

**Messinstrumente im
physikalischen
Grundpraktikum
SS17**

Dr. Th. Kirn

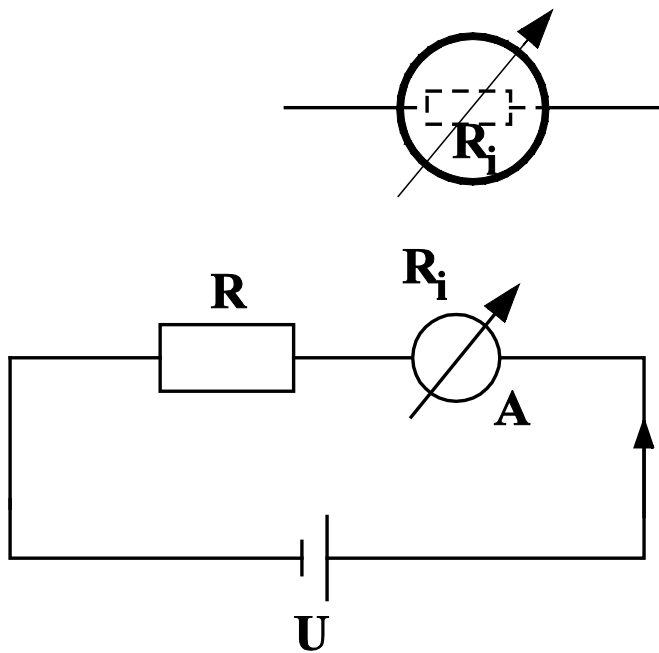
I. Physikalisches Institut B

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

Prinzip Strommessung

Messvorgang darf zu messenden
Strom nicht beeinflussen!

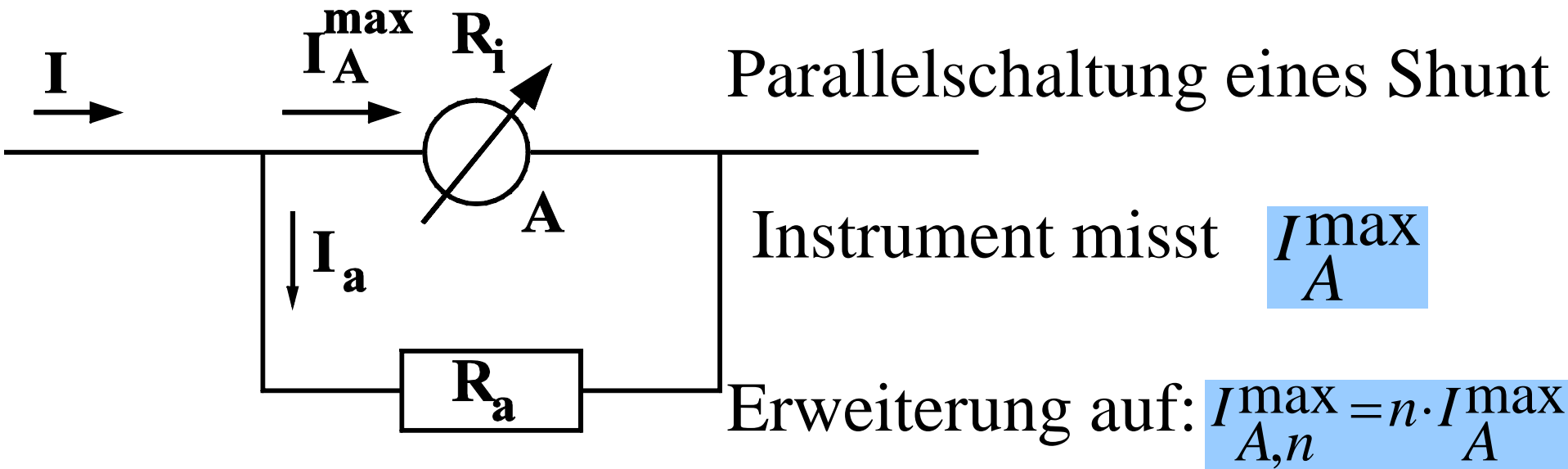
Erwarteter Strom: $I = \frac{U}{R}$



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

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

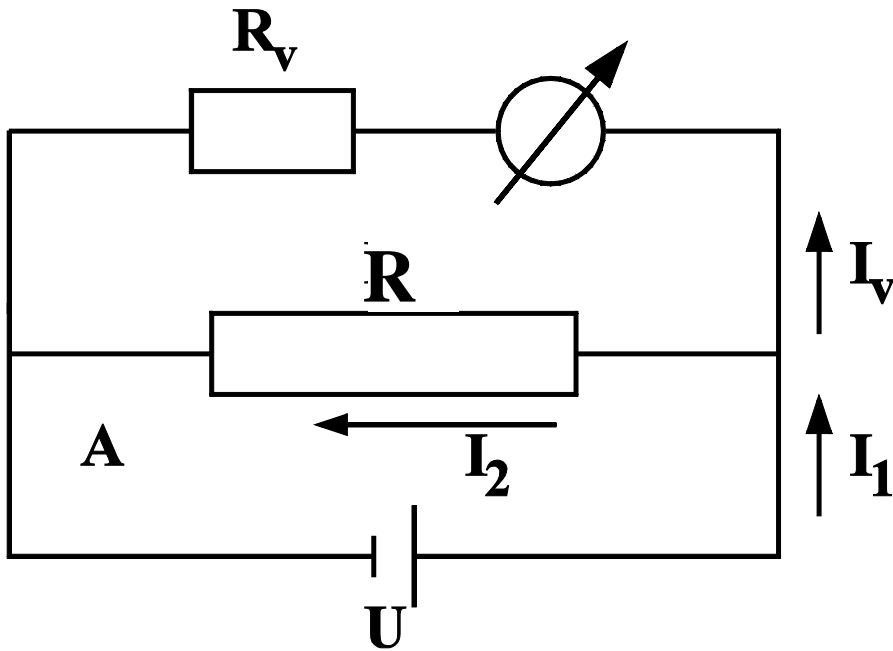
Messbereichserweiterung



Es muß gelten: $I = I_A^{\max} + I_a = n \cdot I_A^{\max}$ und $R_a \cdot I_a = R_i \cdot I_A^{\max}$

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

Prinzip Spannungsmessung



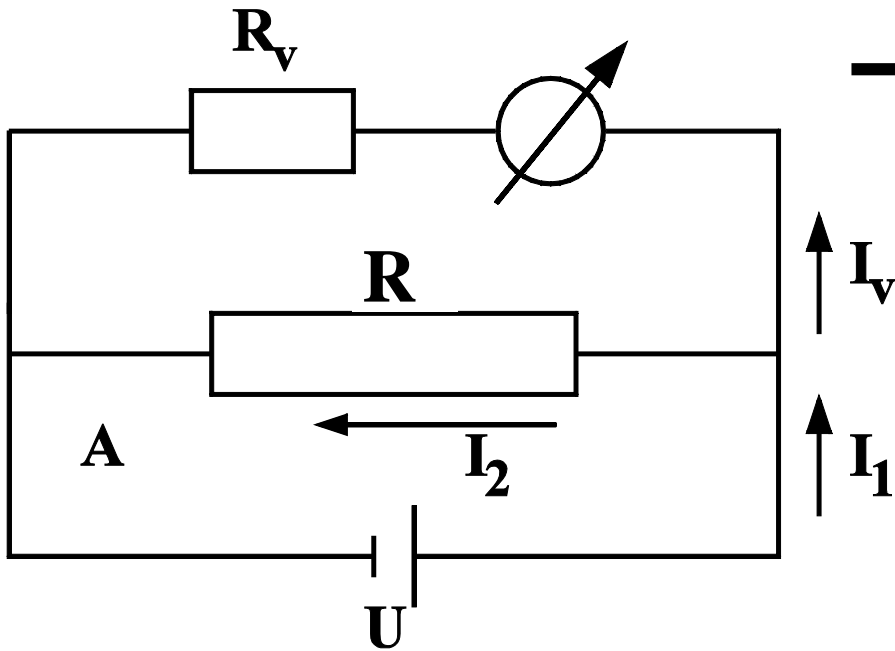
Spannungsmesser sind mittels
Ohmschen Gesetz in Volt
geeichte Amperemeter

Vorschaltung eines Vor-
widerstandes $R_v \gg R$

Durch Instrument fließt Strom I_v

angezeigte Spannung $U = I_v \cdot R_v$

Prinzip Spannungsmessung



→ Änderung der Stromstärke im Kreis A
Quelle liefert Strom

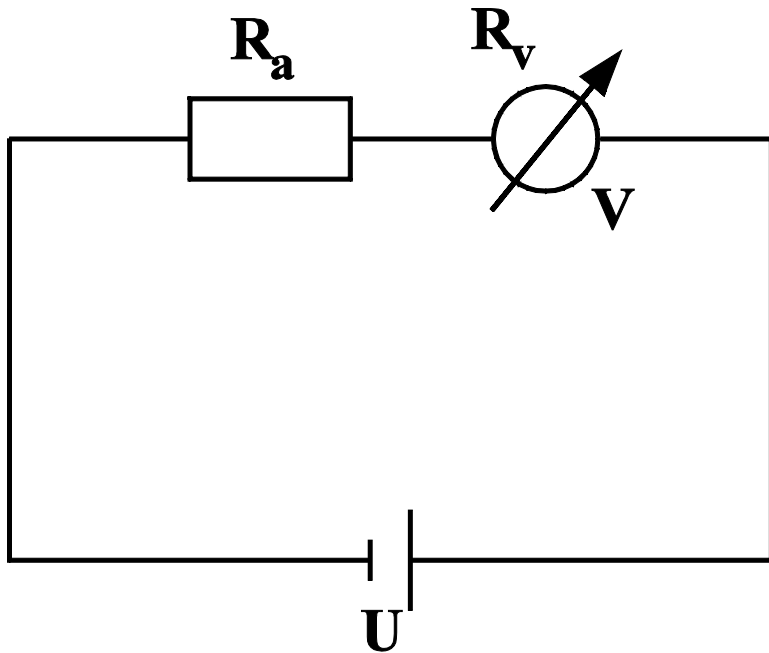
$$I_1 = U \cdot \left(\frac{1}{R_v} + \frac{1}{R} \right) = I \cdot \frac{R + R_v}{R_v} > I = \frac{U}{R}$$

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

Spannungsmesser sind hochohmige Strommesser

$$R_v > 10k\Omega$$

Messbereichserweiterung



Reihenschaltung eines Vorwiderstandes R_a

Instrument misst U_{\max}

Erweiterung auf: $U'_{\max} = n \cdot U_{\max}$
($n > 1$)

Es ist:

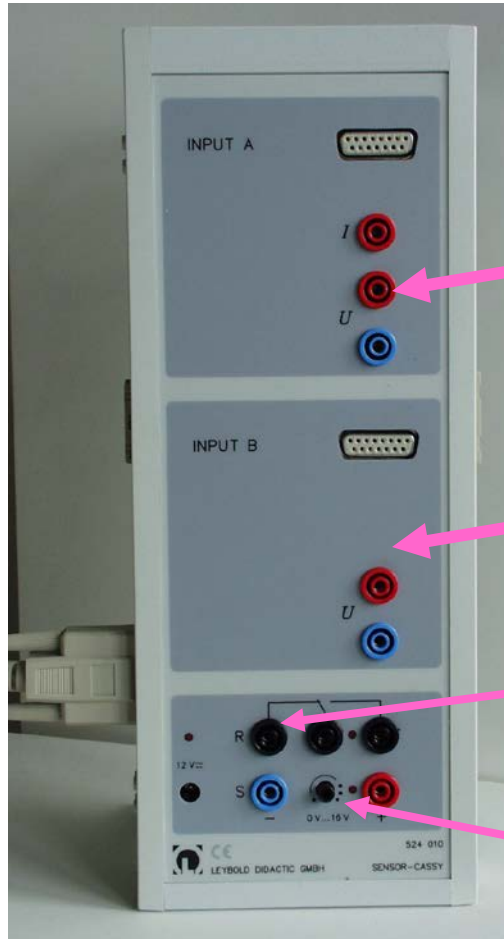
$$I = \frac{n \cdot U_{\max}}{R_a + R_v} = \frac{U_{\max}}{R_v}$$

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

Realisation der Strom- und Spannungsmessung im Praktikum?



Sensor Cassy Interface



4-fach galvanisch getrennt:

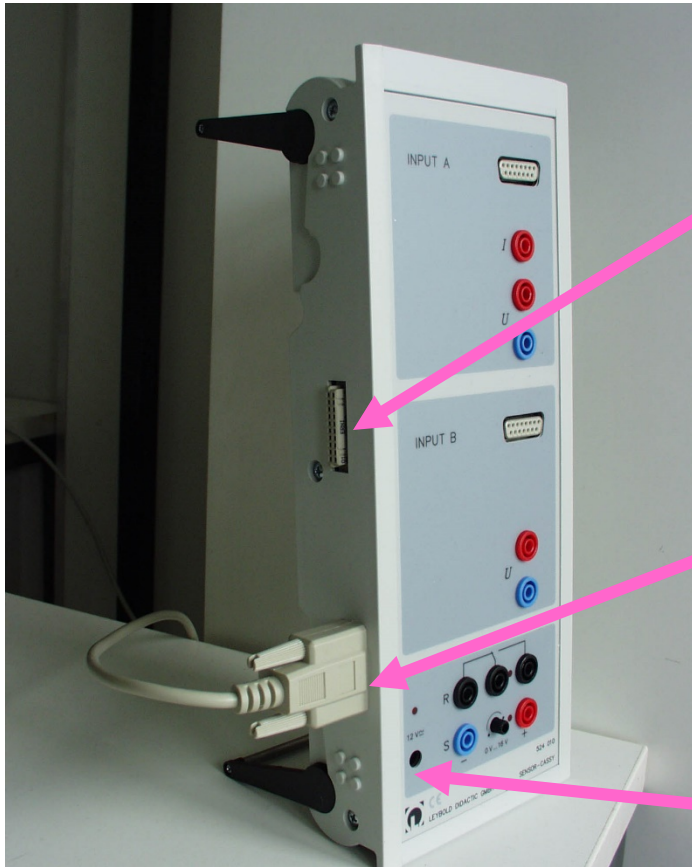
Eingang A (I,U)

Eingang B (U)

Relais R

Spannungsquelle S (0 – 16V)

Sensor-Cassy Interface



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

Anschluß an serielle Schnitt-
stelle RS232 des PCs

Spannungsversorgung:

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

Sensor-Cassy Interface

Umschaltrelais R

(Schaltanzeige mit LED)

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



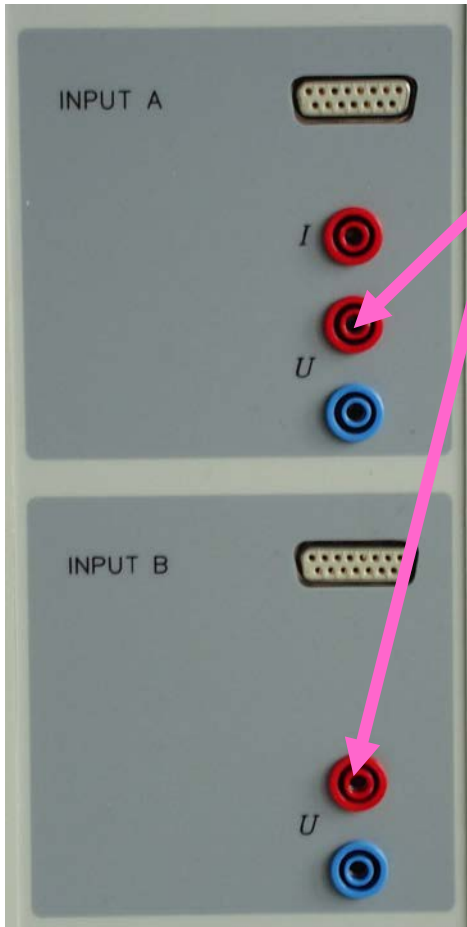
1 analoger Ausgang (PWM)
pulsweitenmoduliert, schaltbare
Spannungsquelle S,
Schaltanzeige mit LED,
Spannung: **max. 16 V / 200 mA**
PWM-Frequenz: **100 Hz**

Sensor Cassy Interface

5 analoge Eingänge

2 analoge Spannungseingänge A und B:

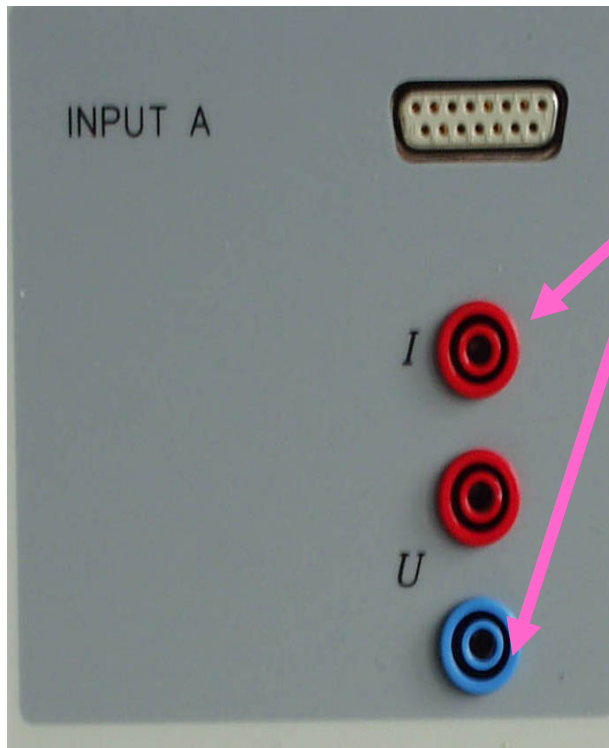
- Auflösung: 12 Bit ($2^{12} = 4096$)
- Messbereiche: $\pm 0,3/1/3/10/30/100$ V
- Digitalisierung: $\pm 0,15$ mV/.../ 48,8mV
- sys. Messfehler: $\pm 1\% + 0,5\%$ Endwert
- Eingangswiderstand: 1 M Ω
- Abtastrate: max. 200.000 Werte/s
(=100.000 Werte/s pro Eingang)
- Anzahl Messwerte: max. 32000



(= 16000/ Eingang) 12

Sensor-Cassy Interface

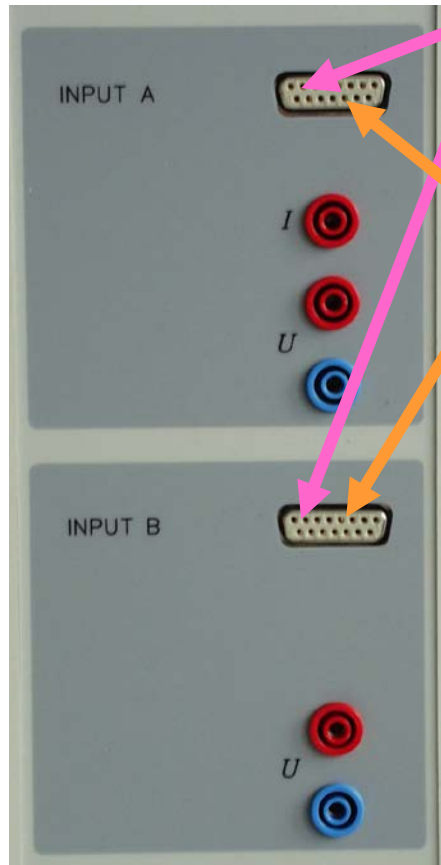
Eingang A:



1 analoger Stromeingang :

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

Sensor-Cassy Interface



2 analoge Eingänge auf Sensorbox-Steckplätzen A und B

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

4 Timer-Eingänge (32 Bit Zähler) auf Sensor-Steckplätzen A und B

- Zährefrequenz: 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

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

Copyright

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

Schließen

Freischaltung



Cassy Lab Start

Einstellungen

CASSY Parameter/Formel/FFT Modellbildung Kommentar Allgemein

Serielle Schnittstellenbelegung:



COM1

aus



COM2

aus



COM3

aus



COM4

aus



Sprache:

Deutsch



Erkannte CASSY-Module:

CASSY erkannt?

CASSY-Module aktualisieren

Neue Vorgaben abspeichern

Schließen

Messparameter anzeigen

Beispiel laden

Hilfe

Com-Port Einstellungen → CASSY

Cassy Lab Start

Finden des Com-Ports, an dem CASSY angeschlossen ist:

Start → Systemsteuerung → System und Sicherheit

The image shows a Windows 7 desktop environment. The Start menu is open, displaying a list of applications including WinSCP, Erste Schritte, Verbindung mit einem Projektor, Rechner, PuTTY, Kurznutzen, Paint, Snipping Tool, XPS-Viewer, CASSY Lab, and Alle Programme. The 'Systemsteuerung' (Control Panel) option is highlighted in red. A red arrow points from this option to the 'System und Sicherheit' (System and Security) category in the System Control window. The System Control window is titled 'Systemsteuerung' and shows various settings categories: System und Sicherheit, Netzwerke und Internet, Hardware und Sound, Programme, Benutzerkonten und Jugendschutz, Darstellung und Anpassung, Zeit, Sprache und Region, and Erleichterte Bedienung. The 'System und Sicherheit' category is circled in red. The desktop background is blue with various application icons. The taskbar at the bottom shows the Start button, several application icons, and the system tray with the date and time (12:26, 19.02.2015).

Cassy Lab Start

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

The image shows a Windows 7 desktop environment with a blue background. The taskbar at the bottom contains icons for Cywin64 Terminal, Mozilla Thunderbird, Virtual CloneDrive, Digital Photo Professional, OpenChoice Desktop, VMware Player, EOS Utility, OpenOffice 4.1.1, and VLC media player. The system tray shows the language 'DE', battery level at 98%, and the date '12:28 19.02.2015'. The desktop background features the 'Think' logo.

Two windows are open:

- Systemsteuerung** (Control Panel): The 'System und Sicherheit' (System and Security) link is highlighted with a red circle. A red arrow points from this link to the Device Manager window.
- Geräte-Manager** (Device Manager): The 'USB Serial Port (COM9)' device is highlighted with a red circle.

The Device Manager window shows a tree view of hardware devices for the system 'inst-1b-163'. The 'Anschlüsse (COM & LPT)' category is expanded, showing 'USB Serial Port (COM9)' as the selected device.

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 is open, showing the 'Ports' category. The '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 is set to 'COM9' and is circled in red. The taskbar at the bottom shows various applications like 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 date and time as 12:30 on 19.02.2015.

Eigenschaften von USB Serial Port (COM9)

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

Erweitern... Wiederherstellen

Erweiterte Einstellungen für COM9

COM-Anschlussnummer: COM9

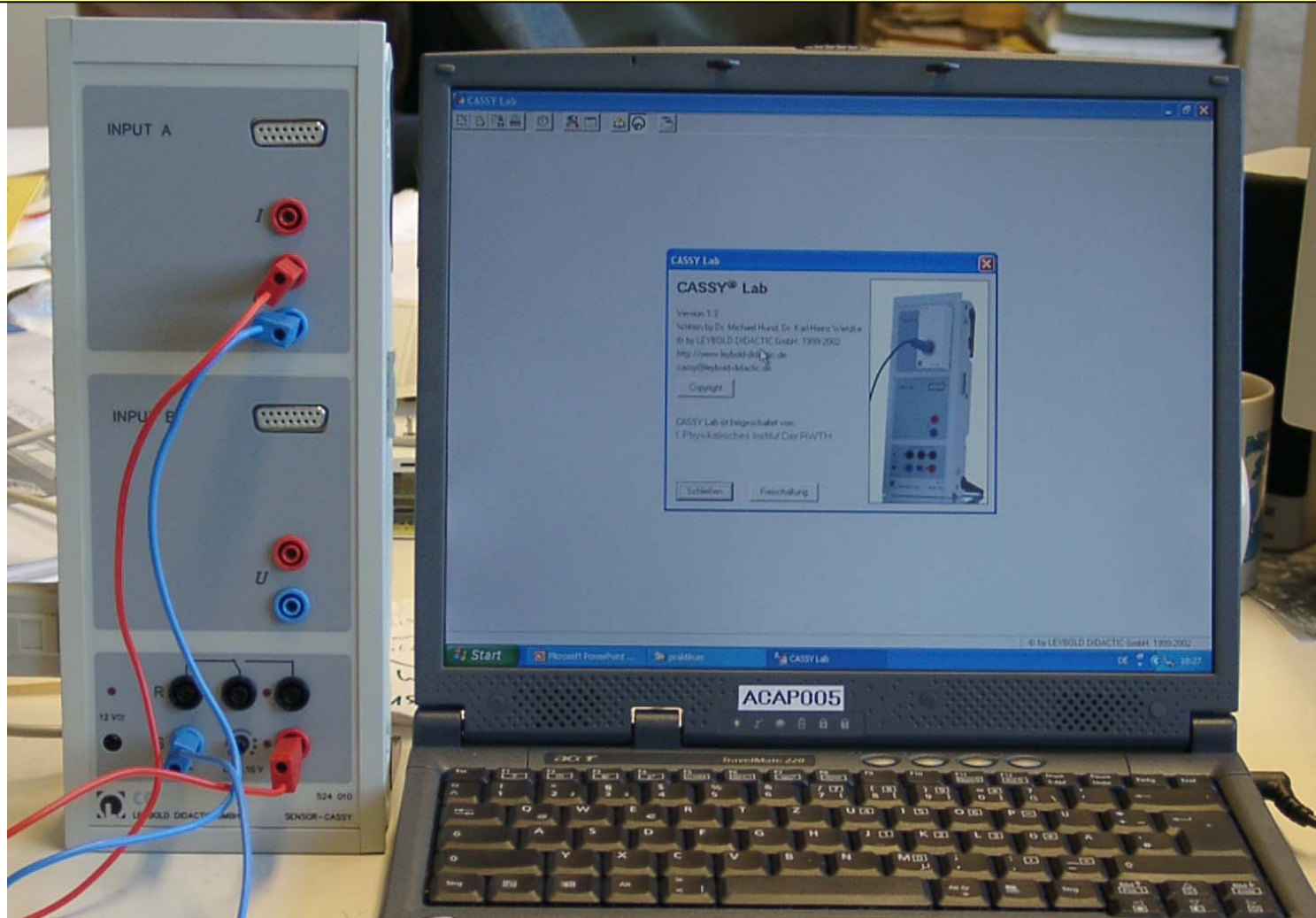
USB Pakete senden
Reduzieren Sie die Werte, um die Leistung zu verringern.
Erhöhen Sie die Werte, für eine höhere Leistung.
Empfangen (Bytes):
Senden (Bytes):

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

Allegemeinen Optionen
PlugPlay für serielle Schnittstelle
Serieller Drucker
Adressieren der Kommunikation, wenn das Gerät angeschlossen wird
Event bei unvorhergesehener Entfernung des Kabels
Beim Schließen der Verbindung RTS aktiv setzen
Adressieren der Modemsteuerung beim Aufheben des Kabels
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 Einstellungenknopfs oder der F5-Taste



Messparameter [X]

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

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

Messparameter [X]

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

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

Messparameter [X]

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

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

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

Cassy Lab, Einstellungen, Darstellungen

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 ²	<input type="radio"/> y ²	<input type="radio"/> y ²	<input type="radio"/> y ²
<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 ²	<input type="radio"/> 1/y ²	<input type="radio"/> 1/y ²	<input type="radio"/> 1/y ²
<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

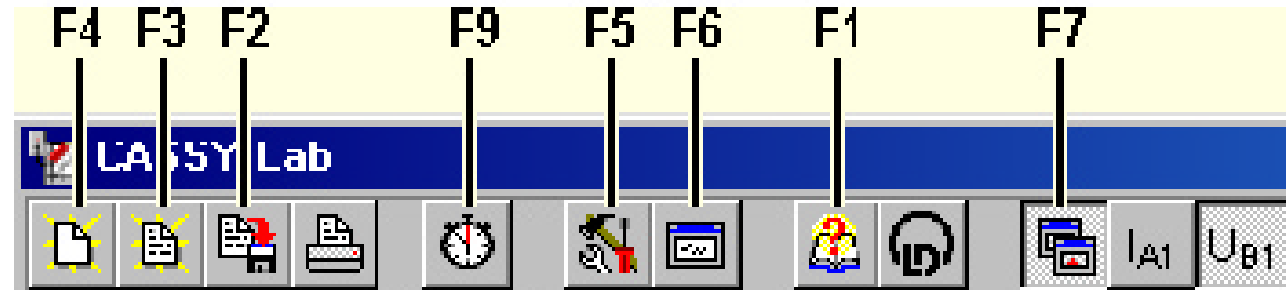
Mittelwert über Histogramm (Δ =)

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

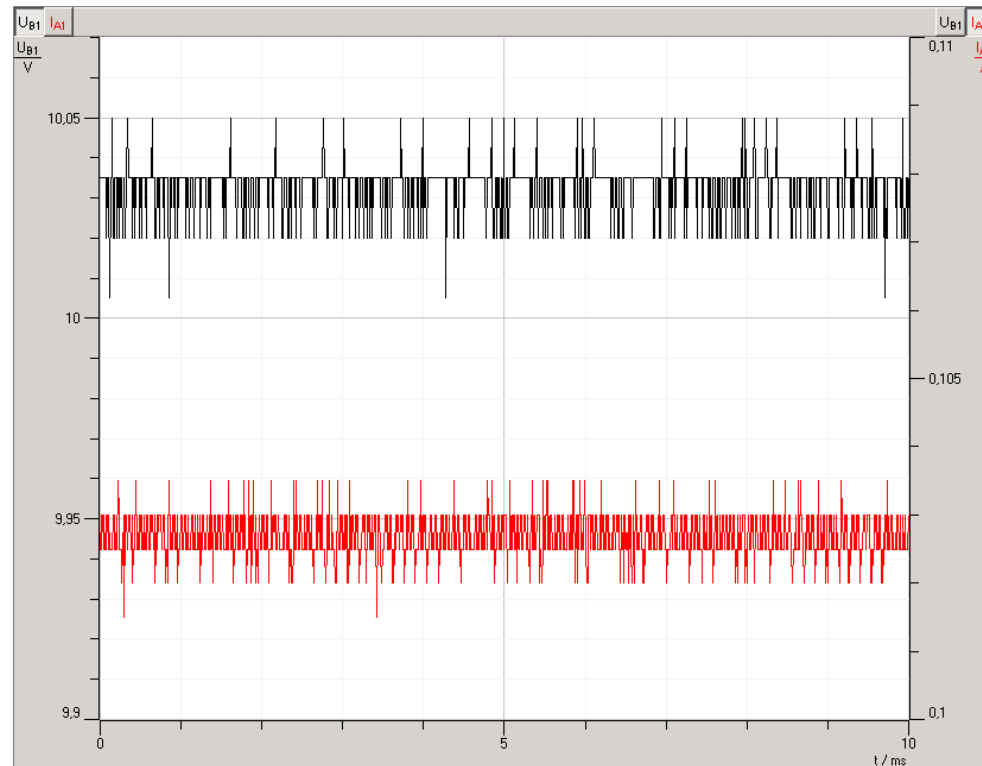
**Konstante oder Parameter oder Formel oder FFT:
Definition einer neuen Größe**

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

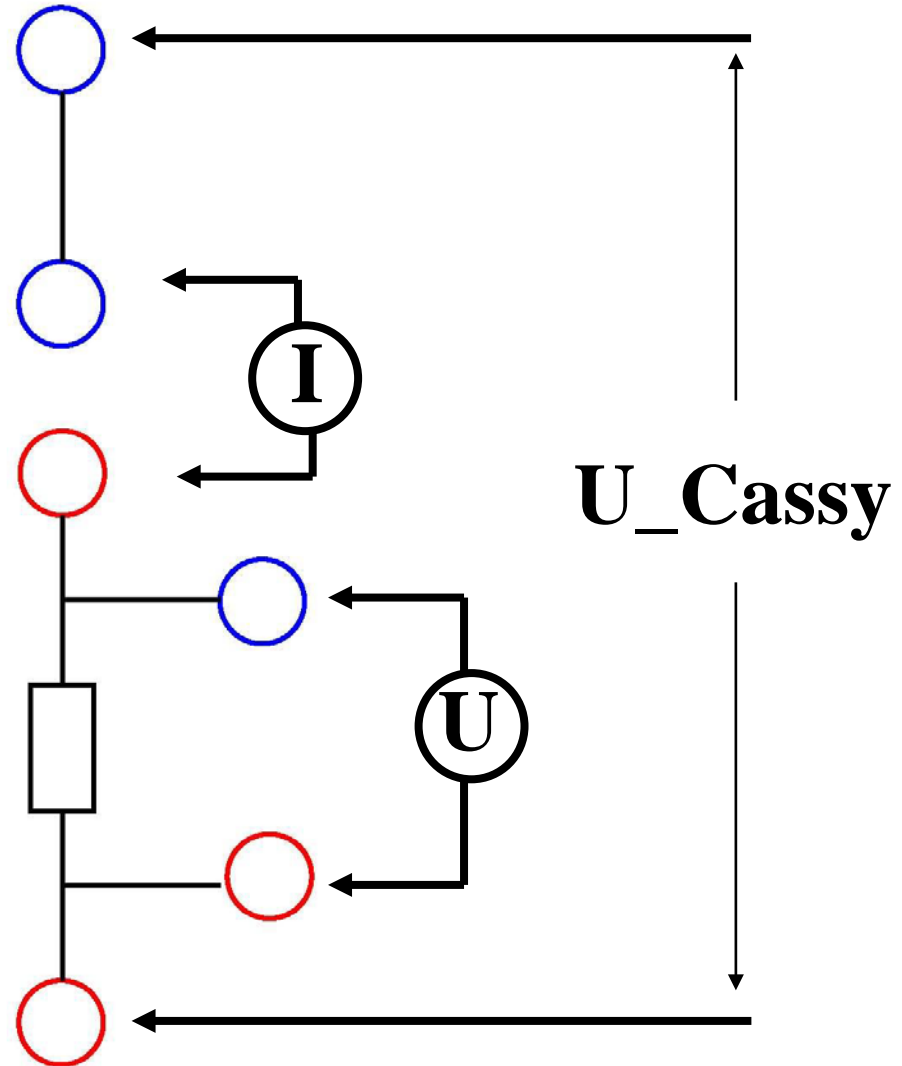
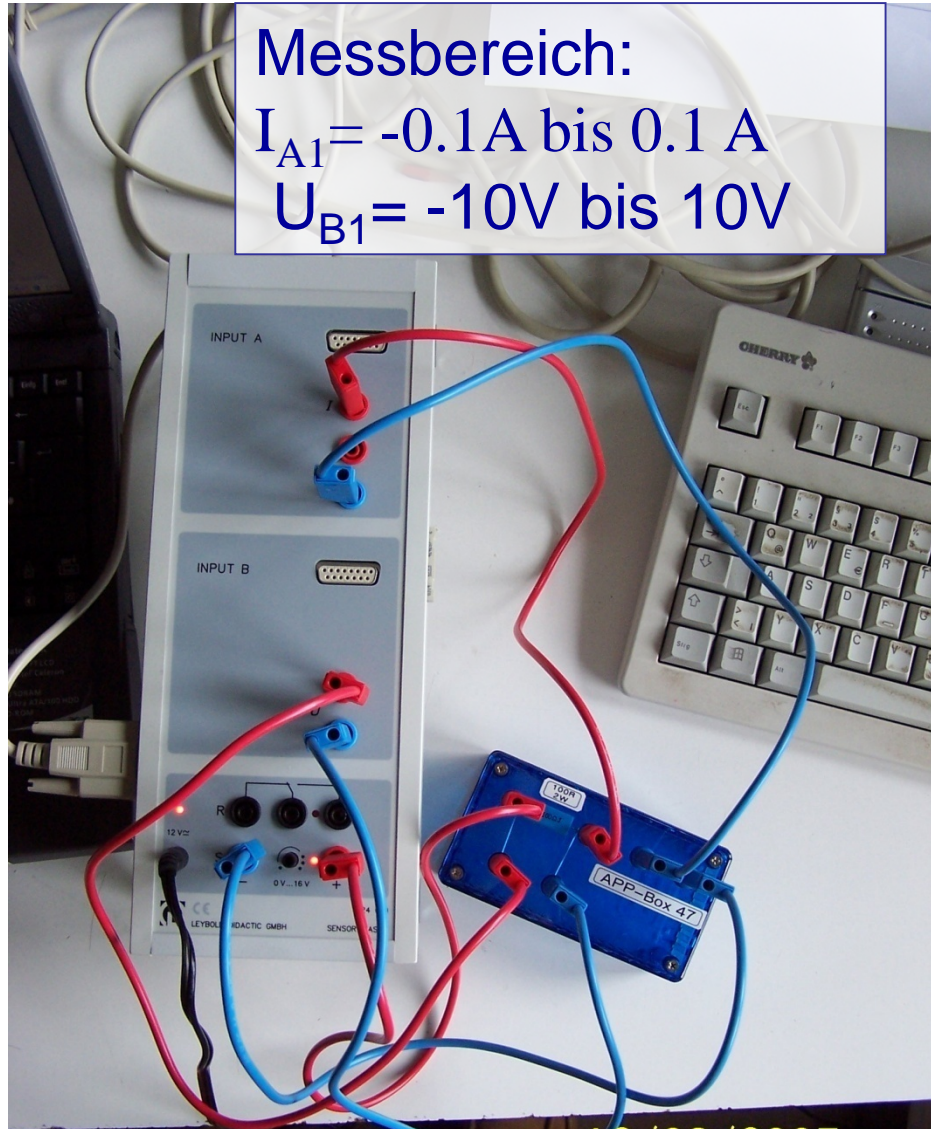
Cassy Lab, 2. Übung



Messbereich:

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

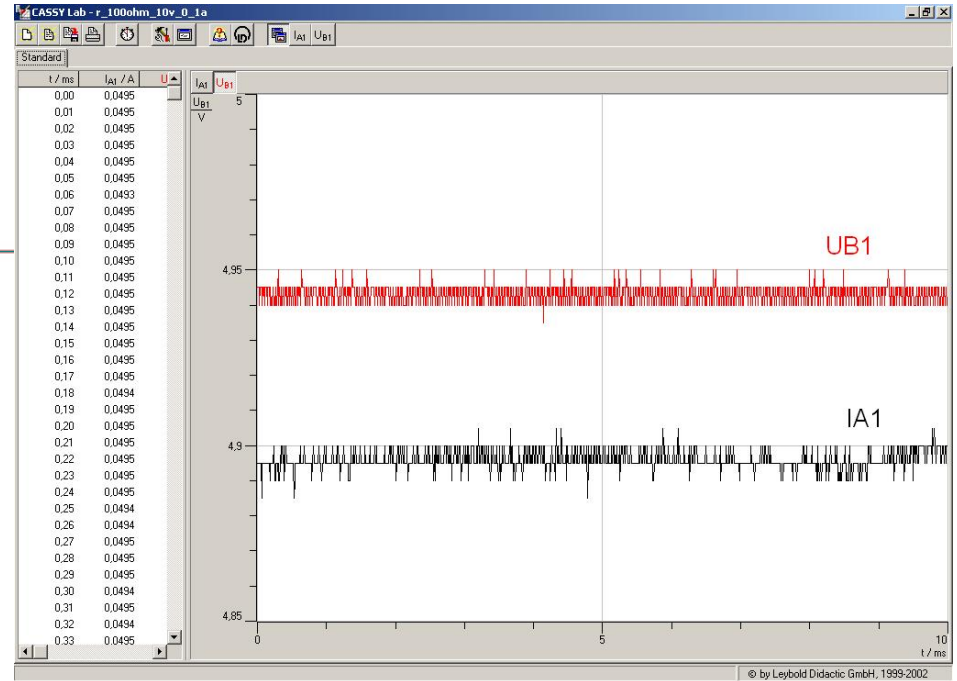
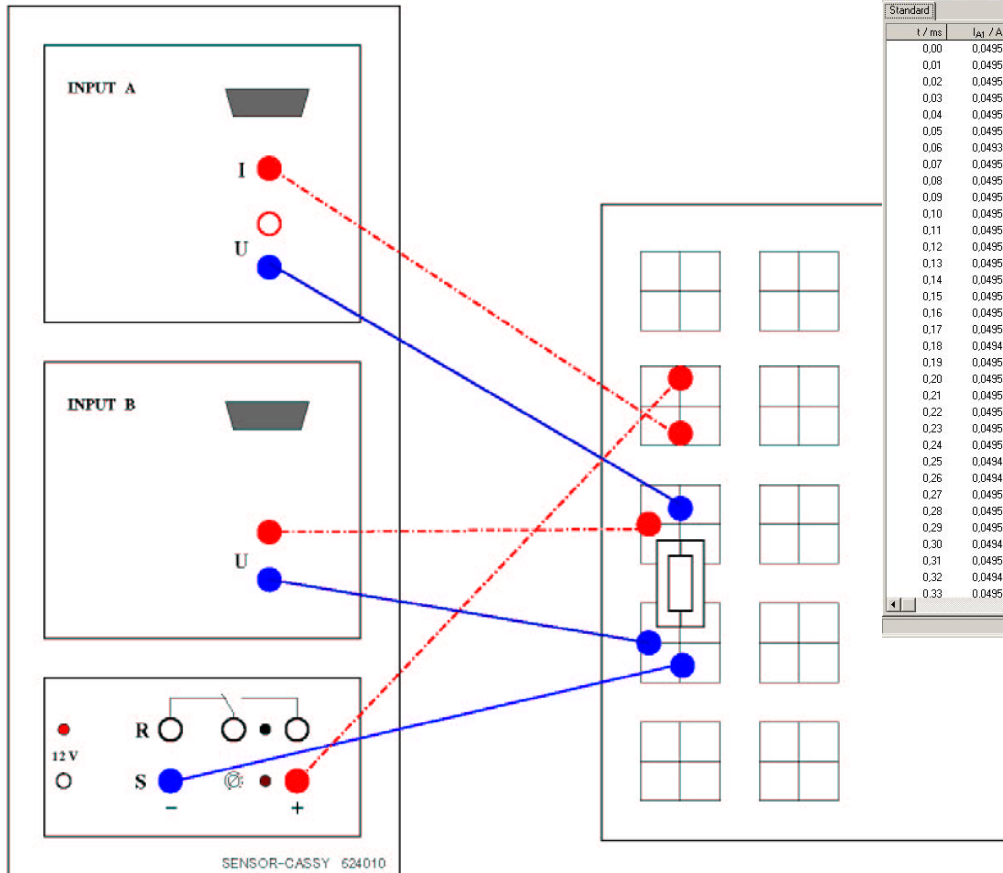
$U_{B1} = -10\text{V bis } 10\text{V}$



12/09/2005

Sensor Cassy Interface

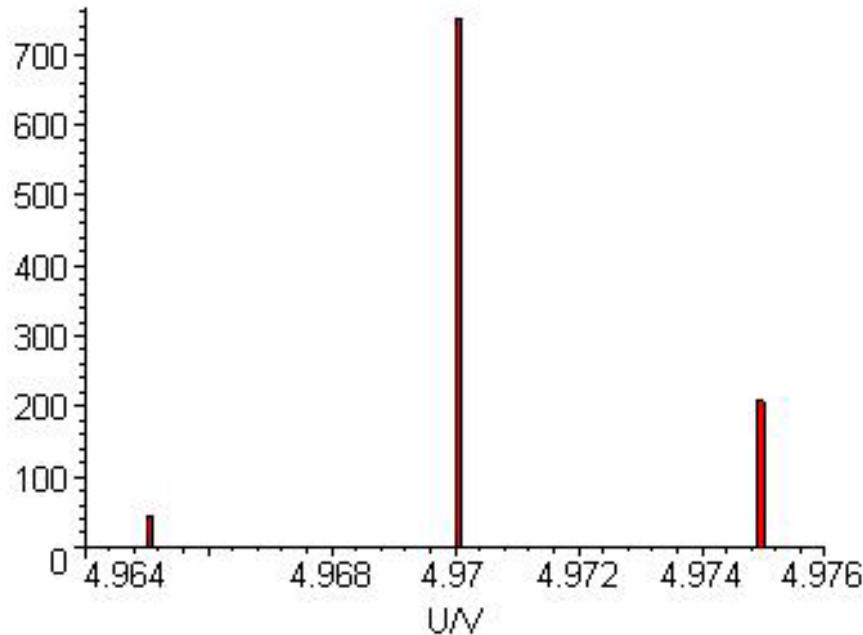
Messungenauigkeiten



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

Sensor-Cassy Interface

statistische Messungenauigkeit?



Messbereich: ± 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: $U_{\min} = 5 \text{ mV}$

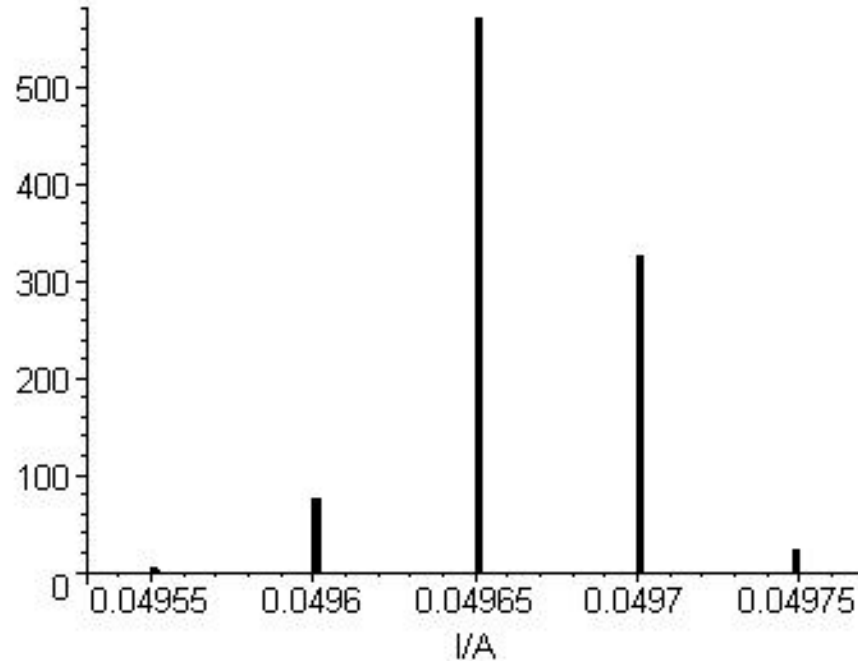
Annahme der Gleichverteilung: $U_{\min}/\sqrt{12}$

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

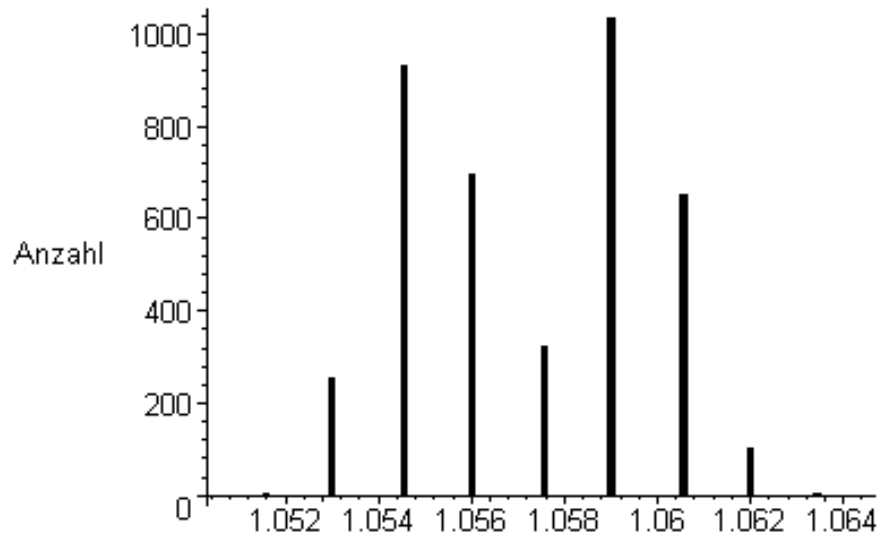
Annahme der Gleichverteilung: $I_{\text{min}}/\sqrt{12}$

→ „Fehler“ = 0,014 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

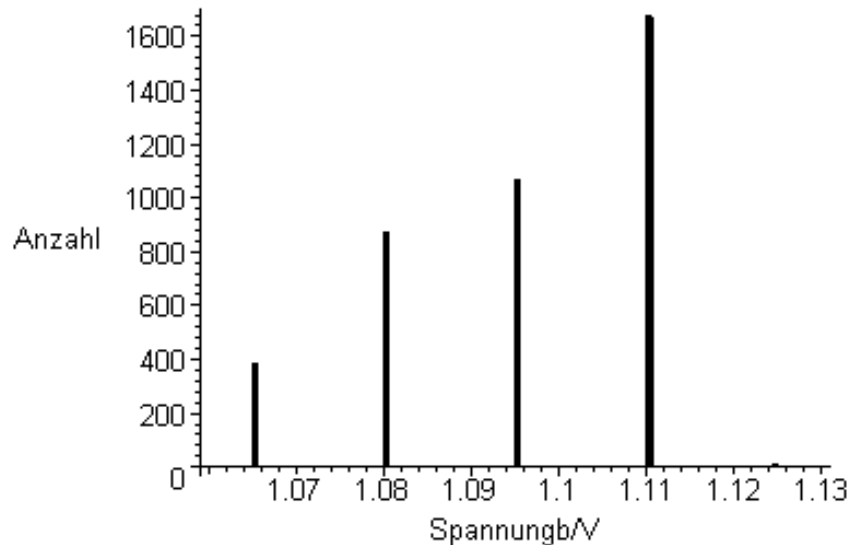
RMS = 2,5 mV

→ 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 $\pm 100V$

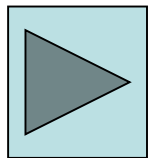
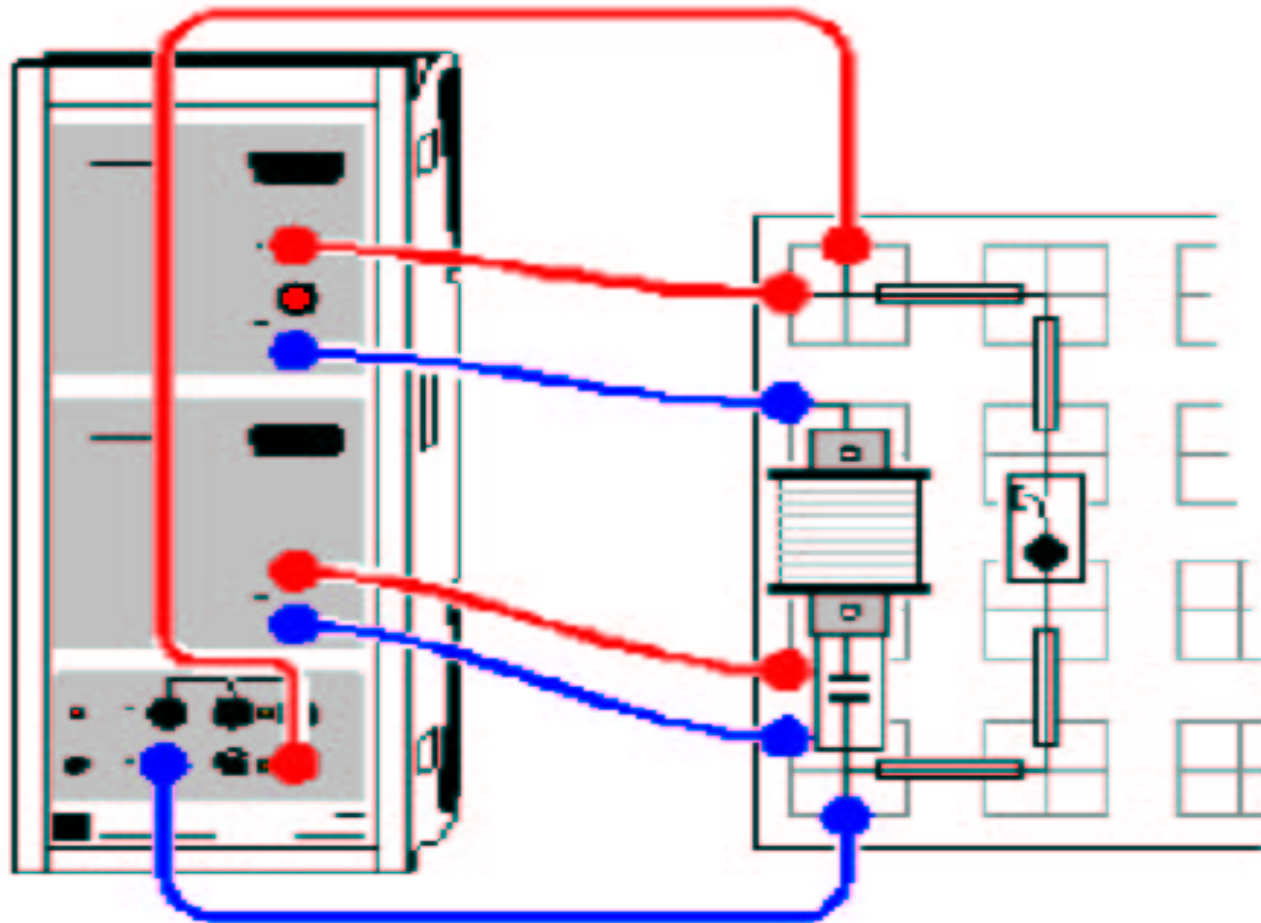
$$U_{sys} : (0,01 \cdot 2 + 0,005 \cdot 100) V = 0,52 V$$

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

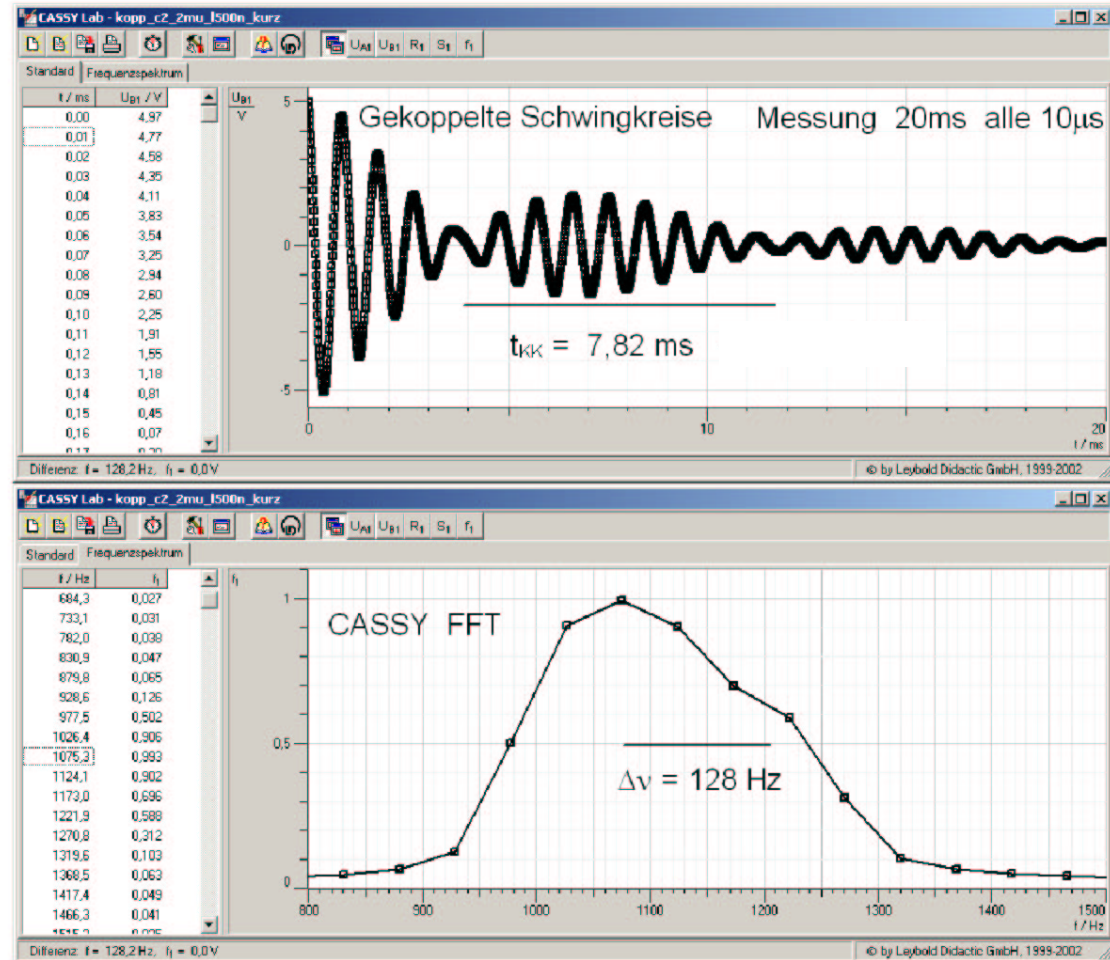
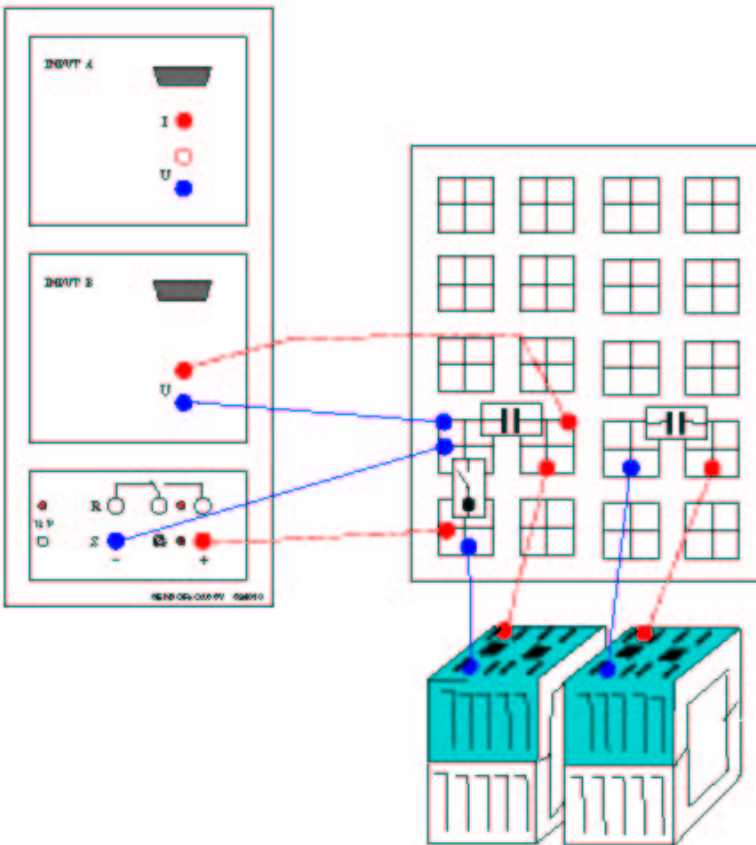
Relativer Fehler: $\sigma_{U_{sys}} / U_i = 15 \% !$

Sinnvoller Messbereich vorher überlegen und MU durch Messung bestimmen!

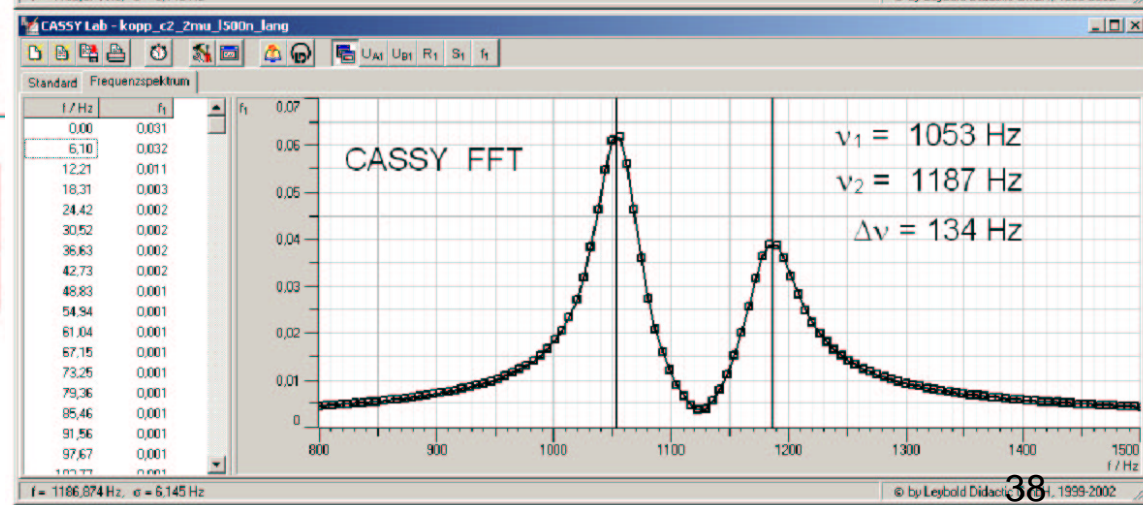
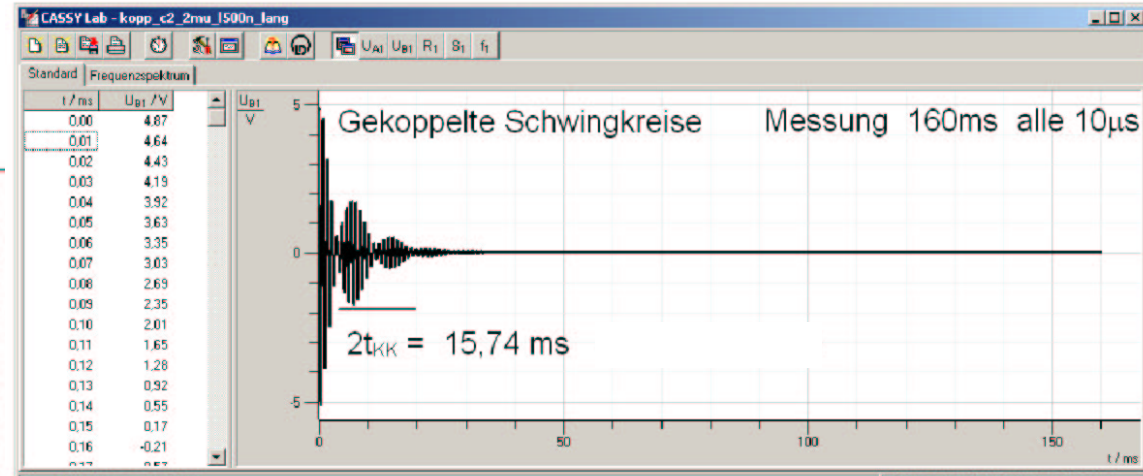
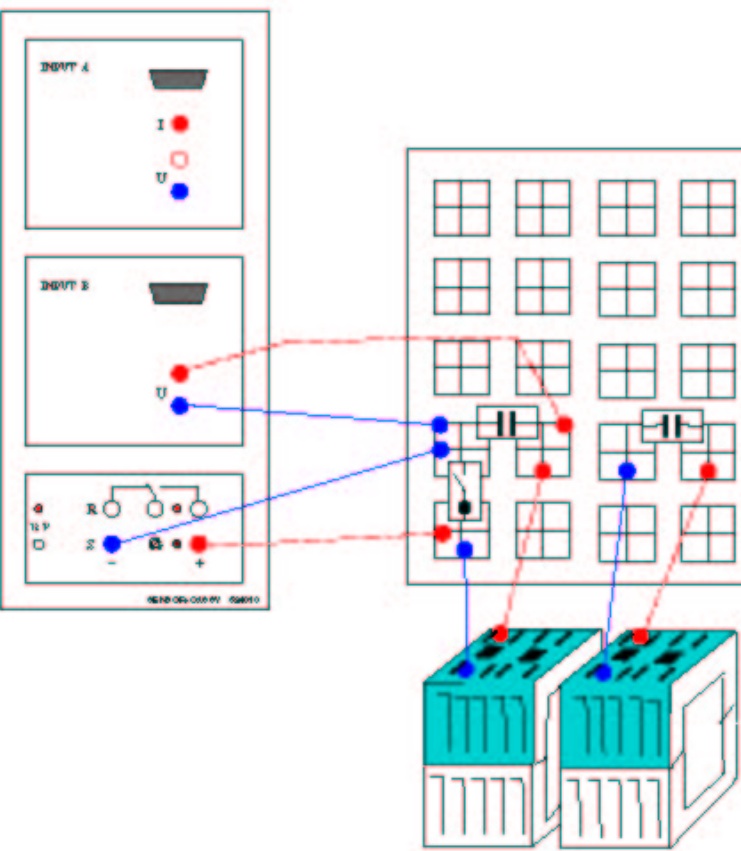
Gedämpfter Schwingkreis



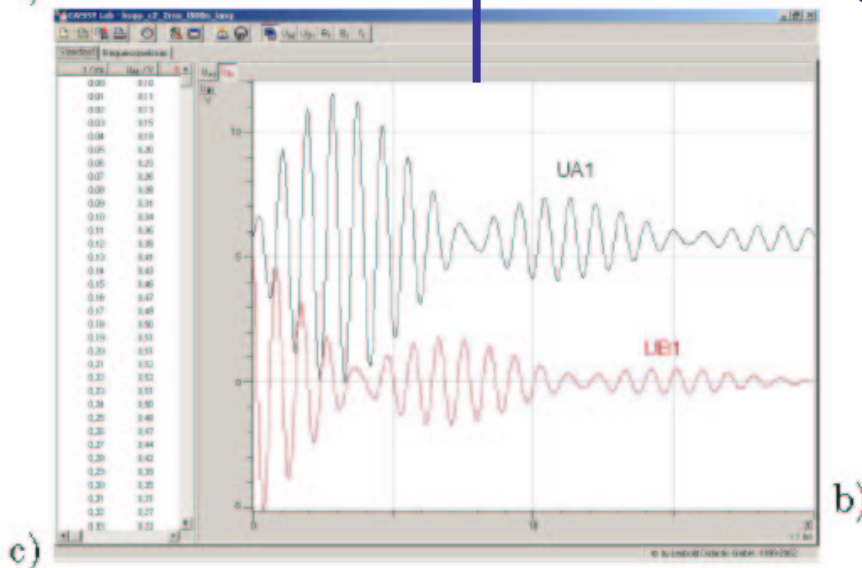
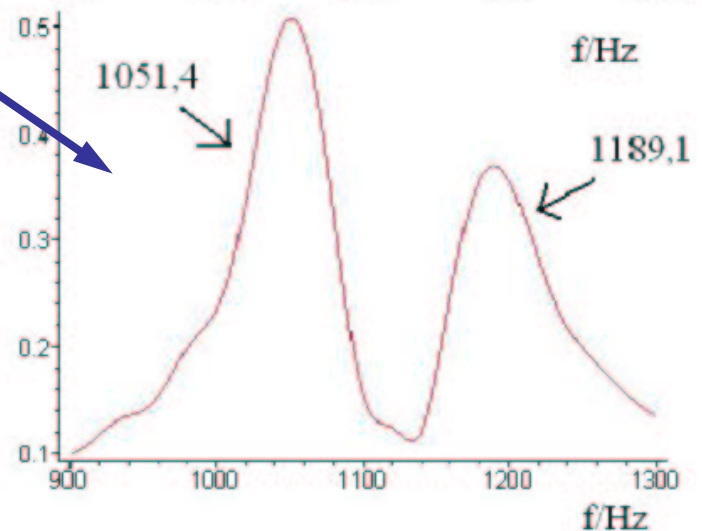
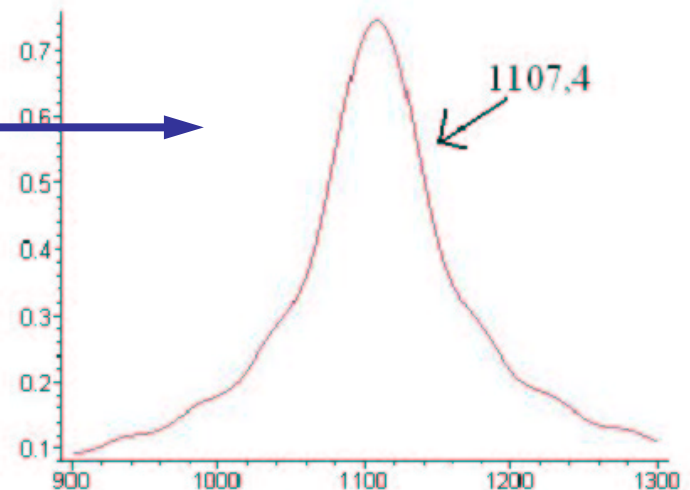
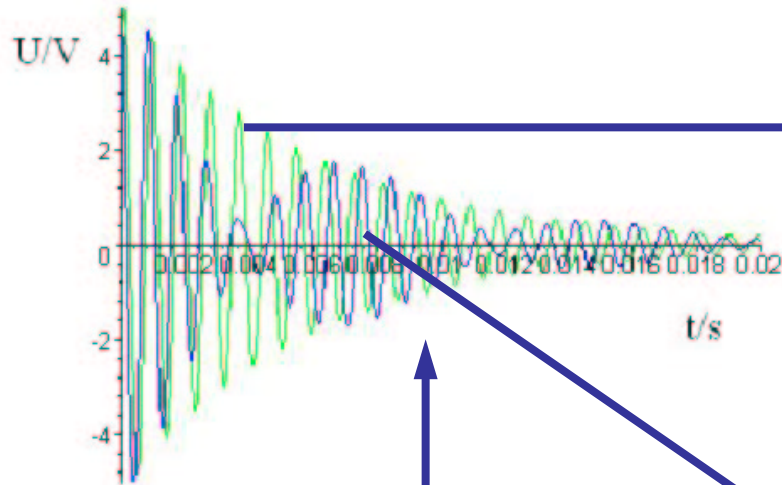
Gekoppelte Schwingungen oder das Ende der CASSY FFT



Gekoppelte Schwingungen oder das Ende der CASSY FFT



Gekoppelte Schwingungen oder das Ende der CASSY FFT



Zusammenfassung Sensor Cassy



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

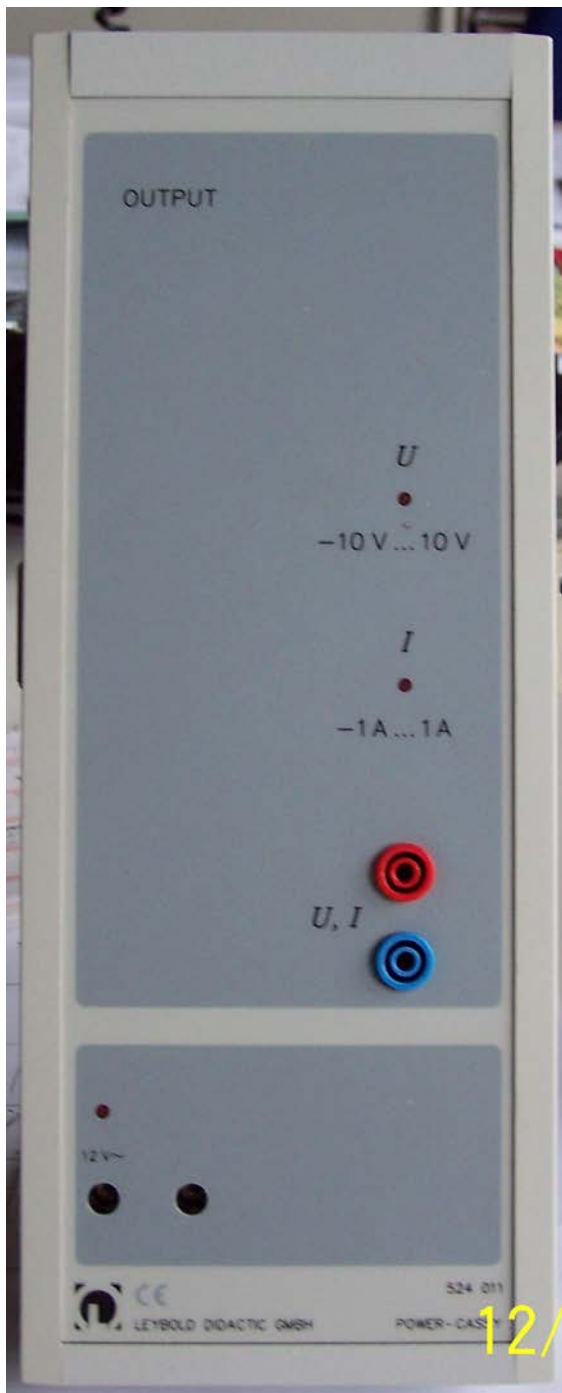
Power Cassy

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

Anschluß an serielle Schnitt-
stelle RS232 des PCs

Spannungsversorgung:

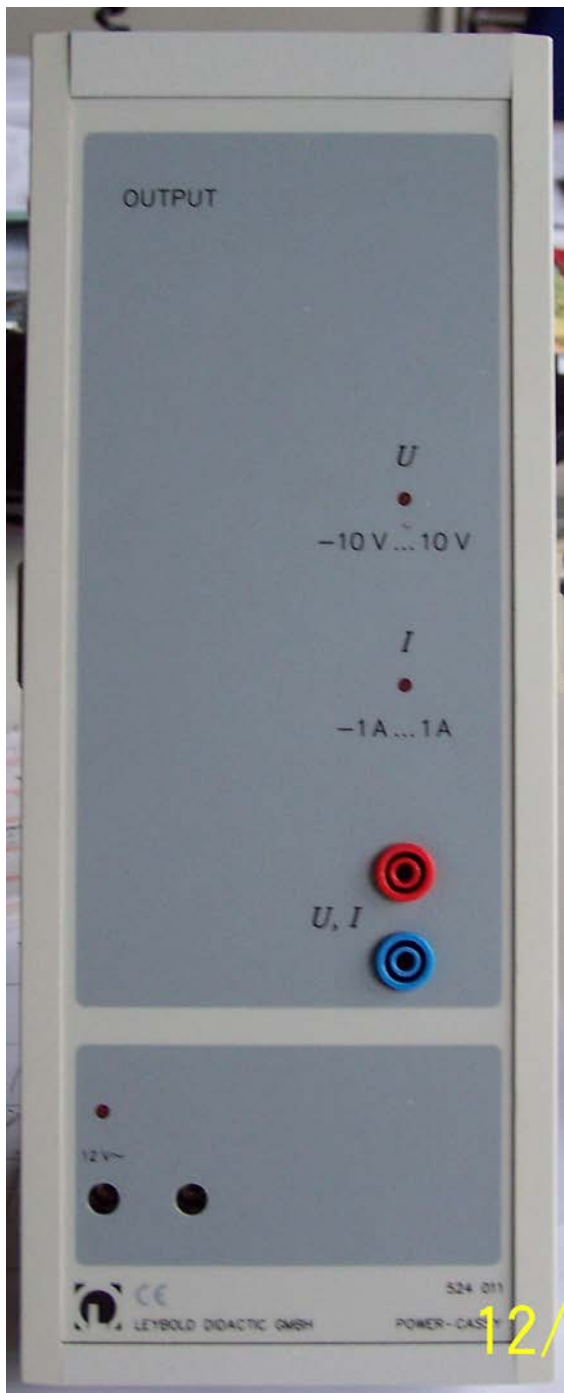
12V AC/DC über Hohlstecker oder
benachbartes Cassy-Modul



Power Cassy

Programmierbare Stromquelle mit gleichzeitiger Spannungsmessung:

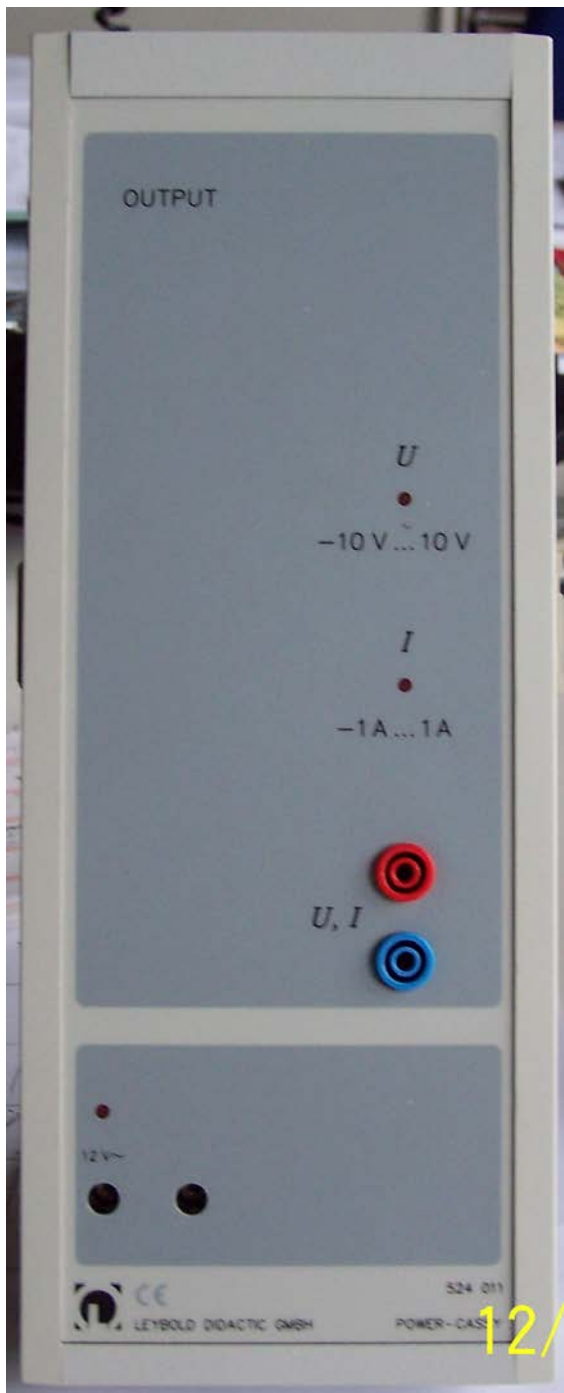
- Auflösung: 12 Bit
- Aussteuerbereich: $\pm 1 \text{ A}$
- Messbereiche: $\pm 1/3/10 \text{ V}$
- Abtastrate: max. 200.000 Werte/s
(=100.000 Werte/s Spannung und Strom)



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

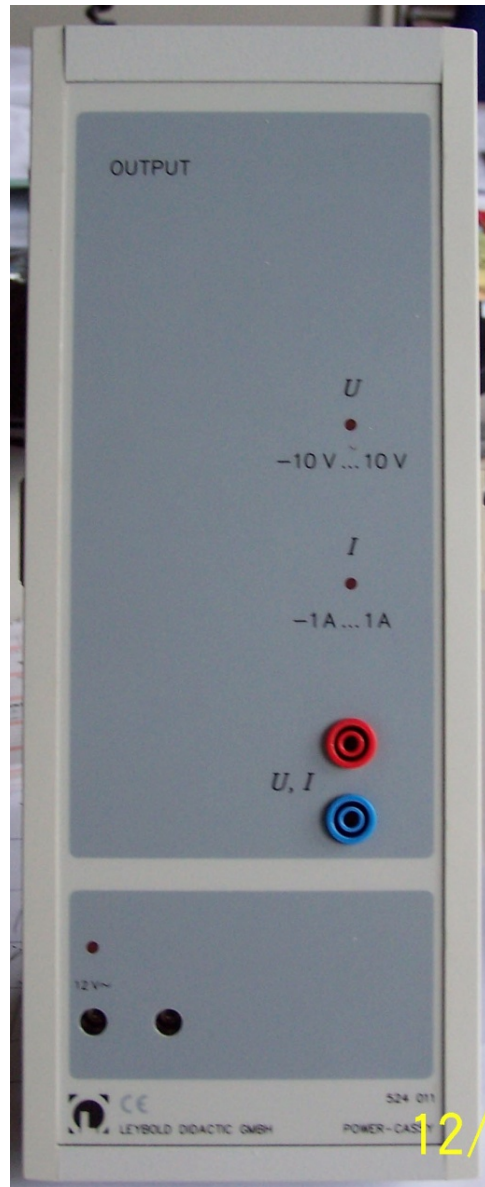
Power Cassy:

Sinusspannung mit

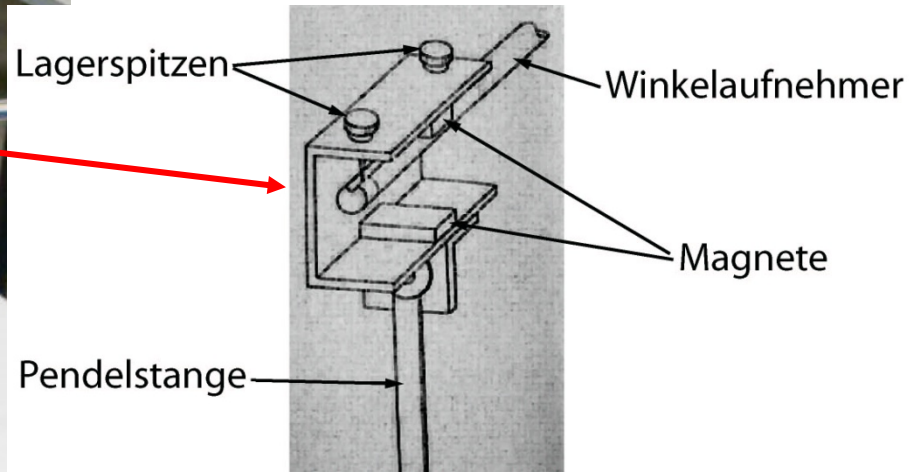
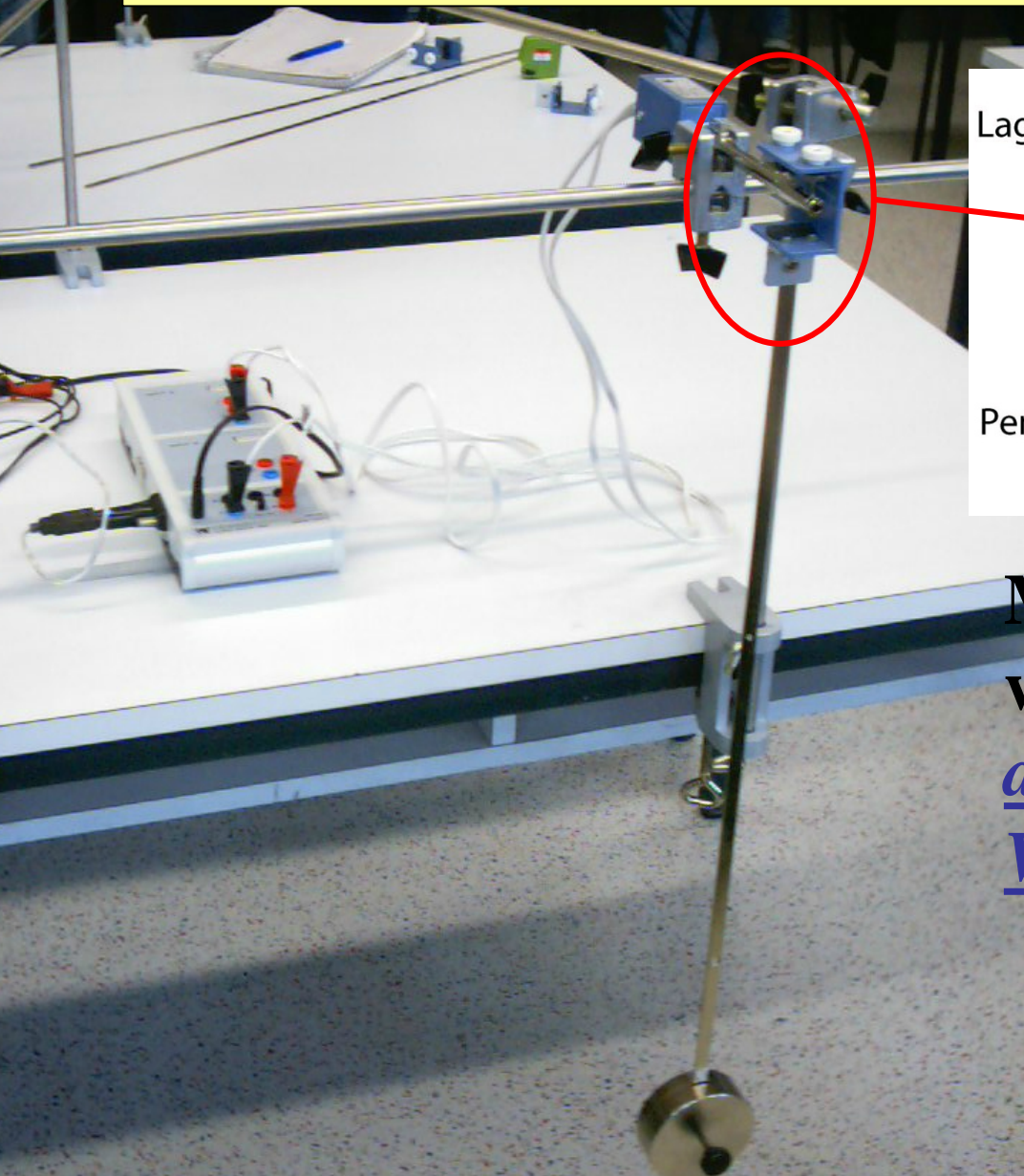
$f = ?$ Hz

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

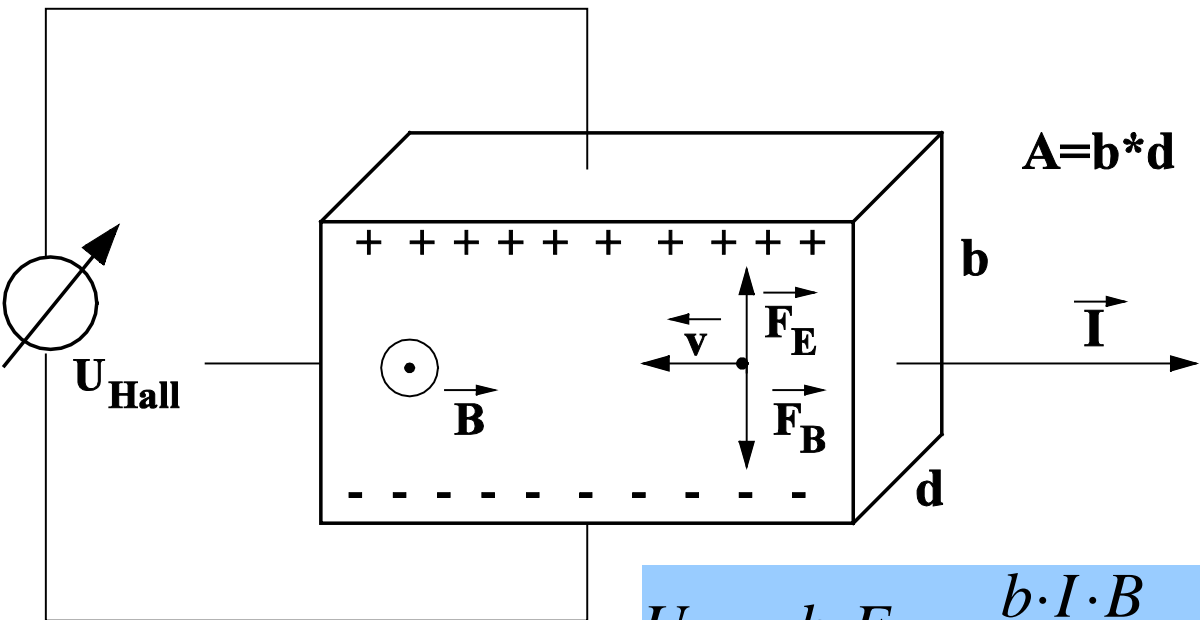
\rightarrow Ladungstrennung \rightarrow E-Feld: $\vec{E} \perp \vec{I}$ und $\vec{F}_E = q \cdot \vec{E}$

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

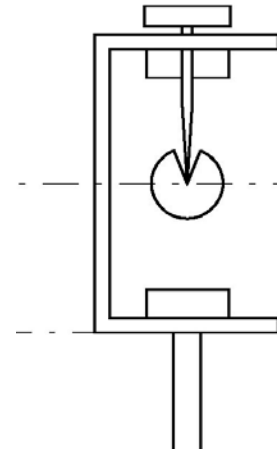
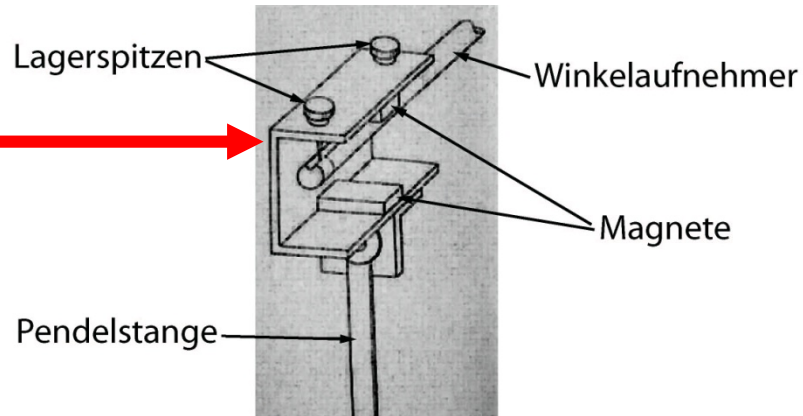
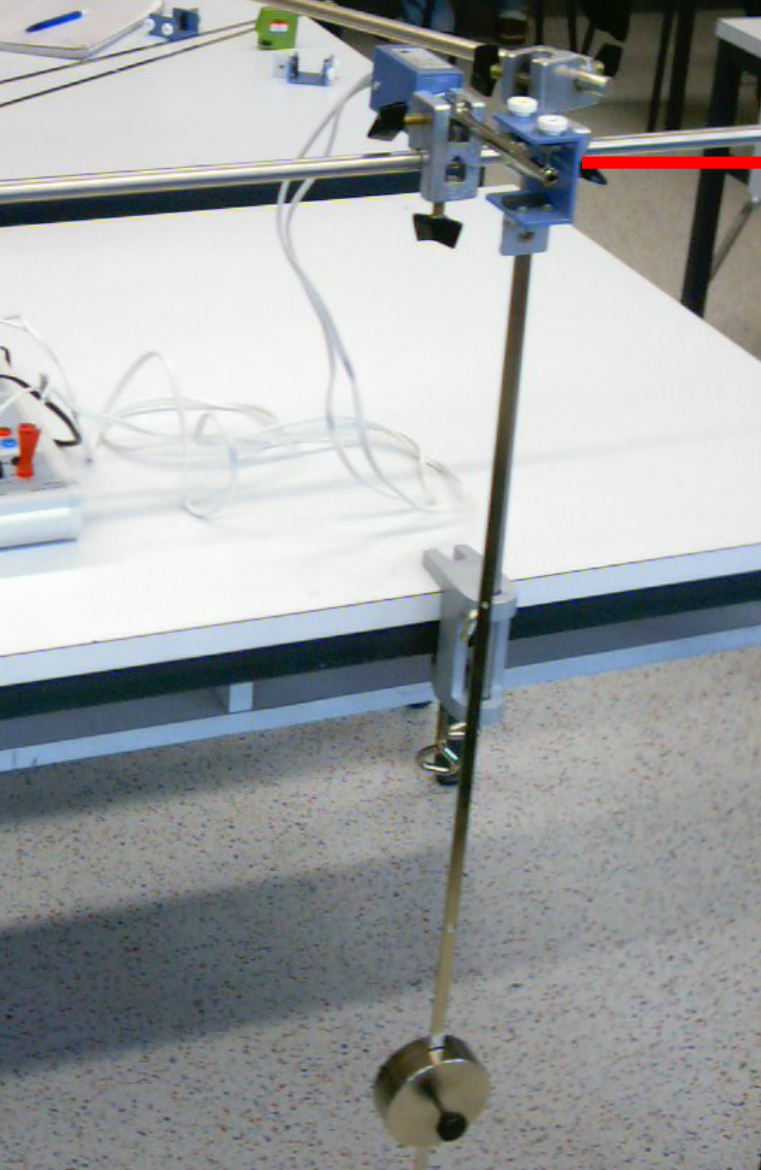
allgemein: $\vec{I} = q \cdot n \cdot A \cdot \vec{v}$

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

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



Spannungsmessung mit Hallsonde



Orientierung der Sonde \rightarrow Empfindlich

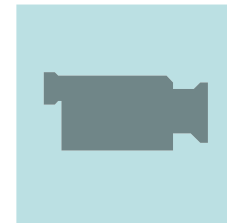
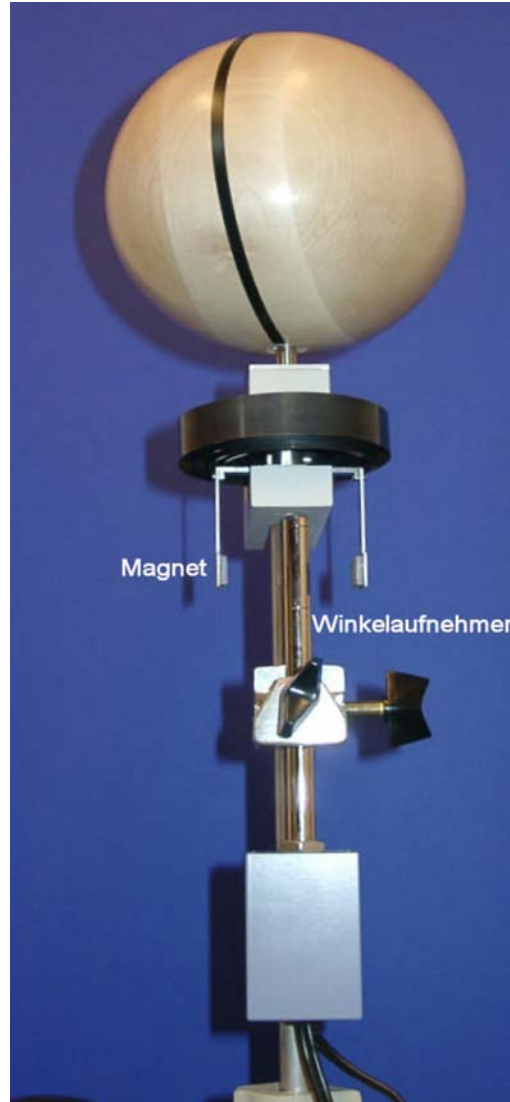
auf horizontale B-Komponente B_h

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:

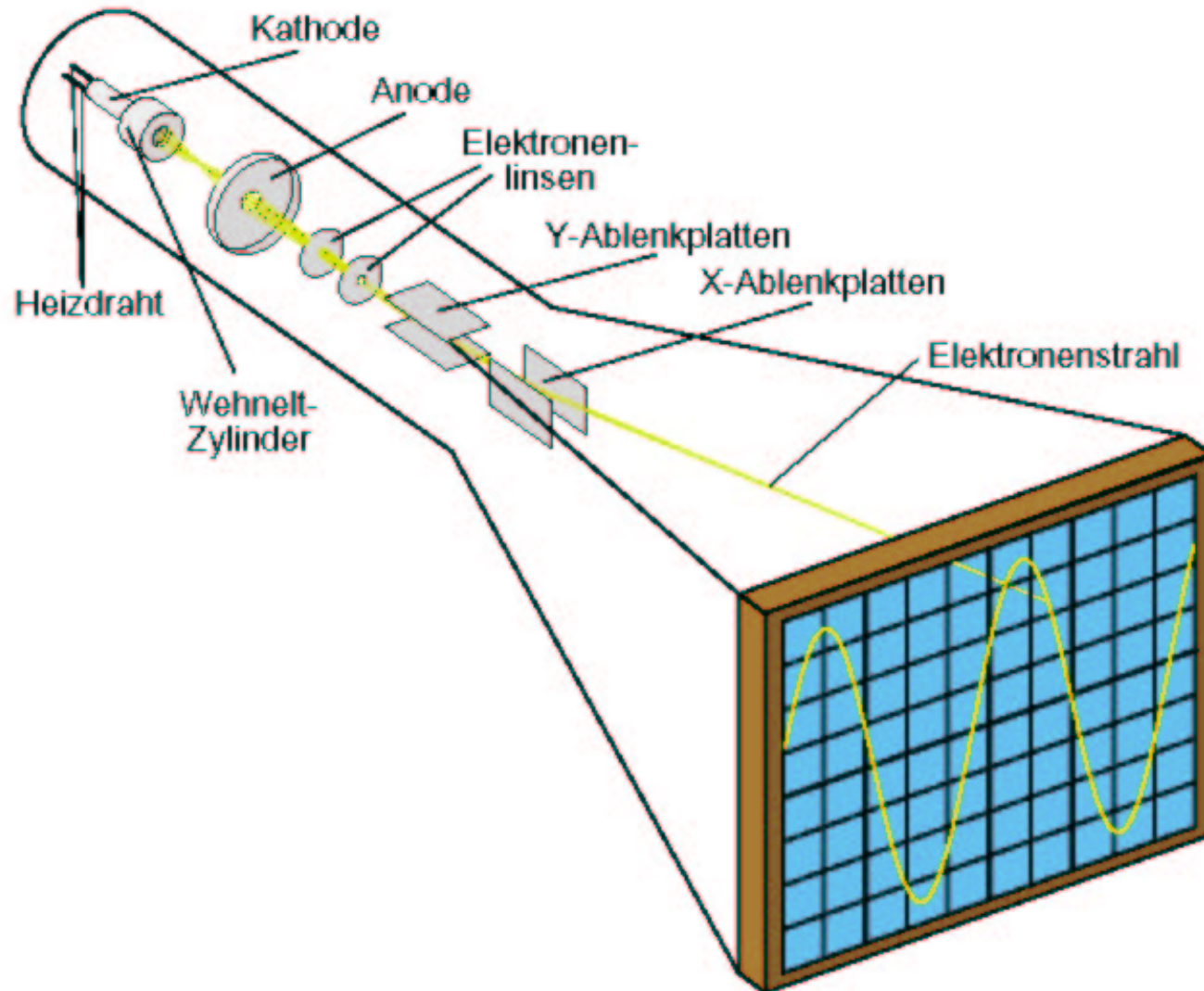
$-20\text{ °C} < T < +70\text{ °C}$: $0,2\text{ °C}$

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

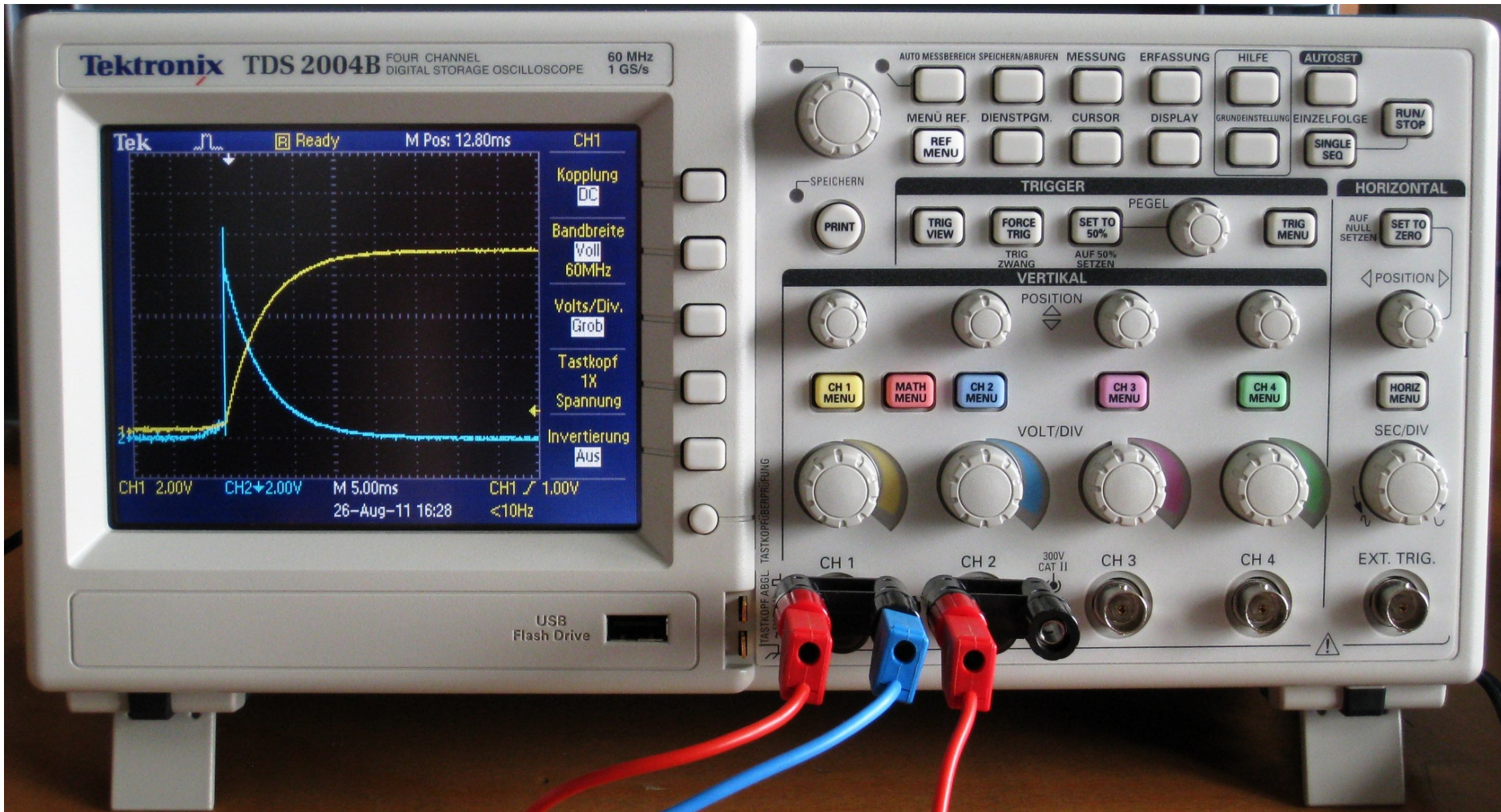
Ansprechzeit:

$>7\text{ s}$ in Flüssigkeiten

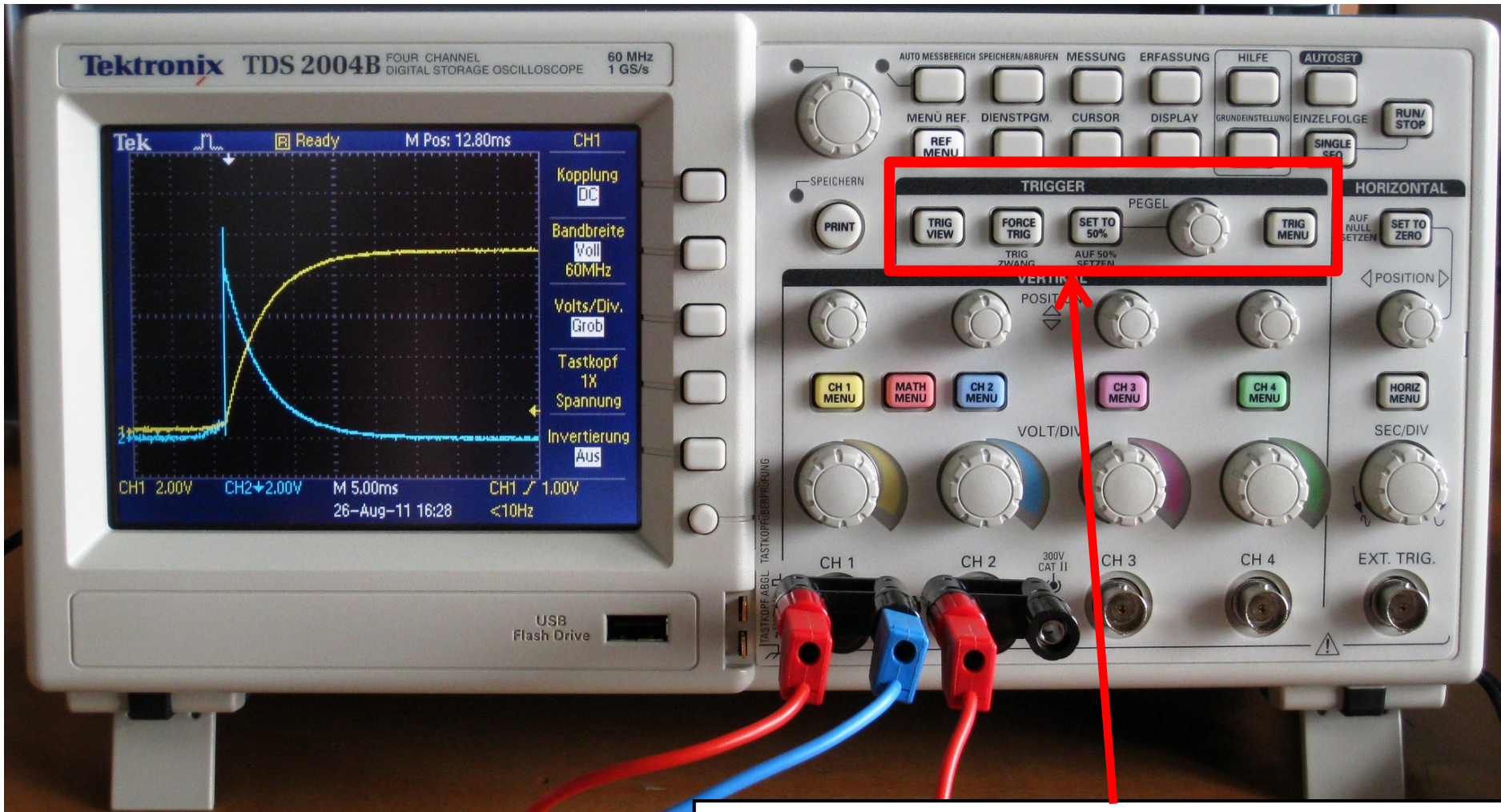
Oszilloskop (Braunsche Röhre)



Digital Oszilloskop



Digital Oszilloskop

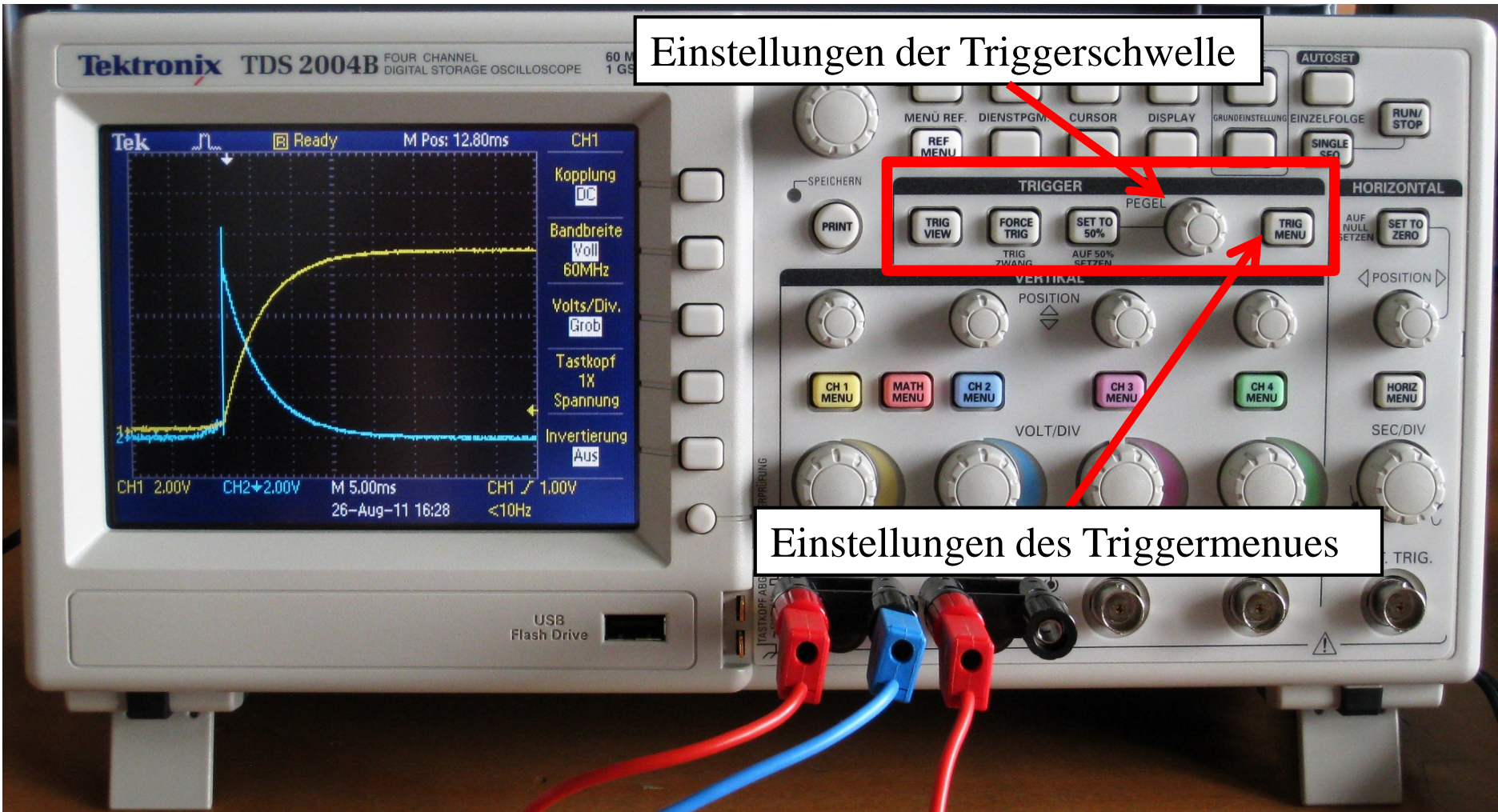


Einstellungen des Triggers, der steuert, wann ein Signal auf Display angezeigt werden soll

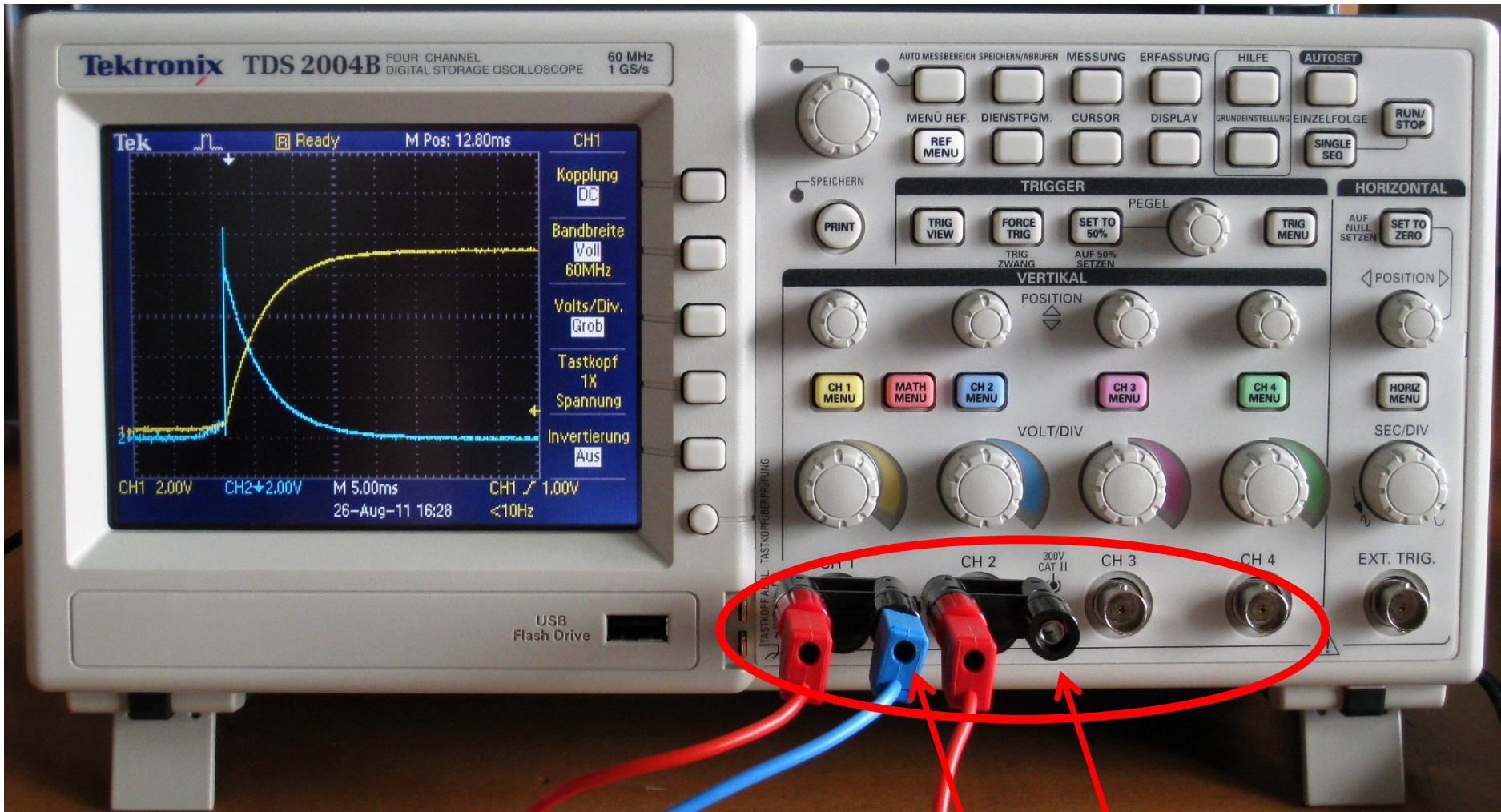
Digital Oszilloskop

Einstellungen der Triggerschwelle

Einstellungen des Triggersmenues

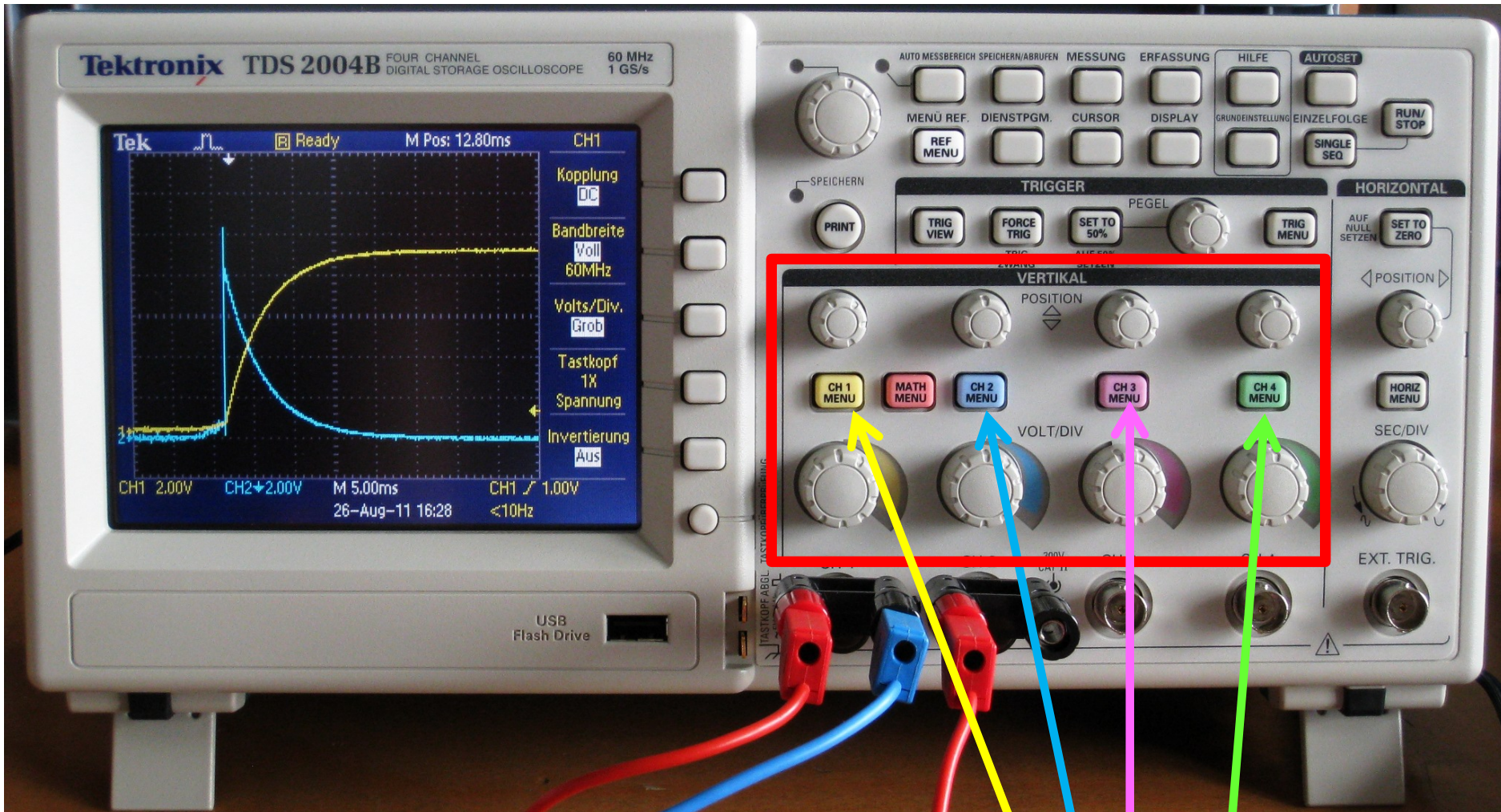


Digital Oszilloskop



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

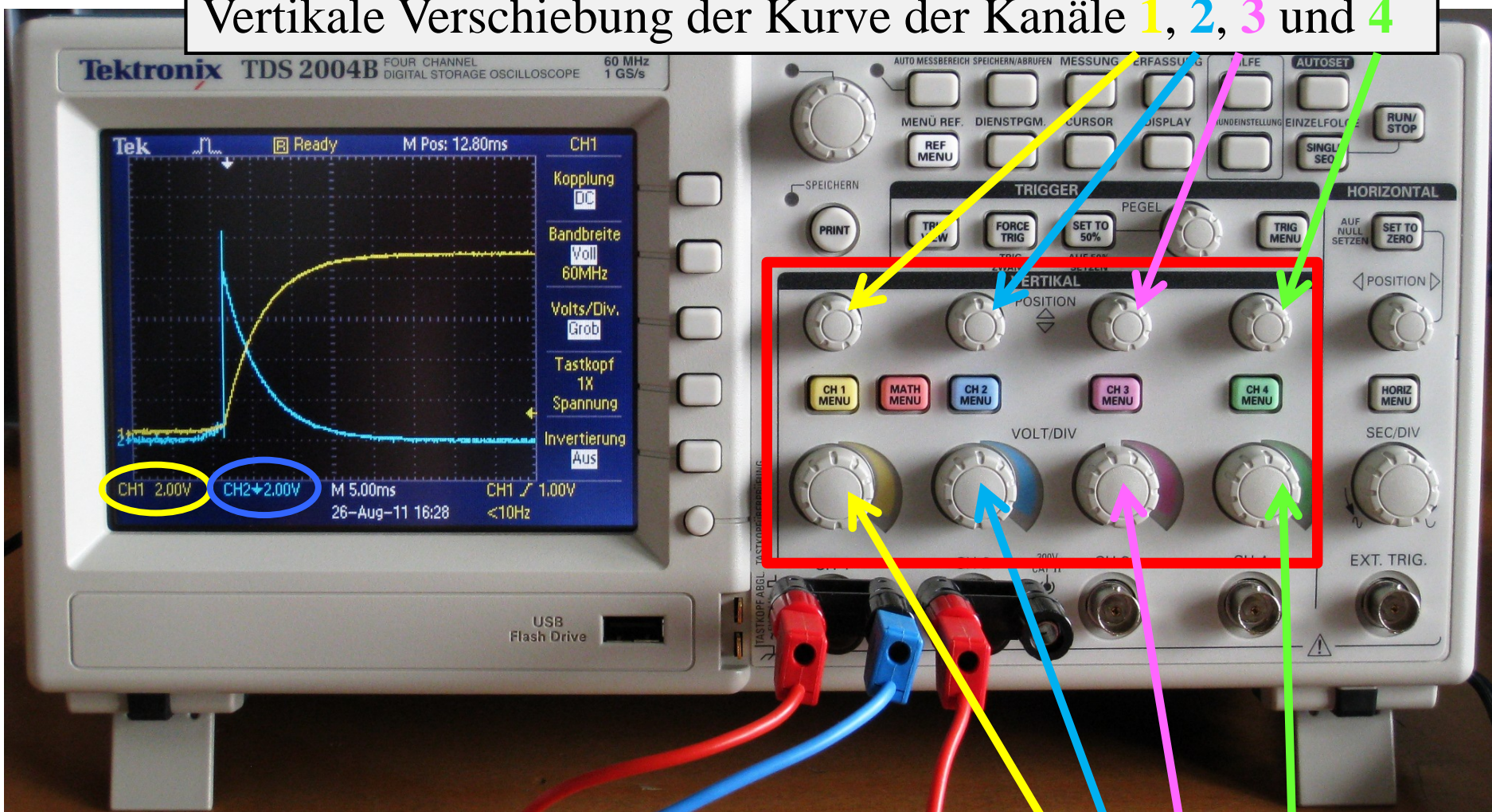
Digital Oszilloskop



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

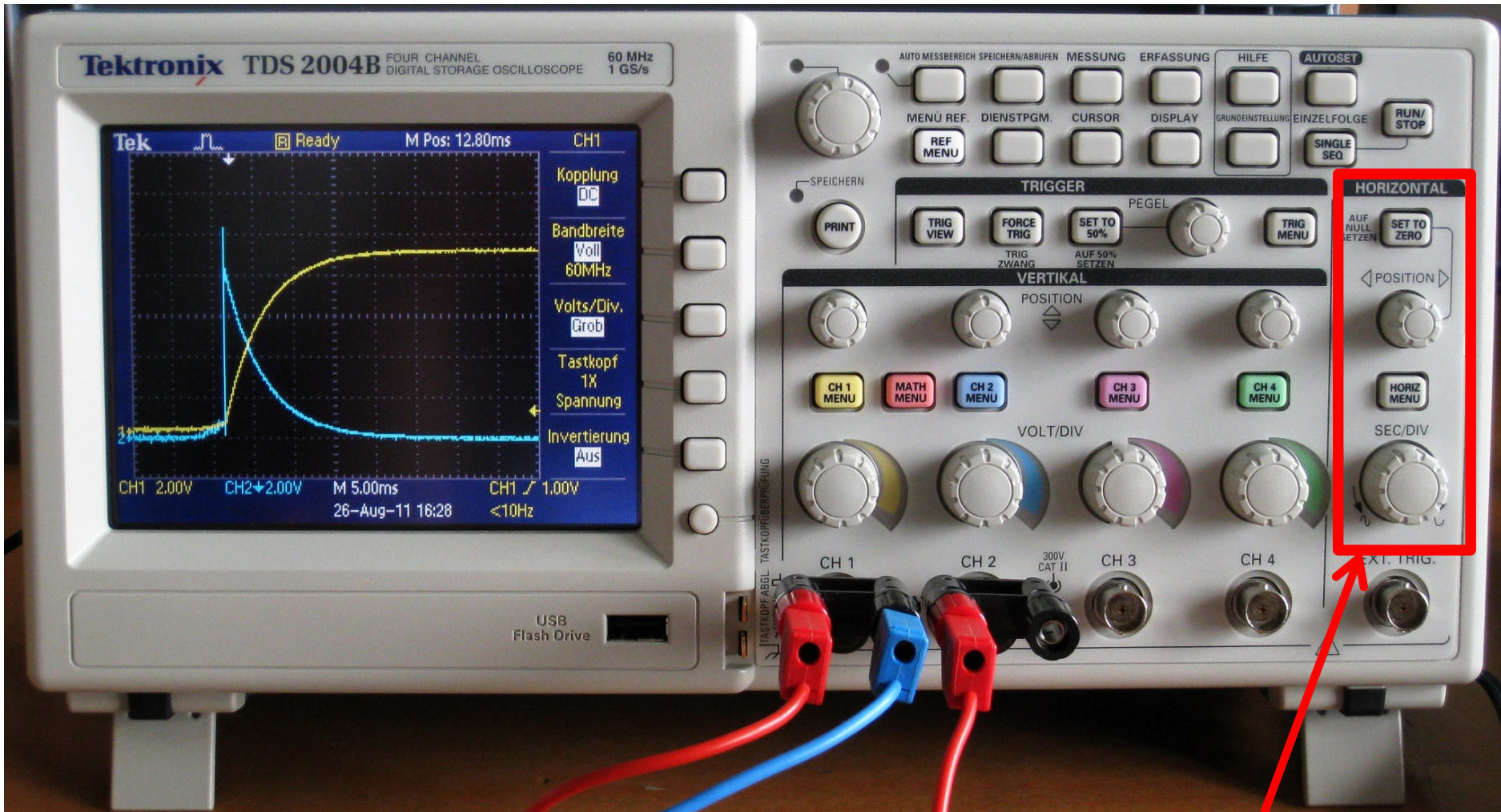
Digital Oszilloskop

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



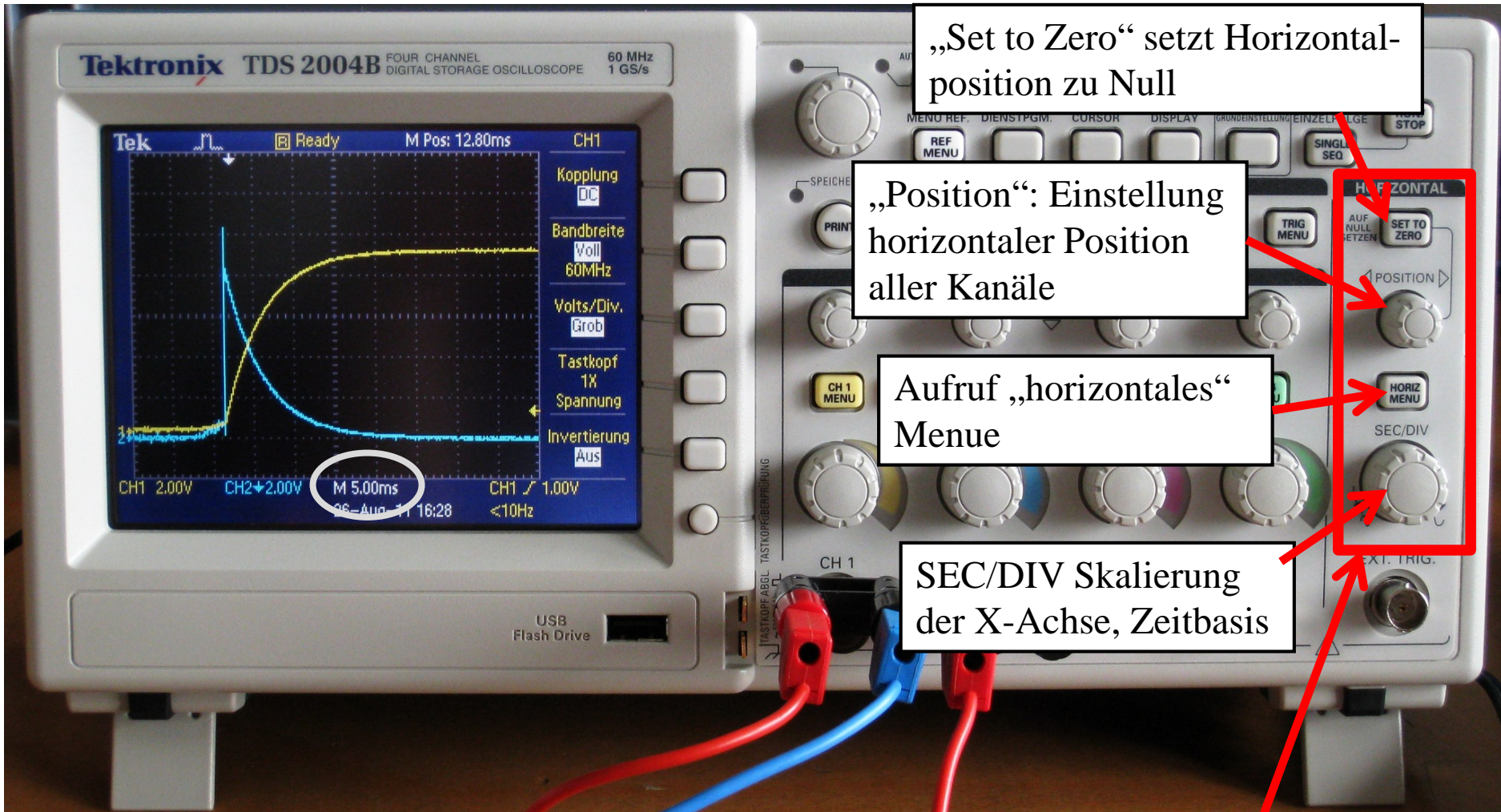
Volt/Div Einstellung der Skalierung der y-Achsen der Kanäle 1, 2, 3 und 4

Digital Oszilloskop



Horizontale Einstellungen

Digital Oszilloskop



„Set to Zero“ setzt Horizontalposition zu Null

„Position“: Einstellung horizontaler Position aller Kanäle

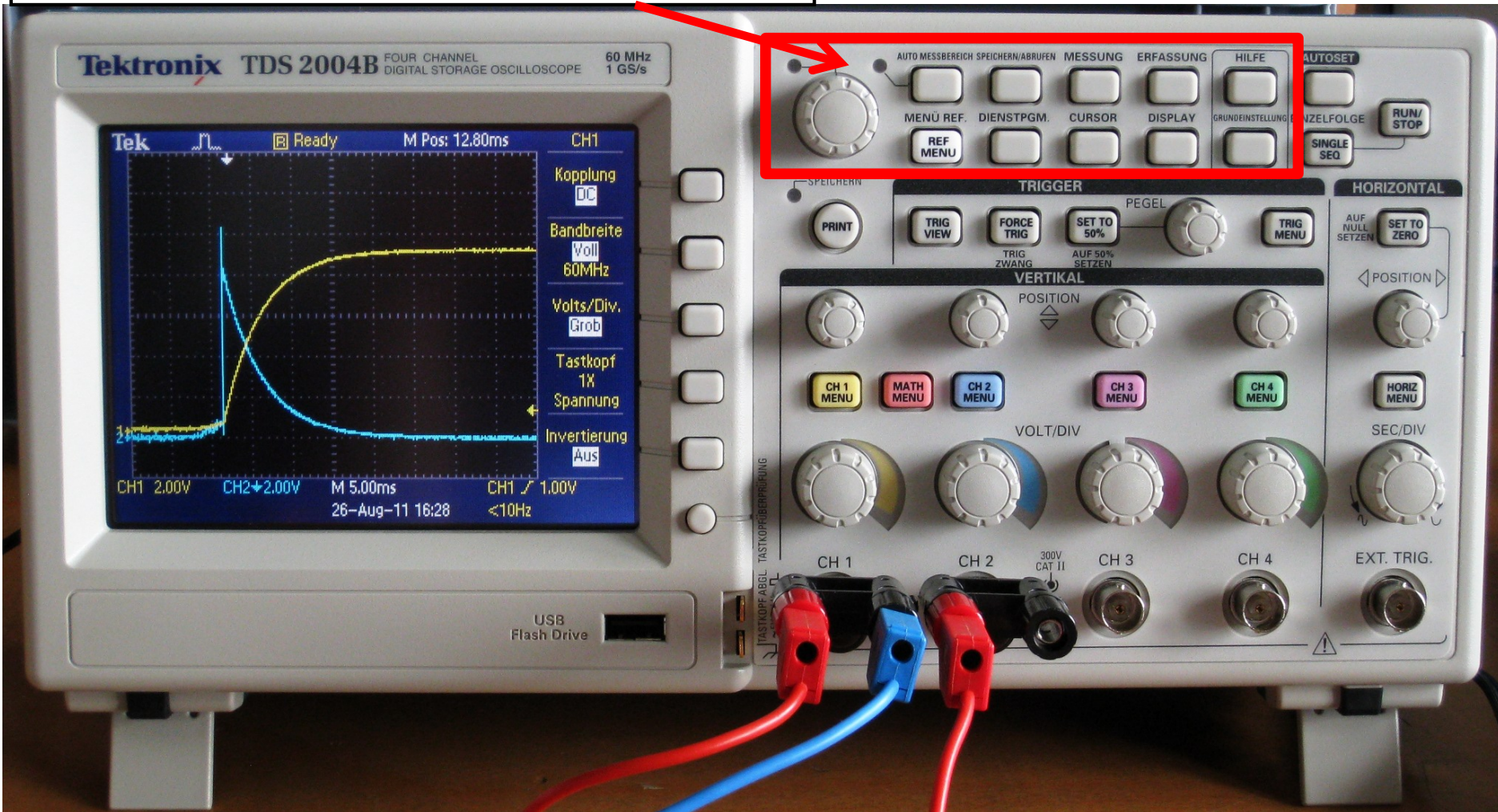
Aufruf „horizontales“ Menue

SEC/DIV Skalierung der X-Achse, Zeitbasis

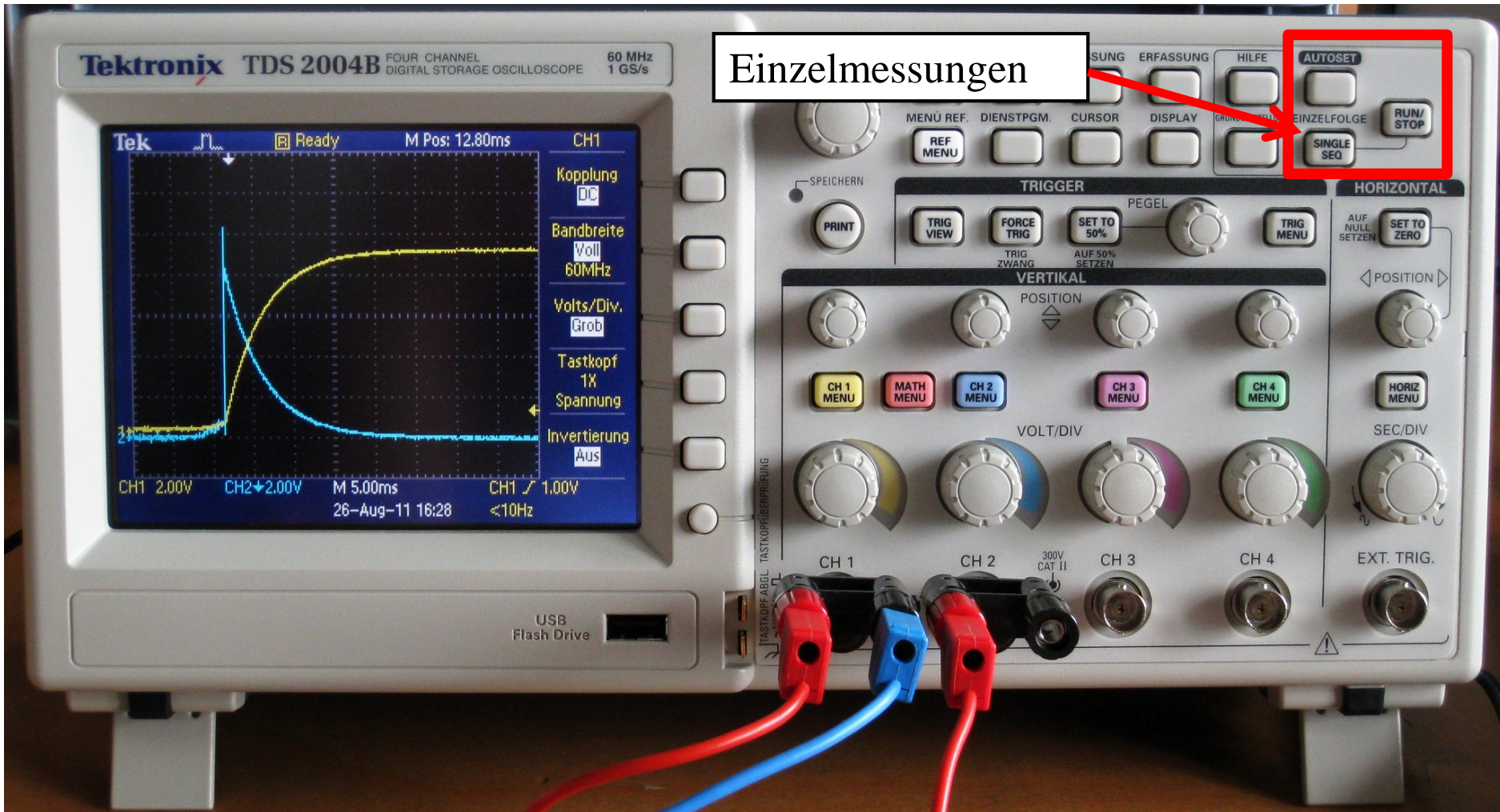
Horizontale Einstellungen

Digital Oszilloskop

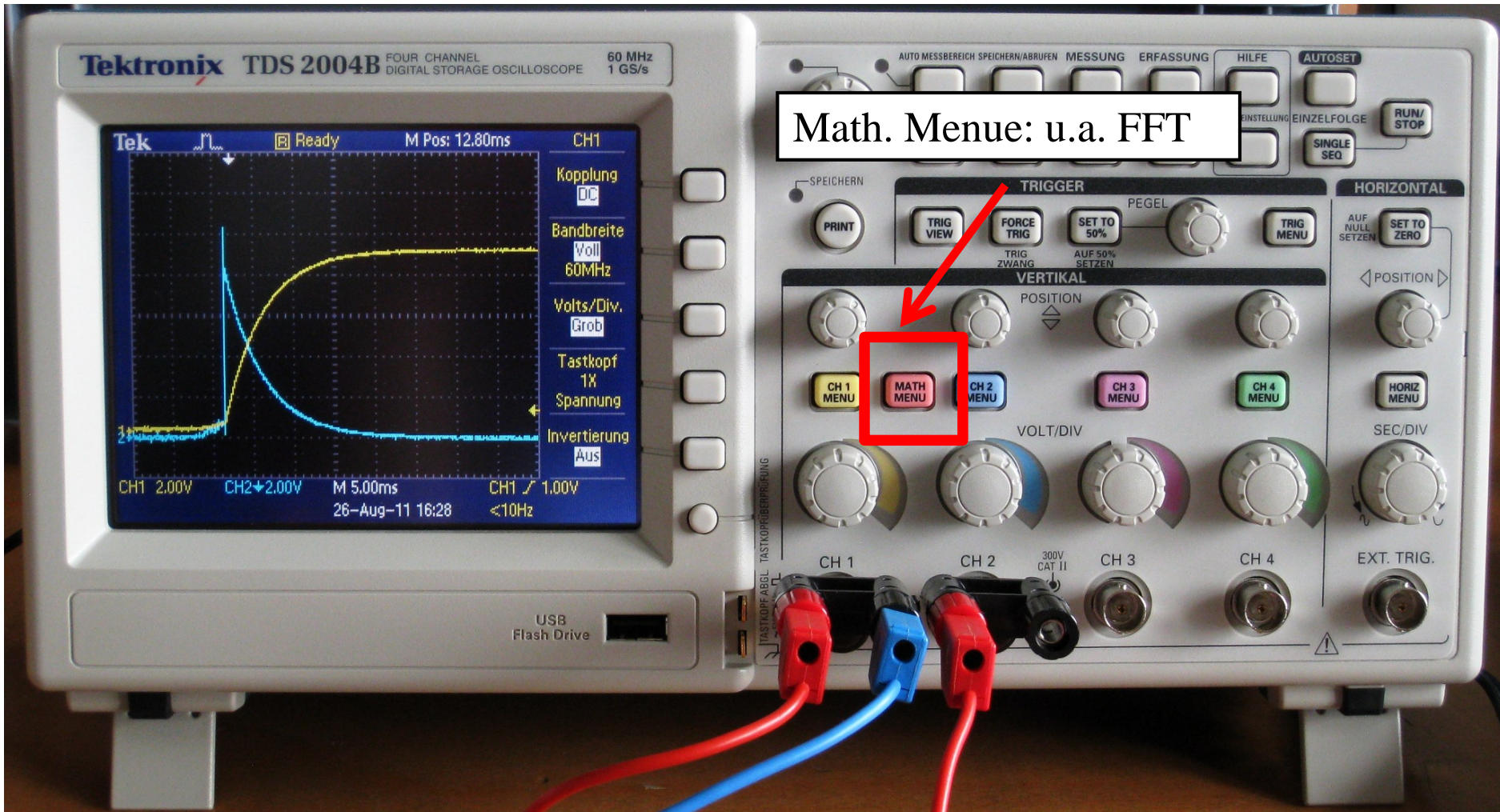
Allgem. Einstellungen, Cursor, Messungen



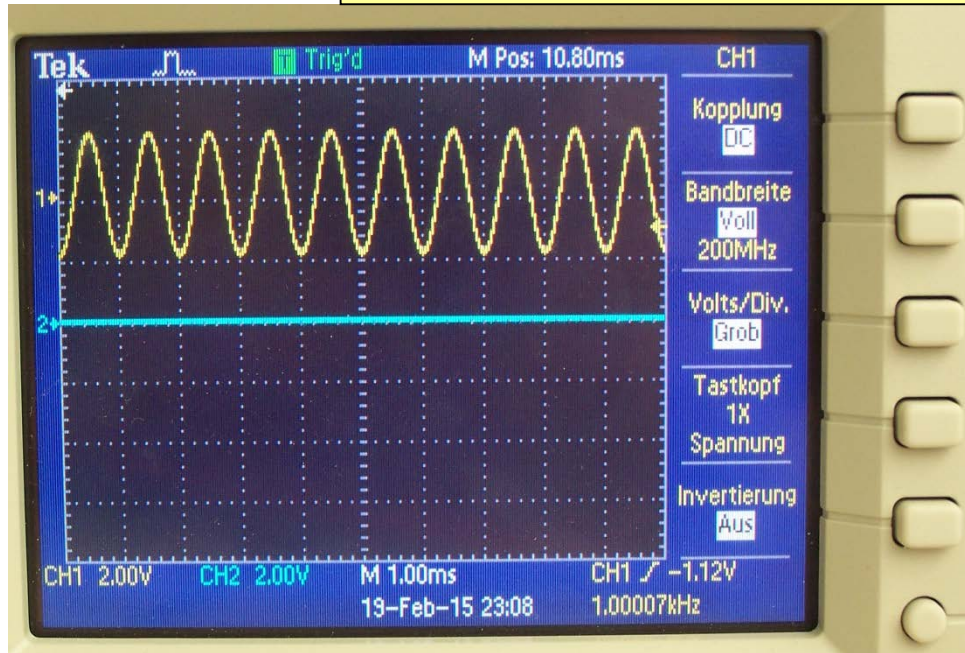
Digital Oszilloskop



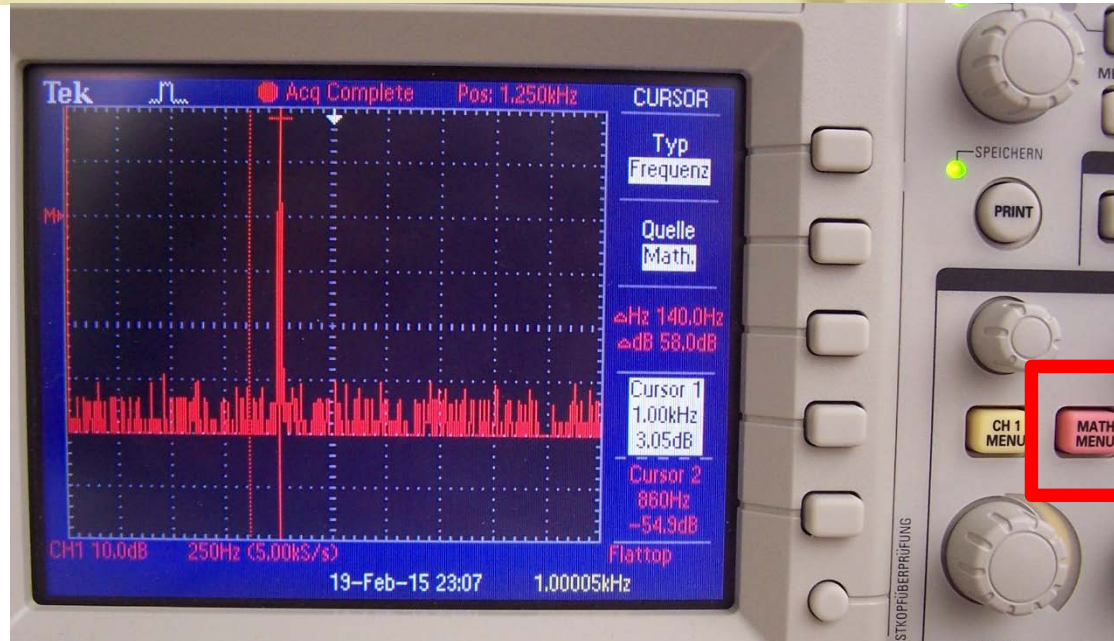
Digital Oszilloskop



Digital Oszilloskop

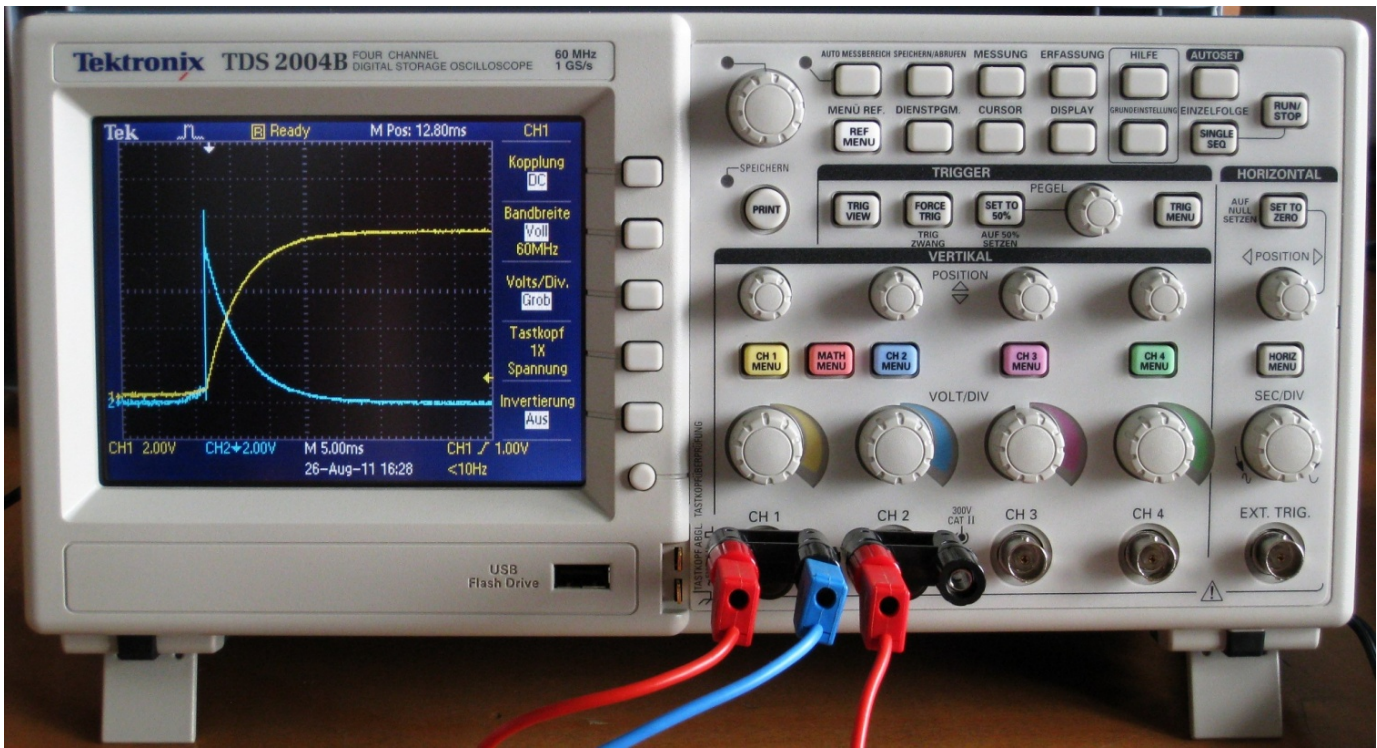
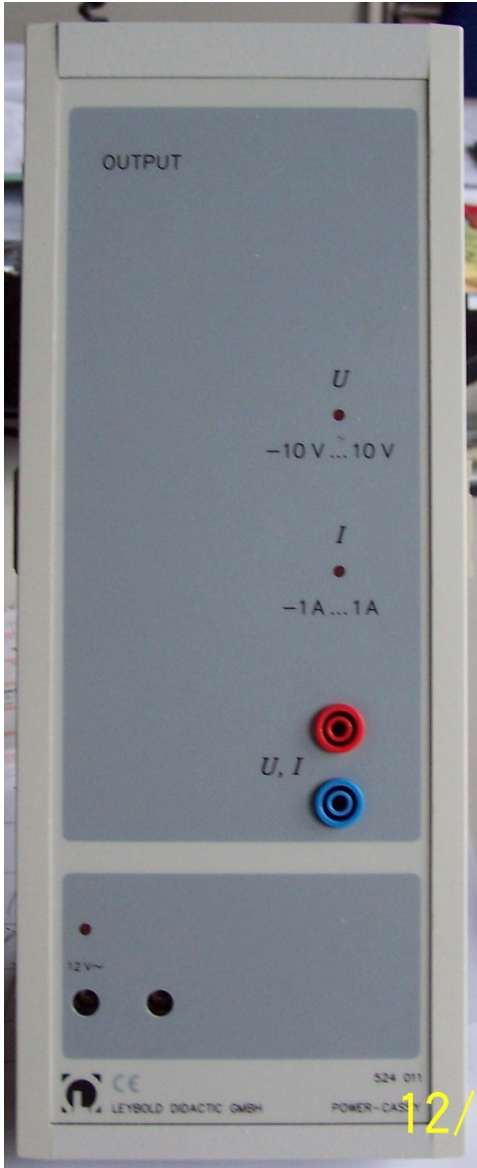


FFT einer Einzelmessung einer Schwingung



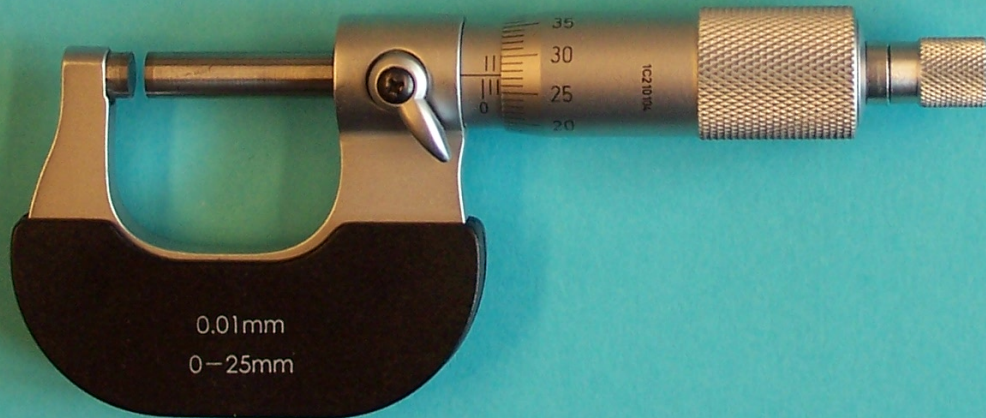
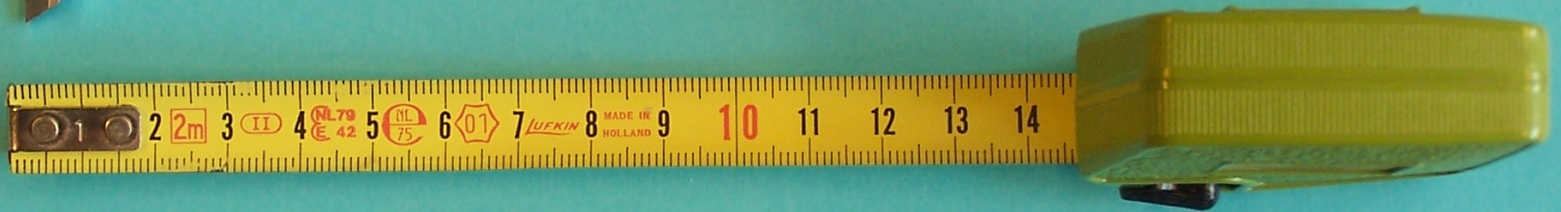
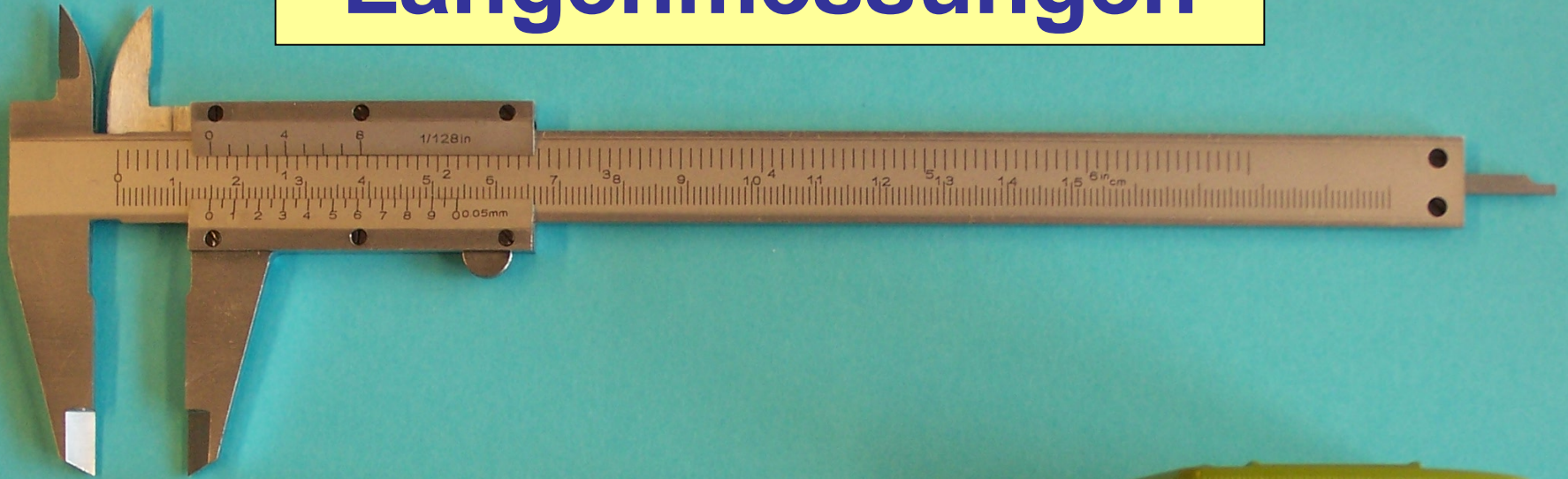
Power Cassy vs Oszilloskop

4. Übung

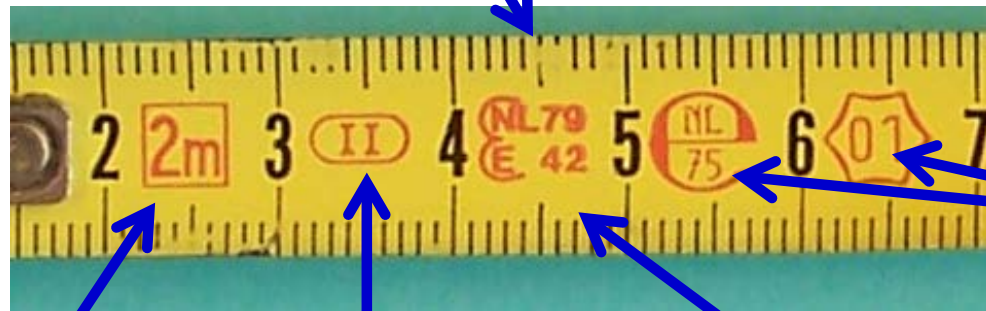
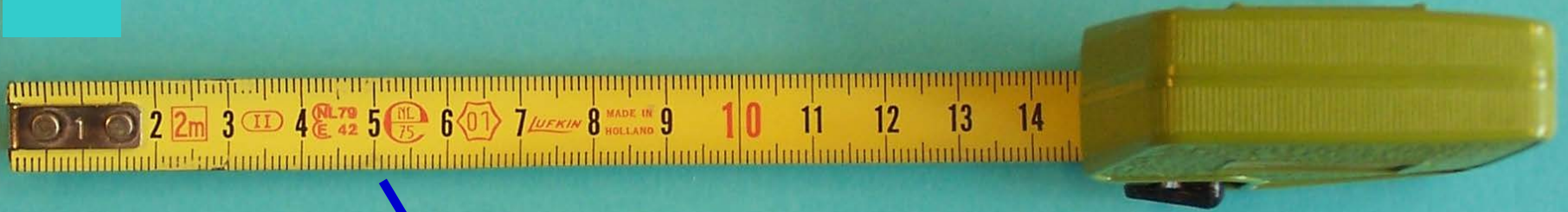


12/

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

Beispiel:

3 m Band / EG-Klasse II: $(0,3 + 0,2 \times 3) = \pm 0,9$ mm Abweichung

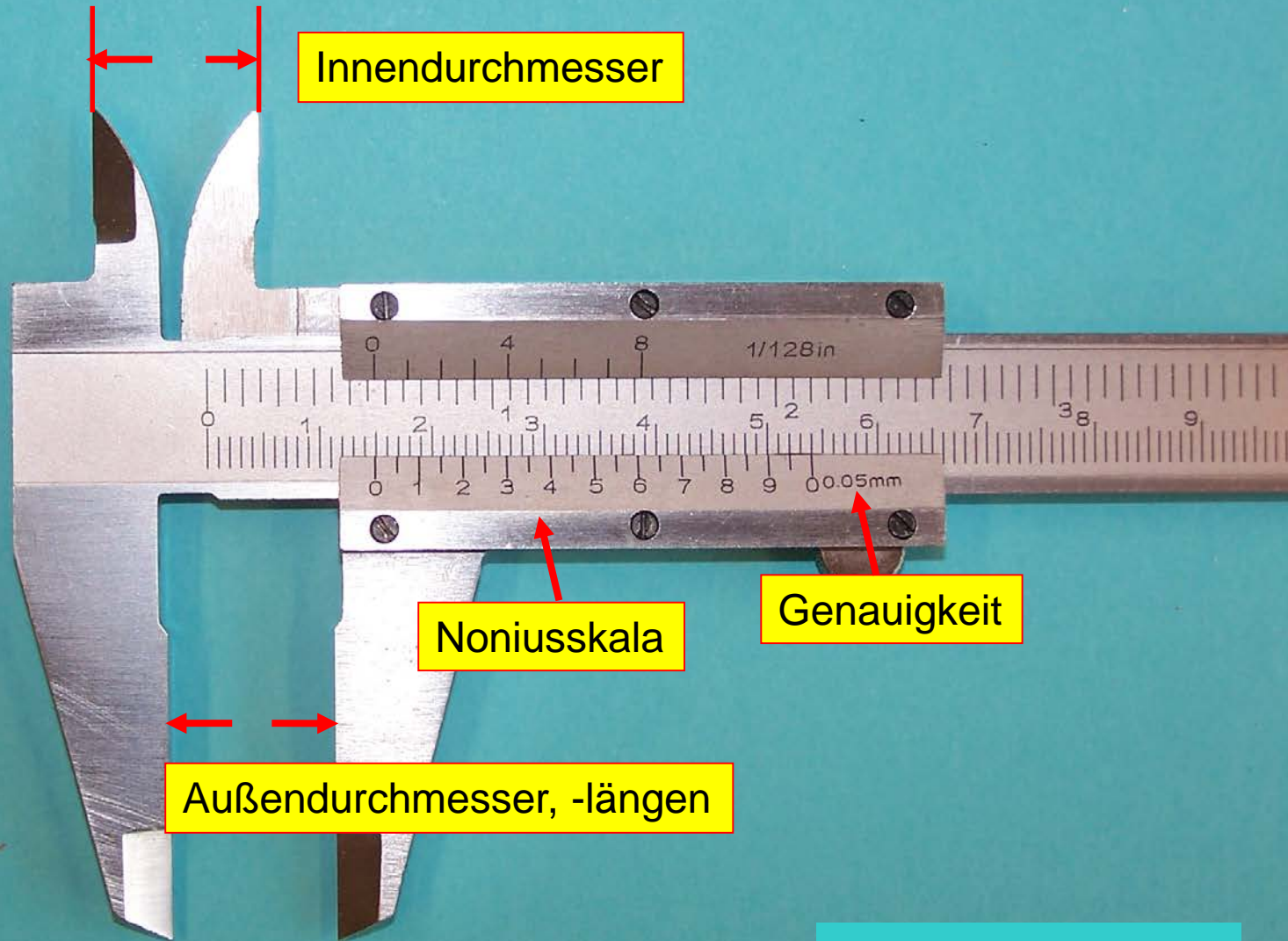
Längenmessungen mit Maßband



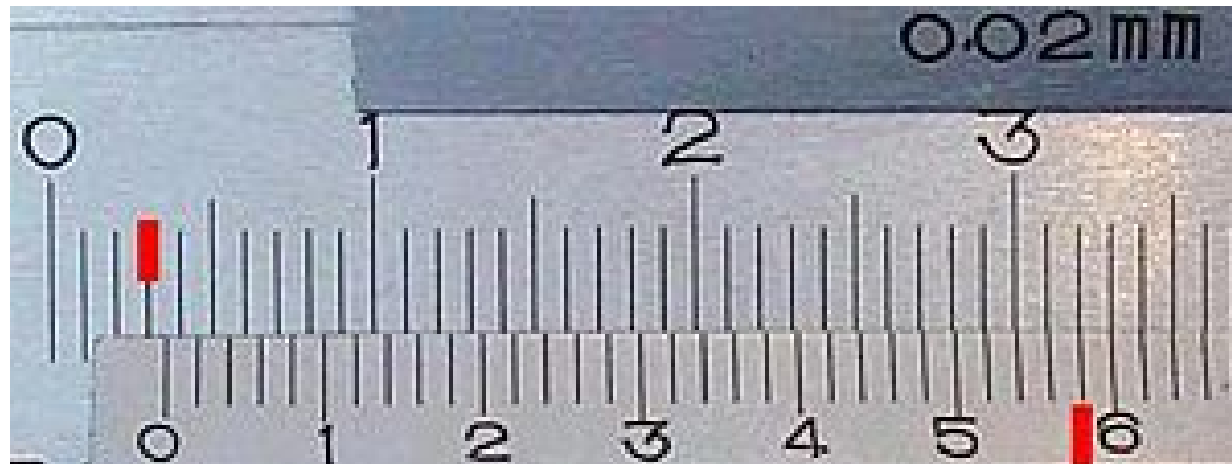
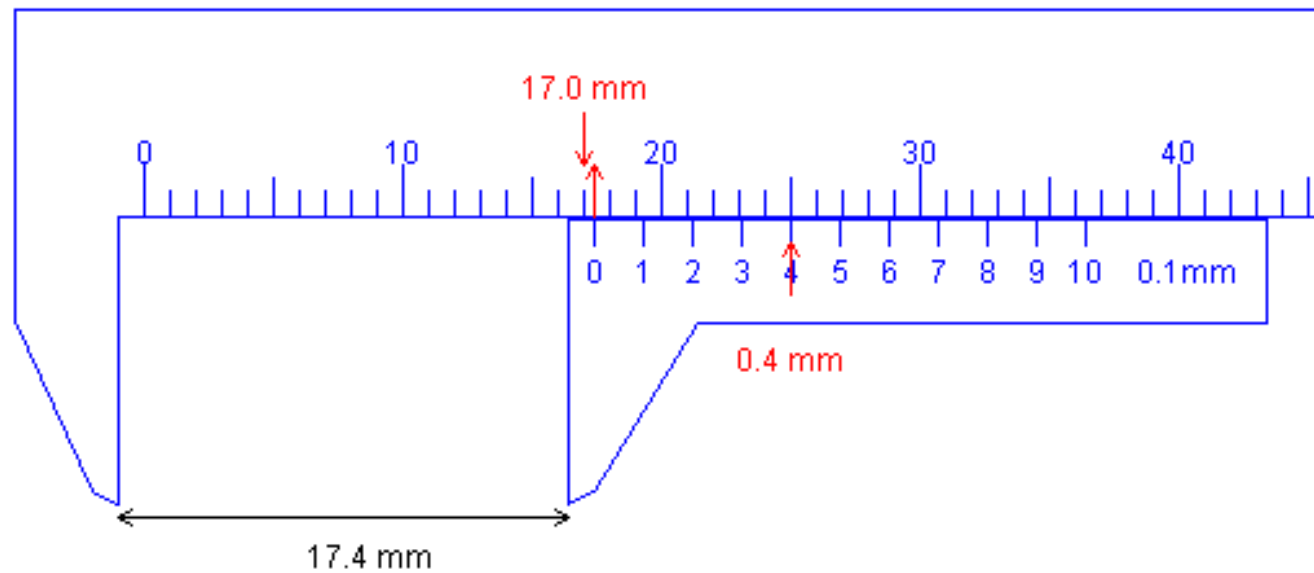
Messunsicherheiten:

- Ableseunsicherheit: kleinste Skaleneinheit (z.B. 1 mm),
Gleichverteilung $1 \text{ mm} / \sqrt{12} = 0.29 \text{ mm}$
- Kalibrierunsicherheit: Toleranz von $\pm 0.9 \text{ mm}$
Gleichverteilung $0.9 \text{ mm} / \sqrt{3} = 0,52 \text{ mm}$
- Mehrfachmessungen

Längenmessungen mit Messschieber

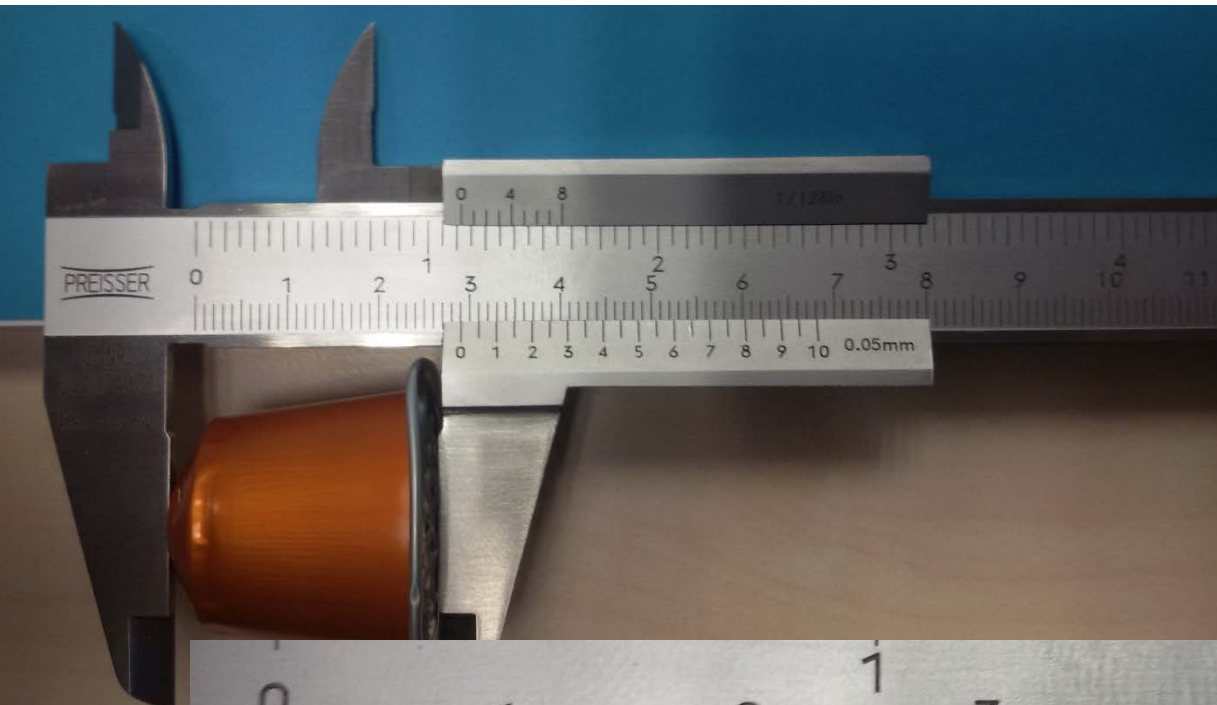


Längenmessungen mit Messschieber



3,58 mm

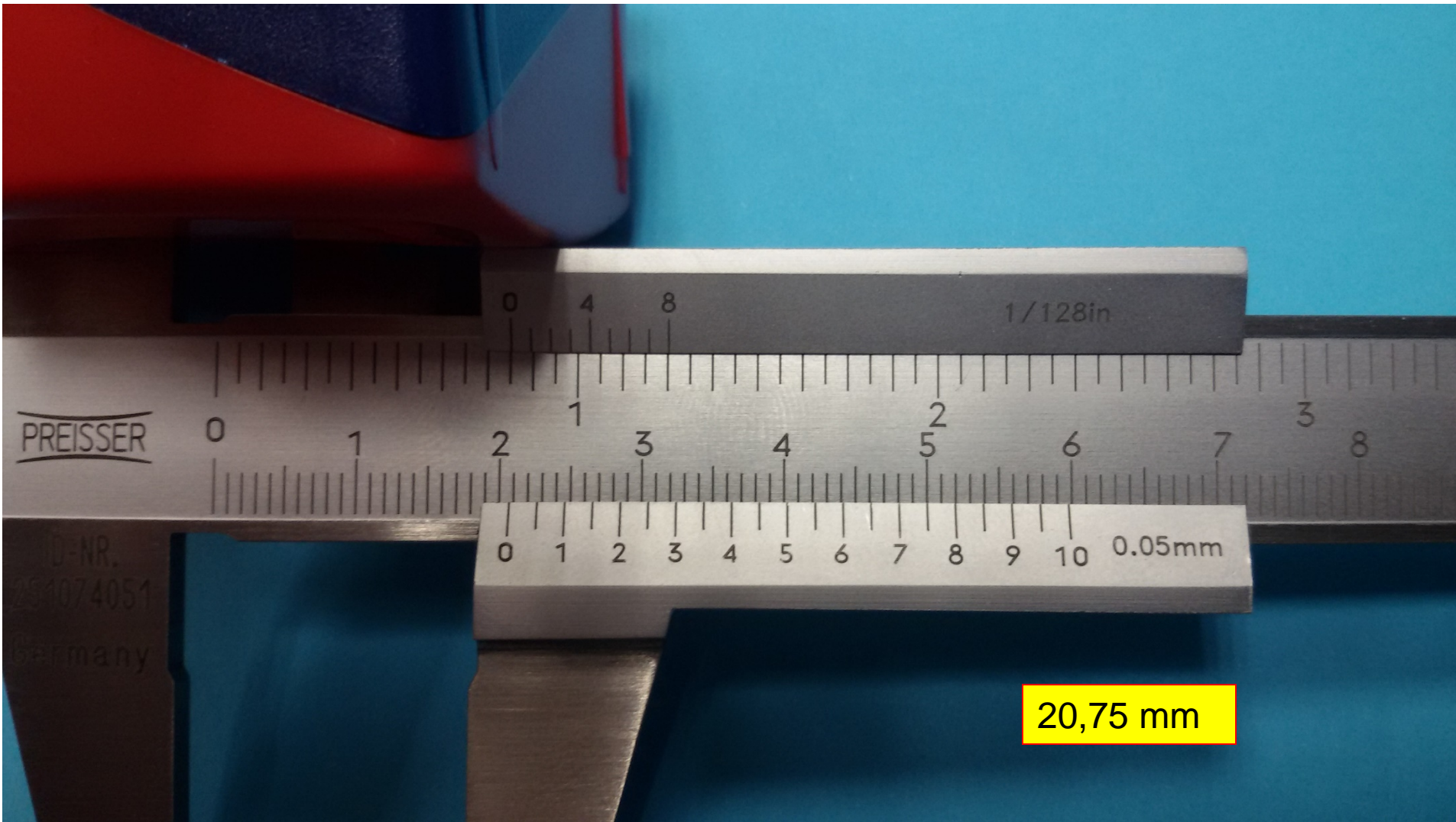
Längenmessungen mit Messschieber



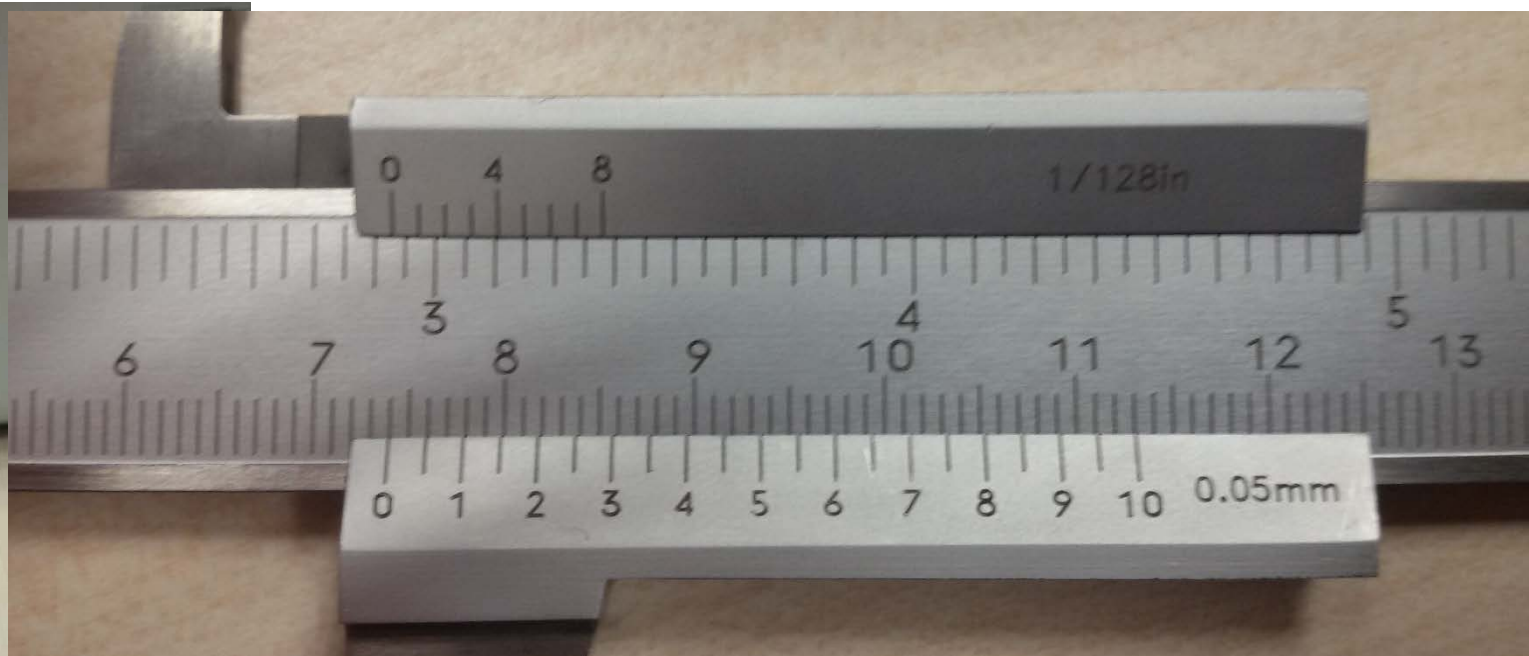
29,05 mm



Längenmessungen mit Messschieber

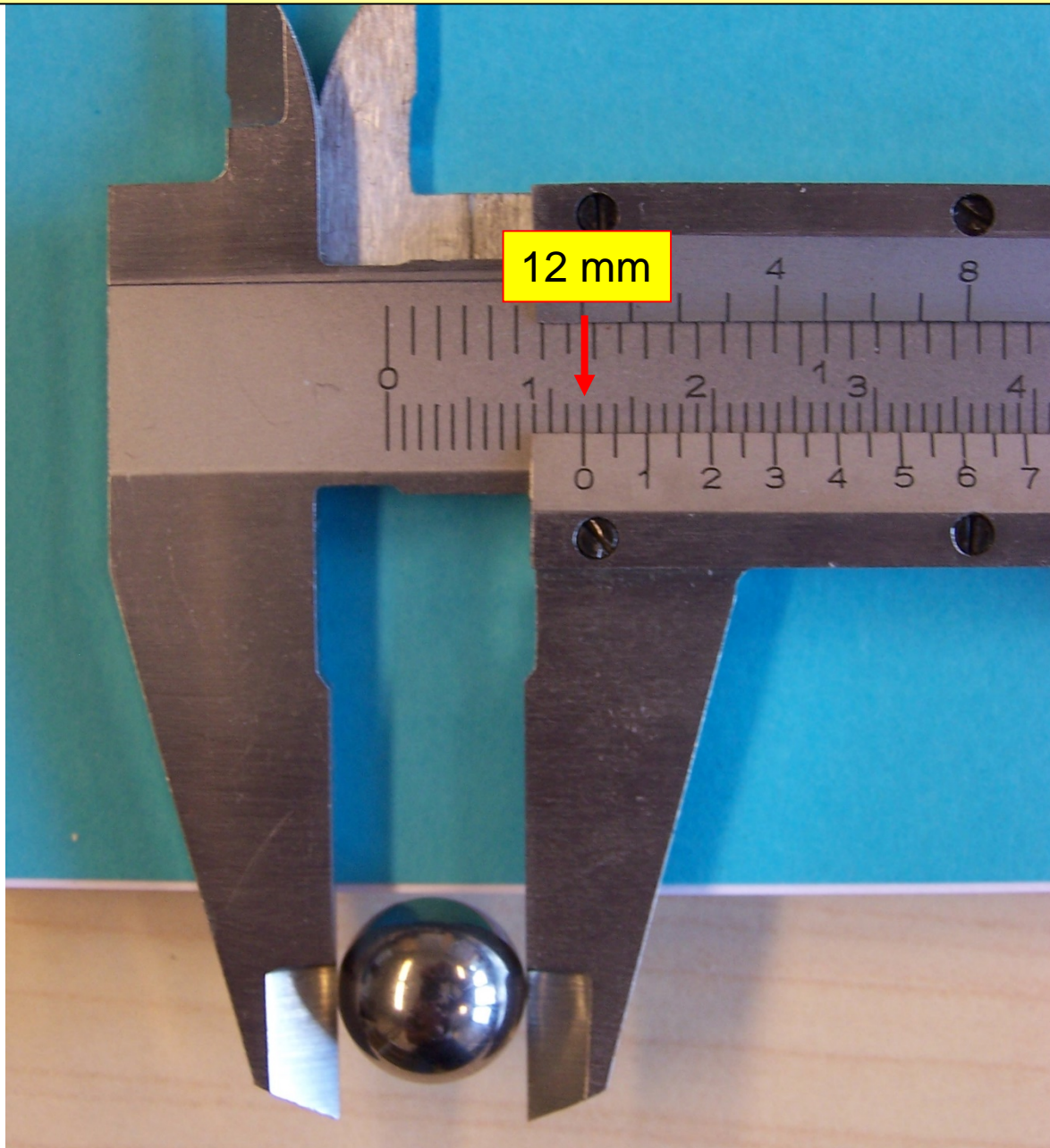


Längenmessungen mit Messschieber

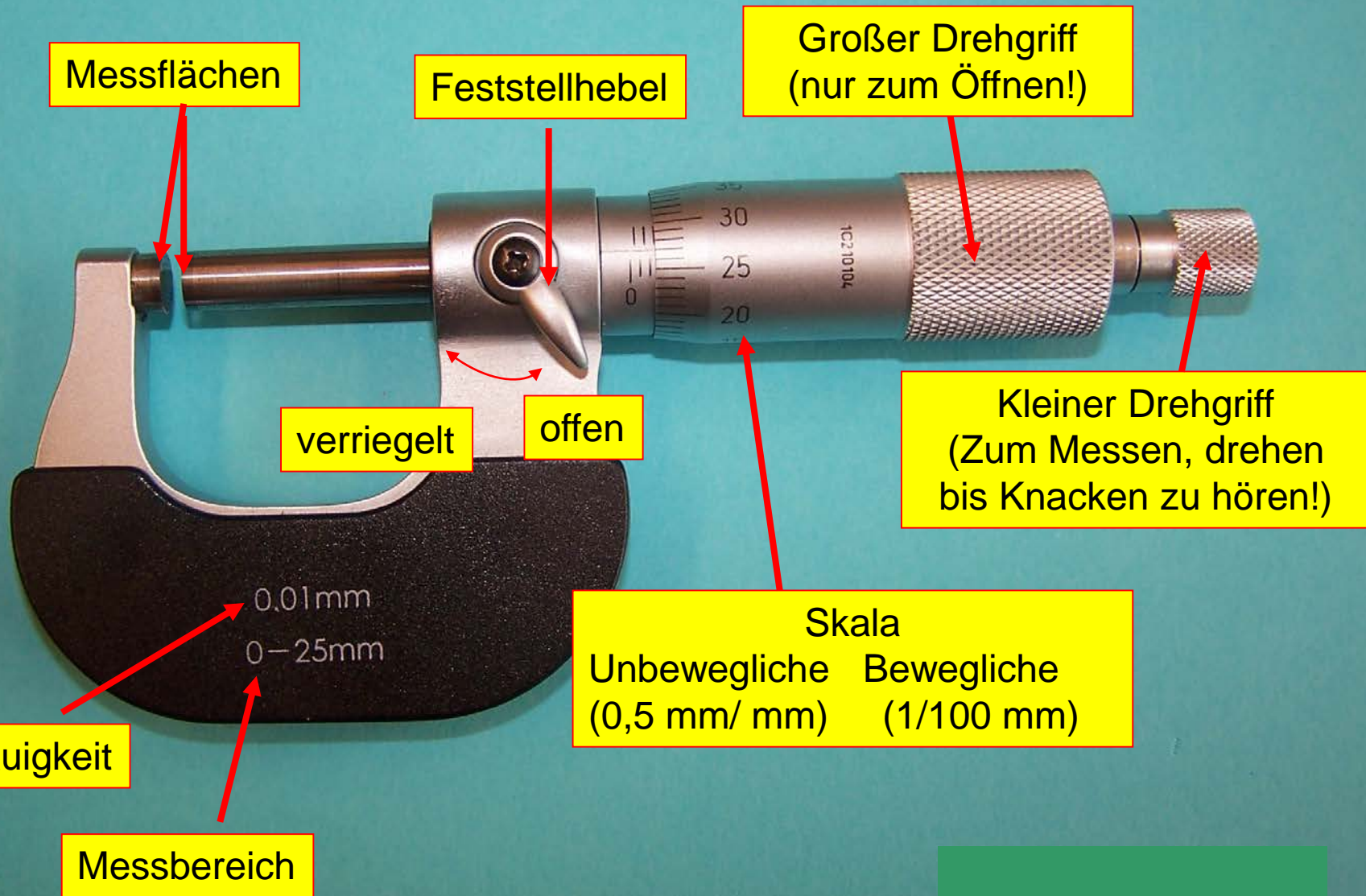


74,00 mm

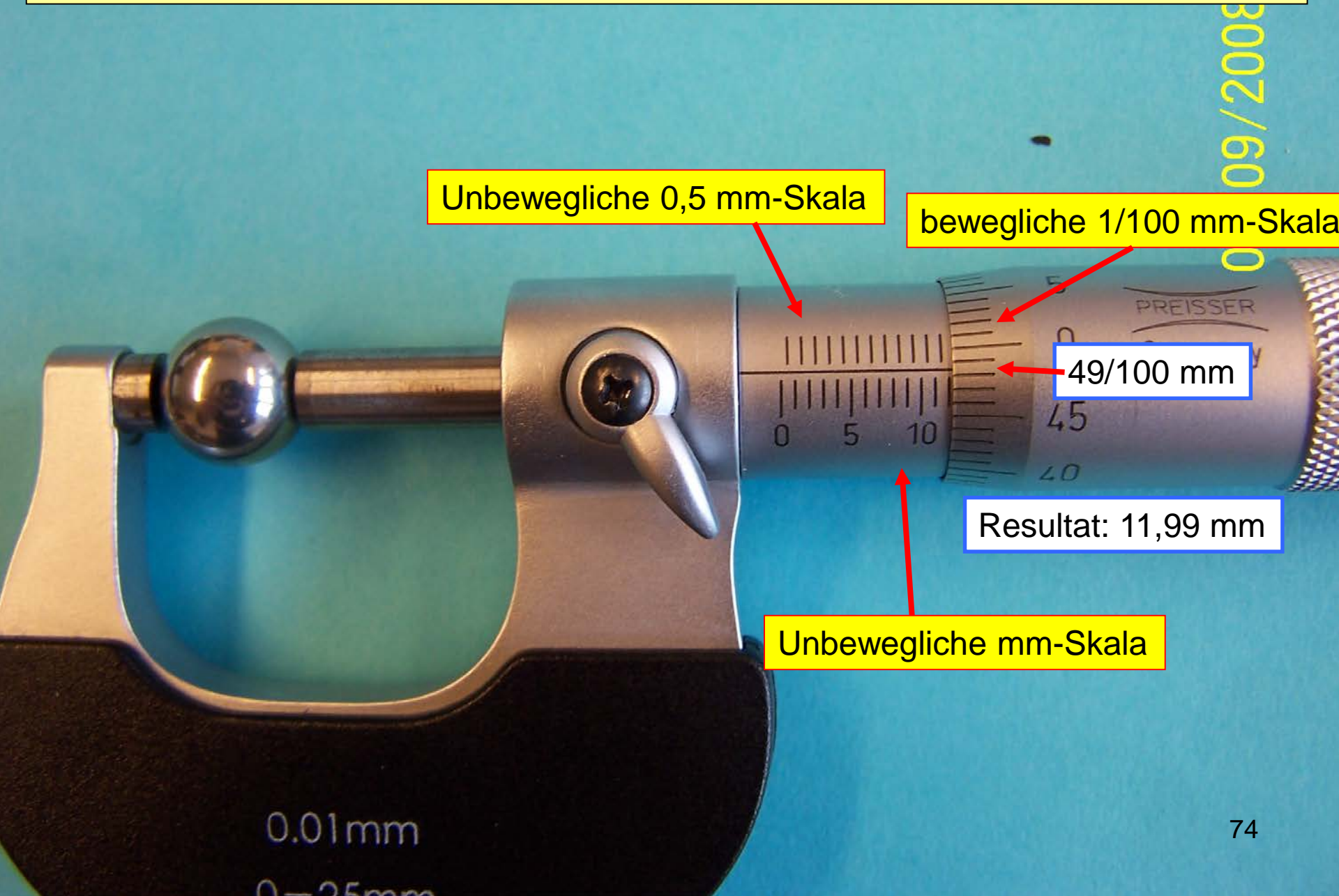
Längenmessungen mit Messschieber



Längenmessungen mit Mikrometerschraube



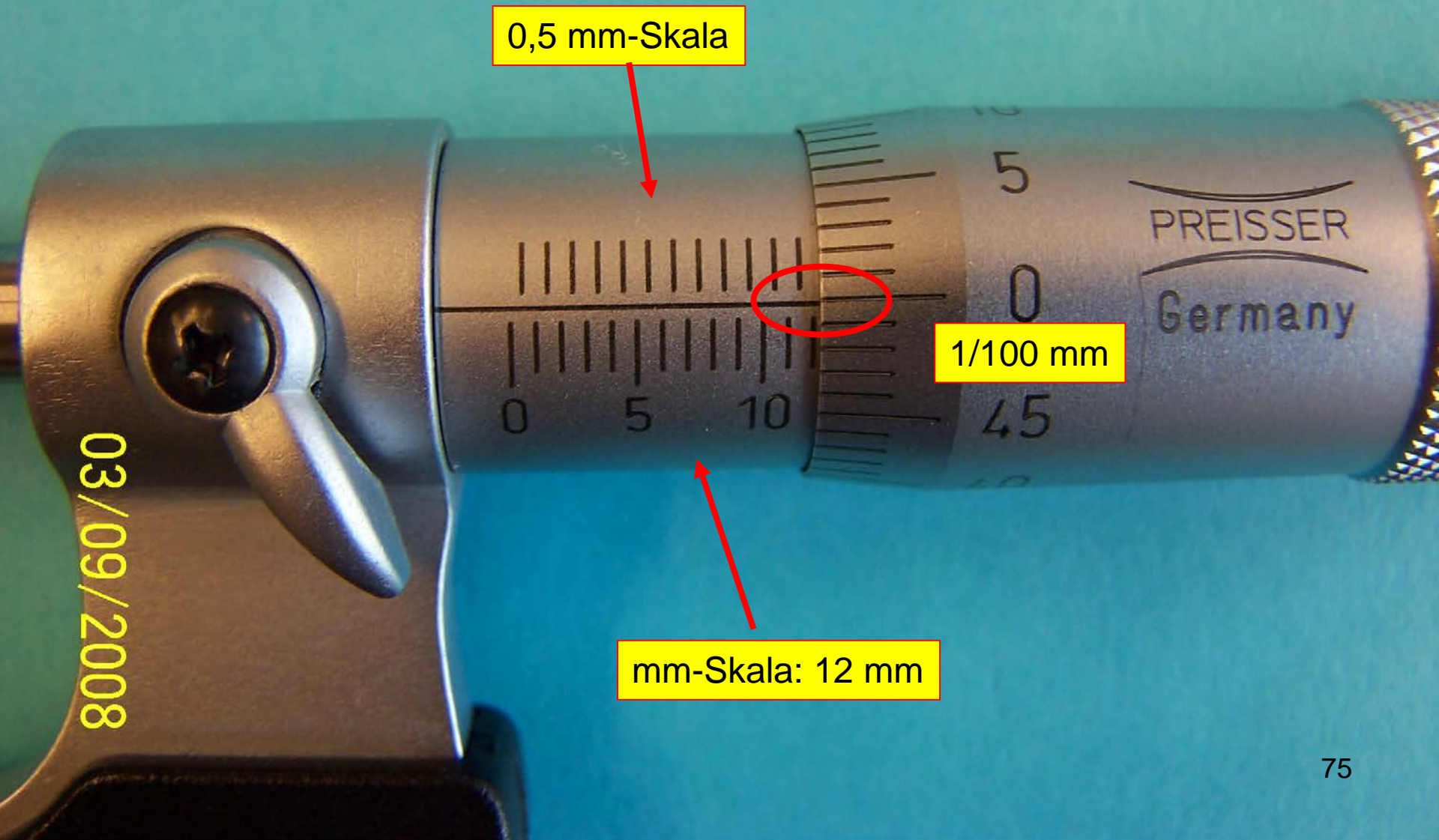
Längenmessungen mit Mikrometerschraube



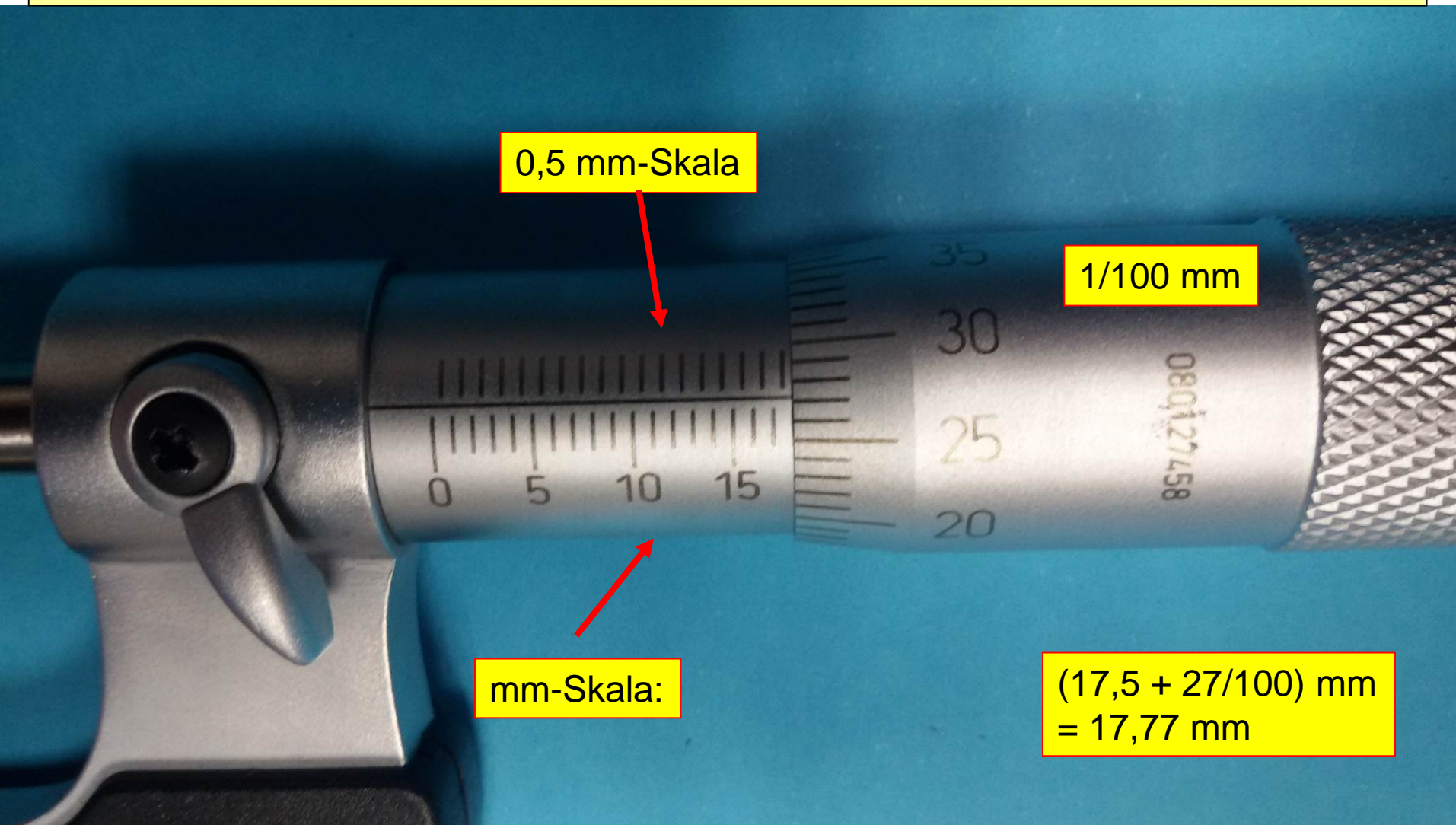
0.01mm

0-25mm

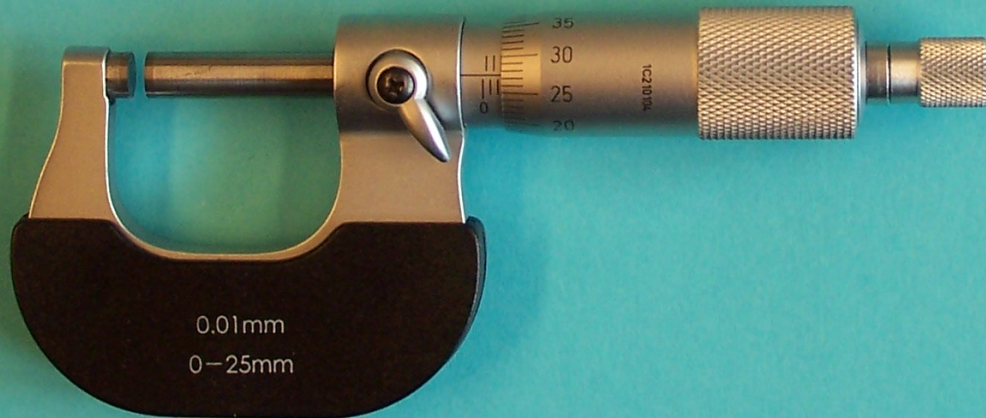
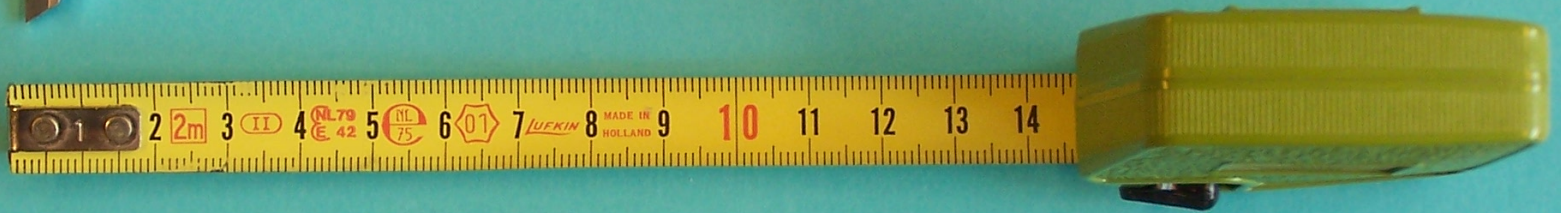
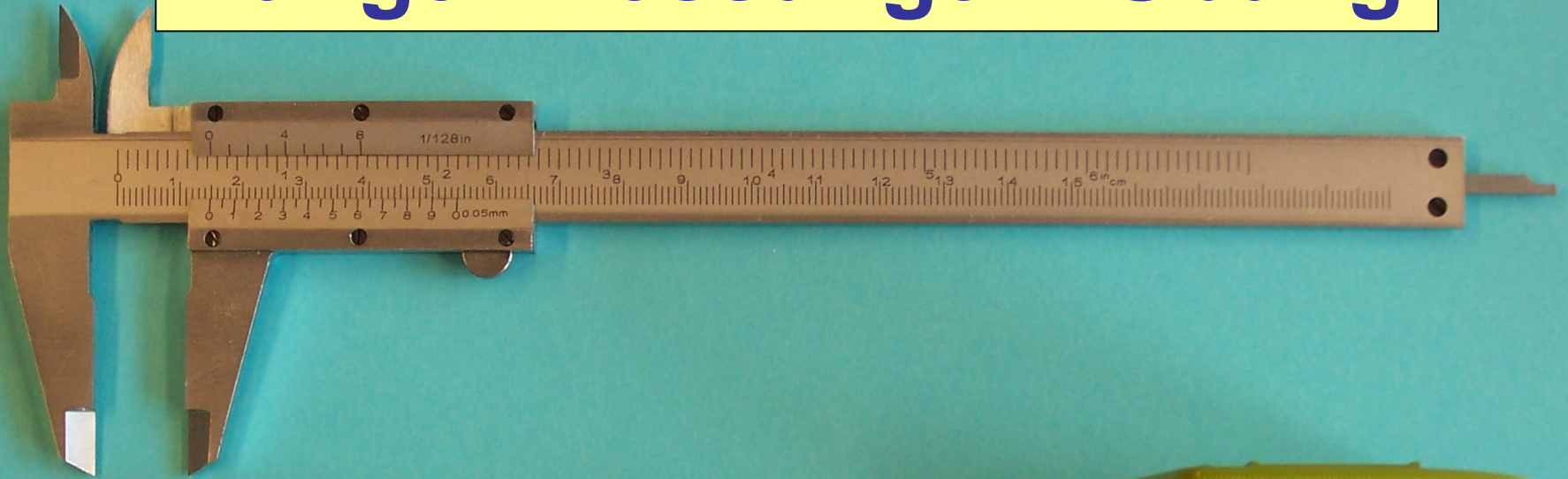
Längenmessungen mit Mikrometerschraube



Längenmessungen mit Mikrometerschraube



Längenmessungen: Übung



Viel Erfolg !