

**Messinstrumente im  
physikalischen  
Grundpraktikum  
SS 18**

**Dr. Th. Kirn**

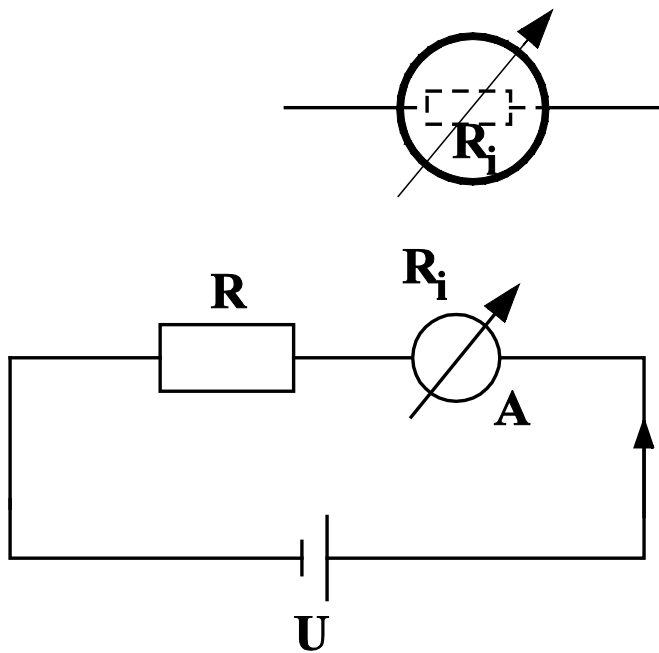
**I. Physikalisches Institut B**

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

# Prinzip Strommessung

Messvorgang darf zu messenden  
Strom nicht beeinflussen!

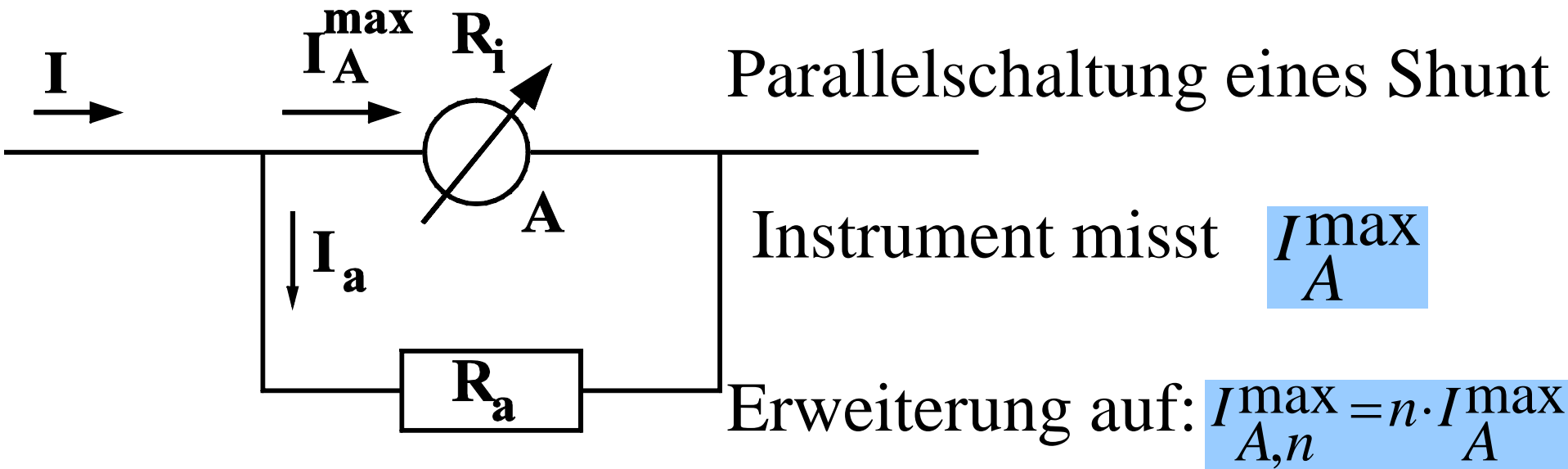
Erwarteter Strom:  $I = \frac{U}{R}$



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

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

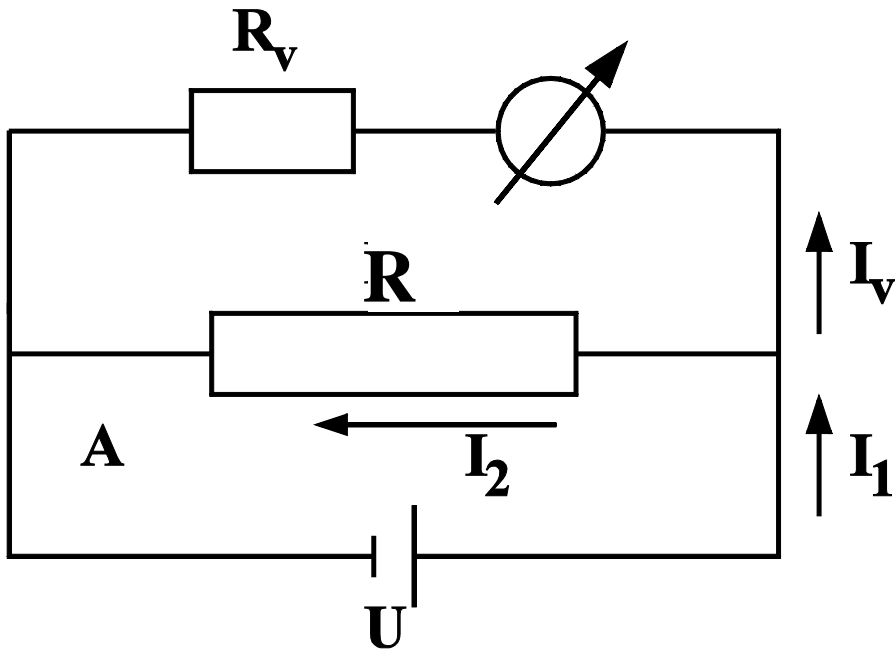
# Messbereichserweiterung



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



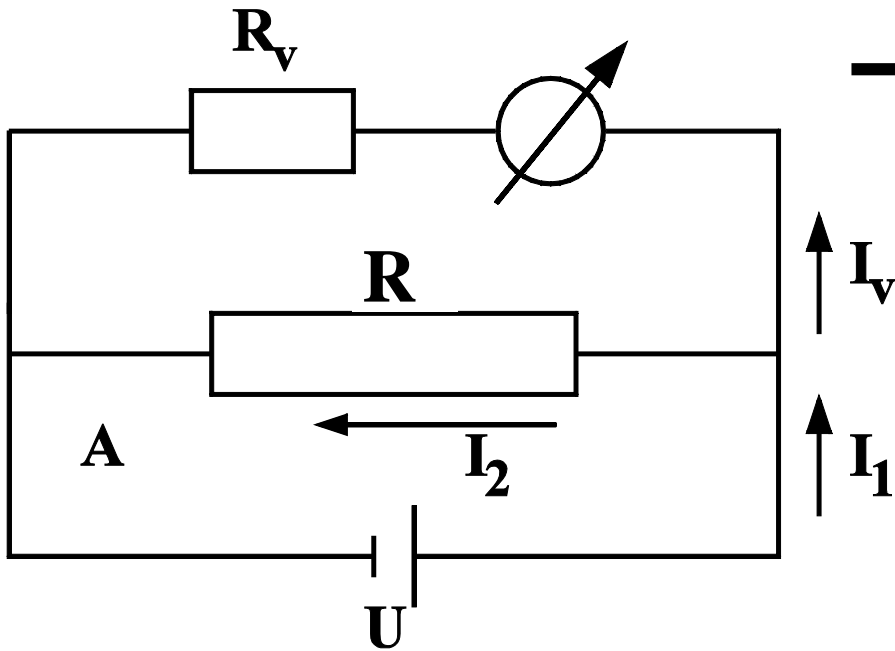
Spannungsmesser sind mittels  
Ohmschen Gesetz in Volt  
geeichte Amperemeter

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

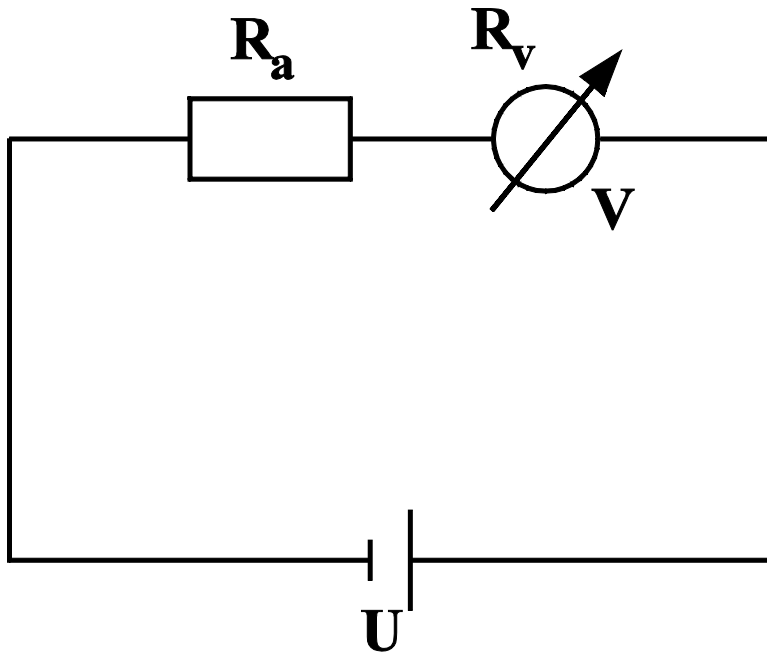
$$I_1 = U \cdot \left( \frac{1}{R_v} + \frac{1}{R} \right) = I \cdot \frac{R + R_v}{R_v} > I = \frac{U}{R}$$

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:

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

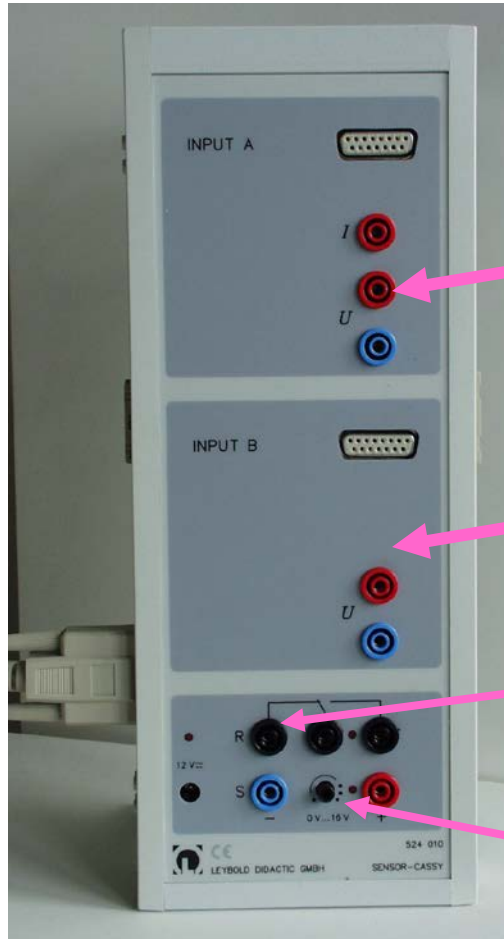
→ Vorschaltwiderstand:  $R_a = (n-1) \cdot R_v$

# Realisation der Strom- und Spannungsmessung im Praktikum?





# Sensor Cassy Interface



4-fach galvanisch getrennt:

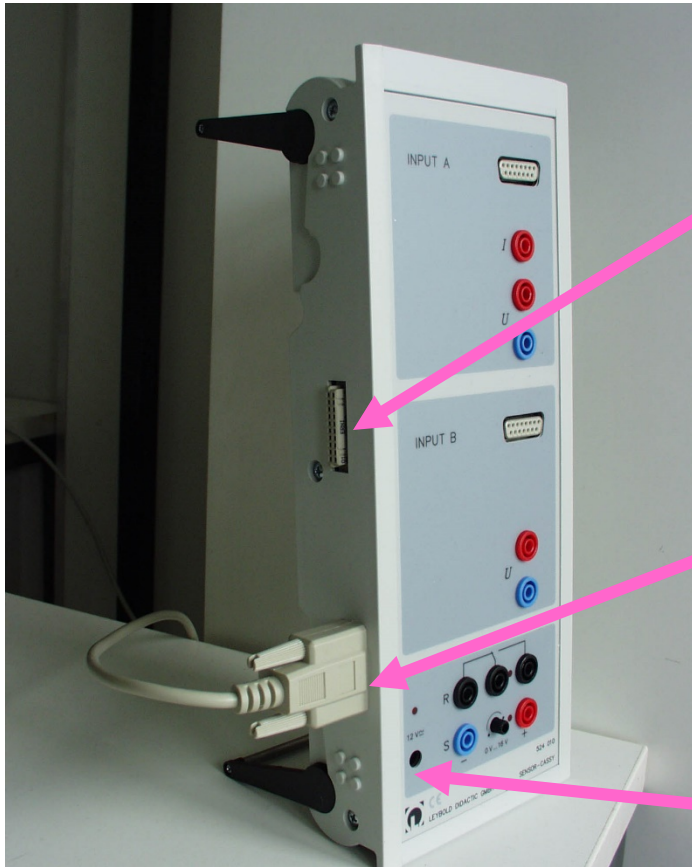
Eingang A (I,U)

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**



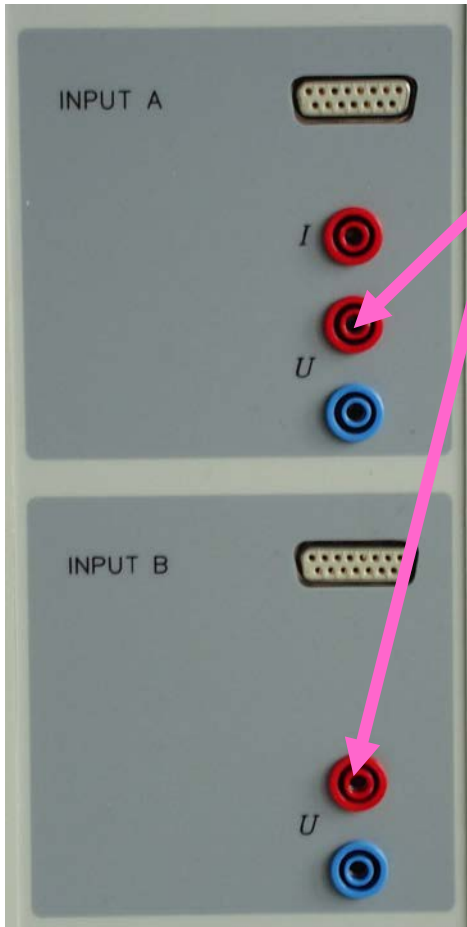
1 analoger Ausgang (PWM)  
pulsweitenmoduliert, schaltbare  
Spannungsquelle S,  
Schaltanzeige mit LED,  
Spannung: **max. 16 V / 200 mA**  
PWM-Frequenz: **100 Hz**

# Sensor Cassy Interface

## 5 analoge Eingänge

2 analoge Spannungseingänge A und B:

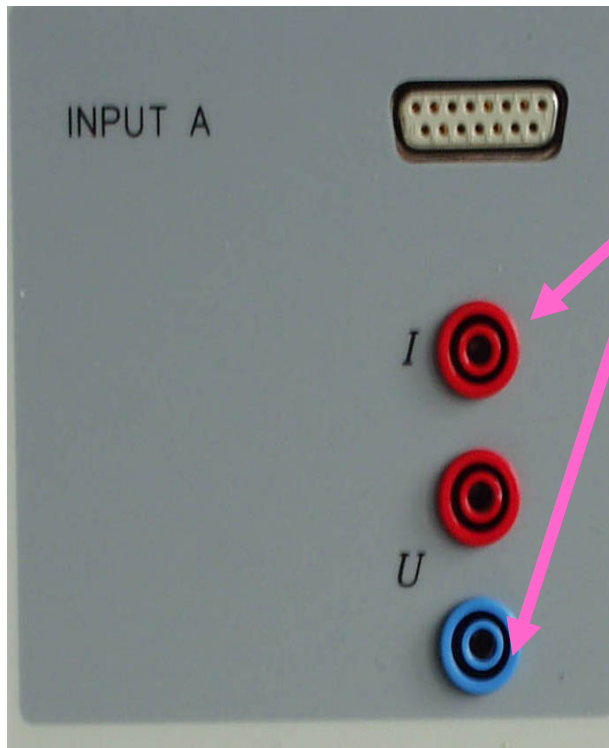
- Auflösung: 12 Bit ( $2^{12} = 4096$ )
- Messbereiche:  $\pm 0,3/1/3/10/30/100$  V
- Digitalisierung:  $\pm 0,15$  mV/.../ 48,8mV
- sys. Messfehler:  $\pm 1\% + 0,5\%$  Endwert
- Eingangswiderstand: 1 M $\Omega$
- Abtastrate: max. 200.000 Werte/s  
(=100.000 Werte/s pro Eingang)
- Anzahl Messwerte: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



(= 16000/ Eingang) 12

# Sensor-Cassy Interface

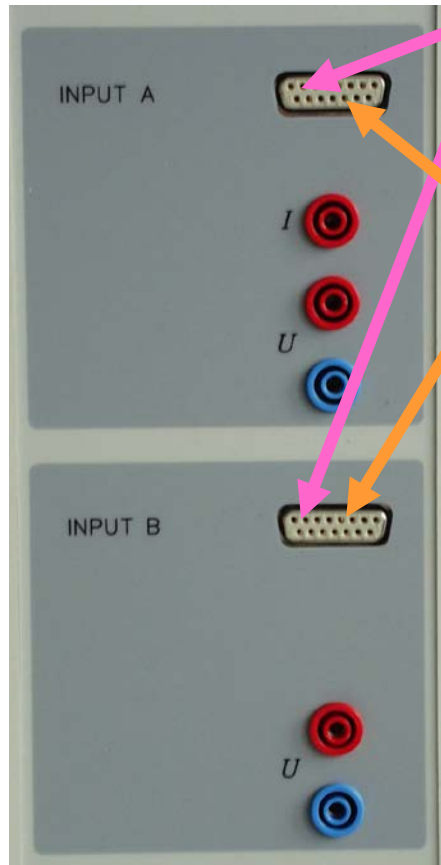
## Eingang A:



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

- Zährefrequenz: max.  $100\text{ kHz}$
- 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

F4 F3 F2 F9 F5 F6 F1 F7

CASSY Lab

Standard Kennlinie

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

$U_{B1}$   $I_{A1}$

$U_{B1}$  10  
V

Spannung  $U_{B1}$

-10 -5 0 5 10

$U_{B1} = 0,01 \text{ V}$

9

6

8

7

5

4

2



# 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](mailto: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 'Systemsteuerung' window. The 'System und Sicherheit' category is also circled in red. The 'Systemsteuerung' window shows various system settings categories, including 'System und Sicherheit', 'Netzwerk und Internet', 'Hardware und Sound', and 'Programme'. The 'System und Sicherheit' category is selected, showing options like 'Status des Computers überprüfen', 'Sicherung des Computers erstellen', and 'Probleme erkennen und beheben'. The taskbar at the bottom shows the system tray with the date and time (12:26, 19.02.2015) and the system status (97% battery).

# 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 with a blue background. The taskbar at the bottom contains icons for various applications: Digital Photo Professional, OpenChoice Desktop, VMware Player, EOS Utility, OpenOffice 4.1.1, and VLC media player. The system tray in the bottom right corner shows the language (DE), battery level (98%), and the date and time (12:28, 19.02.2015).

Two windows are open:

- Systemsteuerung (System and Security):** The left sidebar shows "System und Sicherheit" selected. In the main pane, "Geräte-Manager" is circled in red. A red arrow points from this circle to the Device Manager window.
- Geräte-Manager (Device Manager):** The tree view is expanded to "inst-1b-163". Under "Eingabegeräte (Human Interface Devices)", "USB-Eingabegerät" is circled in red. This category is further expanded to show "USB Serial Port (COM9)", which is also circled in red.

Other desktop icons include WinSCP and PuTTY. The "Think" logo is visible in the bottom right corner of the desktop.

# Cassy Lab Start

Wenn COM >19,  
Doppelklick auf  
USB Serial Port

The screenshot shows a Windows desktop environment with several windows open. On the left, the Device Manager window displays a tree view of hardware. The 'Ports' section is expanded, and 'USB Serial Port (COM9)' is highlighted with a red circle. A red arrow points from this circle to the 'Erweitern...' button in the 'Eigenschaften von USB Serial Port (COM9)' window. Another red arrow points from the 'Erweitern...' button to the 'Erweiterte Einstellungen für COM9' window, where the 'COM-Anschlussnummer' dropdown menu is set to 'COM9' and circled in red. 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

USB Pakete senden  
Reduzieren Sie die Werte, um die Leistung zu verringern.  
Erhöhen Sie die Werte, um die Leistung zu erhöhen.  
Empfangen (Bytes):  
Senden (Bytes):

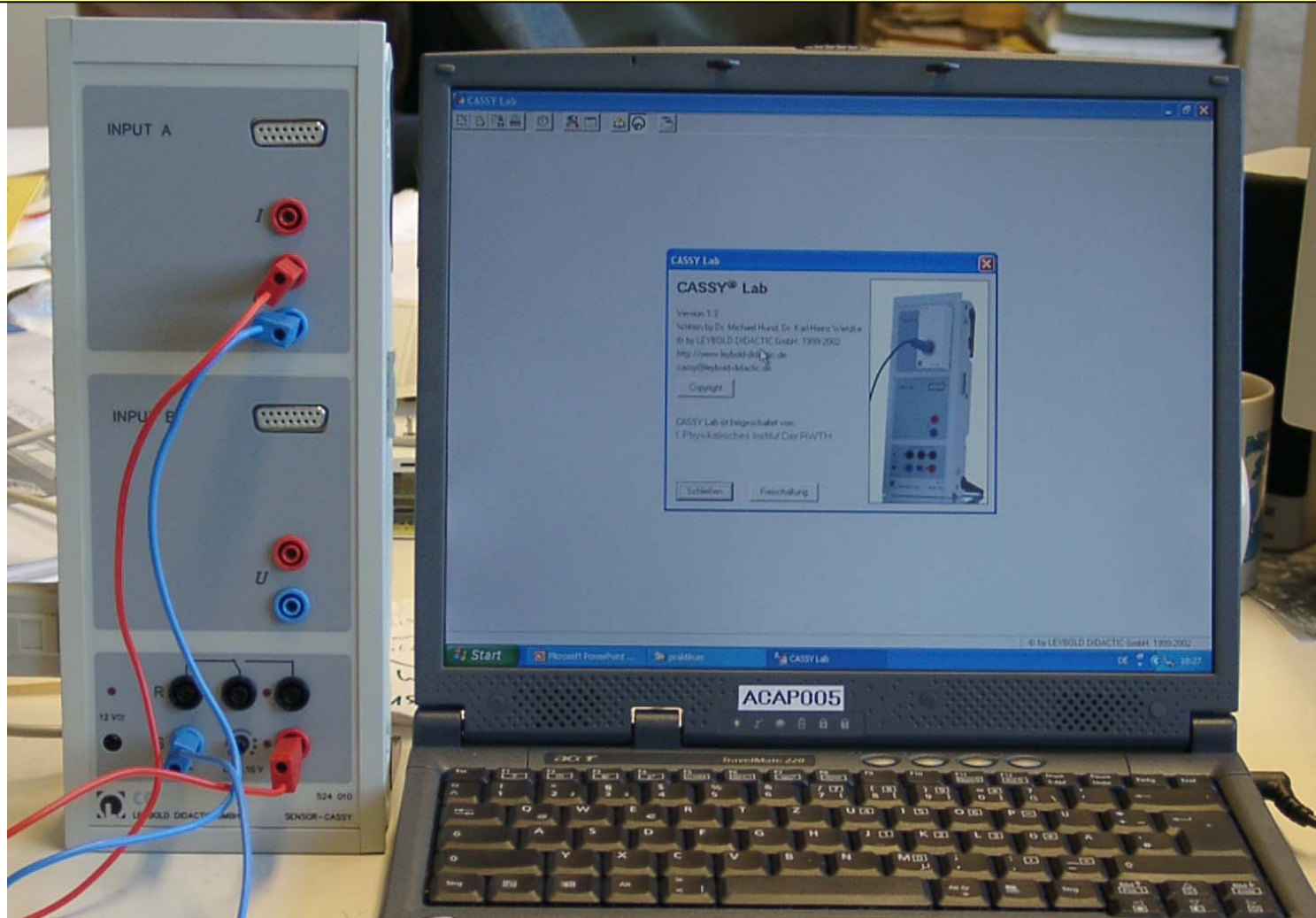
BM Einstellungen  
Reduzieren Sie die Werte, um die Leistung zu verringern.  
Wartezeit (ms):  
Timeouts

Minimale Anzahl der Lese-Timer (ms):  
Minimale Anzahl der Schreib-Timer (ms):

Allgemeine Optionen  
PlugPlay für serielle Schnittstelle  
Serieller Drucker  
Adressieren der Kommunikation, wenn das Gerät angeschlossen wird  
Event bei unvorhergesehener Entfernung des Cables  
Beim Schließen der Verbindung RTS aktiv setzen  
Adressieren der Modemsteuerung beim Aufheben des Cables  
Enable Selective Suspend  
Selective Suspend Idle Timeout (secs): 5

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  
 manuelle Aufnahme  
 neue Messreihe anhängen

Intervall: 100 ms  
x Anzahl:   
= Messzeit: s

Trigger:   
 Messbedingung: 1  
 wiederholende Messung  akustisches Signal

Schließen Hilfe

**Messparameter**

automatische Aufnahme  
 manuelle Aufnahme  
 neue Messreihe anhängen

Intervall: 10  $\mu$ s  
x Anzahl: 16000  
= Messzeit: 160 ms

Trigger: UB1 5,00 V fallend  
 Messbedingung: 1  
 wiederholende Messung  akustisches Signal

Schließen Hilfe

**Messparameter**

automatische Aufnahme  
 manuelle Aufnahme  
 neue Messreihe anhängen

Intervall: 100 ms  
x Anzahl:   
= Messzeit: s

Trigger:   
 Messbedingung:  $f < 5000$  and  $\Delta t > 2/f + 2$  =AUS  
 wiederholende Messung  akustisches Signal

Schließen Hilfe

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



# Cassy Lab, Einstellungen, Darstellungen

**Einstellungen** ✖

CASSY   Parameter/Formel/FFT   **Darstellung**   Modellbildung   Kommentar   Allgemein

Darstellung auswählen:  neue Darstellung   Darstellung löschen

x-Achse:    y-Achsen:

<input checked="" type="radio"/> x	<input checked="" type="radio"/> y	<input checked="" type="radio"/> y	<input type="radio"/> y
<input type="radio"/> x <sup>2</sup>	<input type="radio"/> y <sup>2</sup>	<input type="radio"/> y <sup>2</sup>	<input type="radio"/> y <sup>2</sup>
<input type="radio"/> 1/x	<input type="radio"/> 1/y	<input type="radio"/> 1/y	<input type="radio"/> 1/y
<input type="radio"/> 1/x <sup>2</sup>	<input type="radio"/> 1/y <sup>2</sup>	<input type="radio"/> 1/y <sup>2</sup>	<input type="radio"/> 1/y <sup>2</sup>
<input type="radio"/> log x	<input type="radio"/> log y	<input type="radio"/> log y	<input type="radio"/> log y

Polar    Balken    Balken    Balken

Schließen   Messparameter anzeigen   Beispiel laden   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

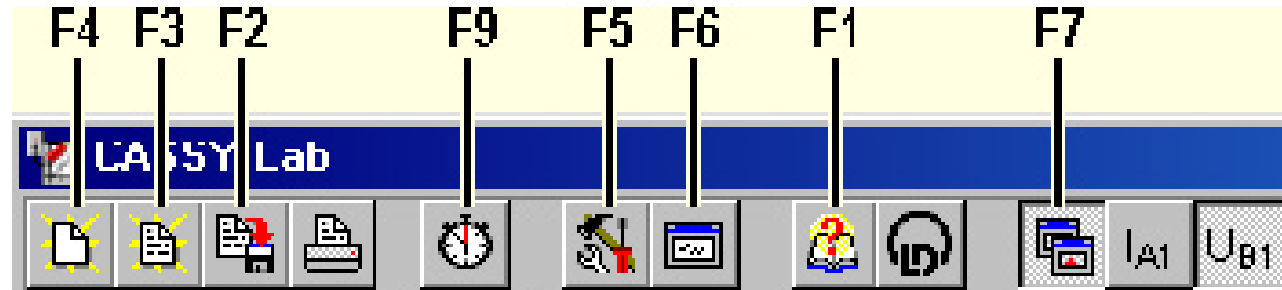
F9: Datennahme starten

F2: Dateien speichern

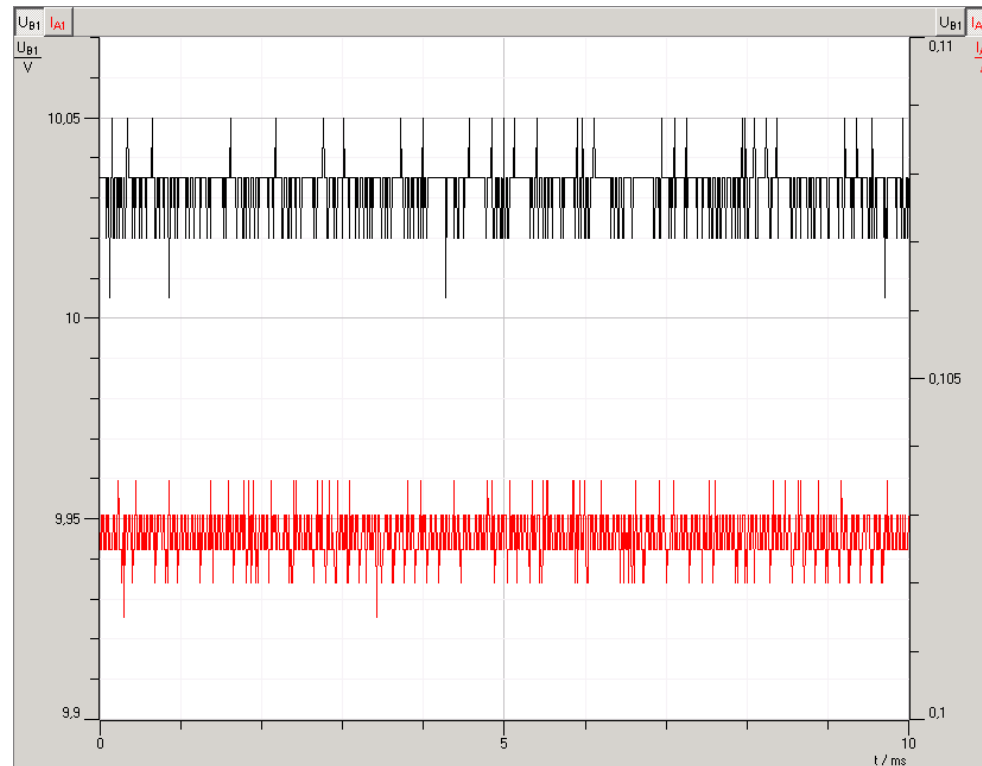
F3: Dateien laden

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**

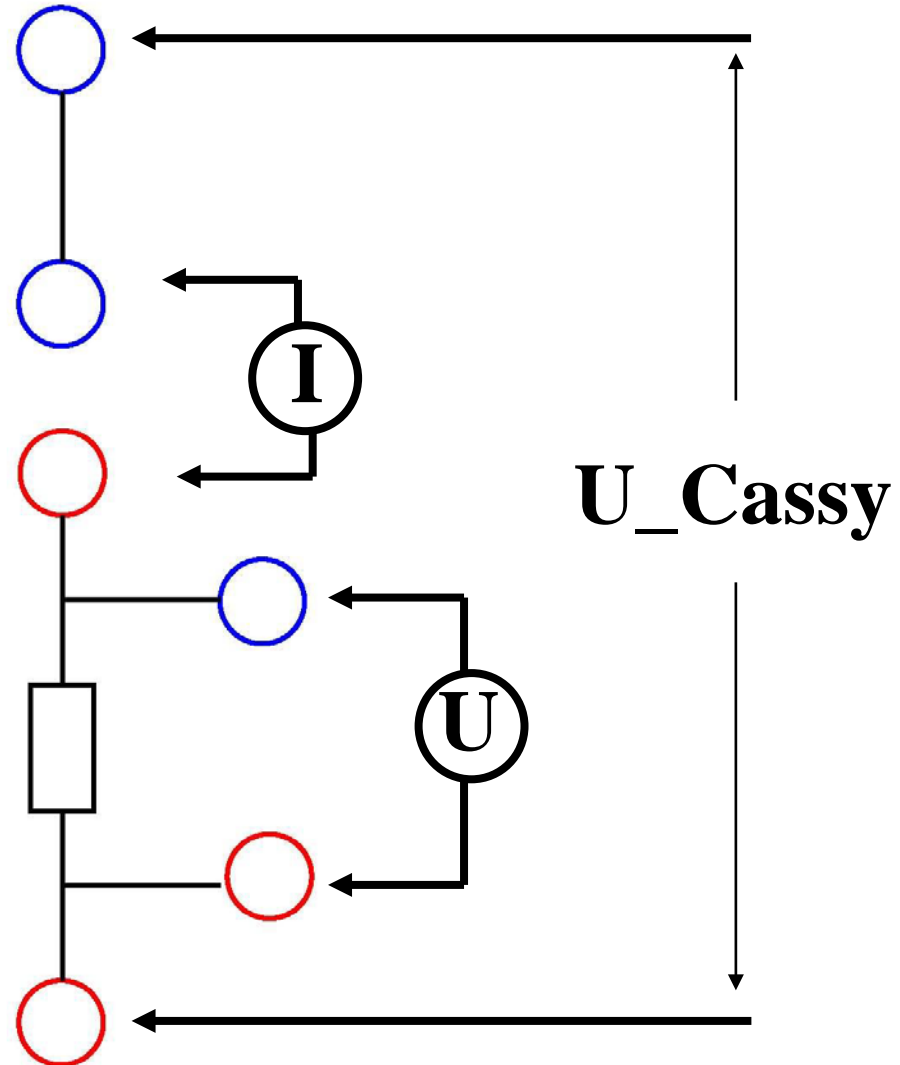
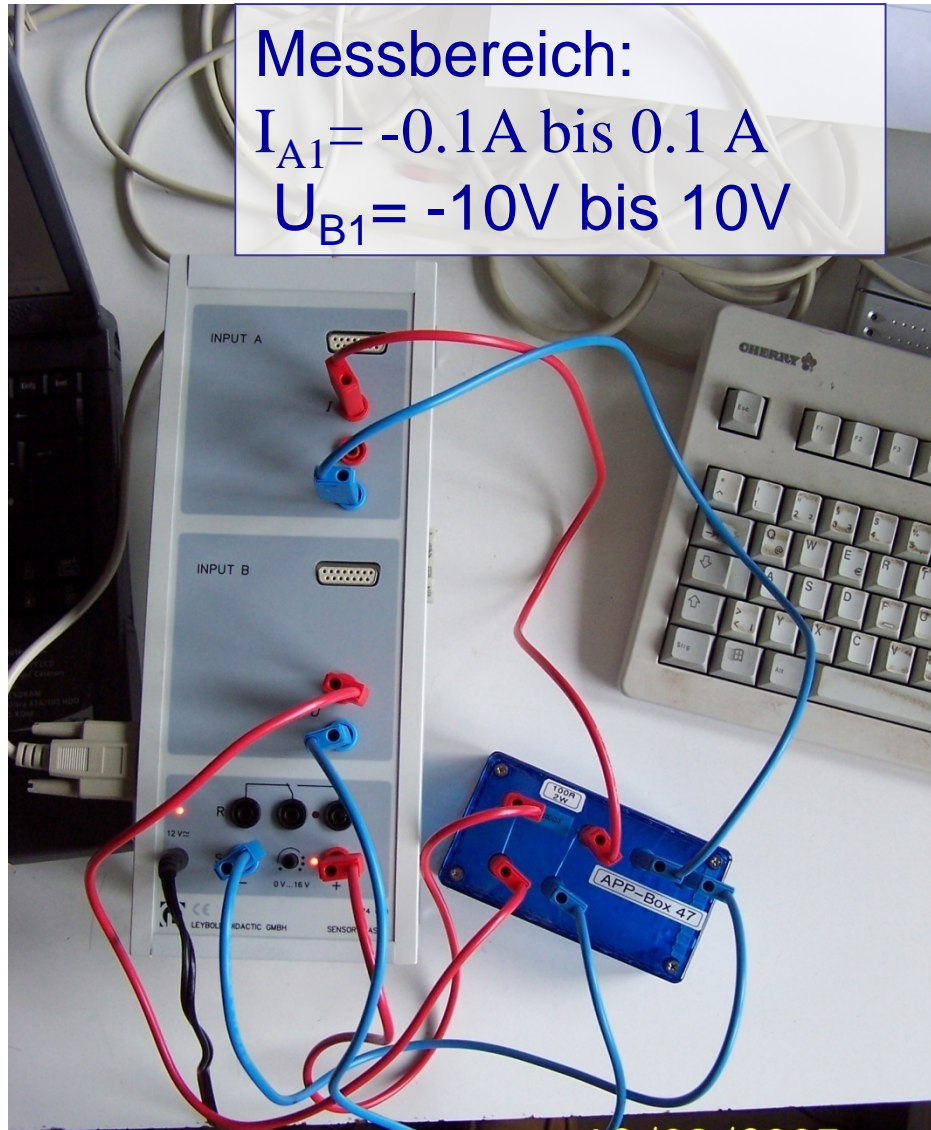
# Cassy Lab, 2. Übung



Messbereich:

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

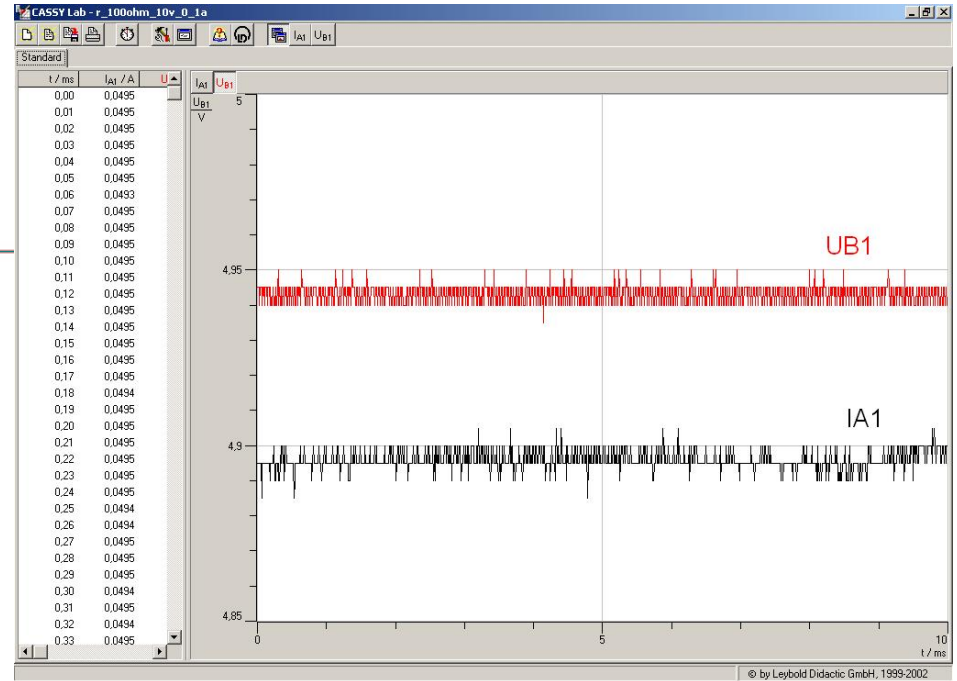
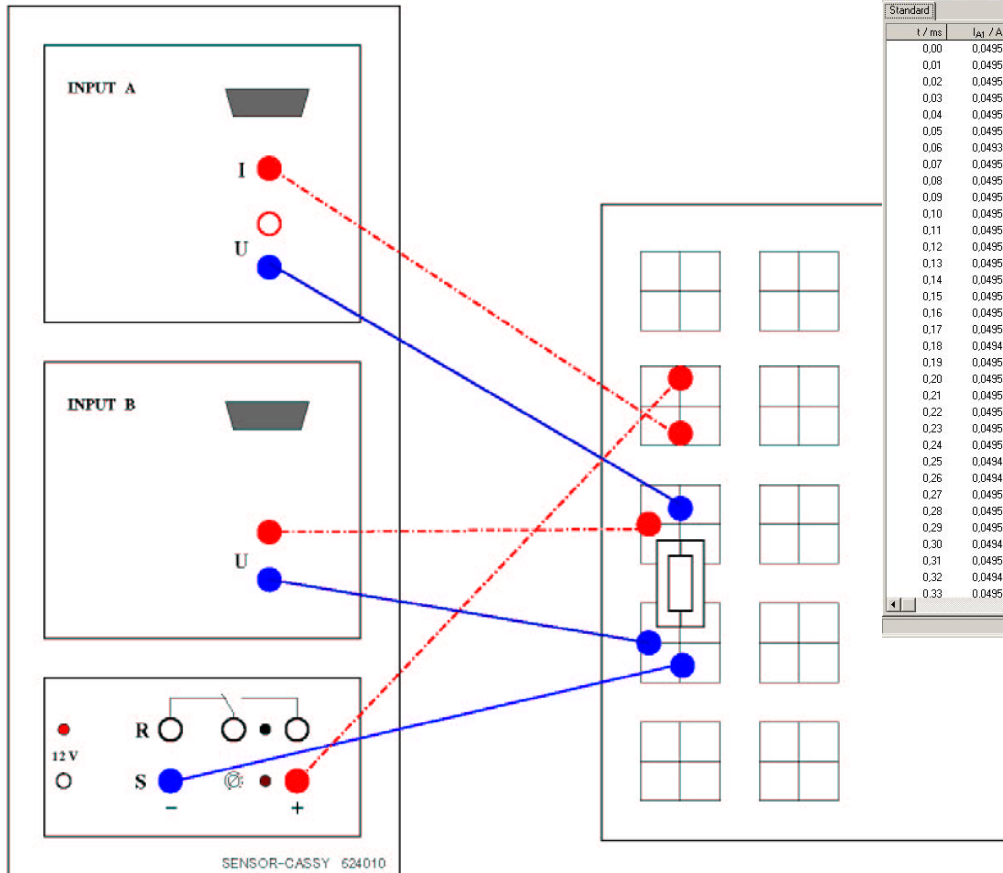
$U_{B1} = -10\text{V bis } 10\text{V}$



12/09/2005

# Sensor Cassy Interface

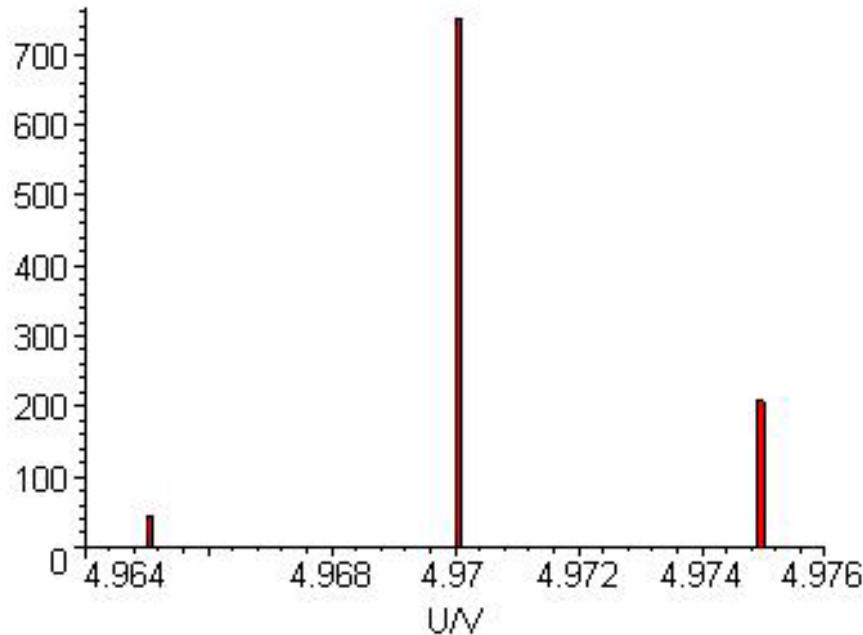
## Messungenauigkeiten



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

# Sensor-Cassy Interface

## statistische Messungenauigkeit?



Messbereich:  $\pm 10$  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:  $U_{\min}/\sqrt{12}$

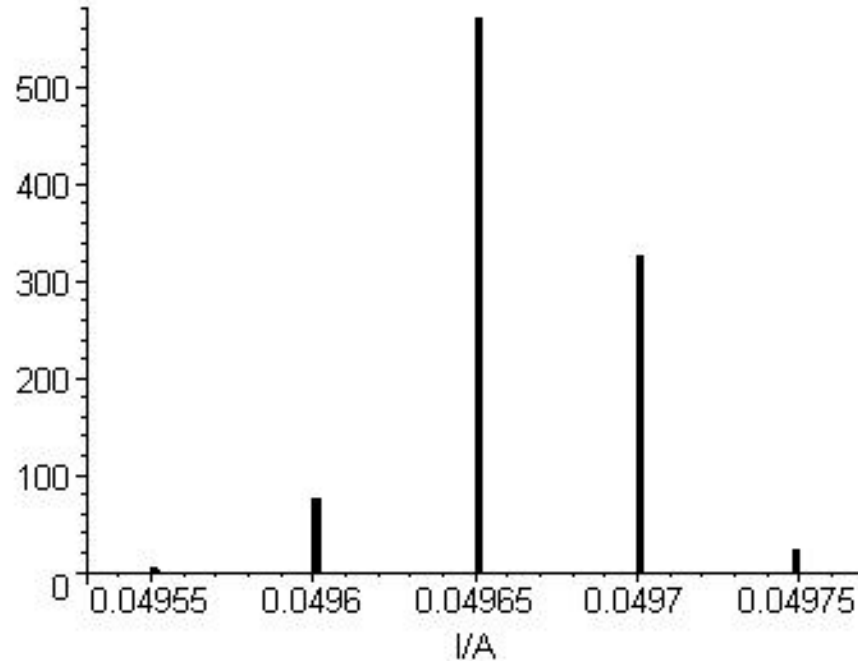
→ „Fehler“ = 1.4 mV  $\neq$  gesamte stat. MU

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

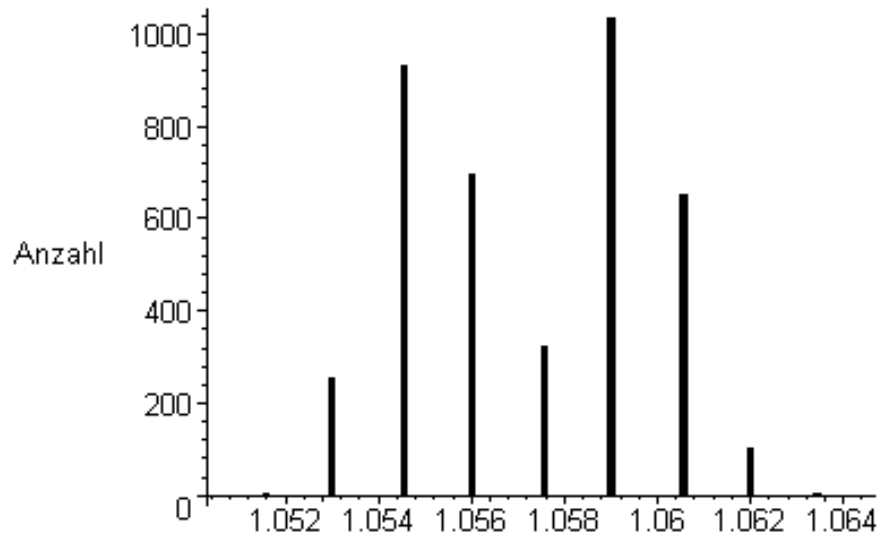
Annahme der Gleichverteilung:  $I_{\text{min}}/\sqrt{12}$

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

**MU durch Messung bestimmen!**

# Sensor-Cassy Interface

## stat. & system. Messungenauigkeit (4SC)



Messbereich:  $\pm 3$  V

Mean =  $(1.0572 \pm 0.00004)$  V

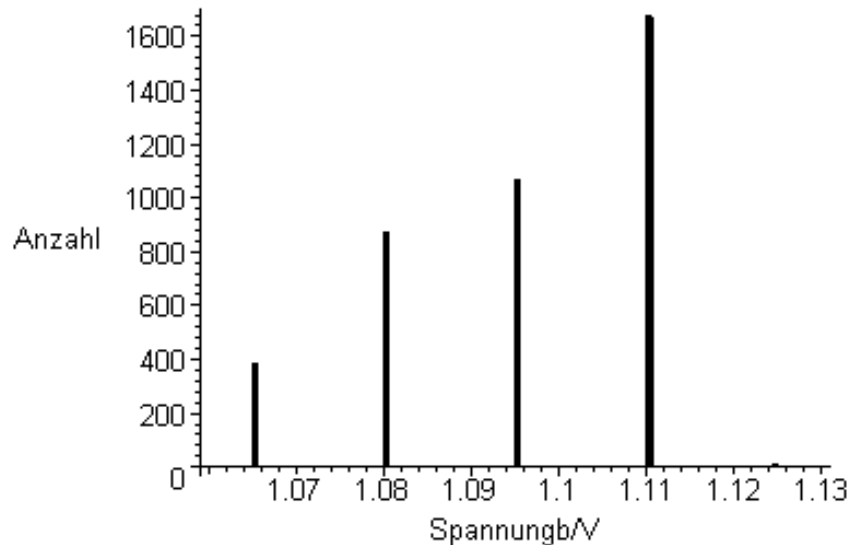
RMS = 2,5 mV

→ relativer Fehler: 2,4‰

Digitale Auflösung: 12 bit = 4096

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

→ „Fehler“ = 0,4 mV



Messbereich:  $\pm 30$  V

Mean =  $(1.095 \pm 0.0000003)$  V

RMS = 15.2 mV

→ relativer Fehler: 1.4 ‰

Digitale Auflösung: 12 bit = 4096

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

→ „Fehler“ = 4.3 mV

**MU durch Messung bestimmen!**

# Sensor-Cassy 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  $\pm 100V$

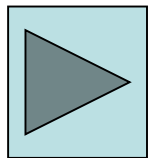
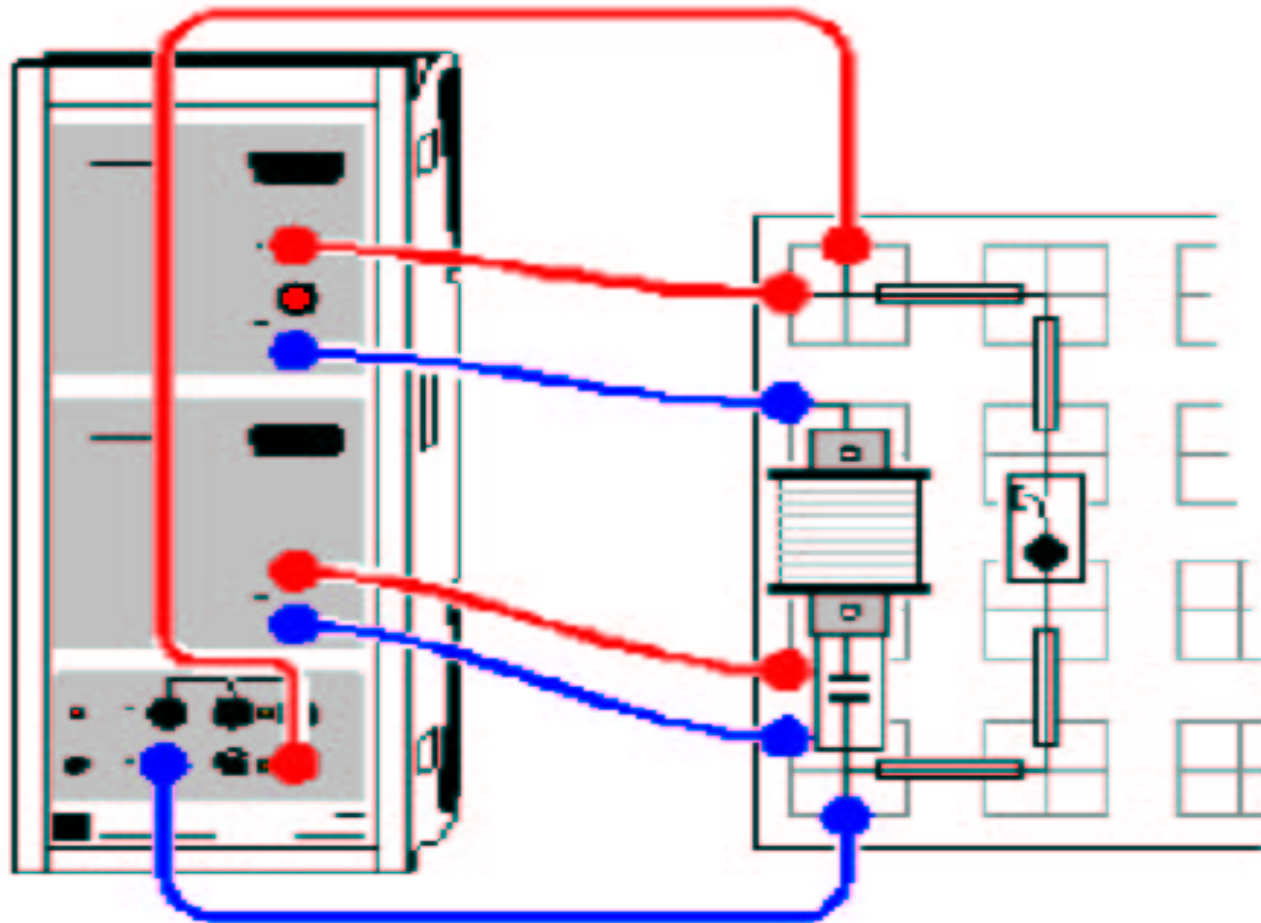
$$U_{sys} : (0,01 \cdot 2 + 0,005 \cdot 100) V = 0,52 V$$

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



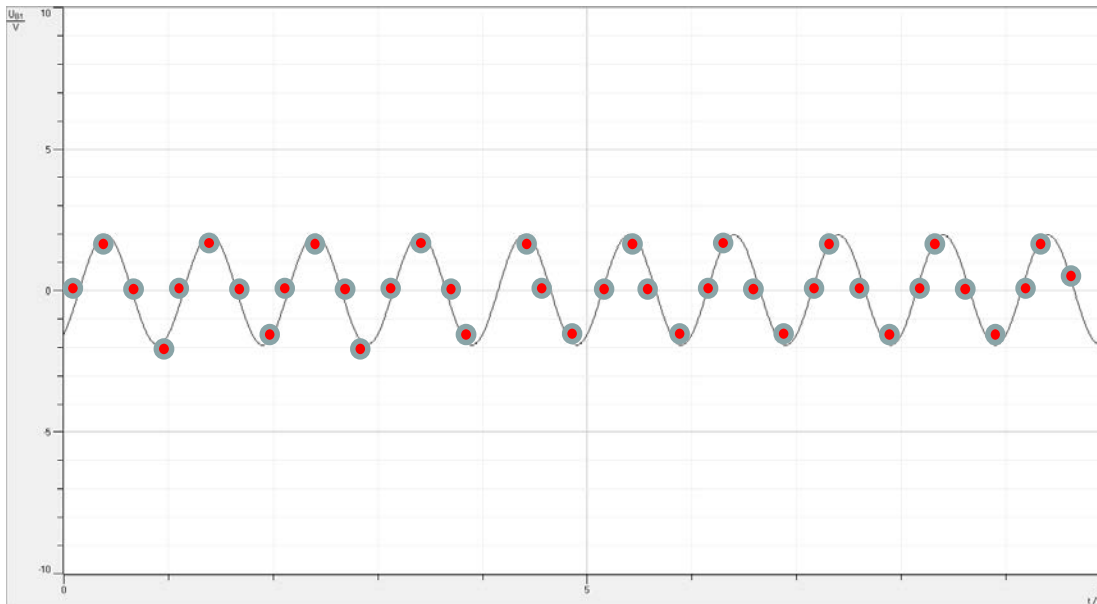
# Signaldigitalisierung

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

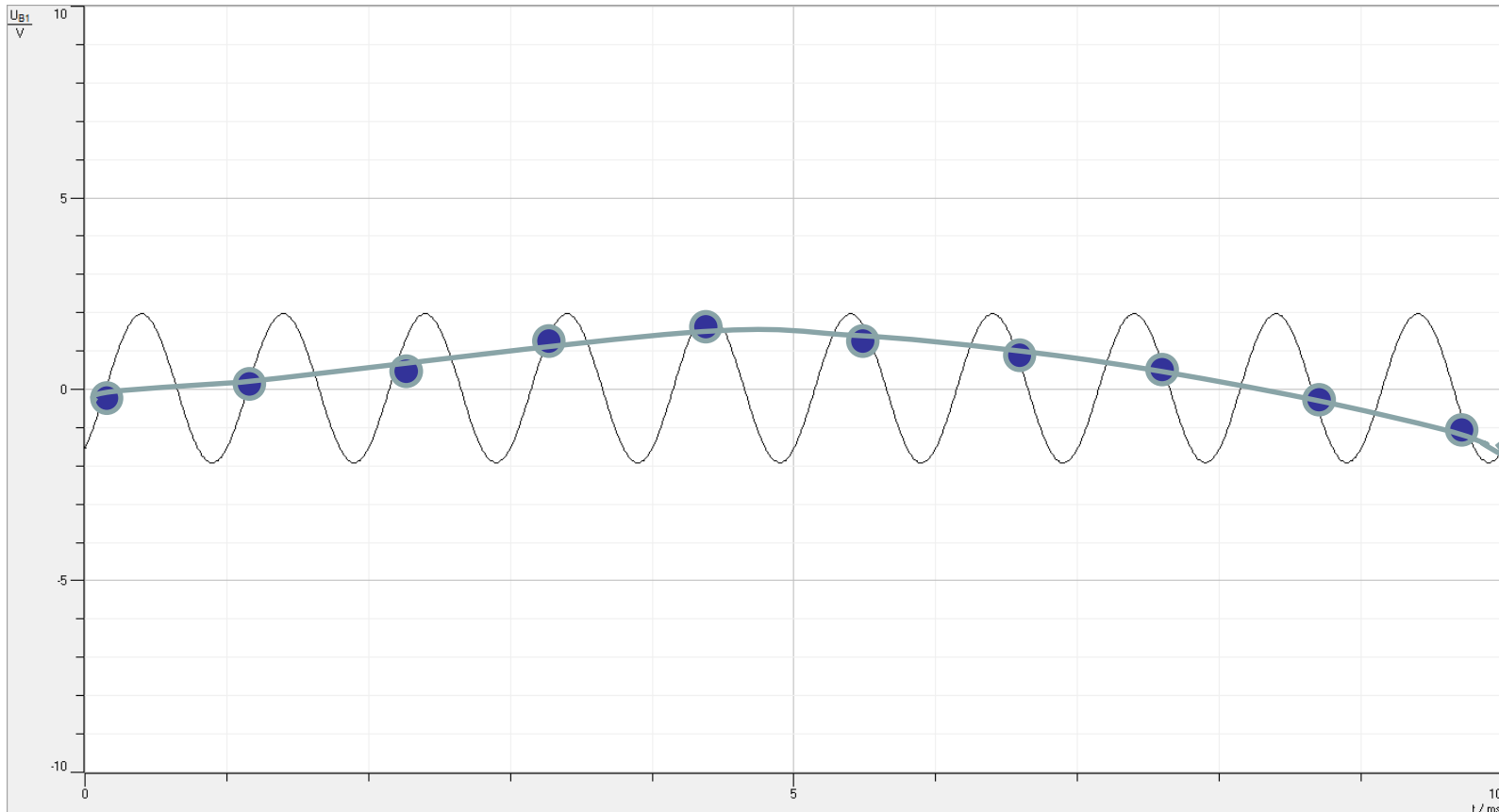
$$f_{\text{Abtastung}} > 2 \cdot f_{\text{Signal}}$$



# Signaldigitalisierung

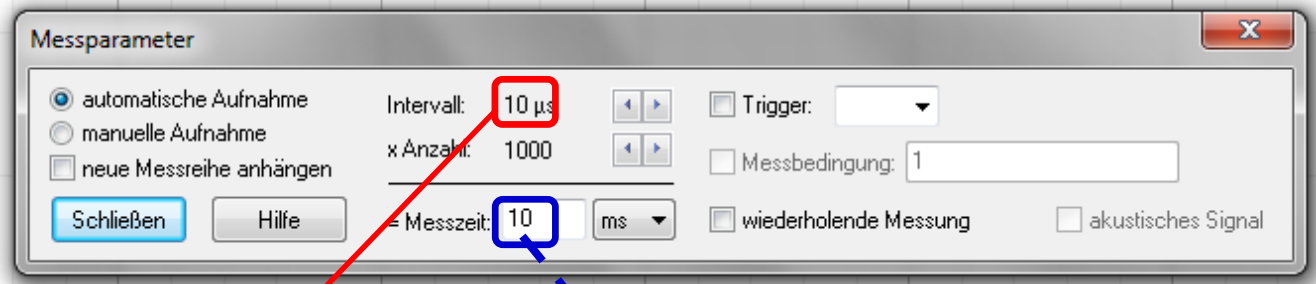
Nyquist Shannon Theorem  $f_{\text{Abtastung}} > 2 \cdot f_{\text{Signal}}$

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



# Frequenzbereich und Abtastung

## CASSY FFT



Messzeit Intervall gibt Abtastfrequenz vor

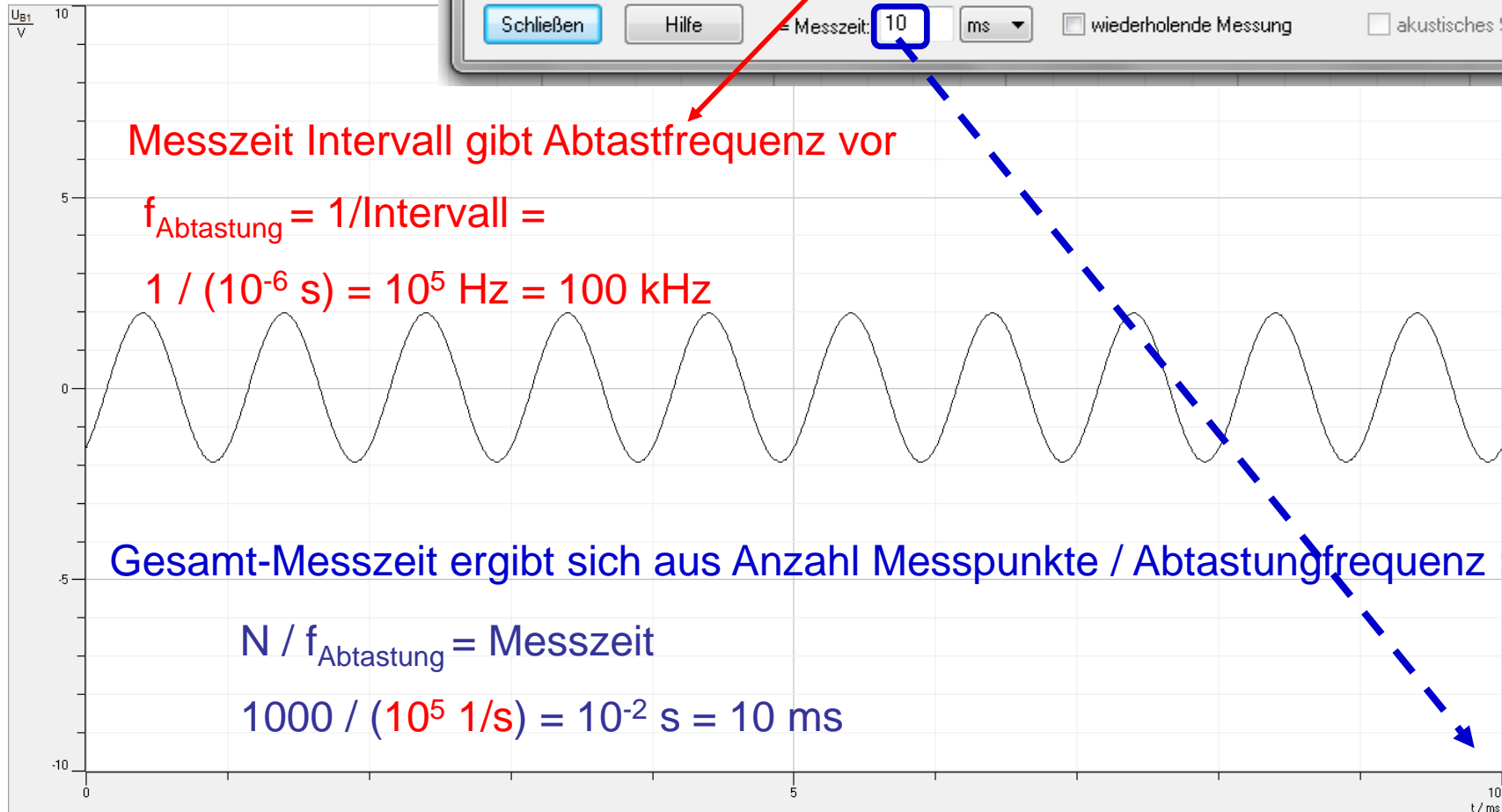
$$f_{\text{Abtastung}} = 1/\text{Intervall} =$$

$$1 / (10^{-6} \text{ s}) = 10^5 \text{ Hz} = 100 \text{ kHz}$$

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

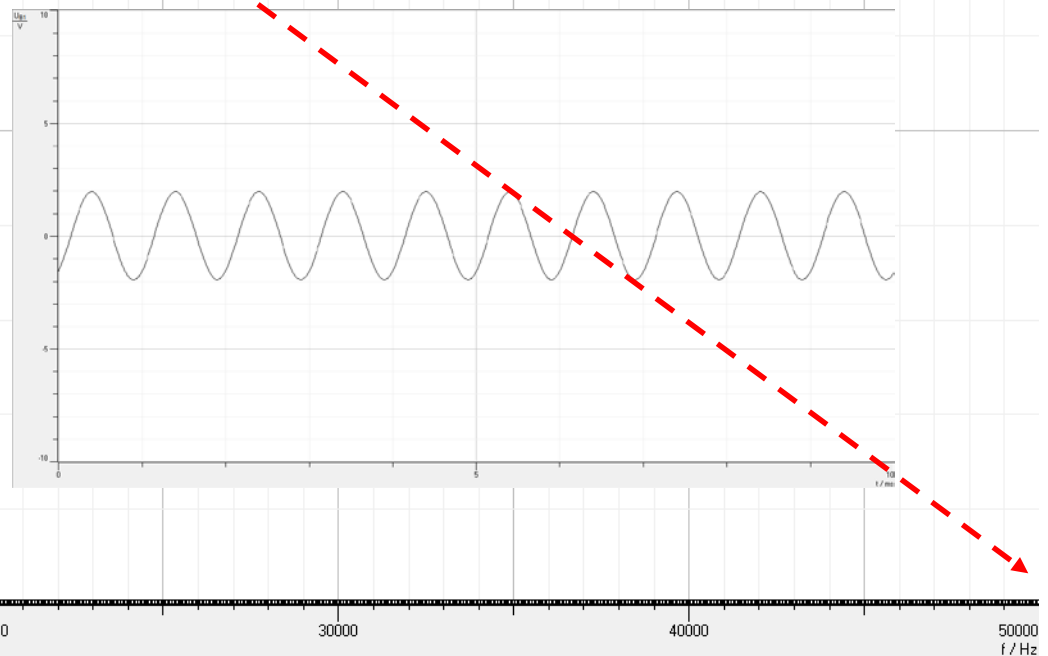
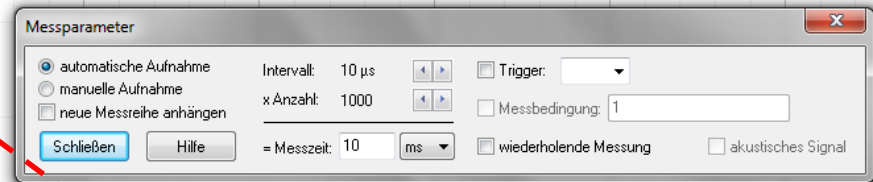
## CASSY FFT

FFT: Höchste sichtbare Frequenz  $f_{\max}$ :

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

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

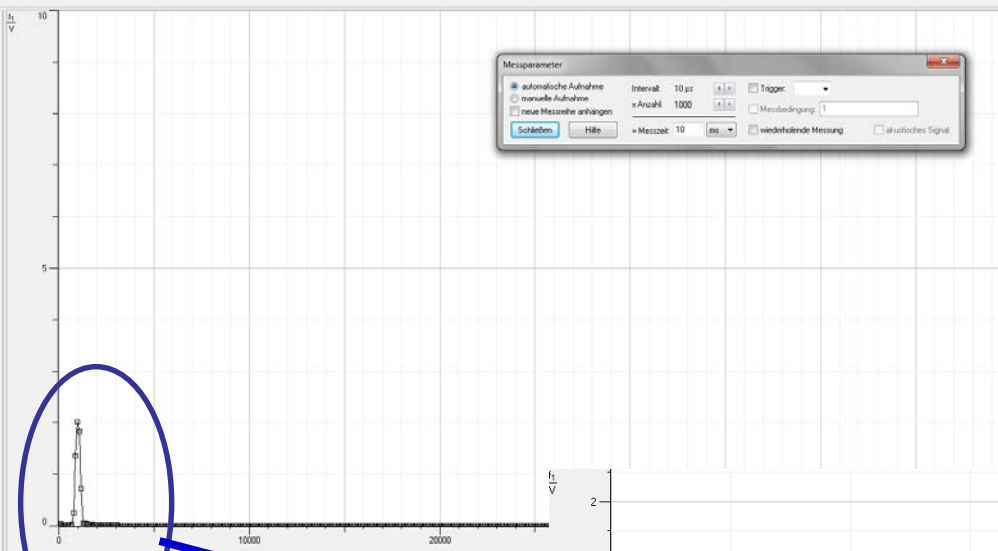
$$f_{\text{res}} = f_{\text{Abtastung}} / N = \text{Messzeit}$$
$$(10^5 \text{ 1/s}) / 1000 = 100 \text{ Hz}$$





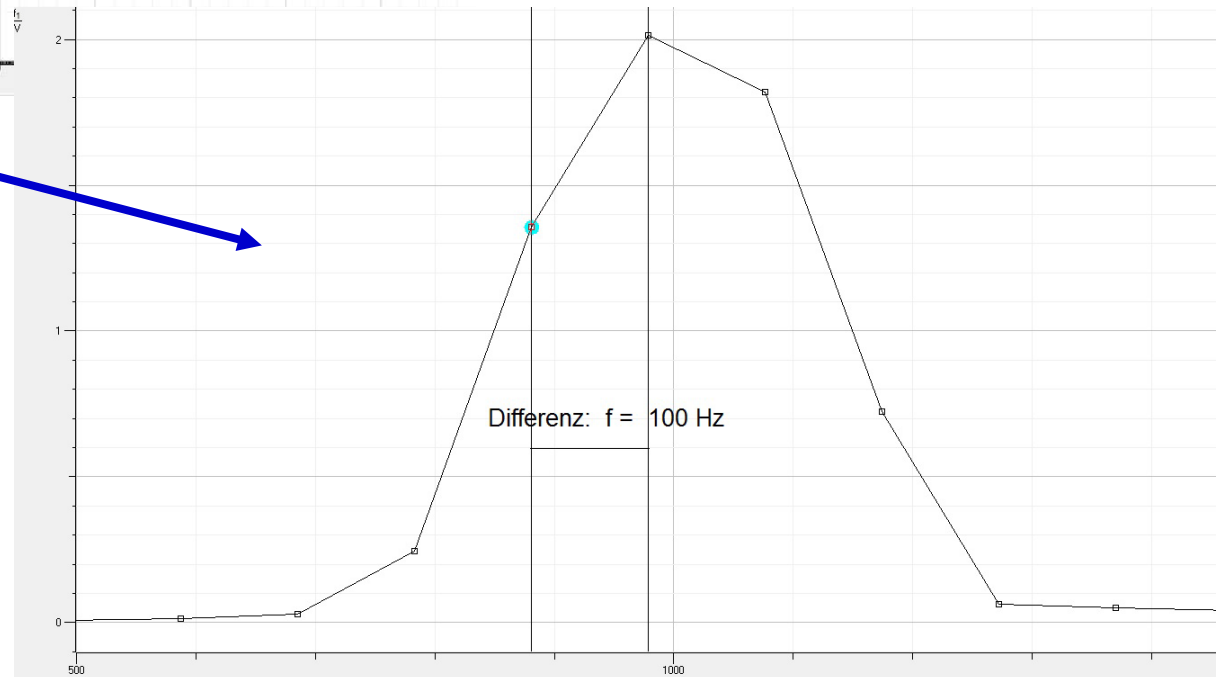
# Frequenzbereich und Abtastung

## CASSY FFT



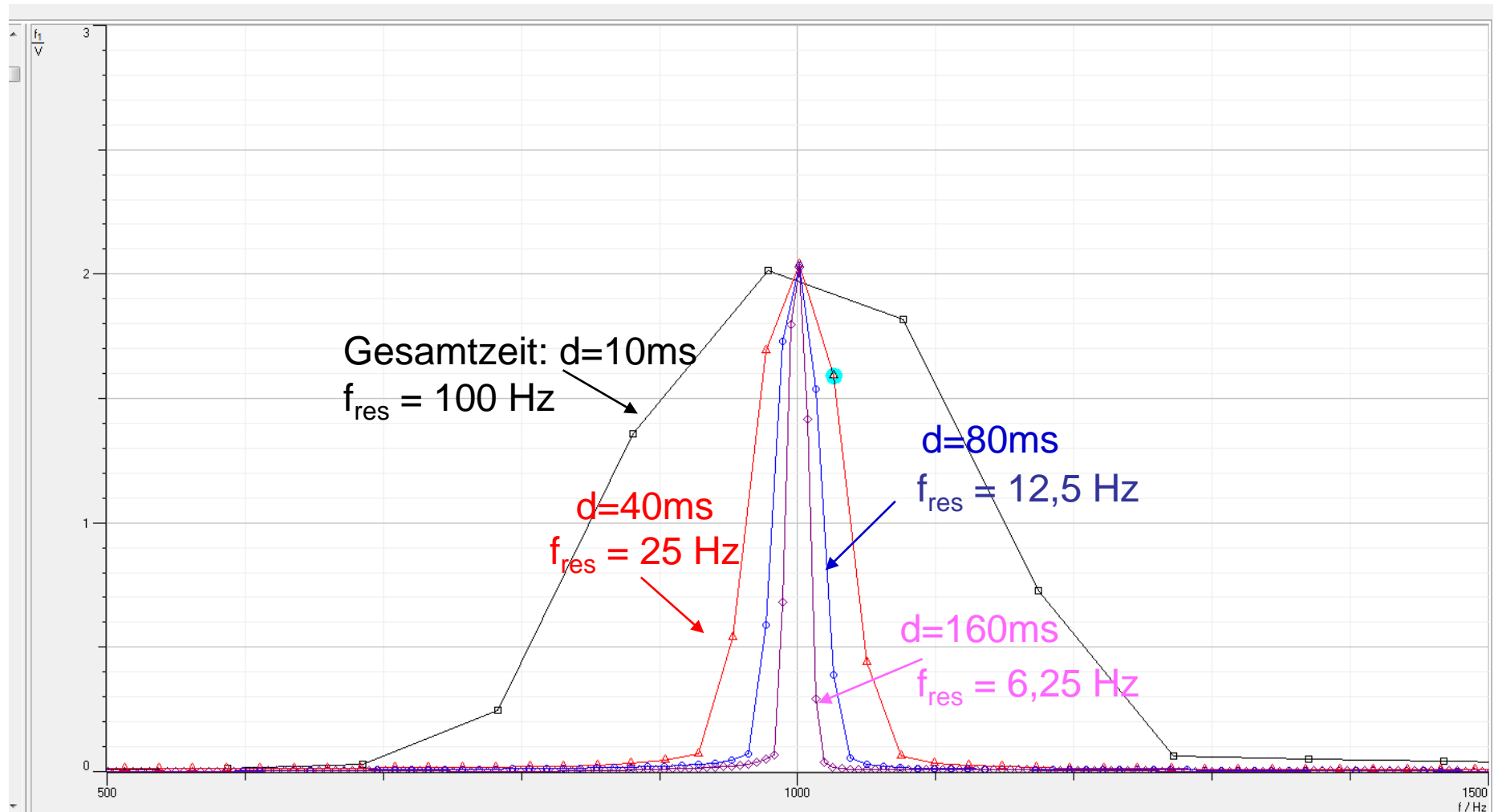
Frequenz der Auflösung  $f_{\text{res}}$   
= Abstand zwischen zwei  
Spektralkomponenten

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

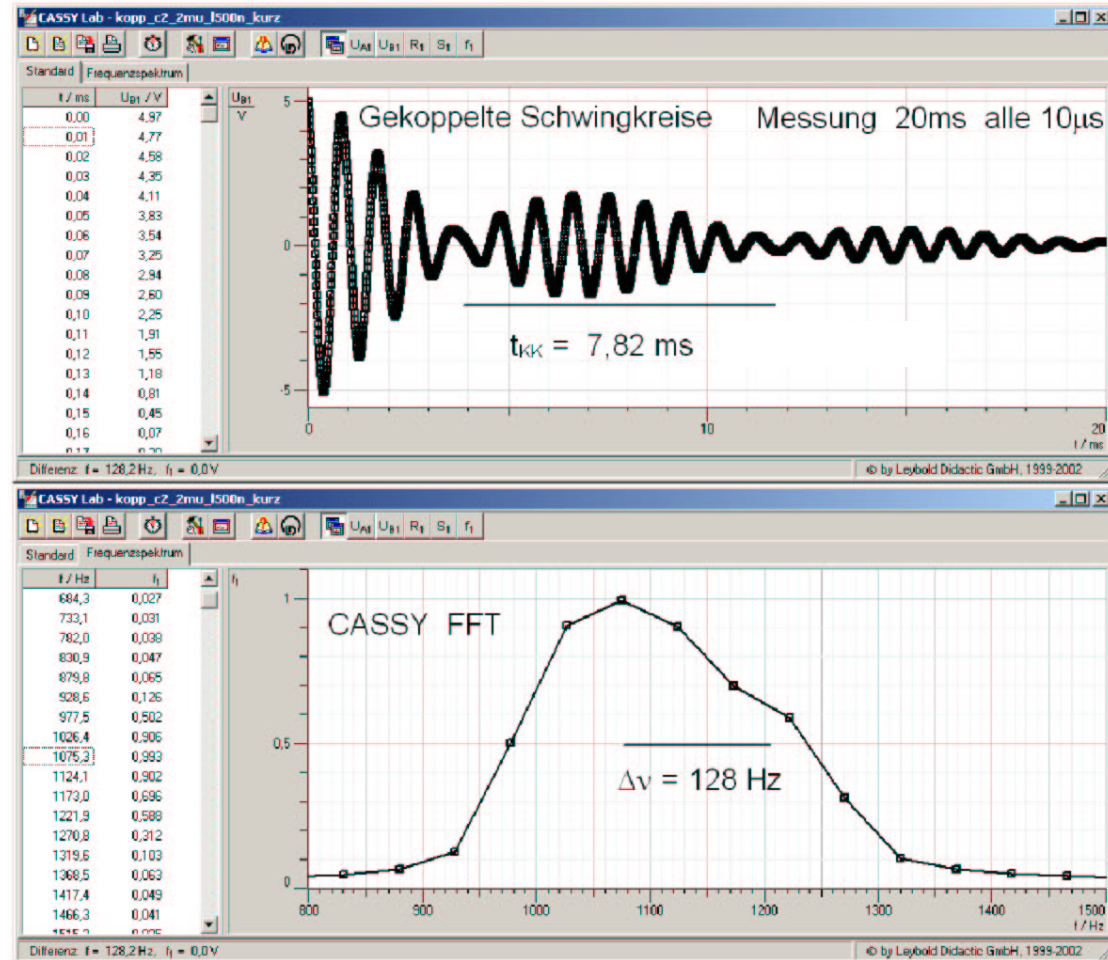
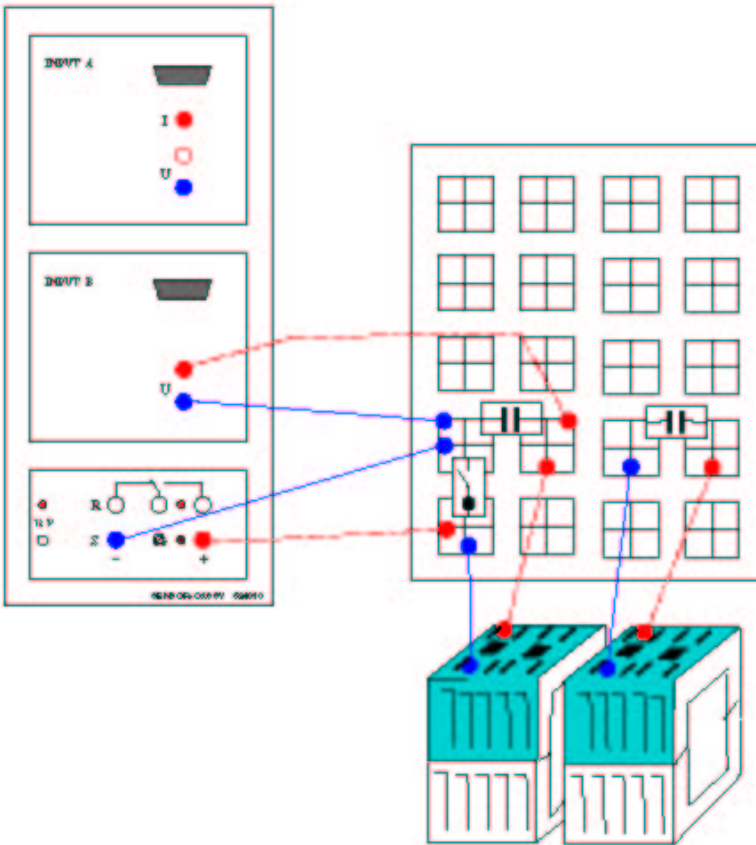


# Frequenzbereich und Abtastung

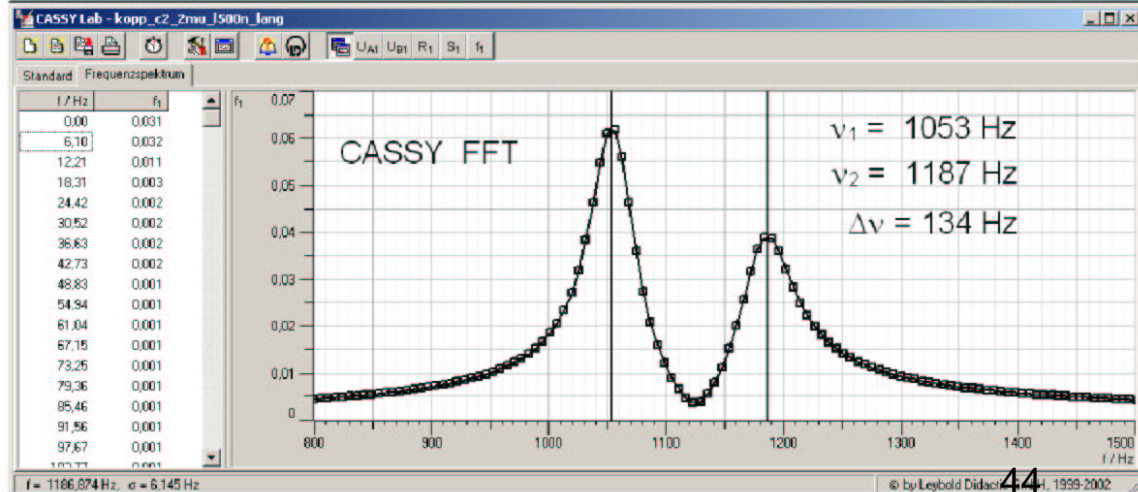
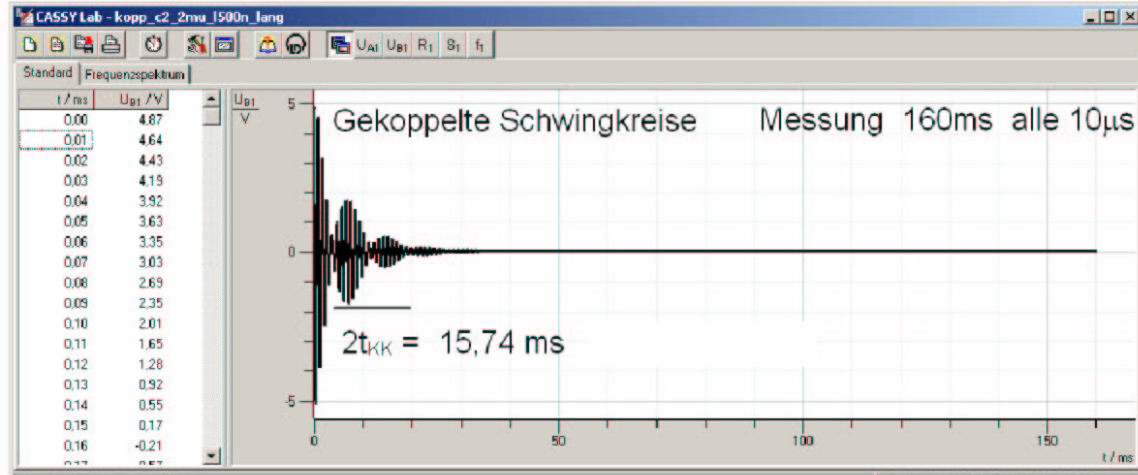
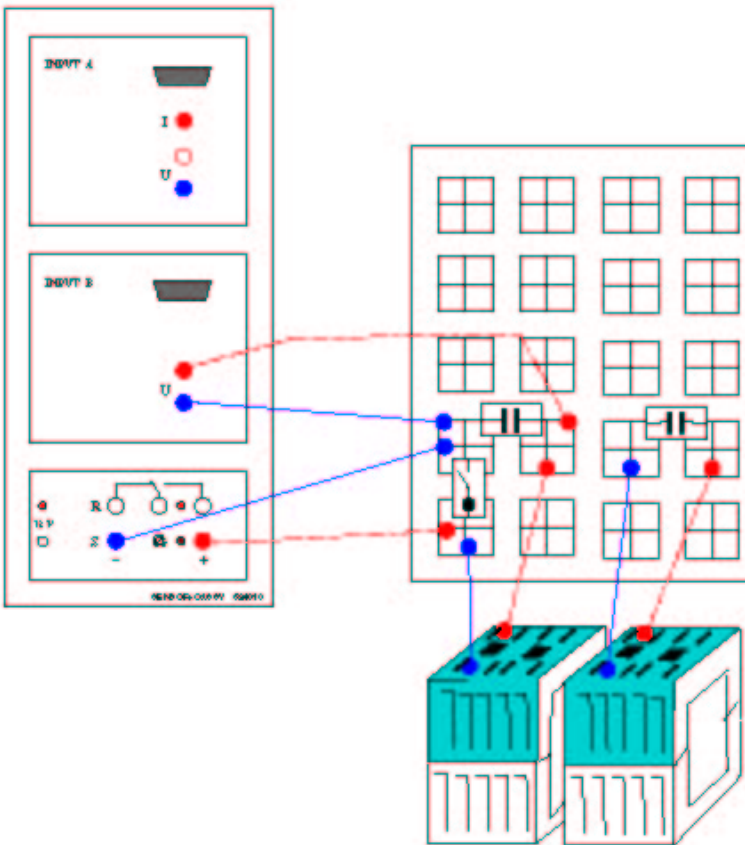
## CASSY FFT



# 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 ✓

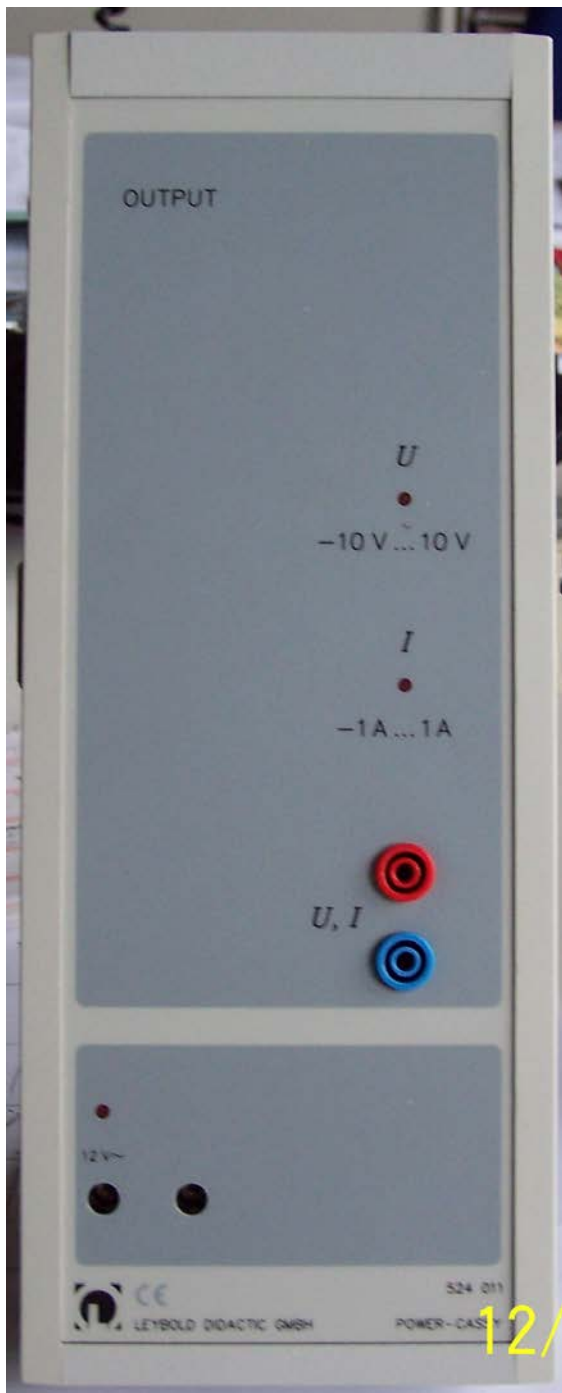
# Power Cassy

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

Anschluß an serielle Schnitt-  
stelle RS232 des PCs

Spannungsversorgung:

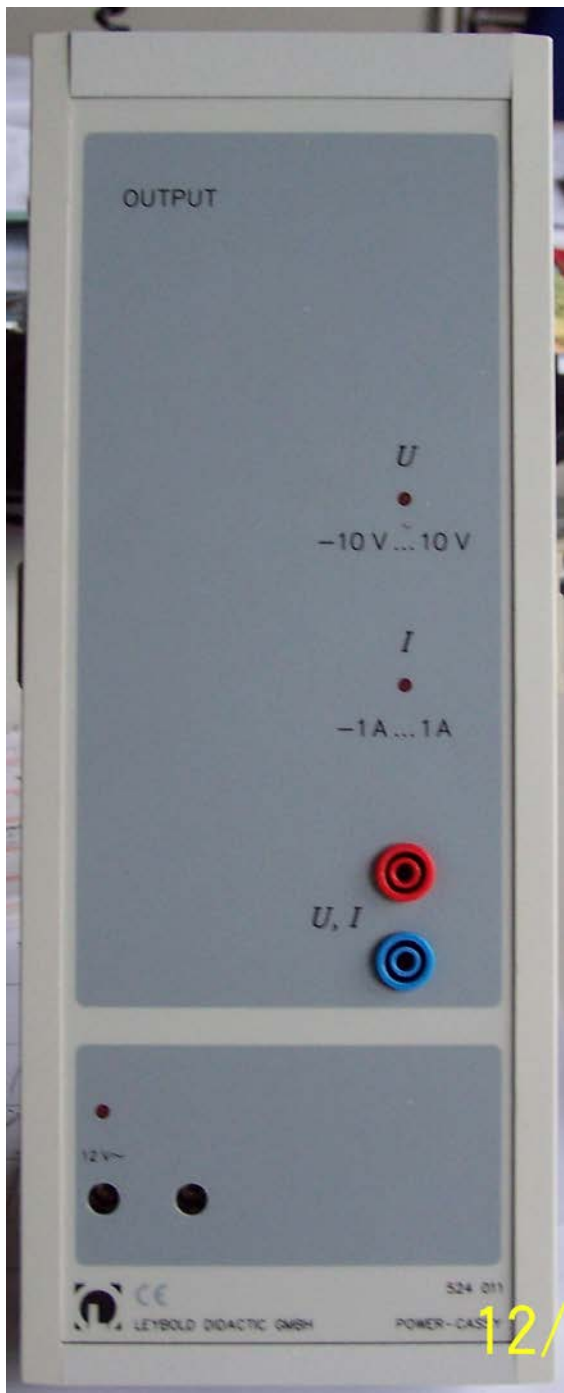
12V AC/DC über Hohlstecker oder  
benachbartes Cassy-Modul



# Power Cassy

Programmierbare Stromquelle mit gleichzeitiger Spannungsmessung:

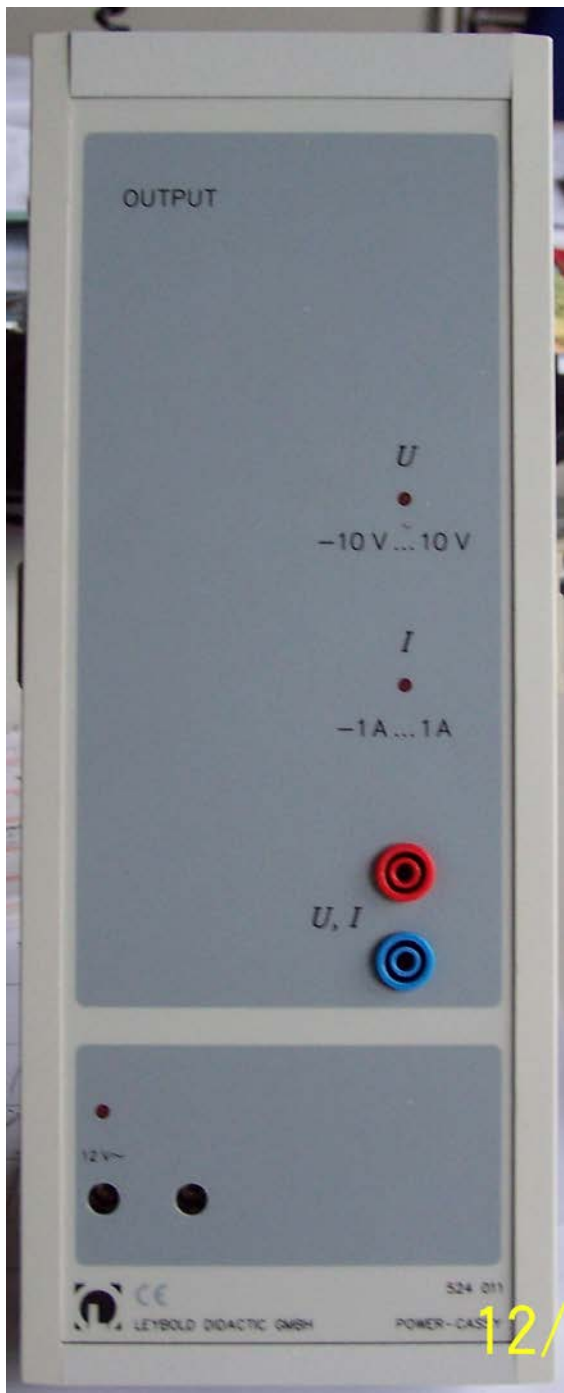
- Auflösung: 12 Bit
- Aussteuerbereich:  $\pm 1$  A
- Messbereiche:  $\pm 1/3/10$  V
- Abtastrate: max. 200.000 Werte/s  
(=100.000 Werte/s Spannung und Strom)



# Power Cassy

Programmierbare Spannungsquelle mit gleichzeitiger Strommessung:

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



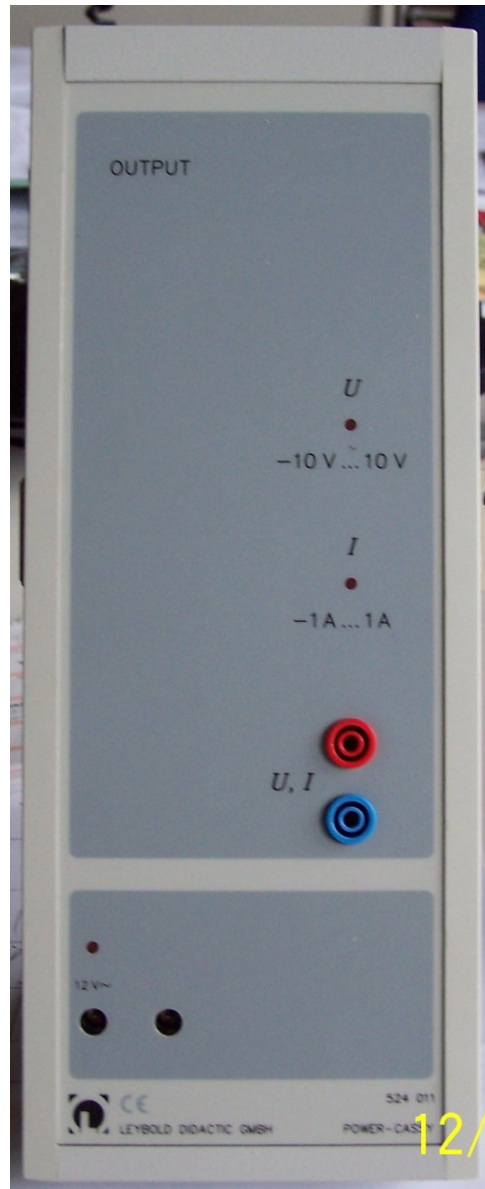


# Power Cassy vs Sensor Cassy

## 3. Übung

Power Cassy:  
Sinusspannung mit  
 $f = ?$  Hz

Sensor Cassy:  
Welche  $f$  (FFT) ?

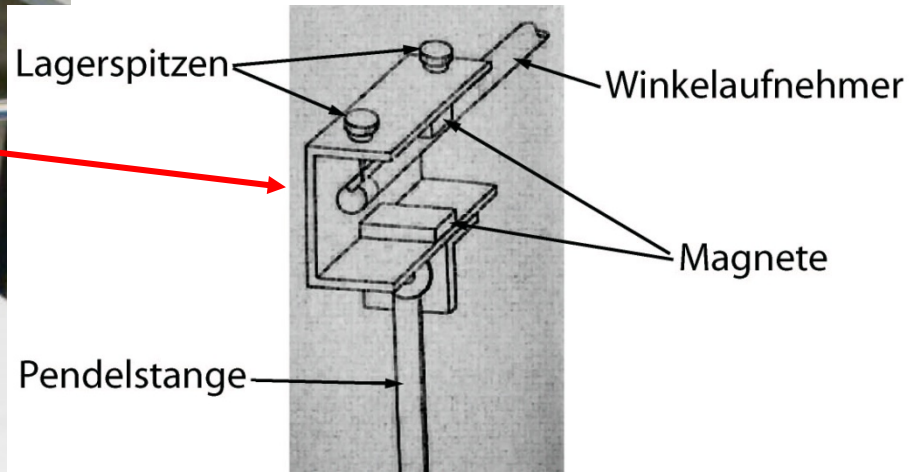
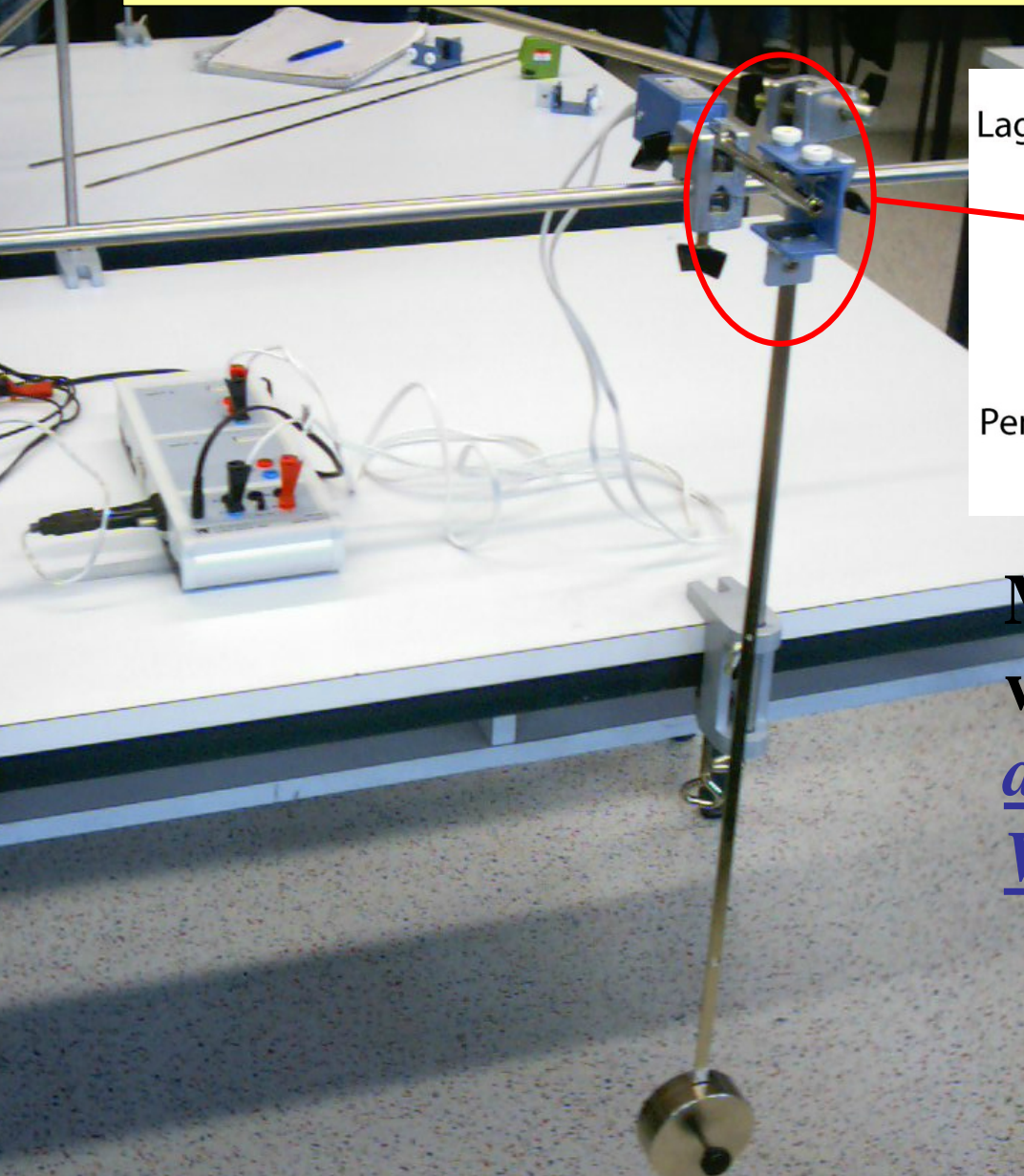


12/



49

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

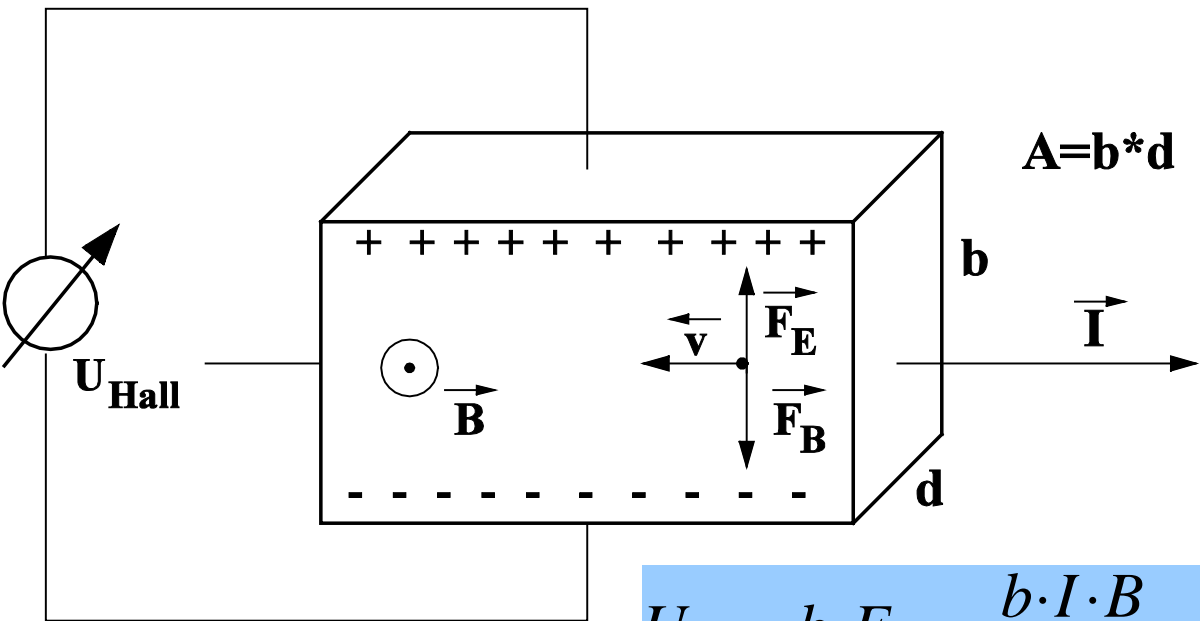
$\rightarrow$  Ladungstrennung  $\rightarrow$  E-Feld:  $\vec{E} \perp \vec{I}$  und  $\vec{F}_E = q \cdot \vec{E}$

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

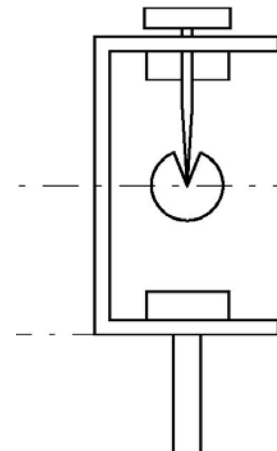
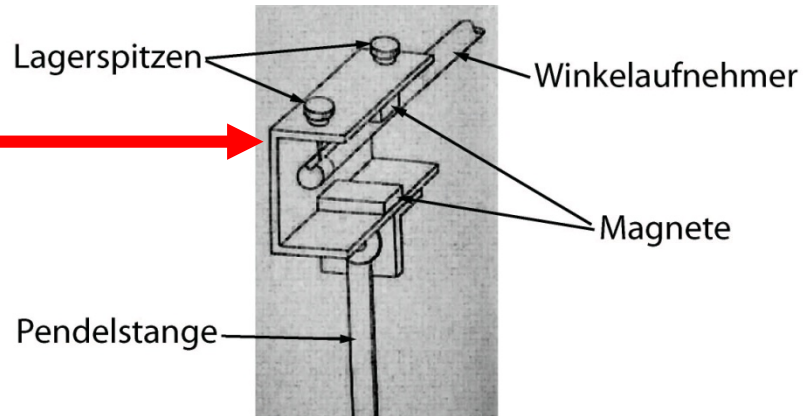
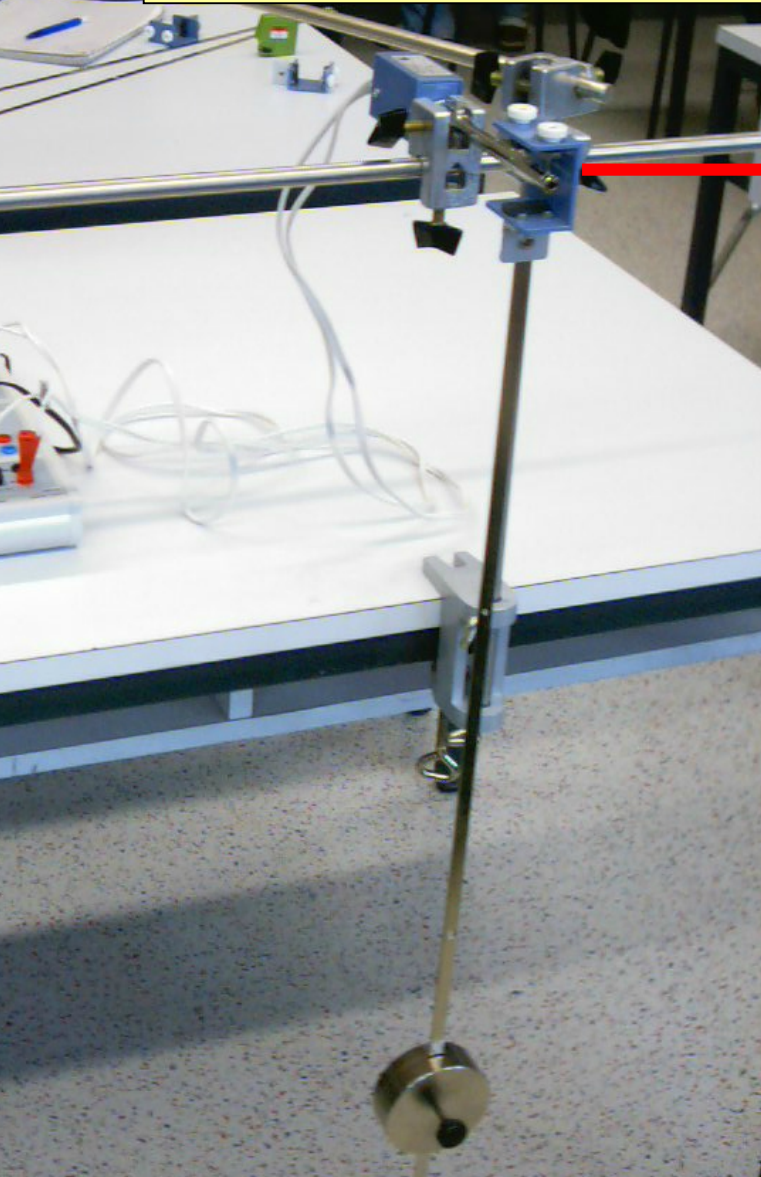
allgemein:  $\vec{I} = q \cdot n \cdot A \cdot \vec{v}$

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

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



# Spannungsmessung mit Hallsonde



Orientierung der Sonde  $\rightarrow$  Empfindlich

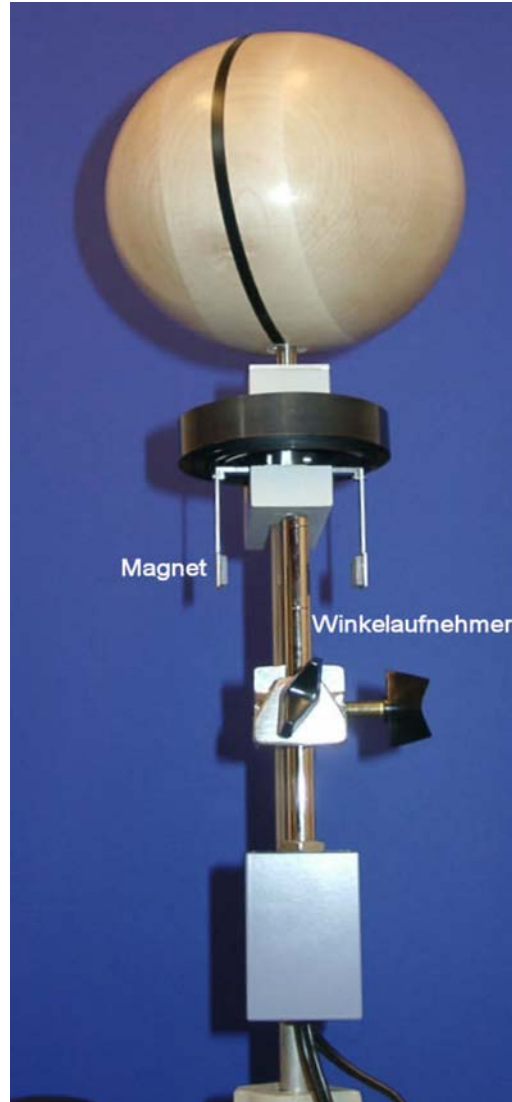
auf horizontale B-Komponente  $B_h$

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:

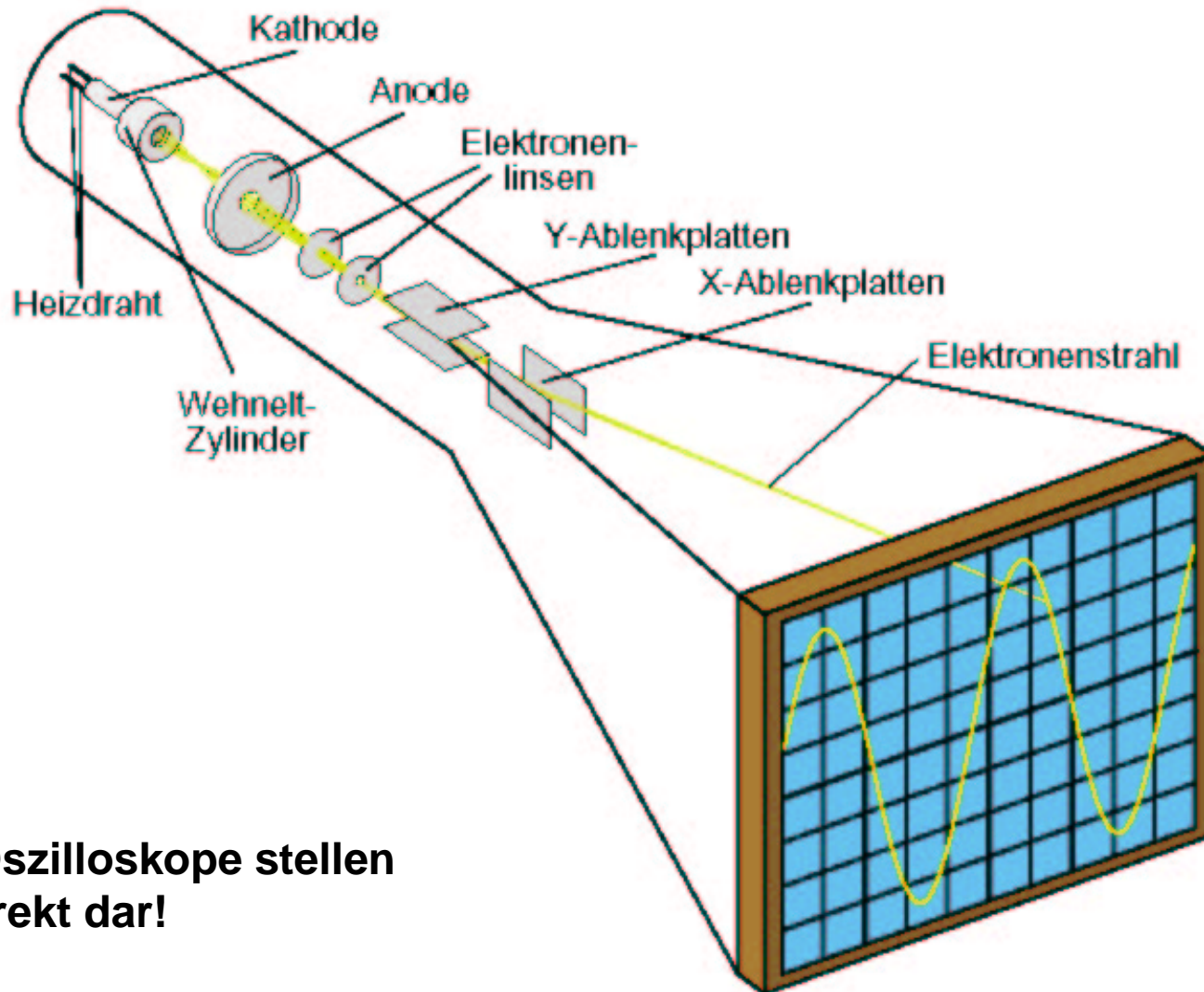
$-20\text{ °C} < T < +70\text{ °C}$ :  $0,2\text{ °C}$

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

Ansprechzeit:

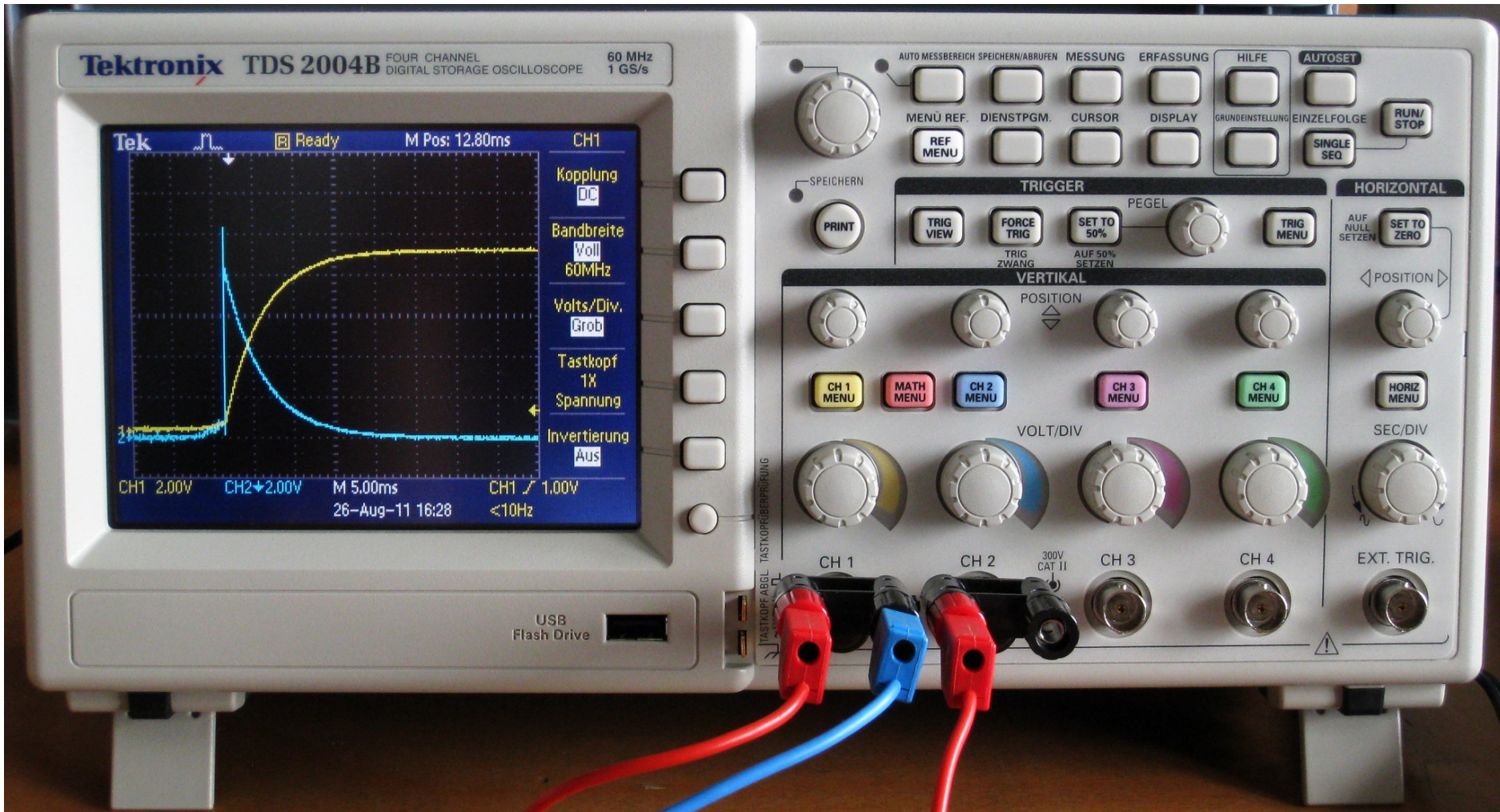
$>7\text{ s}$  in Flüssigkeiten

# Oszilloskop (Braunsche Röhre)



**Analoge Oszilloskope stellen  
Signale direkt dar!**

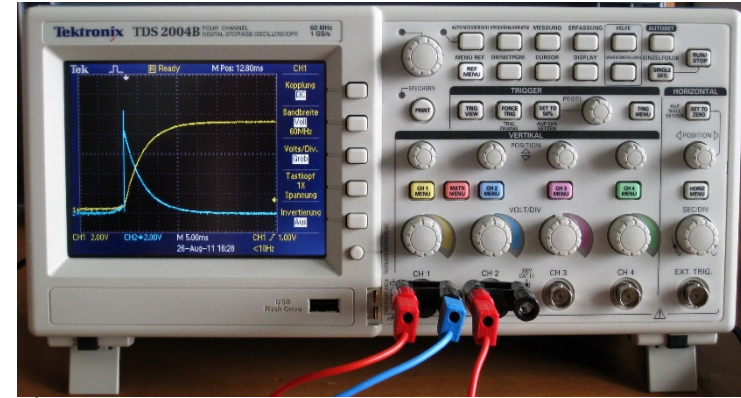
# Digital Oszilloskop



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

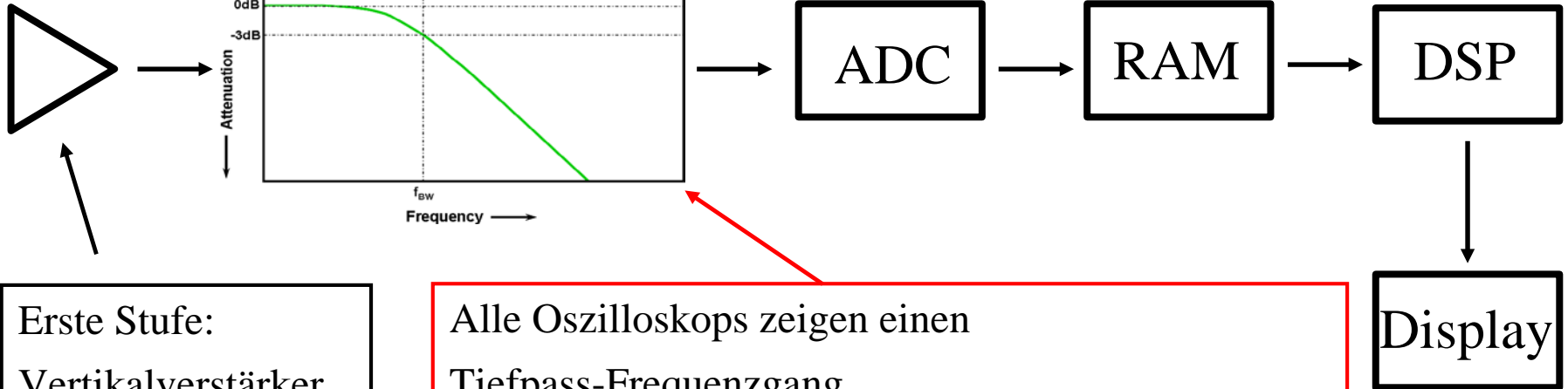


# Digital Oszilloskop: Funktionsprinzip



Bandbreite 60 MHz

Abtastrate 1G Sa/s



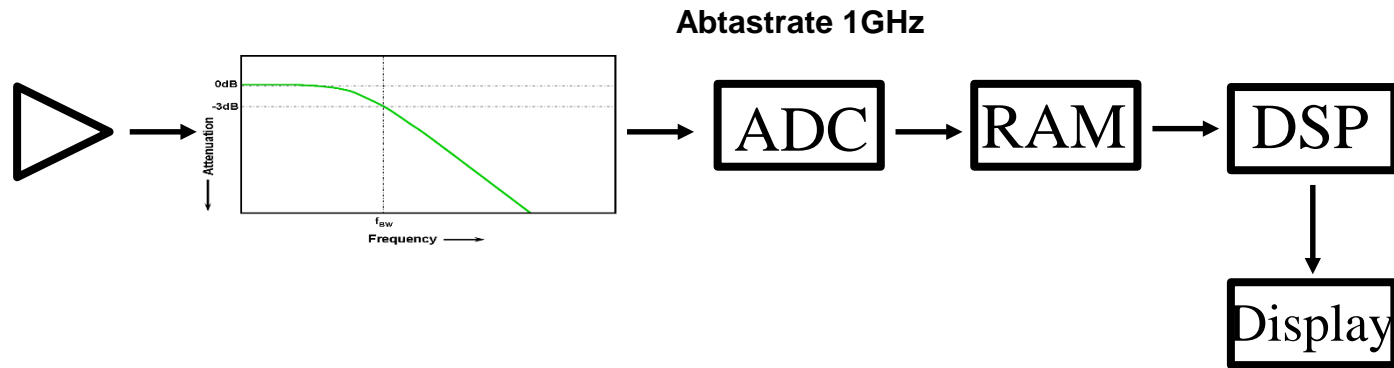
Erste Stufe:  
Vertikalverstärker  
→ Amplitude und  
Positionsbereich  
einstellbar

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)

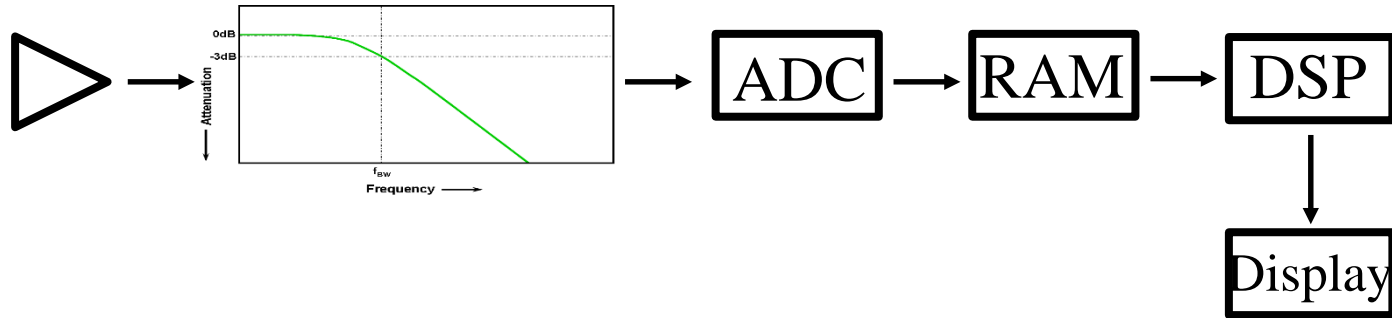
Abtastpunkte werden im Erfassungsspeicher als Signalpunkte gespeichert

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

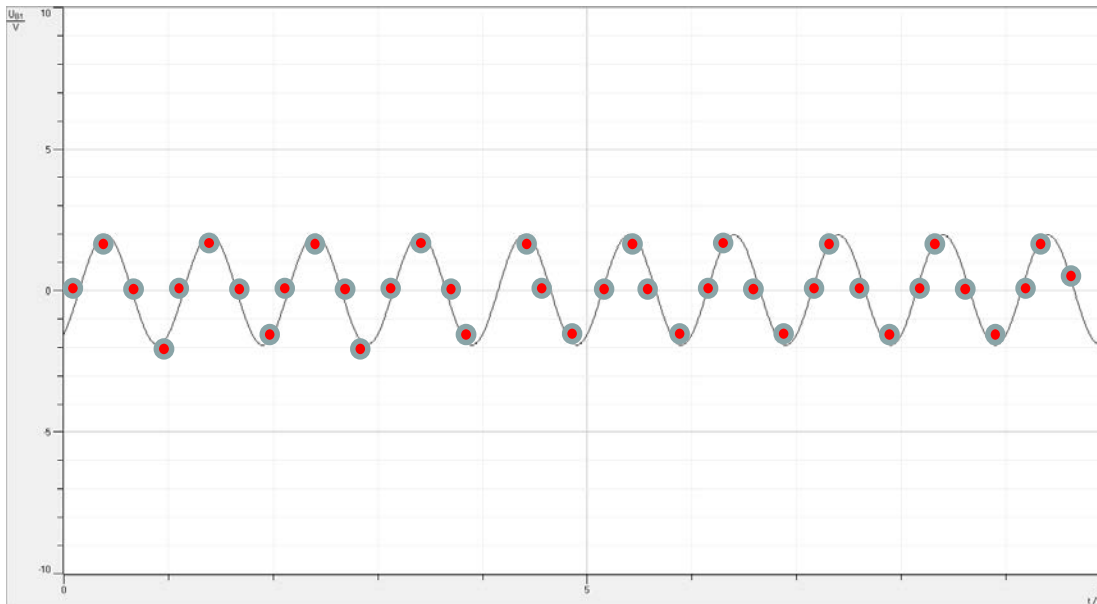
# Signaldigitalisierung

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

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

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

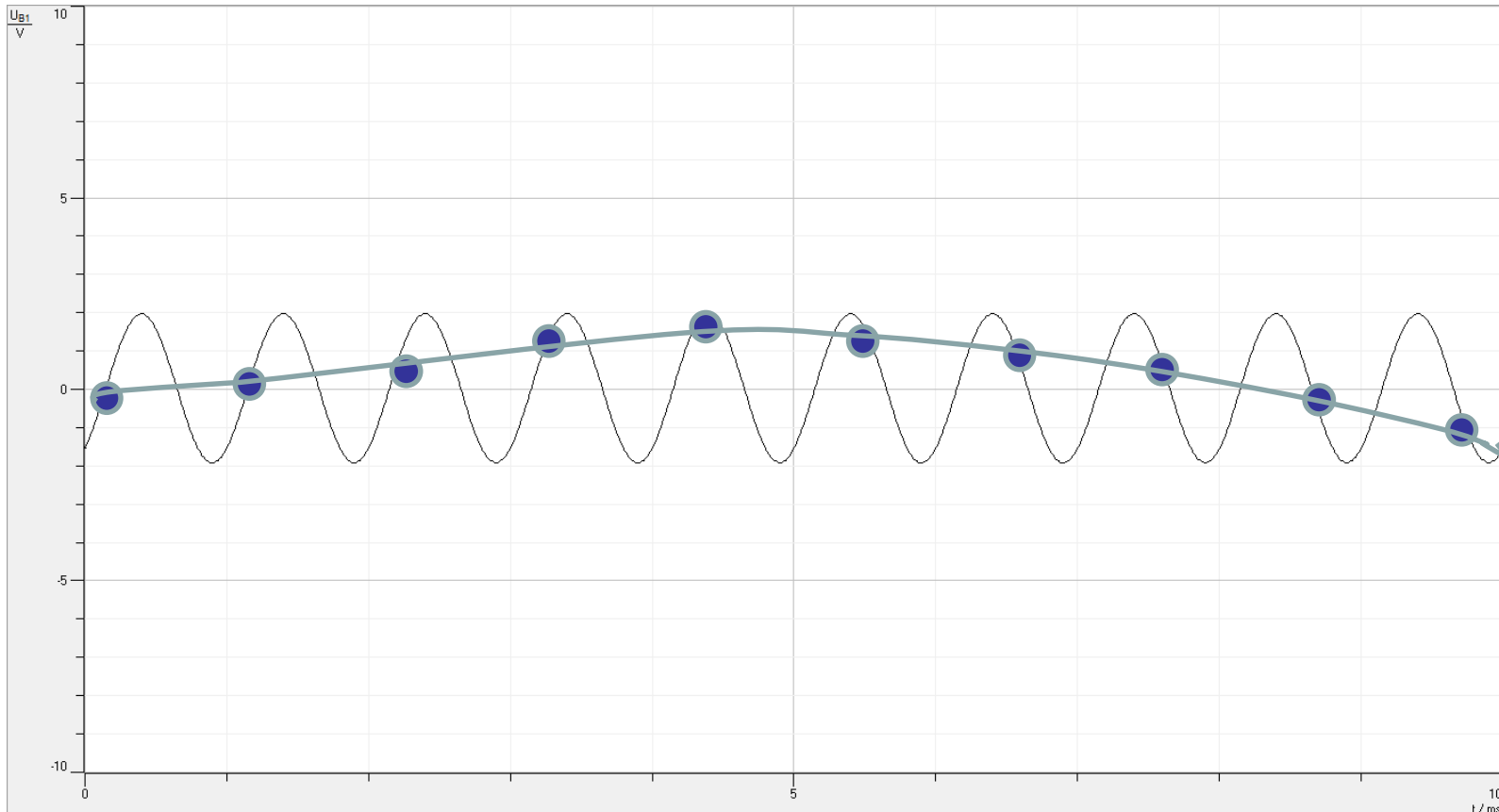
$$f_{\text{Abtastung}} > 2 \cdot f_{\text{Signal}}$$



# Signaldigitalisierung

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

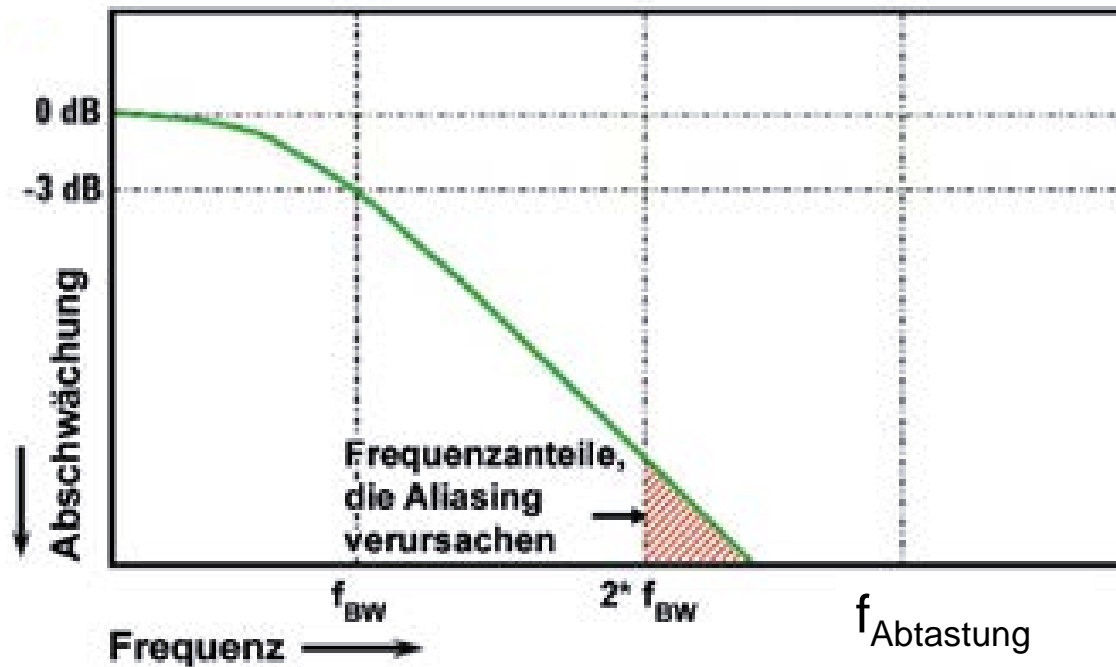
hier nicht erfüllt ( $T_{\text{abtastung}} = T_{\text{signal}}$ )



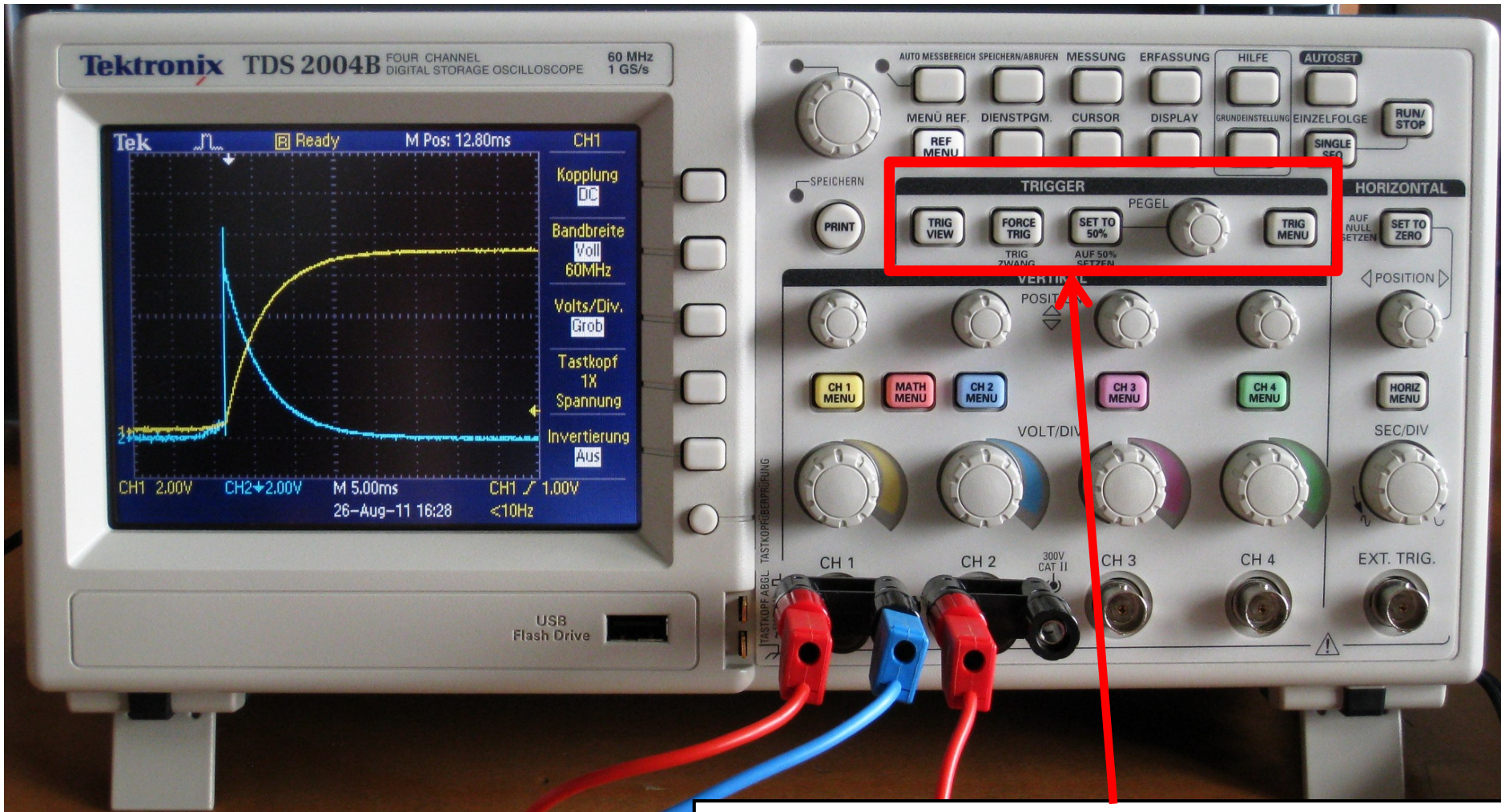
# Signaldigitalisierung

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

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



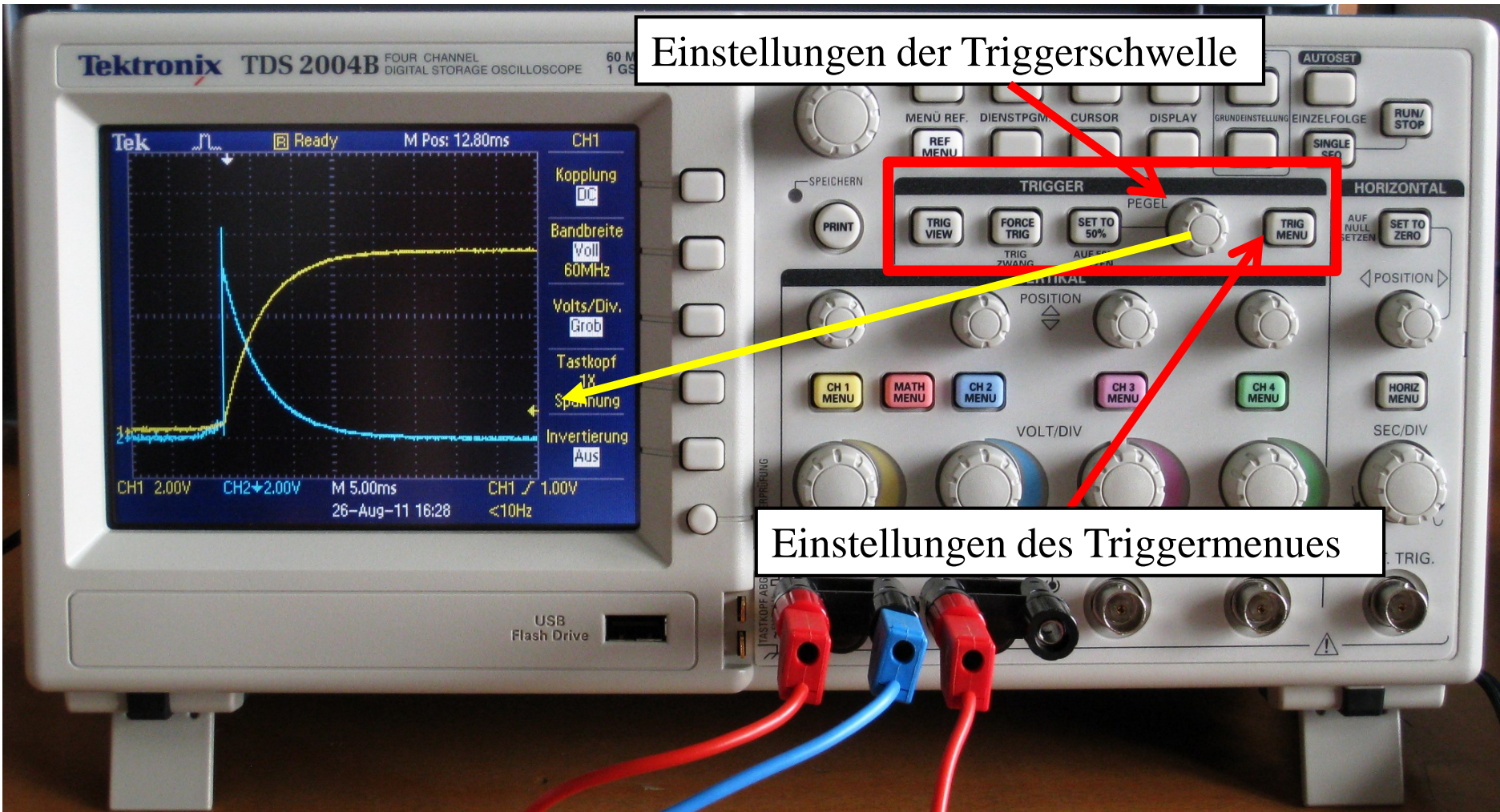
# Digital Oszilloskop



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

# Digital Oszilloskop

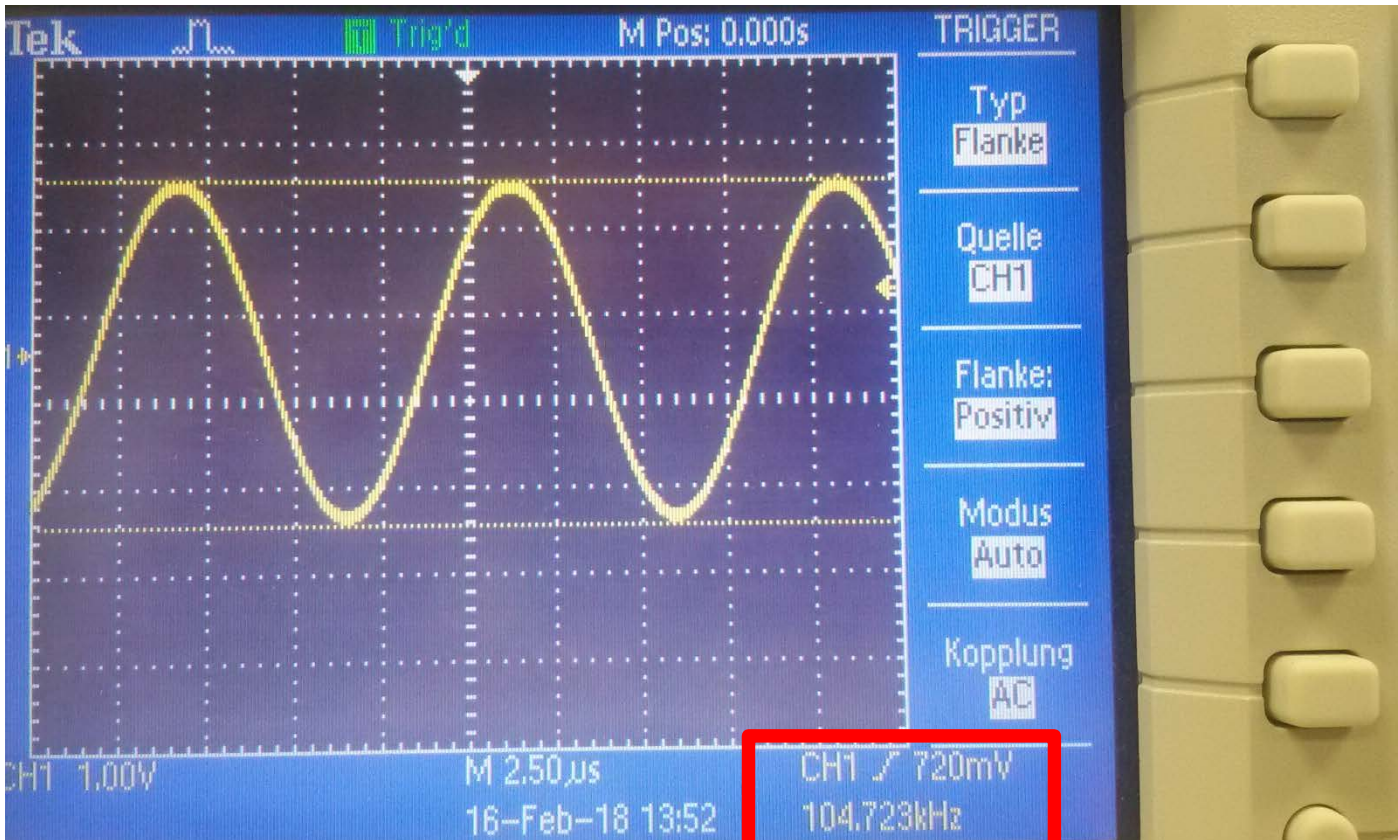
Einstellungen der Triggerschwelle



Einstellungen des Triggermenues



# Digital Oszilloskop



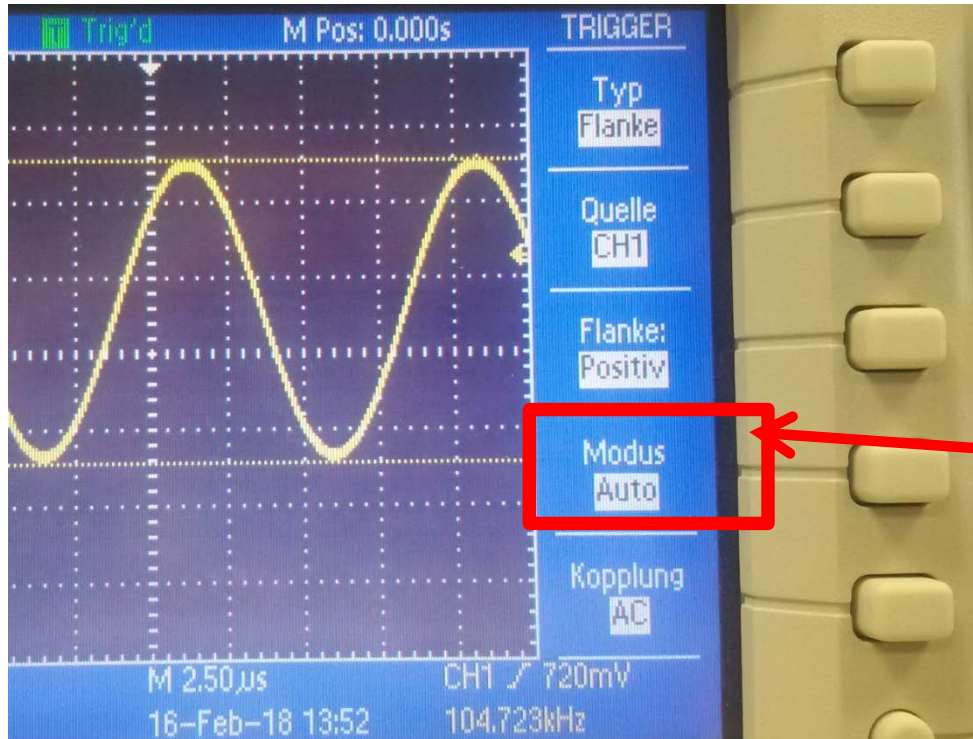
Triggermenü  
Auswahl durch  
seitliche Knöpfe

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. 65

# Digital Oszilloskop



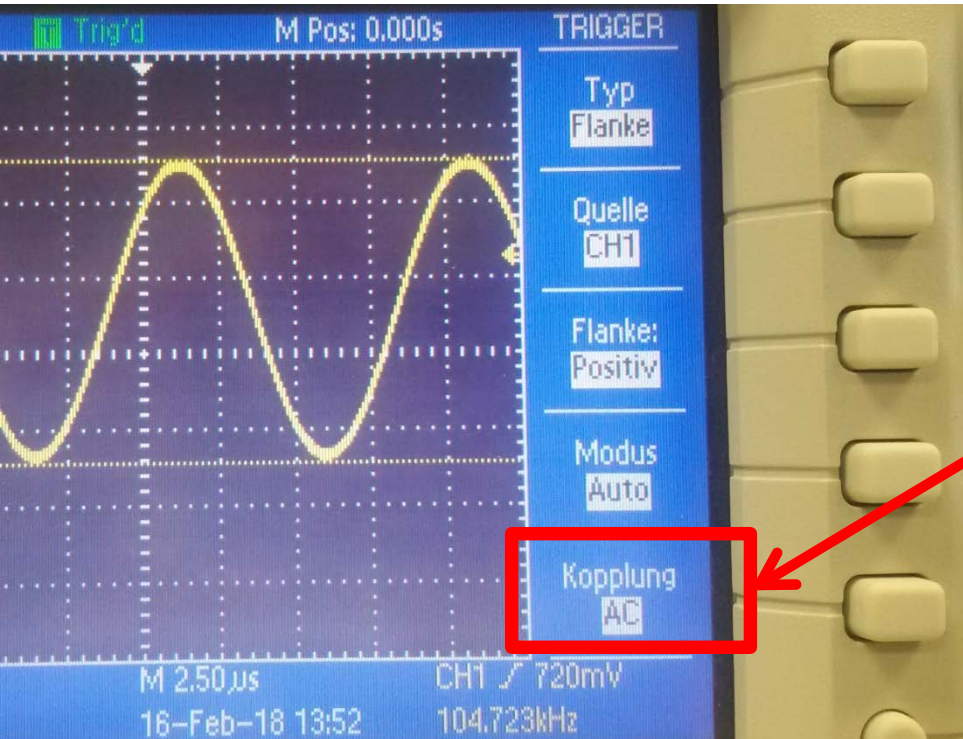
## Modus:

**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



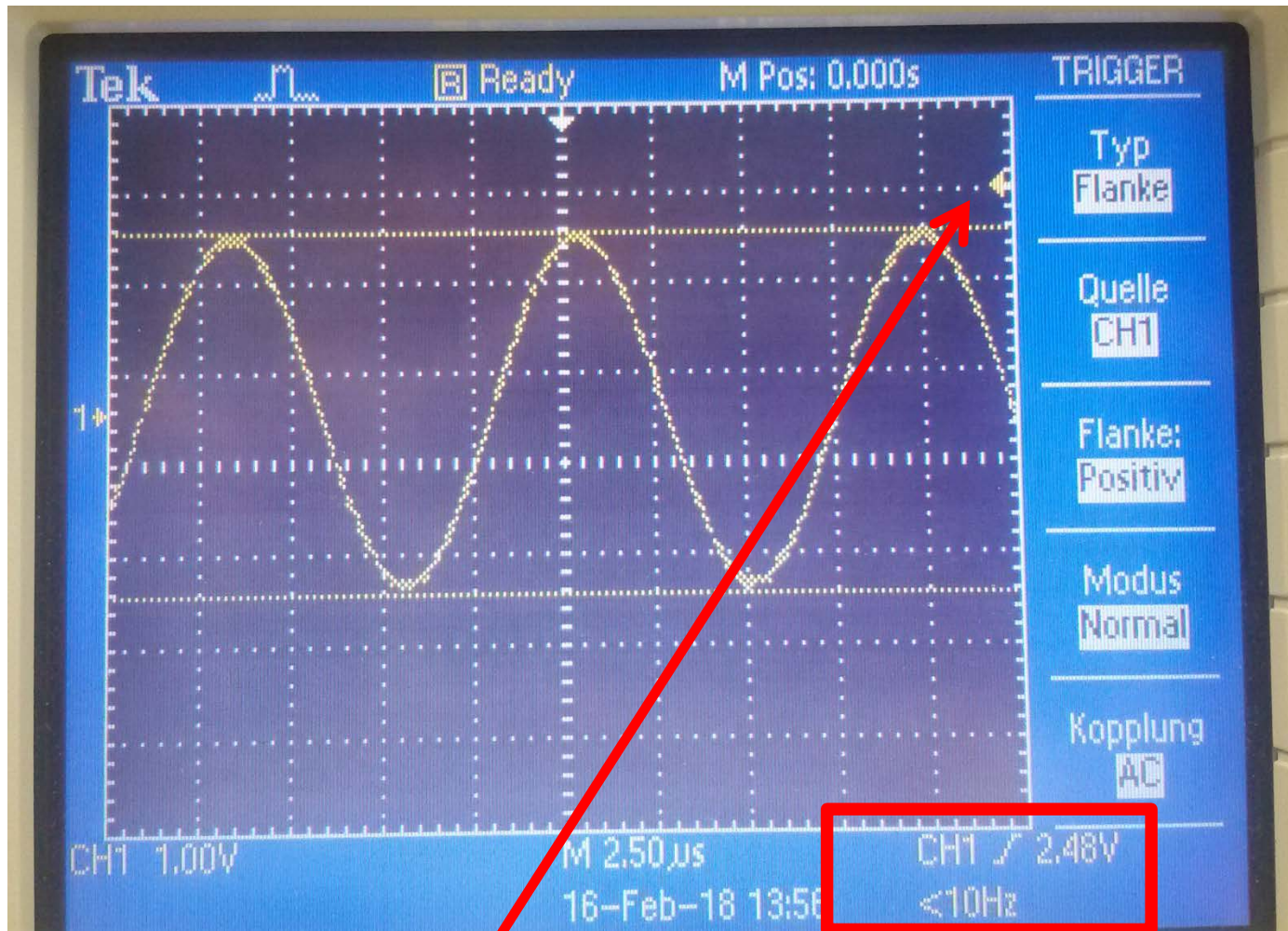
**Kopplung:**  
DC, AC, Hoch- oder Tiefpassfilter etc.

# Digital Oszilloskop



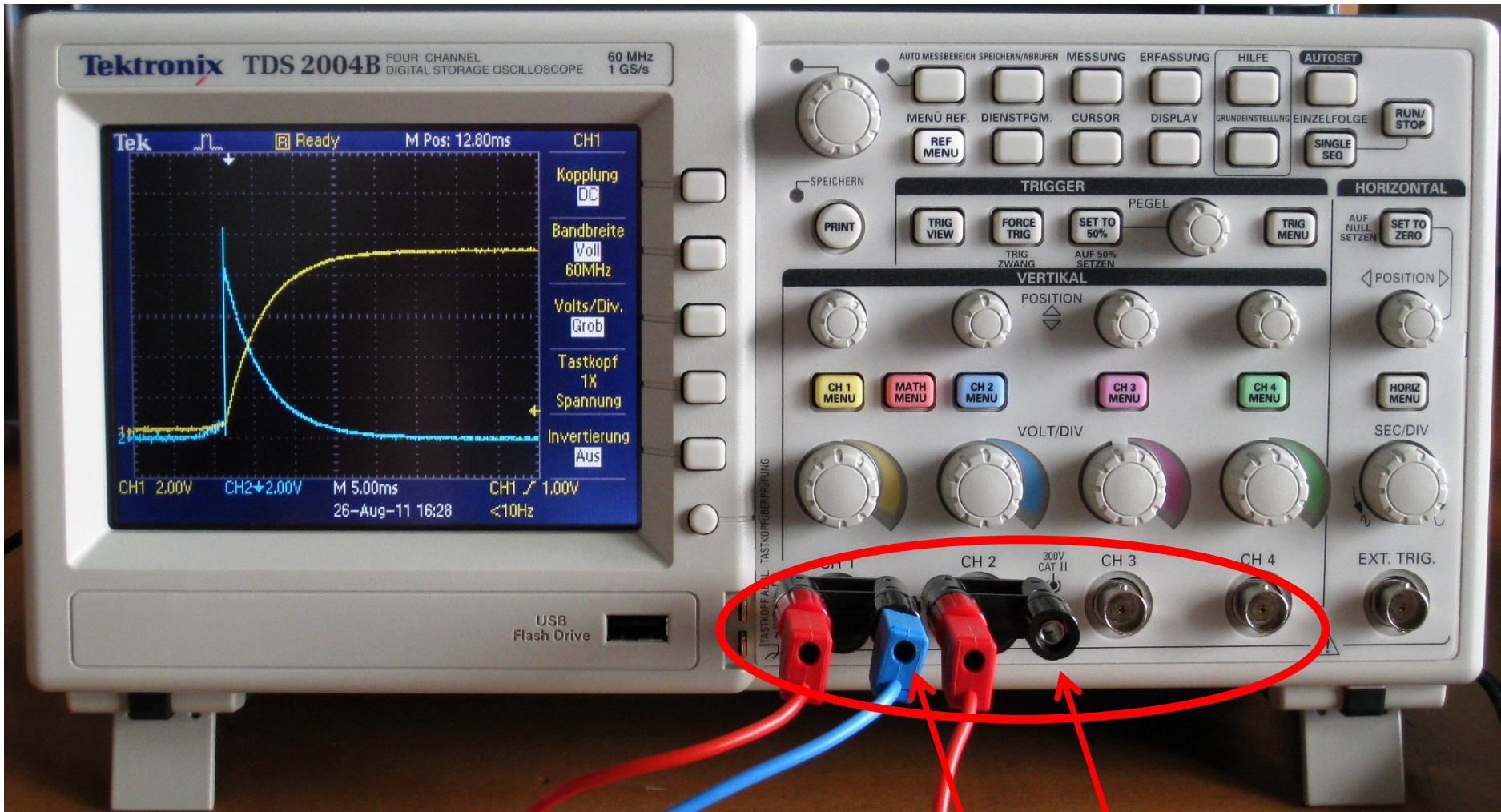
Unscharfe Signale bzw. „durchlaufende“ Signale:  
z.B. durch falsch gesetzten CH als Triggerquelle

# Digital Oszilloskop



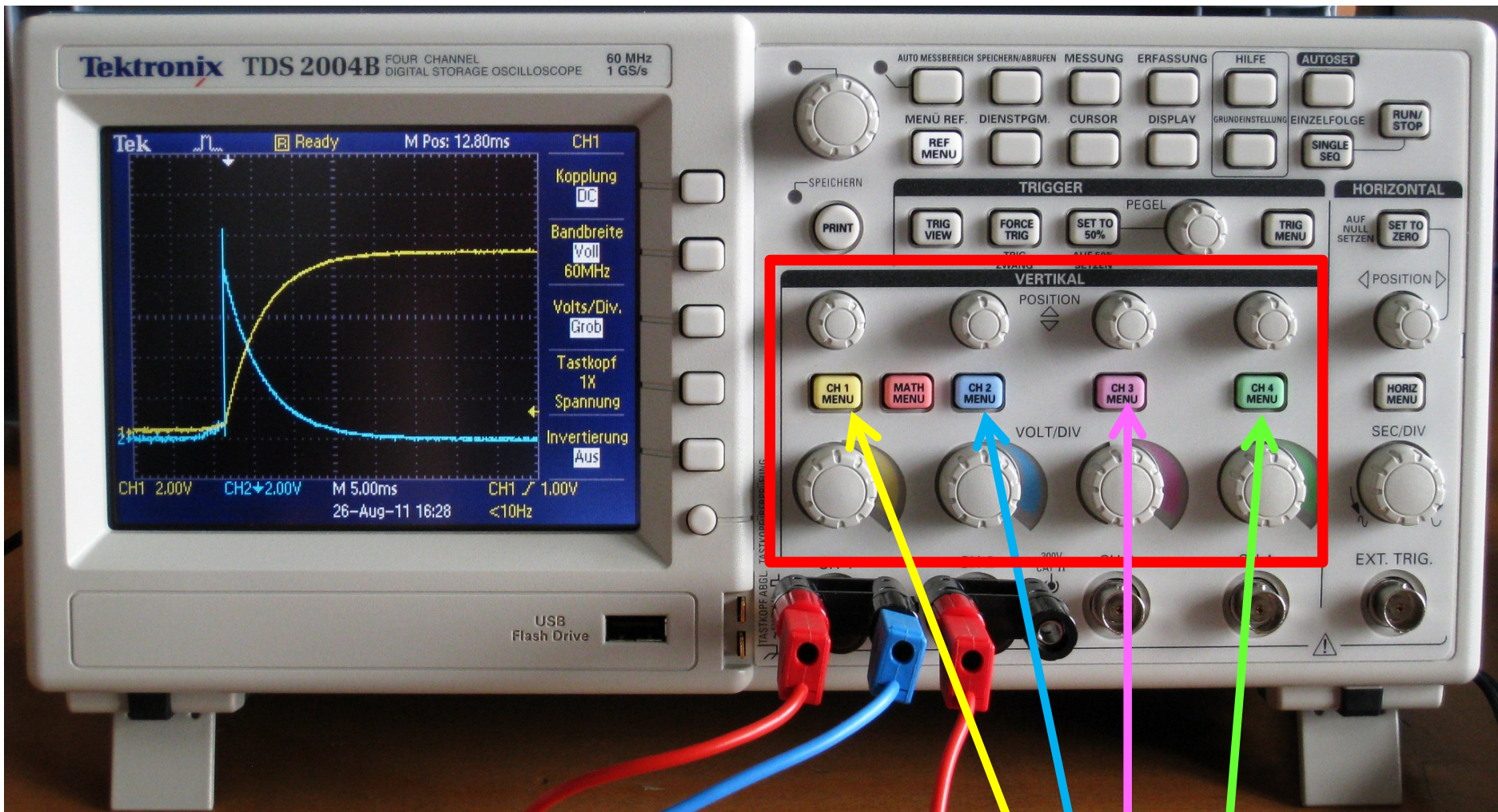
Unschärfe Signale bzw. „durchlaufende“ Signale bzw. kein Signal:  
Oder z.B. durch zu hohe Triggerschwelle

# Digital Oszilloskop



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

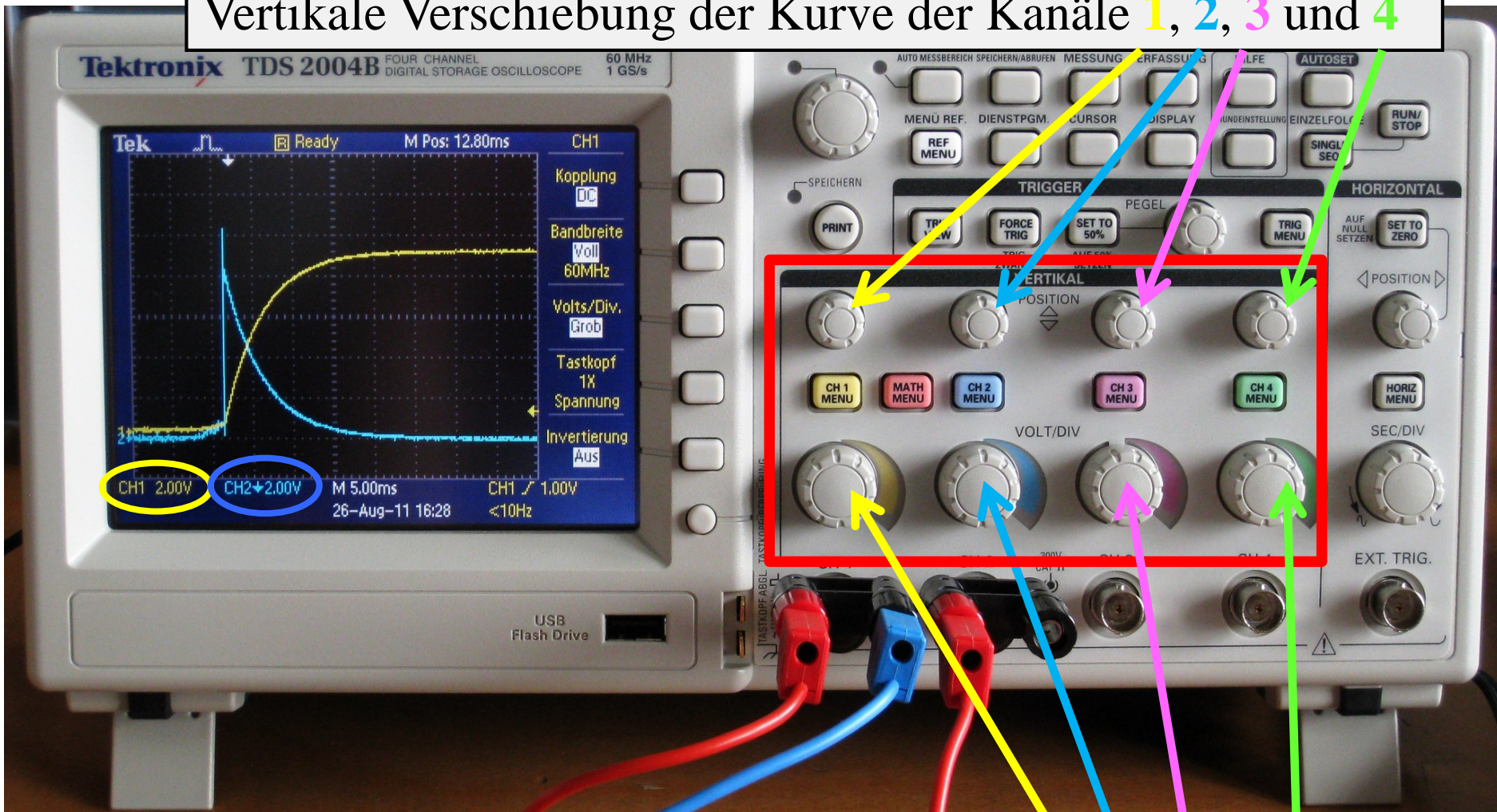
# Digital Oszilloskop



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

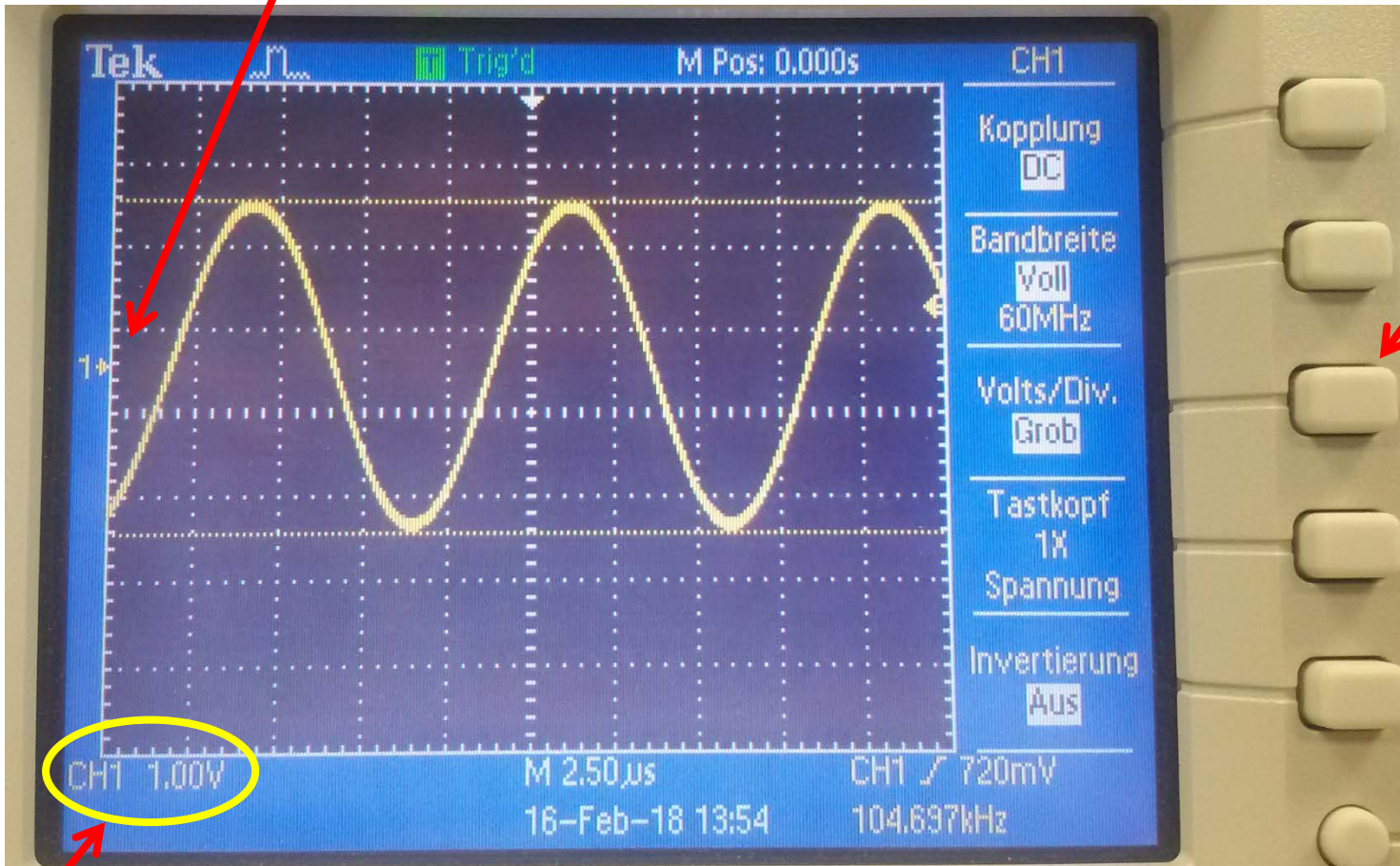


Volt/Div Einstellung der Skalierung der y-Achsen der Kanäle 1, 2, 3 und 4



# Digital Oszilloskop

Anzeige der Nulllinie (erdbezogene Messpunkte) des CH1

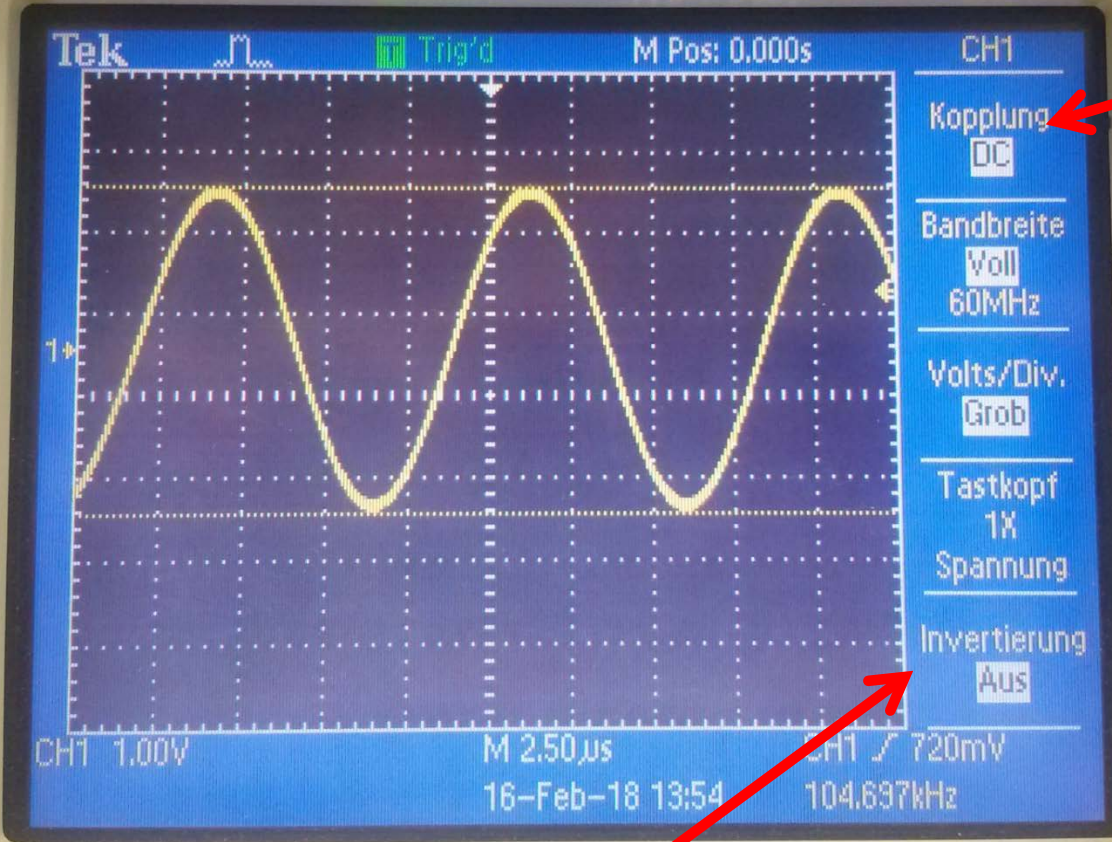


Kanal-Menü

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:**

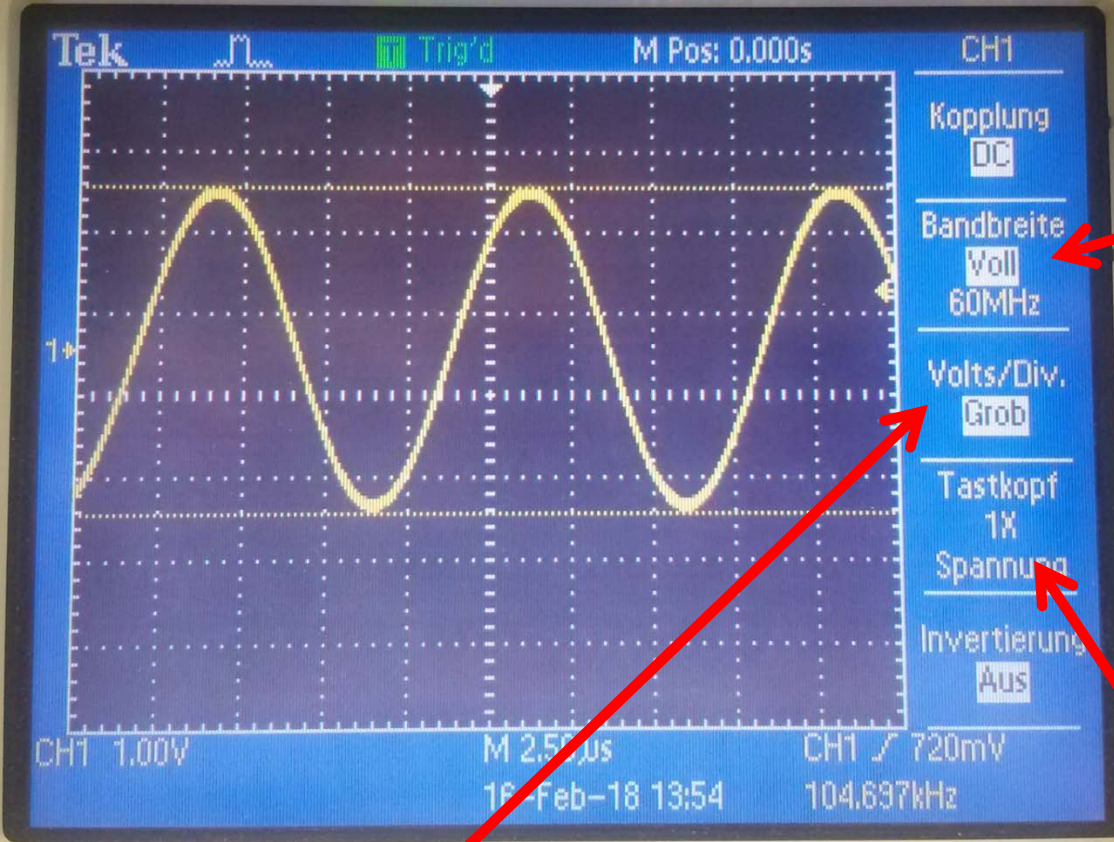
Einstellmöglichkeiten:  
**DC/AC/GND**

**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

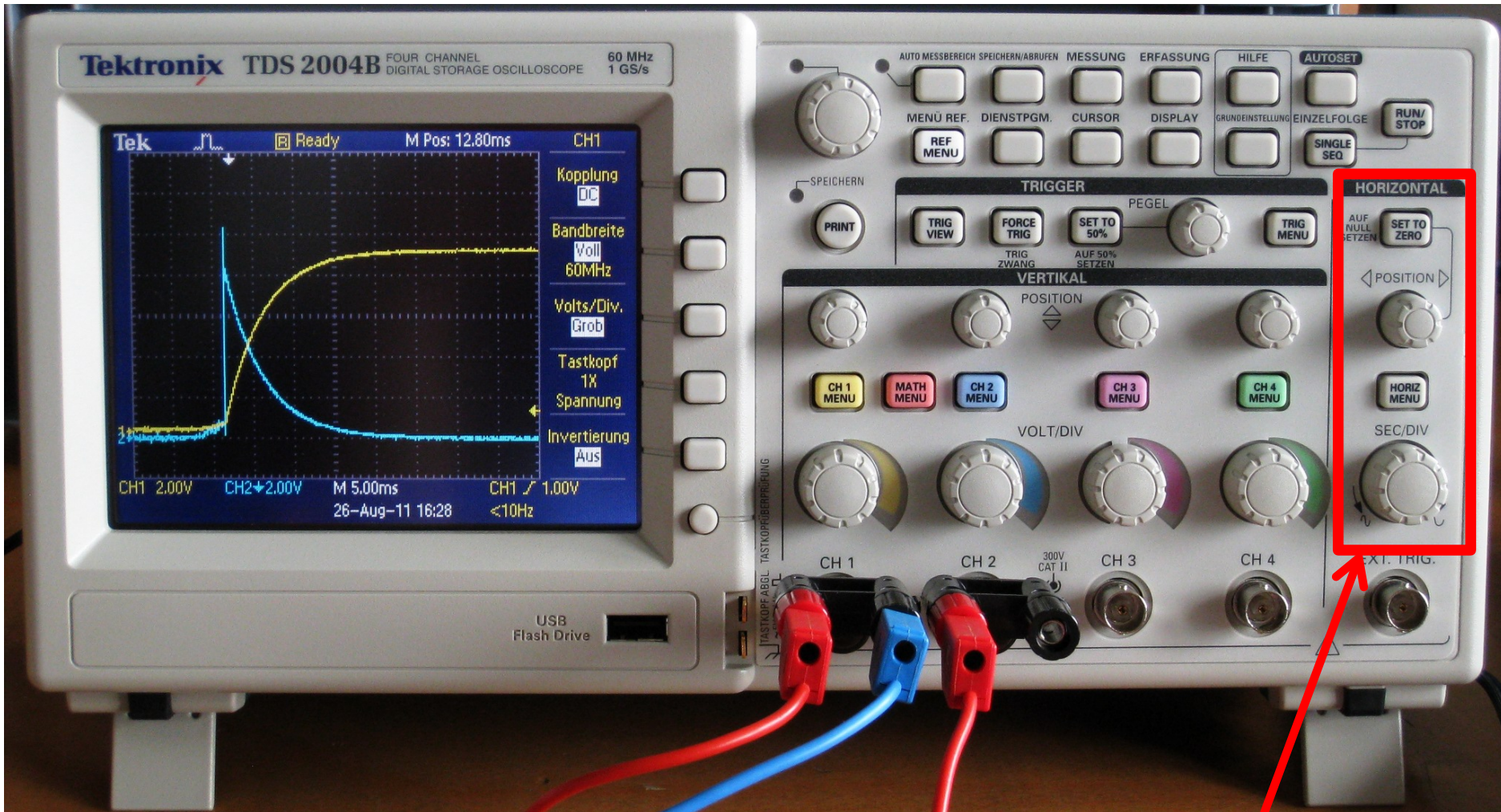
Ergebnis: schärfere Signal-darstellung

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

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

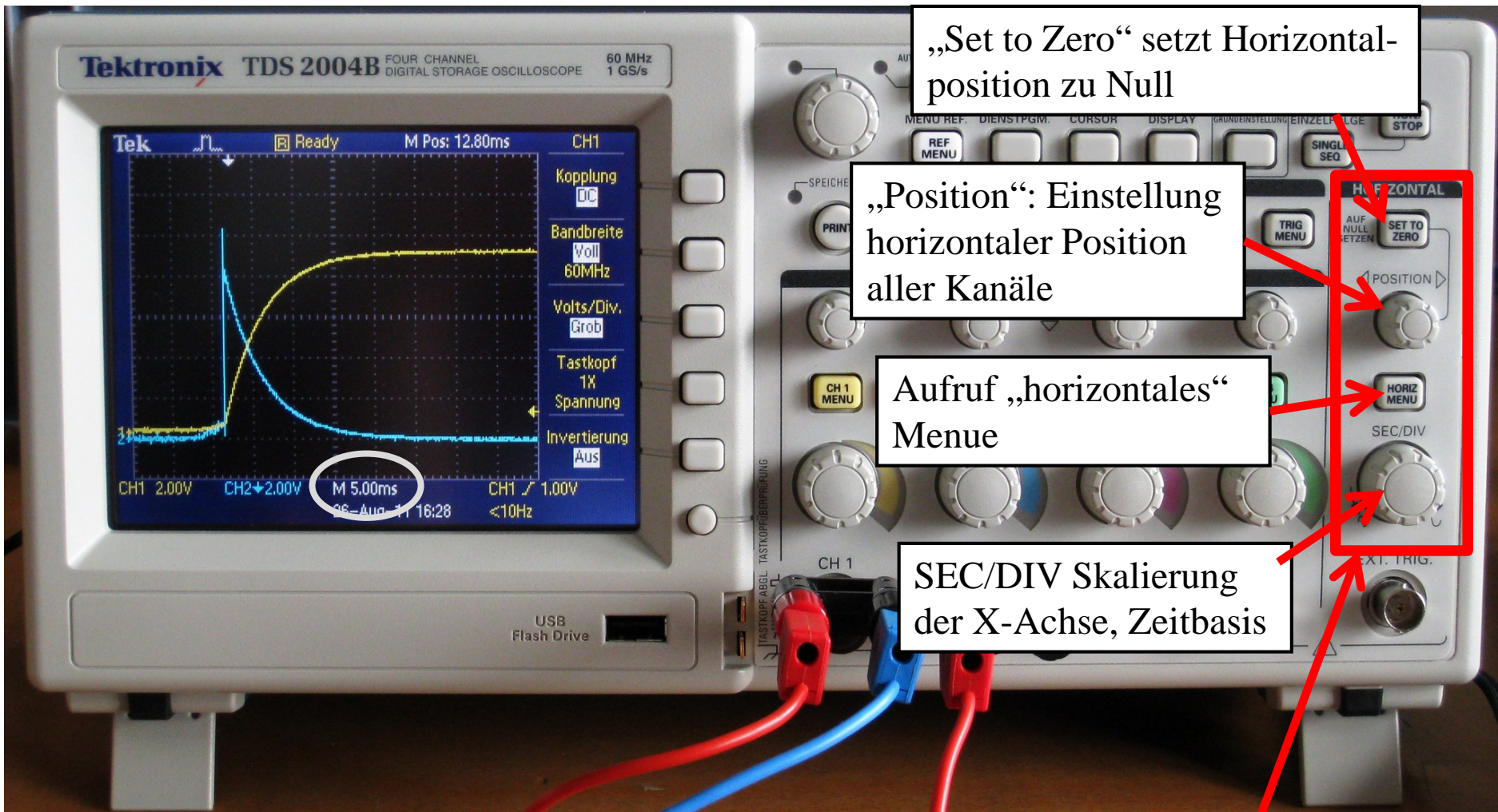
**Tastkopf** → x-fache Verstärkung des Signals einstellbar

# Digital Oszilloskop



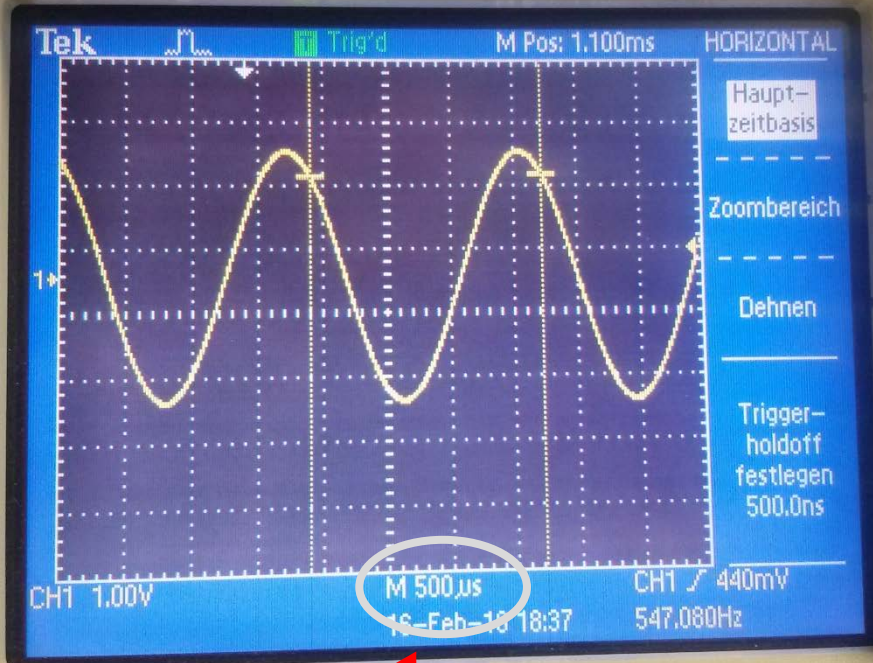
Horizontale Einstellungen

# Digital Oszilloskop

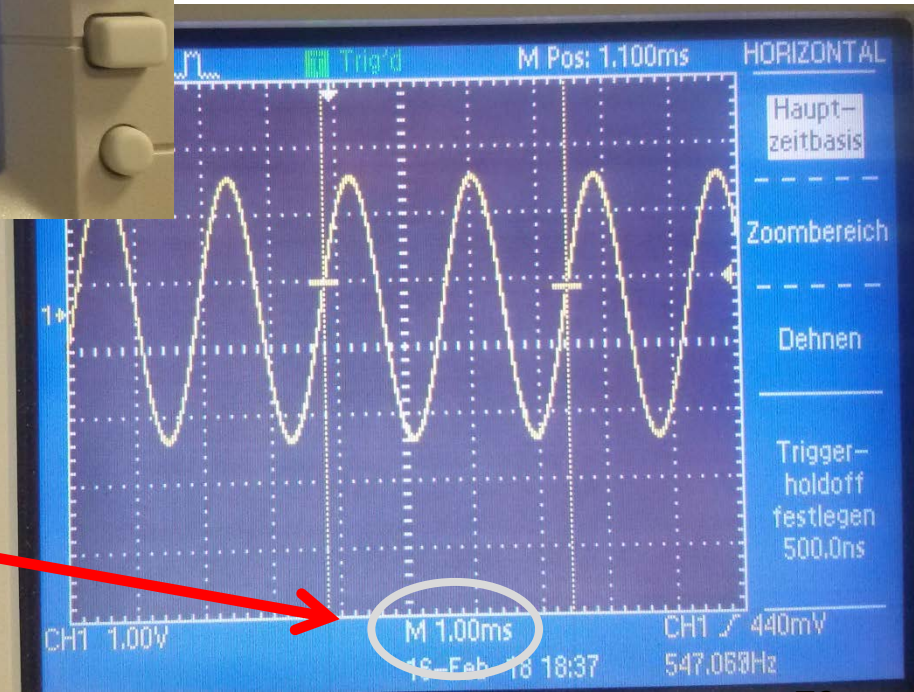


Horizontale Einstellungen

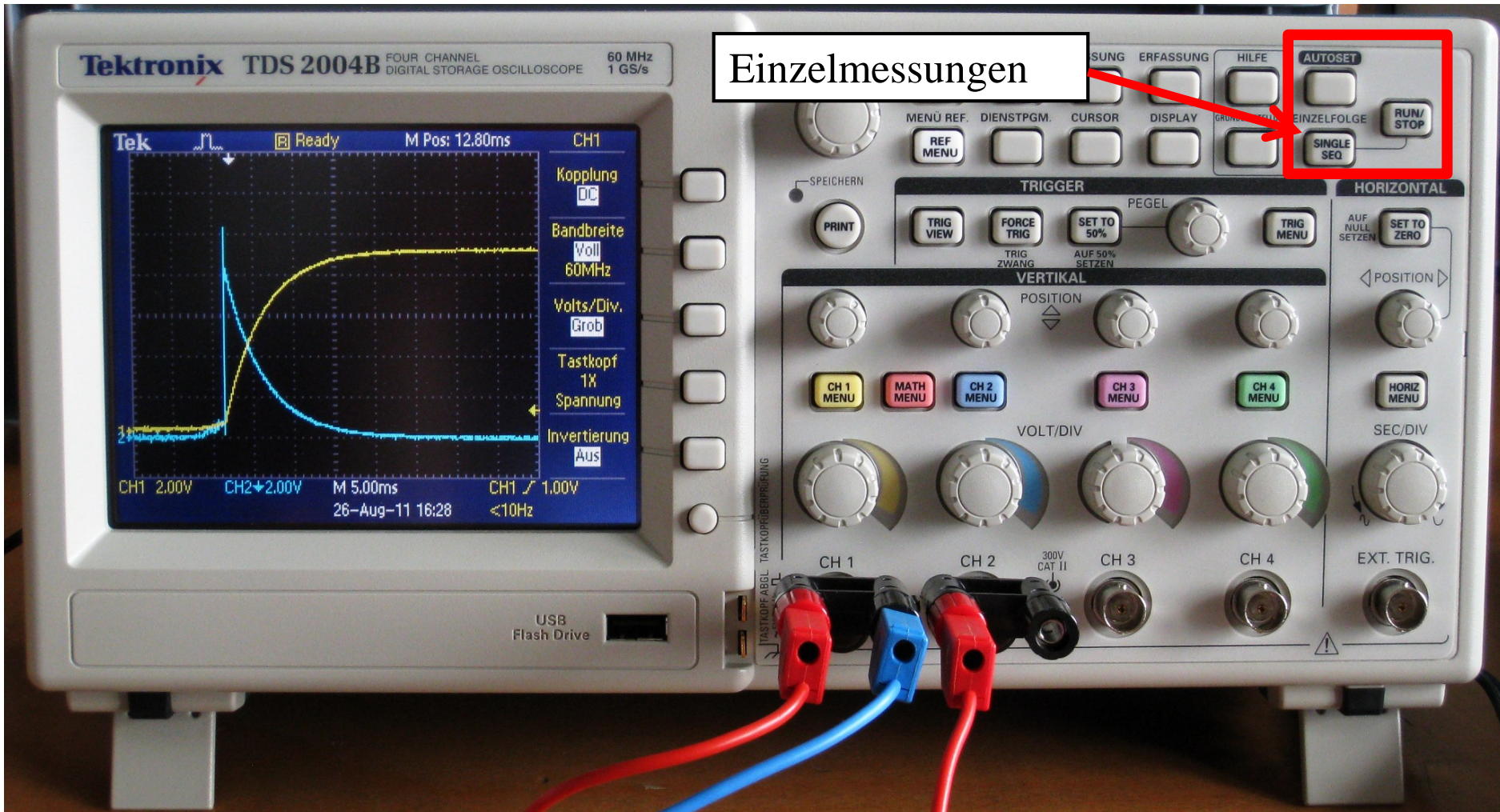
# Digital Oszilloskop



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

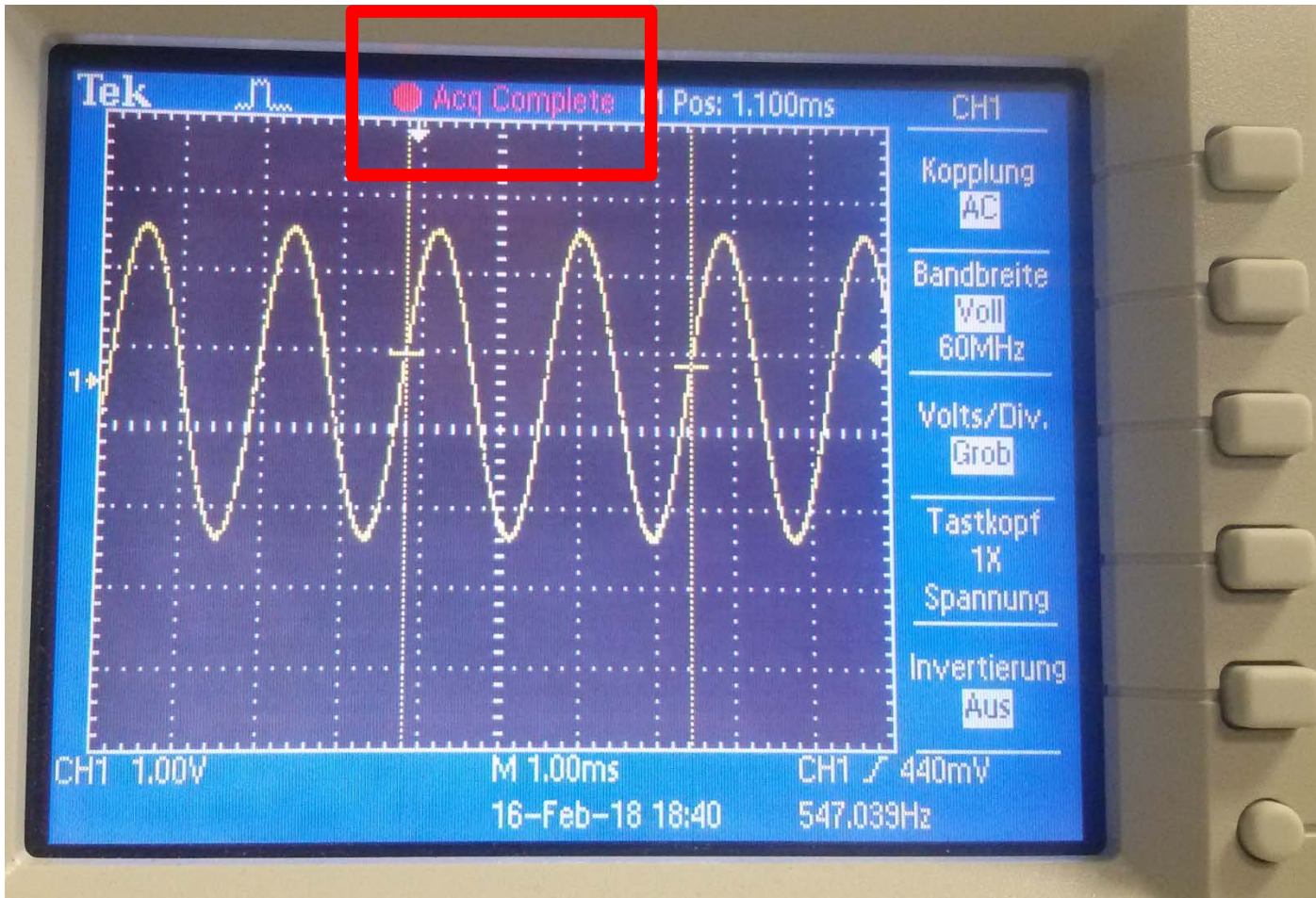


# Digital Oszilloskop



# Digital Oszilloskop

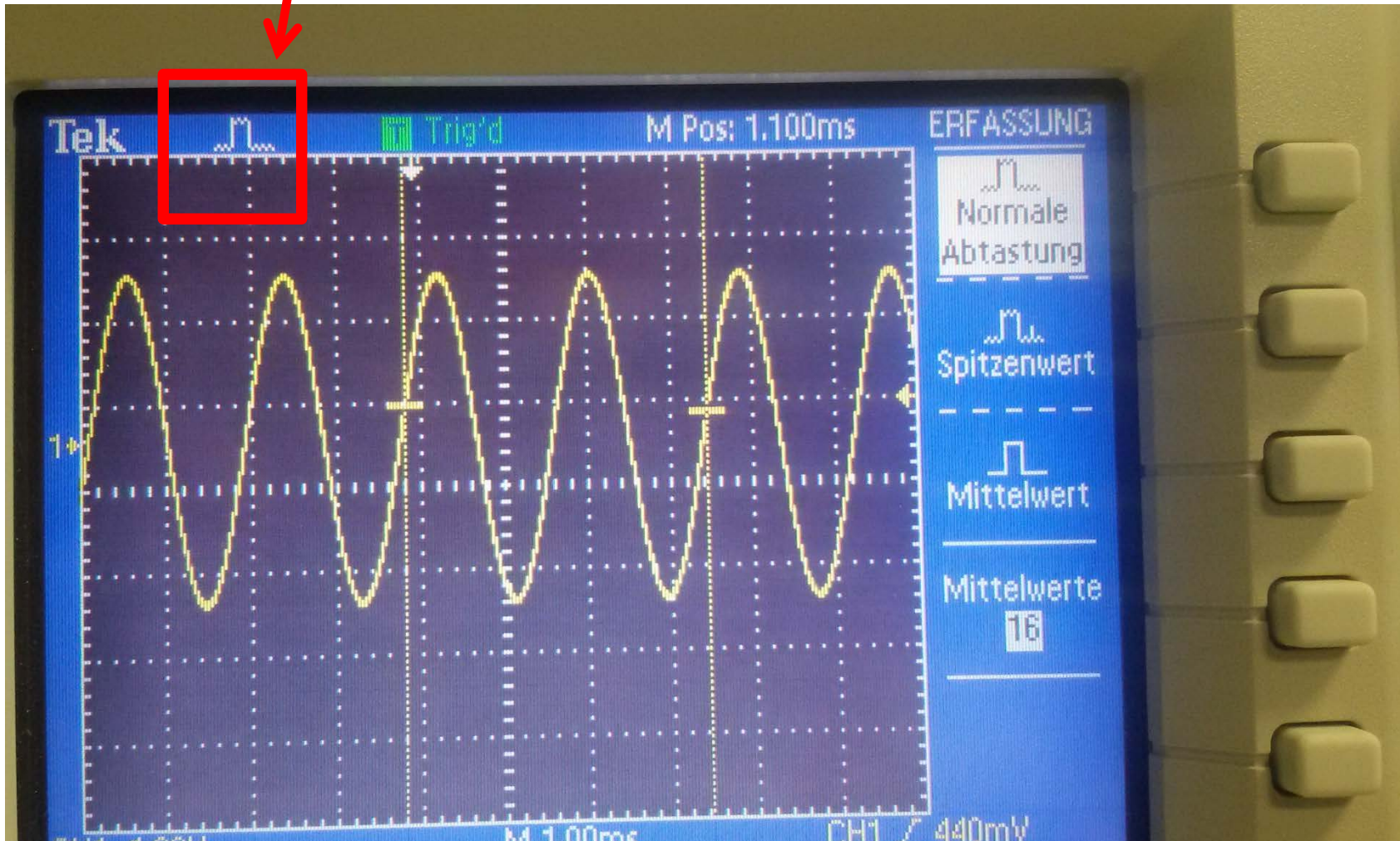
Nach Aufnahme der Einzelmessungen





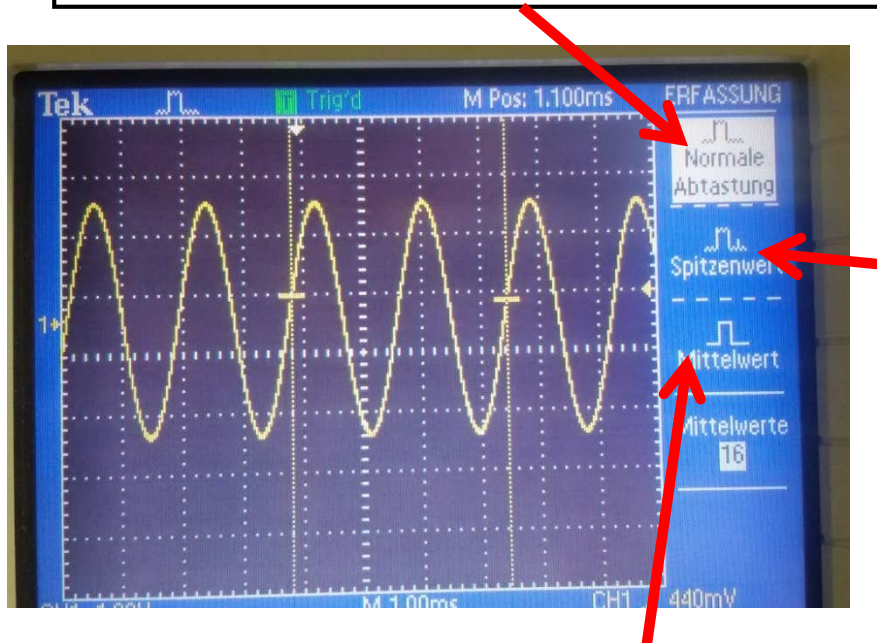
# Digital Oszilloskop

Erfassungsmodus



# Digital Oszilloskop

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

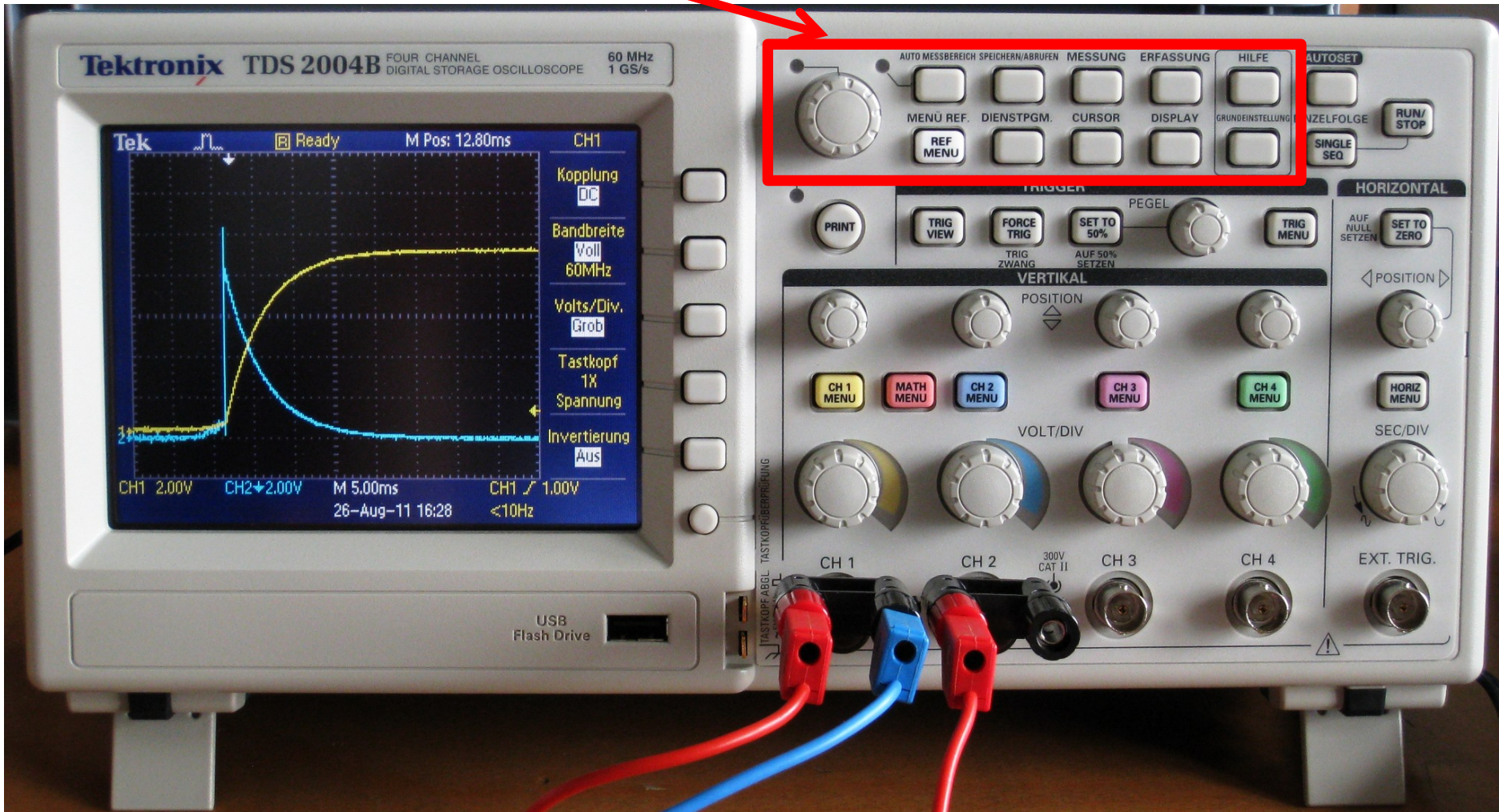


**Spitzenwert:** Oszi speichert Minima und Maxima der in zwei Signalintervallen erfassten Abtastpunkte und verwendet diese als die beiden einander zugeordneten Signalpunkte → Erfassung schneller Signaländerungen;  
Modus von Vorteil bei Darstellung von schmalen Impulsen in zeitlich großen Abständen

**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

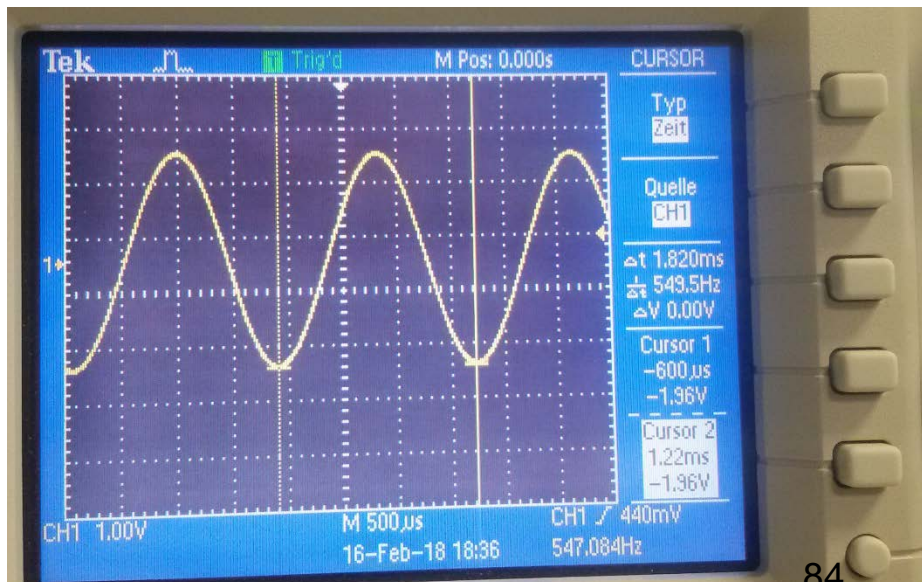
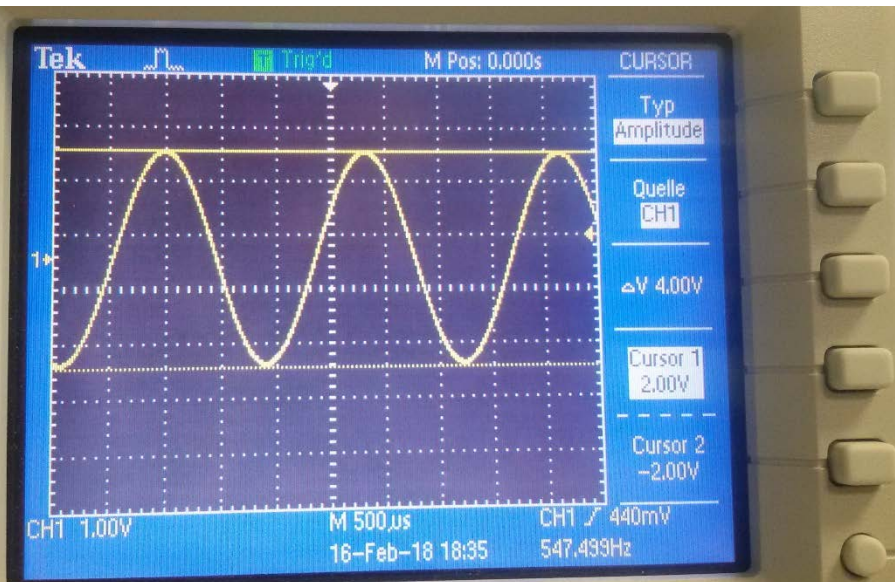


# Digital Oszilloskop

## Messungen mit Cursor

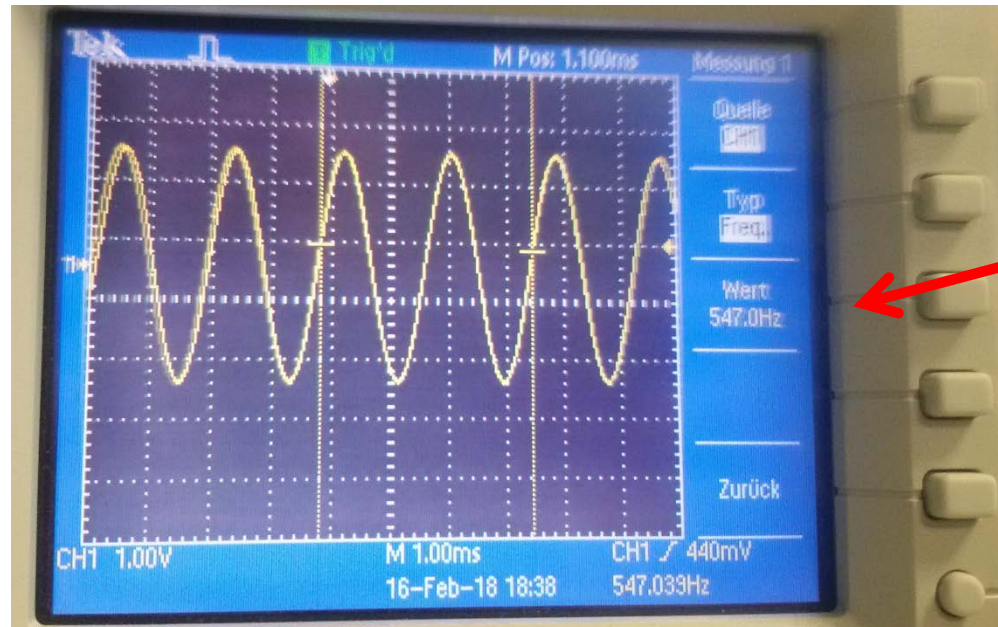


Cursor bewegen mit  
Mehrfunktions Drehknopf



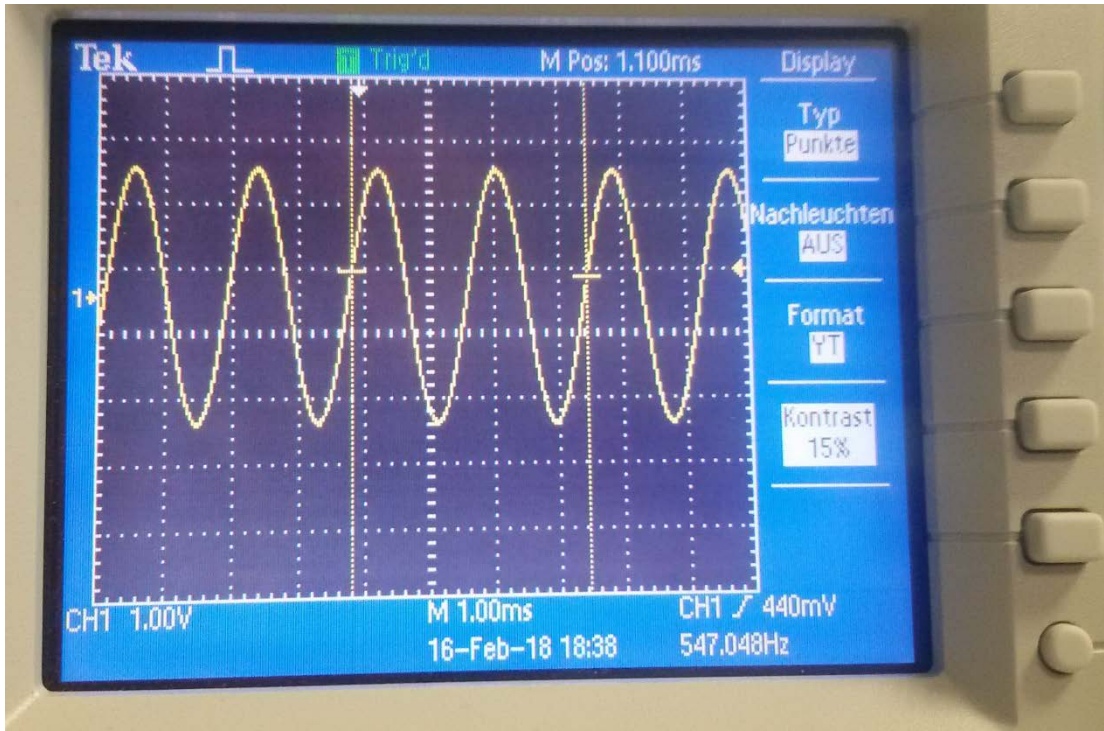
# Digital Oszilloskop

Messung



# Digital Oszilloskop

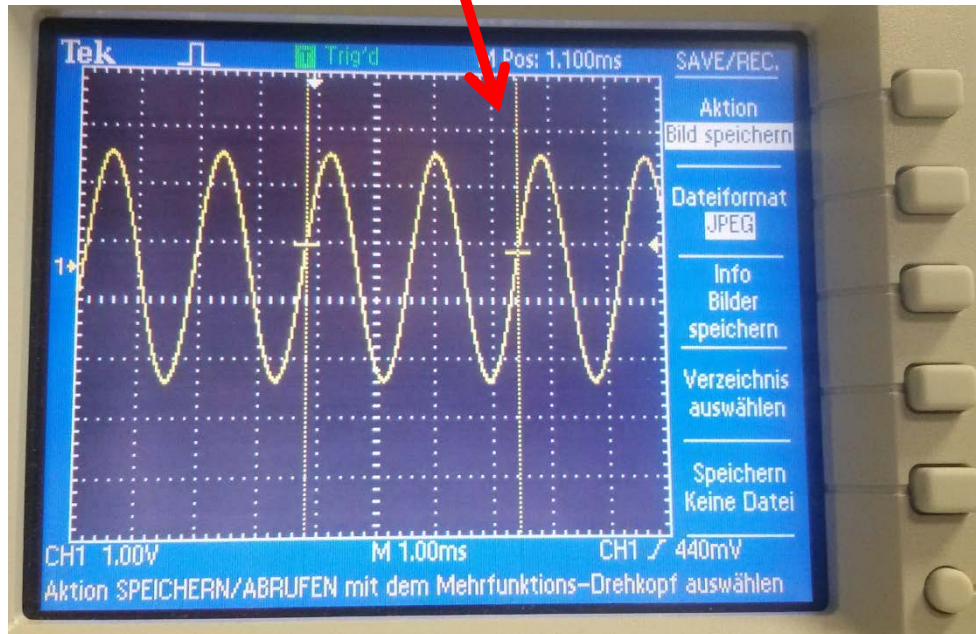
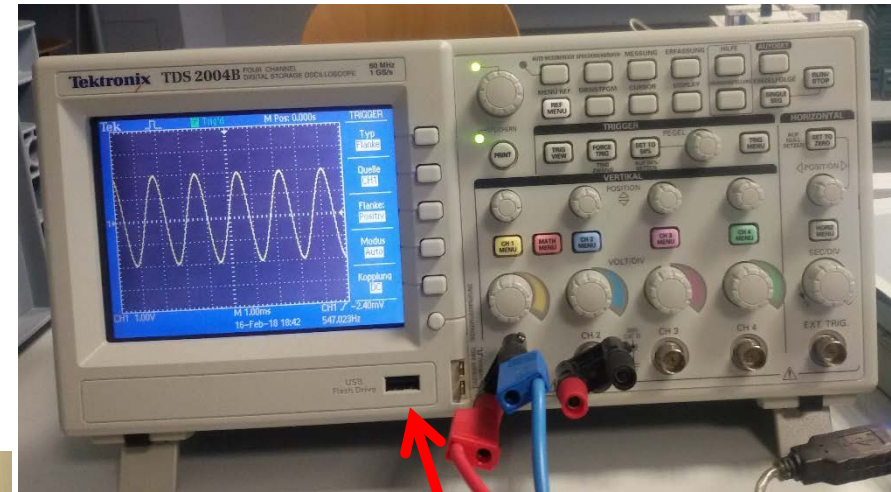
Display



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

Speichern

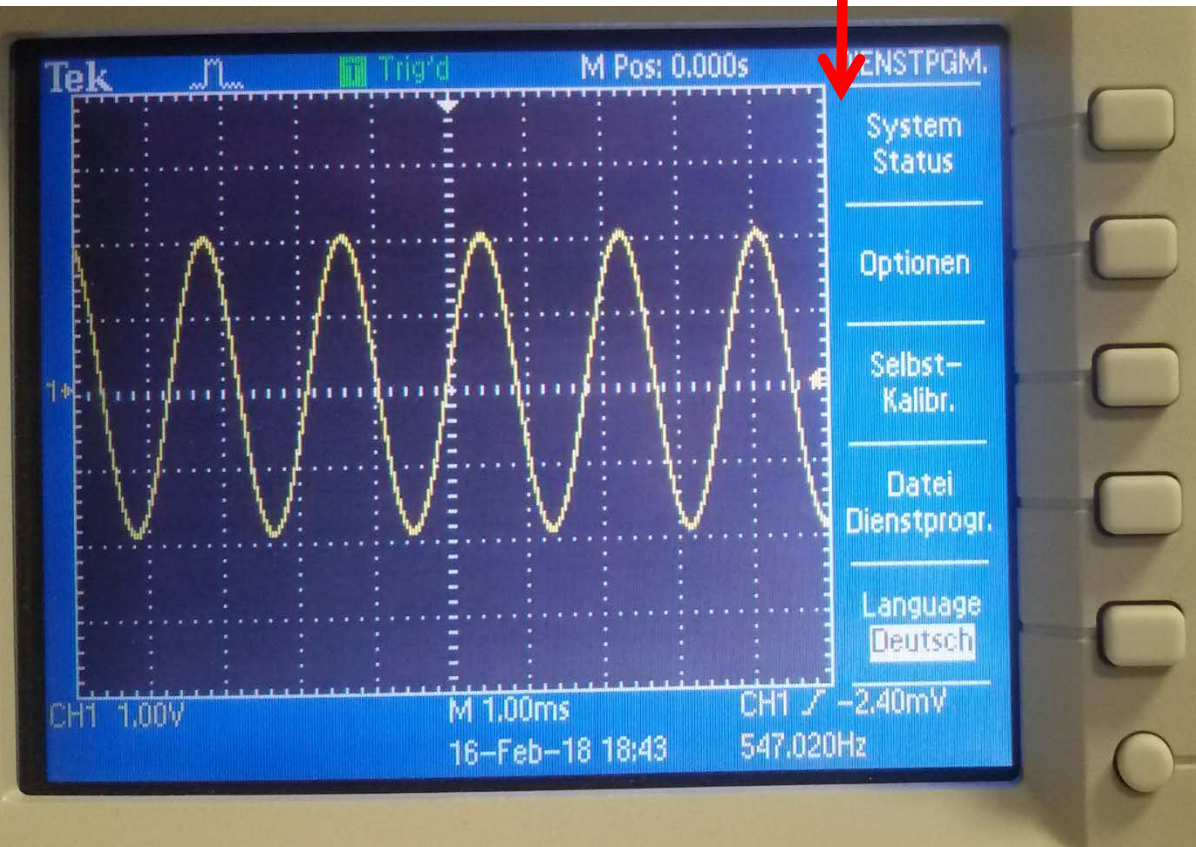
# Digital Oszilloskop



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

# Digital Oszilloskop

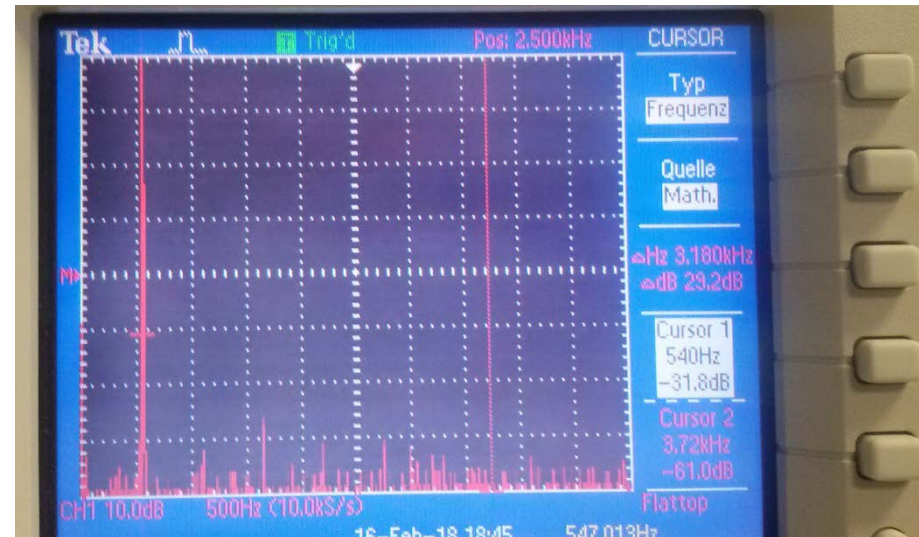
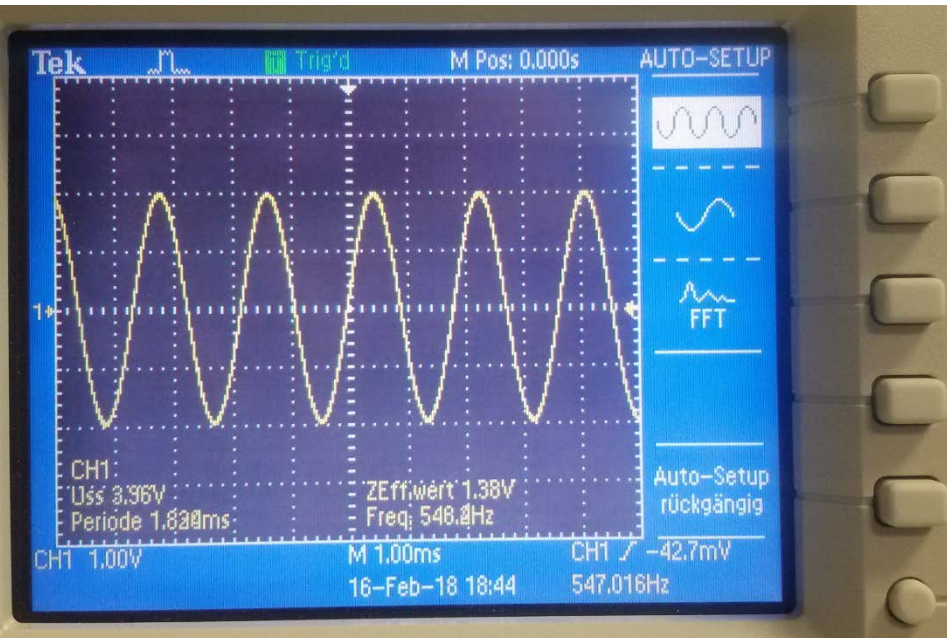
Dienstprogramme



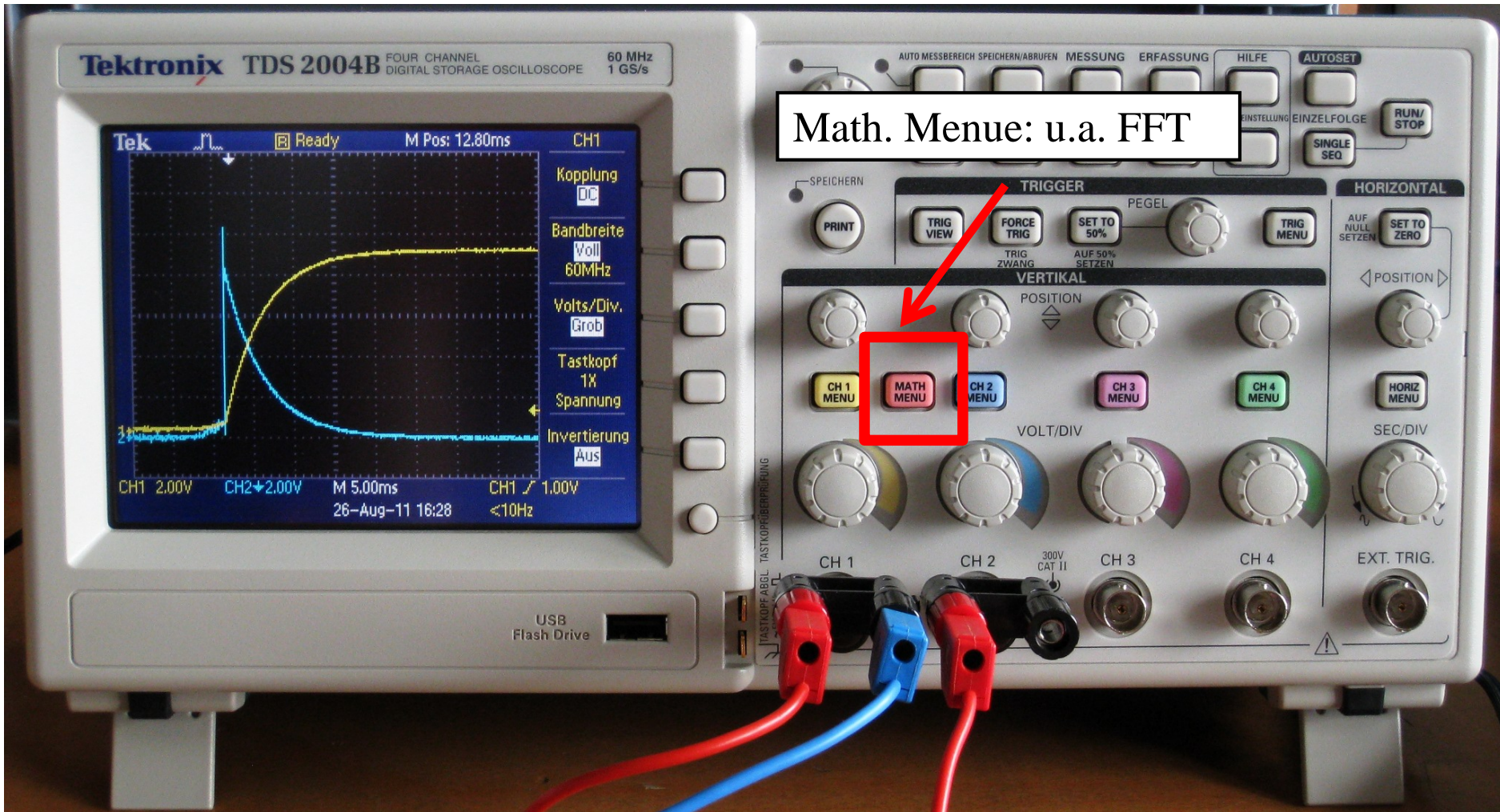


# Digital Oszilloskop

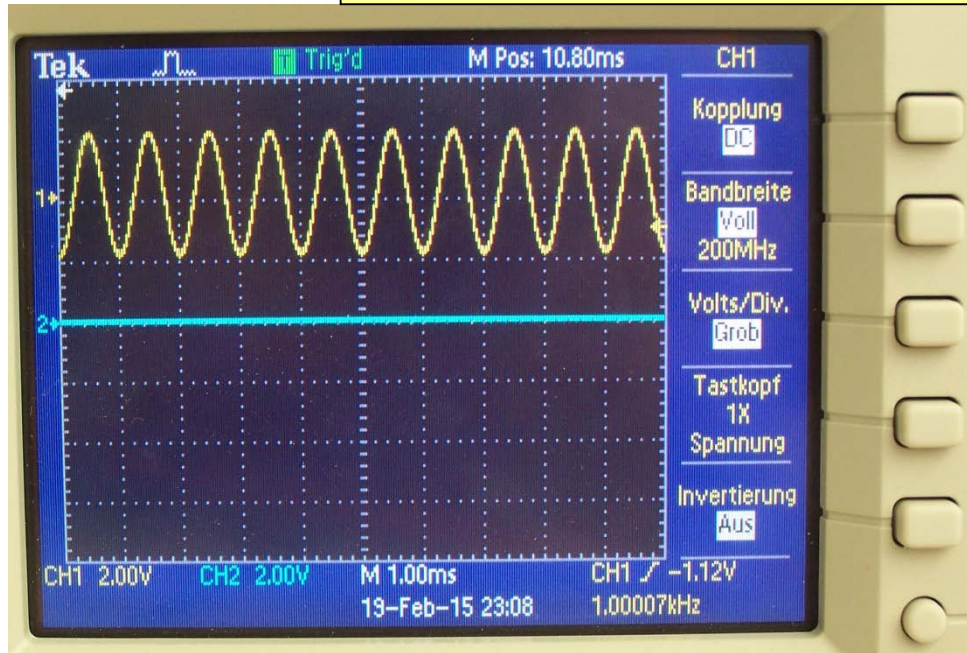
Autosetup



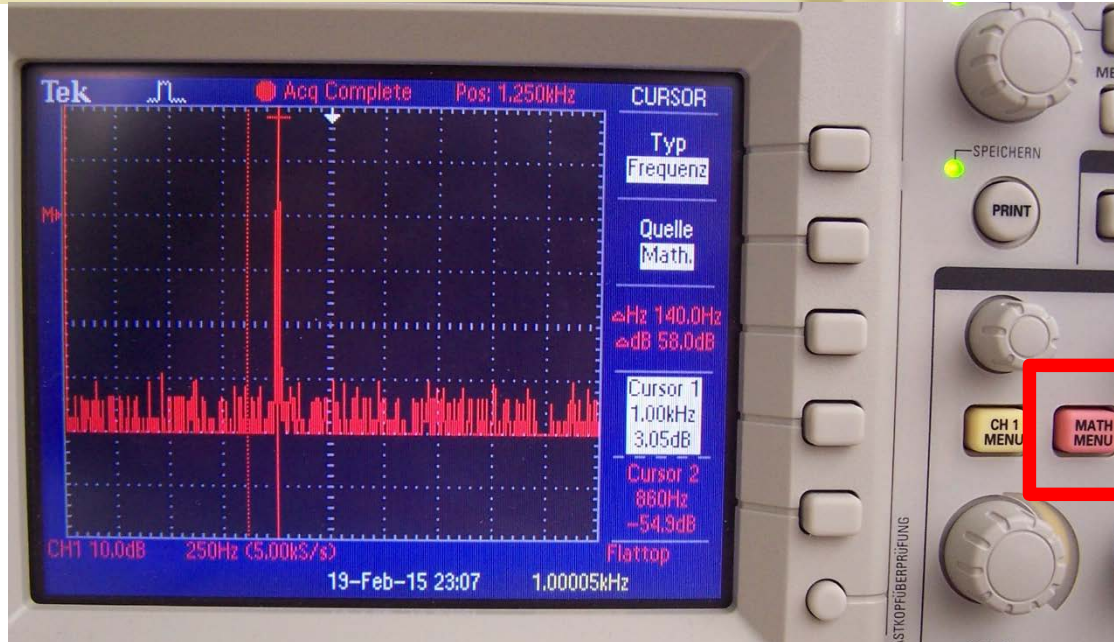
# Digital Oszilloskop



# Digital Oszilloskop

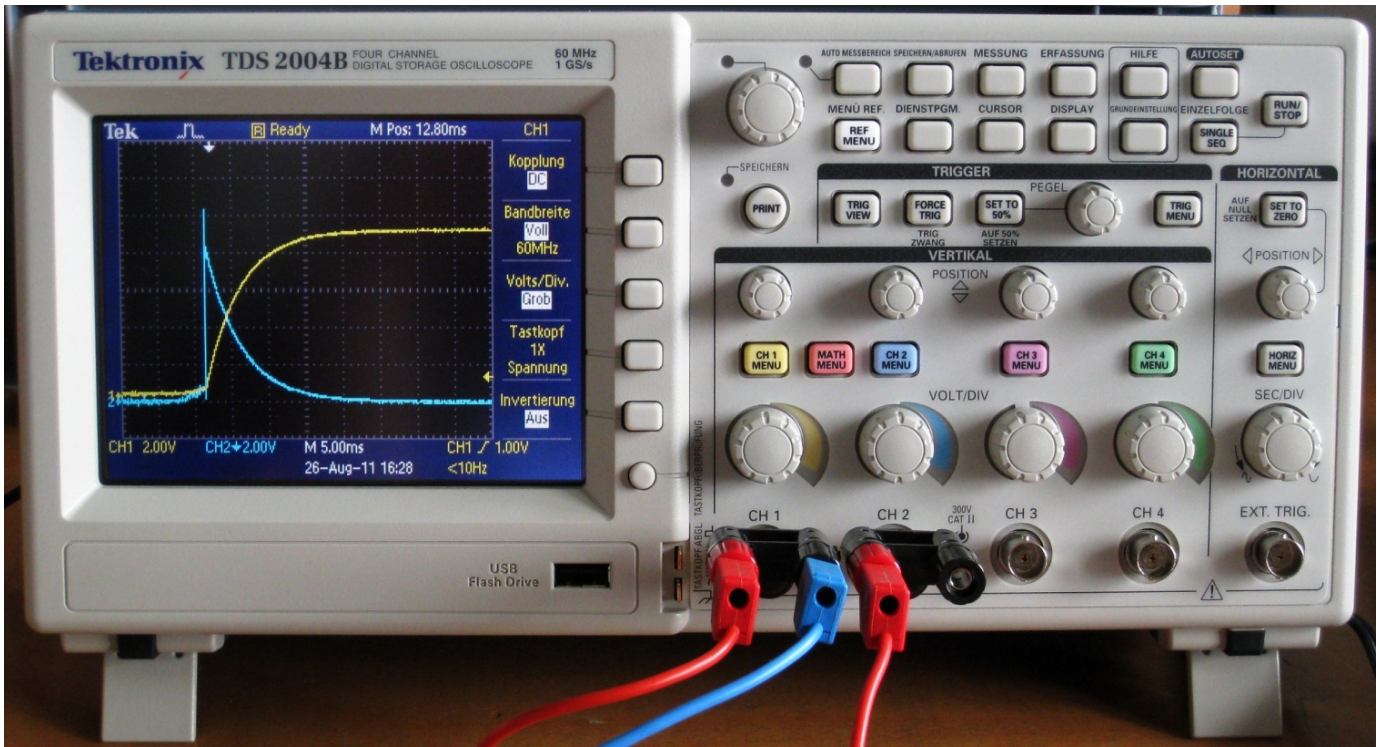
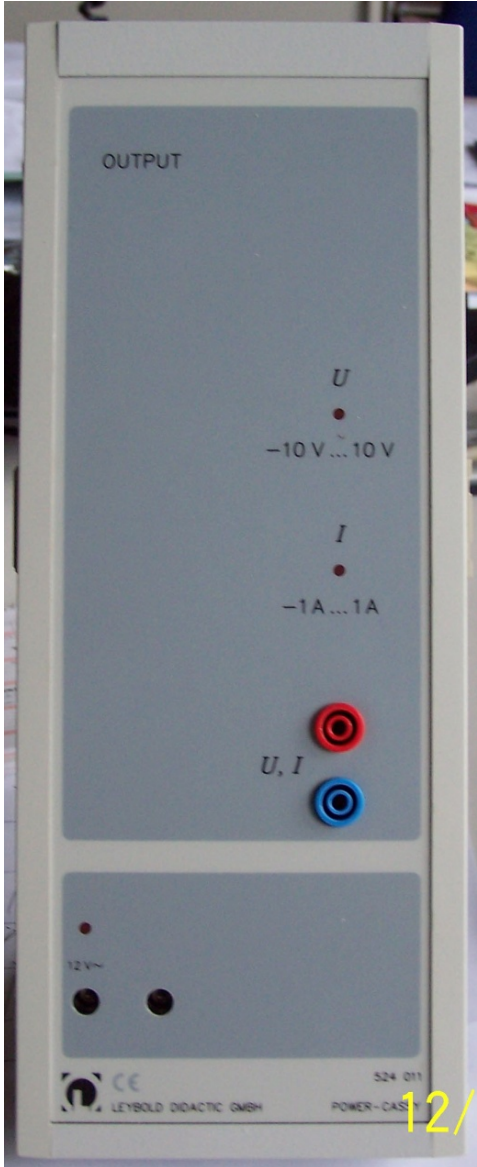


FFT einer Einzelmessung einer Schwingung

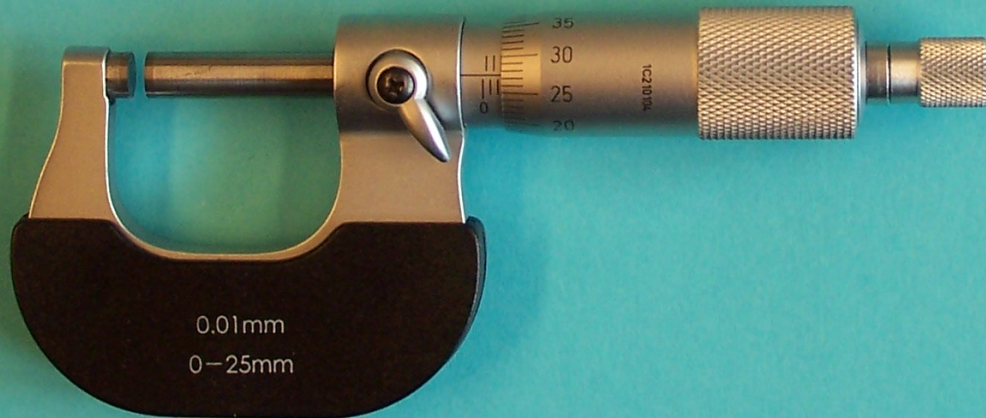
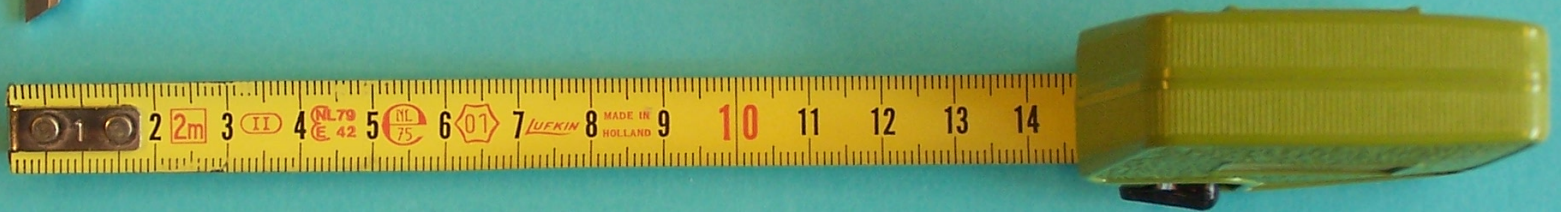
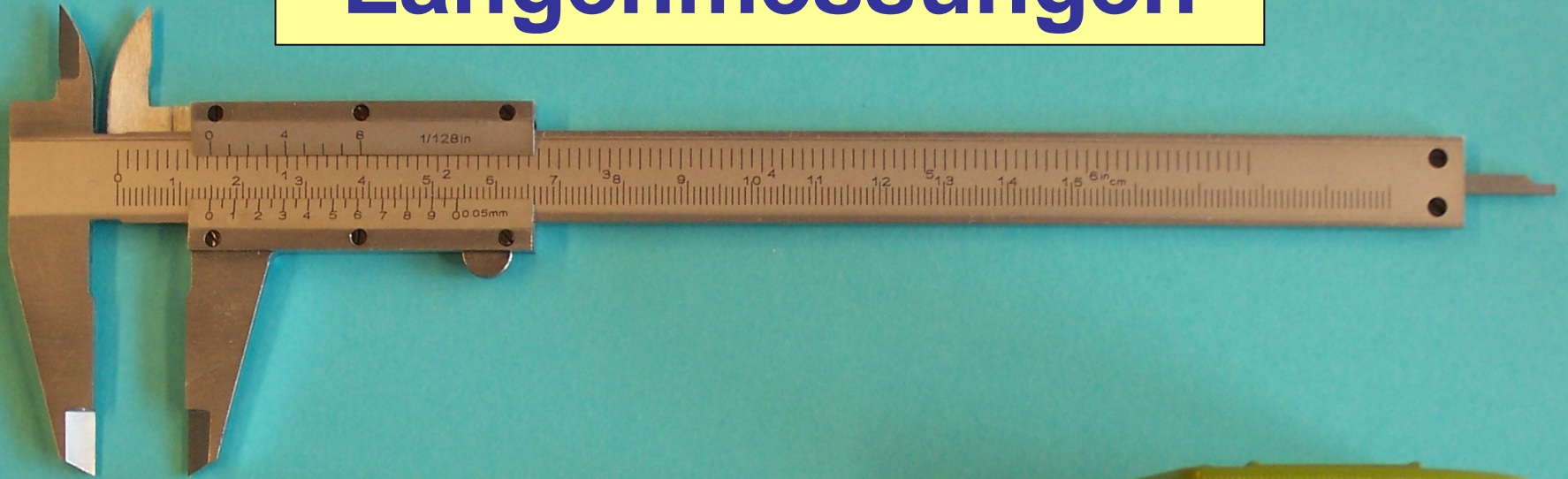


# Power Cassy vs Oszilloskop

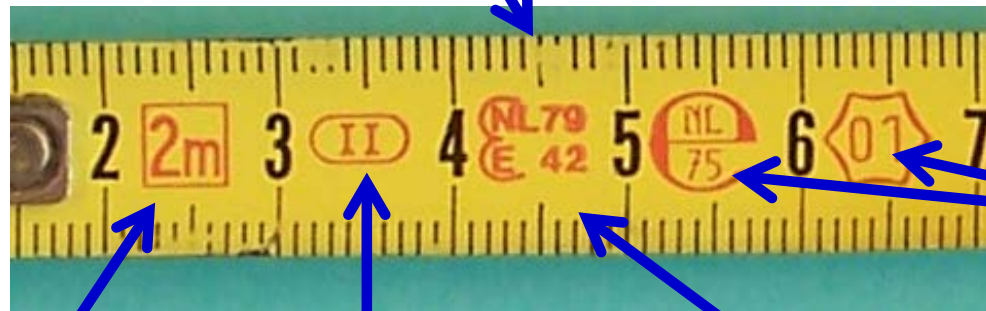
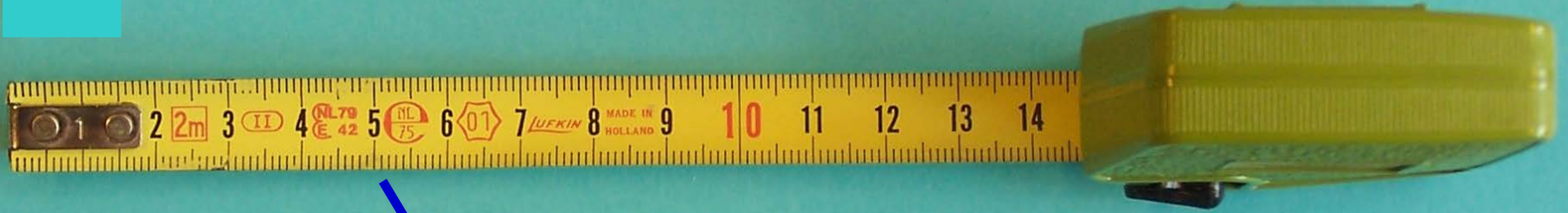
## 4. Übung



# 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

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

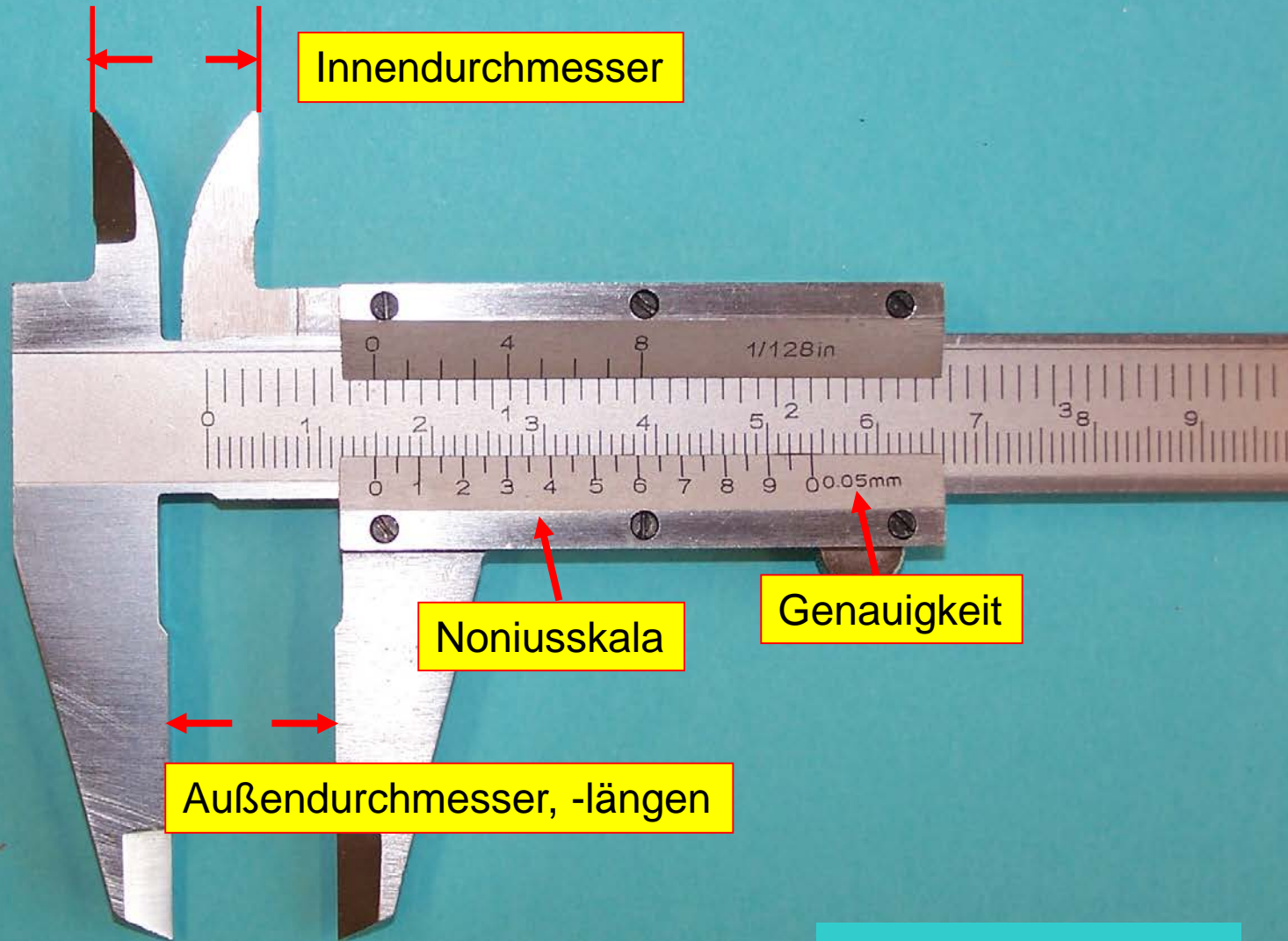
# Längenmessungen mit Maßband



Messunsicherheiten:

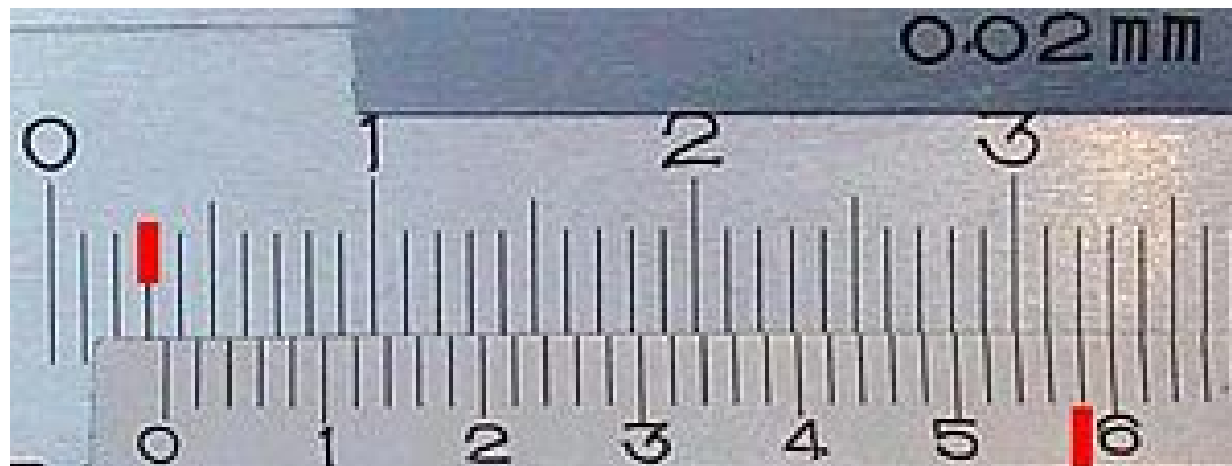
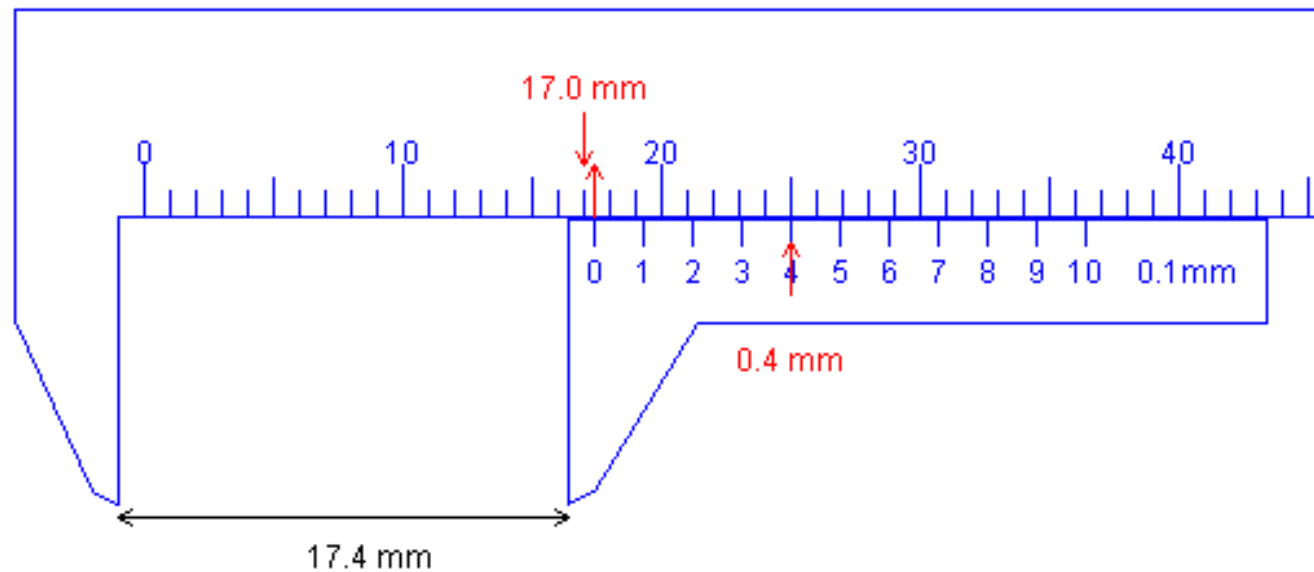
- Ableseunsicherheit: kleinste Skaleneinheit (z.B. 1 mm),  
Gleichverteilung  $1 \text{ mm} / \sqrt{12} = 0.29 \text{ mm}$
- Kalibrierunsicherheit: Toleranz von  $\pm 0.7 \text{ mm}$   
Gleichverteilung  $0.7 \text{ mm} / \sqrt{3} = 0,40 \text{ mm}$
- Mehrfachmessungen

# Längenmessungen mit Messschieber

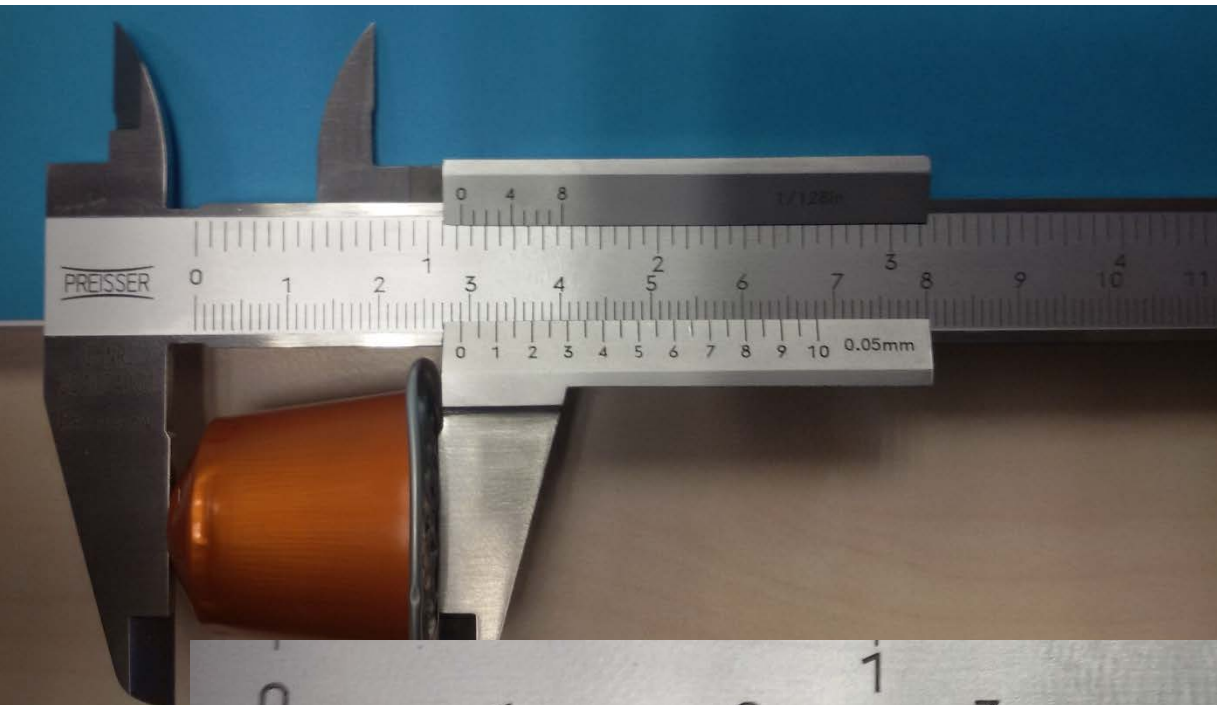




# Längenmessungen mit Messschieber



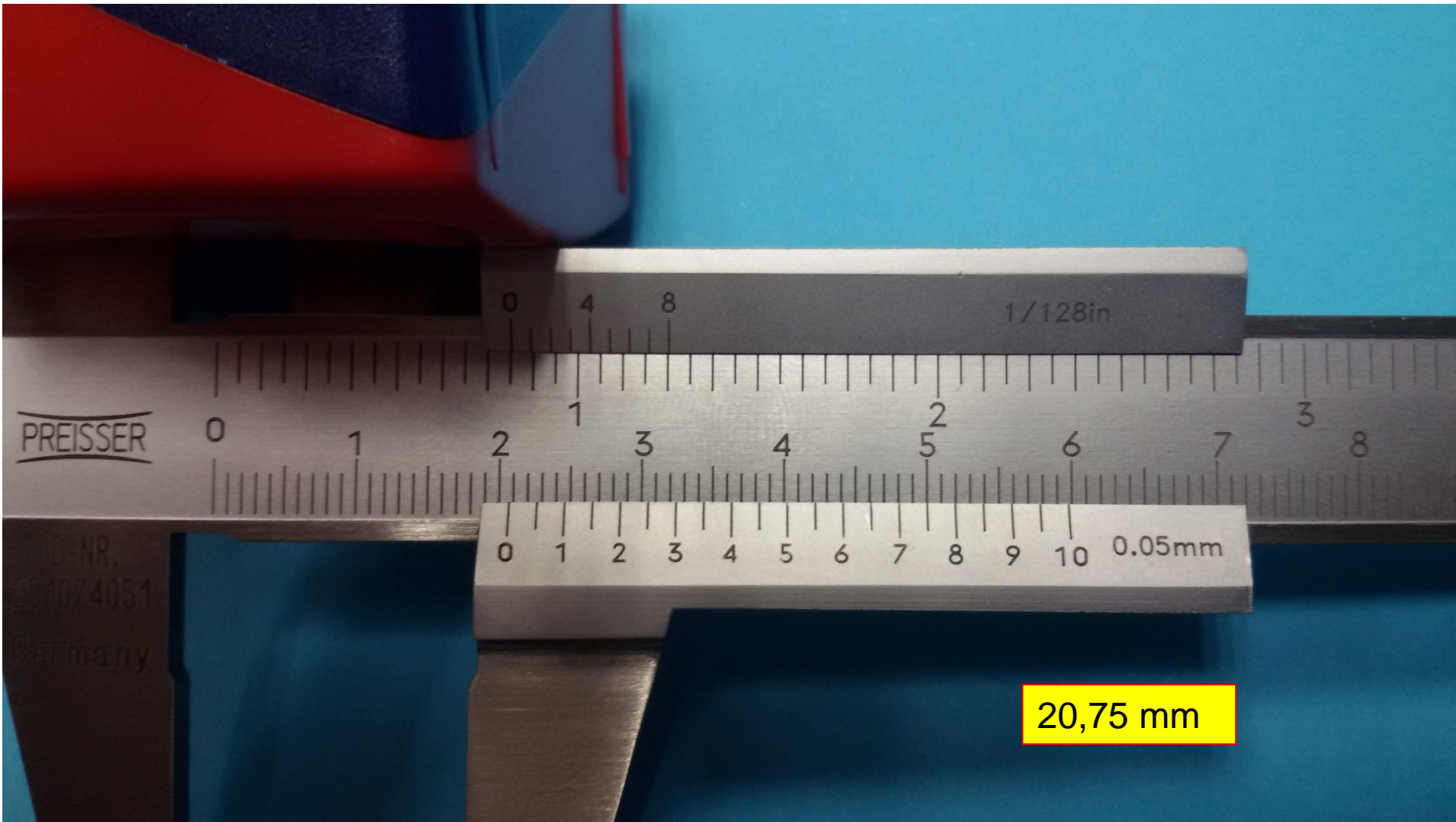
# Längenmessungen mit Messschieber



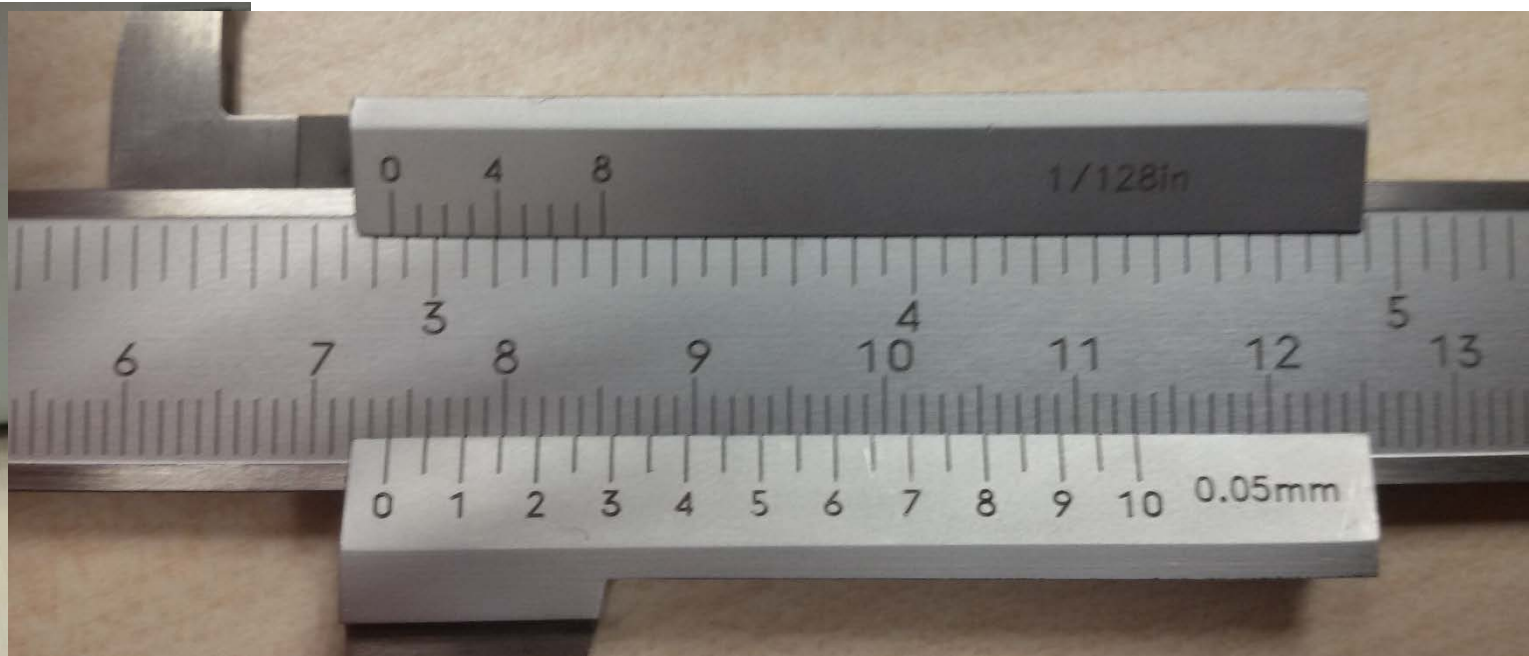
29,05 mm



# Längenmessungen mit Messschieber

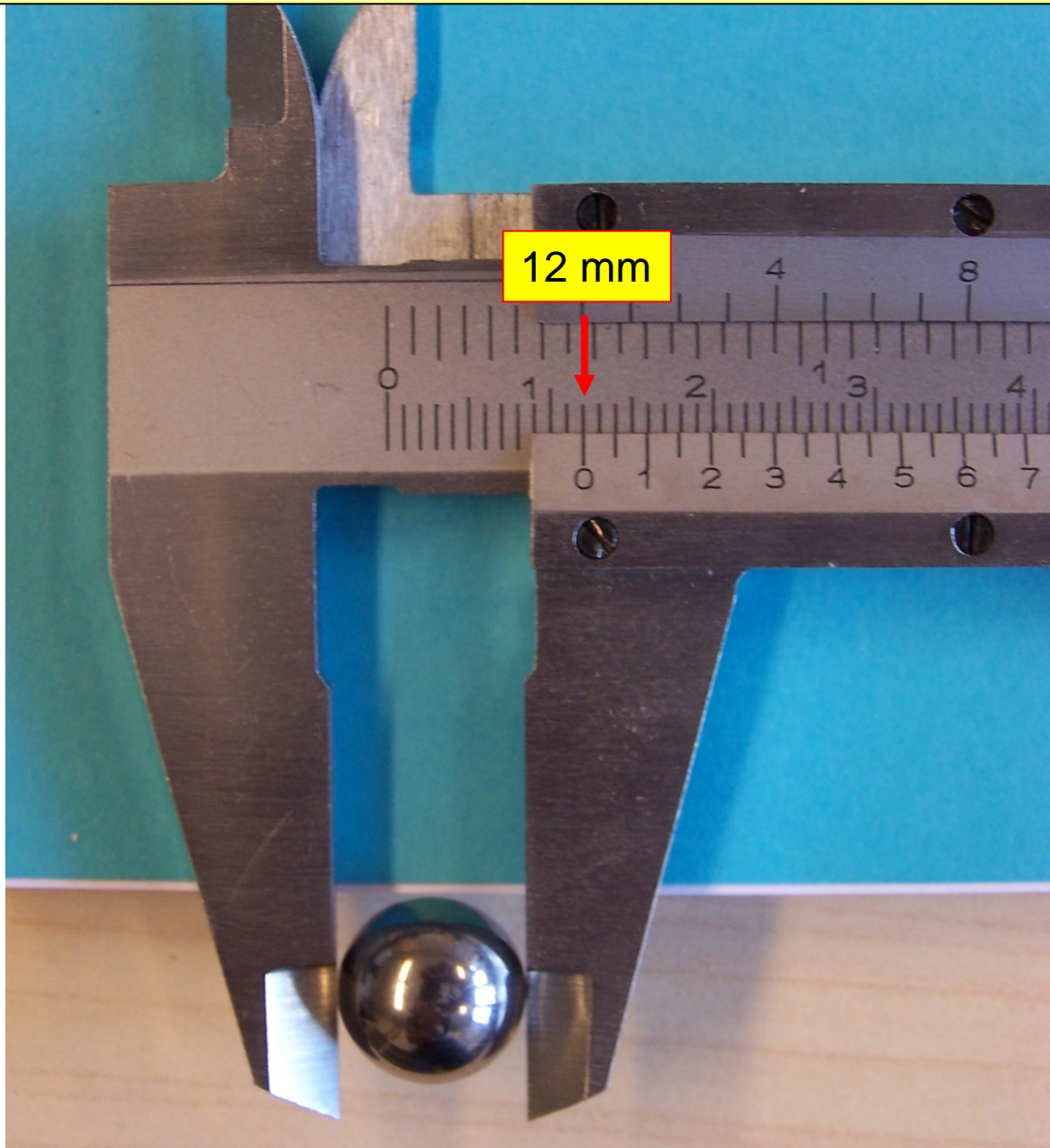


# Längenmessungen mit Messschieber

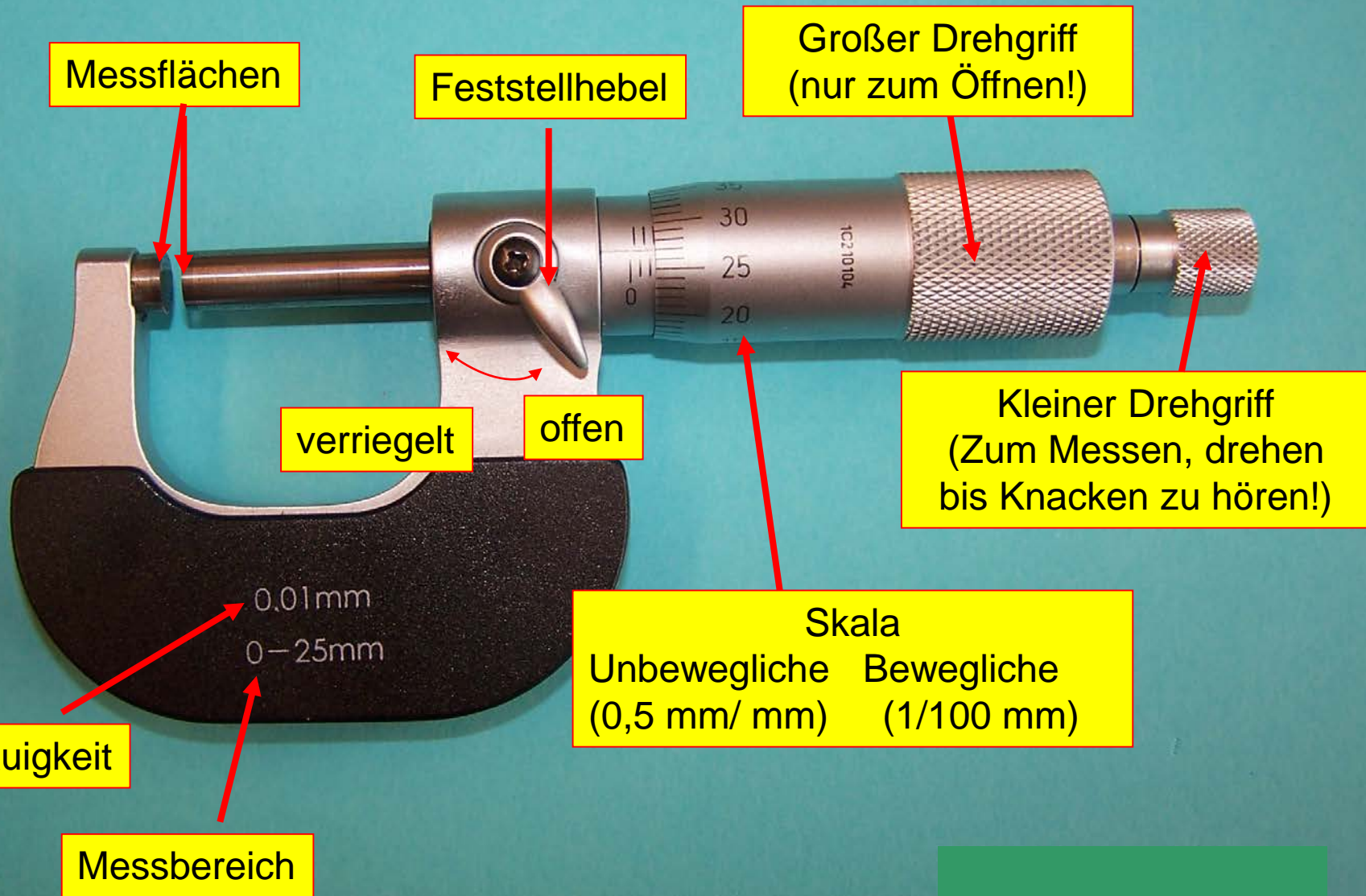


74,00 mm

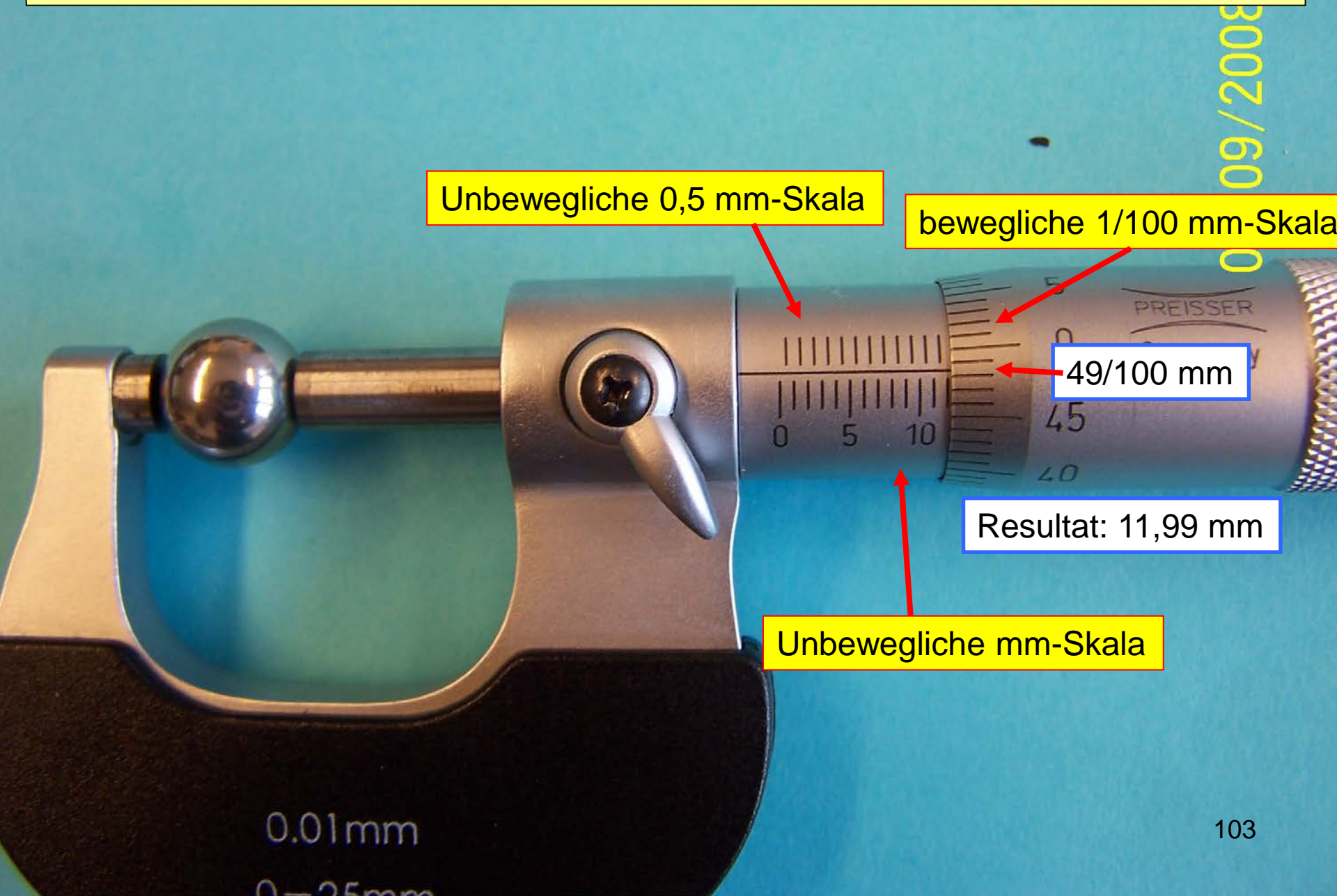
# Längenmessungen mit Messschieber



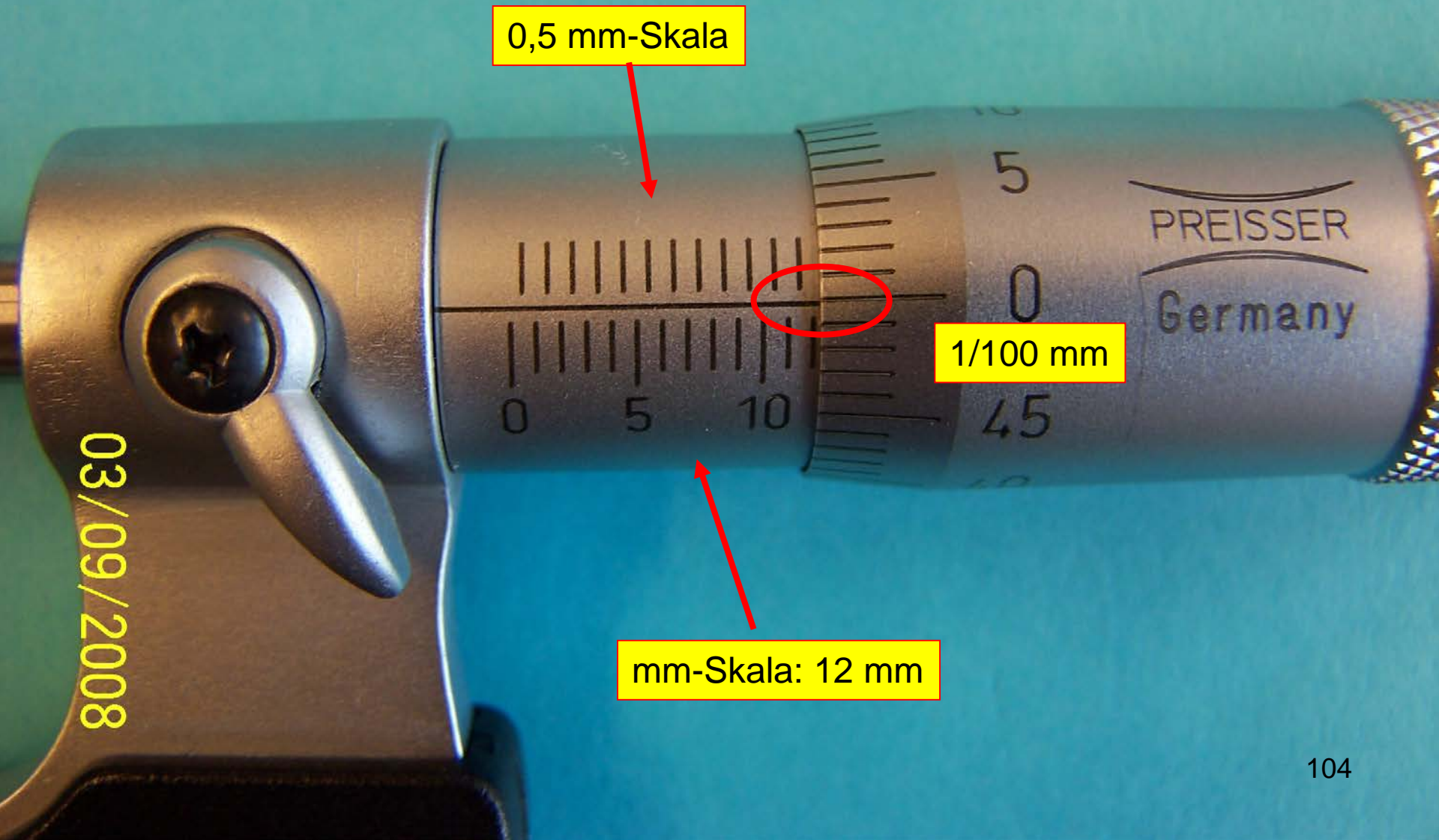
# Längenmessungen mit Mikrometerschraube



# Längenmessungen mit Mikrometerschraube

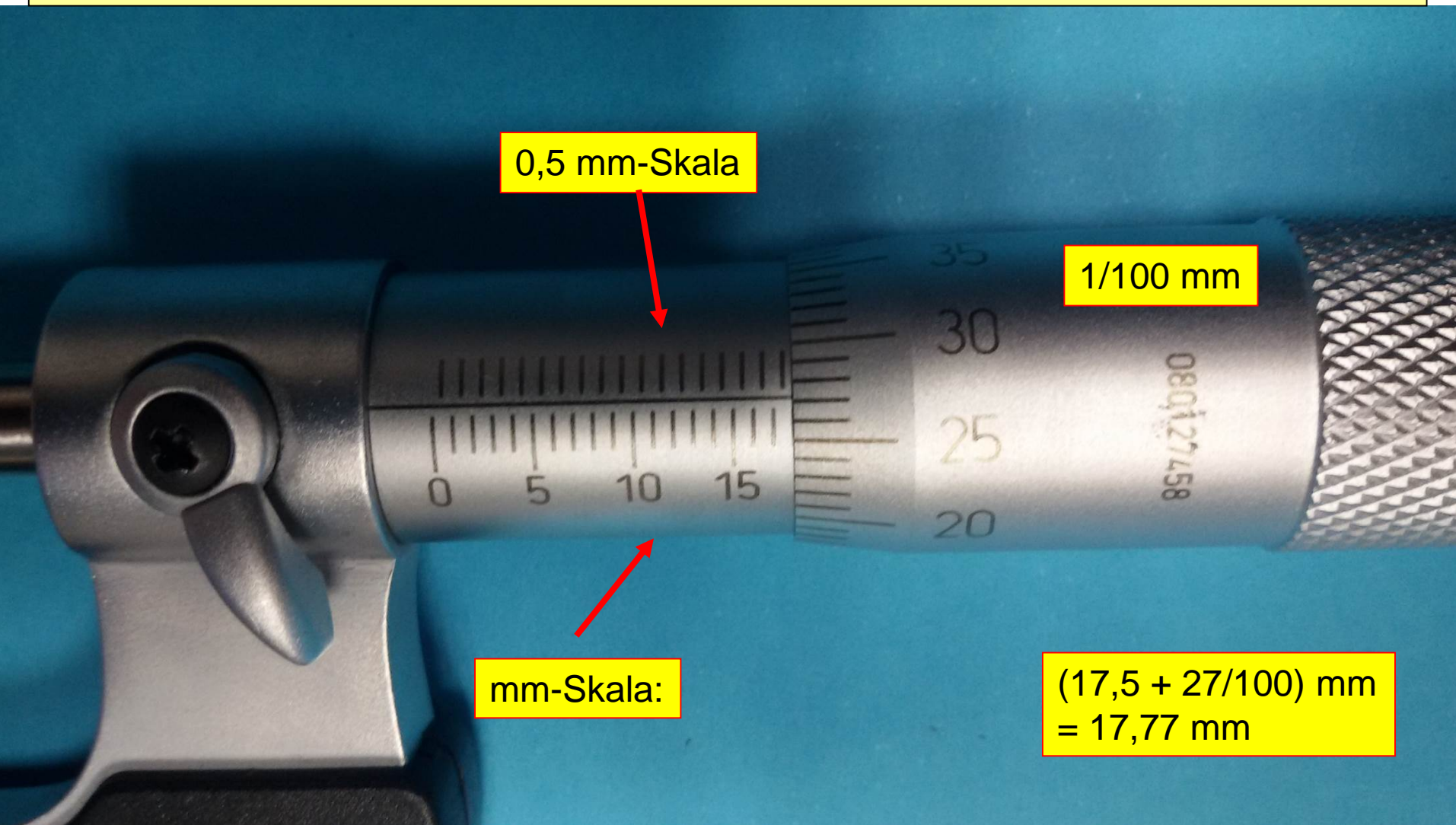


# Längenmessungen mit Mikrometerschraube

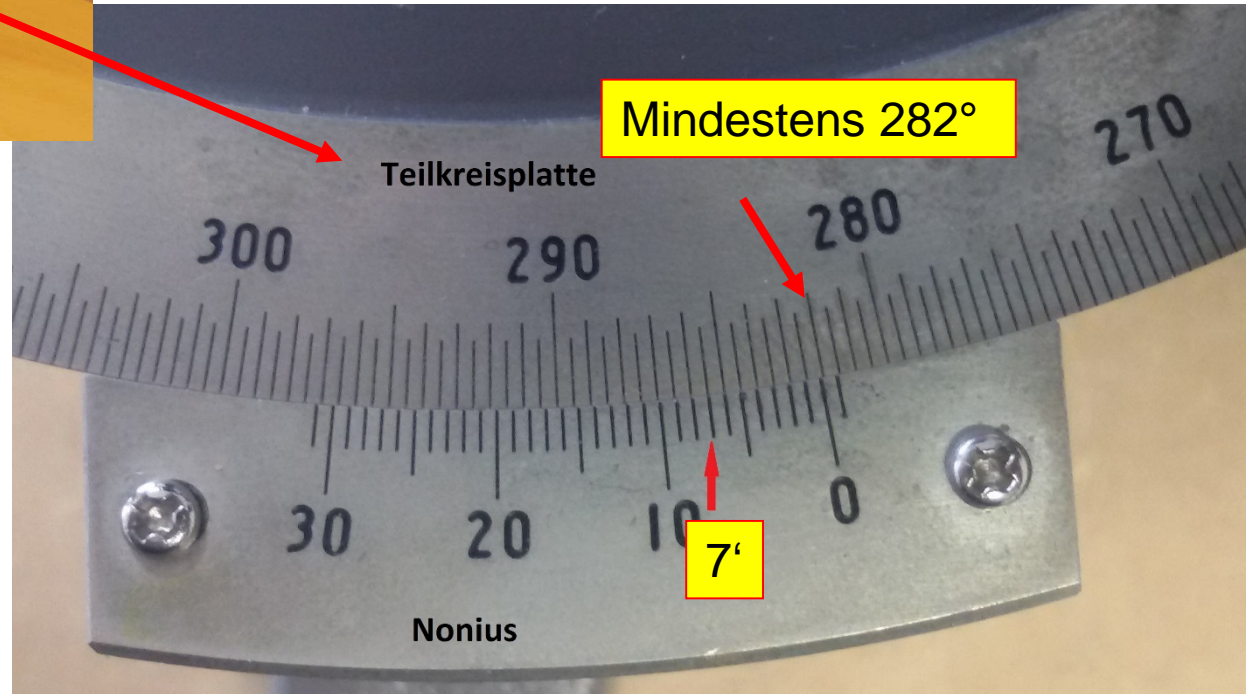




# Längenmessungen mit Mikrometerschraube



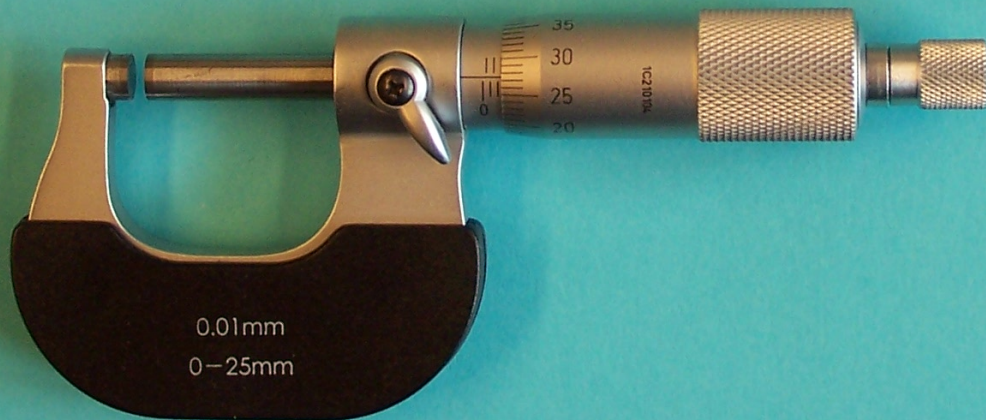
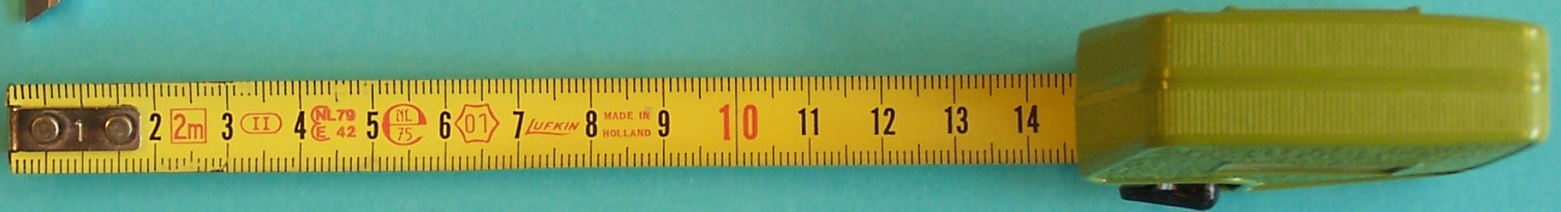
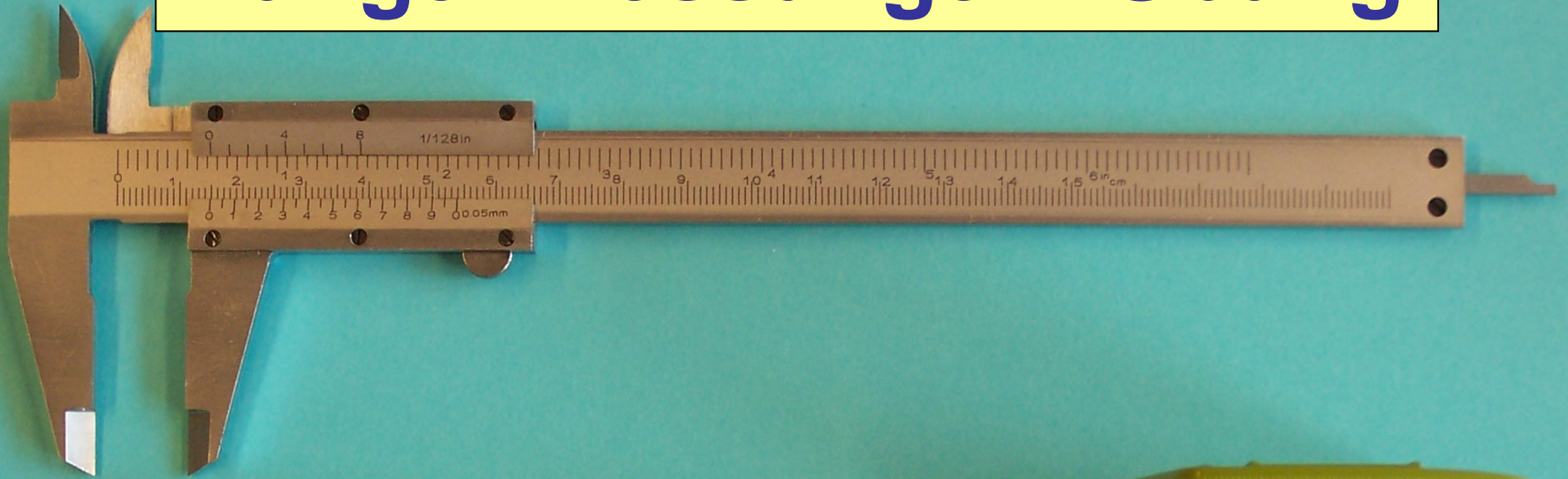
# Winkelmessungen mit Nonius



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

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

# Längenmessungen: Übung



**Viel Erfolg !**