

**Messinstrumente im
physikalischen
Grundpraktikum**

WS 17/18

Dr. Th. Kirn

I. Physikalisches Institut B

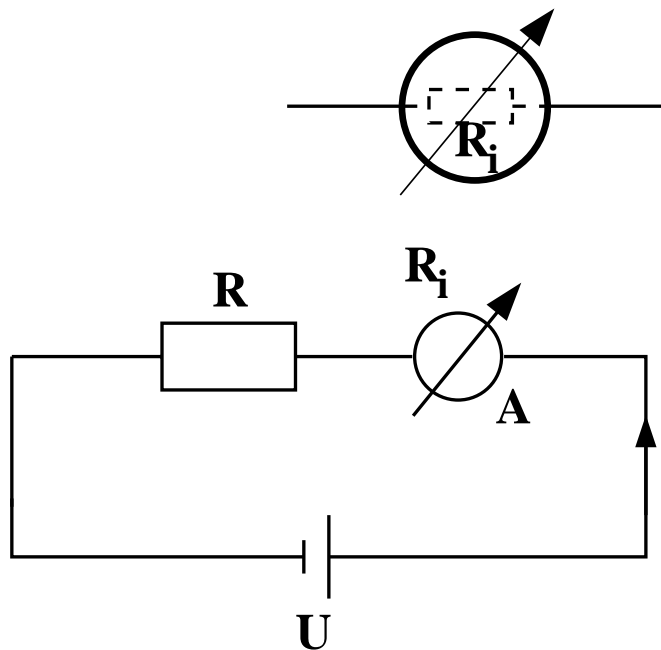
Messinstrumente im physikalischen Grundpraktikum

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

Prinzip Strommessung

Messvorgang darf zu messenden
Strom nicht beeinflussen!

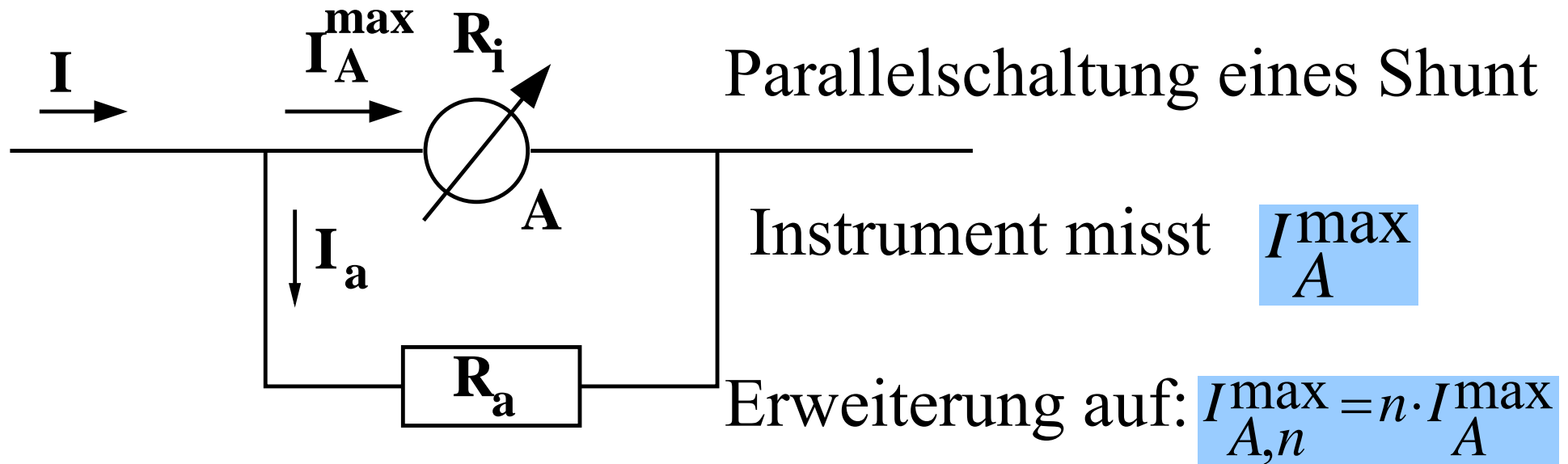
Erwarteter Strom: $I = \frac{U}{R}$



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

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

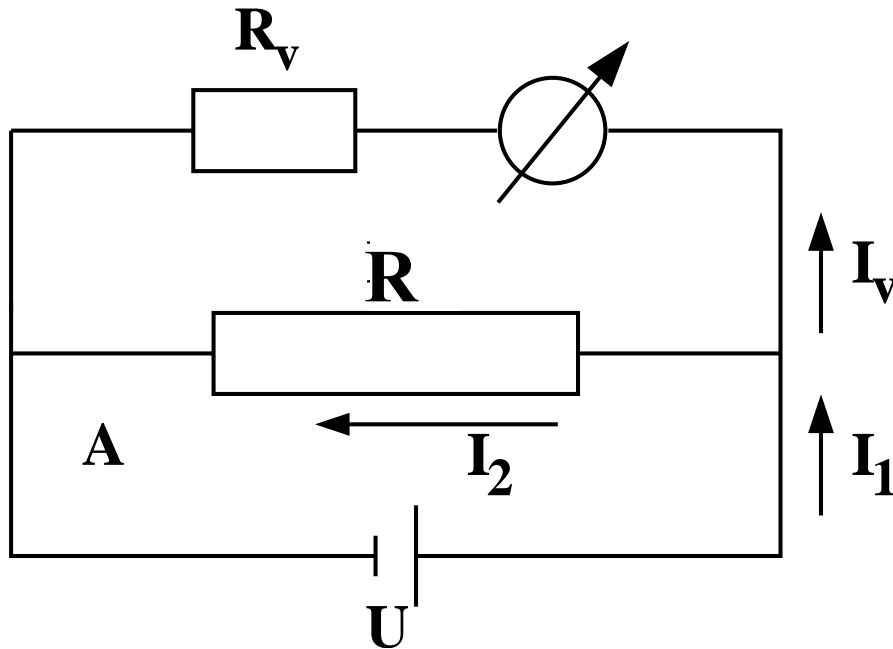
Messbereichserweiterung



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



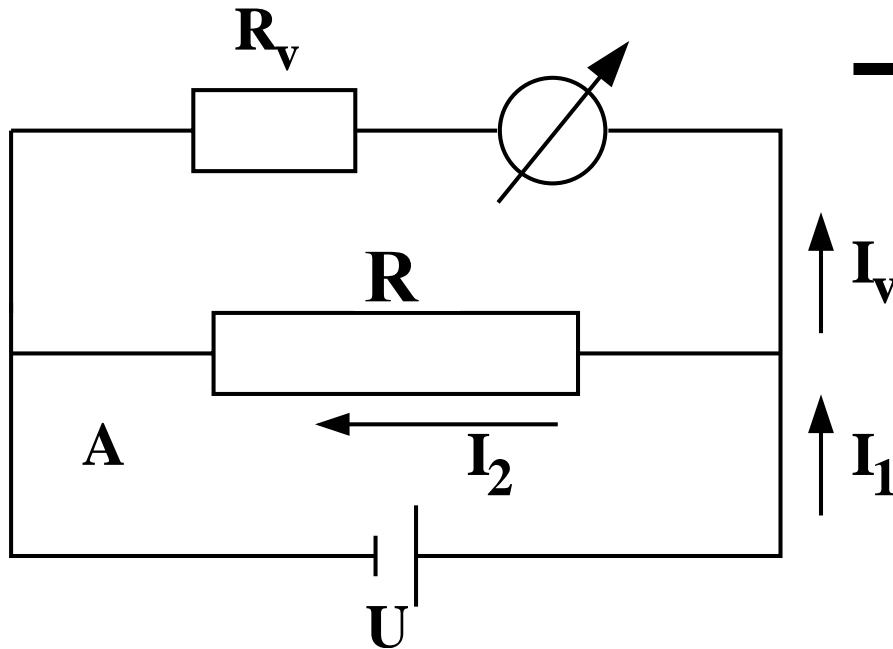
Spannungsmesser sind mittels
Ohmschen Gesetz in Volt
geeichte Amperemeter

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

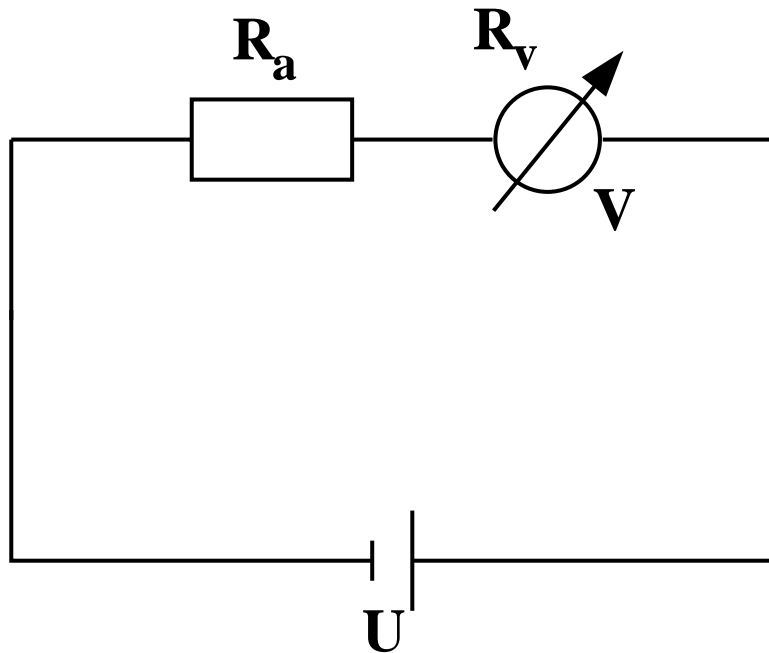
$$I_1 = U \cdot \left(\frac{1}{R_v} + \frac{1}{R} \right) = I \cdot \frac{R + R_v}{R_v} > I = \frac{U}{R}$$

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

Spannungsmesser sind hochohmige Strommesser

$$R_v > 10k\Omega$$

Messbereichserweiterung



Es ist:

Reihenschaltung eines Vorwiderstandes R_a

Instrument misst U_{\max}

Erweiterung auf: $U'_{\max} = n \cdot U_{\max}$

$(n > 1)$

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

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

Realisation der Strom- und Spannungsmessung im Praktikum?



Sensor Cassy Interface



4-fach galvanisch getrennt:

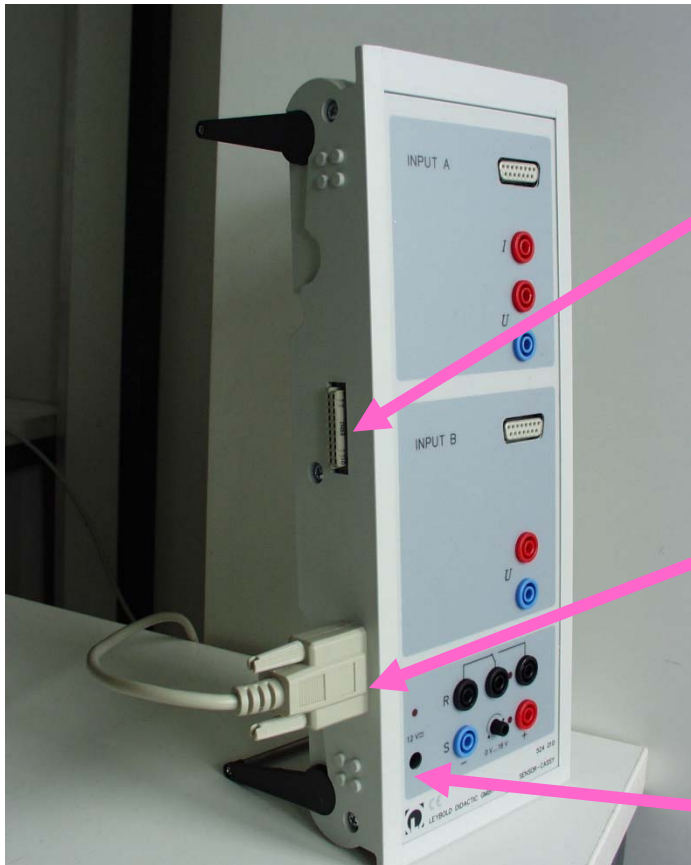
Eingang A (I,U)

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**



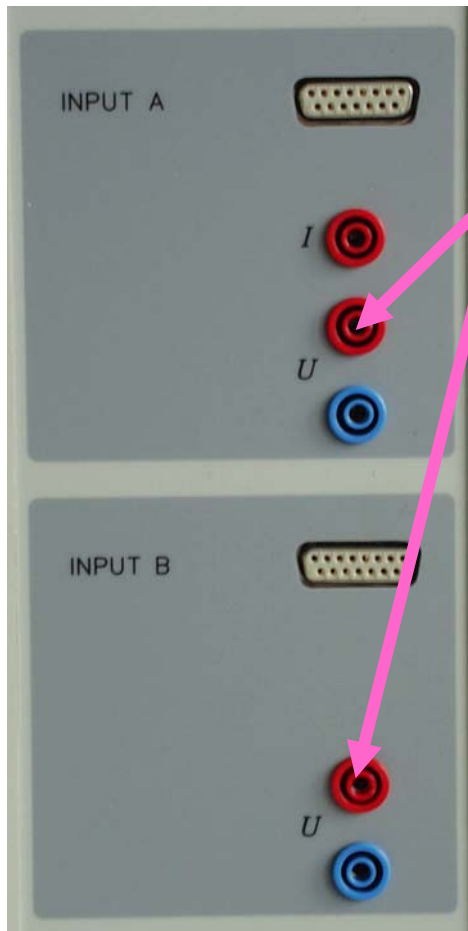
1 analoger Ausgang (PWM)
pulsweitenmoduliert, schaltbare
Spannungsquelle S,
Schaltanzeige mit LED,
Spannung: **max. 16 V / 200 mA**
PWM-Frequenz: **100 Hz**

Sensor Cassy Interface

5 analoge Eingänge

2 analoge Spannungseingänge A und B:

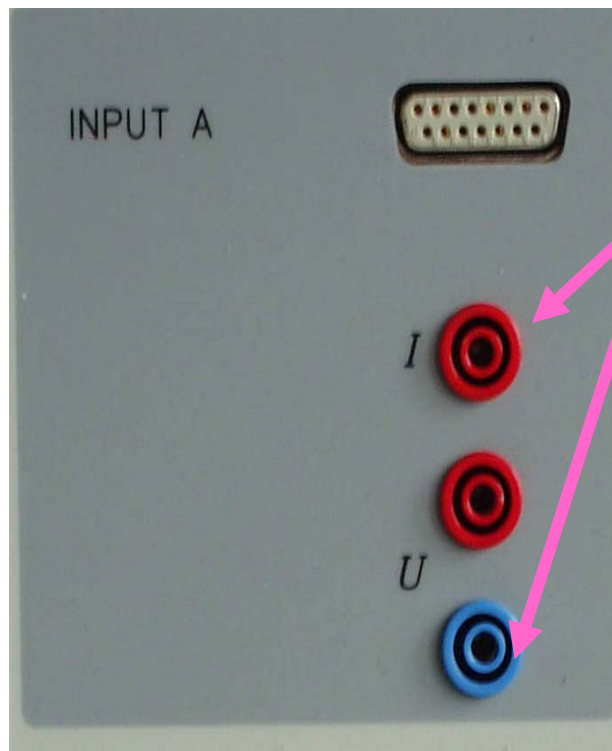
- Auflösung: 12 Bit ($2^{12} = 4096$)
- Messbereiche: $\pm 0,3/1/3/10/30/100$ V
- Digitalisierung: $\pm 0,15$ mV/.../ 48,8mV
- sys. Messfehler: $\pm 1\% + 0,5\%$ Endwert
- Eingangswiderstand: 1 M Ω
- Abtastrate: max. 200.000 Werte/s
(=100.000 Werte/s pro Eingang)
- Anzahl Messwerte: max. 32000



(= 16000/ Eingang) 12

Sensor-Cassy Interface

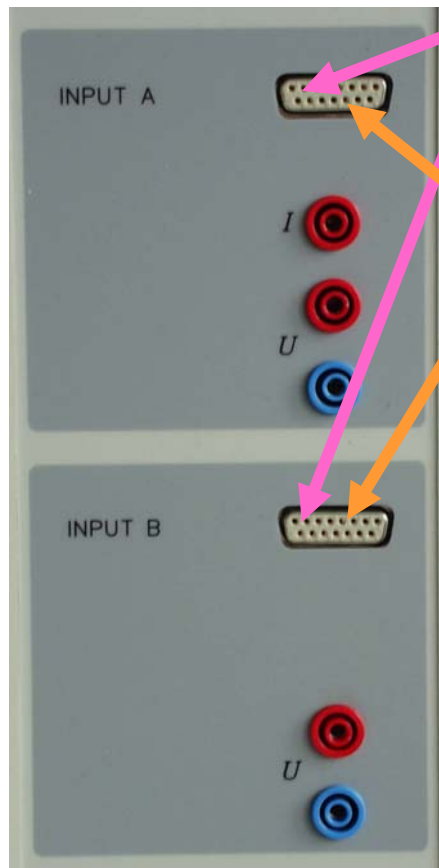
Eingang A:



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 through F7 are labeled. Below them is a toolbar with icons for file operations and measurement. The main window shows a data table with 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 and a digital readout of 0,01 V. A grid is visible on the right side of the interface.

t / s	U _{B1} / V	I _{A1} / A
0,0	0,00	0,000
0,1	0,00	0,000

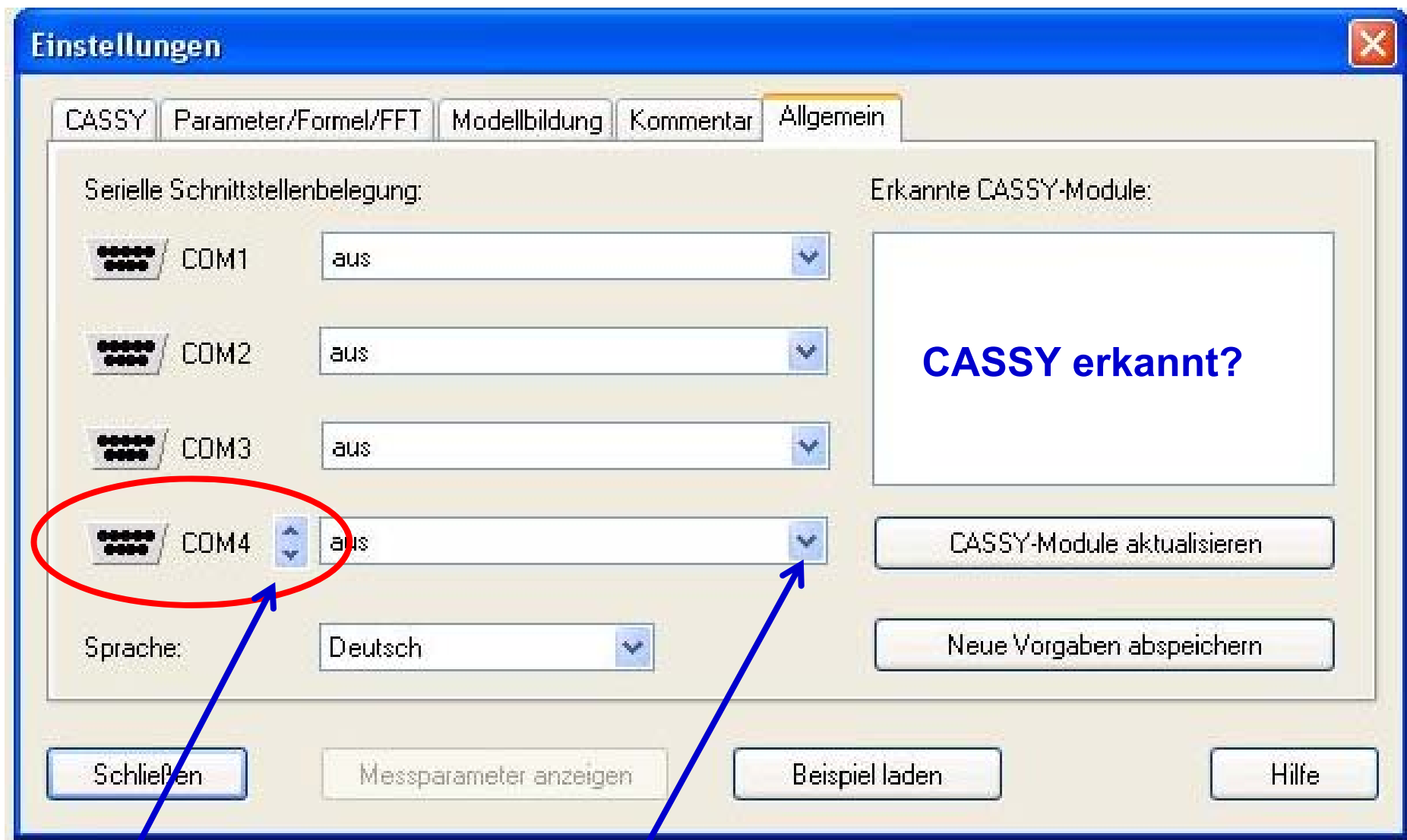
Spannung U_{B1}

U_{B1} = 0,01 V

Cassy Lab Start



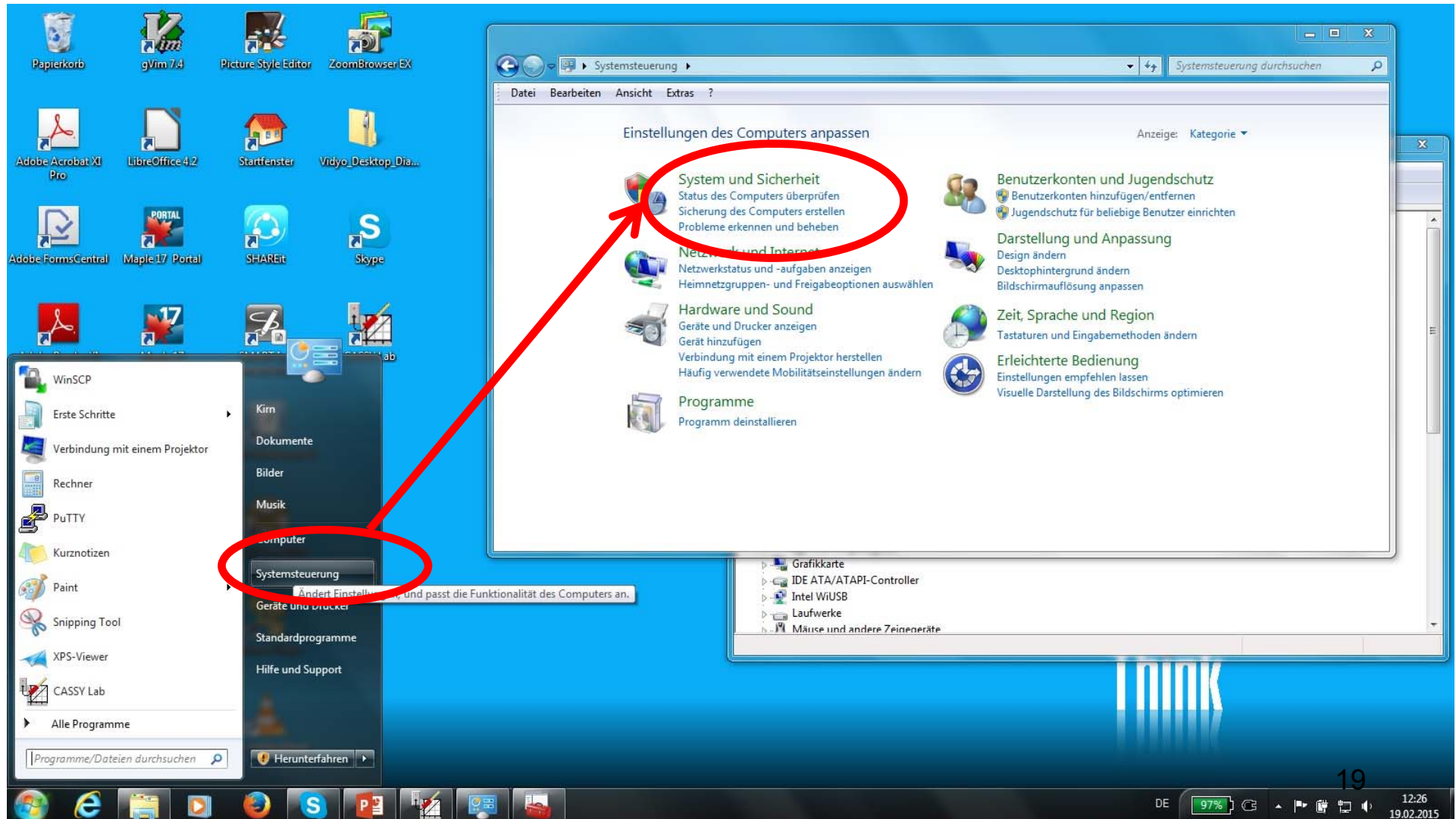
Cassy Lab Start



Com-Port Einstellungen → CASSY

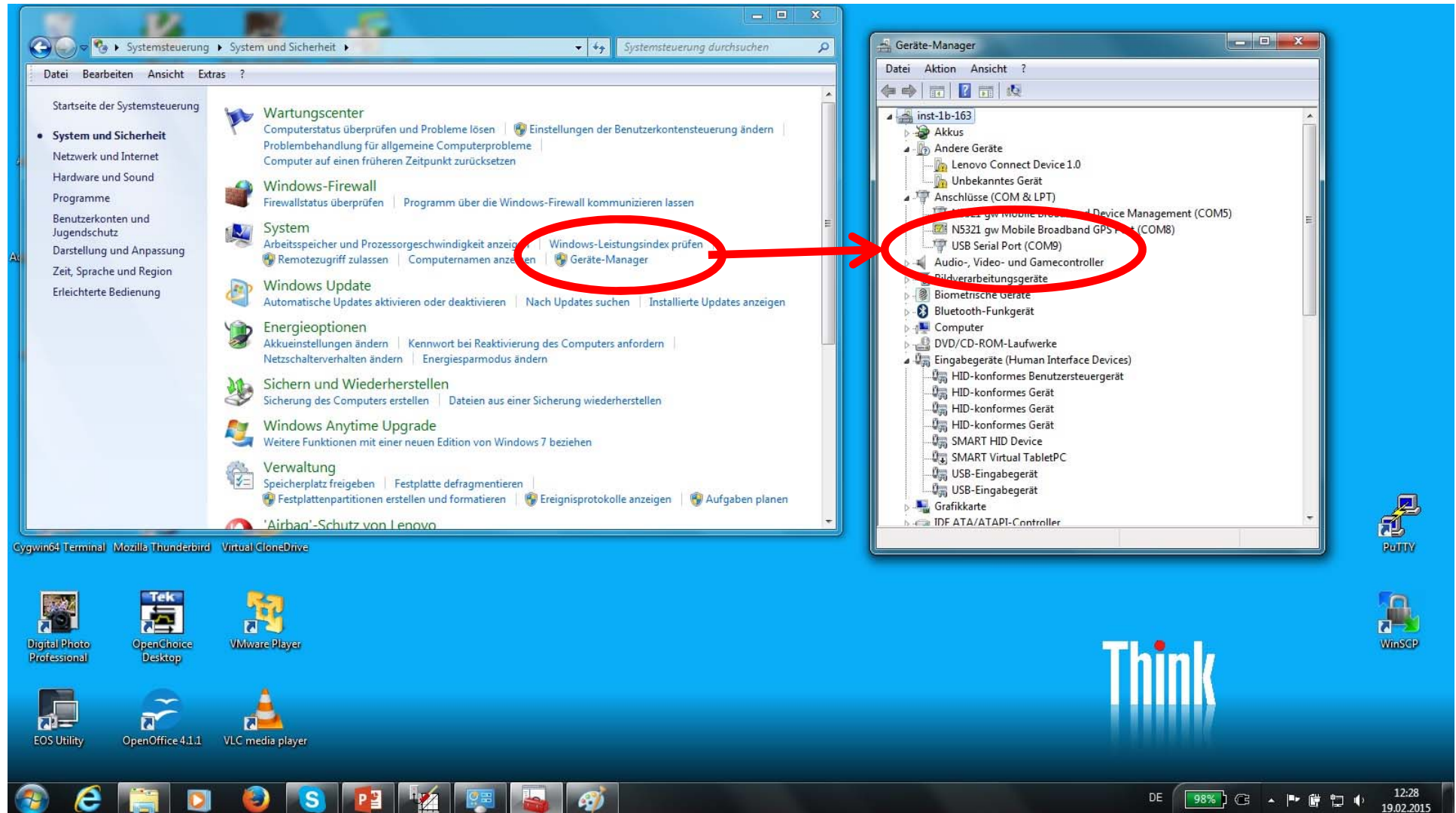
Cassy Lab Start

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



Cassy Lab Start

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



Cassy Lab Start

Wenn COM >19,
Doppelklick auf
USB Serial Port

Eigenschaften von USB Serial Port (COM9)

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

Erweitert... Wiederherstellen

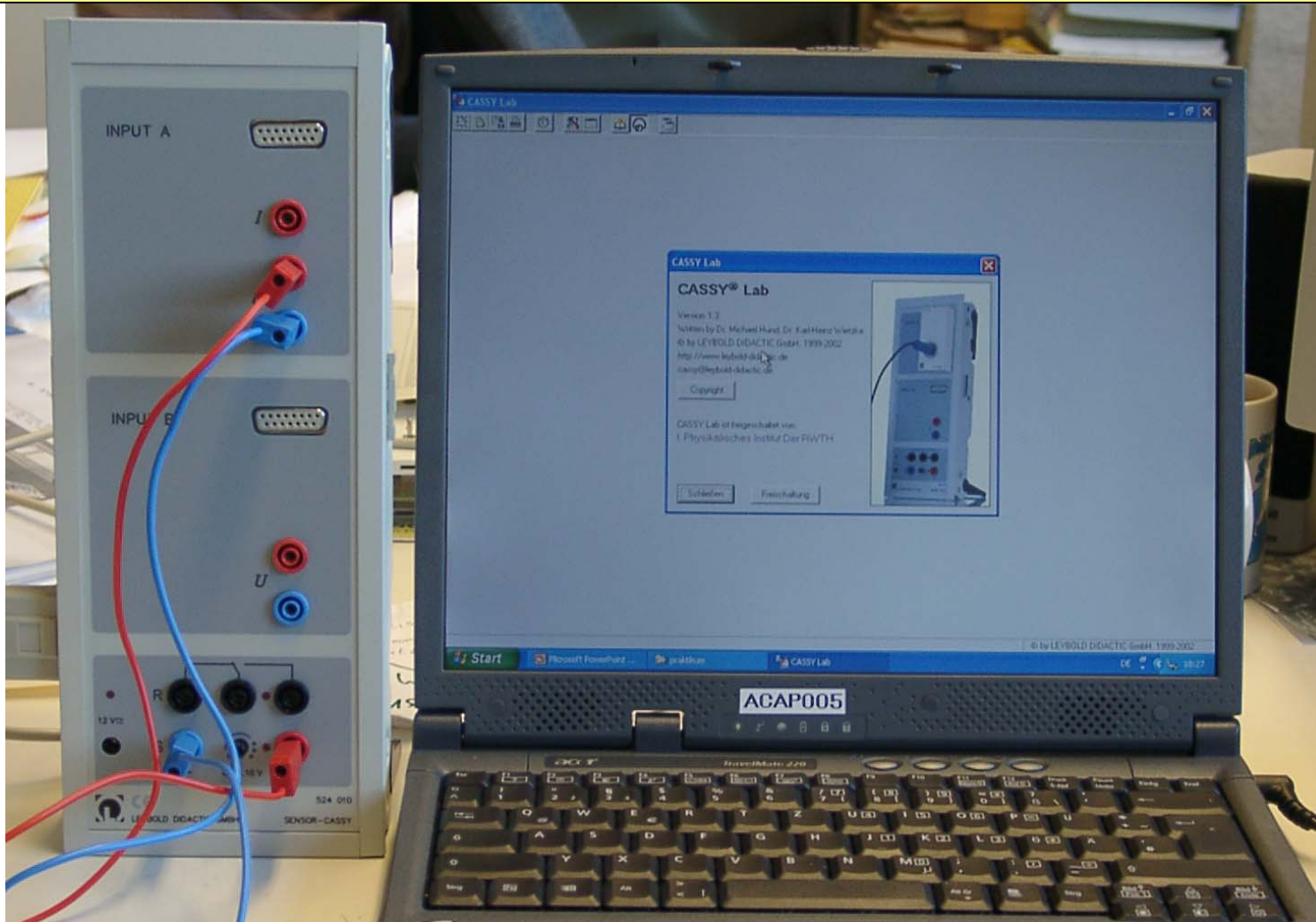
Erweiterte Einstellungen für COM9

COM-Anschlussnummer: COM9

USB Pakete senden: COM10
Reduzieren Sie die Werte, um... COM11
Erhöhen Sie die Werte, für ein... COM12
Empfangen (Bytes): COM13
Senden (Bytes): COM14
COM15
COM16
COM17
COM18
COM19
COM20
BM Einstellungen: COM21
Reduzieren Sie die Werte, um... COM22
Wartezeit (ms): COM23
COM24
COM25
COM26
COM27
COM28
COM29
Timeouts: COM30
COM31
Minimale Anzahl der Lese-T... COM32
(ms): COM33
Minimale Anzahl der Schreib... COM34
(ms): 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

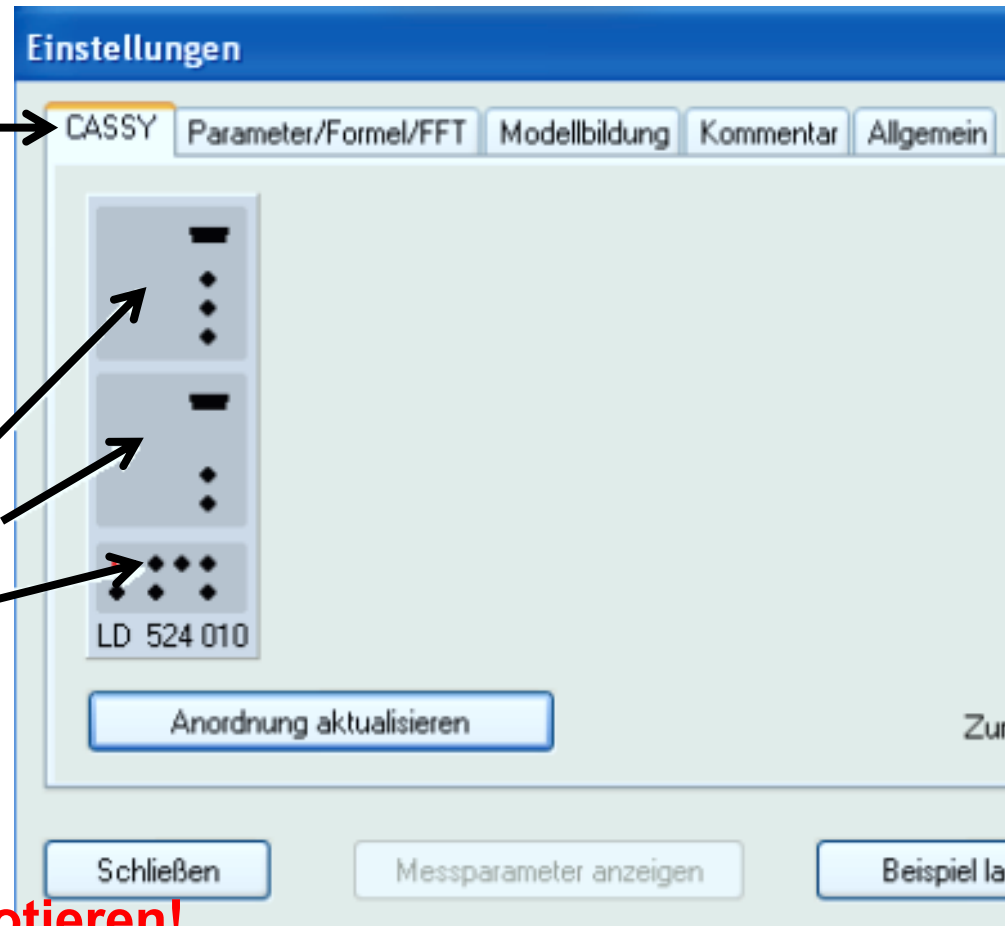


Cassy Lab, Einstellungen

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

automatische Aufnahme Intervall: 100 ms Trigger:

manuelle Aufnahme x Anzahl:

neue Messreihe anhängen = Messzeit: s Messbedingung: 1

wiederholende Messung akustisches Signal

Schließen Hilfe

Messparameter

automatische Aufnahme Intervall: 10 µs Trigger: UB1 5,00 V fallend

manuelle Aufnahme x Anzahl: 16000

neue Messreihe anhängen = Messzeit: 160 ms Messbedingung: 1

wiederholende Messung akustisches Signal

Schließen Hilfe

Messparameter

automatische Aufnahme Intervall: 100 ms Trigger:

manuelle Aufnahme x Anzahl:

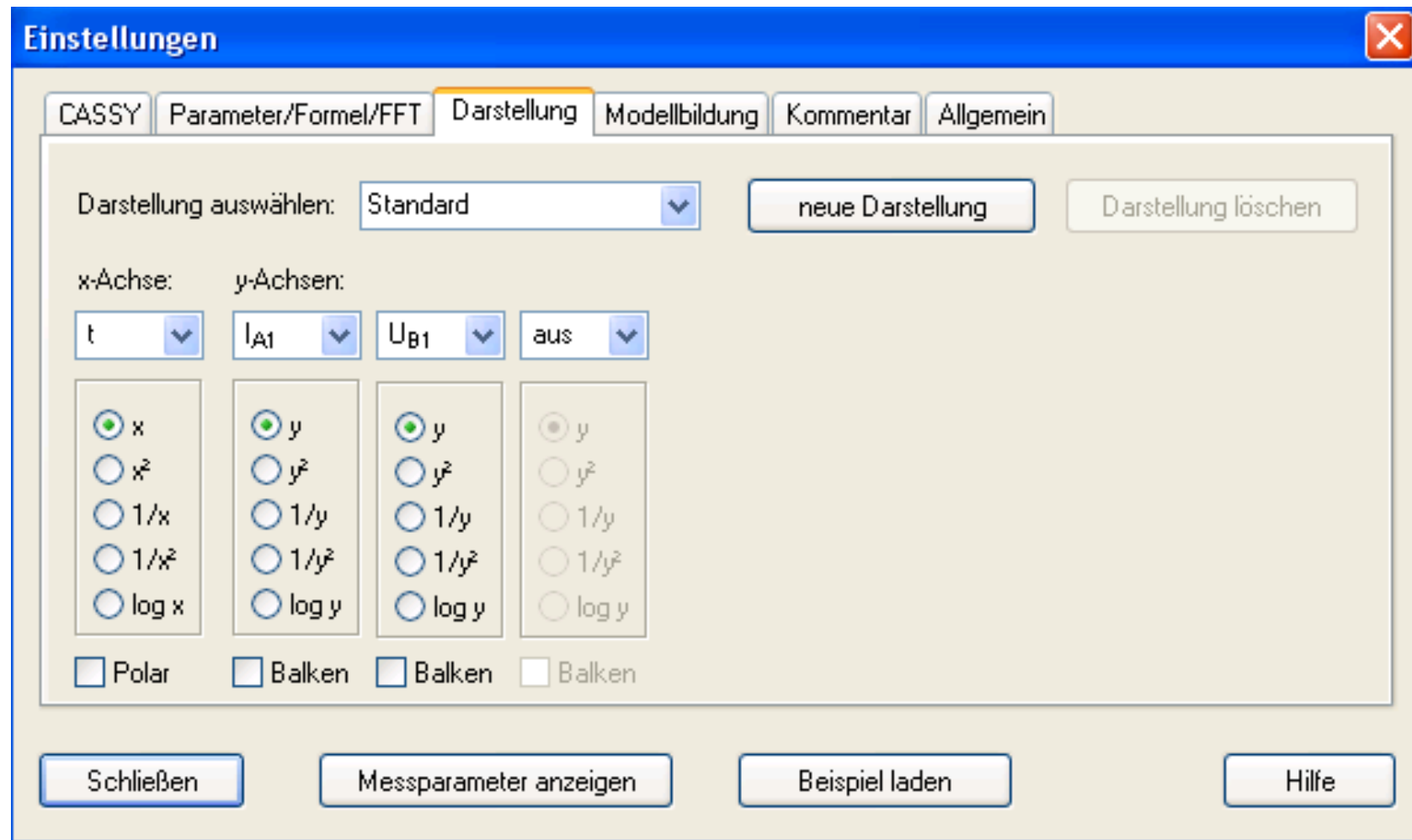
neue Messreihe anhängen = Messzeit: s Messbedingung: $f < 5000 \text{ and } \Delta t > 2/f + 2 = \text{AUS}$

wiederholende Messung akustisches Signal

Schließen Hilfe

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

Cassy Lab, Einstellungen, Darstellungen



Cassy Lab, Einstellungen, Parameter/Formel/FFT

Einstellungen

CASSY Parameter/Formel/FFT Darstellung Modellbildung Kommentar Allgemein

Größe auswählen: Widerstand neue Größe Größe löschen

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 10 s Histogramm (Δ = 1)

Symbol: X_C Einheit: Ohm von: 0 Ohm bis: 1000 Ohm Dezimalstellen: 1

Schließen Messparameter anzeigen Beispiel laden Hilfe

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

Sensor Cassy Lab und Dateien

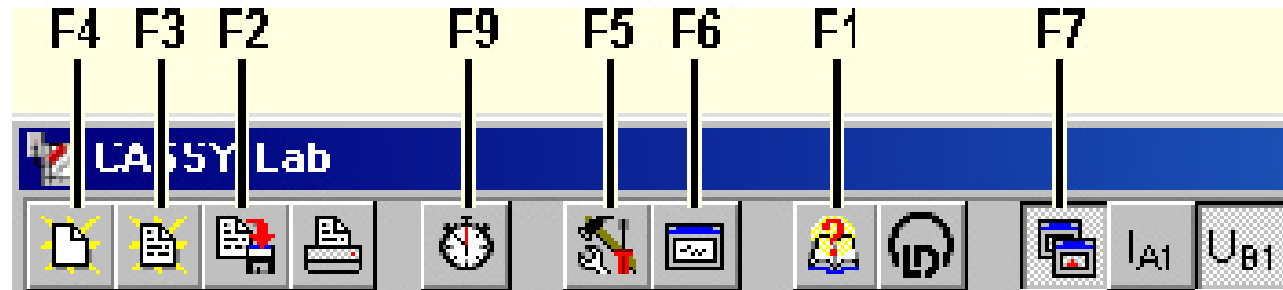
F9: Datennahme starten

F2: Dateien speichern

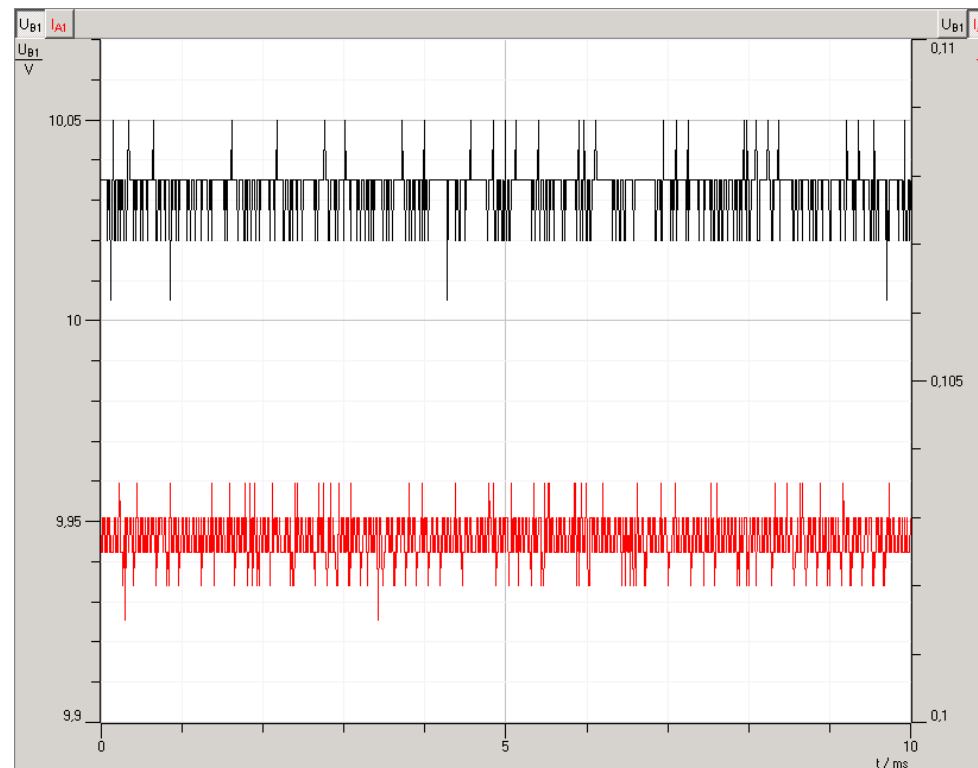
F3: Dateien laden

F4: Daten löschen

F5: Einstellungen



Messungen abspeichern und Dateinamen notieren!



Sensor Cassy Dateien

```
100R_U_I_t.lab
File Edit View Cme
Open Dired Save Print Cut Copy Paste Undo Spell Replace Mail Info Compile Debug News
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
Frequenz
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 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

```
100R_U_I_t.lab - XEmacs
File Edit View Cmds Tools Options
Open Dired Save Print Cut Copy Paste Undo Spell Replace Mail Info Compile Debug News
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

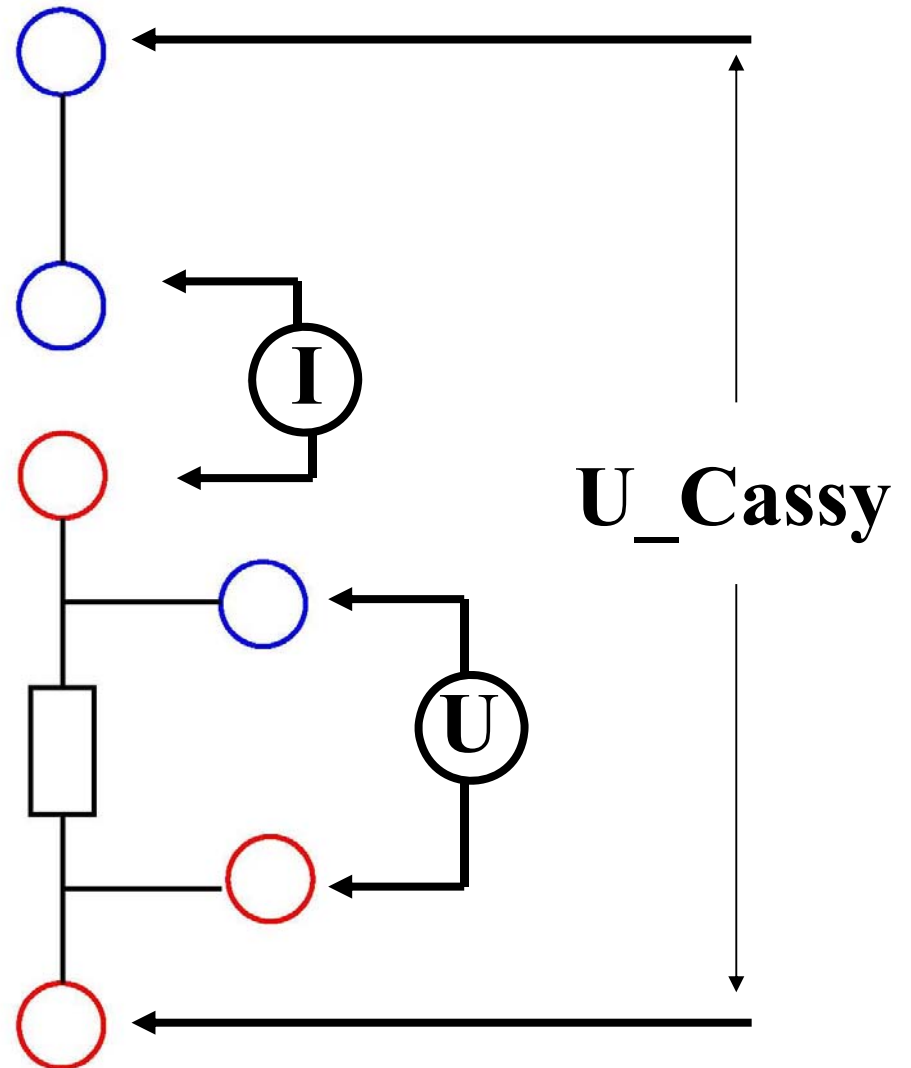
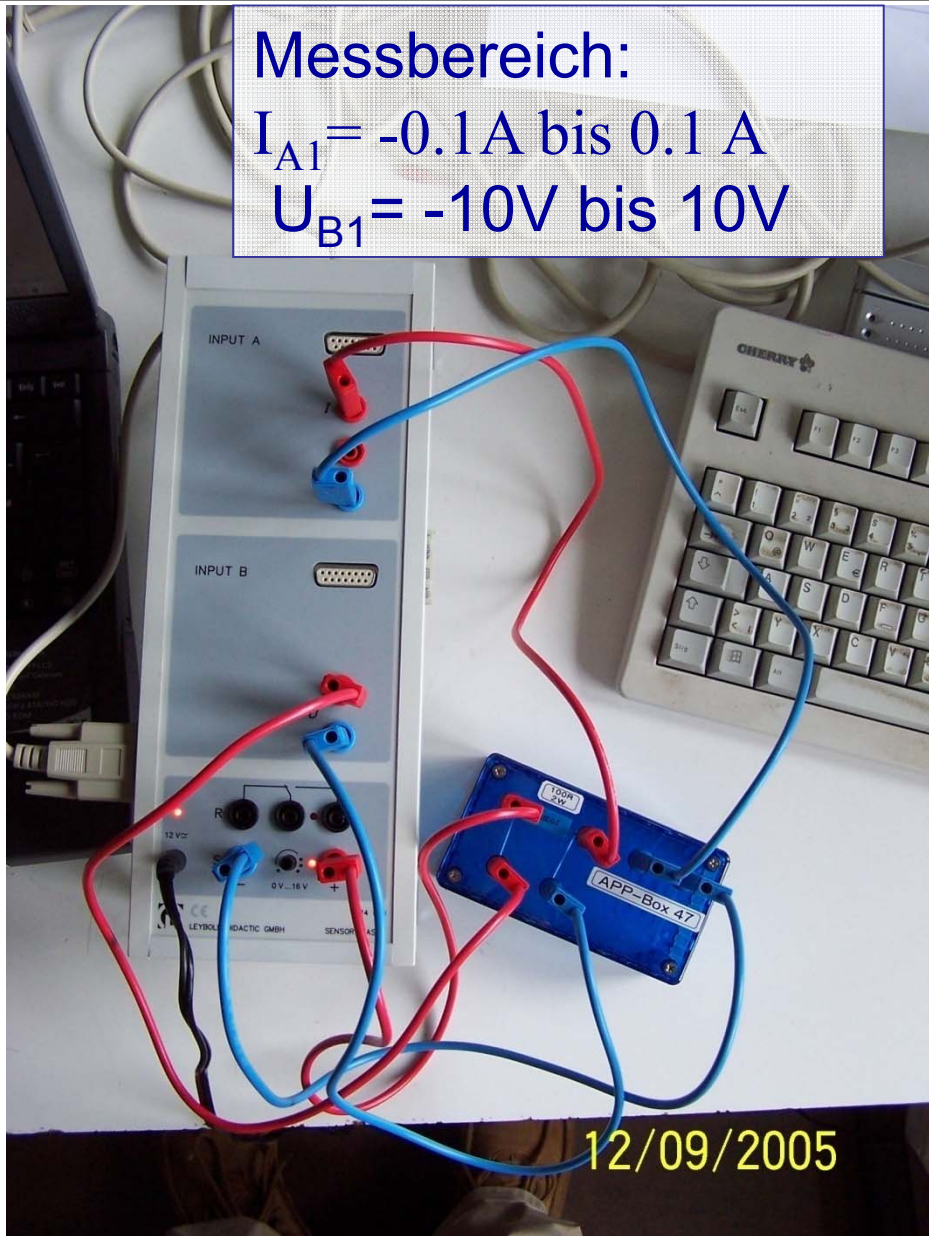
Cassy Lab, 2. Übung



Messbereich:

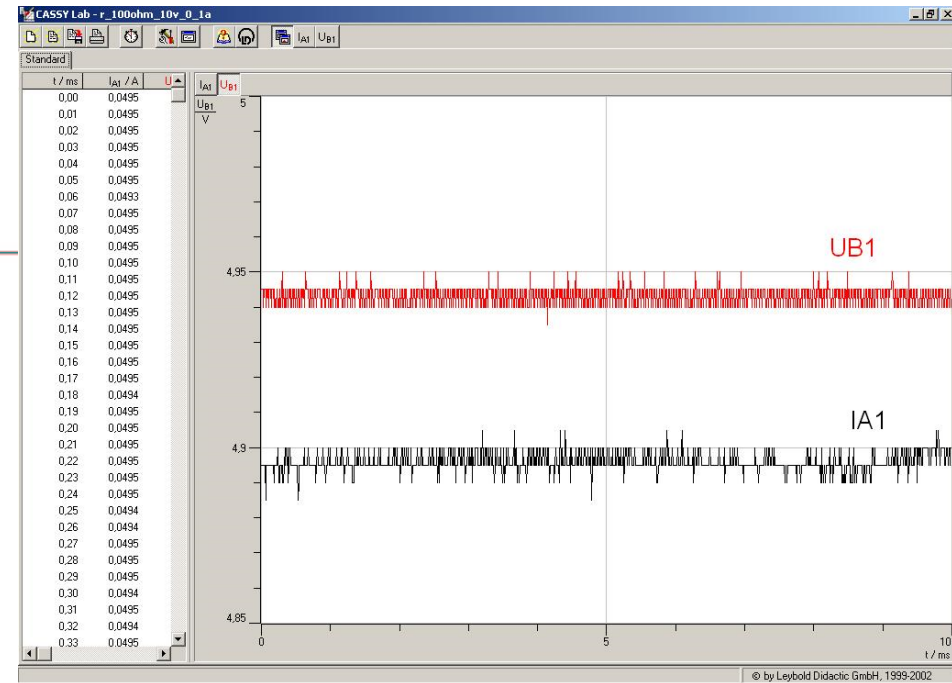
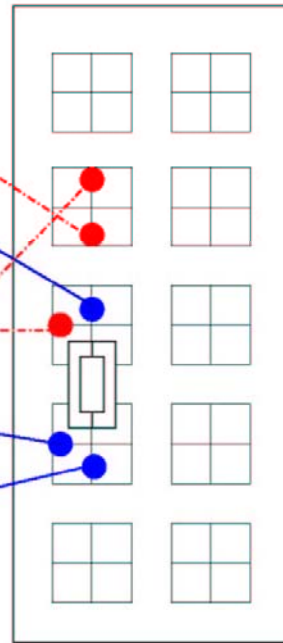
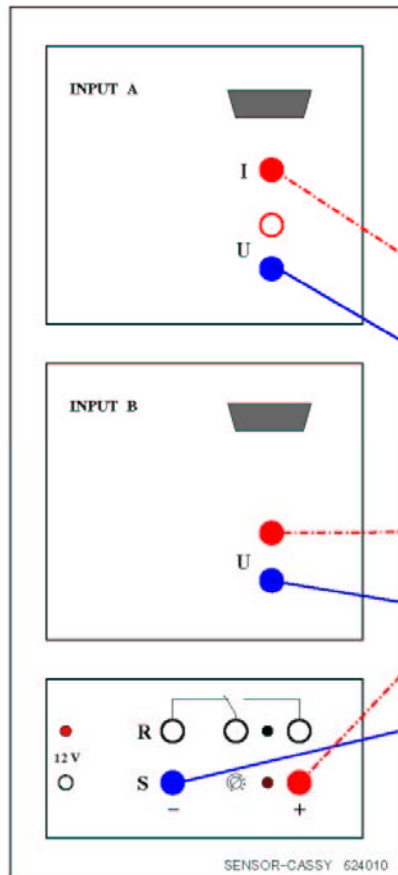
$I_{A1} = -0.1\text{A bis } 0.1\text{ A}$

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



Sensor Cassy Interface

Messungenauigkeiten



Messaufbau: $R=100\Omega$

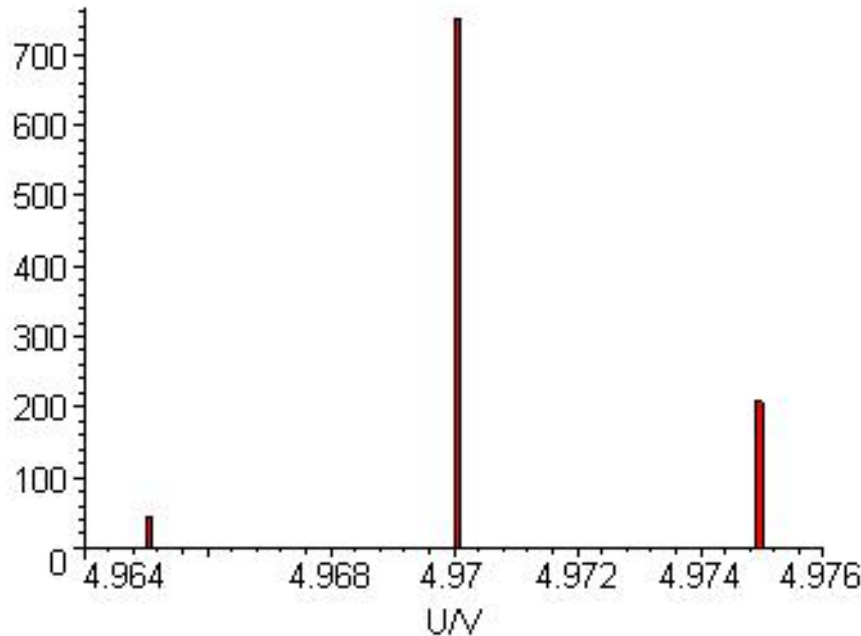
Angelegte Spannung:

$U=5V$

Im Kreis fließender Strom:

$I=0,05A$

Sensor-Cassy Interface statistische Messungenauigkeit?



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

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

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

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

Digitale Auflösung: 12 bit = 4096 ,

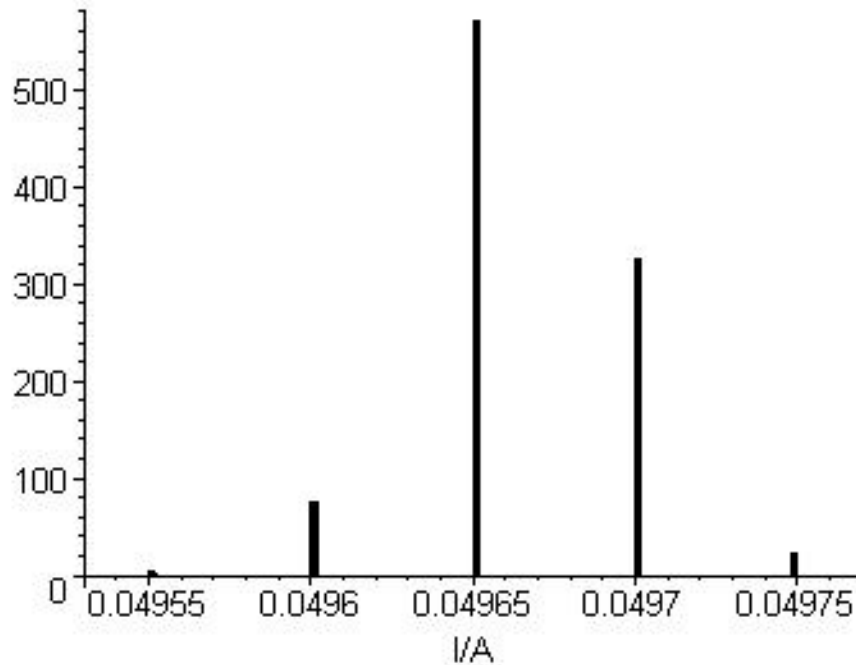
d.h. kleinste Skaleneinheit in dem Messbereich: $U_{\text{min}} = 5 \text{ mV}$

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

→ „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: $I_{\text{min}} = 0,05 \text{ mA}$

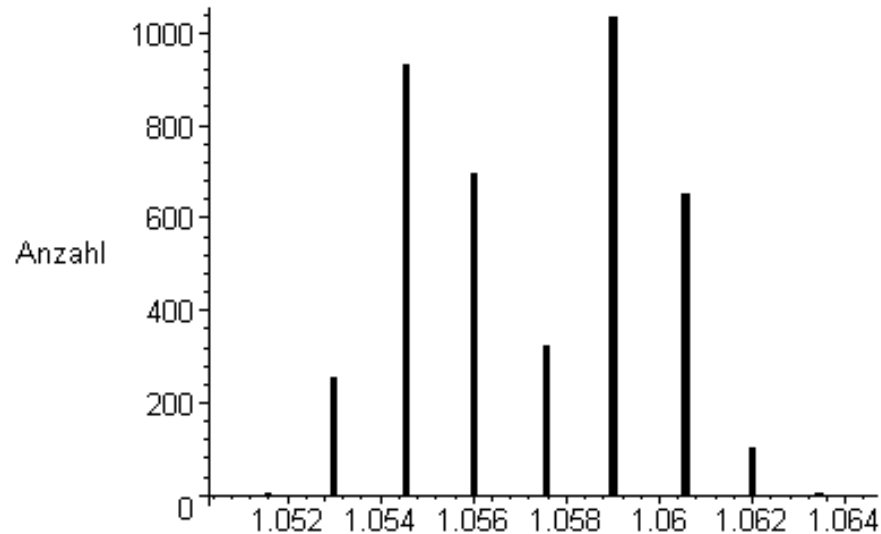
Annahme der Gleichverteilung: $I_{\text{min}}/\sqrt{12}$

→ „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

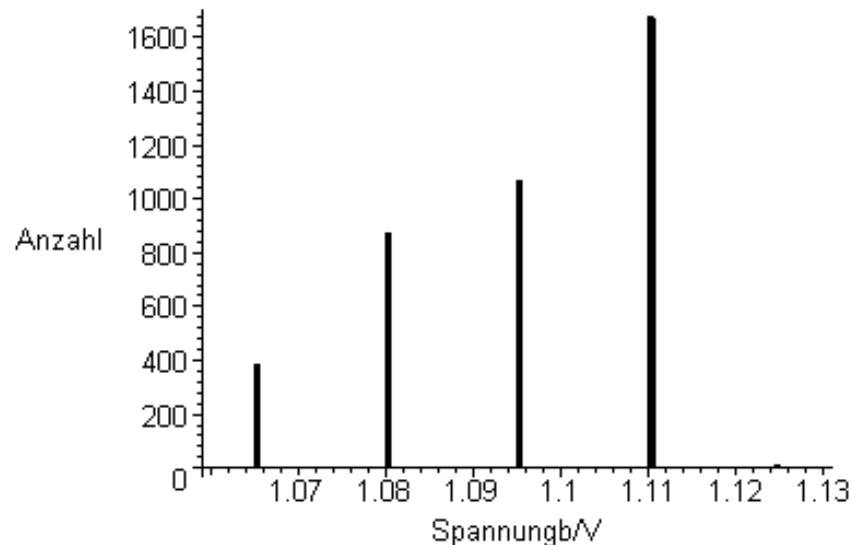
RMS = 2,5 mV

→ 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 $\pm 100V$

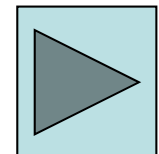
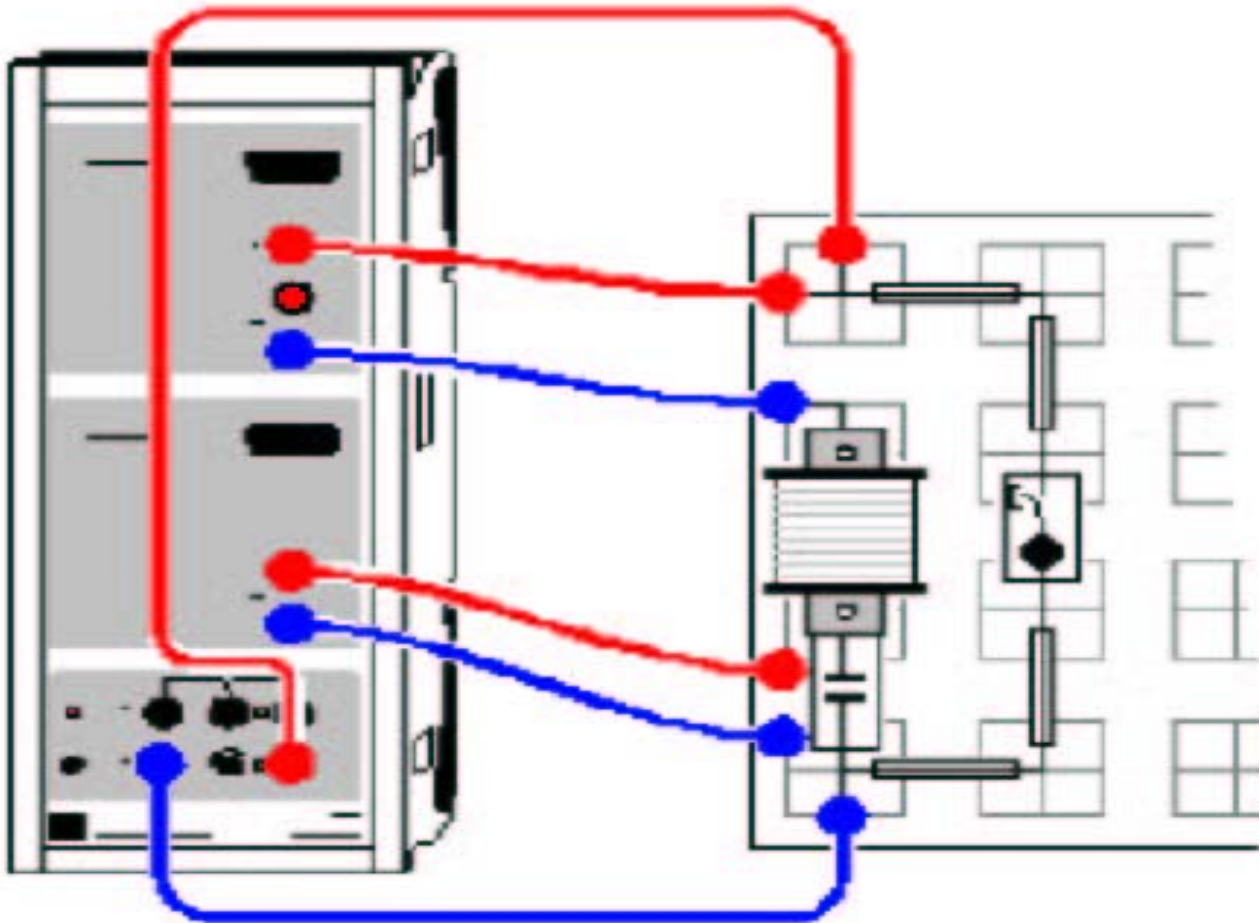
$$U_{sys} : (0,01 \cdot 2 + 0,005 \cdot 100) V = 0,52 V$$

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



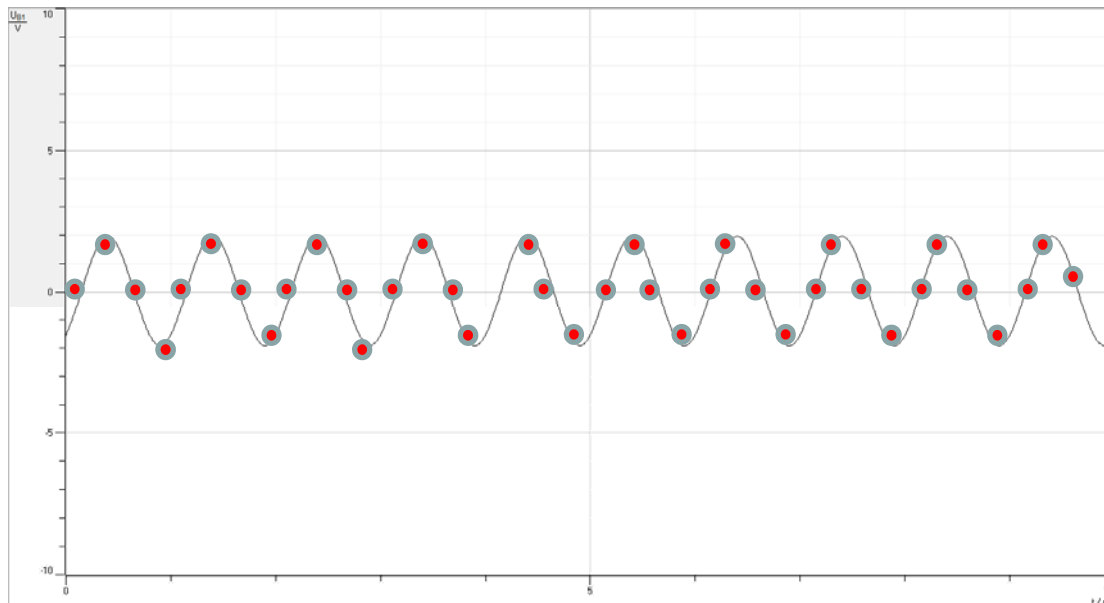
Signaldigitalisierung

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.

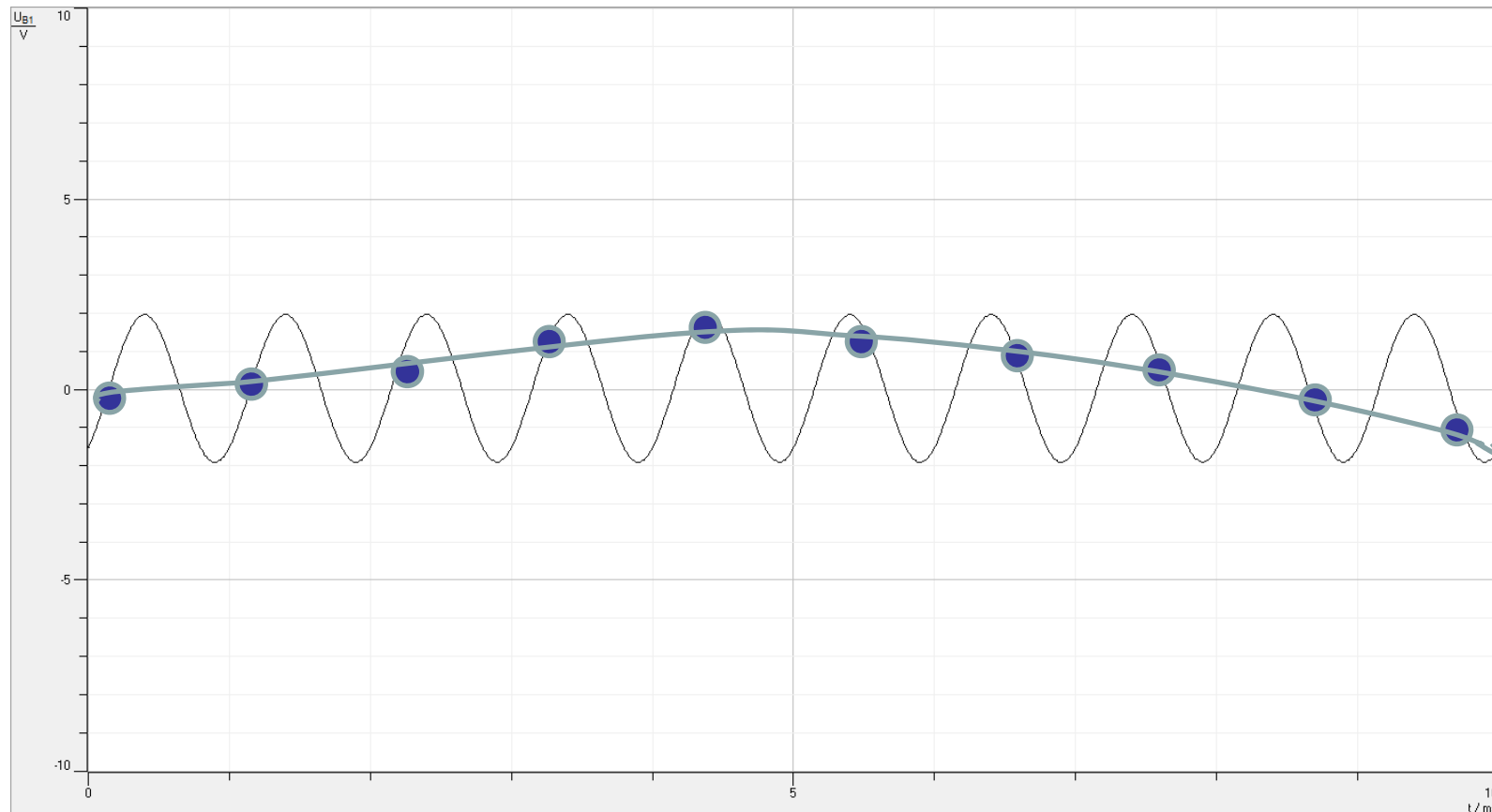
$$f_{\text{Abtastung}} > 2 \cdot f_{\text{Signal}}$$



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 maximale Frequenz / 2 vor
Gesamt-Messzeit gibt Abtastung vor

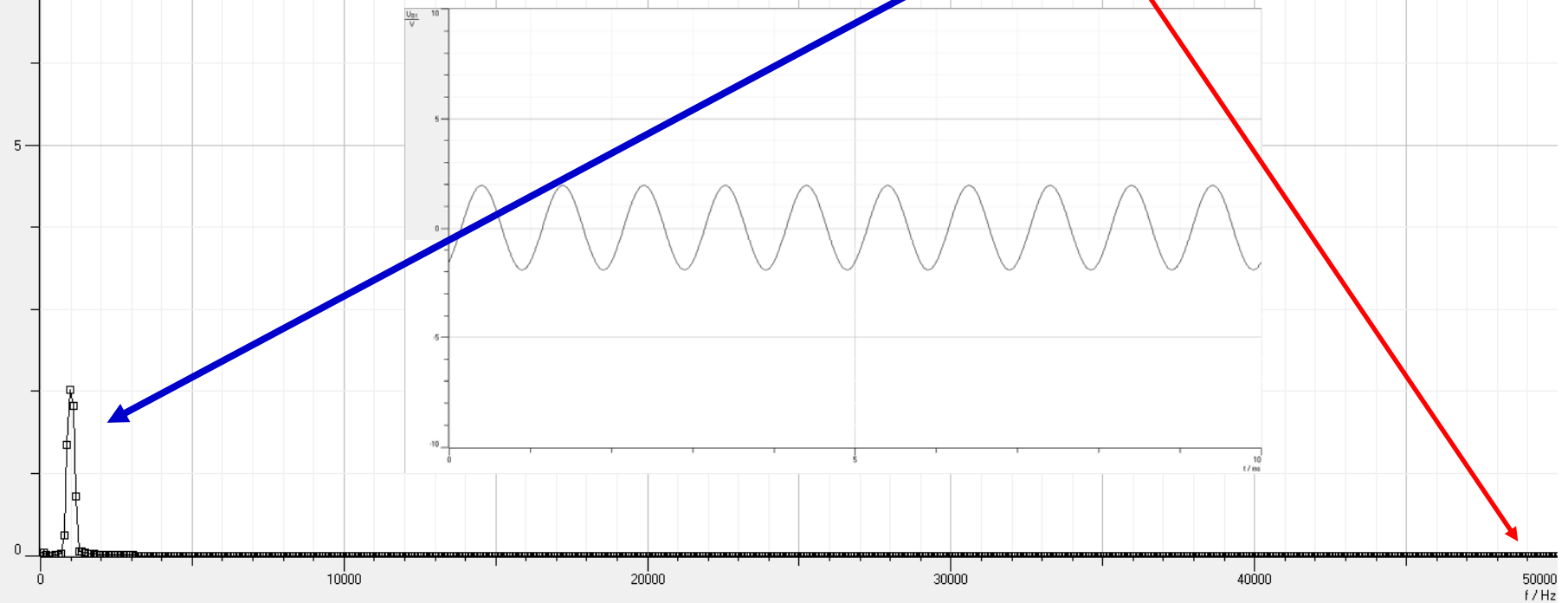
Messparameter

automatische Aufnahme
 manuelle Aufnahme
 neue Messreihe anhängen

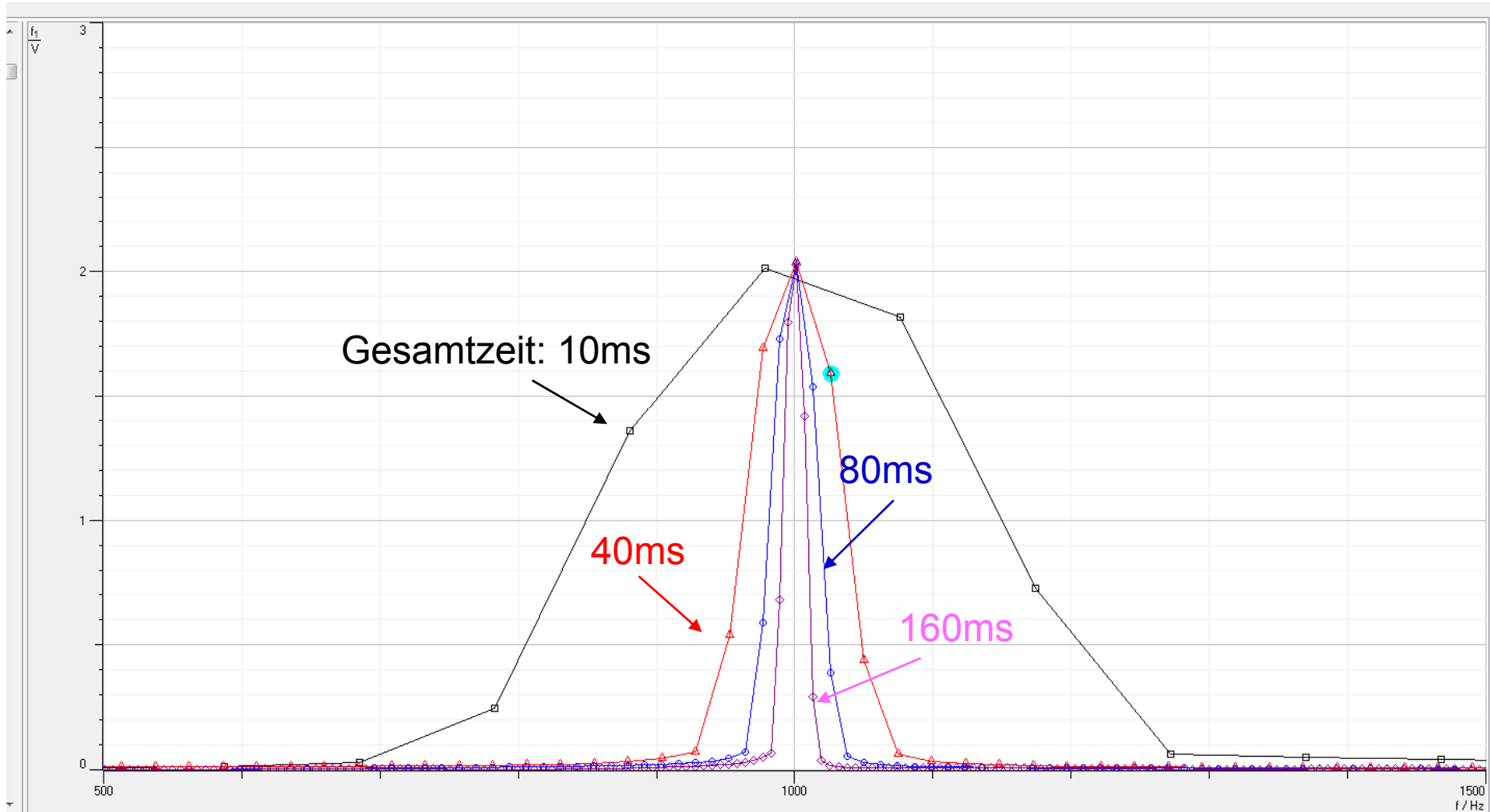
Intervall: 10 μ s
x Anzahl: 1000
= Messzeit: 10 ms

Trigger:
Messbedingung: 1
wiederholende Messung akustisches Signal

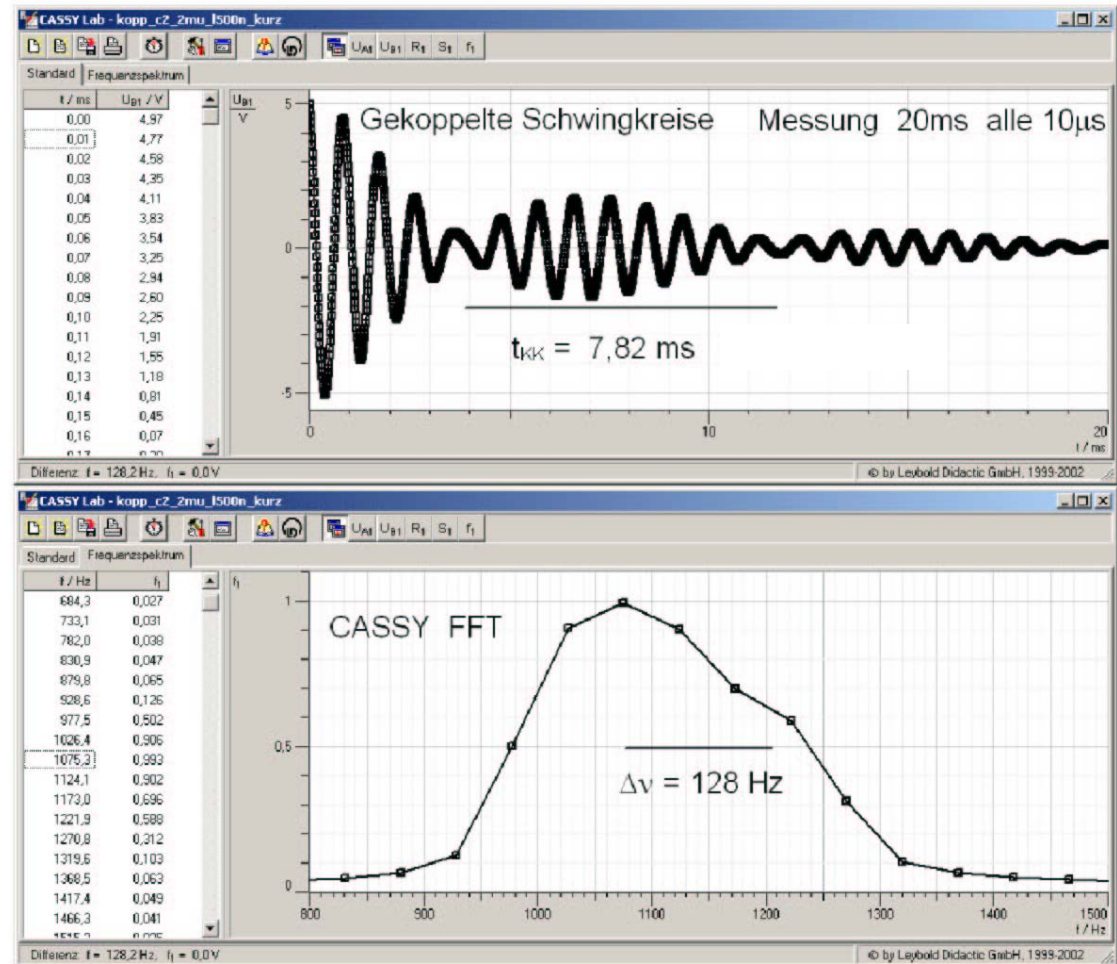
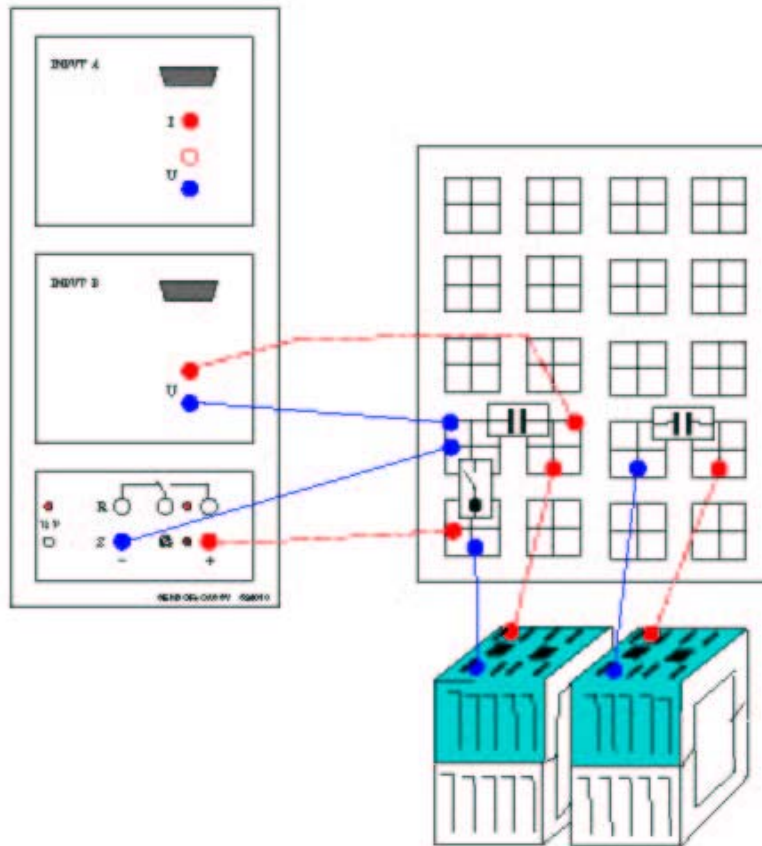
Schließen Hilfe



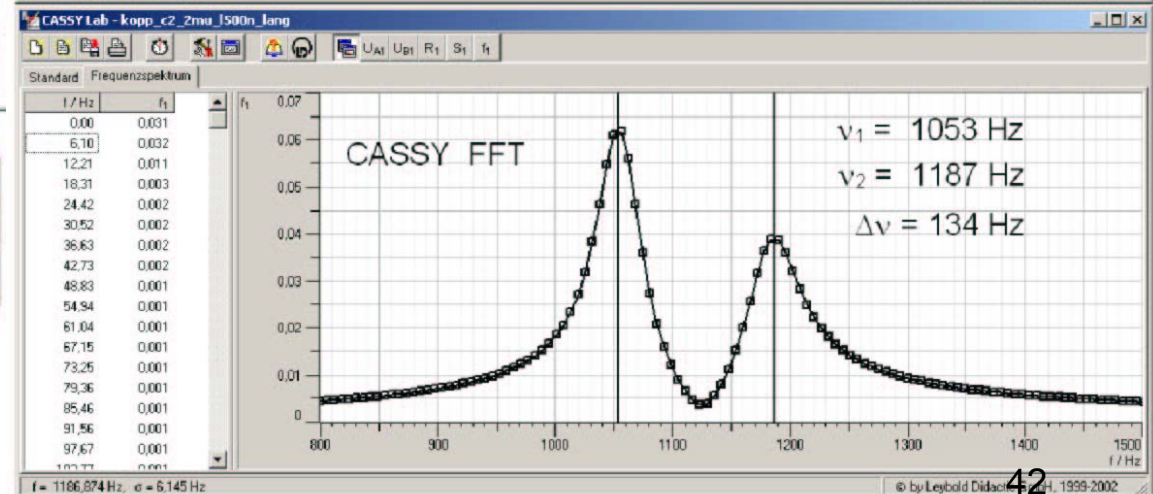
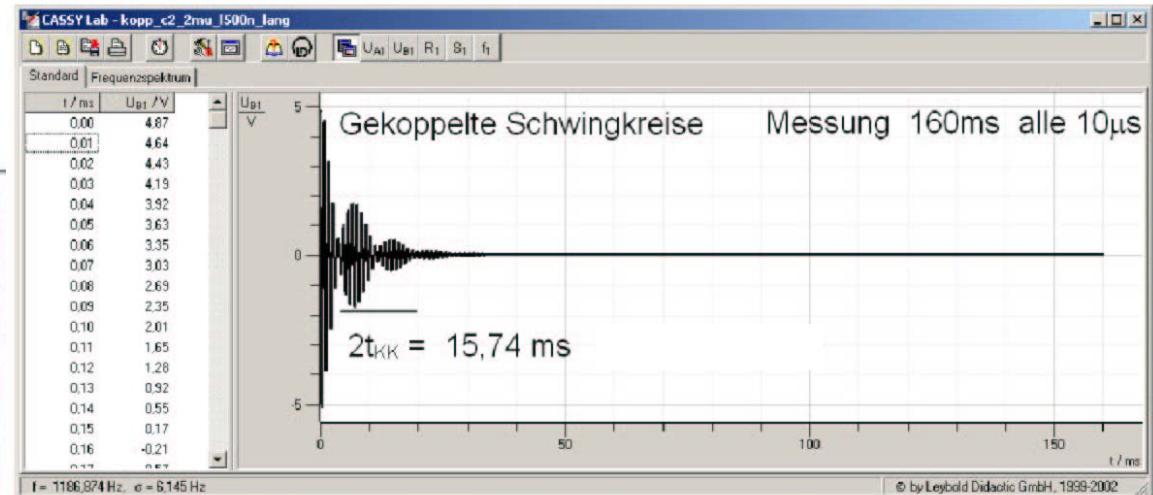
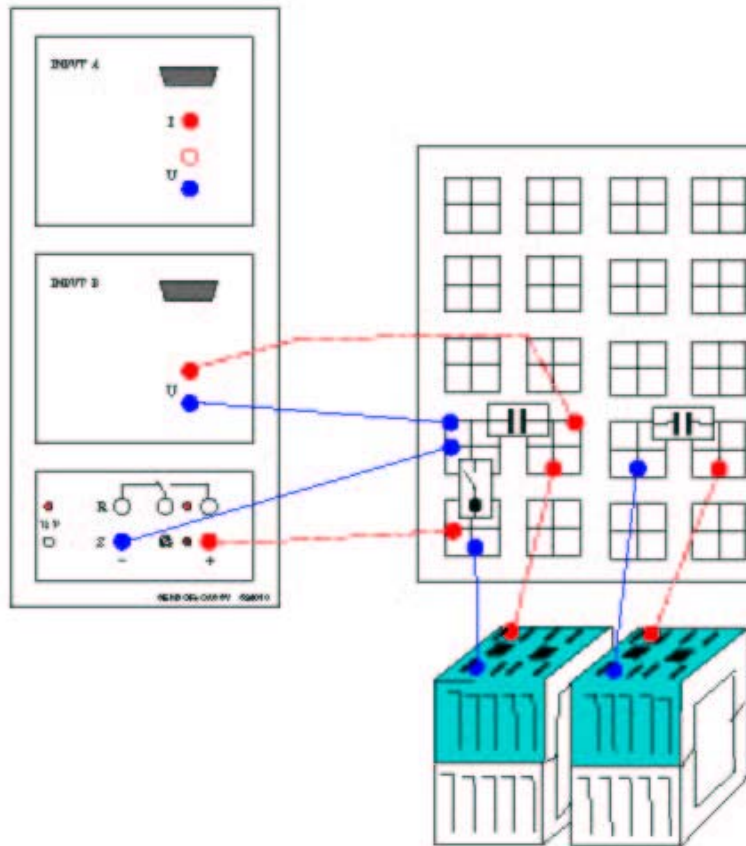
Frequenzbereich und Abtastung CASSY FFT



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 ✓

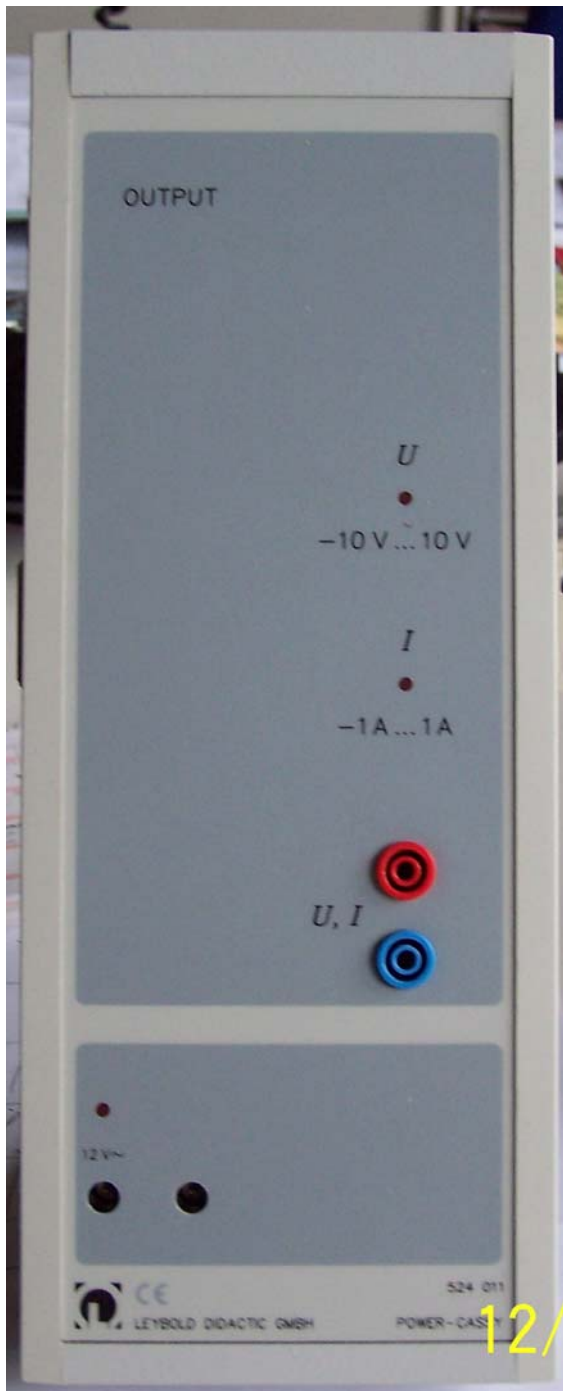
Power Cassy

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

Anschluß an serielle Schnitt-
stelle RS232 des PCs

Spannungsversorgung:

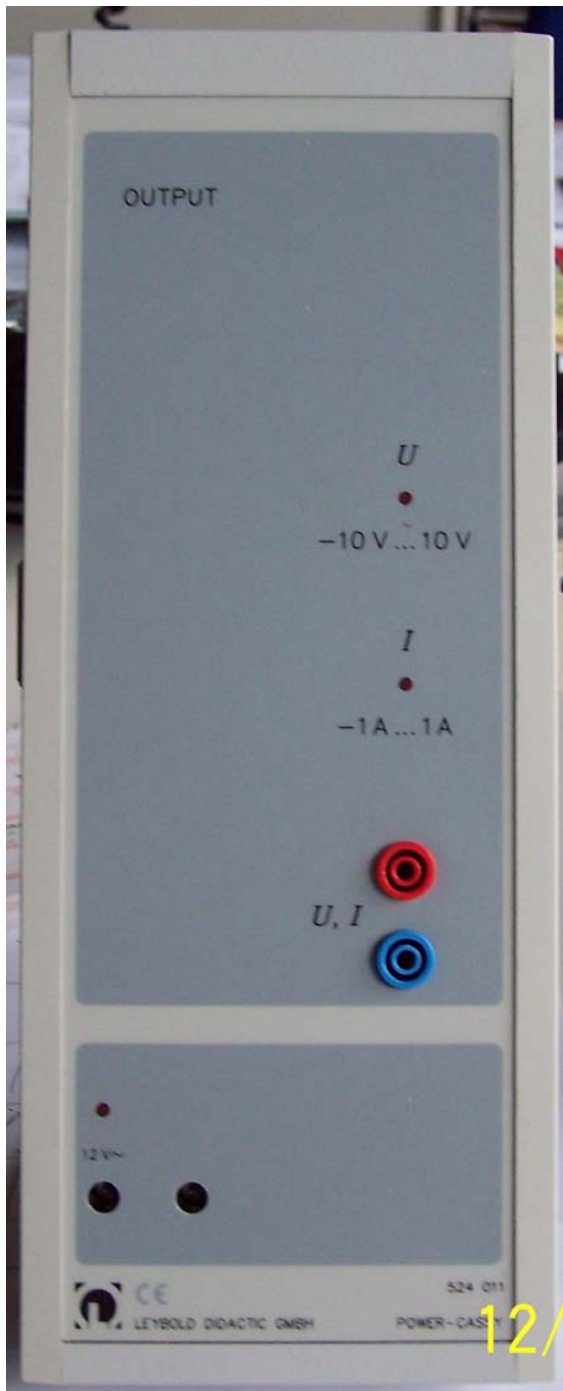
12V AC/DC über Hohlstecker oder
benachbartes Cassy-Modul



Power Cassy

Programmierbare Stromquelle mit gleichzeitiger Spannungsmessung:

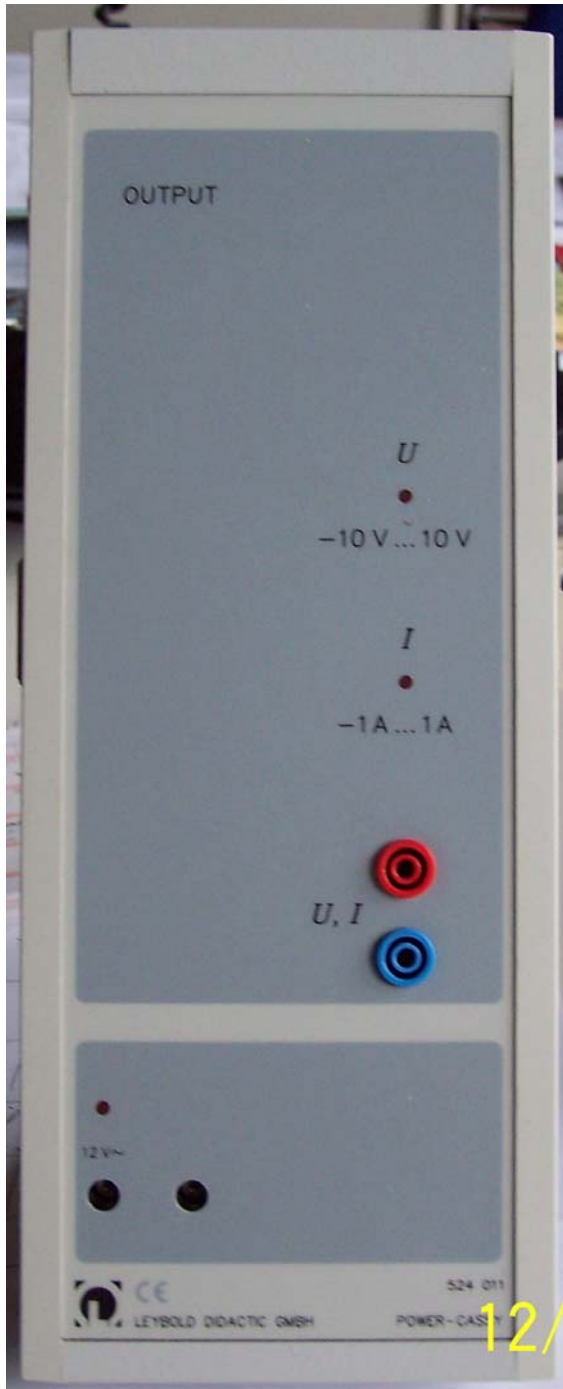
- Auflösung: 12 Bit
- Aussteuerbereich: $\pm 1 \text{ A}$
- Messbereiche: $\pm 1/3/10 \text{ V}$
- Abtastrate: max. 200.000 Werte/s
(=100.000 Werte/s Spannung und Strom)



Power Cassy

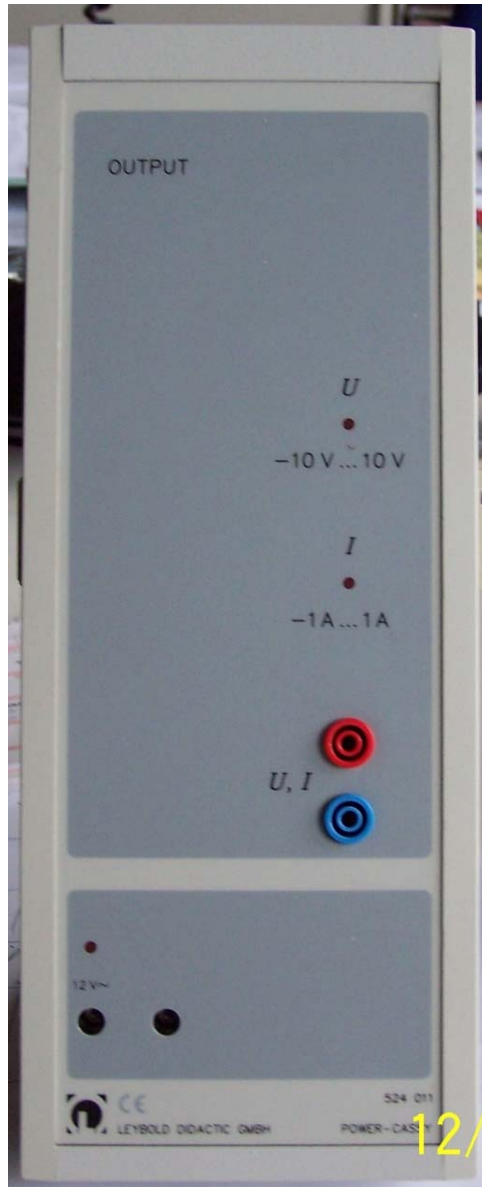
Programmierbare Spannungsquelle mit gleichzeitiger Strommessung:

- 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

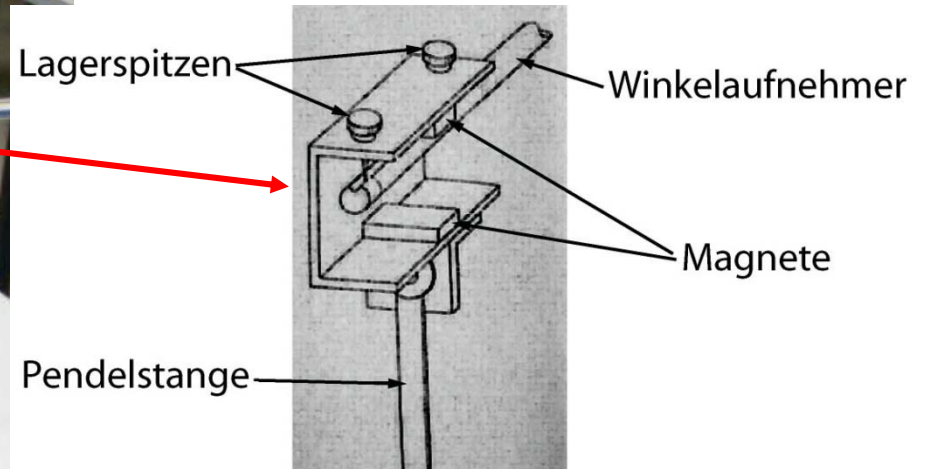
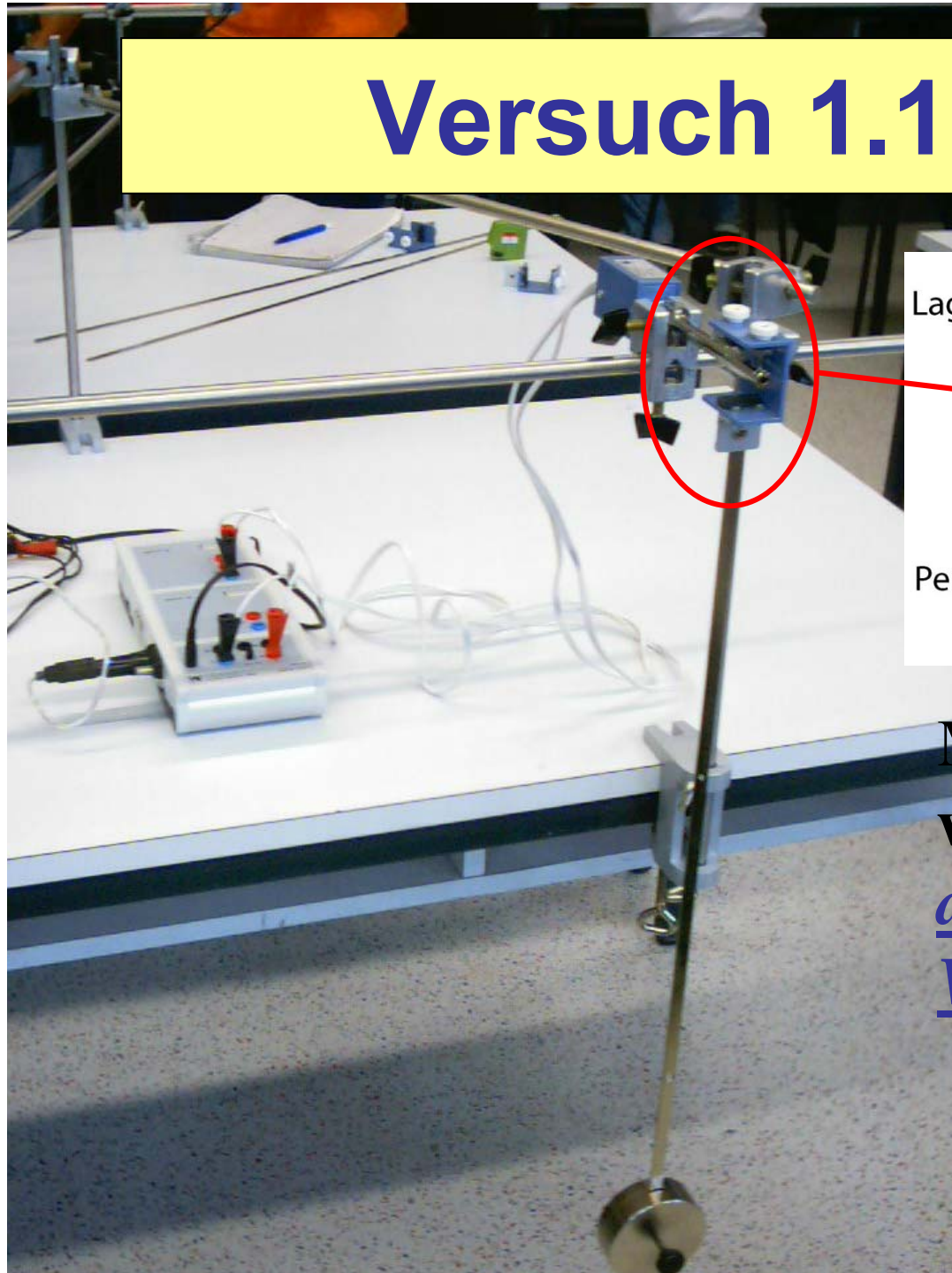


Power Cassy:
Sinusspannung mit
 $f = ?$ Hz

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 $\vec{v} \perp \vec{B} \rightarrow \vec{F}_B = q \cdot \vec{v} \times \vec{B}$

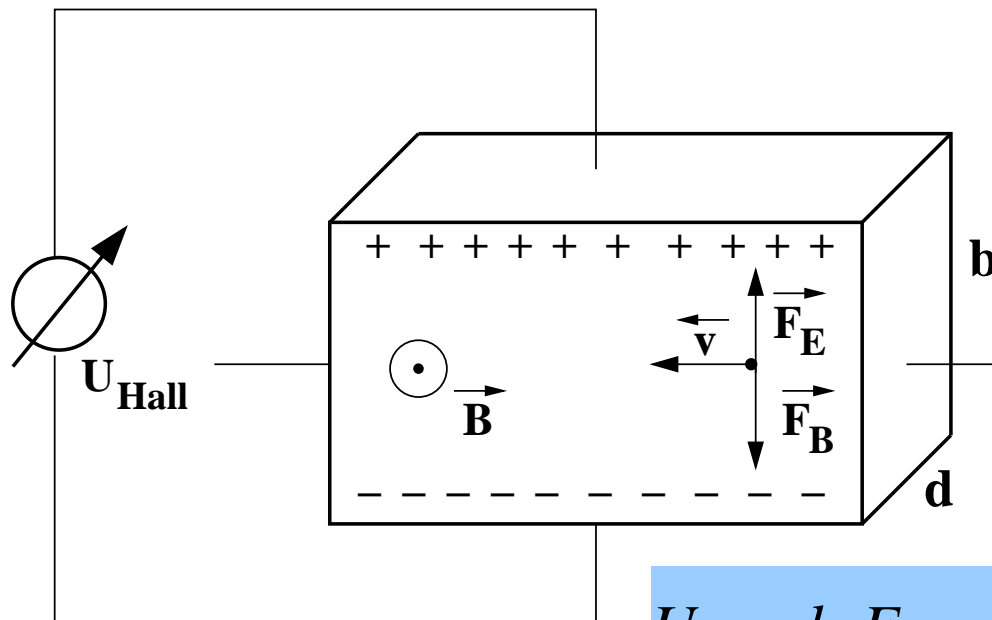
\rightarrow Ladungstrennung \rightarrow E-Feld: $\vec{E} \perp \vec{I}$ und $\vec{F}_E = q \cdot \vec{E}$

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

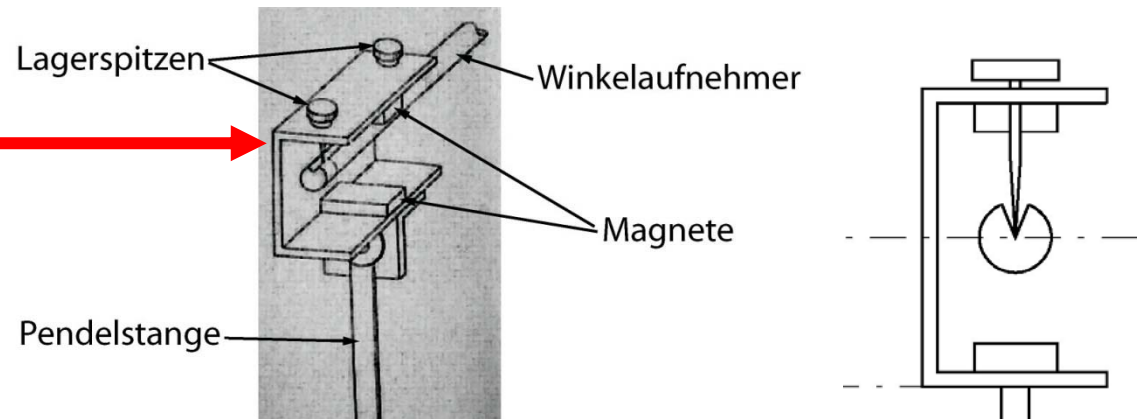
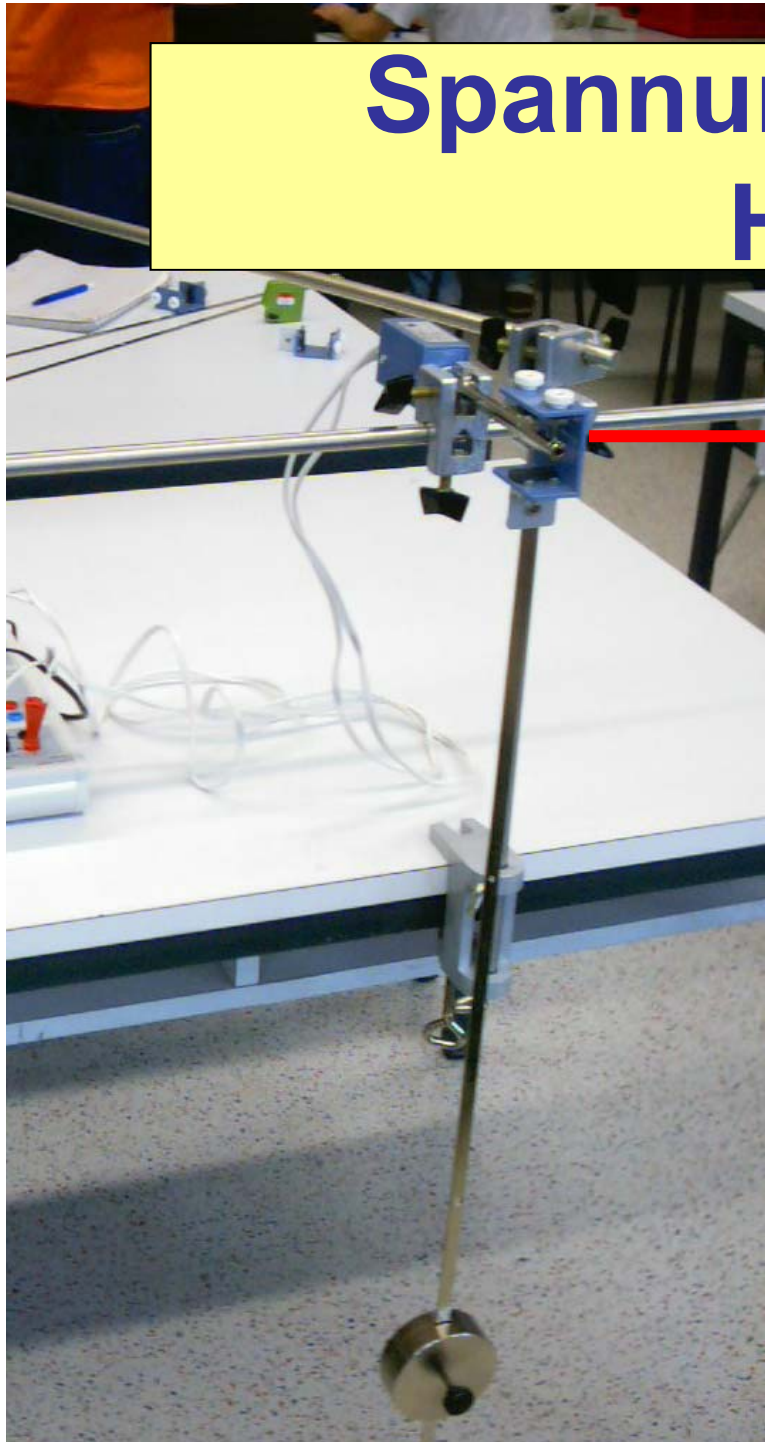
allgemein: $\vec{I} = q \cdot n \cdot A \cdot \vec{v}$

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

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



Spannungsmessung mit Hallsonde



Orientierung der Sonde \rightarrow Empfindlich

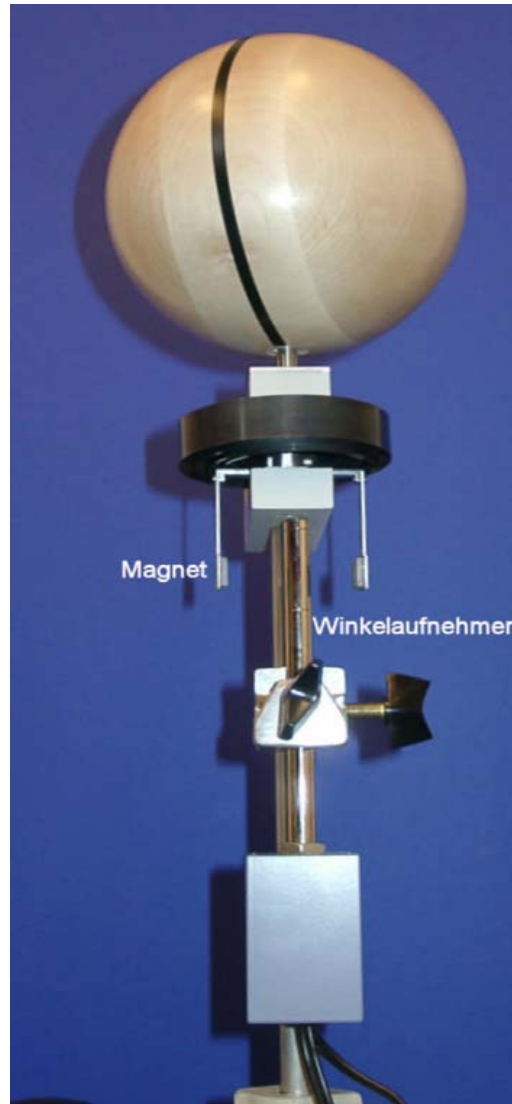
auf horizontale B-Komponente B_h

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:

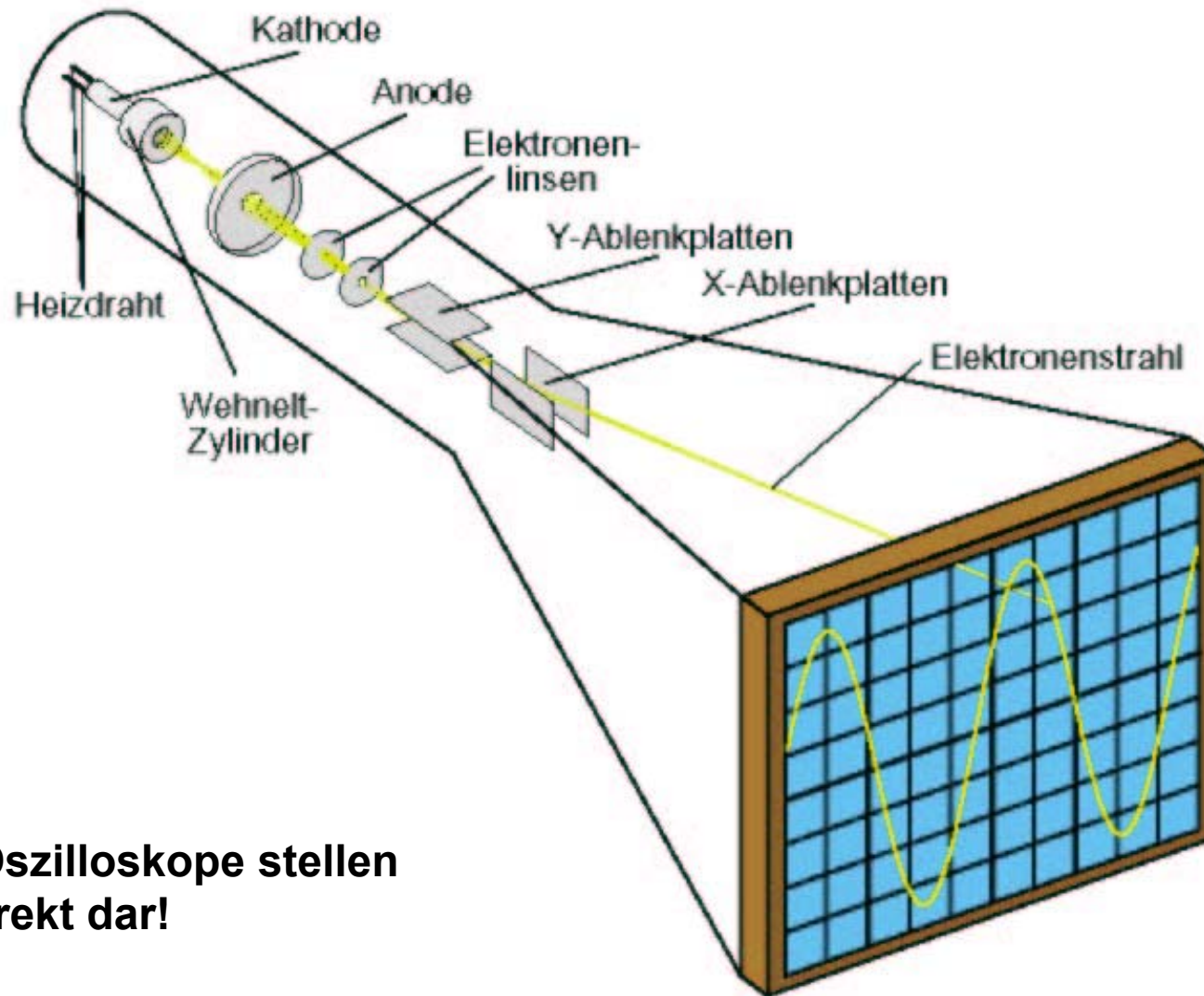
$-20\text{ °C} < T < +70\text{ °C}$: $0,2\text{ °C}$

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

Ansprechzeit:

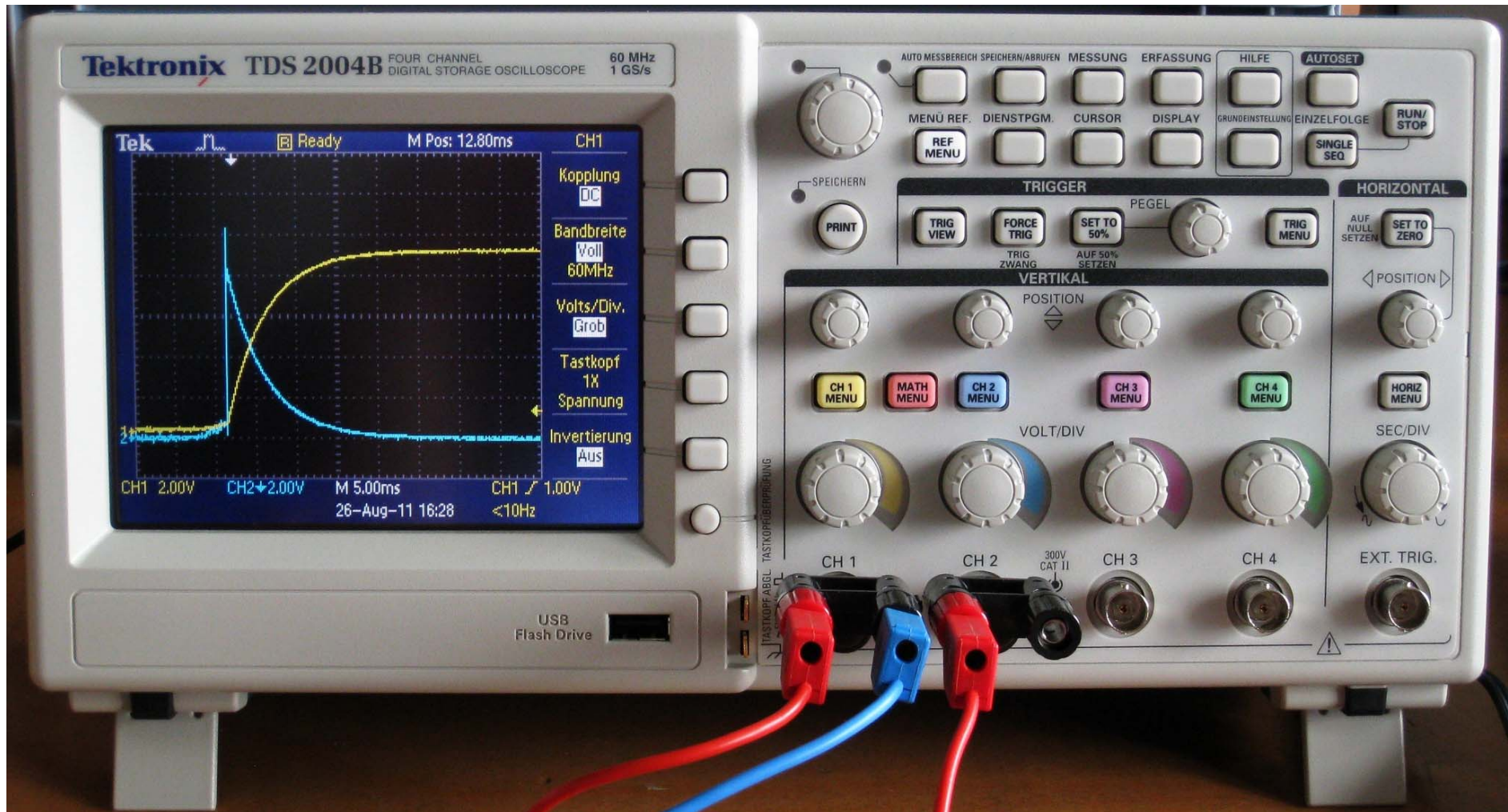
$>7\text{ s}$ in Flüssigkeiten

Oszilloskop (Braunsche Röhre)



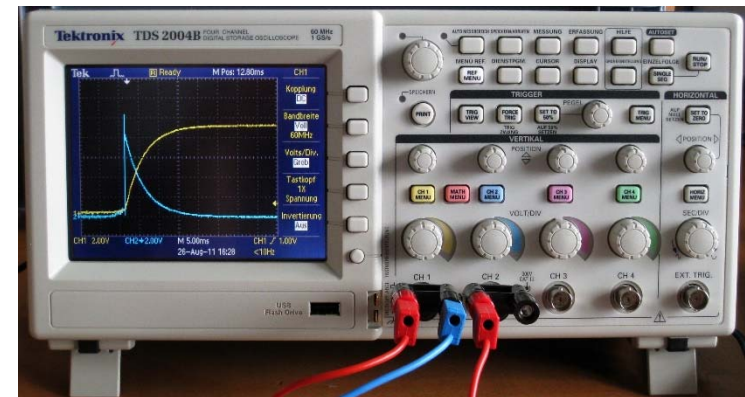
**Analoge Oszilloskope stellen
Signale direkt dar!**

Digital Oszilloskop



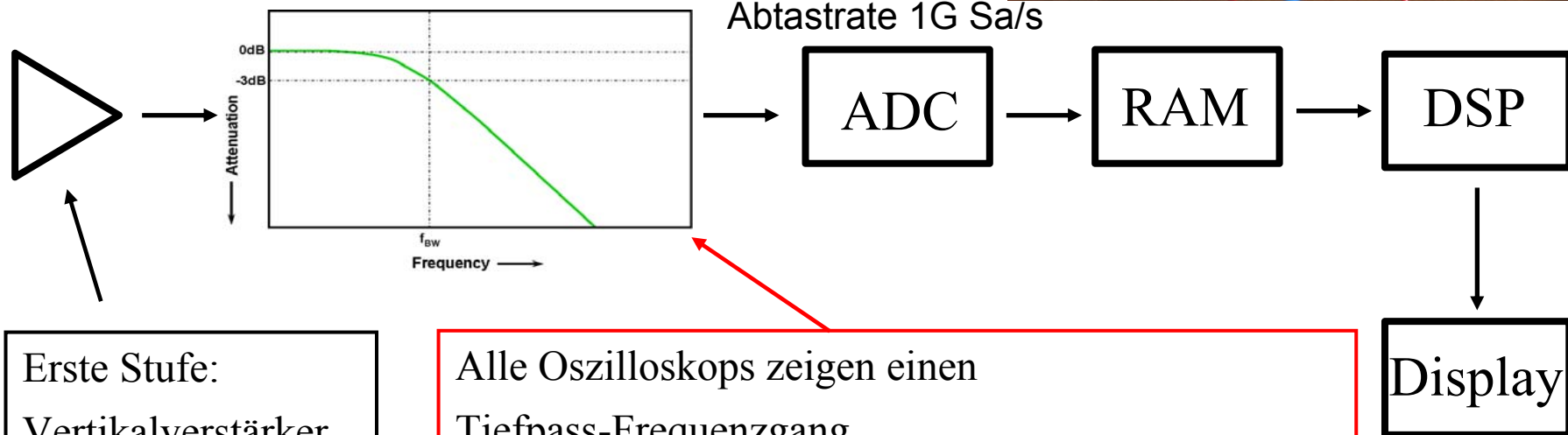
Digitale Oszilloskope tasten Signale ab und konstruieren Darstellungen!

Digital Oszilloskop: Funktionsprinzip



Bandbreite 60 MHz

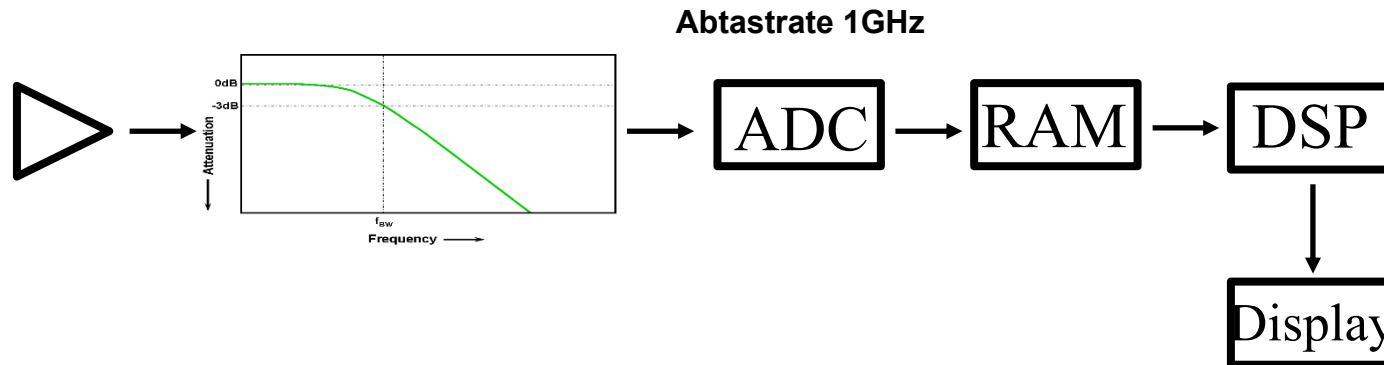
Abtastrate 1G Sa/s



Erste Stufe:
Vertikalverstärker
→ Amplitude und
Positionsbereich
einstellbar

Alle Oszilloskops 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)

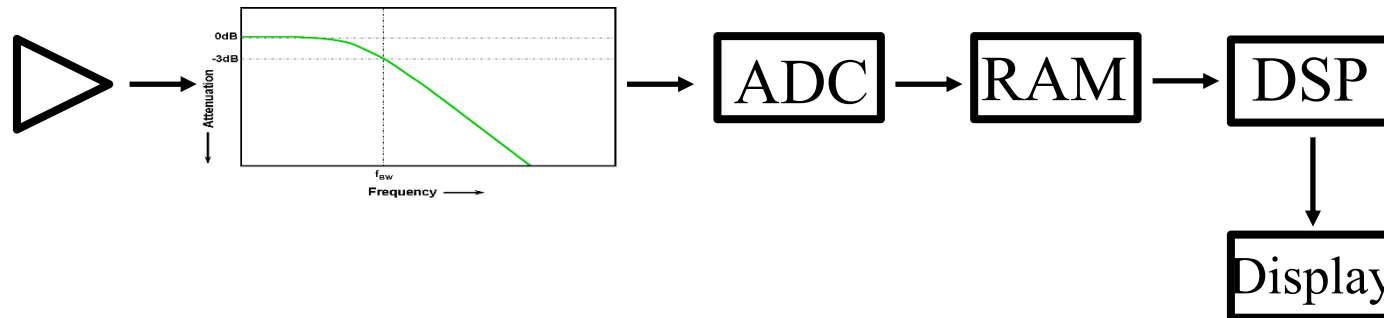
Abtastpunkte werden im Erfassungsspeicher als Signalpunkte gespeichert

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

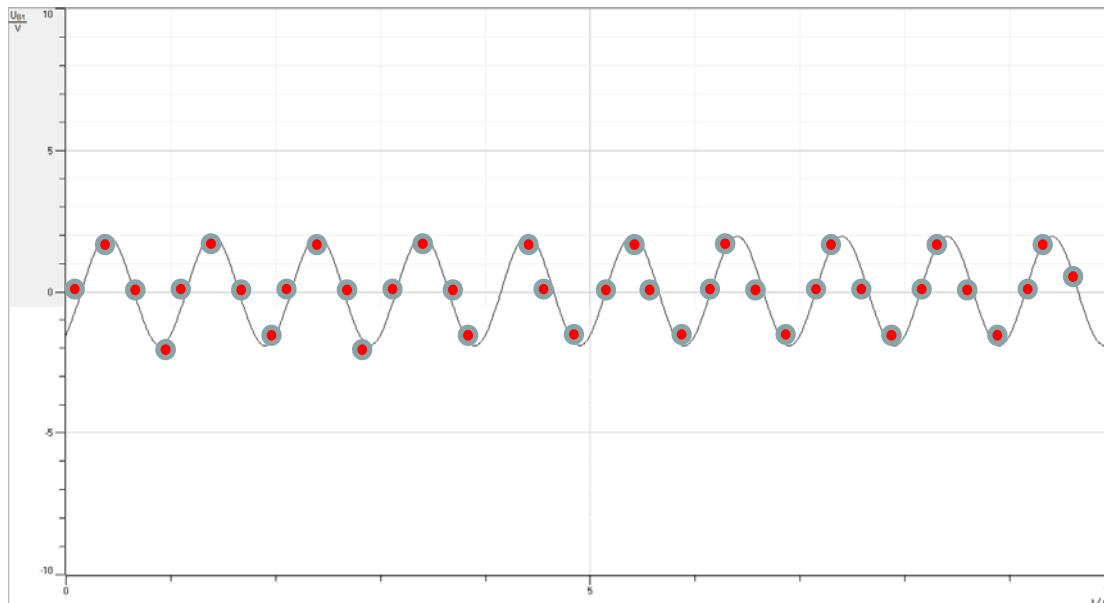
Signaldigitalisierung

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.

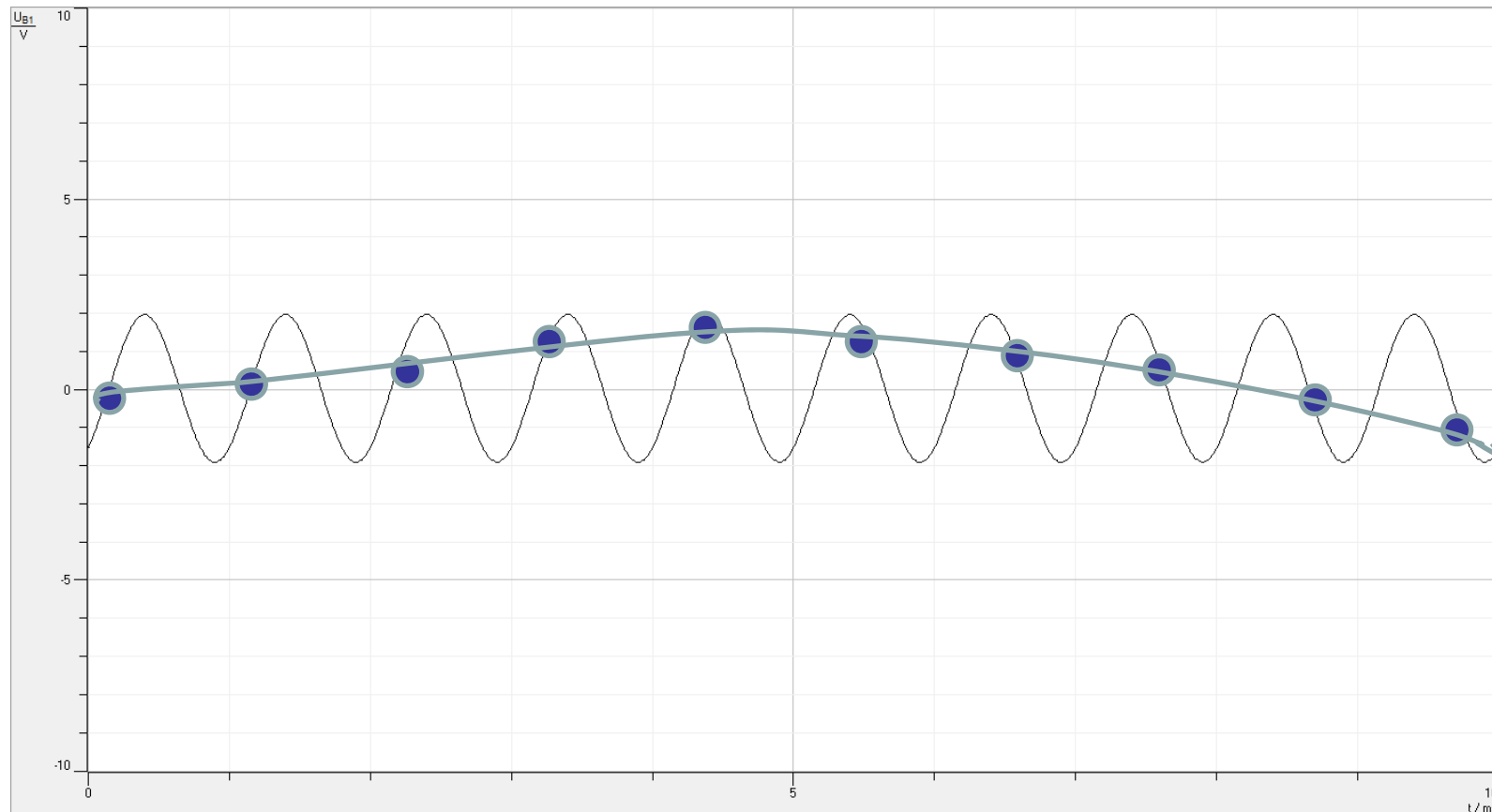
$$f_{\text{Abtastung}} > 2 \cdot f_{\text{Signal}}$$



Signaldigitalisierung

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

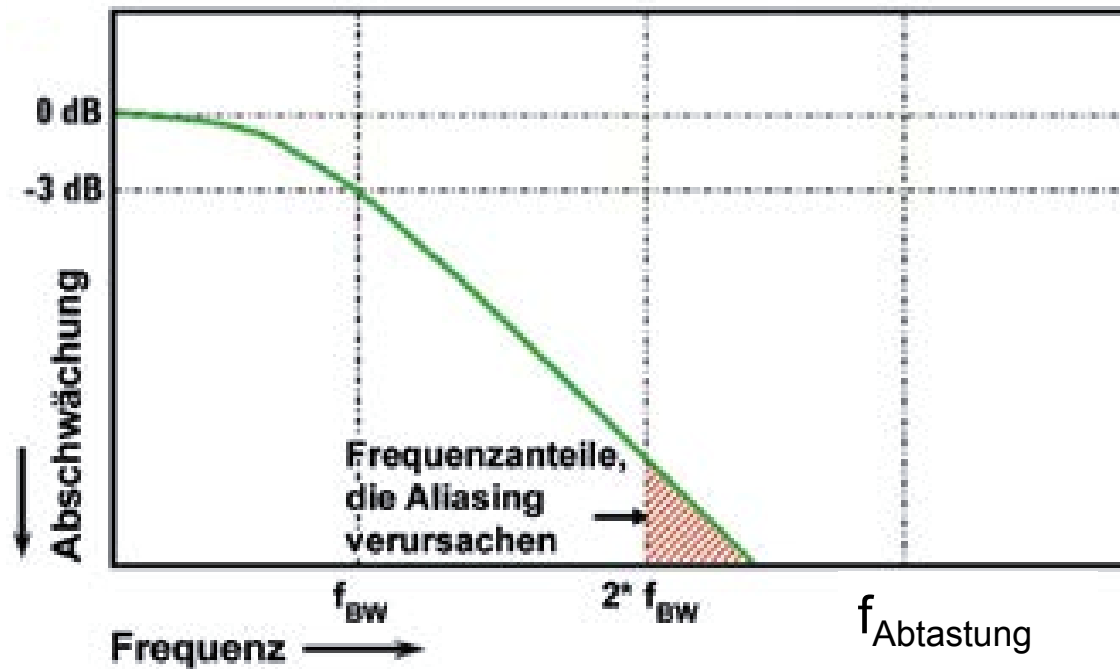
hier nicht erfüllt ($T_{\text{abtastung}} = T_{\text{signal}}$)



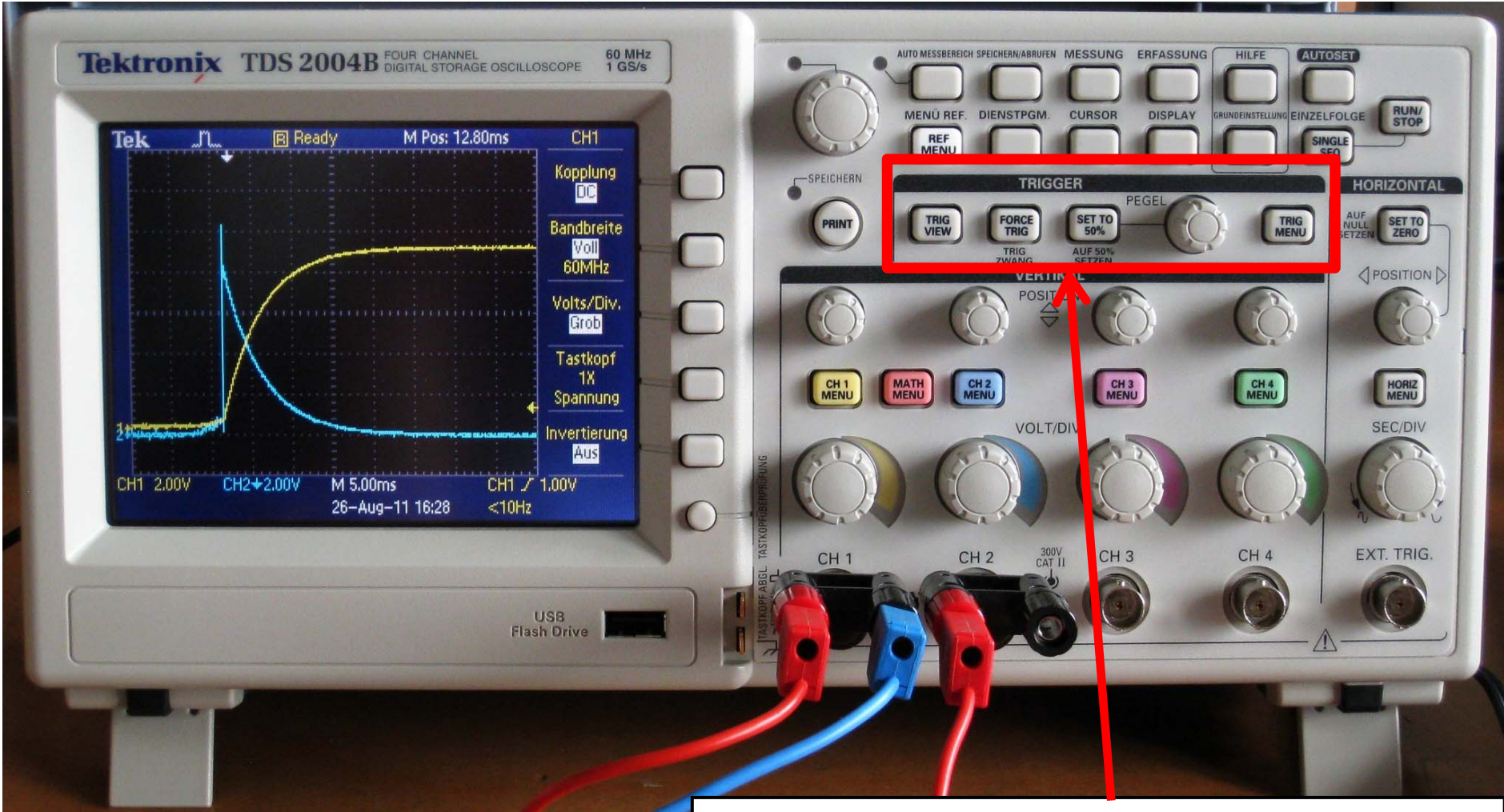
Signaldigitalisierung

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

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

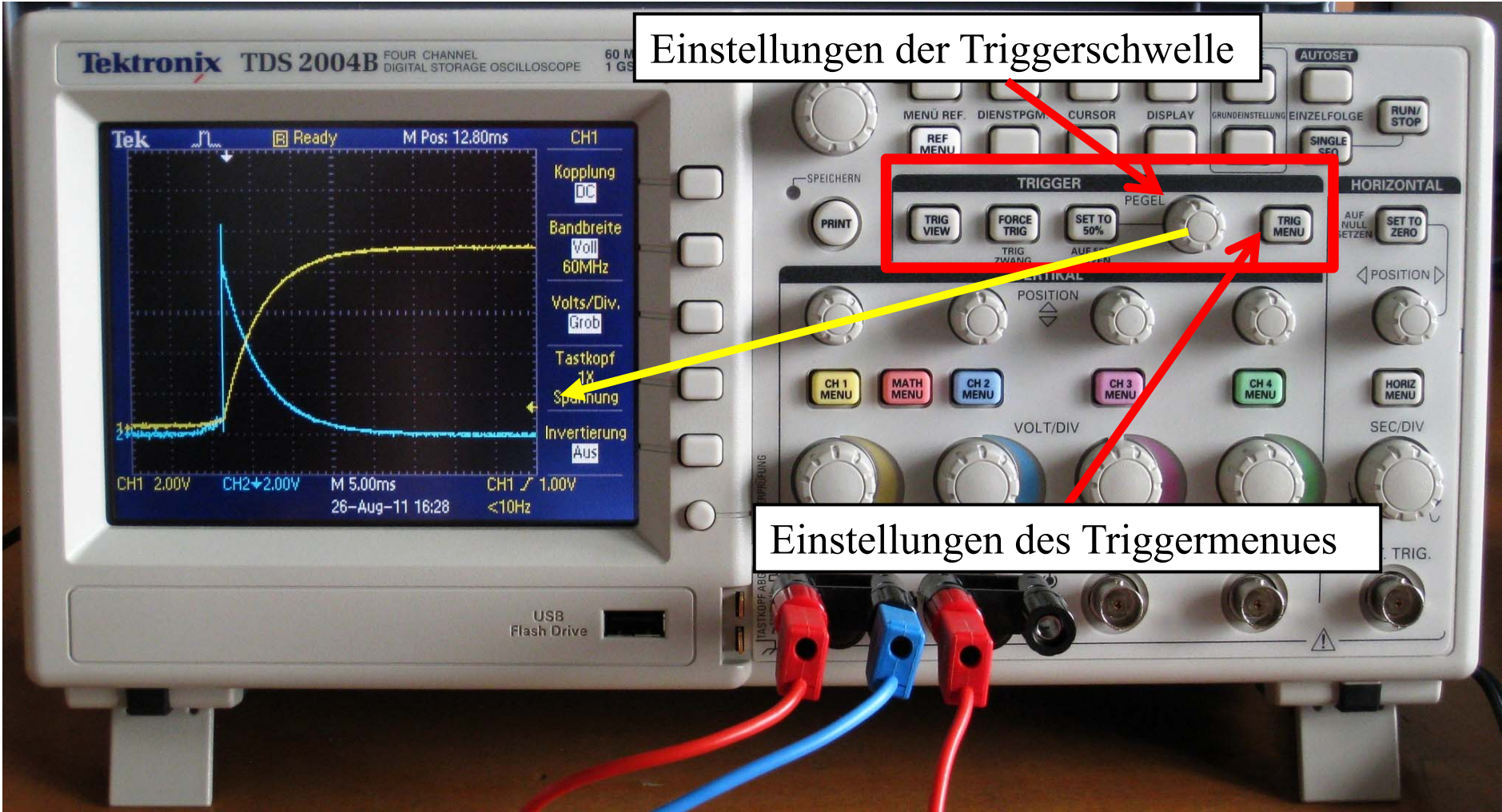


Digital Oszilloskop

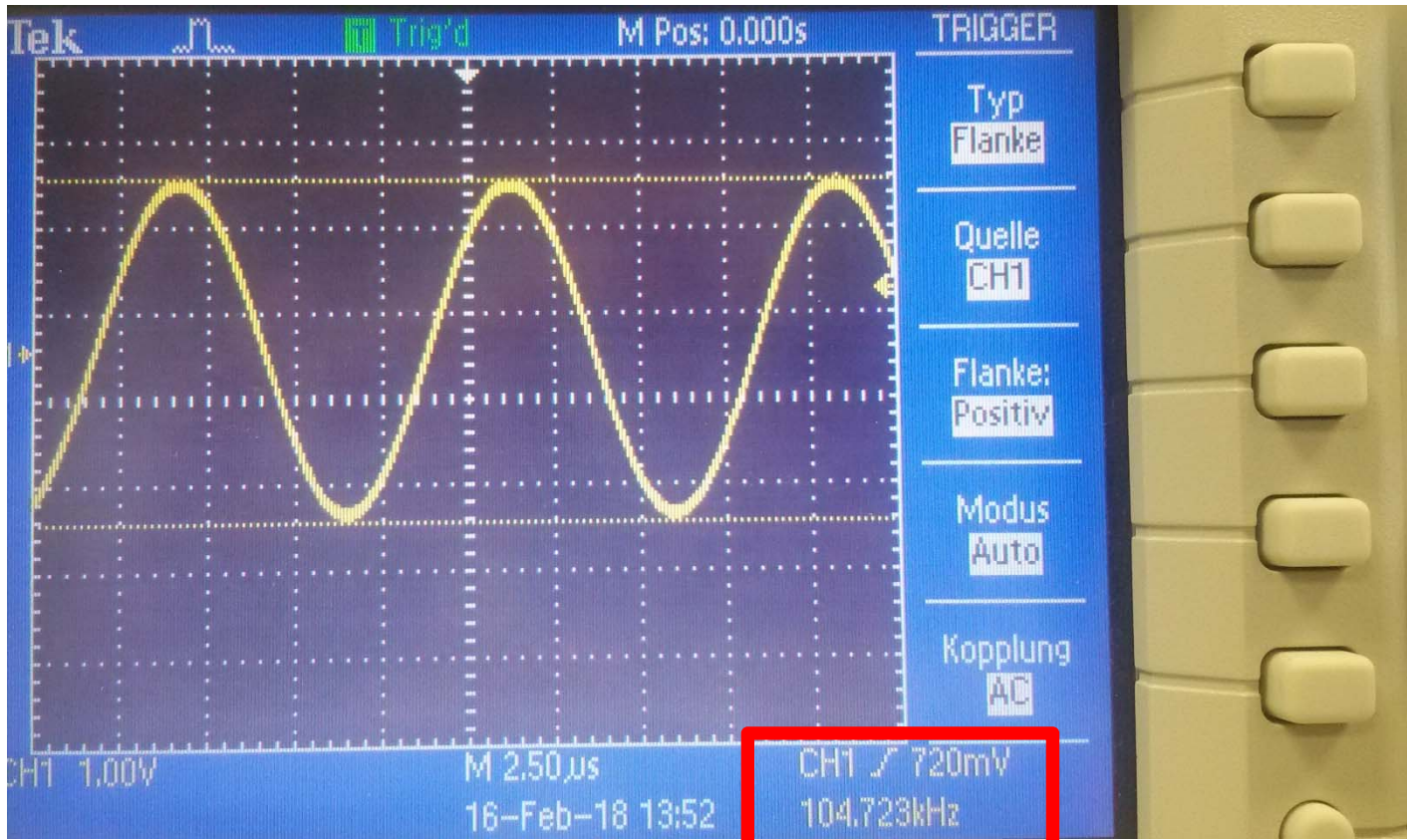


Einstellungen des Triggers, der steuert, wann ein Signal auf Display angezeigt werden soll

Digital Oszilloskop



Digital Oszilloskop



Triggermenü
Auswahl durch
seitliche Knöpfe

Weitere Informationen zum Triggersignal:

CH1: Anzeige der zur Triggerung verwendete Triggerquelle

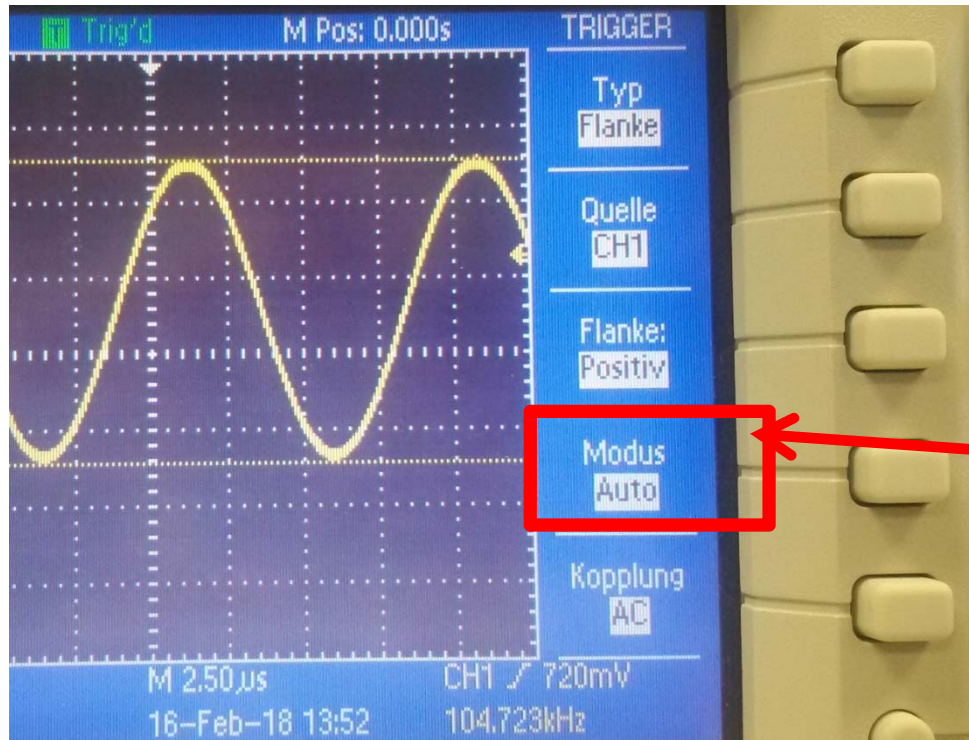
720 mV: Anzeige des Flankentriggerpegels

Symbol steht für jeweils ausgewählte Triggerart

Flankentrigger auf der steigenden Flanke.

Flankentrigger auf der fallenden Flanke. 63

Digital Oszilloskop



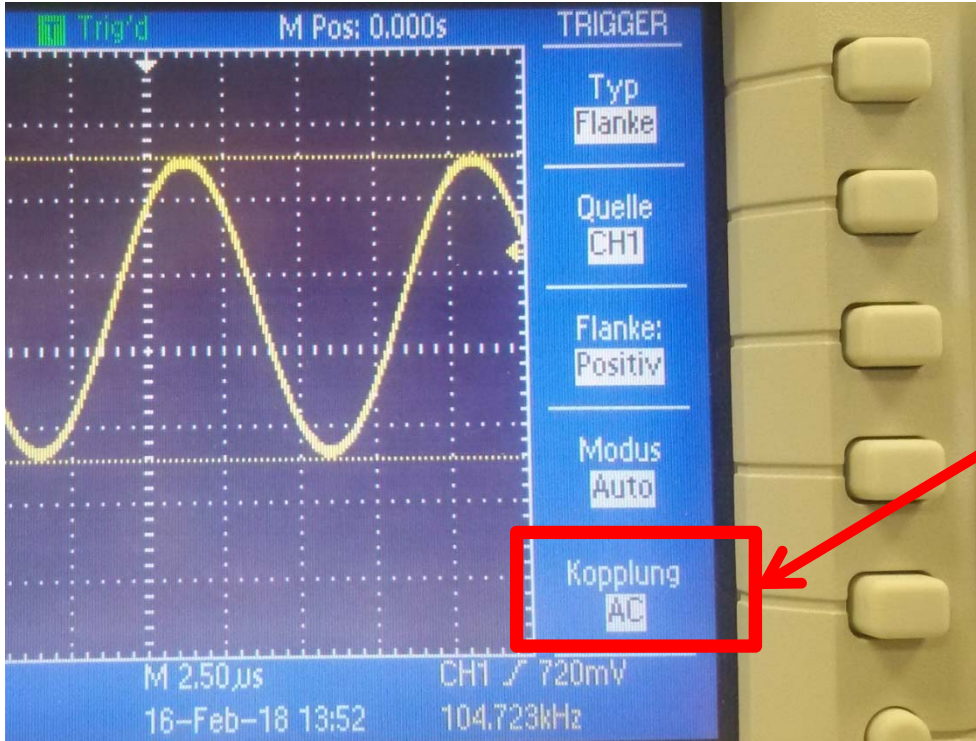
Modus:

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

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

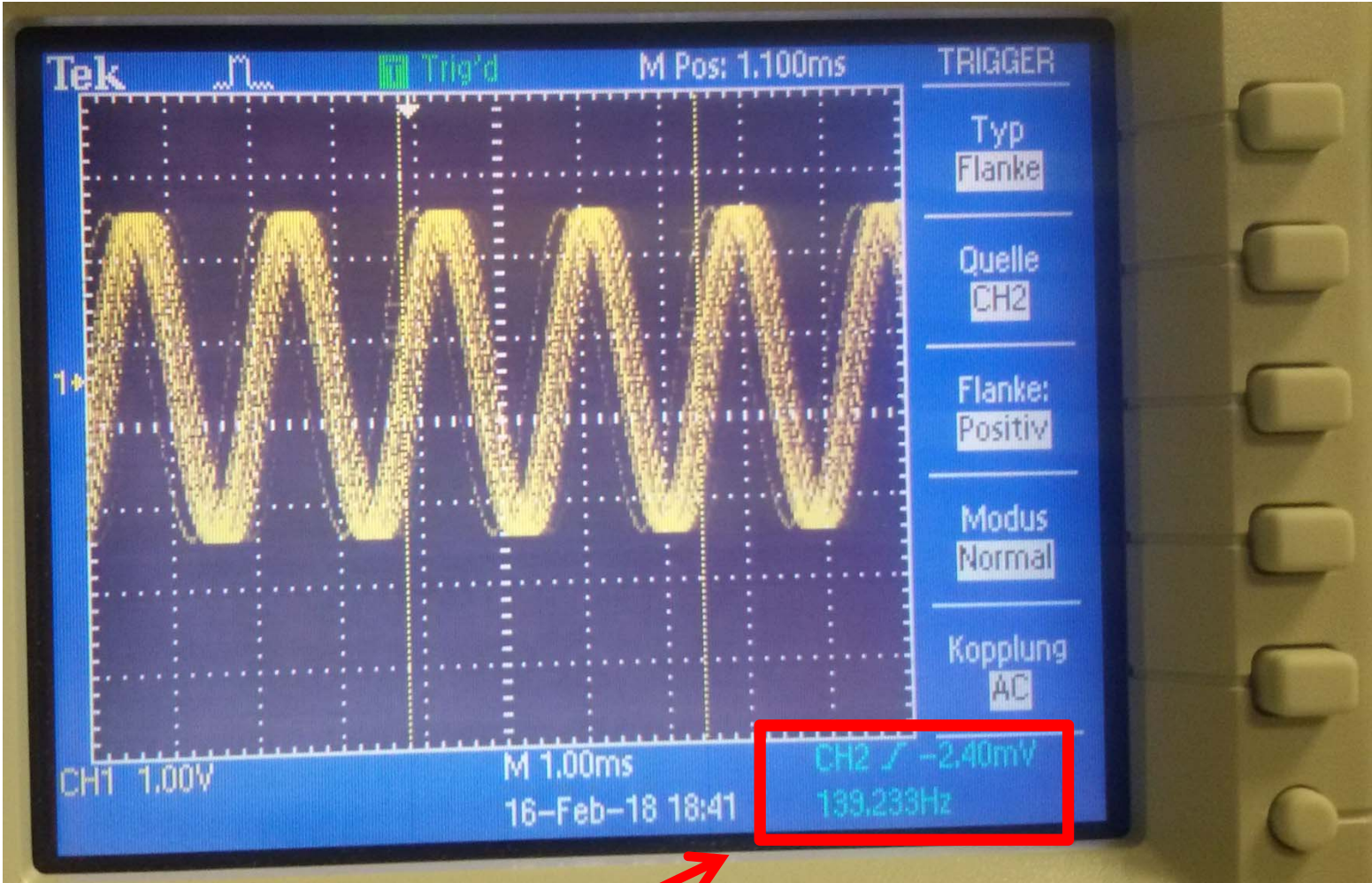
Auto: Ablenkung wird regelmäßig ausgelöst, wenn Elektronenstrahl eine volle Auslenkung über den Schirm beendet hat und zum linken Rand zurückgekehrt ist; außer es tritt vorher ein Triggerereignis ein: dann beginnt die Auslenkung sofort. Auf diese Weise bleibt der Elektronenstrahl auch dann sichtbar,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

Digital Oszilloskop



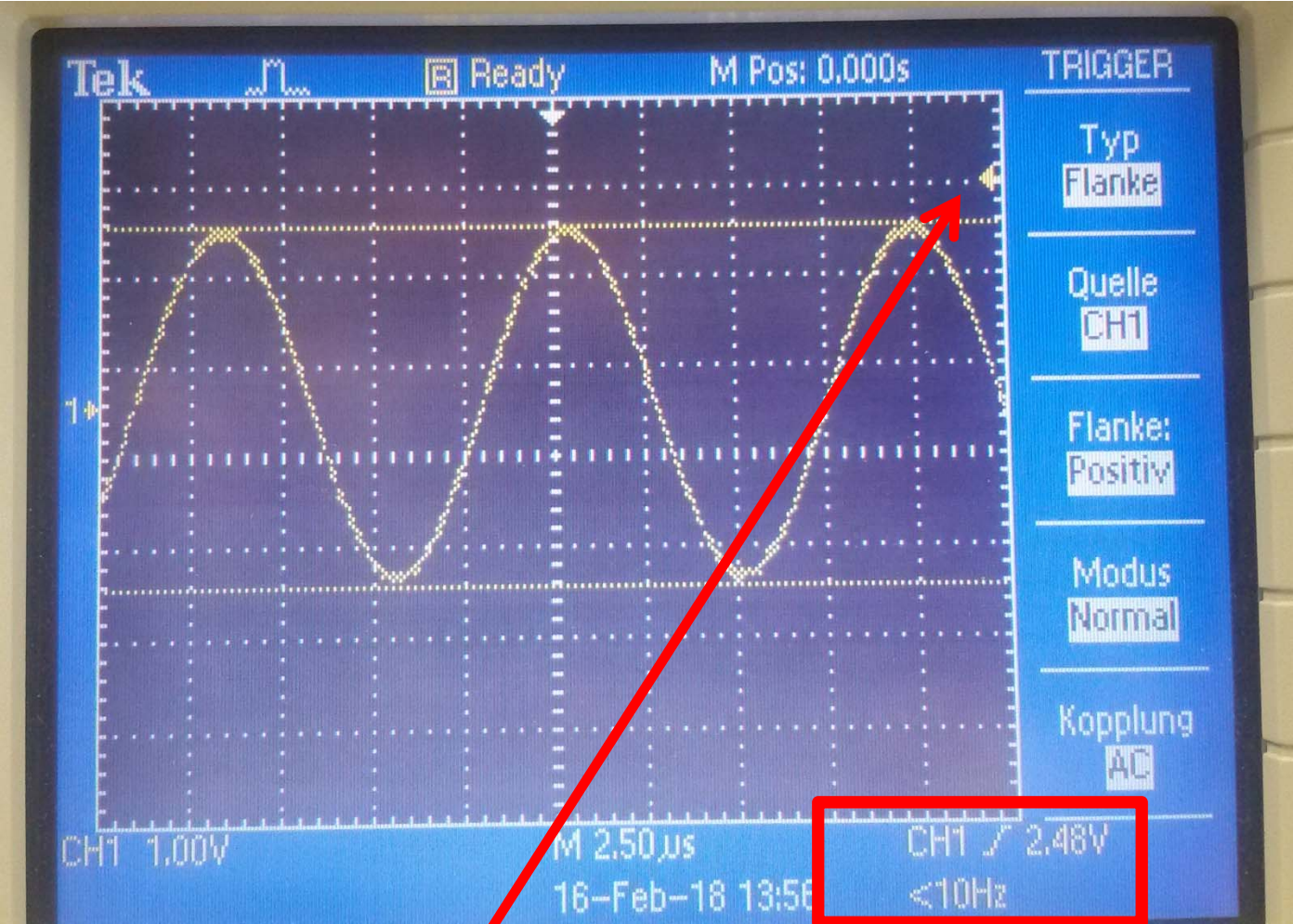
Kopplung:
DC, AC, Hoch- oder Tiefpassfilter etc.

Digital Oszilloskop



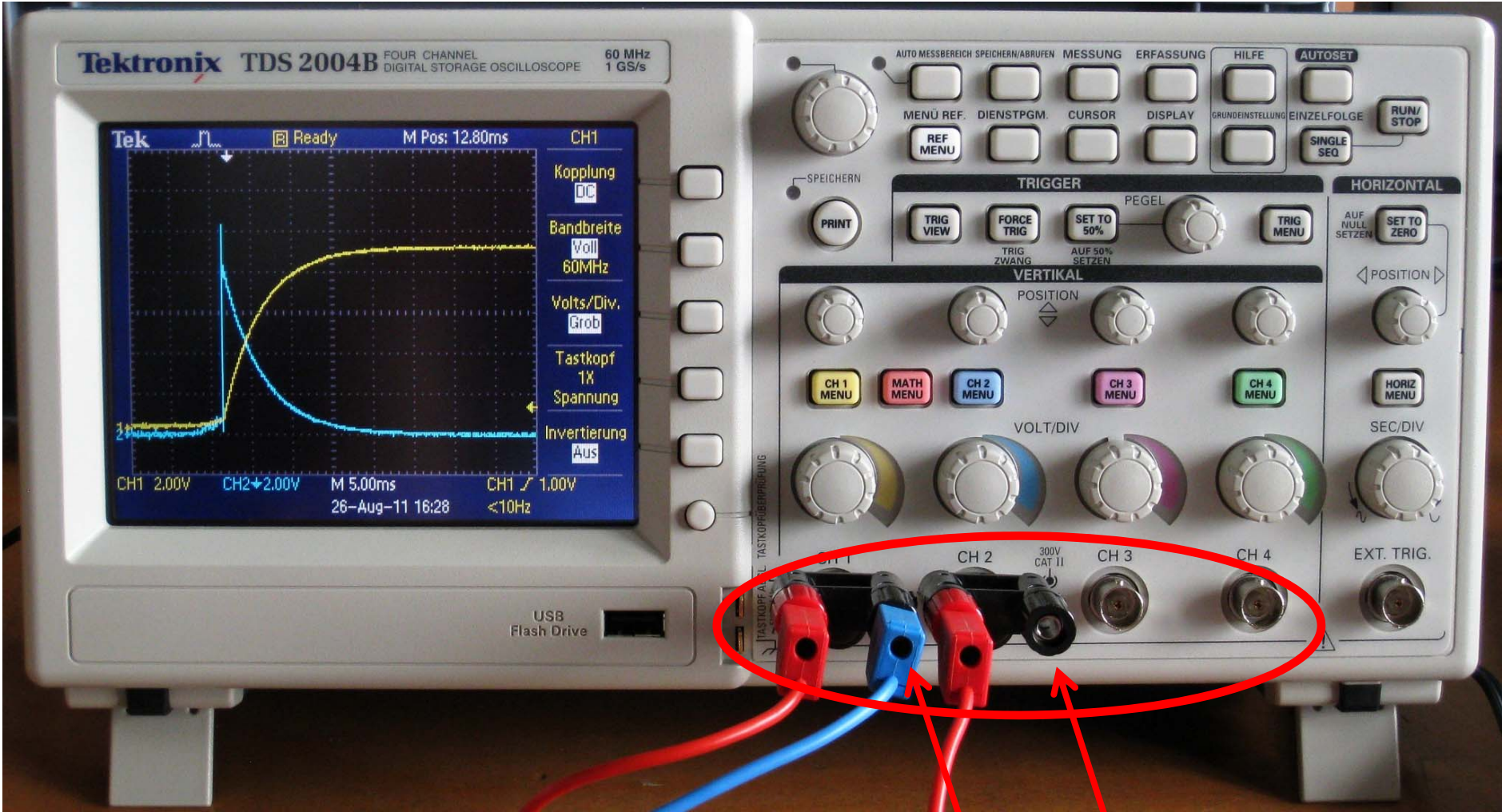
Unscharfe Signale bzw. „durchlaufende“ Signale:
z.B. durch falsch gesetzten CH als Triggerquelle

Digital Oszilloskop



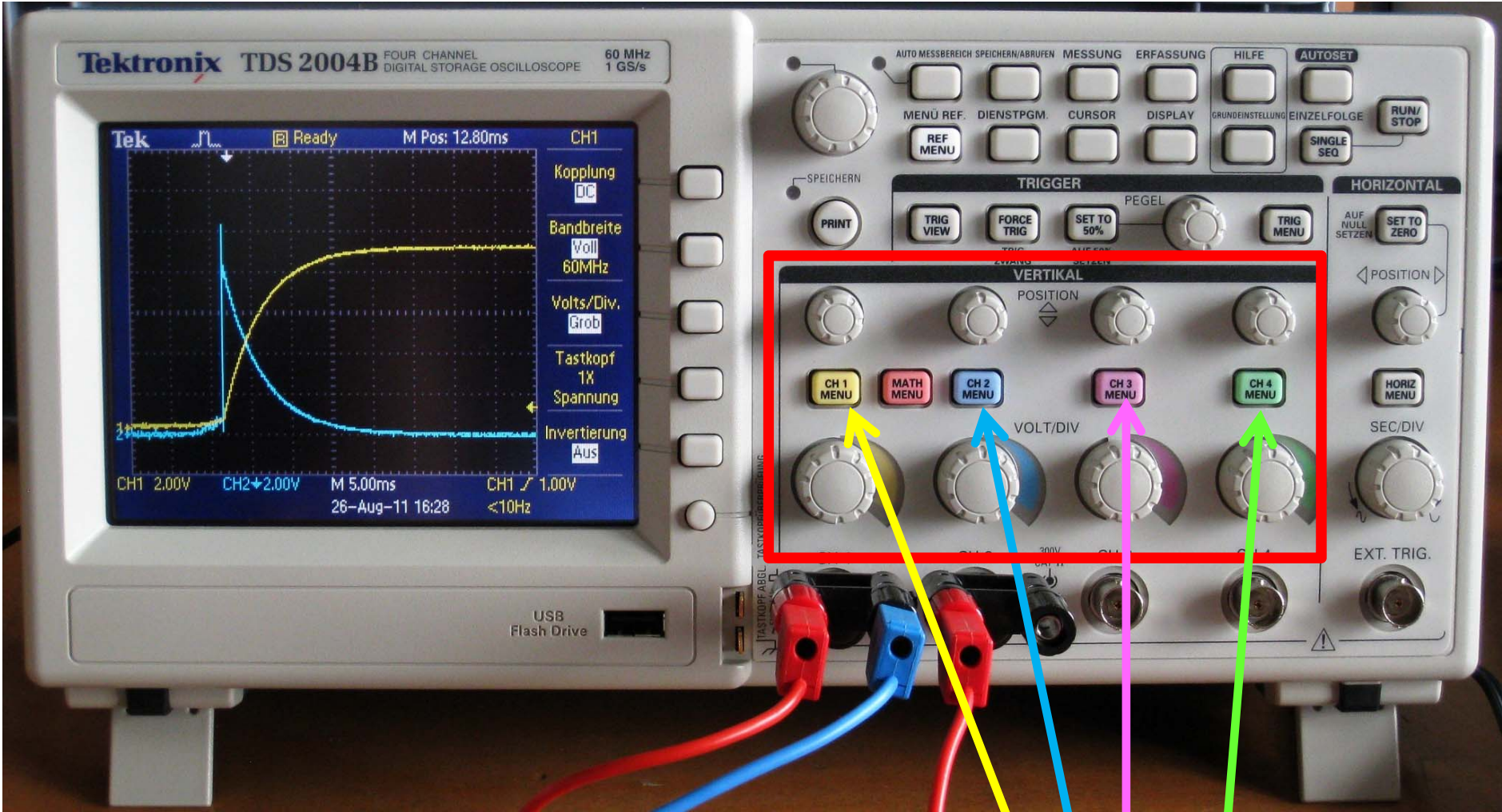
Unscharfe Signale bzw. „durchlaufende“ Signale bzw. kein Signal:
Oder z.B. durch zu hohe Triggerschwelle

Digital Oszilloskop



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

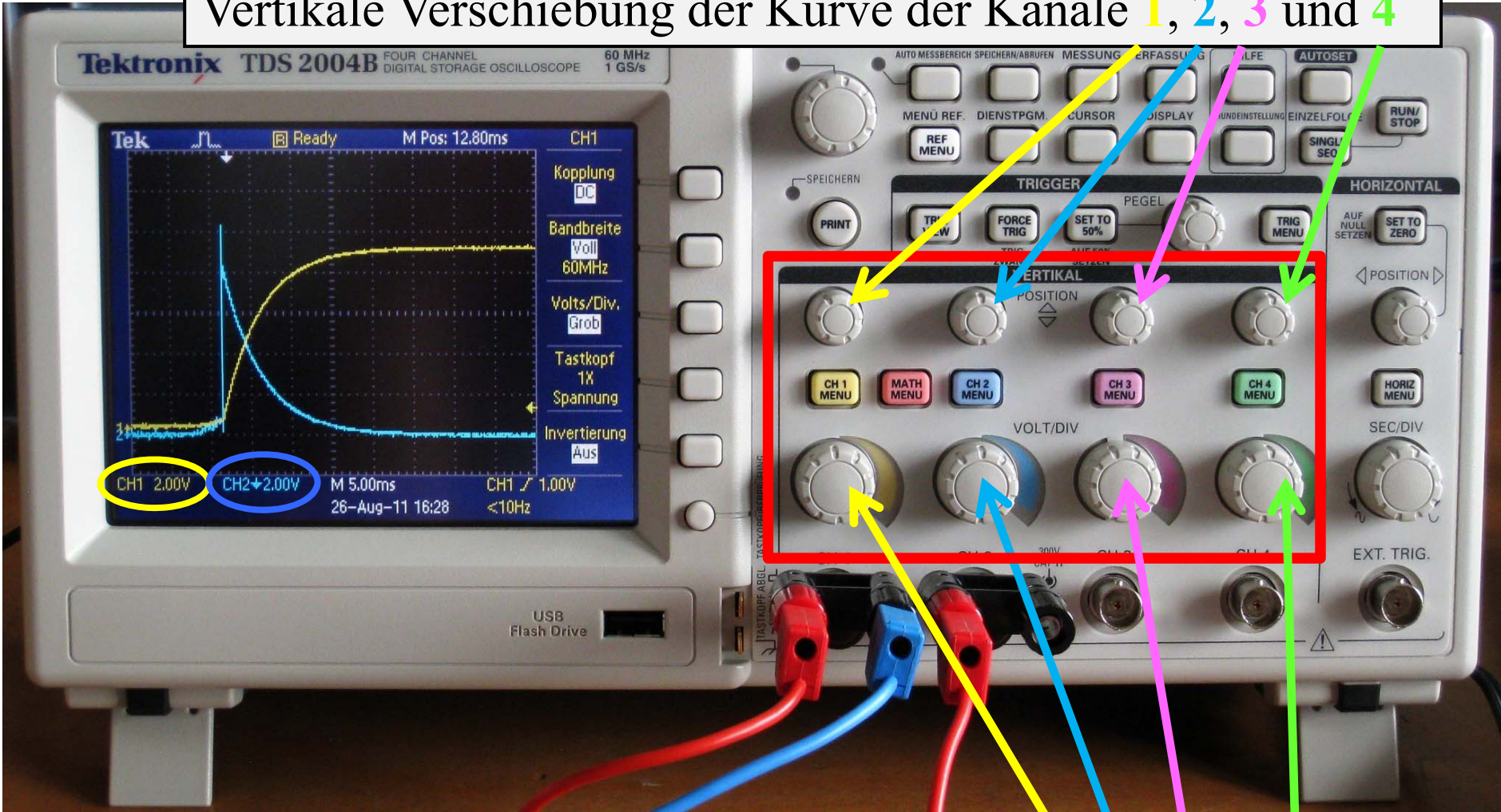
Digital Oszilloskop



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

Digital Oszilloskop

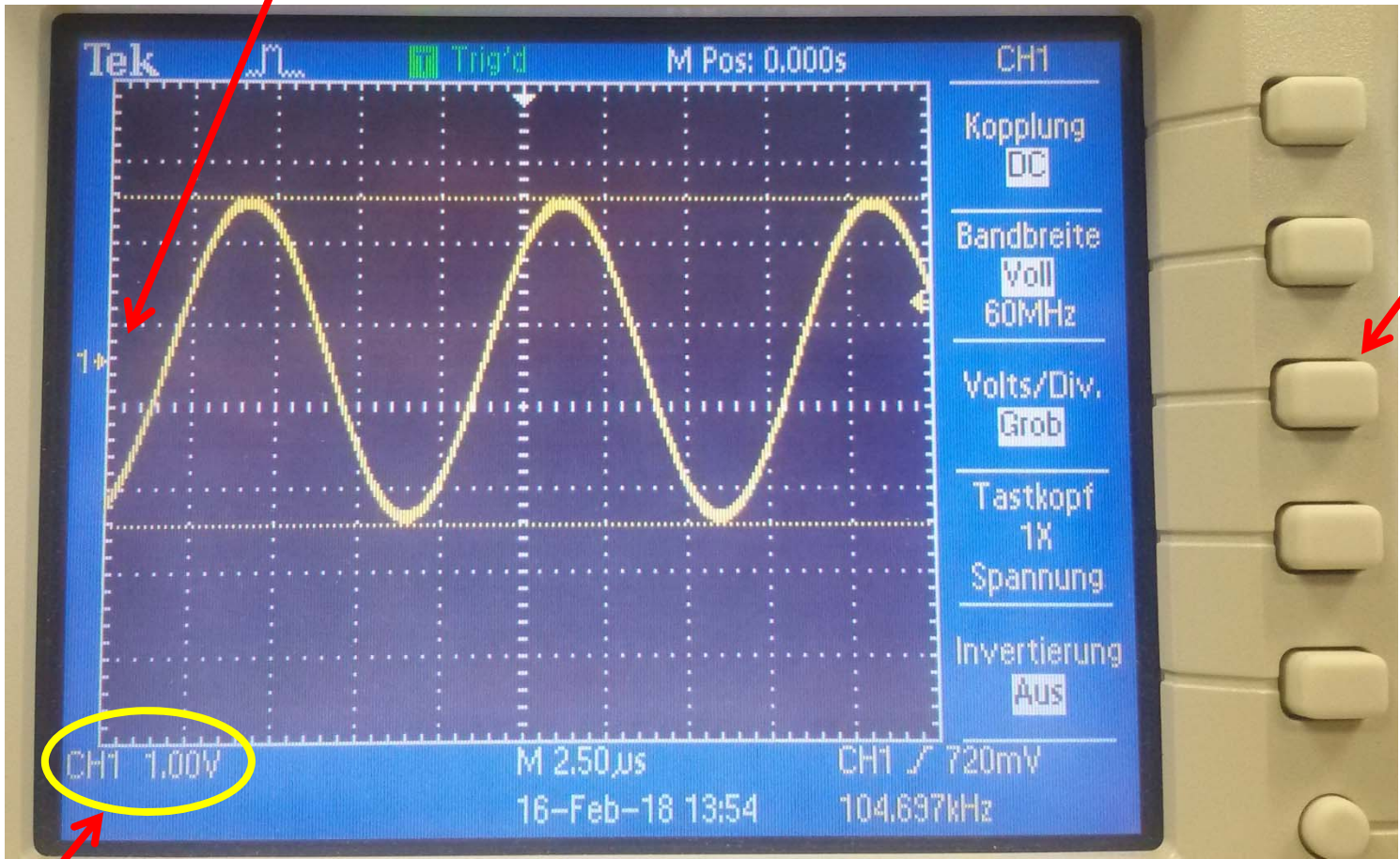
Vertikale Verschiebung der Kurve der Kanäle 1, 2, 3 und 4



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

Digital Oszilloskop

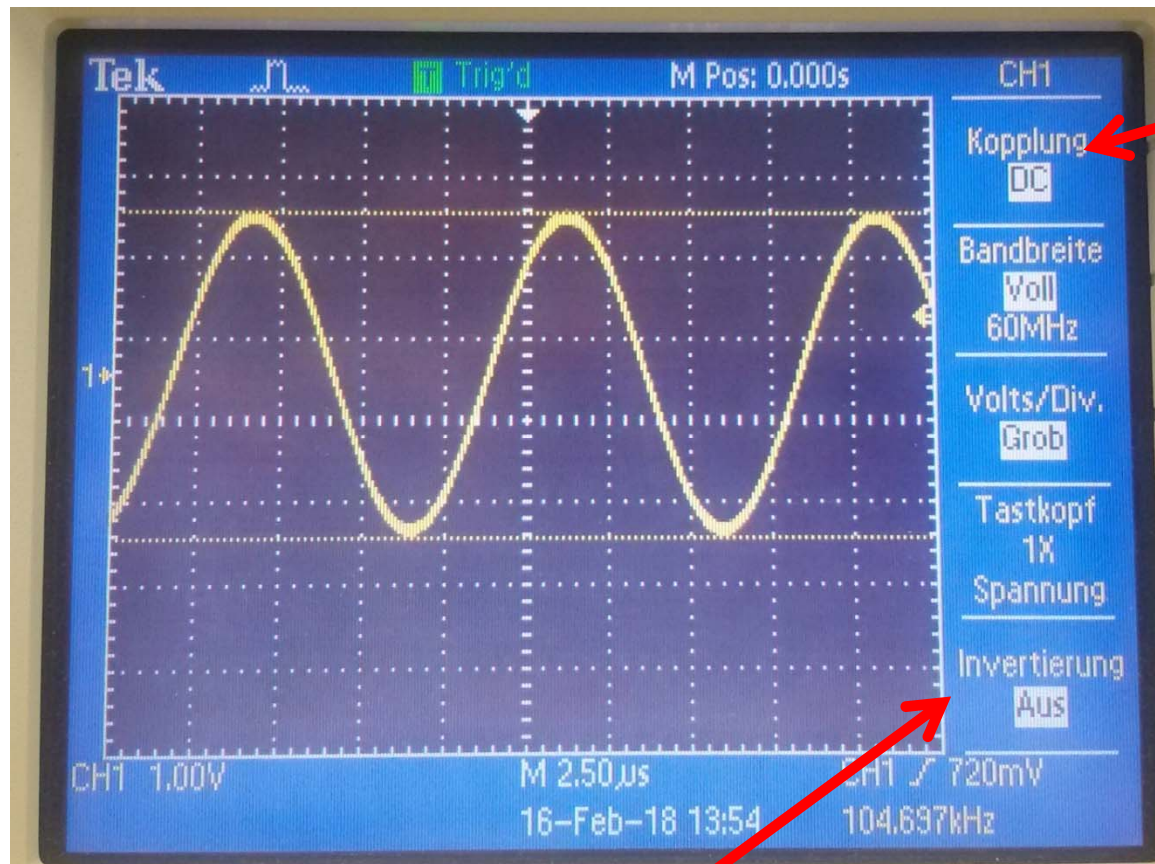
Anzeige der Nulllinie (erdbezogene Messpunkte) des CH1



Kanal-Menü
Auswahl durch
seitliche Knöpfe

Anzeige der vertikalen Skalenfaktoren für die einzelnen Kanäle

Digital Oszilloskop



Kopplung:

Einstellmöglichkeiten:
DC/AC/GND

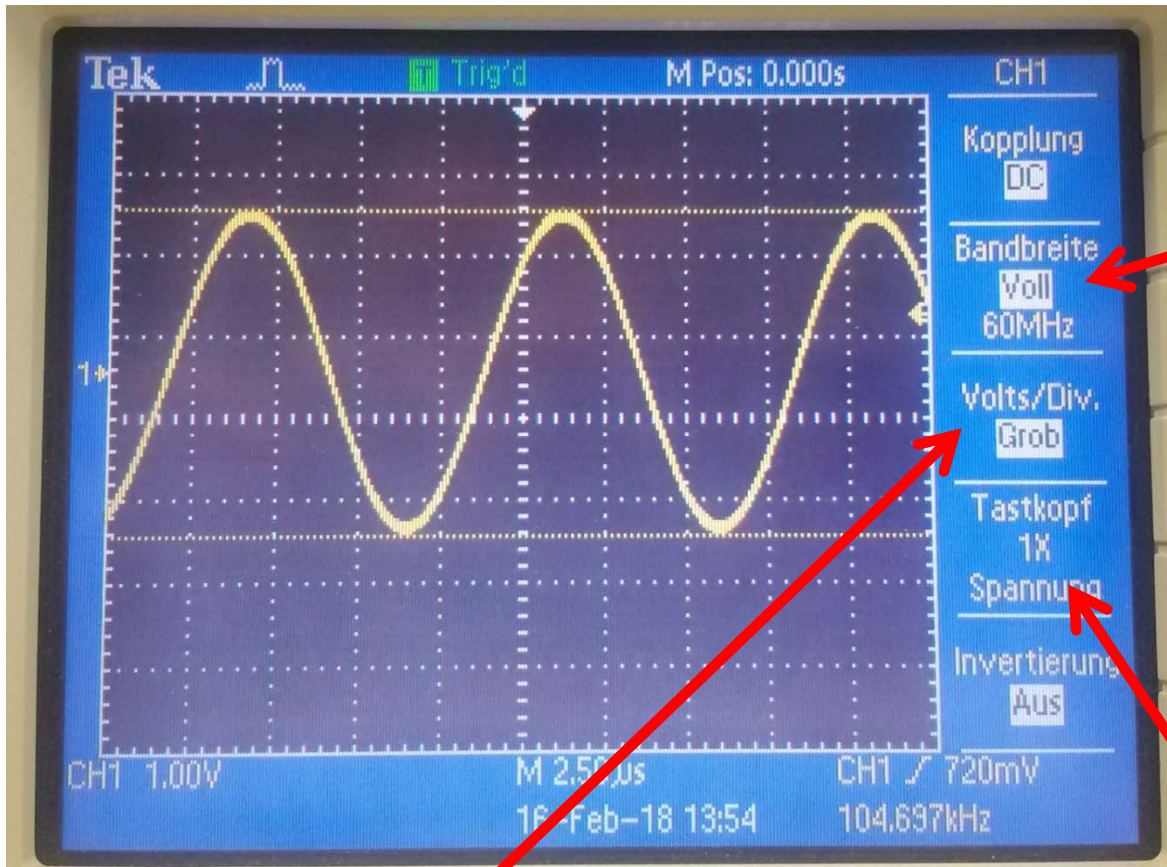
DC: Signaleingang direkt mit dem Eingang des Verstärkers verbunden.

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

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

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

Digital Oszilloskop

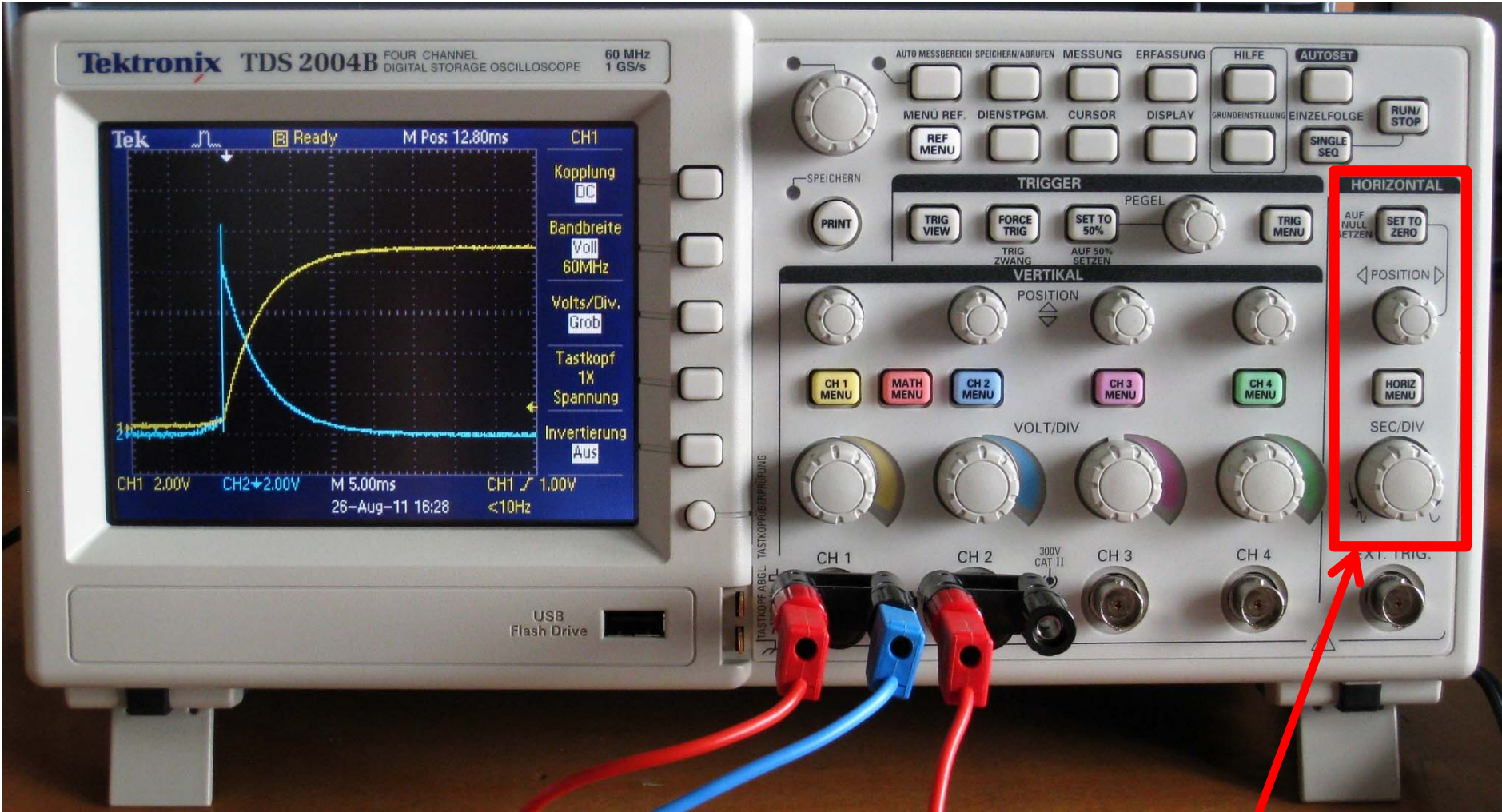


Bandbreite:
Bandbreitenbegrenzung
→ Reduzierung des Rauschens, das auf dargestellten Signal auftreten kann
Ergebnis: schärfere Signaldarstellung
ABER: Reduzierung oder Eliminierung hochfrequenter Anteile des Signals → Signalverfälschung

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

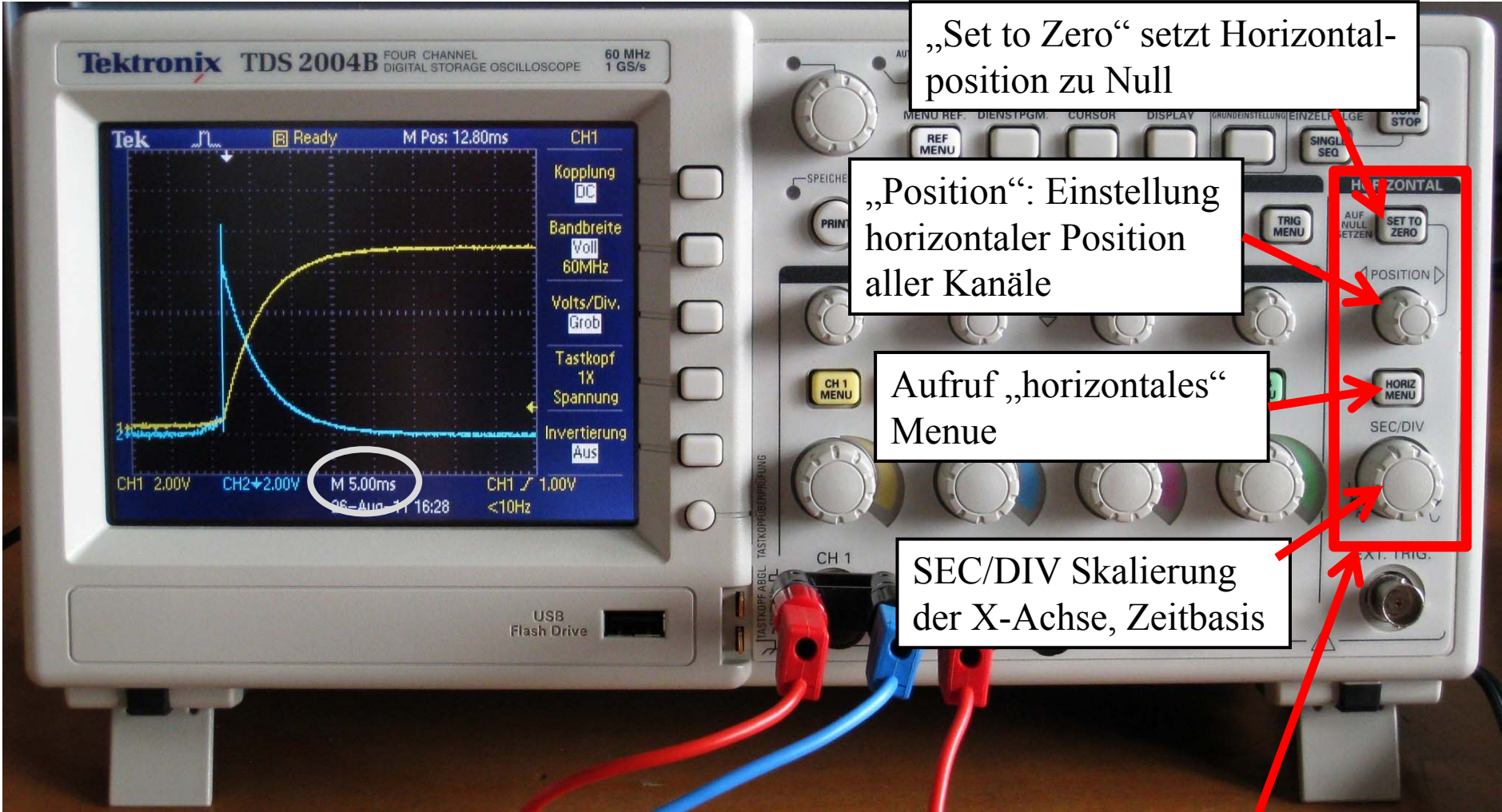
Tastkopf → x-fache Verstärkung des Signals einstellbar

Digital Oszilloskop



Horizontale Einstellungen

Digital Oszilloskop



„Set to Zero“ setzt Horizontalposition zu Null

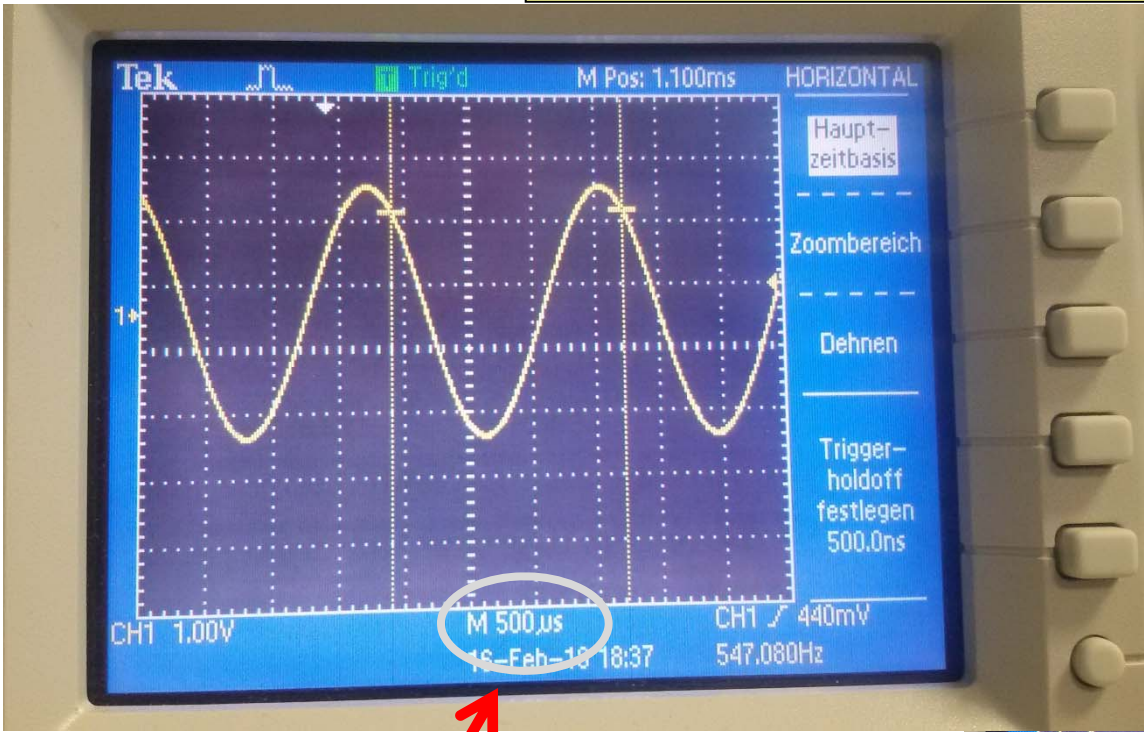
„Position“: Einstellung horizontaler Position aller Kanäle

Aufruf „horizontales“ Menu

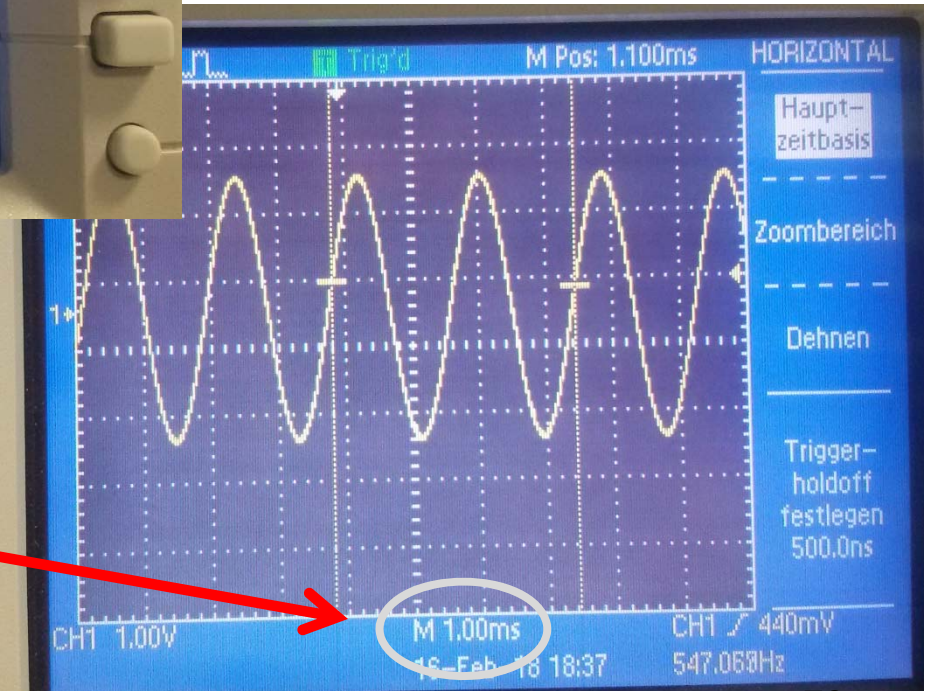
SEC/DIV Skalierung der X-Achse, Zeitbasis

Horizontale Einstellungen

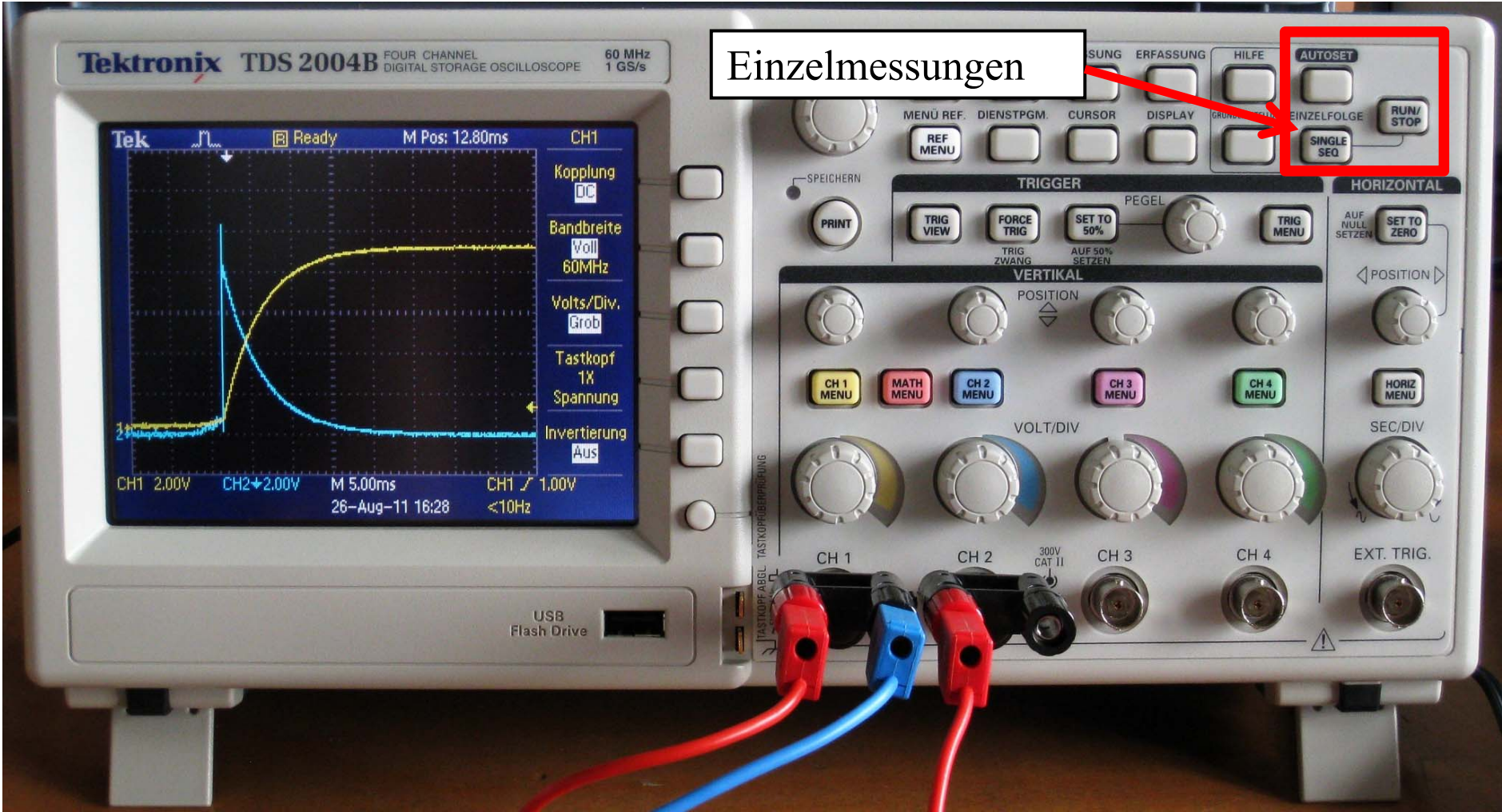
Digital Oszilloskop



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



Digital Oszilloskop



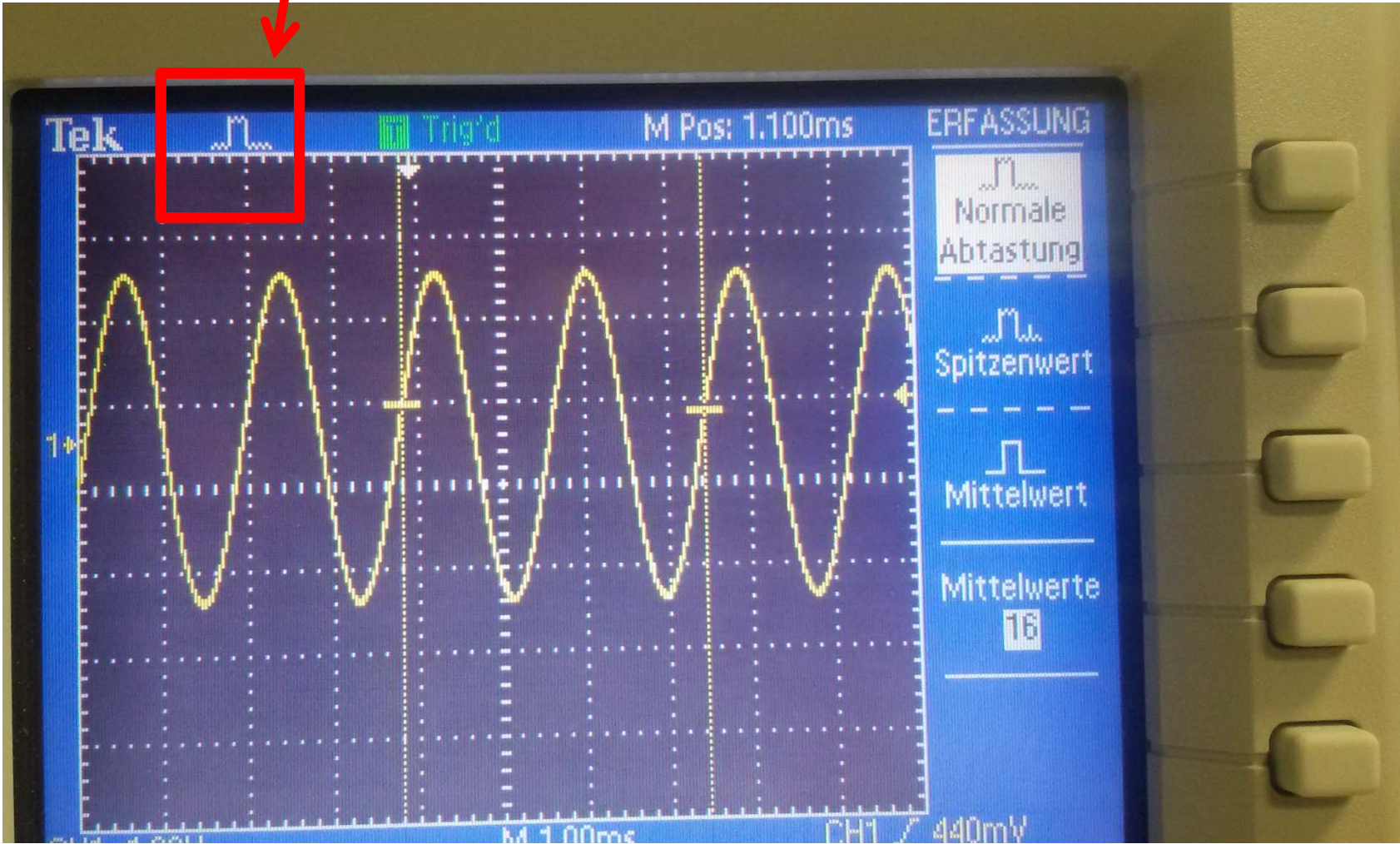
Digital Oszilloskop

Nach Aufnahme der Einzelmessungen



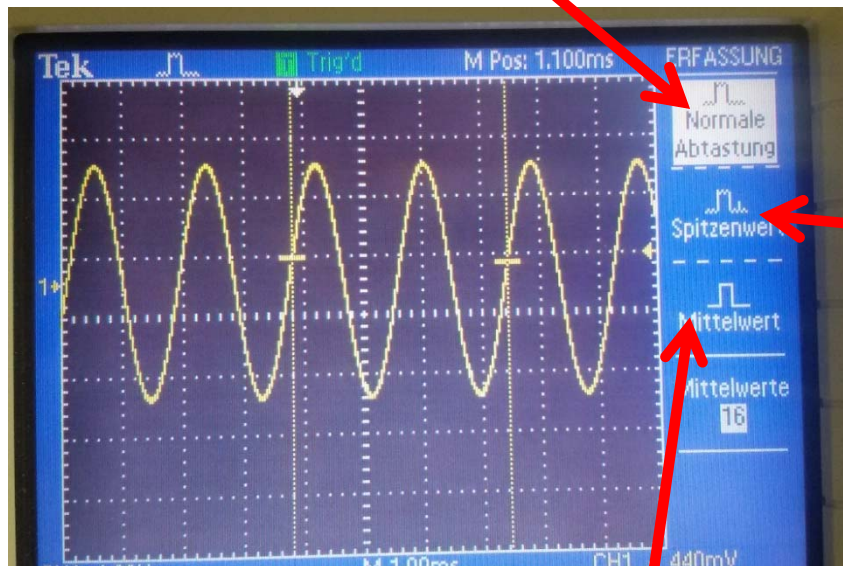
Digital Oszilloskop

Erfassungsmodus



Digital Oszilloskop

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

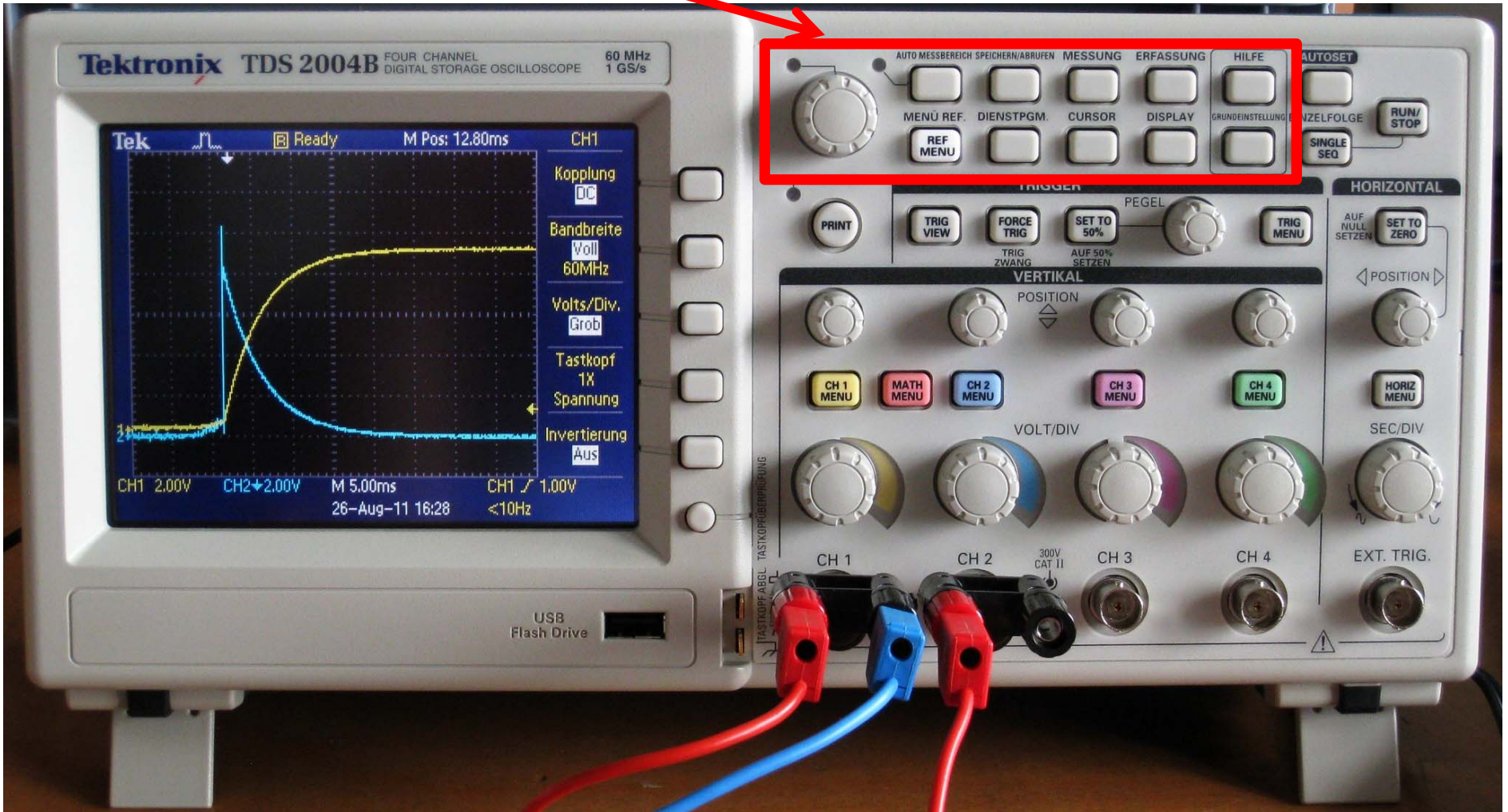


Spitzenwert: Oszi speichert Minima und Maxima der in zwei Signalintervallen erfassten Abtastpunkte und verwendet diese als die beiden einander zugeordneten Signalpunkte → Erfassung schneller Signaländerungen;
Modus von Vorteil bei Darstellung von schmalen Impulsen in zeitlich großen Abständen

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

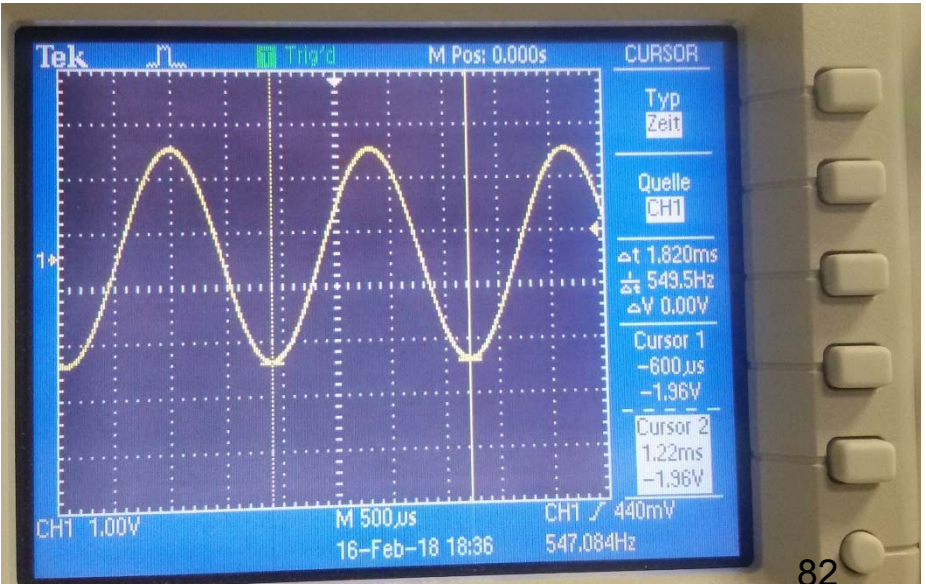
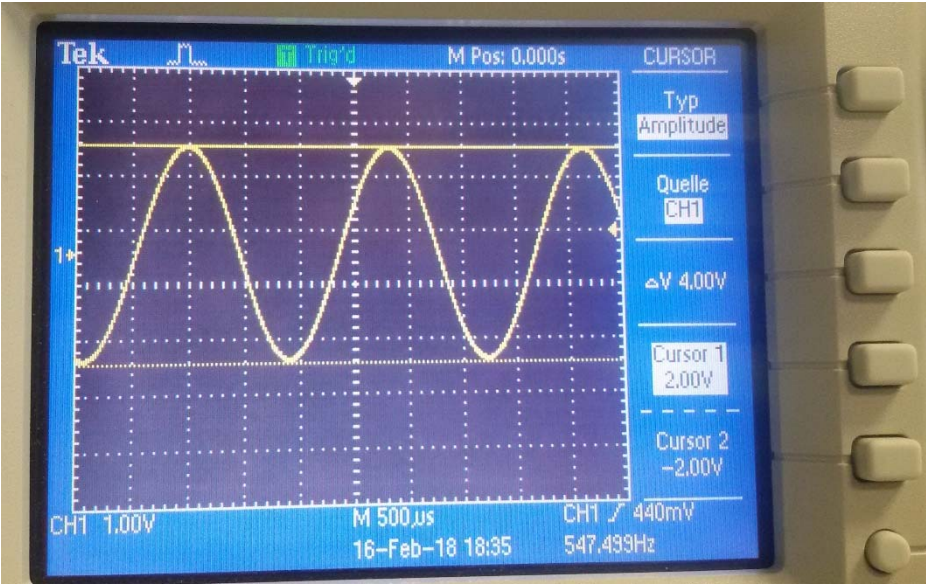


Digital Oszilloskop

Messungen mit Cursor

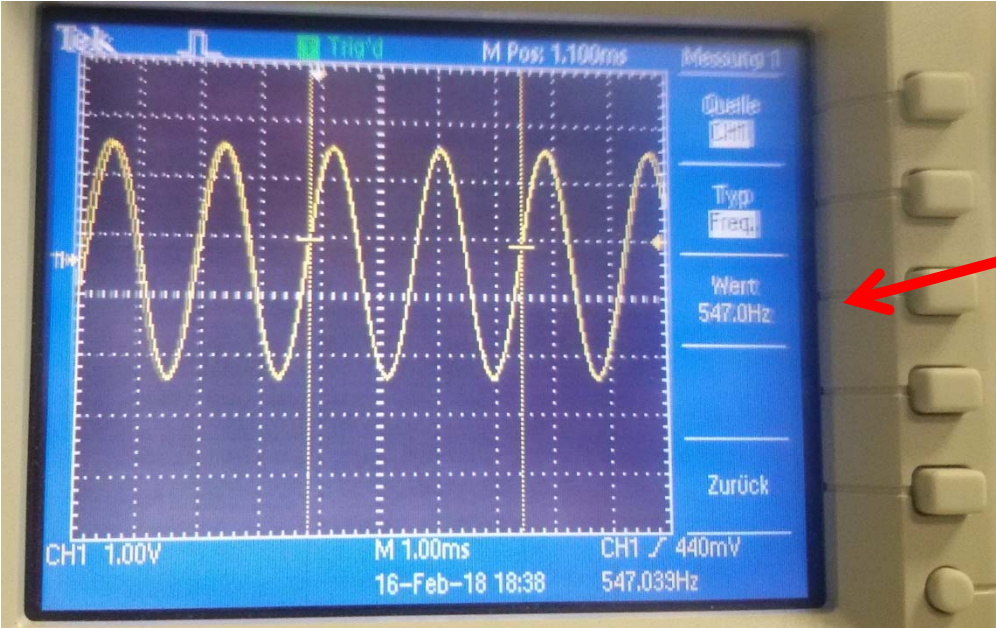


Cursor bewegen mit Mehrfunktions Drehknopf



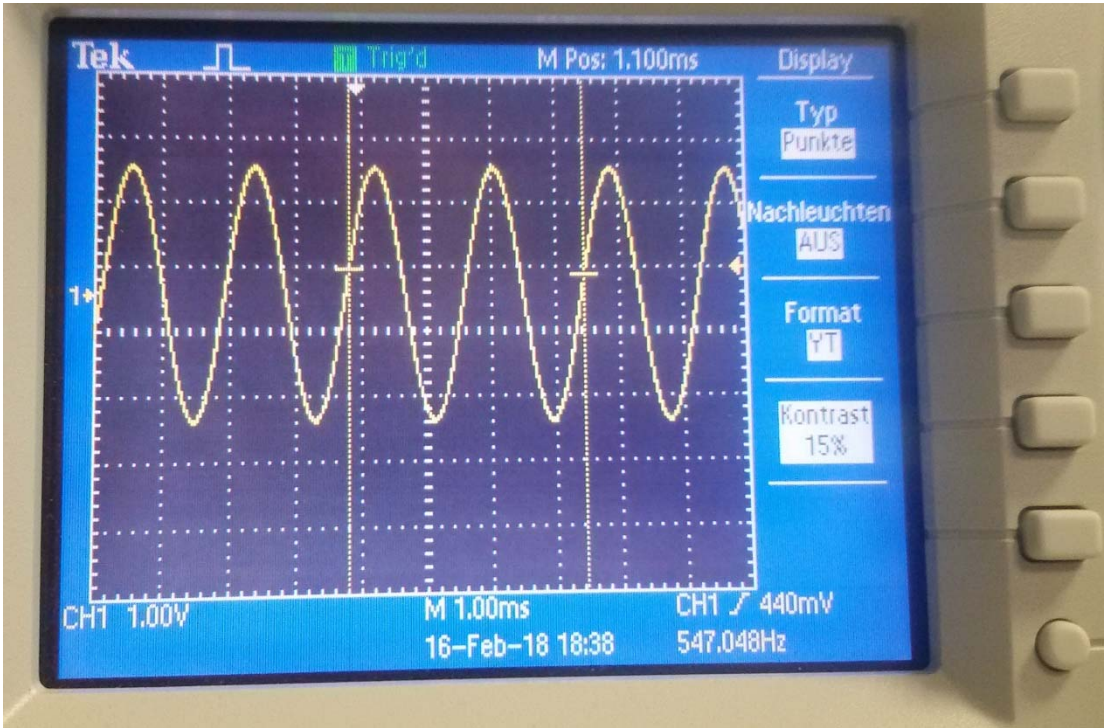
Digital Oszilloskop

Messung



Digital Oszilloskop

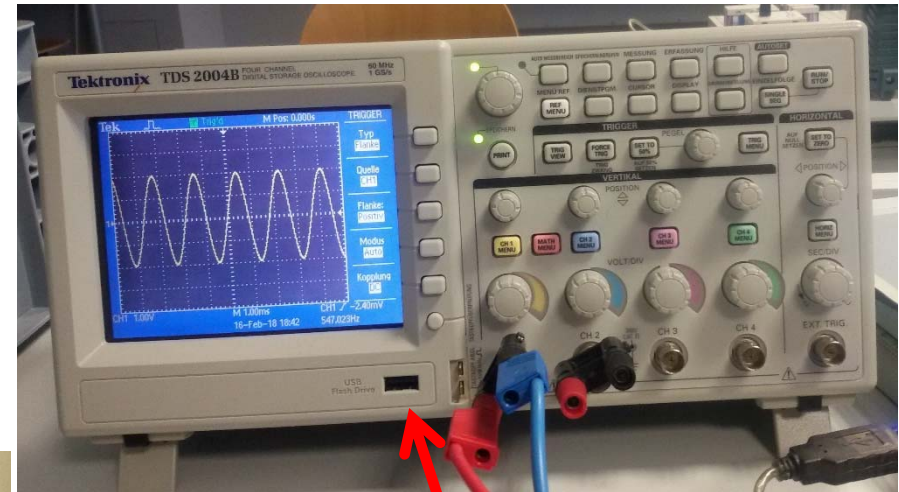
Display



Format:
YT oder
XY: → Lissajous-Figuren

Speichern

Digital Oszilloskop

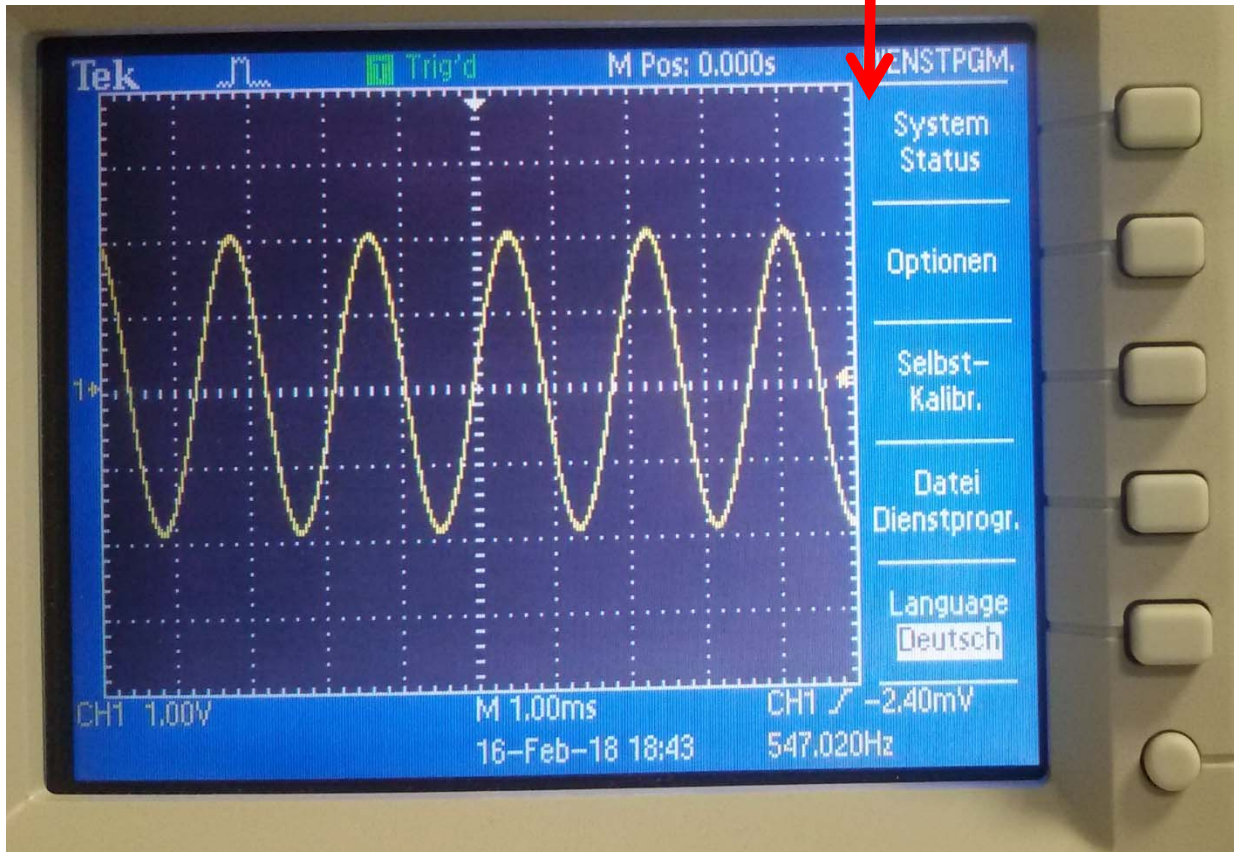


SAVE/REC:
Bilder oder Daten
speichern auf USB Stick
ABER: Nicht jeder USB-
Stick wird erkannt

Digital Oszilloskop

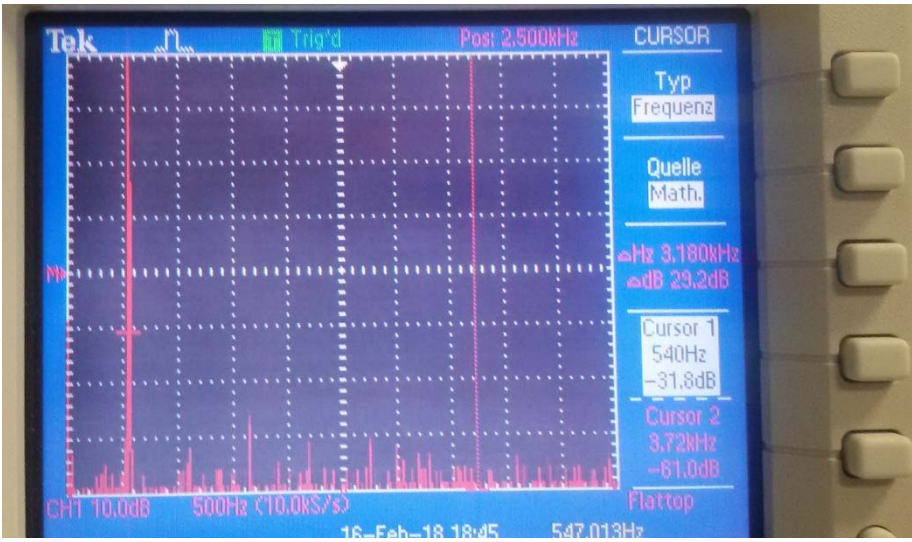
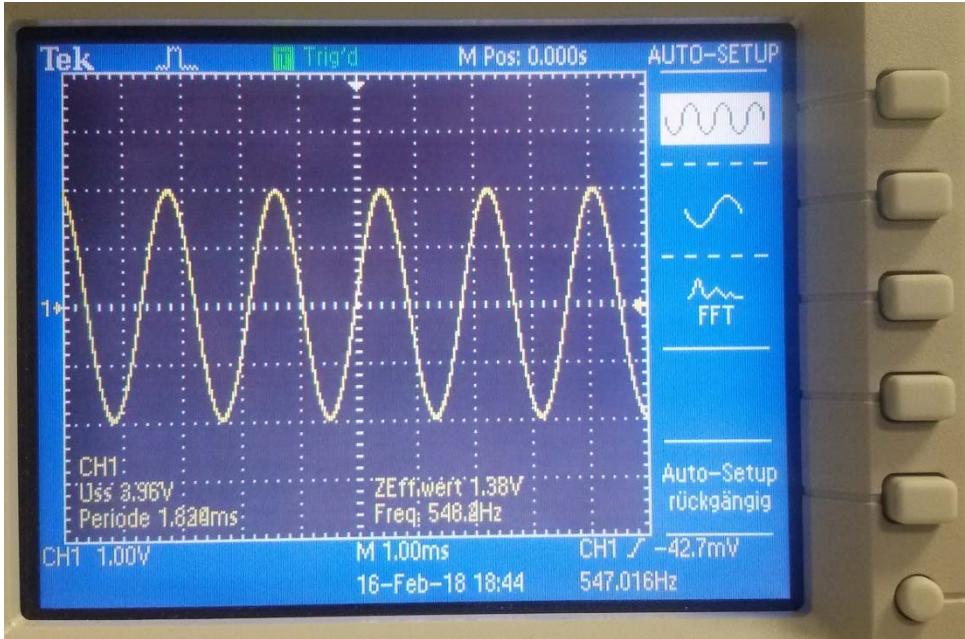


Dienstprogramme

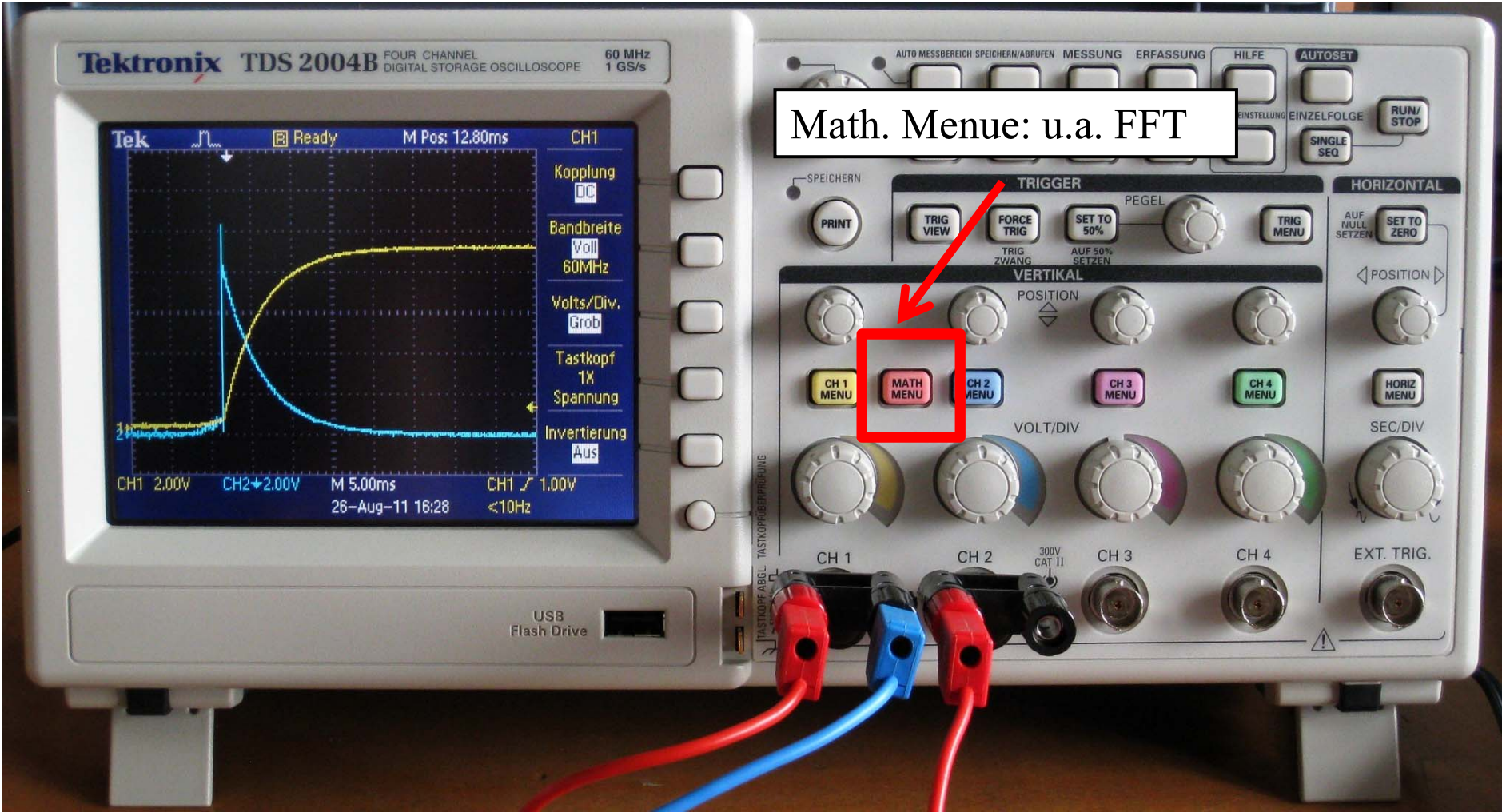


Digital Oszilloskop

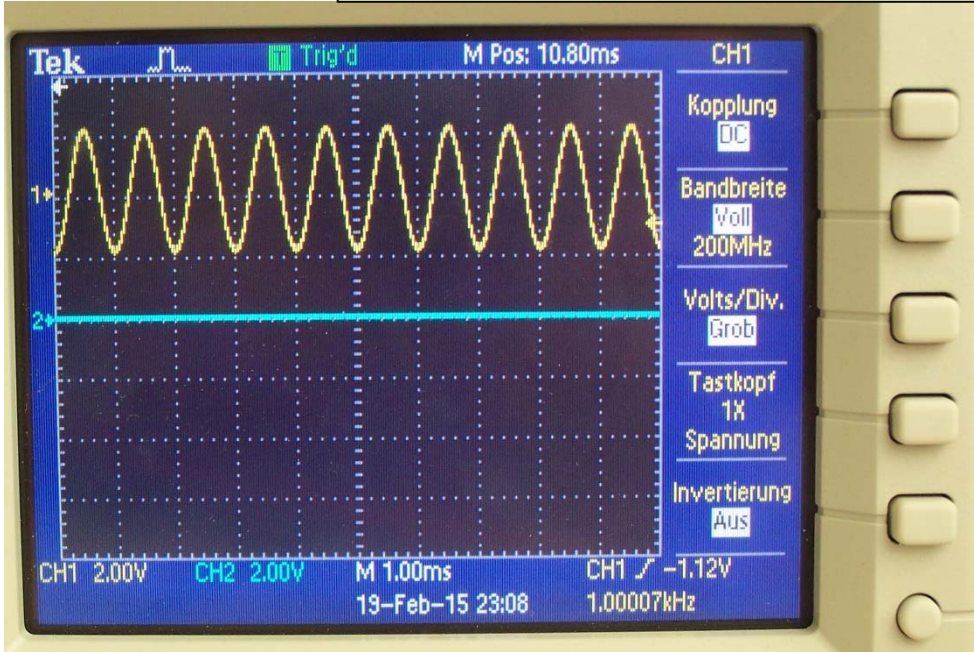
Autosetup



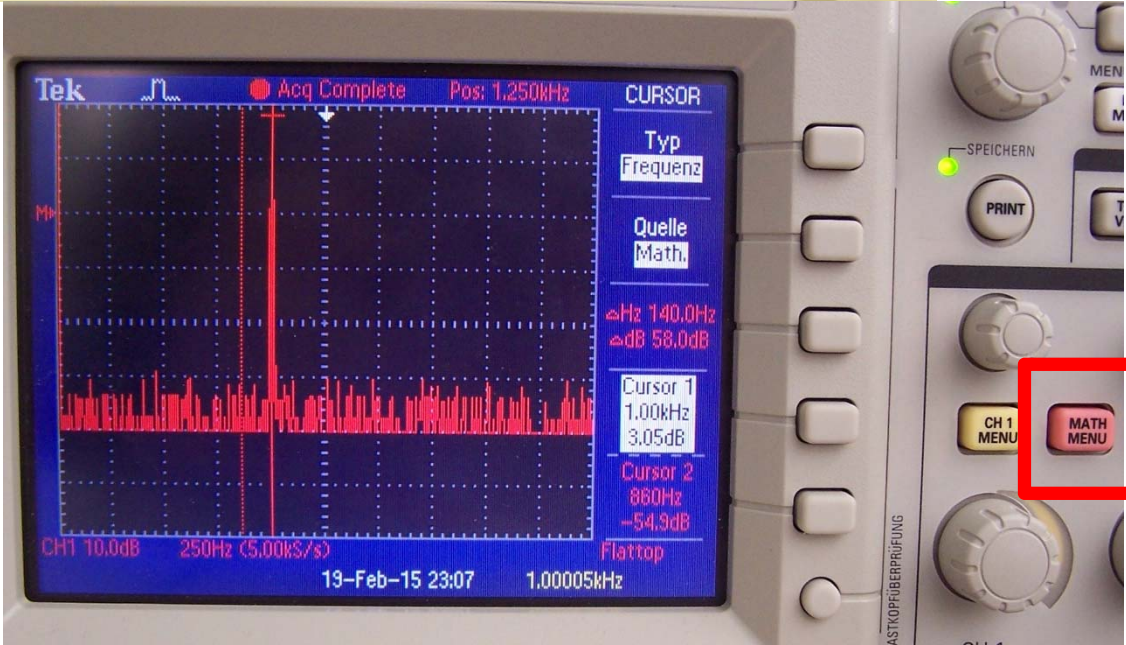
Digital Oszilloskop



Digital Oszilloskop

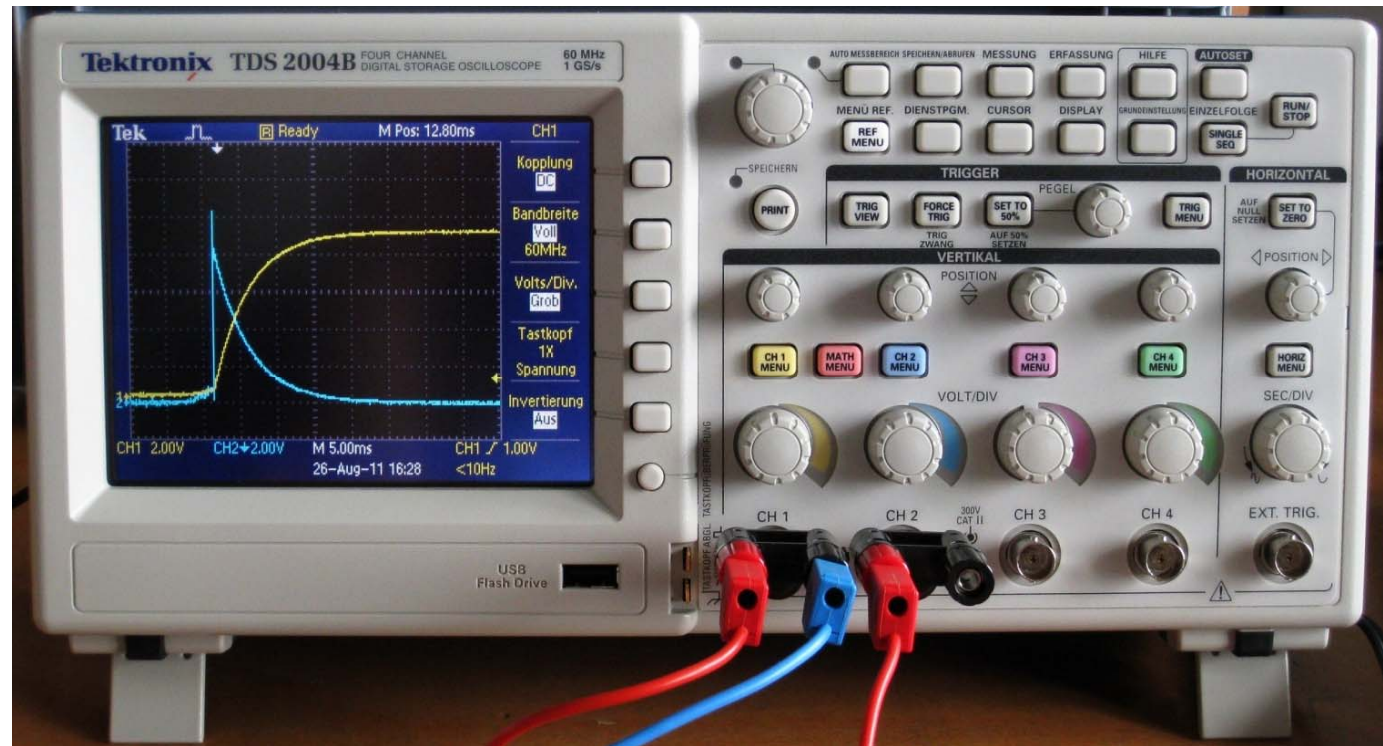
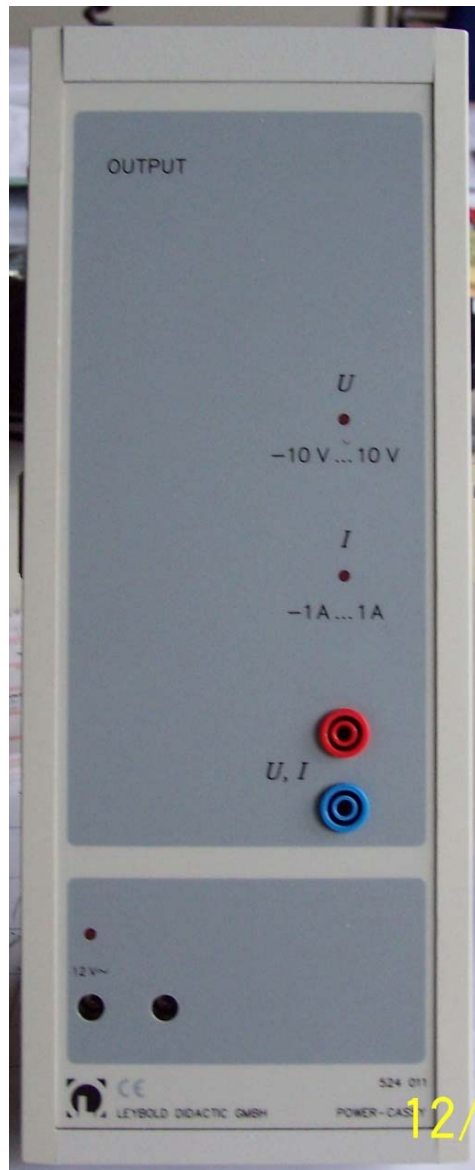


FFT einer Einzelmessung einer Schwingung



Power Cassy vs Oszilloskop

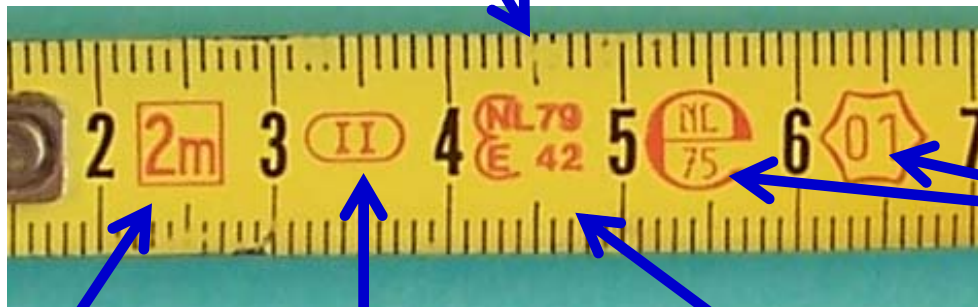
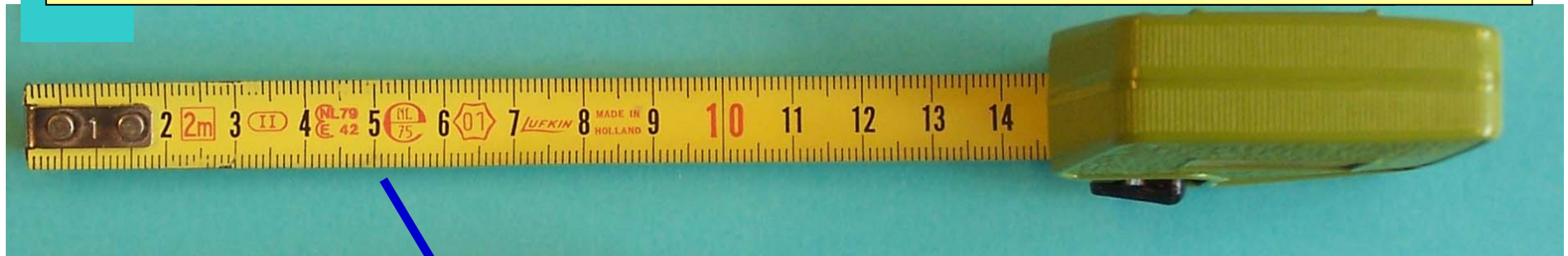
4. Übung



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:

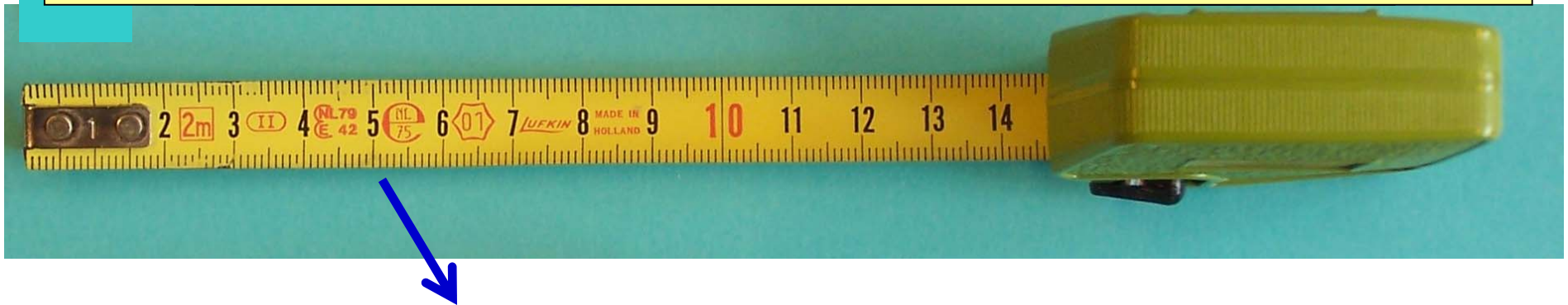
$$(a + b \times L)$$

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

L = Nominallänge in Metern

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

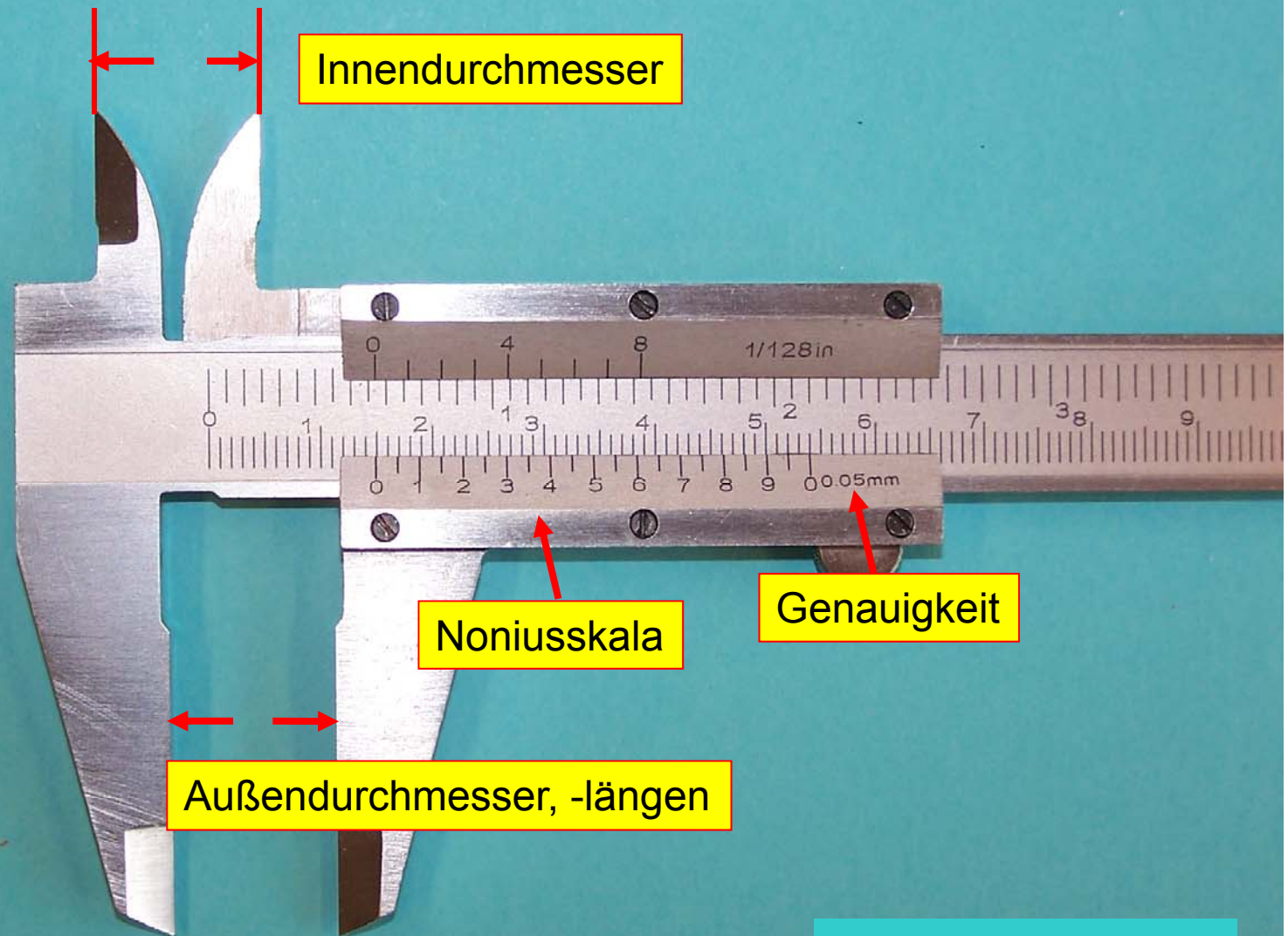
Längenmessungen mit Maßband



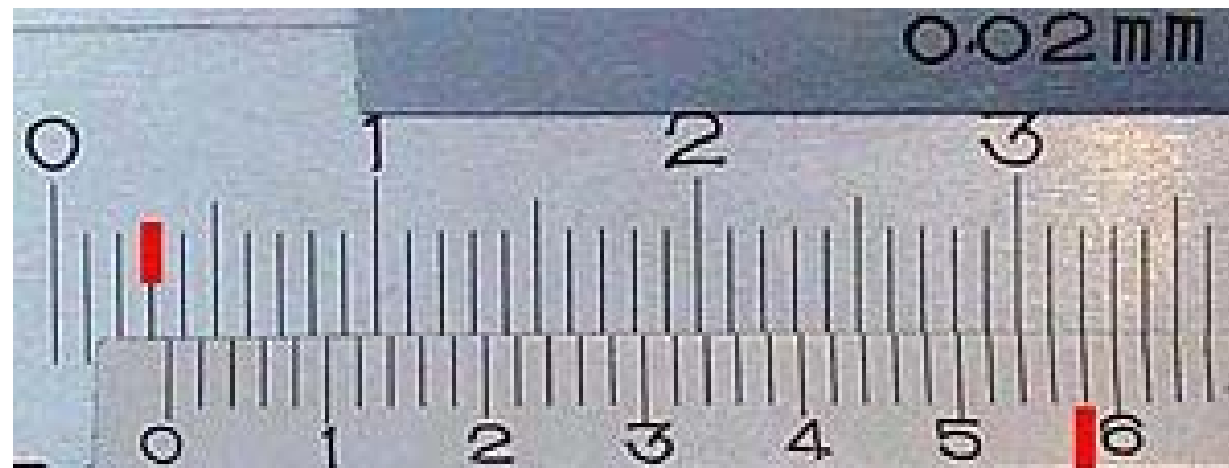
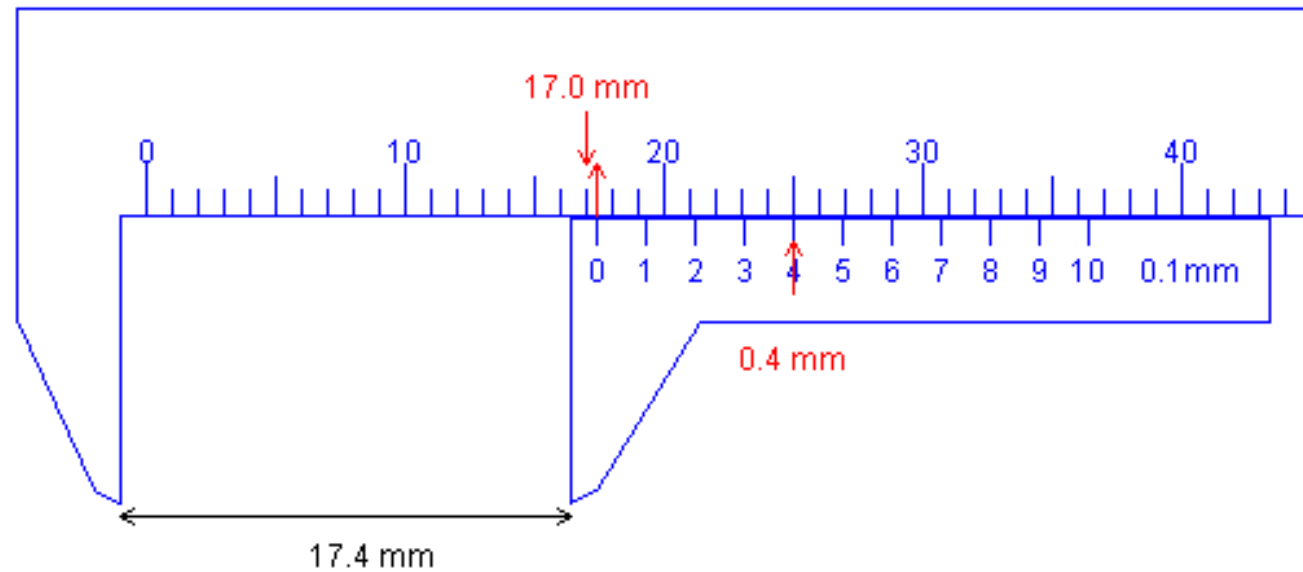
Messunsicherheiten:

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

Längenmessungen mit Messschieber

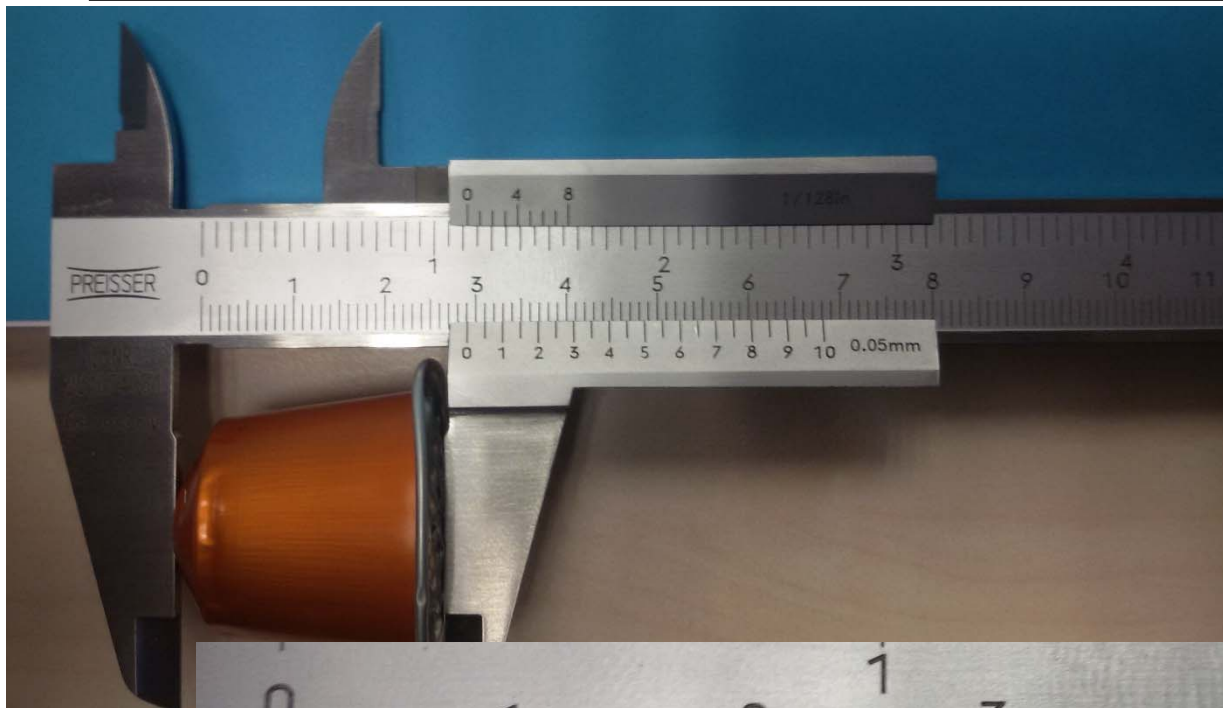


Längenmessungen mit Messschieber



3,58 mm

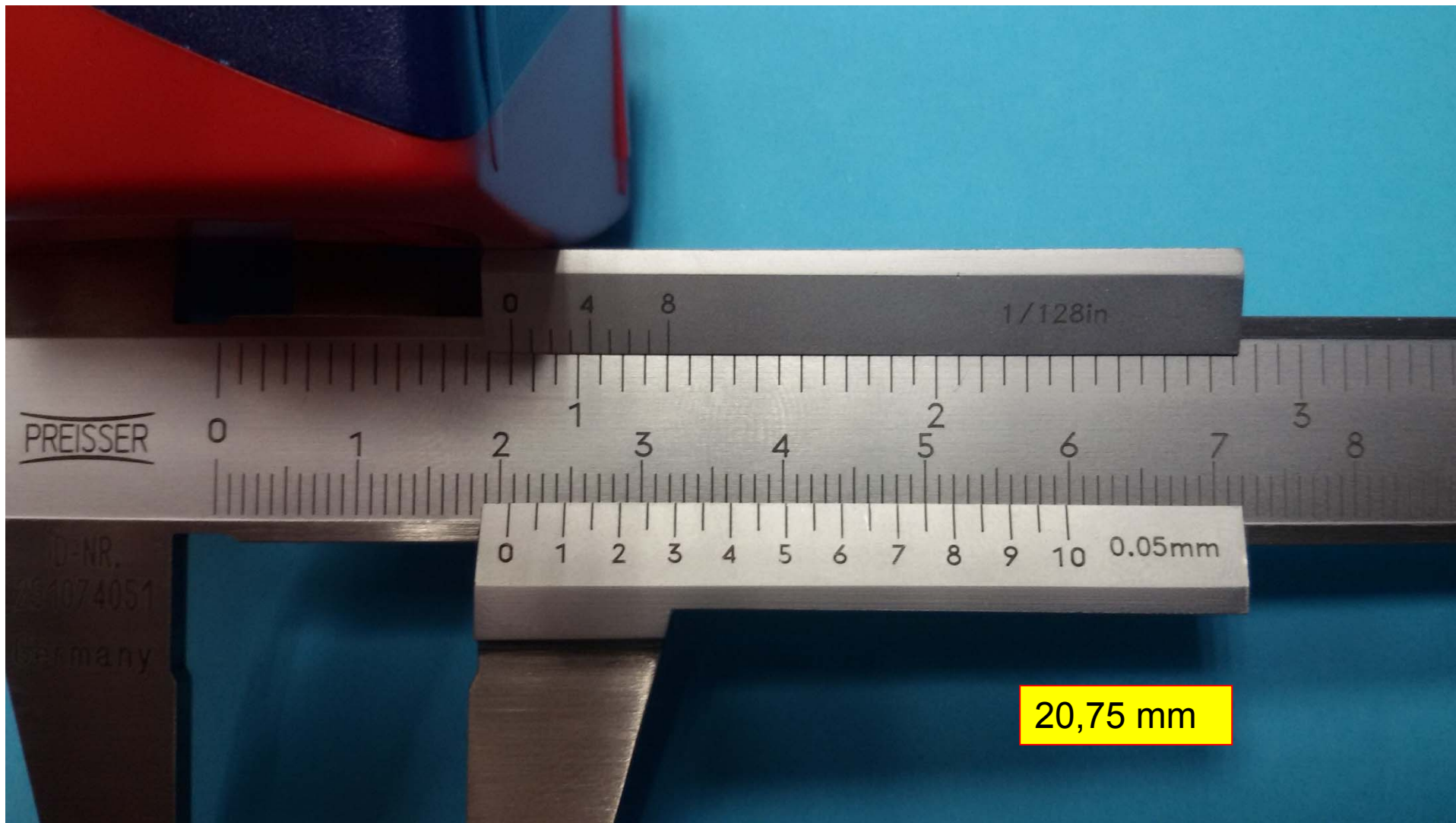
Längenmessungen mit Messschieber



29,05 mm



Längenmessungen mit Messschieber

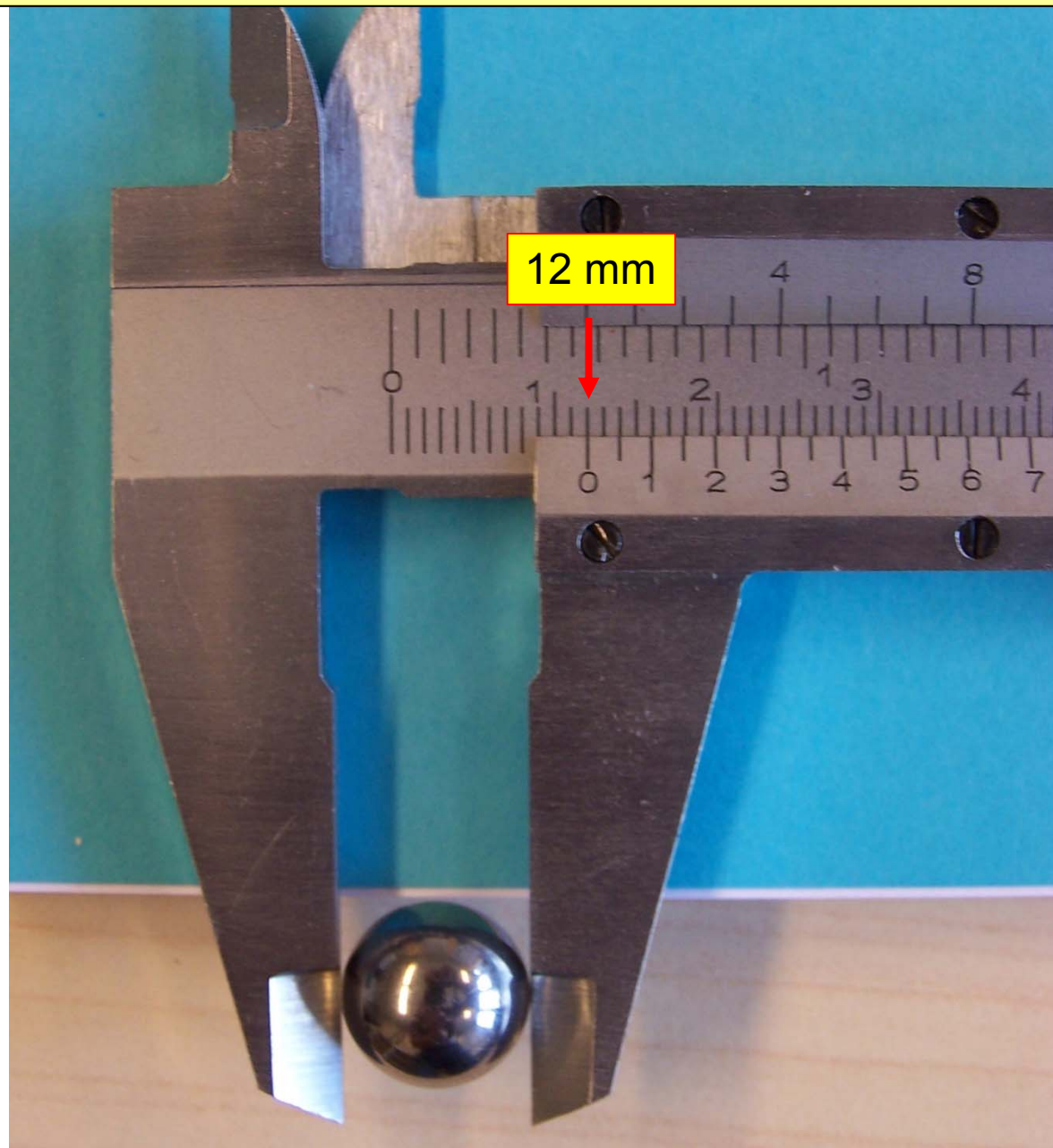


Längenmessungen mit Messschieber

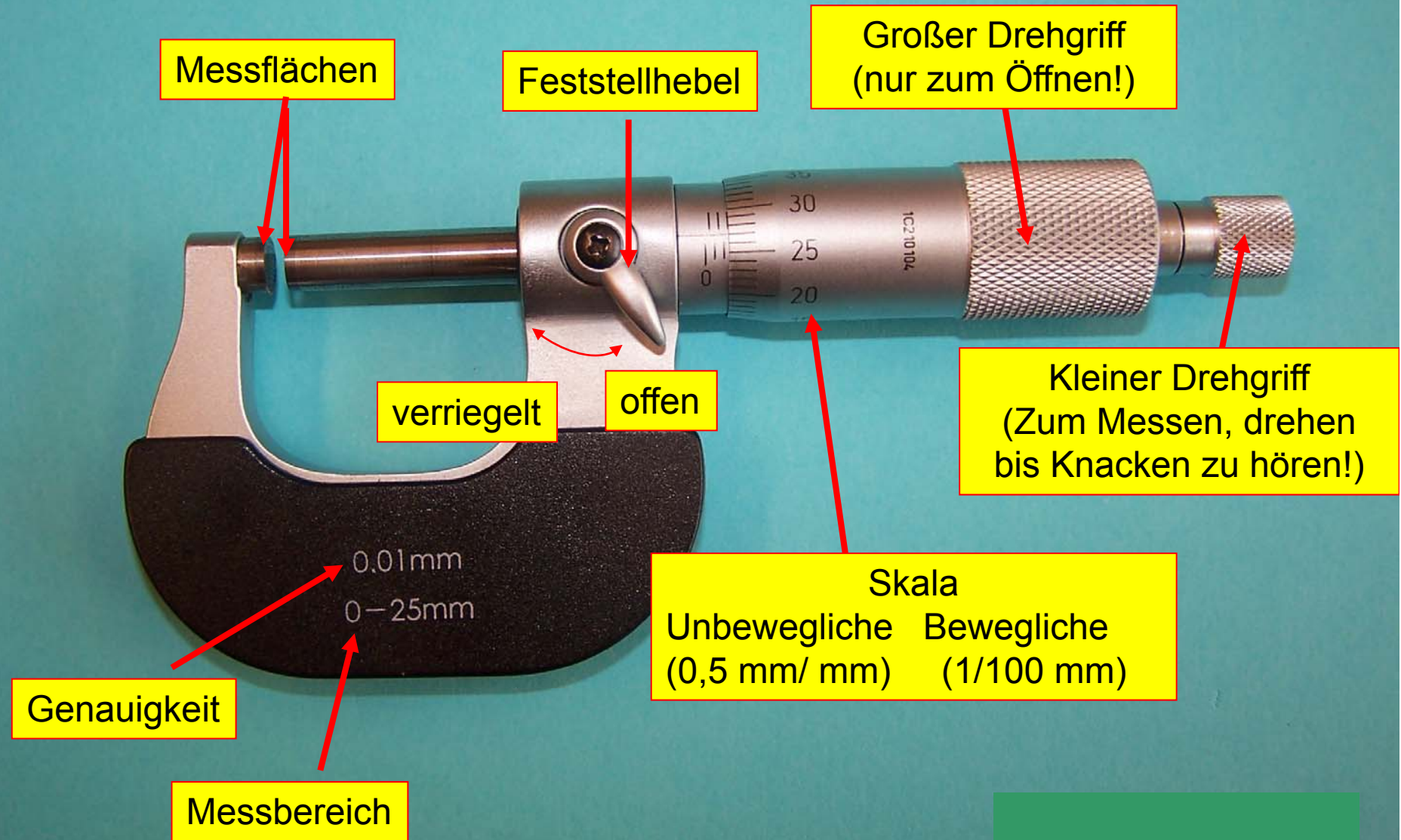


74,00 mm

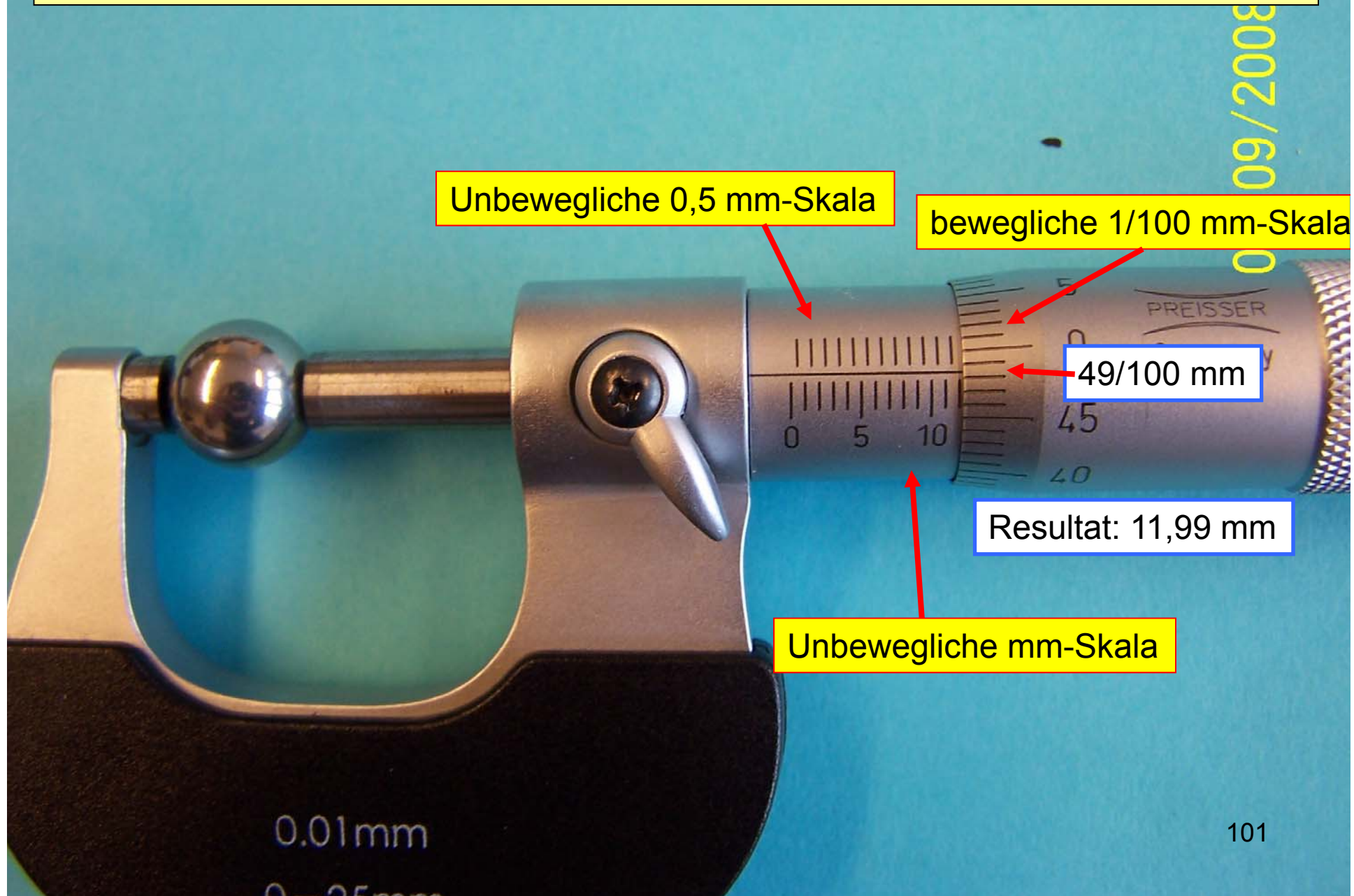
Längenmessungen mit Messschieber



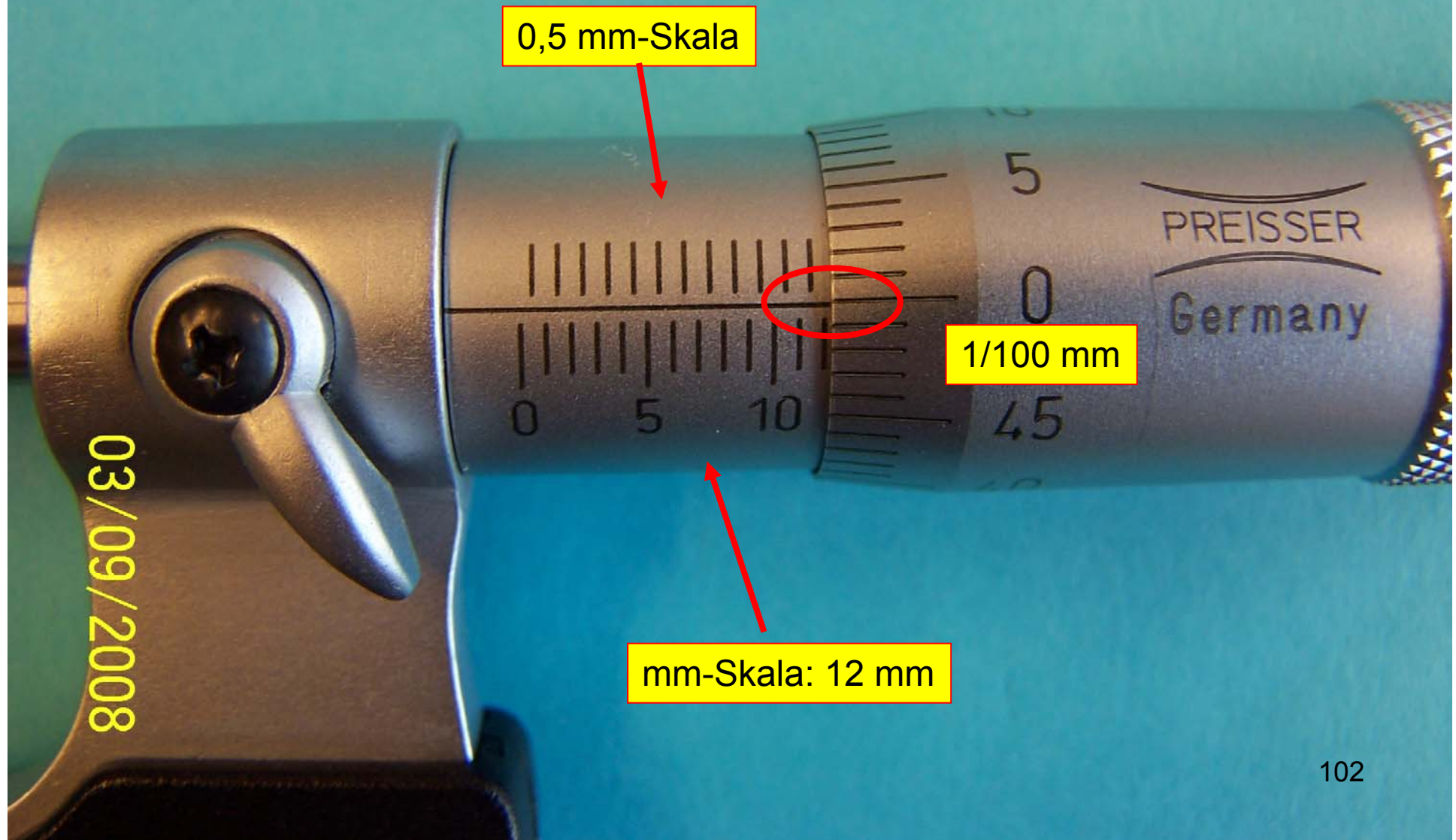
Längenmessungen mit Mikrometerschraube



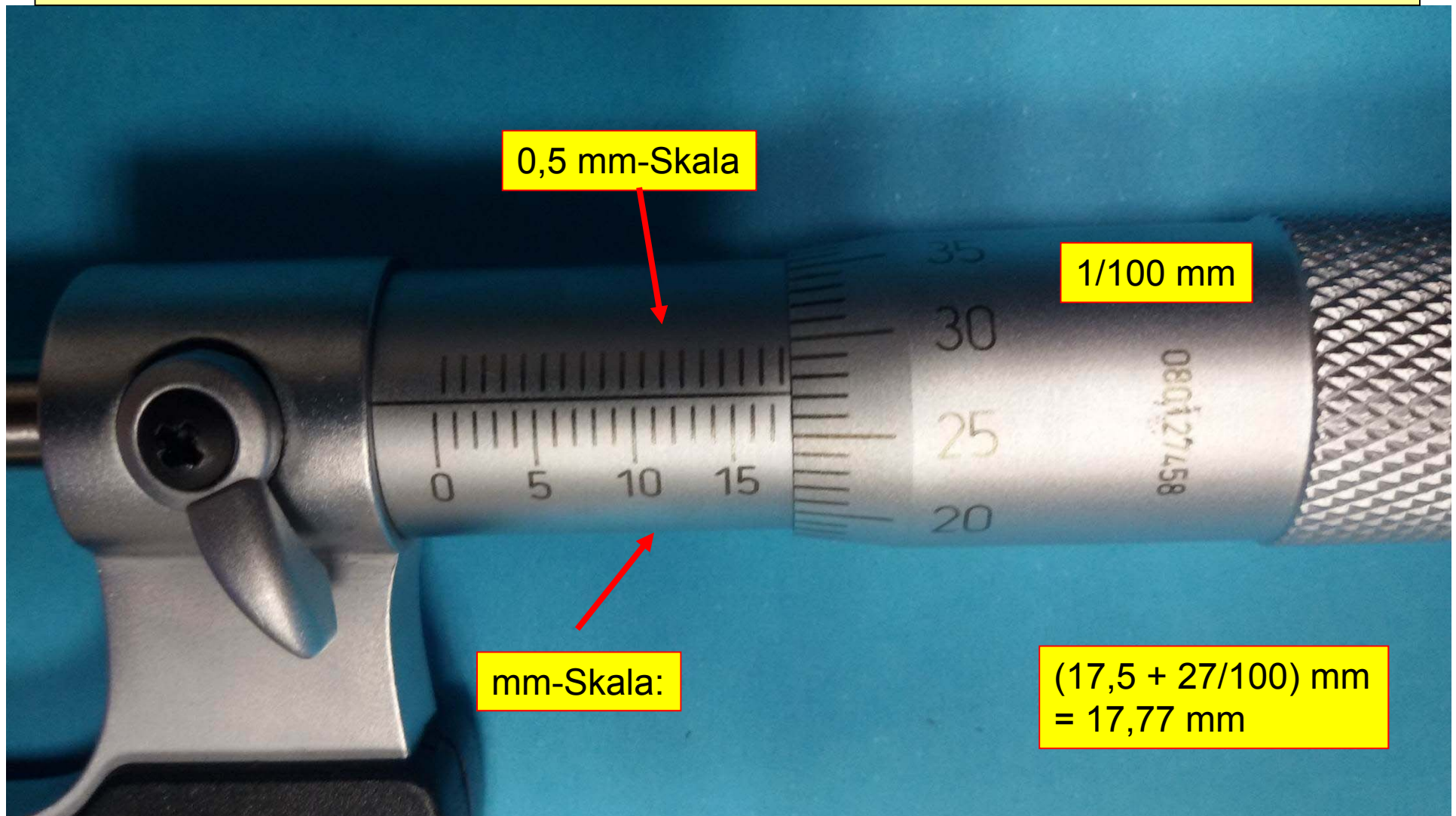
Längenmessungen mit Mikrometerschraube



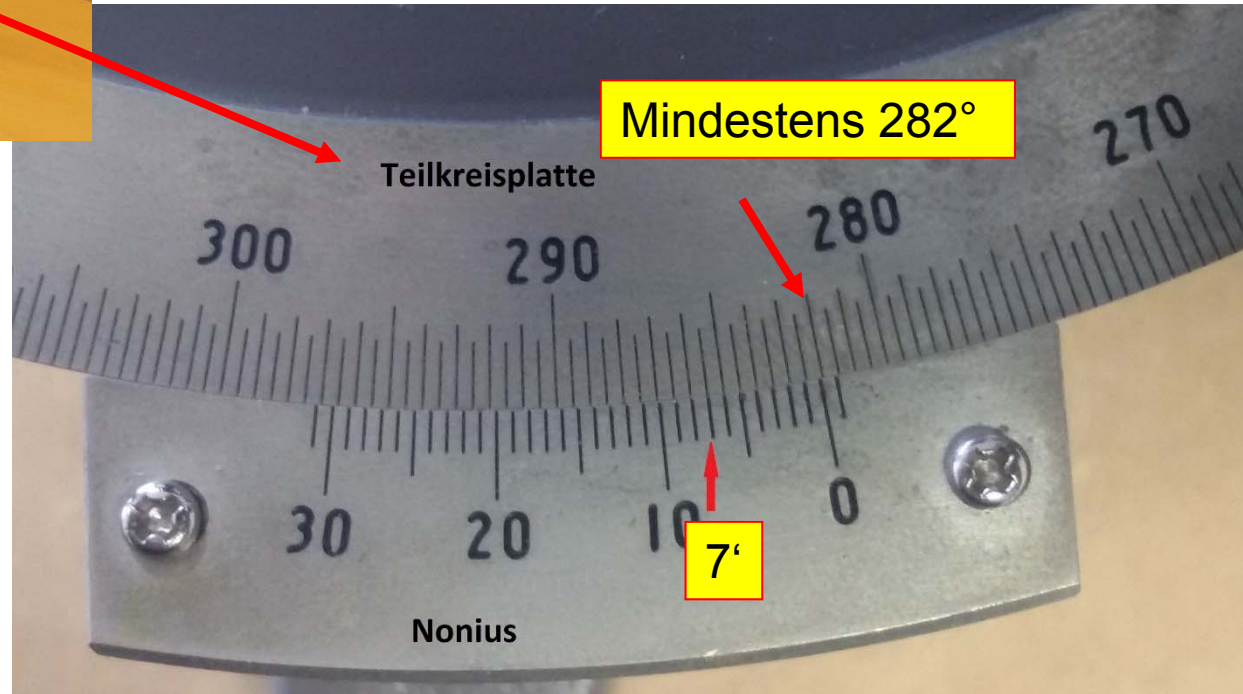
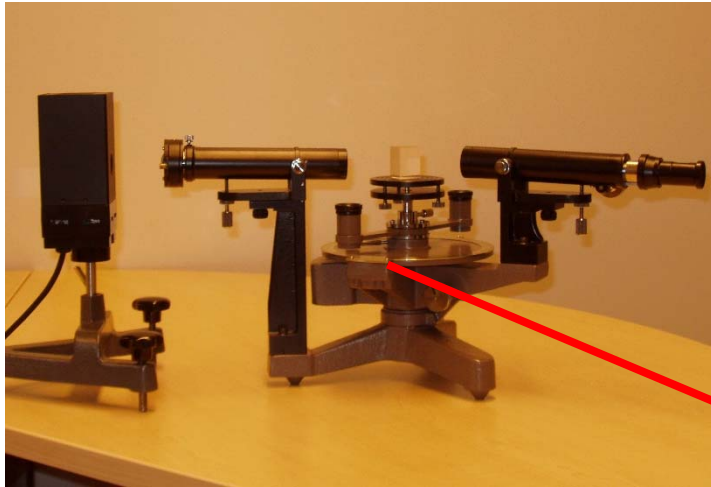
Längenmessungen mit Mikrometerschraube



Längenmessungen mit Mikrometerschraube

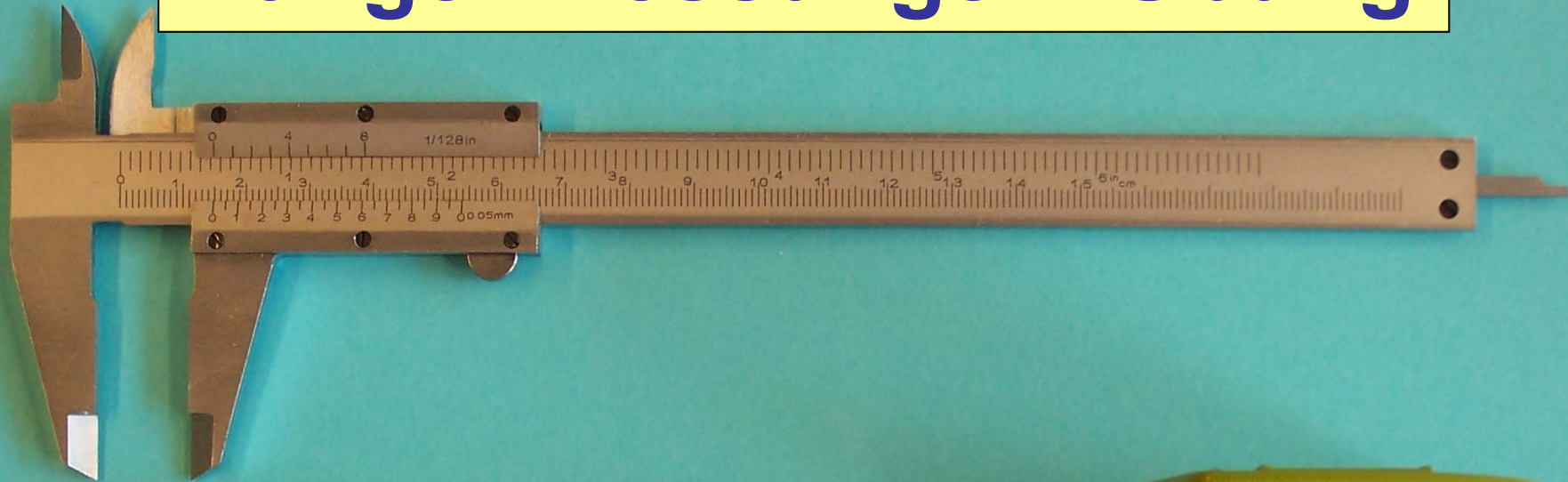


Winkelmessungen mit Nonius



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

Längenmessungen: Übung



Viel Erfolg !