

Messinstrumente im physikalischen Grundpraktikum

Dr. Th. Kirn

I. Physikalisches Institut B

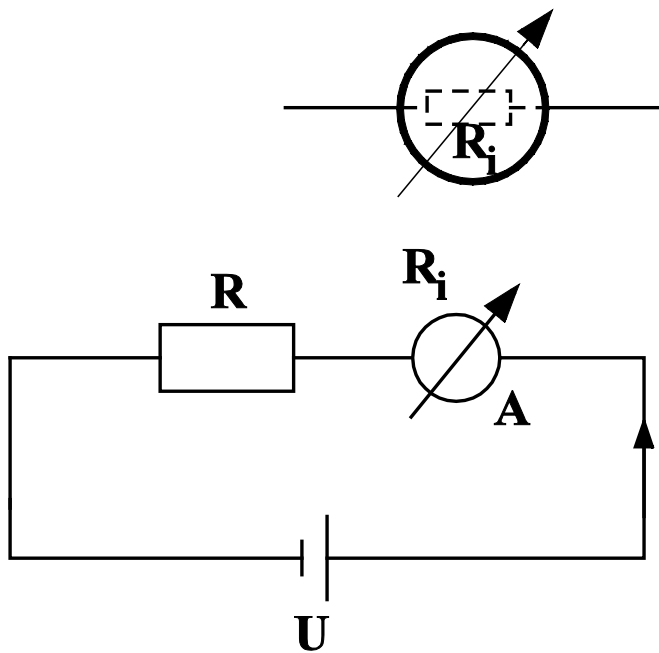
Messinstrumente im physikalischen Grundpraktikum

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

Prinzip Strommessung

Messvorgang darf zu messenden
Strom nicht beeinflussen!

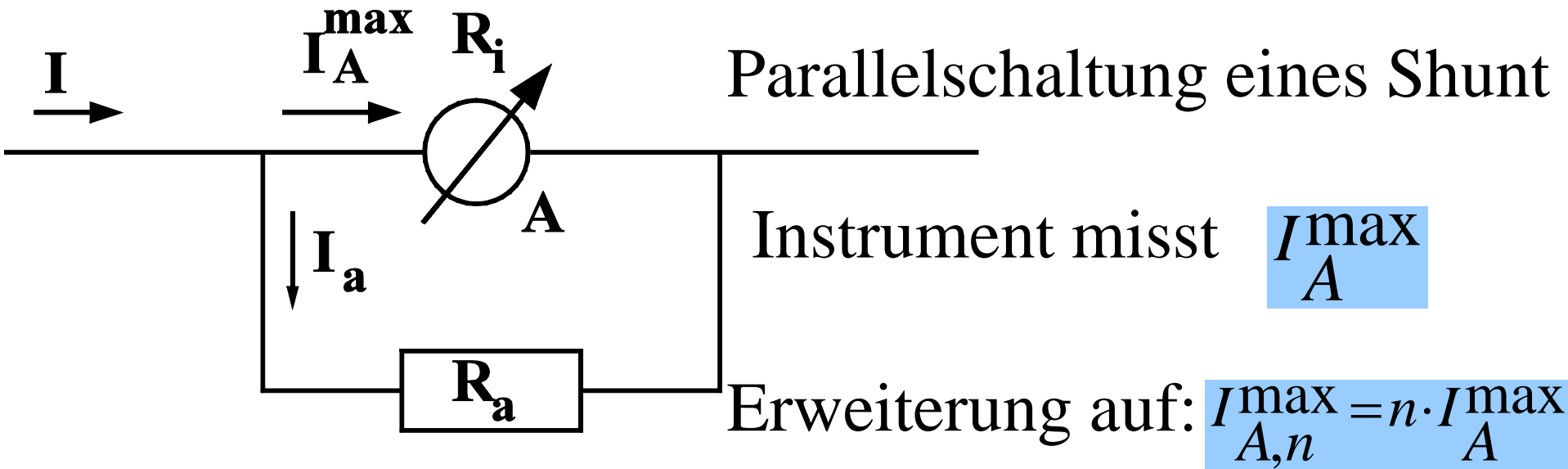
Erwarteter Strom: $I = \frac{U}{R}$



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

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

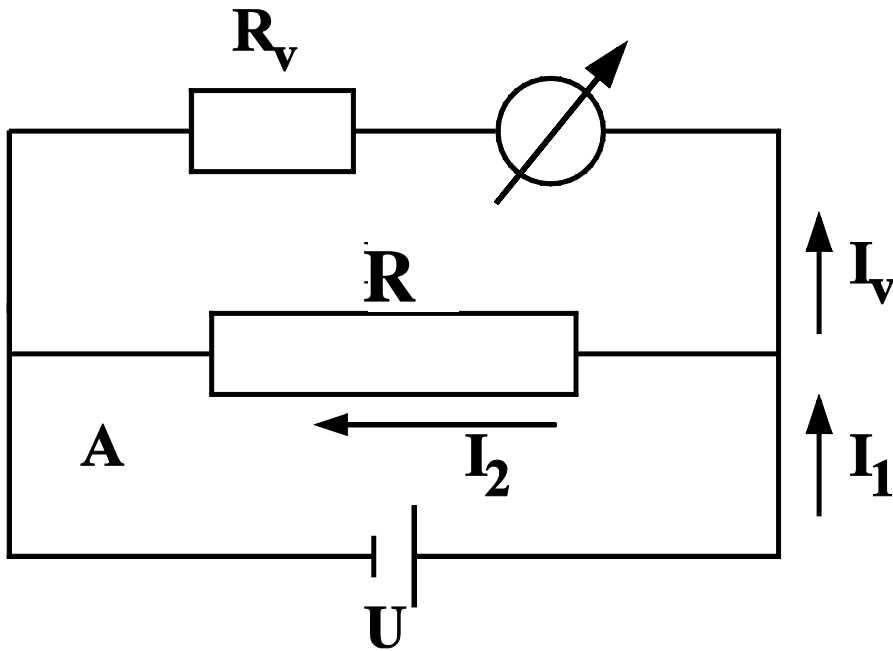
Messbereichserweiterung



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

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

Prinzip Spannungsmessung



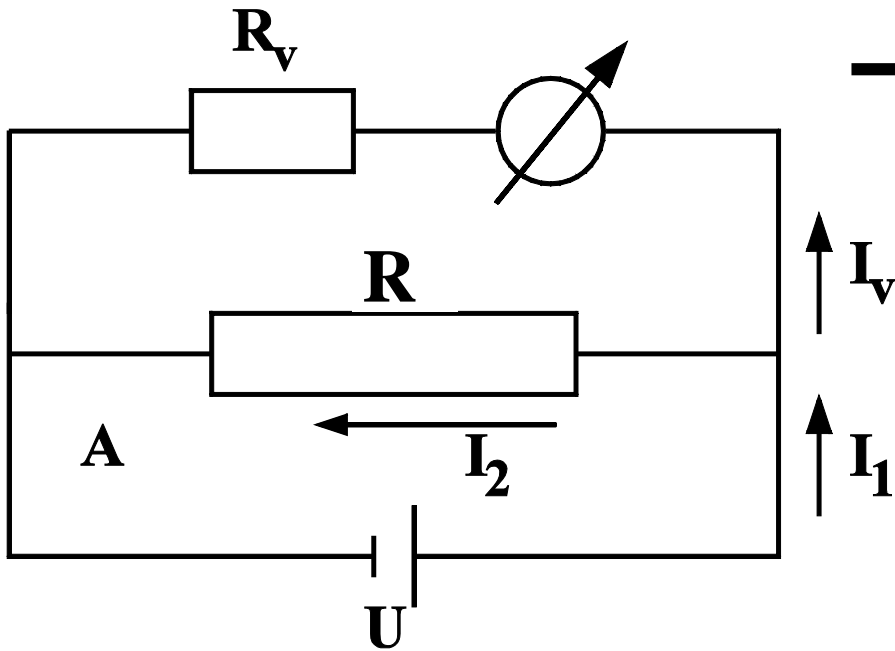
Spannungsmesser sind mittels
Ohmschen Gesetz in Volt
geeichte Amperemeter

Vorschaltung eines Vor-
widerstandes $R_v \gg R$

Durch Instrument fließt Strom I_v

angezeigte Spannung $U = I_v \cdot R_v$

Prinzip Spannungsmessung



→ Änderung der Stromstärke im Kreis A
Quelle liefert Strom

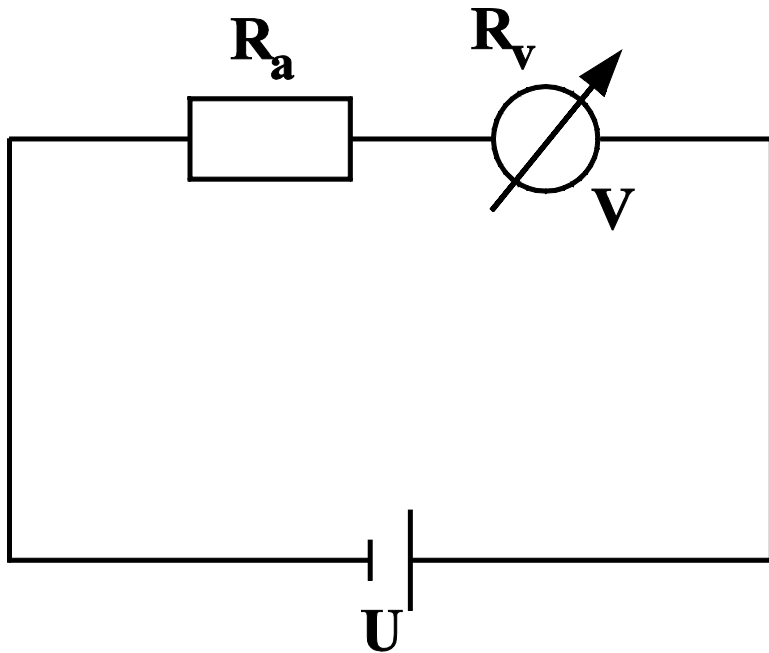
$$I_1 = U \cdot \left(\frac{1}{R_v} + \frac{1}{R} \right) = I \cdot \frac{R + R_v}{R_v} > I = \frac{U}{R}$$

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

Spannungsmesser sind hochohmige Strommesser

$$R_v > 10k\Omega$$

Messbereichserweiterung



Reihenschaltung eines Vorwiderstandes R_a

Instrument misst U_{\max}

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

Es ist:

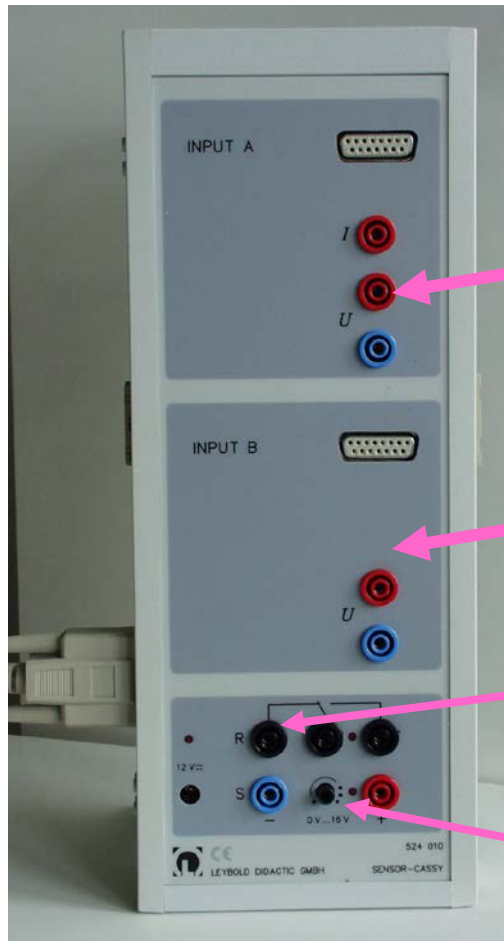
$$I = \frac{n \cdot U_{\max}}{R_a + R_v} = \frac{U_{\max}}{R_v}$$

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

Realisation der Strom- und Spannungsmessung im Praktikum?



Sensor Cassy Interface



4-fach galvanisch getrennt:

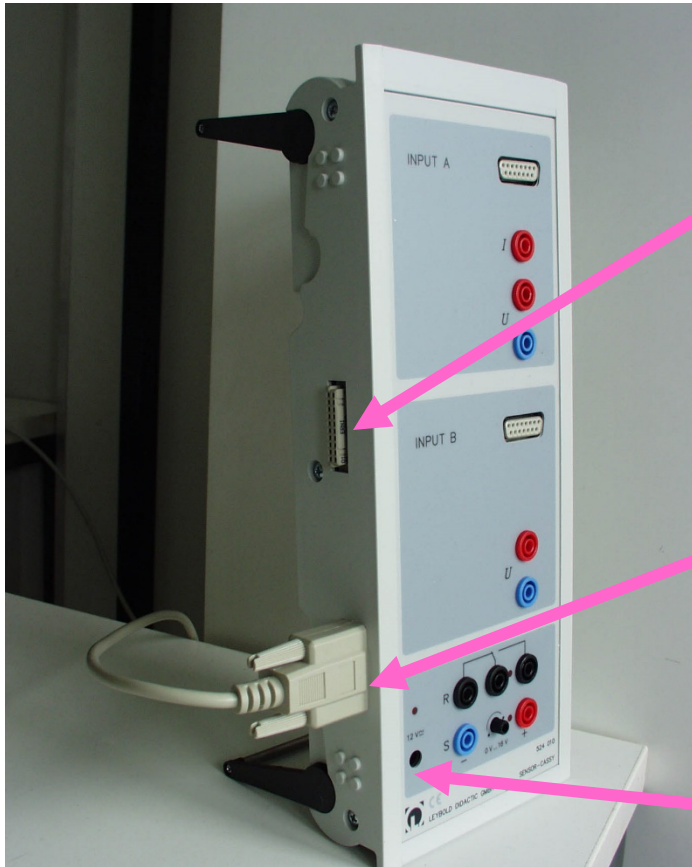
Eingang A (I,U)

Eingang B (U)

Relais R

Spannungsquelle S (0 – 16V)

Sensor-Cassy Interface



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

Anschluß an serielle Schnitt-
stelle RS232 des PCs

Spannungsversorgung:

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

Sensor-Cassy Interface

Umschaltrelais R

(Schaltanzeige mit LED)

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

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

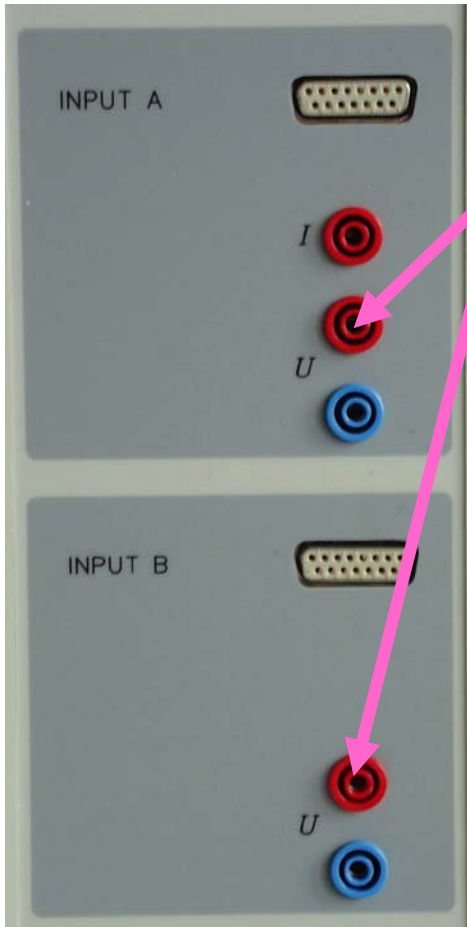


Sensor Cassy Interface

5 analoge Eingänge

2 analoge Spannungseingänge A und B:

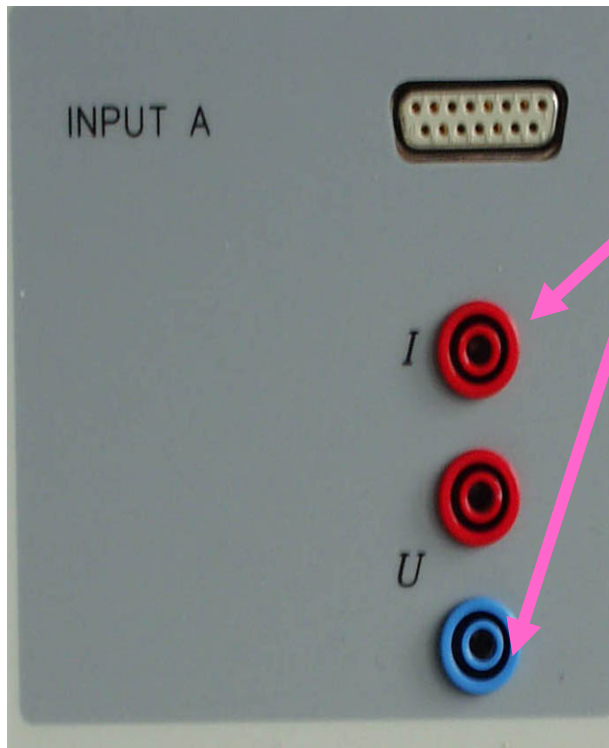
- Auflösung: 12 Bit ($2^{12} = 4096$)
- Messbereiche: $\pm 0,3/1/3/10/30/100$ V
- Digitalisierung: $\pm 0,15$ mV/.../ 48,8mV
- sys. Messfehler: $\pm 1\% + 0,5\%$ Endwert
- Eingangswiderstand: 1 M Ω
- Abtastrate: max. 200.000 Werte/s
(=100.000 Werte/s pro Eingang)
- Anzahl Messwerte: max. 32000



(= 16000/ Eingang) 12

Sensor-Cassy Interface

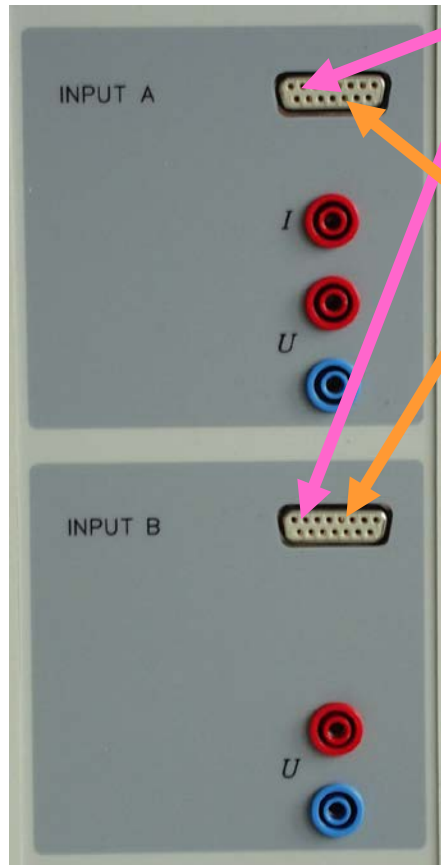
Eingang A:



1 analoger Stromeingang :

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

Sensor-Cassy Interface



2 analoge Eingänge auf Sensorbox-Steckplätzen A und B

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

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

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

Sensor-Cassy Interface



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

Timer Box → Laufzeit Messung

Temperatur Box

B-Box → B-Feldmessung,
→ Druckmessung

Stromquellen-Box

Datenauslese: Cassy Lab

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

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

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 screenshot shows a Windows 7 desktop with a blue background. The Start menu is open, displaying a list of applications and folders. A red circle highlights the 'Systemsteuerung' (Control Panel) option. A red arrow points from this option to the 'System und Sicherheit' (System and Security) link in the System Control window. The System Control window is open, showing various system settings categories. A red circle highlights the 'System und Sicherheit' link. 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).

Desktop icons include: Papierkorb, gVim 7.4, Picture Style Editor, ZoomBrowser EX, Adobe Acrobat XI Pro, LibreOffice 4.2, Startfenster, Vidyo_Desktop_Dia..., Adobe FormsCentral, Maple 17 Portal, SHAREit, Skype, WinSCP, Erste Schritte, Verbindung mit einem Projektor, Rechner, PuTTY, Kurznutzen, Paint, Snipping Tool, XPS-Viewer, CASSY Lab, and Alle Programme.

System Control window content:

- Einstellungen des Computers anpassen
- System und Sicherheit (Status des Computers überprüfen, Sicherung des Computers erstellen, Probleme erkennen und beheben)
- Netzwerk und Internet (Netzwerkstatus und -aufgaben anzeigen, Heimnetzgruppen- und Freigabeoptionen auswählen)
- Hardware und Sound (Geräte und Drucker anzeigen, Gerät hinzufügen, Verbindung mit einem Projektor herstellen, Häufig verwendete Mobilitätseinstellungen ändern)
- Programme (Programm deinstallieren)
- Benutzerkonten und Jugendschutz (Benutzerkonten hinzufügen/entfernen, Jugendschutz für beliebige Benutzer einrichten)
- Darstellung und Anpassung (Design ändern, Desktophintergrund ändern, Bildschirmauflösung anpassen)
- Zeit, Sprache und Region (Tastaturen und Eingabemethoden ändern)
- Erleichterte Bedienung (Einstellungen empfehlen lassen, Visuelle Darstellung des Bildschirms optimieren)

Taskbar: WinSCP, Erste Schritte, Verbindung mit einem Projektor, Rechner, PuTTY, Kurznutzen, Paint, Snipping Tool, XPS-Viewer, CASSY Lab, Alle Programme, Herunterfahren

System Tray: DE, 97%, 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 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 date and time as 12:28 on 19.02.2015, along with system icons for network, volume, and power.

Two windows are open:

- Systemsteuerung (System and Security):** The left sidebar shows "System und Sicherheit" selected. In the main pane, "Geräte-Manager" (Device Manager) is highlighted with a red circle. A red arrow points from this circle to the Device Manager window.
- Geräte-Manager (Device Manager):** The window shows the hardware list for the computer. Under the "Eingabegeräte (Human Interface Devices)" category, "USB-Eingabegerät" (USB Serial Port) is highlighted with a red circle.

The desktop also features a "Think" logo in the bottom right corner and several utility icons like "PUTTY" and "WinSCP".

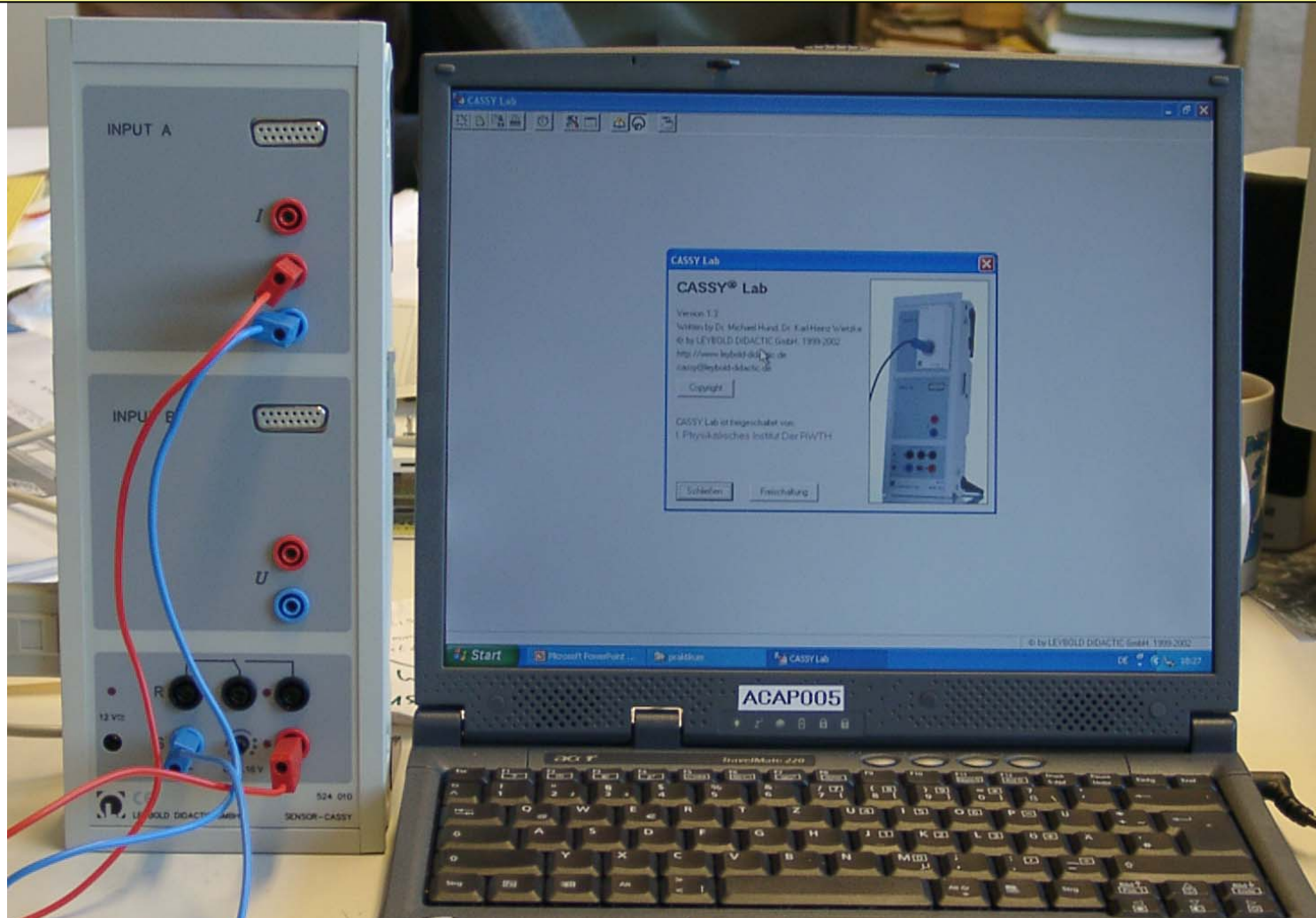
Cassy Lab Start

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 circled in red. A red arrow points from this entry to the 'Erweitert...' button in the 'Eigenschaften von USB Serial Port (COM9)' window. This window has the 'Anschlüsseinstellungen' tab selected, showing settings for 'Bits pro Sekunde' (9600), 'Datenbits' (8), 'Parität' (Keine), 'Stoppsbits' (1), and 'Flusssteuerung' (Keine). A second red arrow points from the 'Erweitert...' button to the 'Erweiterte Einstellungen für COM9' window. In this window, the 'COM-Anschlussnummer' dropdown is set to 'COM9', and the list of available COM ports from COM10 to COM38 is visible. A red circle highlights the COM10-19 range. The 'Allgemeine Optionen' section at the bottom right of this window has several checkboxes, with 'PlugPlay für serielle Schnittstelle' checked. The taskbar at the bottom shows various application icons and the system tray with the date '19.02.2015' and time '12:30'.

Com-Port 7 reserviert
→ CASSY Lab Absturz

Cassy Lab, 1.Übung: Inbetriebnahme



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



Cassy Lab, Einstellungen

Einstellungen via Symbolknopf oder F5 →



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



Aktivierung und Einstellung der Eingänge A und B, sowie des Relais und der Spannungsquelle durch Anklicken

Einstellung der Messgrößen und -bereiche vorher überlegen, einstellen und im Messprotokoll notieren!

Cassy Lab, Einstellungen, Messparameter

Zweimalige Betätigung des Einstellungsknopfs oder der F5-Taste



Messparameter [X]

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

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

Messparameter [X]

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

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

Messparameter [X]

automatische Aufnahme Intervall: 100 ms [◀ ▶] Trigger: [▼]
 manuelle Aufnahme x Anzahl: [◀ ▶] Messbedingung: $f < 5000$ 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 ($\Delta =$)

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

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

Sensor Cassy Lab und Dateien

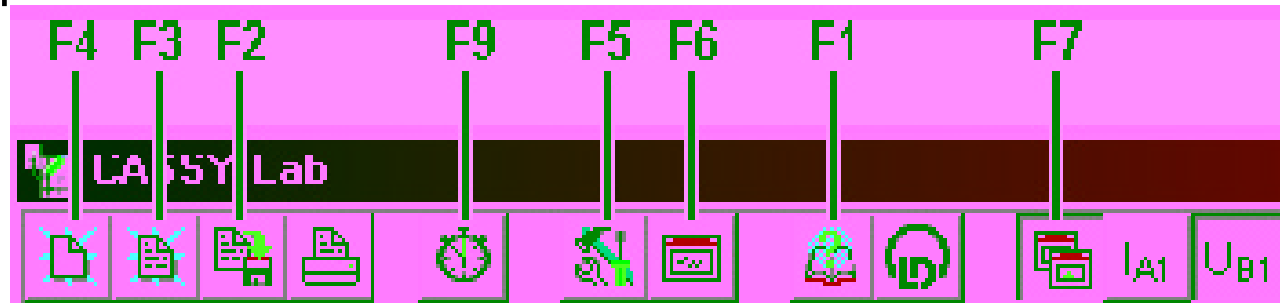
F9: Datennahme starten

F2: Dateien speichern

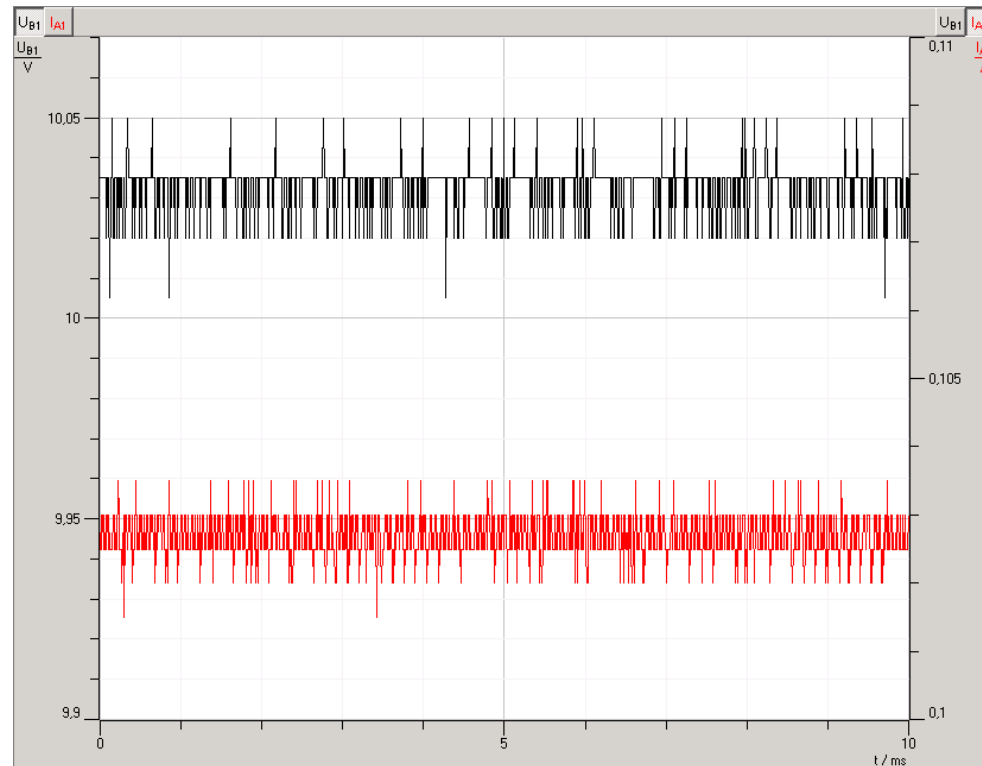
F3: Dateien laden

F4: Daten löschen

F5: Einstellungen



Messungen abspeichern und Dateinamen notieren!



Sensor Cassy Dateien

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

Header: Informationen über Cassy-Einstellungen

Sensor Cassy Dateien

X 100R_U_I_t.lab - XEmacs

File Edit View Cmds Tools Options



100R_U_I_t.lab

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

Spannungsquelle

S_1

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

```
6 1001
```

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

Messwerttabelle:

Spalte 1: Messschritt

Spalte 2: Messzeit

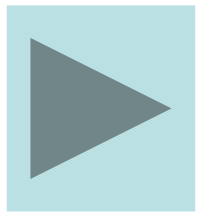
Spalte 3: Eingang A

Spalte 4: Eingang B

Spalte 5: Zustand Relais

Spalte 6: Zustand Spannungsquelle

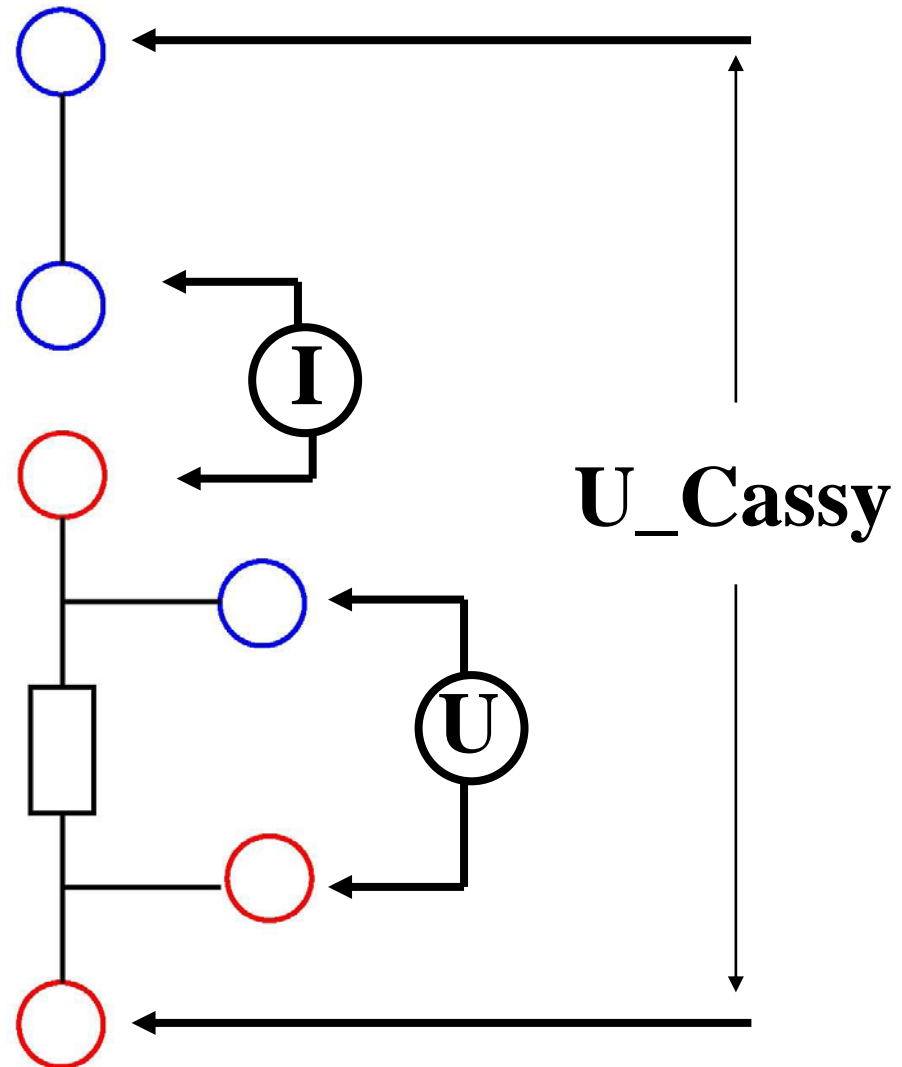
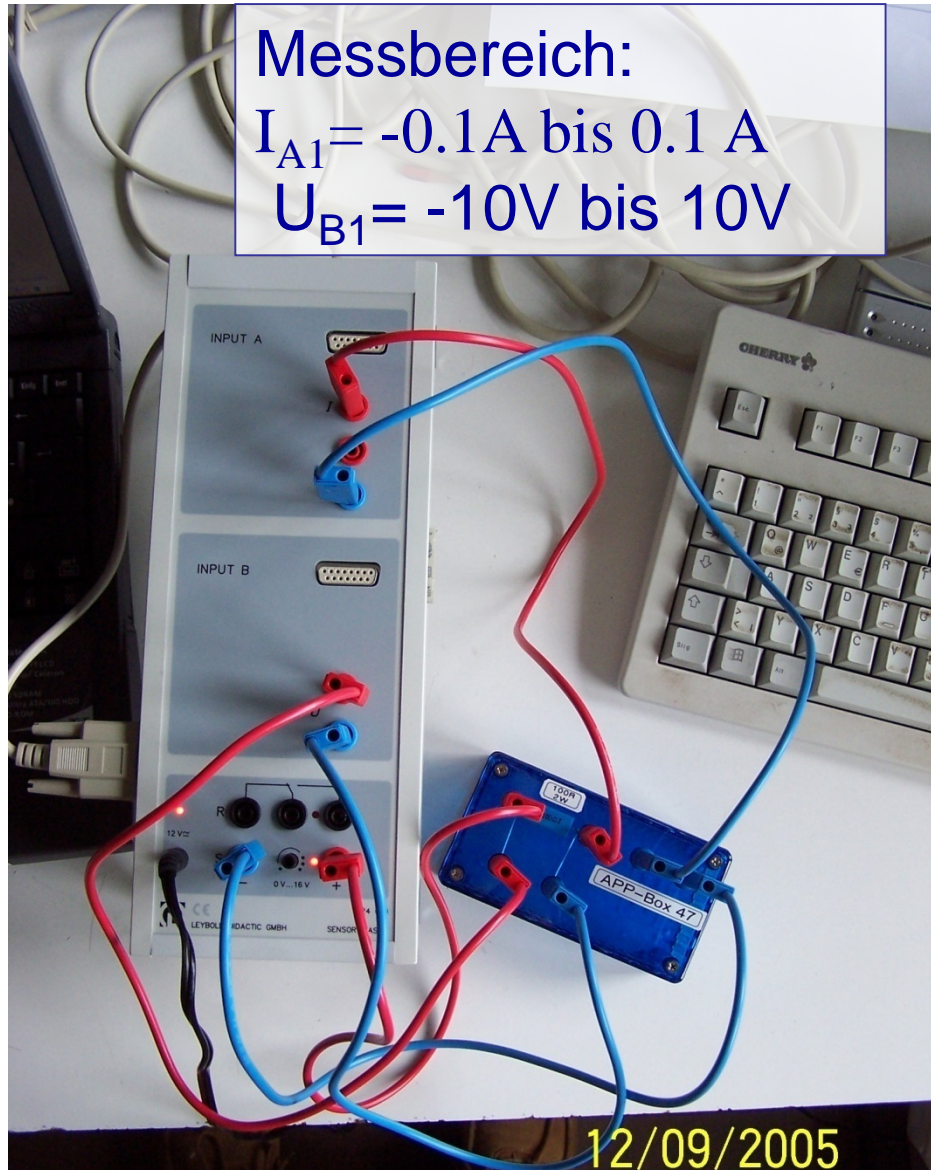
Cassy Lab, 2. Übung



Messbereich:

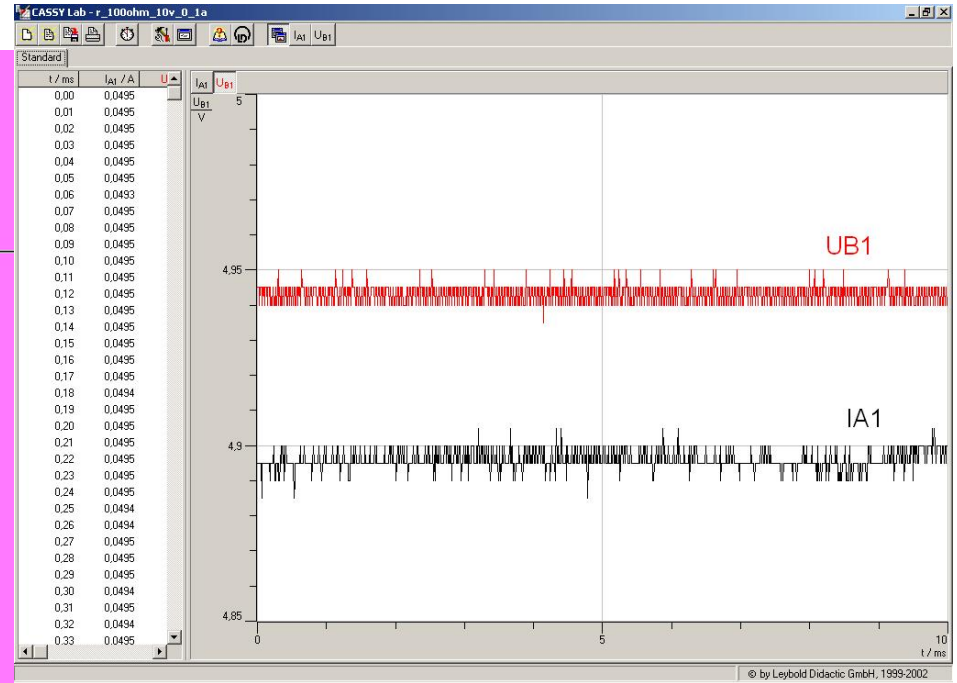
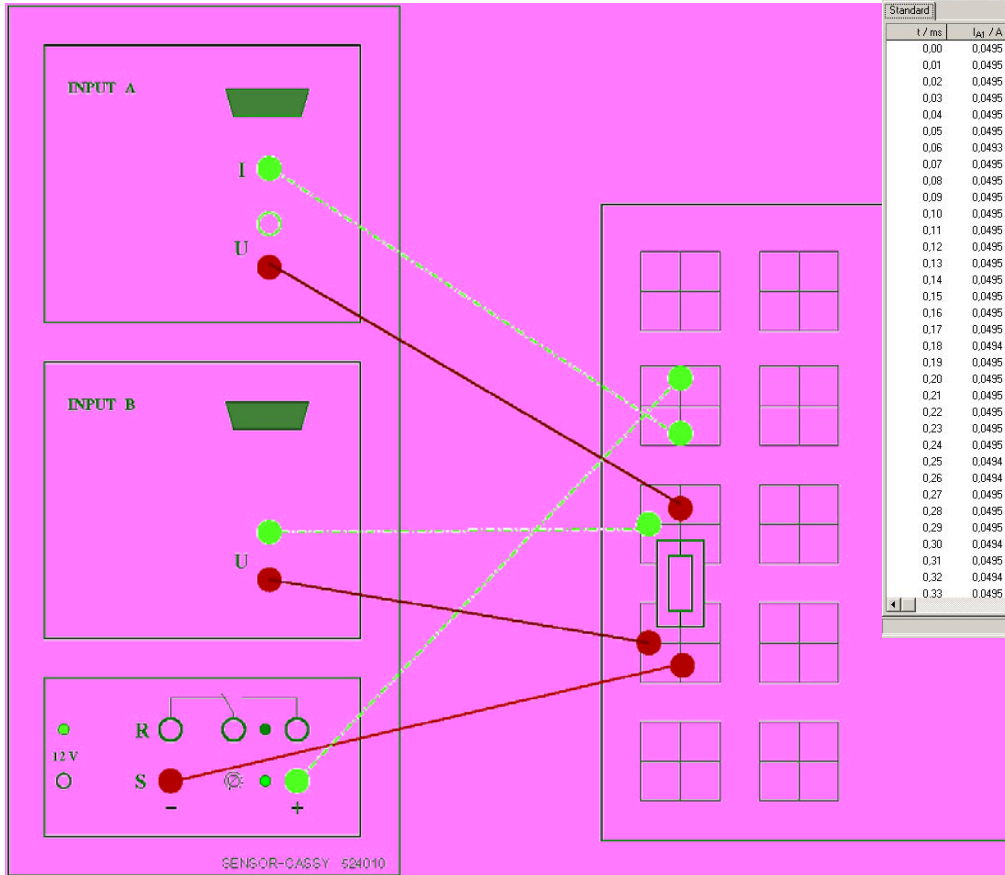
$I_{A1} = -0.1\text{A bis } 0.1\text{ A}$

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



Sensor Cassy Interface

Messungenauigkeiten



Messaufbau: $R=100\Omega$

Angelegte Spannung:

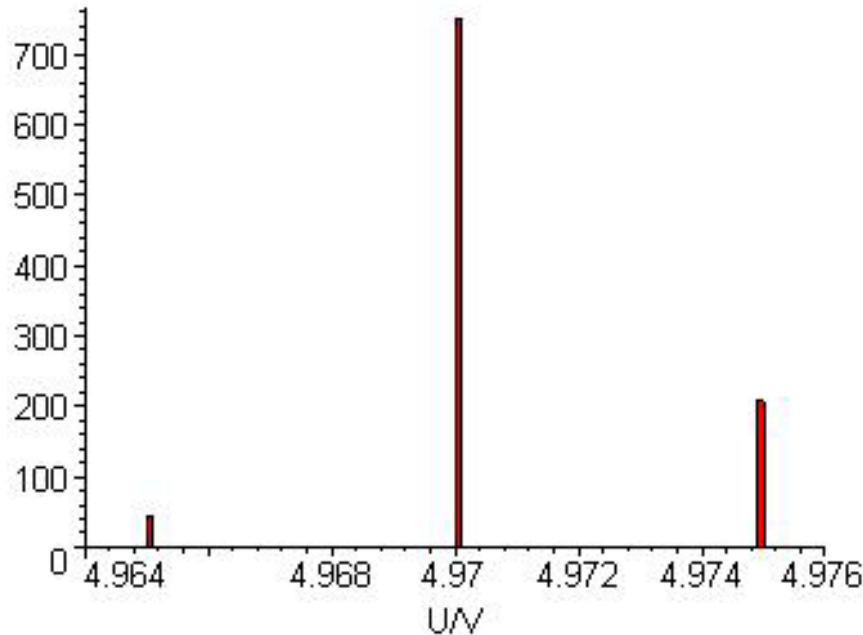
$U=5V$

Im Kreis fließender Strom:

$I=0,05A$

Sensor-Cassy Interface

statistische Messungenauigkeit?



Messbereich: ± 10 V

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

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

= (MU Einzelmessung)

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

Digitale Auflösung: 12 bit = 4096 ,

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

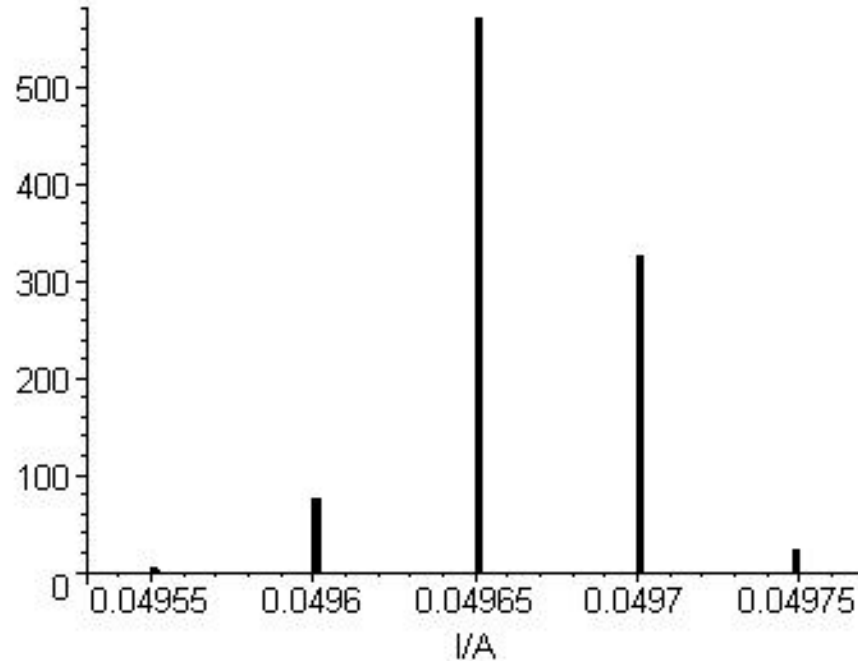
Annahme der Gleichverteilung: $U_{\min}/\sqrt{12}$

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

MU durch Messung bestimmen!

Sensor-Cassy Interface

statistische Messungenauigkeit?



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

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

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

= (MU Einzelmessung)

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

Digitale Auflösung: 12 bit = 4096 ,

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

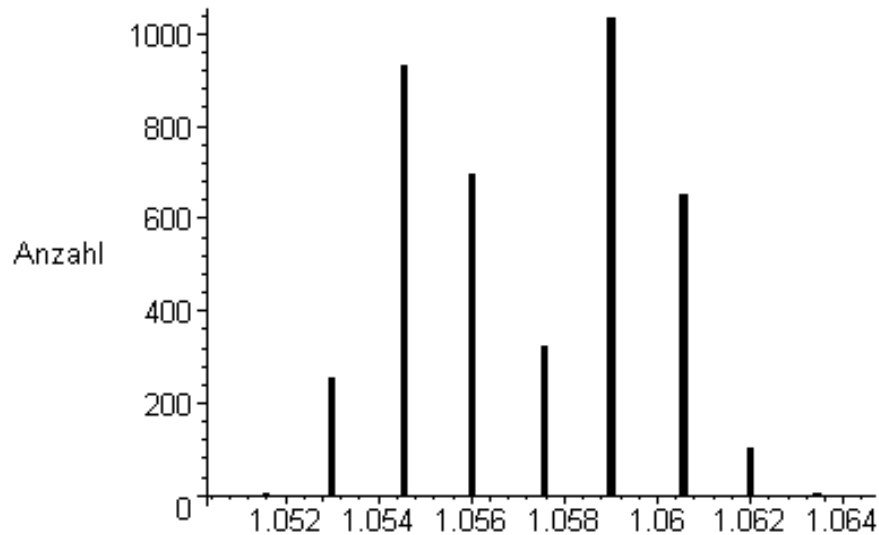
Annahme der Gleichverteilung: $I_{\text{min}}/\sqrt{12}$

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

MU durch Messung bestimmen!

Sensor-Cassy Interface

stat. & system. Messungenauigkeit (4SC)



Messbereich: ± 3 V

Mean = (1.0572 ± 0.00004) V

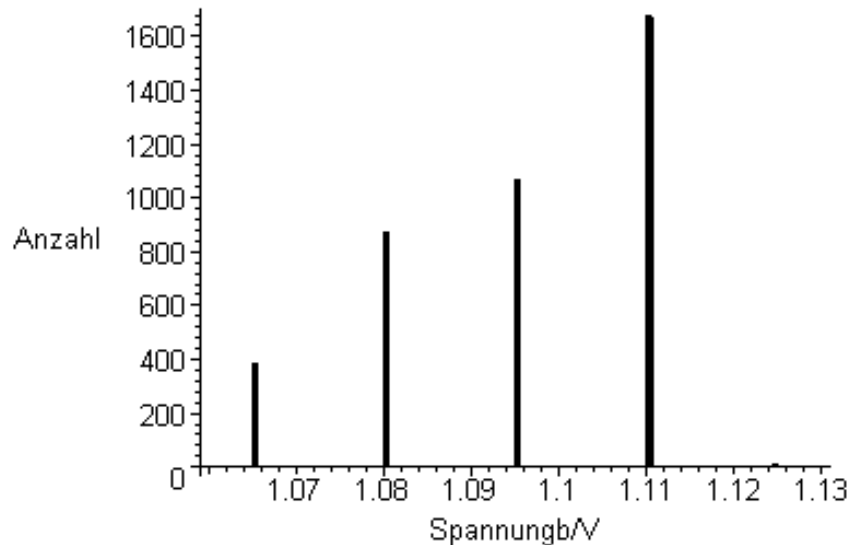
RMS = 2,5 mV

→ relativer Fehler: 2,4‰

Digitale Auflösung: 12 bit = 4096

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

→ „Fehler“ = 0,4 mV



Messbereich: ± 30 V

Mean = (1.095 ± 0.0000003) V

RMS = 15.2 mV

→ relativer Fehler: 1.4 ‰

Digitale Auflösung: 12 bit = 4096

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

→ „Fehler“ = 4.3 mV

MU durch Messung bestimmen!

Sensor-Cassy Interface

stat. & system. Messungenauigkeiten

Quellen für Messungenauigkeiten:

- Ableseunsicherheit, kleinste Skaleneinheit (Digitalisierung)
- Elektronisches Rauschen (weißes Rauschen → Gauß´förmig)
- Systematische Messunsicherheiten:
 $a \cdot X_i + b \cdot X_{BE}$

X_i : momentan eingestellter Wert; X_{BE} : Messbereichs-Endwert

Spannungsmessung: $a = 1\%$, $b = 0,5\%$, Strommessung: $a = 2\%$, $b = 0,5\%$

Beispiel: eingestellte Spannung 2V, Messbereich $\pm 100V$

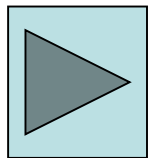
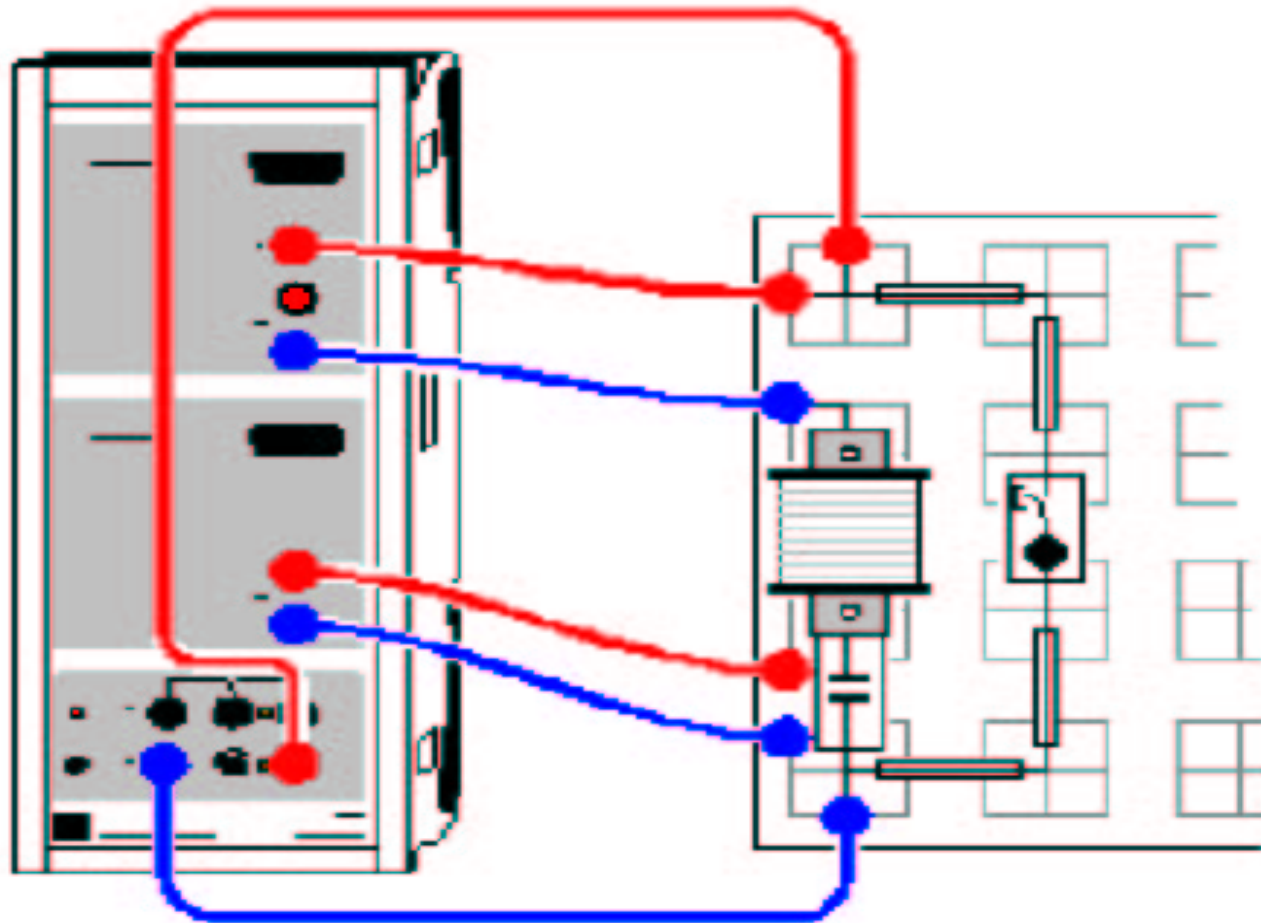
$$U_{sys} : (0,01 \cdot 2 + 0,005 \cdot 100) V = 0,52 V$$

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

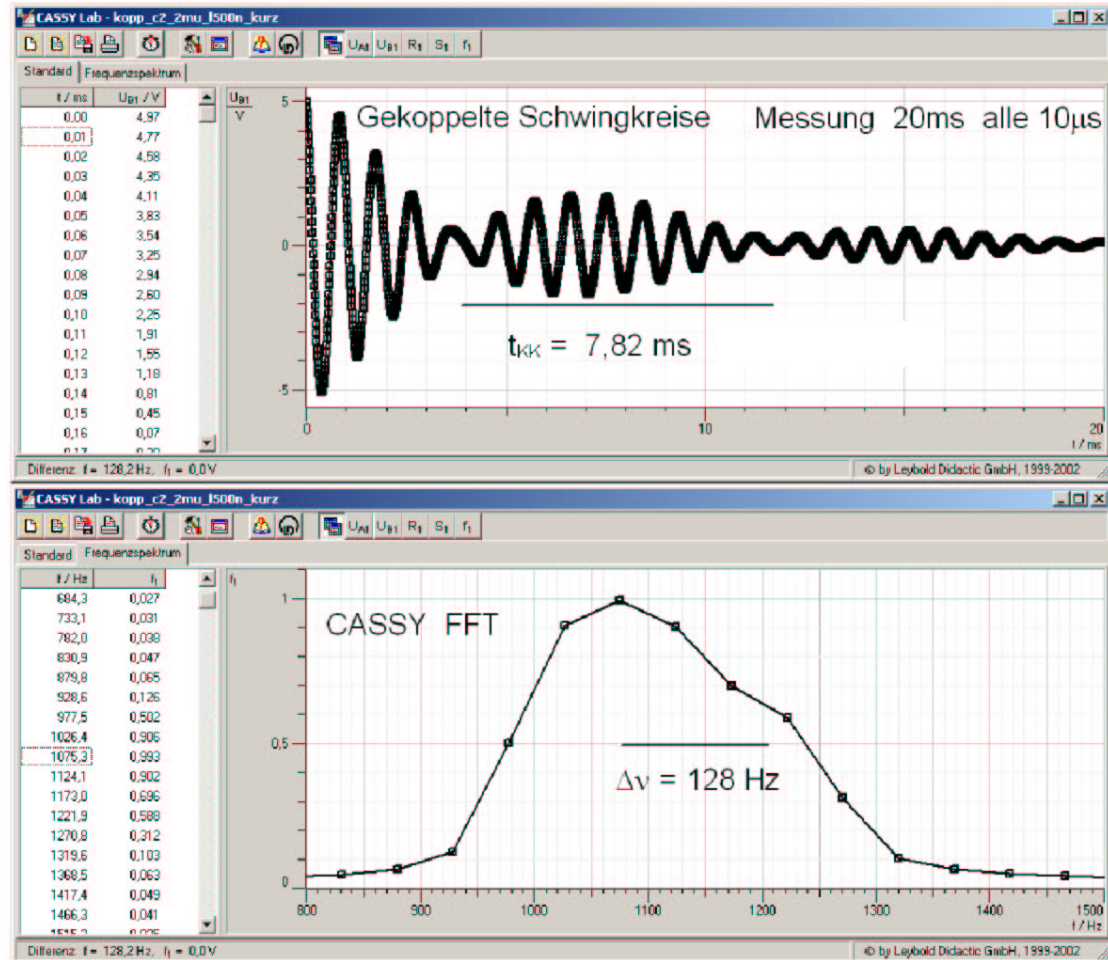
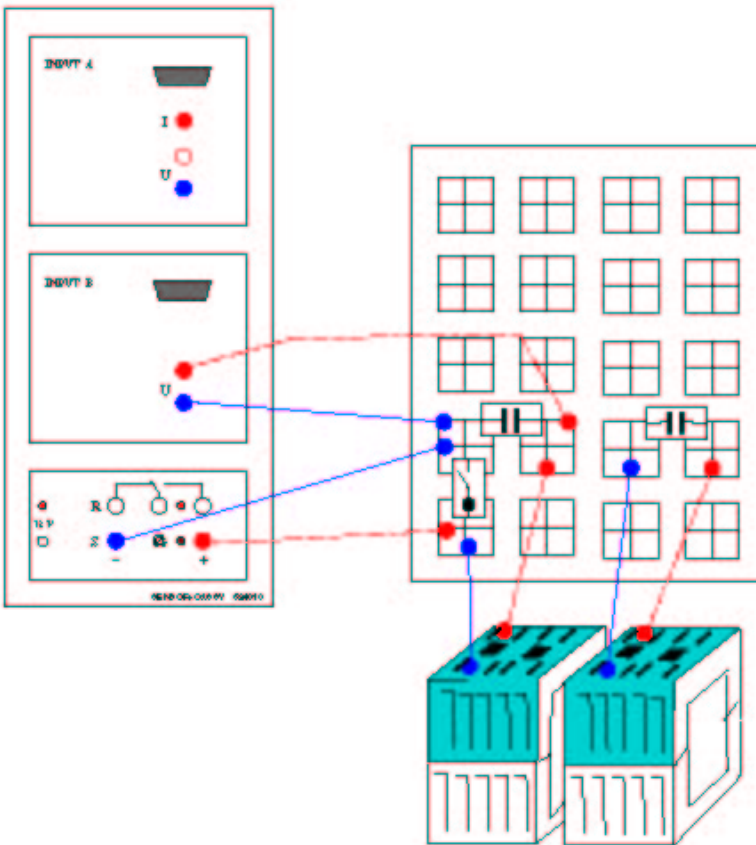
Relativer Fehler: $\sigma_{U_{sys}} / U_i = 15 \% !$

Sinnvolle Messbereich vorher überlegen und MU durch Messung bestimmen!

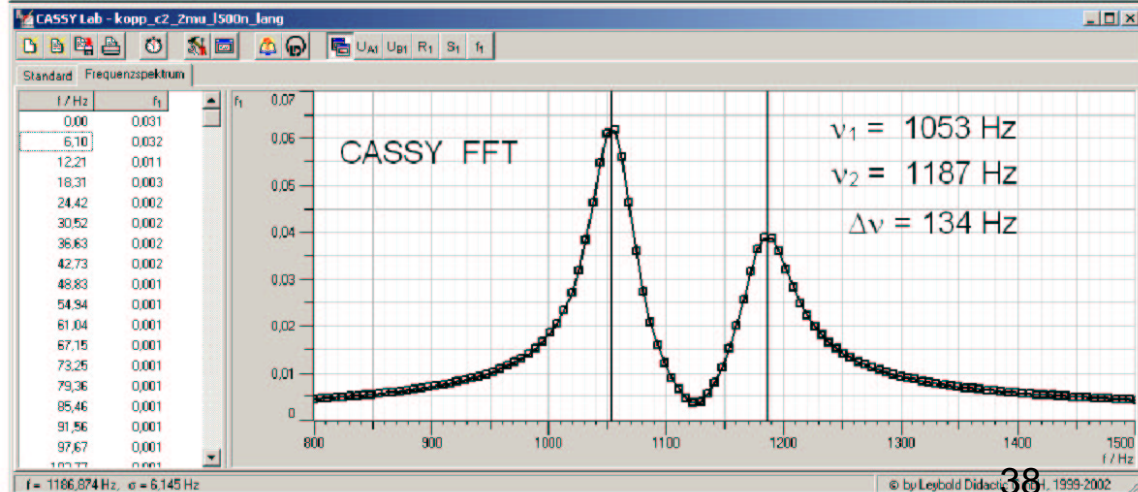
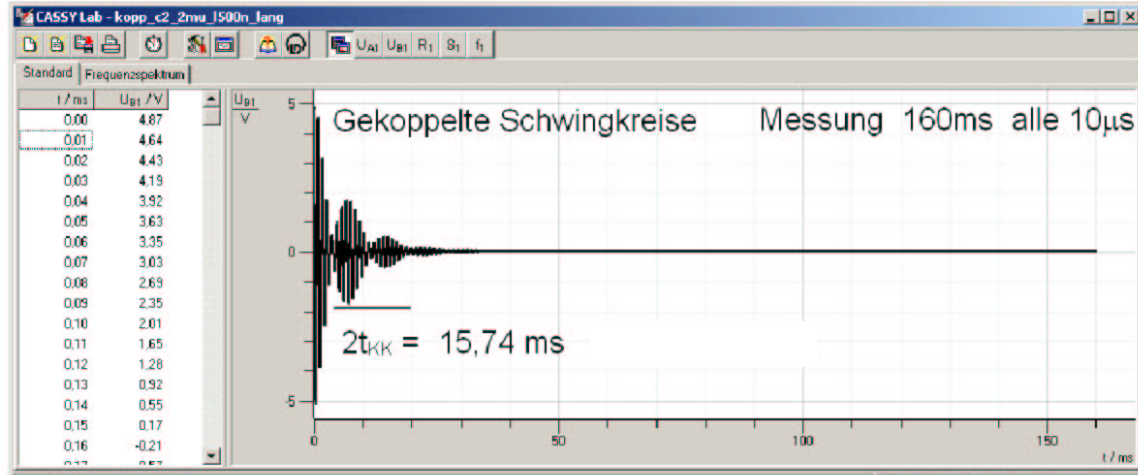
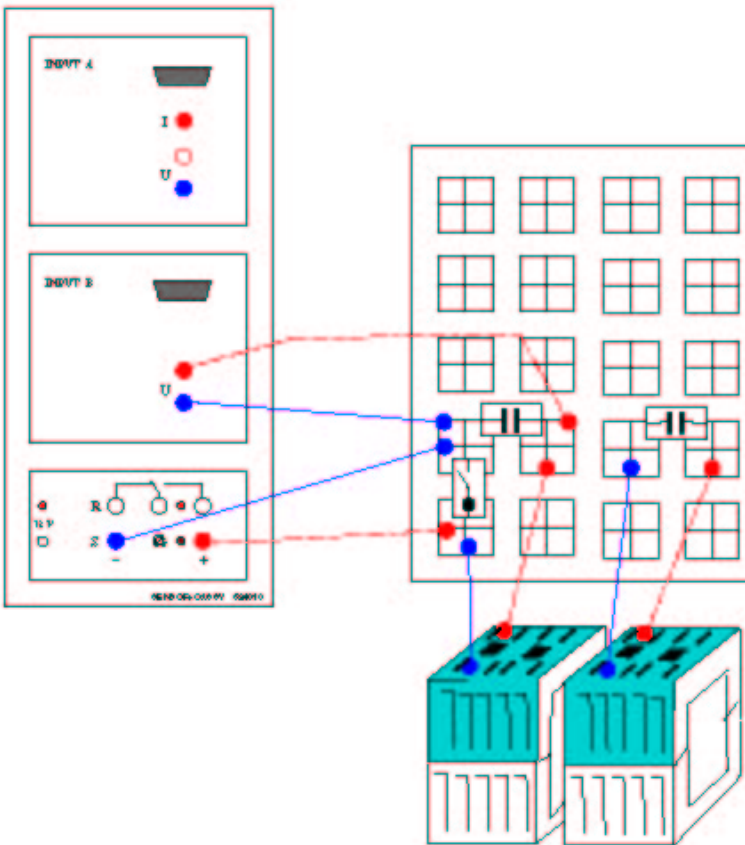
Gedämpfter Schwingkreis



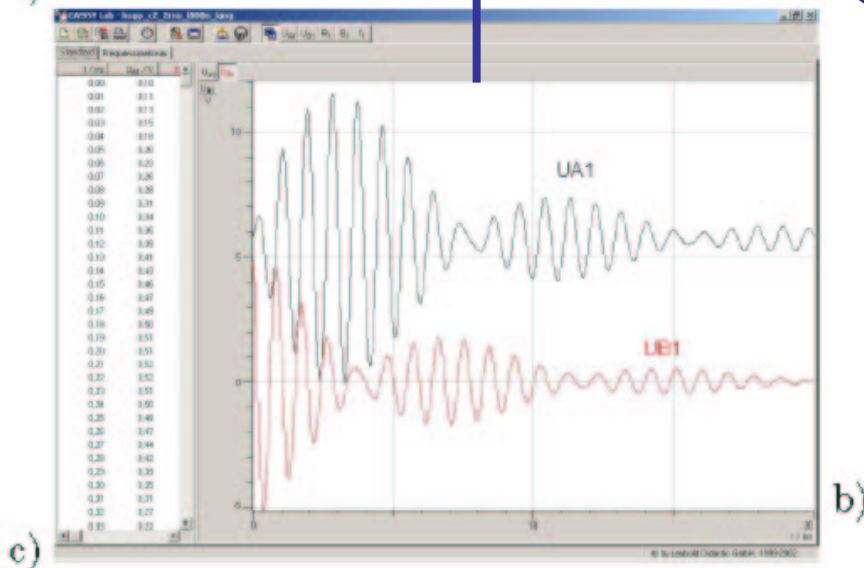
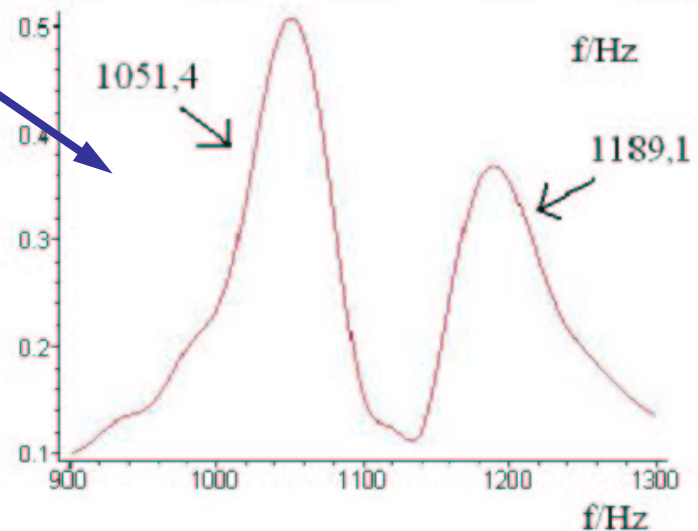
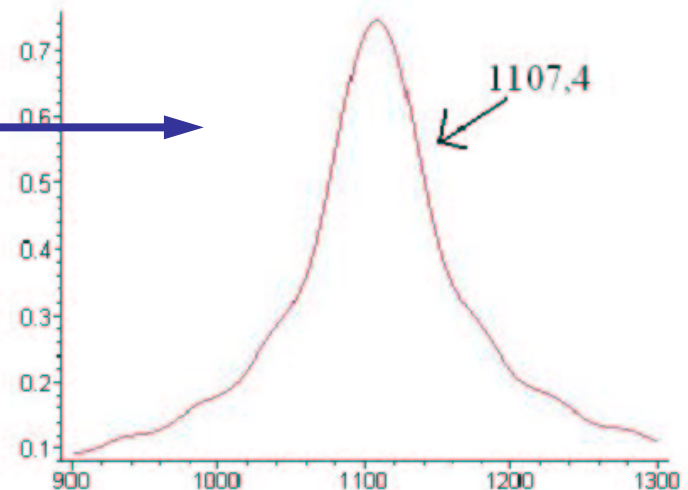
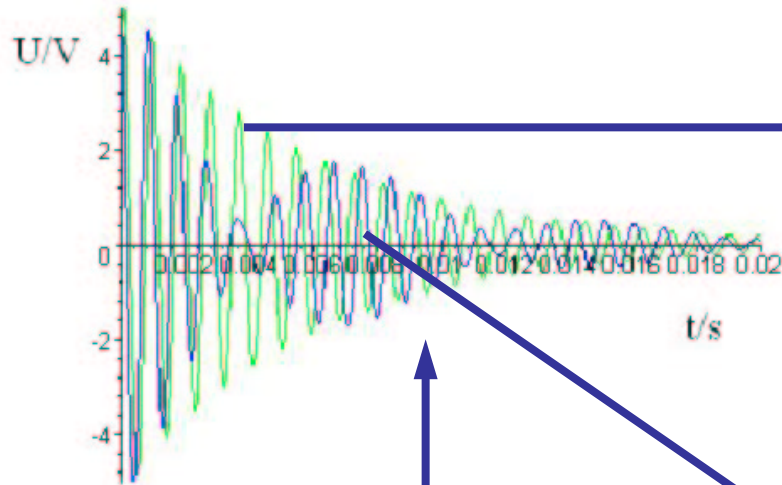
Gekoppelte Schwingungen oder das Ende der CASSY FFT



Gekoppelte Schwingungen oder das Ende der CASSY FFT



Gekoppelte Schwingungen oder das Ende der CASSY FFT



Zusammenfassung Sensor Cassy



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

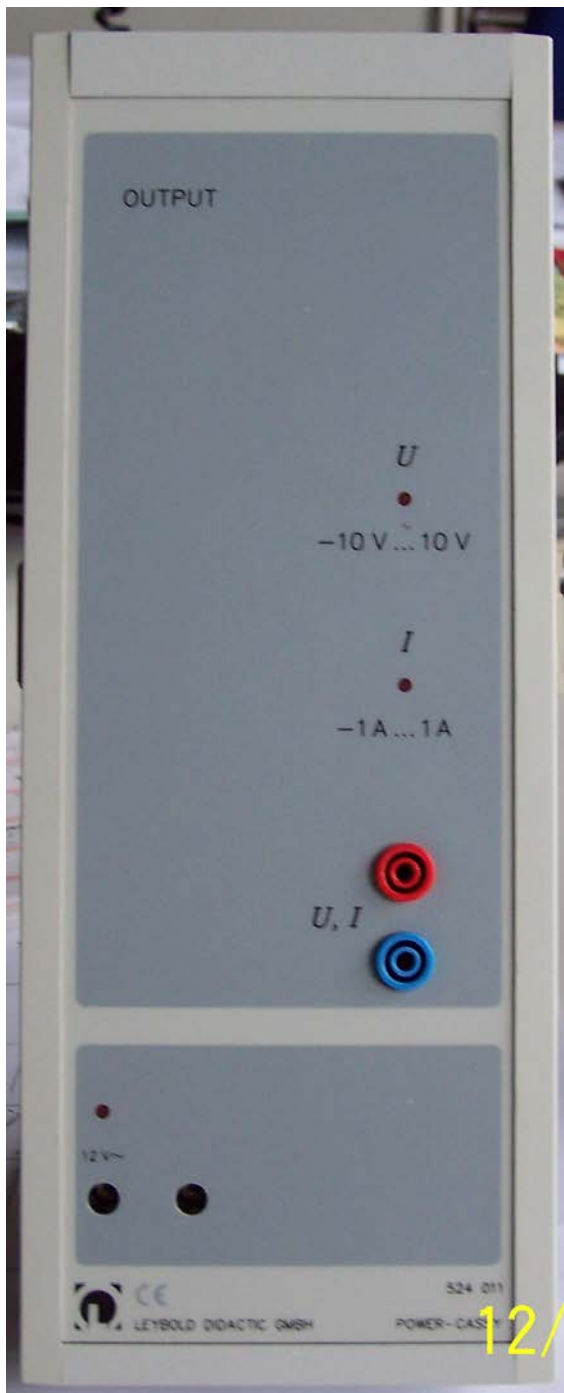
Power Cassy

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

Anschluß an serielle Schnitt-
stelle RS232 des PCs

Spannungsversorgung:

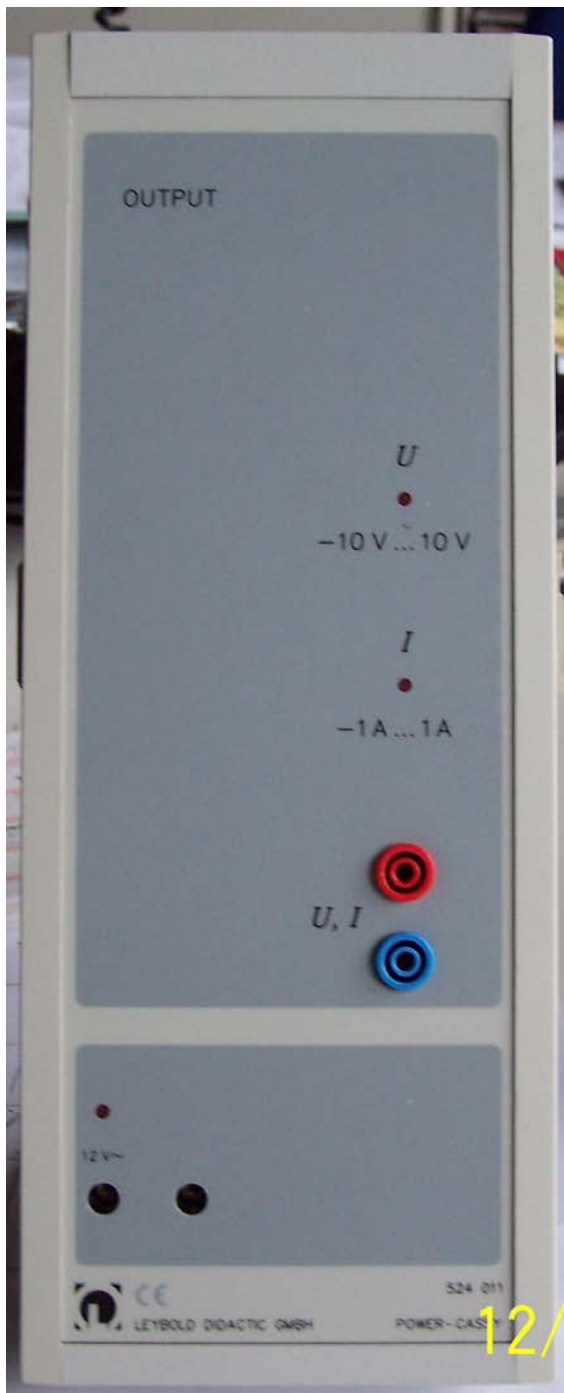
12V AC/DC über Hohlstecker oder
benachbartes Cassy-Modul



Power Cassy

Programmierbare Stromquelle mit gleichzeitiger Spannungsmessung:

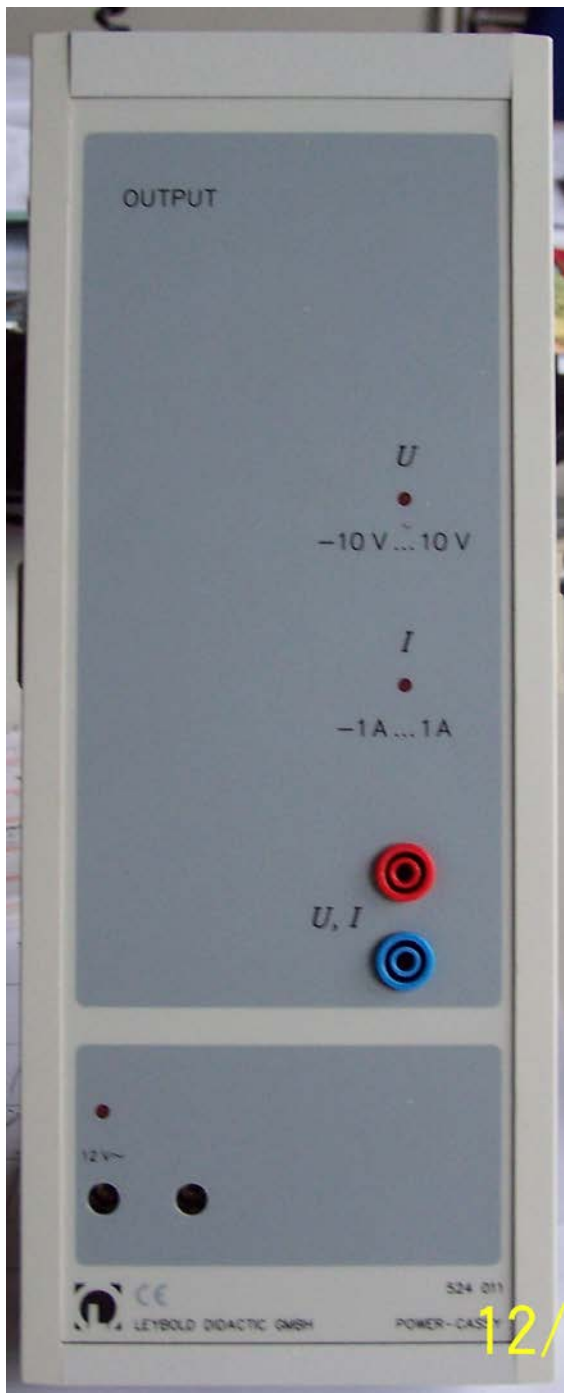
- Auflösung: 12 Bit
- Aussteuerbereich: ± 1 A
- Messbereiche: $\pm 1/3/10$ V
- Abtastrate: max. 200.000 Werte/s
(=100.000 Werte/s Spannung und Strom)



Power Cassy

Programmierbare Spannungsquelle mit gleichzeitiger Strommessung:

- Auflösung: 12 Bit
- Aussteuerbereich: ± 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

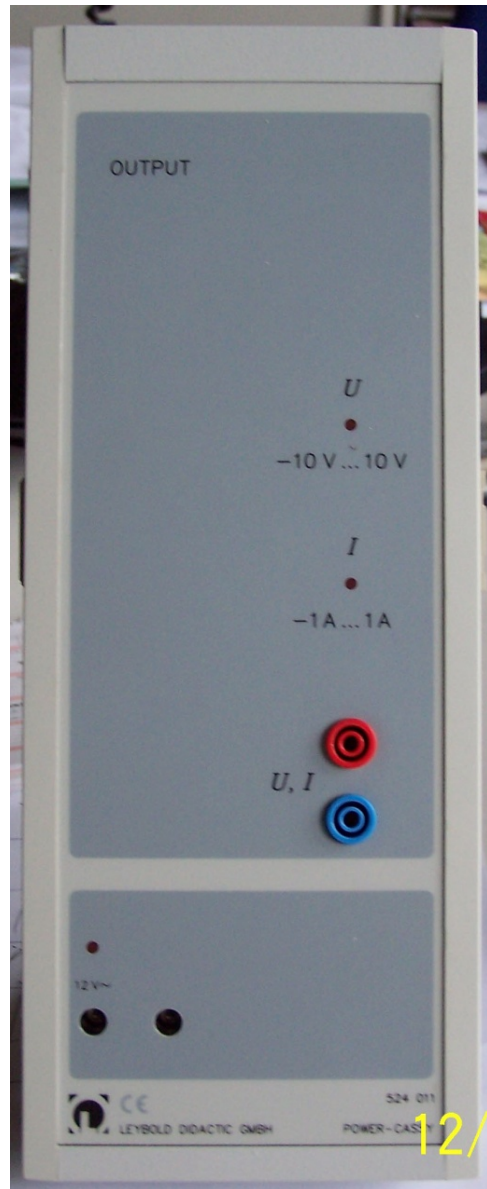
Power Cassy:

Sinusspannung mit

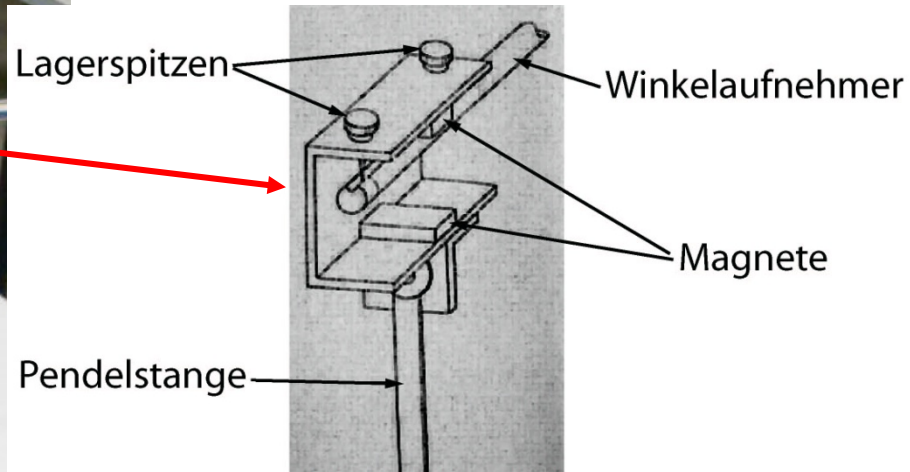
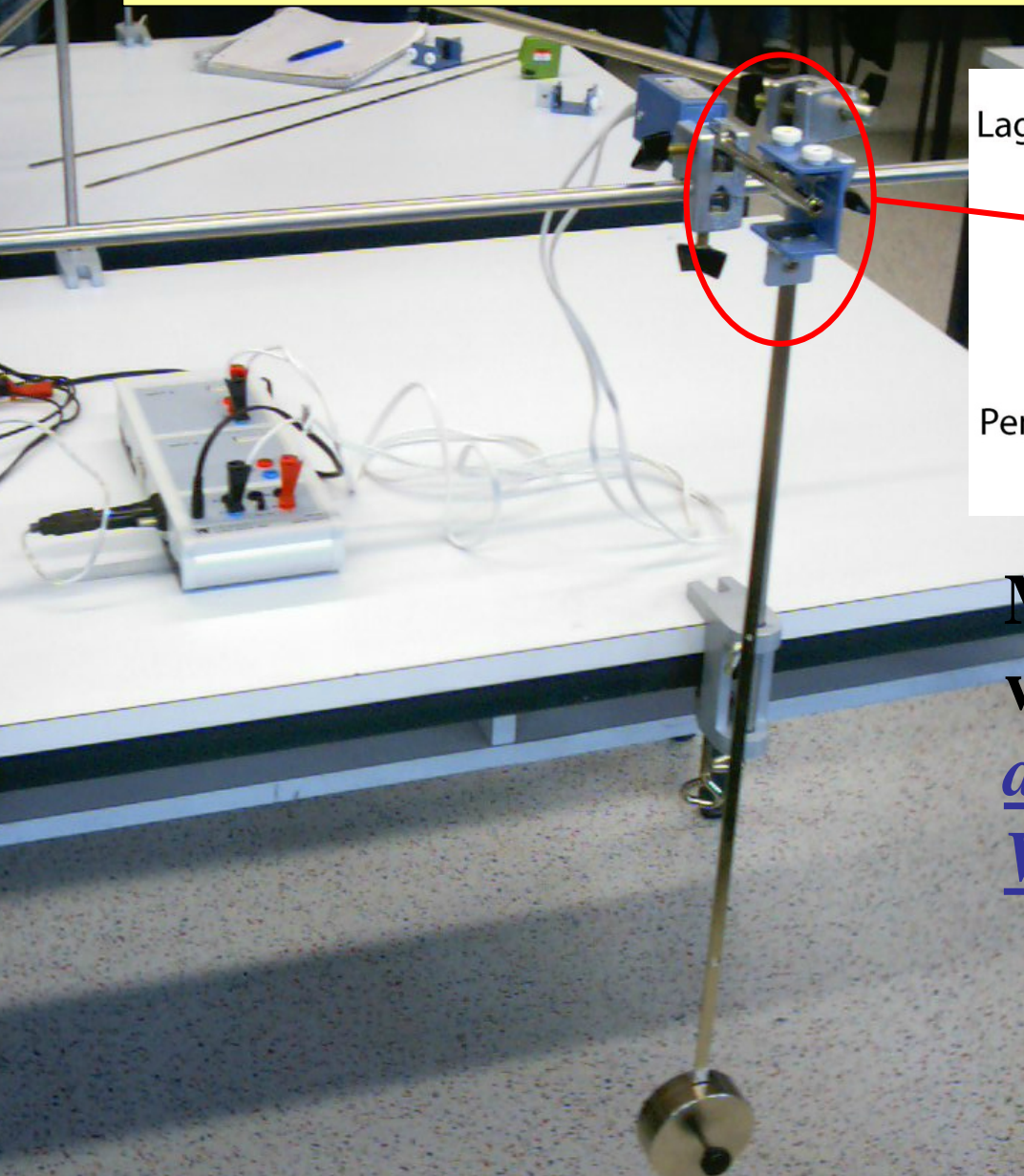
$f = ?$ Hz

Sensor Cassy:

Welche f (FFT) ?



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

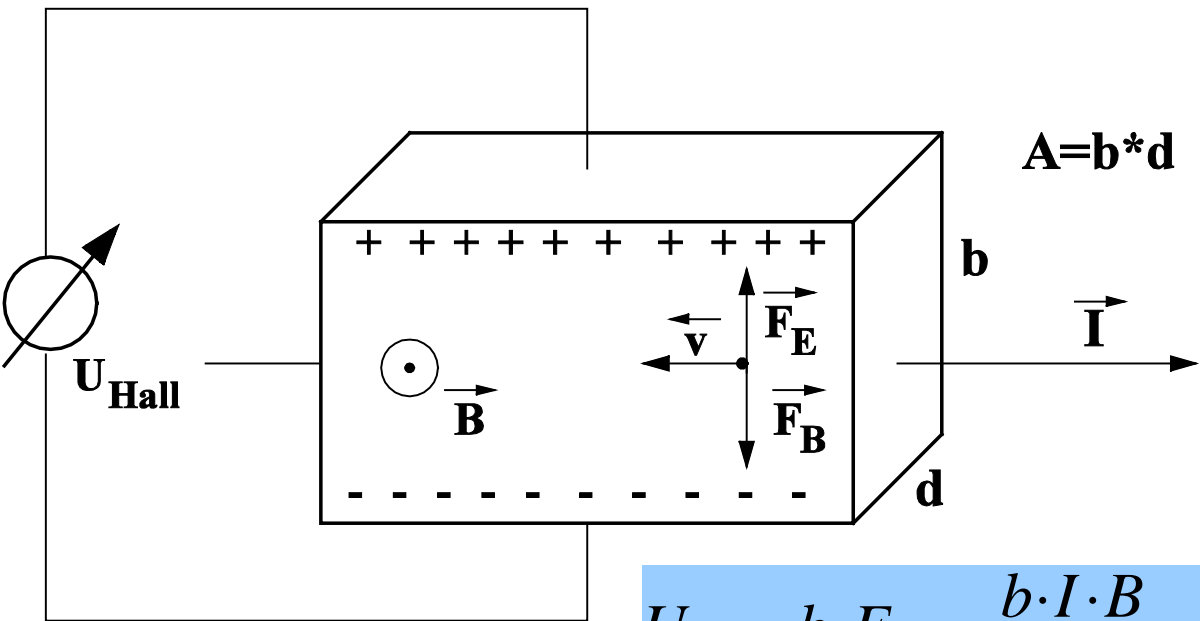
\rightarrow Ladungstrennung \rightarrow E-Feld: $\vec{E} \perp \vec{I}$ und $\vec{F}_E = q \cdot \vec{E}$

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

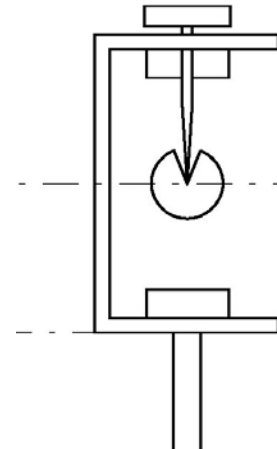
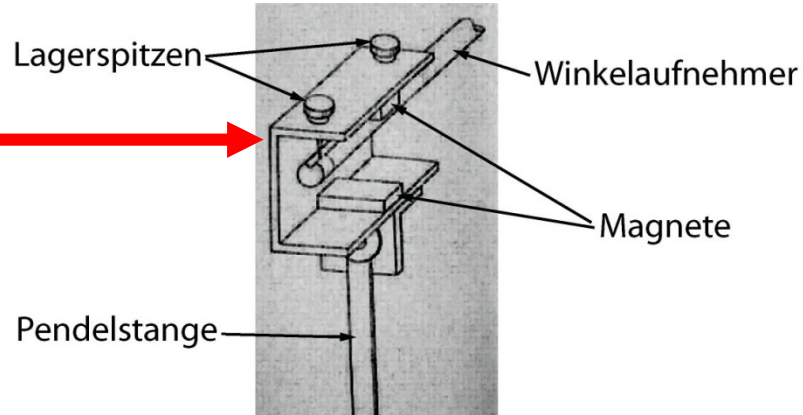
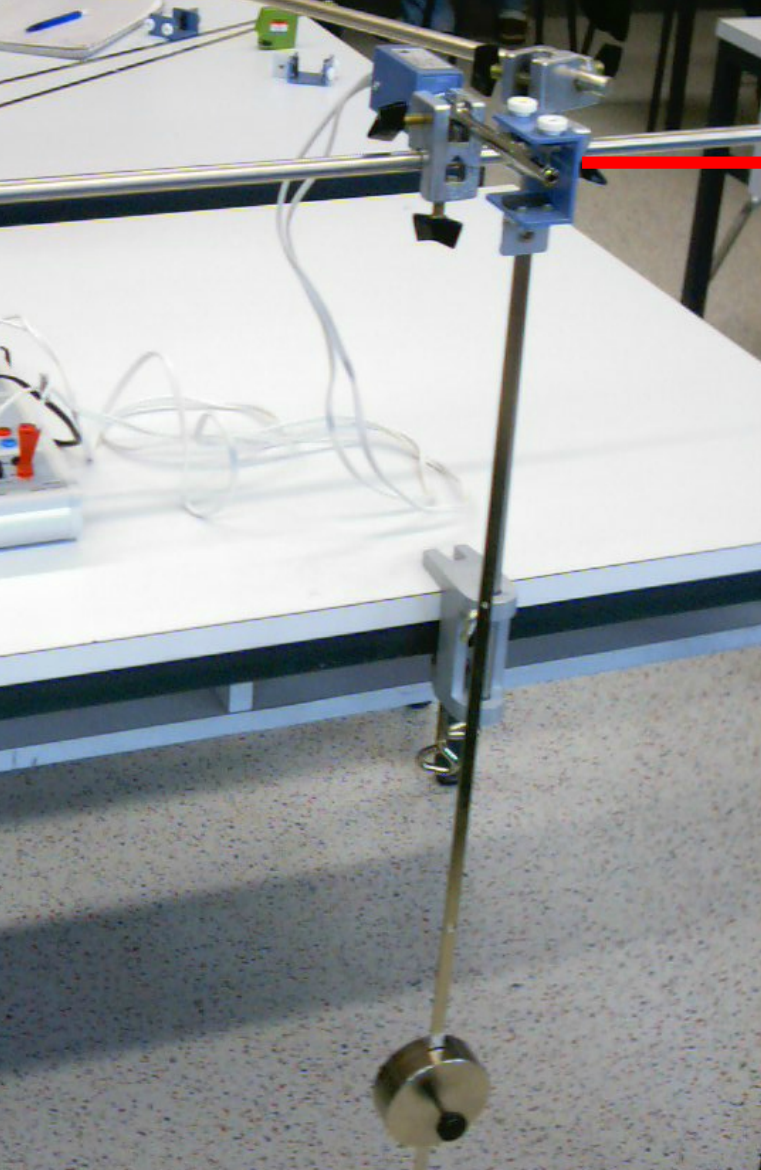
allgemein: $\vec{I} = q \cdot n \cdot A \cdot \vec{v}$

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

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



Spannungsmessung mit Hallsonde



Orientierung der Sonde \rightarrow Empfindlich

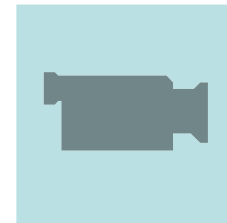
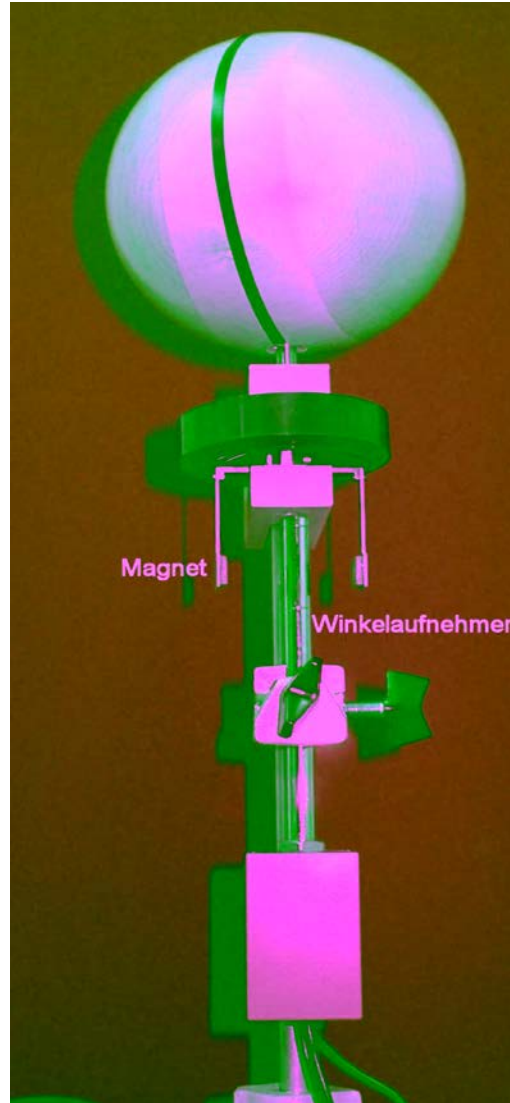
auf horizontale B-Komponente B_h

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:

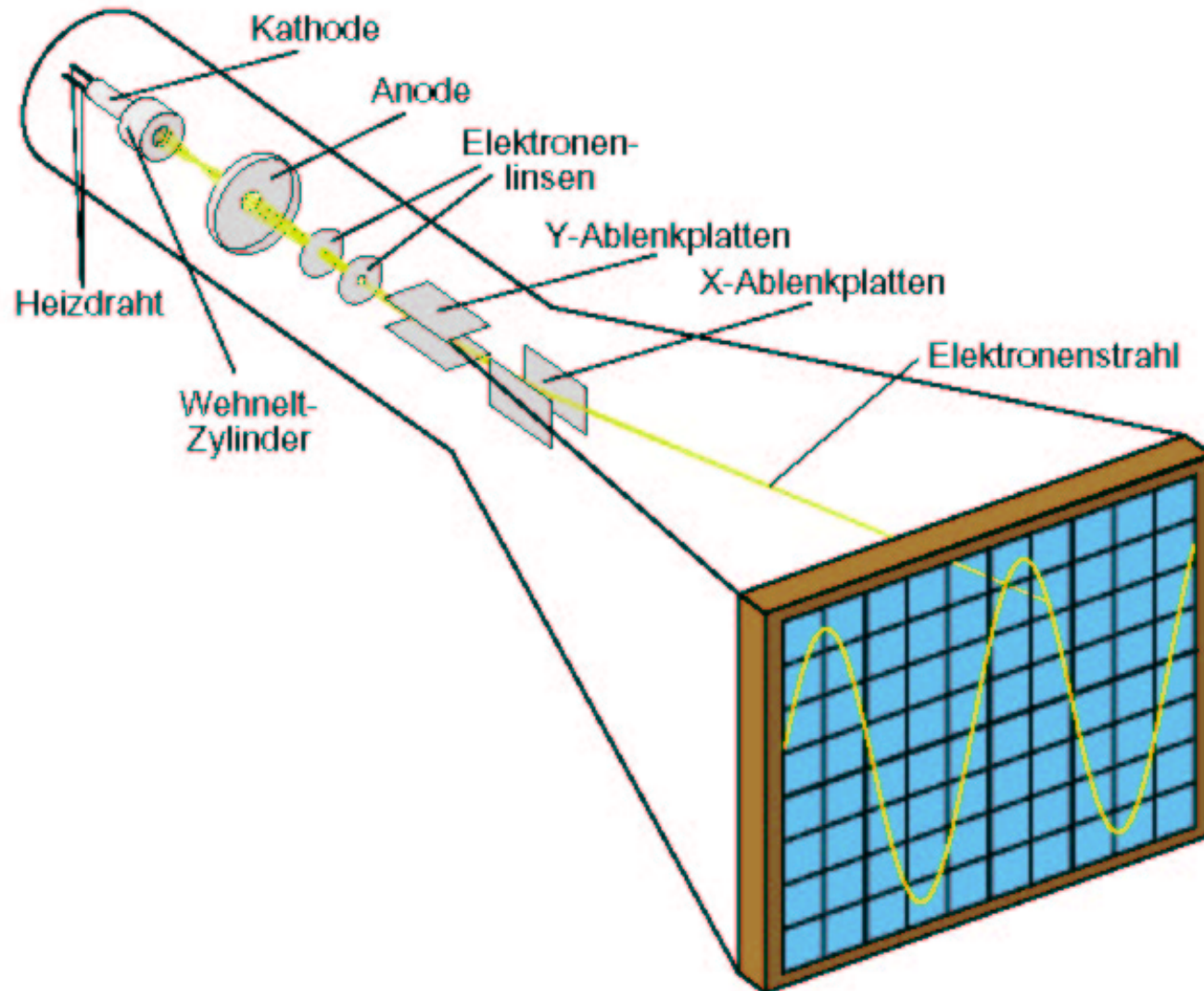
$-20\text{ °C} < T < +70\text{ °C}$: $0,2\text{ °C}$

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

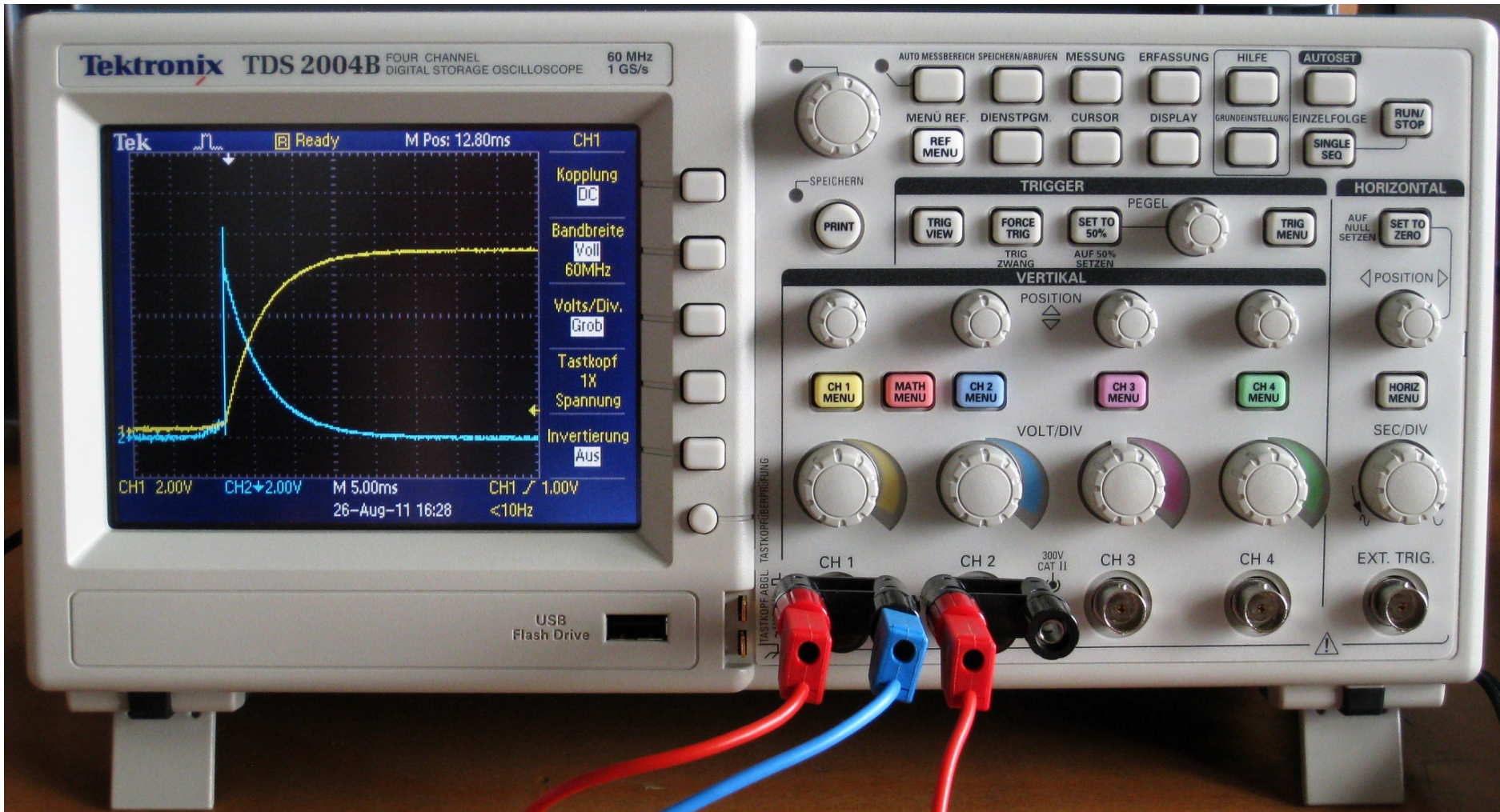
Ansprechzeit:

$>7\text{ s}$ in Flüssigkeiten

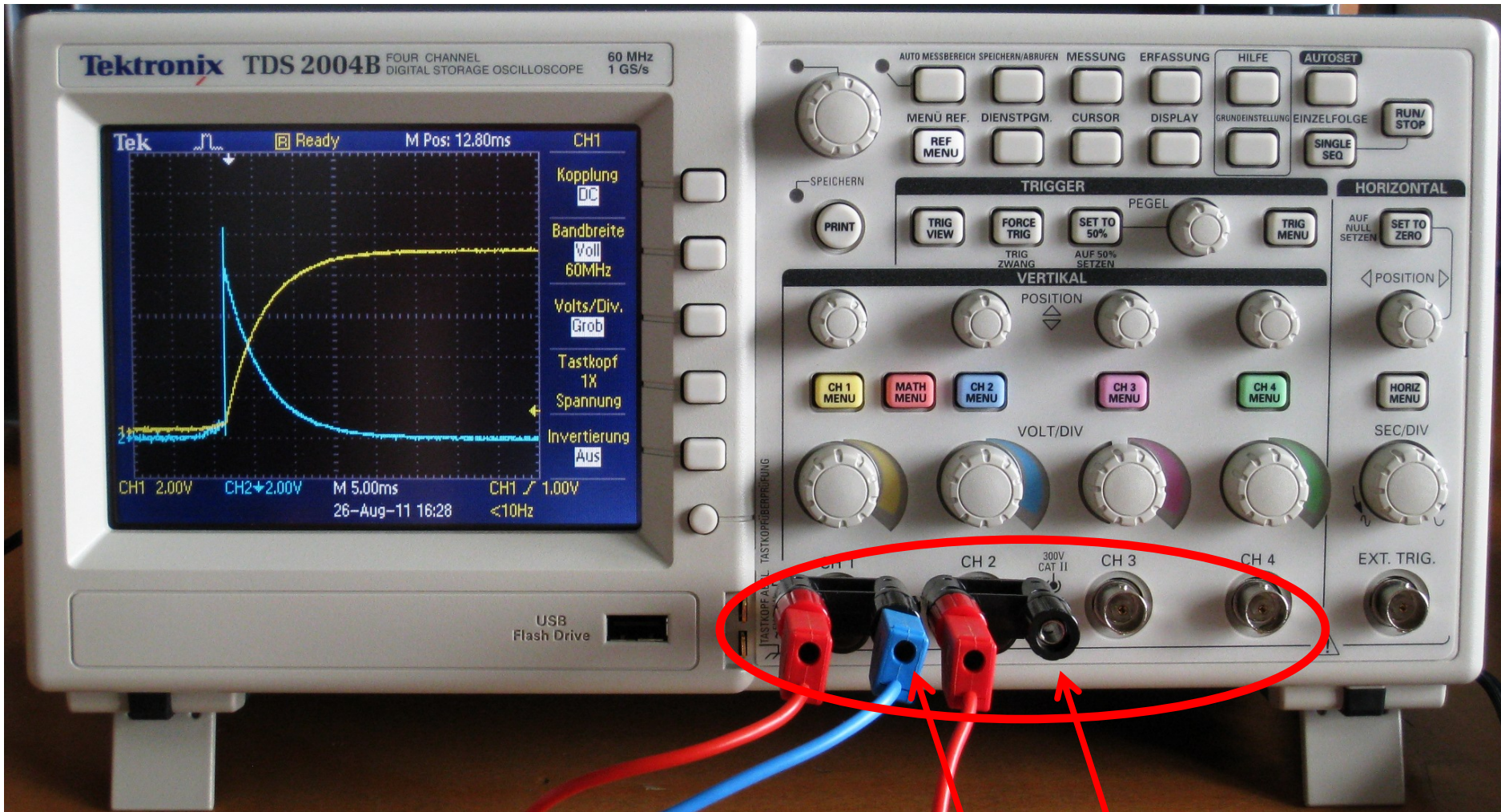
Oszilloskop (Braunsche Röhre)



Digital Oszilloskop

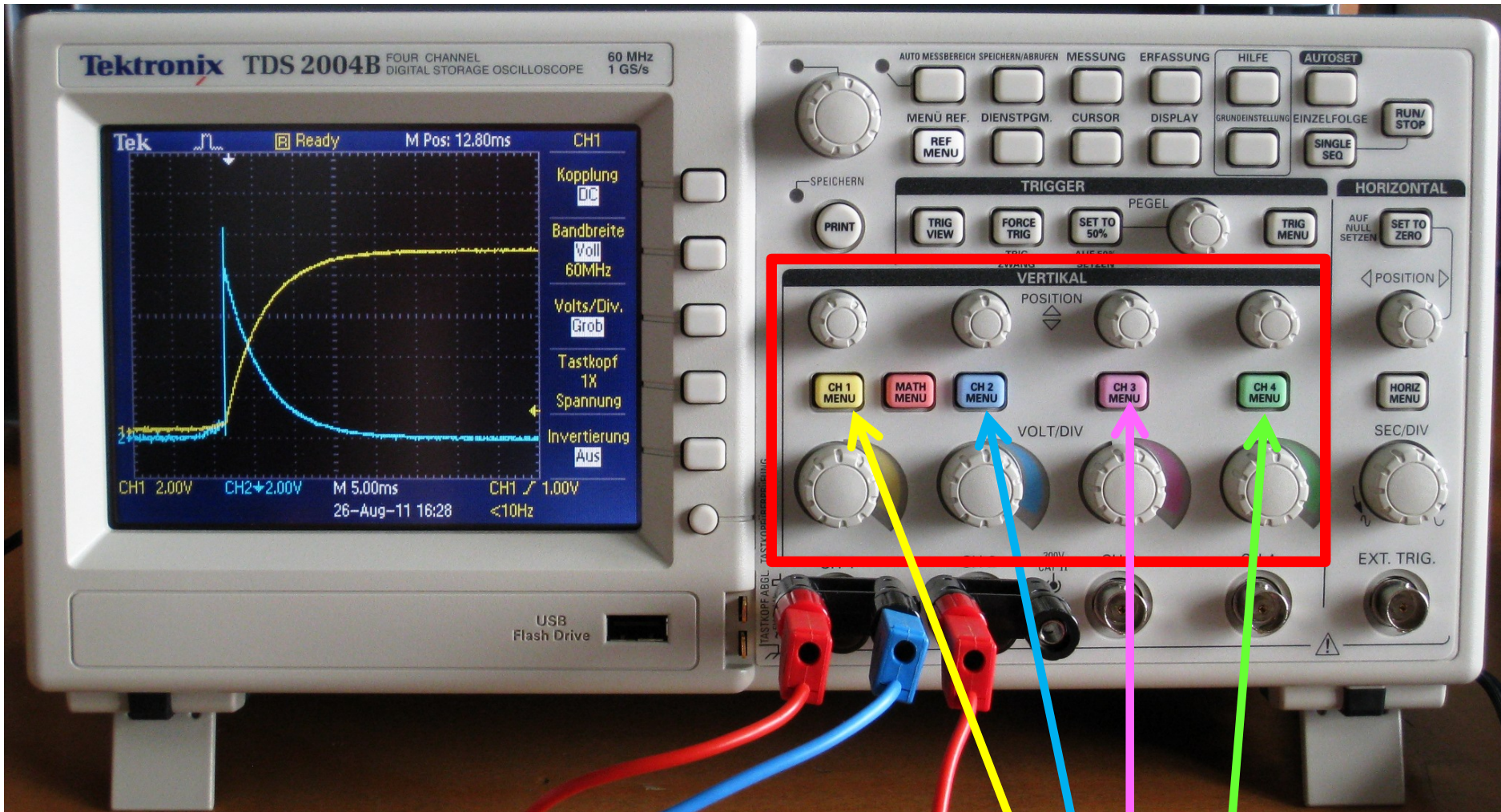


Digital Oszilloskop



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

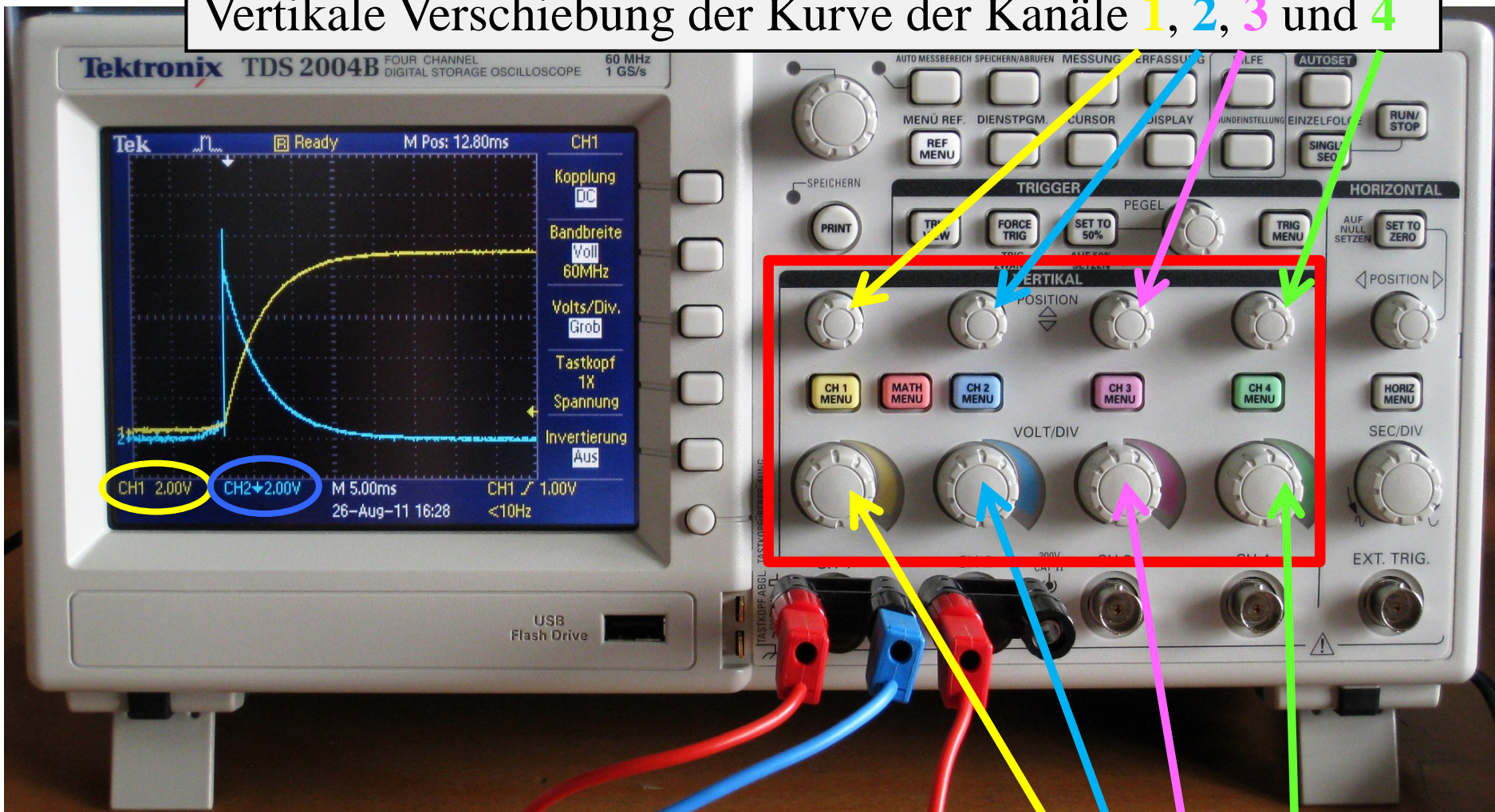
Digital Oszilloskop



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

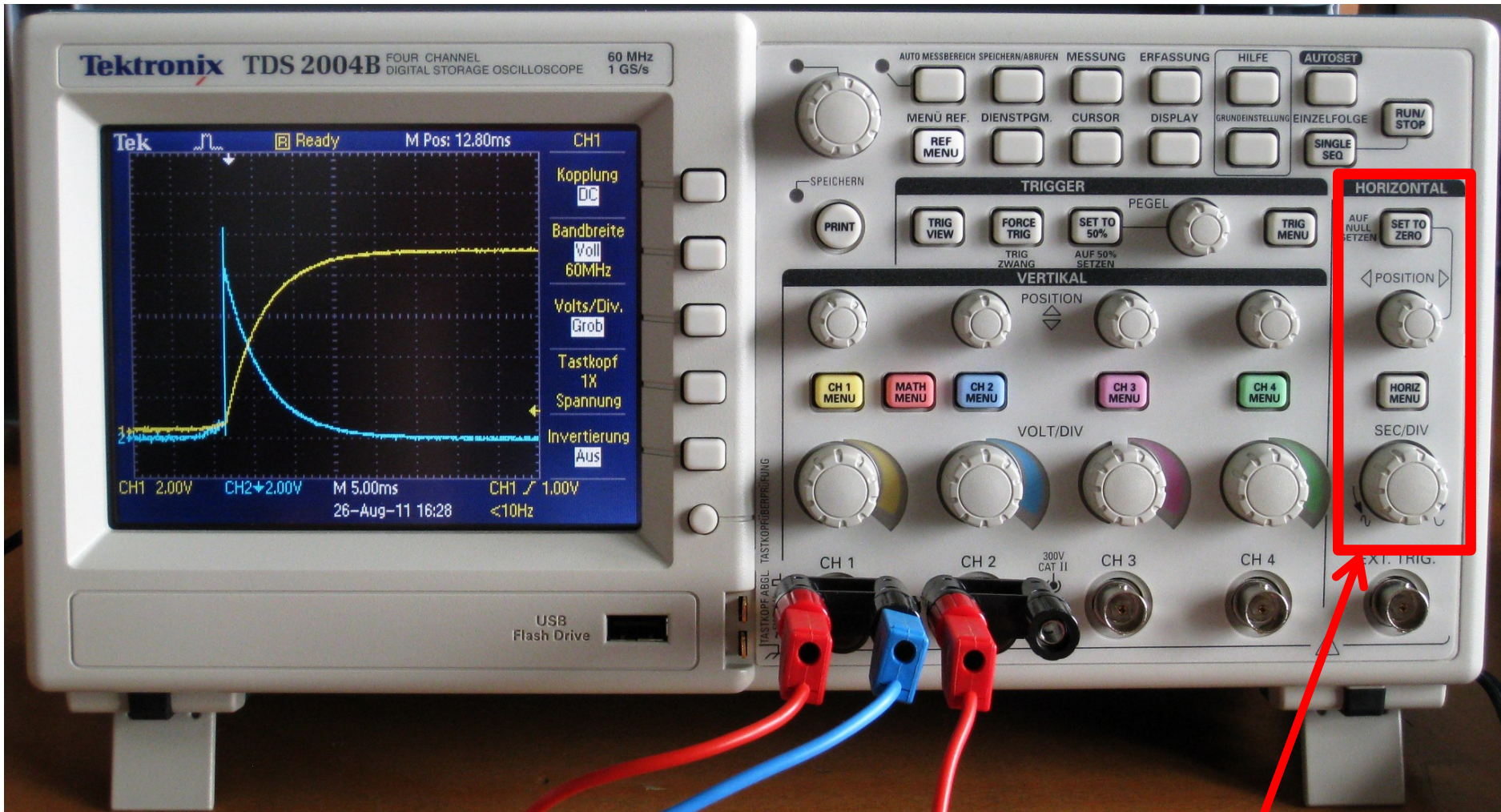
Digital Oszilloskop

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



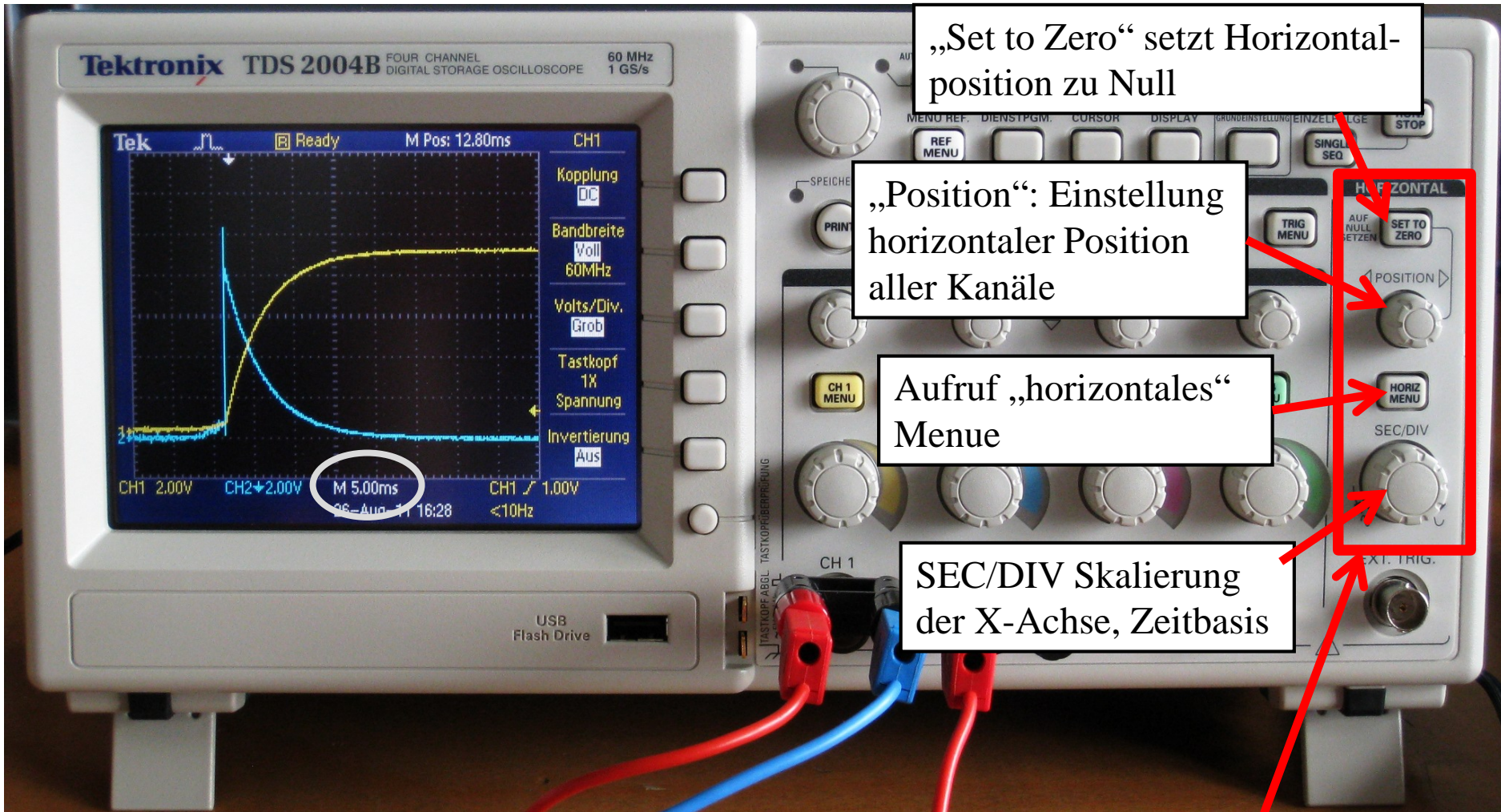
Volt/Div Einstellung der Skalierung der y-Achsen der Kanäle 1, 2, 3 und 4

Digital Oszilloskop



Horizontale Einstellungen

Digital Oszilloskop



„Set to Zero“ setzt Horizontalposition zu Null

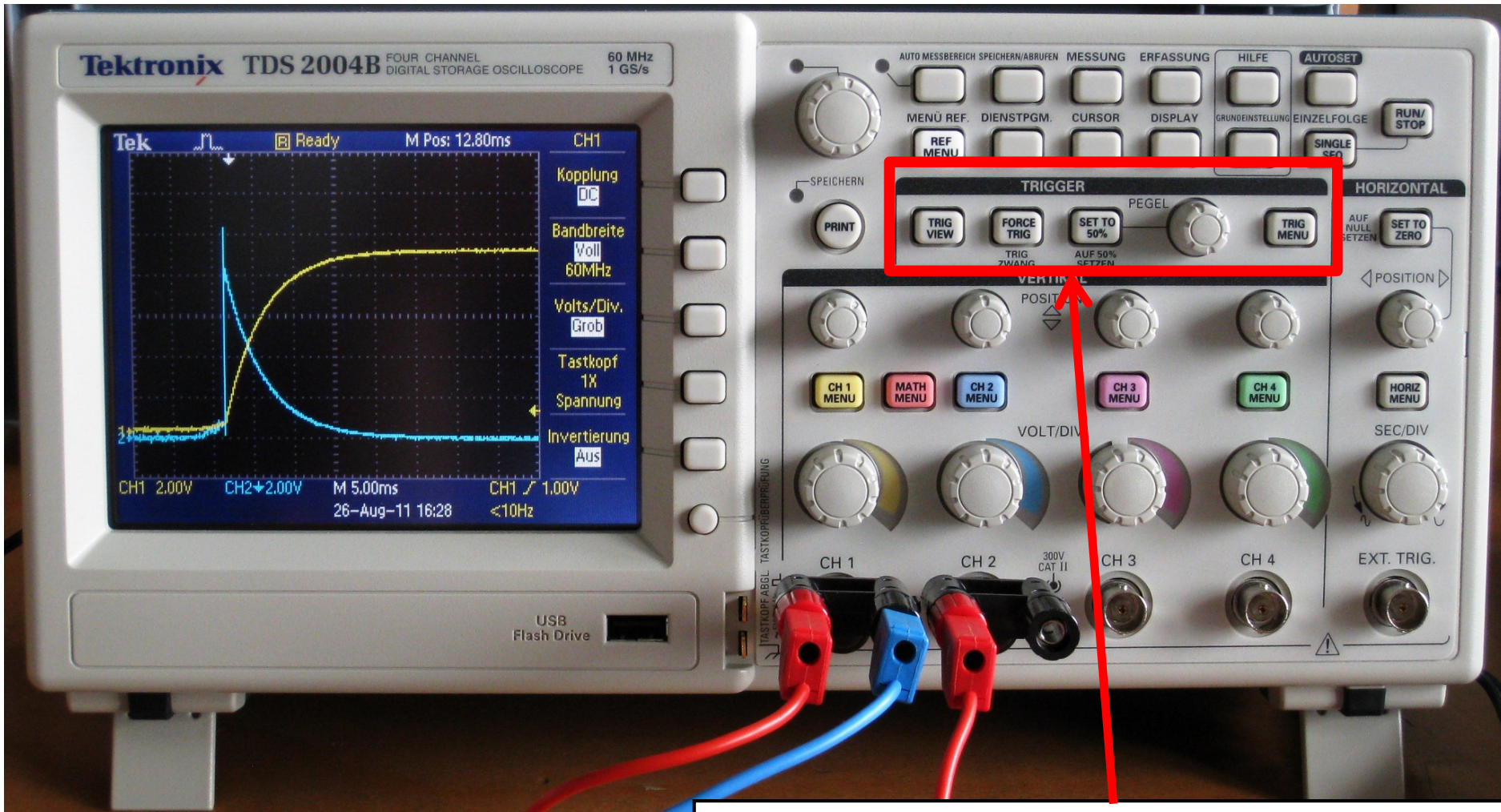
„Position“: Einstellung horizontaler Position aller Kanäle

Aufruf „horizontales“ Menue

SEC/DIV Skalierung der X-Achse, Zeitbasis

Horizontale Einstellungen

Digital Oszilloskop

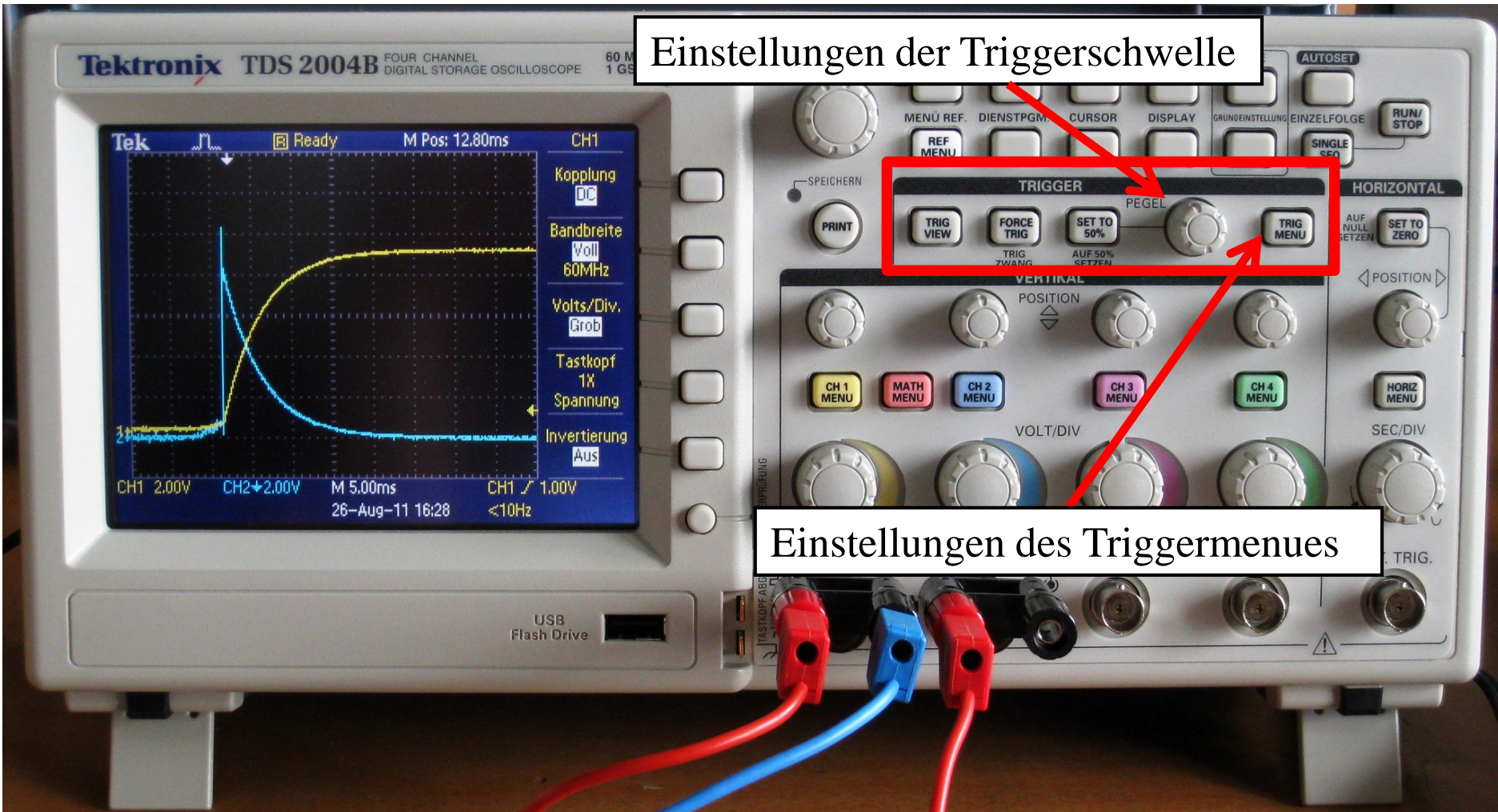


Einstellungen des Triggers, der steuert, wann ein Signal auf Display angezeigt werden soll

Digital Oszilloskop

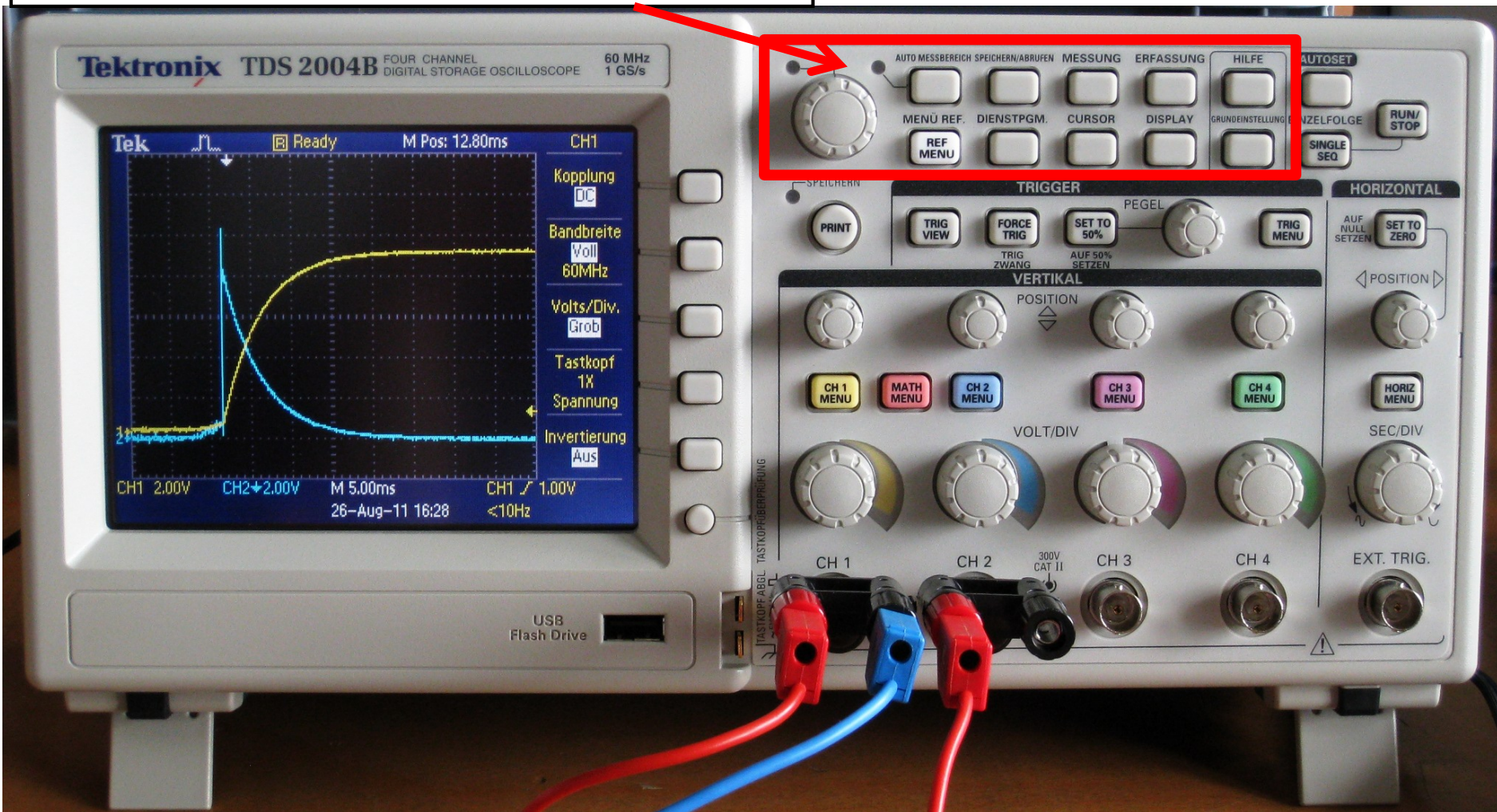
Einstellungen der Triggerschwelle

Einstellungen des Triggermenues

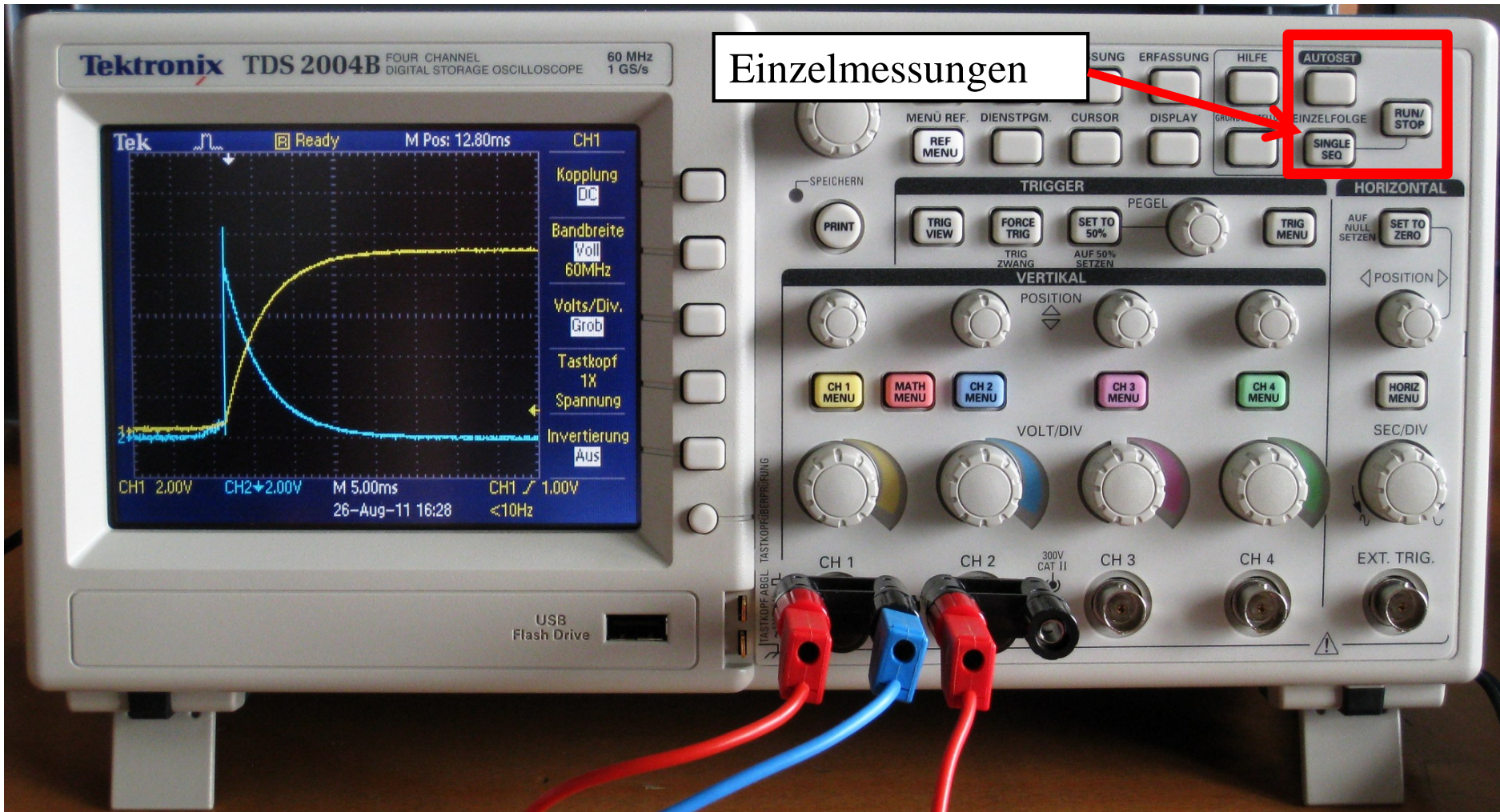


Digital Oszilloskop

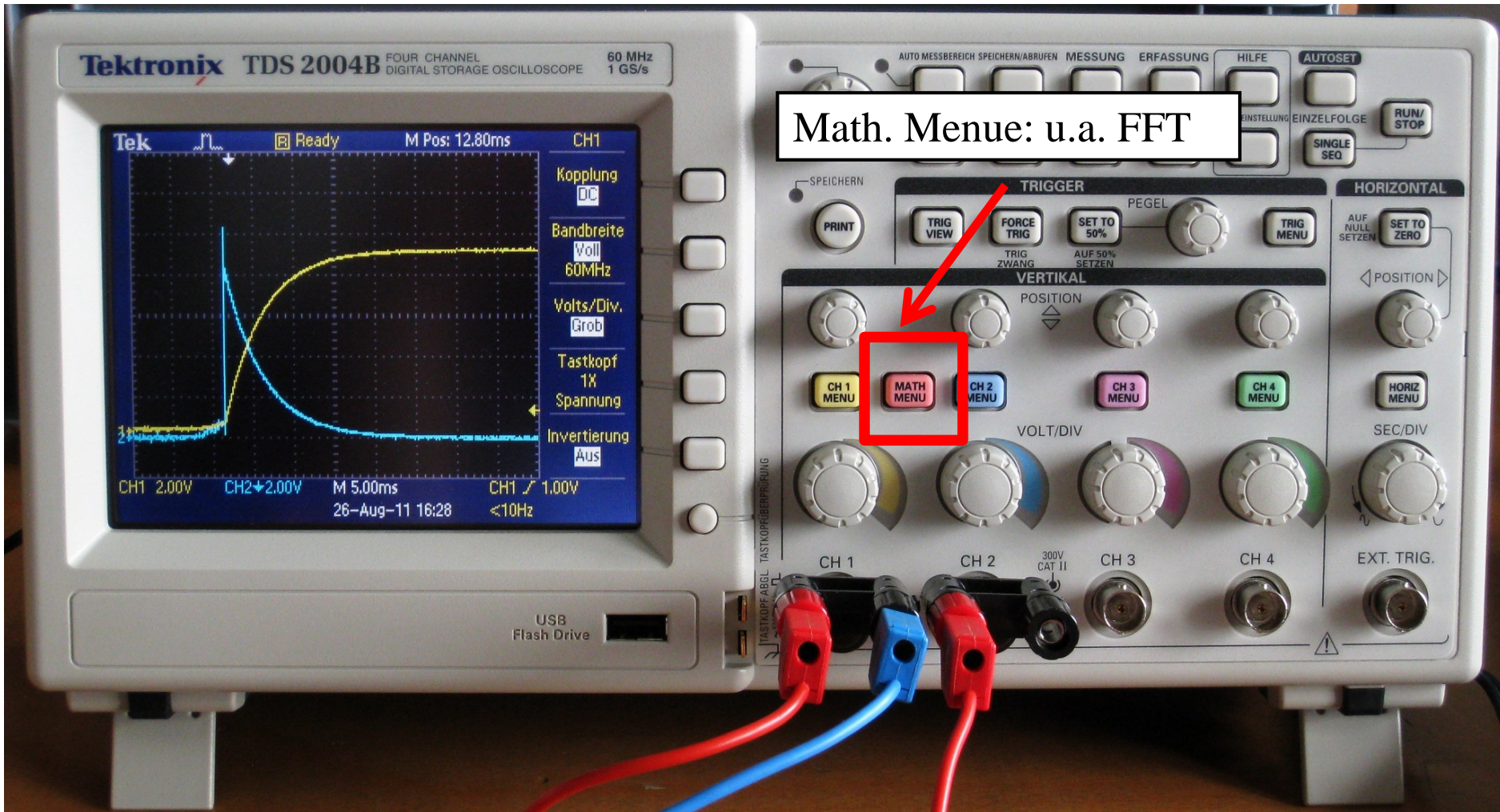
Allgem. Einstellungen, Cursor, Messungen



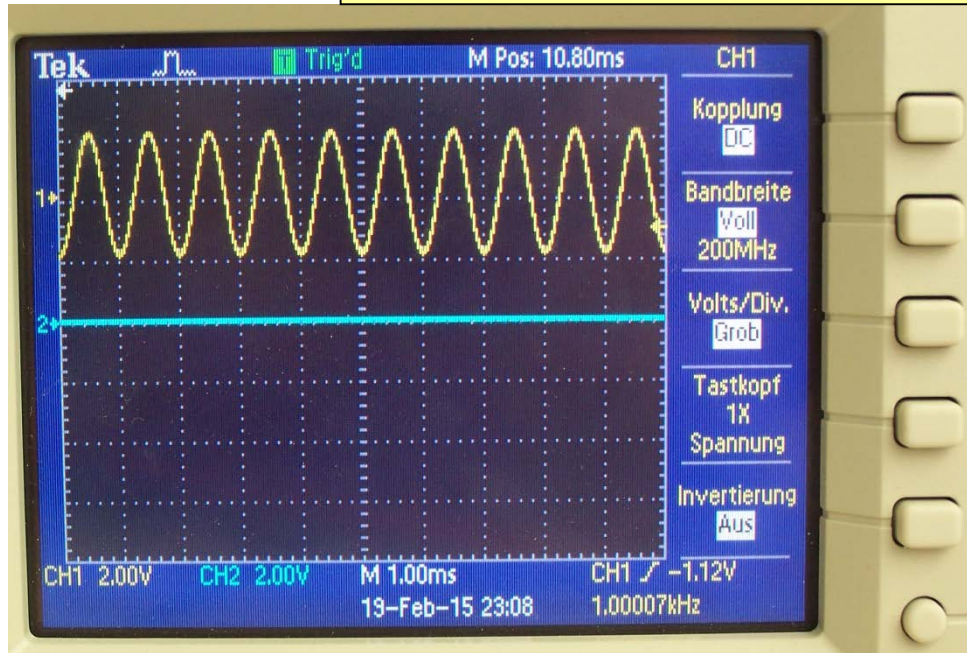
Digital Oszilloskop



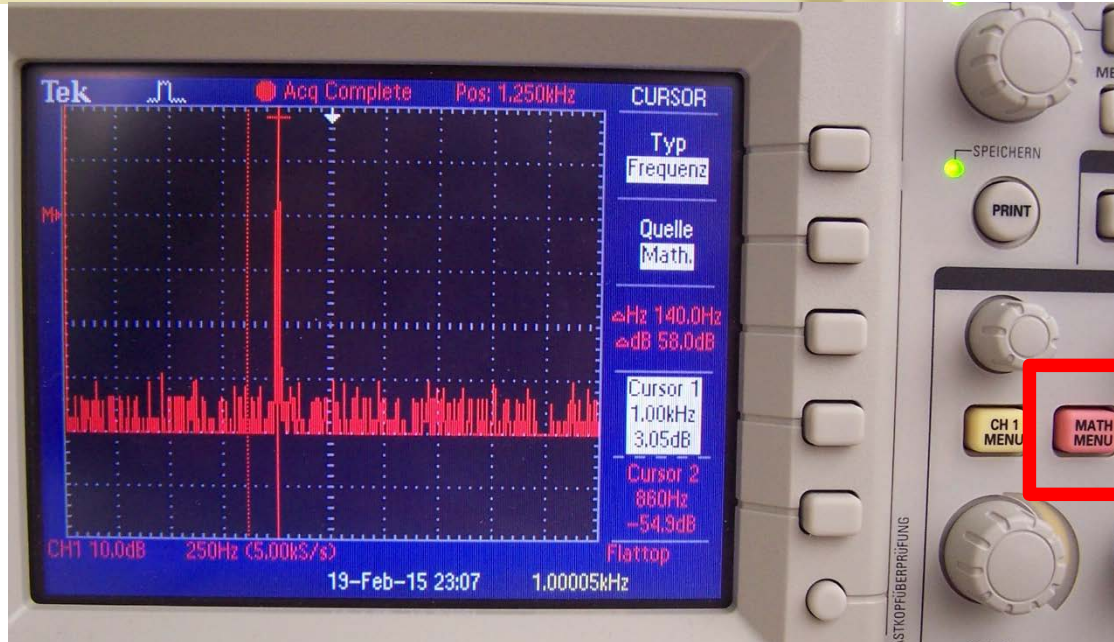
Digital Oszilloskop



Digital Oszilloskop

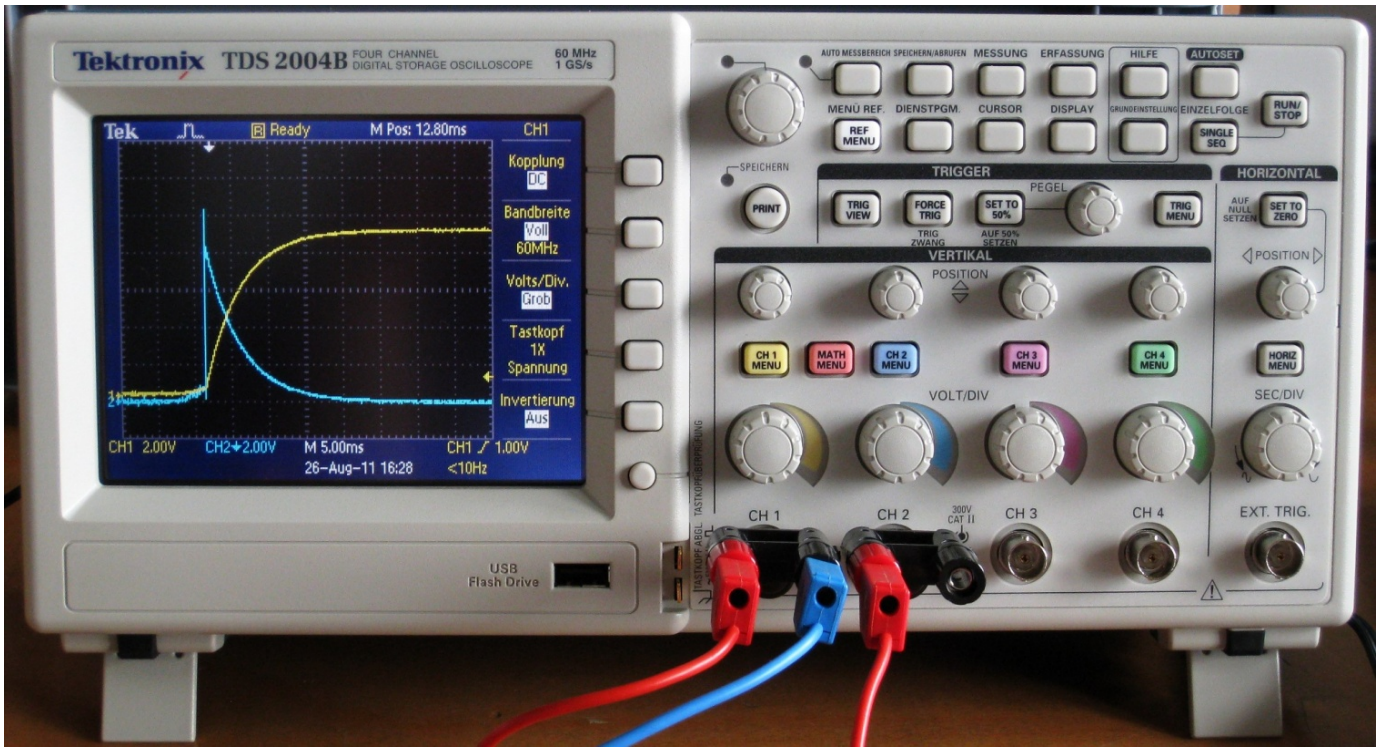
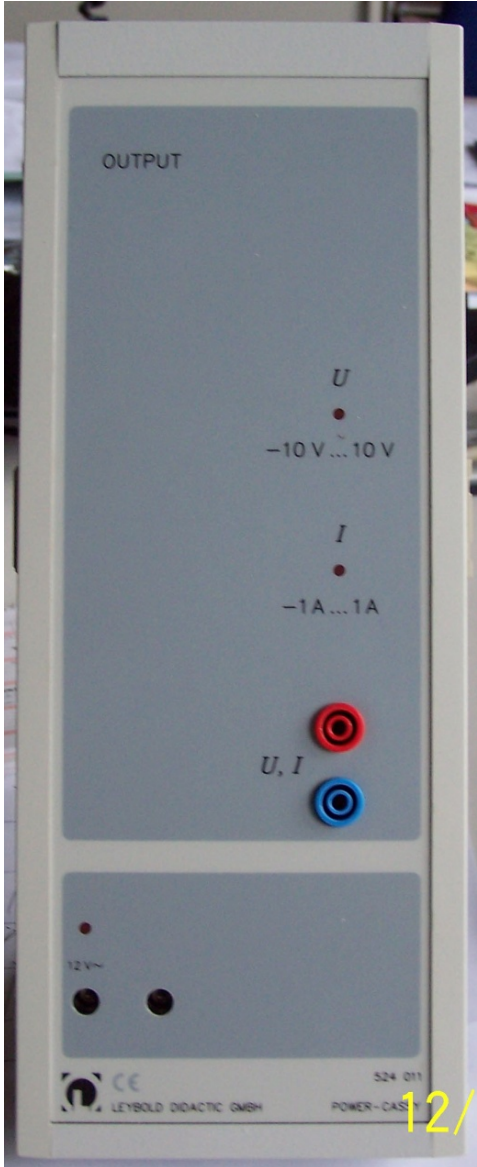


FFT einer Einzelmessung einer Schwingung

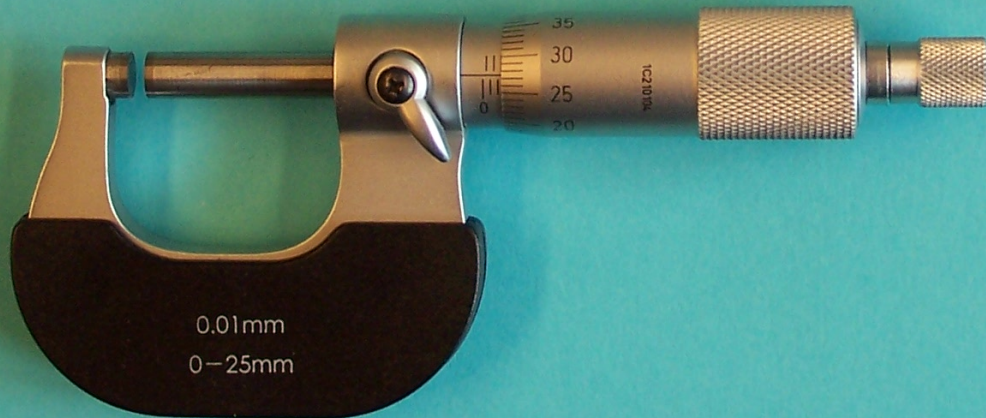
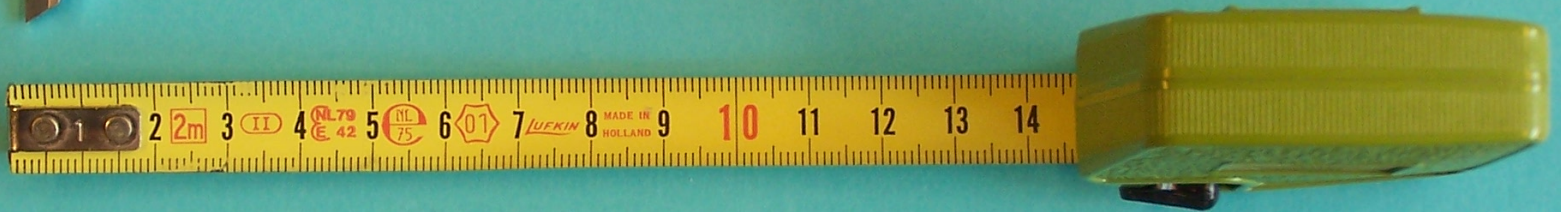
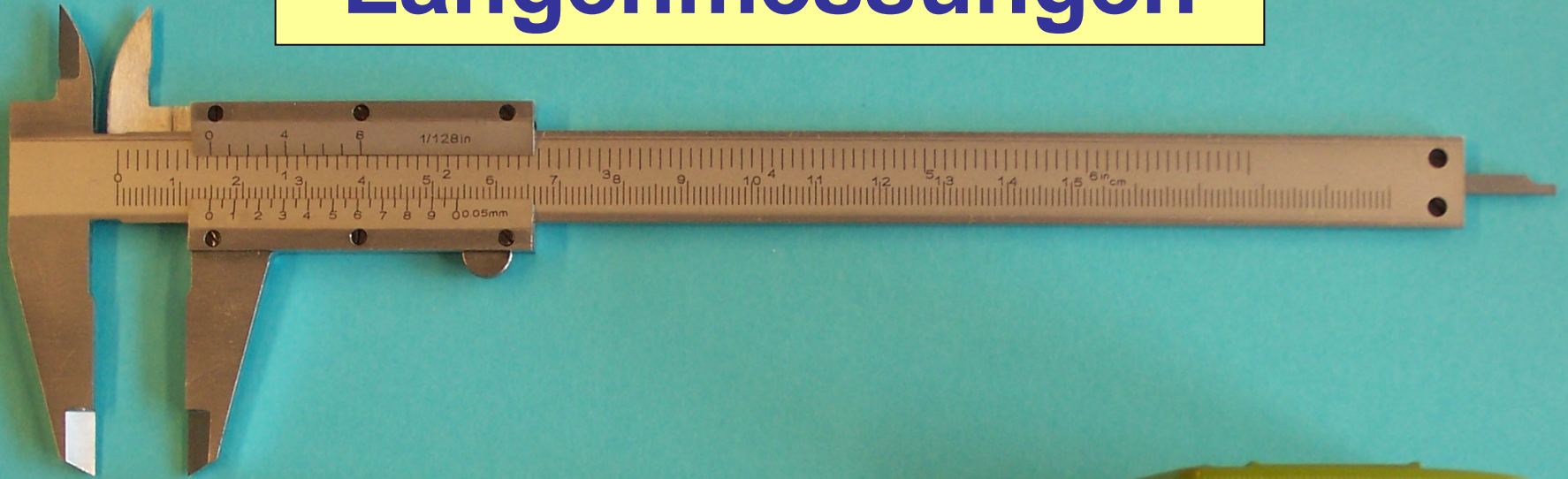


Power Cassy vs Oszilloskop

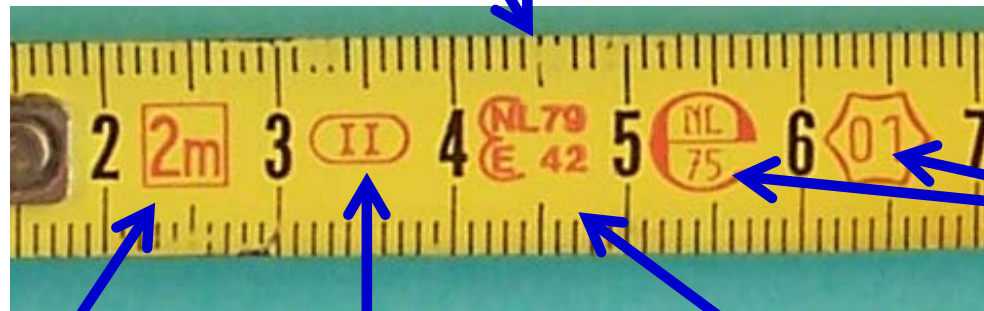
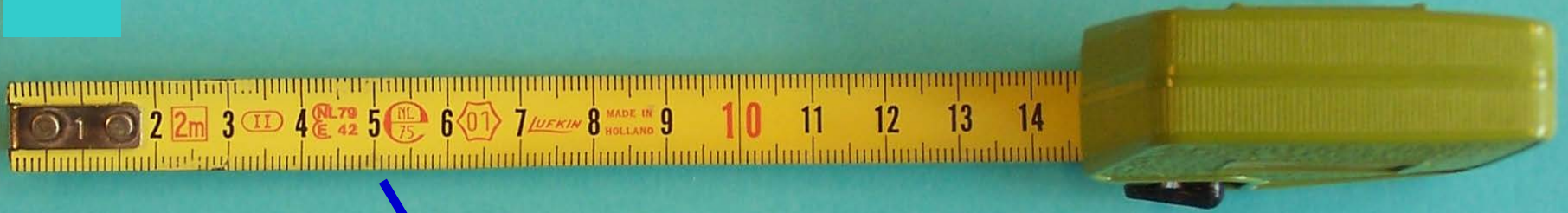
4. Übung



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 |

Beispiel:

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

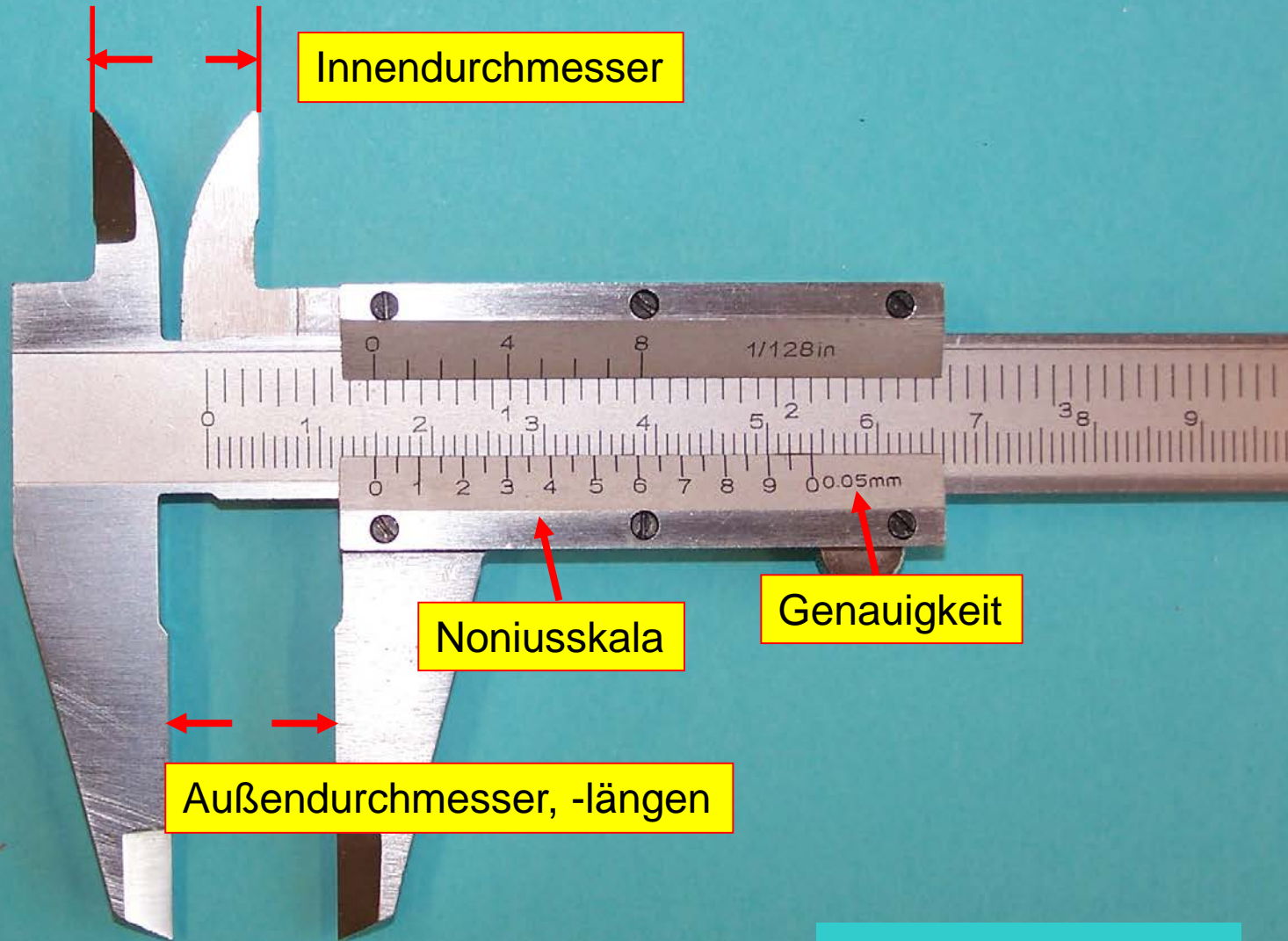
Längenmessungen mit Maßband



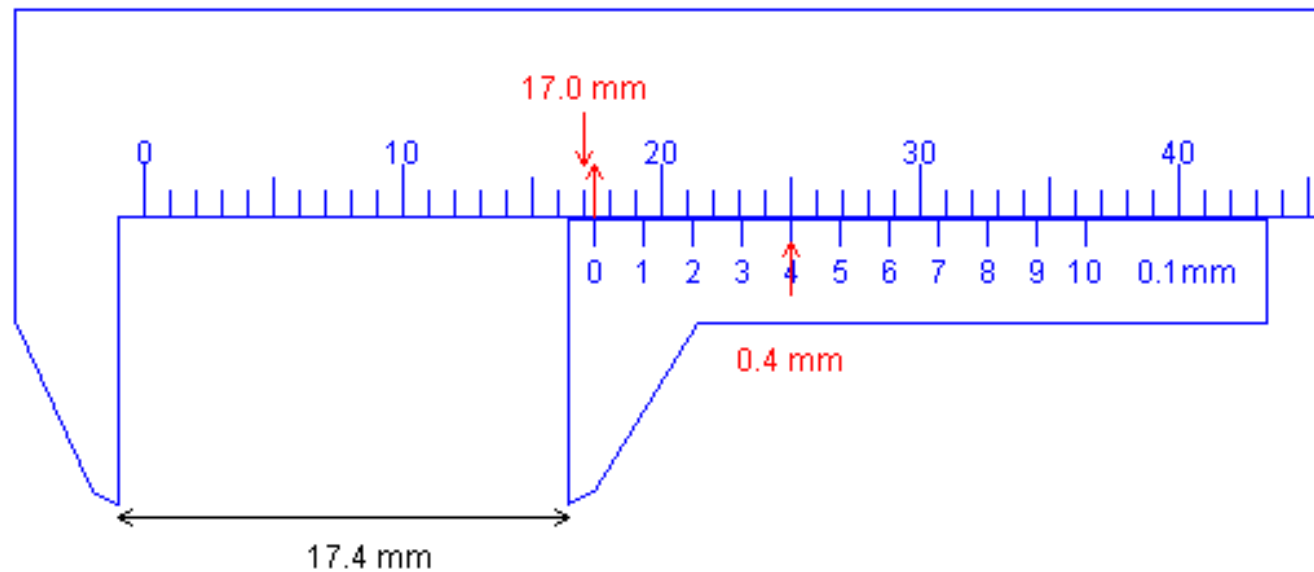
Messunsicherheiten:

- 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

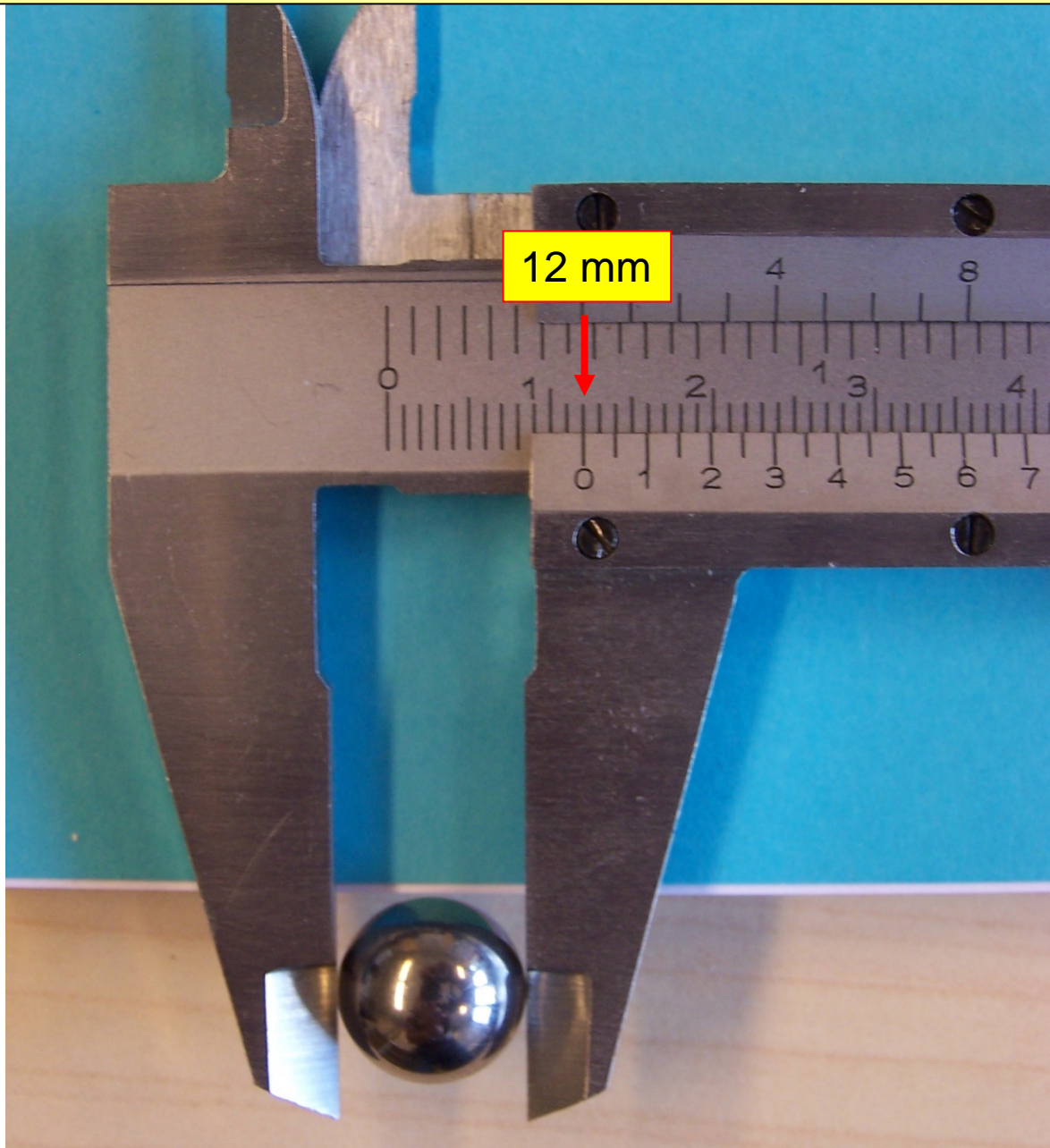


Längenmessungen mit Messschieber

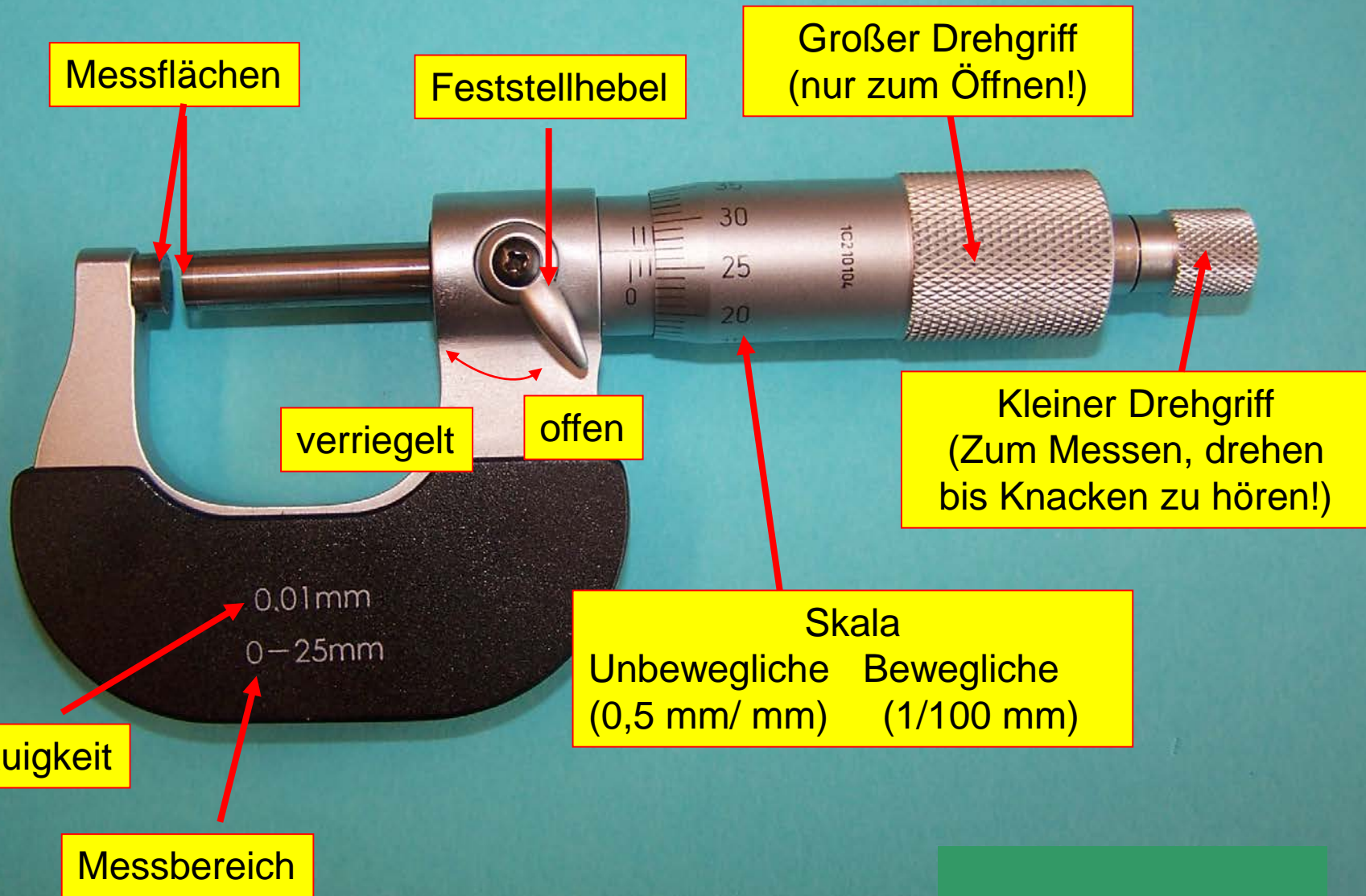


3,58 mm

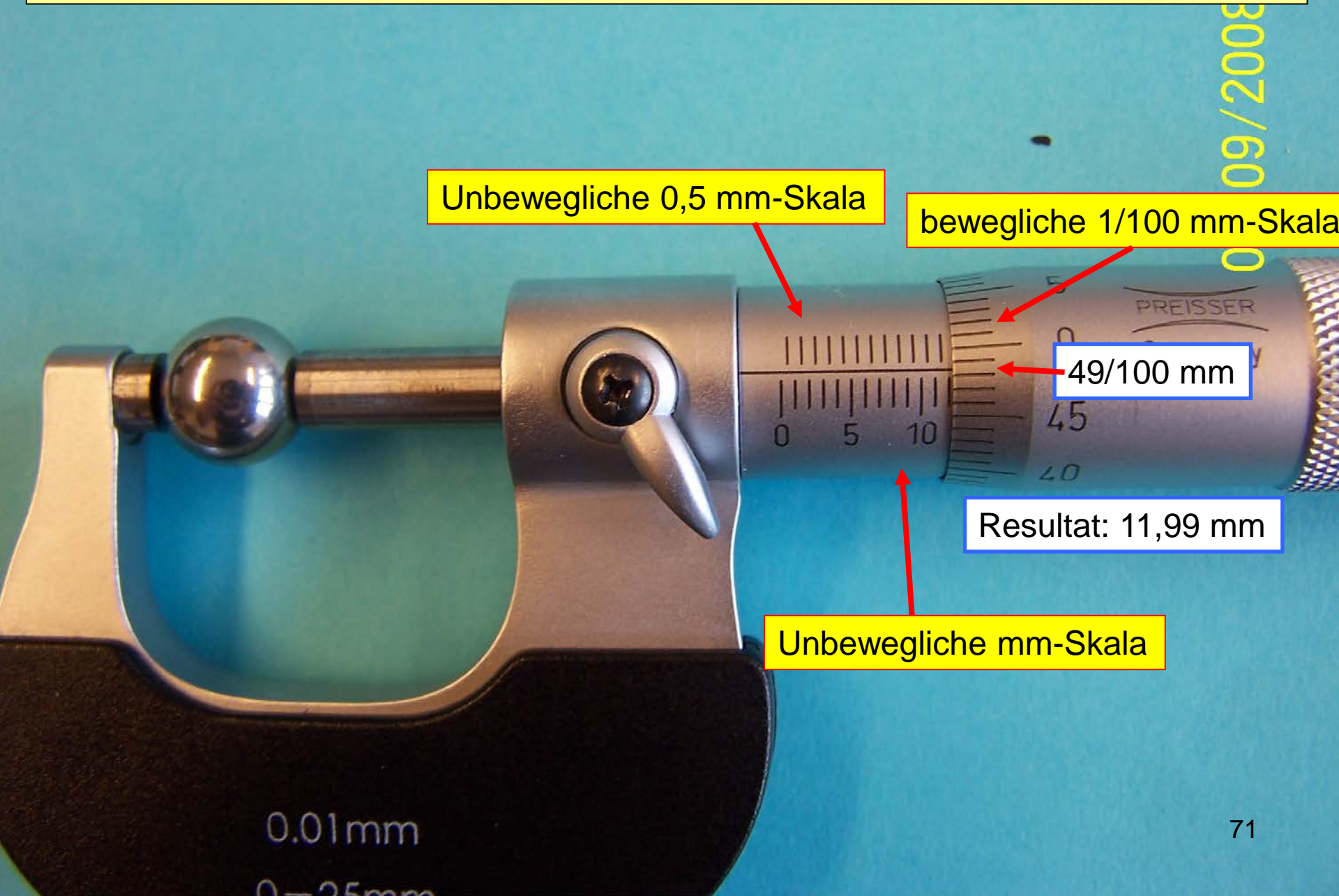
Längenmessungen mit Messschieber



Längenmessungen mit Mikrometerschraube



Längenmessungen mit Mikrometerschraube



Unbewegliche 0,5 mm-Skala

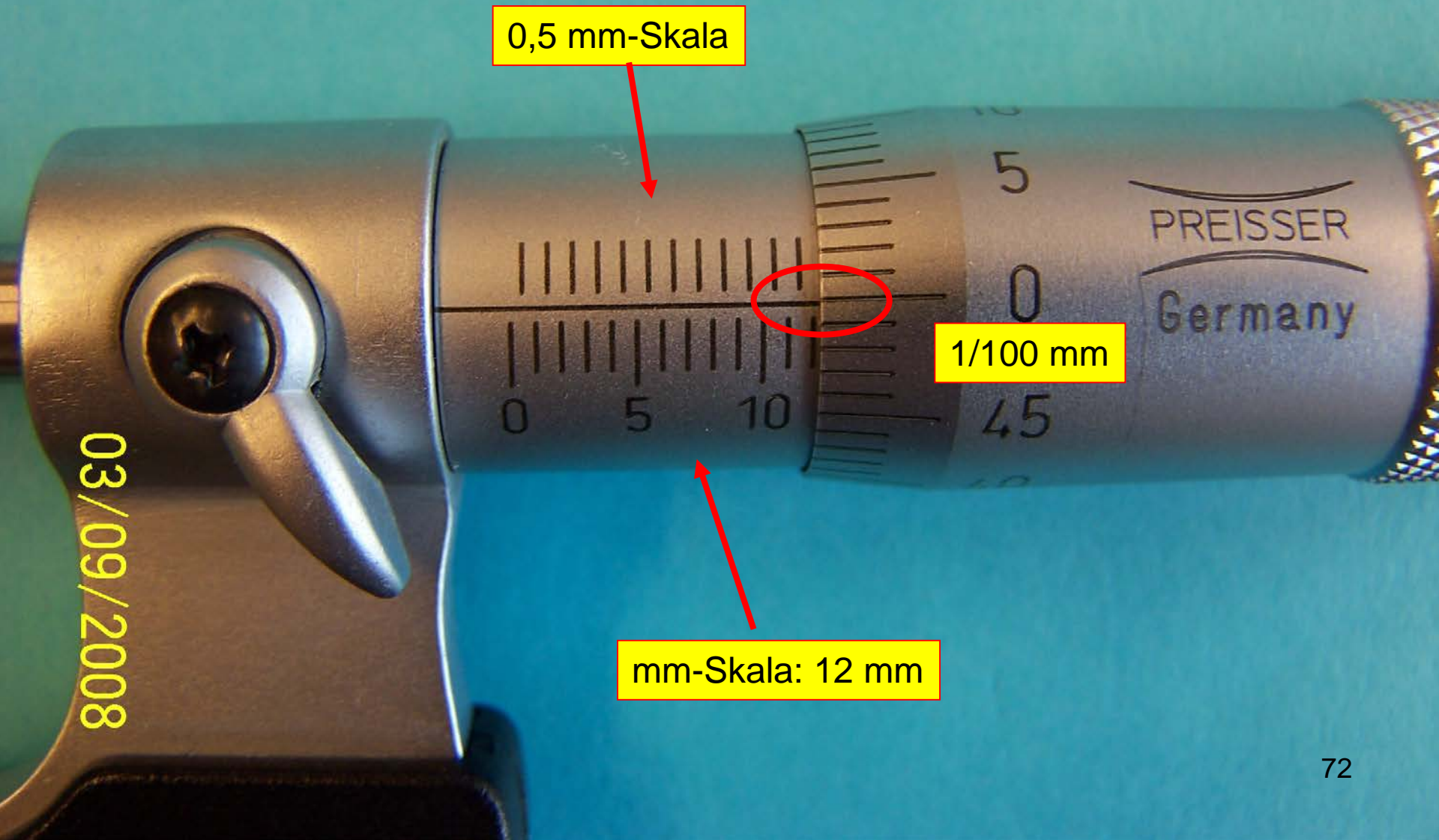
bewegliche 1/100 mm-Skala

49/100 mm

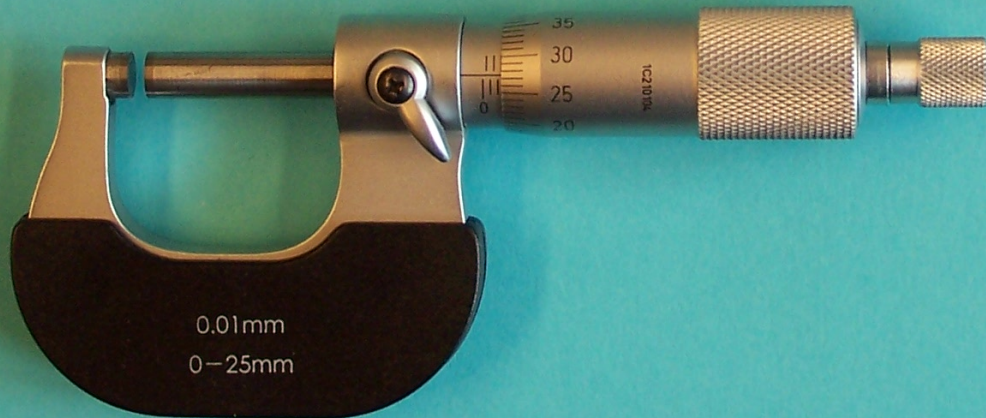
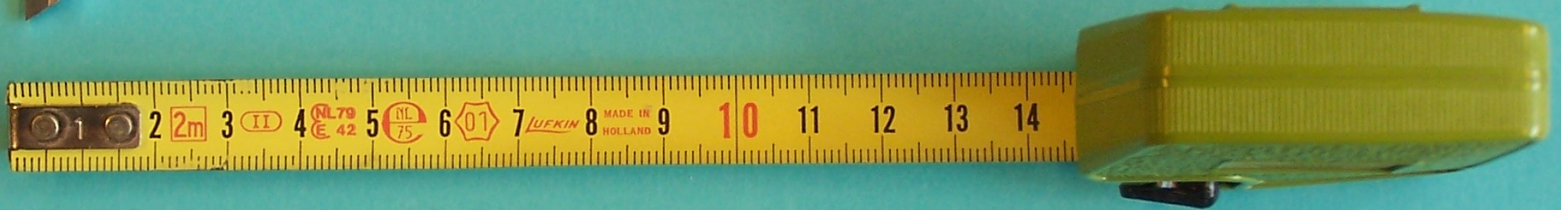
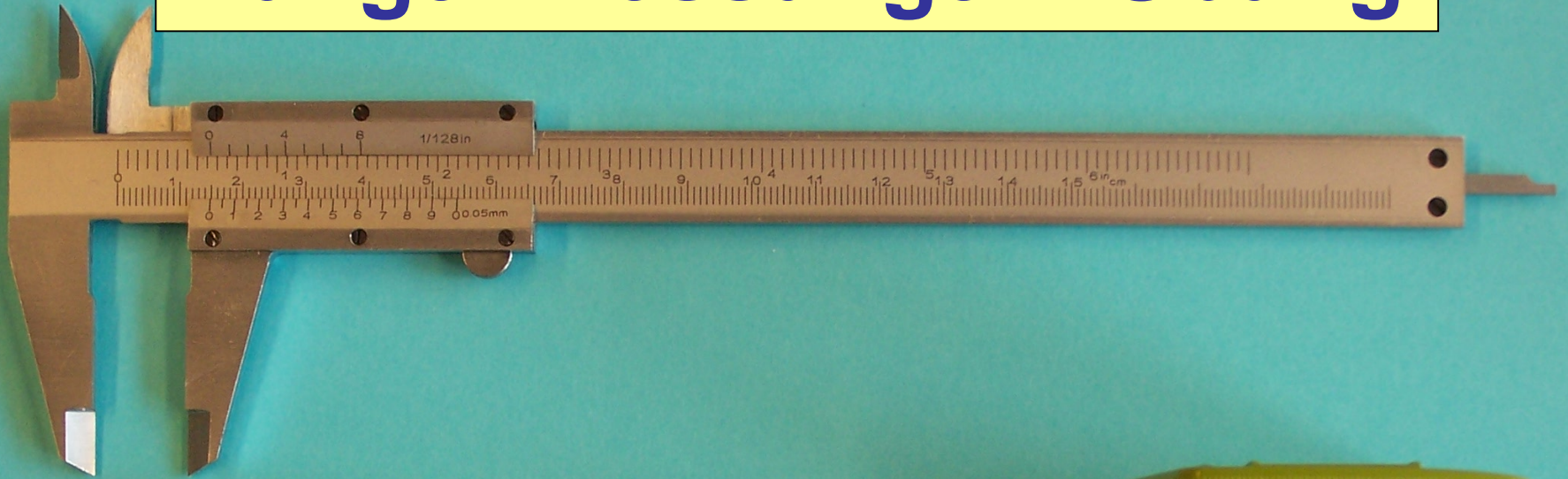
Resultat: 11,99 mm

Unbewegliche mm-Skala

Längenmessungen mit Mikrometerschraube



Längenmessungen: Übung



Viel Erfolg !