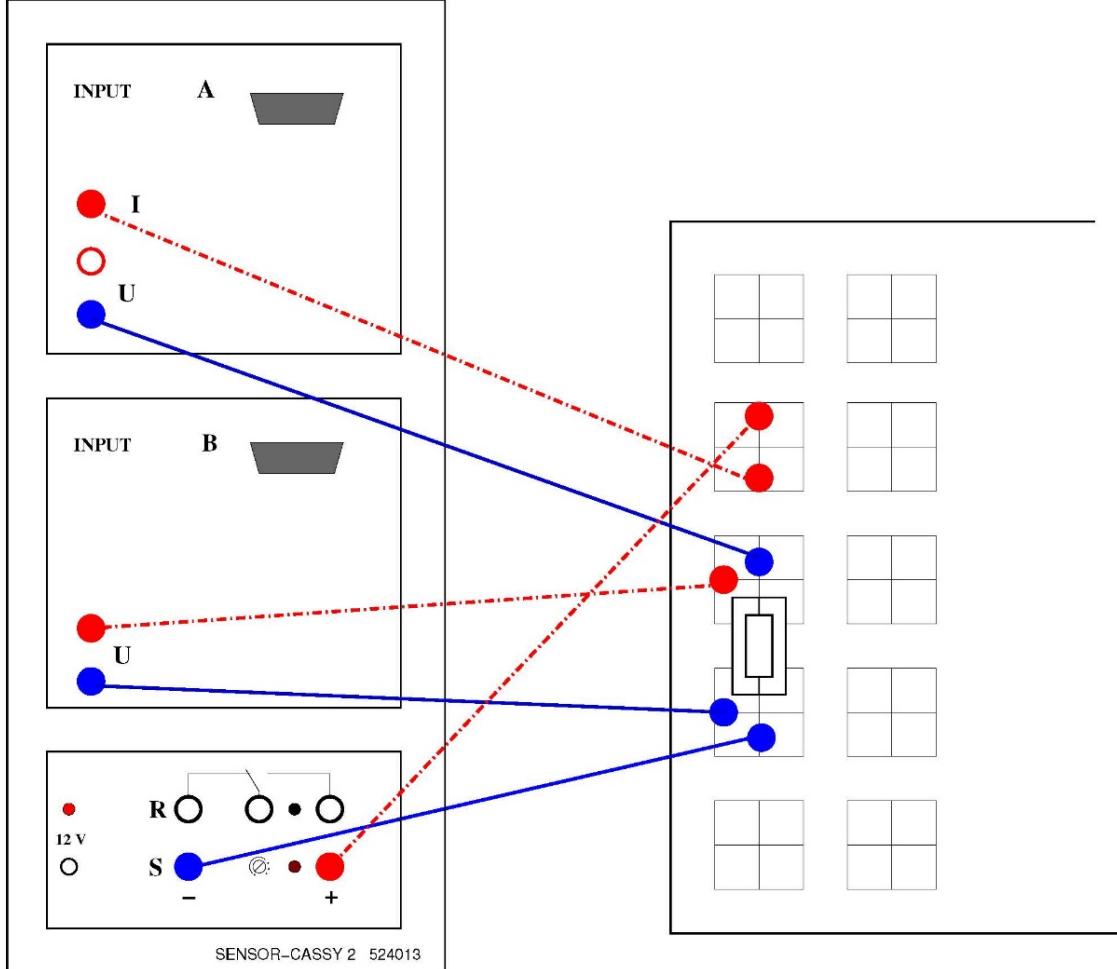
Cassy Lab 2

Messung starten/stoppen (F9)

Anzeigefenster ein bzw. ausschalten

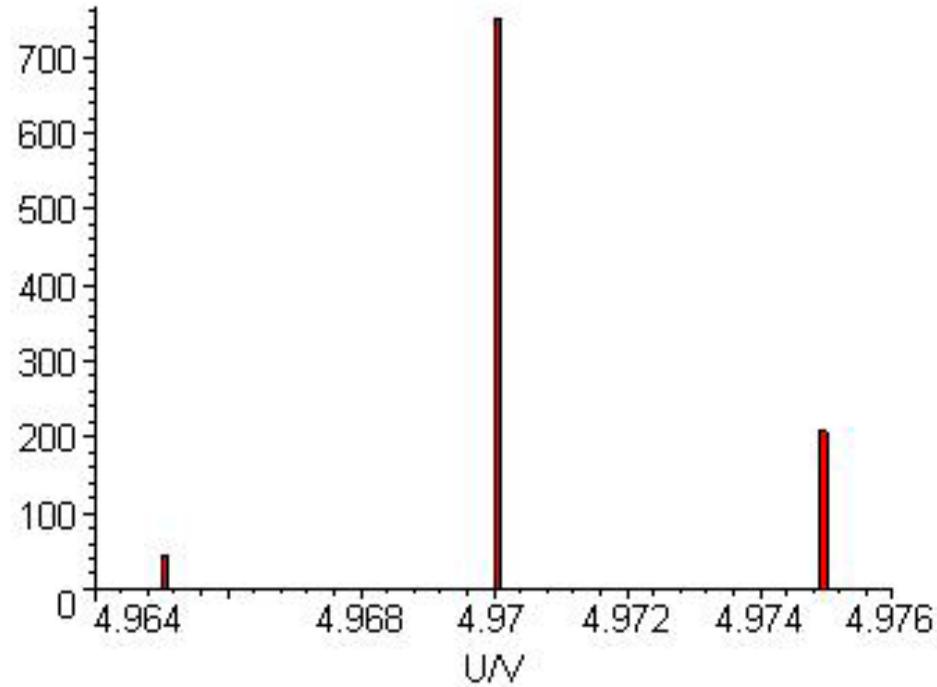


Sensor Cassy 2 Interface, Messungenauigkeiten



Messaufbau: $R=100\Omega$
Angelegte Spannung: $U=5V$
Im Kreis fliessender Strom: $I=0,05A$

Sensor-Cassy 2 Interface, statistische Messungenauigkeit?



Messbereich: $\pm 10 \text{ V}$

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

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

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

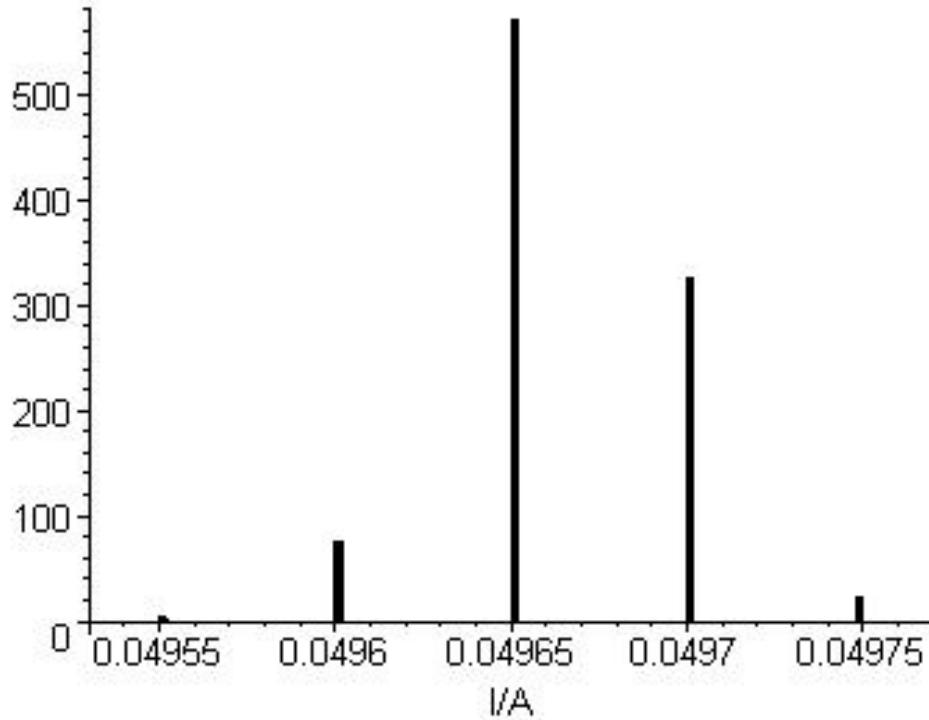
Digitale Auflösung: 12 bit = 4096 ,

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

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

MU durch Messung bestimmen!

Sensor-Cassy 2 Interface, statistische Messungenauigkeit?



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

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

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

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

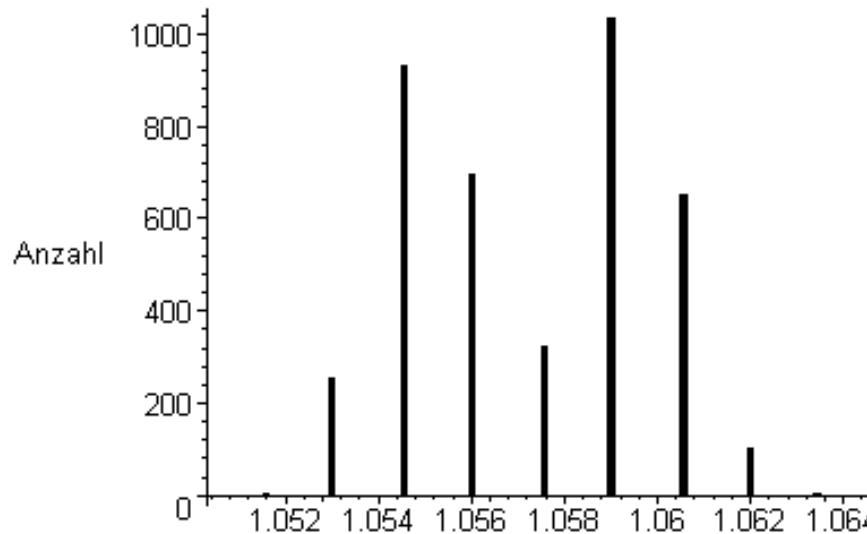
Digitale Auflösung: 12 bit = 4096 ,

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

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

MU durch Messung bestimmen!

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



Messbereich: $\pm 3 \text{ V}$

$$\text{Mean} = (1.0572 \pm 0.00004) \text{ V}$$

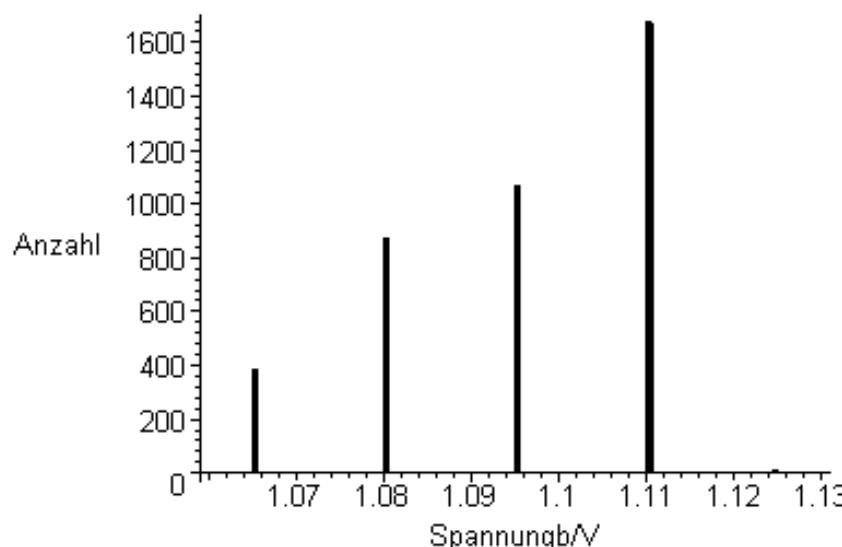
$$\text{RMS} = 2.5 \text{ mV}$$

$$\rightarrow \text{relativer Fehler: } 2.4\%$$

$$\text{Digitale Auflösung: } 12 \text{ bit} = 4096$$

$$\rightarrow U_{\min} = 1.5 \text{ mV} \rightarrow U_{\min}/\sqrt{12}$$

$$\rightarrow \text{"Fehler"} = 0.4 \text{ mV}$$



Messbereich: $\pm 30 \text{ V}$

$$\text{Mean} = (1.095 \pm 0.0000003) \text{ V}$$

$$\text{RMS} = 15.2 \text{ mV}$$

$$\rightarrow \text{relativer Fehler: } 1.4 \%$$

$$\text{Digitale Auflösung: } 12 \text{ bit} = 4096$$

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

$$\rightarrow \text{"Fehler"} = 4.3 \text{ mV}$$

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 $\pm 100V$

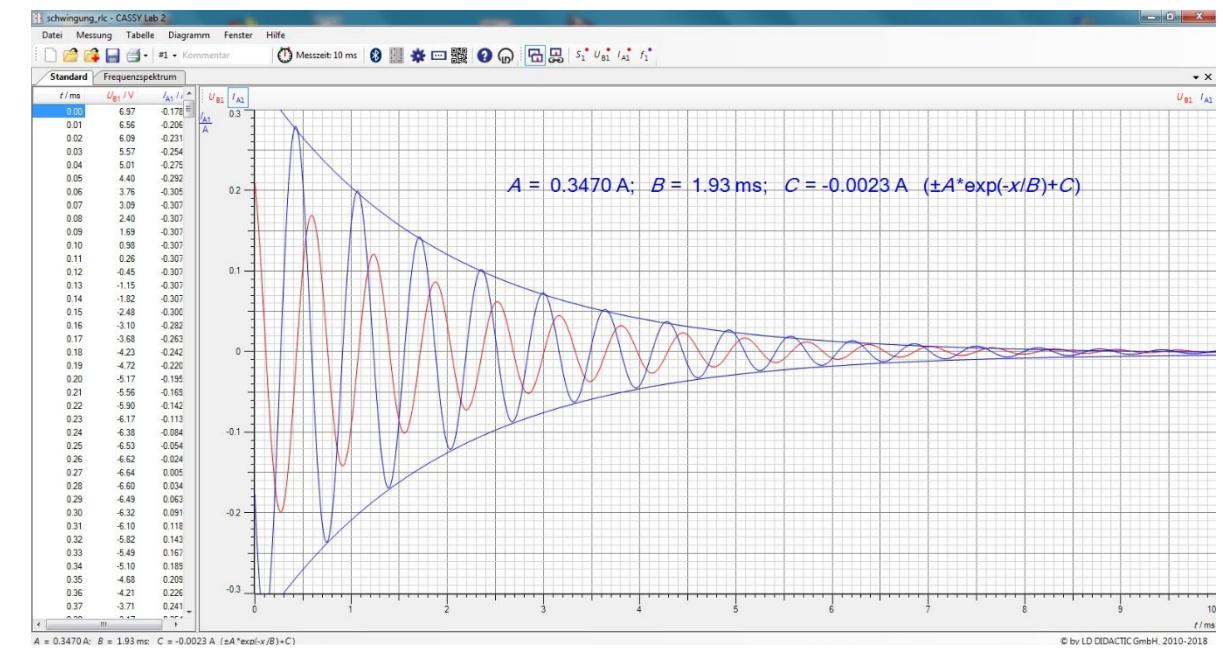
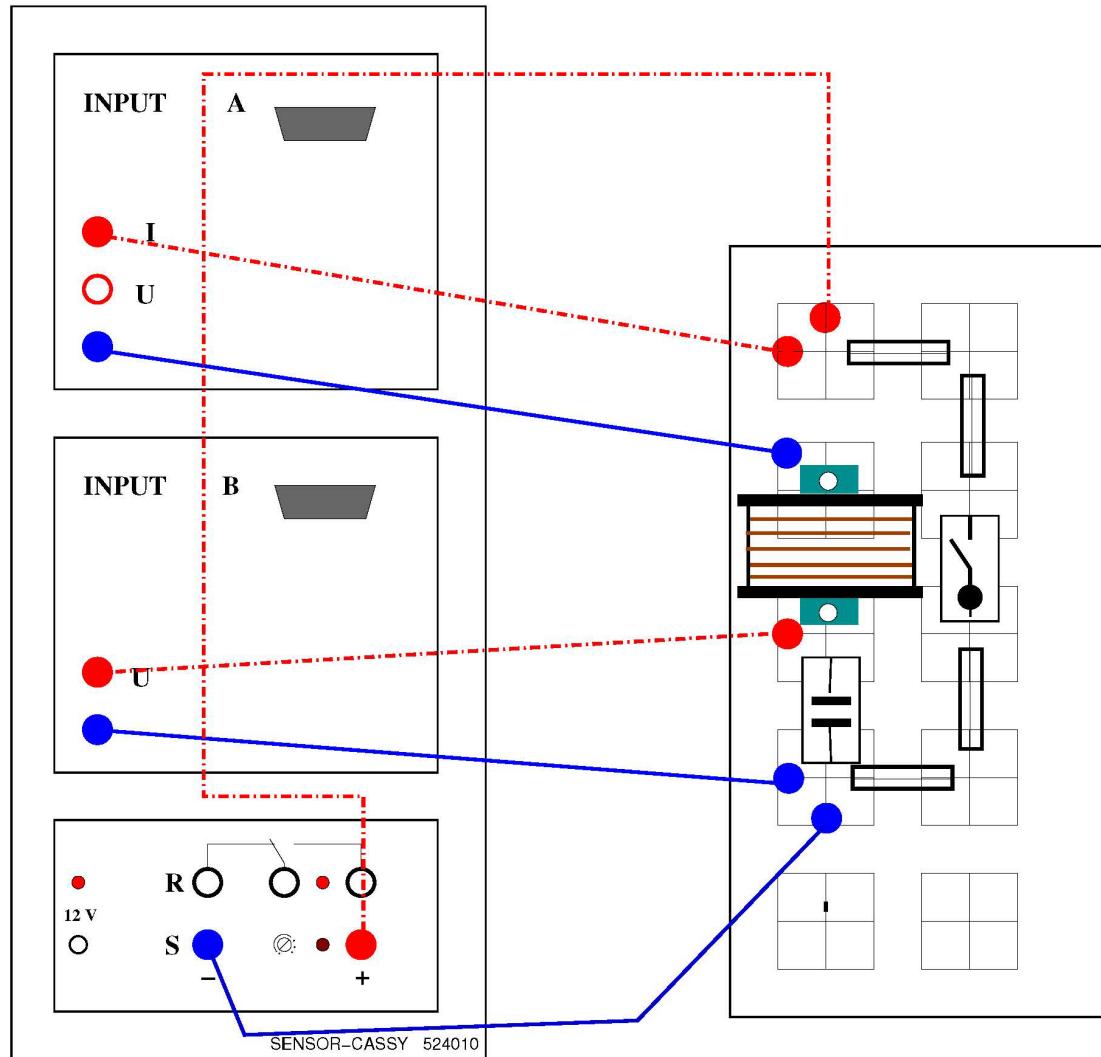
$$U_{sys} : (0,01 \cdot 2 + 0,005 \cdot 100) V = 0,52 V$$

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

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

Sinnvolle Messbereich vorher überlegen und MU durch Messung bestimmen!

Signaldigitalisierung, Beispiel gedämpfter Schwingkreis



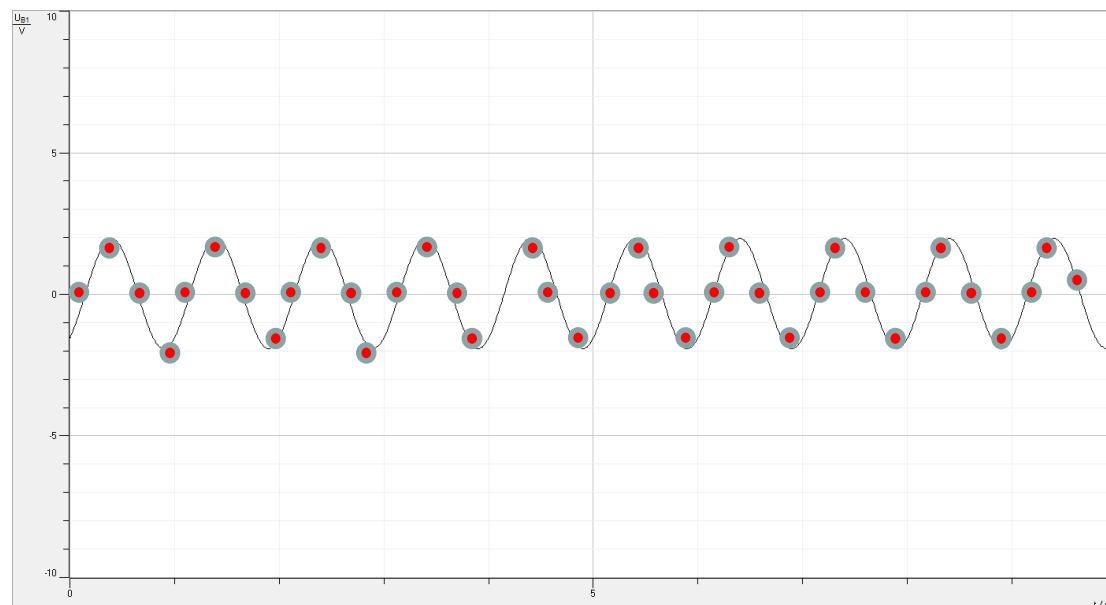
Signaldigitalisierung

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

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

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

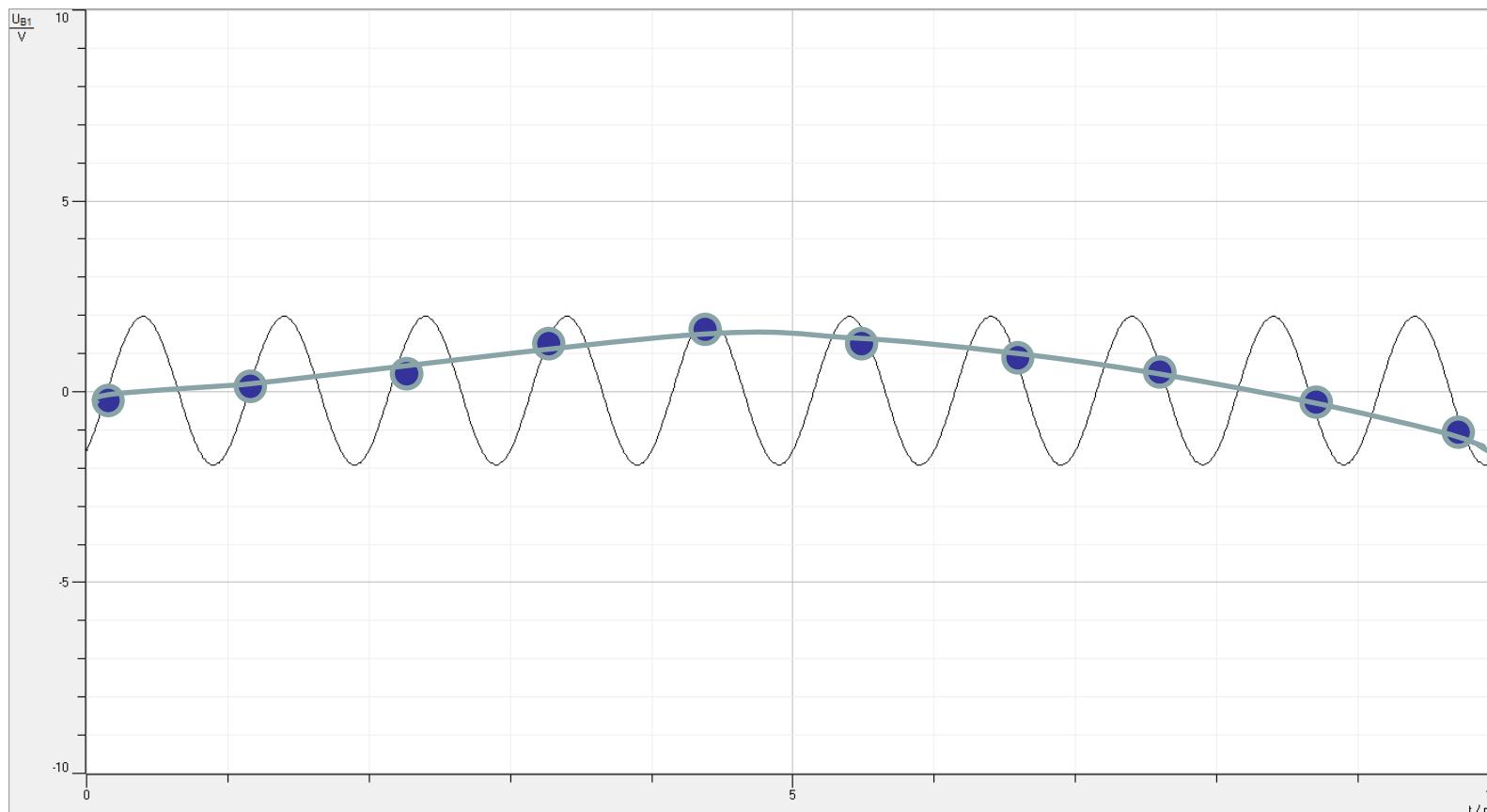
$$f_{\text{Abtastung}} > 2 \cdot f_{\text{Signal}}$$



Signaldigitalisierung

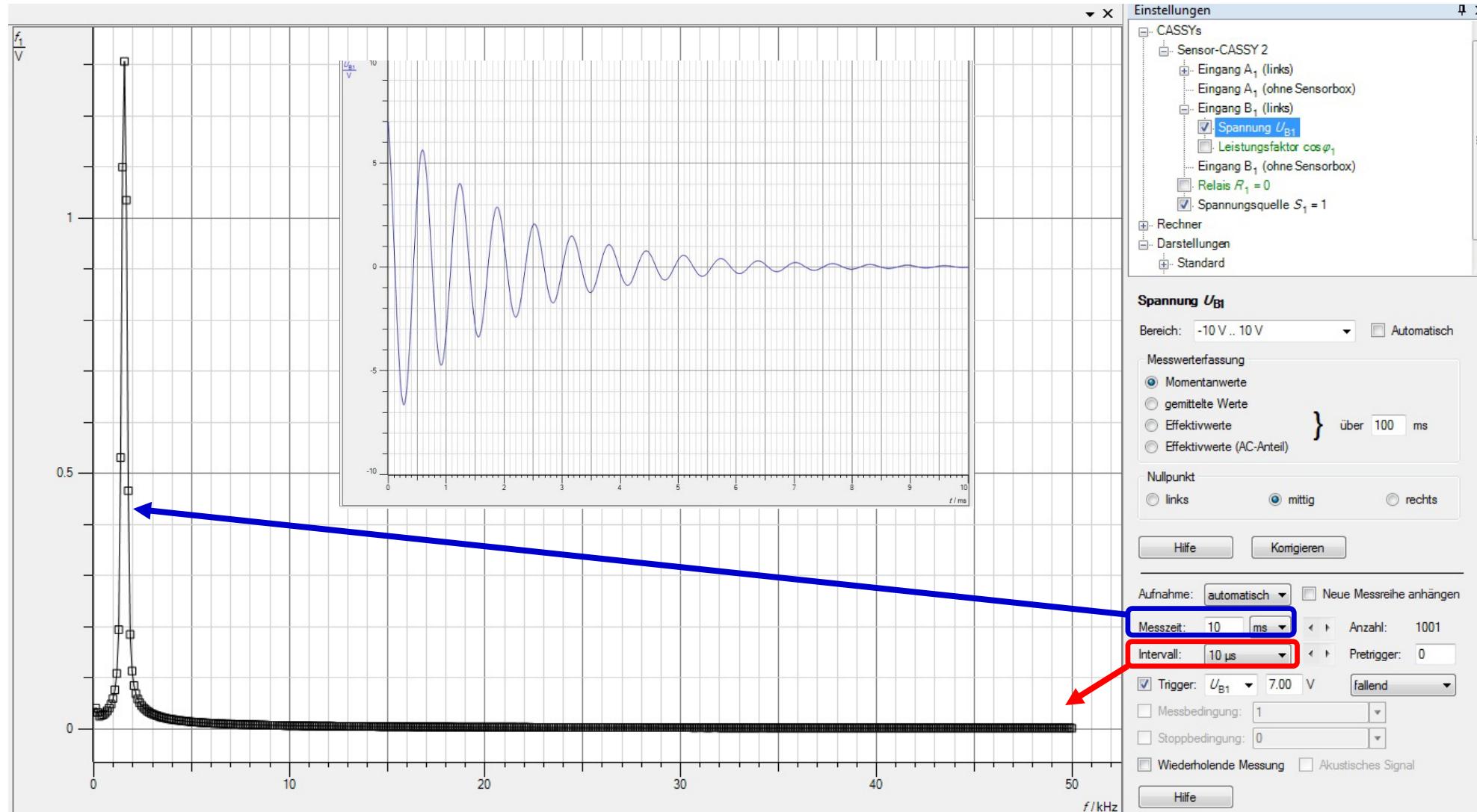
Nyquist Shannon Theorem $f_{\text{Abtastung}} > 2 \cdot f_{\text{Signal}}$

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

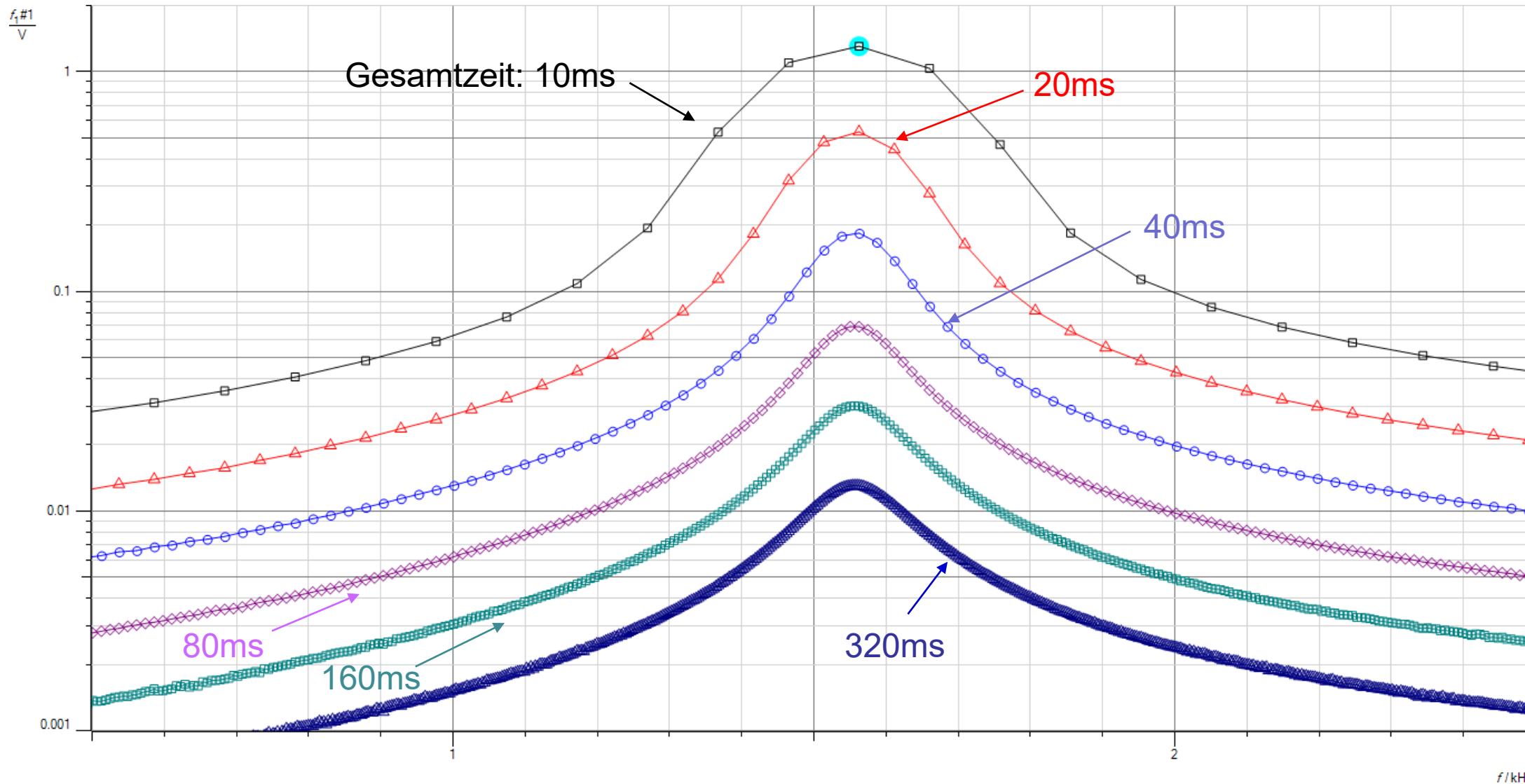


Frequenzbereich und Abtastung CASSY 2 FFT

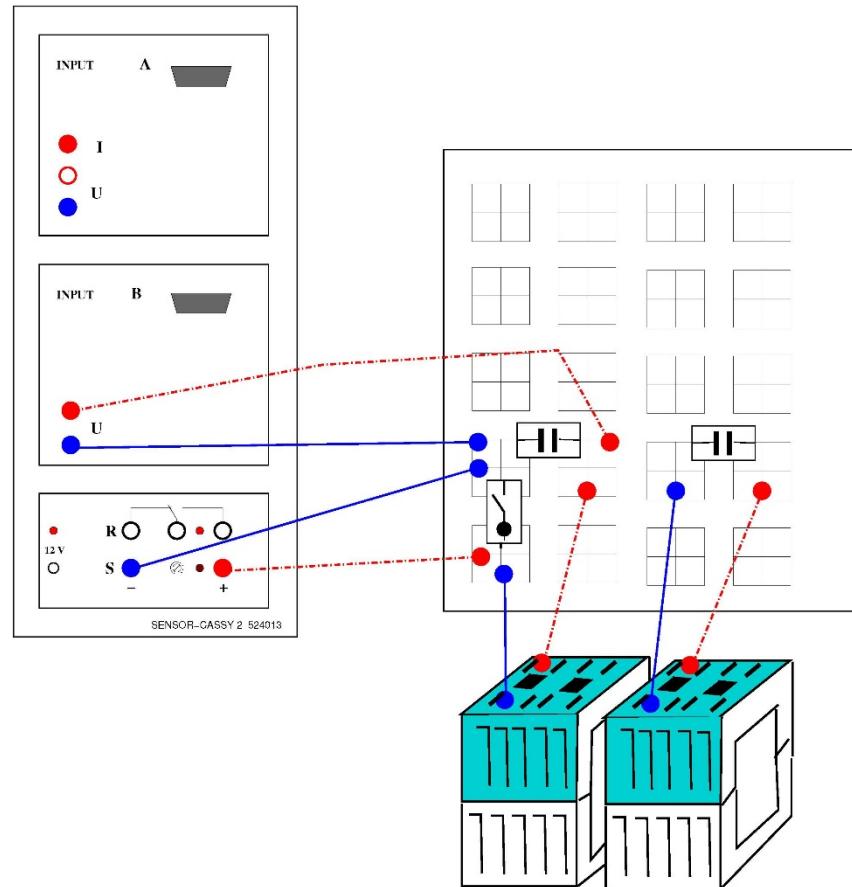
Messzeit Intervall gibt maximale Frequenz /2 vor
Gesamt-Messzeit gibt Abtastung vor



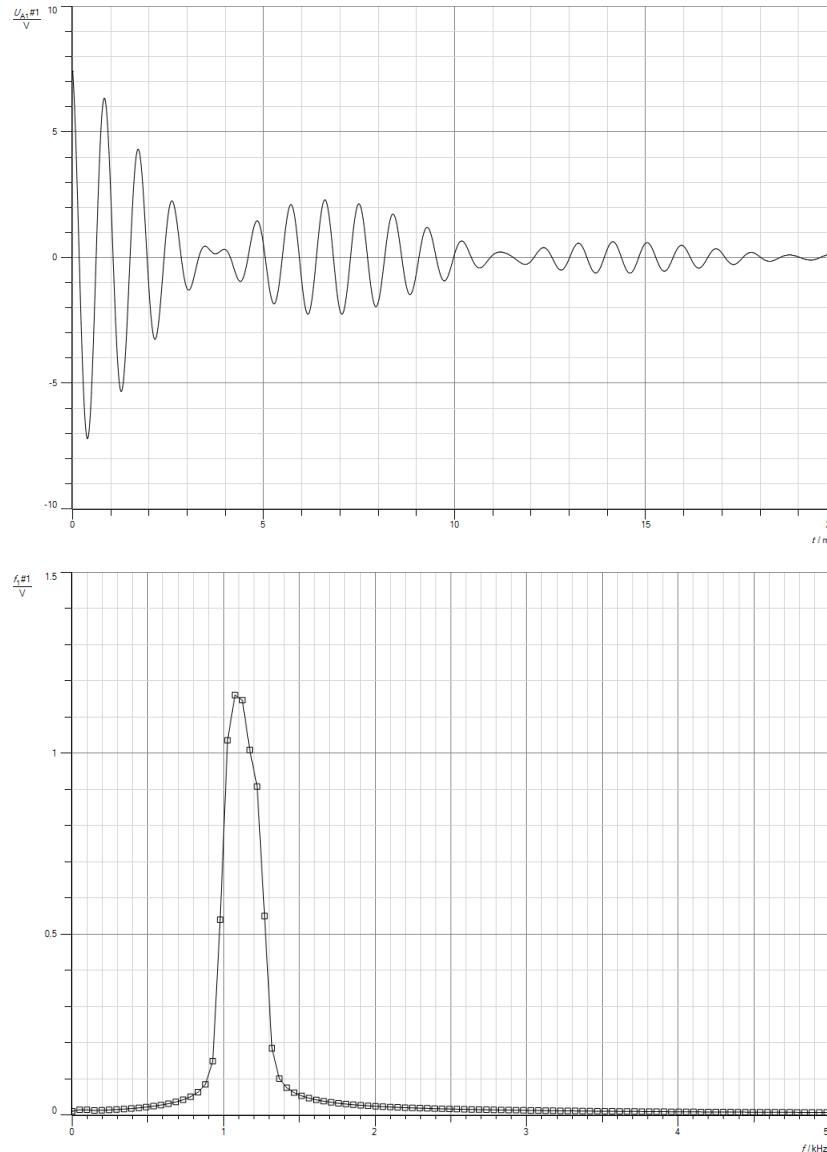
Frequenzbereich und Abtastung,CASSY 2 FFT



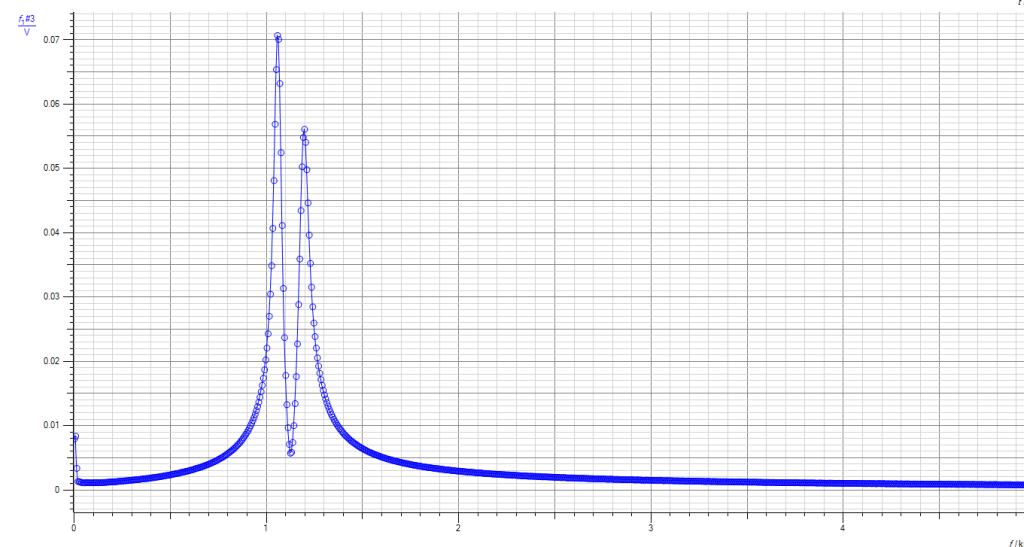
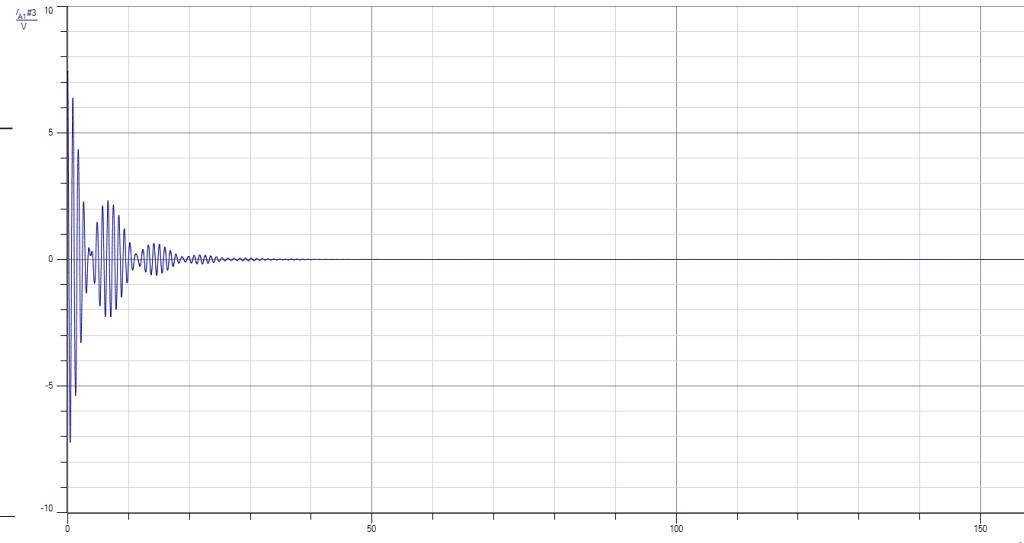
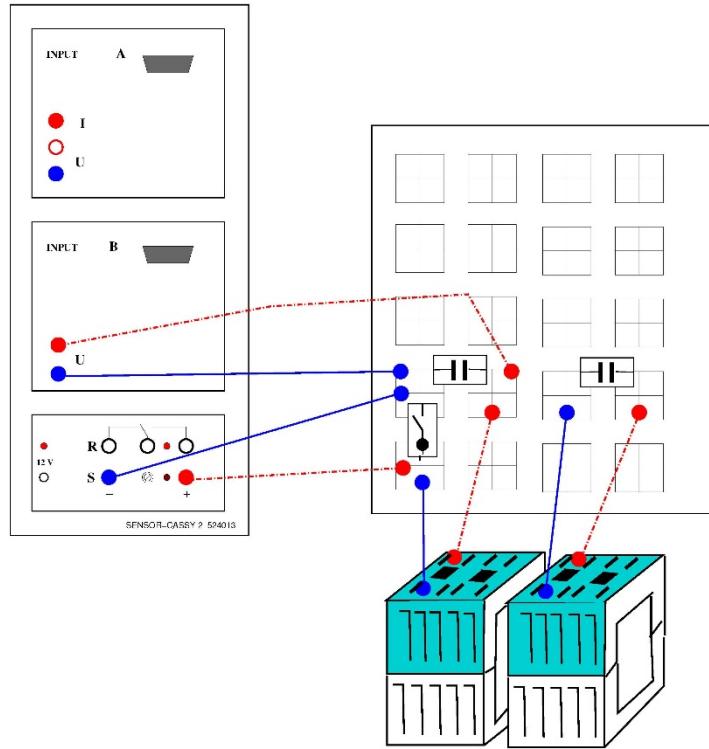
Gekoppelte Schwingungen: Das Ende der CASSY FFT oder bessere Abtastung?



Gesamtzeit 20 ms reicht nicht zur Auflösung
der beiden Fundamentalschwingungen

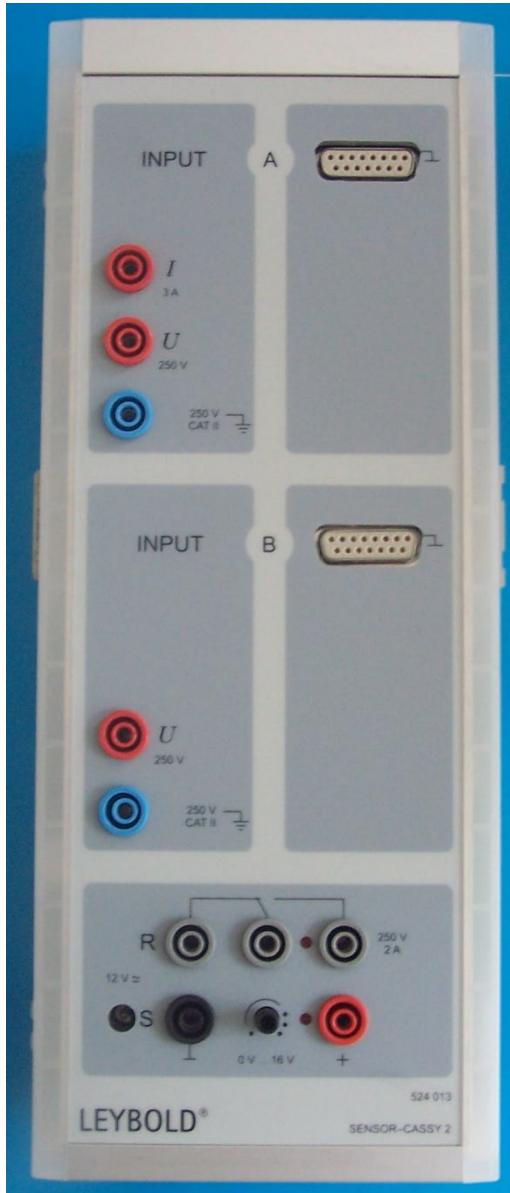


Gekoppelte Schwingungen: Das Ende der CASSY FFT oder bessere Abtastung?

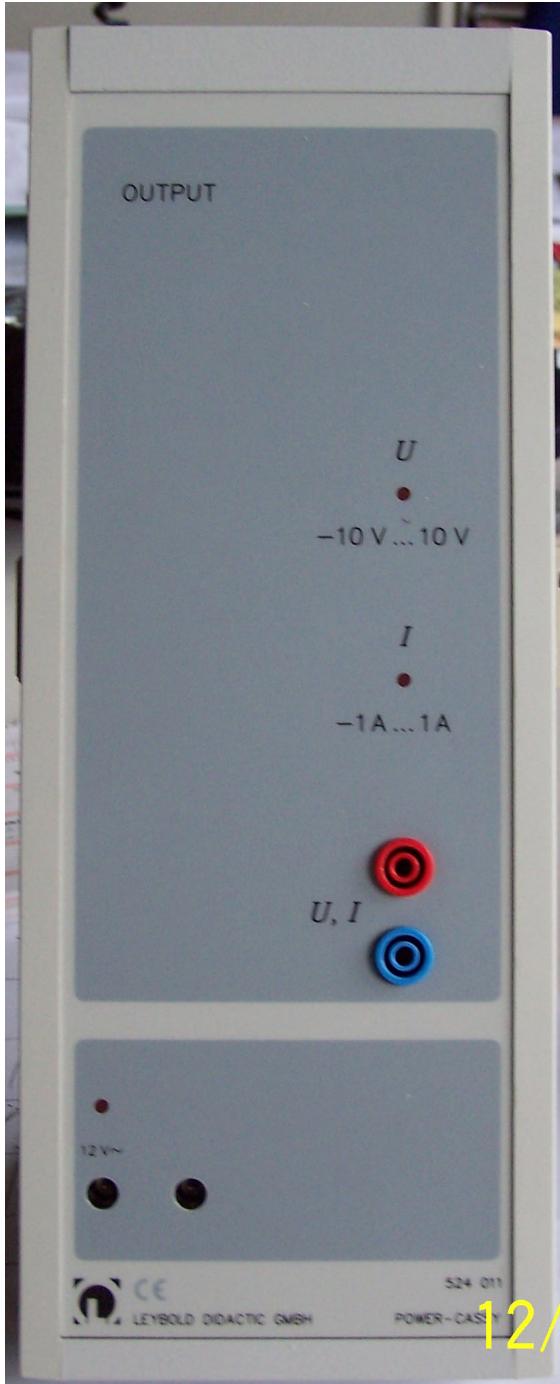


Gesamtmesszeit 160 ms reicht zur Auflösung
der beiden Fundamentalschwingungen

Zusammenfassung Sensor Cassy 2



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



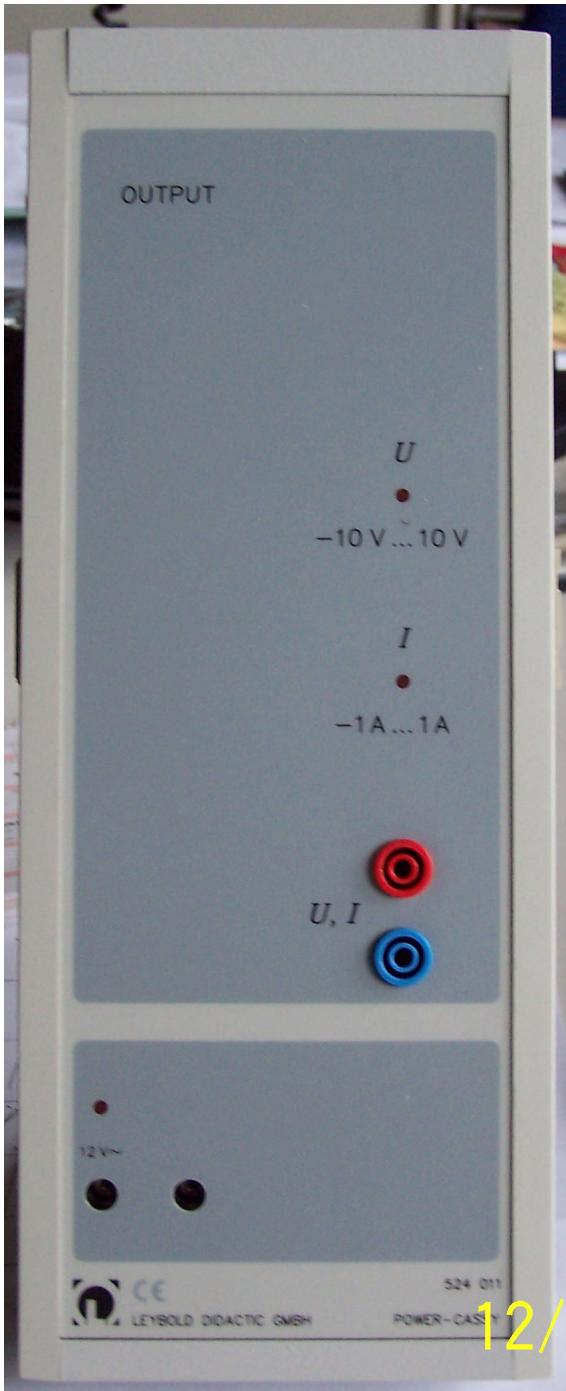
Funktionsgenerator Power Cassy

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

Anschluß an USB-Port oder über Sensor Cassy 2

Spannungsversorgung:

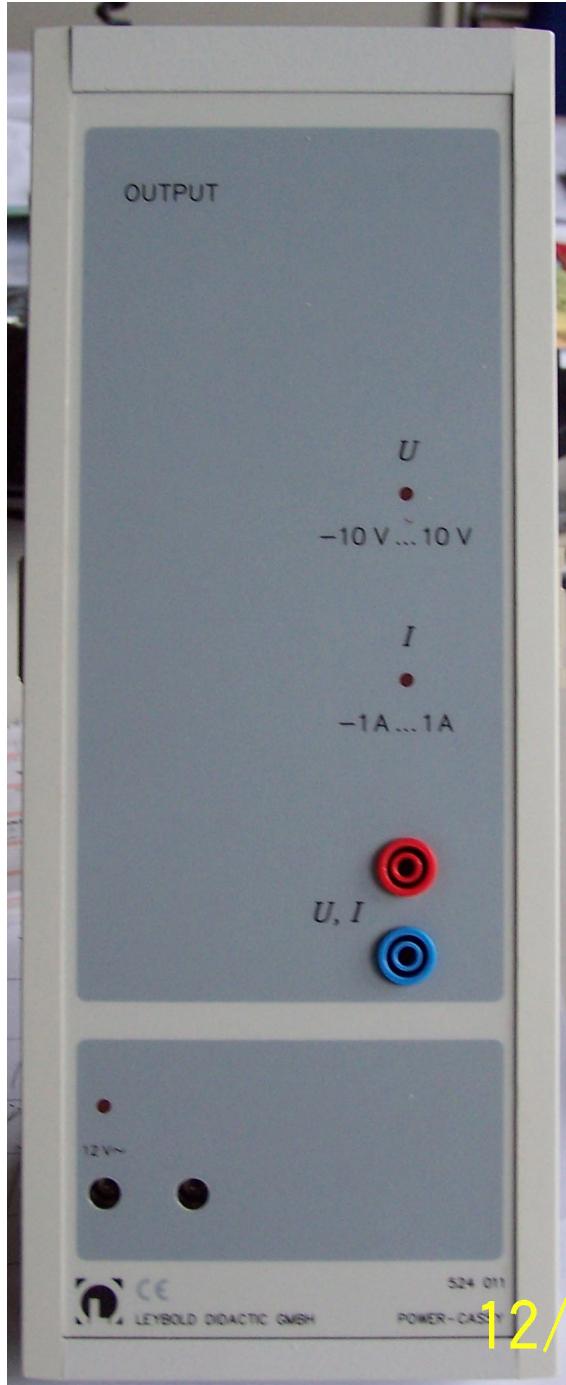
12V AC/DC über Hohlstecker oder benachbartes
Cassy 2 Modul



Funktionsgenerator Power Cassy

Programmierbare Stromquelle mit gleichzeitiger Spannungsmessung:

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

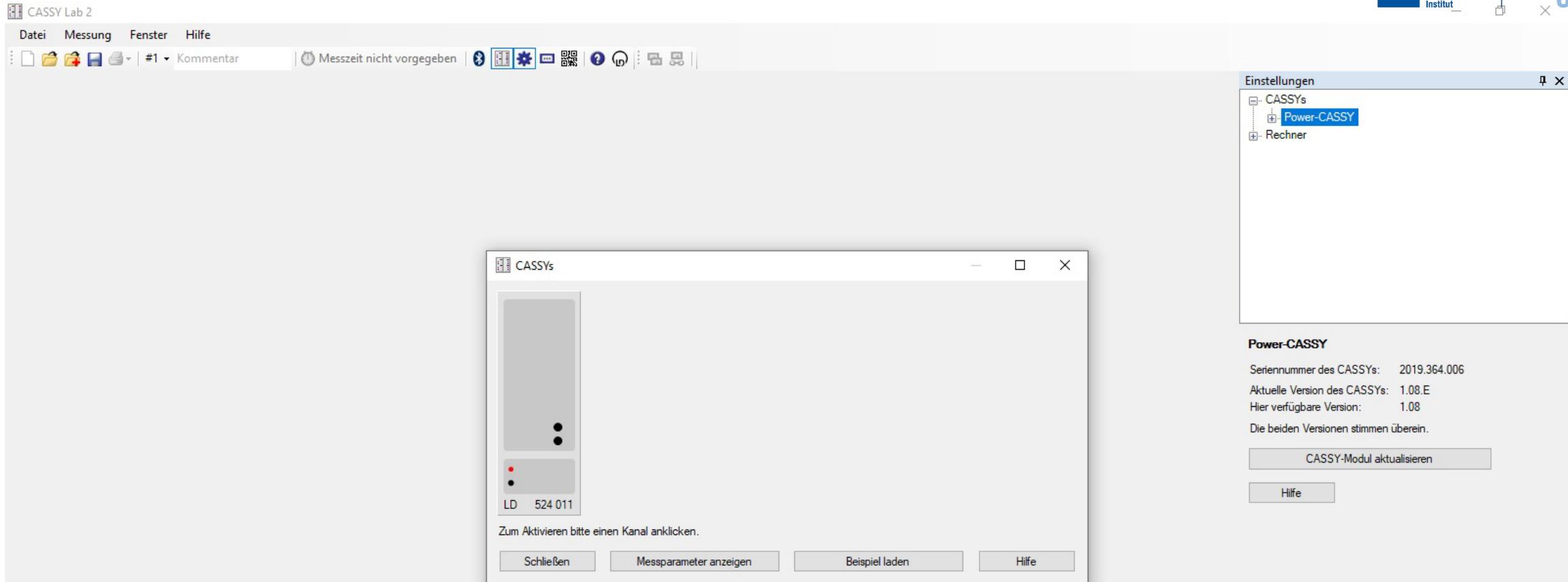


Funktionsgenerator Power Cassy

Programmierbare Spannungsquelle mit gleichzeitiger Strommessung:

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

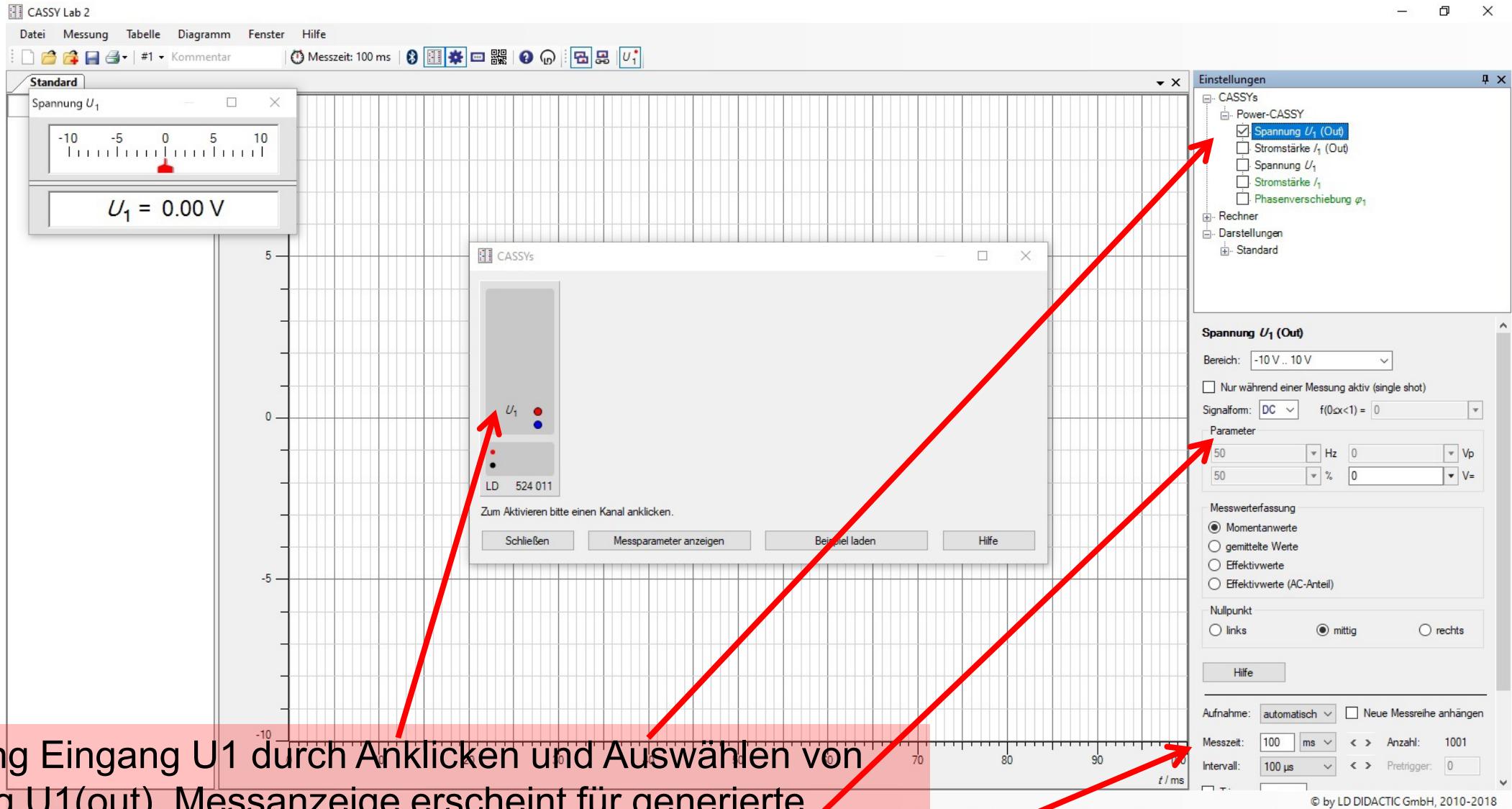
Power Cassy in Cassy Lab2



Alles OK und einsatzbereit

Power Cassy angeschlossen über USB-Port → automatische Erkennung

Cassy Lab 2, Einstellungen Power Cassy



Aktivierung Eingang U1 durch Anklicken und Auswählen von Spannung U1(out), Messanzeige erscheint für generierte Spannung U1 (out) → Einstellungen Spannung U1 (out) aktiviert, Messparameter für Daten-Aufnahme einstellbar

Cassy Lab 2, Einstellungen Power Cassy

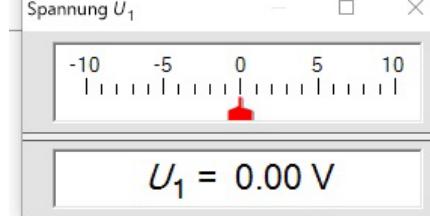
CASSY Lab 2

Datei Messung Tabelle Diagramm Fenster Hilfe

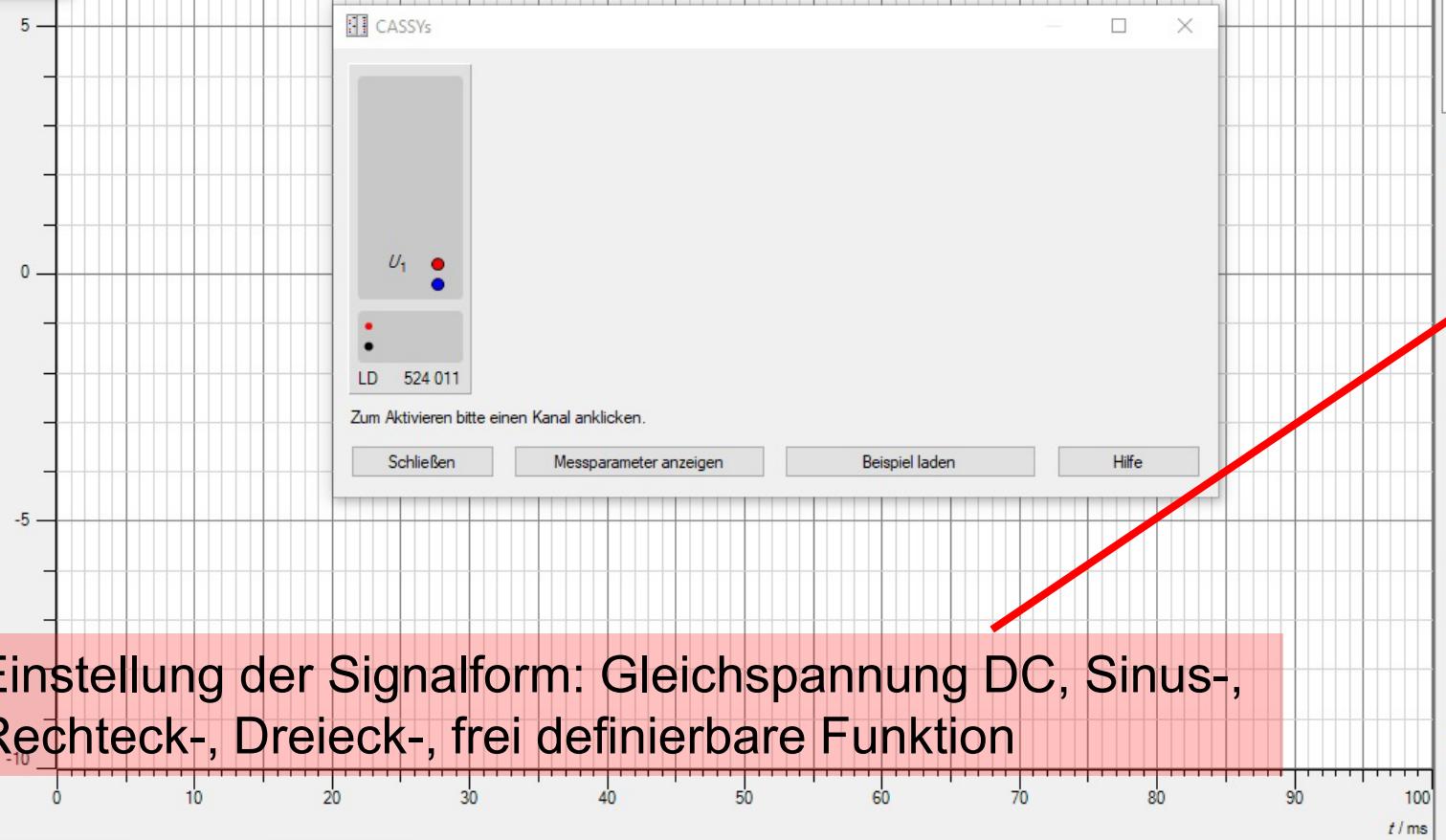
| #1 | Kommentar

Standard

Standard



$$U_1 = 0.00 \text{ V}$$



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

The screenshot shows the 'Einstellungen' (Settings) window with the following configuration:

- Power-CASSY** group:
 - Spannung U_1 (Out)
 - Stromstärke I_1 (Out)
 - Spannung U_1
 - Stromstärke I_1
 - Phasenverschiebung φ_1
- Rechner** group
- Darstellungen** group
 - Standard

Spannung U_1 (Out)

Bereich:

Nur während einer Messung aktiv (single shot)

Signalform: | 50 | Hz | 0 |
| 50 | % | 0 |

Messwerte: $f(x)$

Momentanwerte

gemittelte Werte

Effektivwerte

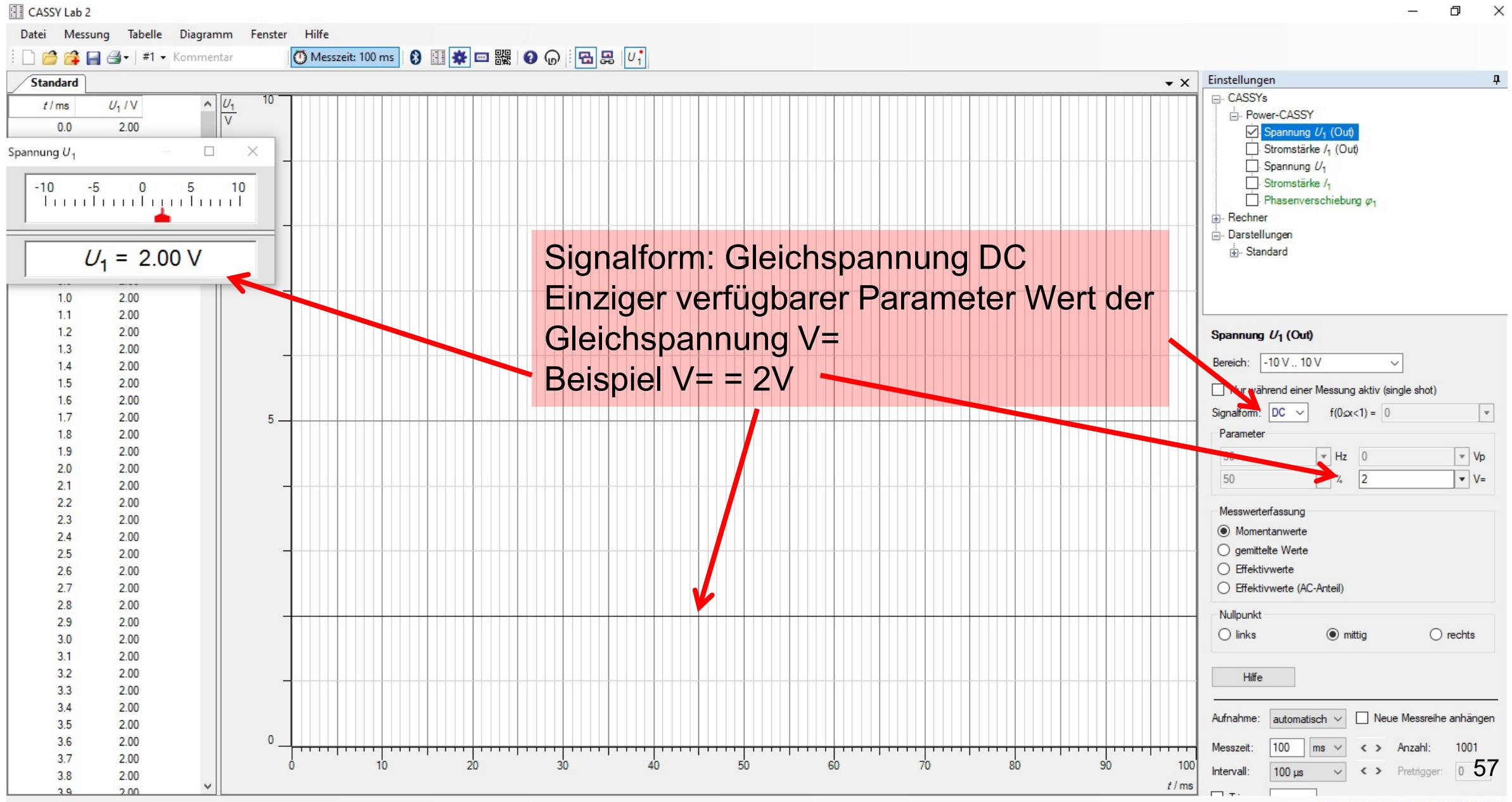
Effektivwerte (AC-Anteil)

Nullpunkt

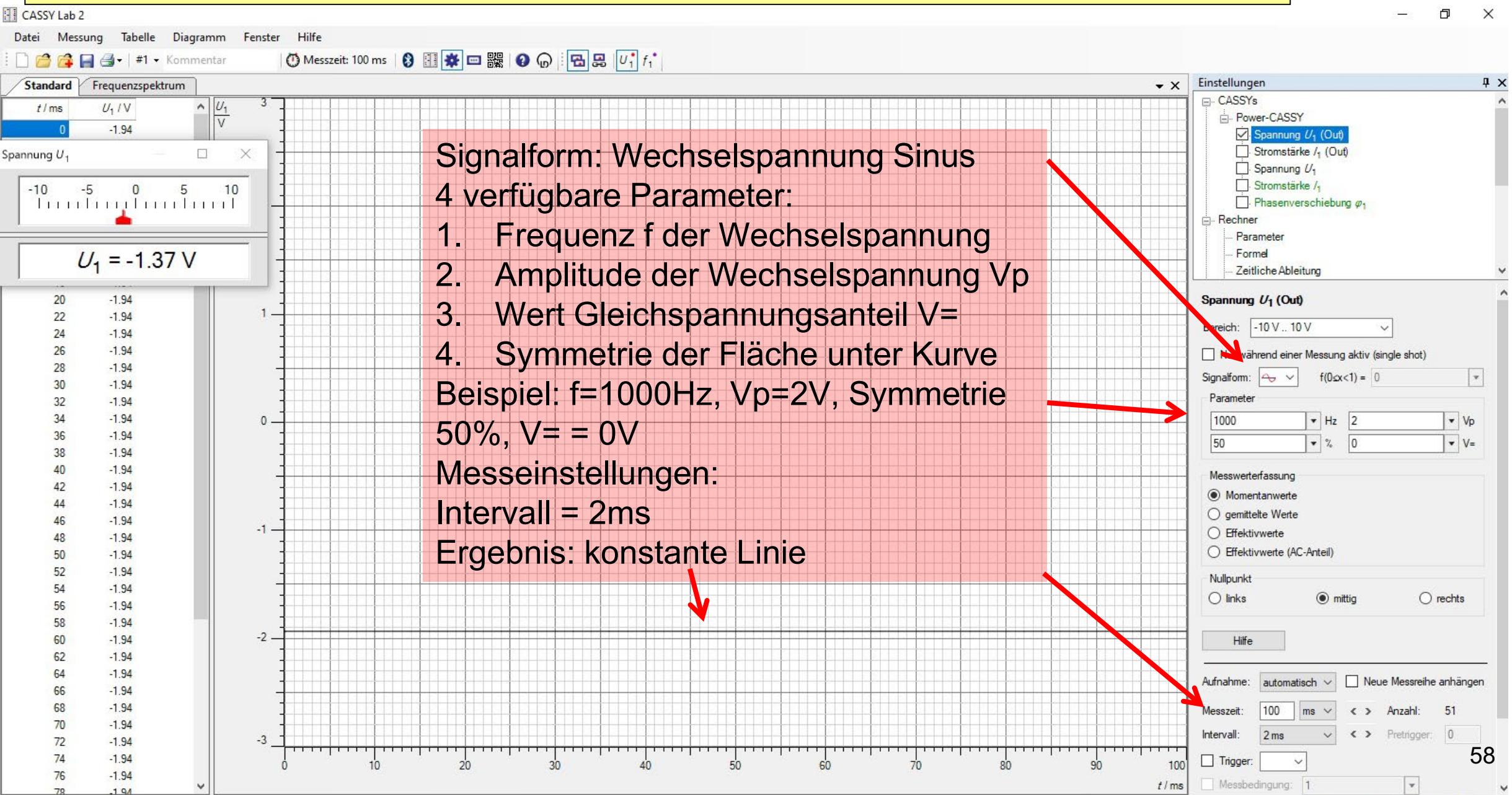
links mittig rechts

Aufnahme:	automatisch	<input type="checkbox"/> Neue Messreihe anhängen
Messzeit:	100	ms
Intervall:	100 µs	

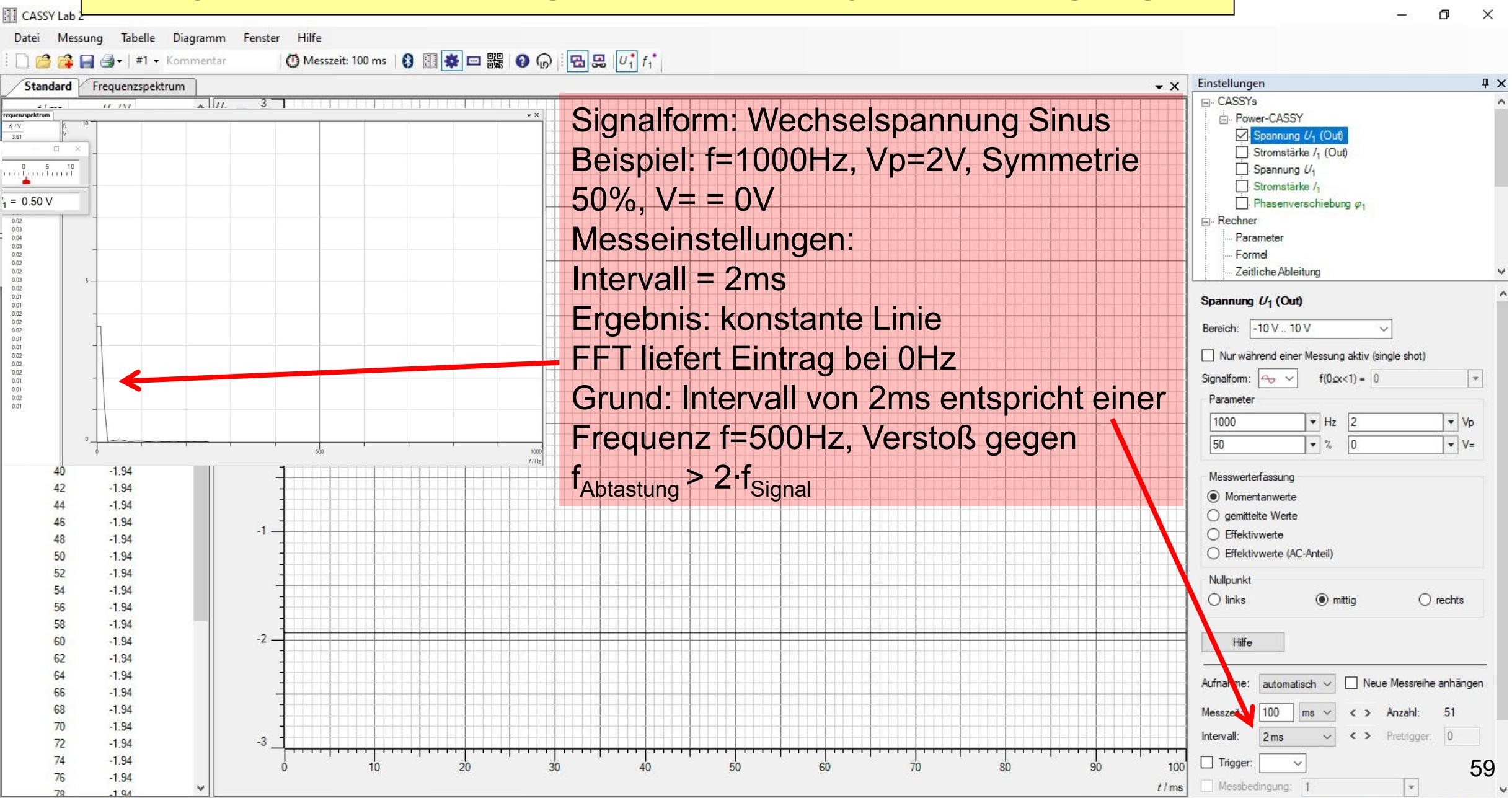
Cassy Lab 2, Einstellungen Power Cassy



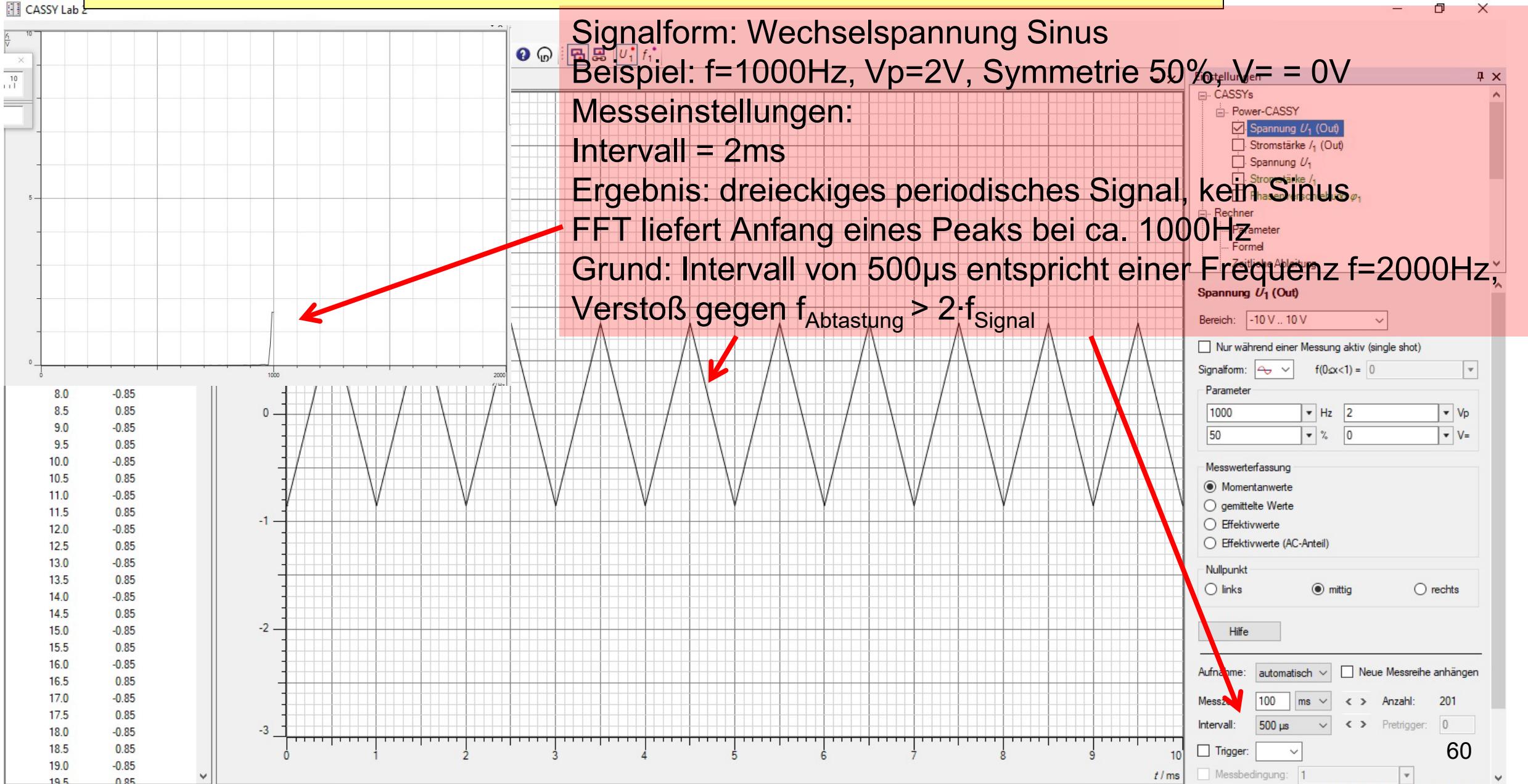
Cassy Lab 2, Einstellungen Power Cassy, Signaldigitalisierung



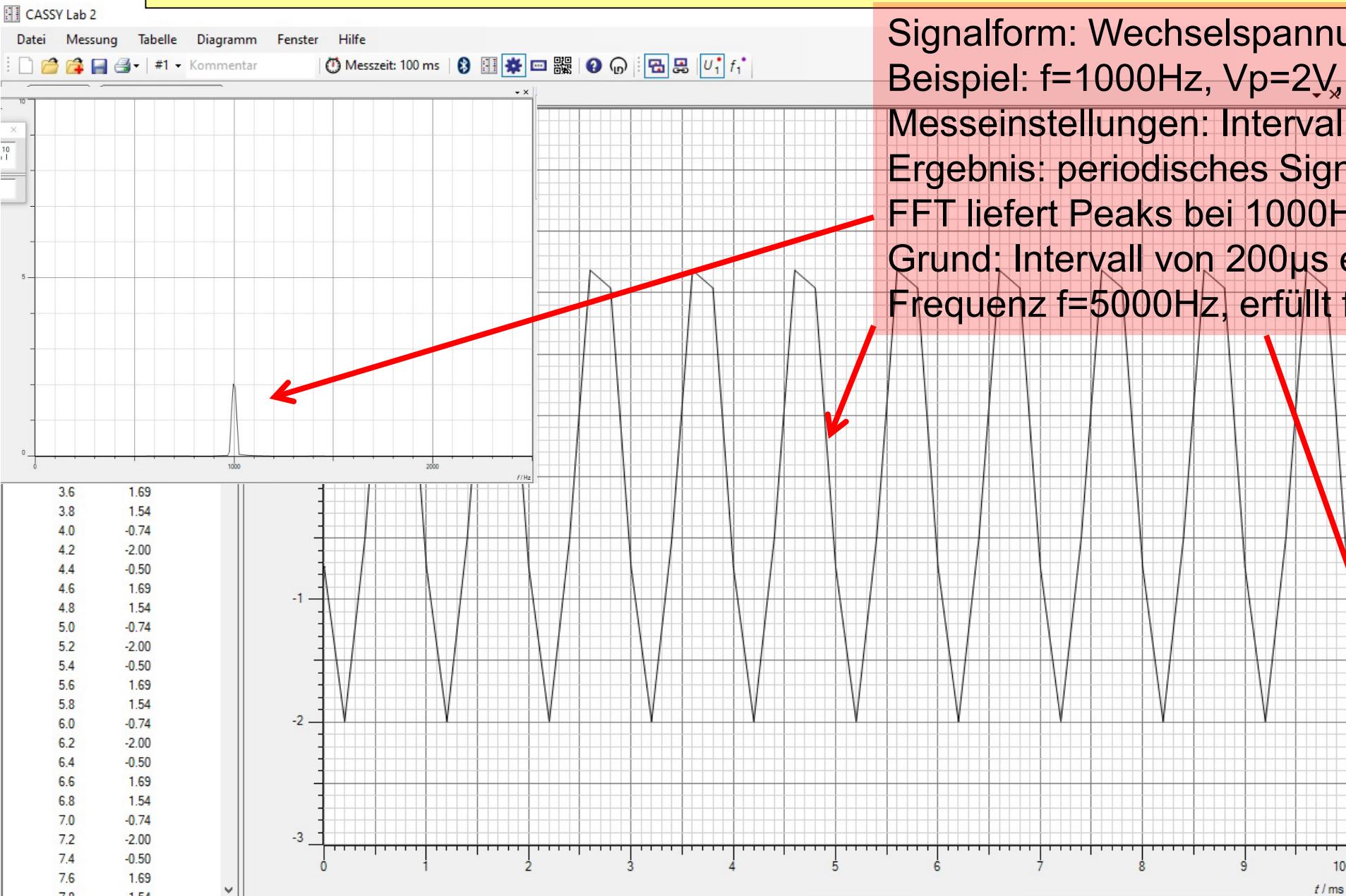
Cassy Lab 2, Einstellungen Power Cassy, Abtastung Signal



Cassy Lab 2, Einstellungen Power Cassy, Abtastung Signal



Cassy Lab 2, Einstellungen Power Cassy, Abtastung Signal



Signalform: Wechselspannung Sinus

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

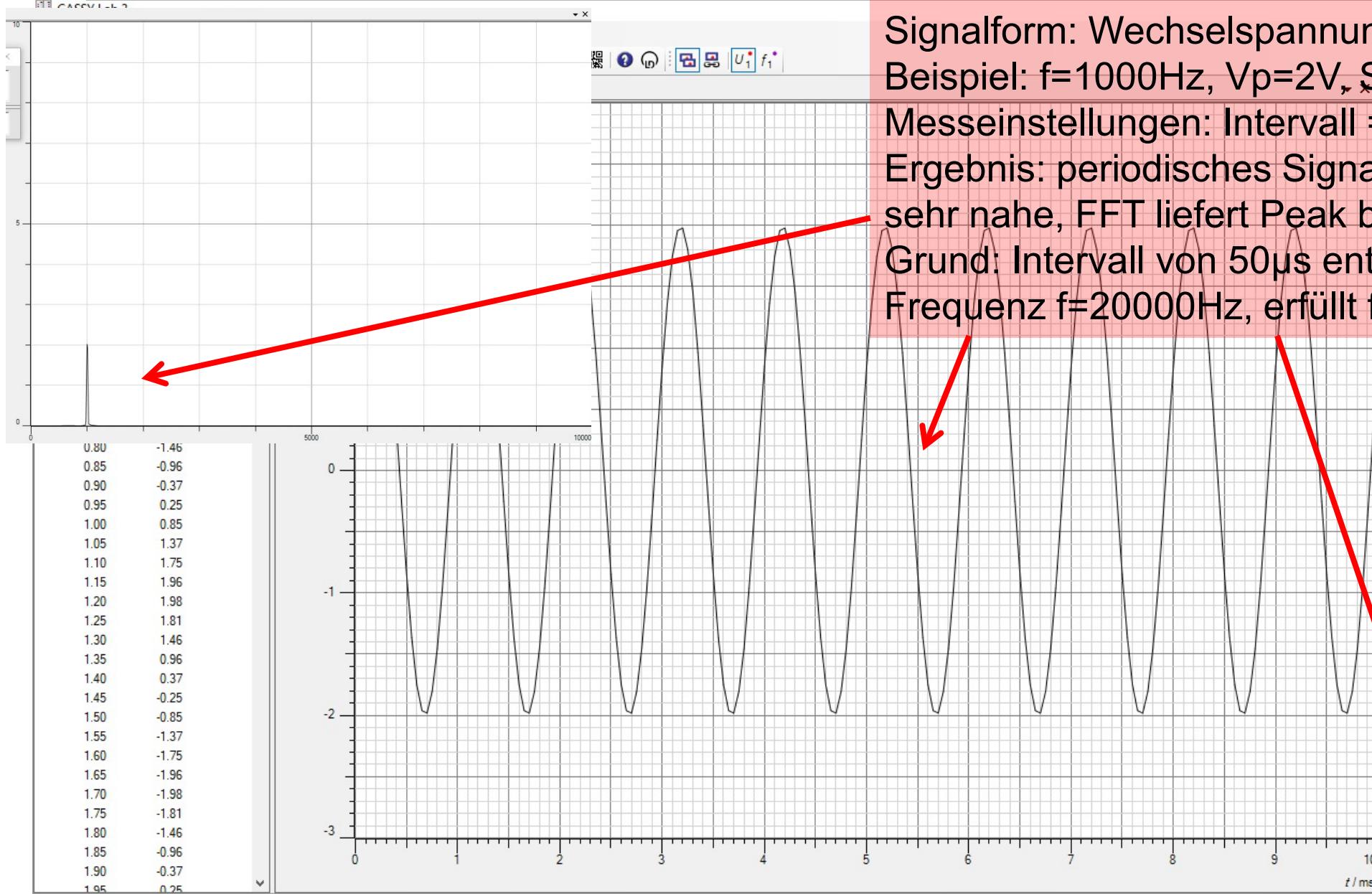
Messeinstellungen: Intervall = 200µs

Ergebnis: periodisches Signal, aber noch kein Sinus

FFT liefert Peaks bei 1000Hz

Grund: Intervall von 200µs entspricht einer Frequenz $f=5000\text{Hz}$, erfüllt $f_{\text{Abtastung}} > 2 \cdot f_{\text{Signal}}$

Cassy Lab 2, Einstellungen Power Cassy, Abtastung Signal



Signalform: Wechselspannung Sinus

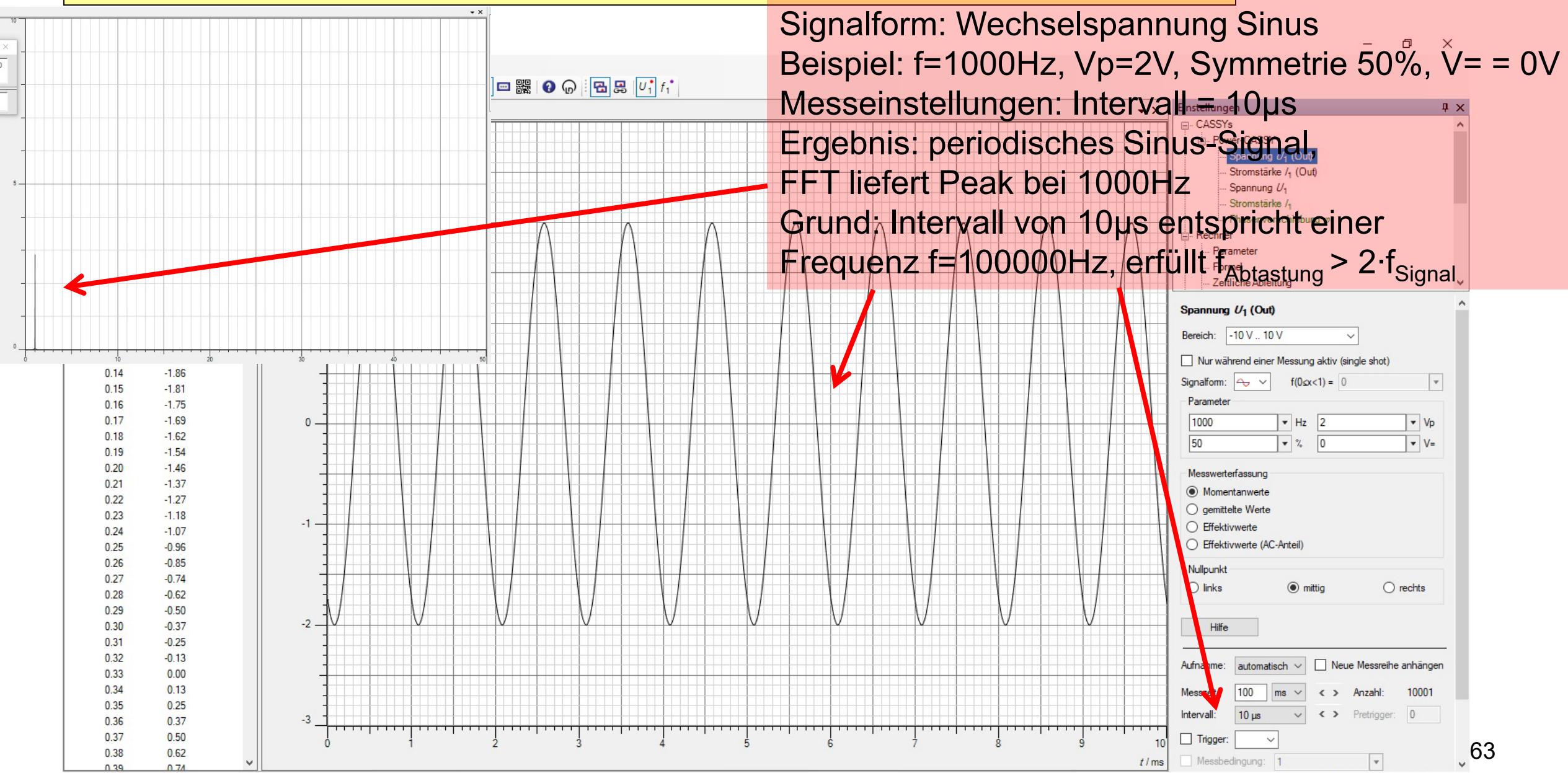
Beispiel: $f=1000\text{Hz}$, $V_p=2\text{V}$, Symmetrie 50%, $V=0\text{V}$

Messeinstellungen: Intervall = 50μs

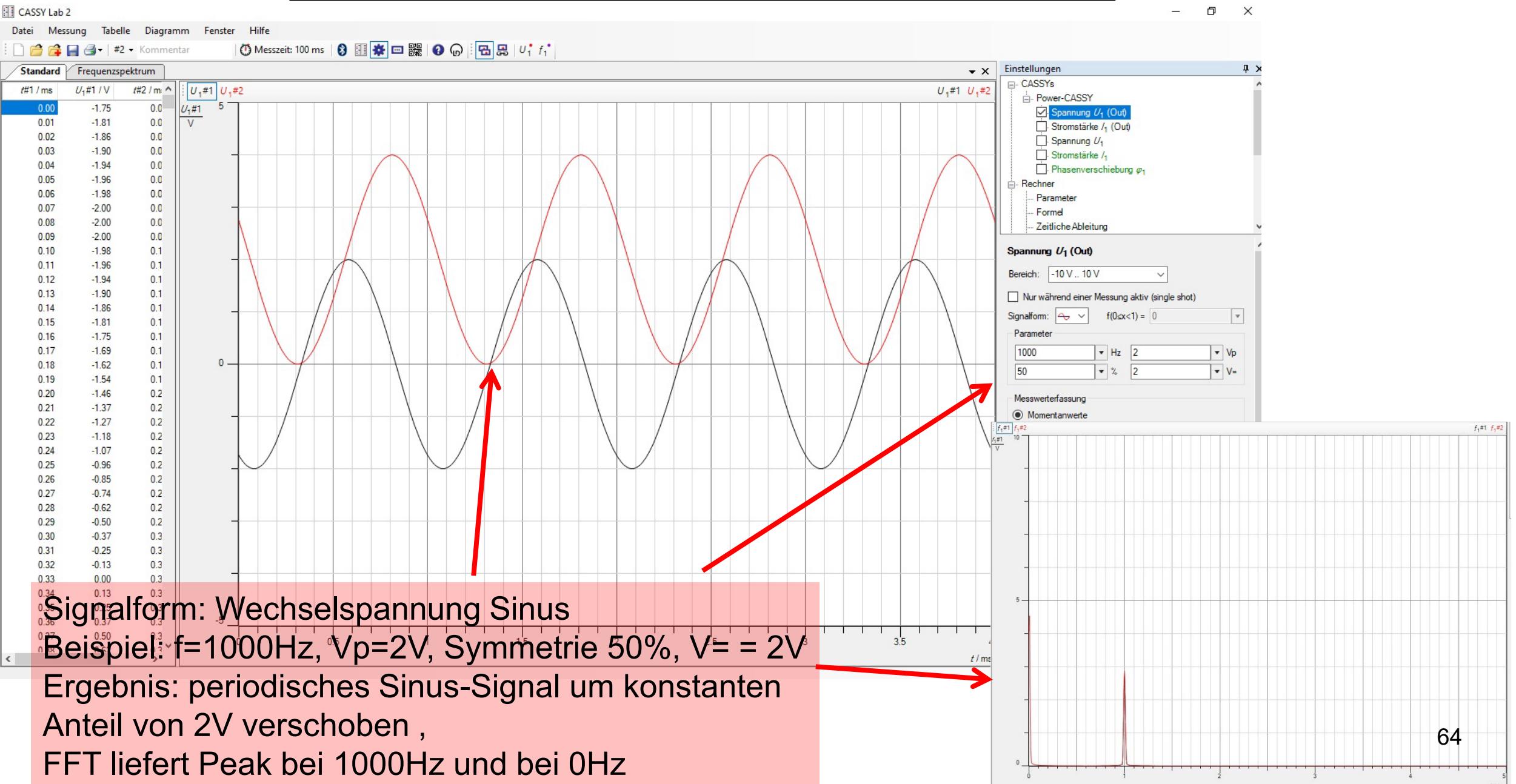
Ergebnis: periodisches Signal, kommt Sinusverlauf sehr nahe, FFT liefert Peak bei 1000Hz

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

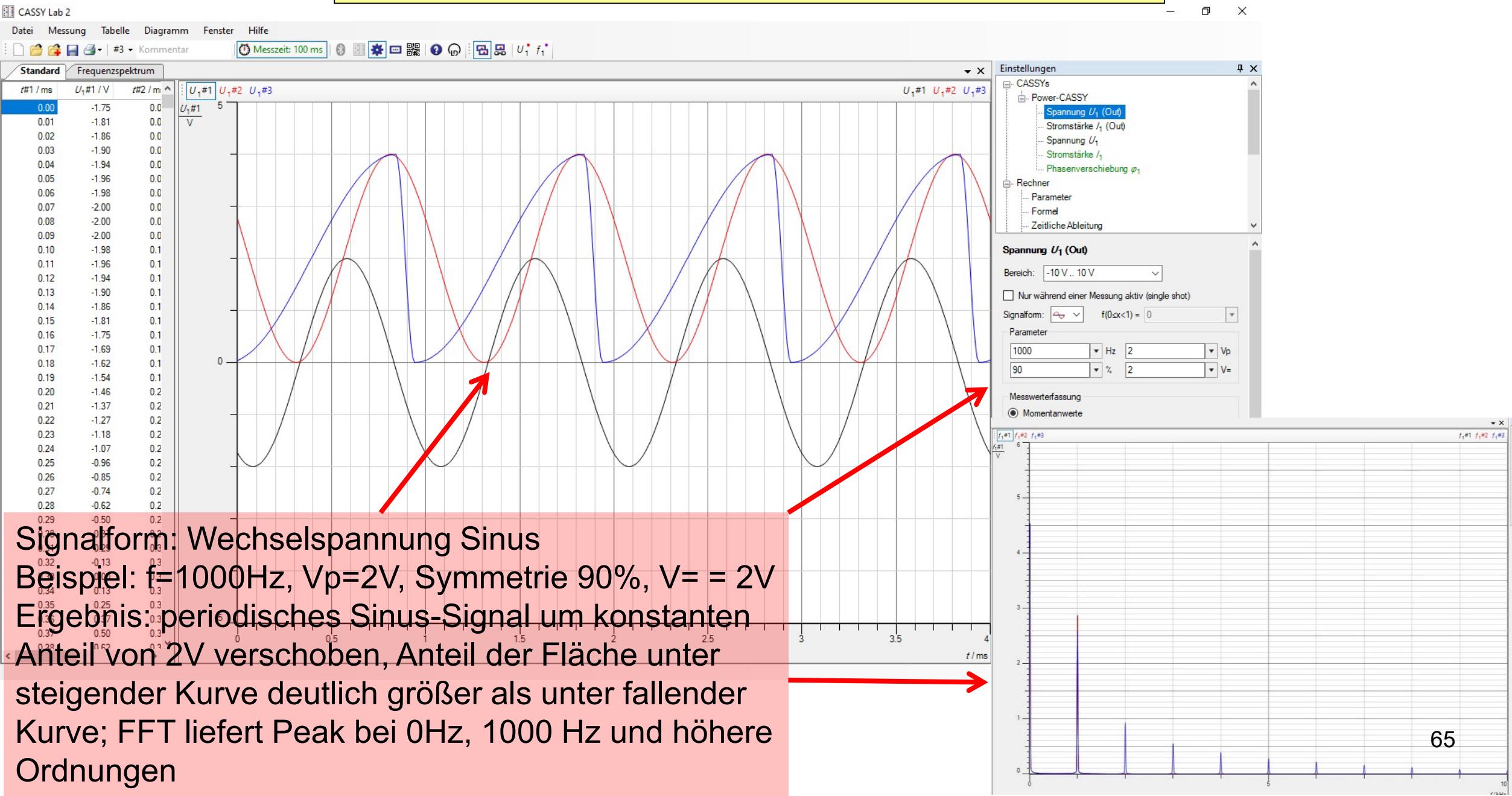
Cassy Lab 2, Einstellungen Power Cassy, Abtastung Signal



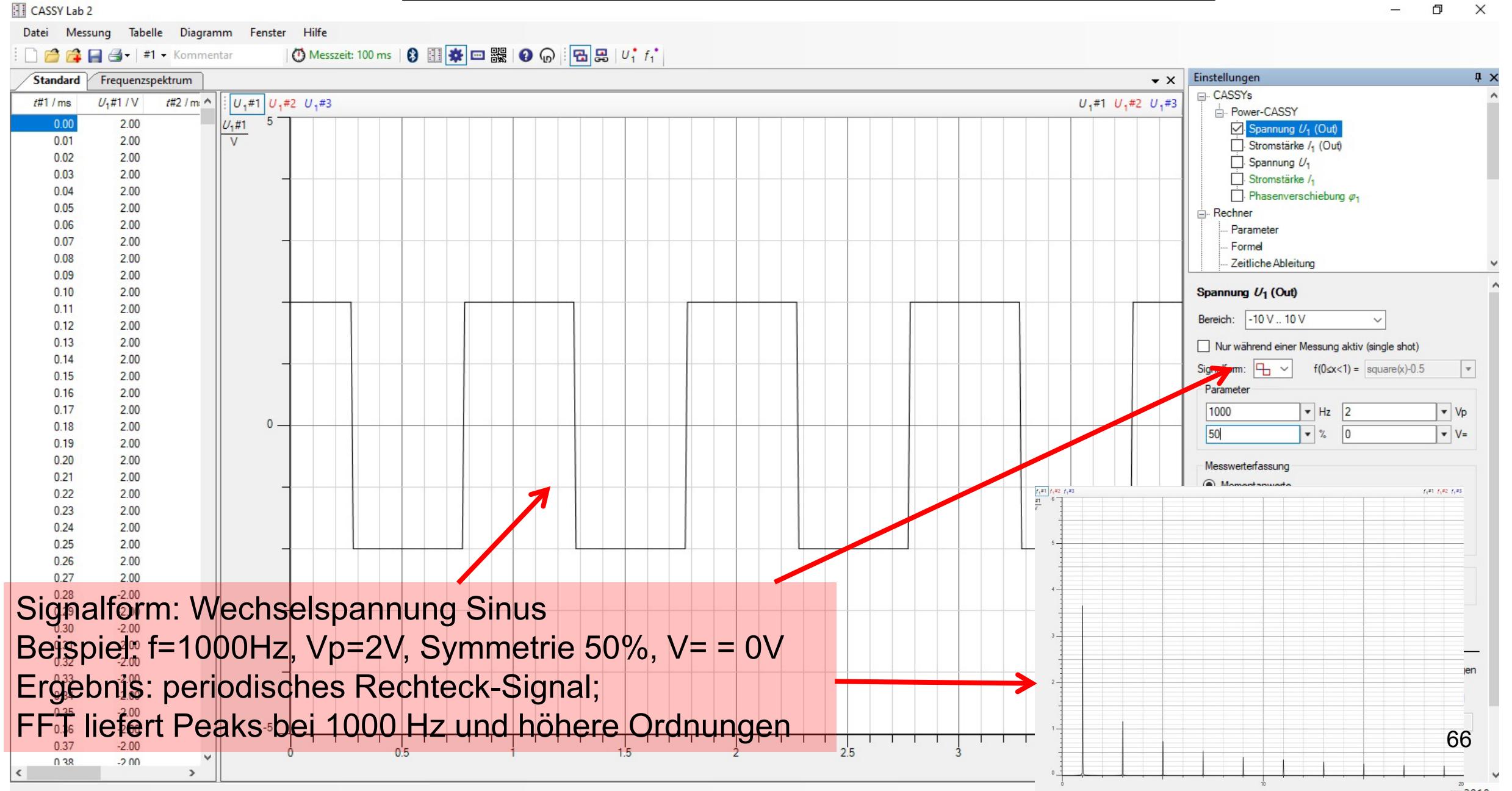
Cassy Lab 2, Einstellungen Power Cassy

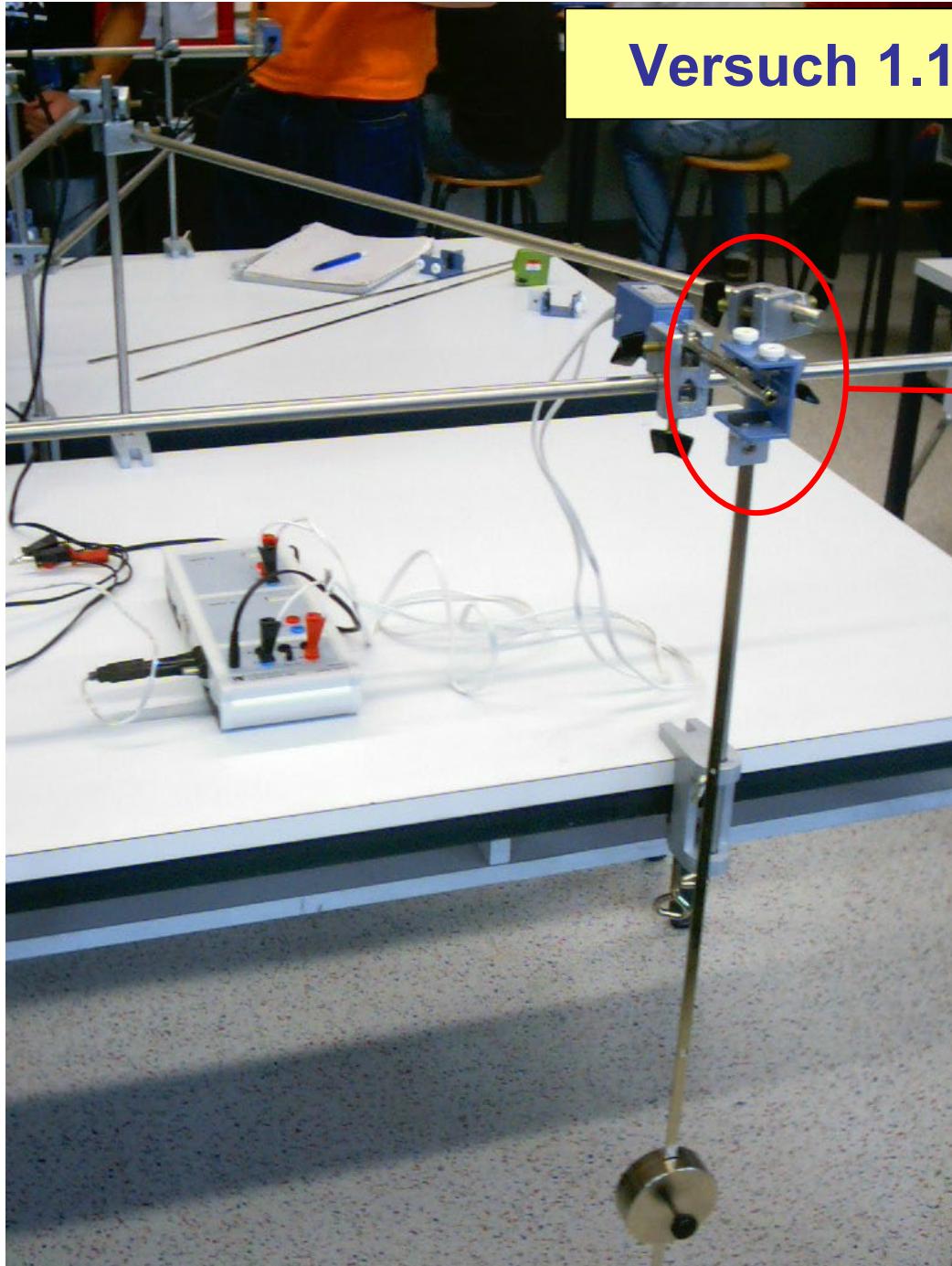


Cassy Lab 2, Einstellungen Power Cassy

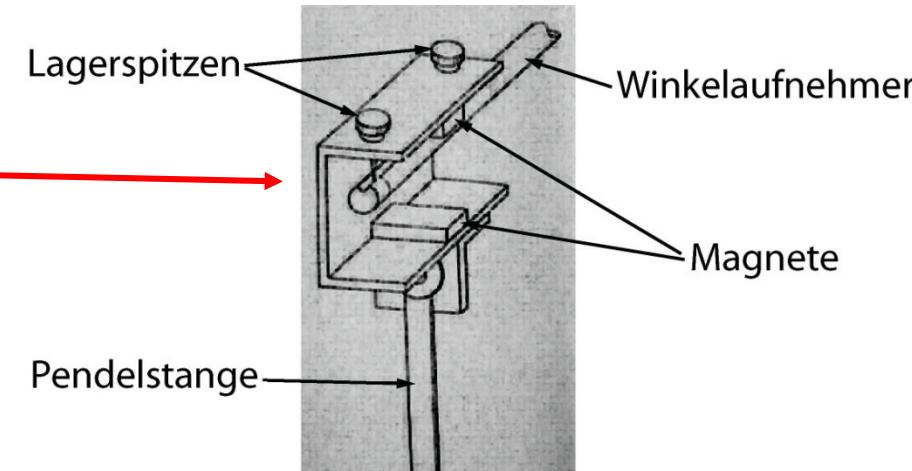


Cassy Lab 2, Einstellungen Power Cassy





Versuch 1.1 Pendel

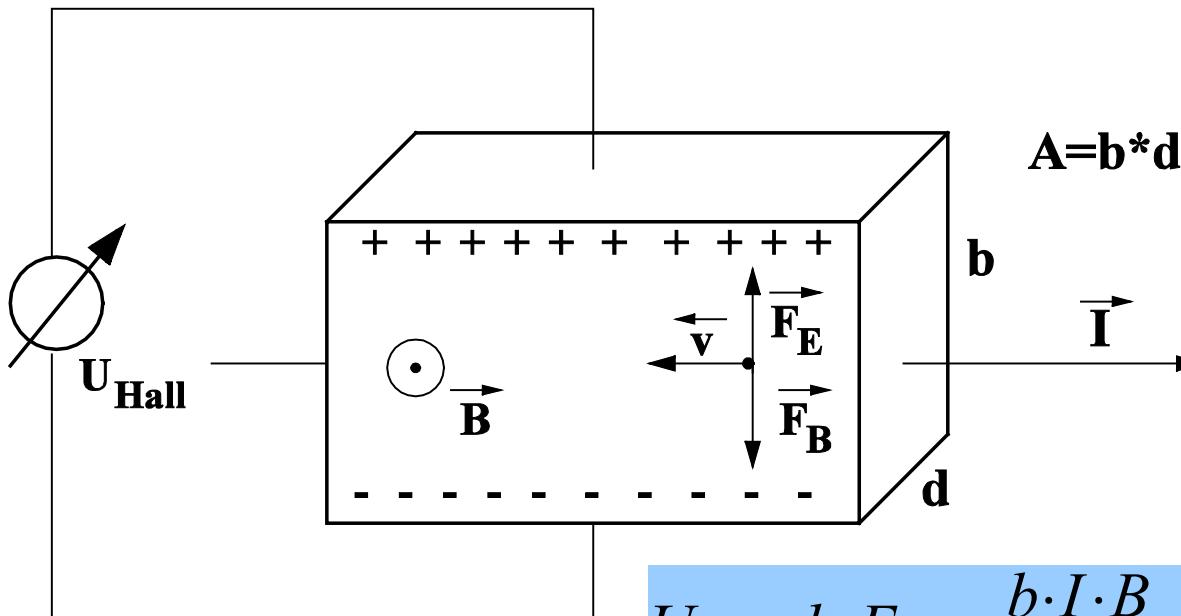


Mit Sensor Cassy können
wir Spannungen messen,
aber wie messen wir einen
Winkel?

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



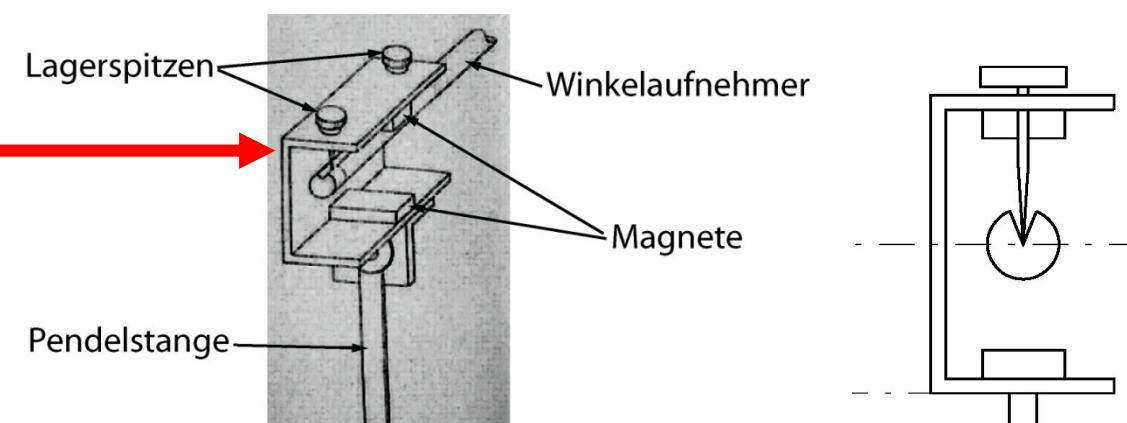
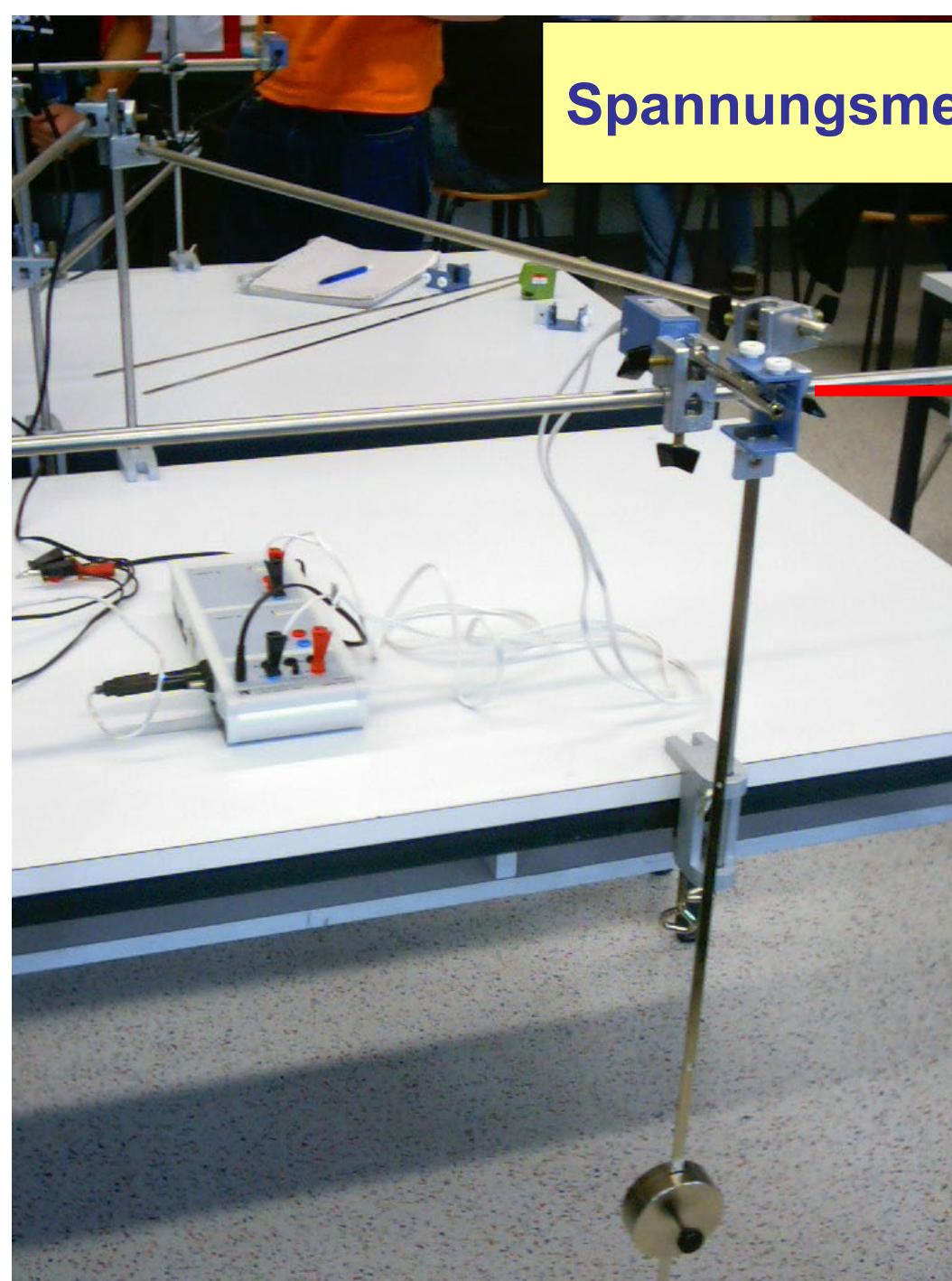
$$\vec{F}_E = -\vec{F}_B \rightarrow \vec{E}_H = \vec{v} \times \vec{B}$$

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

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

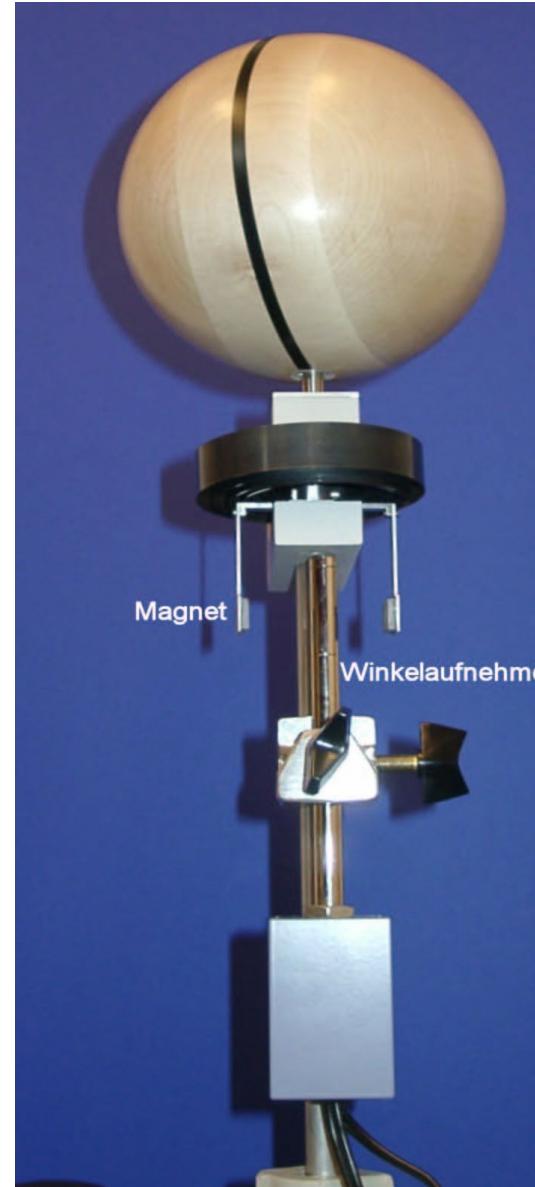
$$U_H = b \cdot E_H = \frac{b \cdot I \cdot B}{n \cdot q \cdot A} = \frac{1}{n \cdot q} \cdot \frac{B}{d} \cdot I \rightarrow R_H = \frac{1}{n \cdot q} \cdot \frac{B}{d}$$

Spannungsmessung mit Hallsonde



Orientierung der Sonde → Empfindlich
auf horizontale B-Komponente B_h
Ruhezustand → $B_h=0 \rightarrow U=0$
Auslenkung um Winkel → $B_h=B \cdot \sin\delta$
→ $U \approx B_h \approx \delta$ Linearität: $\delta = \pm 14^\circ$

Spannungsmessung mit Hallsonde



Thermospannungen - Thermistor



Thermistor: NTC

Temperaturbereich:

-20 °C ... +120 °C

Messunsicherheit:

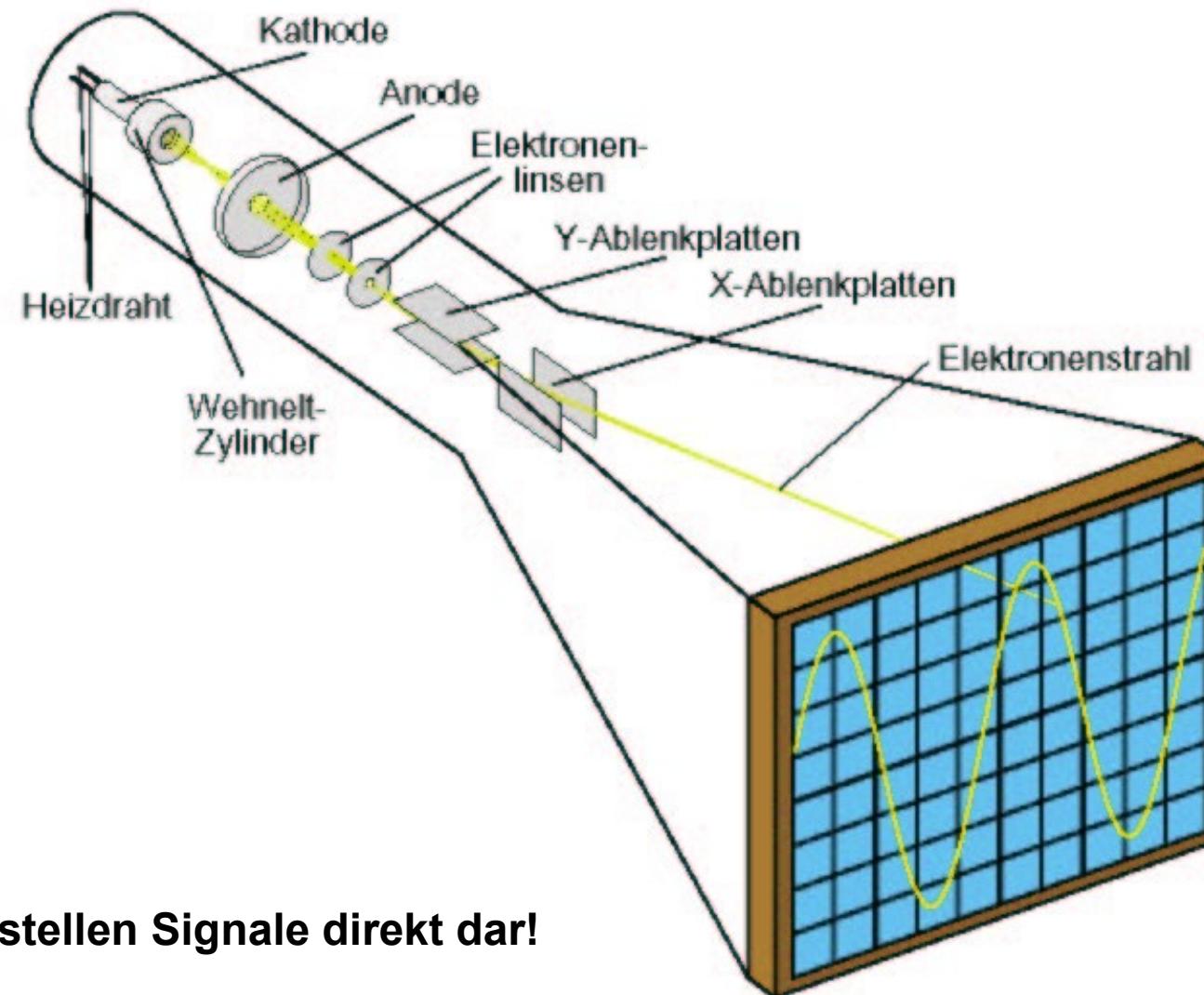
$-20^{\circ}\text{C} < T < +70^{\circ}\text{C}$: 0,2°C

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

Ansprechzeit:

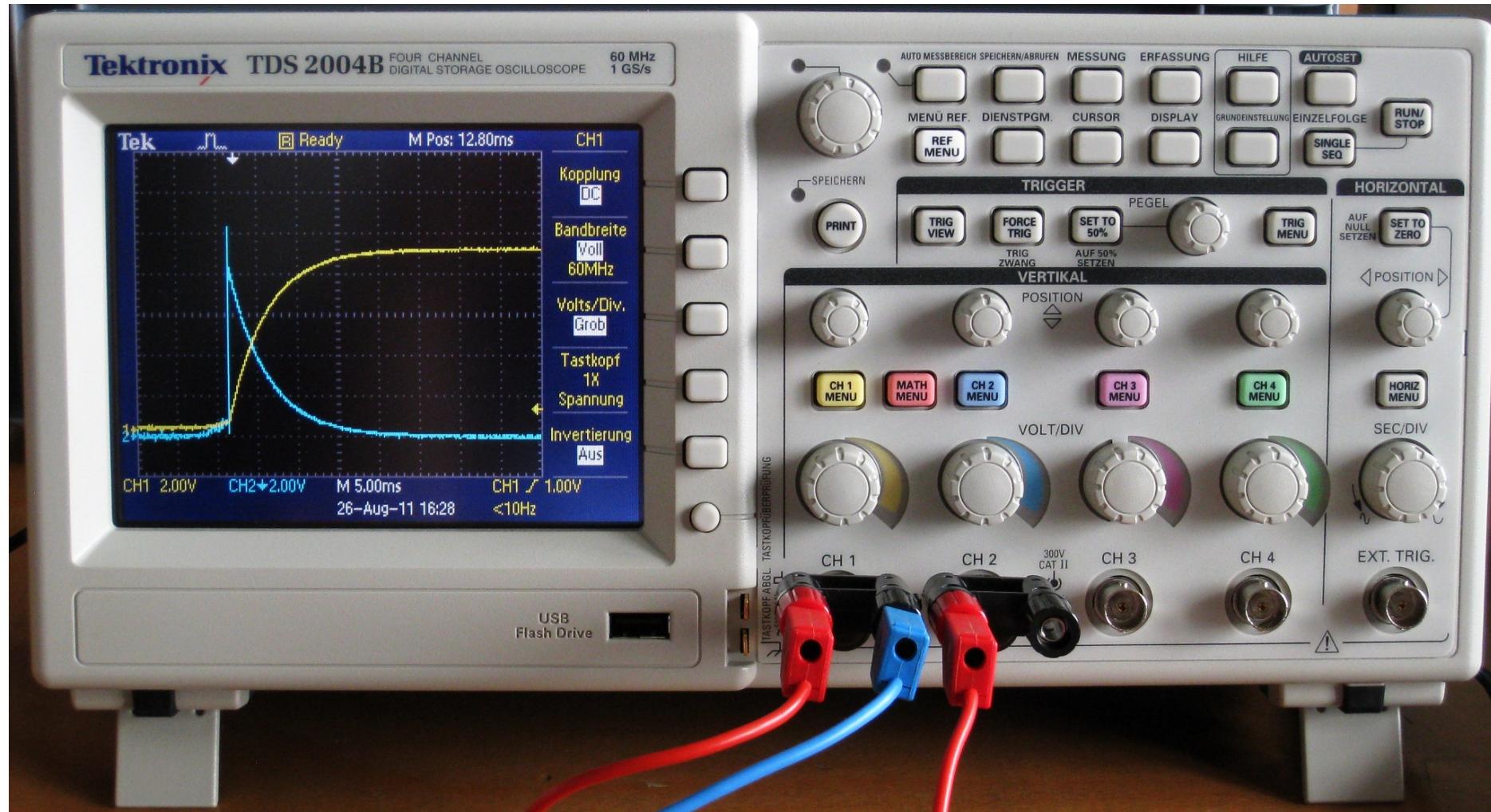
>7 s in Flüssigkeiten

Oszilloskop (Braunsche Röhre)



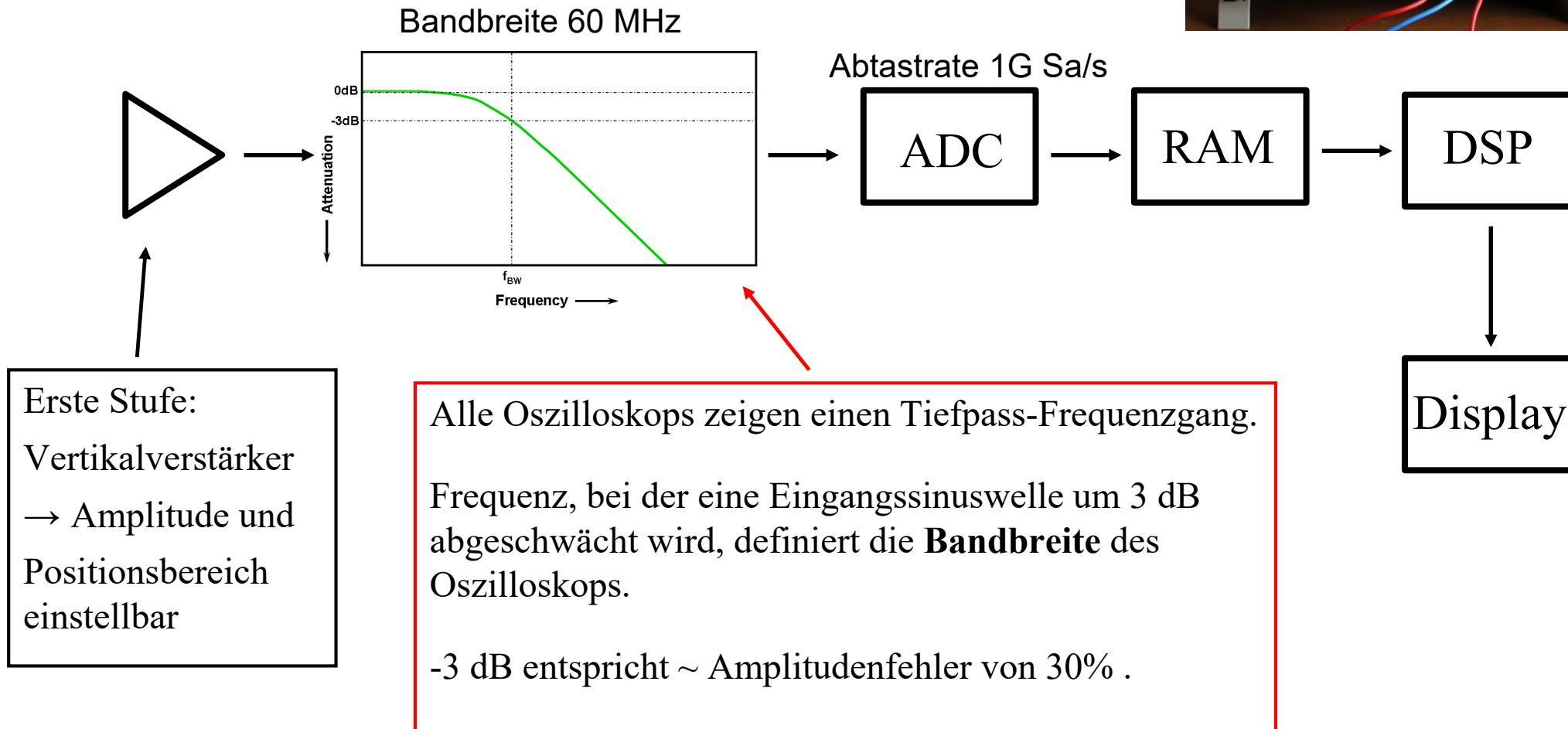
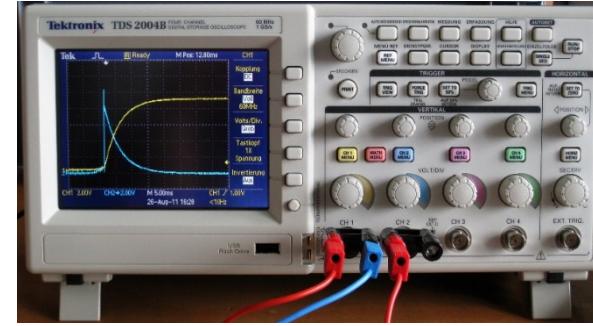
Analoge Oszilloskope stellen Signale direkt dar!

Digital Oszilloskop

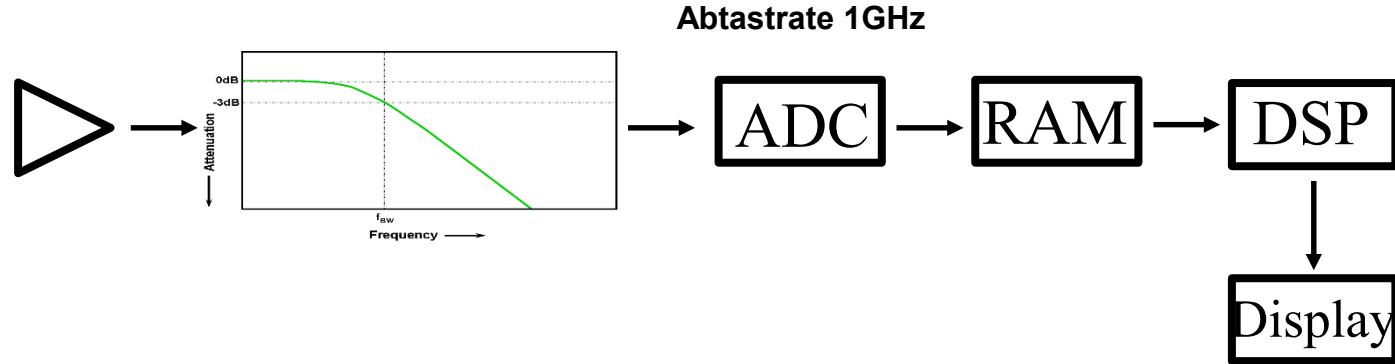


Digitale Oszilloskope tasten Signale ab und konstruieren Darstellungen!

Digital Oszilloskop: Funktionsprinzip



Digital Oszilloskop: Funktionsprinzip



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

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

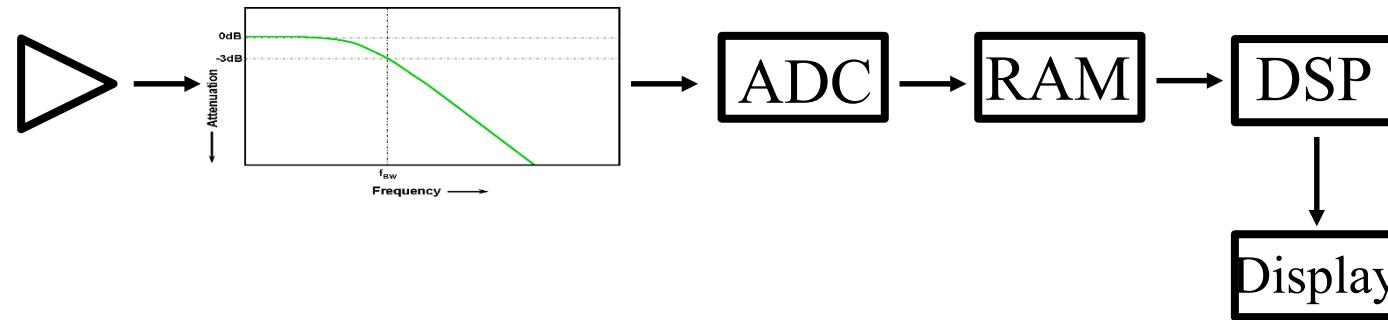
Abtastpunkte werden im Erfassungsspeicher als Signalpunkte gespeichert

Zusammen ergeben die Signalpunkte eine Signalaufzeichnung,

Anzahl der Signalpunkte einer Signalaufzeichnung wird Aufzeichnungslänge genannt

Triggersystem bestimmt Anfangs- und Endpunkt der Aufzeichnungslänge

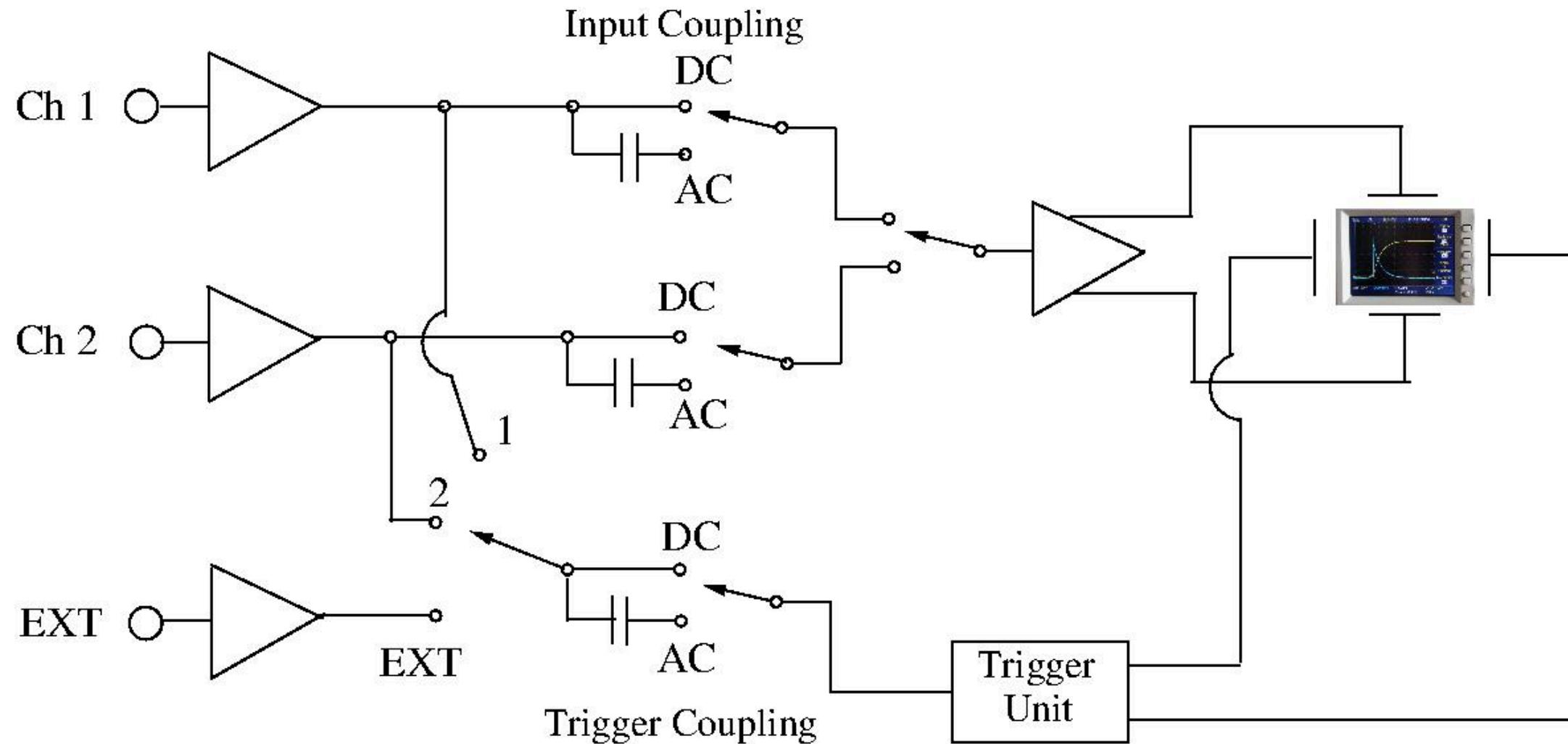
Digital Oszilloskop: Funktionsprinzip



Mikroprozessor leitet gemessenes Signal an Display weiter

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

Digital Oszilloskop: Funktionsprinzip



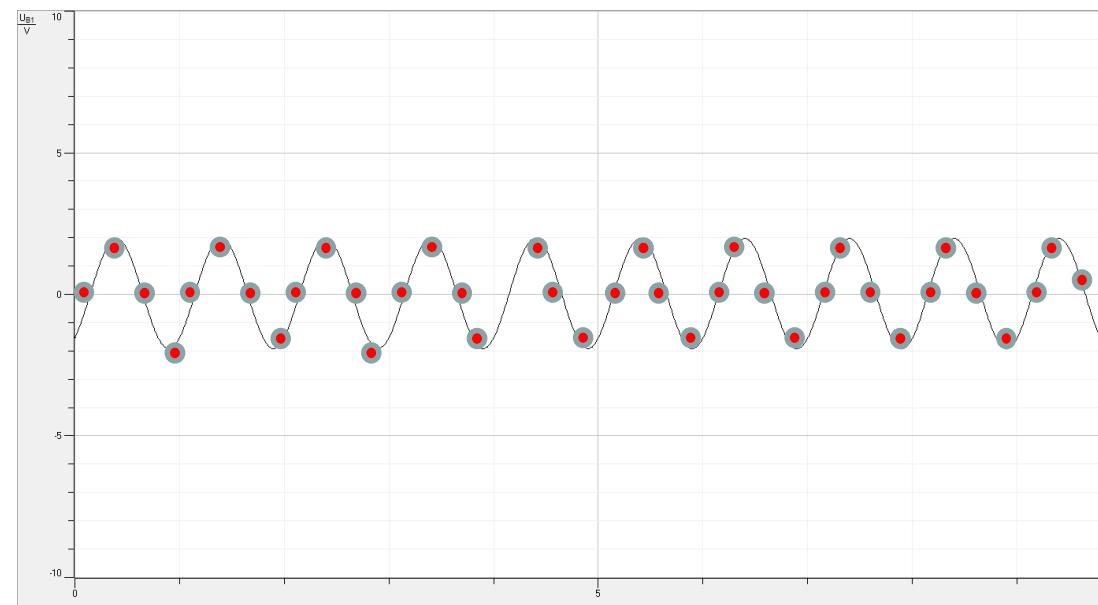
Wiederholung Signaldigitalisierung

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

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

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

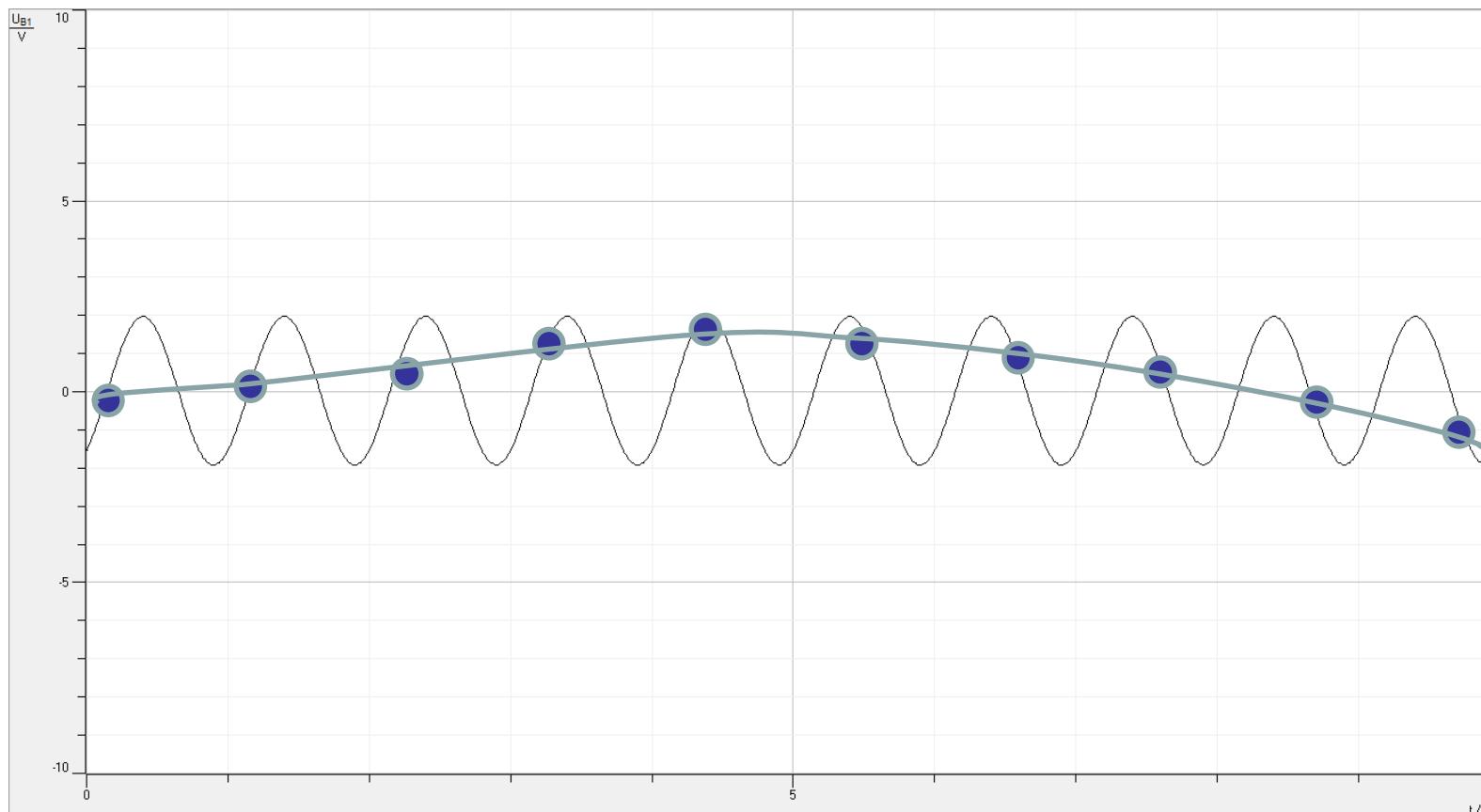
$$f_{\text{Abtastung}} > 2 \cdot f_{\text{Signal}}$$



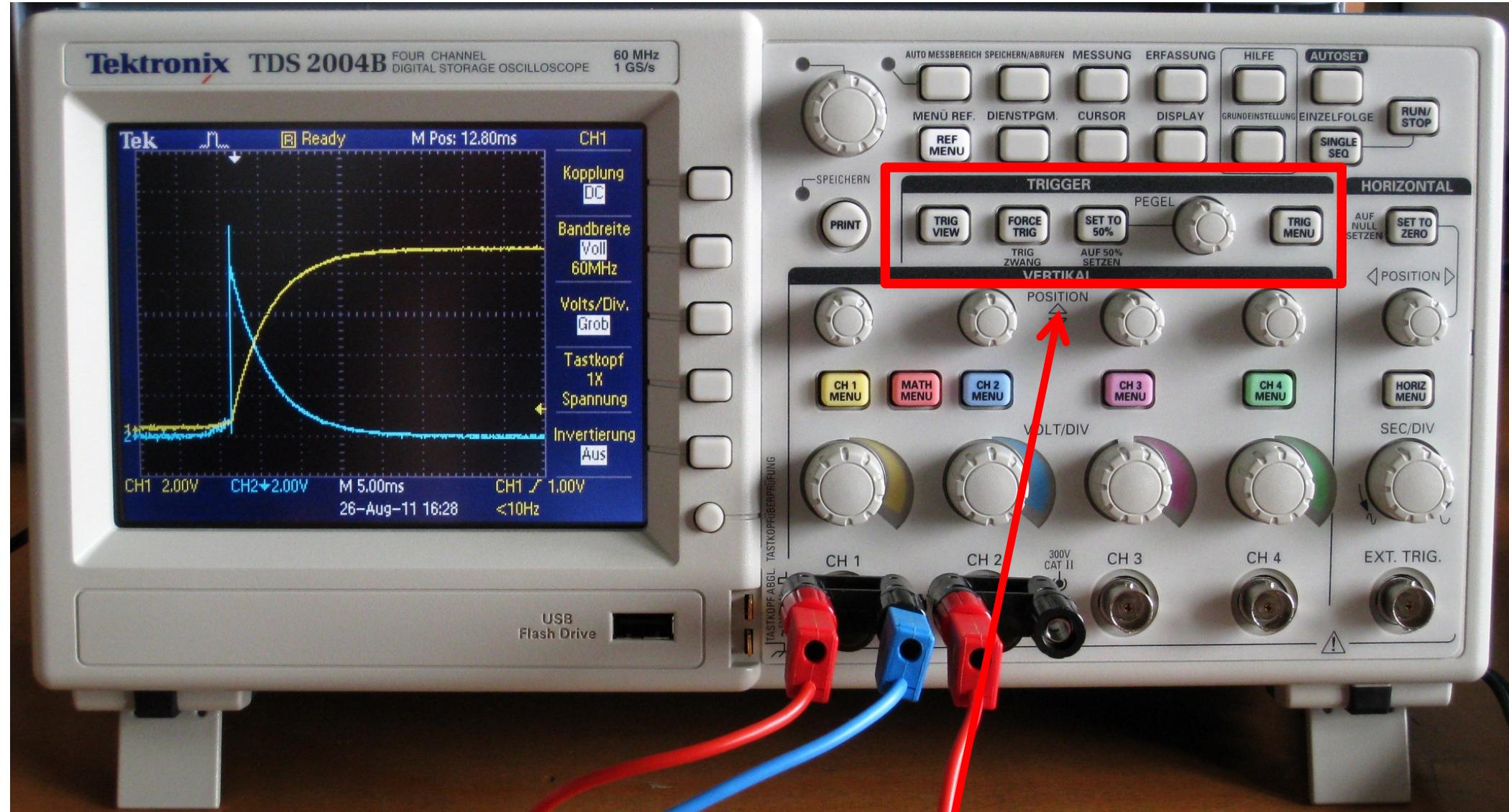
Signaldigitalisierung

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

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

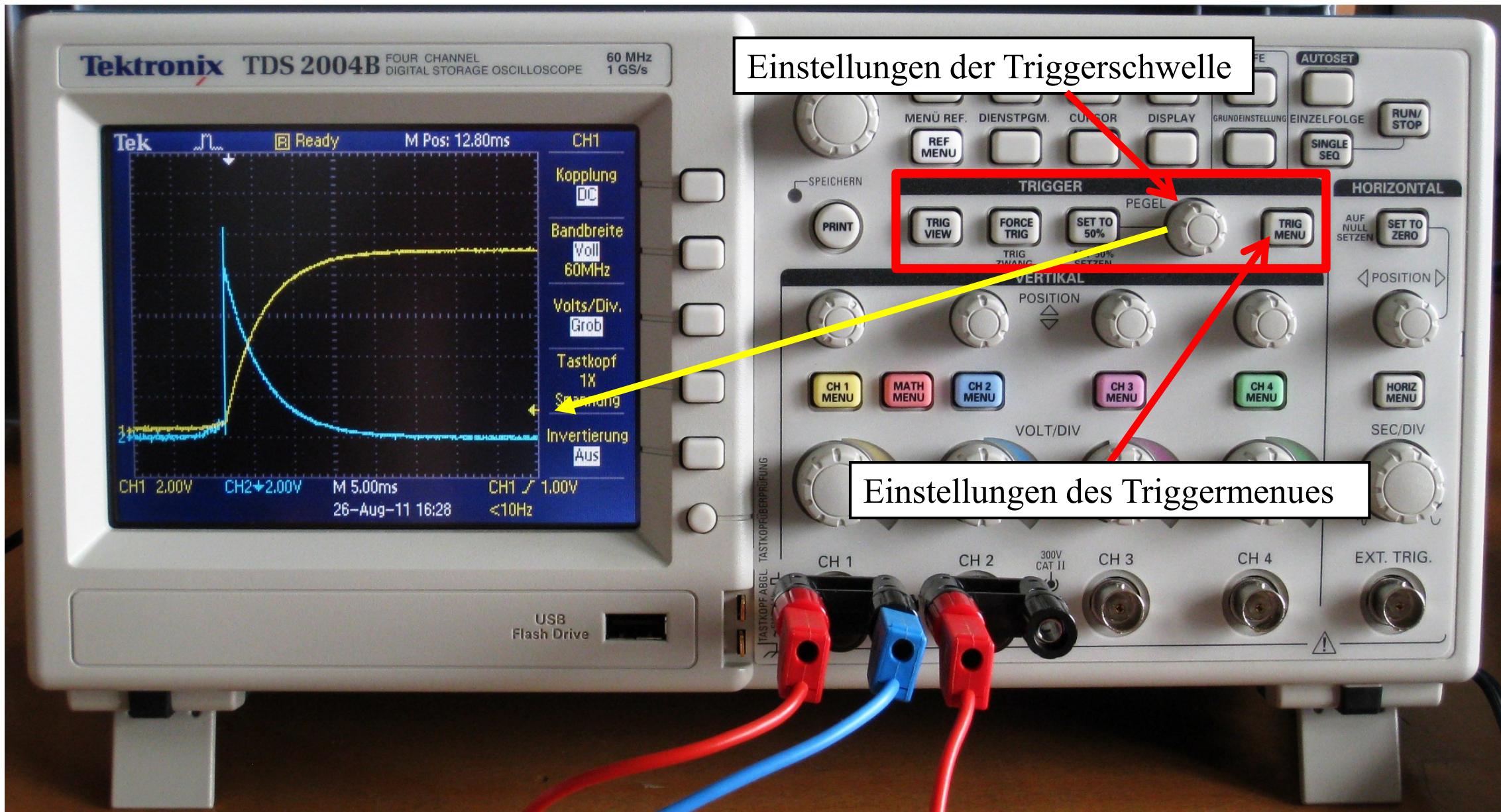


Digital Oszilloskop

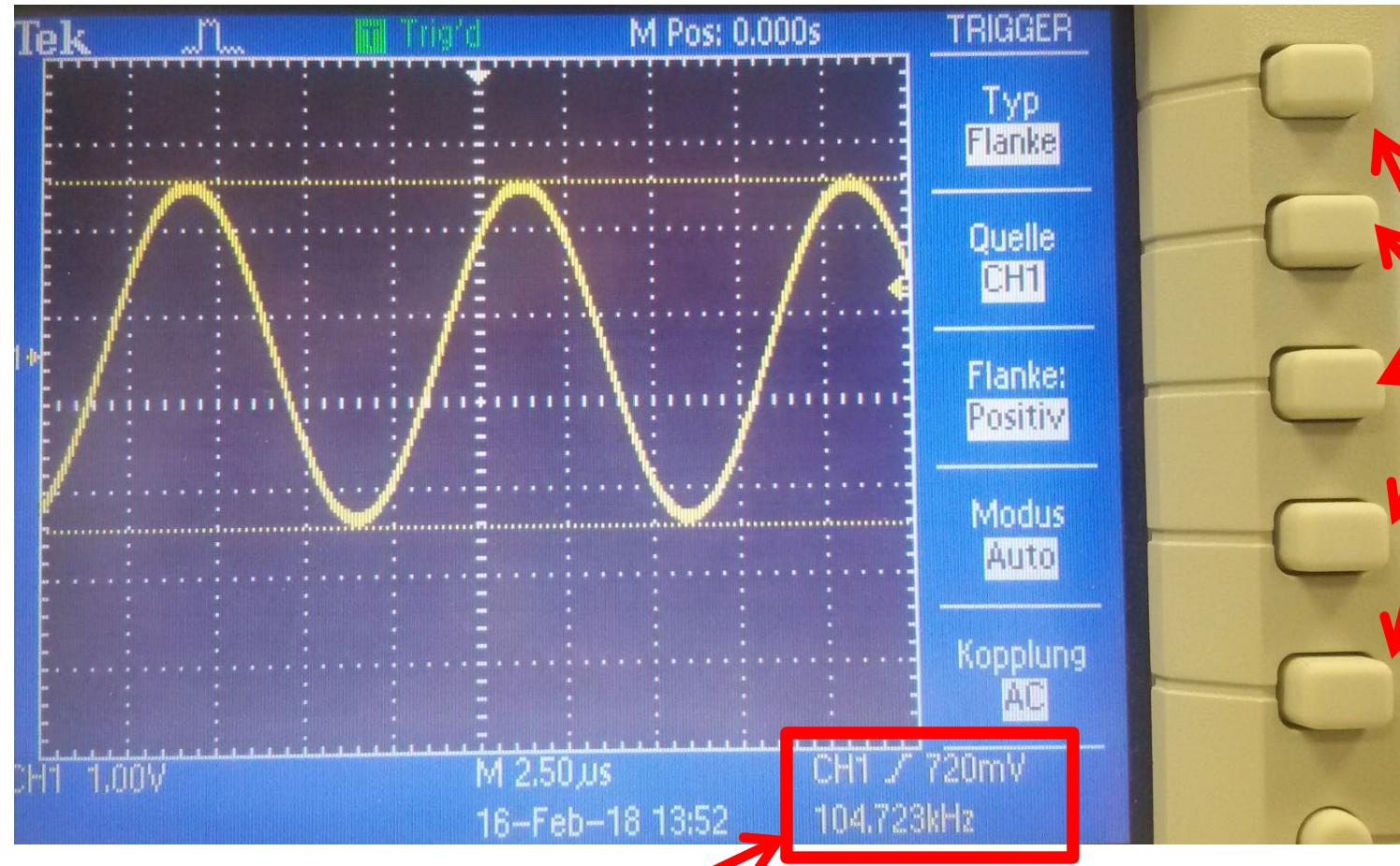


Einstellungen des Triggers, der steuert, wann ein Signal auf Display angezeigt werden soll

Digital Oszilloskop



Digital Oszilloskop



Triggermenü

Auswahl durch seitliche Knöpfe



Weitere Informationen zum Triggersignal:

CH1: Anzeige der zur Triggerung verwendete Triggerquelle

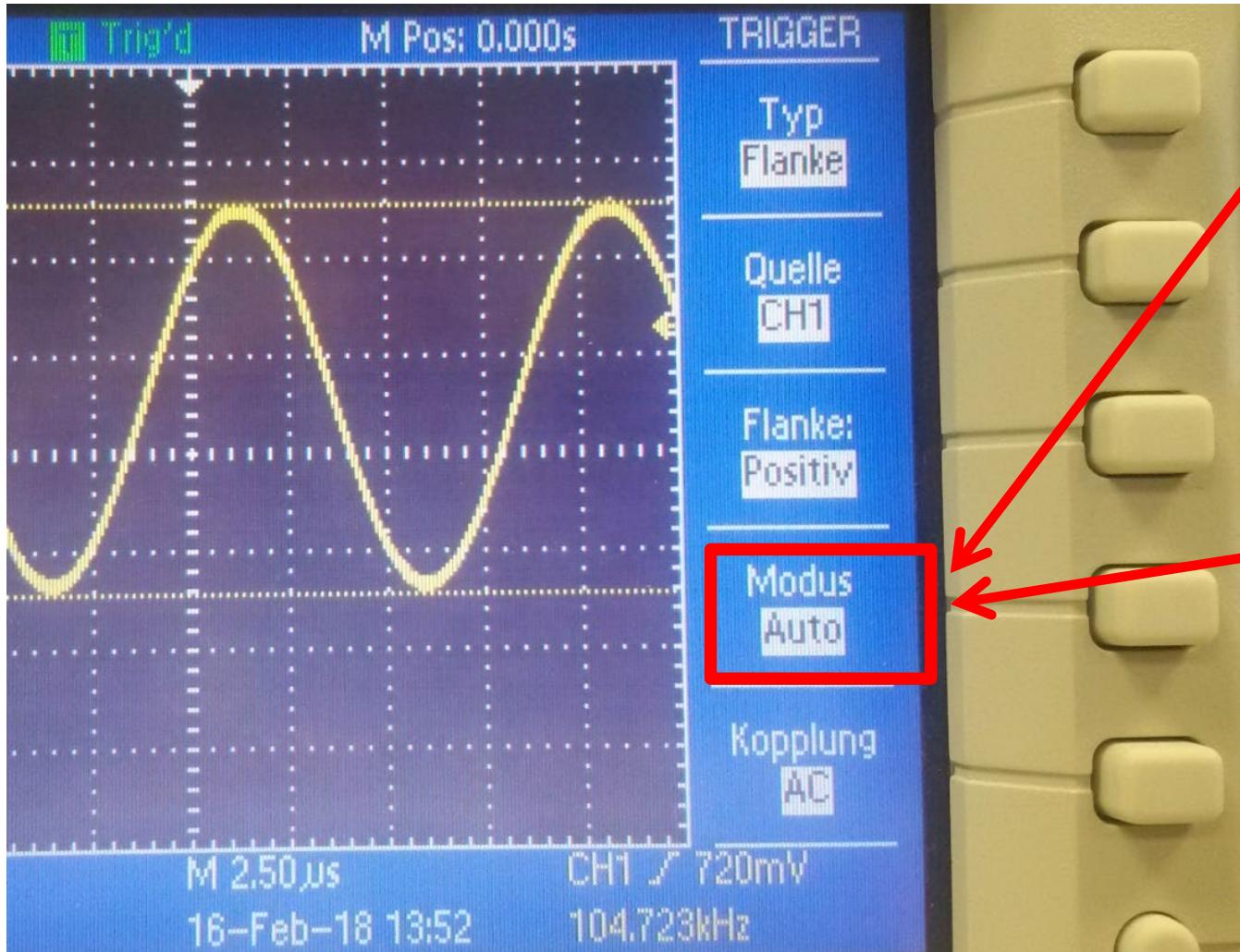
720 mV: Anzeige des Flankentriggerpegels

Symbol steht für jeweils ausgewählte Triggerart

J
V

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

Digital Oszilloskop



Modus:

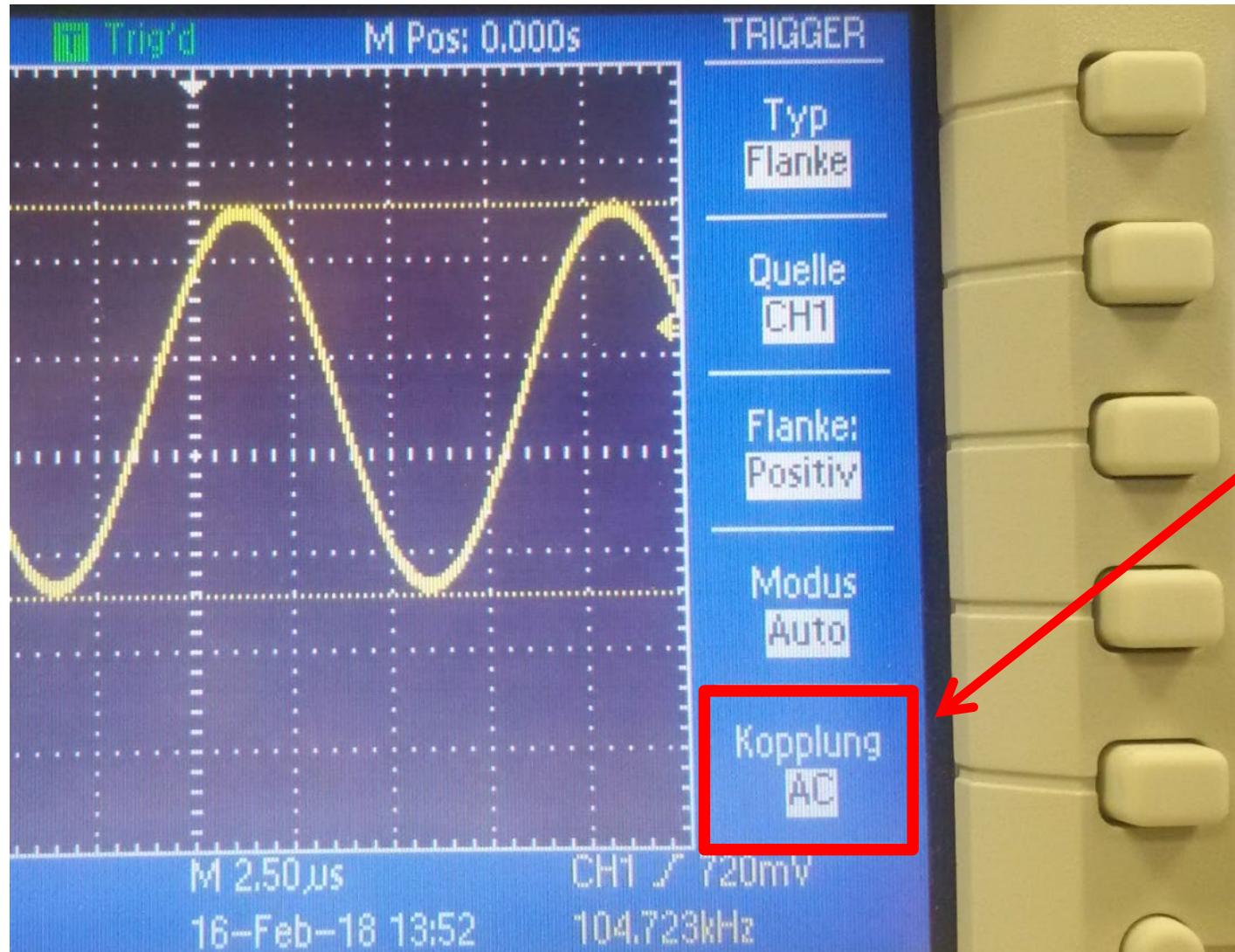
Normal: Ablenkung wird ausgelöst, wenn Eingangssignal einen bestimmten Schwellwert übersteigt.

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

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

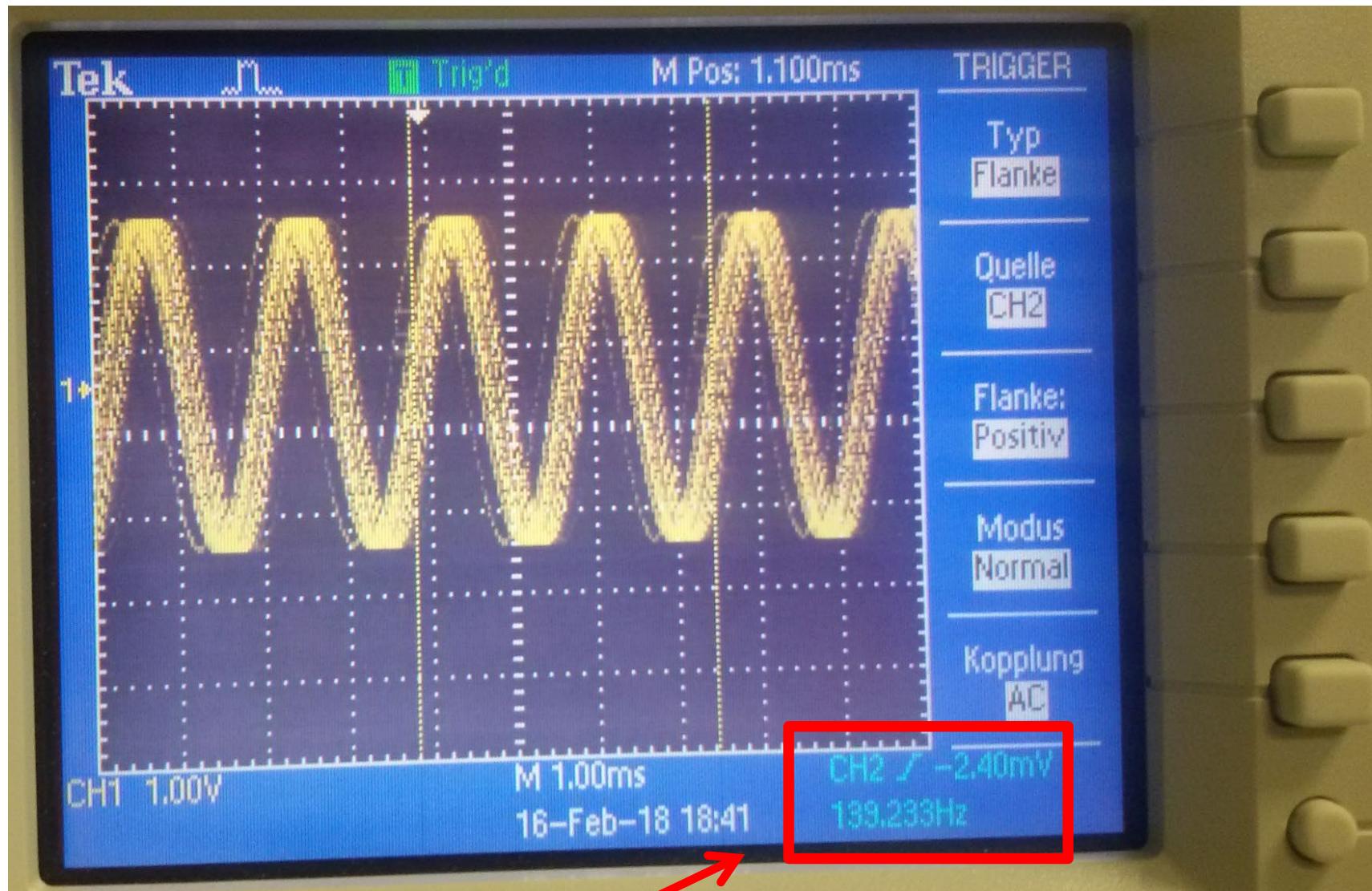
außer es tritt vorher ein Triggerereignis ein: dann beginnt die Auslenkung sofort. Auf diese Weise bleibt der Elektronenstrahl auch dann sichtbar, wenn kein Triggerereignis eintritt.

Digital Oszilloskop



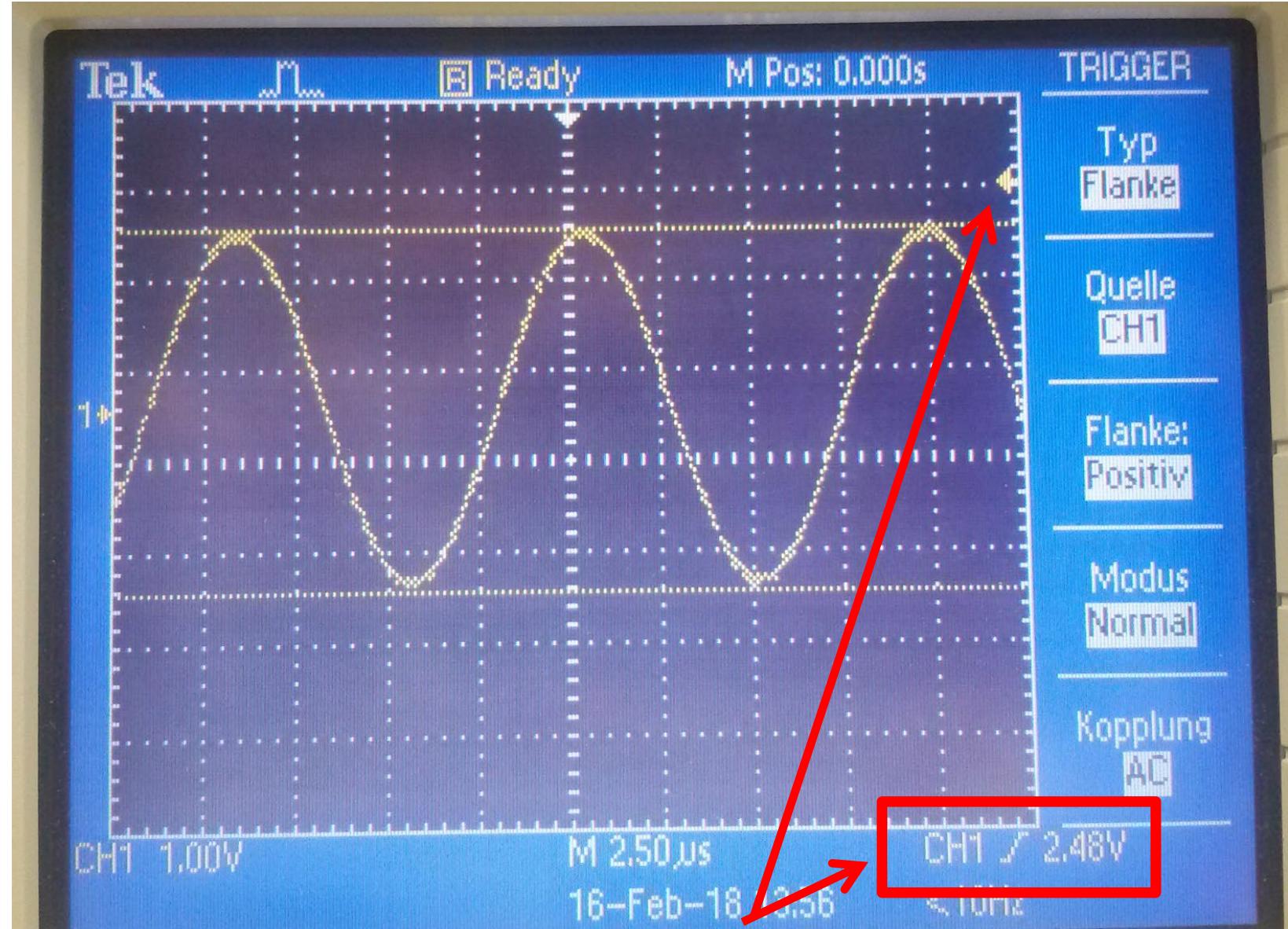
Kopplung:
DC, AC, Hoch- oder Tiefpassfilter etc.

Digital Oszilloskop



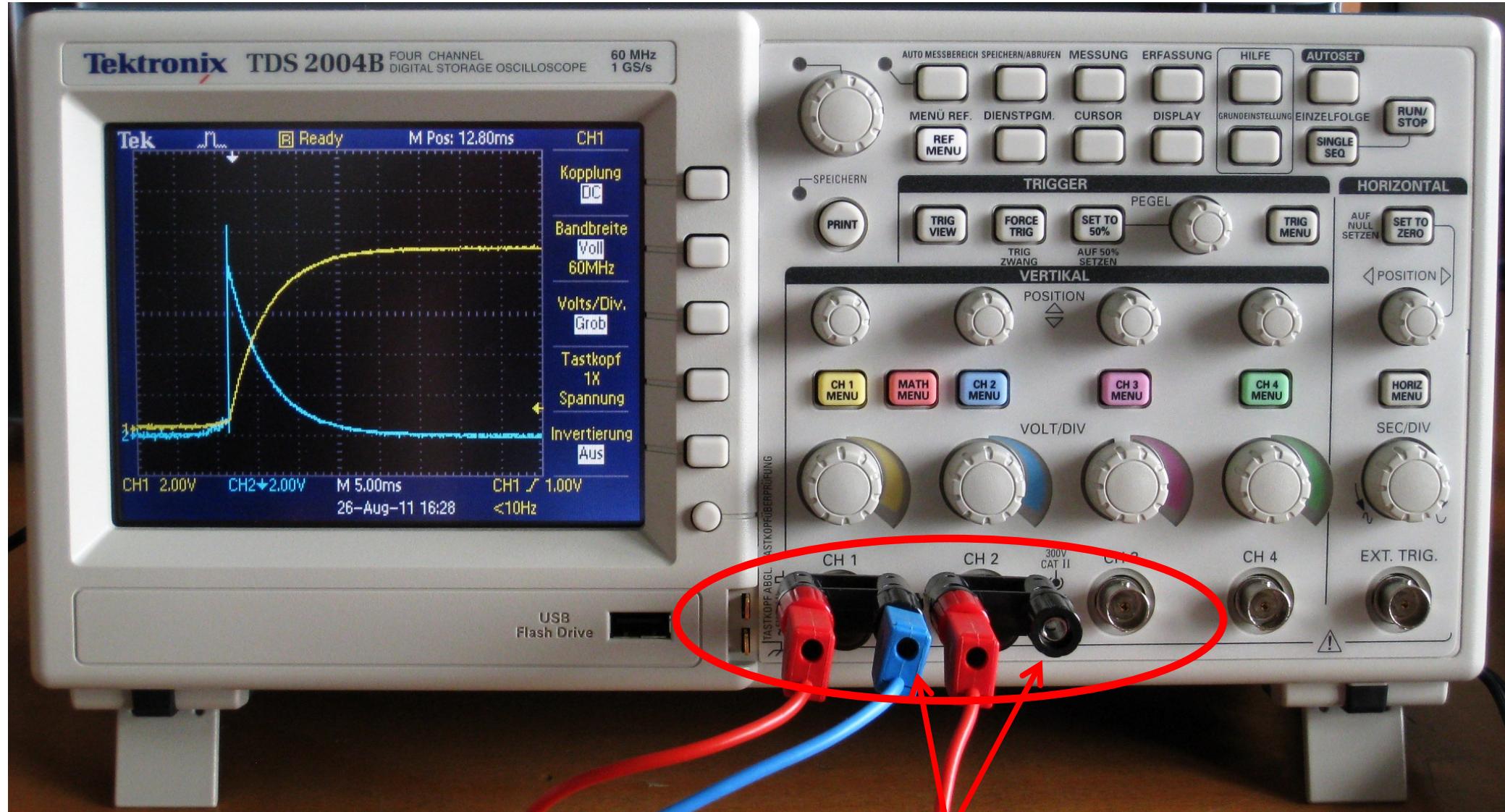
Unscharfe Signale bzw. „durchlaufende“ Signale: z.B. durch falsch gesetzten CH als Triggerquelle

Digital Oszilloskop



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

Digital Oszilloskop



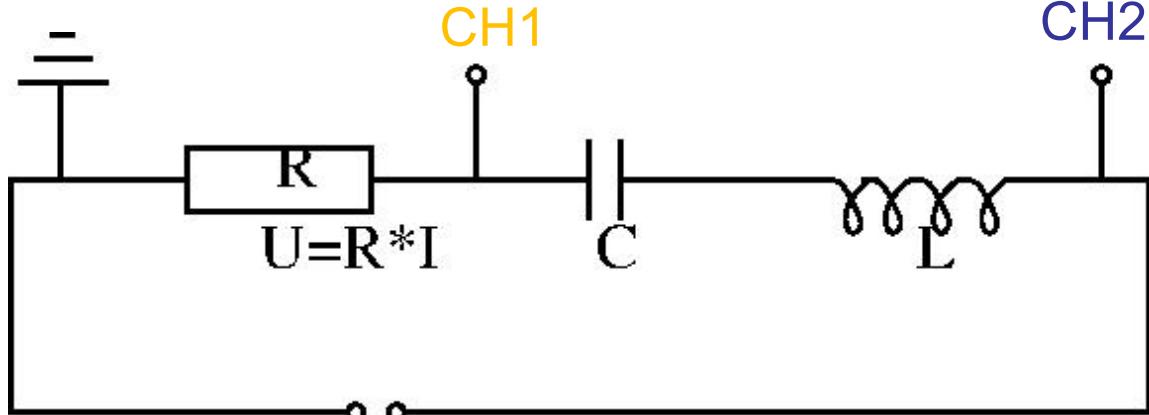
4 Kanal Oszilloskop, die alle die gleiche Masse (Erde) haben

4 Kanäle mit gleicher Masse (Erde), schlimm?

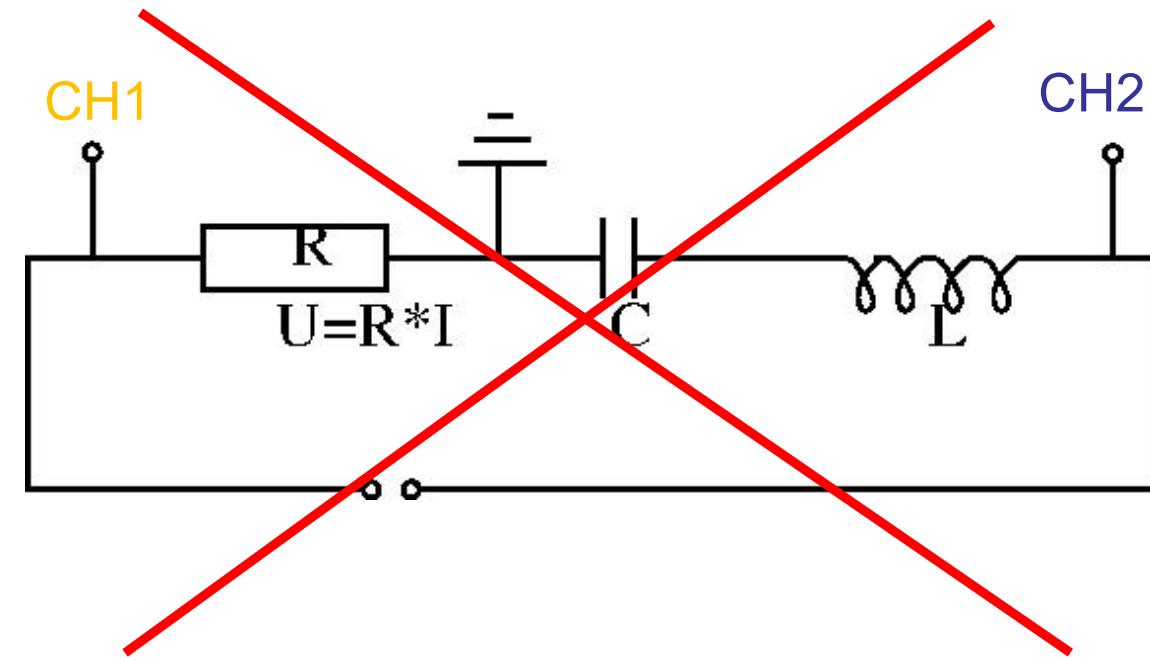
Aufgabe: Messen sie die Phasenverschiebung zwischen Strom und Gesamtspannung mit dem Oszilloskop.

Erfüllt Schaltung 1 oder 2 die Aufgabe?

1:

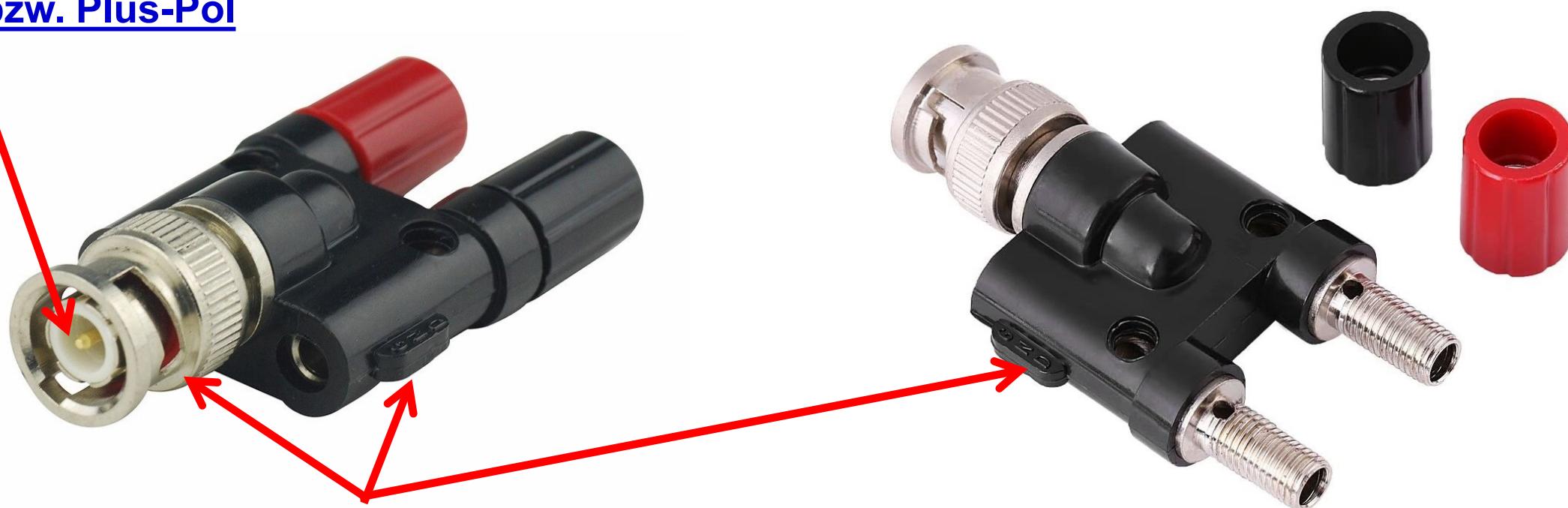


2:



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

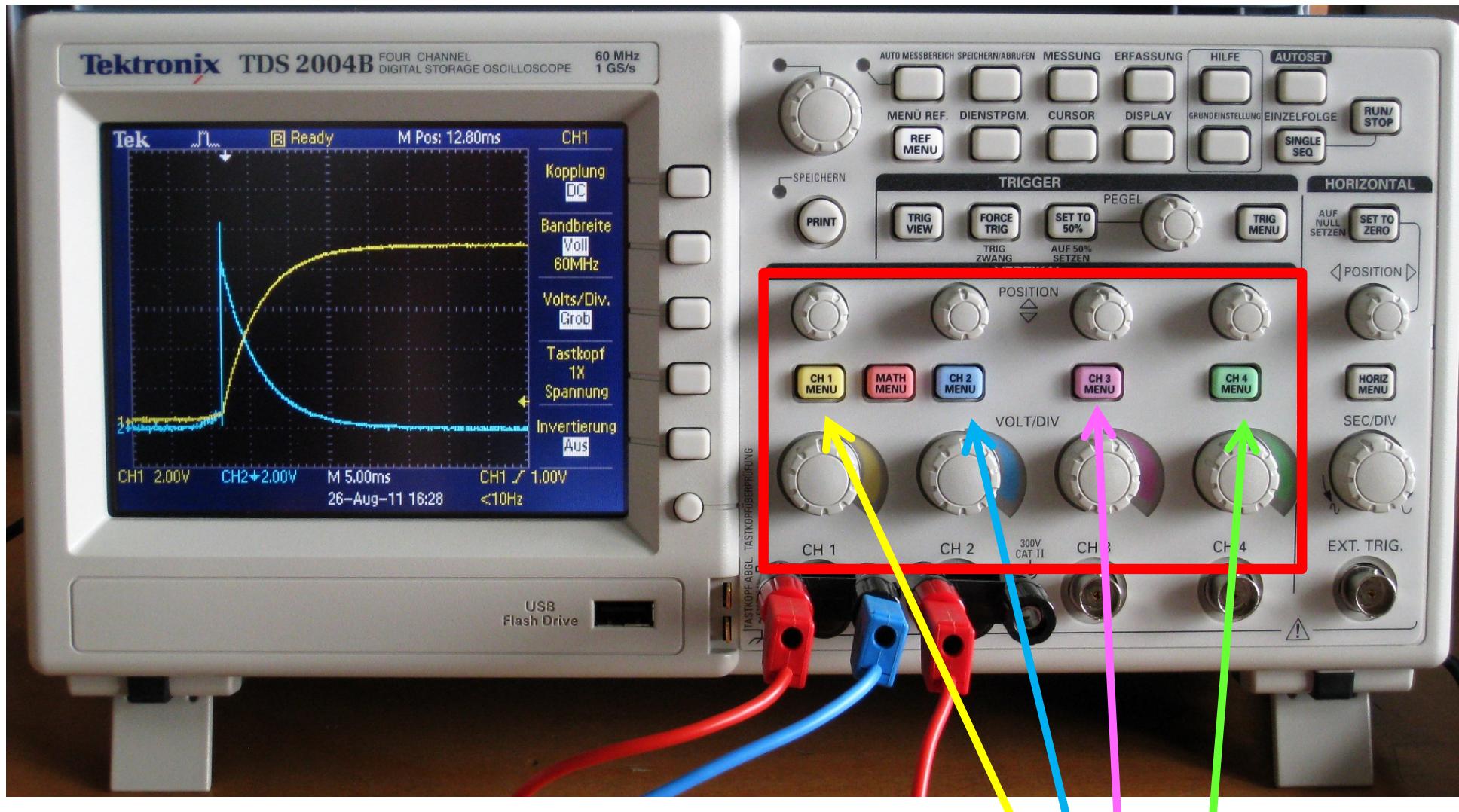
BNC-Banane-Stecker



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 abschraubar sind

Digital Oszilloskop



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

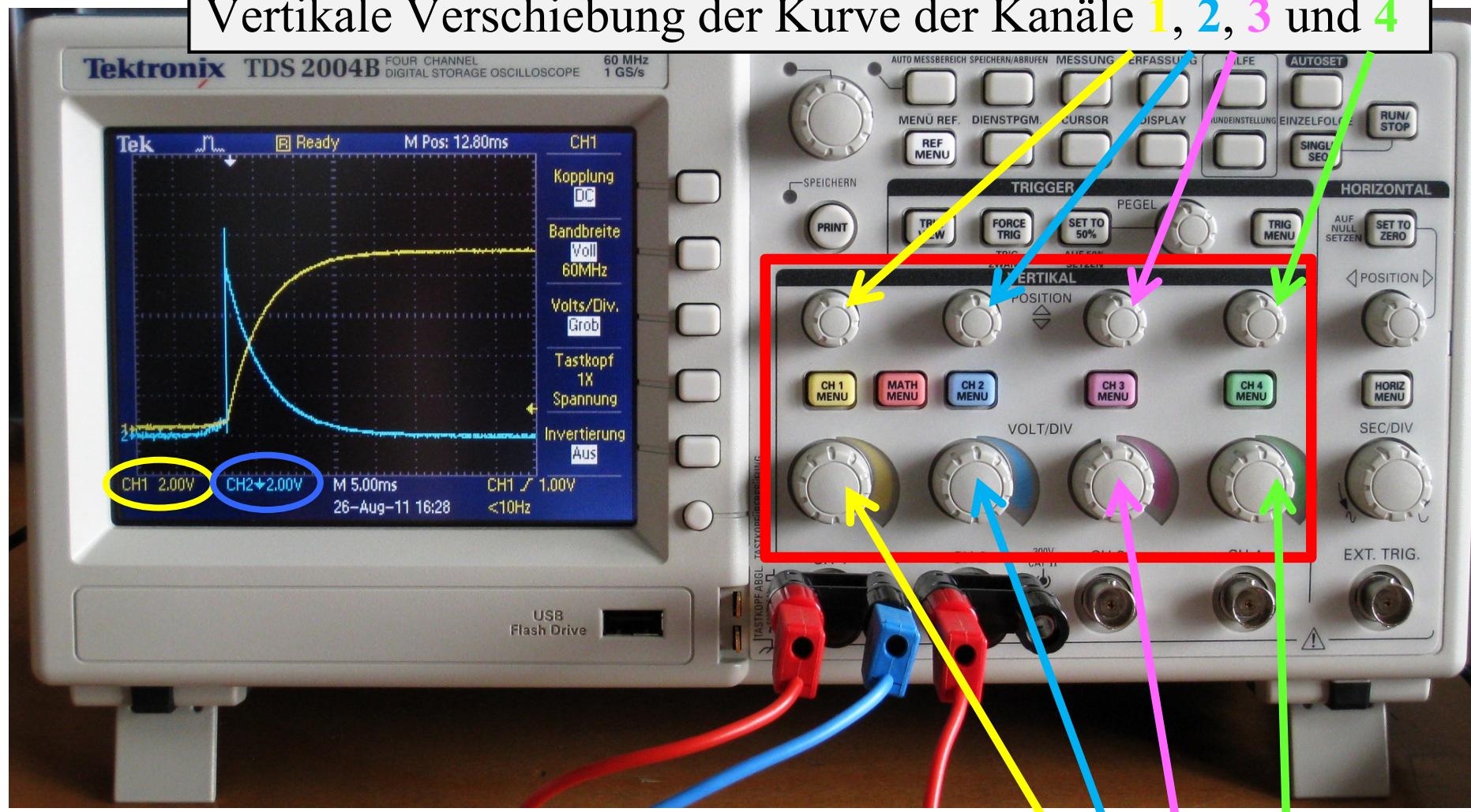
Digital Oszilloskop

I.PI

I. Physikalisches
Institut

RWTH AACHEN
UNIVERSITY

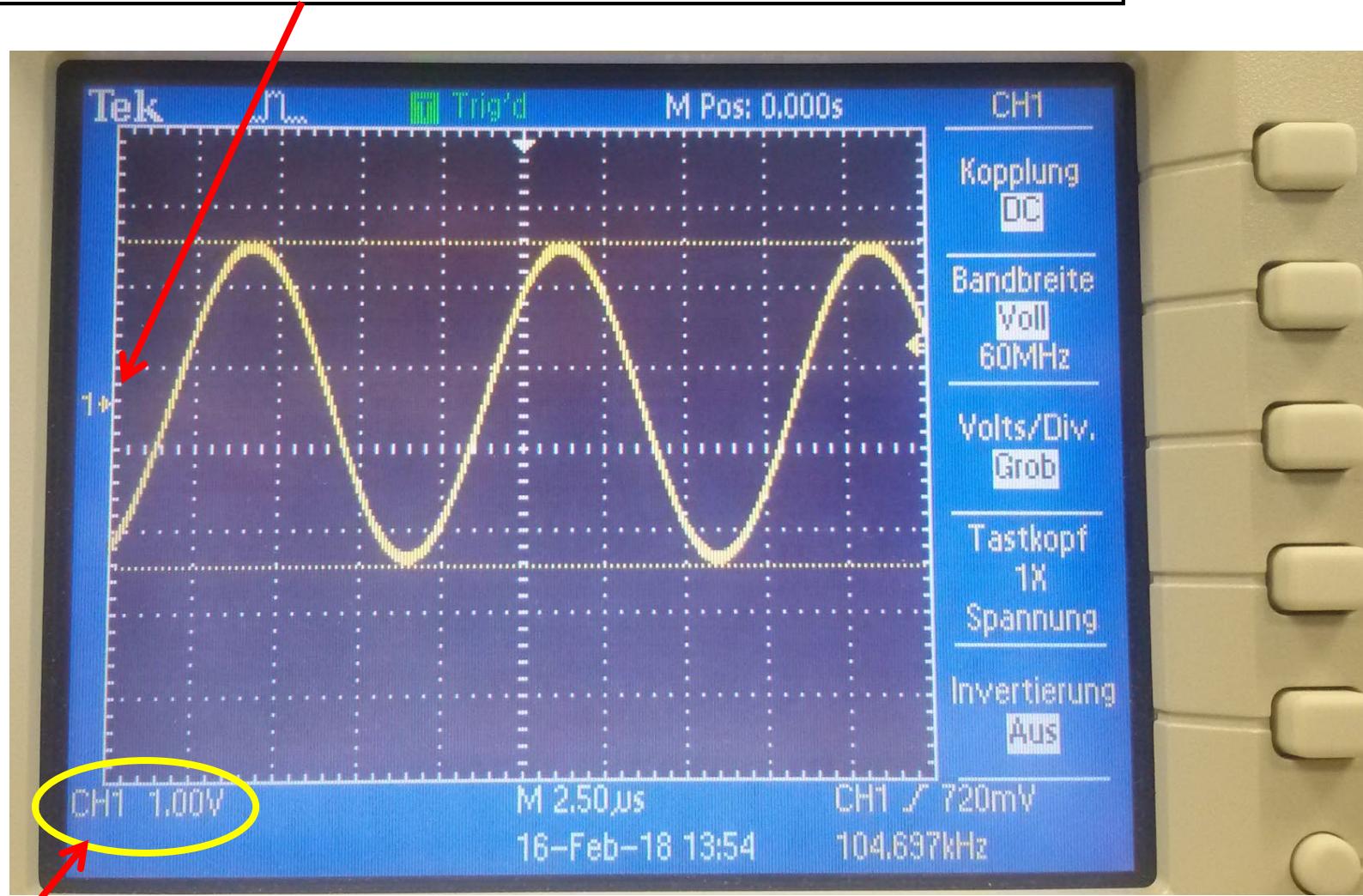
Vertikale Verschiebung der Kurve der Kanäle 1, 2, 3 und 4



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

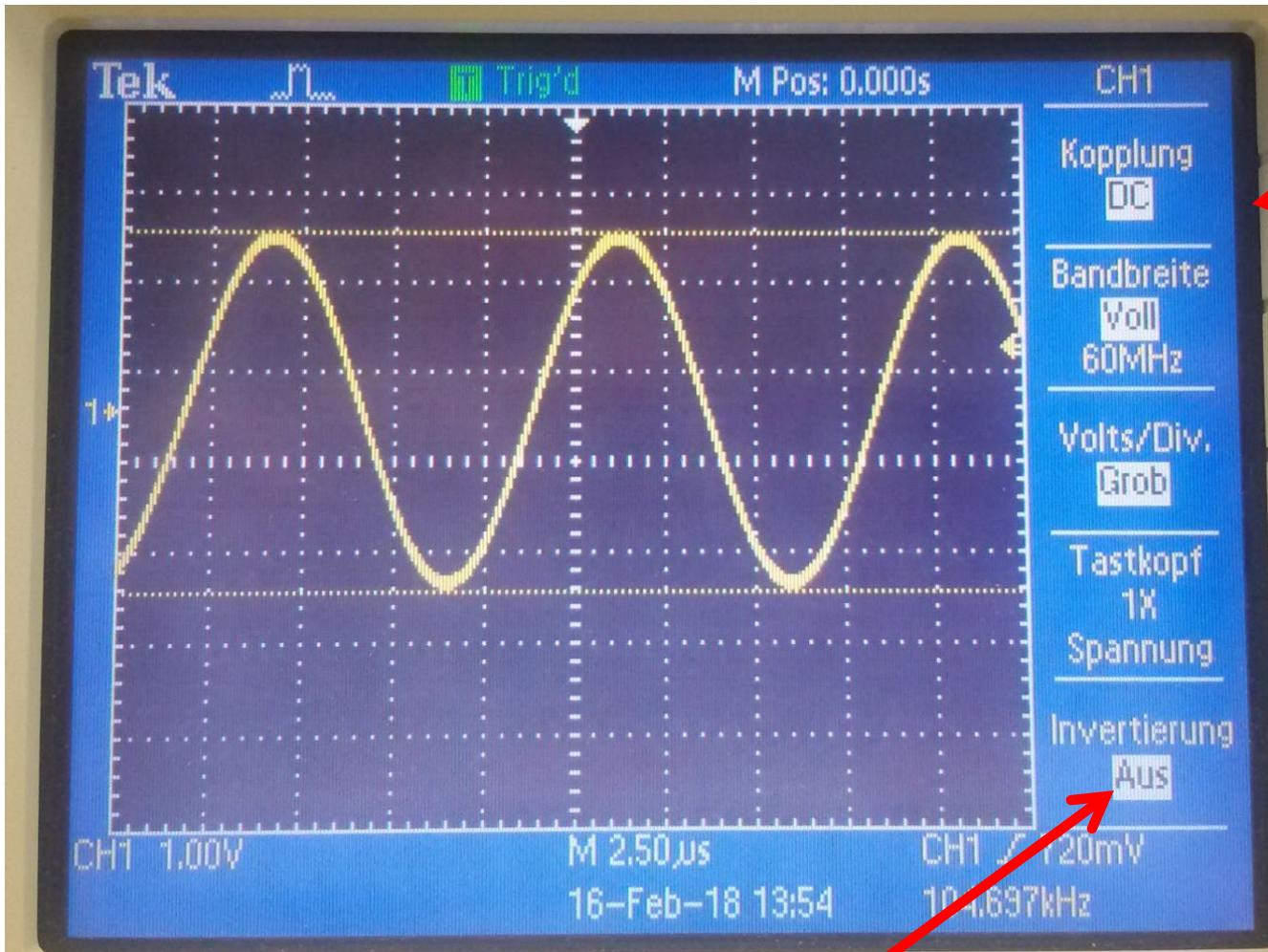
Digital Oszilloskop

Anzeige der Nulllinie (erdbezogene Messpunkte) des CH1



Anzeige der vertikalen Skalenfaktoren für die einzelnen Kanäle

Digital Oszilloskop



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

Kopplung:

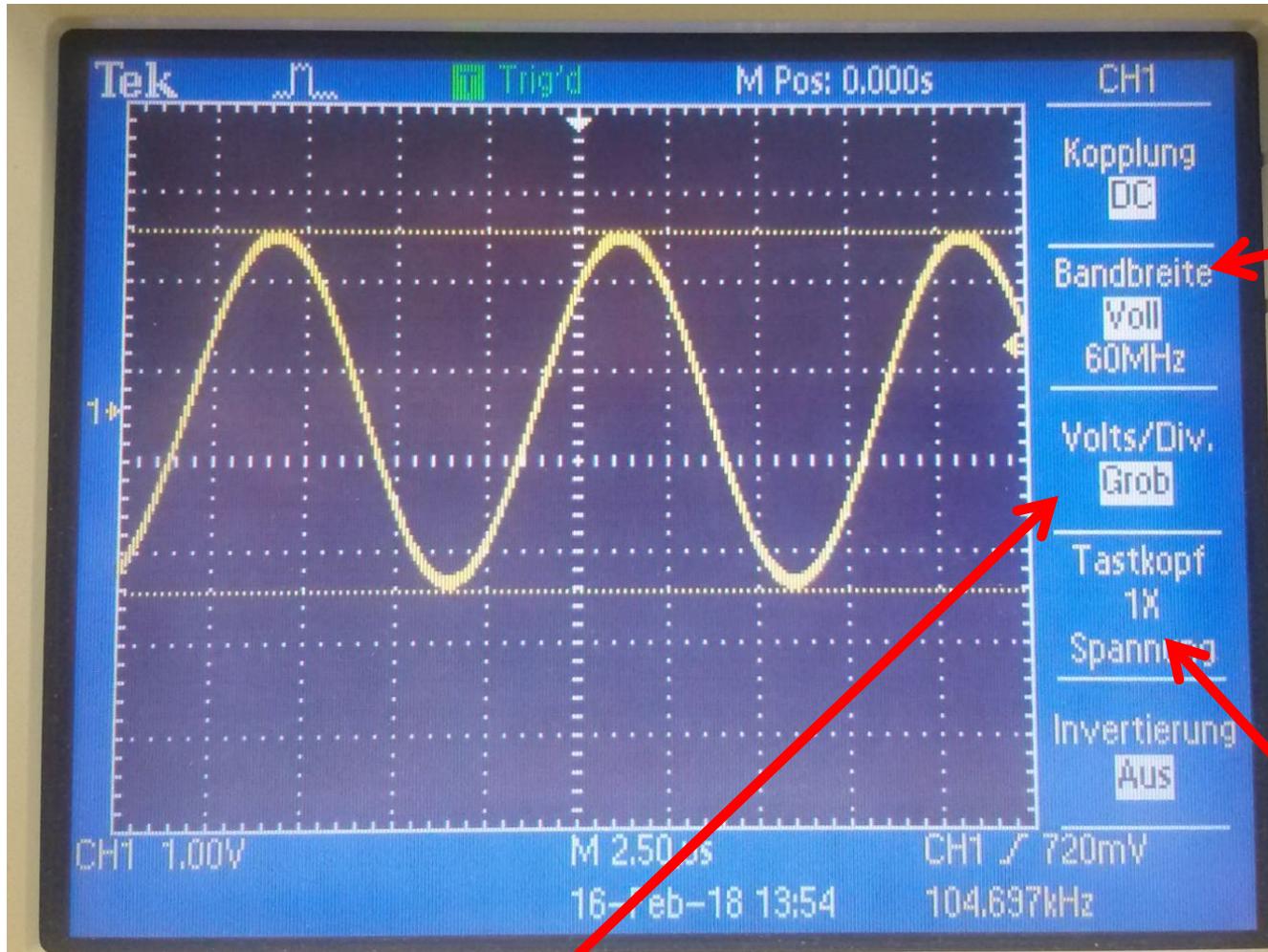
Einstellmöglichkeiten:
DC/AC/GND

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 unterbrochen, und Eingang des Verstärkers liegt auf Masse.

Digital Oszilloskop



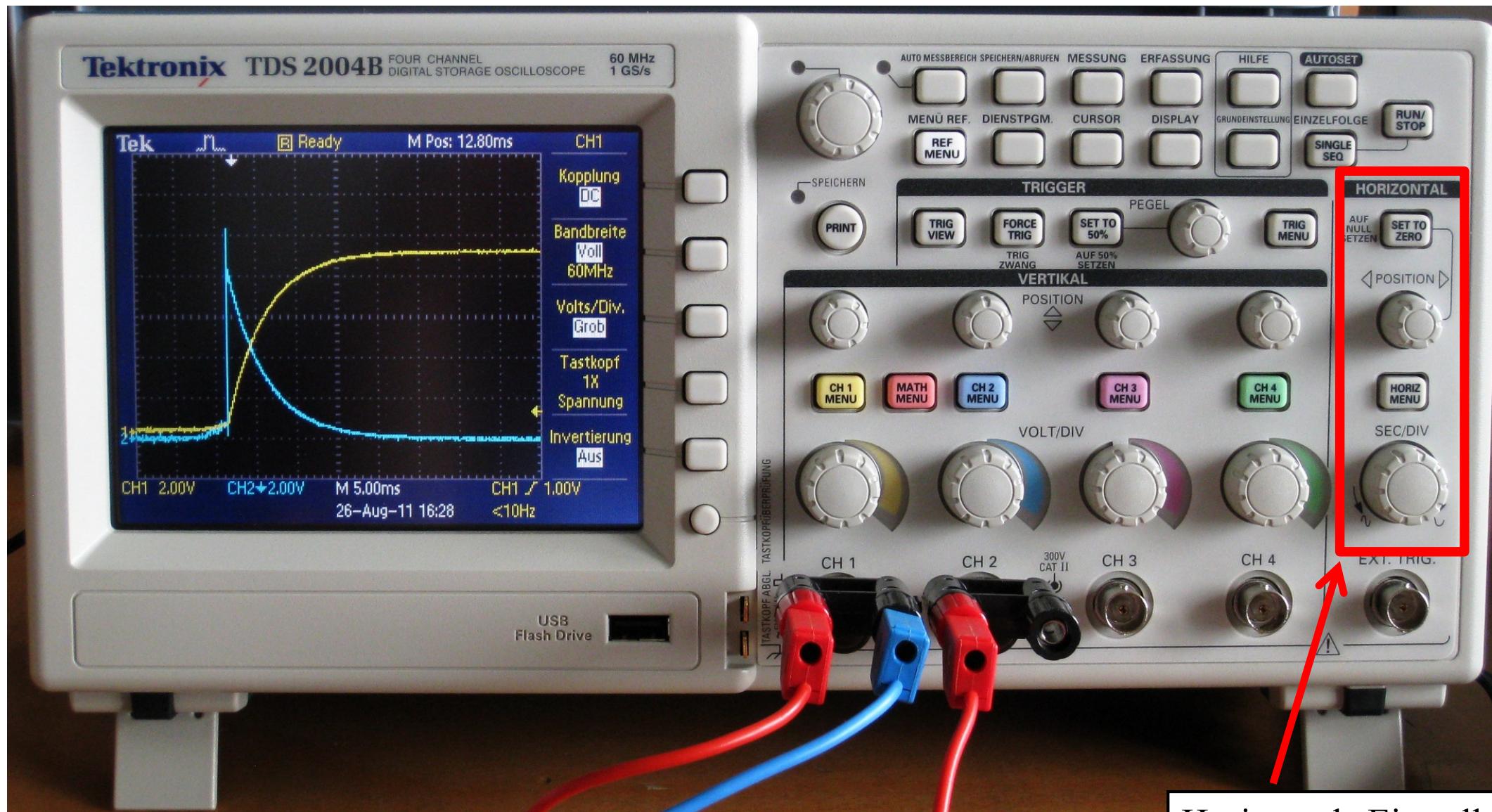
Volts/Div → grobe oder feine Einstellung
der y-Achsenskalierung via Drehregler

Bandbreite:

Bandbreitenbegrenzung
→ Reduzierung des Rauschens, das
auf dargestellten Signal auftreten kann
Ergebnis: schärfere Signal-darstellung
ABER: Reduzierung oder
Eliminierung hochfrequenter Anteile
des Signals → Signalverfälschung

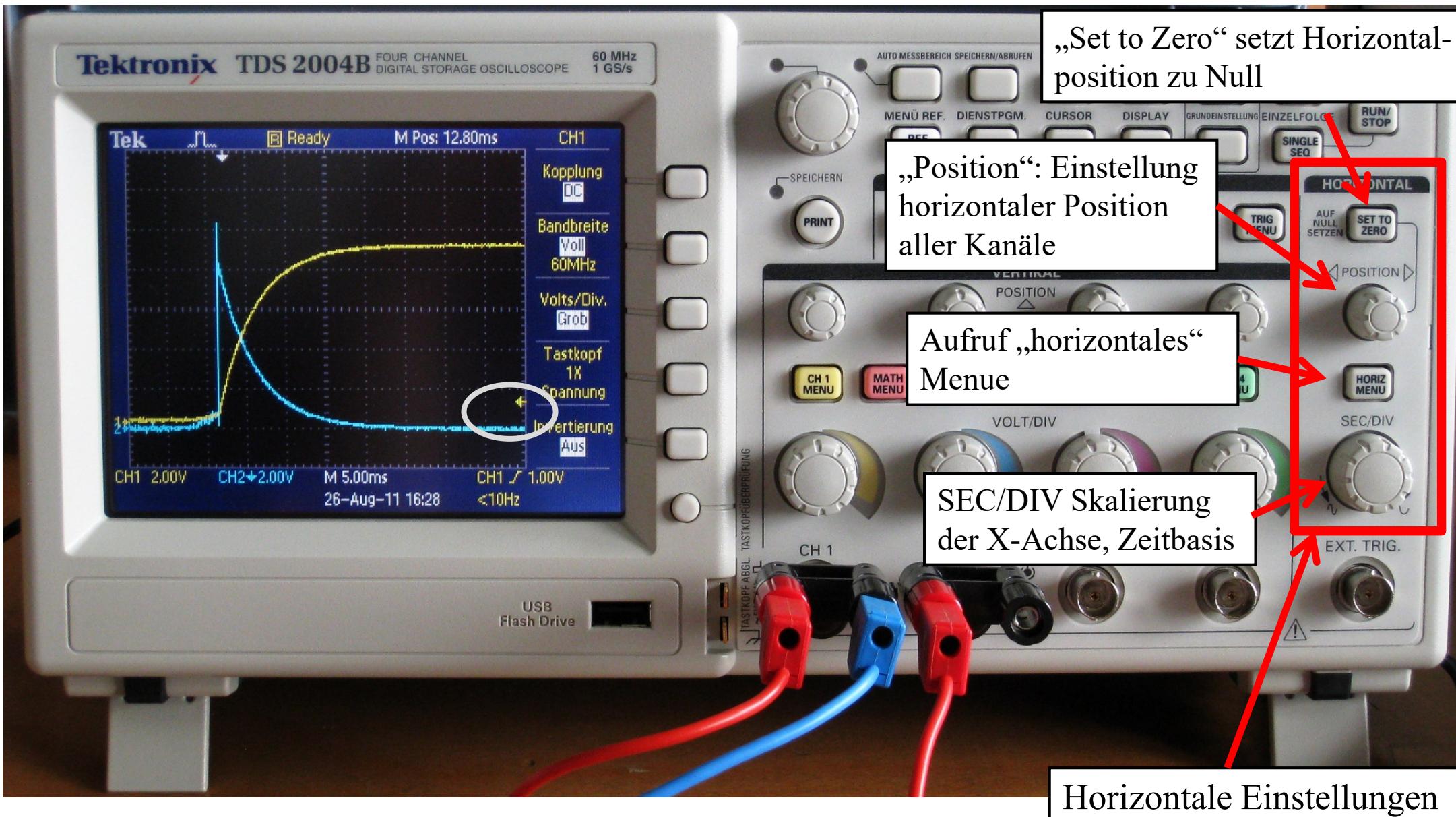
Tastkopf → x-fache Verstärkung des
Signals einstellbar

Digital Oszilloskop

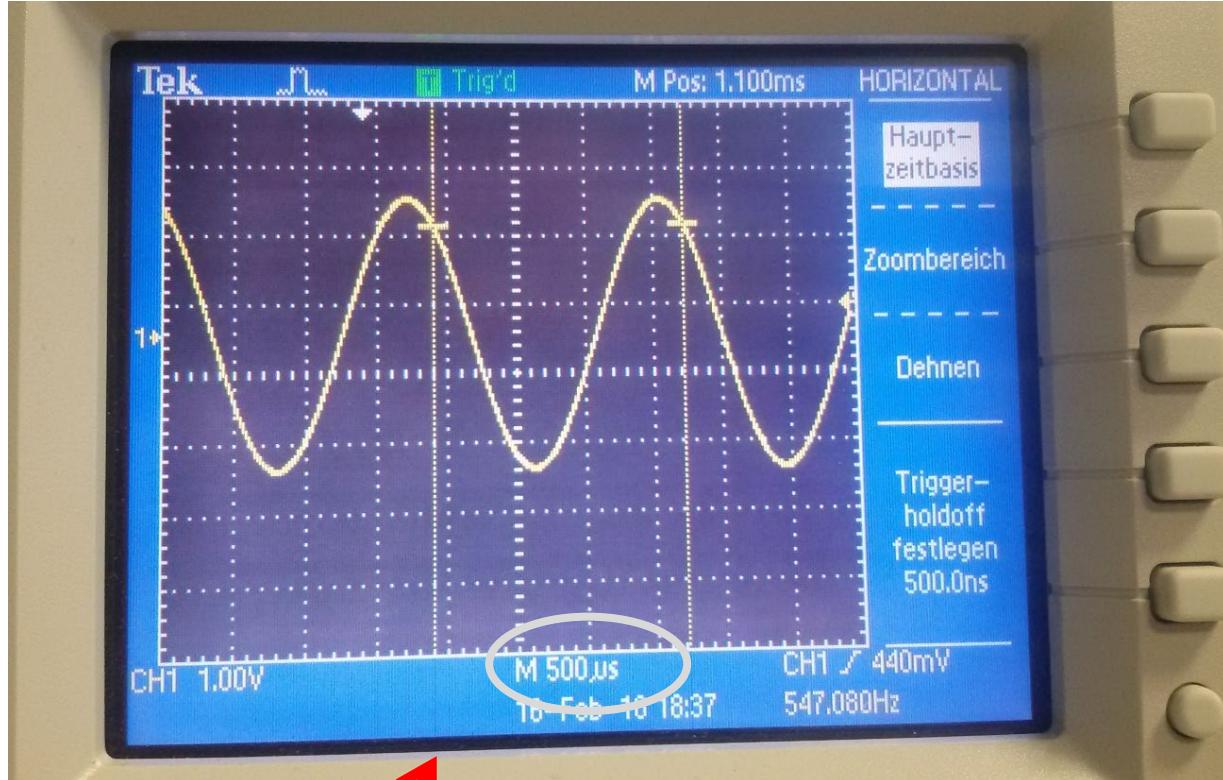


Horizontale Einstellungen

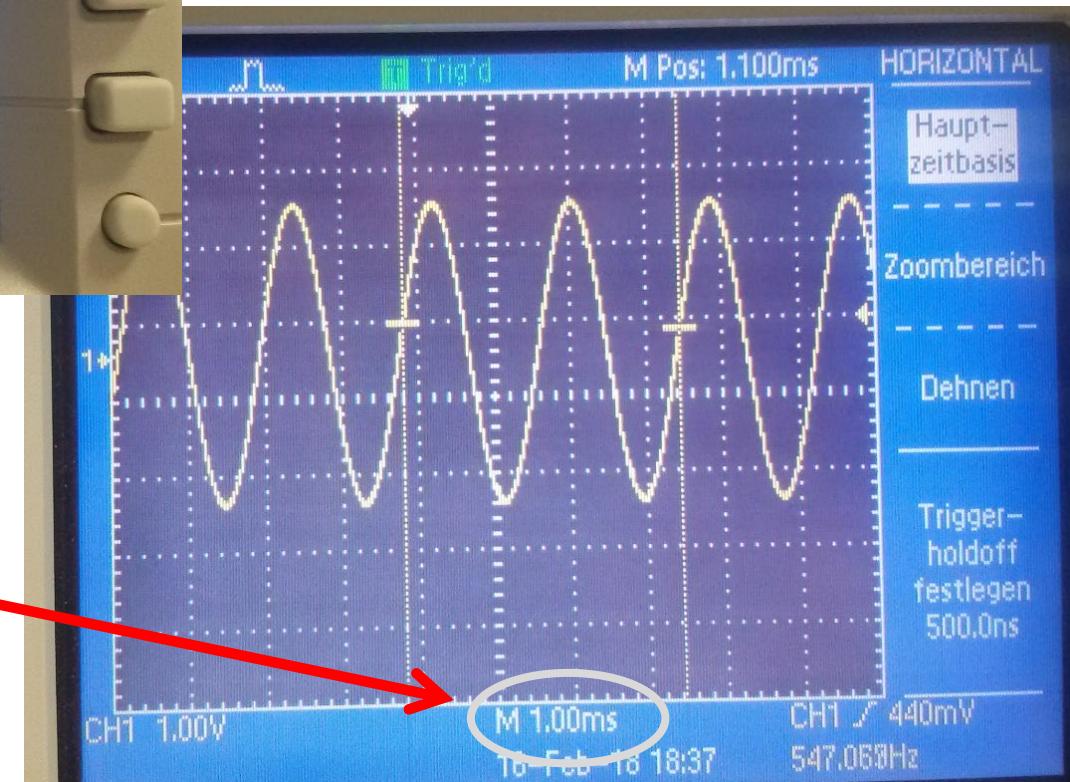
Digital Oszilloskop



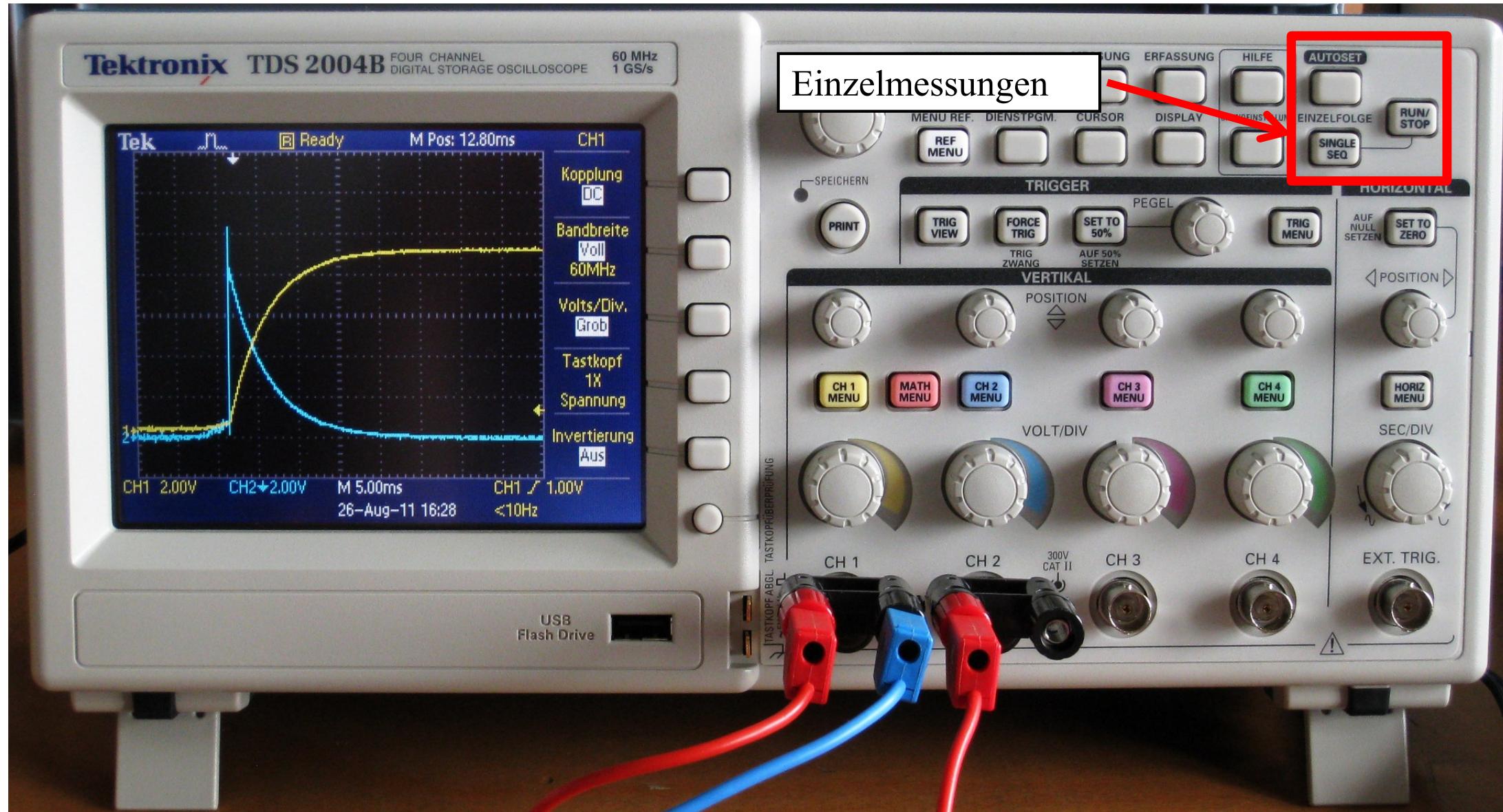
Digital Oszilloskop



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

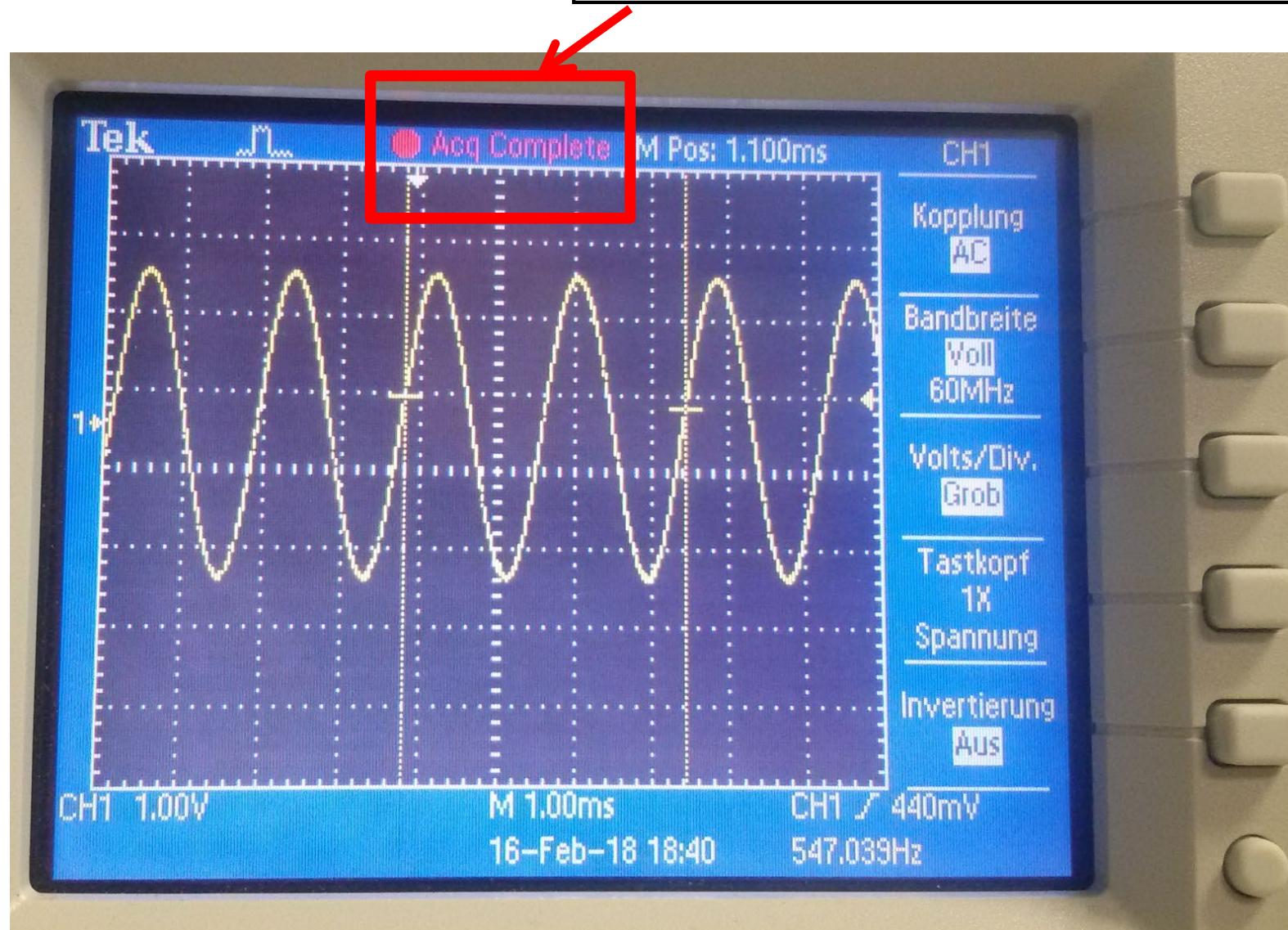


Digital Oszilloskop



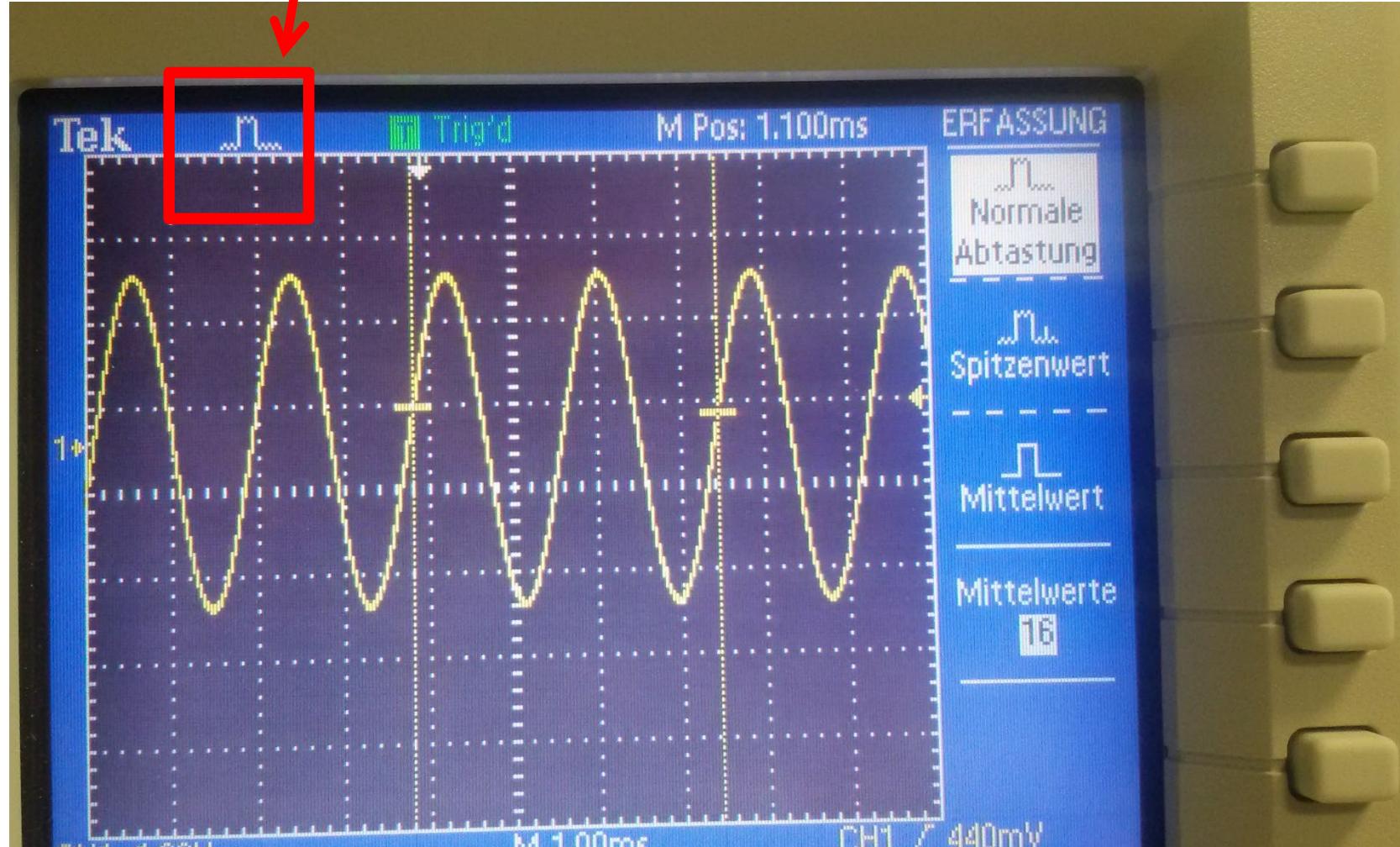
Digital Oszilloskop

Nach Aufnahme der Einzelmessungen

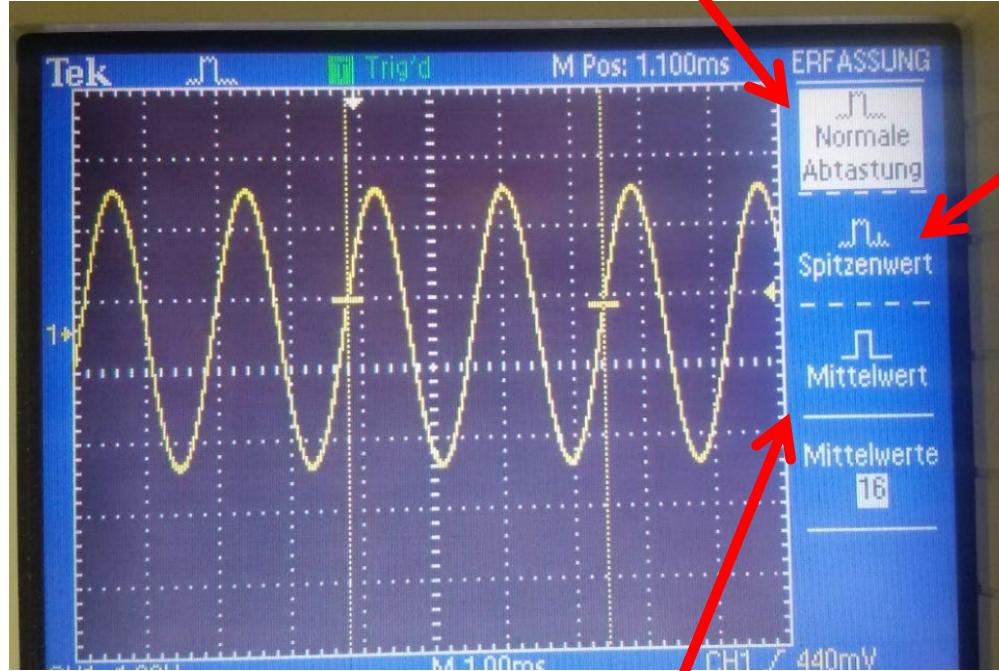


Digital Oszilloskop

Erfassungsmodus



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

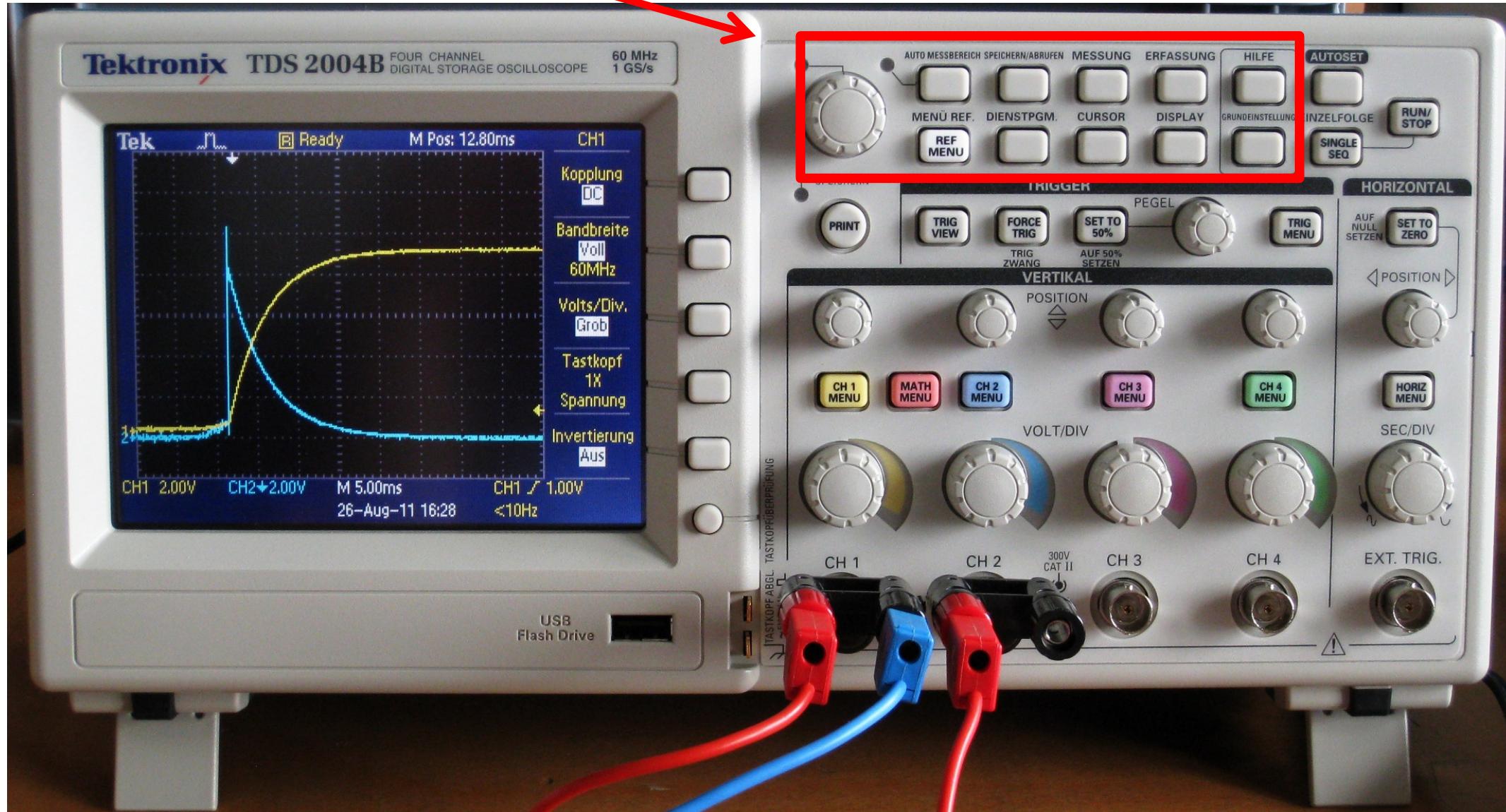


Spitzenwert: Oszi speichert Minima und Maxima der in zwei Signalintervallen erfassten Abtastpunkte und verwendet diese als die beiden einander zugeordneten Signalpunkte → Erfassung schneller Signaländerungen; Modus von Vorteil bei Darstellung von schmalen Impulsen in zeitlich großen Abständen

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

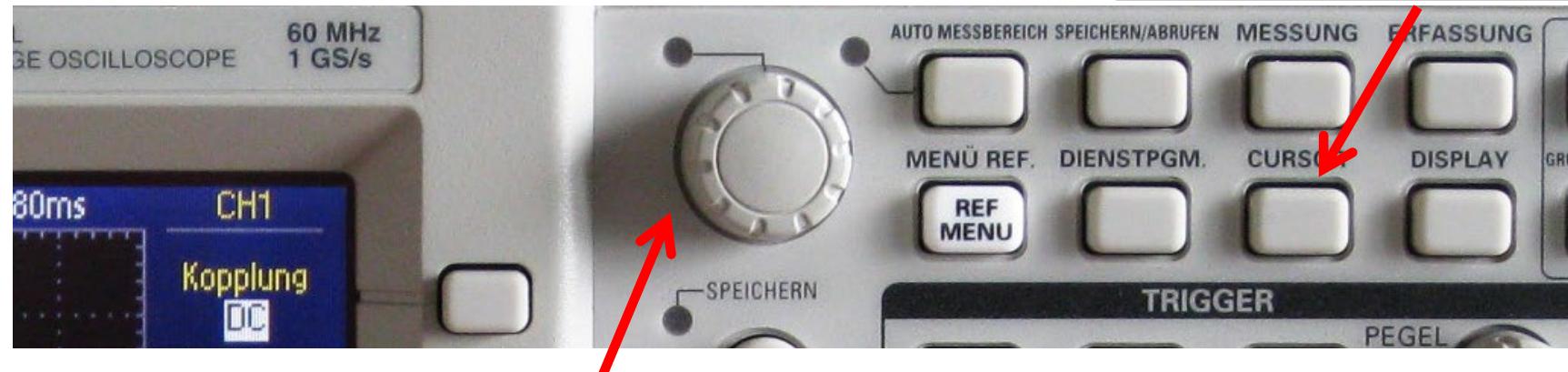
Digital Oszilloskop

Allgem. Einstellungen, Cursor, Messungen

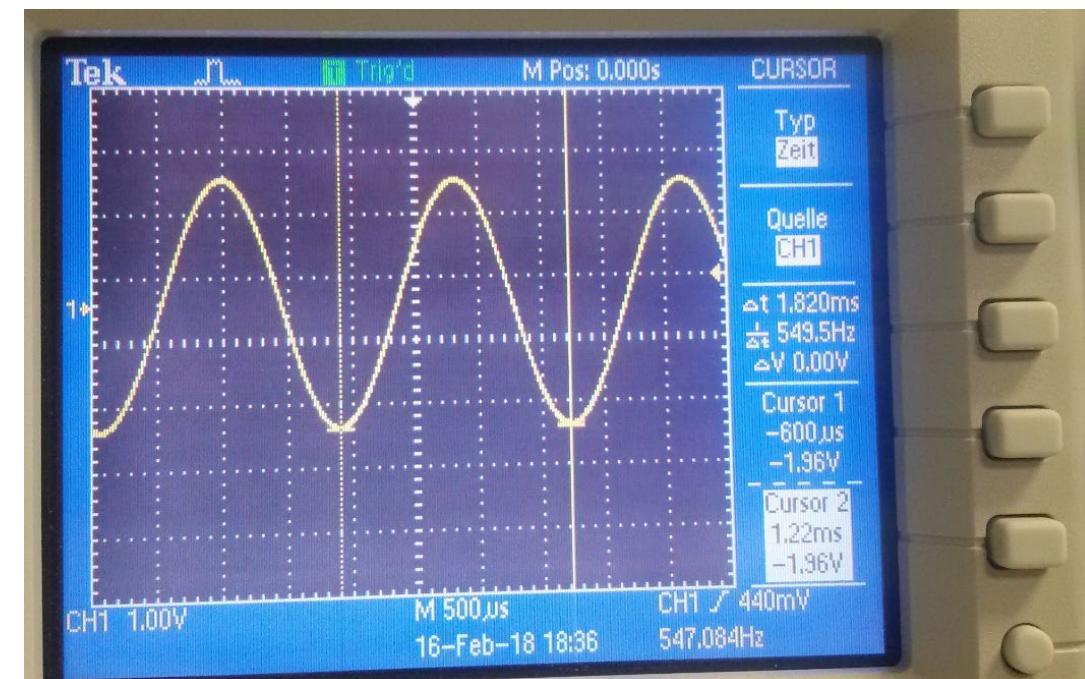
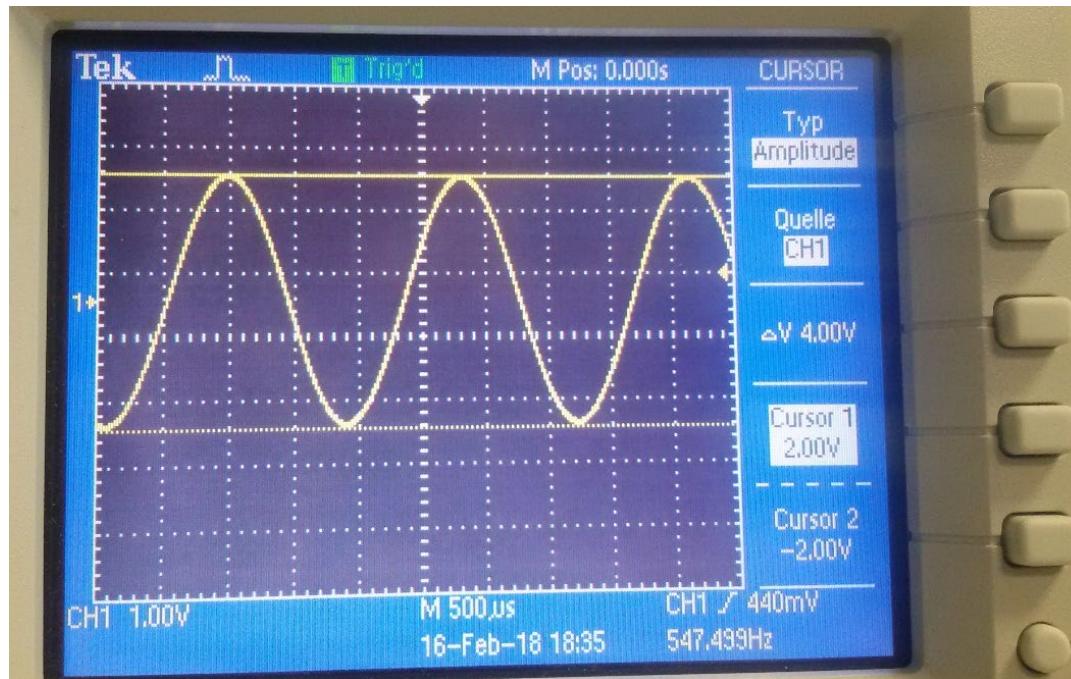


Digital Oszilloskop

Messungen mit Cursor

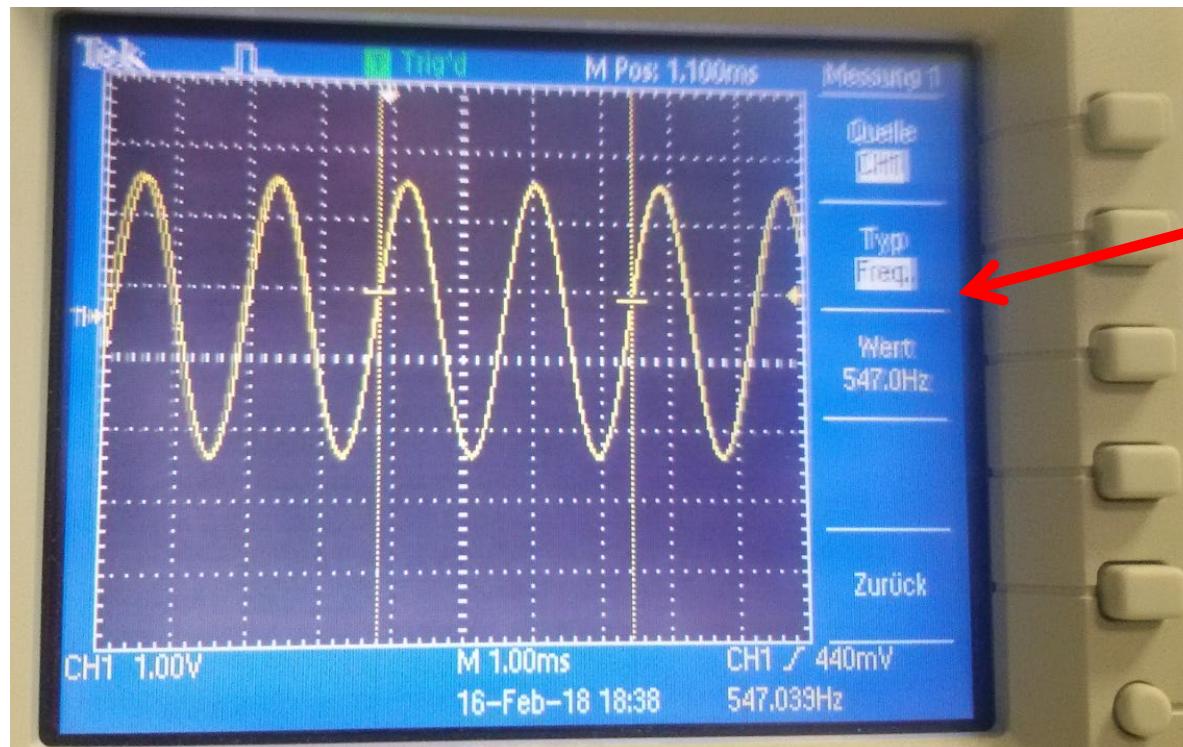


Cursor bewegen mit Mehrfunktions Drehknopf



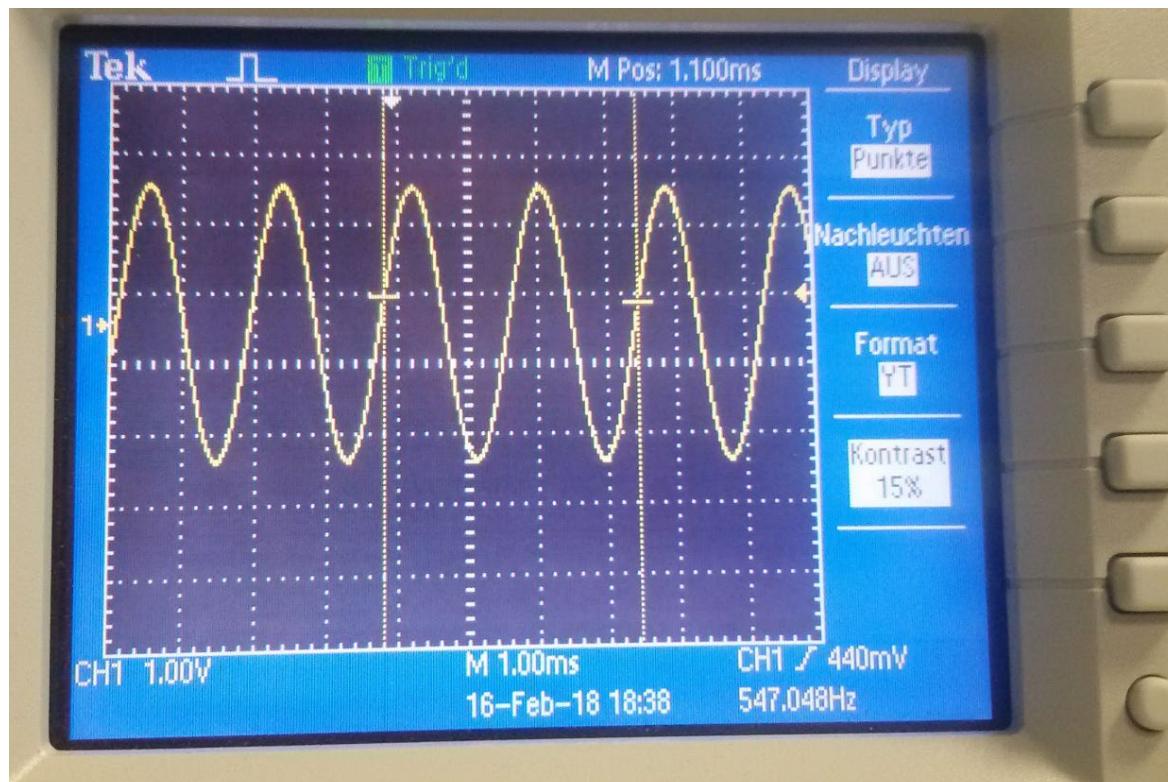
Digital Oszilloskop

Messung



Digital Oszilloskop

Display



Format:
YT oder
XY: → Lissajous-Figuren

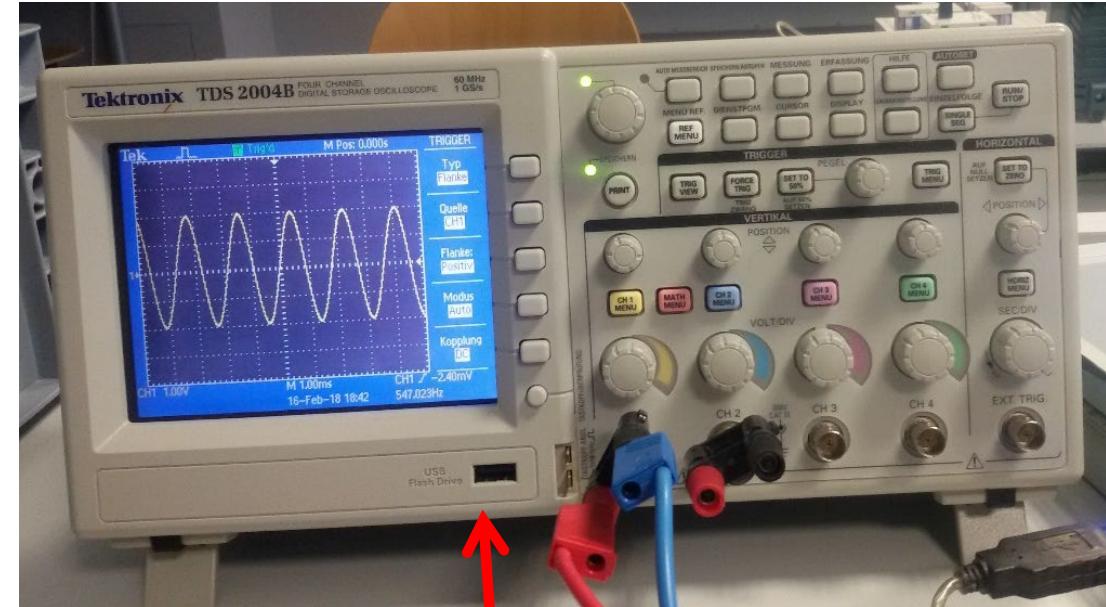
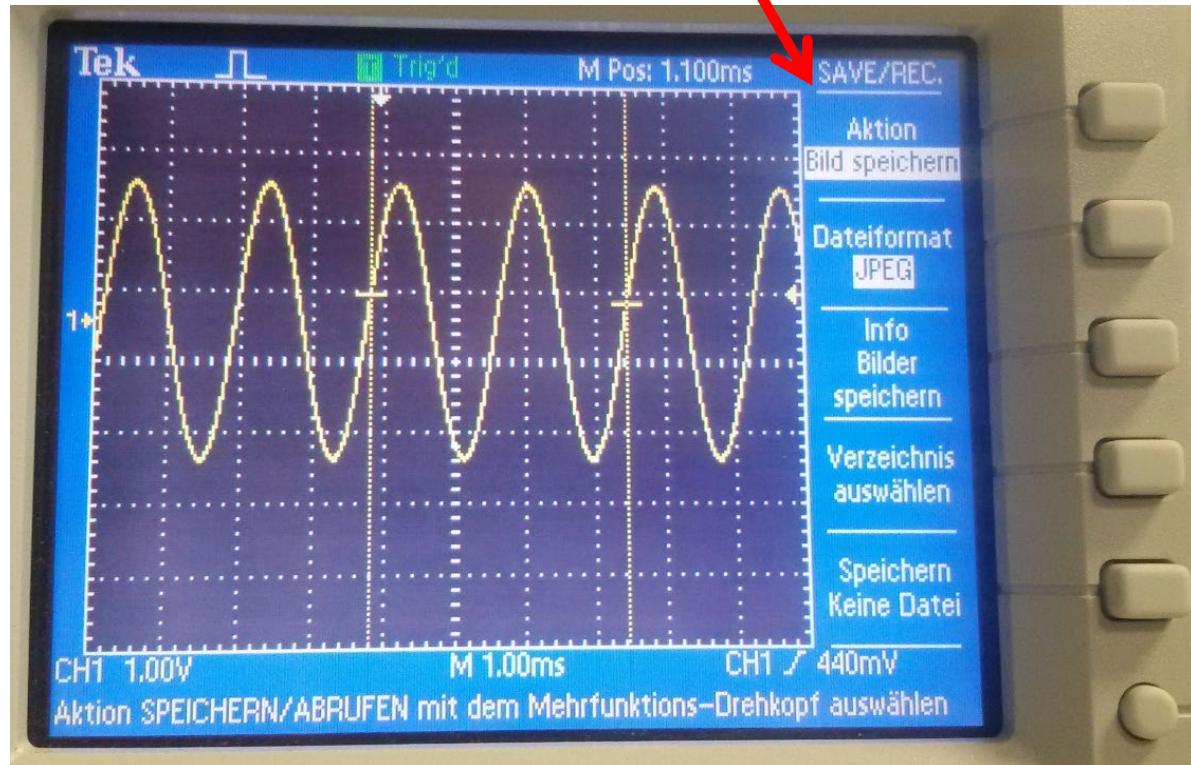
Speichern

Digital Oszilloskop



I. Physikalisches
Institut

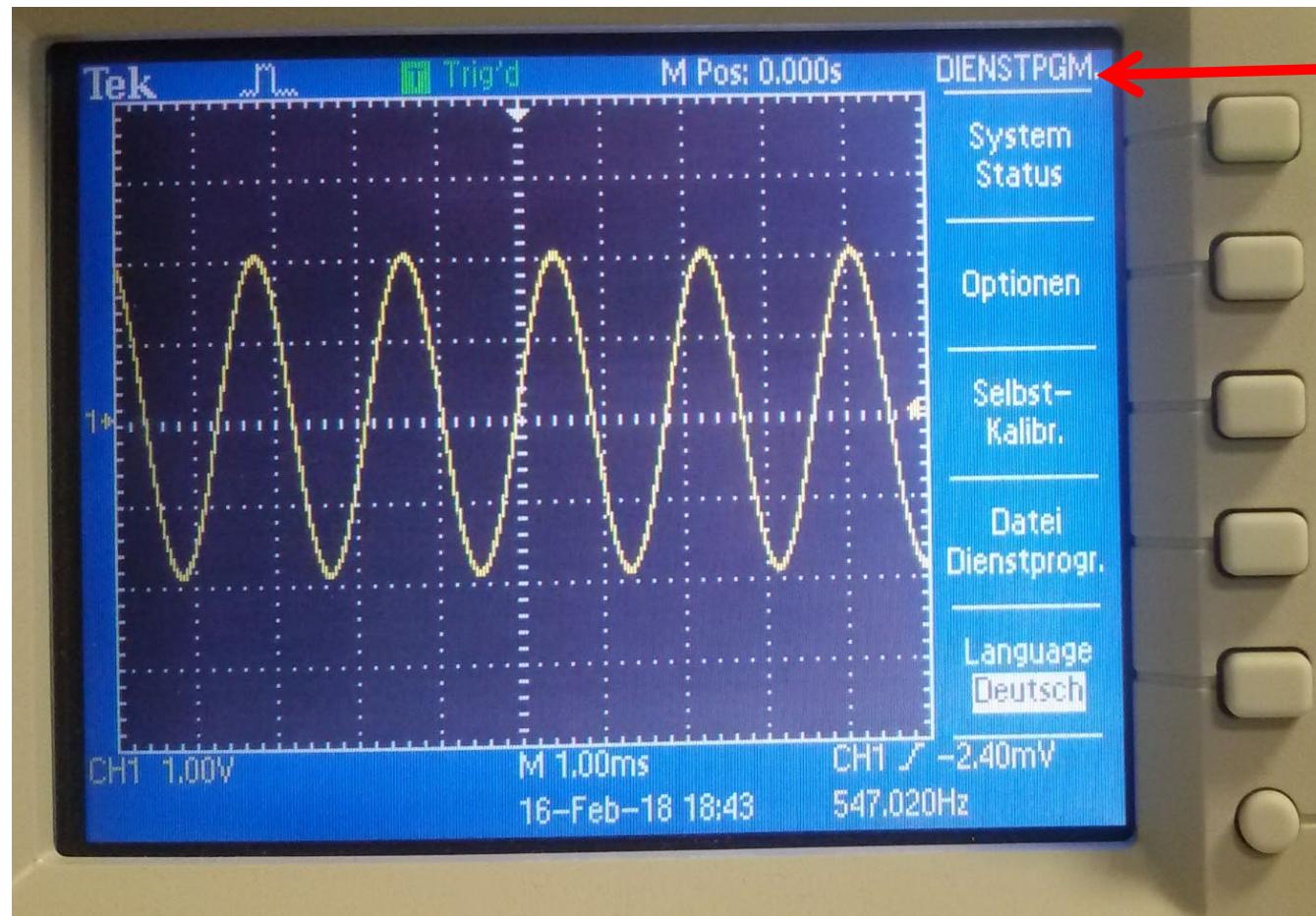
RWTH AACHEN
UNIVERSITY



SAVE/REC:
Bilder oder Daten speichern auf USB Stick
ABER: Nicht jeder USB-Stick wird erkannt

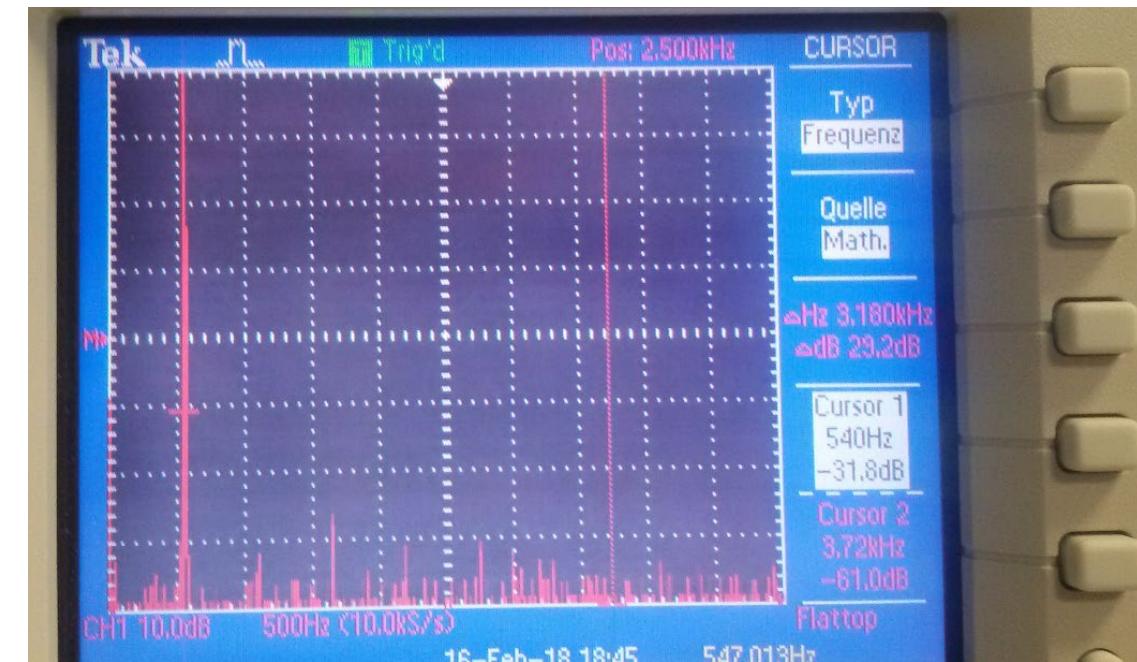
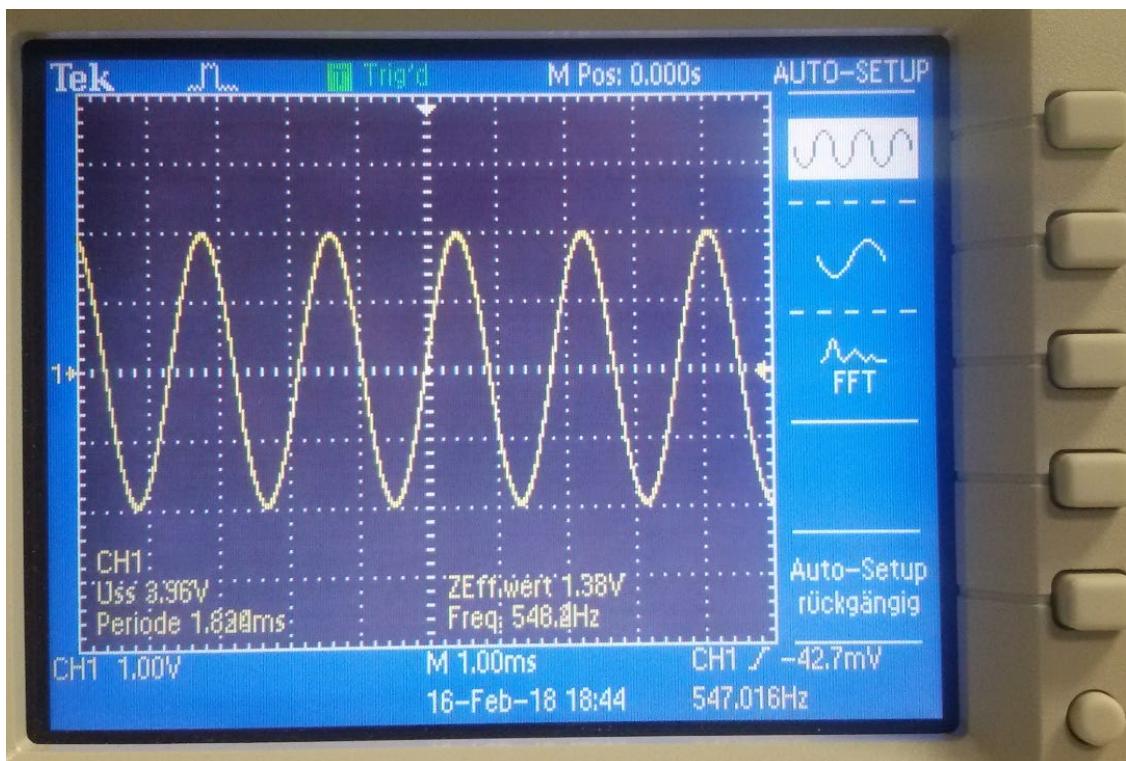
Digital Oszilloskop

Dienstprogramme

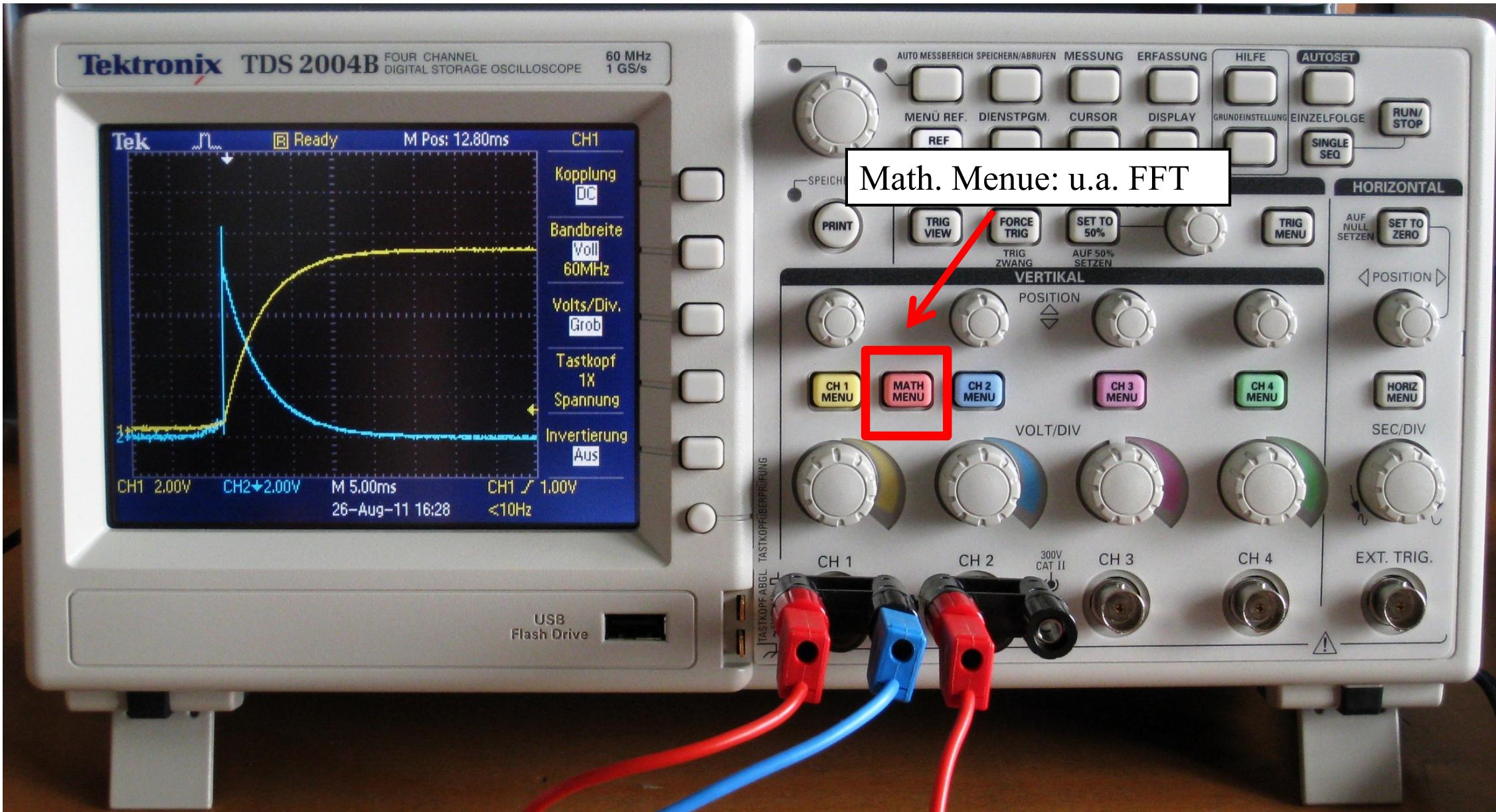


Digital Oszilloskop

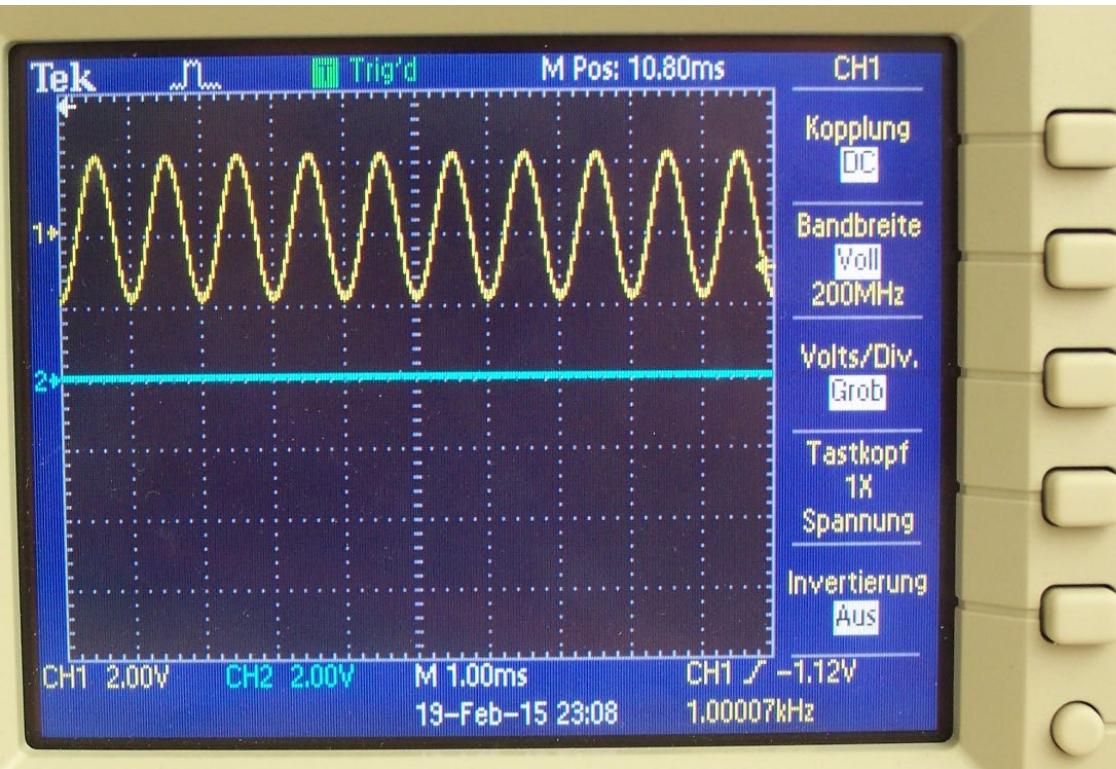
Autosetup



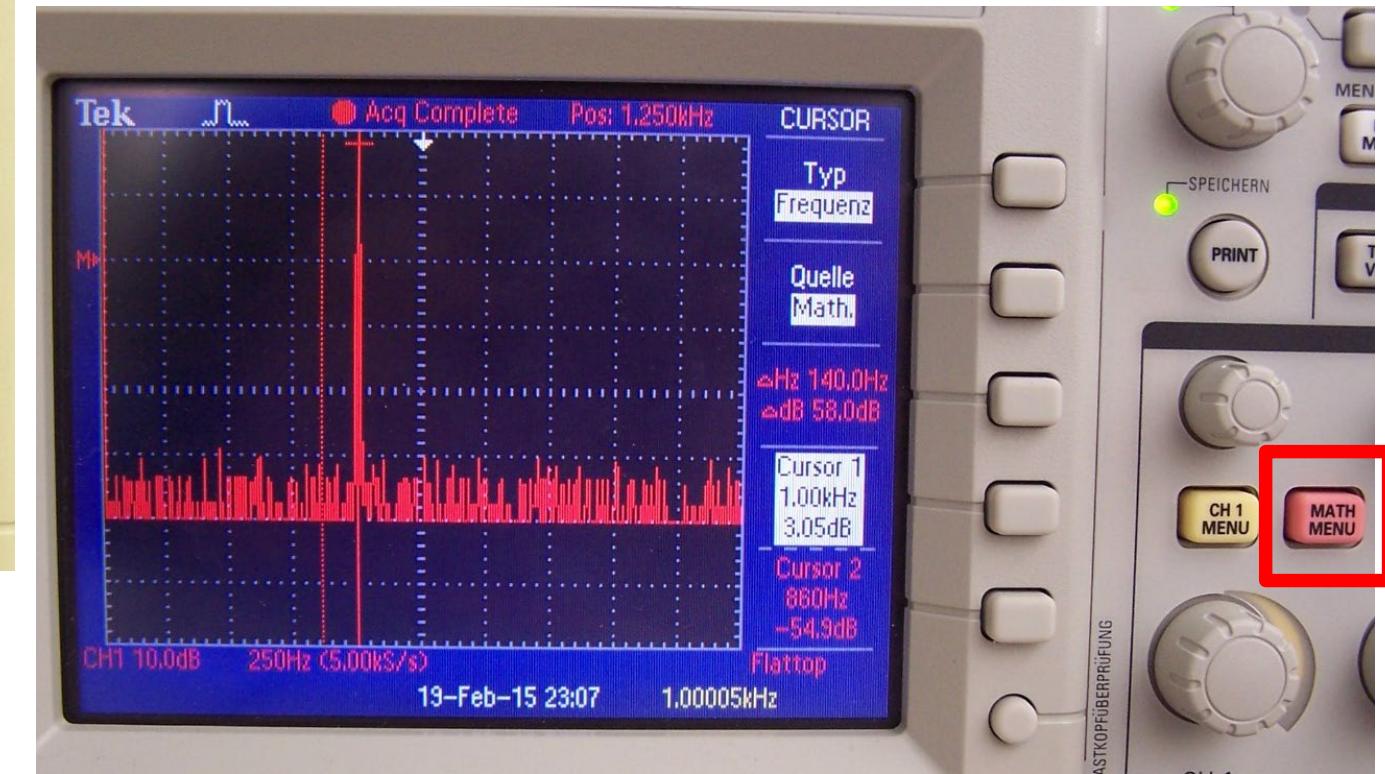
Digital Oszilloskop



Digital Oszilloskop



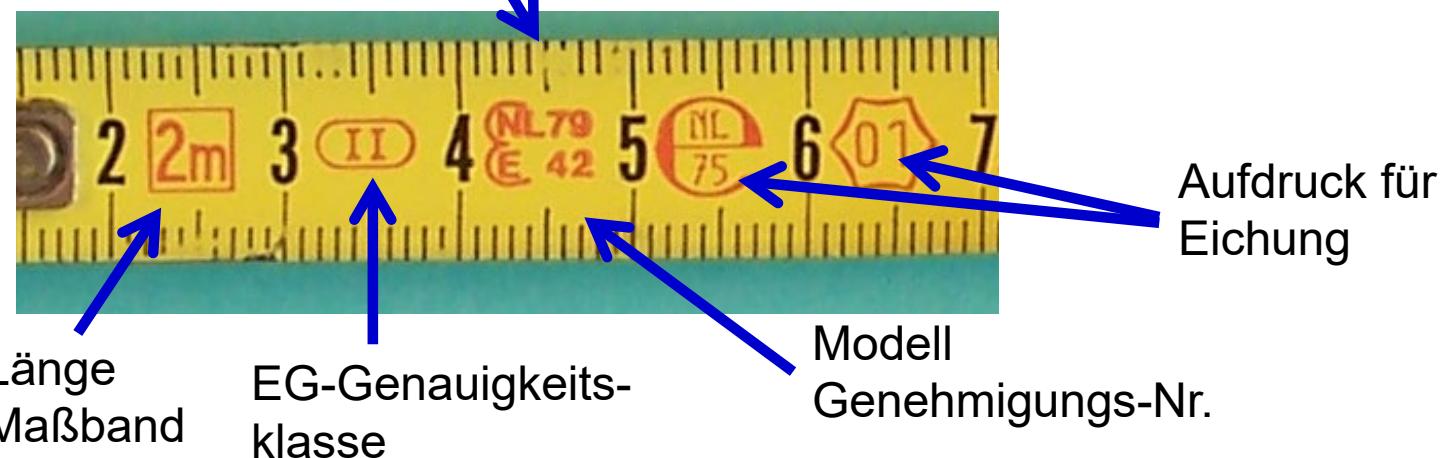
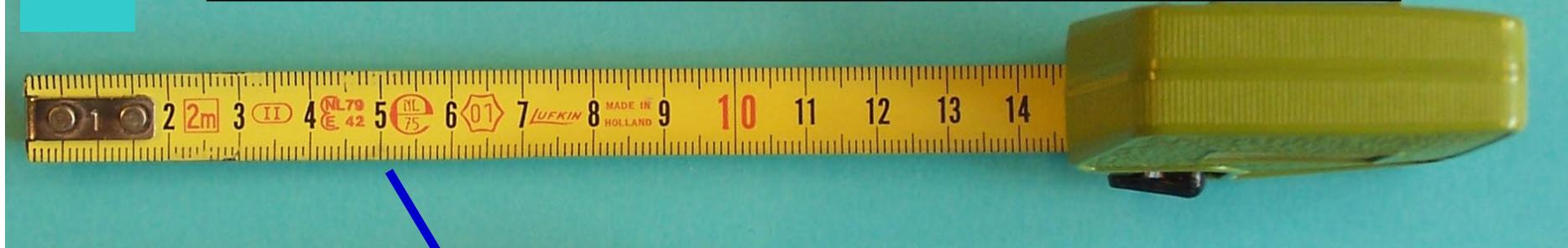
FFT einer Einzelmessung einer Schwingung



Längenmessungen



Längenmessungen mit Maßband



Toleranzen der Maßbänder nach Klasse I und II werden ermittelt:

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

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

L = Nominallänge in Metern

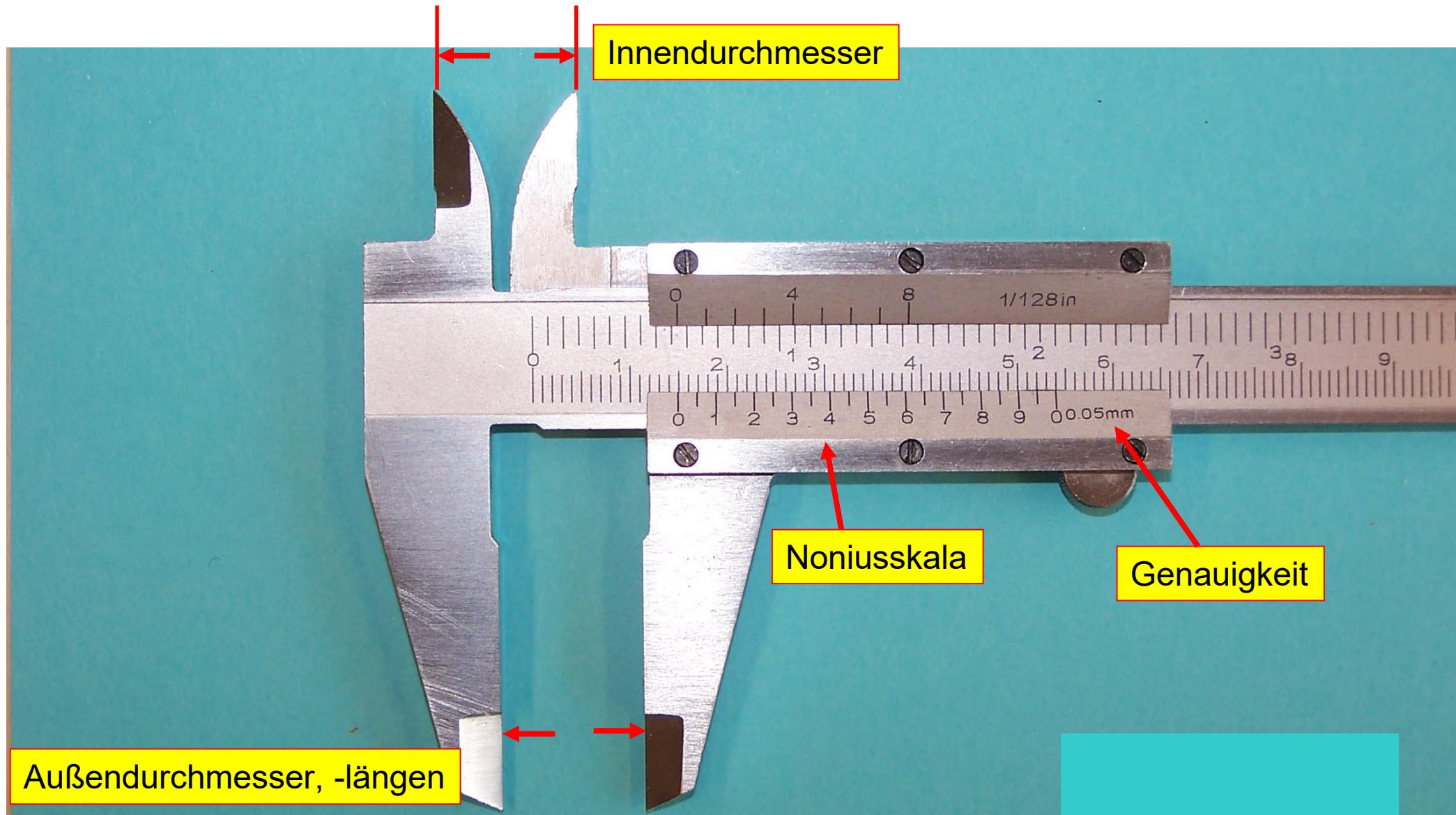
	a	b
Klasse I:	0,1	0,1
Klasse II:	0,3	0,2



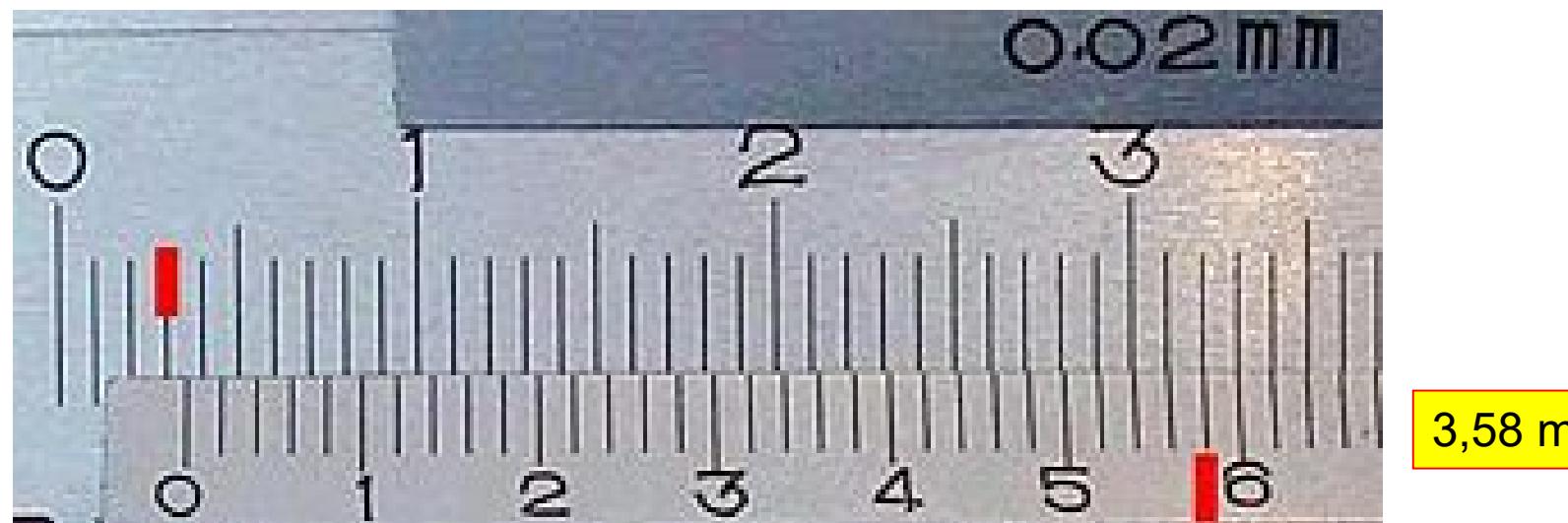
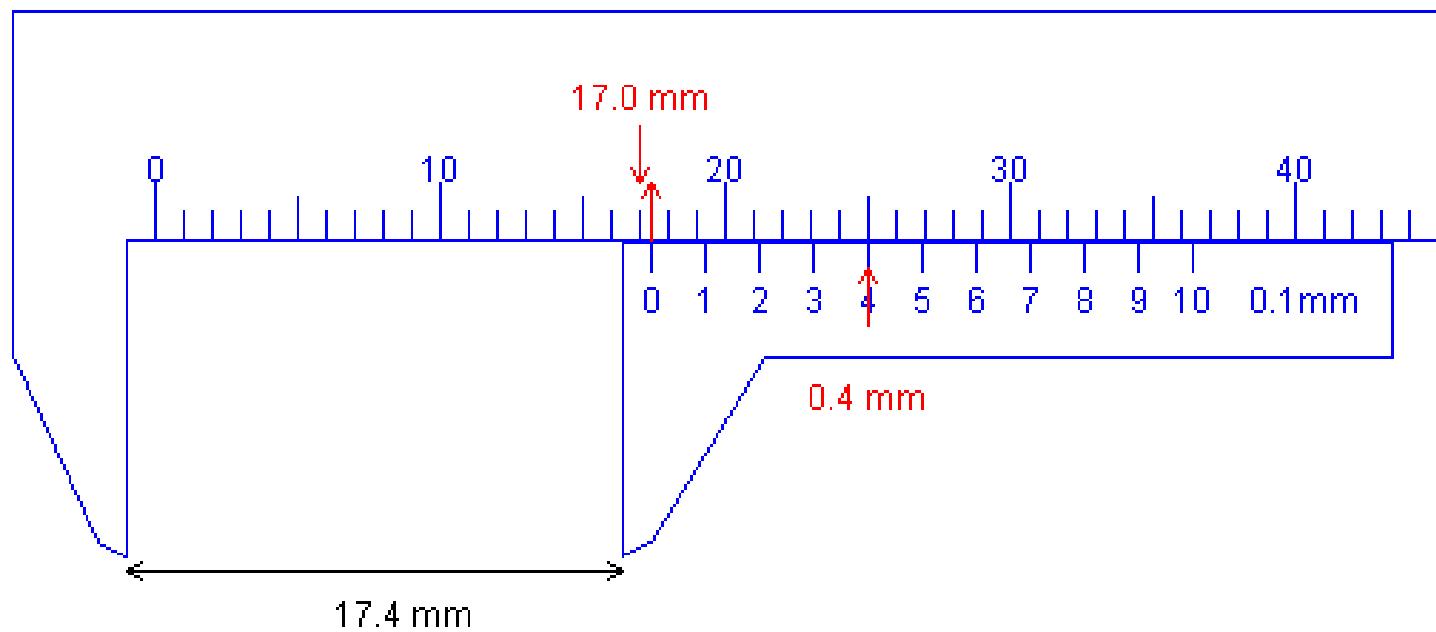
Messunsicherheiten:

- 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

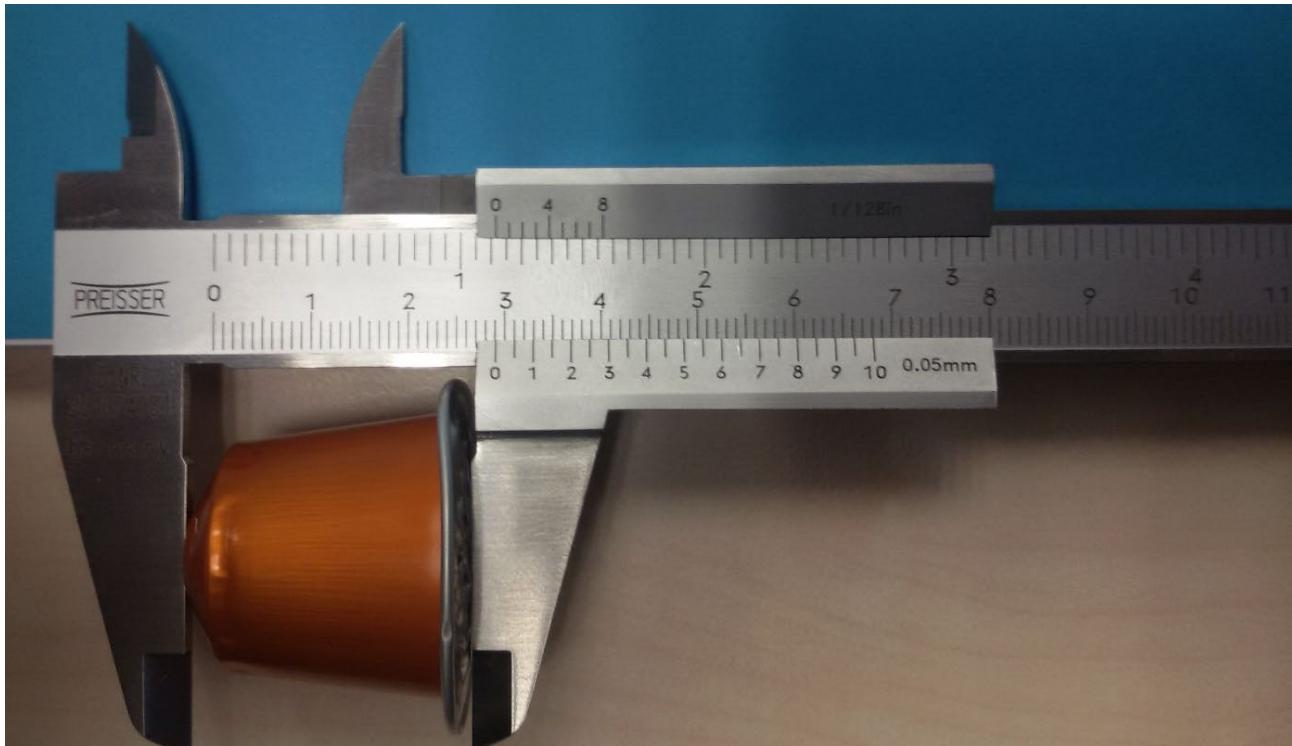
Längenmessungen mit Messschieber



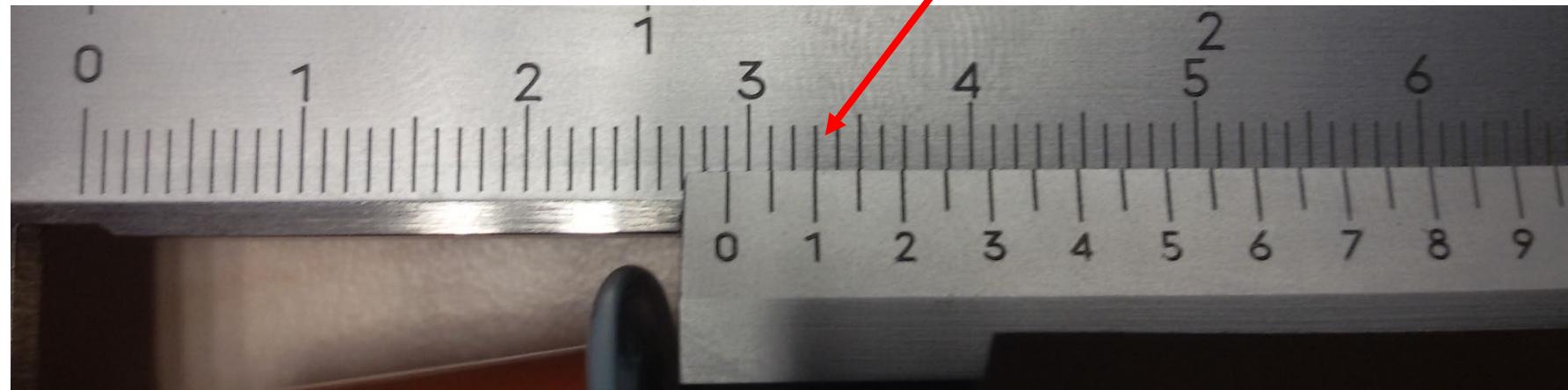
Längenmessungen mit Messschieber



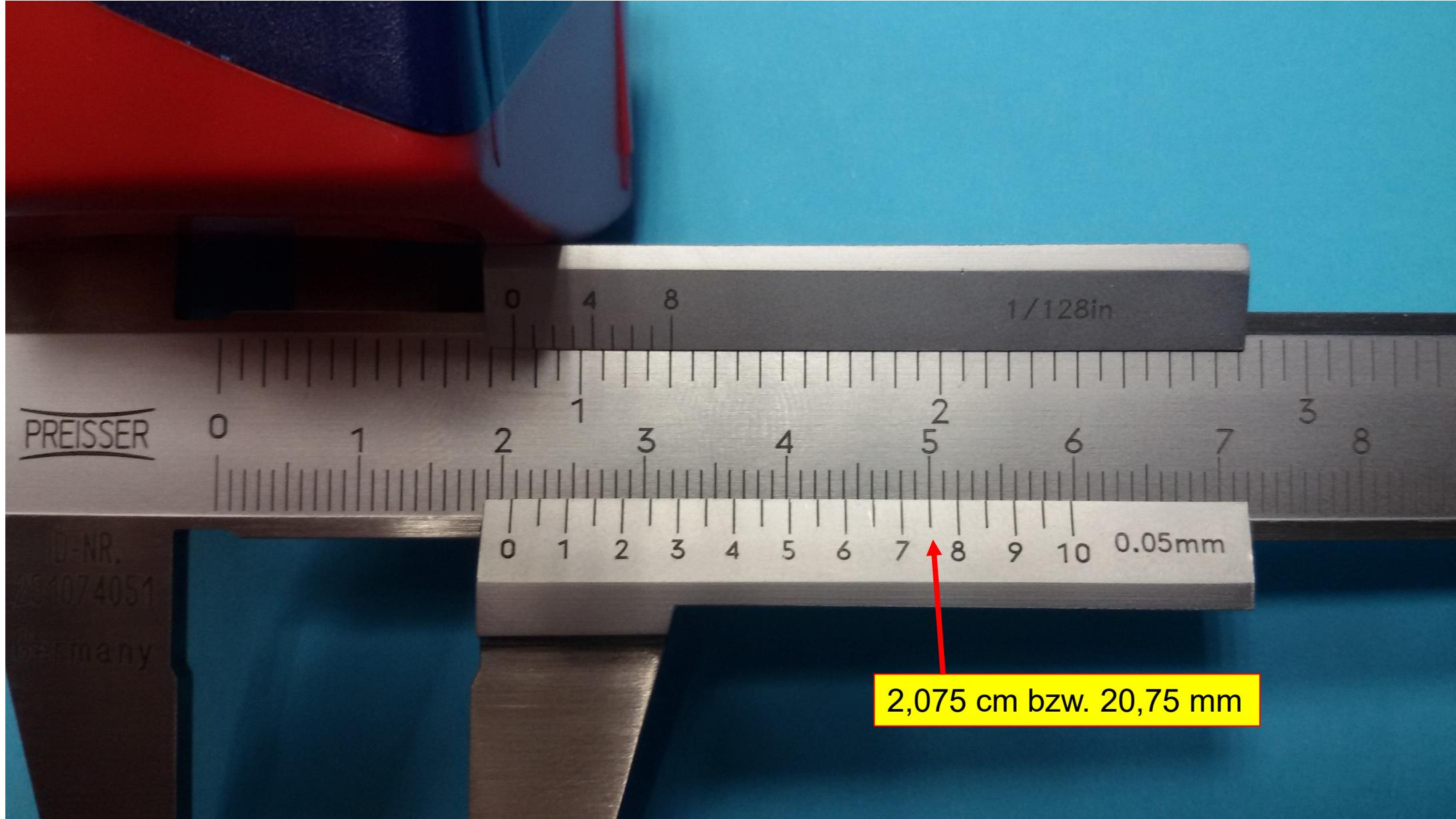
Längenmessungen mit Messschieber



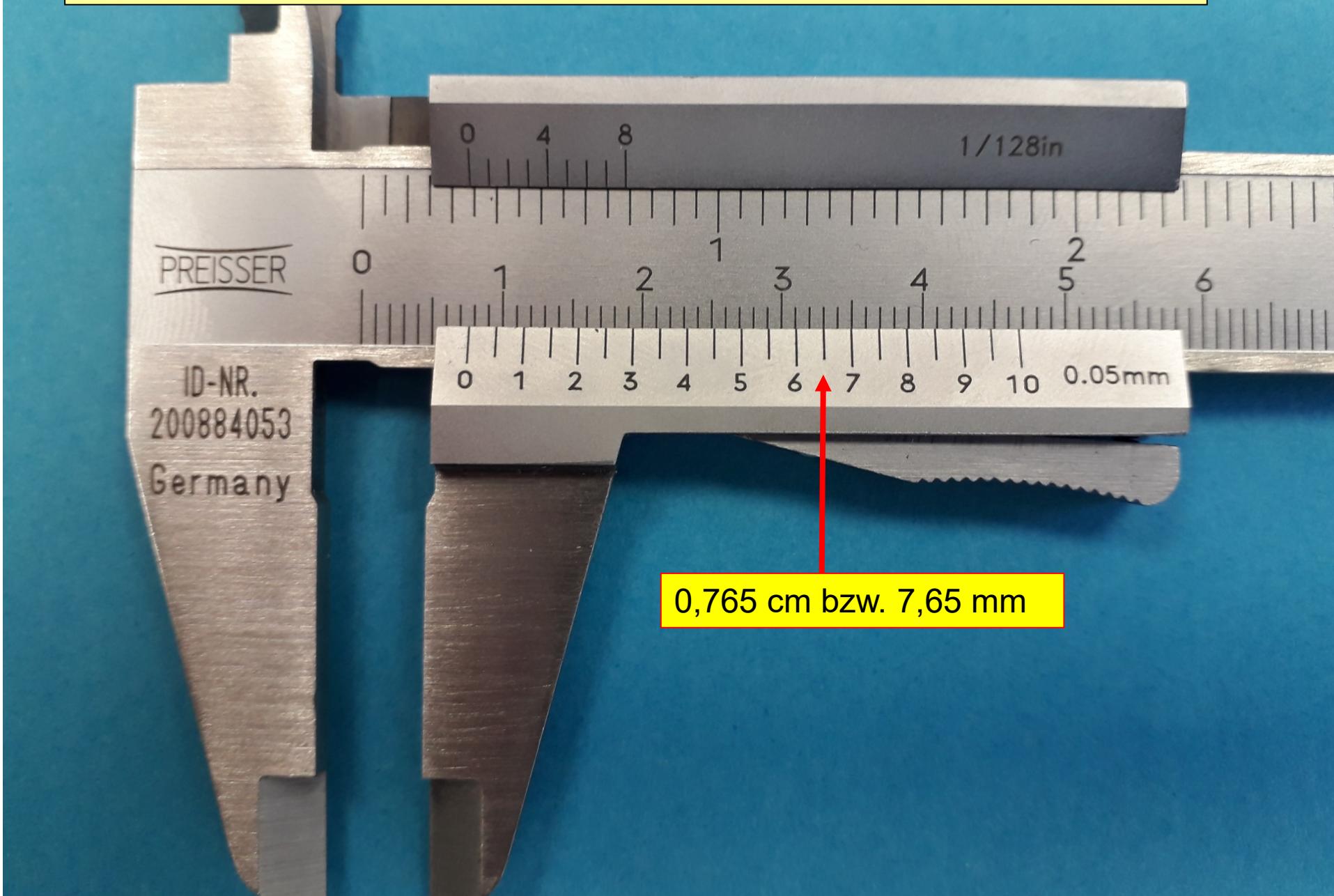
29,05 mm



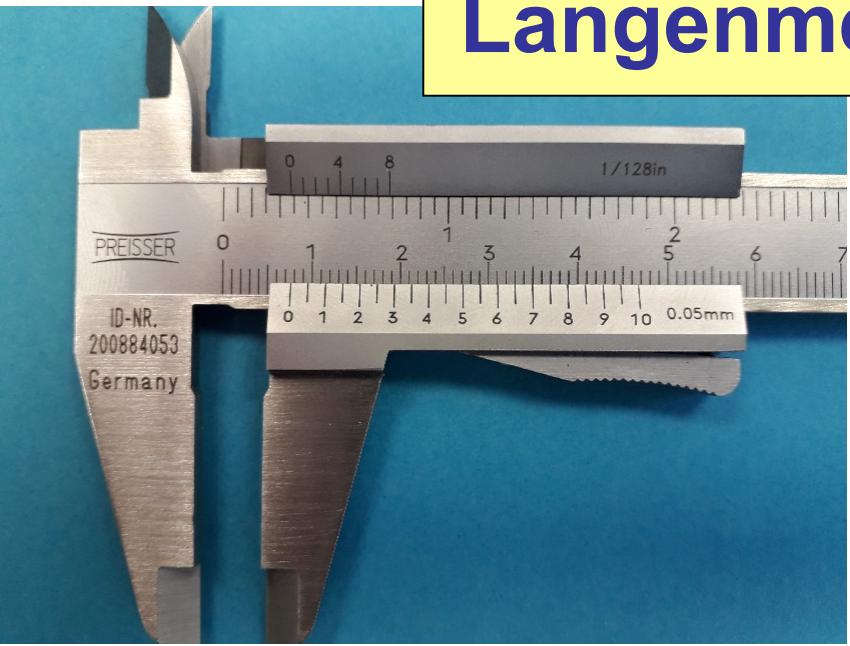
Längenmessungen mit Messschieber



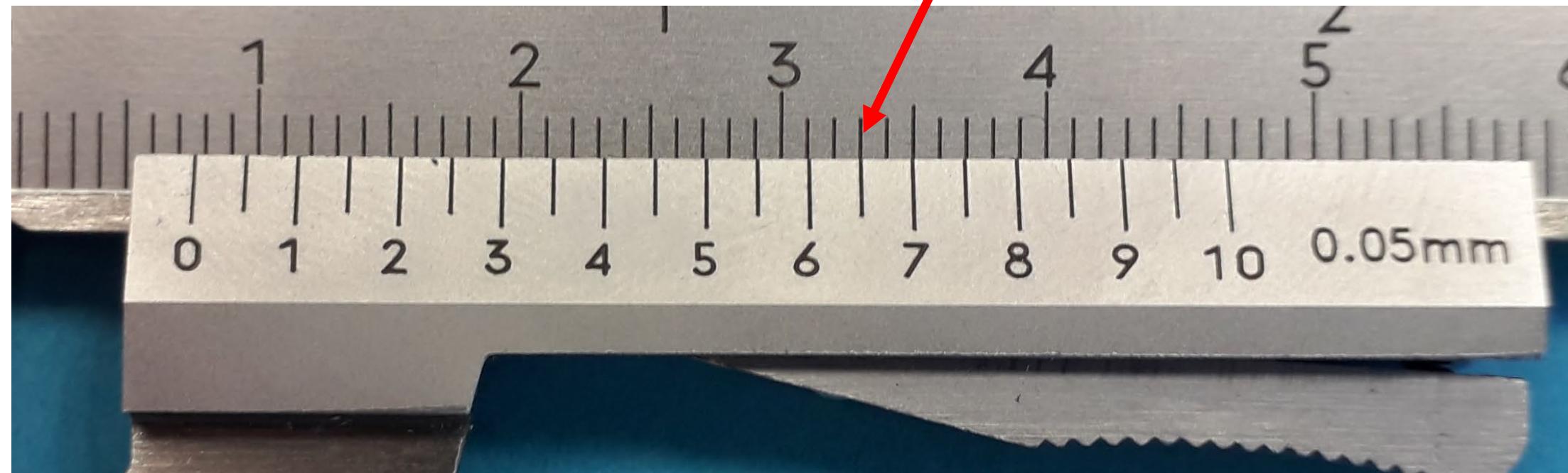
Längenmessungen mit Messschieber



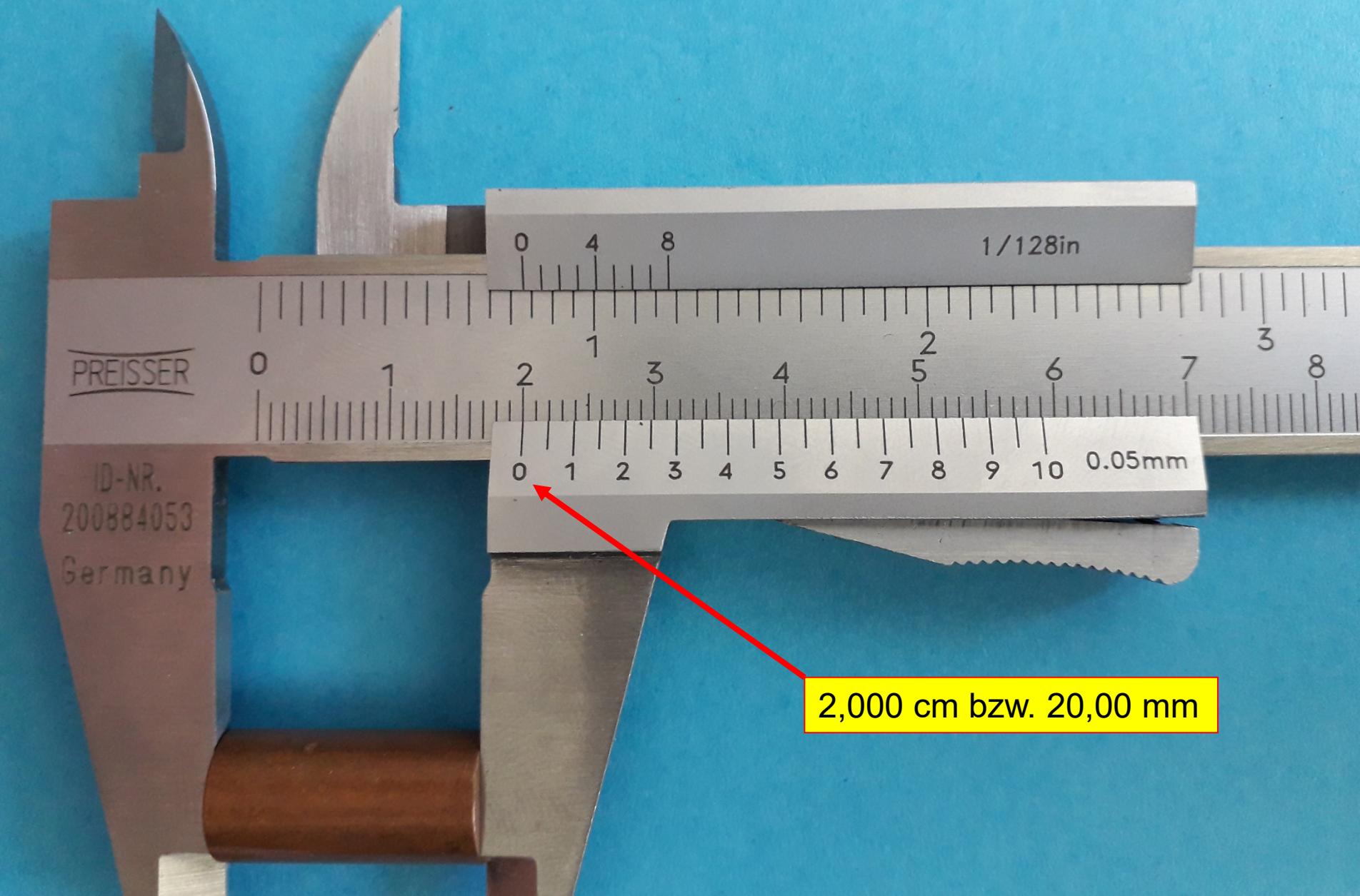
Längenmessungen mit Messschieber



0,765 cm bzw. 7,65 mm



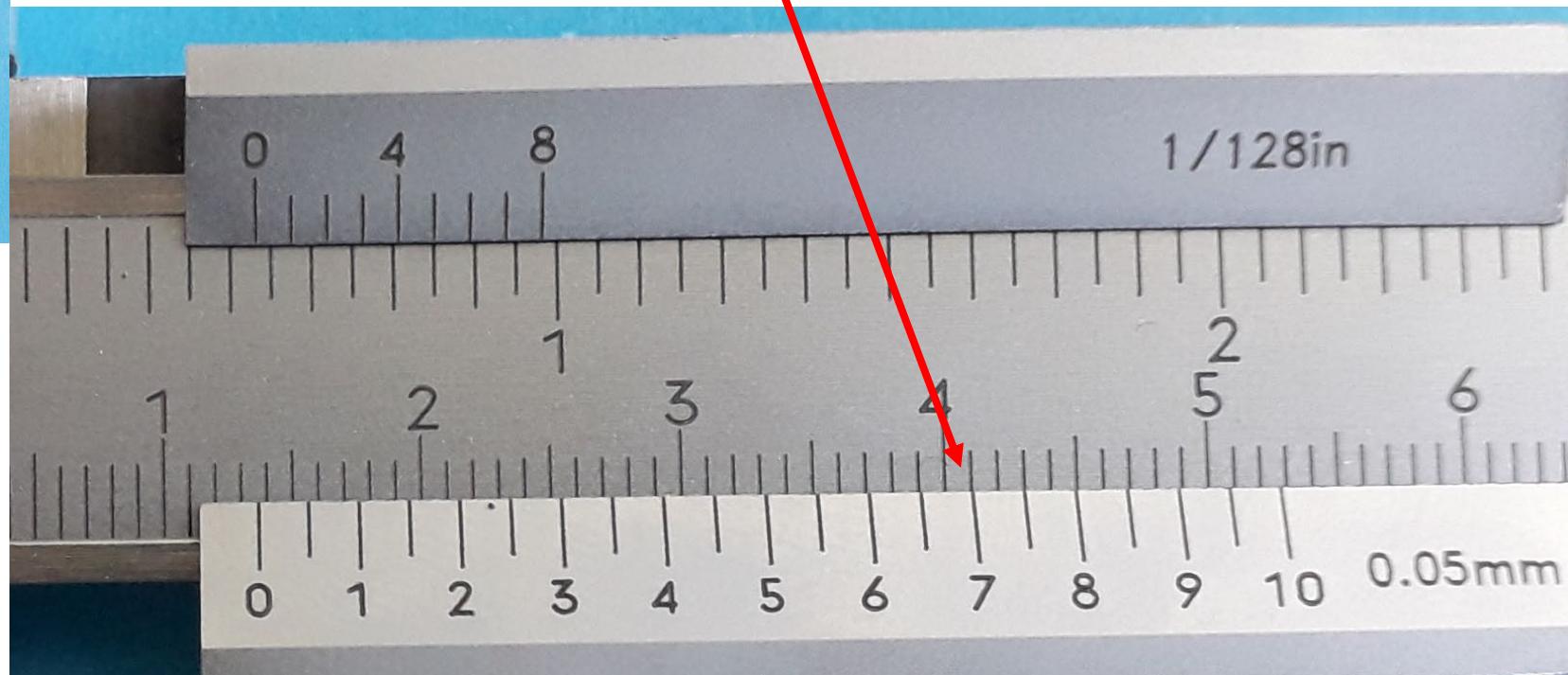
Längenmessungen mit Messschieber



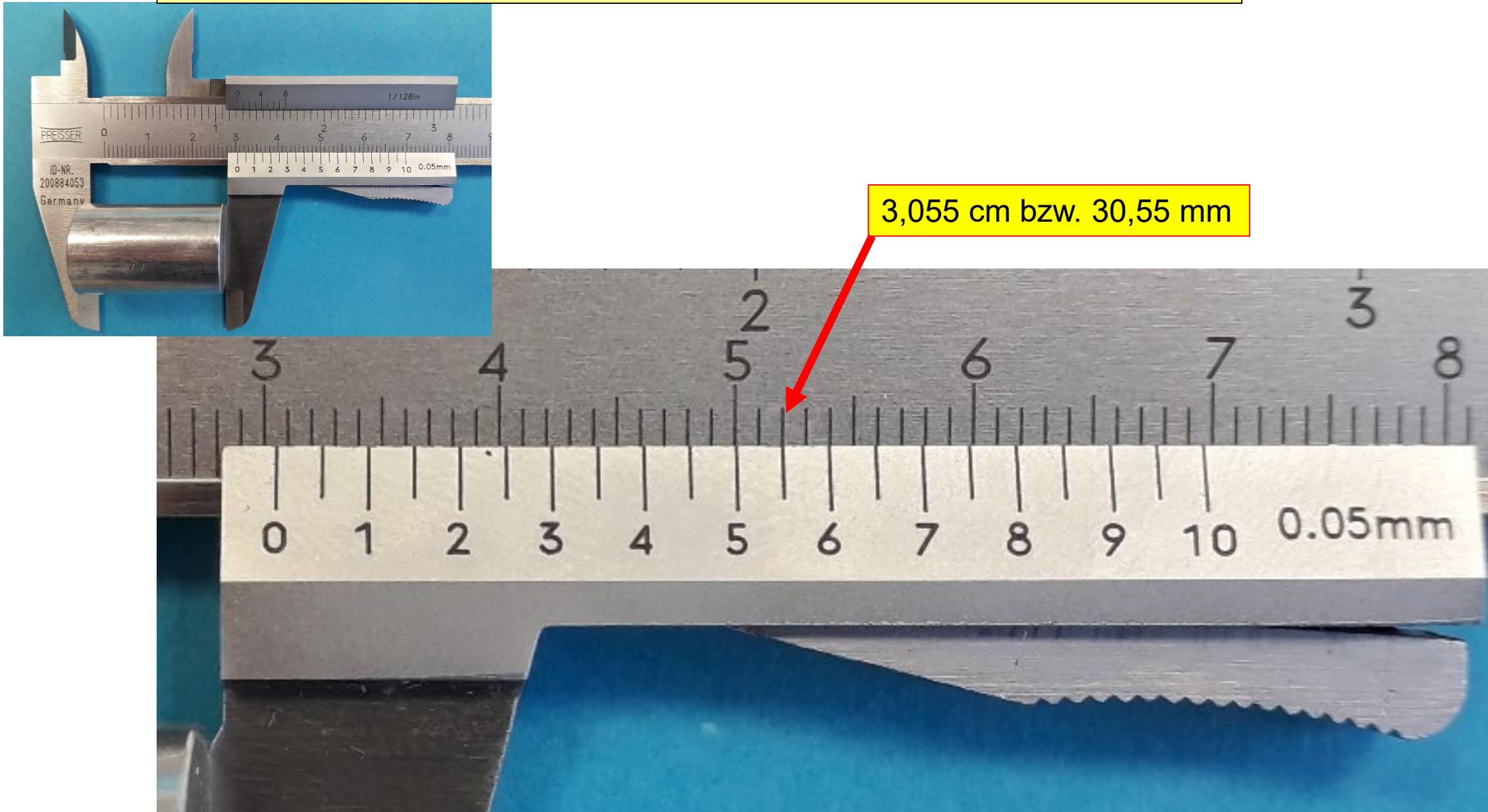
Längenmessungen mit Messschieber



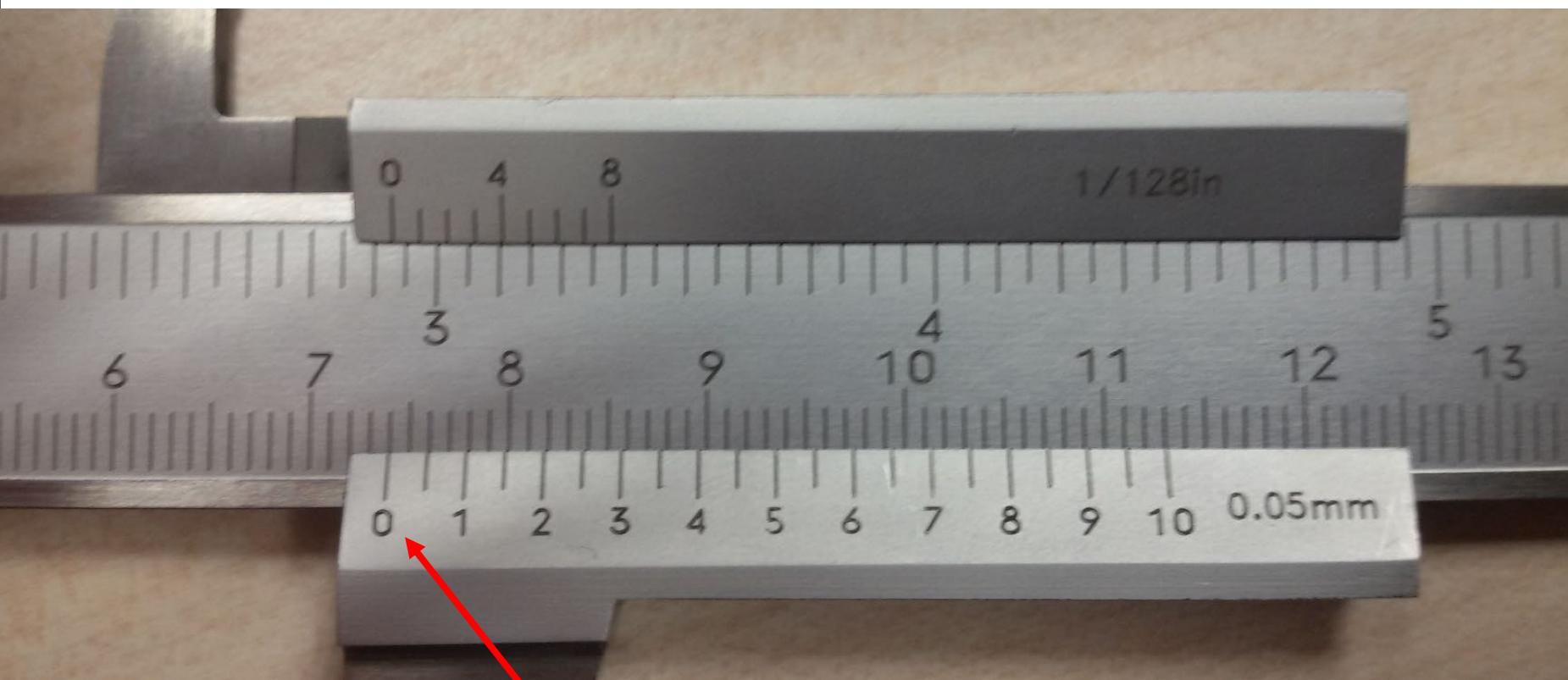
1,37 cm bzw. 13,70 mm



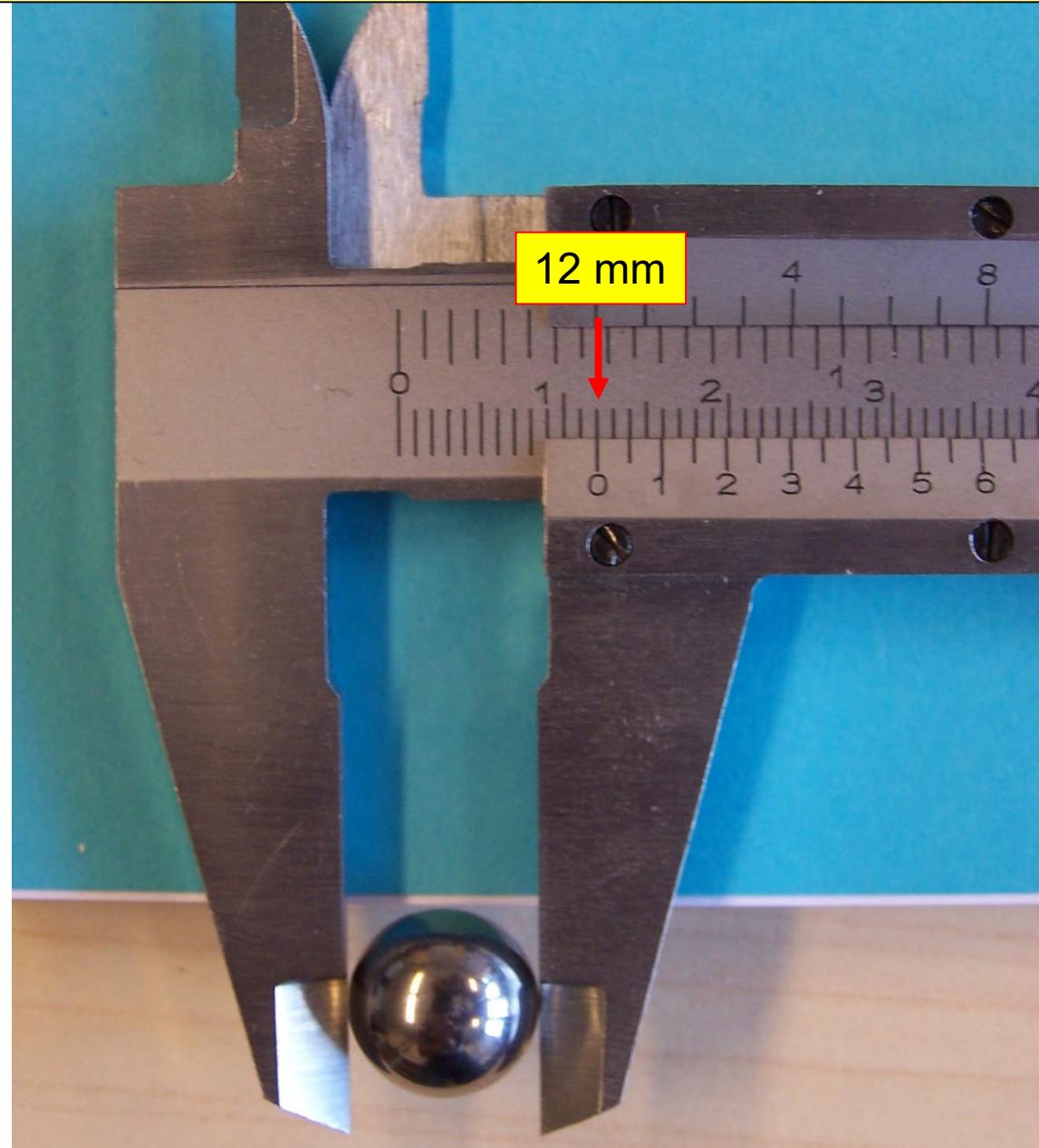
Längenmessungen mit Messschieber



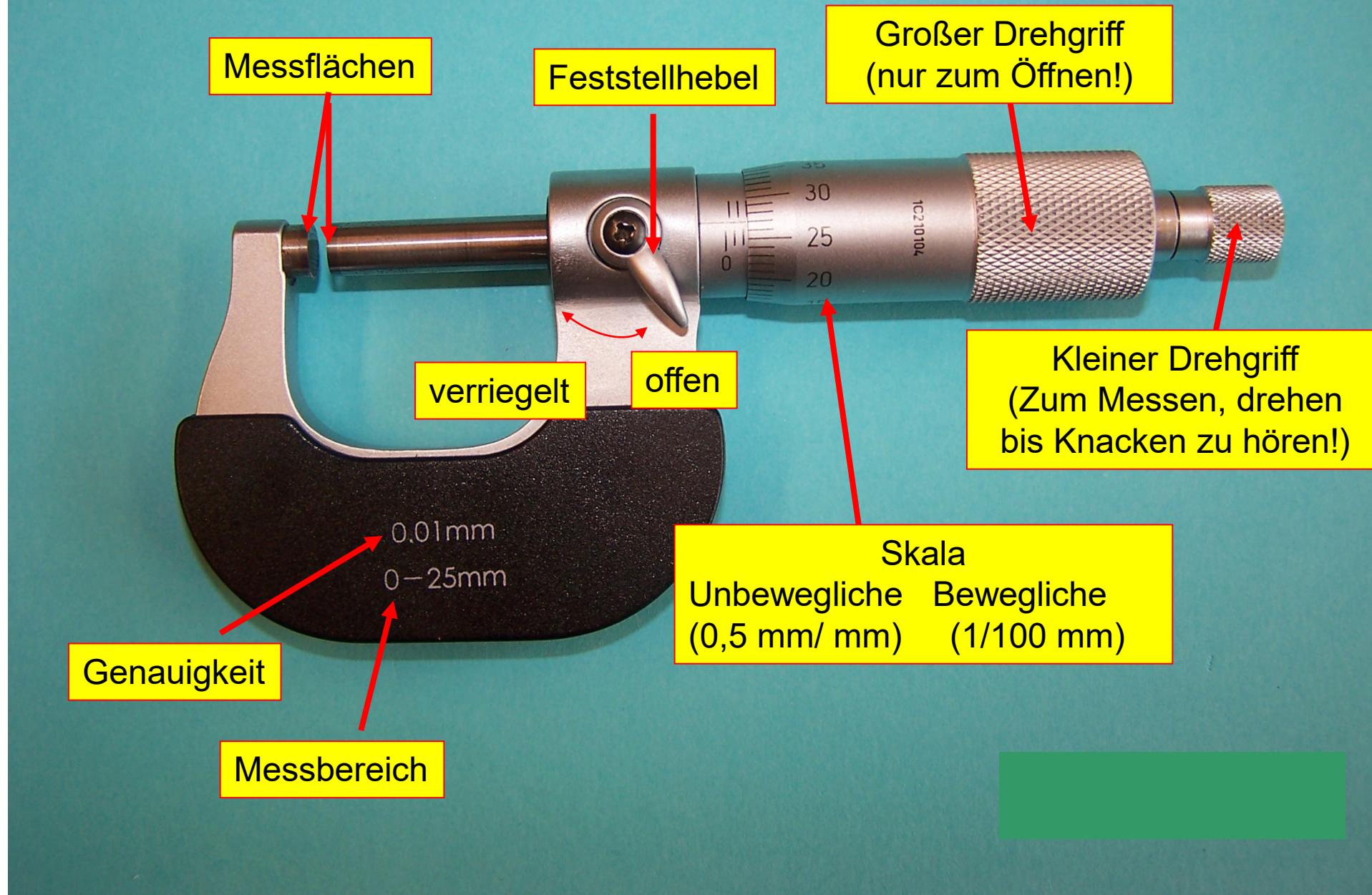
Längenmessungen mit Messschieber



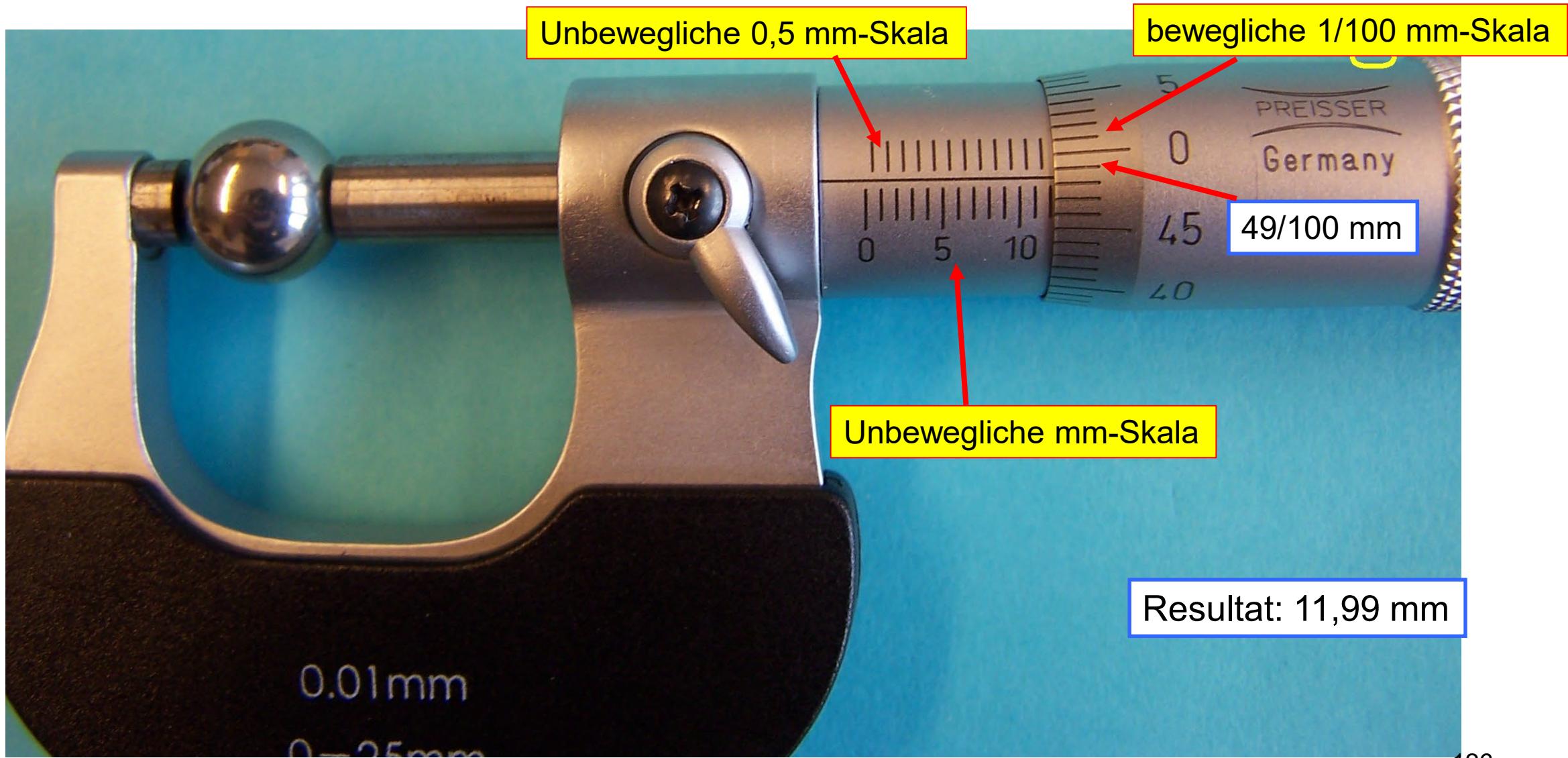
Längenmessungen mit Messschieber



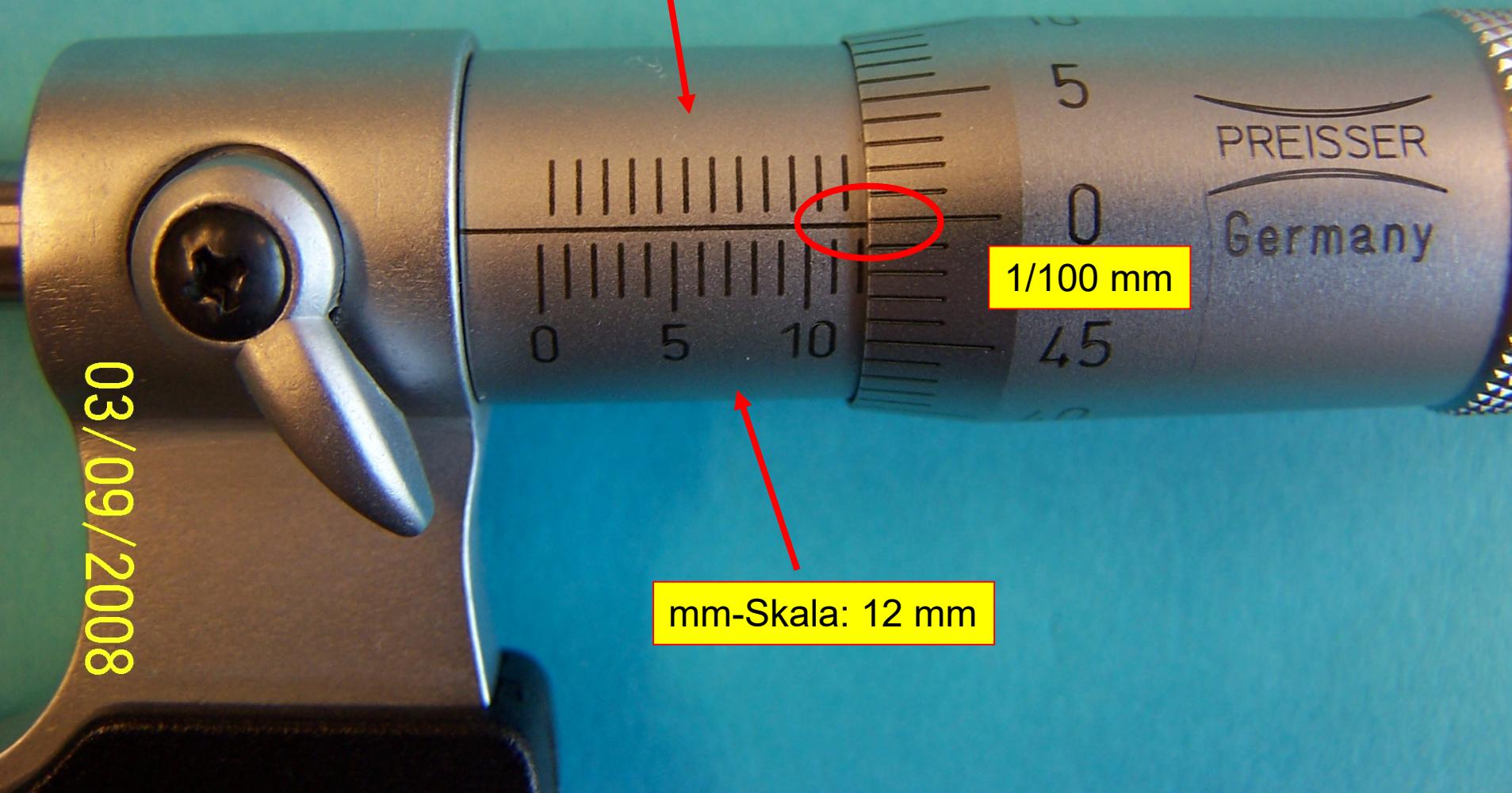
Längenmessungen mit Mikrometerschraube



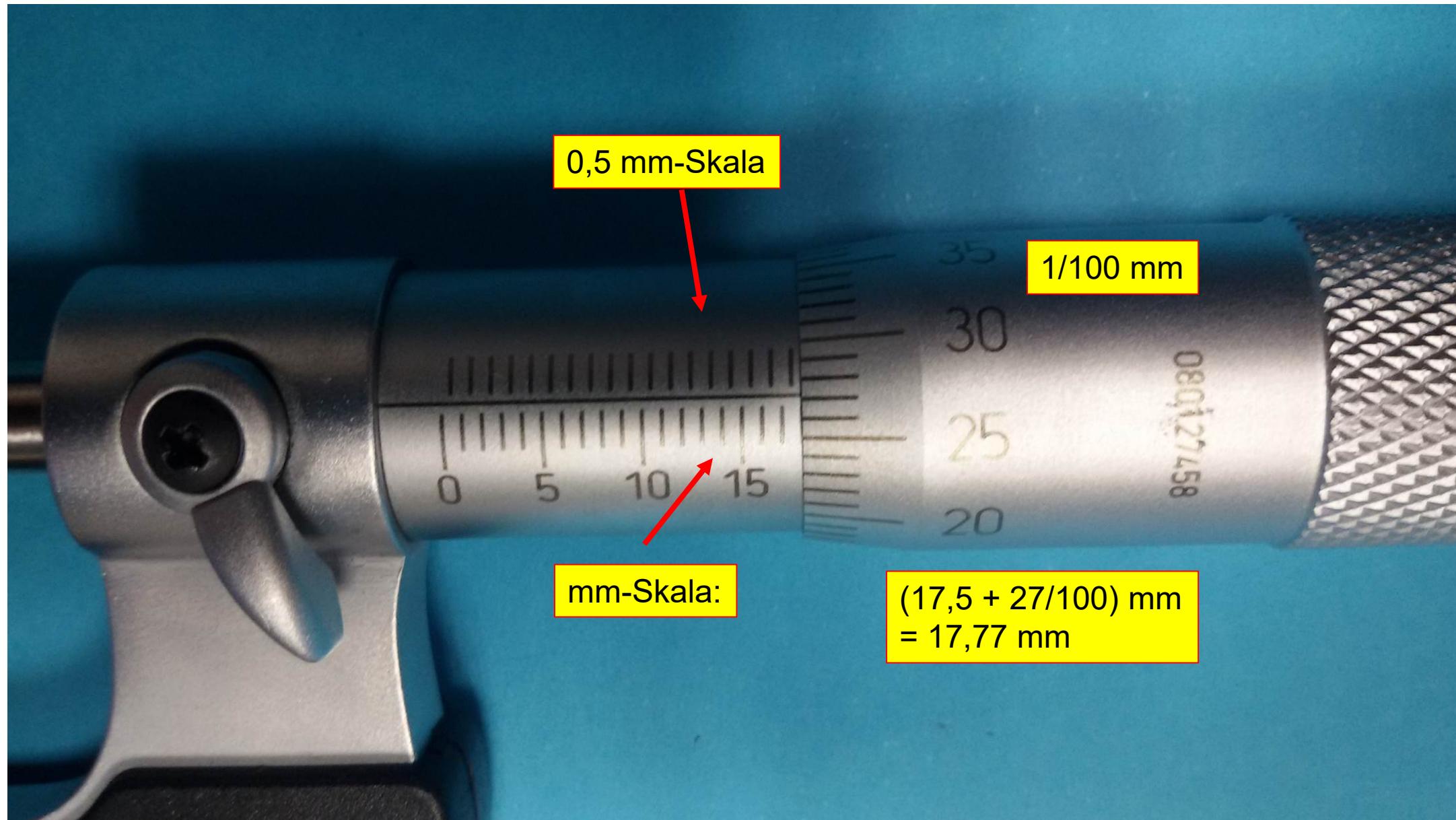
Längenmessungen mit Mikrometerschraube



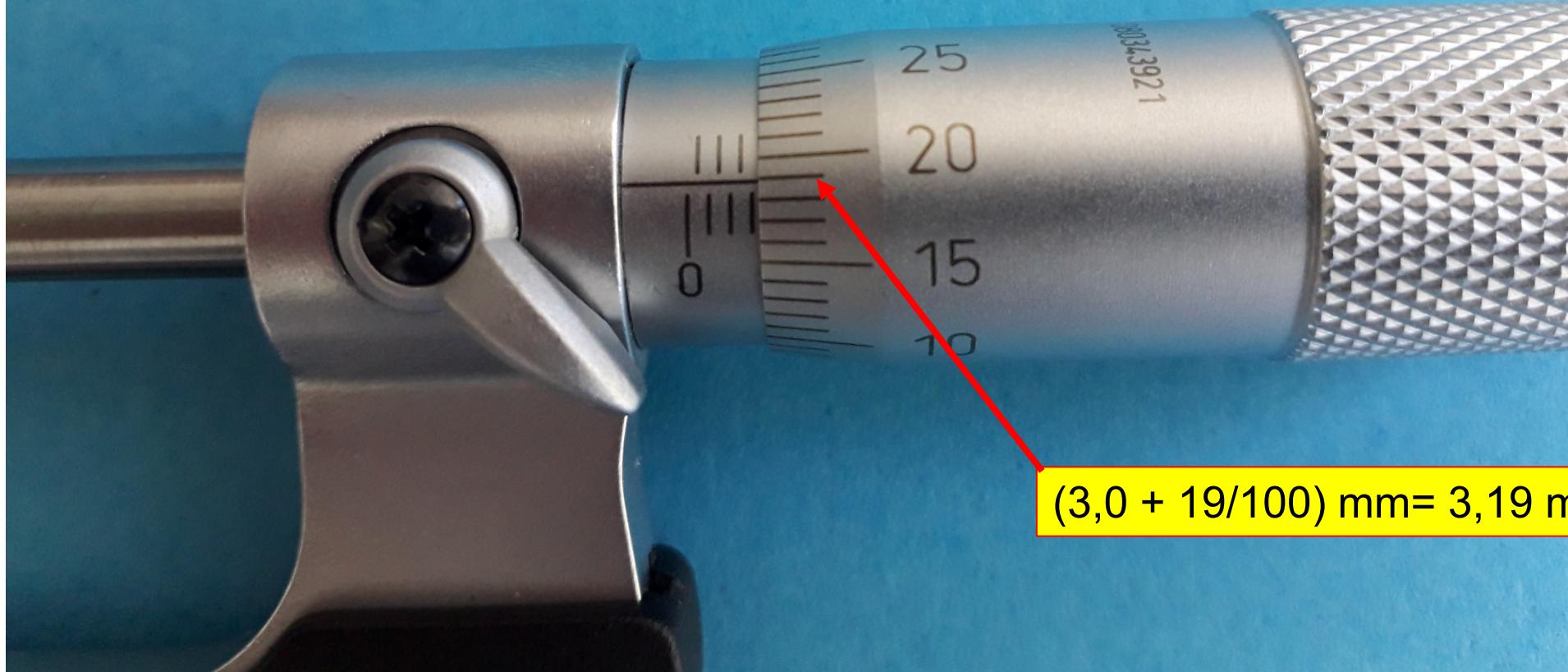
Längenmessungen mit Mikrometerschraube



Längenmessungen mit Mikrometerschraube

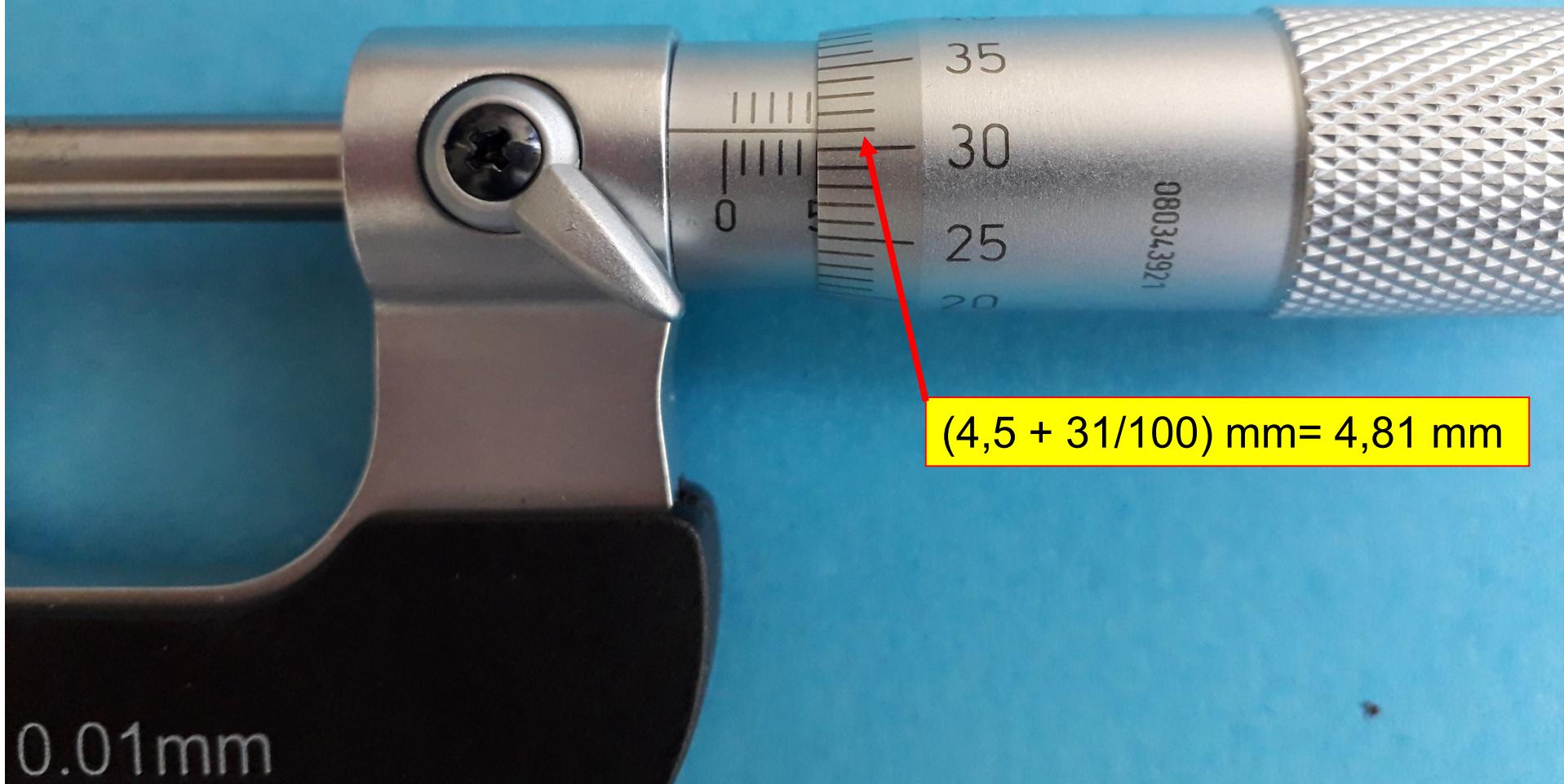


Längenmessungen mit Mikrometerschraube



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

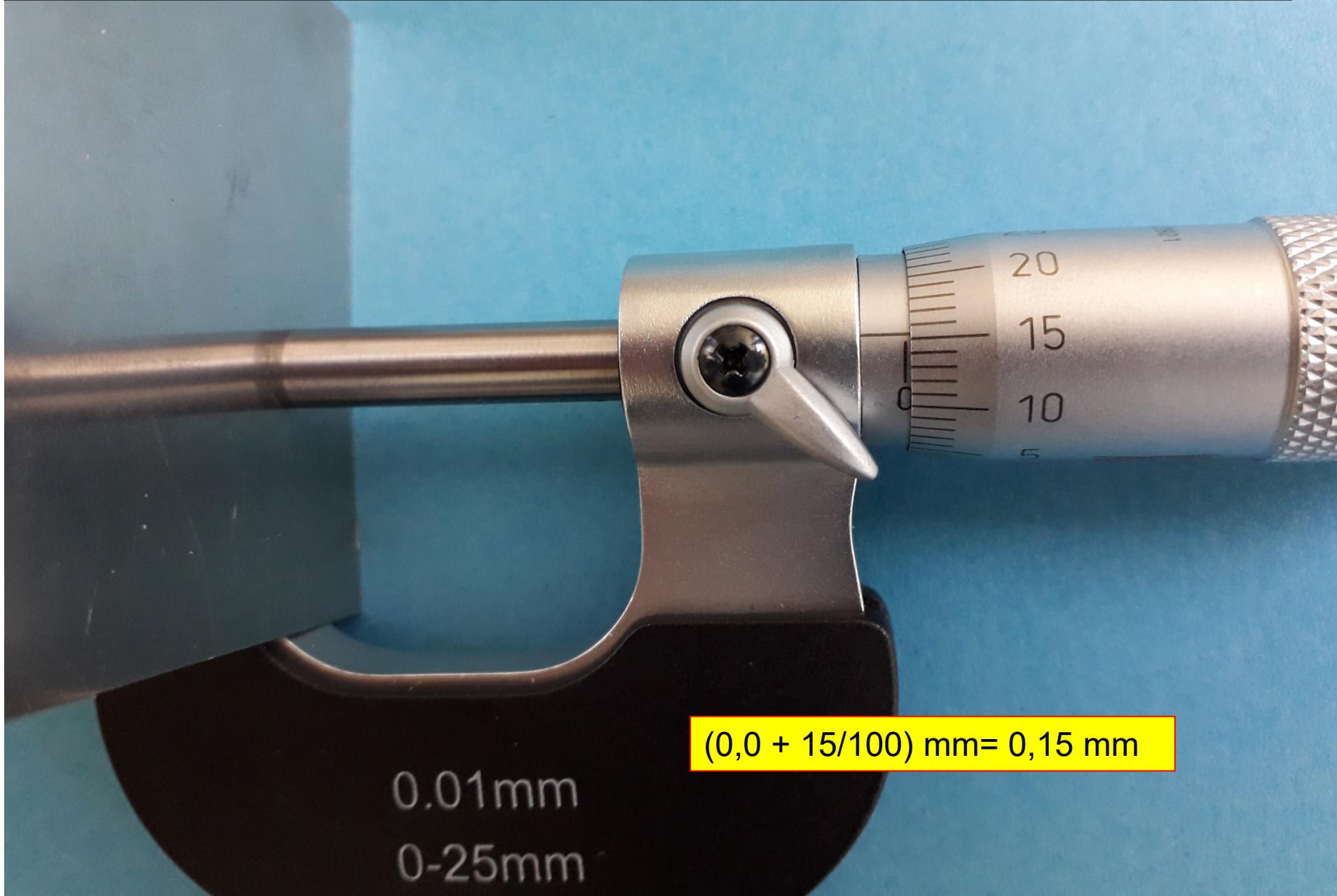
Längenmessungen mit Mikrometerschraube



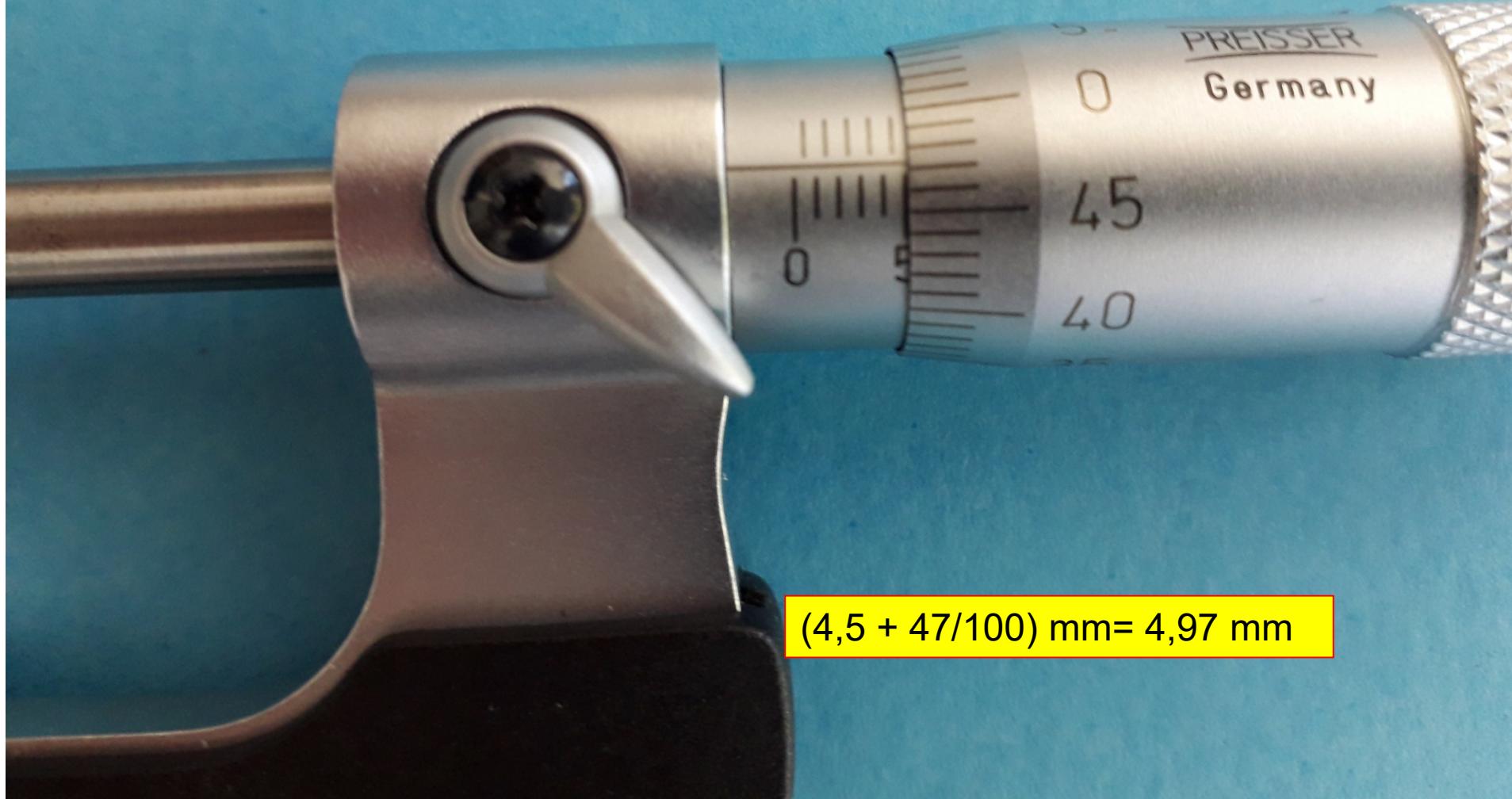
Längenmessungen mit Mikrometerschraube



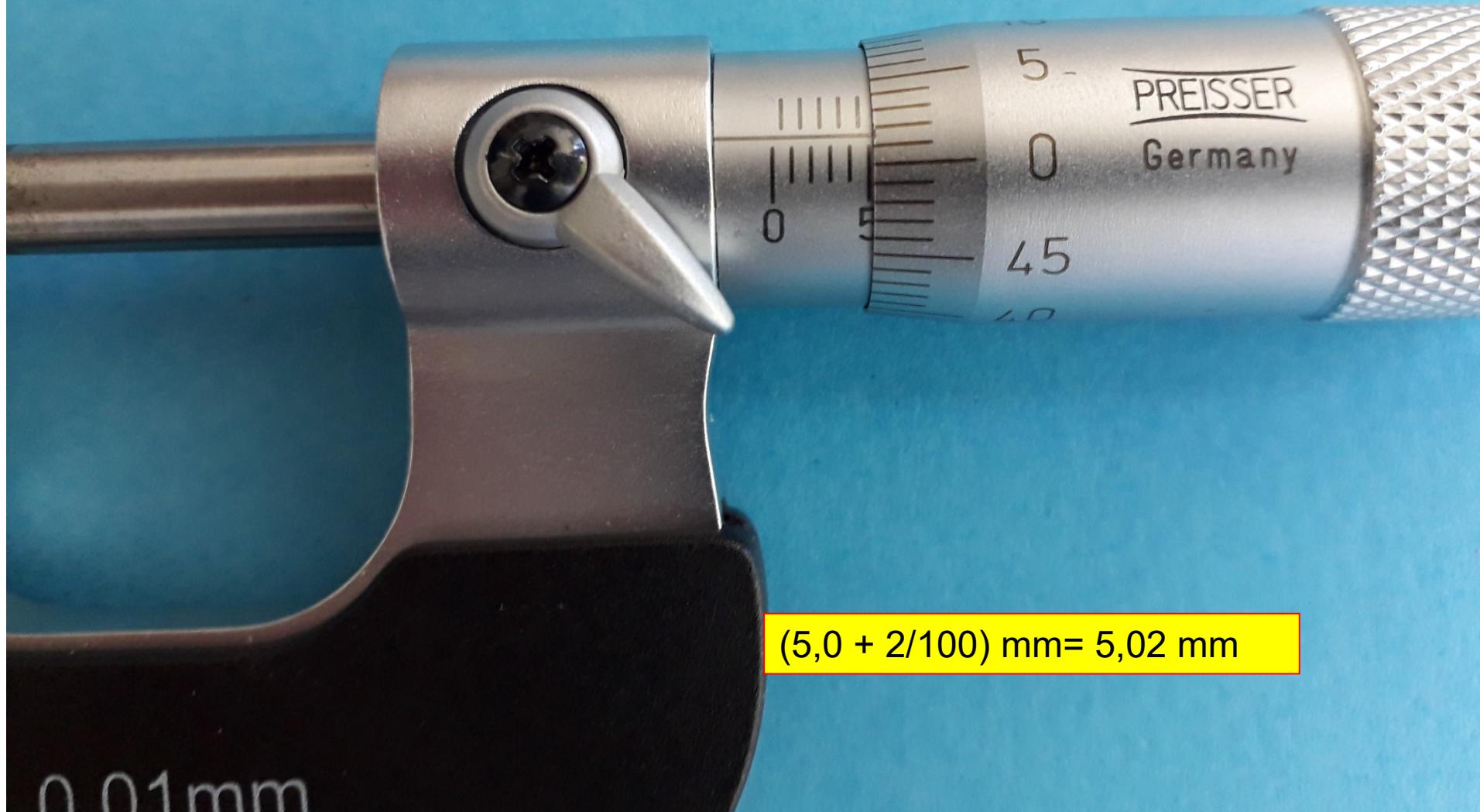
Längenmessungen mit Mikrometerschraube



Längenmessungen mit Mikrometerschraube

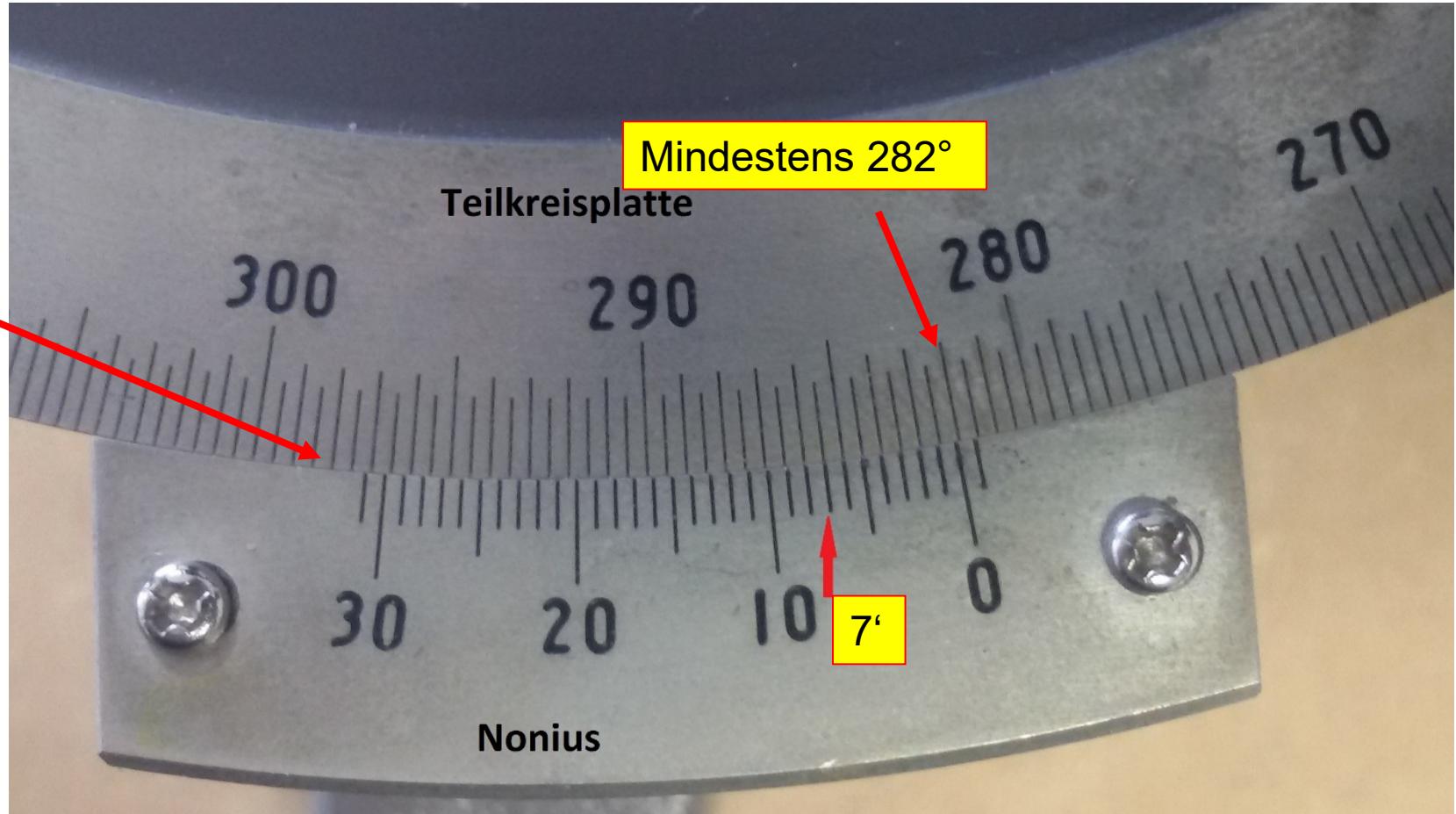


Längenmessungen mit Mikrometerschraube



0.01mm

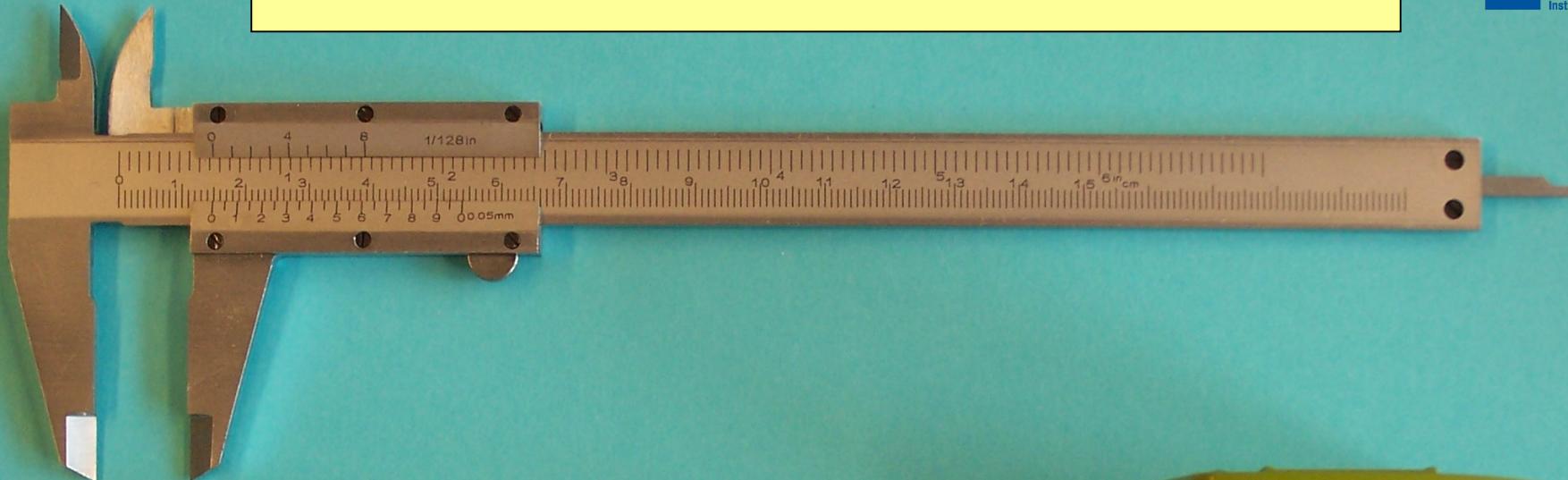
Winkelmessungen mit Nonius



Ergebnis: $282^\circ 7'$

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

Längenmessungen:



Viel Erfolg !