

**Messinstrumente im
physikalischen
Grundpraktikum
SS 19**

Dr. Th. Kirn

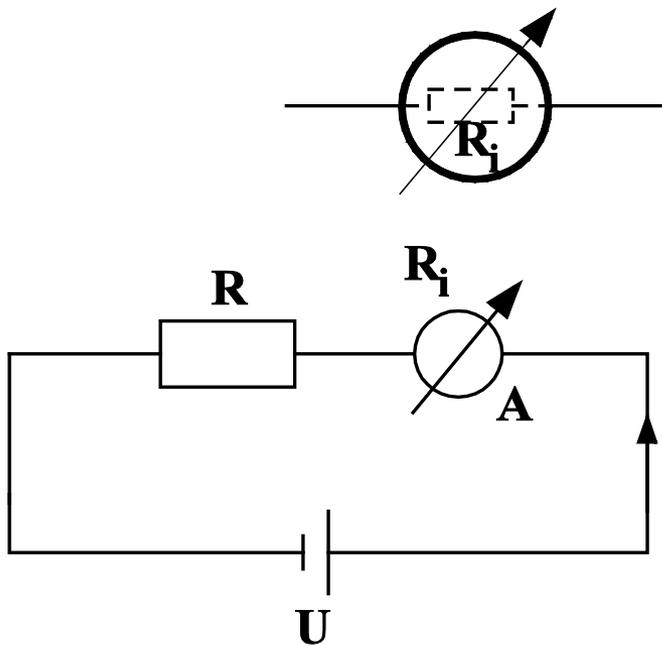
I. Physikalisches Institut B

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

Prinzip Strommessung

Messvorgang darf zu messenden
Strom nicht beeinflussen!

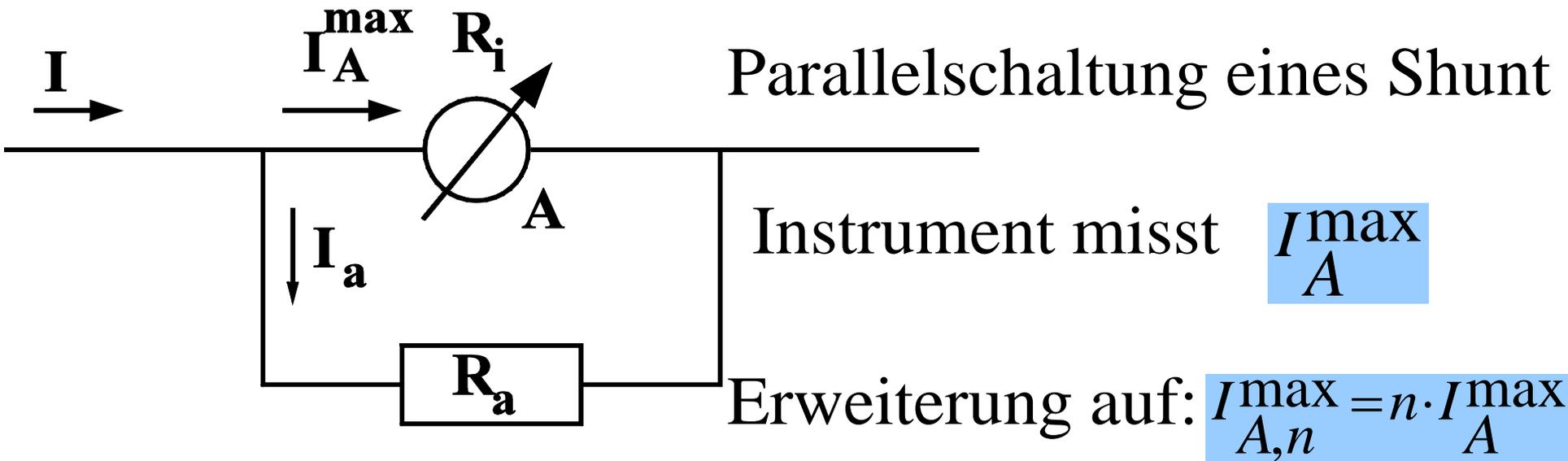
Erwarteter Strom: $I = \frac{U}{R}$



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

Wenn $R_i \ll R$, gilt $I = I_A$ typischerweise $R_i \leq 1\Omega$

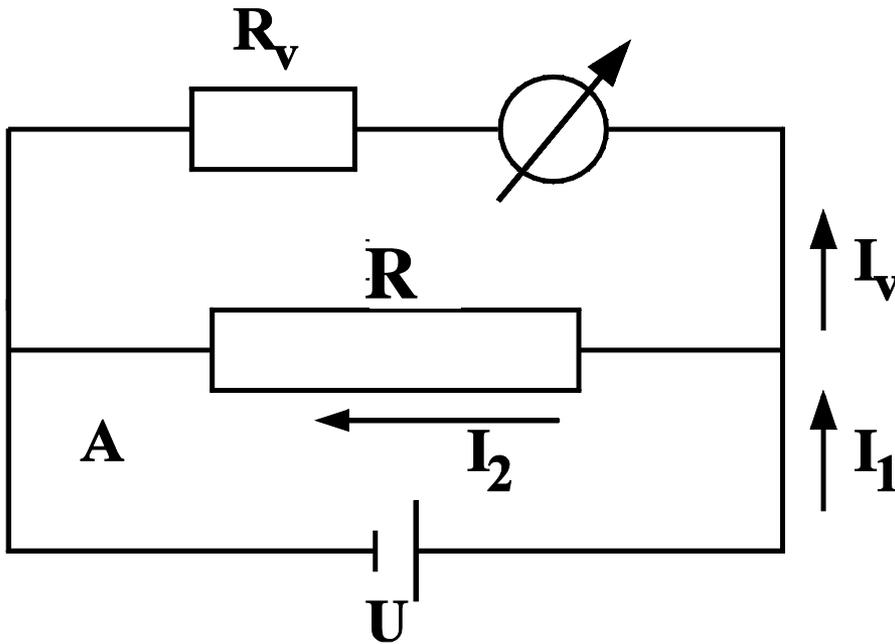
Messbereichserweiterung



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



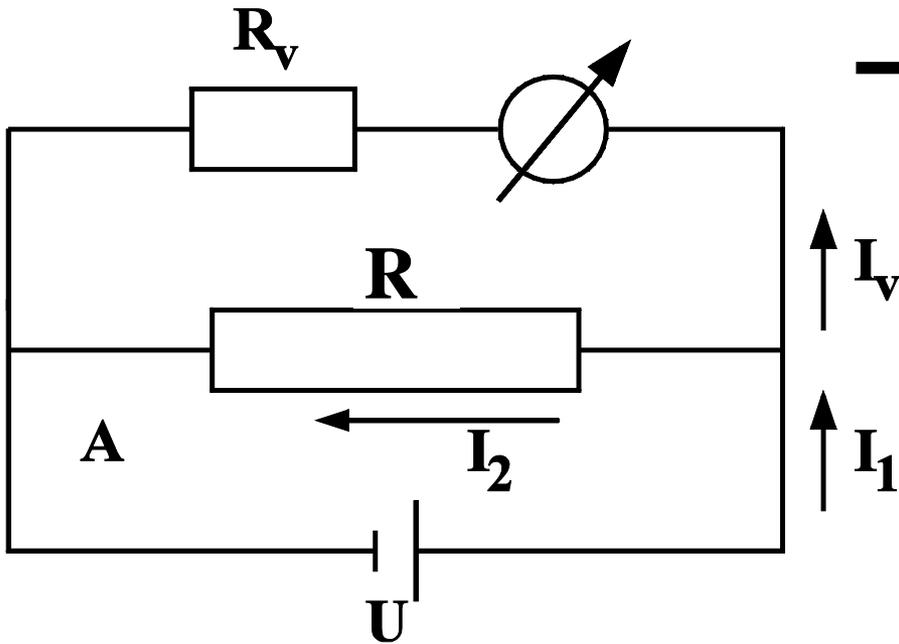
Spannungsmesser sind mittels
Ohmschen Gesetz in Volt
geeichte Amperemeter

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

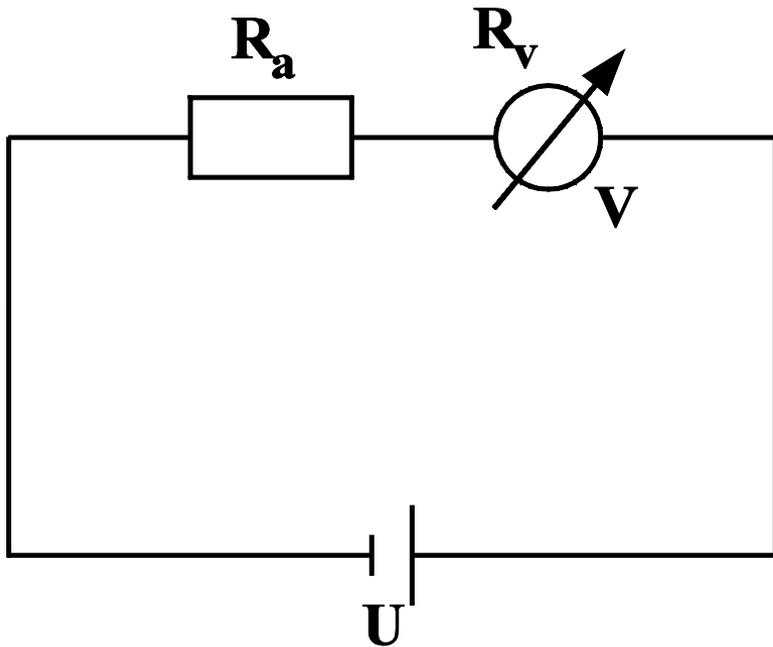
$$I_1 = U \cdot \left(\frac{1}{R_v} + \frac{1}{R} \right) = I \cdot \frac{R + R_v}{R_v} > I = \frac{U}{R}$$

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:

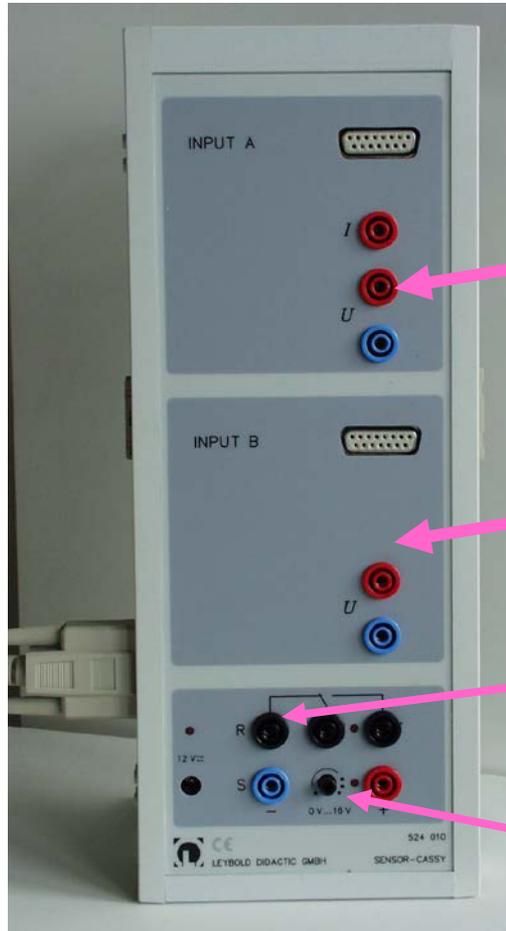
$$I = \frac{n \cdot U_{\max}}{R_a + R_v} = \frac{U_{\max}}{R_v}$$

→ Vorschaltwiderstand: $R_a = (n-1) \cdot R_v$

Realisation der Strom- und Spannungsmessung im Praktikum?



Sensor Cassy Interface



4-fach galvanisch getrennt:

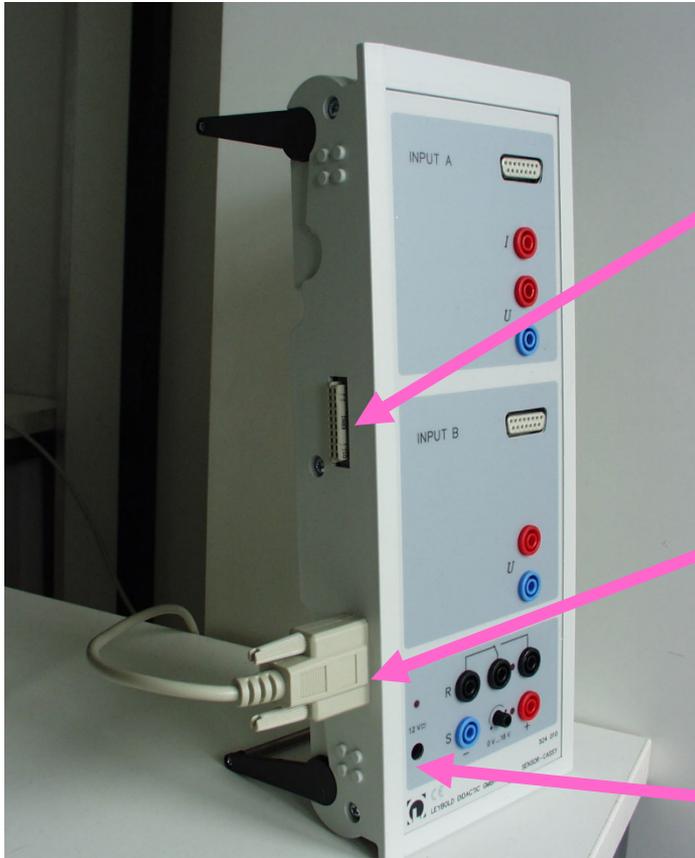
Eingang A (I,U)

Eingang B (U)

Relais R

Spannungsquelle S (0 – 16V)

Sensor-Cassy Interface



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

Anschluß an serielle Schnitt-
stelle RS232 des PCs

Spannungsversorgung:

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

Sensor-Cassy Interface

Umschaltrelais R

(Schaltanzeige mit LED)

Bereich: **max. 100V / 2 A**

1 analoger Ausgang (PWM)
pulsweitenmoduliert, schaltbare
Spannungsquelle S,
Schaltanzeige mit LED,
Spannung: **max. 16 V / 200 mA**
PWM-Frequenz: **100 Hz**



Sensor Cassy Interface

5 analoge Eingänge

2 analoge Spannungseingänge A und B:

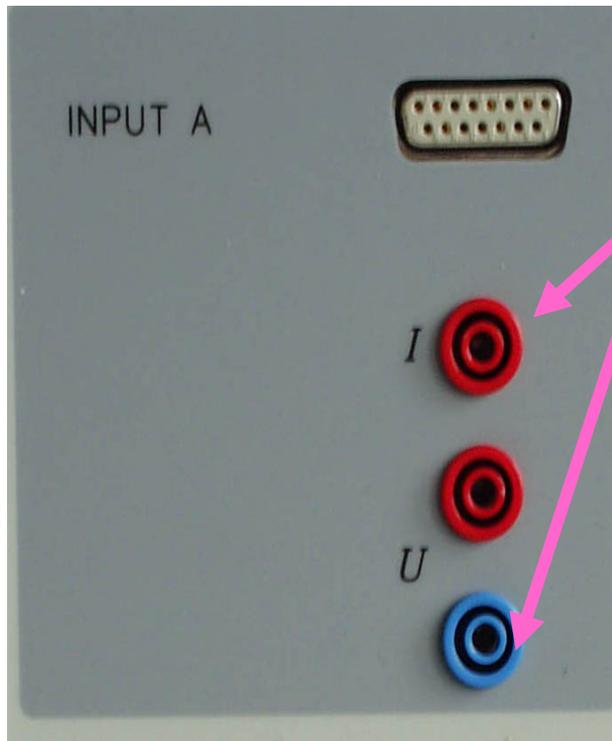
- Auflösung: 12 Bit ($2^{12} = 4096$)
- Messbereiche: $\pm 0,3/1/3/10/30/100$ V
- Digitalisierung: $\pm 0,15$ mV/.../ 48,8mV
- sys. Messfehler: $\pm 1\% + 0,5\%$ Endwert
- Eingangswiderstand: 1 M Ω
- Abtastrate: max. 200.000 Werte/s
(=100.000 Werte/s pro Eingang)
- Anzahl Messwerte: max. 32000



(= 16000/ Eingang) 12

Sensor-Cassy Interface

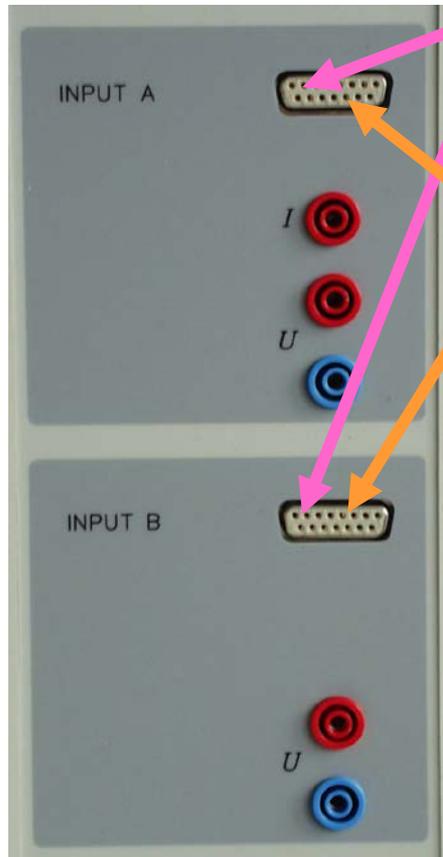
Eingang A:



1 analoger Stromeingang :

- Messbereiche: $\pm 0,1/0,3/1/3$ A
- Digitalisierung: $\pm 0,05$ mA/ ... / 1,5 mA
- sys. Messfehler: Spannungsfehler + 1%
- Eingangswiderstand: $< 0,5 \Omega$

Sensor-Cassy 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. 100 kHz
- Zeitauflösung: $0,25 \mu\text{s}$
- Messzeit zwischen 2 Ereignissen am selben Eingang:
min. $100 \mu\text{s}$
- Messzeit zwischen 2 Ereignissen an verschiedenen
Eingängen: min. $0,25 \mu\text{s}$
- Speicher: max. 10.000 Zeitpunkte (=2.500/Eingang)

Sensor-Cassy Interface



automatische Sensorboxerkennung
durch Cassy Lab (plug and play)
Sensorboxen:

Timer Box → Laufzeit Messung

Temperatur Box

B-Box → B-Feldmessung,
→ Druckmessung

Stromquellen-Box

Datenauslese: Cassy Lab

The screenshot displays the Cassy Lab software interface. At the top, function keys F4, F3, F2, F9, F5, F6, F1, and F7 are labeled. Below them is a menu bar with 'CASSY Lab' and a toolbar with various icons. A tab labeled 'Standard' is active, and a 'Kennlinie' window is open. The main data table has columns for time t/s , voltage U_{B1}/V , and current I_{A1}/A . A pop-up window titled 'Spannung U_{B1} ' shows a scale from -10 to 10 V with a red needle pointing to 0.01 V. A digital display below the scale shows $U_{B1} = 0,01 V$. Yellow circles with numbers 1 through 9 highlight specific UI elements.

t/s	U_{B1}/V	I_{A1}/A
0,0	0,00	0,000
0,1	0,00	0,000

Spannung U_{B1}

$U_{B1} = 0,01 V$

Cassy Lab Start

CASSY Lab



CASSY® Lab

Version 1.73

Written by Dr. Michael Hund, Dr. Karl-Heinz Wietzke

© by LD DIDACTIC GmbH, 1999-2011

<http://www.ld-didactic.de>

cassy@ld-didactic.de

Copyright

CASSY Lab ist freigeschaltet von:
I. Physikalisches Institut Der RWTH

Schließen

Freischaltung



Cassy Lab Start

Einstellungen

CASSY Parameter/Formel/FFT Modellbildung Kommentar Allgemein

Serielle Schnittstellenbelegung:



COM1

aus



COM2

aus



COM3

aus



COM4

aus



Sprache:

Deutsch



Erkannte CASSY-Module:

CASSY erkannt?

CASSY-Module aktualisieren

Neue Vorgaben abspeichern

Schließen

Messparameter anzeigen

Beispiel laden

Hilfe

Com-Port Einstellungen → CASSY

Cassy Lab Start

Finden des Com-Ports, an dem CASSY angeschlossen ist:
Start → Systemsteuerung → System und Sicherheit

The image shows a Windows 7 desktop environment. The Start menu is open, displaying a list of applications including WinSCP, Erste Schritte, Verbindung mit einem Projektor, Rechner, PuTTY, Kurznutzen, Paint, Snipping Tool, XPS-Viewer, CASSY Lab, and Alle Programme. The 'Systemsteuerung' (Control Panel) option is highlighted in red. A red arrow points from this option to the 'System und Sicherheit' (System and Security) category in the System Control window. The System Control window is open, showing various settings categories such as System und Sicherheit, Netzwerke und Internet, Hardware und Sound, and Programme. The 'System und Sicherheit' category is circled in red. The desktop background is blue with various application icons like gVim 7.4, Picture Style Editor, ZoomBrowser EX, Adobe Acrobat XI Pro, LibreOffice 4.2, Startfenster, Vidyo_Desktop_Dia..., Adobe FormsCentral, Maple 17 Portal, SHAREit, and Skype. The taskbar at the bottom shows the Start button, several application icons, and the system tray with the date and time (12:26, 19.02.2015).

Cassy Lab Start

Finden des Com-Ports, an dem CASSY angeschlossen ist:
System und Sicherheit → Geräte-Manager → USB Serial Port

The image shows a Windows 7 desktop environment. The main window is the 'System und Sicherheit' (System and Security) control panel. A red circle highlights the 'Geräte-Manager' (Device Manager) link under the 'System' section. A red arrow points from this link to the Device Manager window. In the Device Manager window, the 'USB Serial Port (COM9)' is highlighted with a red circle. The desktop background is blue with the 'Think' logo. The taskbar at the bottom shows various application icons and the system tray with the date and time (12:28, 19.02.2015).

Cassy Lab Start

Wenn COM >19,
Doppelklick auf
USB Serial Port

The screenshot shows a Windows 7 desktop environment. The Device Manager window is open, displaying the 'Ports' section. A red circle highlights the 'USB Serial Port (COM9)' entry. A red arrow points from this entry to the 'Erweitert...' button in the 'Eigenschaften von USB Serial Port (COM9)' dialog box. Another red arrow points from the 'Erweitert...' button to the 'Erweiterte Einstellungen für COM9' dialog box. In this dialog, the 'COM-Anschlussnummer' dropdown is set to 'COM9', and a red circle highlights the list of COM ports from COM10 to COM38. A white text box at the bottom center contains the text: 'Com-Port 7 reserviert → CASSY Lab Absturz'. The taskbar at the bottom shows various application icons and the system tray with the date '19.02.2015' and time '12:30'.

Eigenschaften von USB Serial Port (COM9)

Bits pro Sekunde: 9600
Datenbits: 8
Parität: Keine
Stoppsbits: 1
Flusssteuerung: Keine

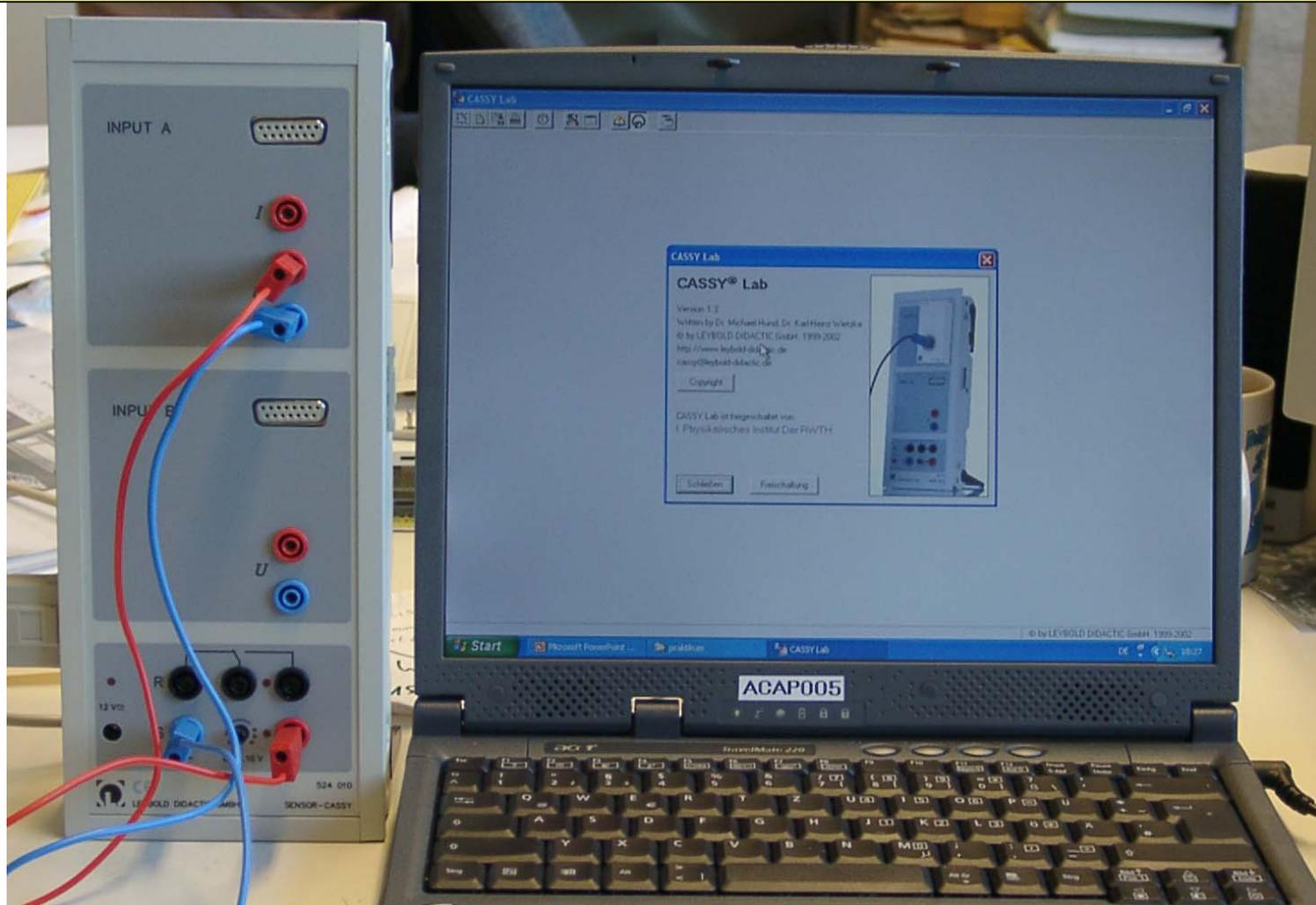
Erweiterte Einstellungen für COM9

COM-Anschlussnummer: COM9

COM10
COM11
COM12
COM13
COM14
COM15
COM16
COM17
COM18
COM19
COM20
COM21
COM22
COM23
COM24
COM25
COM26
COM27
COM28
COM29
COM30
COM31
COM32
COM33
COM34
COM35
COM36
COM37
COM38

Com-Port 7 reserviert
→ CASSY Lab Absturz

Cassy Lab, 1.Übung: Inbetriebnahme



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



Cassy Lab, Einstellungen

Einstellungen via Symbolknopf oder F5 →



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



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, Einstellungen, Messparameter

Zweimalige Betätigung des Einstellungsknopfs oder der F5-Taste



Messparameter [X]

automatische Aufnahme Intervall: 100 ms [◀ ▶] Trigger: [▼]
 manuelle Aufnahme x Anzahl: [◀ ▶] Messbedingung: 1
 neue Messreihe anhängen

[Schließen] [Hilfe] = Messzeit: [] s [▼] wiederholende Messung akustisches Signal

Messparameter [X]

automatische Aufnahme Intervall: 10 µs [◀ ▶] Trigger: UB1 [▼] 5,00 V [fallend ▼]
 manuelle Aufnahme x Anzahl: 16000 [◀ ▶] Messbedingung: 1
 neue Messreihe anhängen

[Schließen] [Hilfe] = Messzeit: 160 ms [▼] wiederholende Messung akustisches Signal

Messparameter [X]

automatische Aufnahme Intervall: 100 ms [◀ ▶] Trigger: [▼]
 manuelle Aufnahme x Anzahl: [◀ ▶] Messbedingung: $f < 5000 \text{ and } \Delta t > 2/f + 2$ =AUS
 neue Messreihe anhängen

[Schließen] [Hilfe] = Messzeit: [] s [▼] wiederholende Messung akustisches Signal

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

Cassy Lab, Einstellungen, Darstellungen

The screenshot shows the 'Einstellungen' (Settings) dialog box with the 'Darstellung' (Representation) tab selected. The dialog has a blue title bar with a close button (X) in the top right corner. Below the title bar are five tabs: 'CASSY', 'Parameter/Formel/FFT', 'Darstellung', 'Modellbildung', 'Kommentar', and 'Allgemein'. The 'Darstellung' tab is active and contains the following controls:

- 'Darstellung auswählen:' dropdown menu set to 'Standard'. To its right are buttons for 'neue Darstellung' and 'Darstellung löschen'.
- 'x-Achse:' dropdown menu set to 't'.
- 'y-Achsen:' section with four dropdown menus: 'I_{A1}', 'U_{B1}', and 'aus'.
- Four columns of radio button options for axis scaling:
 - Column 1: x, x², 1/x, 1/x², log x
 - Column 2: y, y², 1/y, 1/y², log y
 - Column 3: y, y², 1/y, 1/y², log y
 - Column 4: y, y², 1/y, 1/y², log y
- Four checkboxes for chart types: 'Polar', 'Balken', 'Balken', and 'Balken'.

At the bottom of the dialog are four buttons: 'Schließen', 'Messparameter anzeigen', 'Beispiel laden', and 'Hilfe'.

Cassy Lab, Einstellungen, Parameter/Formel/FFT

Einstellungen

CASSY Parameter/Formel/FFT Darstellung Modellbildung Kommentar Allgemein

Größe auswählen: Widerstand

Eigenschaften

Konstante (manuelle Eingabe in der Anzeige oder hier) } Ohm

Parameter (manuelle Eingabe in der Tabelle oder hier) }

Formel (time,date,n,t,U1,I1,&j1,IA2,UB2,cos&j2,f0,f,old)=

zeitliche Ableitung zeitliches Integral Fast Fourier Transformation } von

Mittelwert über Histogramm (Δ =)

Symbol: Einheit: von: Ohm bis: Ohm Dezimalstellen:

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

Sensor Cassy Lab und Dateien

F9: Datennahme starten

F2: Dateien speichern

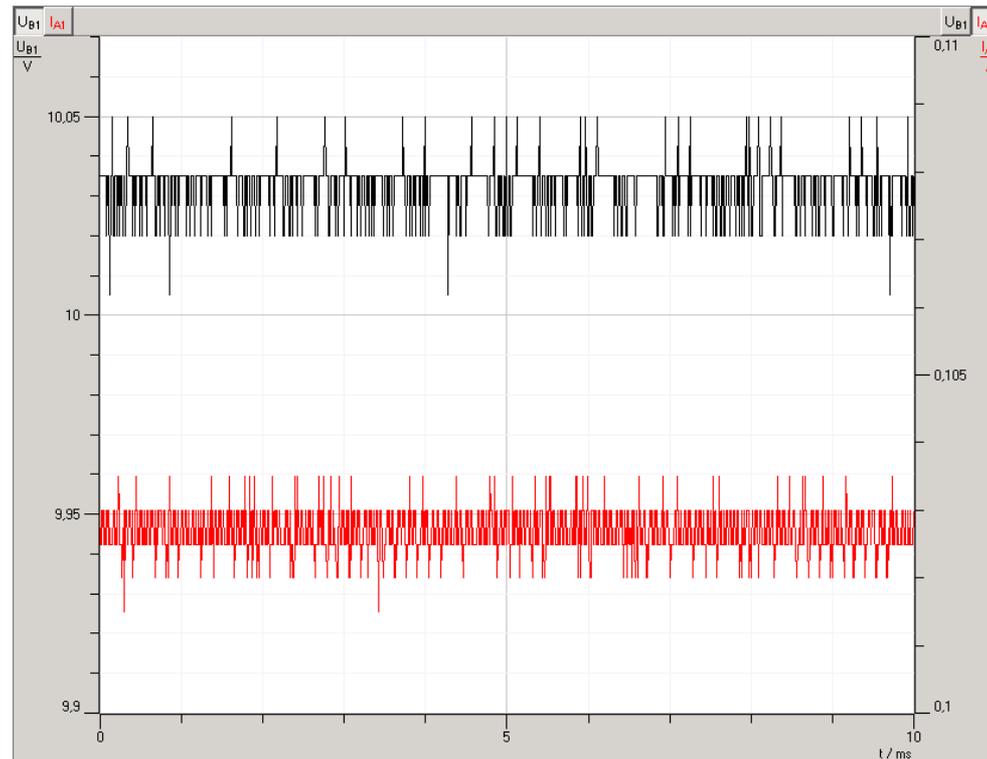
F3: Dateien laden

F4: Daten löschen

F5: Einstellungen



Messungen abspeichern und Dateinamen notieren!



Sensor Cassy Dateien

```
100R_U_I_t.lab
CL4
180 0.1
Index
n
0 1001 500 0 0 0 0 1 0 0 0 0
Zeit
t
ms
0 0.01 0.005 0 5 0 1 1 0 0 0 0
Ereignis
f
Hz
0 50000 10000 0 0 0 0 1 1000 0 0 0
4 1
0 1 0 1
1 0 0 0 1 1 3 0 0 0 0 0 0 0 0 2500 0 0 0 0 44 44 297 140 0.5252525253 0 0
Strom
I_A1
A
-0.1 0.1 0.05 0 4 0 0 0 0 1 1 0
0 1 0 1
1 1 0 0 1 0 2 0 0 0 0 0 0 0 0 2500 0 0 0 0 416 392 297 140 0.5252525253 0 0
Spannung
U_B1
V
-10 10 5 0 2 0 0 0 0 1 1 0
5 0 0
1 2 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 2500 0 0 0 0 88 88 297 140 0.5252525253 1 0
Relais
R_1
0 1 0.5 0 0 0 0 0 0 1 0 0
5 0 1
1 3 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 2500 0 0 0 0 110 110 297 140 0.5326086957 1 0
Spannungsquelle
s_1
```

Header: Informationen über Cassy-Einstellungen

Sensor Cassy Dateien

X 100R_U_I_t.lab - XEmacs

File Edit View Cmds Tools Options



100R_U_I_t.lab

```
0 1 0.5 0 0 0 0 0 0 1 0 0
5 0 1
1 3 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 2500 0 0 0 0 110 110 297 140 0.5326086957 1 0
```

Spannungsquelle

S_1

```
0 1 0.5 0 0 0 0 0 0 1 0 0
```

```
6 1001
```

1	0	0.0514	5.01	0	1
2	1E-5	0.0514	5.015	0	1
3	2E-5	0.0514	5.015	0	1
4	3E-5	0.0514	5.02	0	1
5	4E-5	0.0514	5.01	0	1
6	5E-5	0.05145	5.015	0	1
7	6E-5	0.0514	5.015	0	1
8	7E-5	0.05145	5.015	0	1
9	8E-5	0.0514	5.01	0	1
10	9E-5	0.05145	5.015	0	1
11	0.0001	0.05145	5.01	0	1
12	0.00011	0.05145	5.015	0	1
13	0.00012	0.0514	5.01	0	1
14	0.00013	0.0514	5.015	0	1
15	0.00014	0.0514	5.015	0	1
16	0.00015	0.0514	5.015	0	1
17	0.00016	0.0514	5.015	0	1
18	0.00017	0.05145	5.015	0	1
19	0.00018	0.0514	5.015	0	1
20	0.00019	0.05145	5.015	0	1
21	0.0002	0.0514	5.015	0	1
22	0.00021	0.05145	5.015	0	1
23	0.00022	0.0514	5.02	0	1
24	0.00023	0.05145	5.01	0	1
25	0.00024	0.0514	5.01	0	1
26	0.00025	0.05145	5.015	0	1
27	0.00026	0.0514	5.015	0	1
28	0.00027	0.0514	5.015	0	1
29	0.00028	0.05145	5.015	0	1
30	0.00029	0.05145	5.015	0	1

Messwerttabelle:

Spalte 1: Messschritt

Spalte 2: Messzeit

Spalte 3: Eingang A

Spalte 4: Eingang B

Spalte 5: Zustand Relais

Spalte 6: Zustand Spannungsquelle

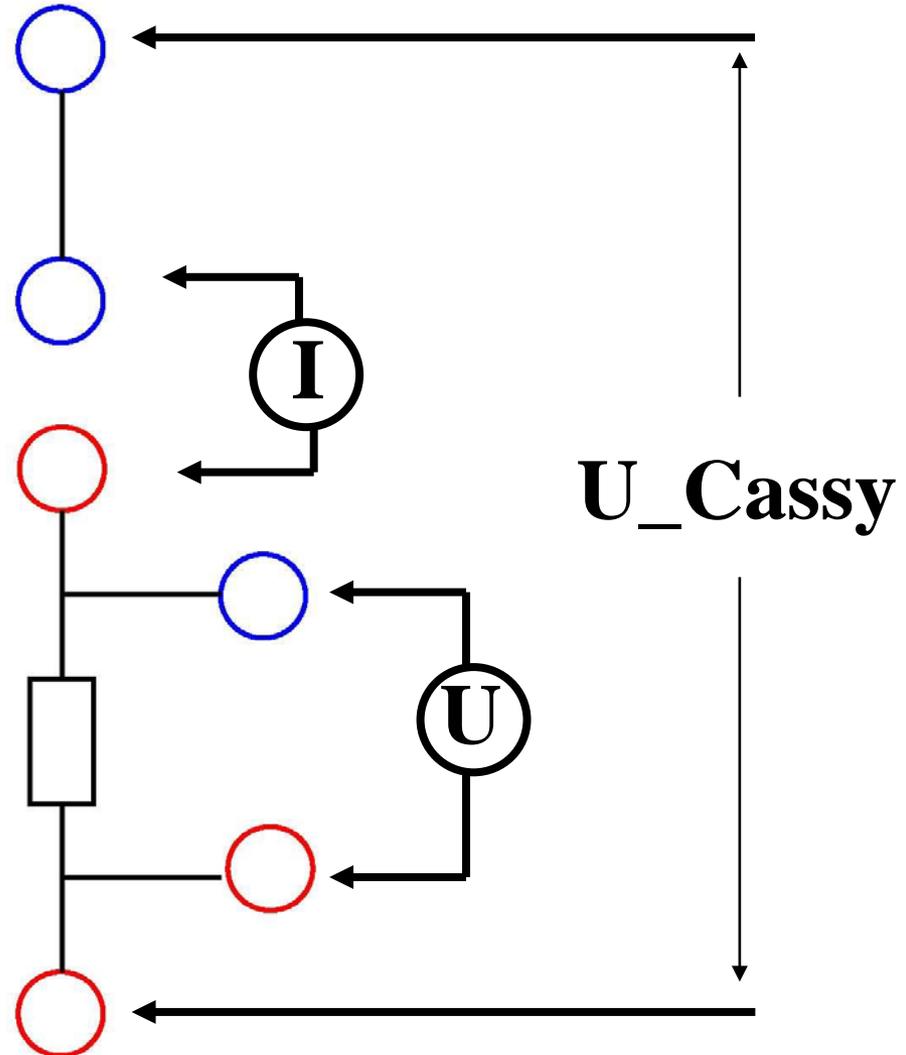
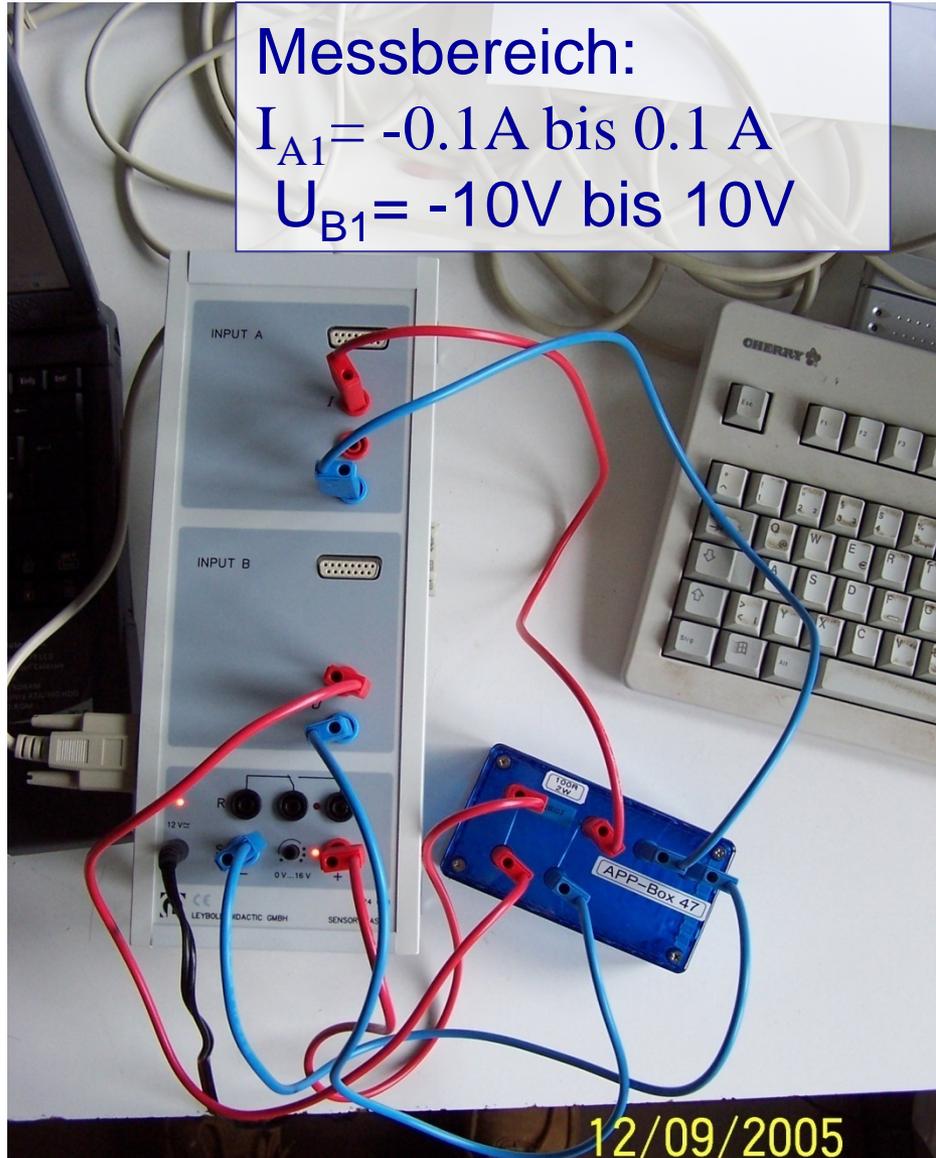
Cassy Lab, 2. Übung



Messbereich:

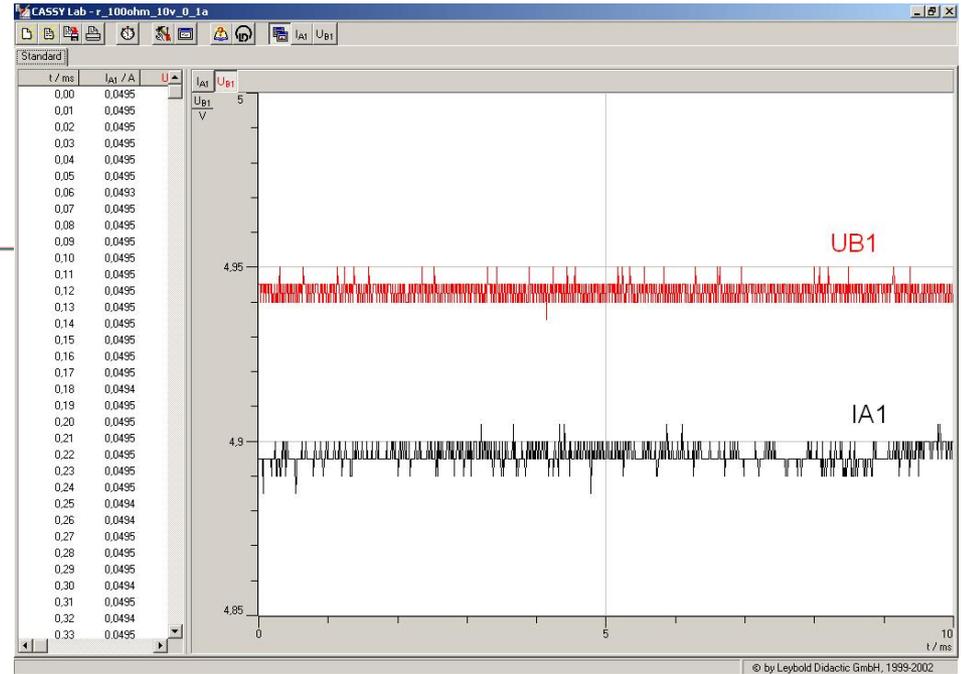
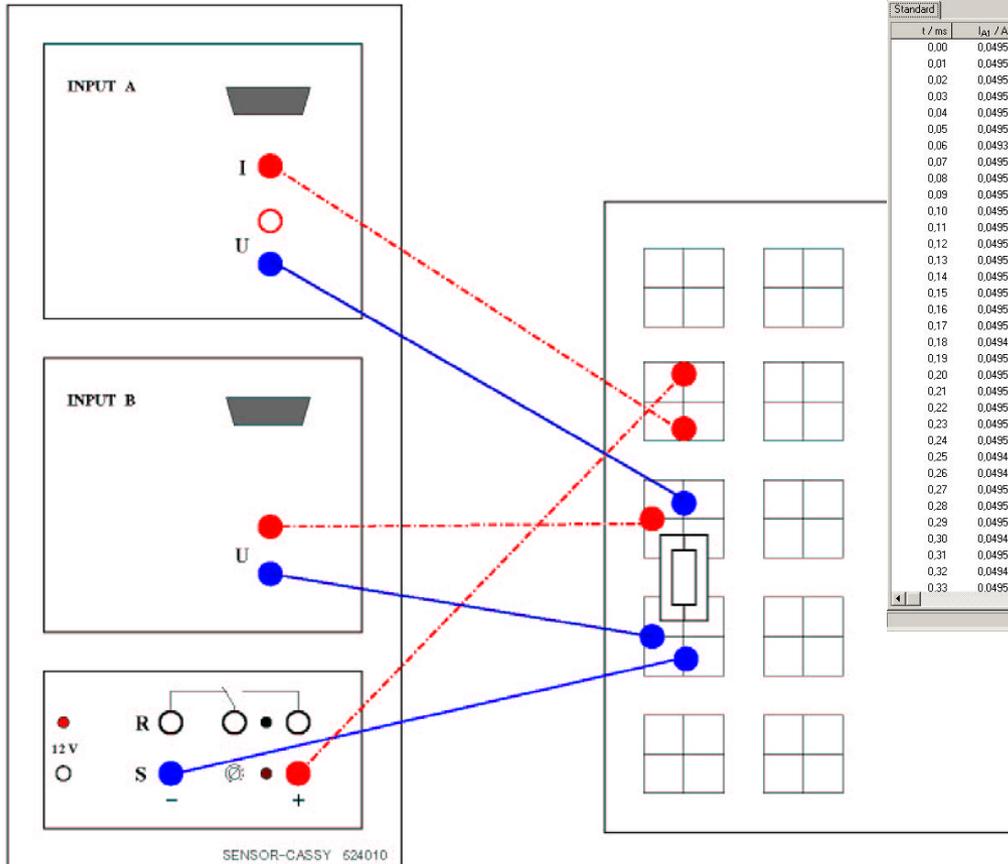
$$I_{A1} = -0.1\text{A bis } 0.1\text{ A}$$

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



Sensor Cassy Interface

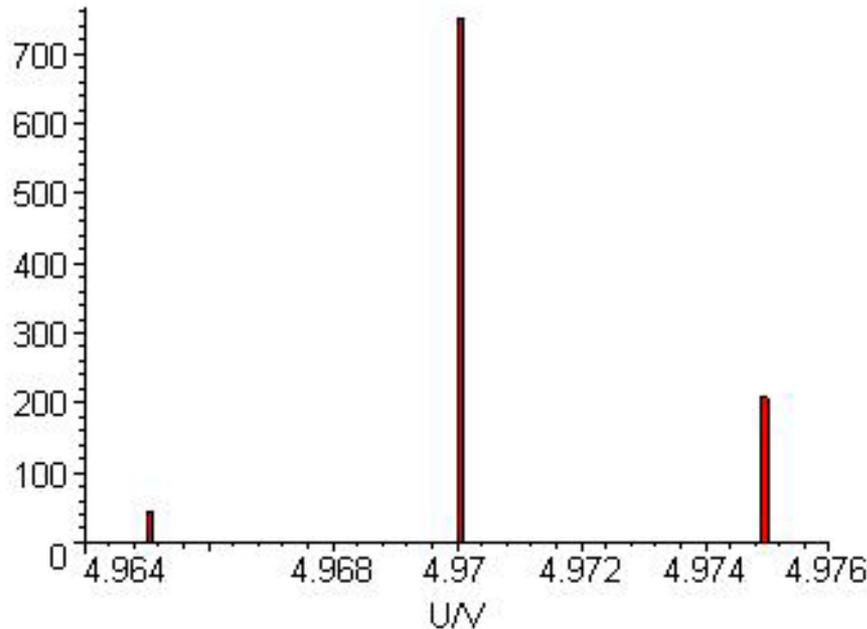
Messungenauigkeiten



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

Sensor-Cassy Interface

statistische Messungenauigkeit?



Messbereich: ± 10 V

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

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

= (MU Einzelmessung)

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

Digitale Auflösung: 12 bit = 4096 ,

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

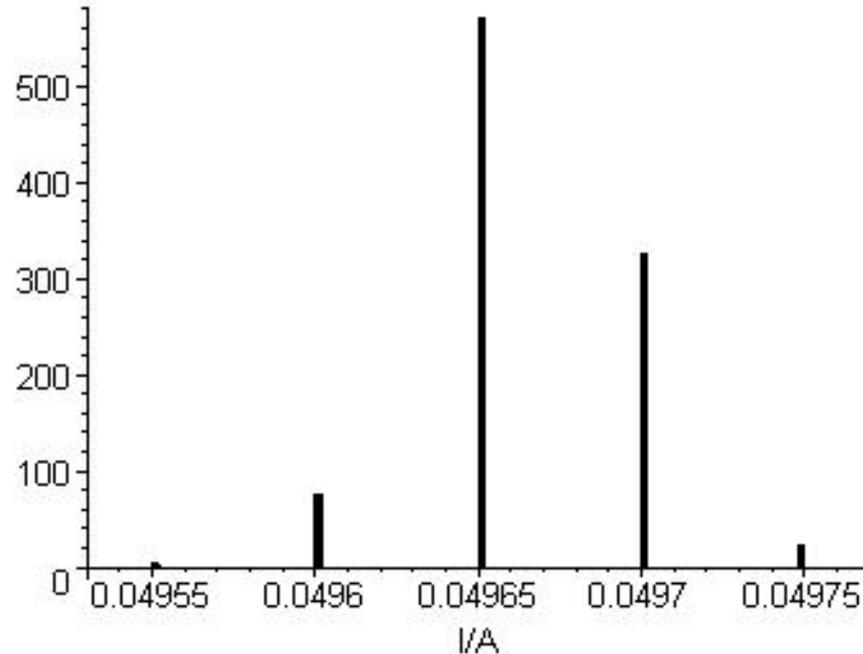
Annahme der Gleichverteilung: $U_{\min}/\sqrt{12}$

→ „Fehler“ = 1.4 mV \neq gesamte stat. MU

MU durch Messung bestimmen!

Sensor-Cassy 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: $I_{\text{min}} = 0,05 \text{ mA}$

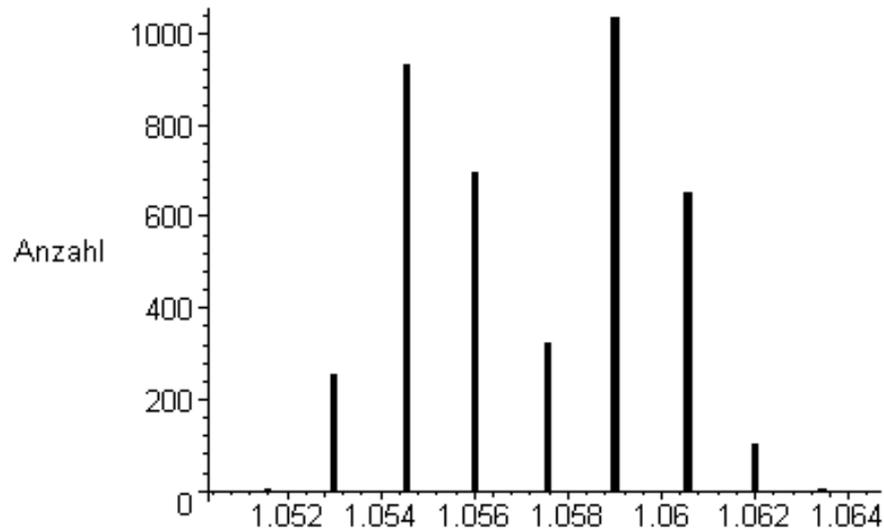
Annahme der Gleichverteilung: $I_{\text{min}}/\sqrt{12}$

→ „Fehler“ = $0,014 \text{ mA} \neq$ gesamte stat. MU

MU durch Messung bestimmen!

Sensor-Cassy Interface

stat. & system. Messungenauigkeit (4SC)



Messbereich: ± 3 V

Mean = (1.0572 ± 0.00004) V

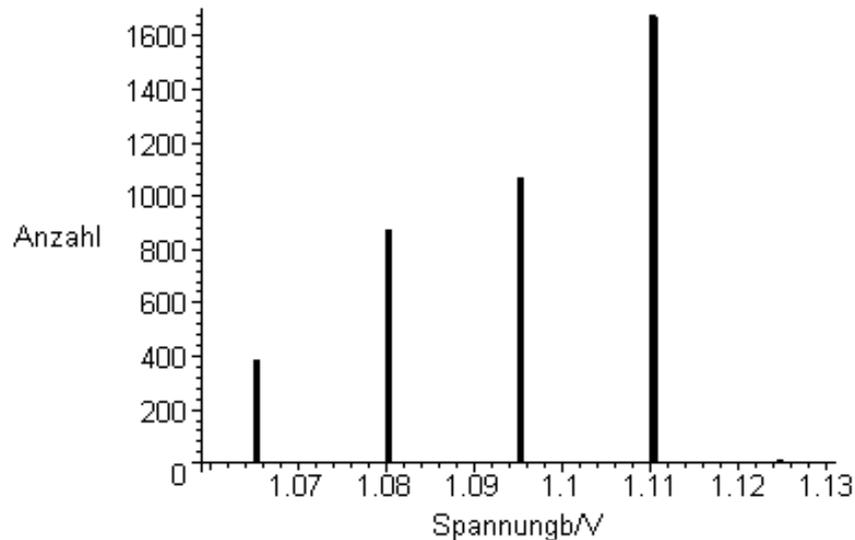
RMS = 2,5 mV

→ relativer Fehler: 2,4‰

Digitale Auflösung: 12 bit = 4096

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

→ „Fehler“ = 0,4 mV



Messbereich: ± 30 V

Mean = (1.095 ± 0.0000003) V

RMS = 15.2 mV

→ relativer Fehler: 1.4 ‰

Digitale Auflösung: 12 bit = 4096

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

→ „Fehler“ = 4.3 mV

MU durch Messung bestimmen!

Sensor-Cassy 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 $\pm 100V$

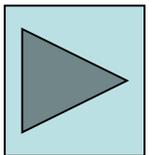
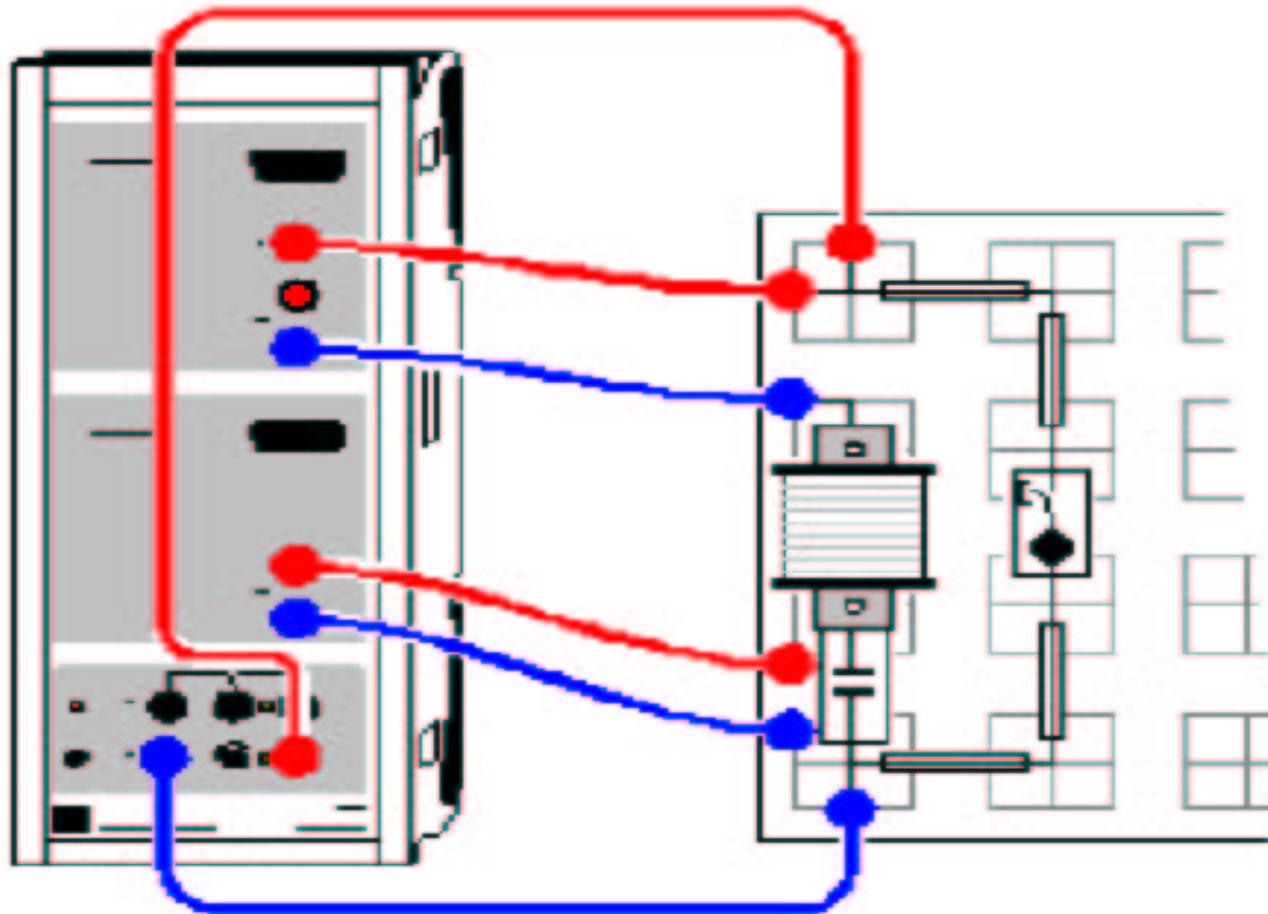
$$U_{sys} : (0,01 \cdot 2 + 0,005 \cdot 100) V = 0,52 V$$

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!

Gedämpfter Schwingkreis



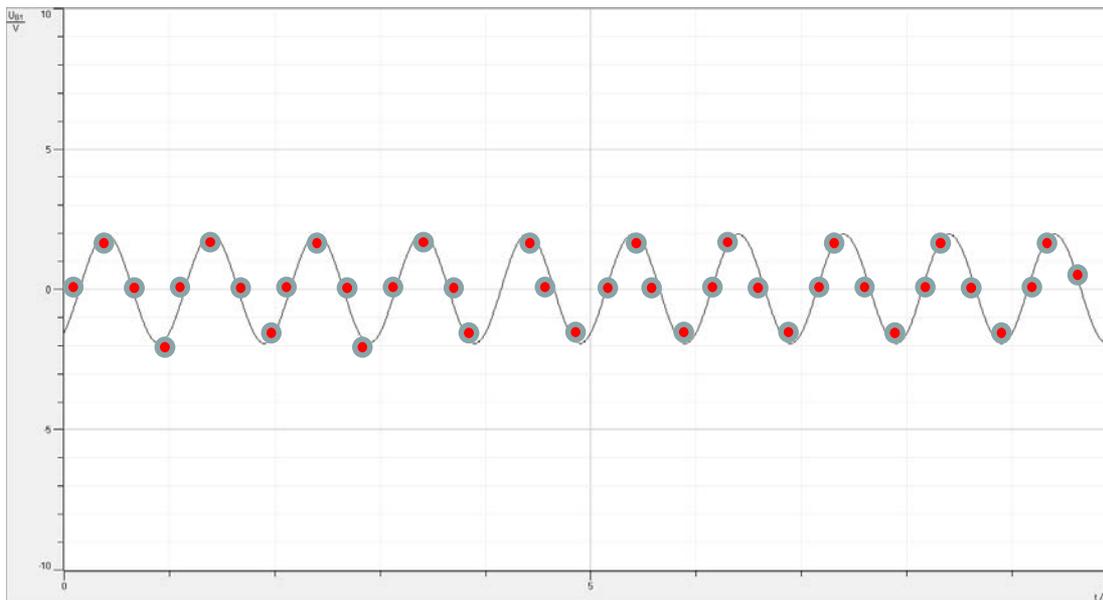
Signaldigitalisierung

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

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

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

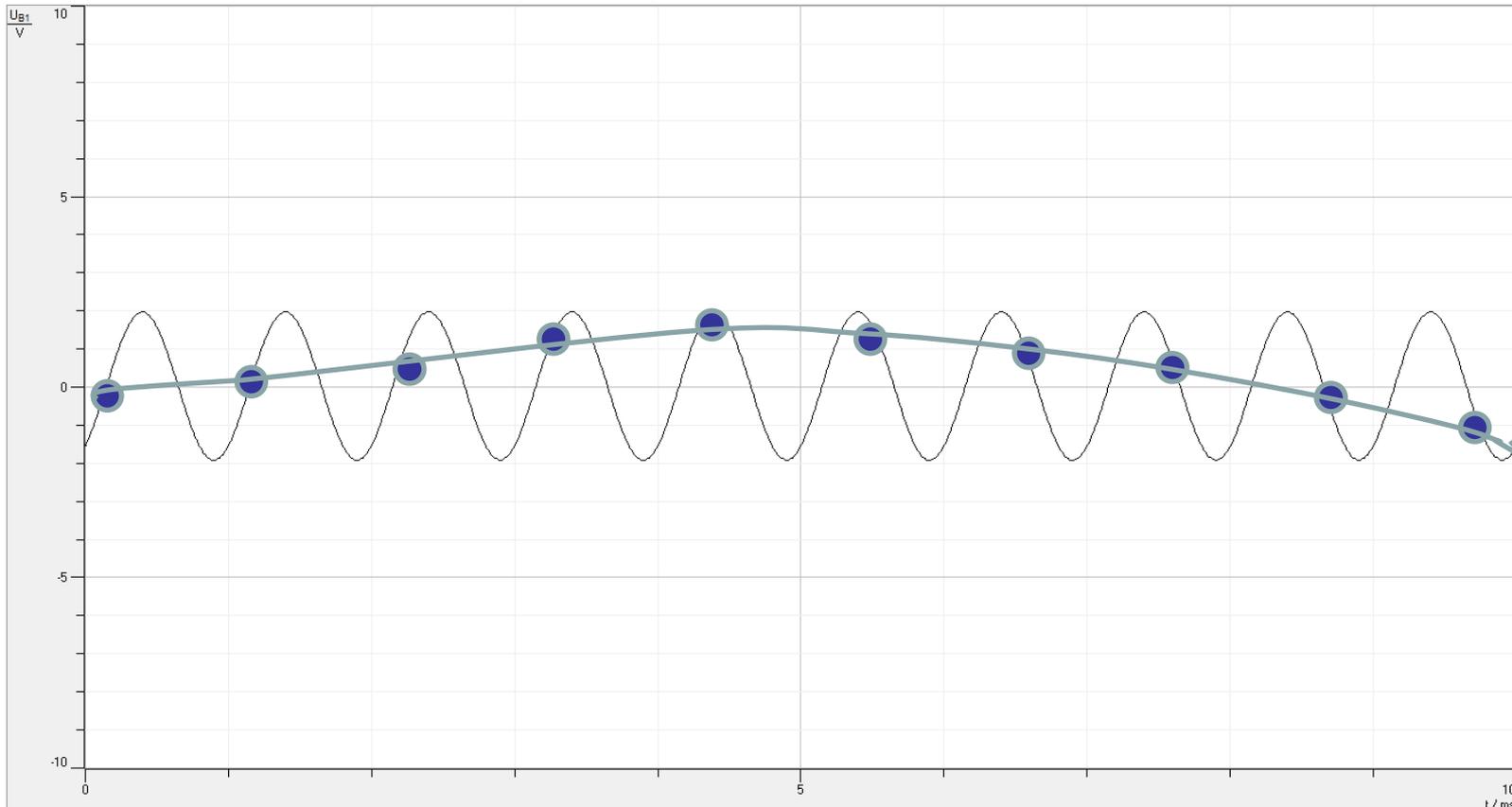
$$f_{\text{Abtastung}} > 2 \cdot f_{\text{Signal}}$$



Signaldigitalisierung

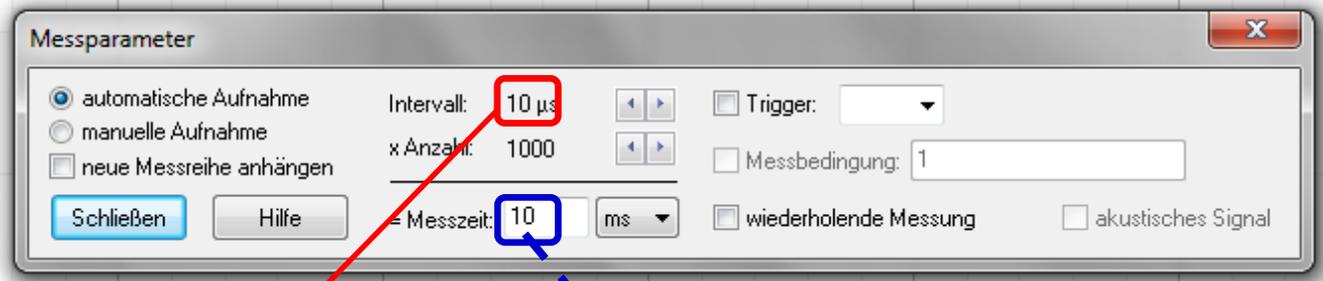
Nyquist Shannon Theorem $f_{\text{Abtastung}} > 2 \cdot f_{\text{Signal}}$

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



Frequenzbereich und Abtastung

CASSY FFT



Messzeit Intervall gibt Abtastfrequenz vor

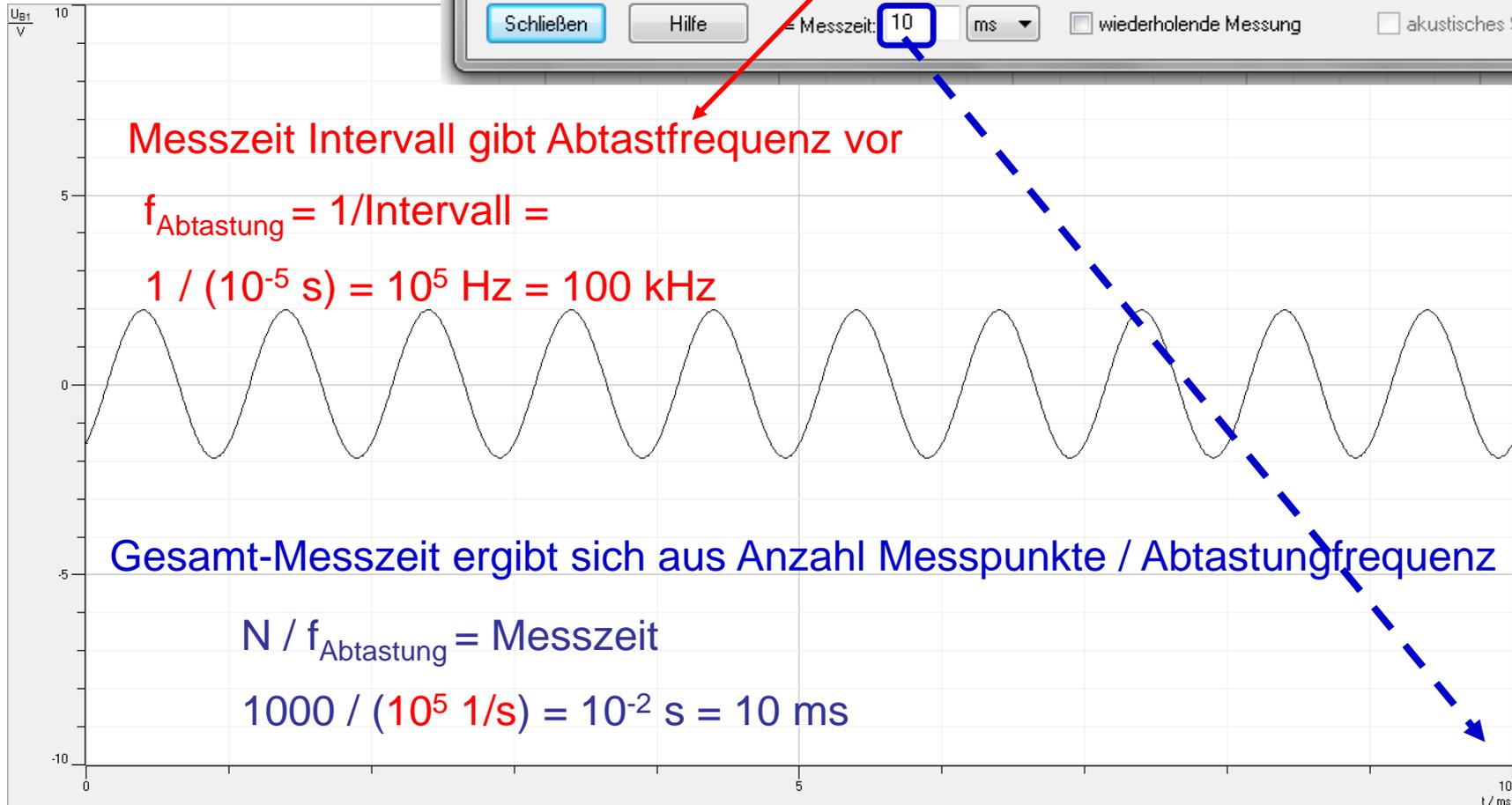
$$f_{\text{Abtastung}} = 1/\text{Intervall} =$$

$$1 / (10^{-5} \text{ s}) = 10^5 \text{ Hz} = 100 \text{ kHz}$$

Gesamt-Messzeit ergibt sich aus Anzahl Messpunkte / Abtastungsfrequenz :

$$N / f_{\text{Abtastung}} = \text{Messzeit}$$

$$1000 / (10^5 \text{ 1/s}) = 10^{-2} \text{ s} = 10 \text{ ms}$$



Frequenzbereich und Abtastung

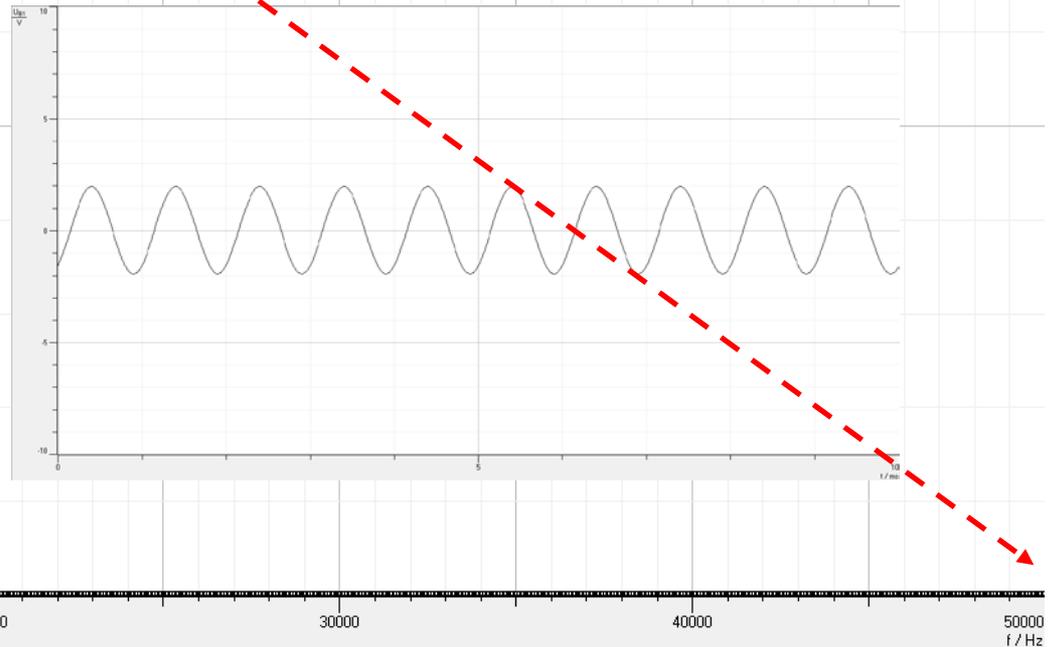
CASSY FFT

FFT: Höchste sichtbare Frequenz f_{\max} :

$$f_{\max} = f_{\text{Abtastung}} / 2 = 100 \text{ kHz} / 2 = 50 \text{ kHz}$$

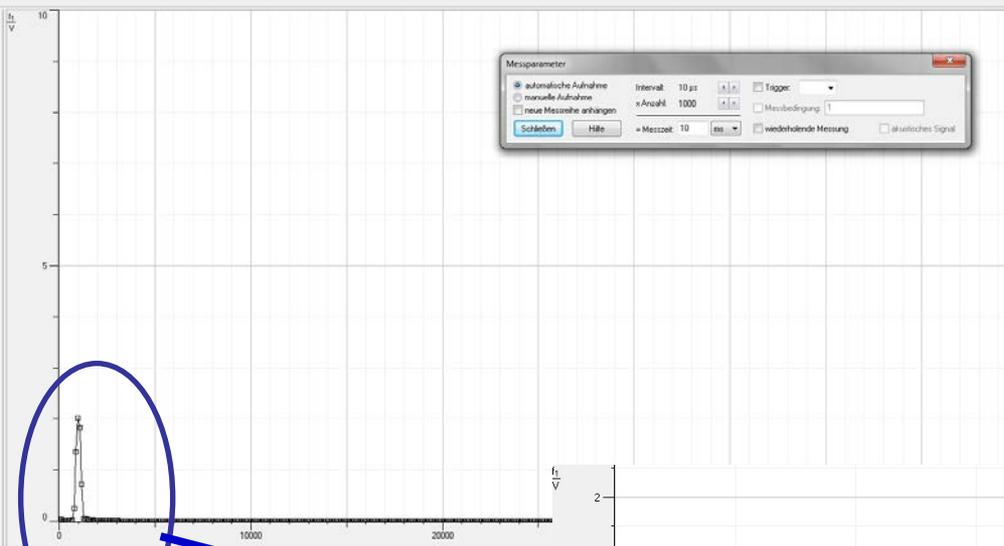
Frequenz der Auflösung f_{res}
= Abstand zwischen zwei
Spektralkomponenten

$$f_{\text{res}} = f_{\text{Abtastung}} / N = \text{Messzeit}$$
$$(10^5 \text{ 1/s}) / 1000 = 100 \text{ Hz}$$



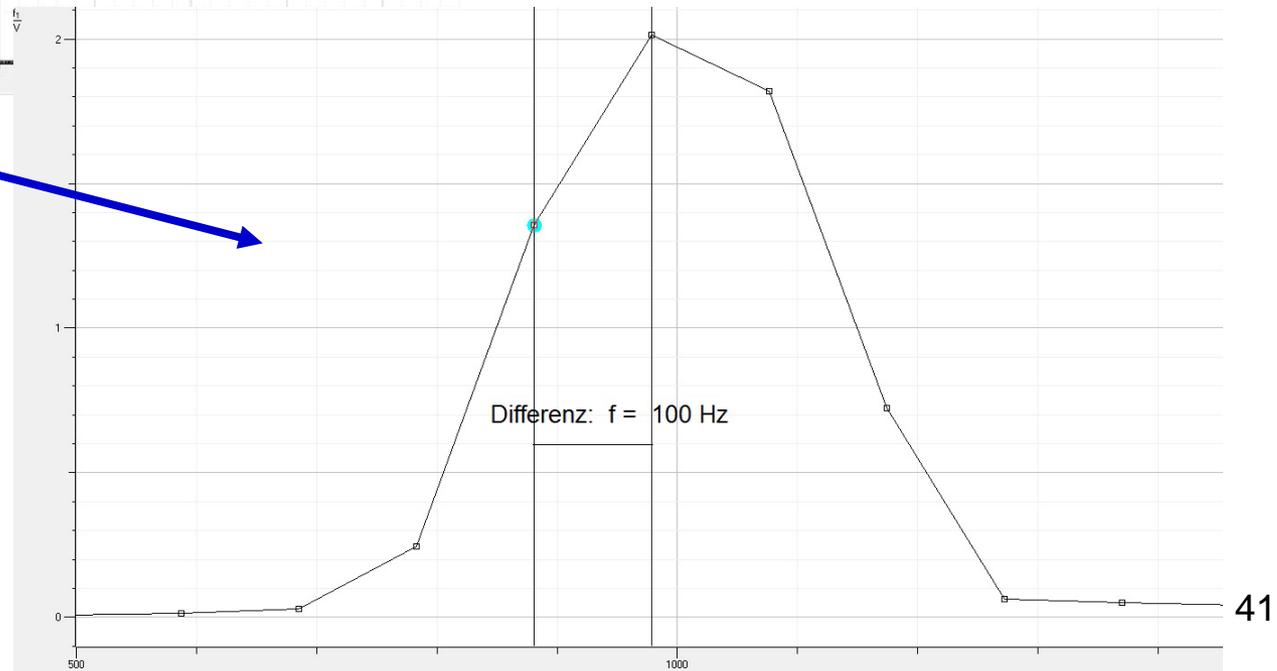
Frequenzbereich und Abtastung

CASSY FFT



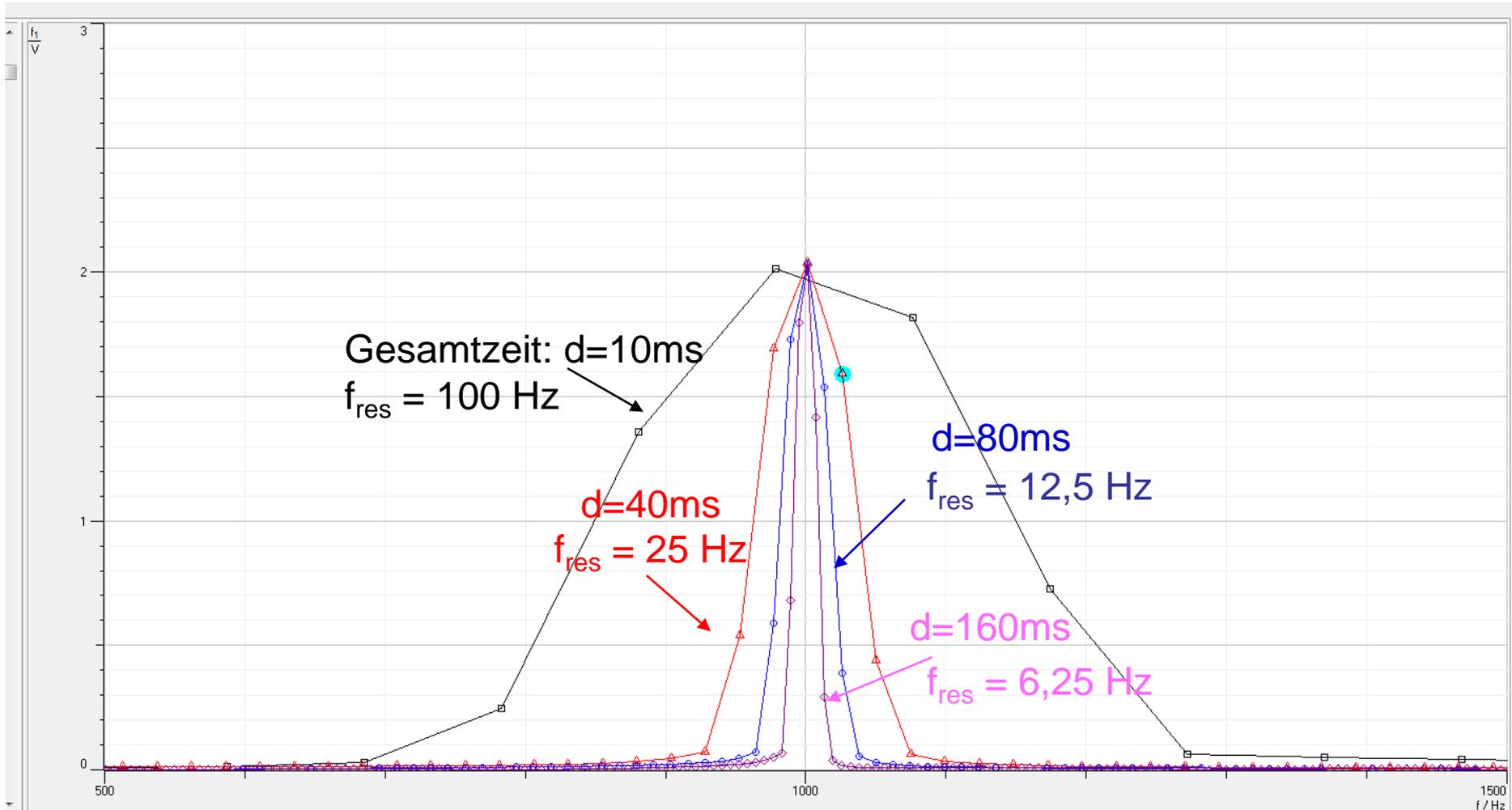
Frequenz der Auflösung f_{res}
= Abstand zwischen zwei
Spektralkomponenten

$$f_{\text{res}} = f_{\text{Abtastung}} / N = \text{Messzeit}$$
$$(10^5 \text{ 1/s}) / 1000 = 100 \text{ Hz}$$

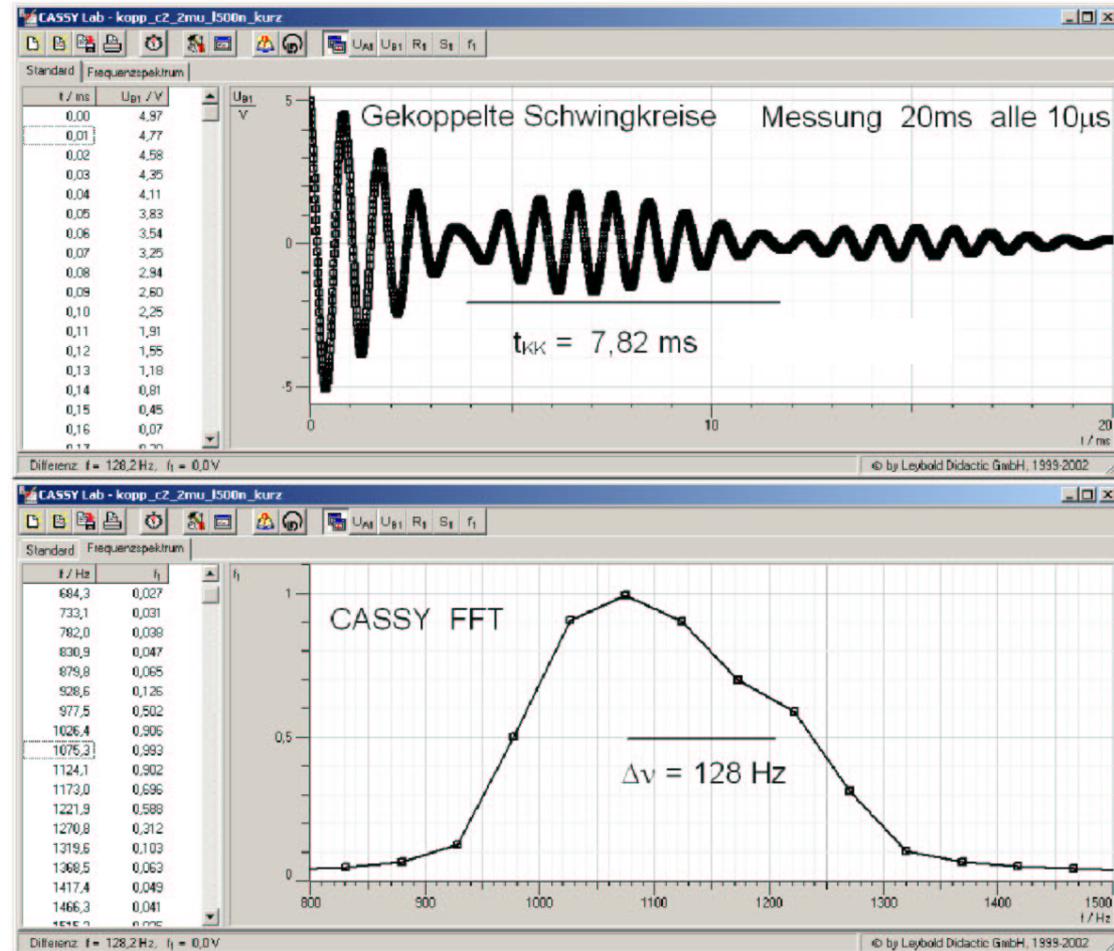
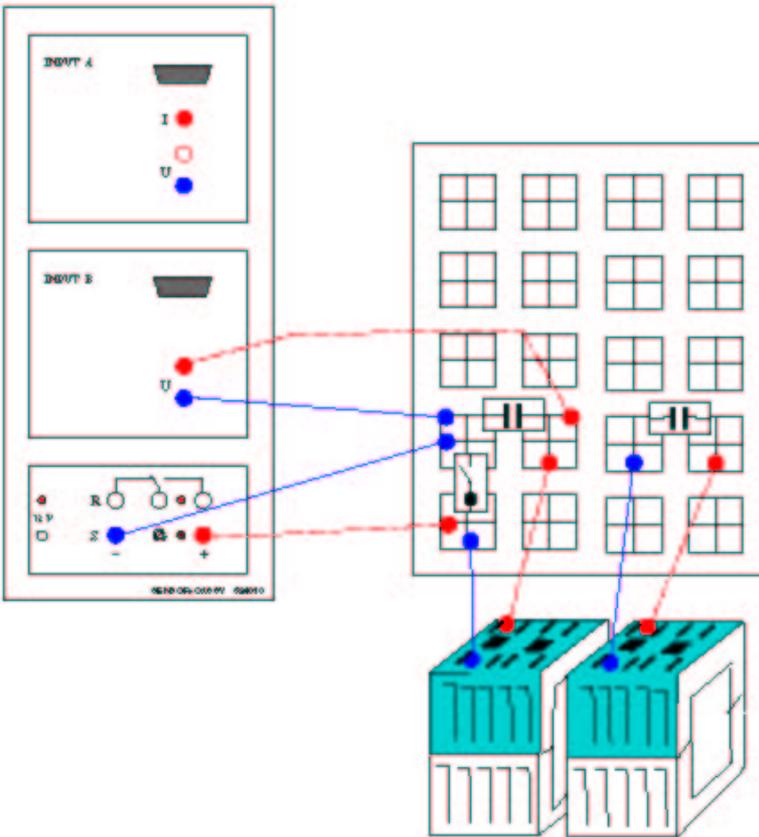


Frequenzbereich und Abtastung

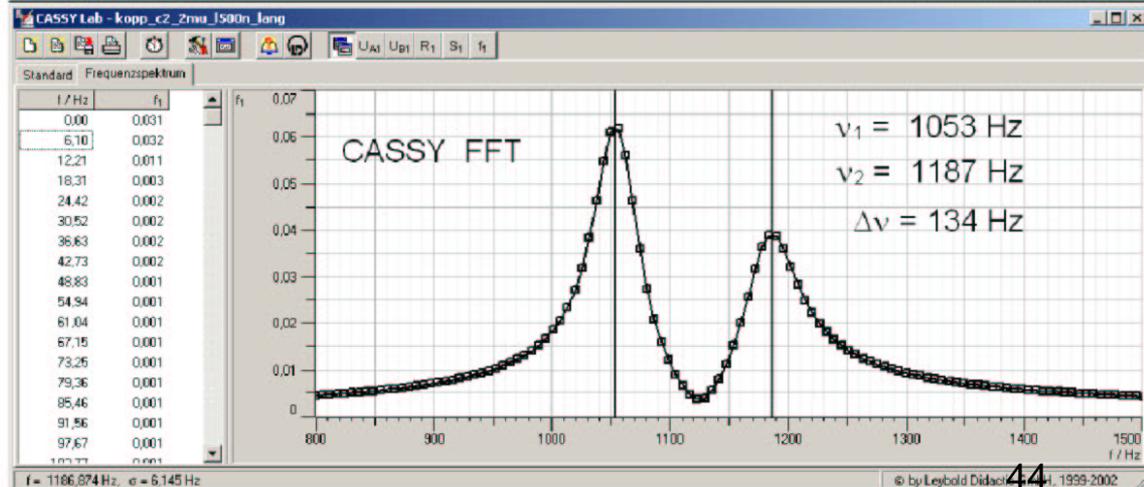
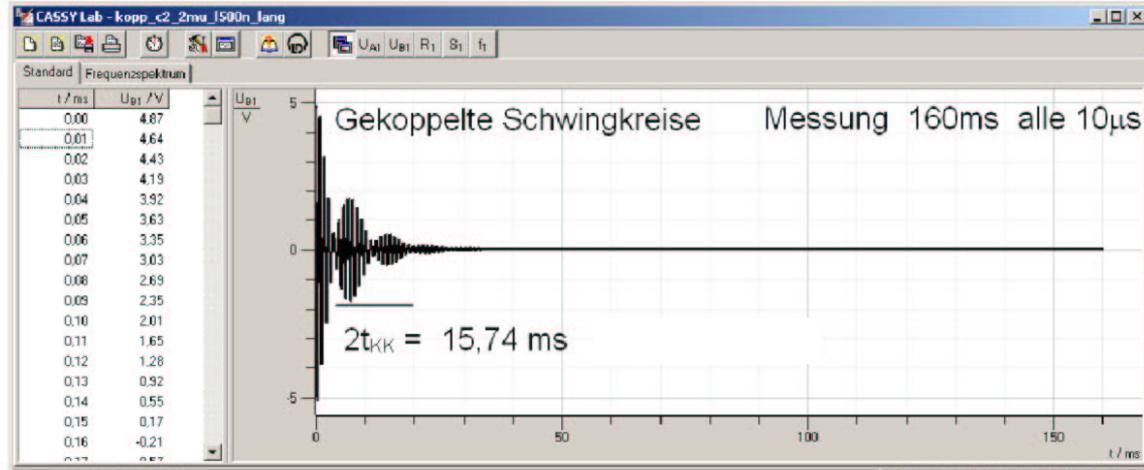
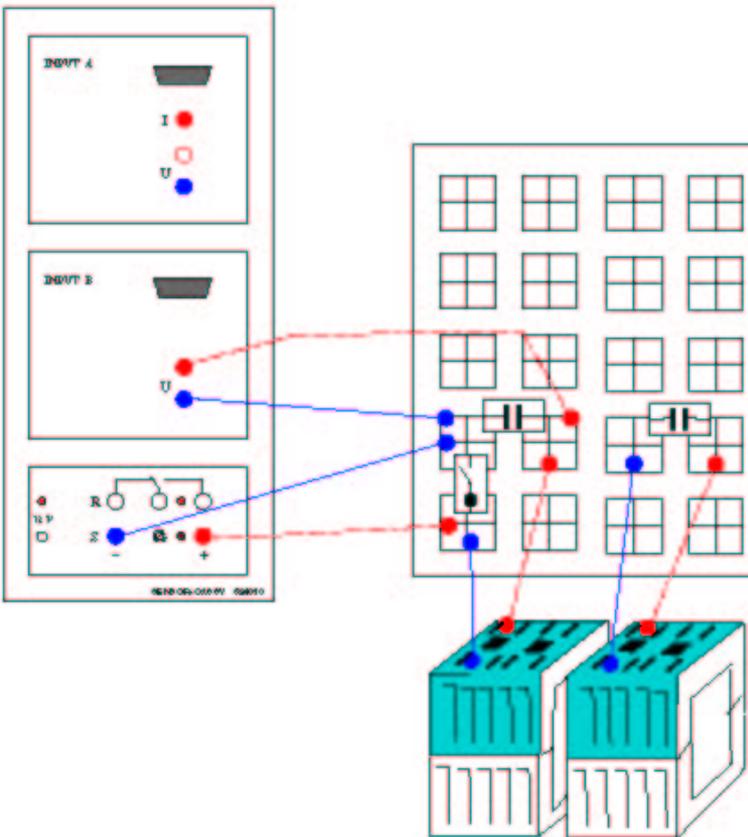
CASSY FFT



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



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



Zusammenfassung Sensor Cassy



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

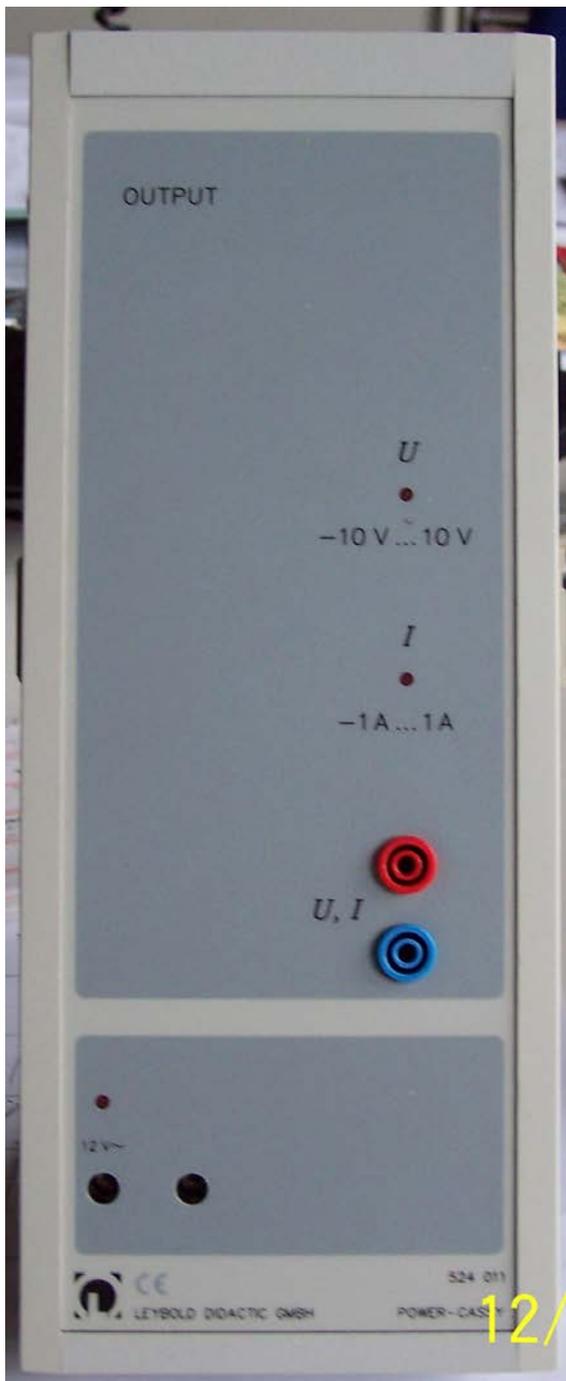
Power Cassy

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

Anschluß an serielle Schnitt-
stelle RS232 des PCs

Spannungsversorgung:

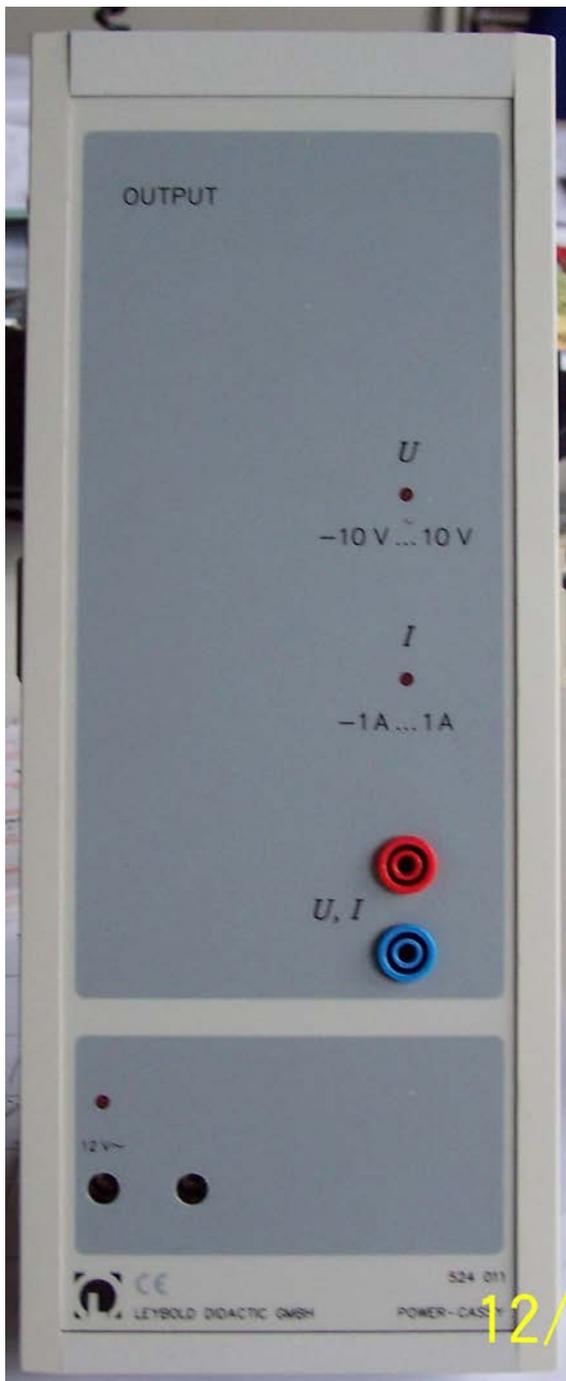
12V AC/DC über Hohlstecker oder
benachbartes Cassy-Modul



Power Cassy

Programmierbare Stromquelle mit gleichzeitiger Spannungsmessung:

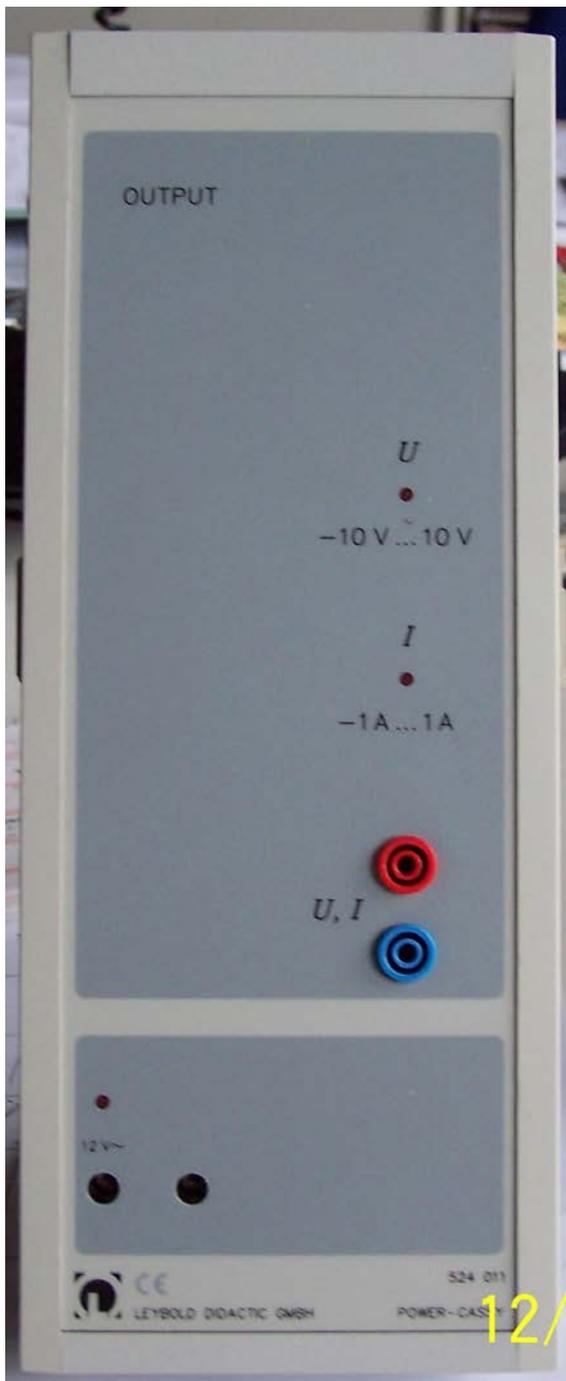
- Auflösung: 12 Bit
- Aussteuerbereich: ± 1 A
- Messbereiche: $\pm 1/3/10$ V
- Abtastrate: max. 200.000 Werte/s
(=100.000 Werte/s Spannung und Strom)



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 vs Sensor Cassy

3. Übung

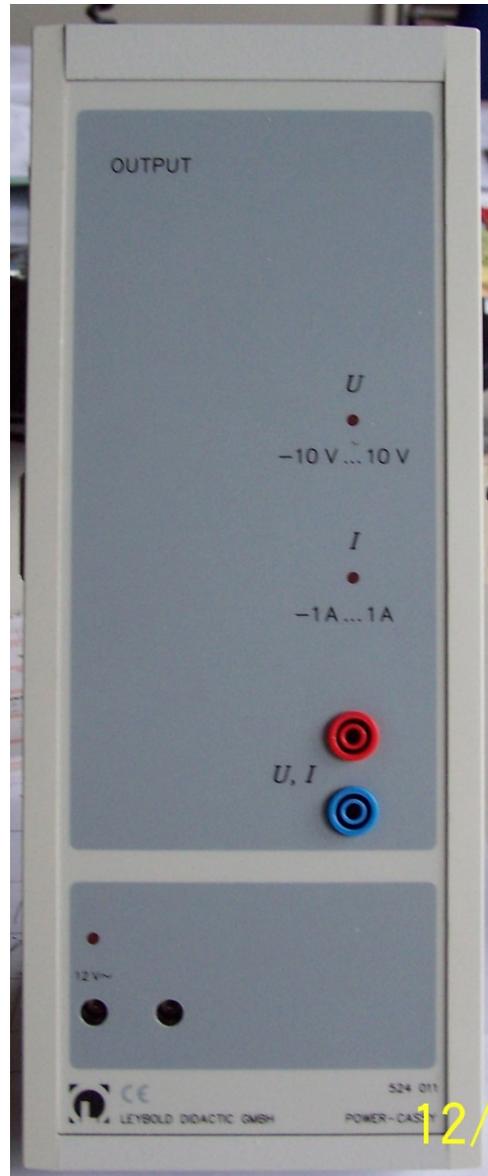
Power Cassy:

Sinusspannung mit

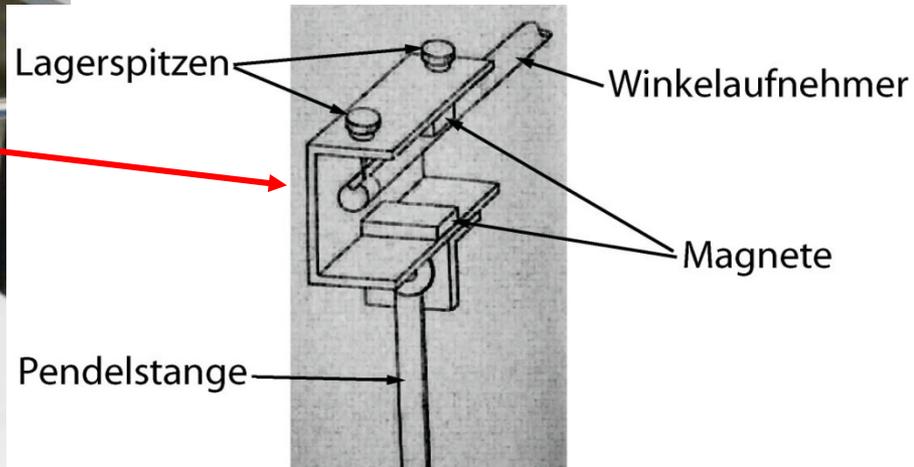
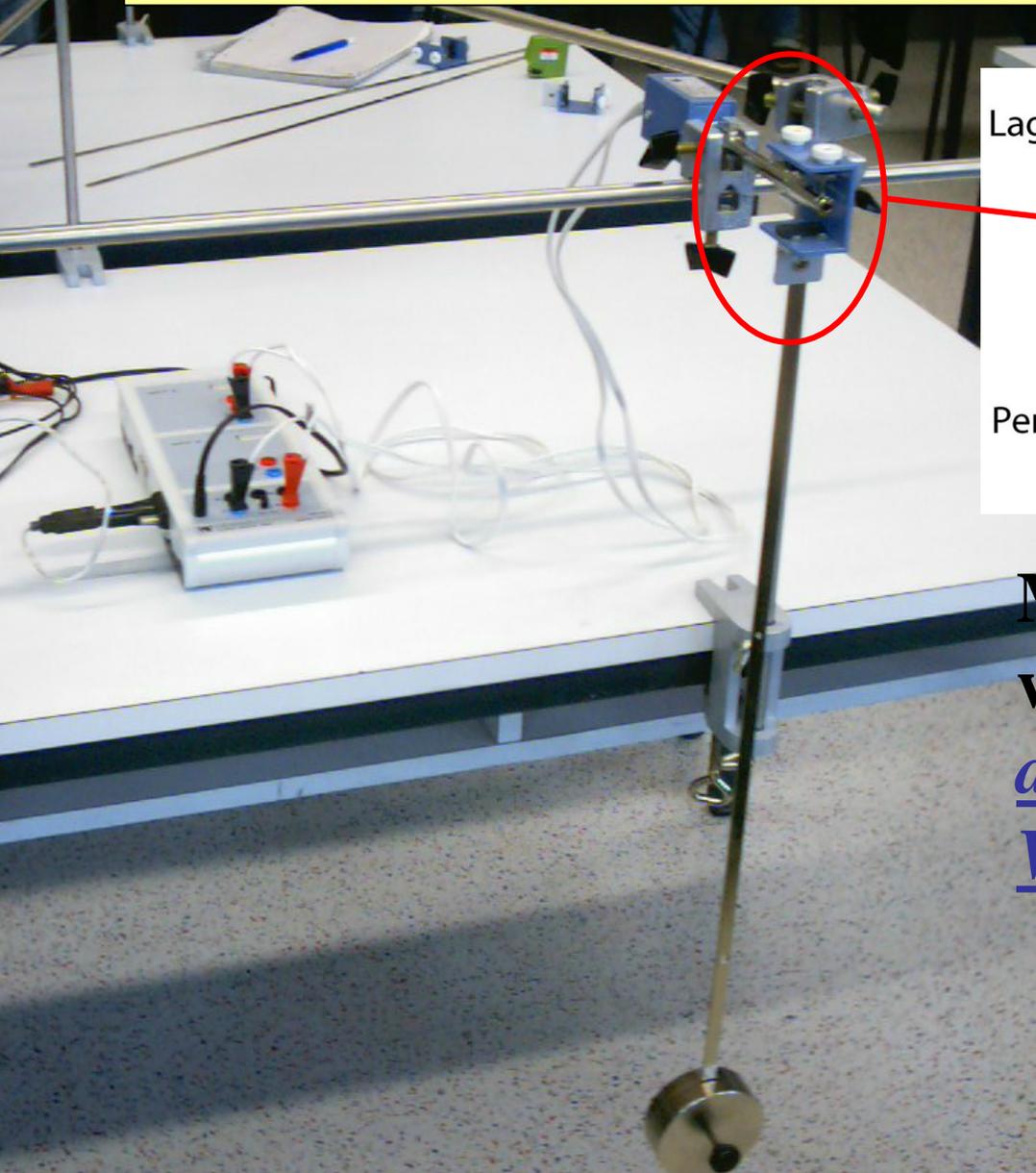
$f = ?$ Hz

Sensor Cassy:

Welche f (FFT) ?



Versuch 1.1 Pendel



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

Halleffekt

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

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

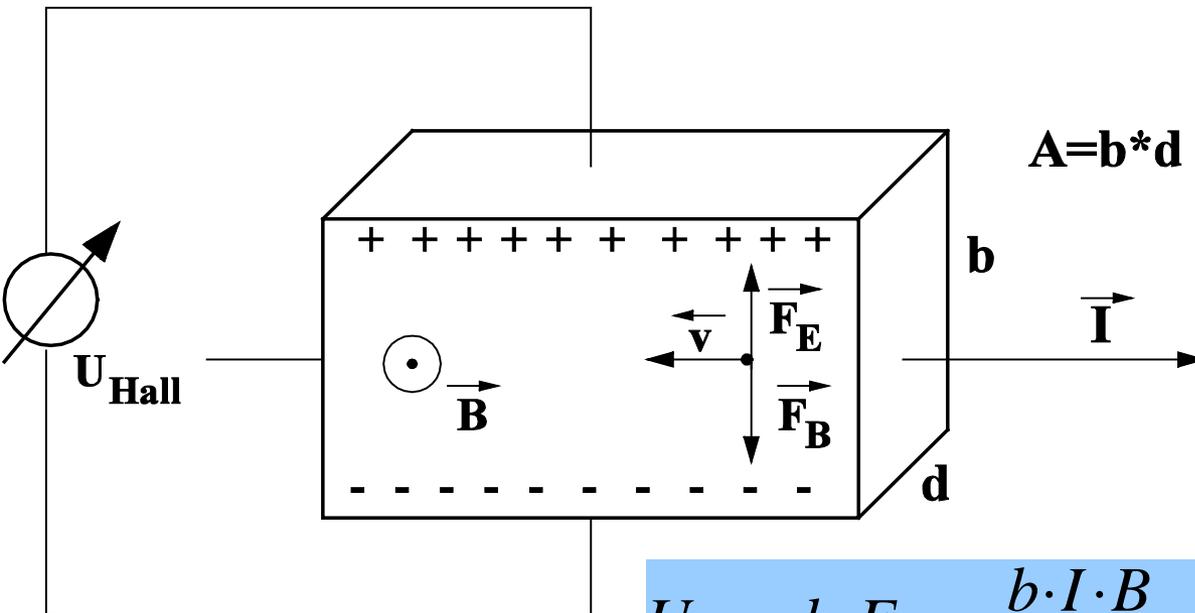
$$\vec{F}_E = -\vec{F}_B \rightarrow \vec{E}_H = \vec{v} \times \vec{B}$$

$$A = b \cdot d$$

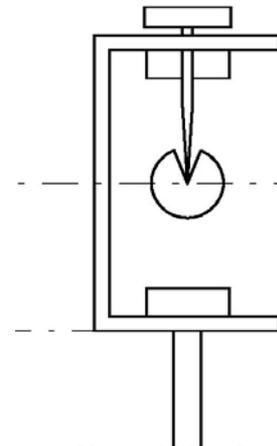
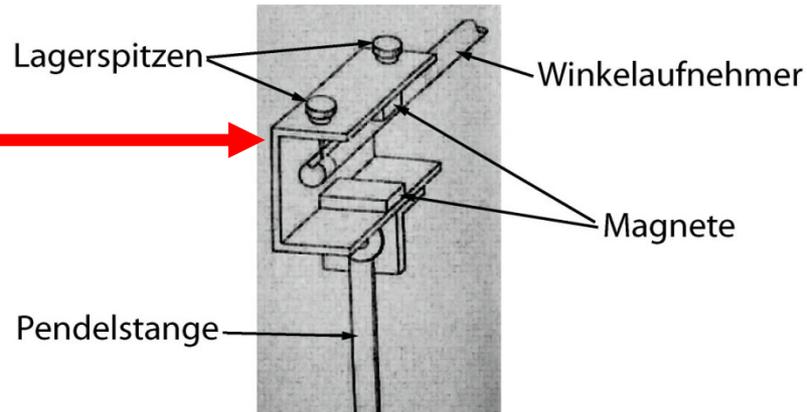
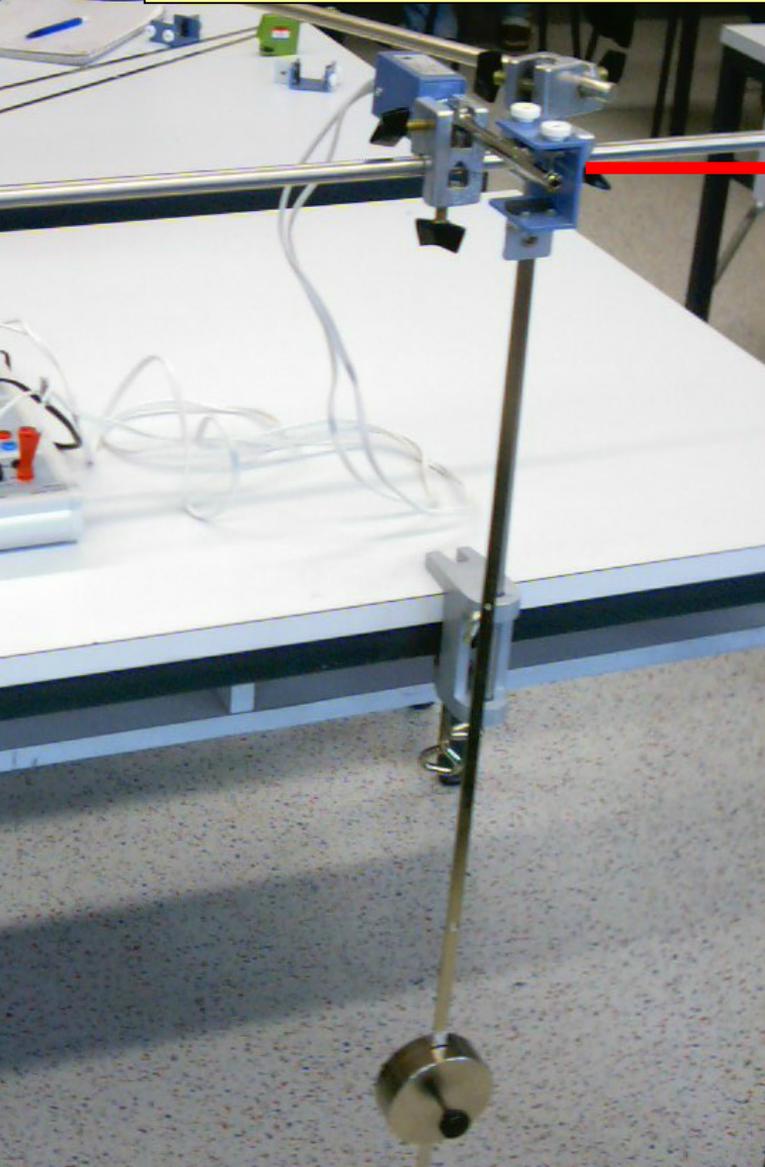
$$\text{allgemein: } \vec{I} = q \cdot n \cdot A \cdot \vec{v}$$

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

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



Spannungsmessung mit Hallsonde



Orientierung der Sonde \rightarrow Empfindlich

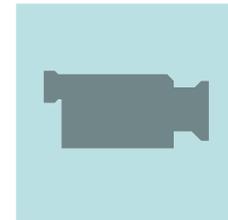
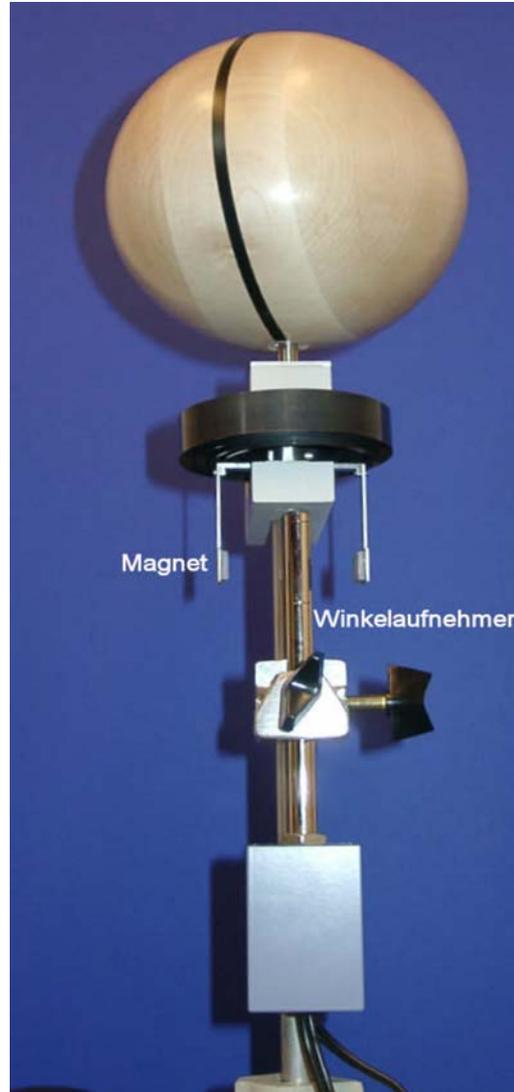
auf horizontale B-Komponente B_h

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:

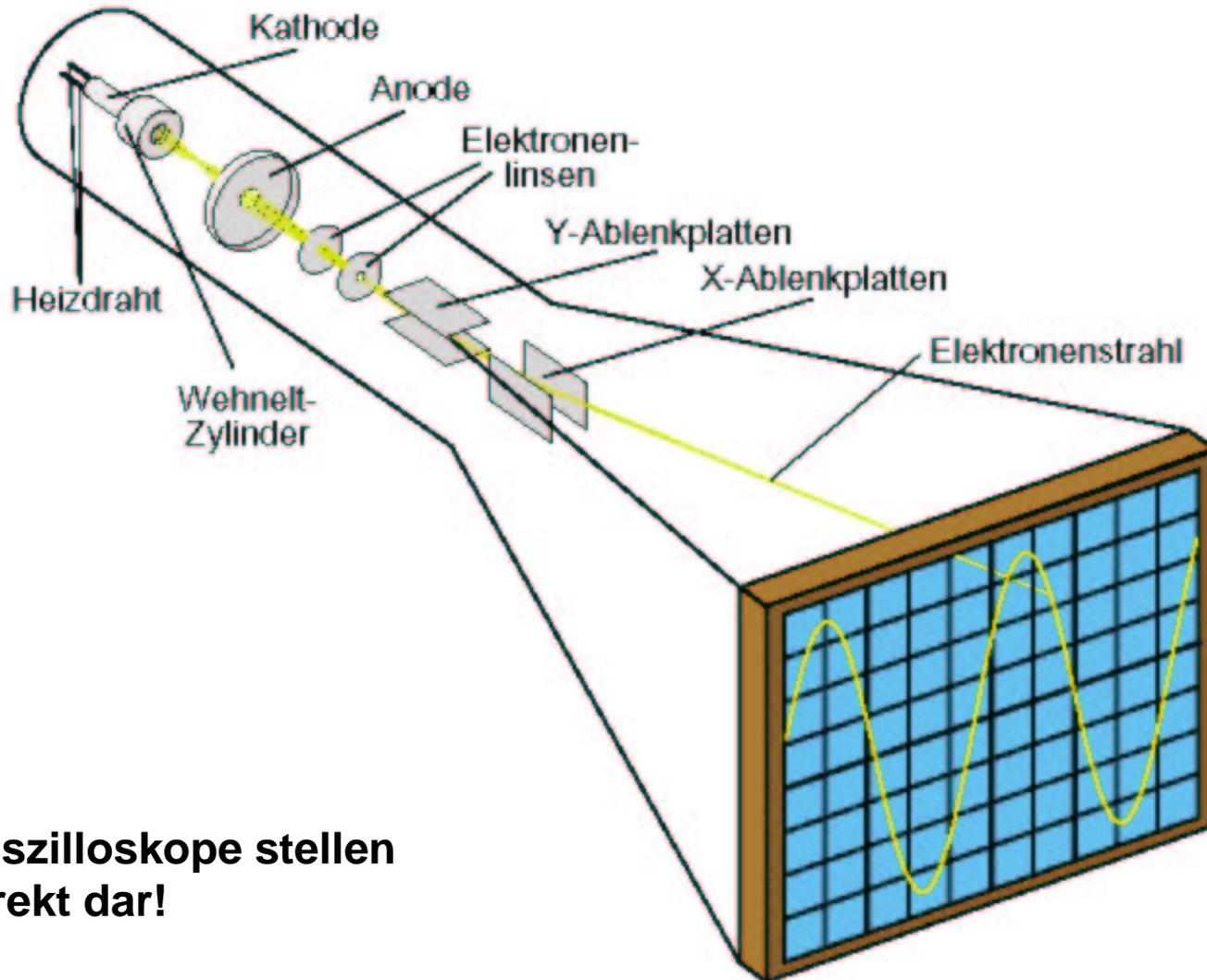
$-20\text{ °C} < T < +70\text{ °C}$: $0,2\text{ °C}$

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

Ansprechzeit:

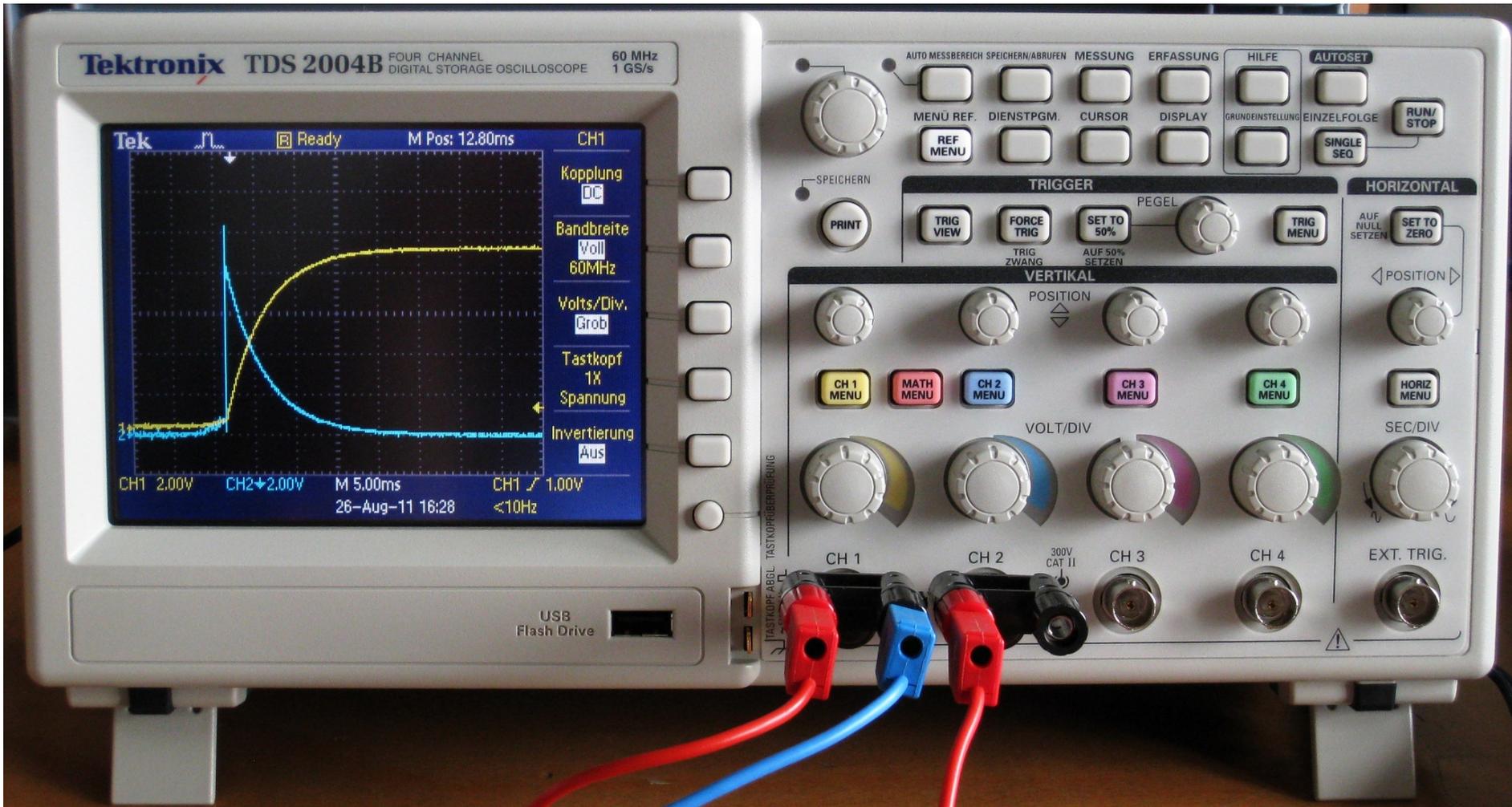
$>7\text{ s}$ in Flüssigkeiten

Oszilloskop (Braunsche Röhre)



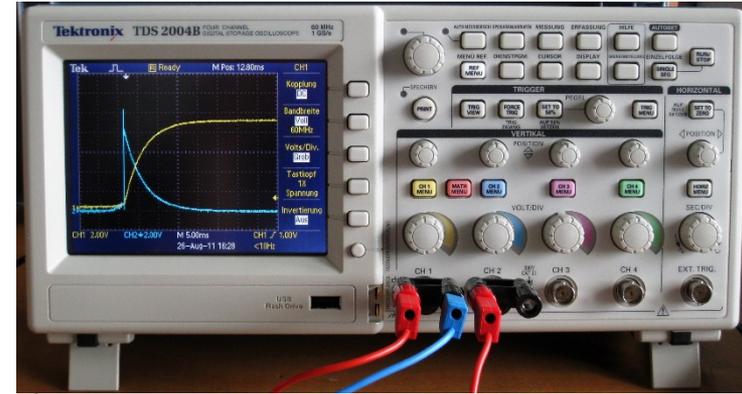
**Analoge Oszilloskope stellen
Signale direkt dar!**

Digital Oszilloskop



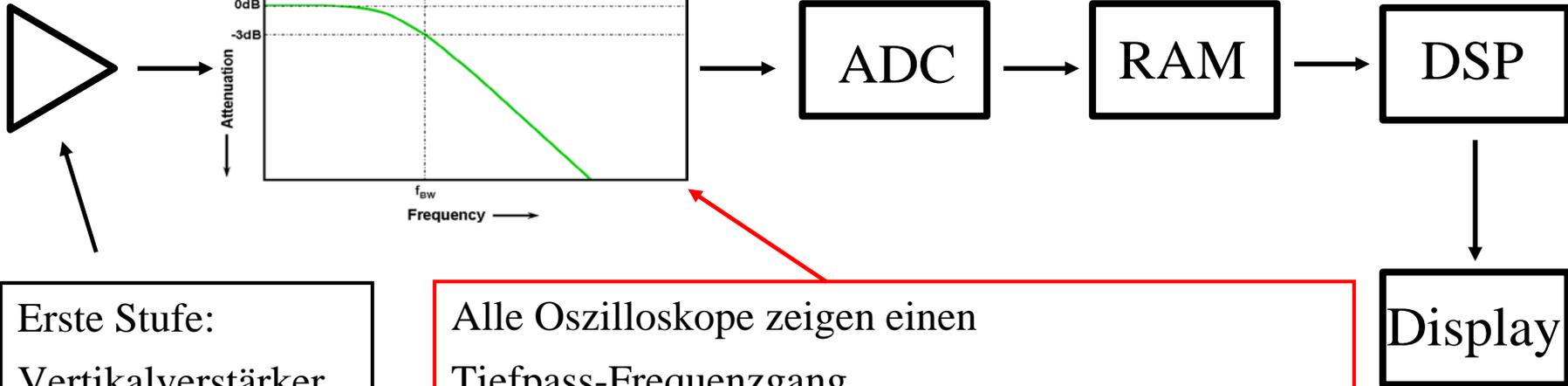
Digitale Oszilloskope tasten Signale ab und konstruieren Darstellungen!

Digital Oszilloskop: Funktionsprinzip



Bandbreite 60 MHz

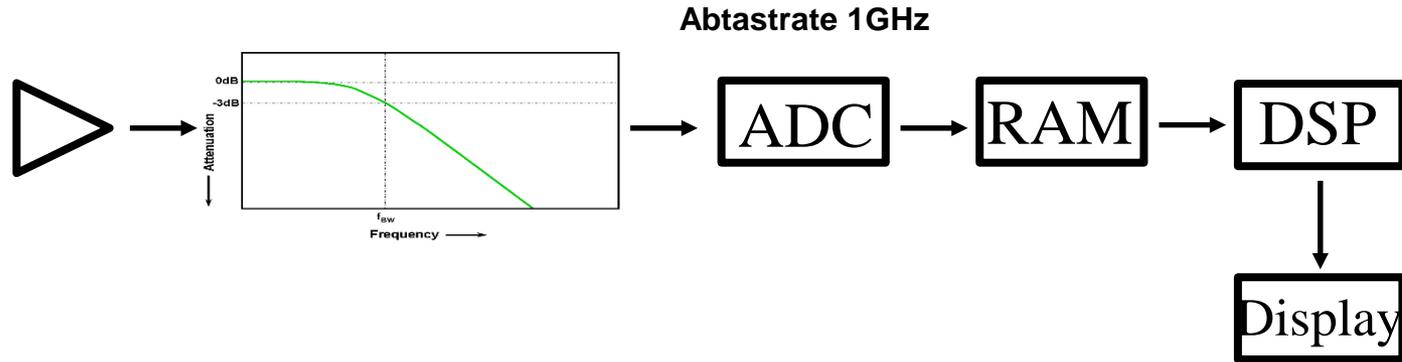
Abtastrate 1G Sa/s



Erste Stufe:
Vertikalverstärker
→ Amplitude und
Positionsbereich
einstellbar

Alle Oszilloskope zeigen einen
Tiefpass-Frequenzgang.
Frequenz, bei der eine Eingangssinuswelle um 3 dB
abgeschwächt wird, definiert die **Bandbreite**
des Oszilloskops.
-3 dB entspricht ~ Amplitudenfehler von 30% .

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**

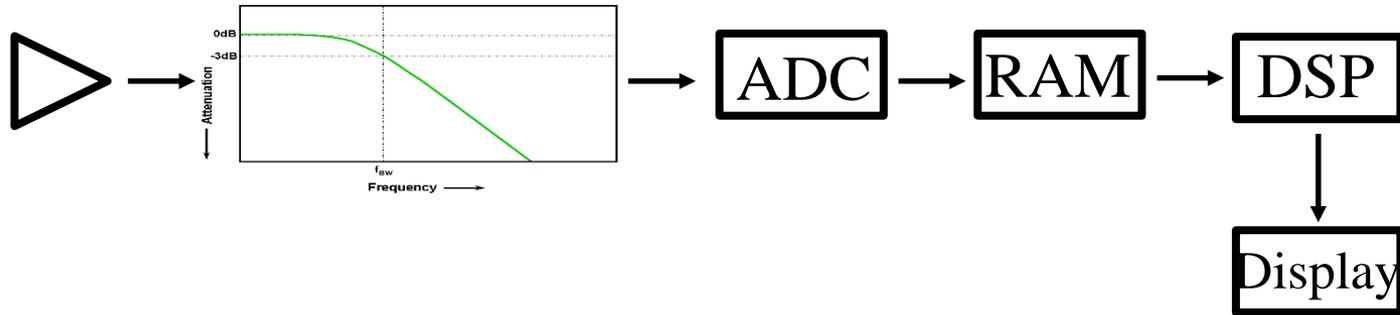
Abtast-Taktrate des Horizontalsystems bestimmt, wie oft der ADC eine Abtastung durchführt → **Abtastrate** (Angabe in Abtastungen pro Sekunde)

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

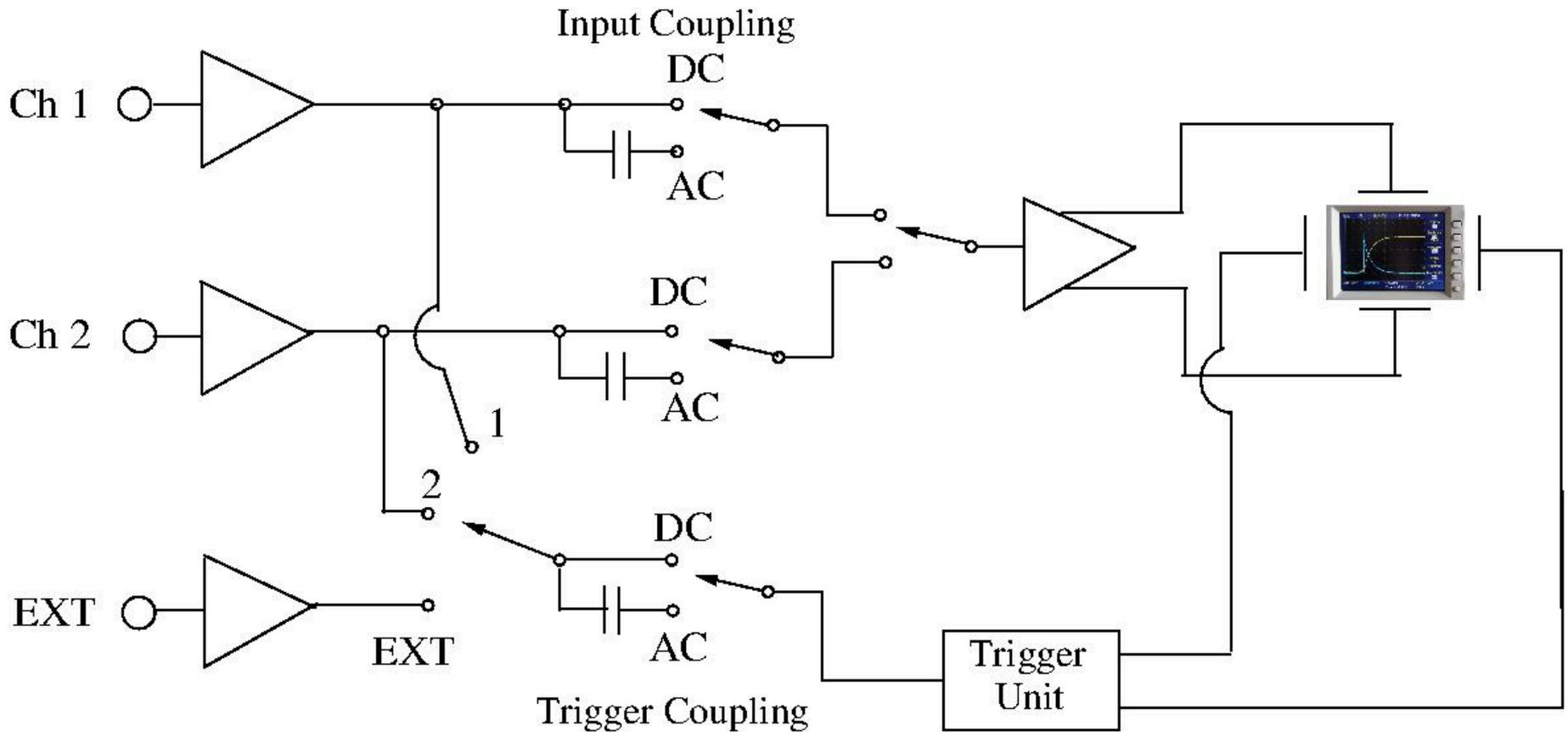


Mikroprozessor leitet gemessenes Signal an Display weiter

Mikroprozessor verarbeitet Signal, koordiniert Bildschirmaktivitäten,

steuert Bedienelemente des vorderen Bedienfeldes und führt weitere Aufgaben durch

Digital Oszilloskop: Funktionsprinzip



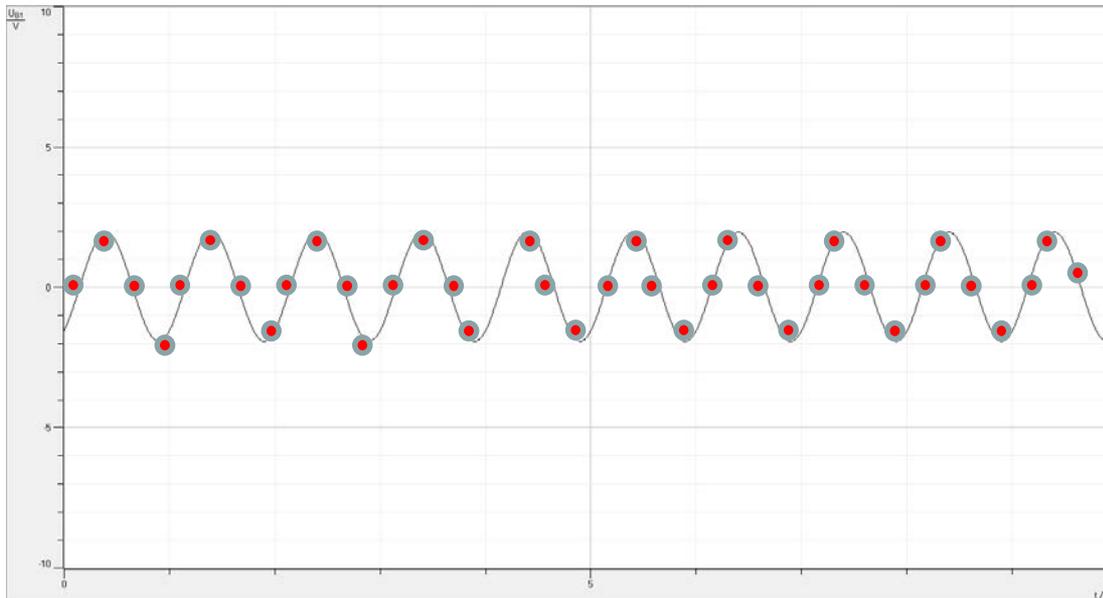
Signaldigitalisierung

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.

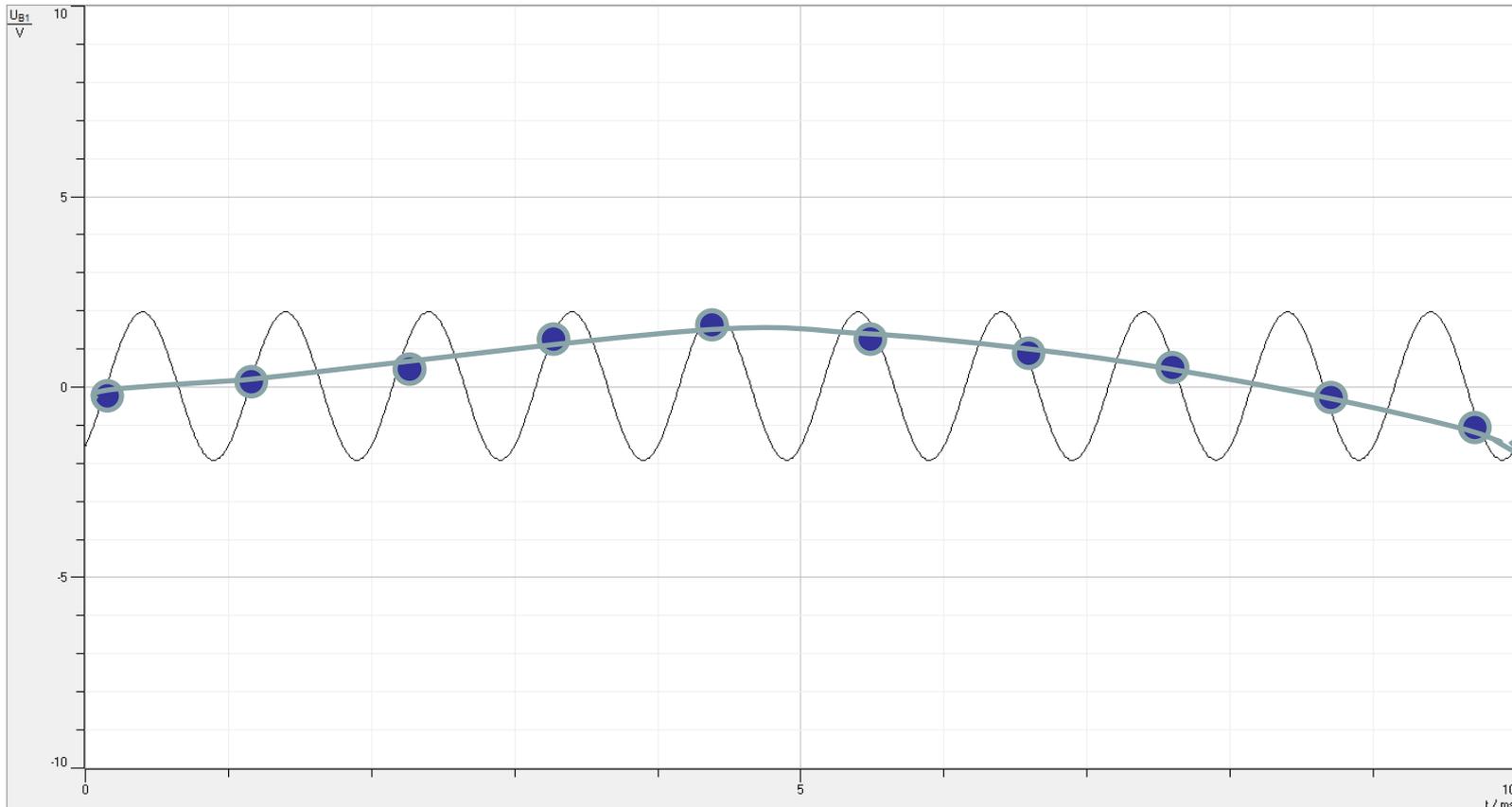
$$f_{\text{Abtastung}} > 2 \cdot f_{\text{Signal}}$$



Signaldigitalisierung

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

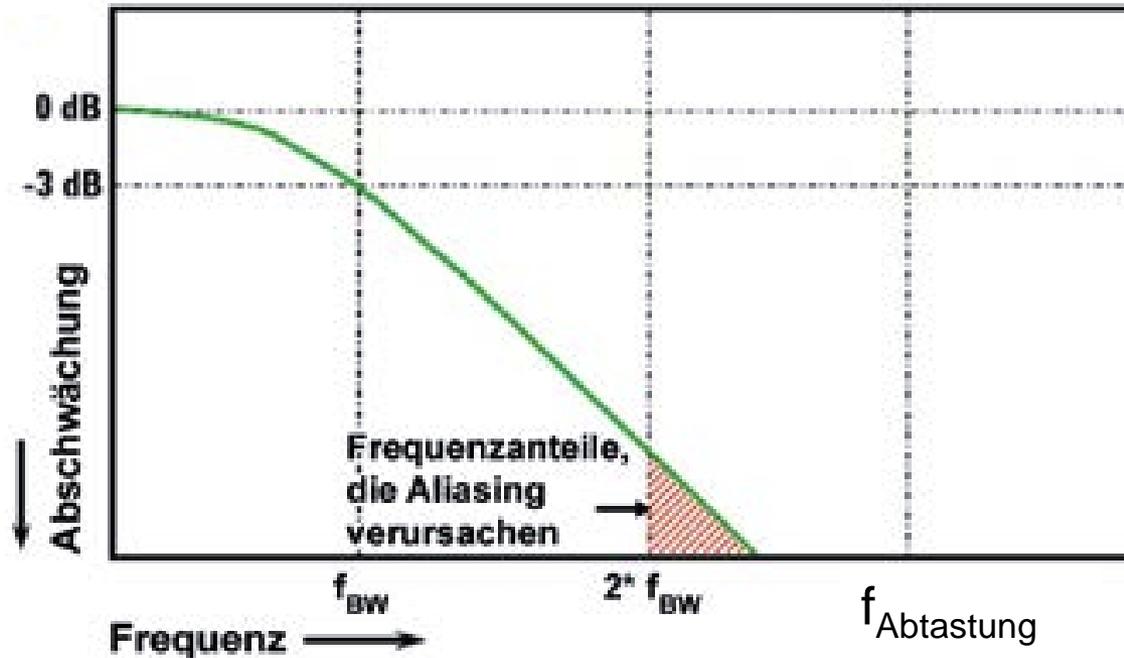
hier nicht erfüllt ($T_{\text{abtastung}} = T_{\text{signal}}$)



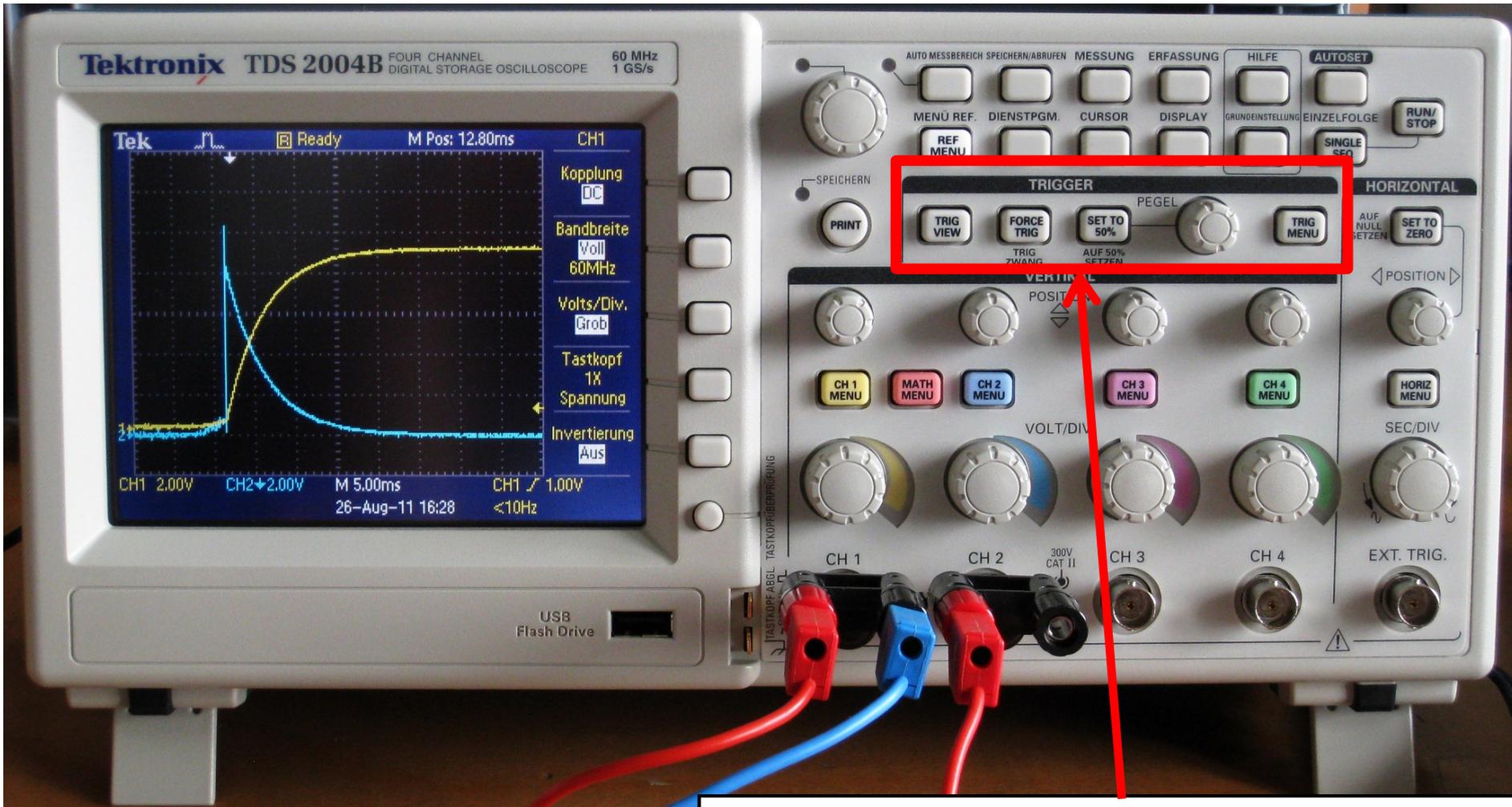
Signaldigitalisierung

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

Vermeidung von Aliasing Effekten: $f_{\text{Abtastung}} > 4 \cdot f_{\text{BW}}$ (Bandbreite)



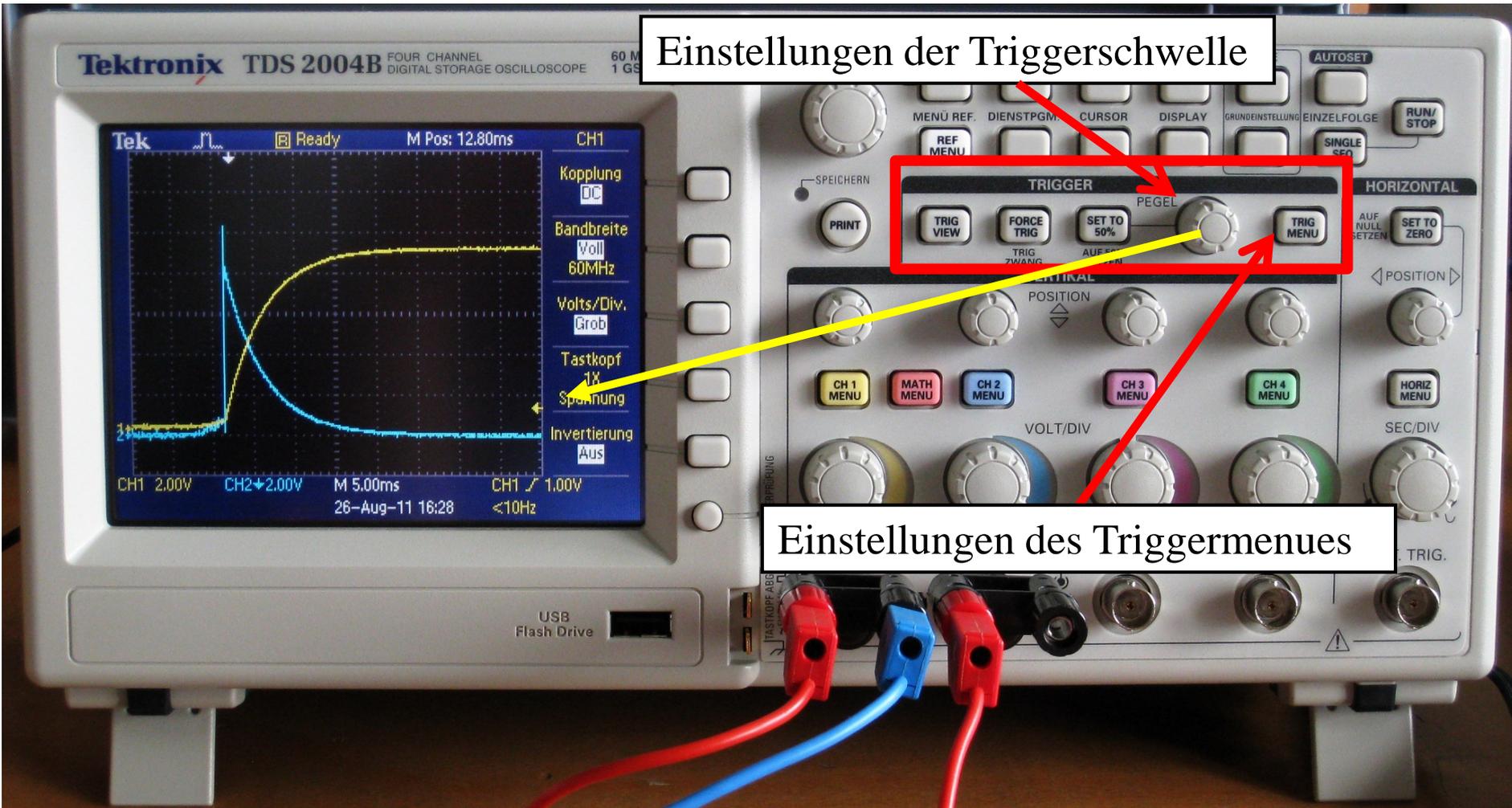
Digital Oszilloskop



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

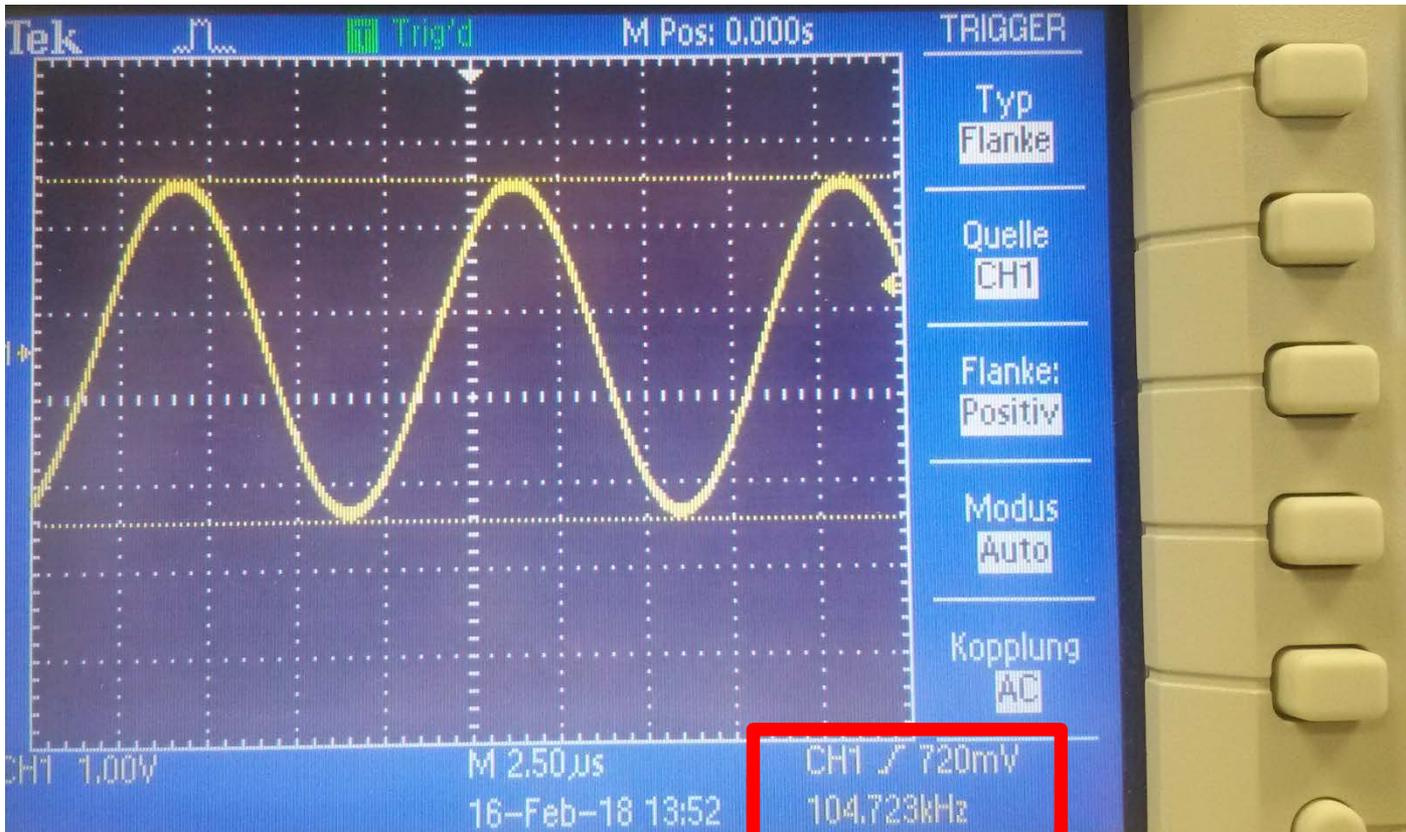
Digital Oszilloskop

Einstellungen der Triggerschwelle



Einstellungen des Triggersmenues

Digital Oszilloskop



Triggermenü
Auswahl durch
seitliche Knöpfe

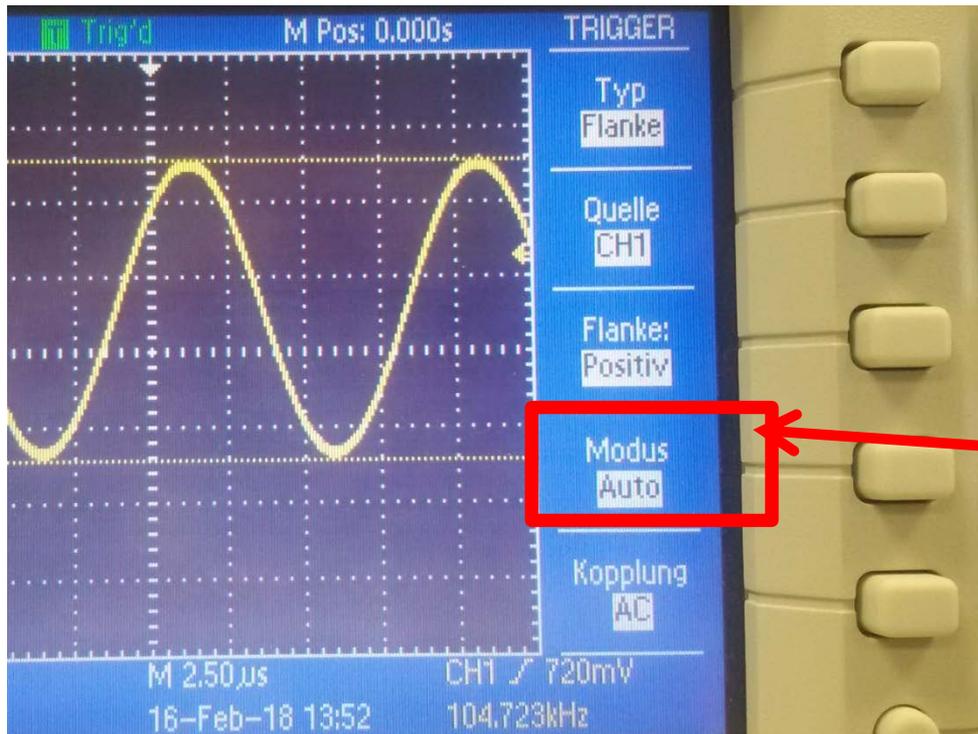
Weitere Informationen zum Triggersignal:
CH1: Anzeige der zur Triggerung verwendete Triggerquelle
720 mV: Anzeige des Flankentriggerpegels
Symbol steht für jeweils ausgewählte Triggerart

\nearrow
 \searrow

Flankentrigger auf der steigenden Flanke.

Flankentrigger auf der fallenden Flanke. 66

Digital Oszilloskop



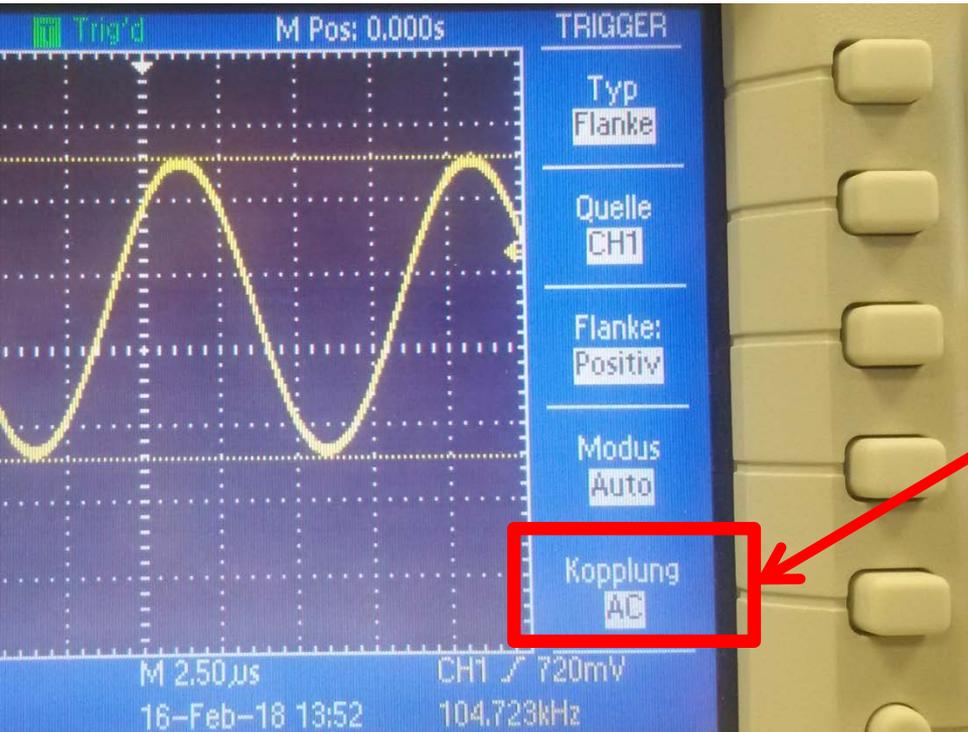
Modus:

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

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

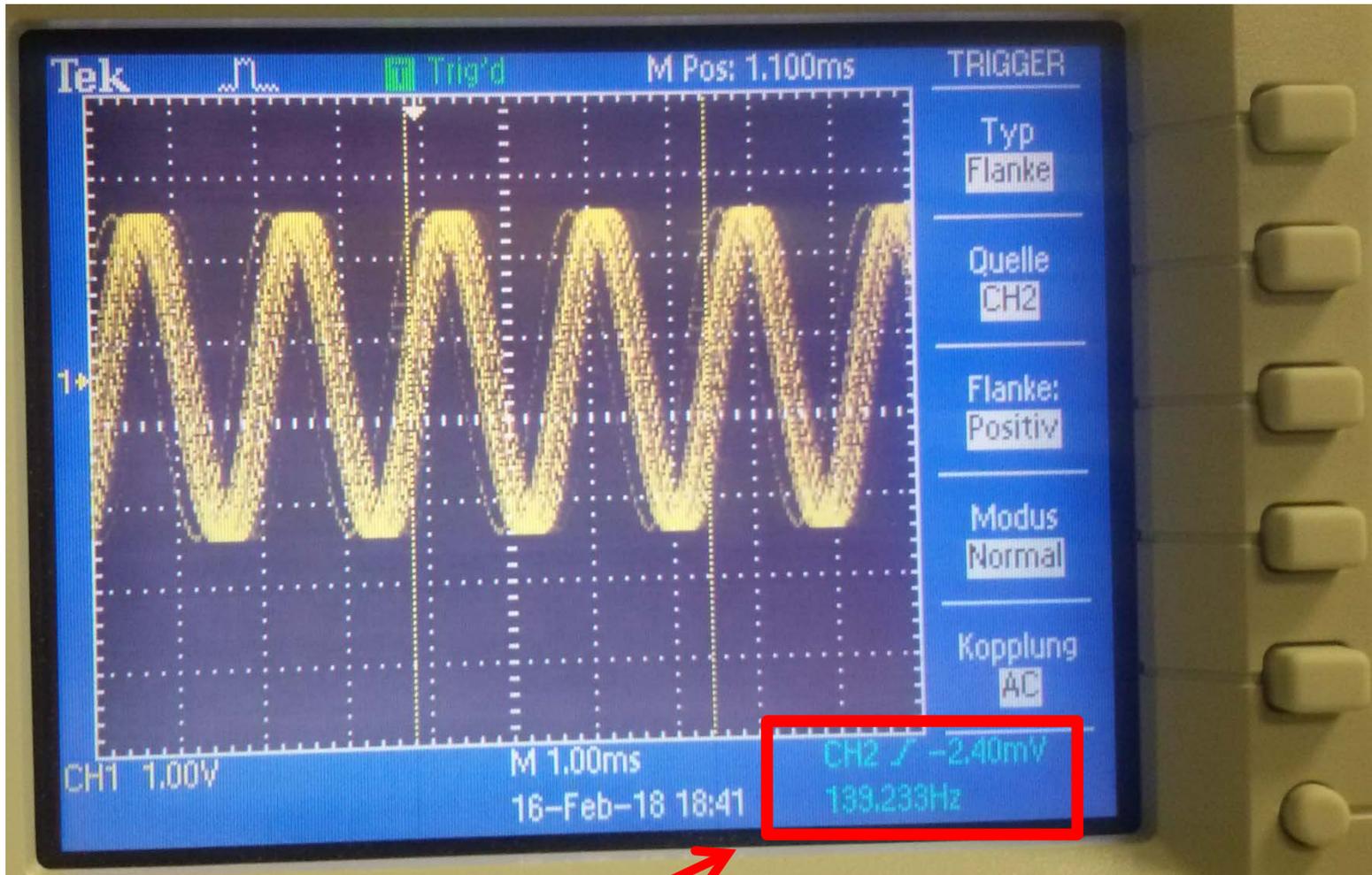
Auto: Ablenkung wird regelmäßig ausgelöst, wenn Elektronenstrahl eine volle Auslenkung über den Schirm beendet hat und zum linken Rand zurückgekehrt ist; außer es tritt vorher ein Triggerereignis ein: dann beginnt die Auslenkung sofort. Auf diese Weise bleibt der Elektronenstrahl auch dann sichtbar, wenn kein Triggerereignis eintritt.

Digital Oszilloskop



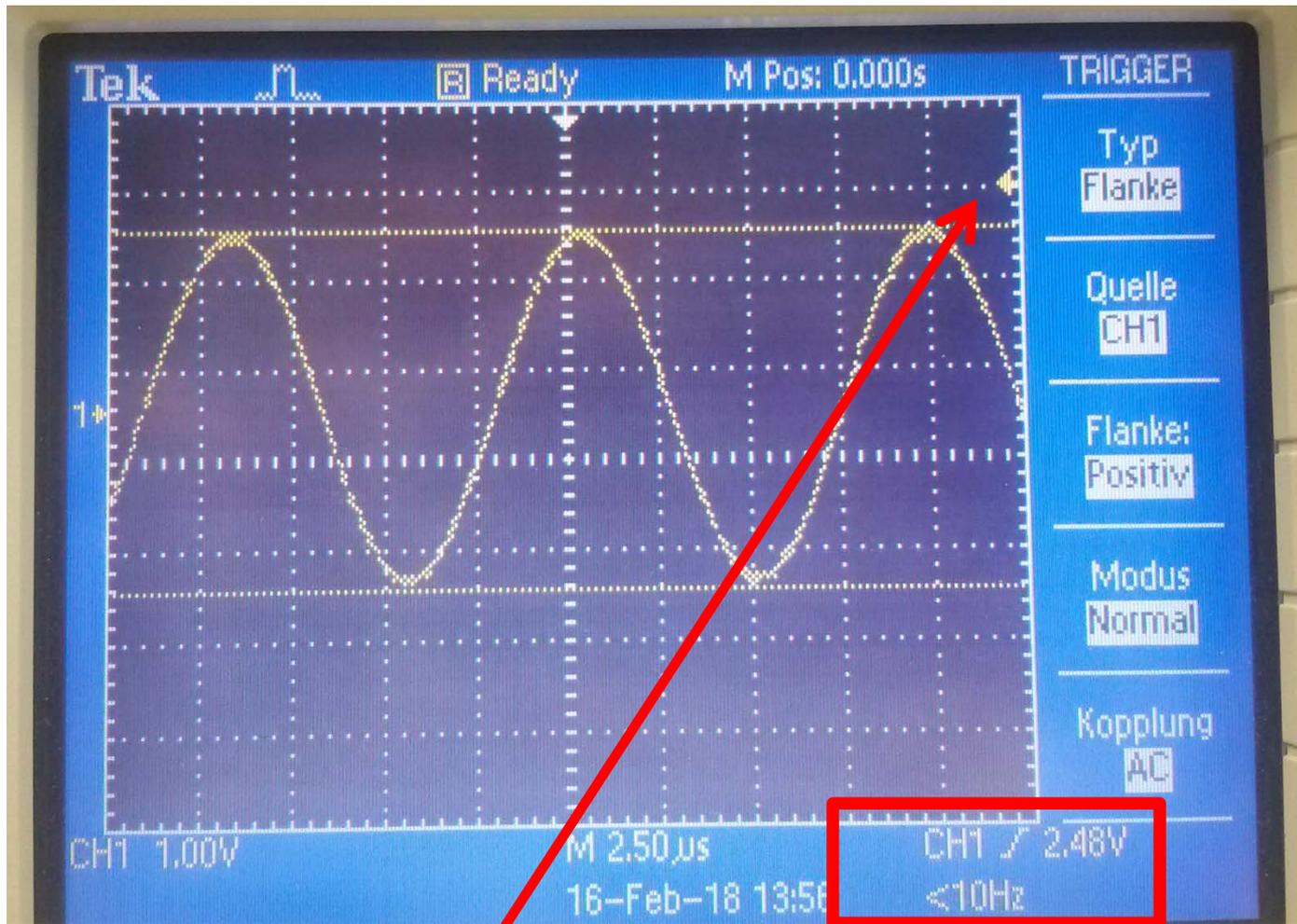
Kopplung:
DC, AC, Hoch- oder Tiefpassfilter etc.

Digital Oszilloskop



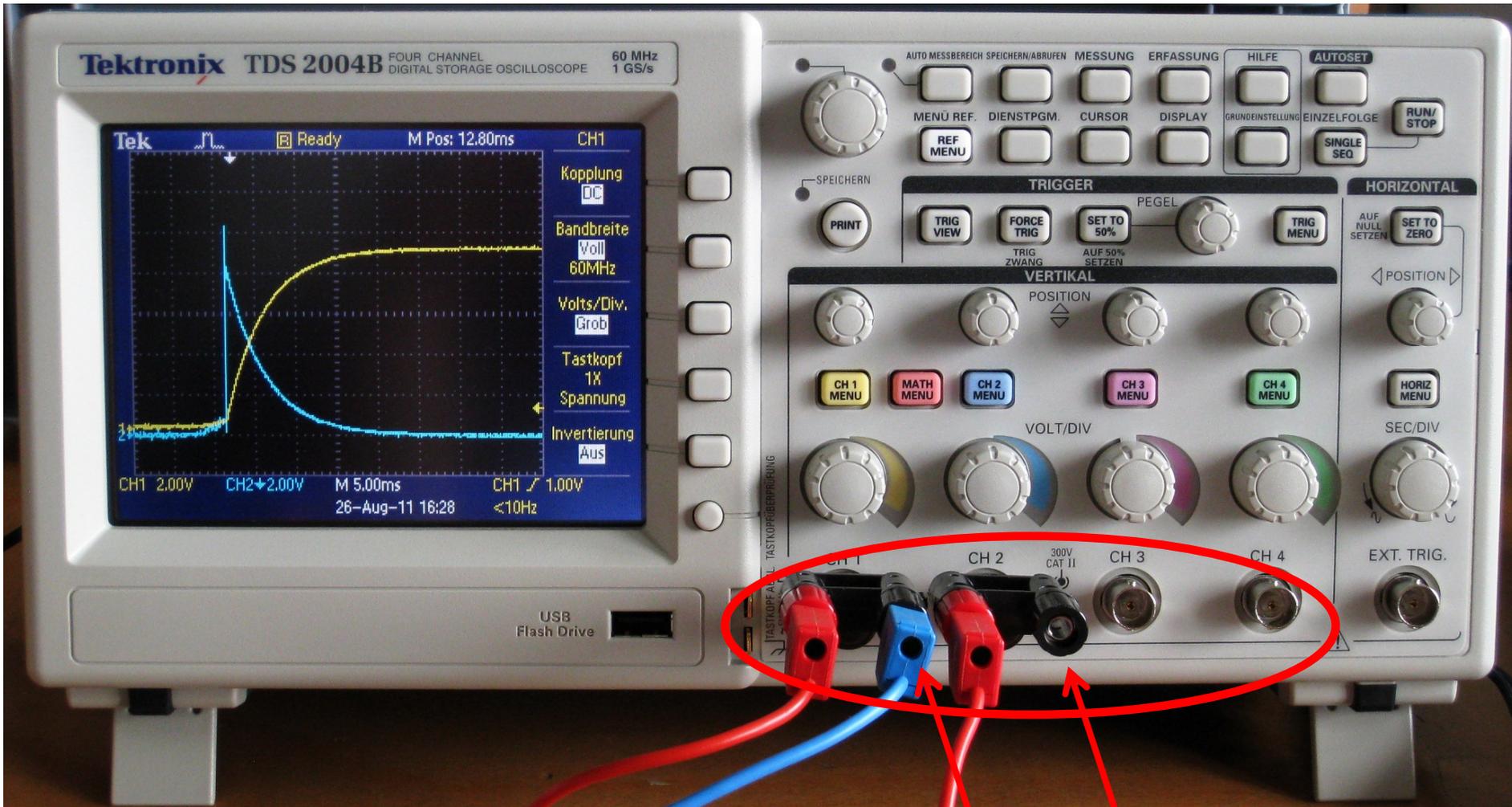
Unscharfe Signale bzw. „durchlaufende“ Signale:
z.B. durch falsch gesetzten CH als Triggerquelle

Digital Oszilloskop



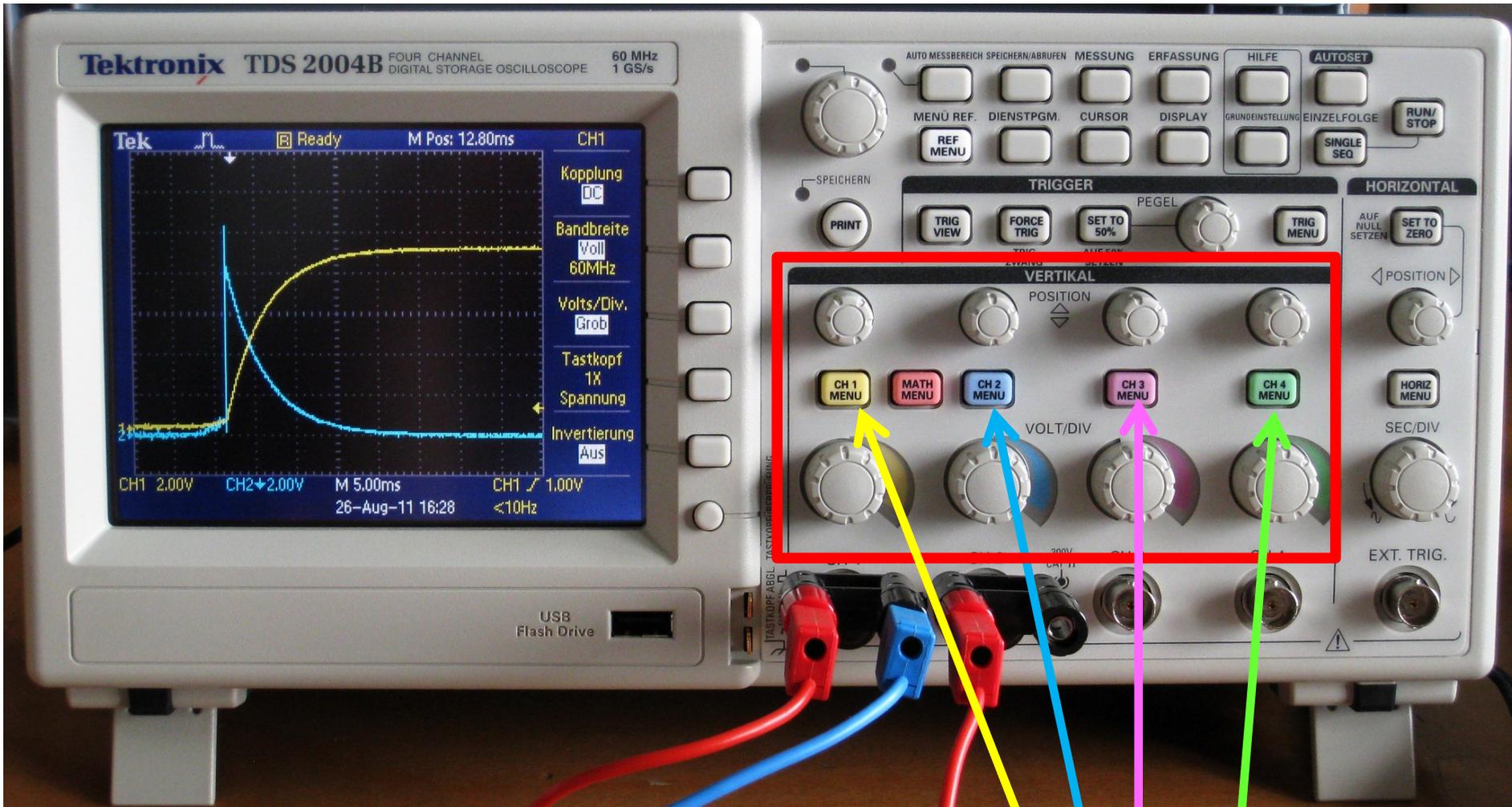
Unschärfe Signale bzw. „durchlaufende“ Signale bzw. kein Signal:
Oder z.B. durch zu hohe Triggerschwelle

Digital Oszilloskop



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

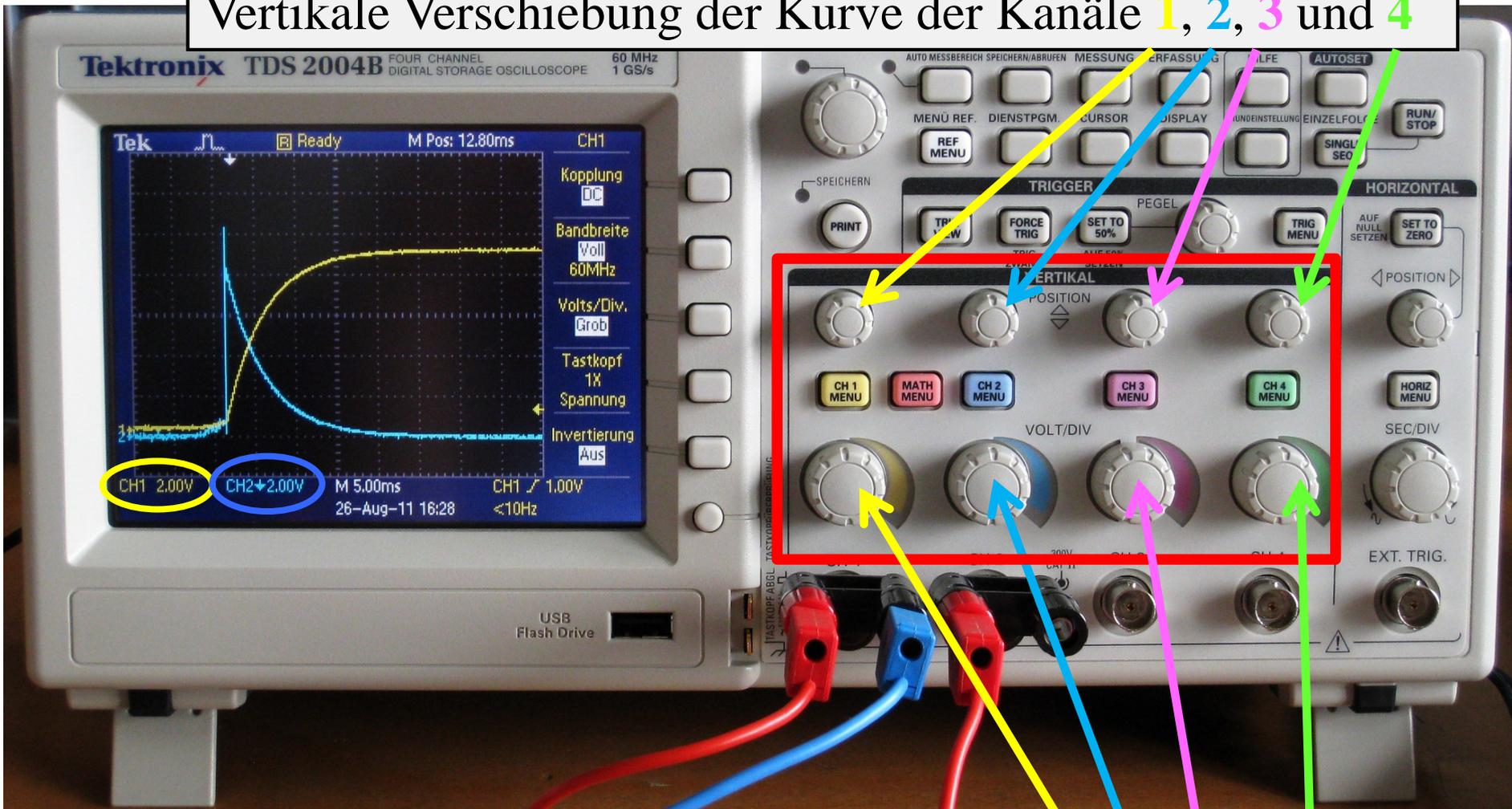
Digital Oszilloskop



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

Digital Oszilloskop

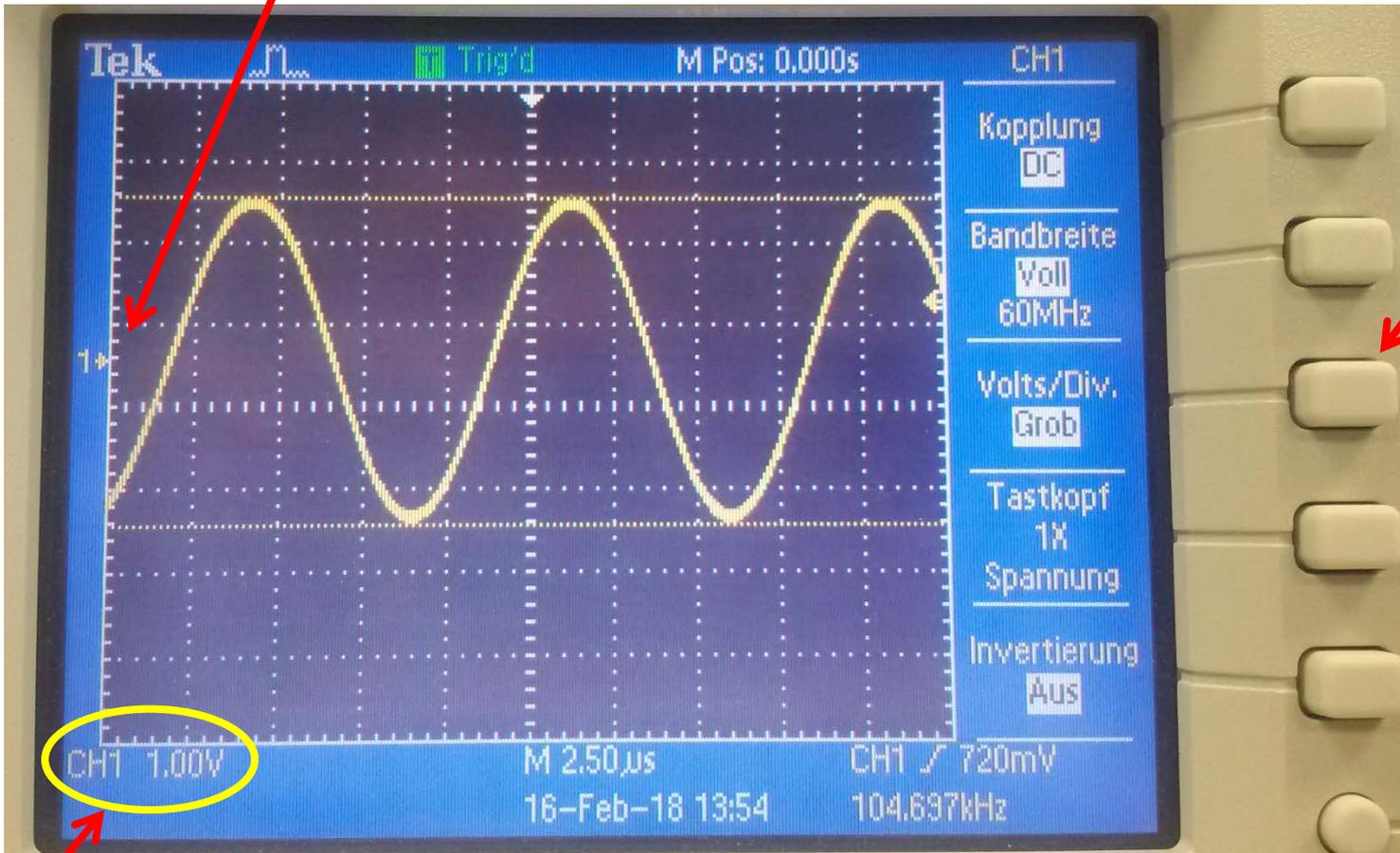
Vertikale Verschiebung der Kurve der Kanäle 1, 2, 3 und 4



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

Digital Oszilloskop

Anzeige der Nulllinie (erdbezogene Messpunkte) des CH1

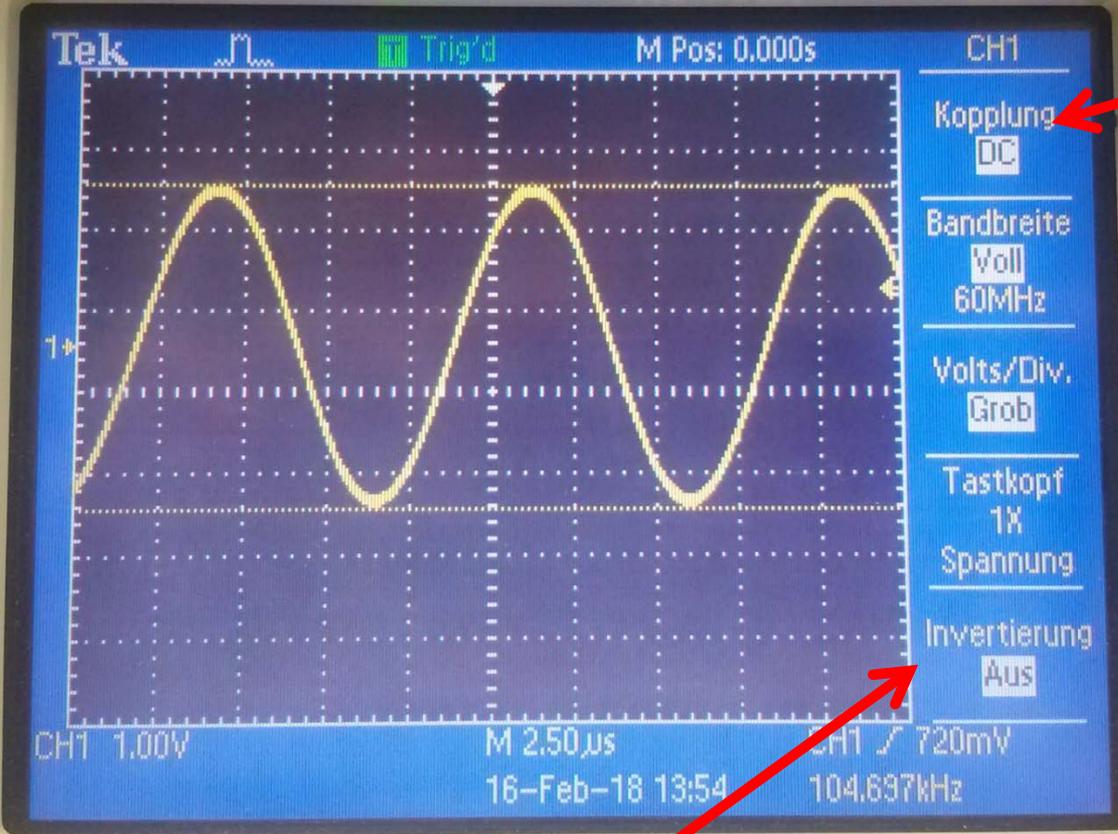


Kanal-Menü

Auswahl durch
seitliche Knöpfe

Anzeige der vertikalen Skalenfaktoren für die einzelnen Kanäle

Digital Oszilloskop



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

Kopplung:

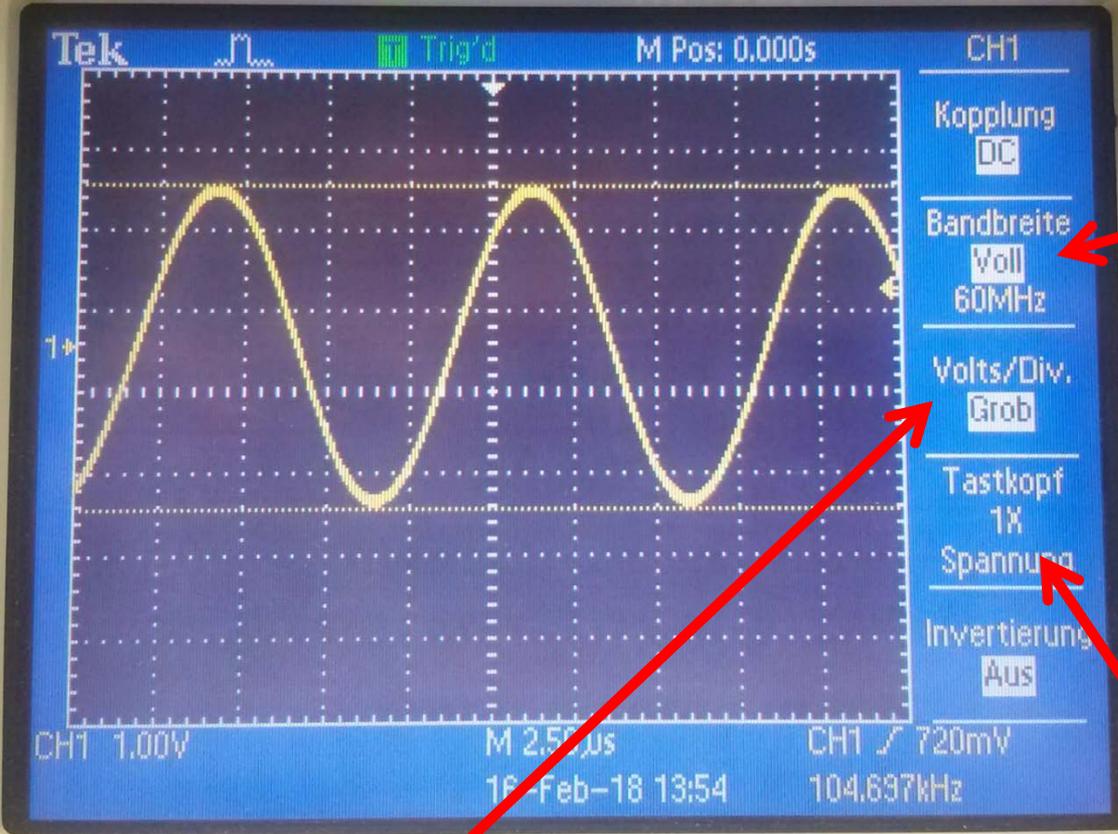
Einstellmöglichkeiten:
DC/AC/GND

DC: Signaleingang direkt mit dem Eingang des Verstärkers verbunden.

AC: Kapazität liegt zwischen Signaleingang und Eingang Verstärker, die einen Gleichspannungsanteil 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



Bandbreite:

Bandbreitenbegrenzung
→ Reduzierung des
Rauschens, das auf
dargestellten Signal auftreten
kann

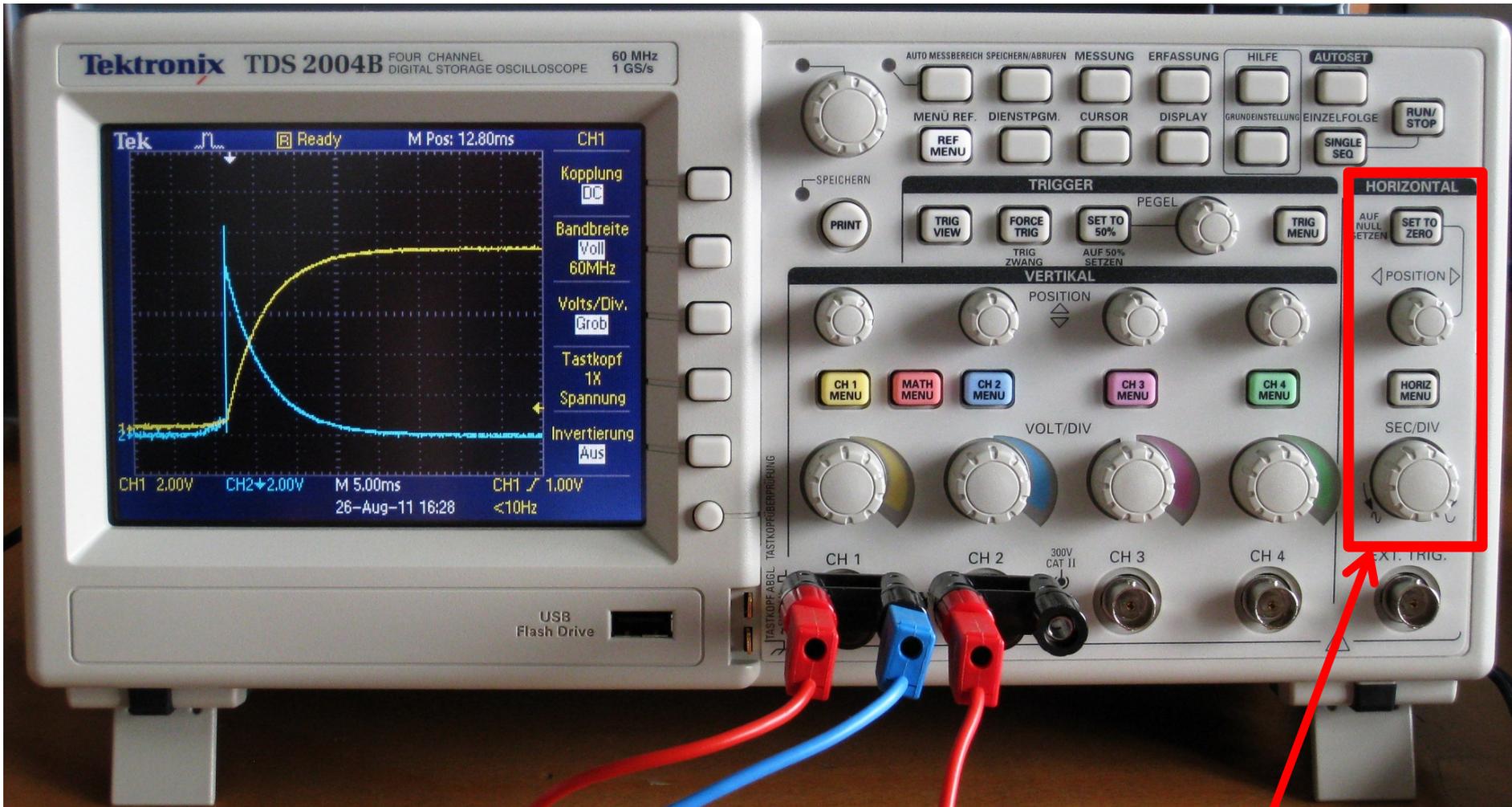
Ergebnis: schärfere Signal-
darstellung

ABER: Reduzierung oder
Eliminierung hochfrequenter
Anteile des Signals →
Signalverfälschung

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

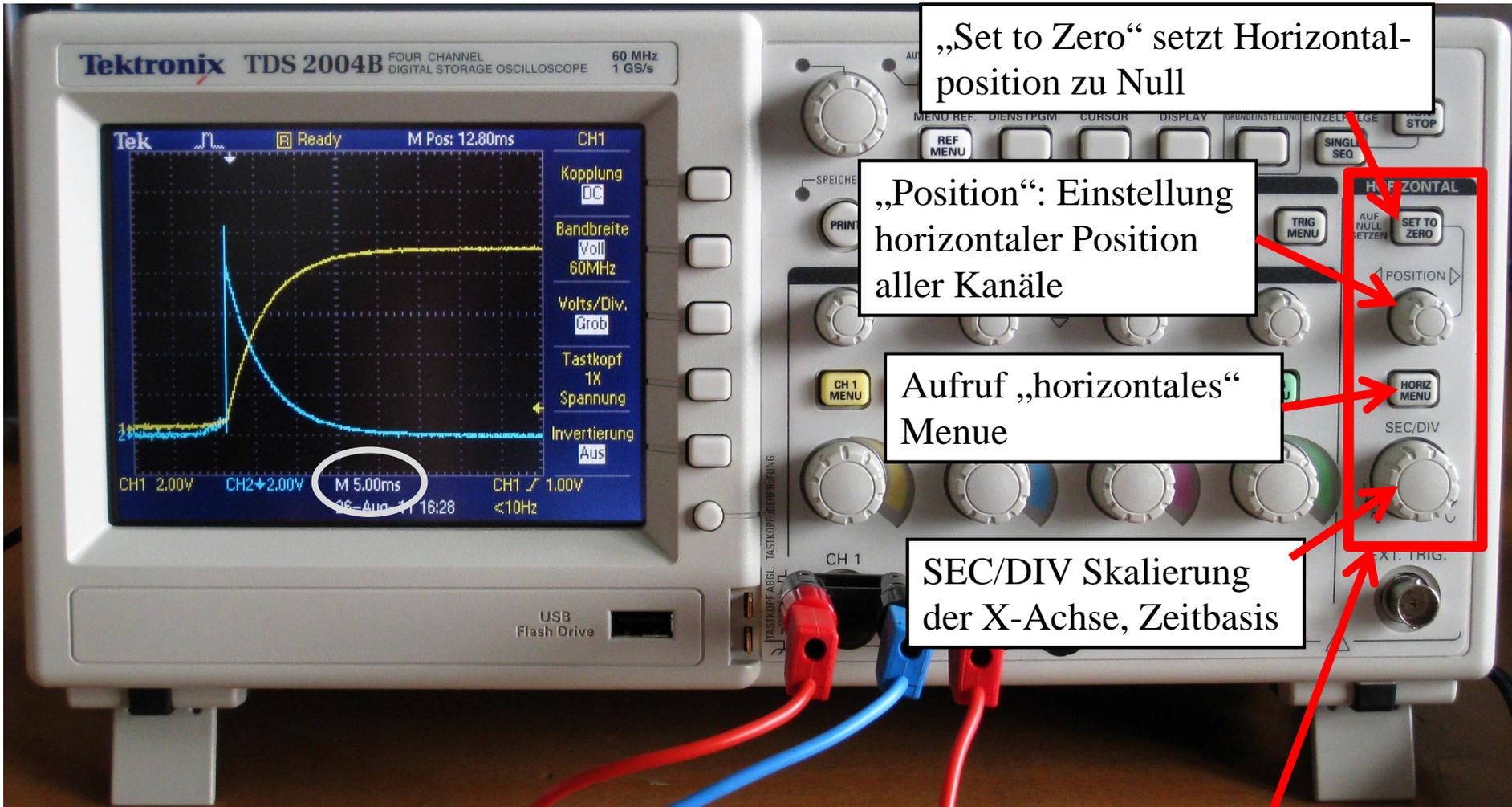
Tastkopf → x-fache Verstärkung des
Signals einstellbar

Digital Oszilloskop



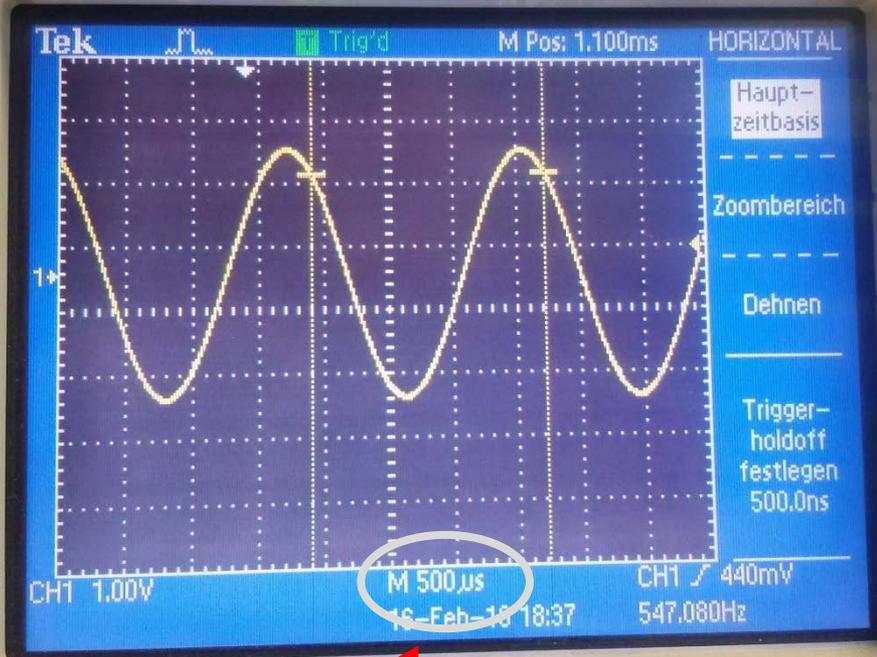
Horizontale Einstellungen

Digital Oszilloskop

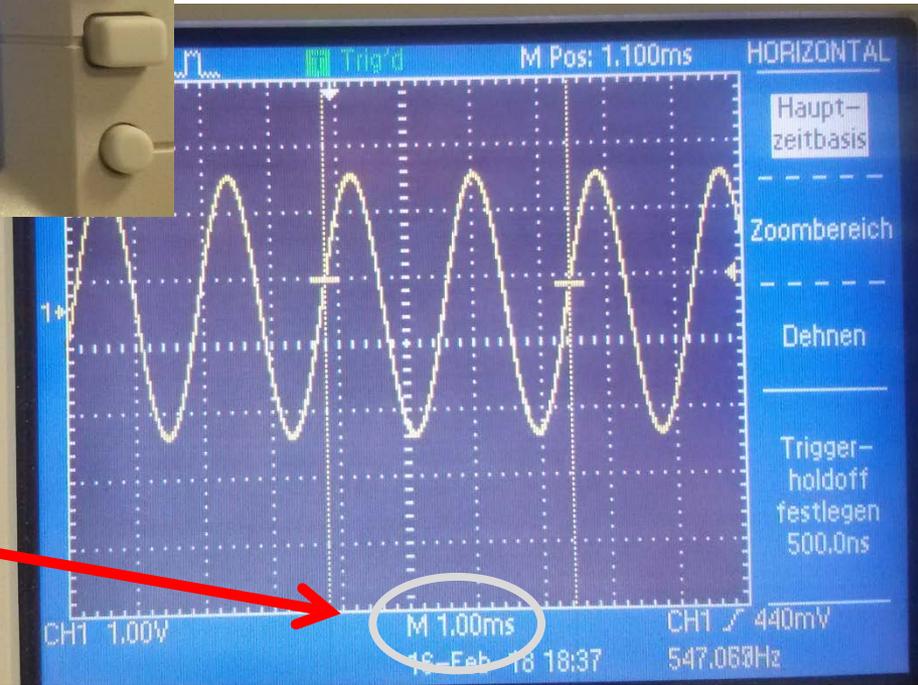


Horizontale Einstellungen

Digital Oszilloskop

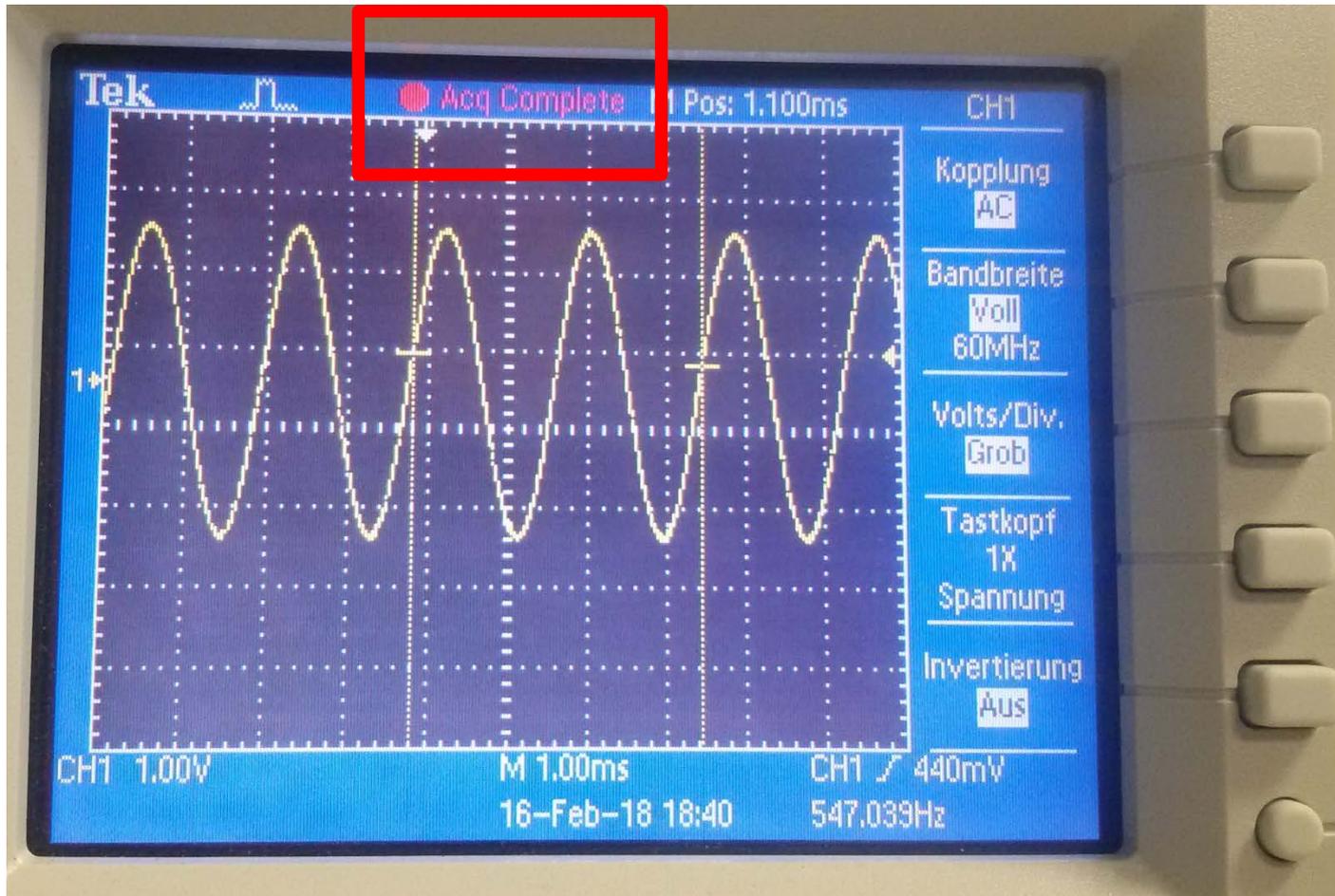


Horizontale Einstellungen: SEC/DIV
Skalierung der X-Achse, Zeitbasis



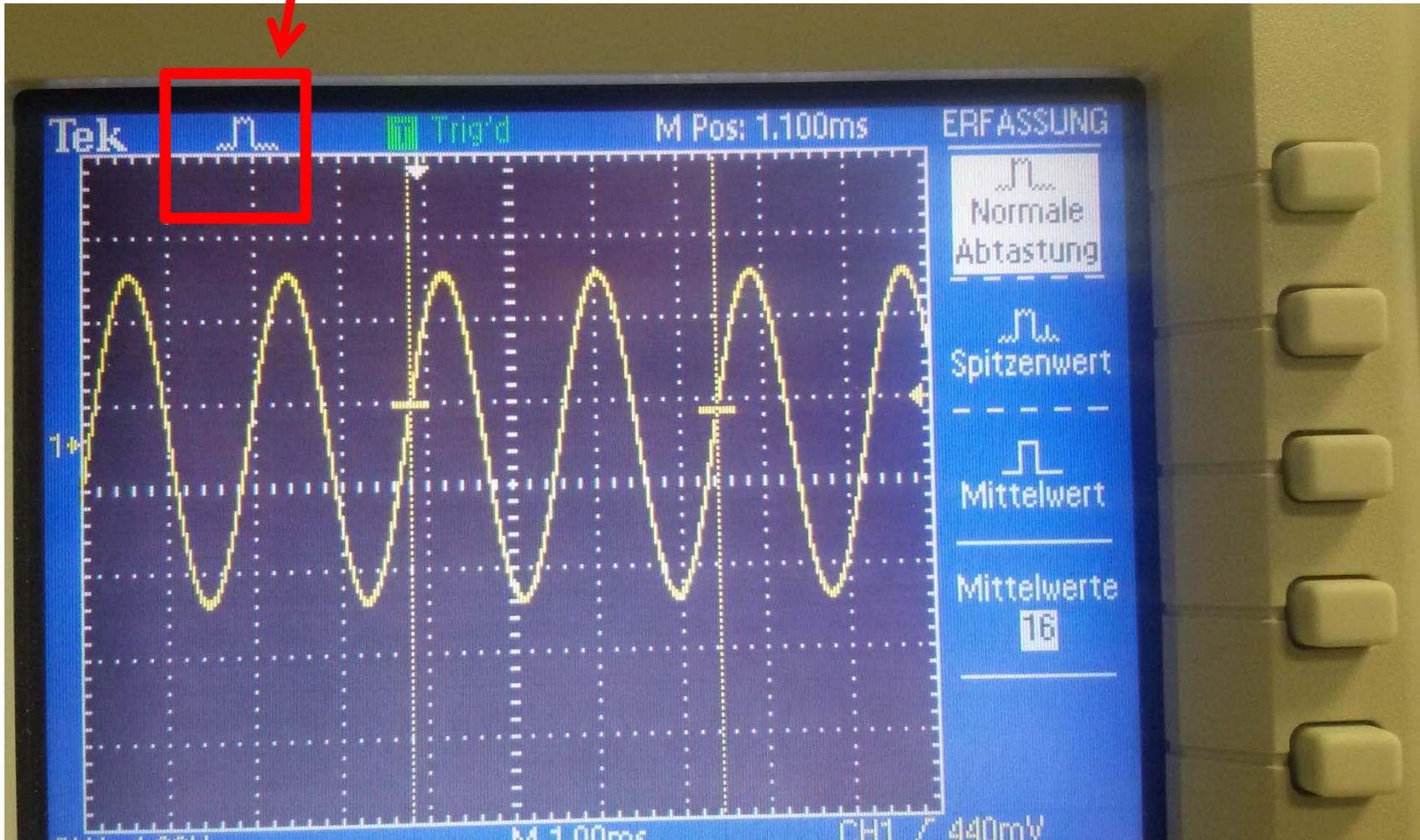
Digital Oszilloskop

Nach Aufnahme der Einzelmessungen



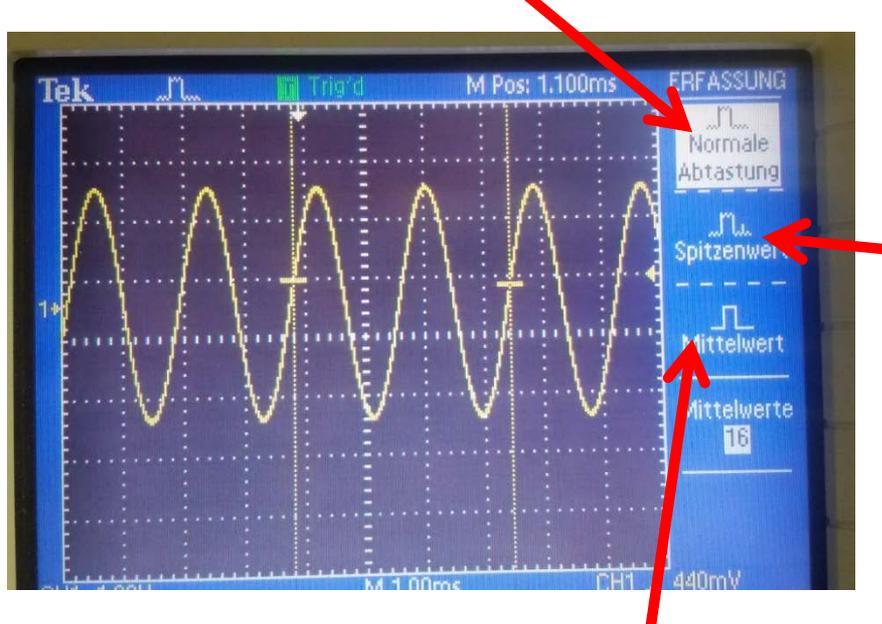
Digital Oszilloskop

Erfassungsmodus



Digital Oszilloskop

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

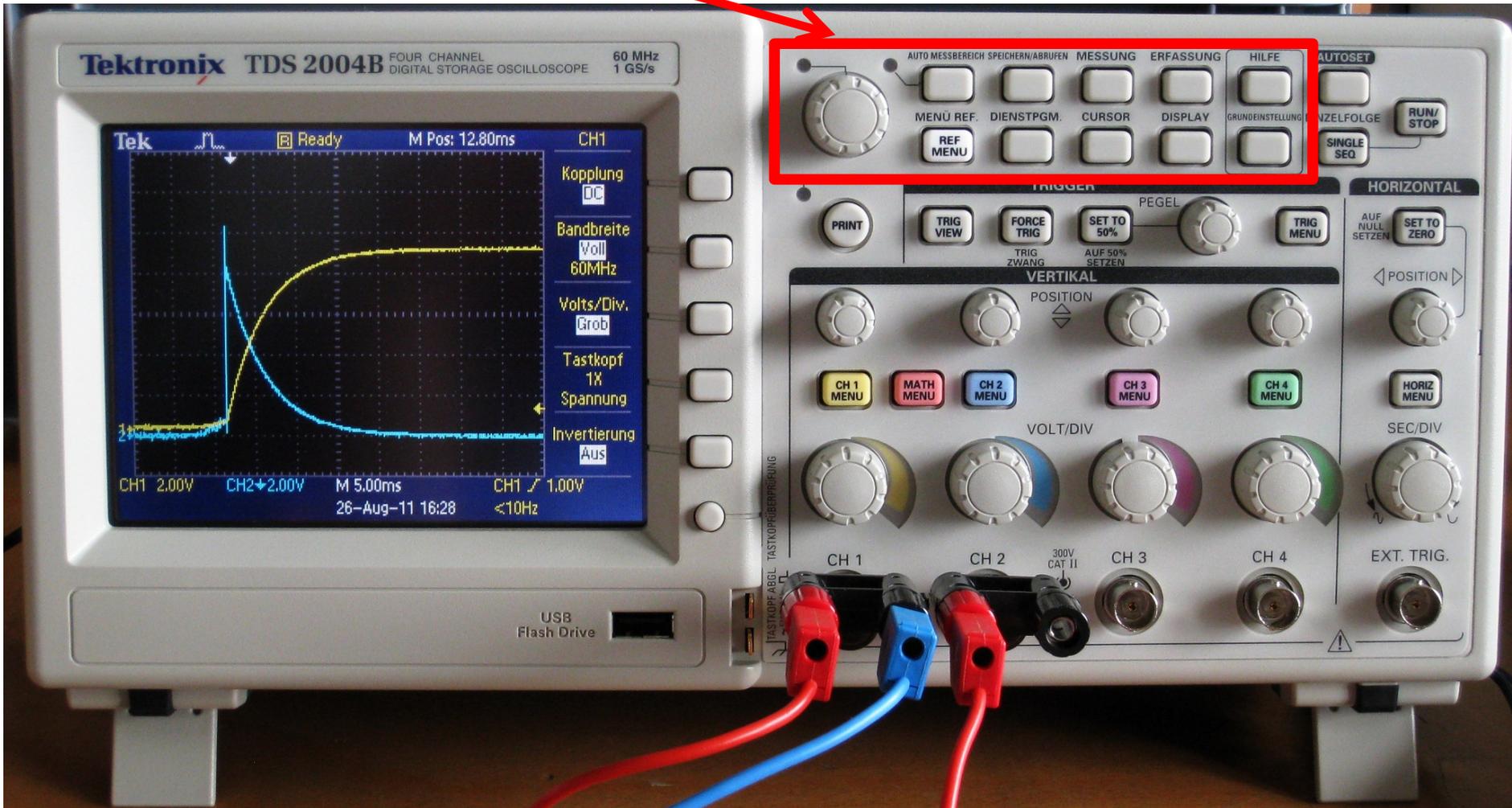


Spitzenwert: Oszi speichert Minima und Maxima der in zwei Signalintervallen erfassten Abtastpunkte und verwendet diese als die beiden einander zugeordneten Signalpunkte → Erfassung schneller Signaländerungen;
Modus von Vorteil bei Darstellung von schmalen Impulsen in zeitlich großen Abständen

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

Digital Oszilloskop

Allgem. Einstellungen, Cursor, Messungen

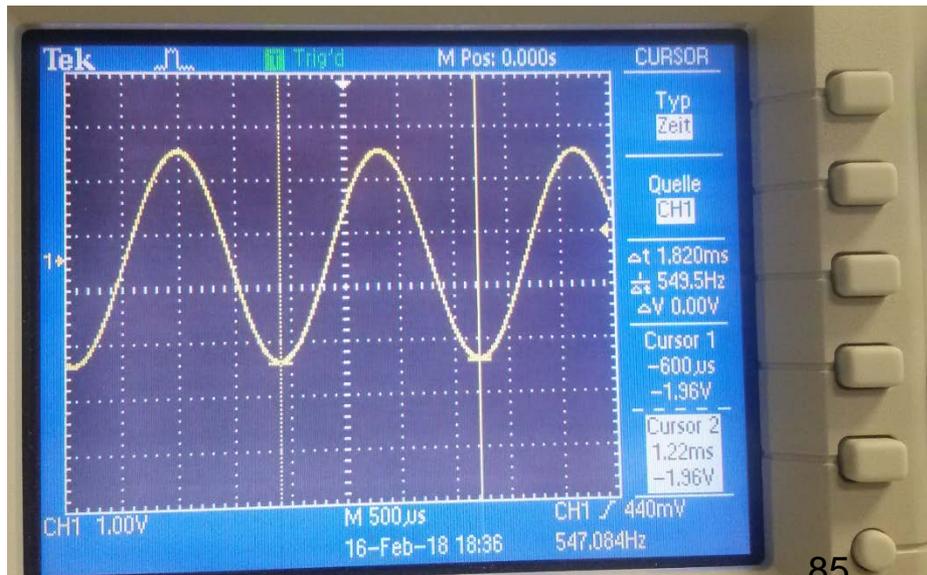
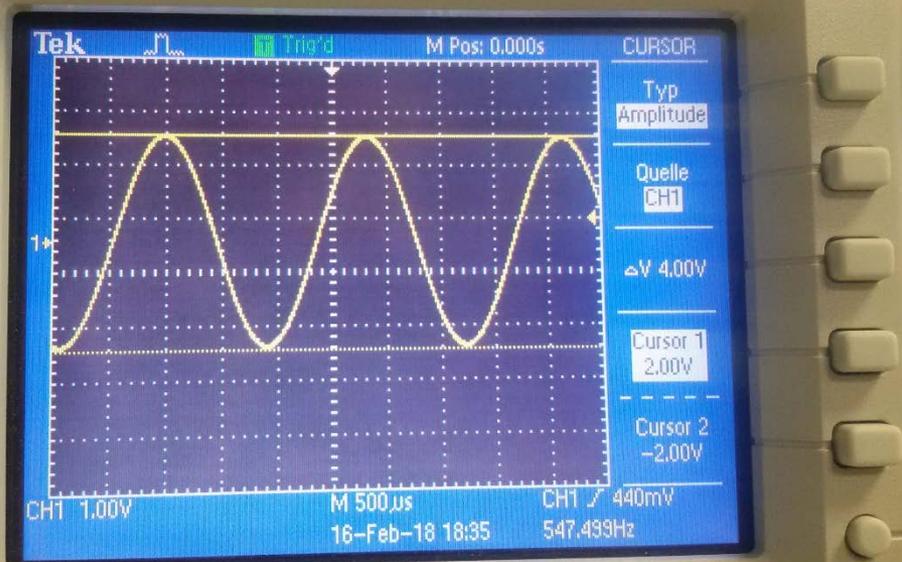


Digital Oszilloskop

Messungen mit Cursor

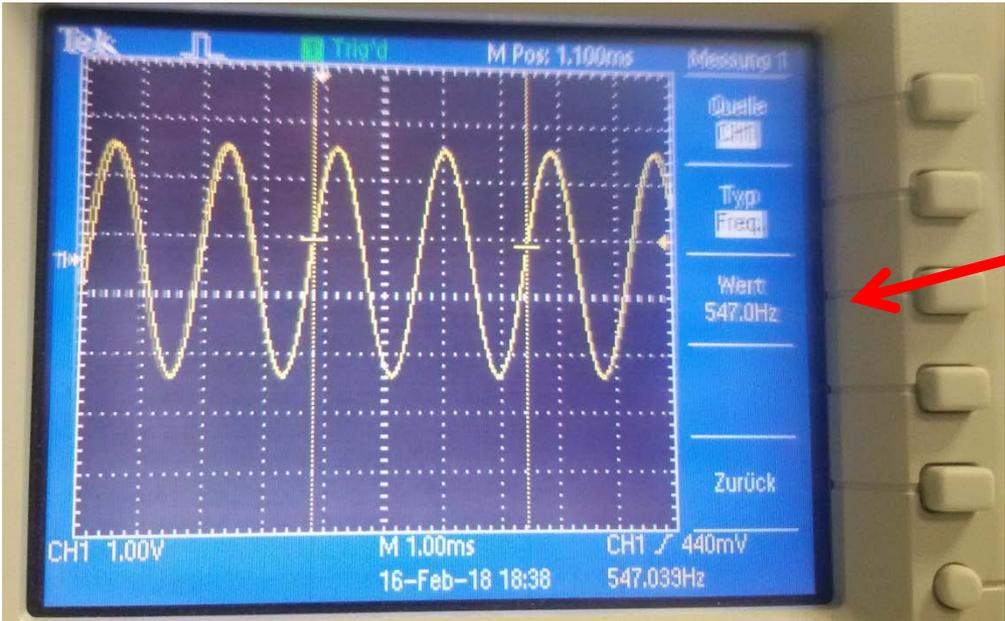


Cursor bewegen mit
Mehrfunktions Drehknopf



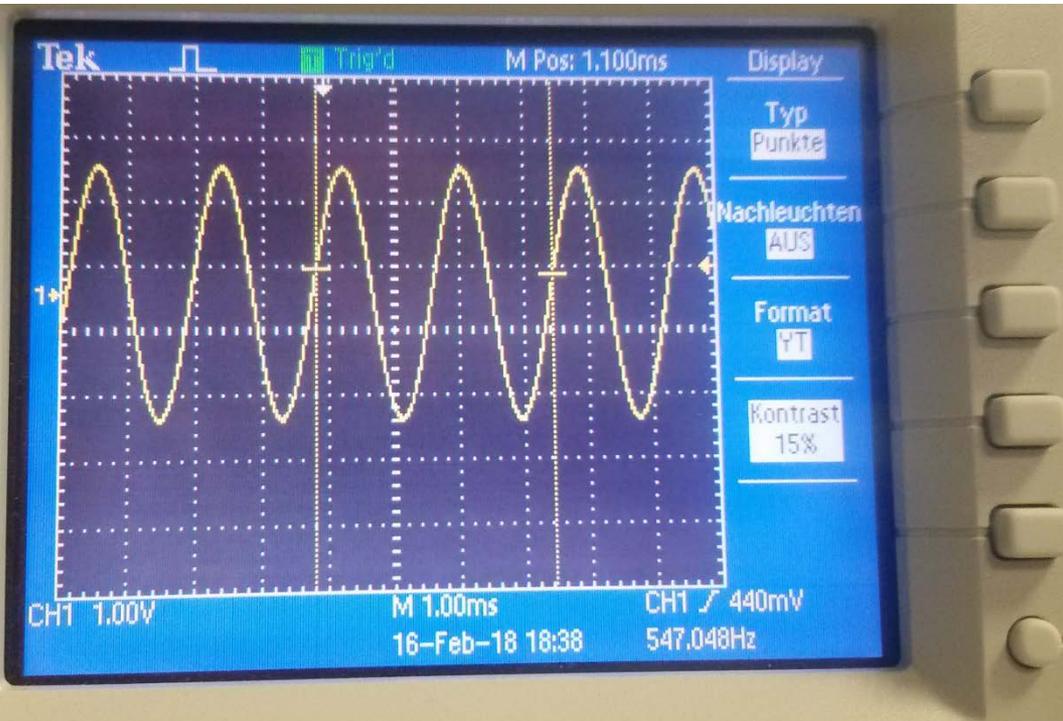
Digital Oszilloskop

Messung



Digital Oszilloskop

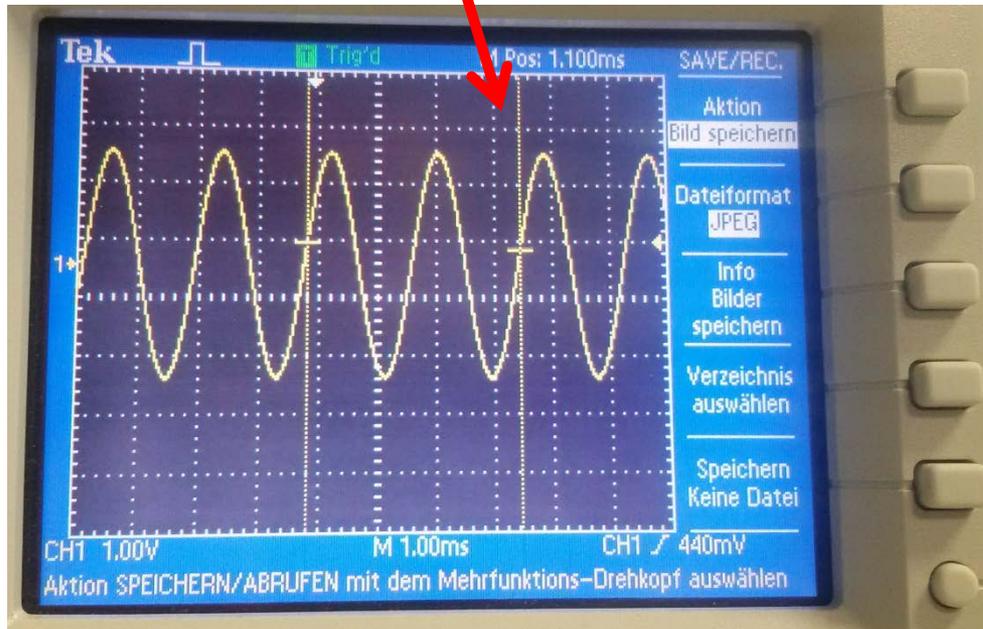
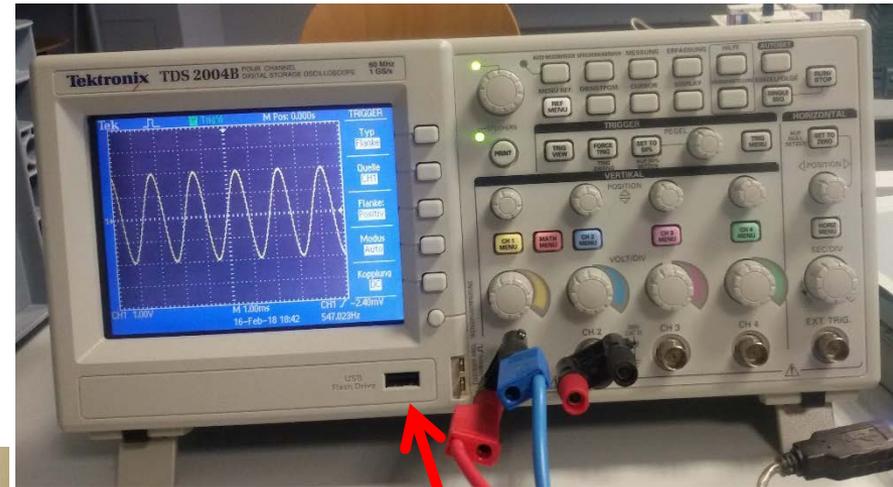
Display



Format:
YT oder
XY: → Lissajous-Figuren

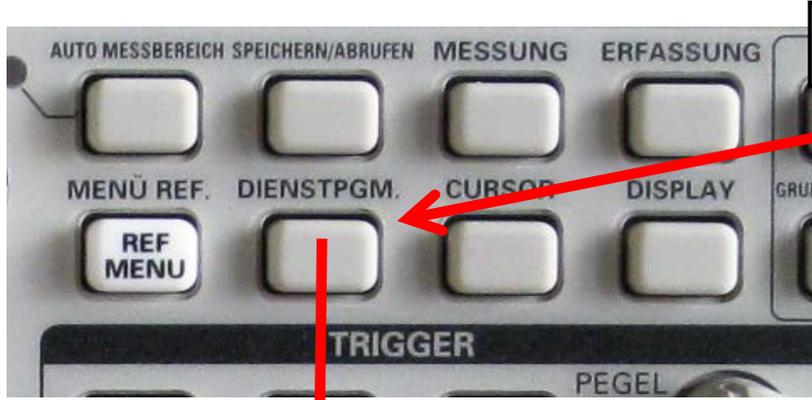
Speichern

Digital Oszilloskop

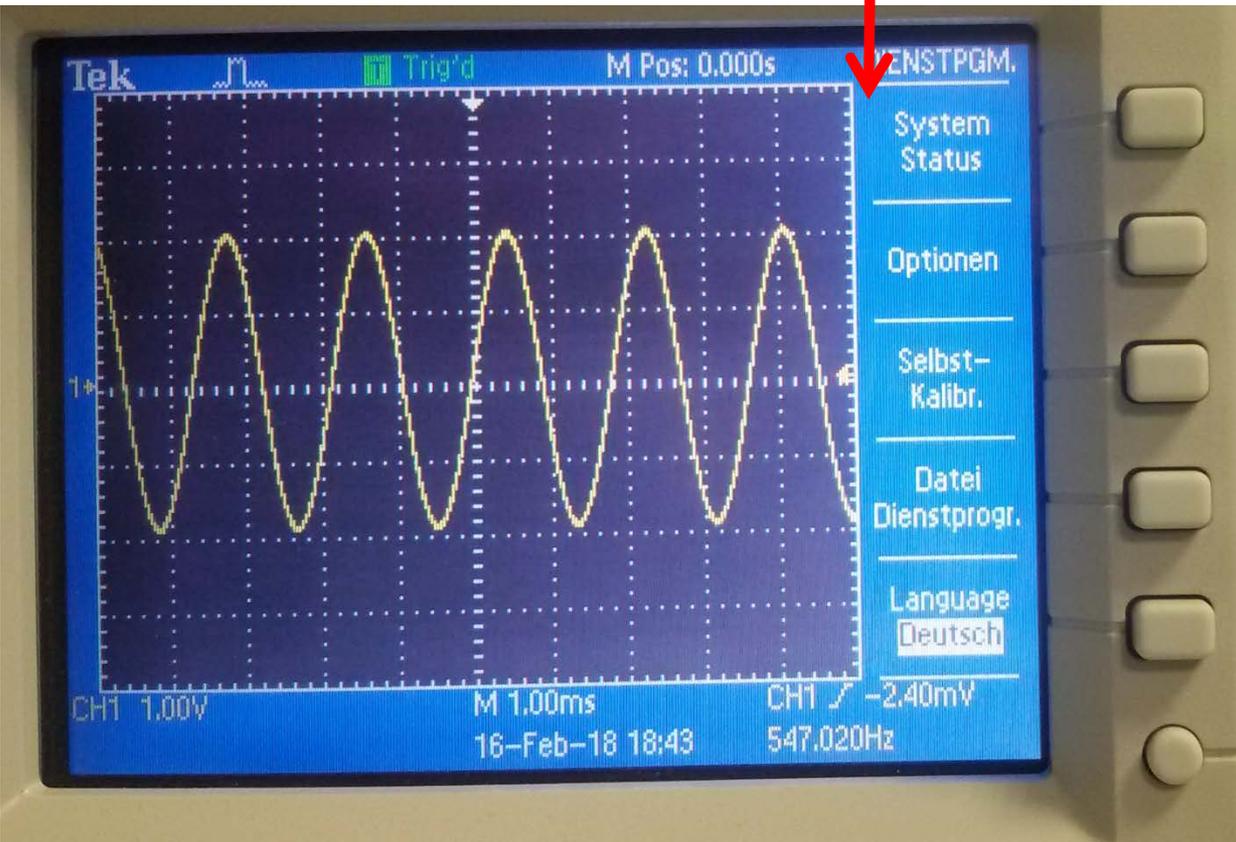


SAVE/REC:
Bilder oder Daten
speichern auf USB Stick
ABER: Nicht jeder USB-
Stick wird erkannt

Digital Oszilloskop

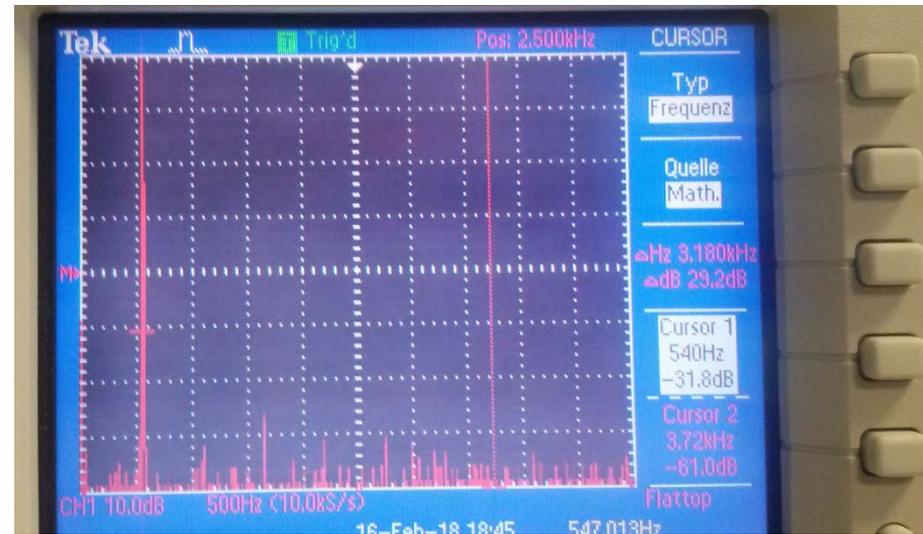
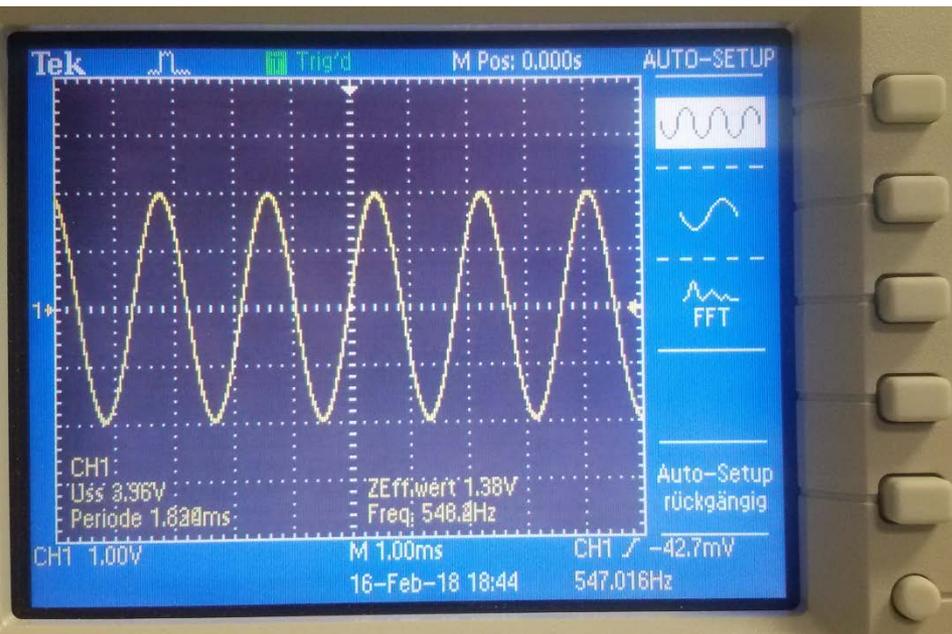


Dienstprogramme

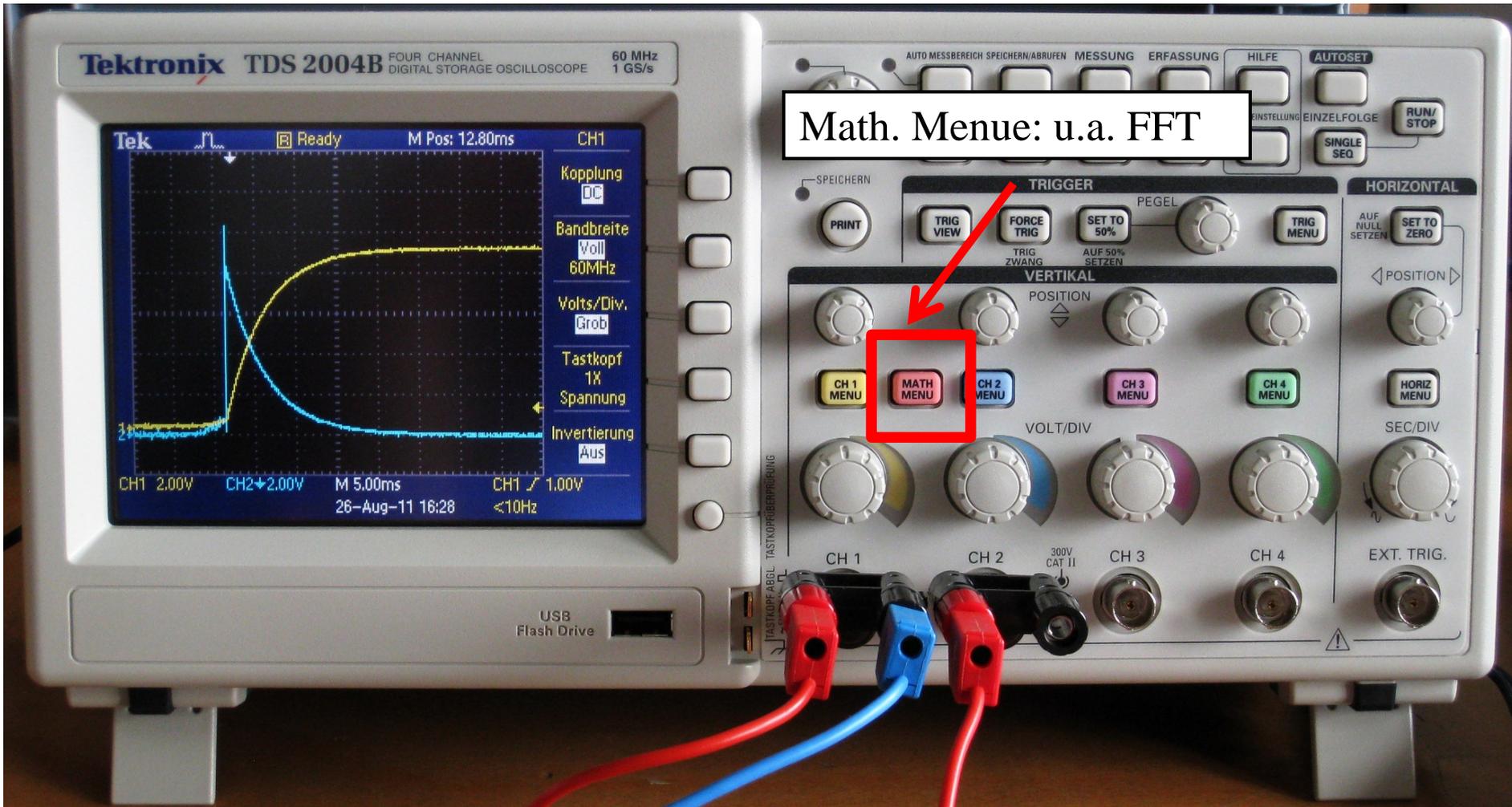


Digital Oszilloskop

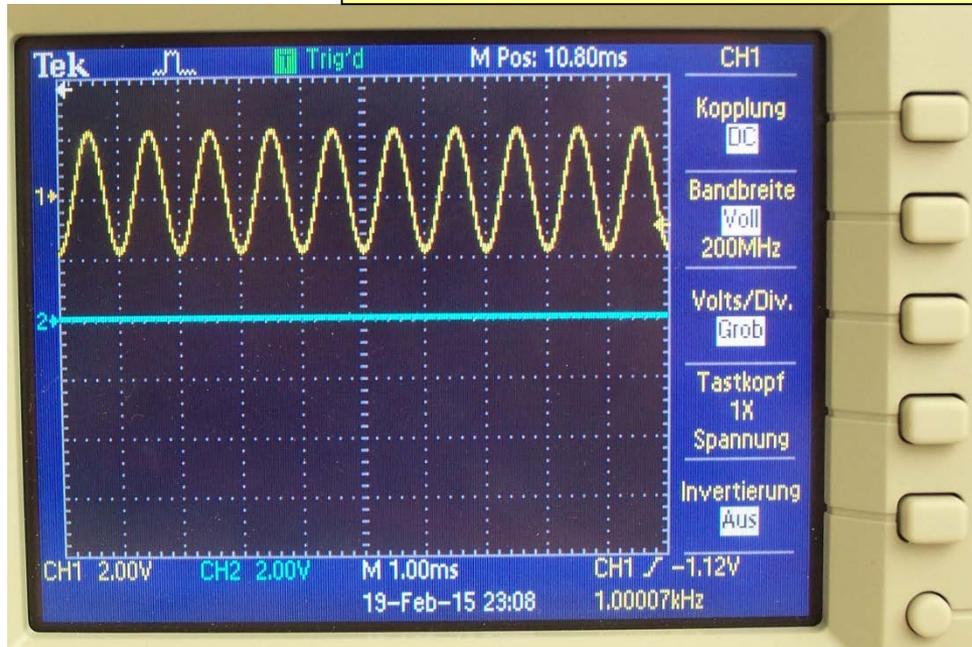
Autosetup



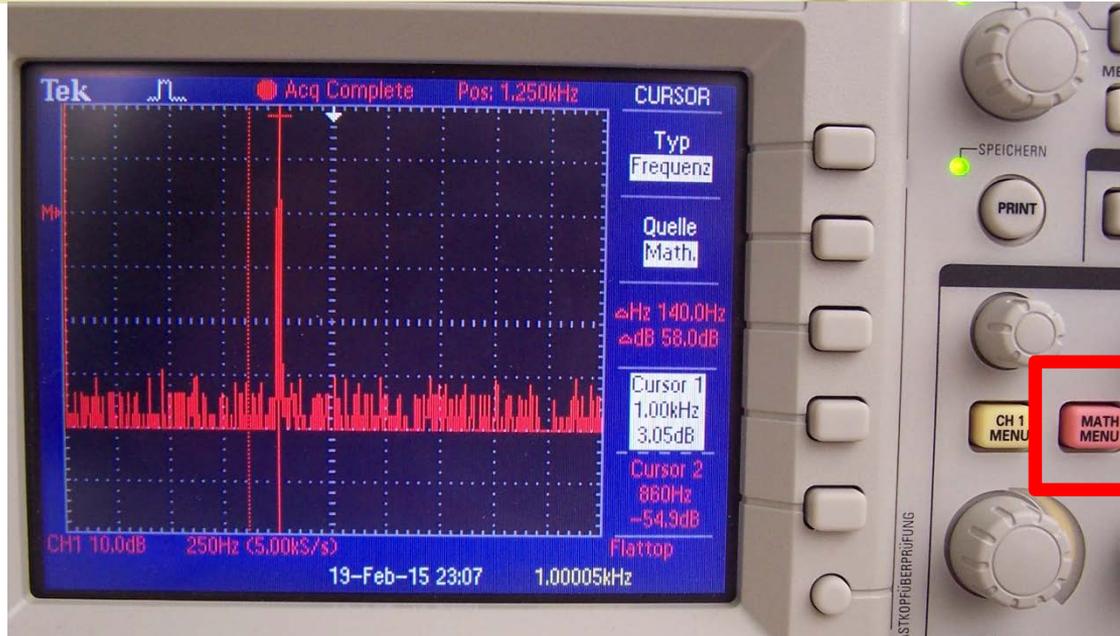
Digital Oszilloskop



Digital Oszilloskop

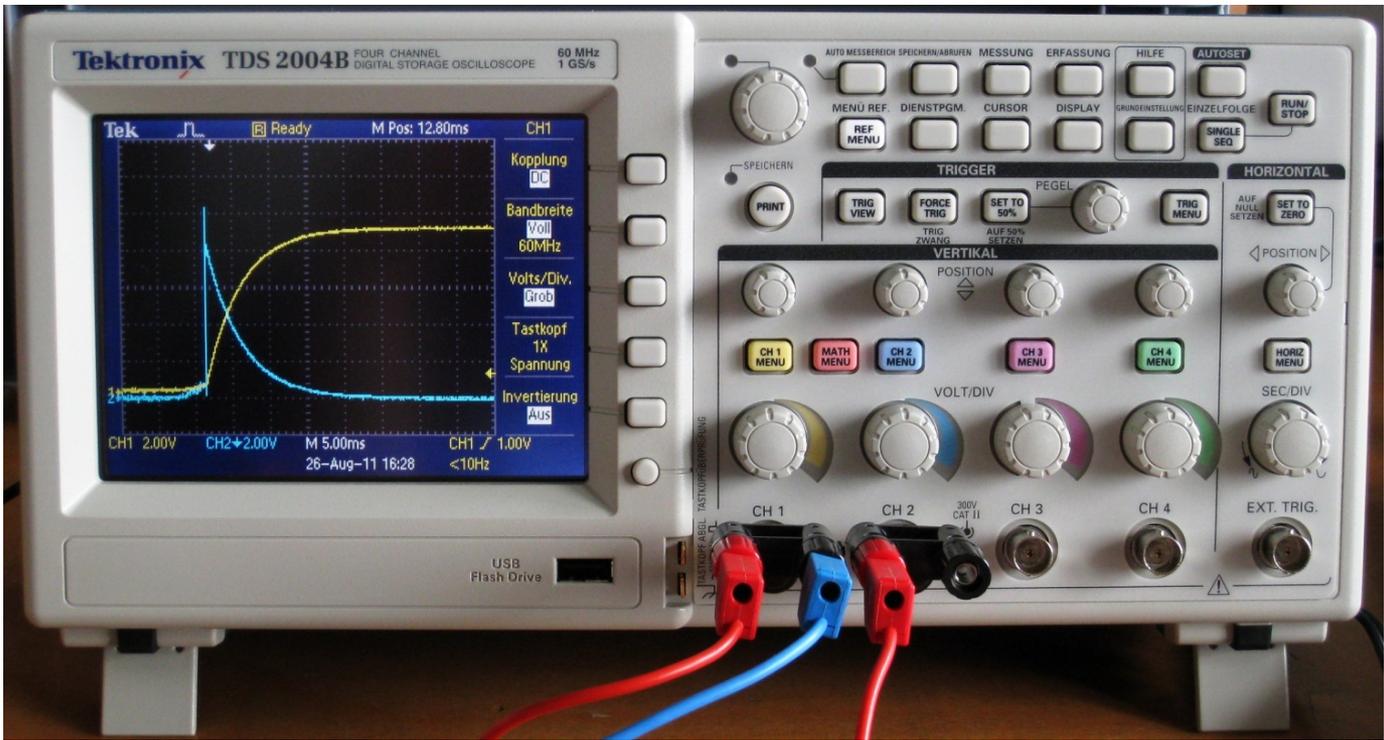
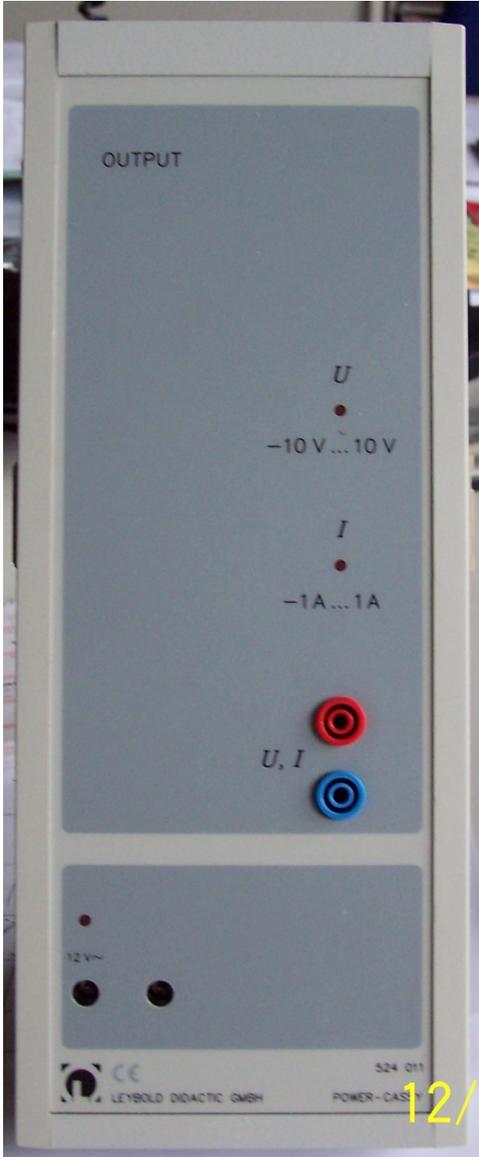


FFT einer Einzelmessung einer Schwingung

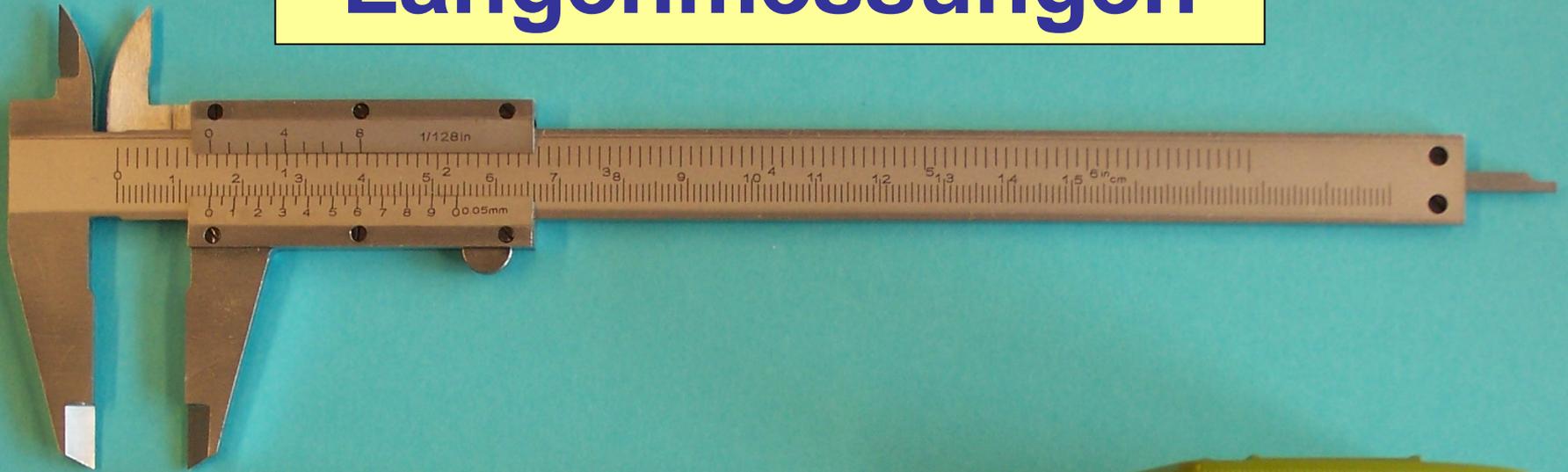


Power Cassy vs Oszilloskop

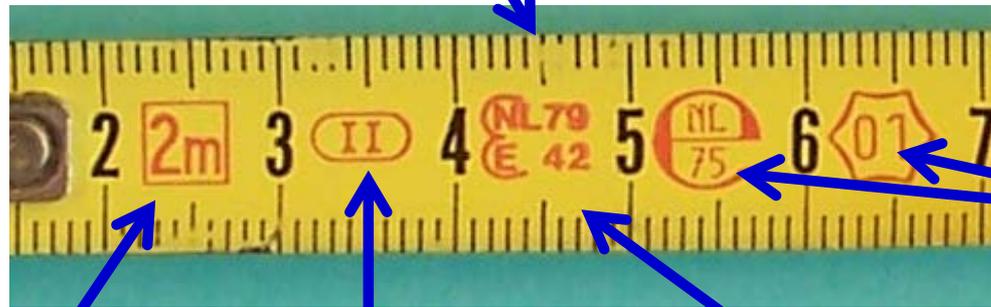
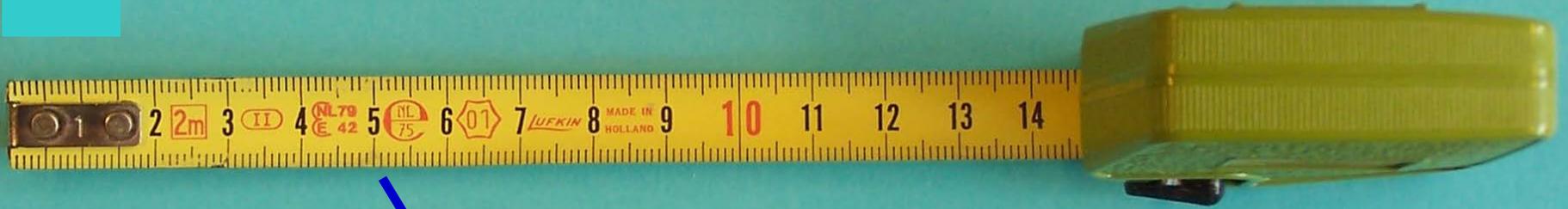
4. Übung



Längenmessungen



Längenmessungen mit Maßband



Aufdruck für
Eichung

Länge
Maßband

EG-Genauigkeits-
klasse

Modell
Genehmigungs-Nr.

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

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

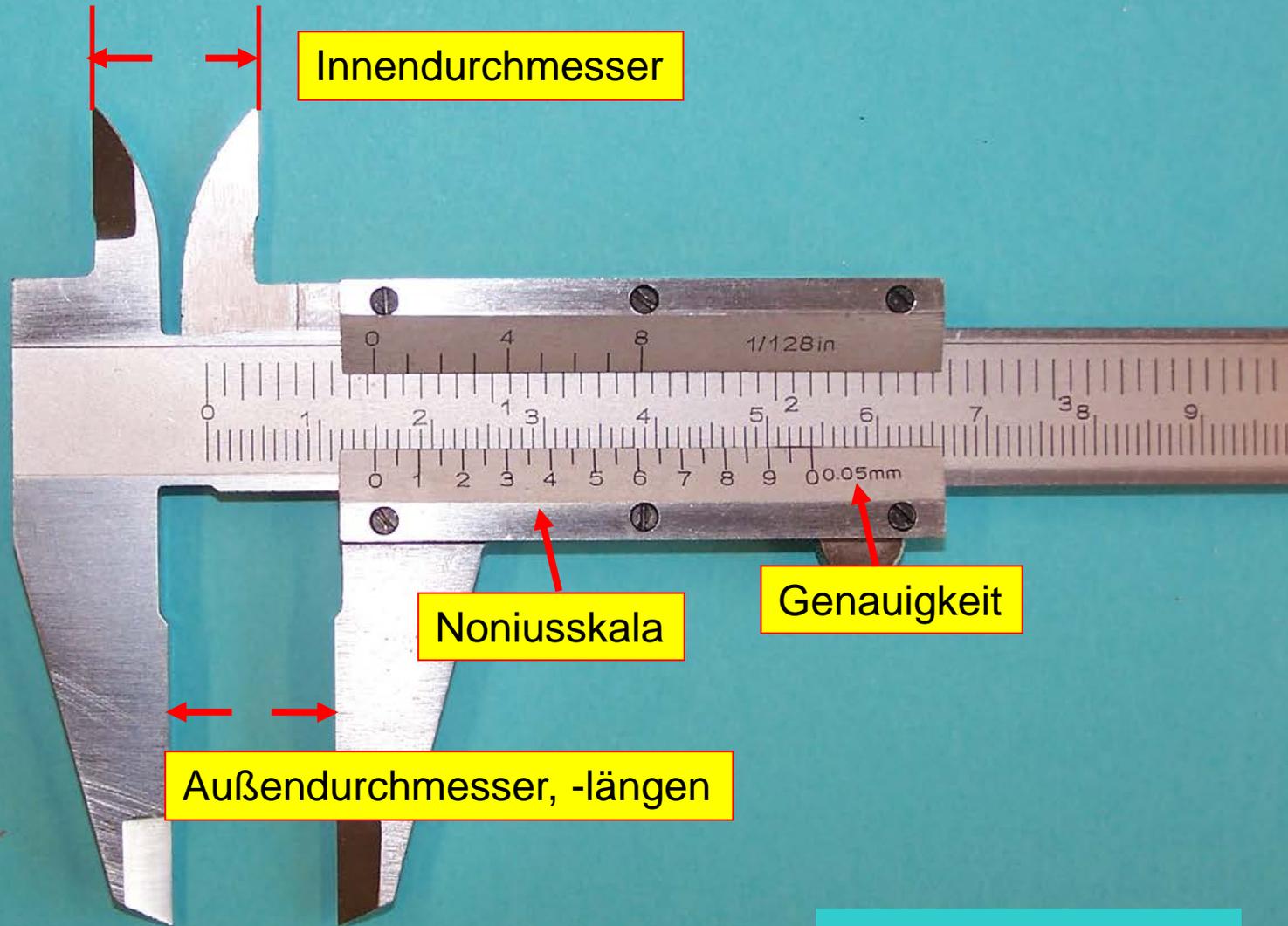
Längenmessungen mit Maßband



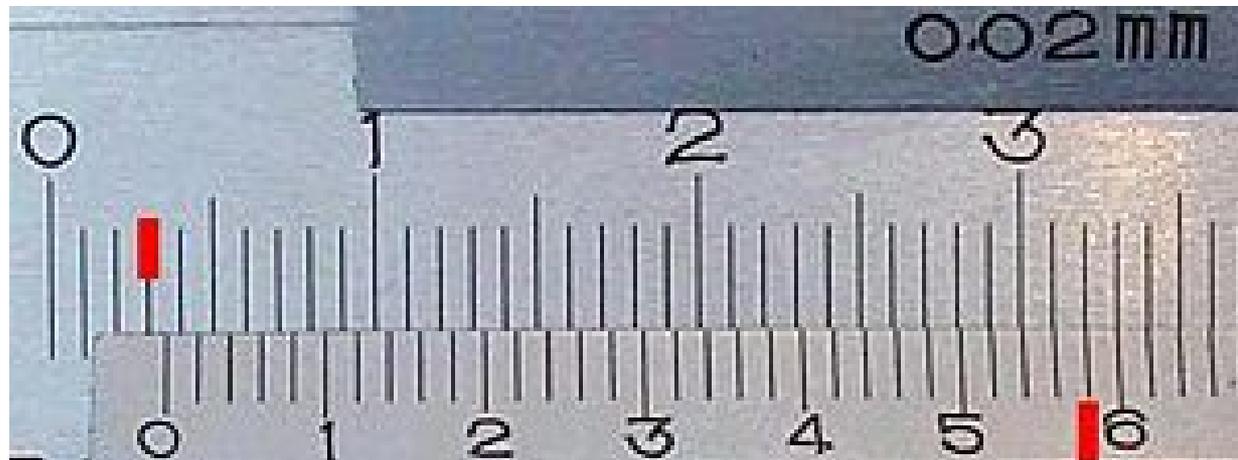
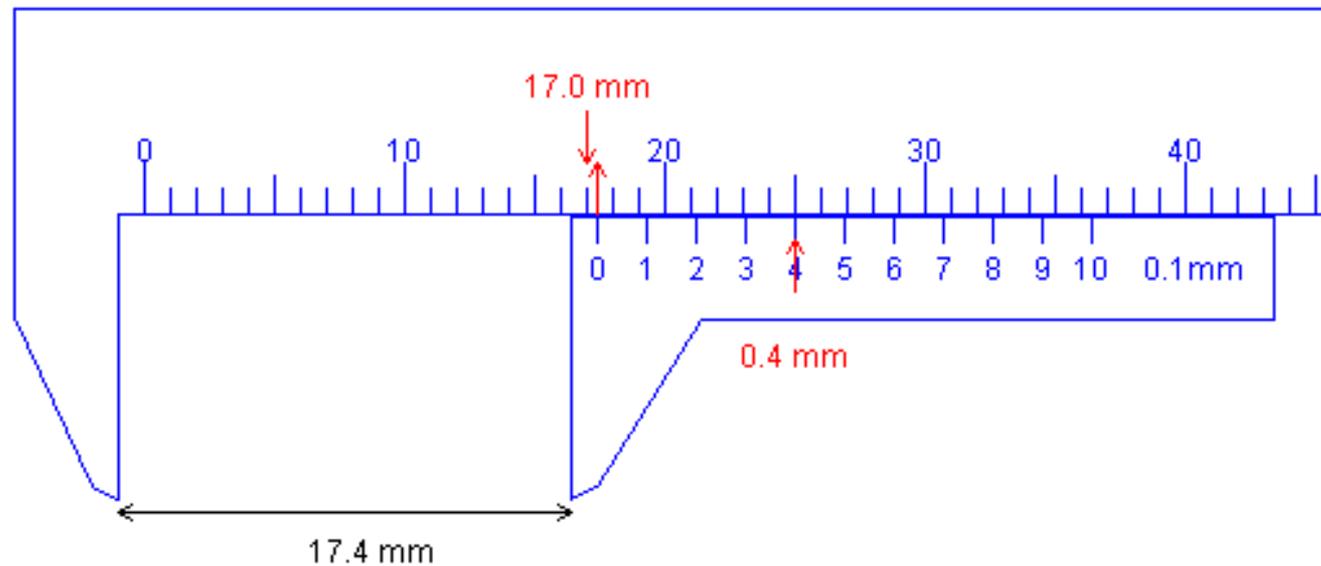
Messunsicherheiten:

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

Längenmessungen mit Messschieber



Längenmessungen mit Messschieber



3,58 mm

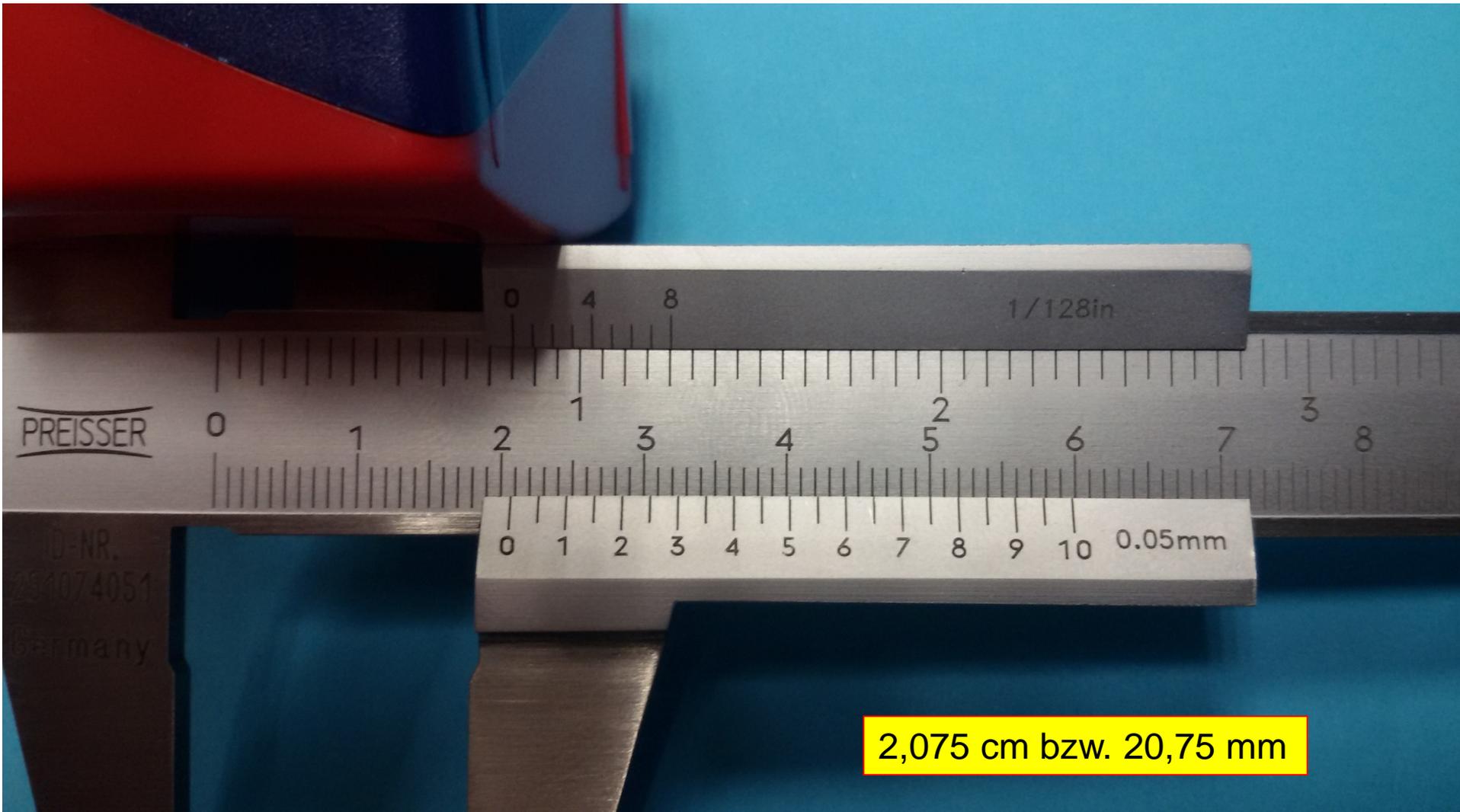
Längenmessungen mit Messschieber



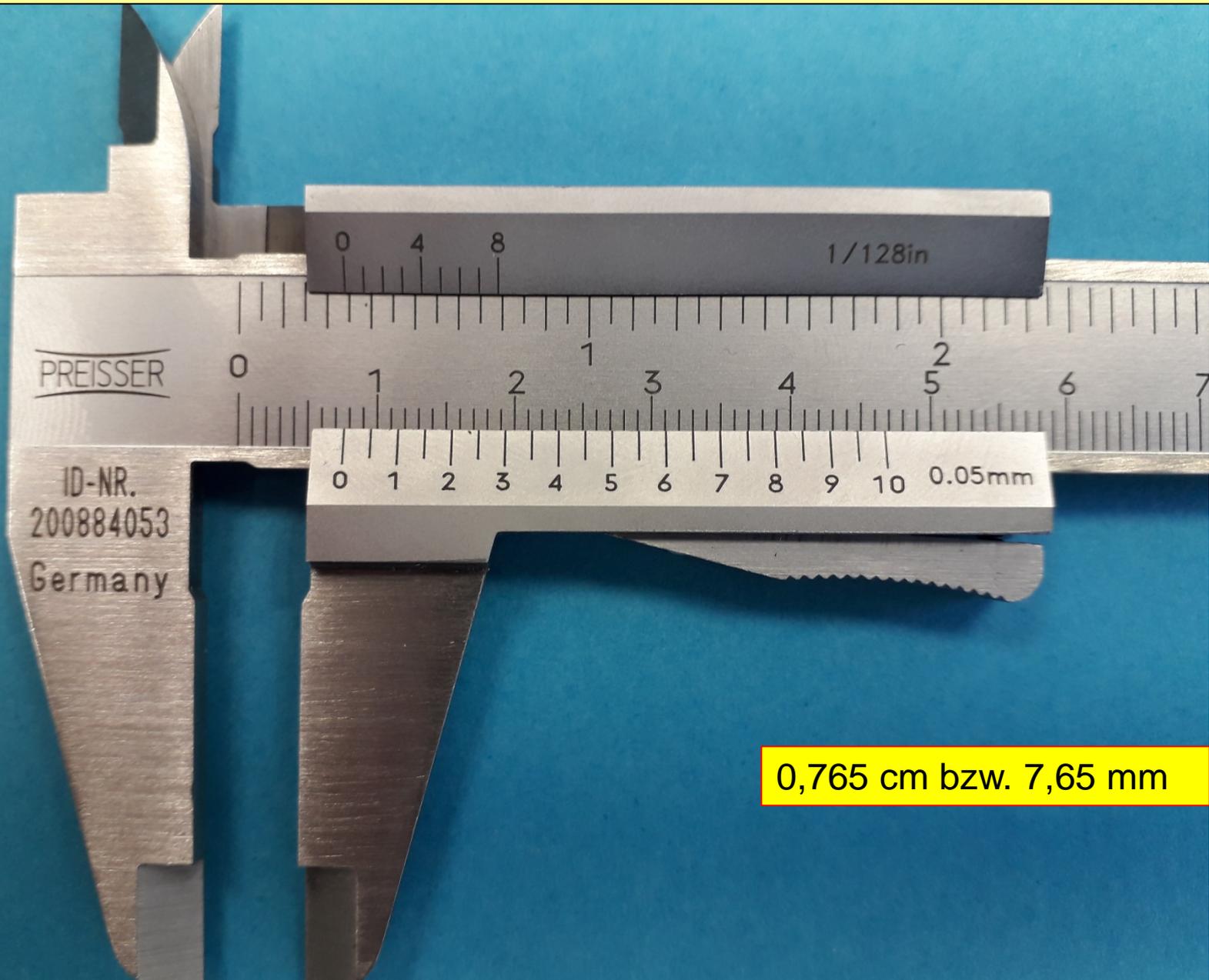
29,05 mm, bzw. 2,905 cm



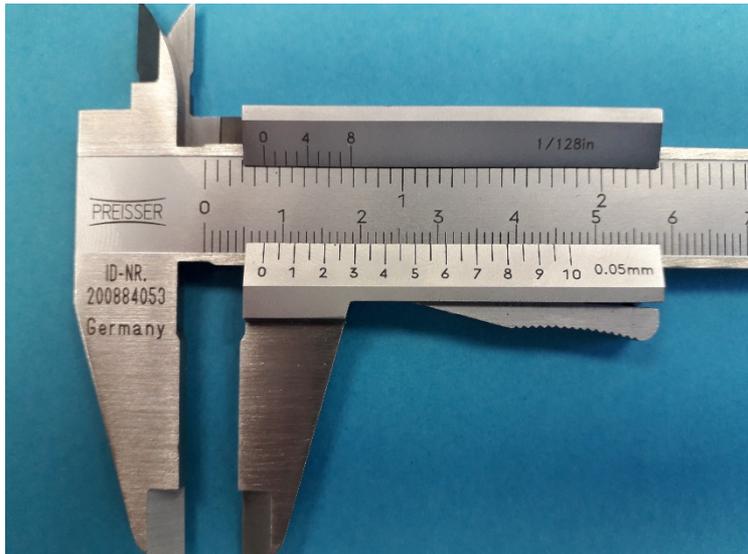
Längenmessungen mit Messschieber



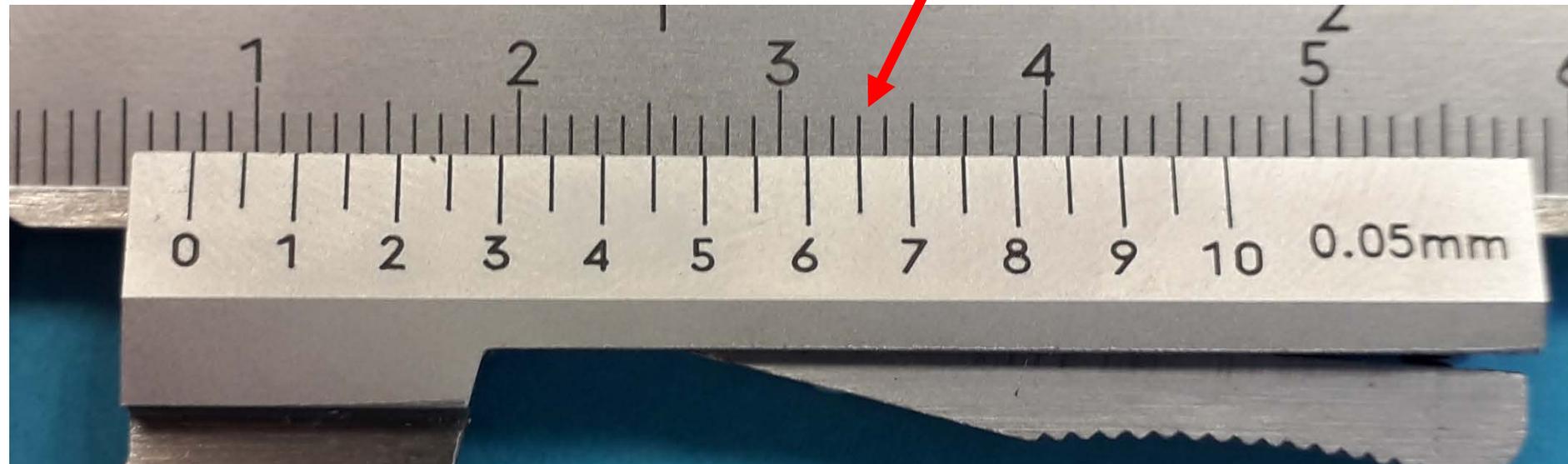
Längenmessungen mit Messschieber



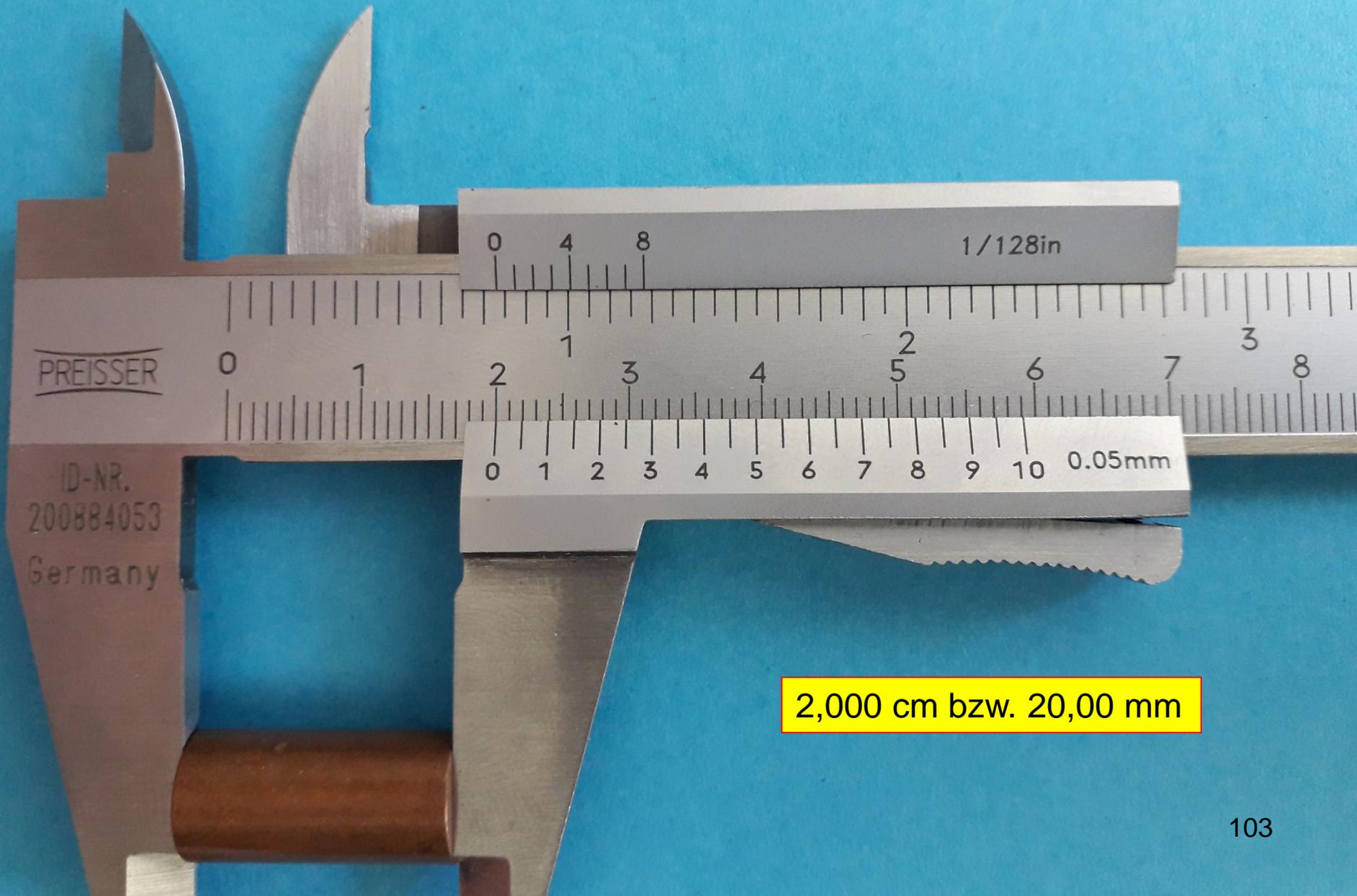
Längenmessungen mit Messschieber



0,765 cm bzw. 7,65 mm

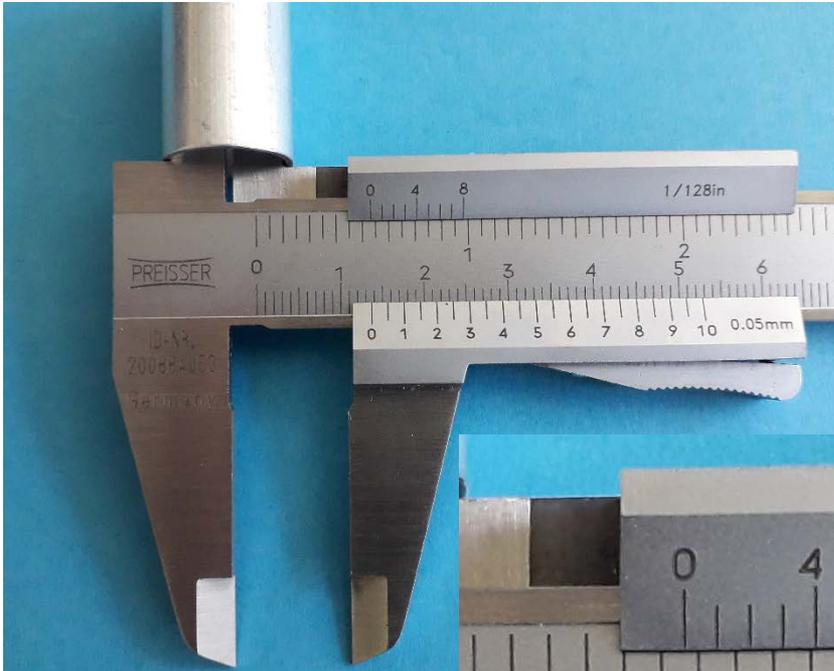


Längenmessungen mit Messschieber

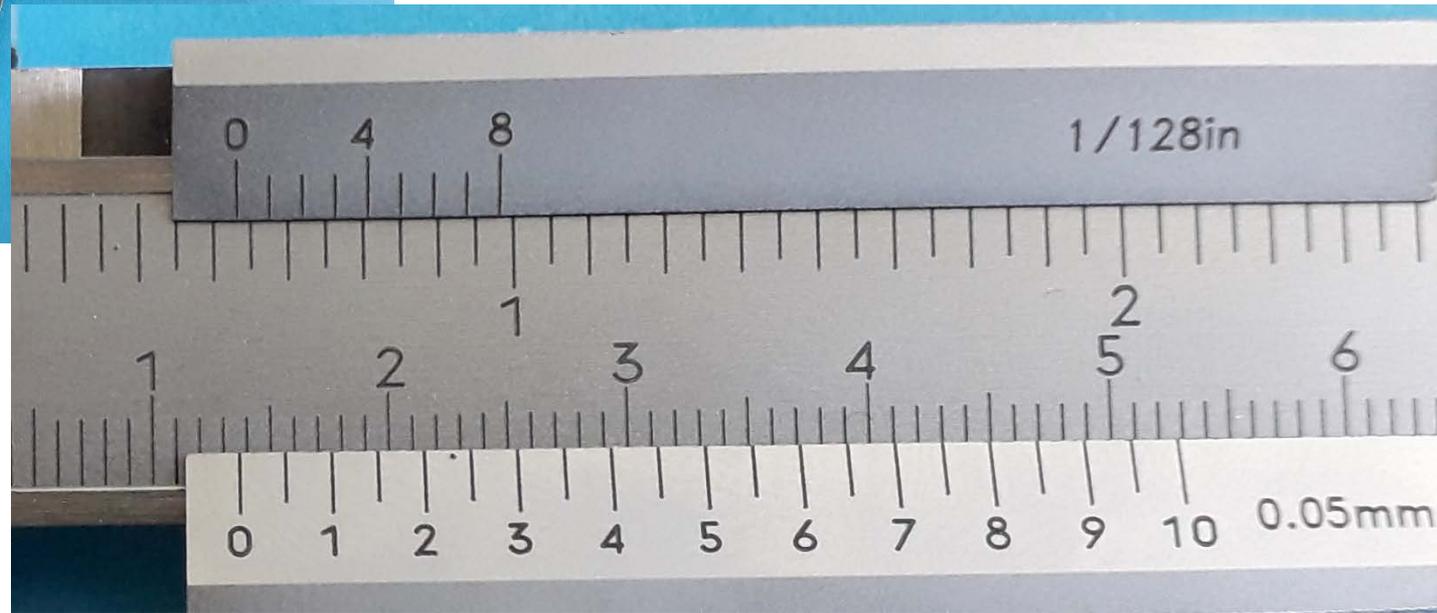


2,000 cm bzw. 20,00 mm

Längenmessungen mit Messschieber



1,37 cm bzw. 13,70 mm



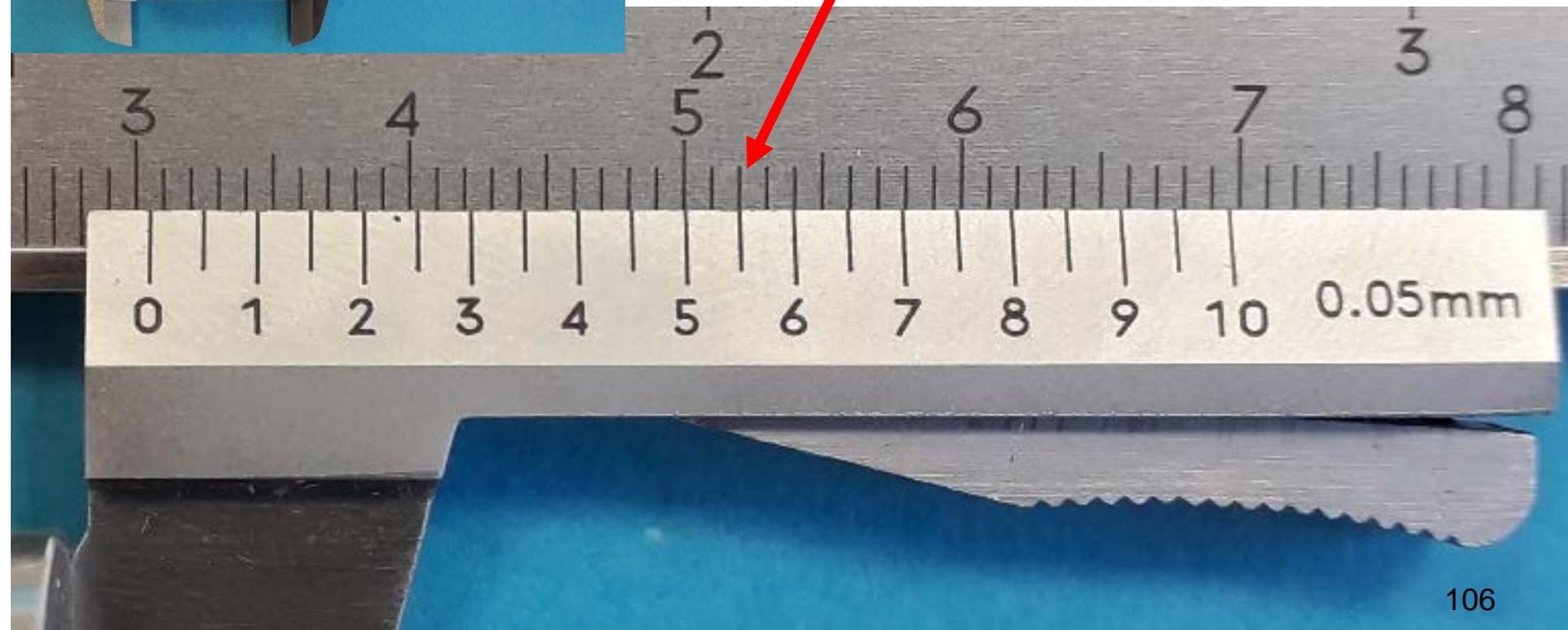
Längenmessungen mit Messschieber



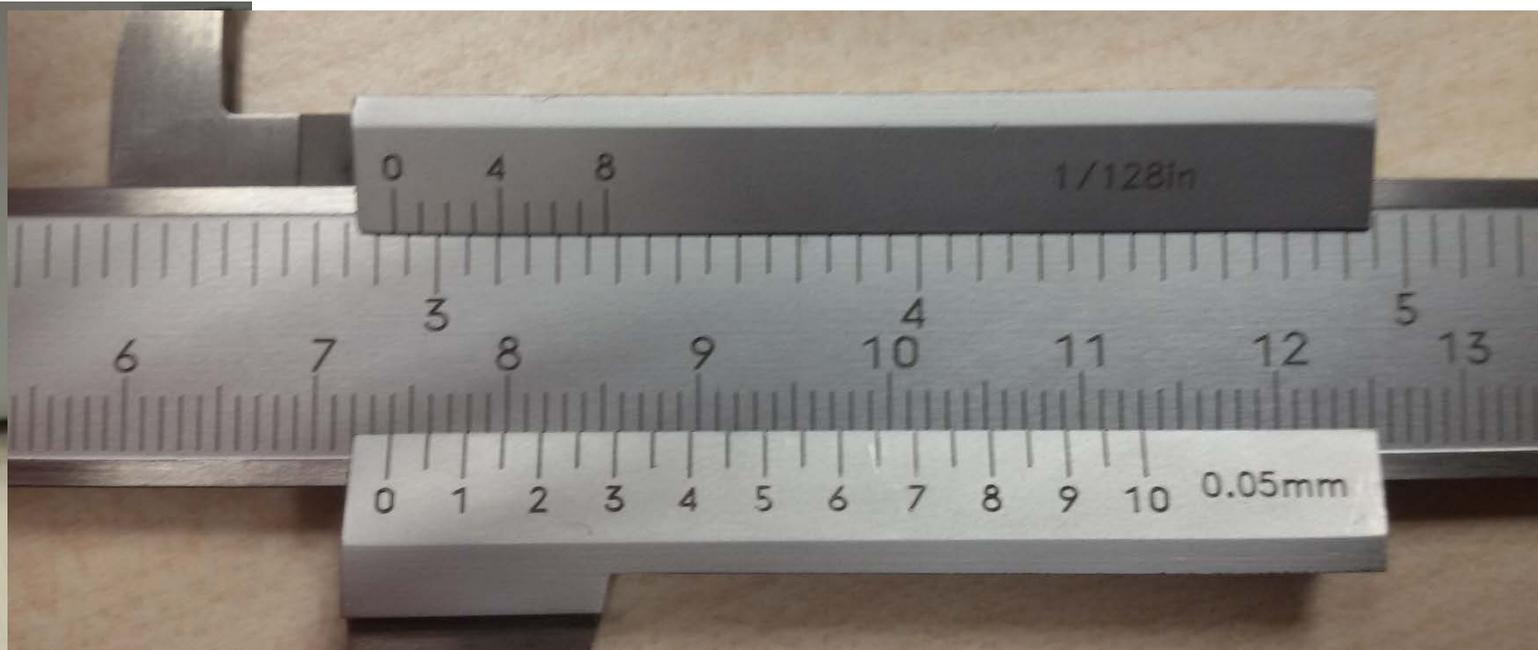
Längenmessungen mit Messschieber



3,055 cm bzw. 30,55 mm

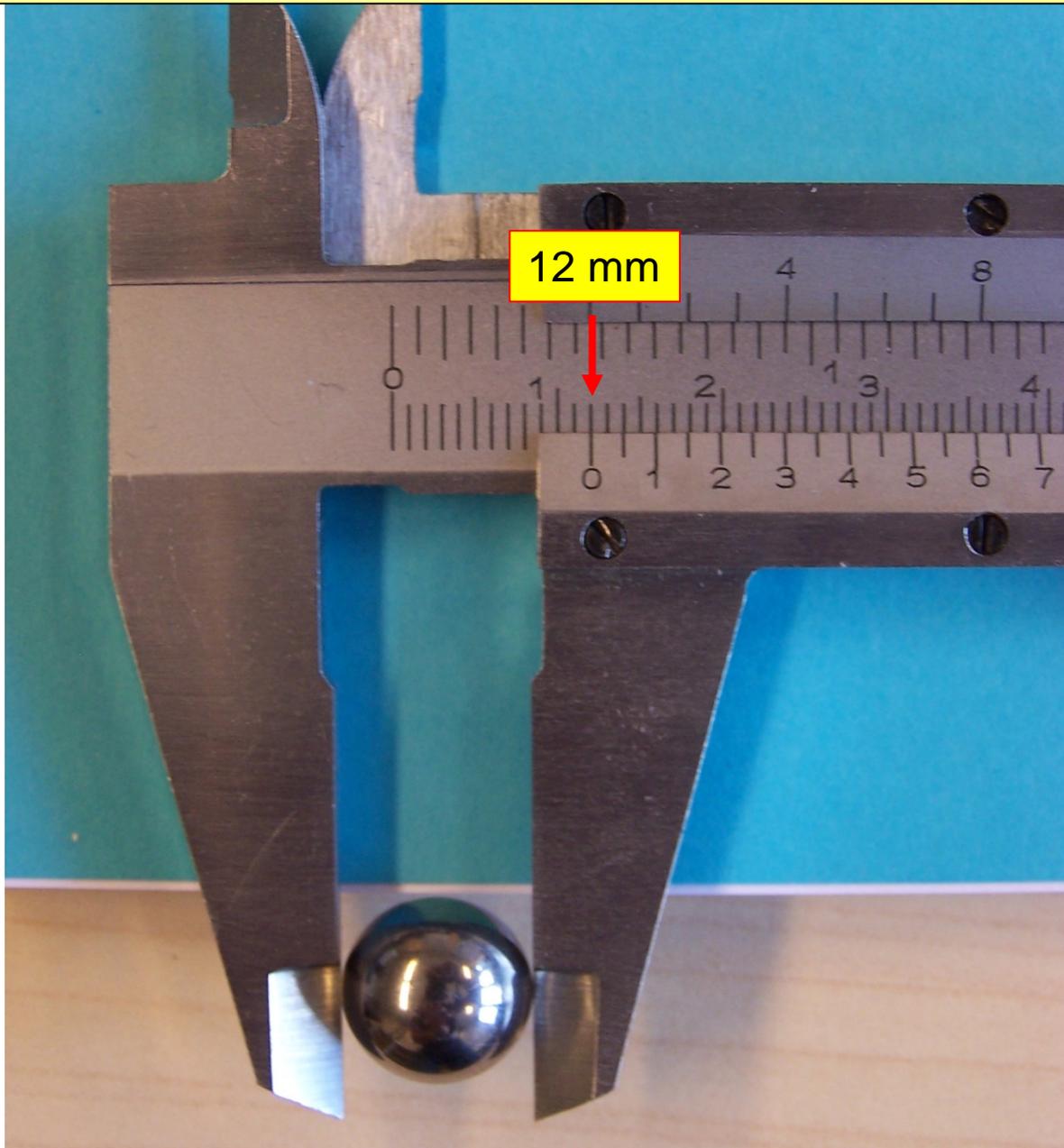


Längenmessungen mit Messschieber

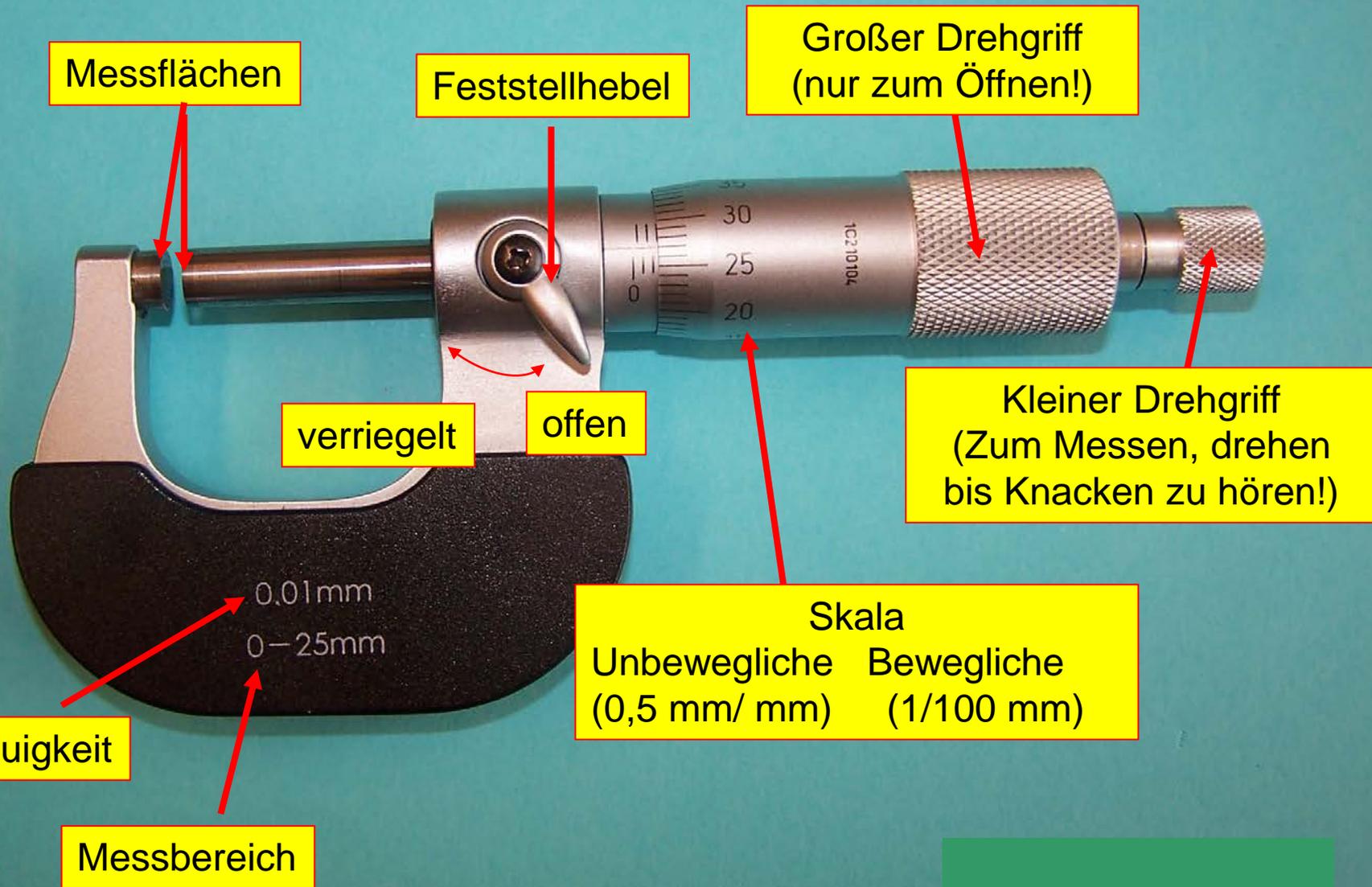


7,40 cm bzw. 74,00 mm

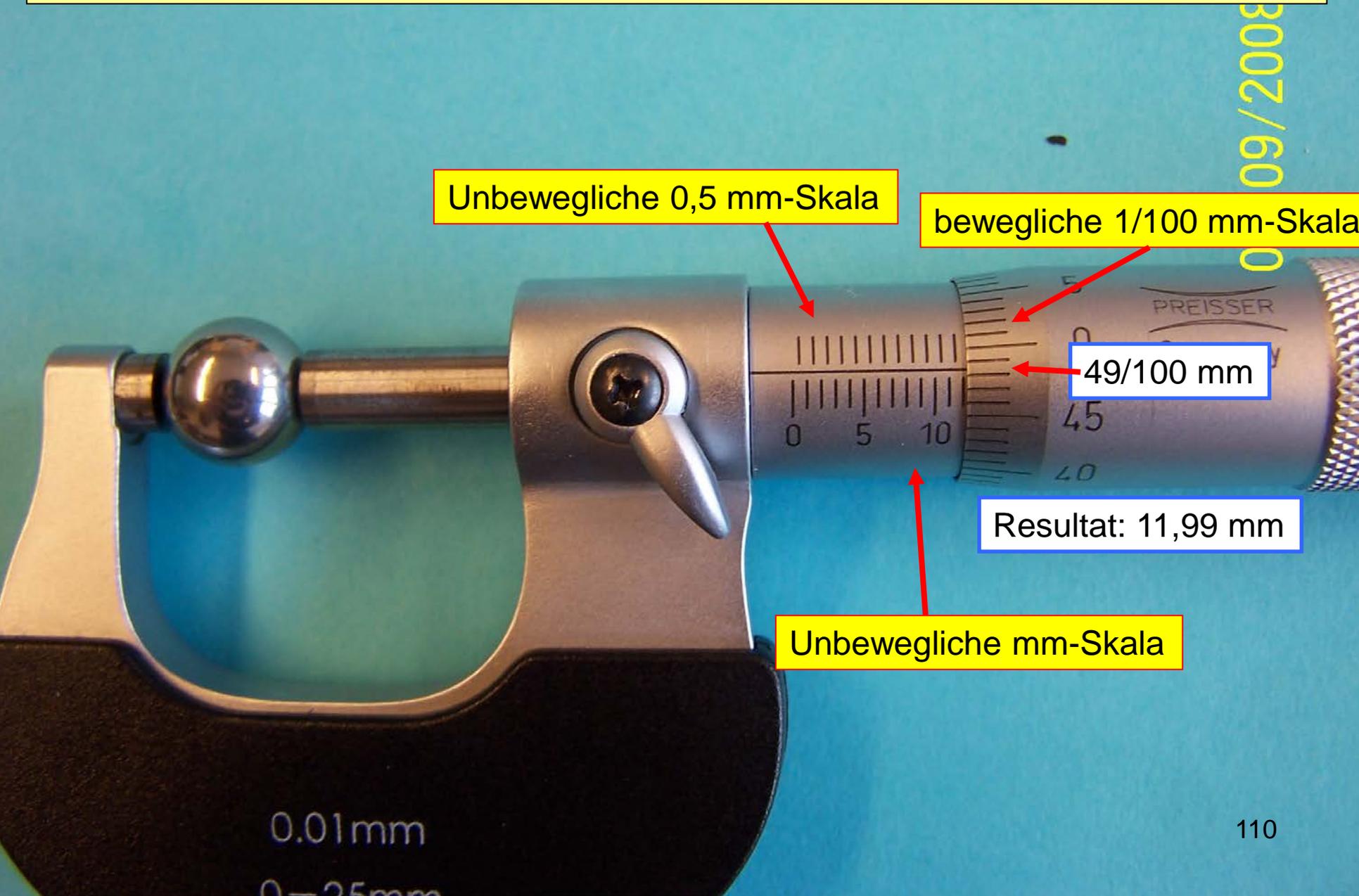
Längenmessungen mit Messschieber



Längenmessungen mit Mikrometerschraube



Längenmessungen mit Mikrometerschraube



Unbewegliche 0,5 mm-Skala

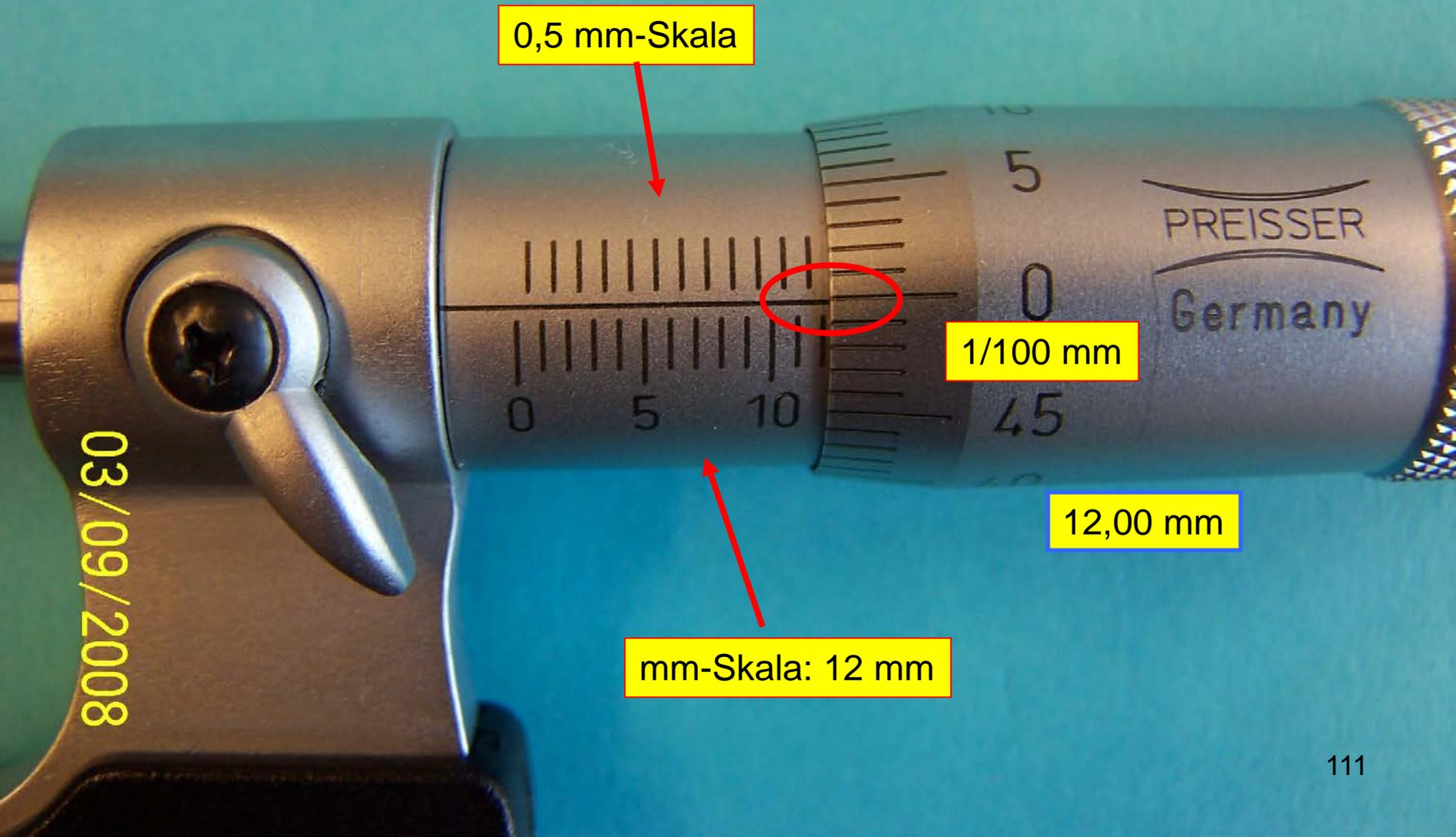
bewegliche 1/100 mm-Skala

49/100 mm

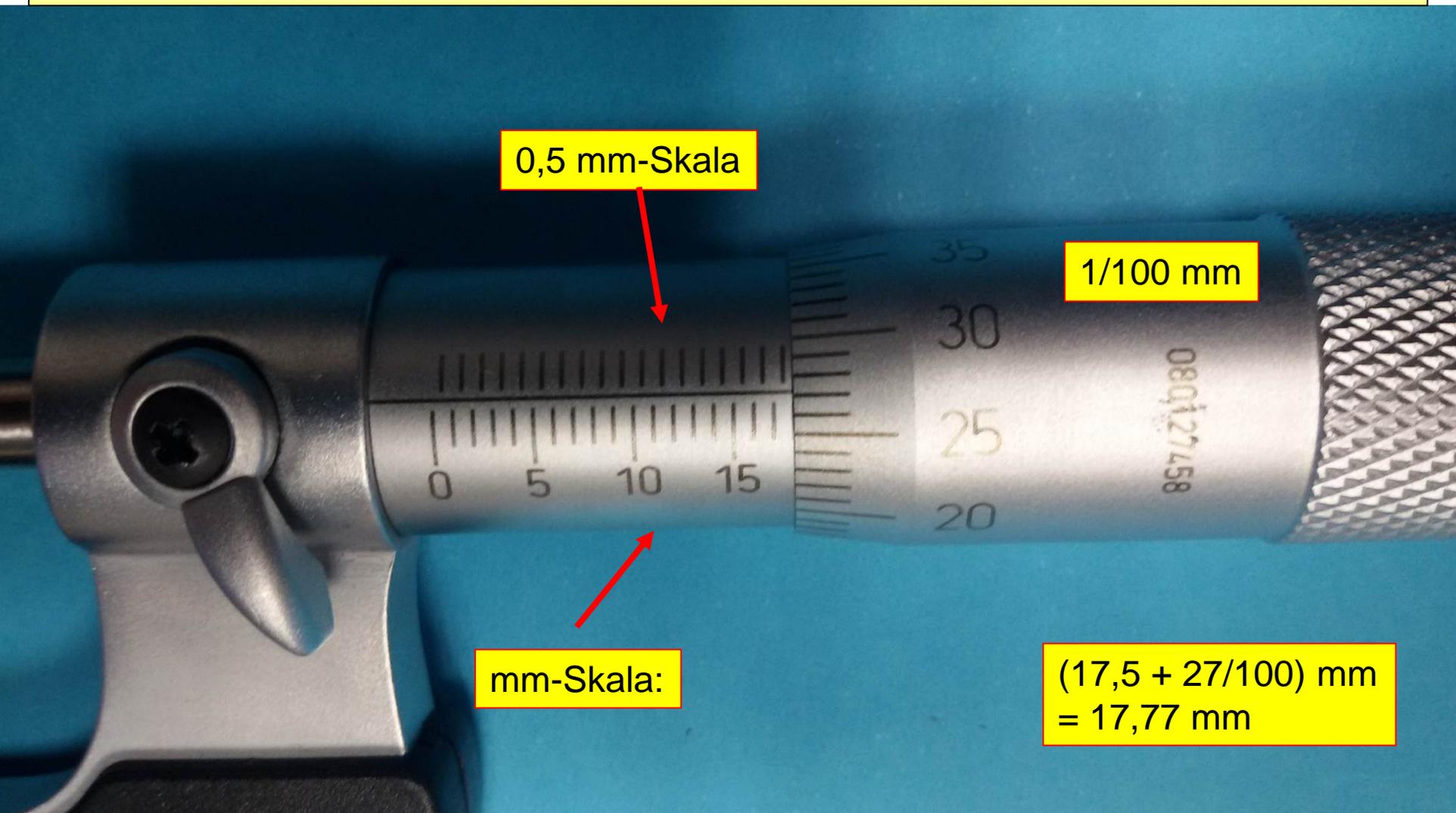
Resultat: 11,99 mm

Unbewegliche mm-Skala

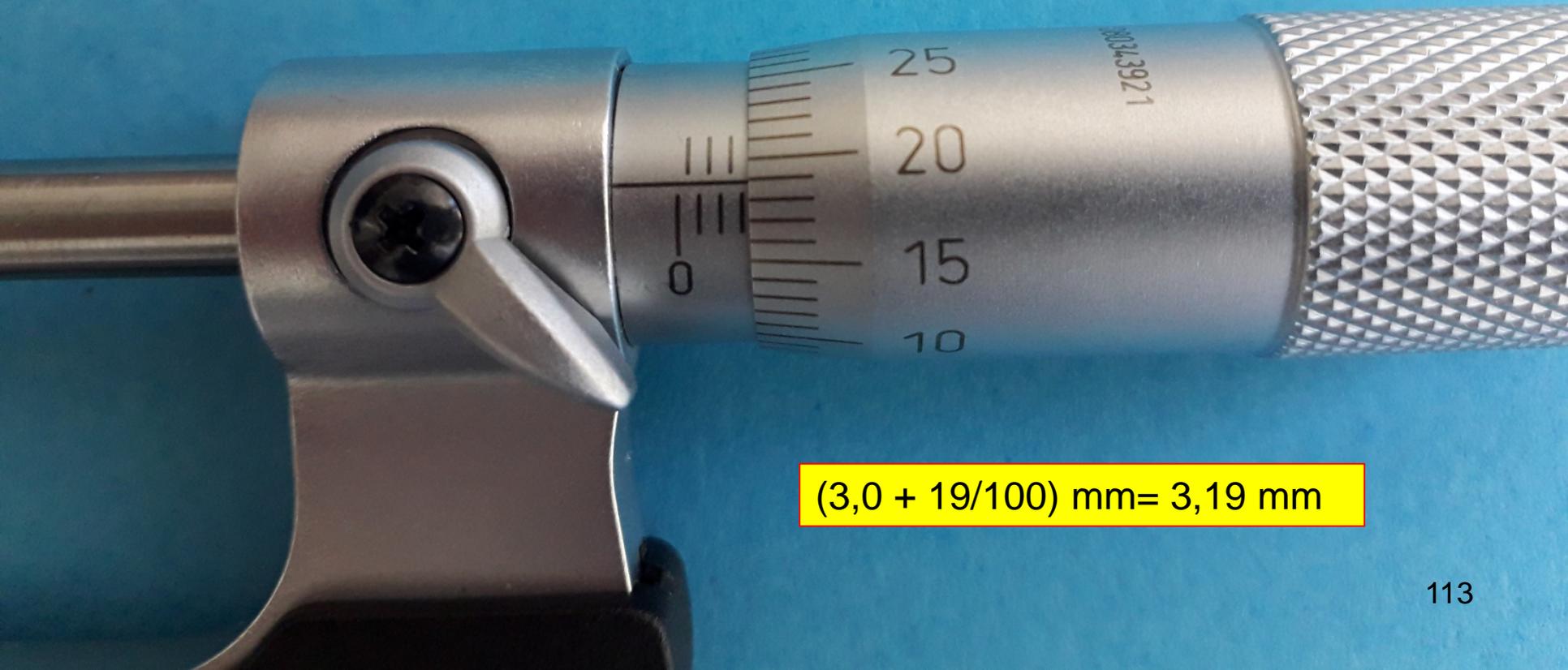
Längenmessungen mit Mikrometerschraube



Längenmessungen mit Mikrometerschraube

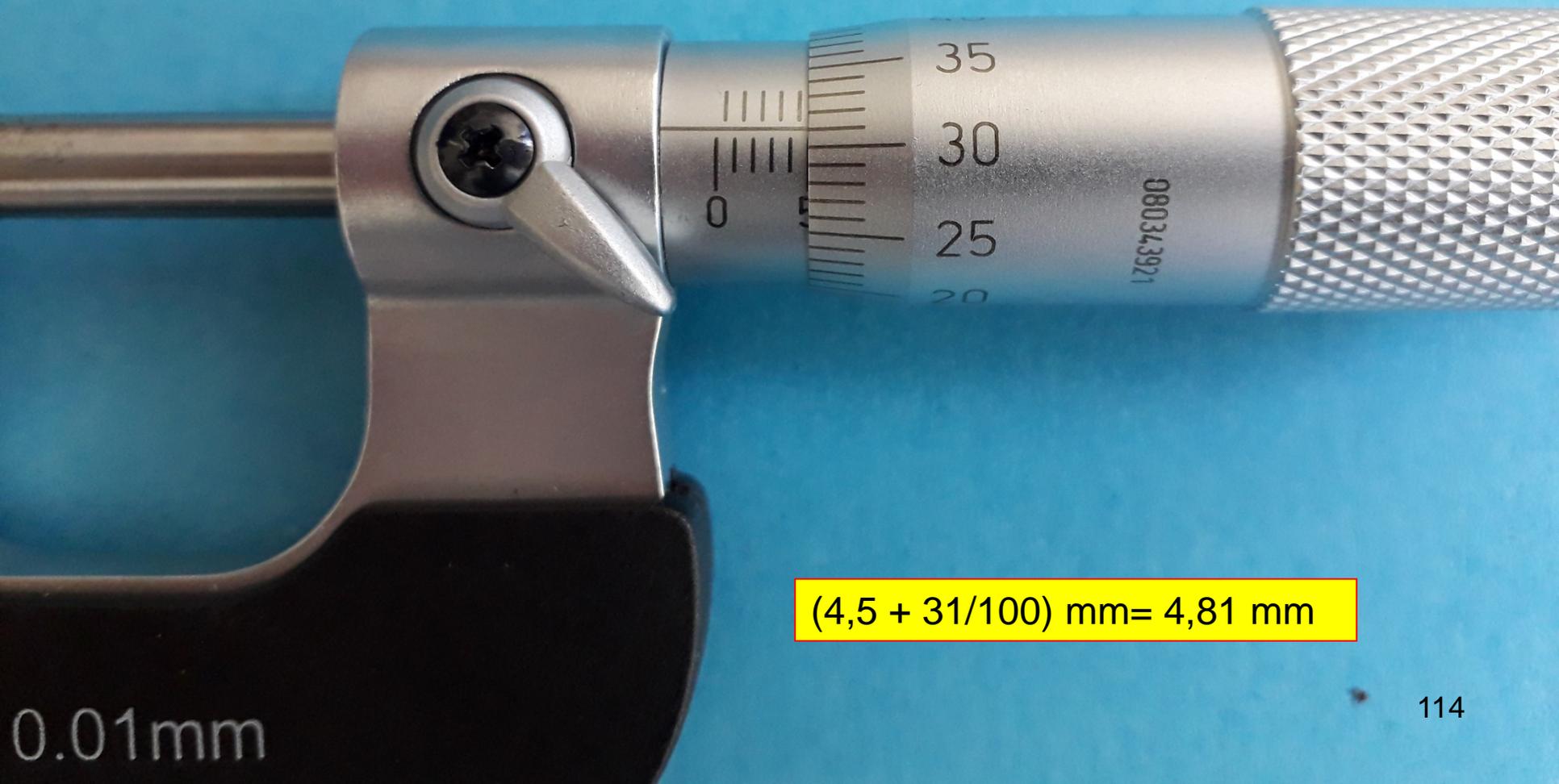


Längenmessungen mit Mikrometerschraube



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

Längenmessungen mit Mikrometerschraube



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

0.01mm

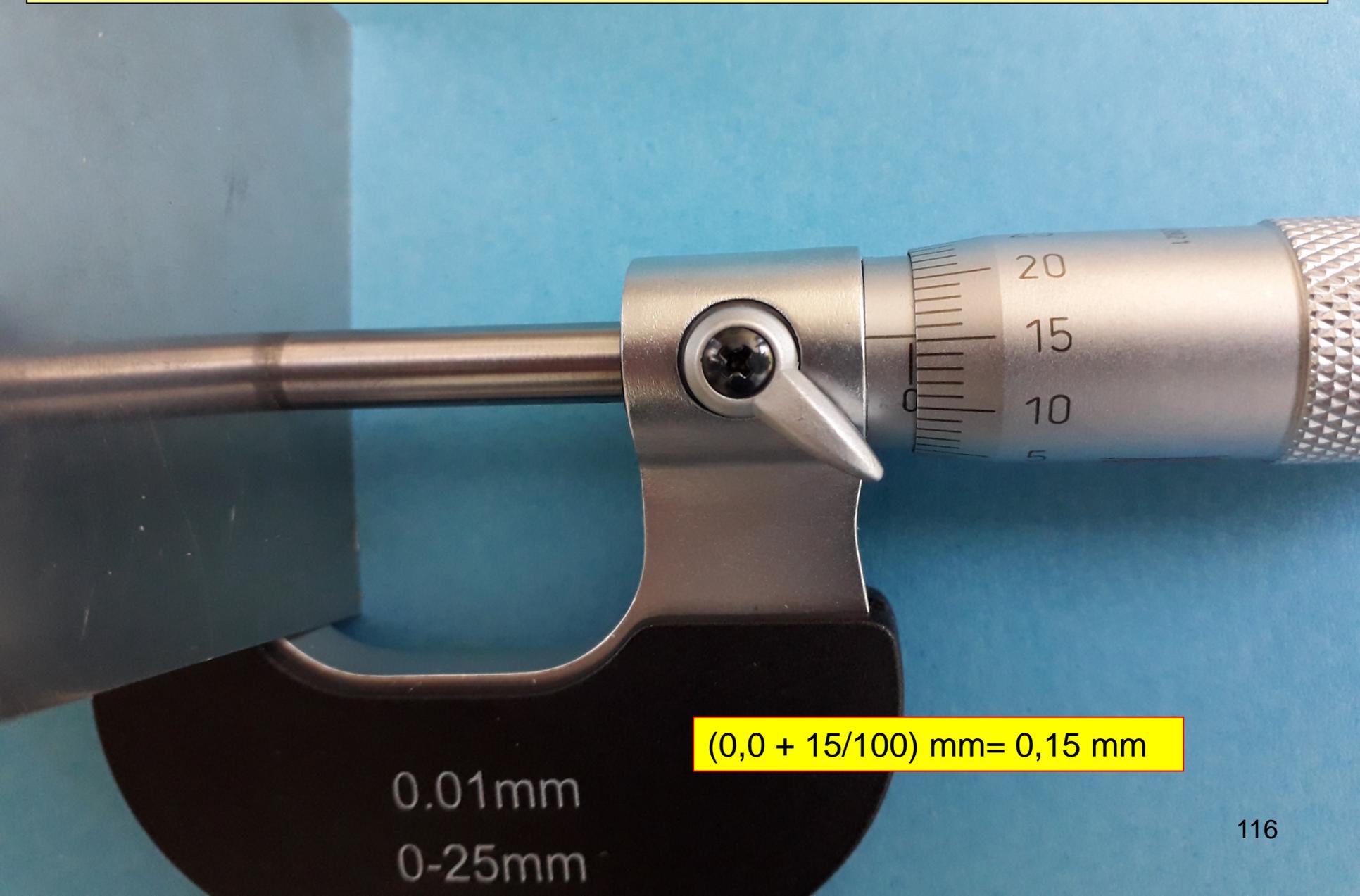
Längenmessungen mit Mikrometerschraube



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

0.01mm
0-25mm

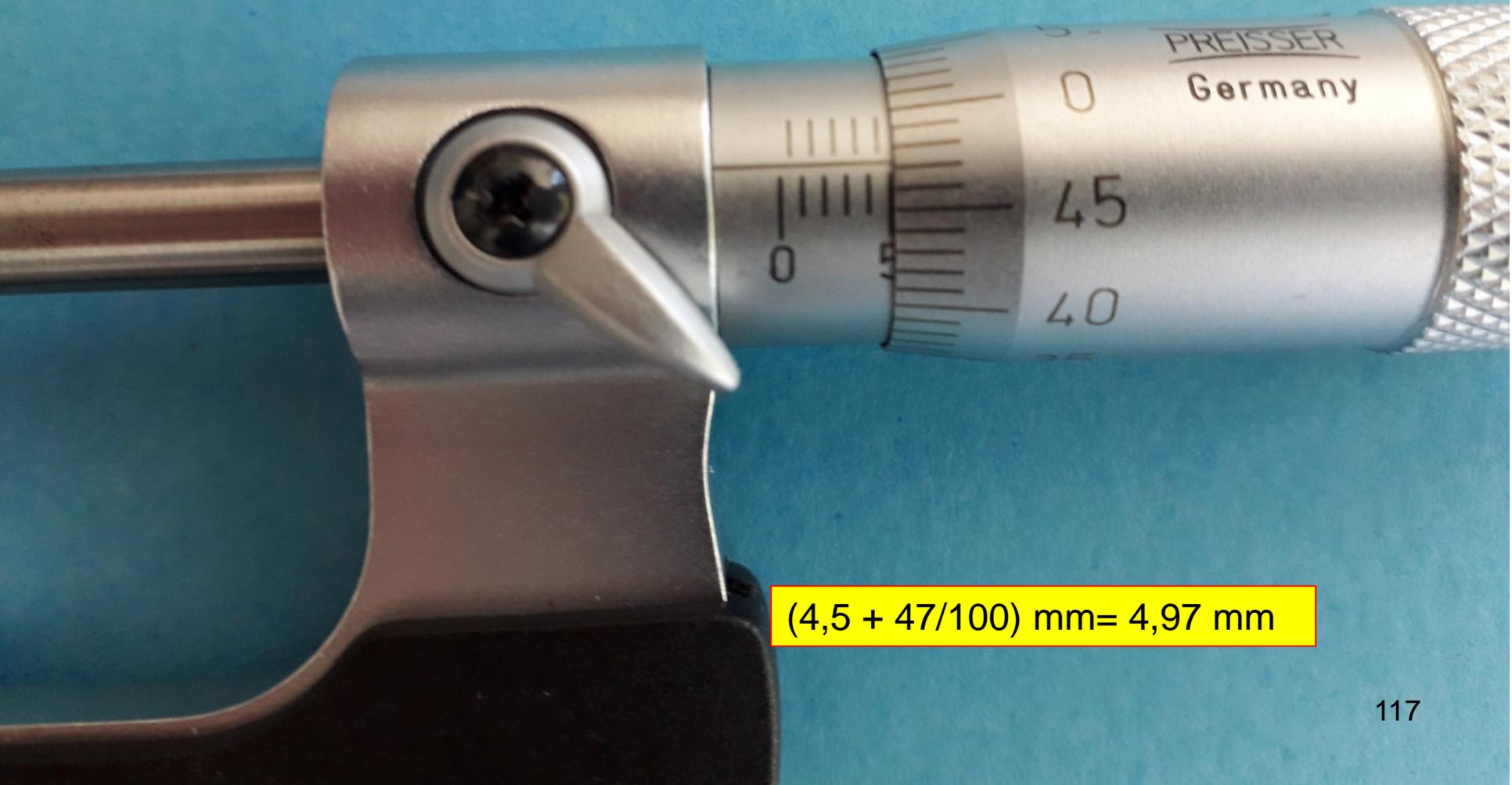
Längenmessungen mit Mikrometerschraube



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

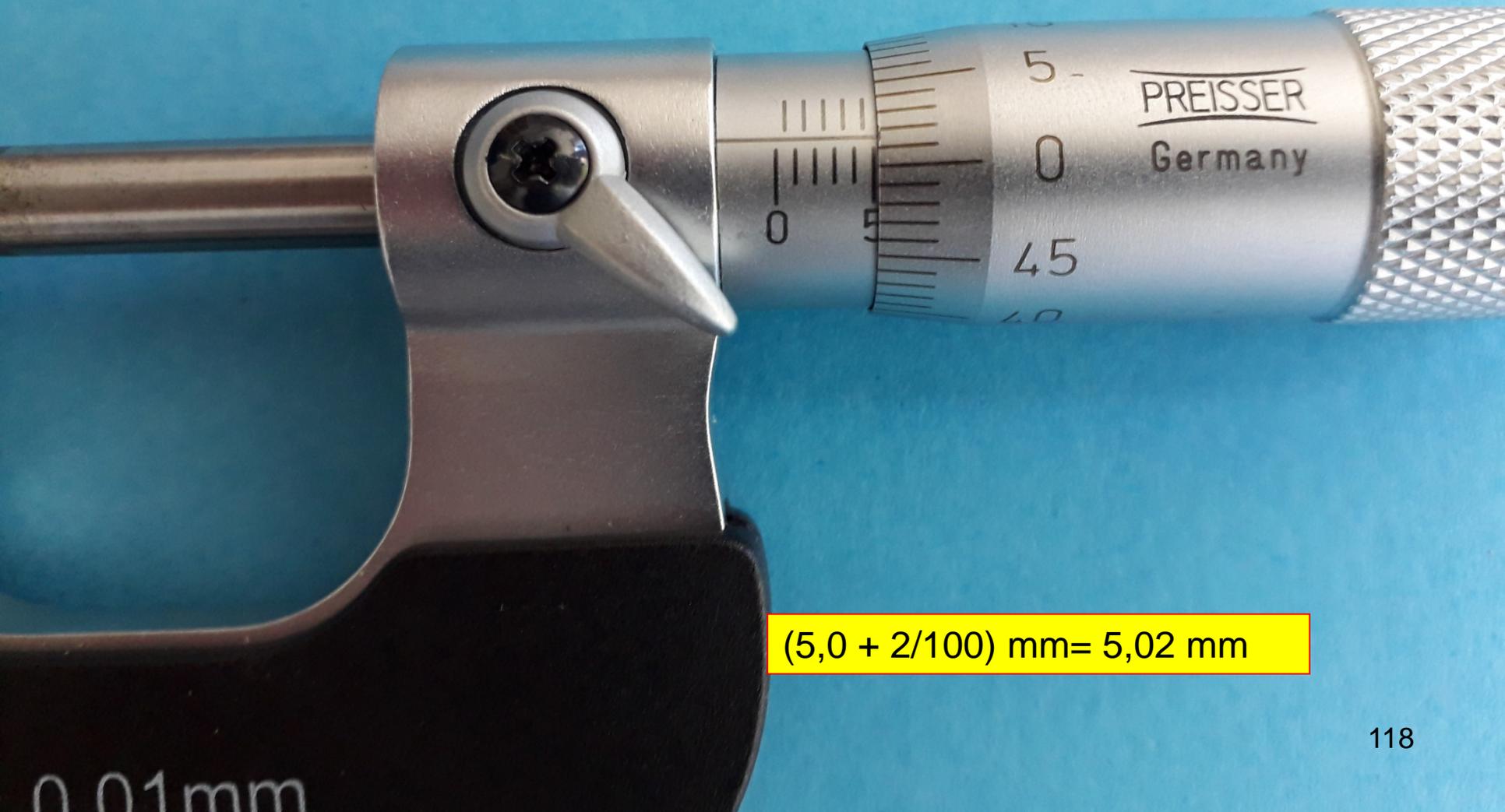
0.01mm
0-25mm

Längenmessungen mit Mikrometerschraube



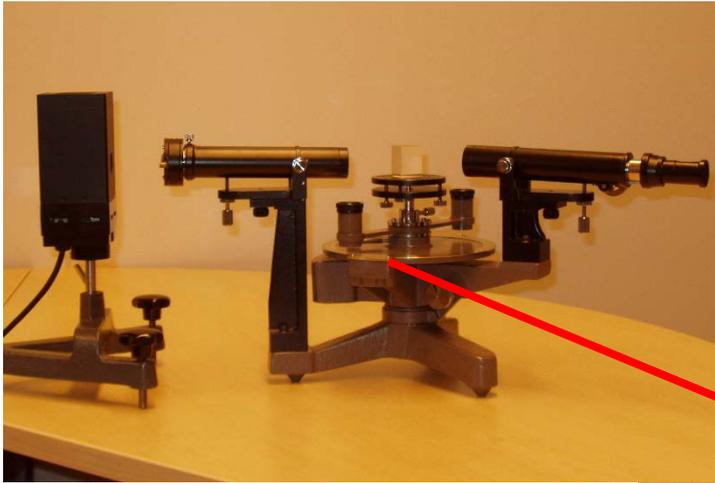
$$(4,5 + 47/100) \text{ mm} = 4,97 \text{ mm}$$

Längenmessungen mit Mikrometerschraube



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

Winkelmessungen mit Nonius



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

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

Längenmessungen: Übung



Viel Erfolg !