

Messinstrumente im physikalischen Grundpraktikum

Dr. Th. Kirn

I. Physikalisches Institut B

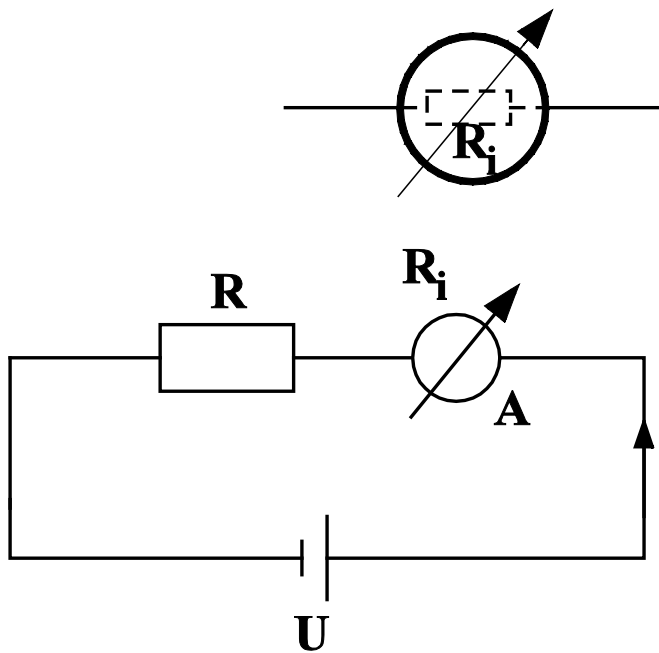
Messinstrumente im physikalischen Grundpraktikum

- 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!

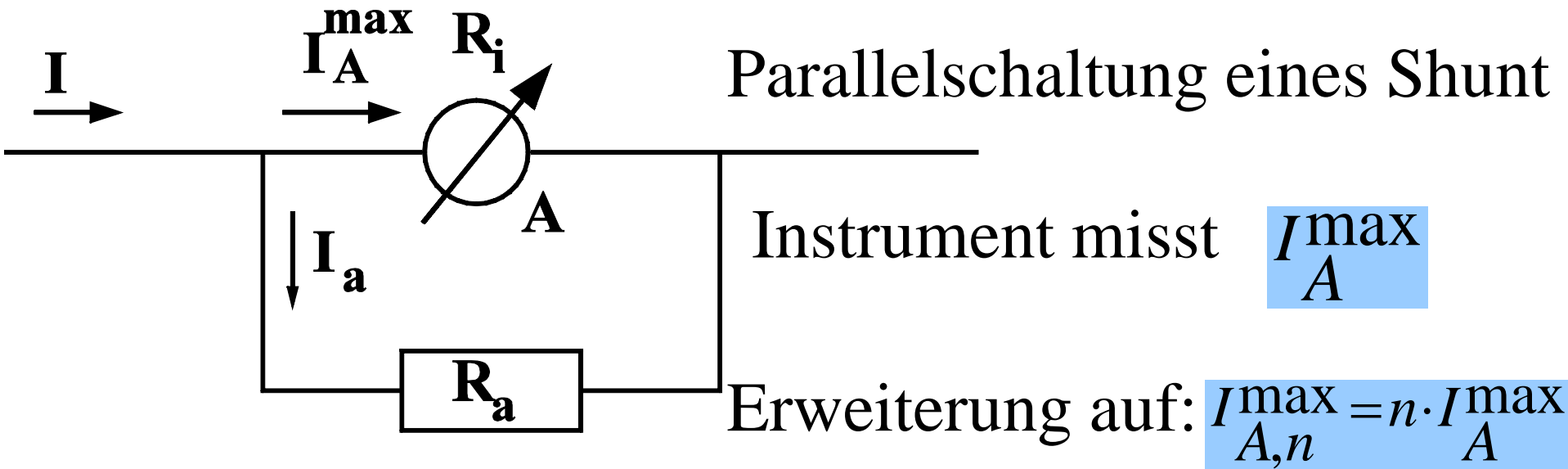
Erwarteter Strom: $I = \frac{U}{R}$



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

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

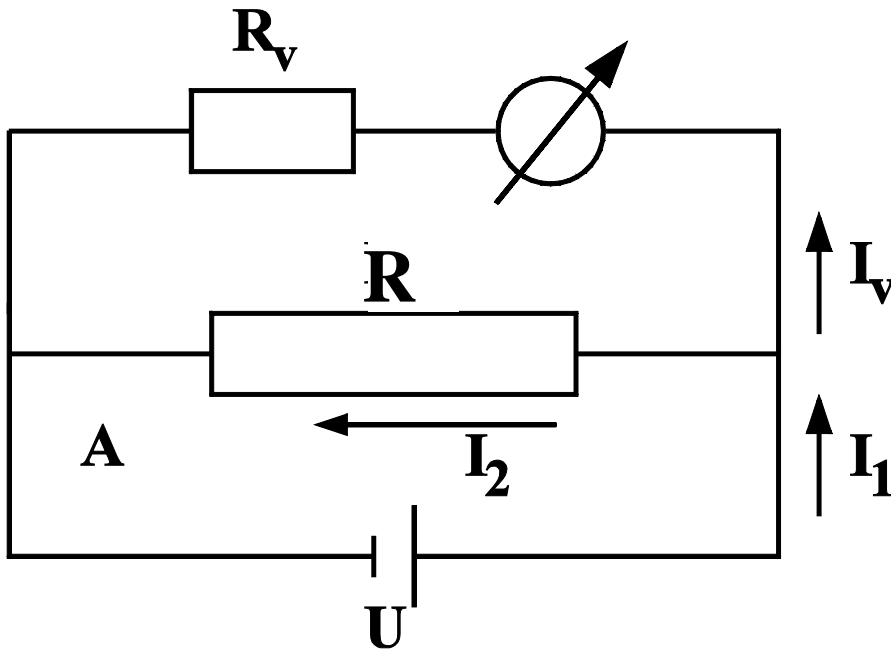
Messbereichserweiterung



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



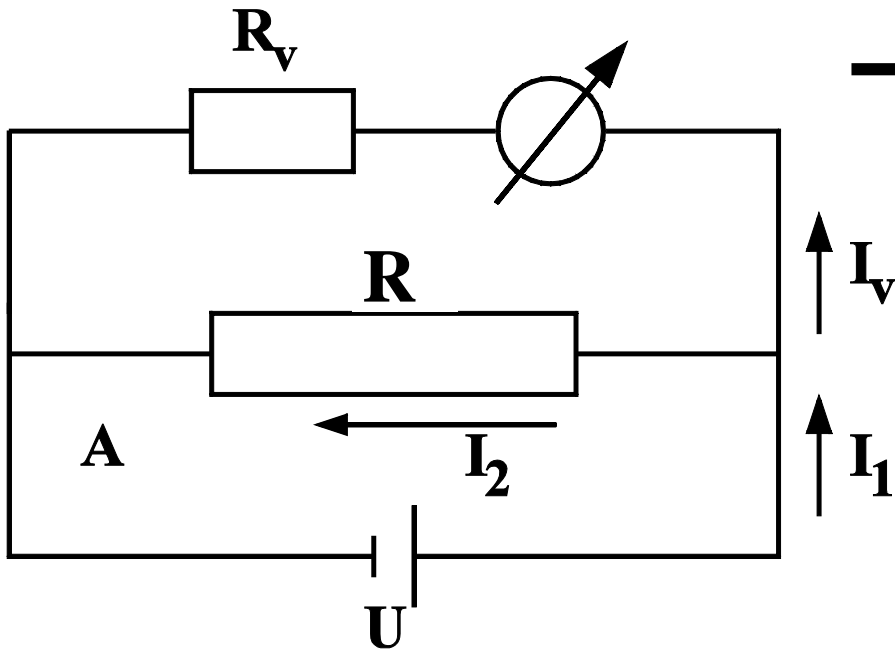
Spannungsmesser sind mittels
Ohmschen Gesetz in Volt
geeichte Amperemeter

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

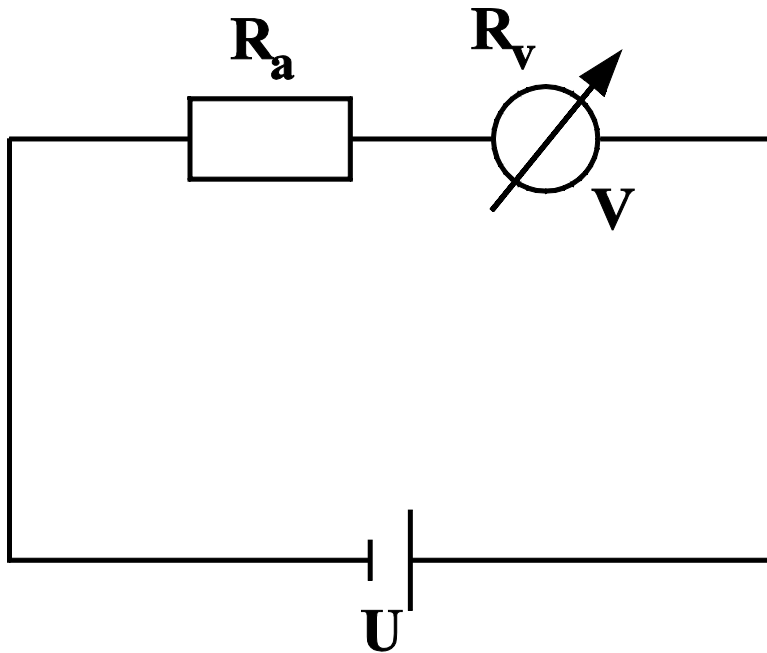
$$I_1 = U \cdot \left(\frac{1}{R_v} + \frac{1}{R} \right) = I \cdot \frac{R + R_v}{R_v} > I = \frac{U}{R}$$

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:

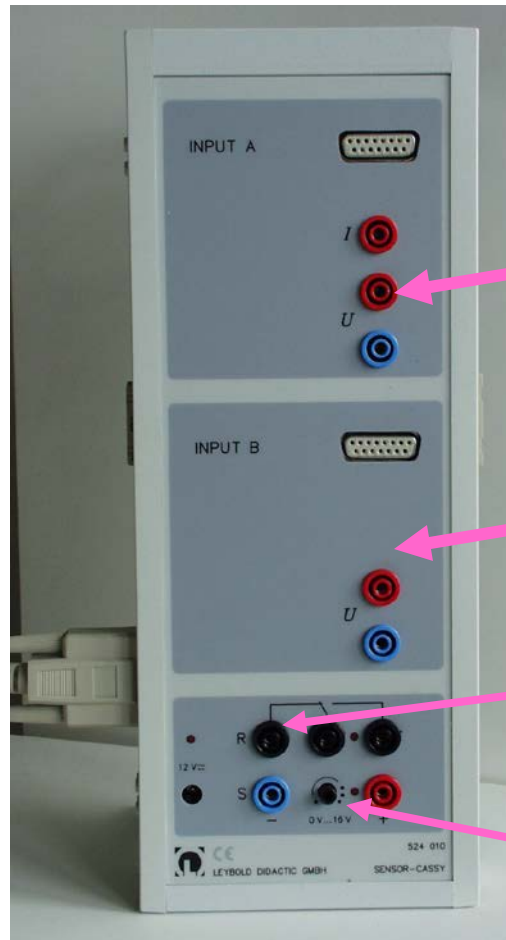
$$I = \frac{n \cdot U_{\max}}{R_a + R_v} = \frac{U_{\max}}{R_v}$$

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

Realisation der Strom- und Spannungsmessung im Praktikum?



Sensor Cassy Interface



4-fach galvanisch getrennt:

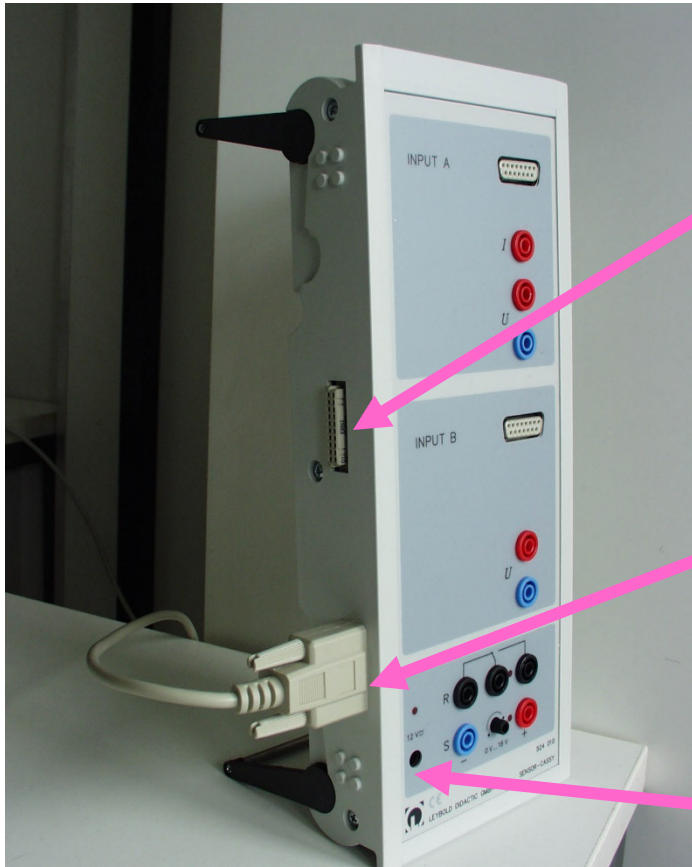
Eingang A (I,U)

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**



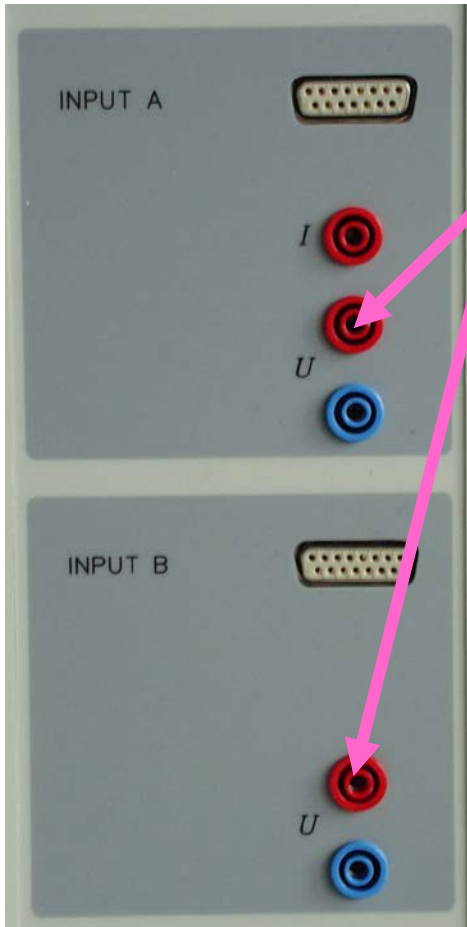
1 analoger Ausgang (PWM)
pulsweitenmoduliert, schaltbare
Spannungsquelle S,
Schaltanzeige mit LED,
Spannung: **max. 16 V / 200 mA**
PWM-Frequenz: **100 Hz**

Sensor Cassy Interface

5 analoge Eingänge

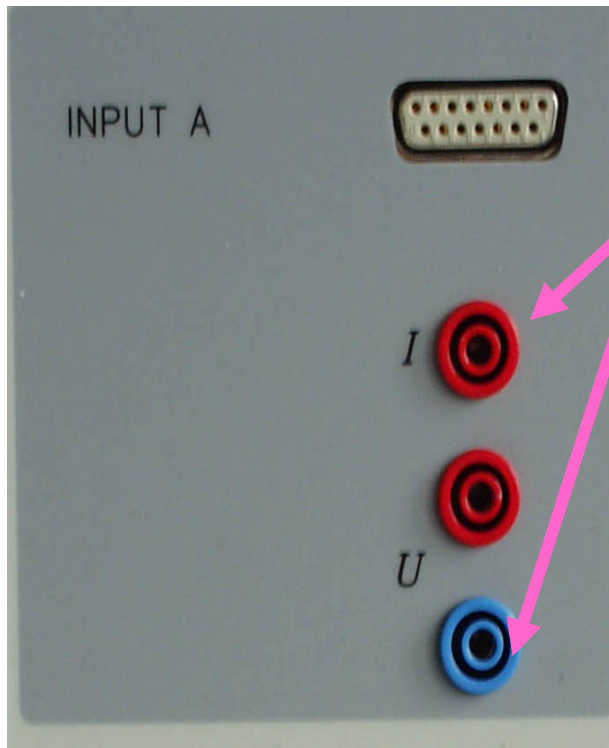
2 analoge Spannungseingänge A und B:

- 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)



Sensor-Cassy Interface

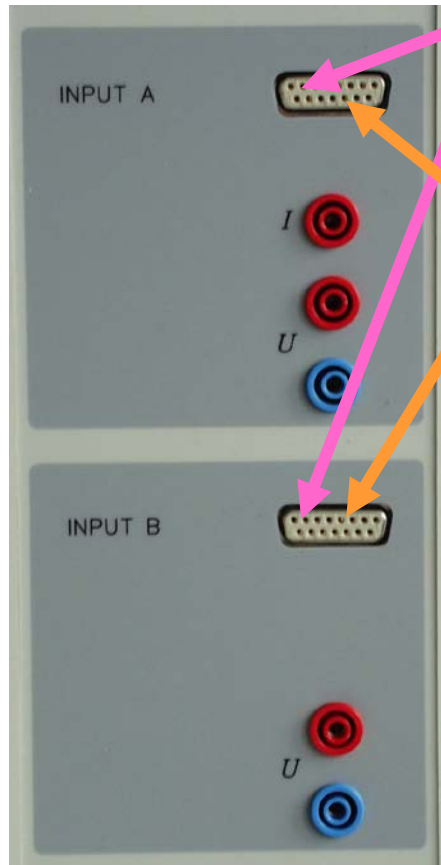
Eingang A:



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

Sensor-Cassy Interface



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

Timer Box → Laufzeit Messung

Temperatur Box

B-Box → B-Feldmessung,
→ Druckmessung

Stromquellen-Box

Datenauslese: Cassy Lab

The screenshot displays the Cassy Lab software interface. At the top, there is a menu bar with function keys F4, F3, F2, F9, F5, F6, F1, and F7. Below the menu bar is a toolbar with various icons, including a clock, a magnifying glass, and a printer. The main window is divided into several sections. On the left, there is a table with the following data:

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

On the right side of the main window, there is a panel with the following settings:

U_{B1}	I_{A1}
10	
V	

In the foreground, a window titled "Spannung U_{B1} " is open, showing a scale from -10 to 10 with a red needle pointing to 0. Below the scale, the text reads $U_{B1} = 0,01$ V.

Yellow circles with numbers 1 through 9 are placed at various points in the interface to indicate specific features or steps.

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

Cassy Lab Start

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

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

Cassy Lab Start

Wenn COM >19,
Doppelklick auf
USB Serial Port

Eigenschaften von USB Serial Port (COM9)

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

Erweitern... Wiederherstellen

Erweiterte Einstellungen für COM9

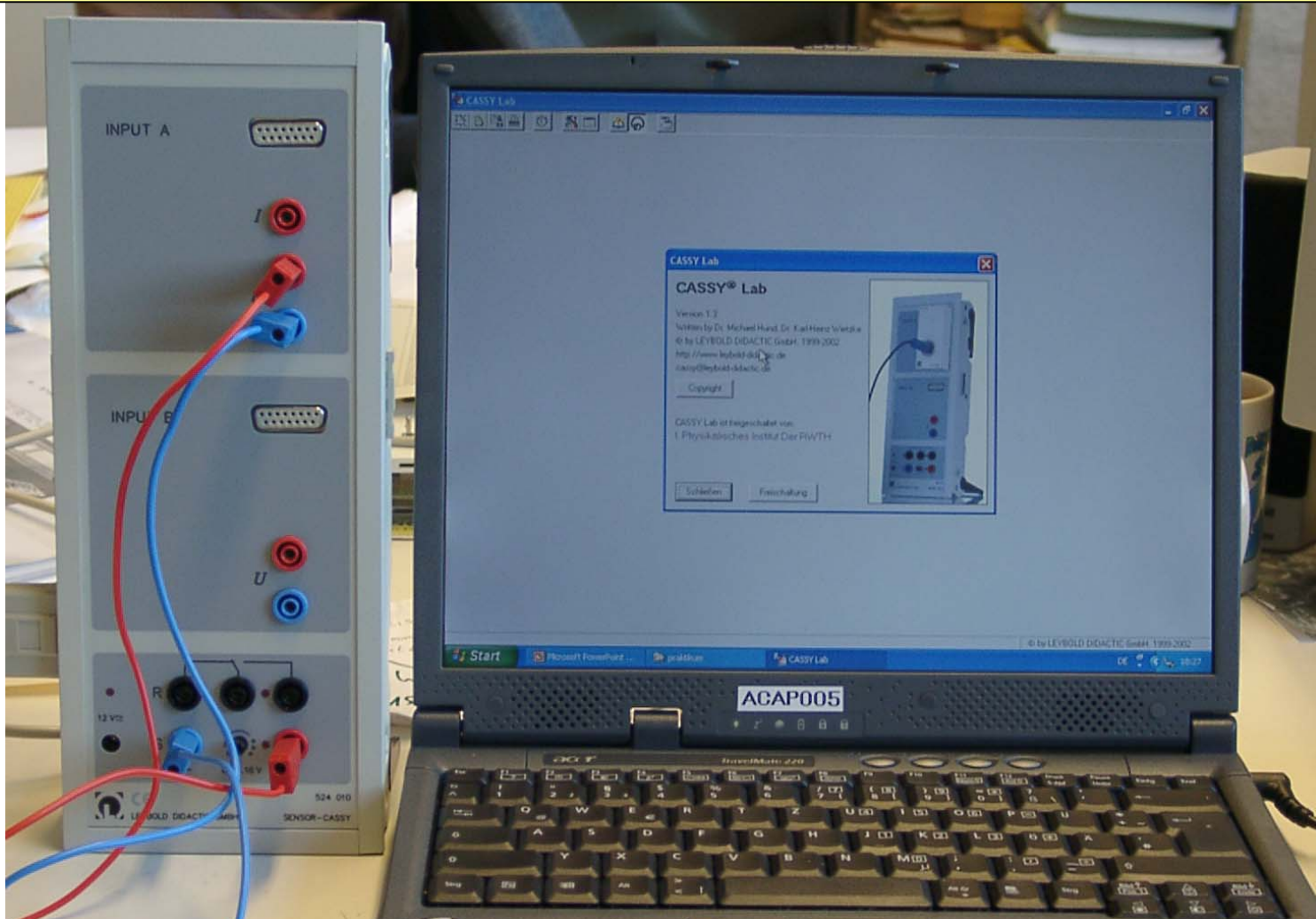
COM-Anschlussnummer: COM9

USB Pakete senden
Reduzieren Sie die Werte, um zu vermeiden, dass die Verbindung unterbrochen wird.
Erhöhen Sie die Werte, um die Geschwindigkeit zu erhöhen.
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

Com-Port 7 reserviert
→ CASSY Lab Absturz

Cassy Lab, 1.Übung: Inbetriebnahme



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

Th. Kirn



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: [v]

manuelle Aufnahme x Anzahl: [◀ ▶] Messbedingung: 1

neue Messreihe anhängen

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

Messparameter [X]

automatische Aufnahme Intervall: 10 µs [◀ ▶] Trigger: UB1 [v] 5,00 V [fallend v]

manuelle Aufnahme x Anzahl: 16000 [◀ ▶] Messbedingung: 1

neue Messreihe anhängen

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

Messparameter [X]

automatische Aufnahme Intervall: 100 ms [◀ ▶] Trigger: [v]

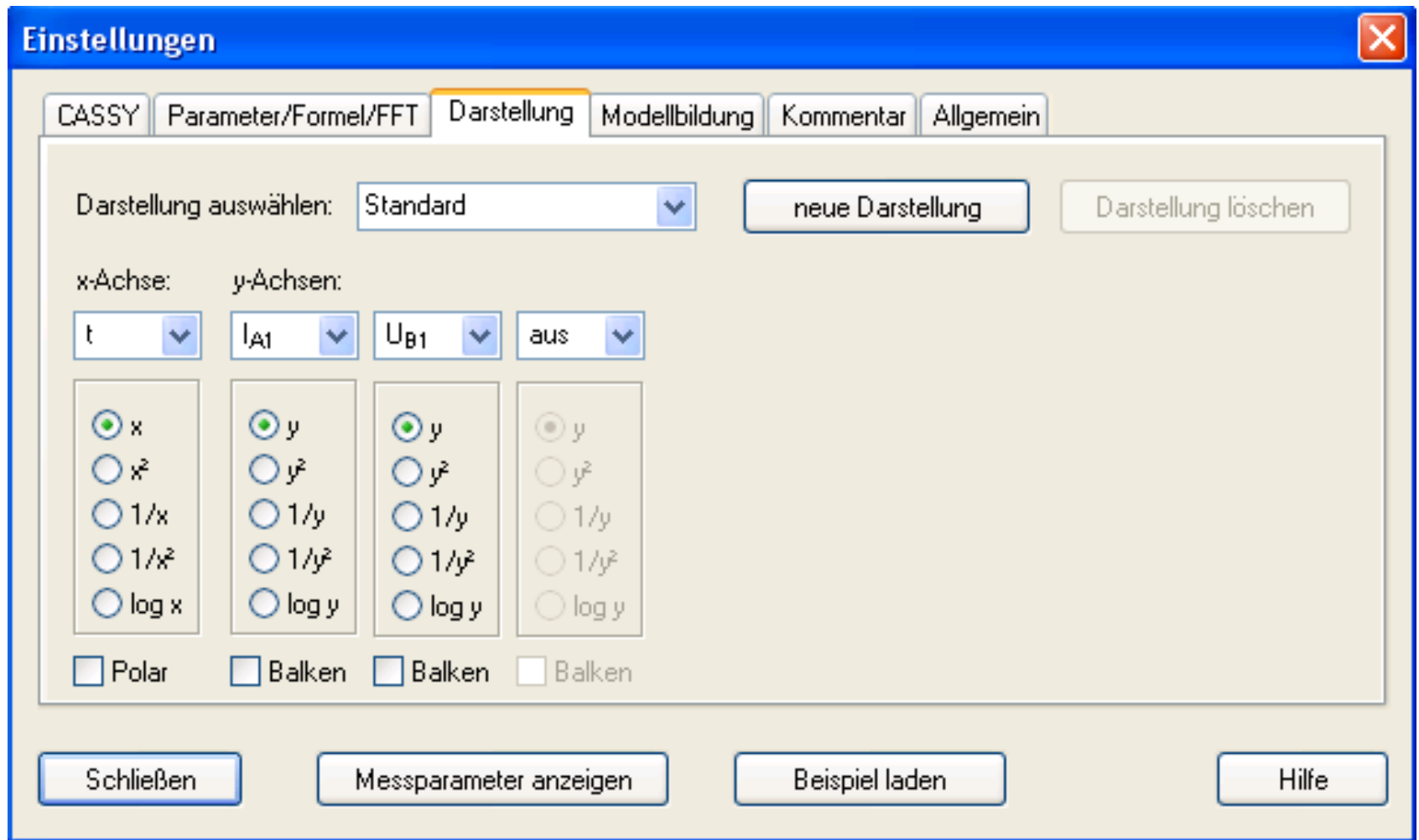
manuelle Aufnahme x Anzahl: [◀ ▶] Messbedingung: $f < 5000 \text{ and } \Delta t > 2/f + 2$ =AUS

neue Messreihe anhängen

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

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

Cassy Lab, Einstellungen, Darstellungen



Cassy Lab, Einstellungen, Parameter/Formel/FFT

Einstellungen

CASSY Parameter/Formel/FFT Darstellung Modellbildung Kommentar Allgemein

Größe auswählen: Widerstand

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

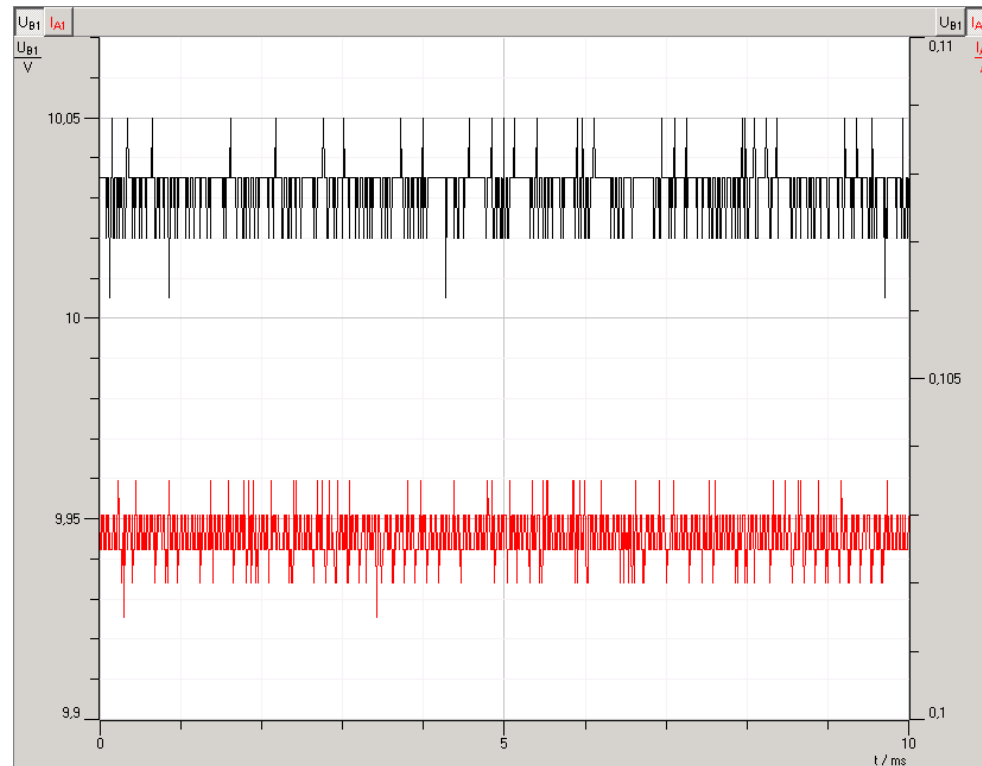
F3: Dateien laden

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

Th. Kirn

Messwerttabelle:

Spalte 1: Messschritt

Spalte 2: Messzeit

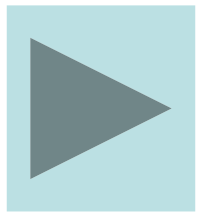
Spalte 3: Eingang A

Spalte 4: Eingang B

Spalte 5: Zustand Relais

Spalte 6: Zustand Spannungsquelle

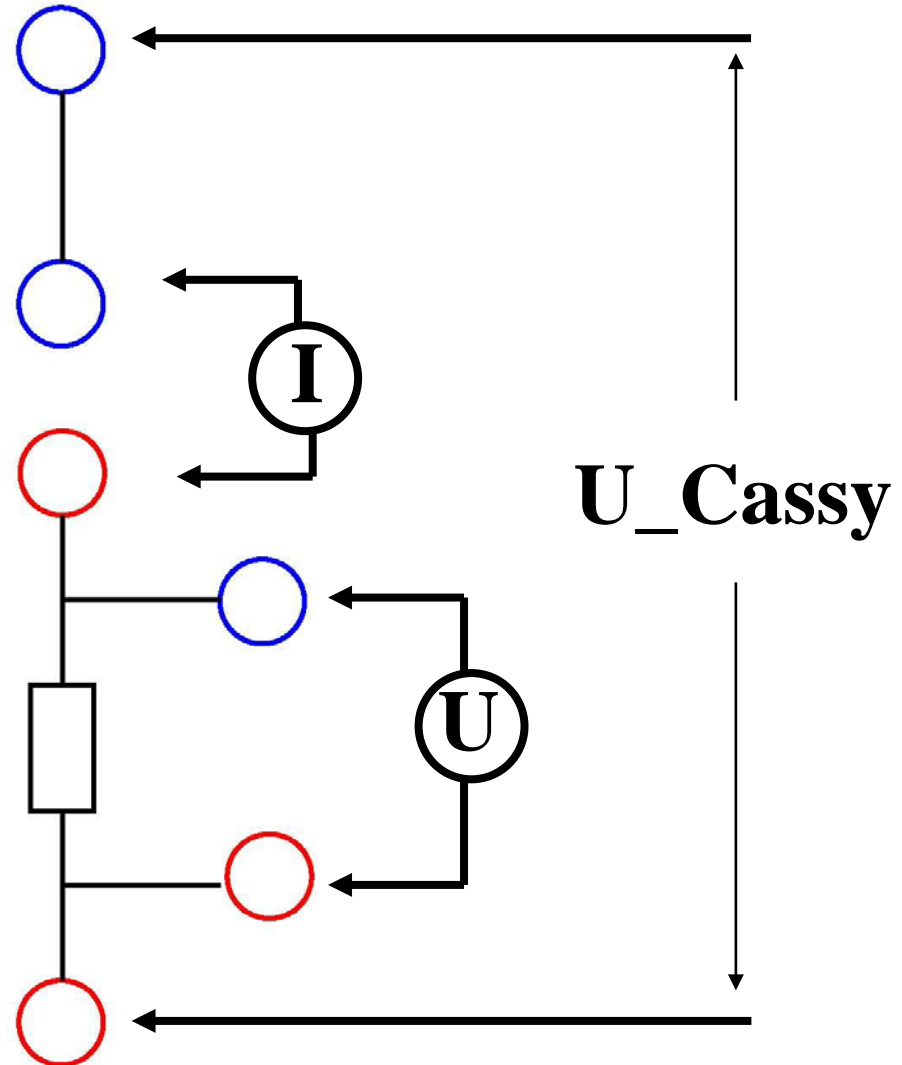
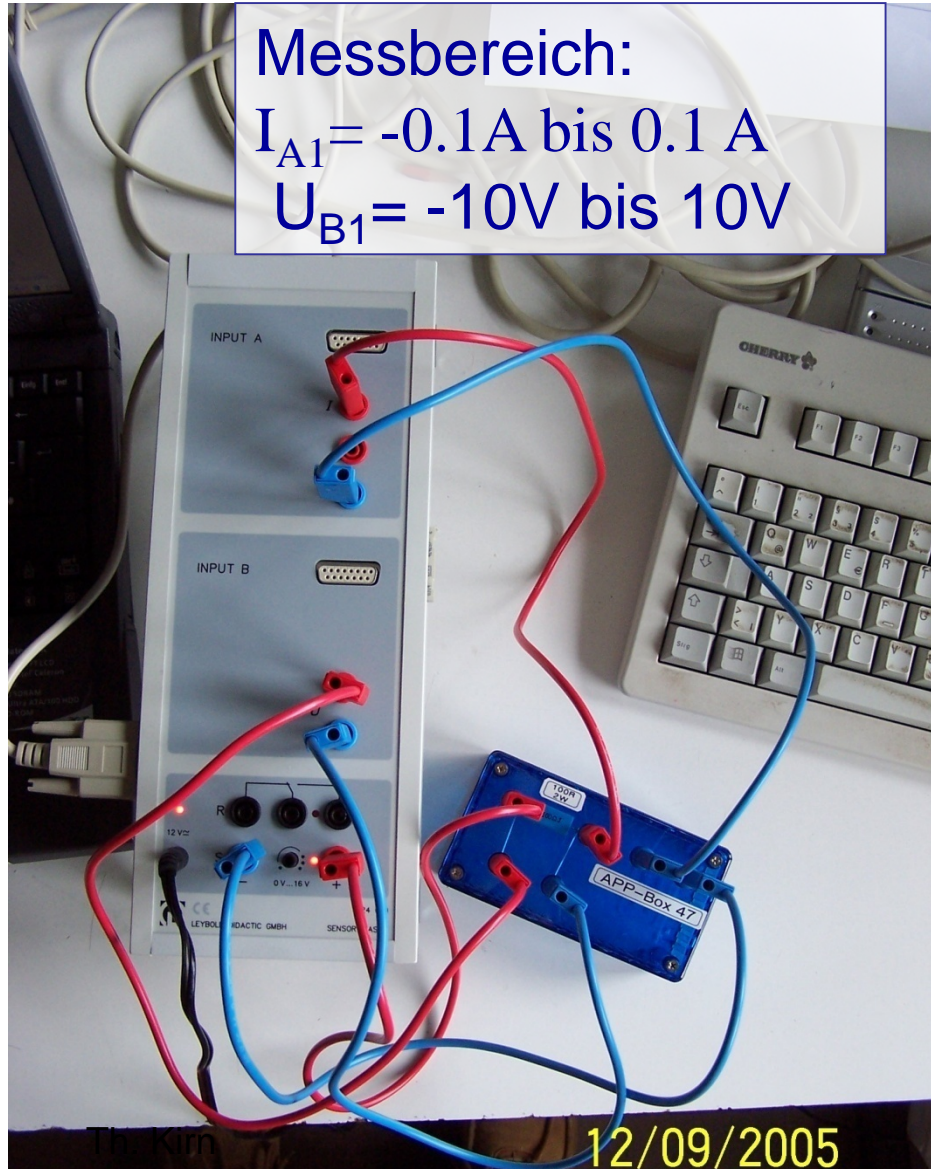
Cassy Lab, 2. Übung



Messbereich:

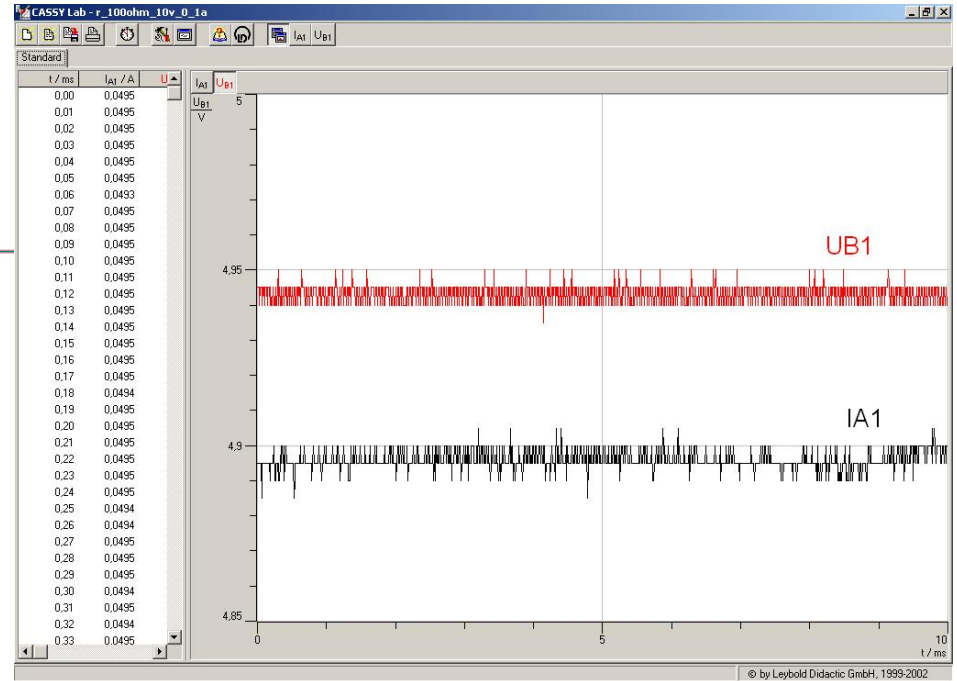
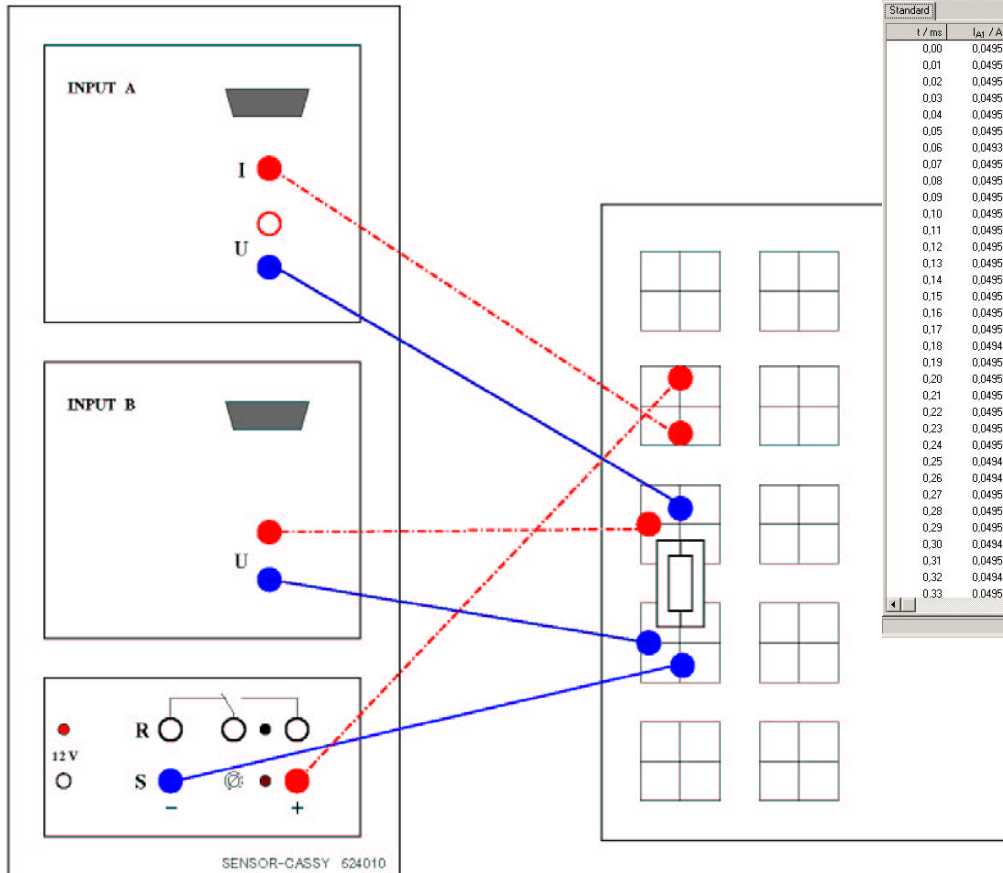
$$I_{A1} = -0.1 \text{ A bis } 0.1 \text{ A}$$

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



Sensor Cassy Interface

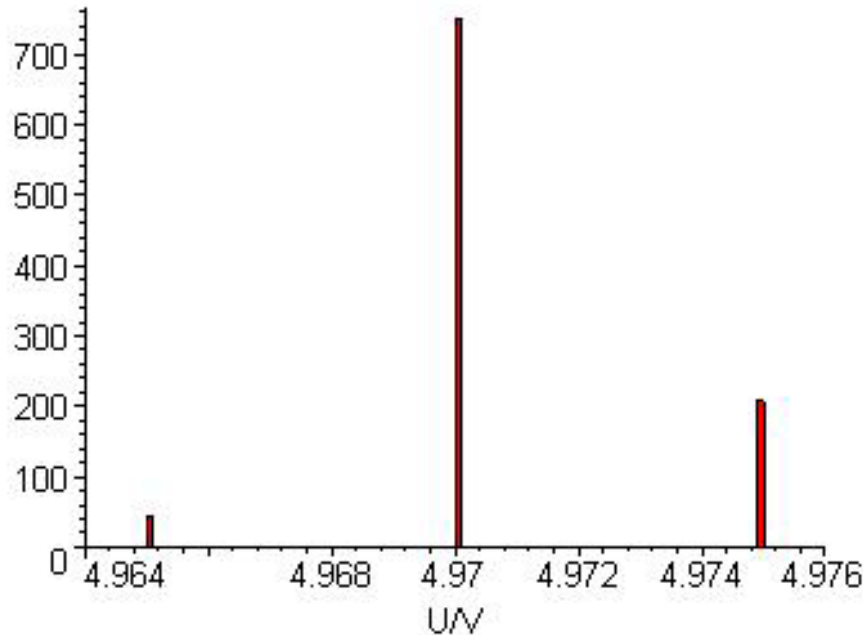
Messungenauigkeiten



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 ,

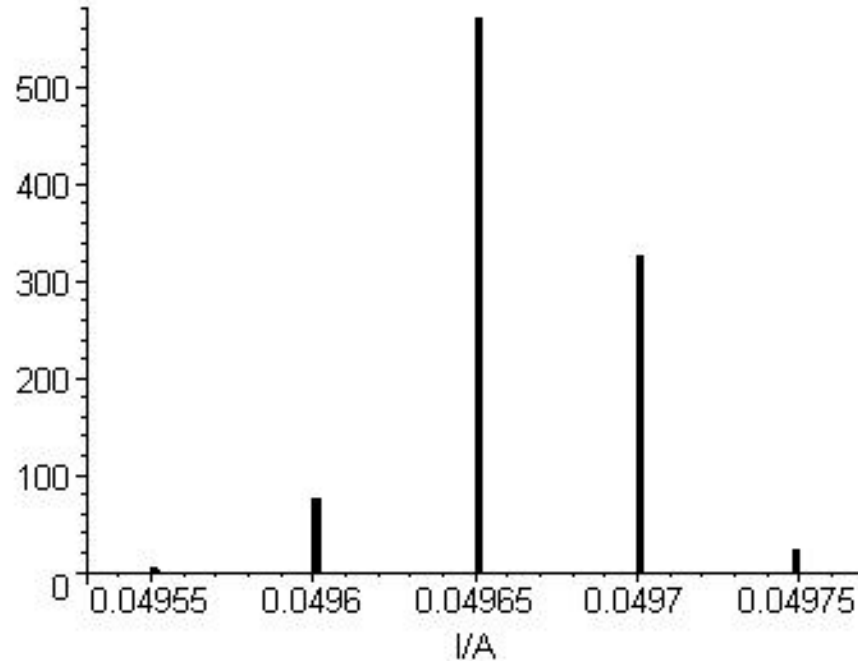
d.h. kleinste Skaleneinheit in dem Messbereich: $U_{\min} = 5 \text{ mV}$

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

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

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 ,

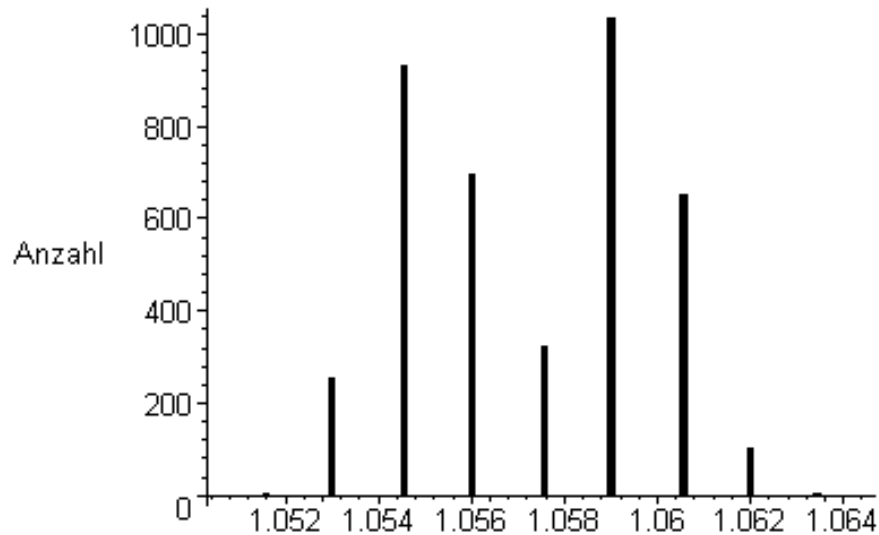
d.h. kleinste Skaleneinheit in dem Messbereich: $I_{\text{min}} = 0,05 \text{ mA}$

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

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

Sensor-Cassy Interface

stat. & system. Messungenauigkeit (4SC)



Messbereich: ± 3 V

Mean = (1.0572 ± 0.00004) V

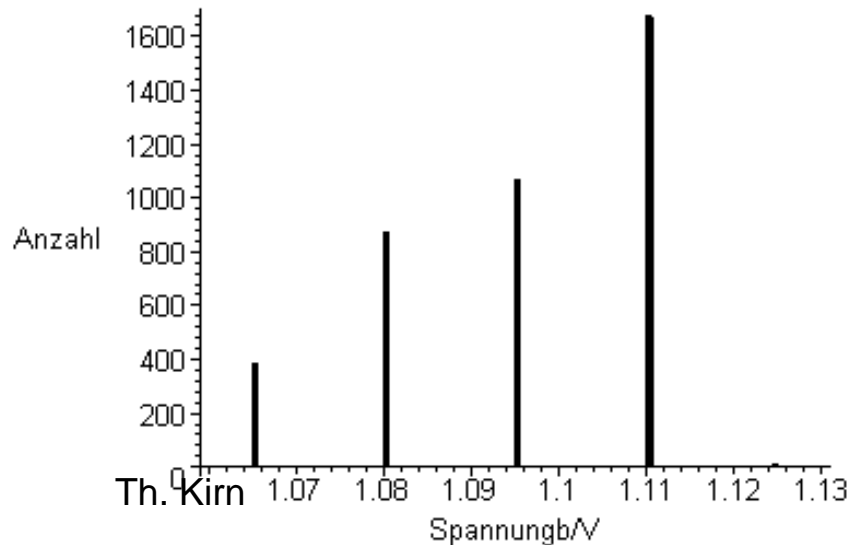
RMS = 2,5 mV

→ 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 $\pm 100V$

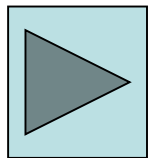
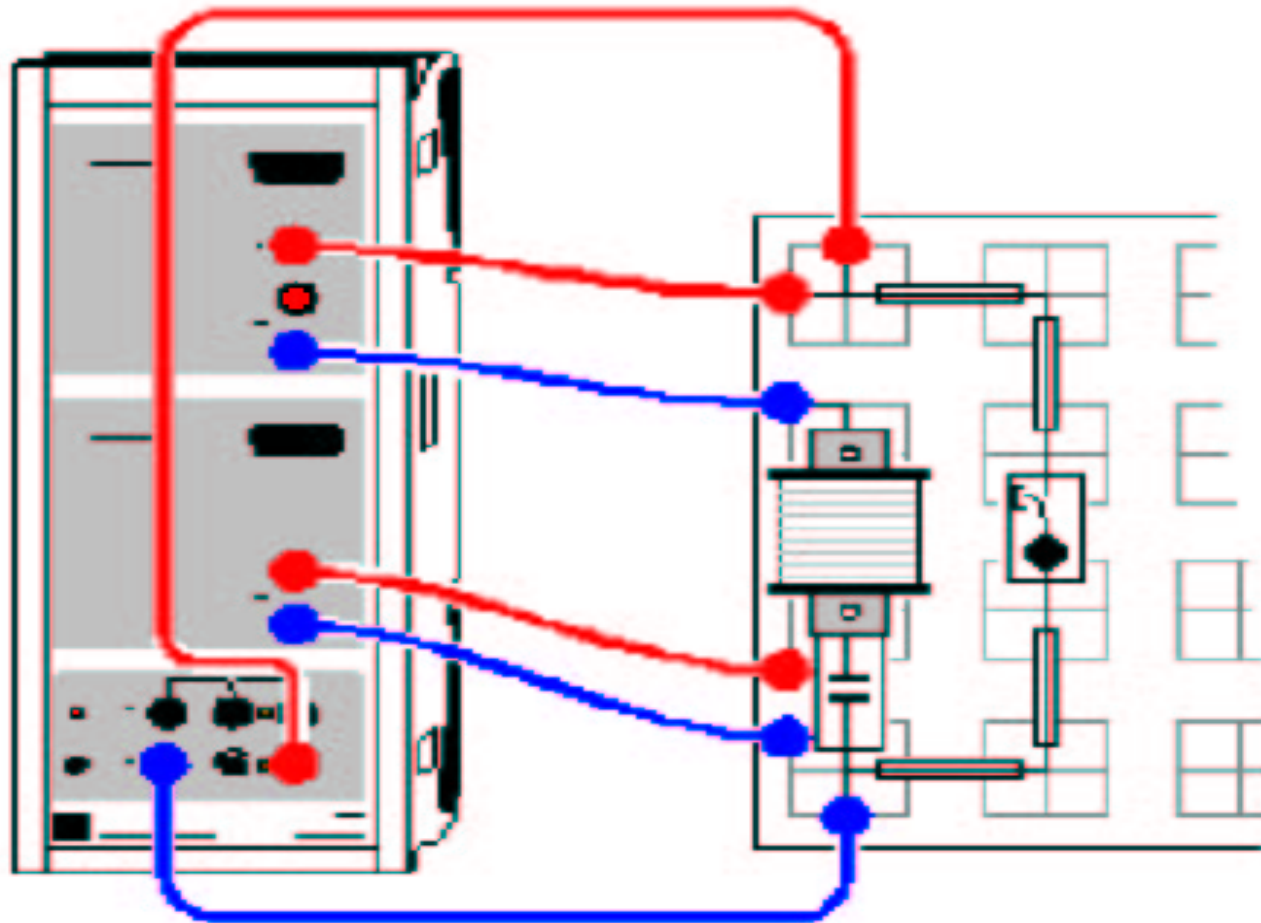
$$U_{sys} : (0,01 \cdot 2 + 0,005 \cdot 100) V = 0,52 V$$

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

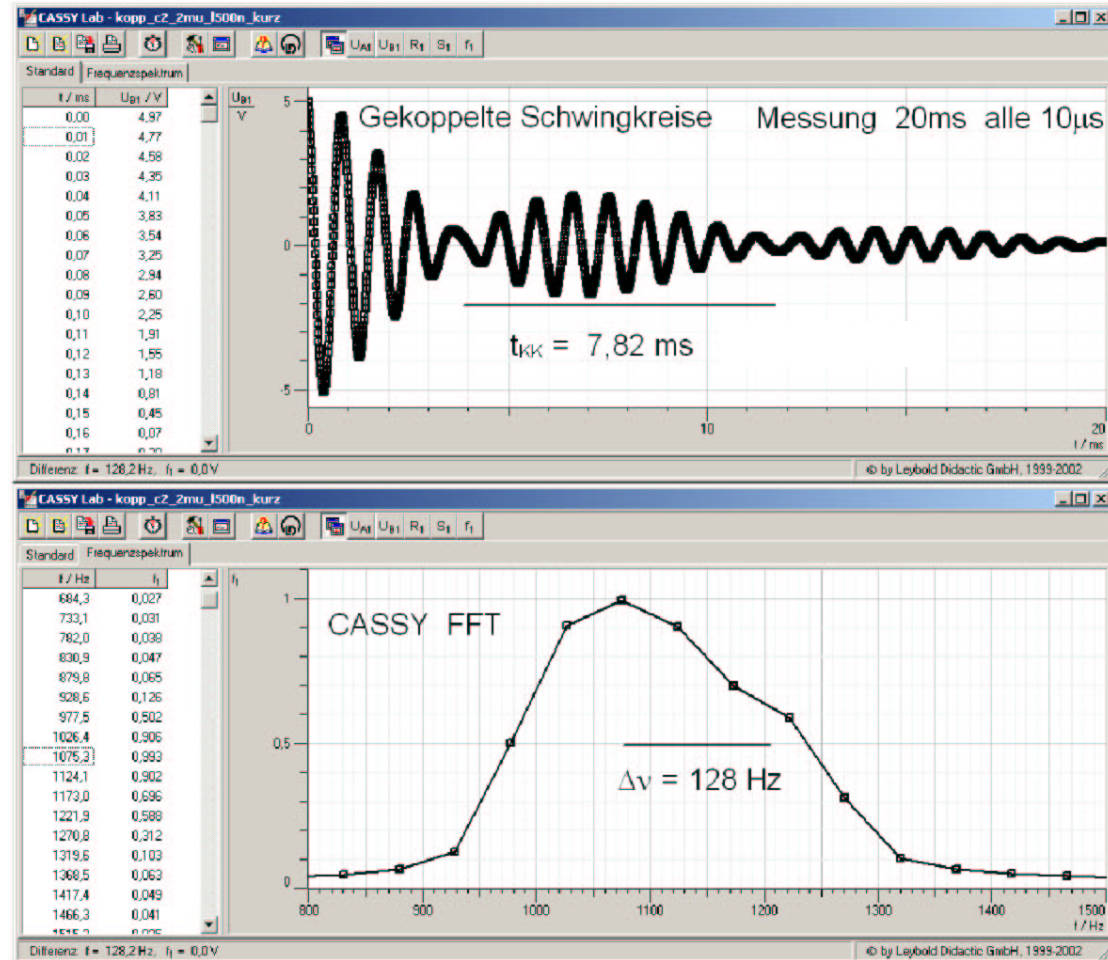
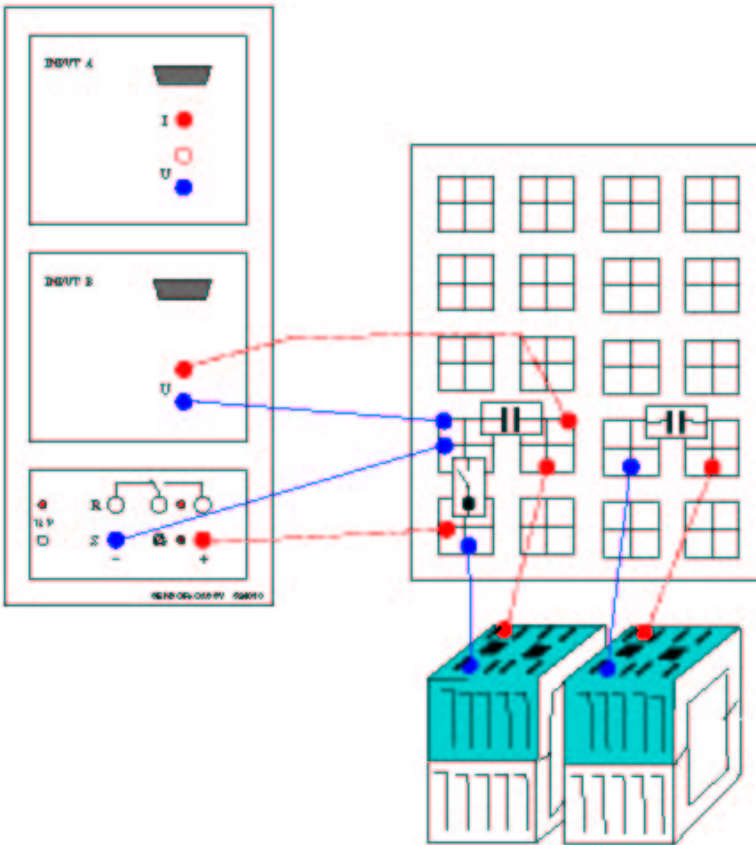
Relativer Fehler: $\sigma_{U_{sys}} / U_i = 15 \% !$

Sinnvoller Messbereich vorher überlegen und MU durch Messung bestimmen!

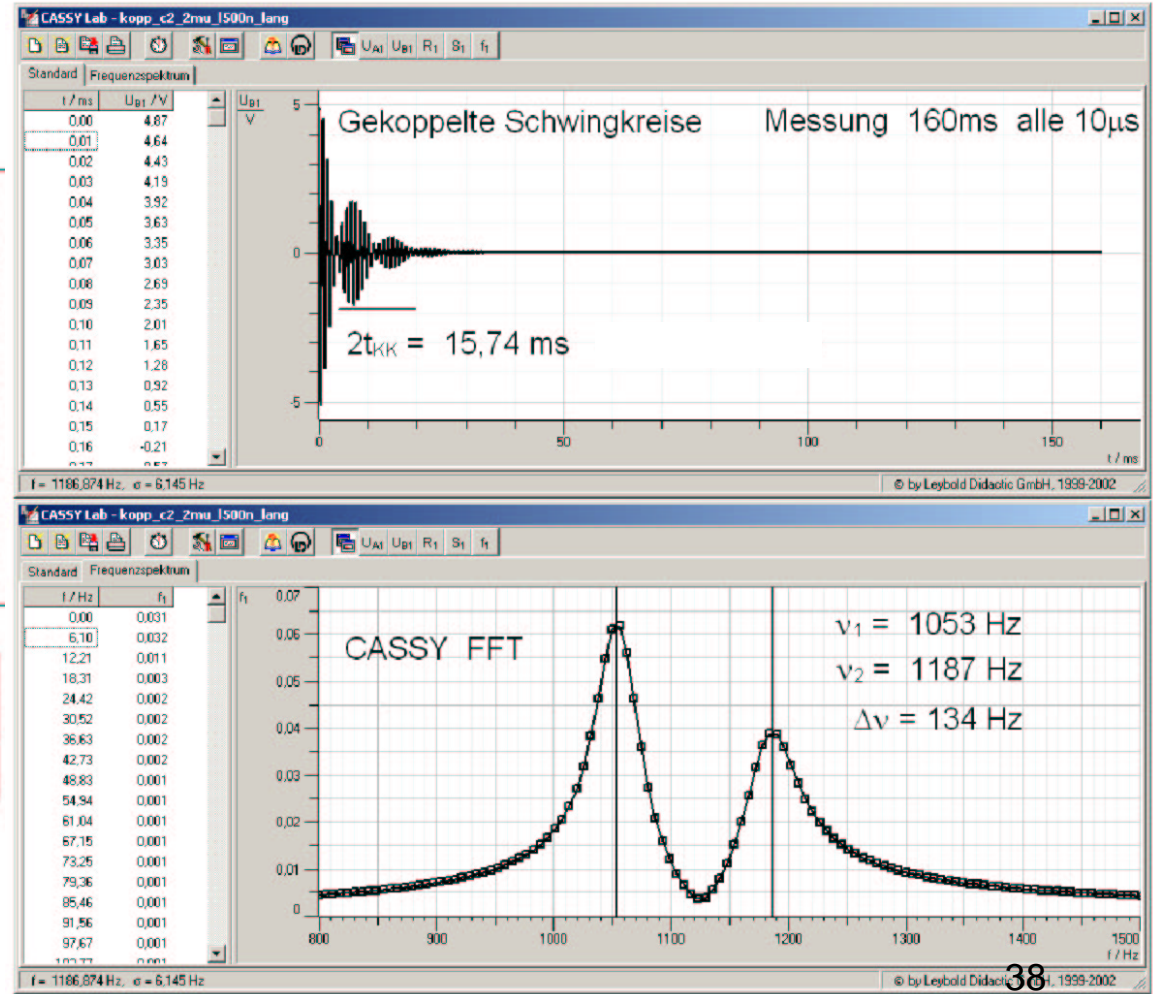
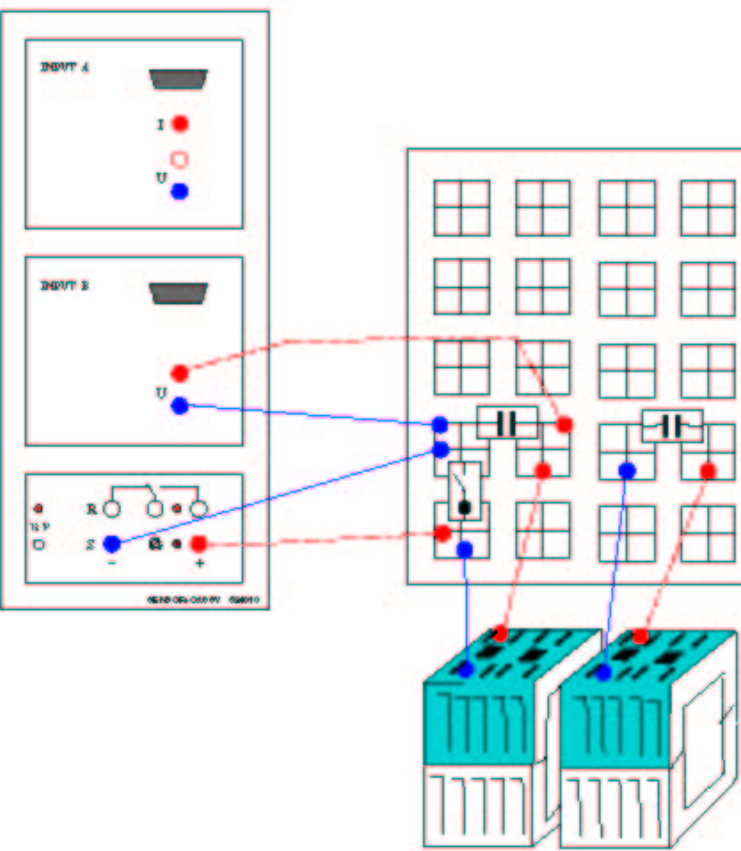
Gedämpfter Schwingkreis



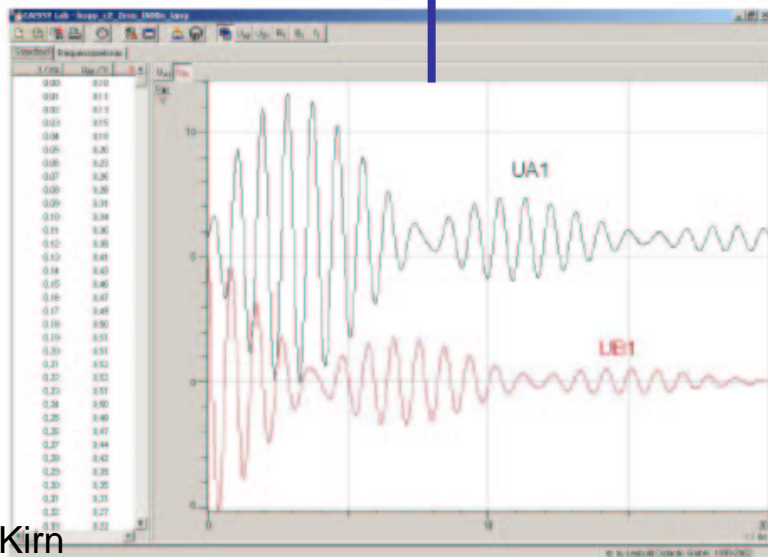
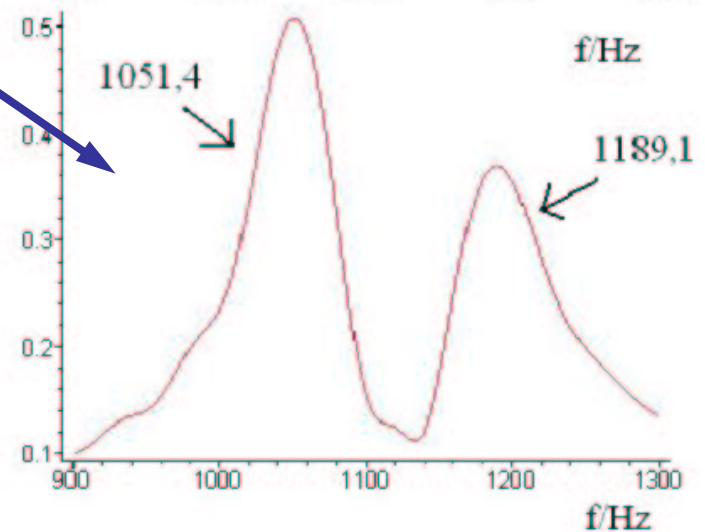
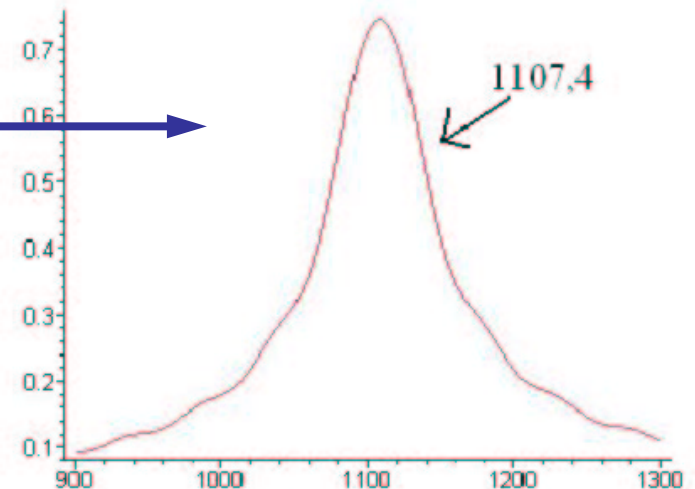
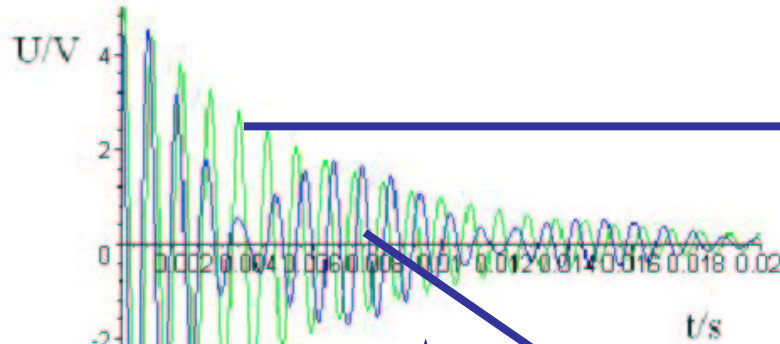
Gekoppelte Schwingungen oder das Ende der CASSY FFT



Gekoppelte Schwingungen oder das Ende der CASSY FFT



Gekoppelte Schwingungen oder das Ende der CASSY FFT



b)

Zusammenfassung Sensor Cassy



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

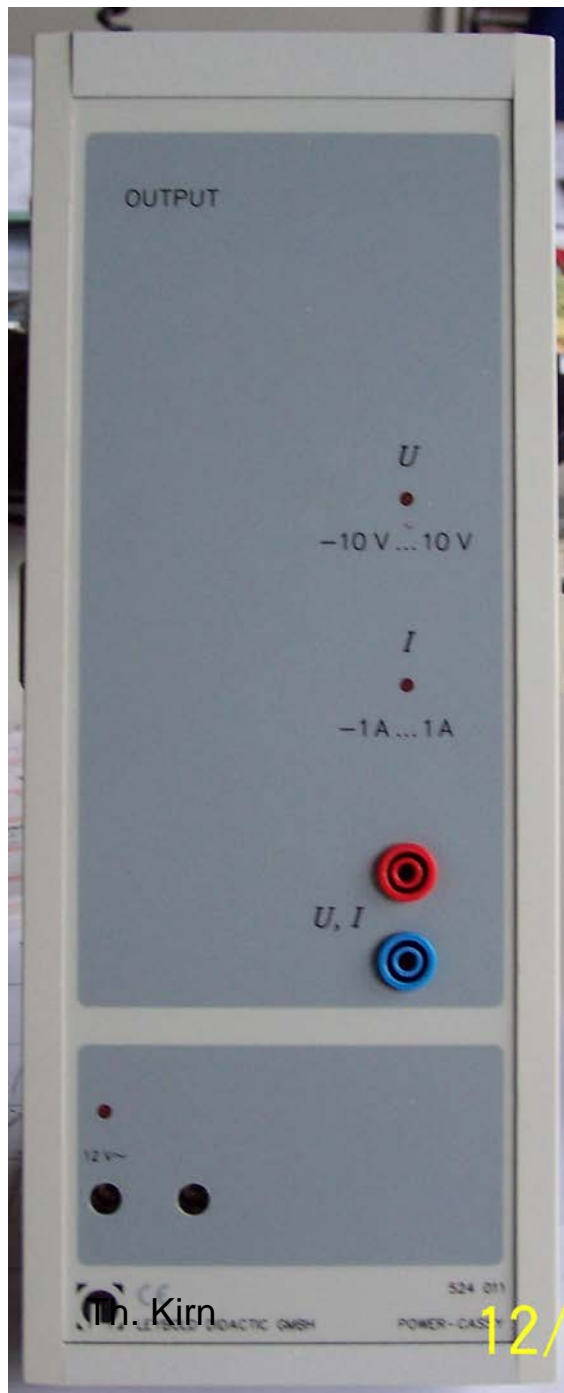
Power Cassy

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

Anschluß an serielle Schnitt-
stelle RS232 des PCs

Spannungsversorgung:

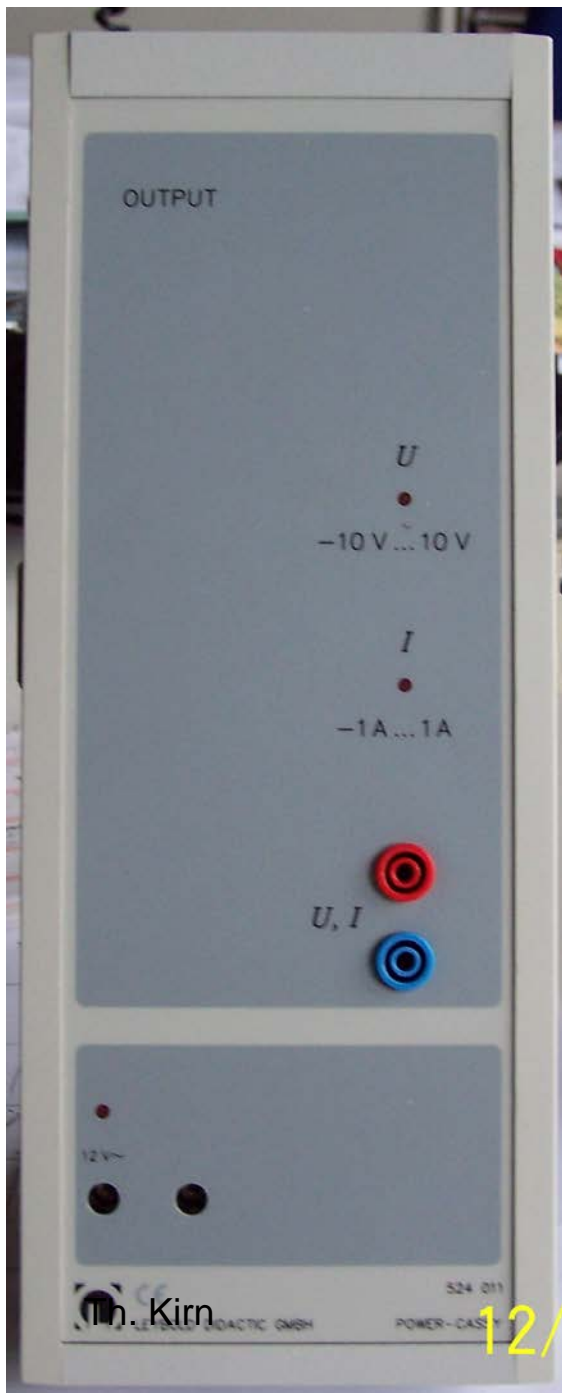
12V AC/DC über Hohlstecker oder
benachbartes Cassy-Modul



Power Cassy

Programmierbare Stromquelle mit gleichzeitiger Spannungsmessung:

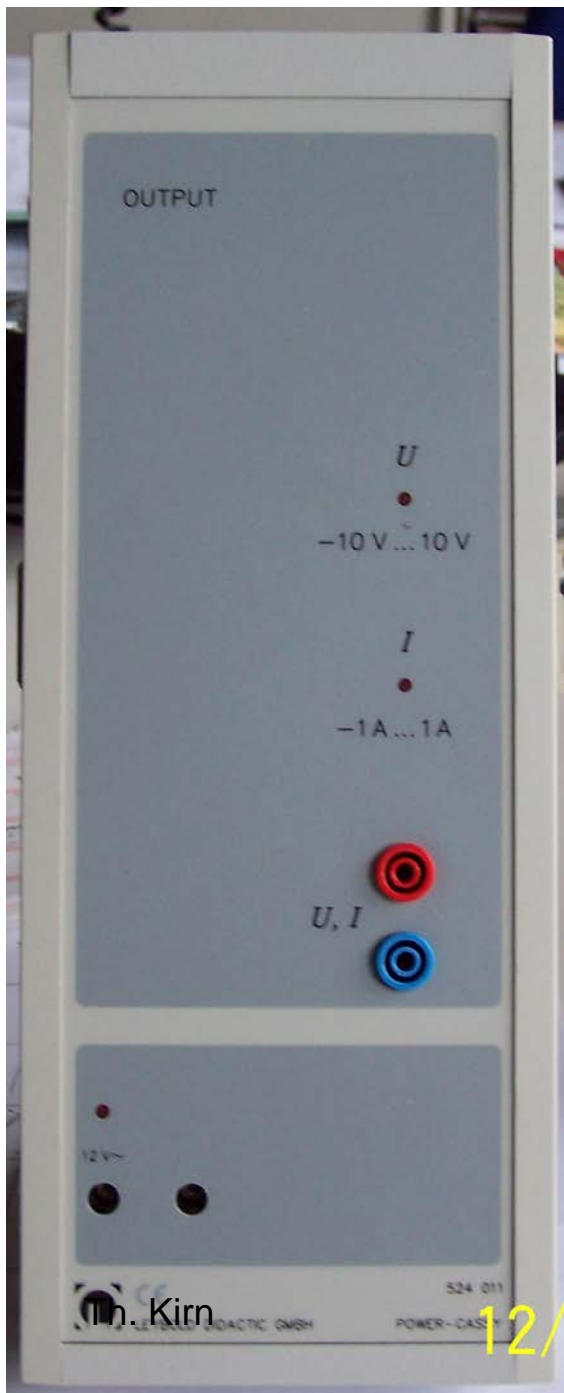
- Auflösung: 12 Bit
- Aussteuerbereich: ± 1 A
- Messbereiche: $\pm 1/3/10$ V
- Abtastrate: max. 200.000 Werte/s
(=100.000 Werte/s Spannung und Strom)



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

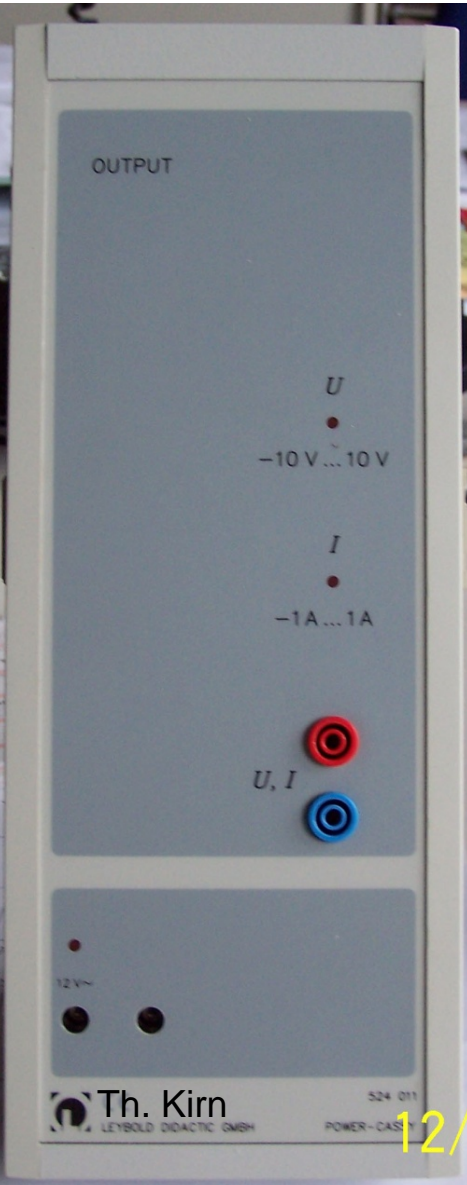
Power Cassy:

Sinusspannung mit

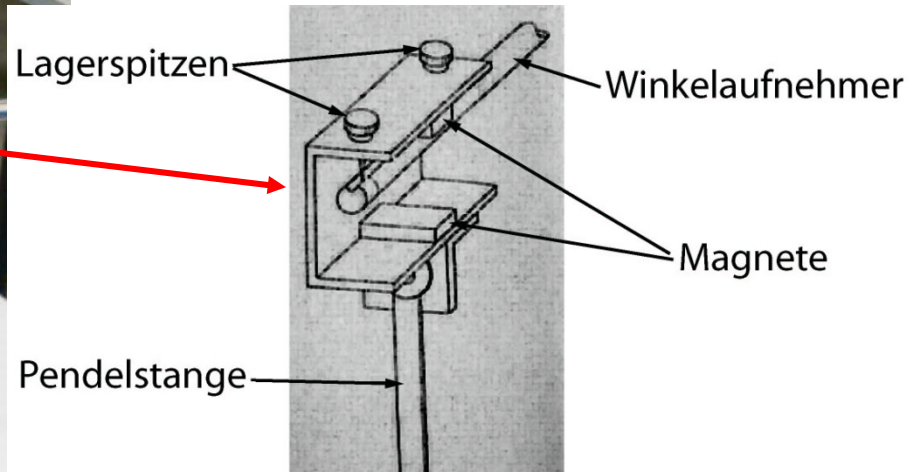
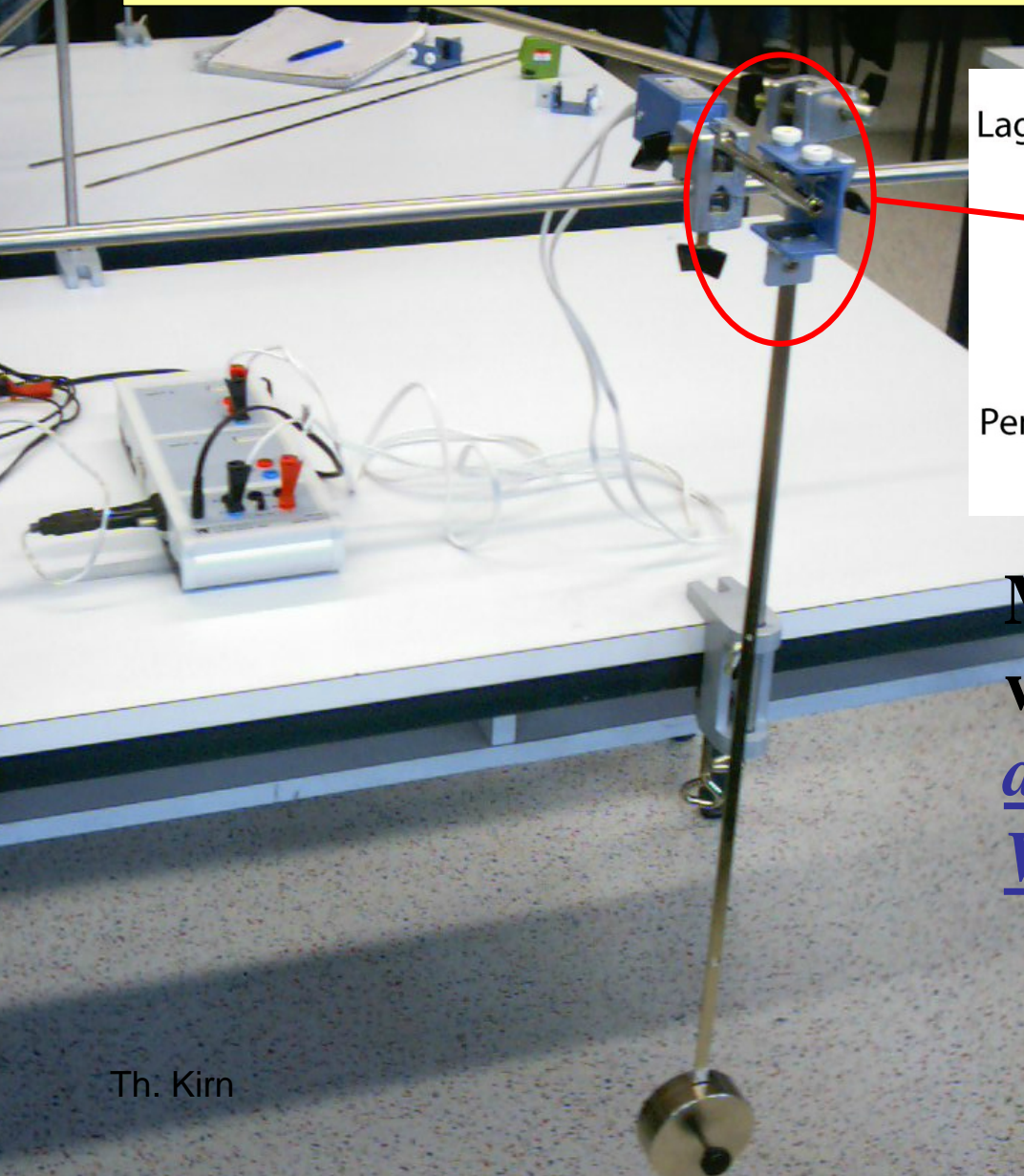
$f = ?$ Hz

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

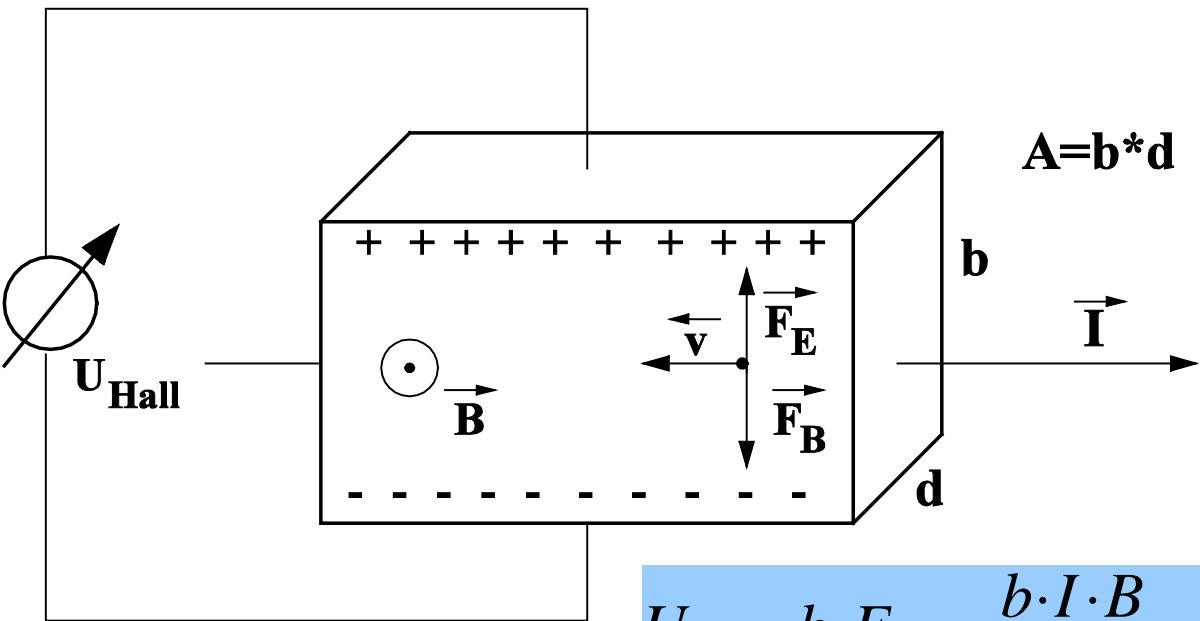
\rightarrow Ladungstrennung \rightarrow E-Feld: $\vec{E} \perp \vec{I}$ und $\vec{F}_E = q \cdot \vec{E}$

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

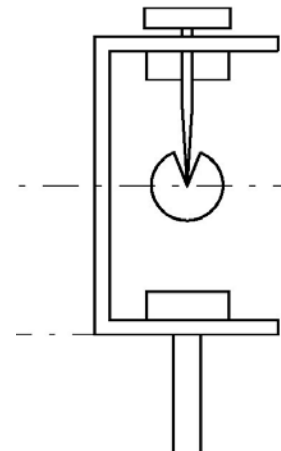
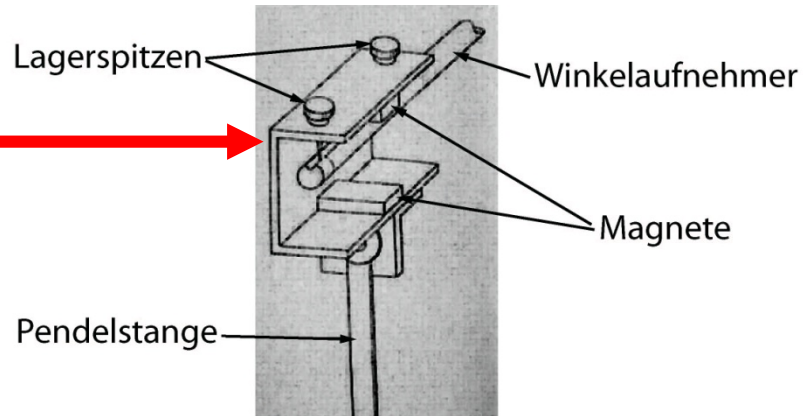
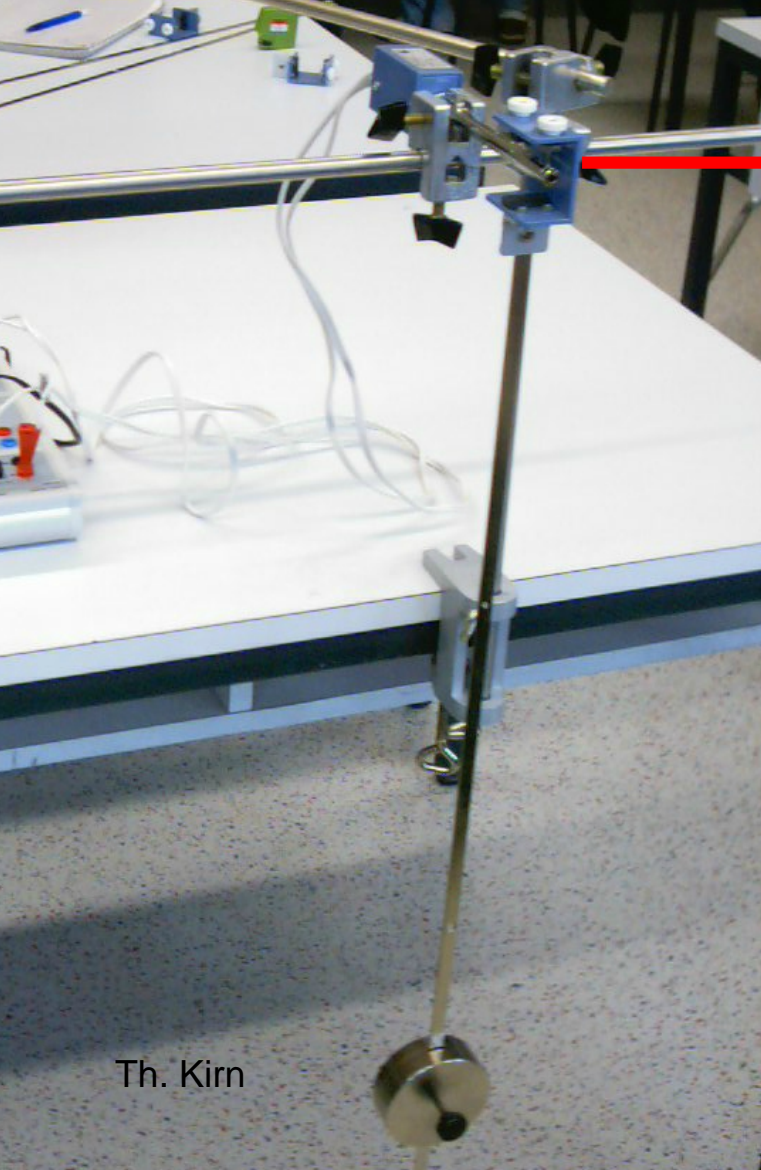
allgemein: $\vec{I} = q \cdot n \cdot A \cdot \vec{v}$

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

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



Spannungsmessung mit Hallsonde



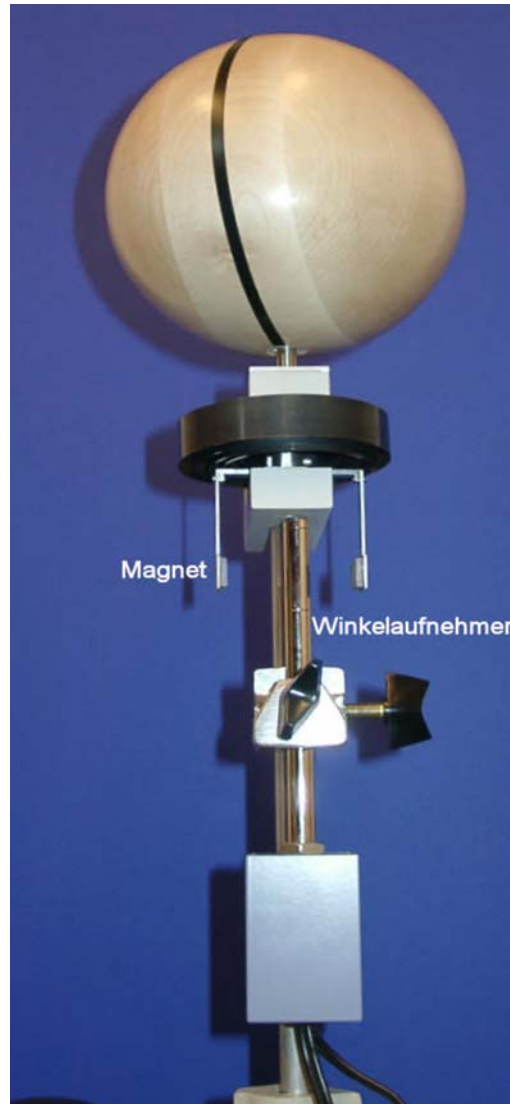
Orientierung der Sonde \rightarrow Empfindlich
auf horizontale B-Komponente B_h

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:

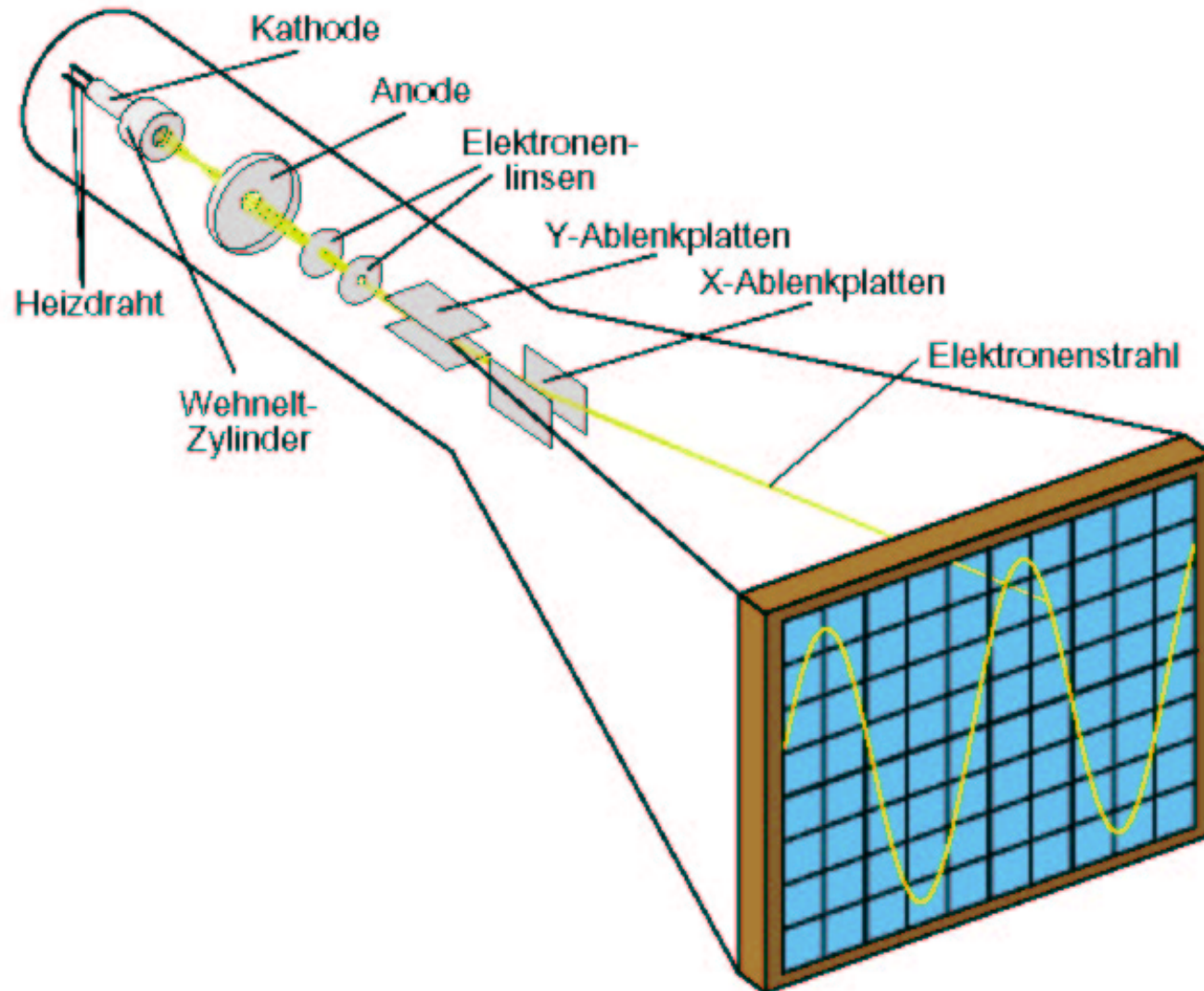
$-20\text{ °C} < T < +70\text{ °C}$: $0,2\text{ °C}$

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

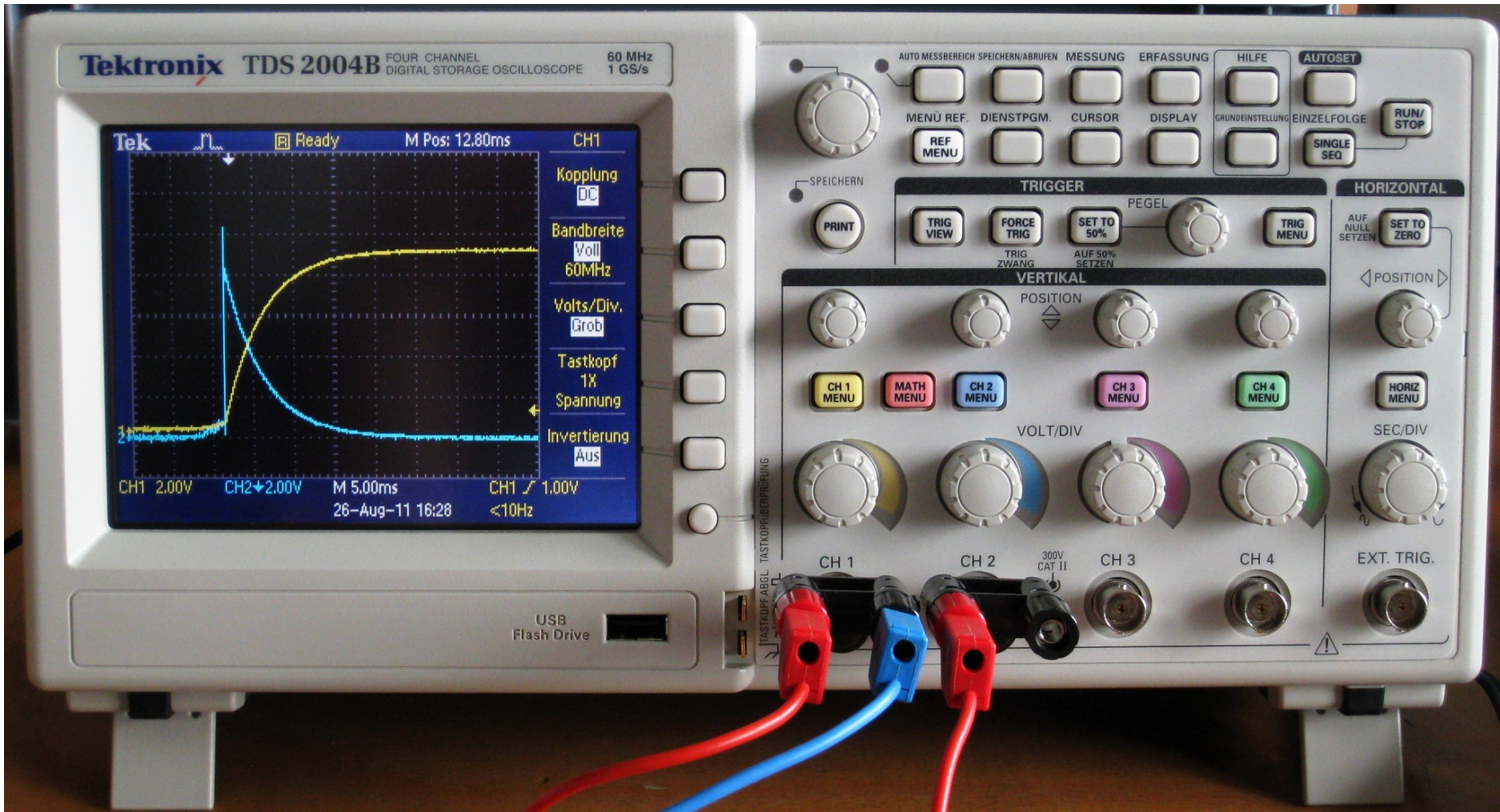
Ansprechzeit:

$>7\text{ s}$ in Flüssigkeiten

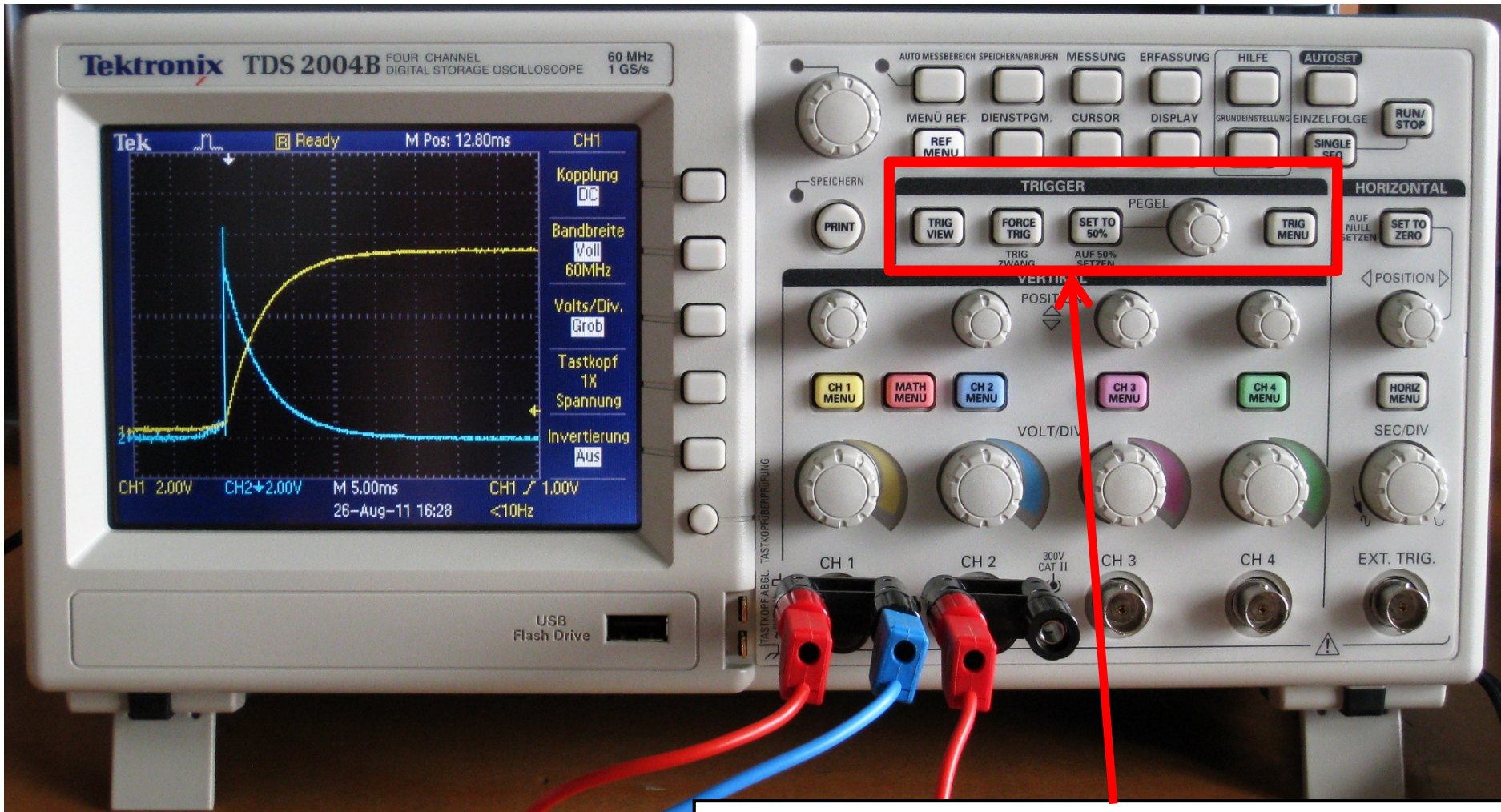
Oszilloskop (Braunsche Röhre)



Digital Oszilloskop



Digital Oszilloskop



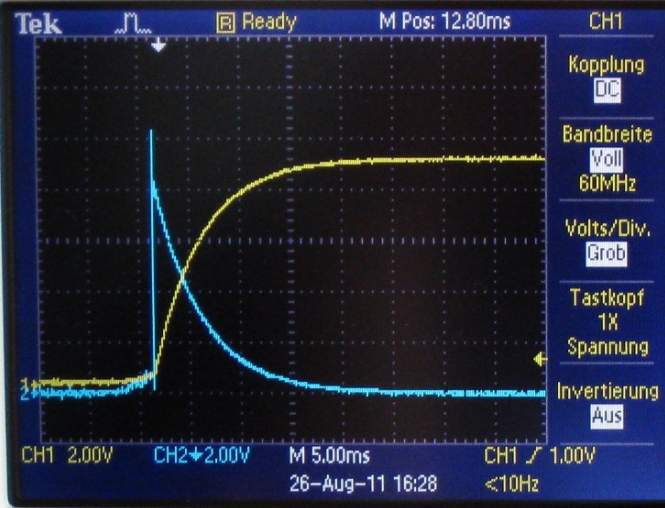
Einstellungen des Triggers, der steuert, wann ein Signal auf Display angezeigt werden soll

Digital Oszilloskop

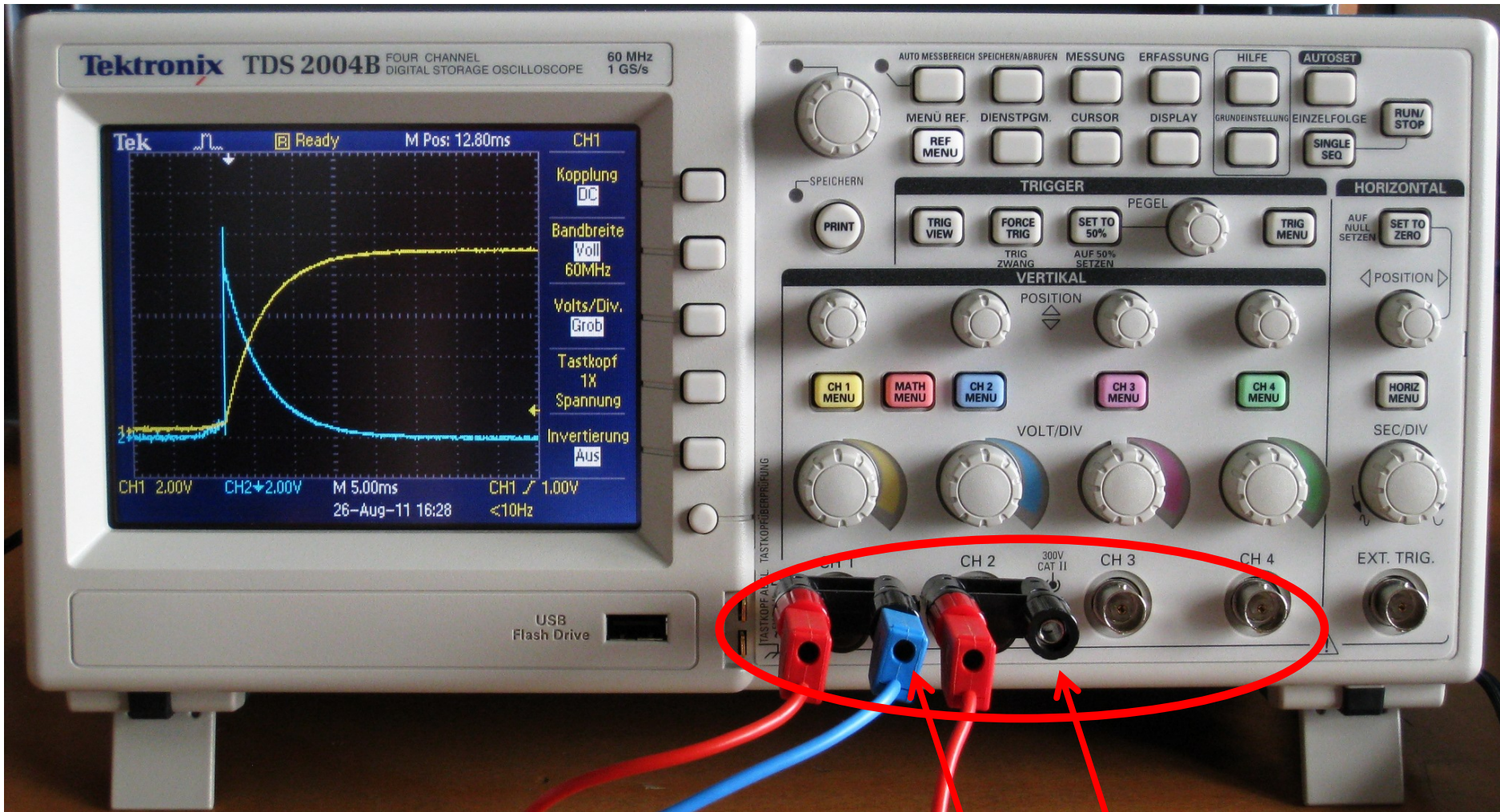
Einstellungen der Triggerschwelle

Einstellungen des Triggermenues

Tektronix TDS 2004B FOUR CHANNEL DIGITAL STORAGE OSCILLOSCOPE 60 MHz 1 GS

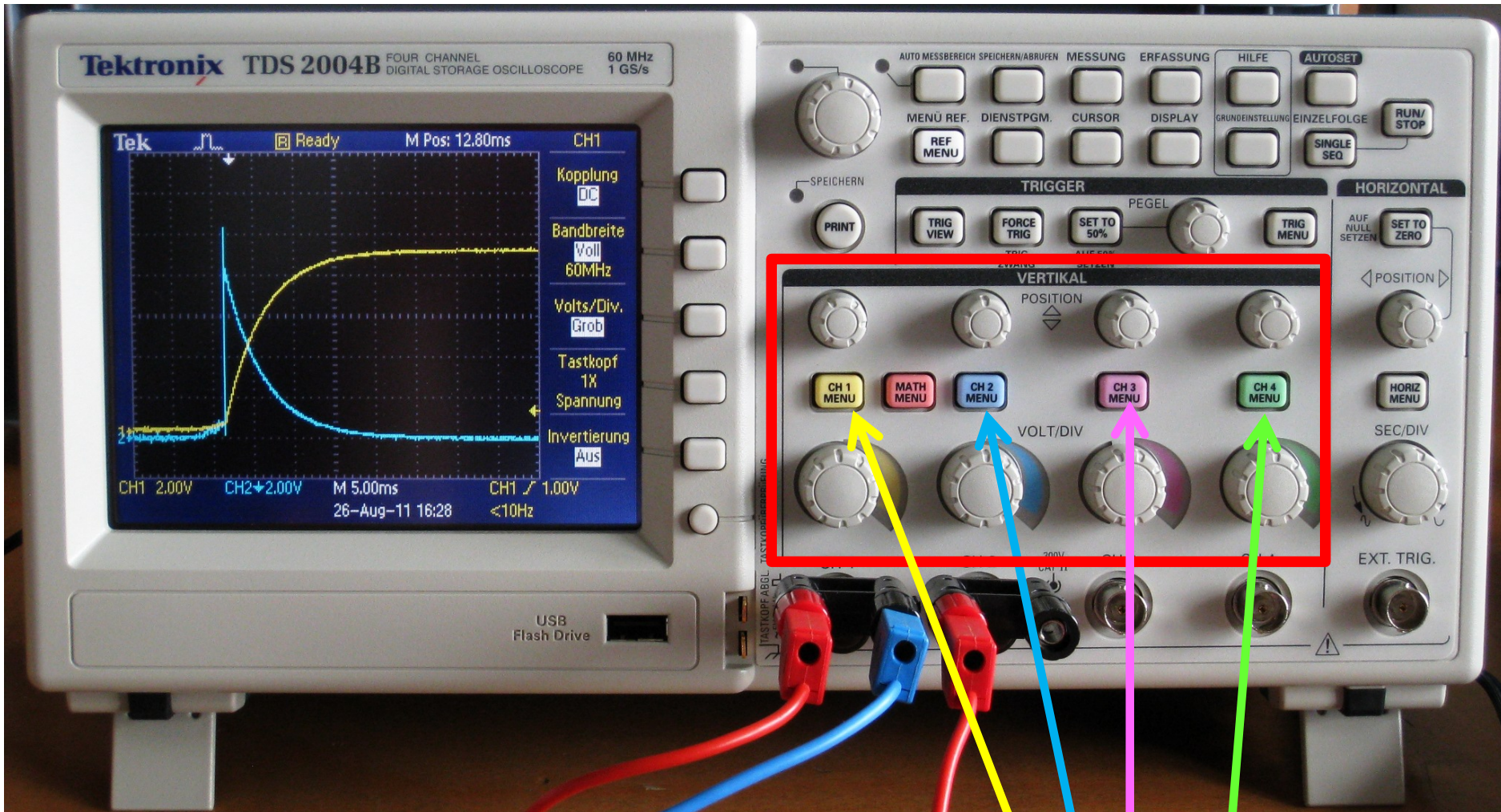


Digital Oszilloskop



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

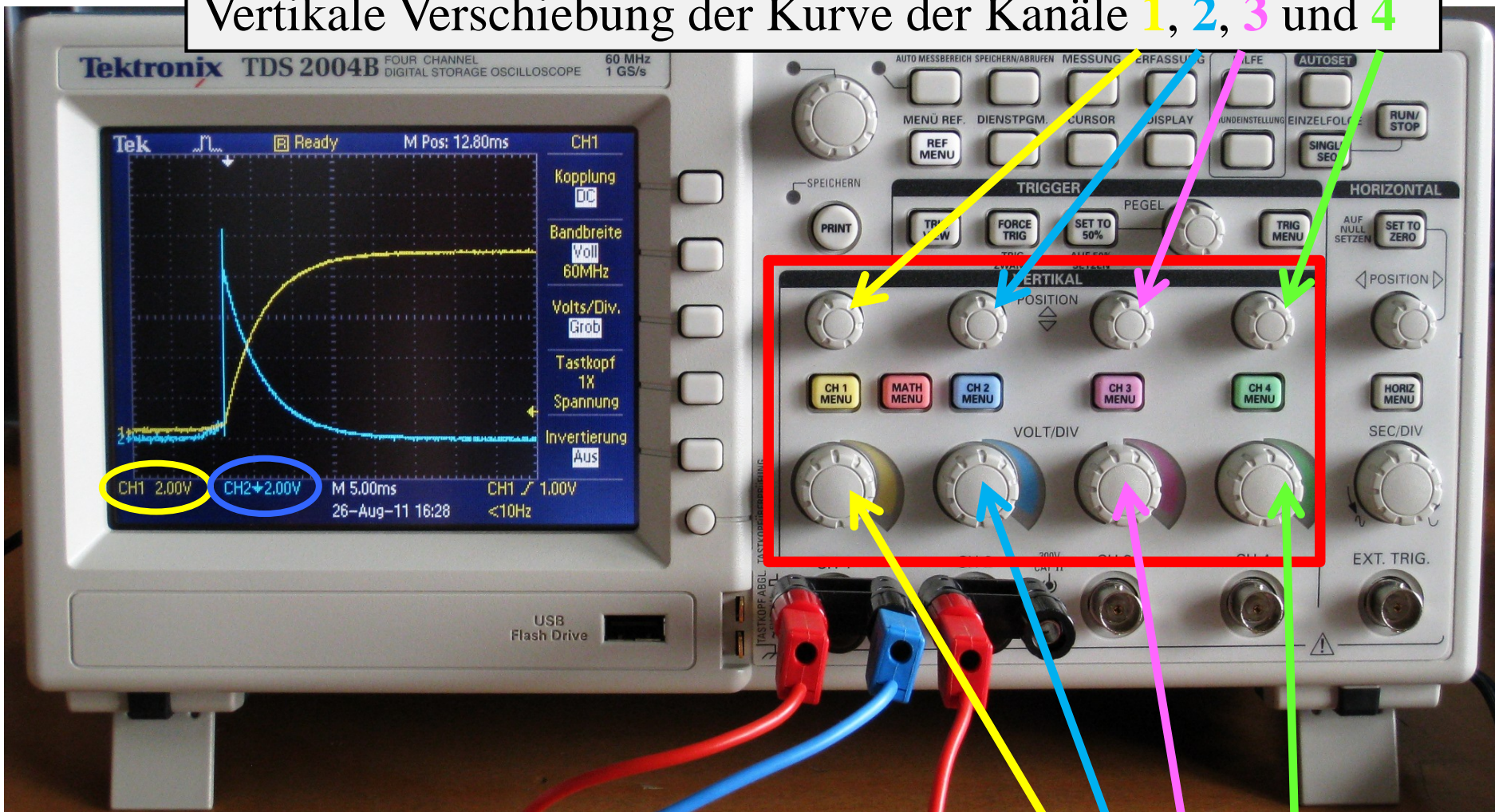
Digital Oszilloskop



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

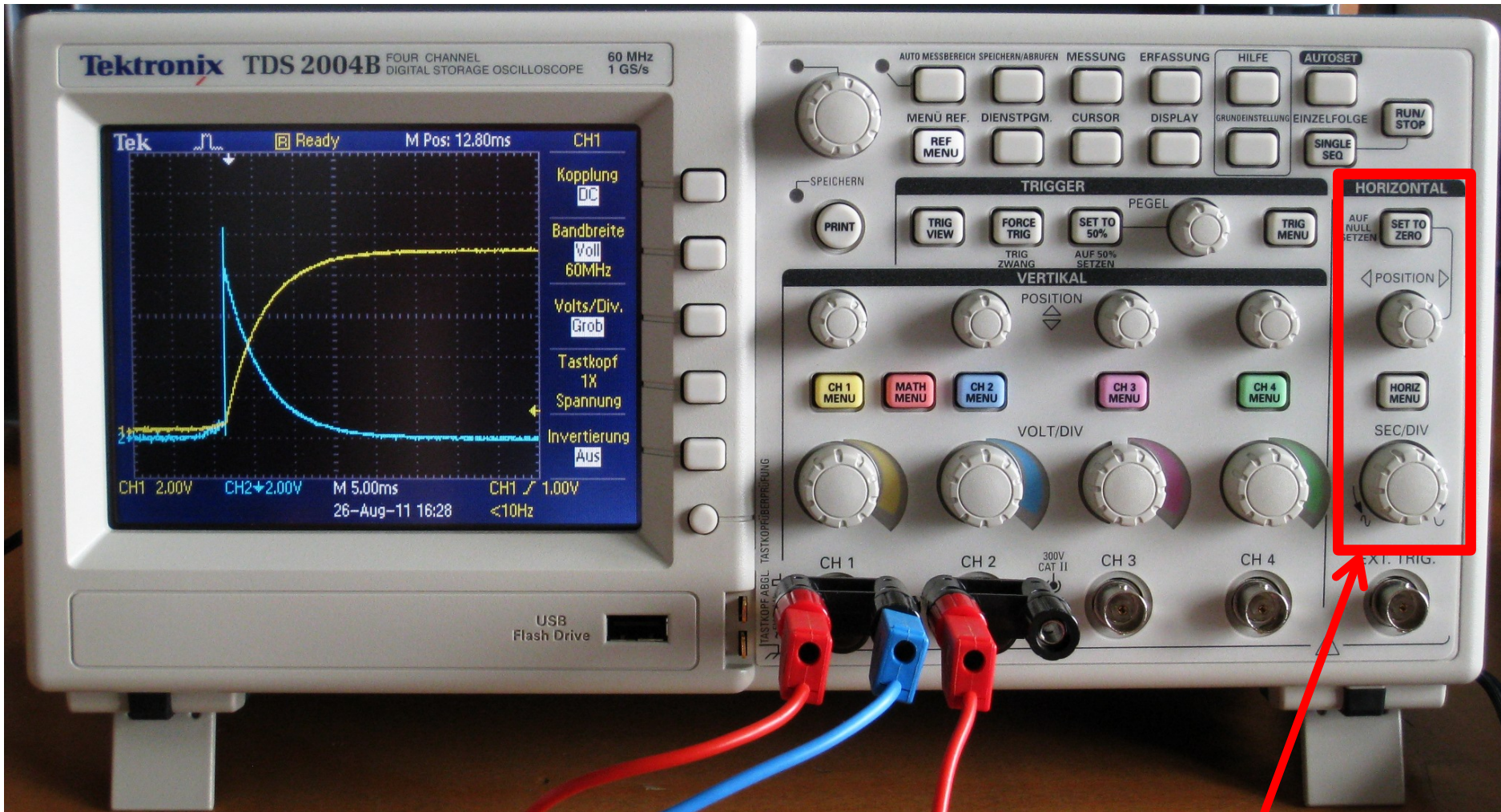
Digital Oszilloskop

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



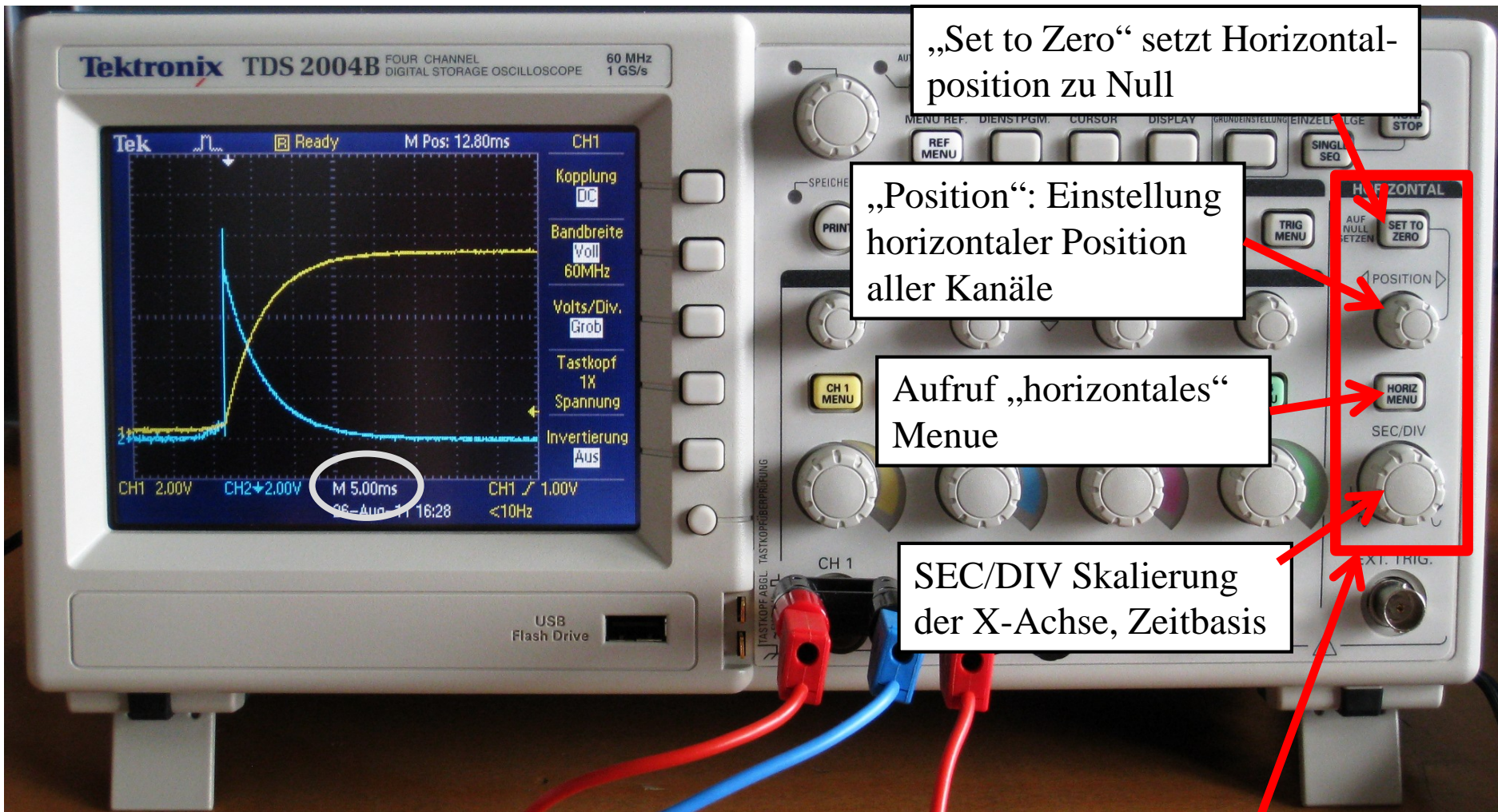
Volt/Div Einstellung der Skalierung der y-Achsen der Kanäle 1, 2, 3 und 4

Digital Oszilloskop



Horizontale Einstellungen

Digital Oszilloskop



„Set to Zero“ setzt Horizontalposition zu Null

„Position“: Einstellung horizontaler Position aller Kanäle

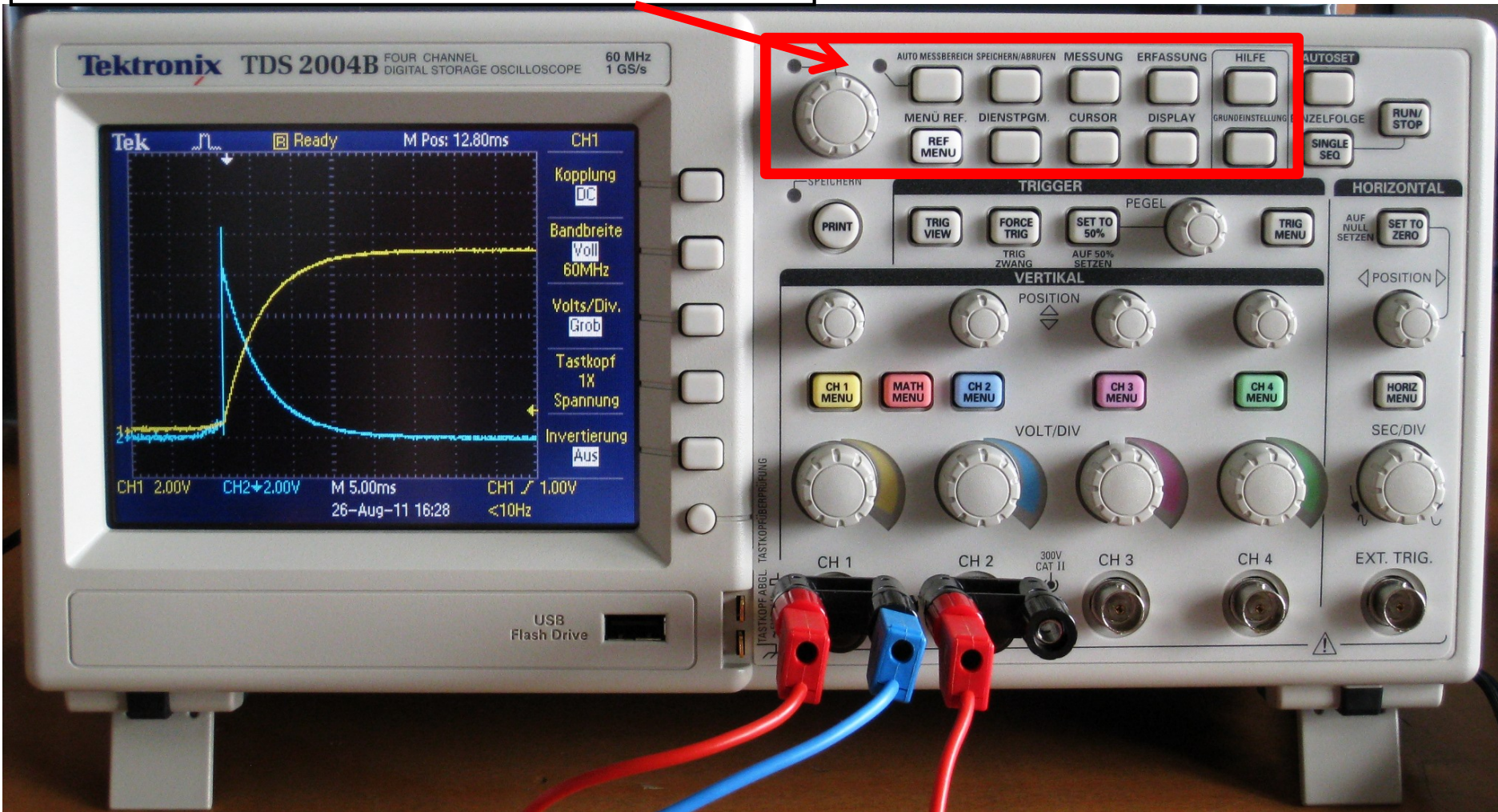
Aufruf „horizontales“ Menue

SEC/DIV Skalierung der X-Achse, Zeitbasis

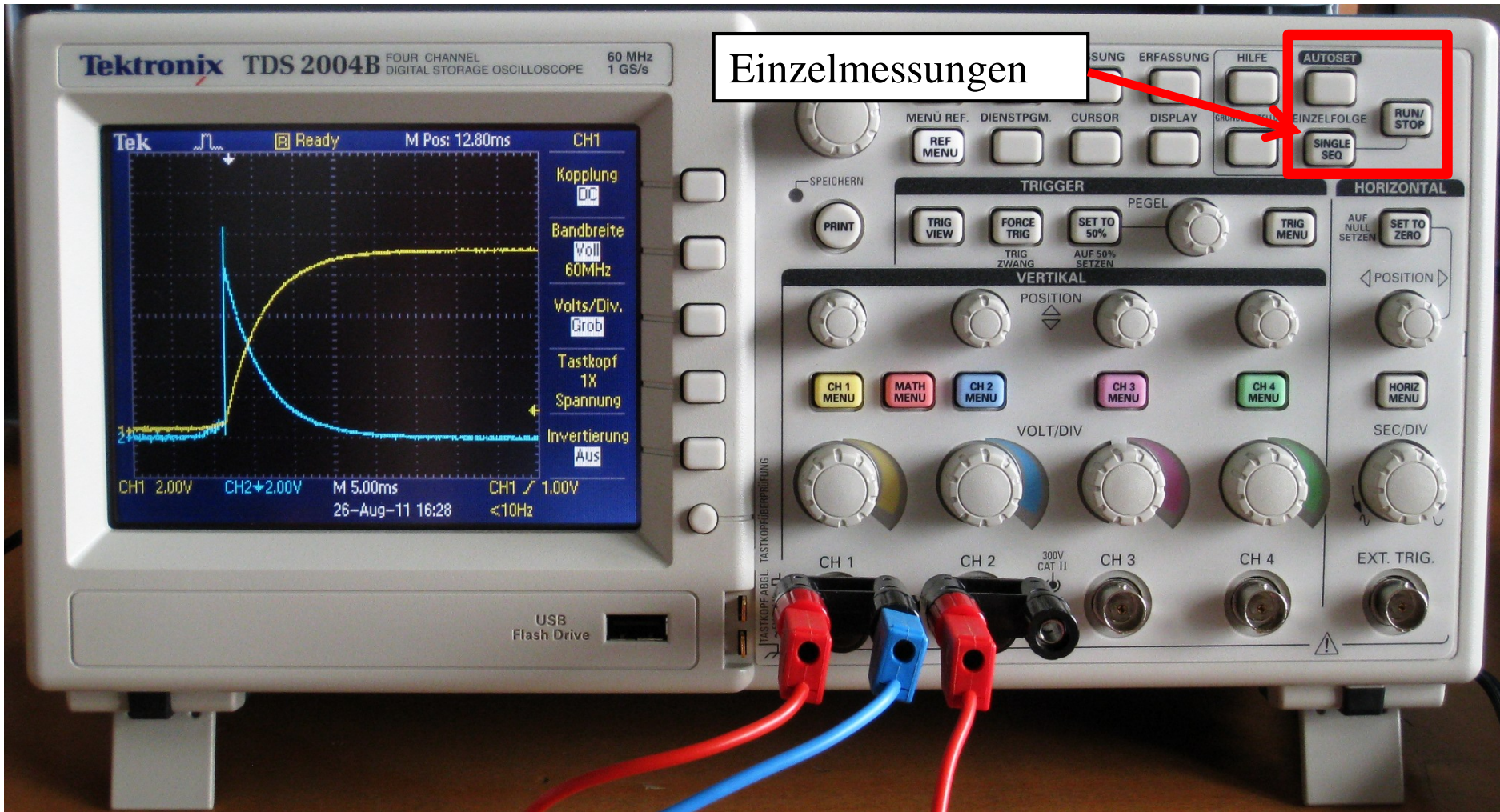
Horizontale Einstellungen

Digital Oszilloskop

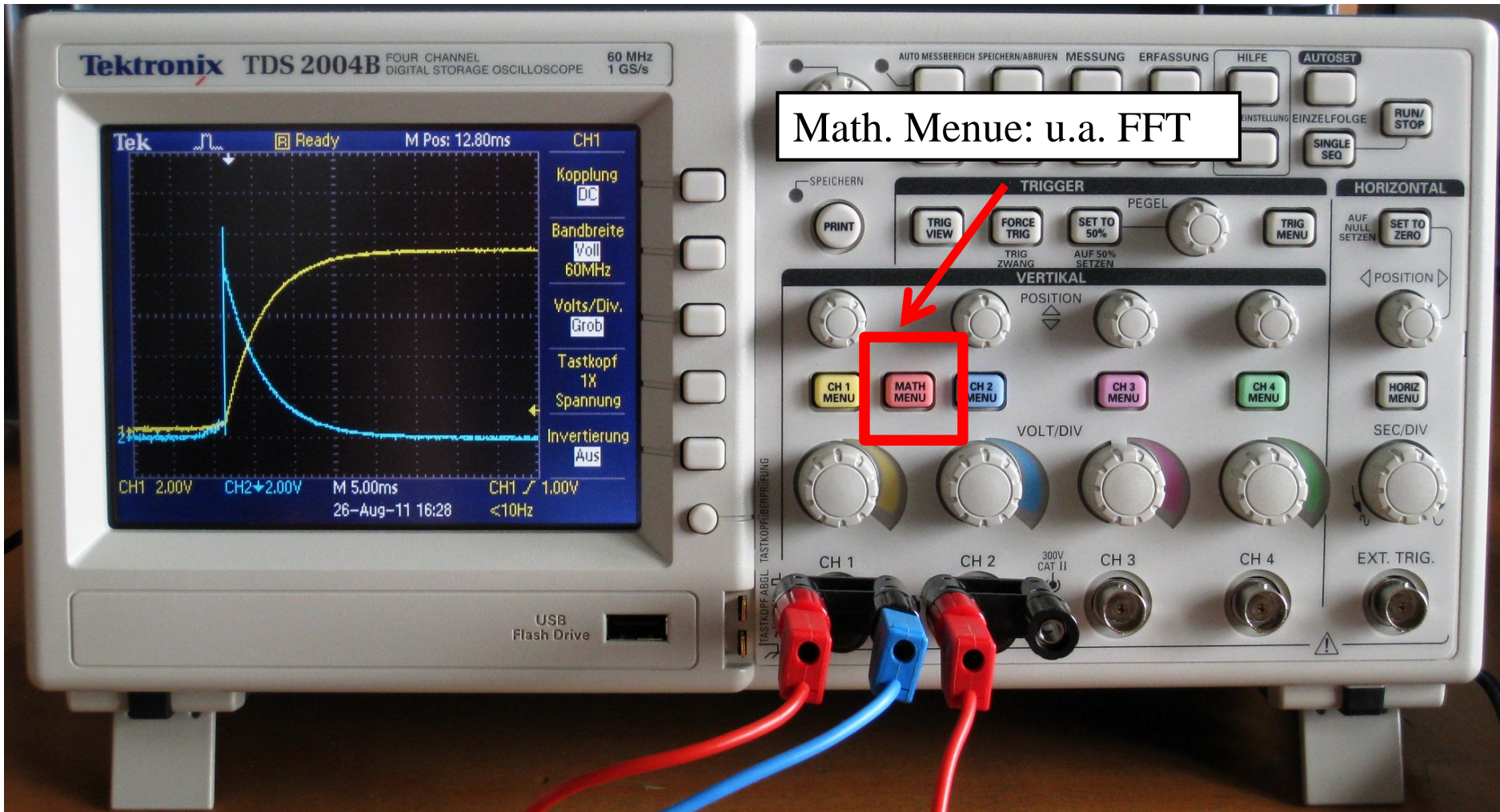
Allgem. Einstellungen, Cursor, Messungen



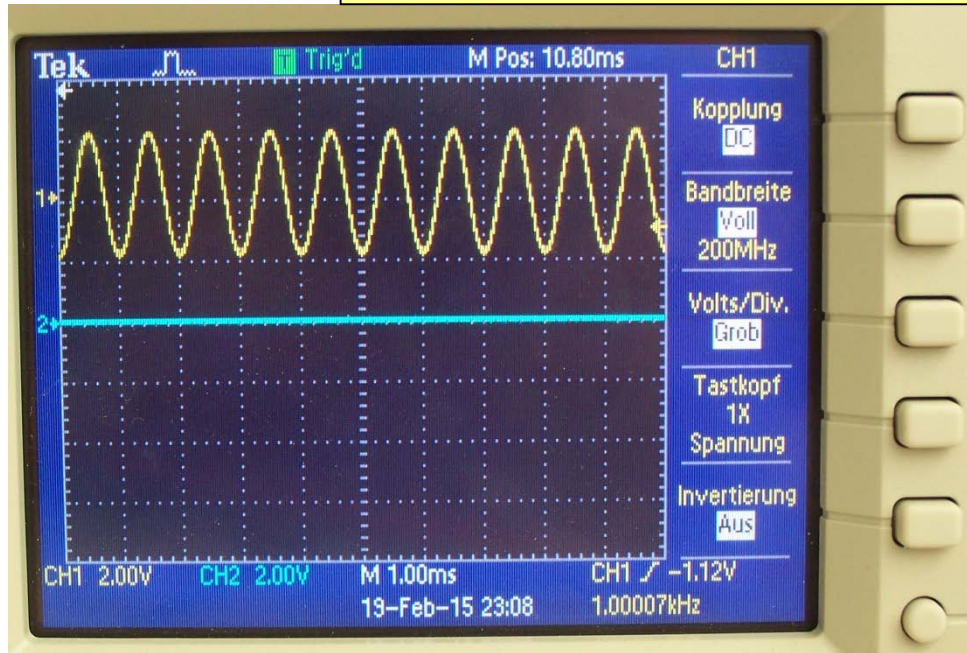
Digital Oszilloskop



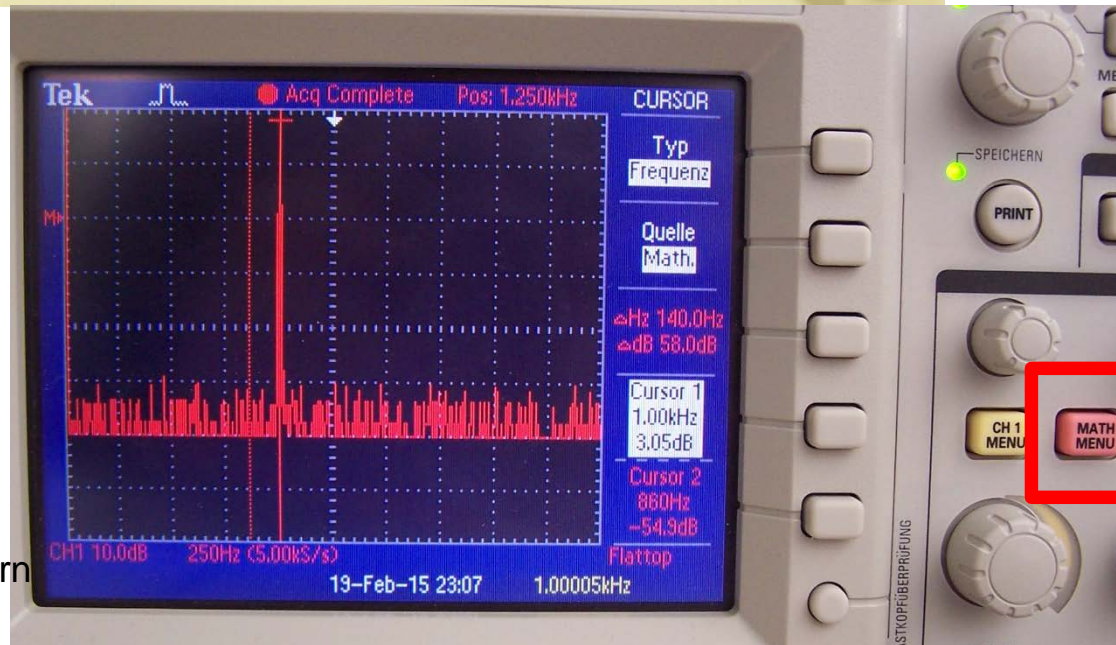
Digital Oszilloskop



Digital Oszilloskop

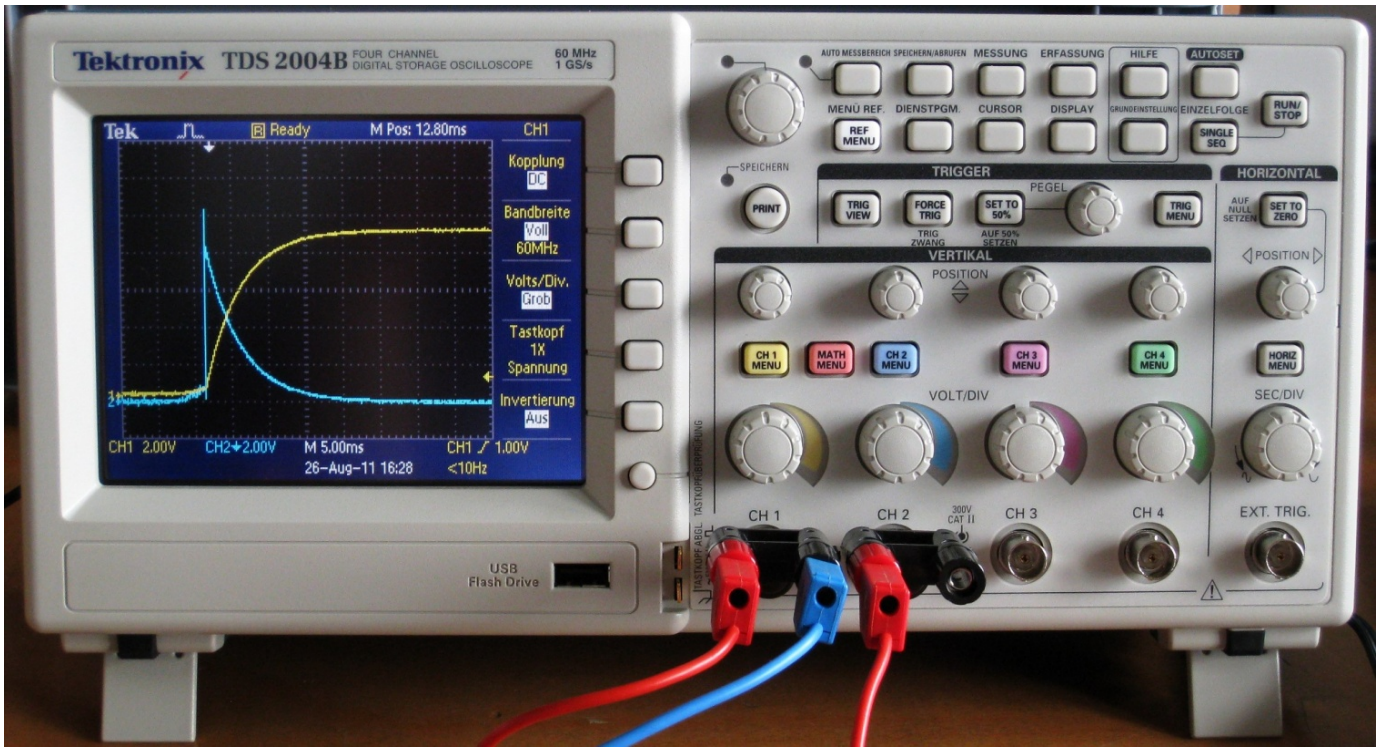
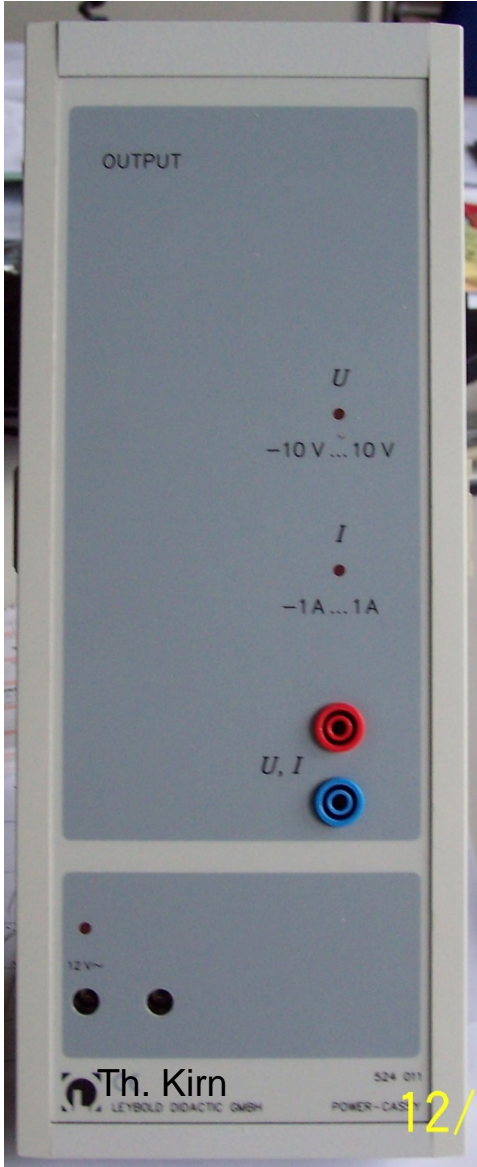


FFT einer Einzelmessung einer Schwingung



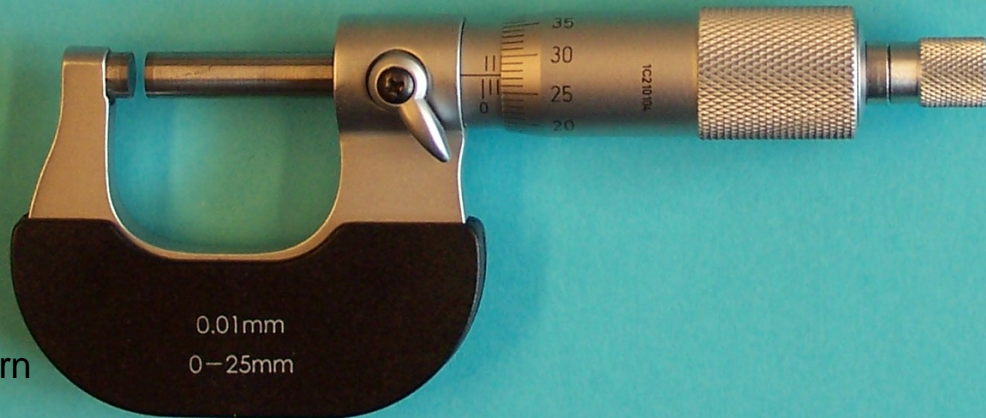
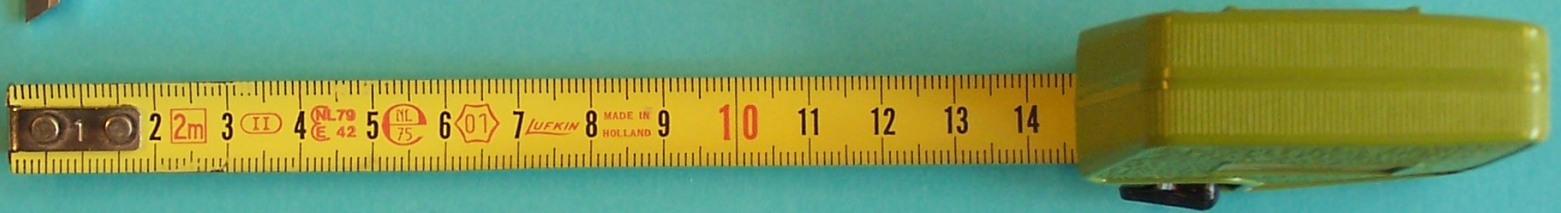
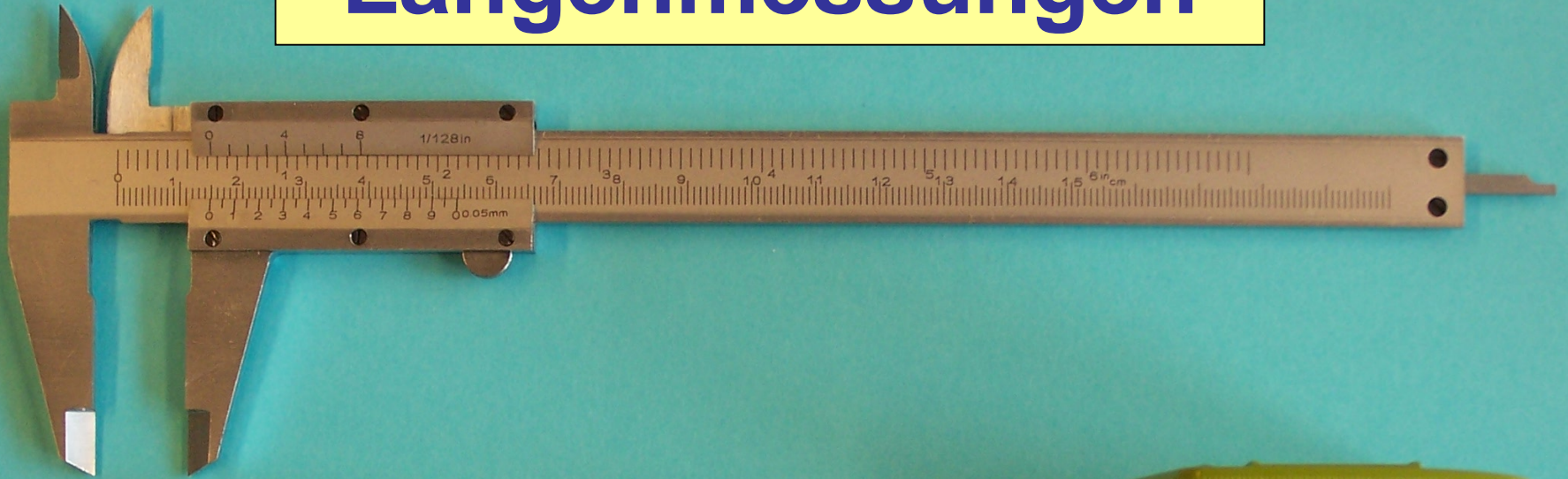
Power Cassy vs Oszilloskop

4. Übung



12/

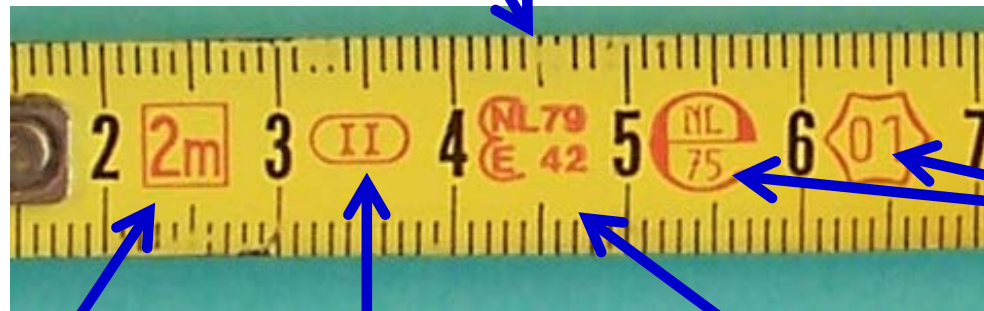
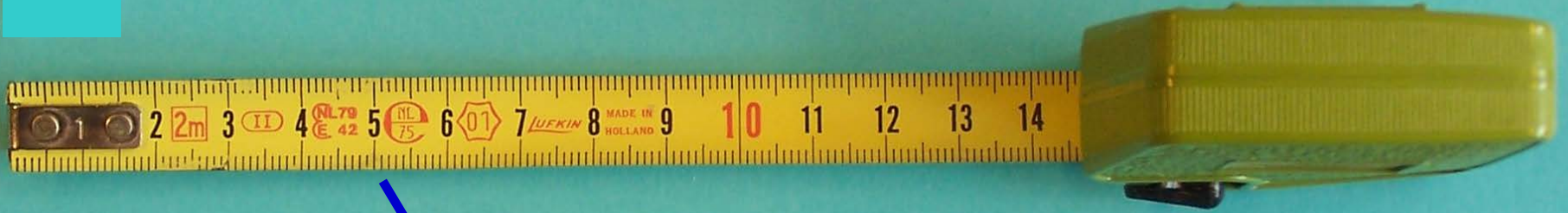
Längenmessungen



Th. Kirn

0.01mm
0-25mm

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

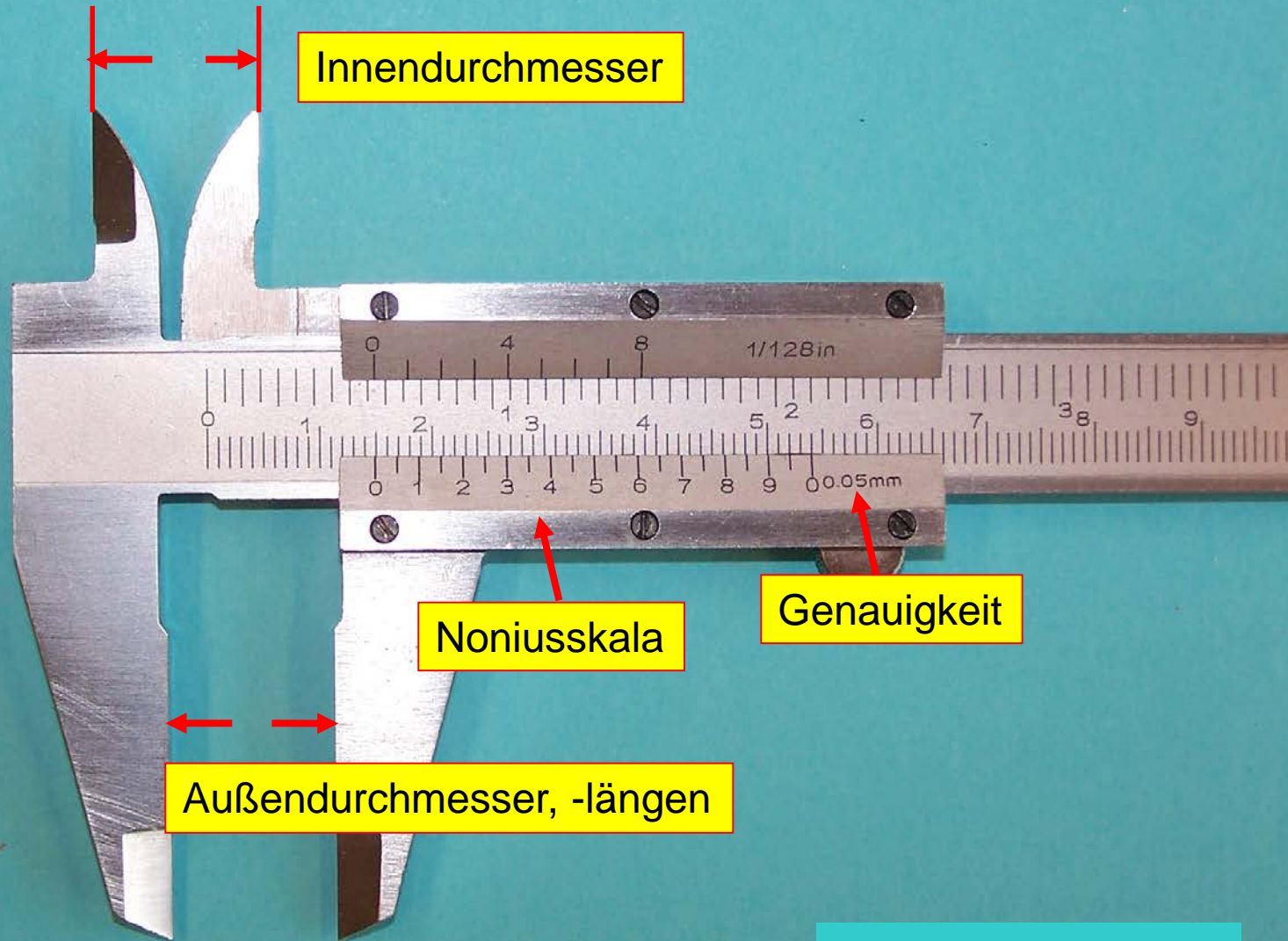
Längenmessungen mit Maßband



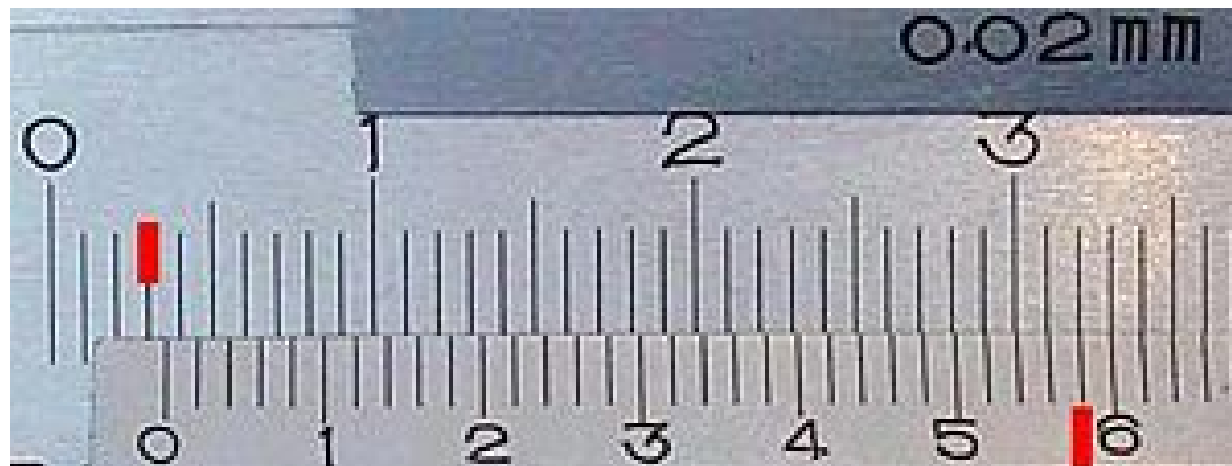
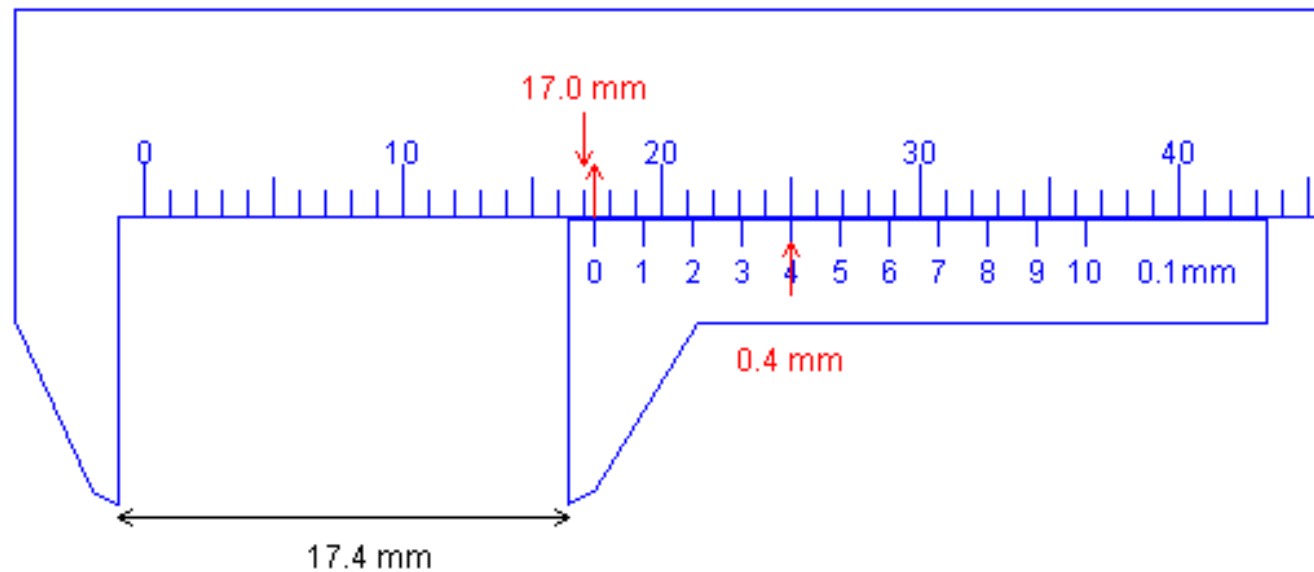
Messunsicherheiten:

- 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

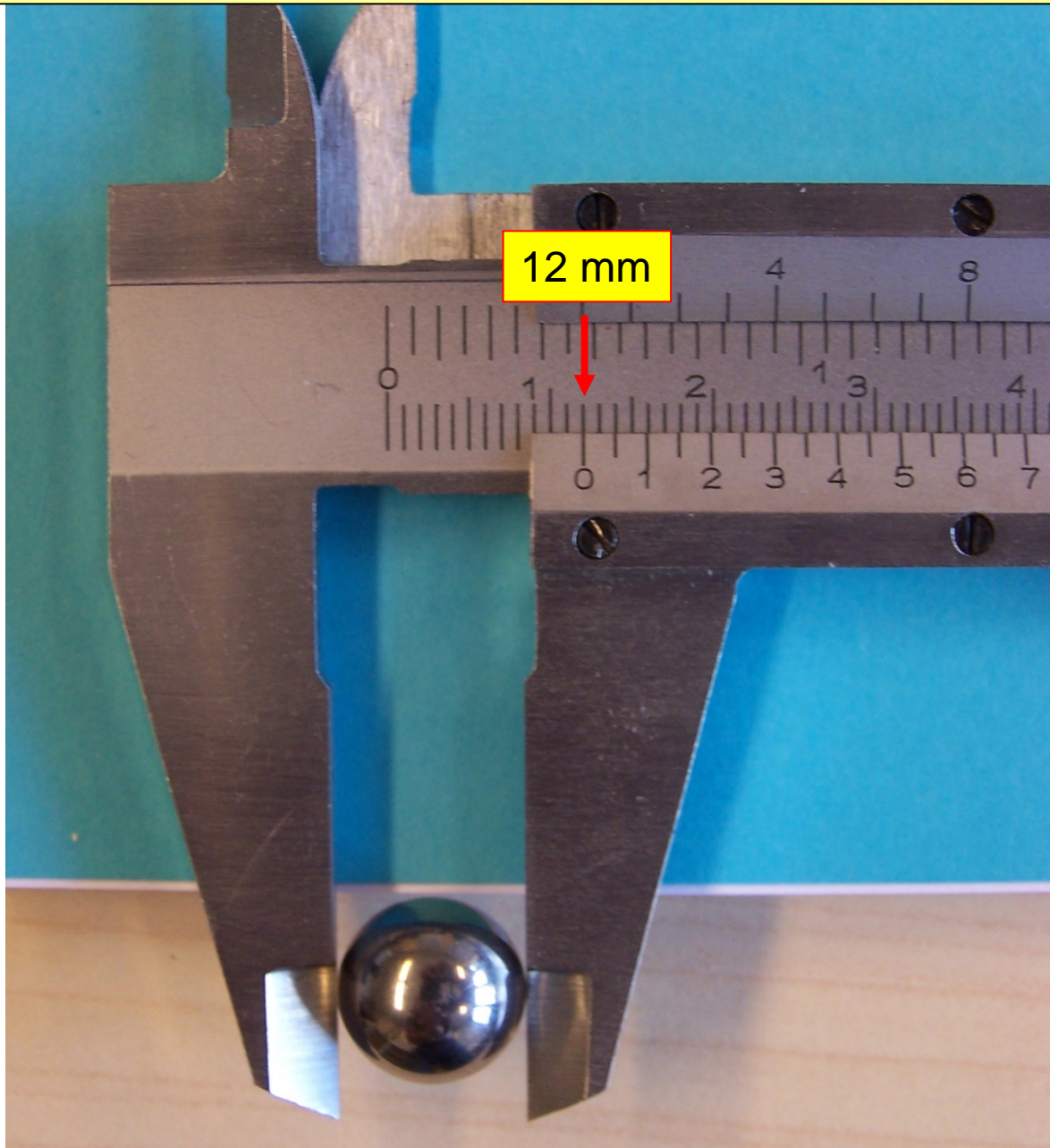


Längenmessungen mit Messschieber

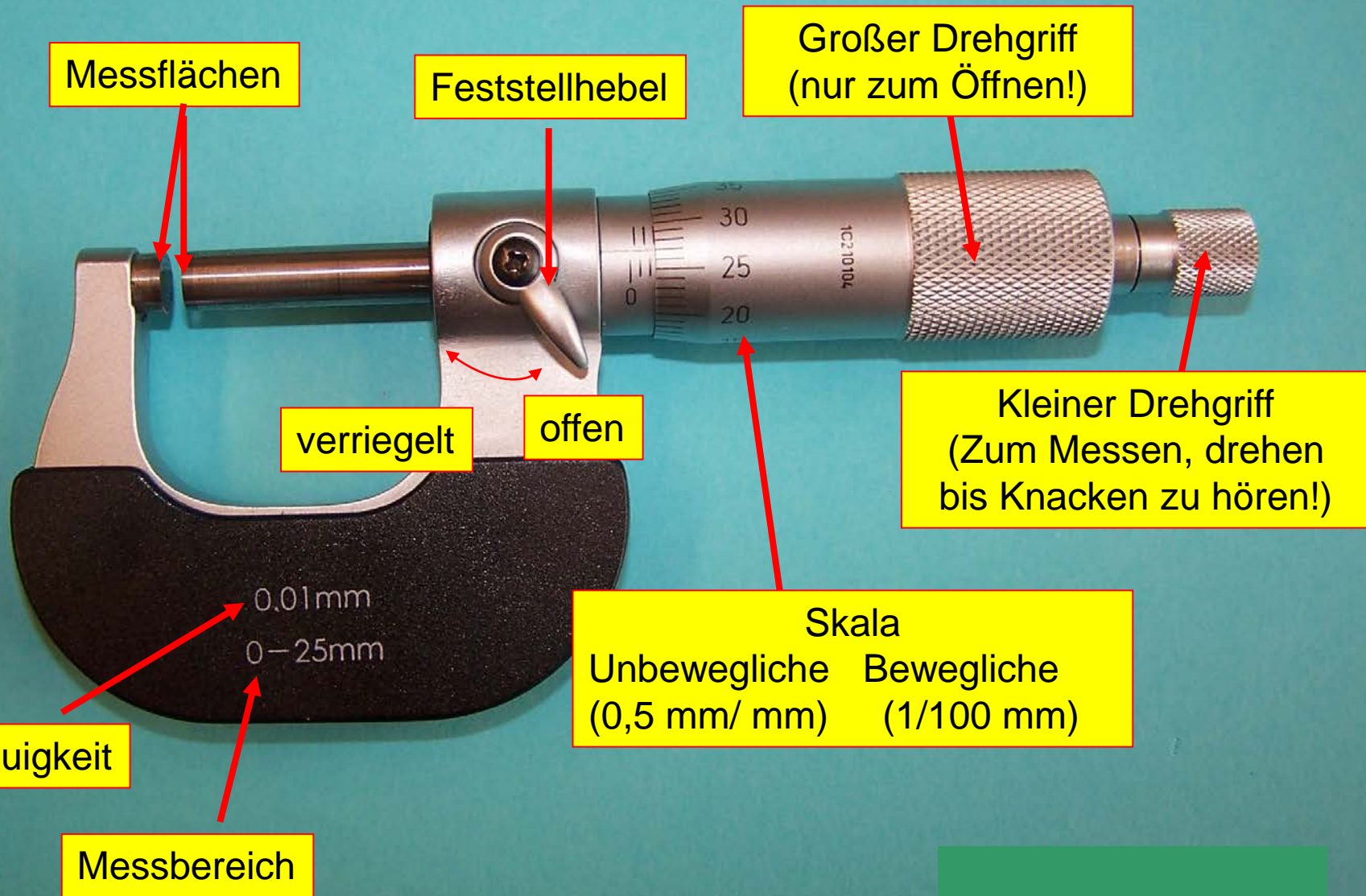


3,58 mm

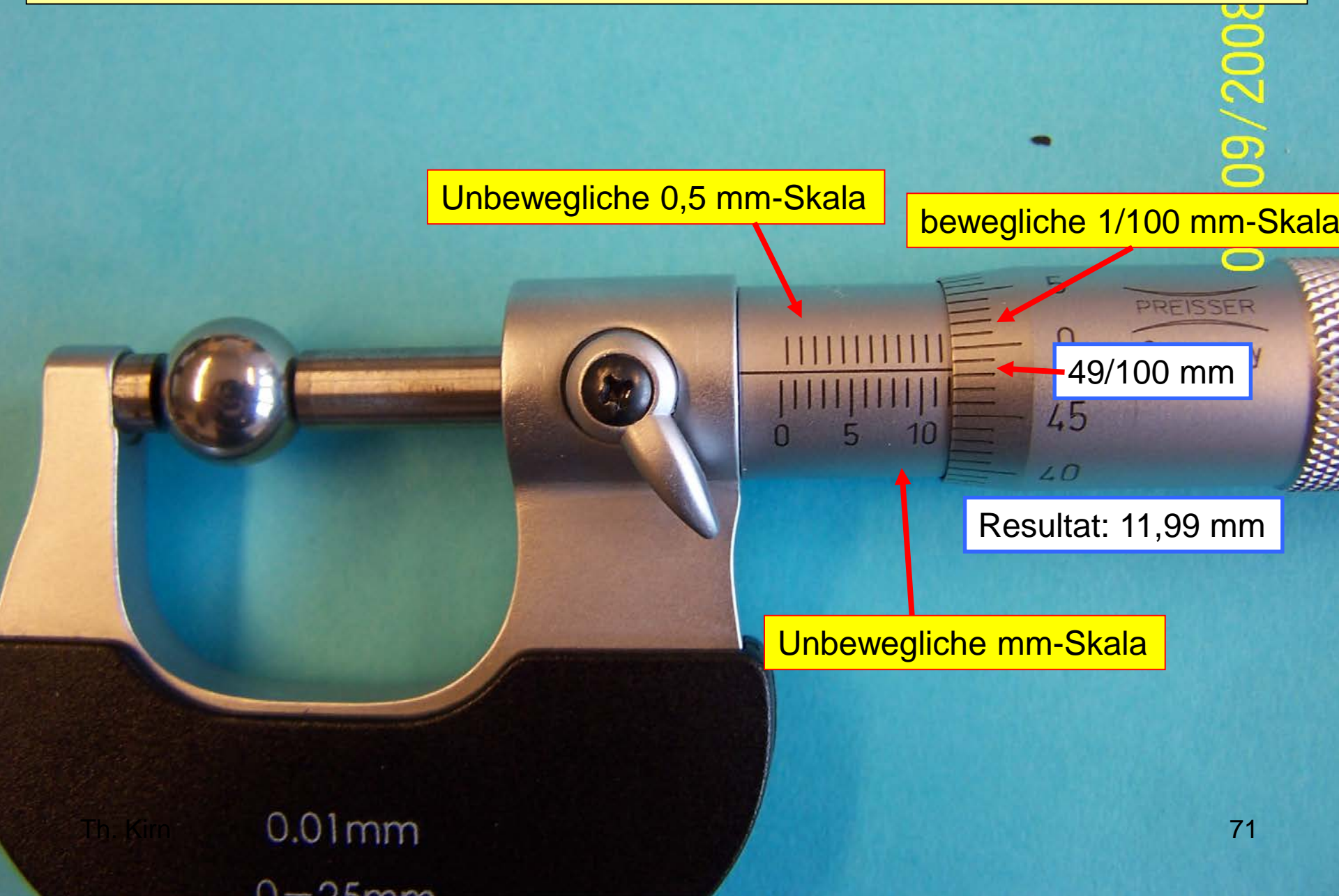
Längenmessungen mit Messschieber



Längenmessungen mit Mikrometerschraube



Längenmessungen mit Mikrometerschraube



Unbewegliche 0,5 mm-Skala

bewegliche 1/100 mm-Skala

49/100 mm

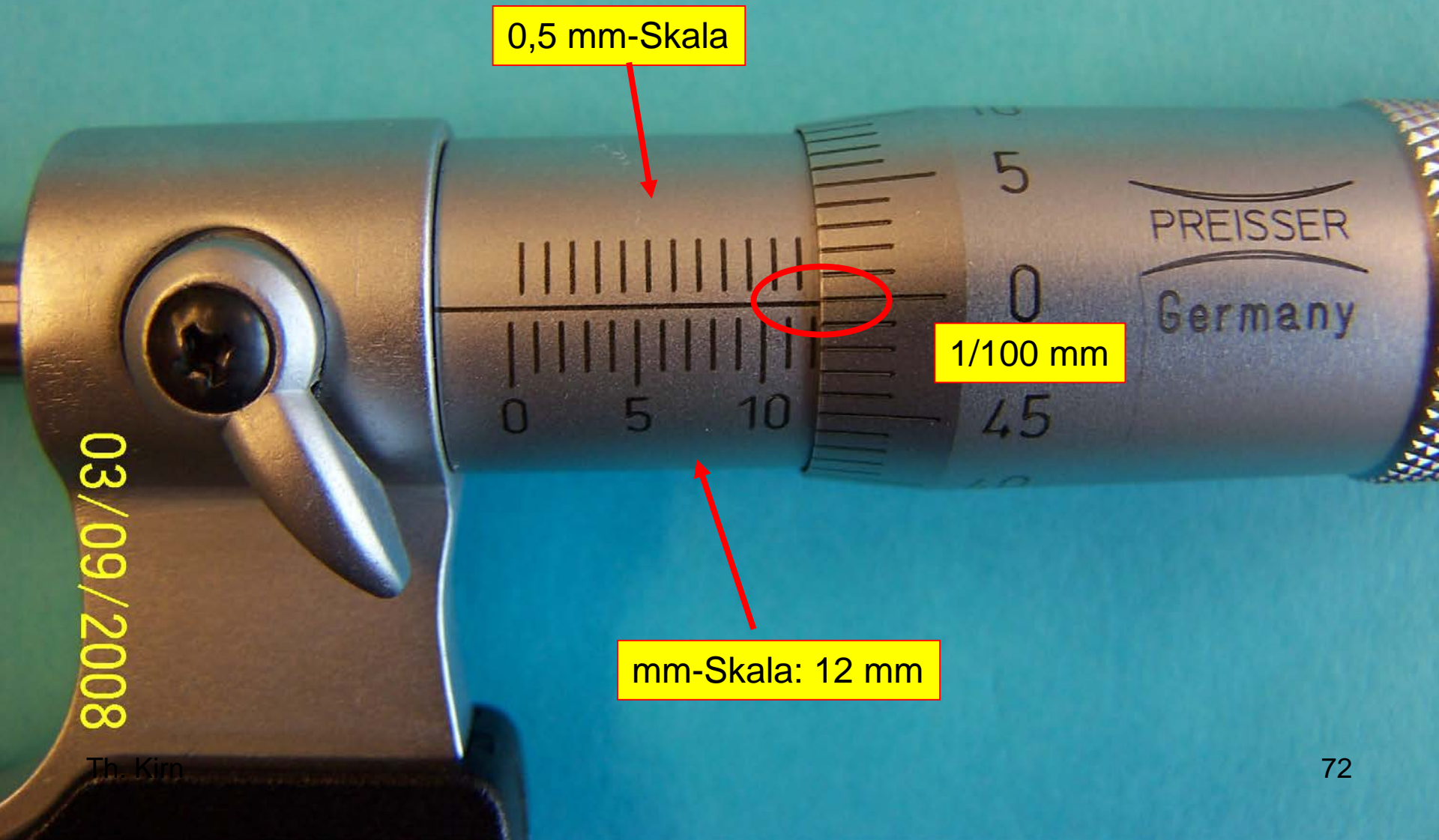
Resultat: 11,99 mm

Unbewegliche mm-Skala

Th. Kirm 0.01mm

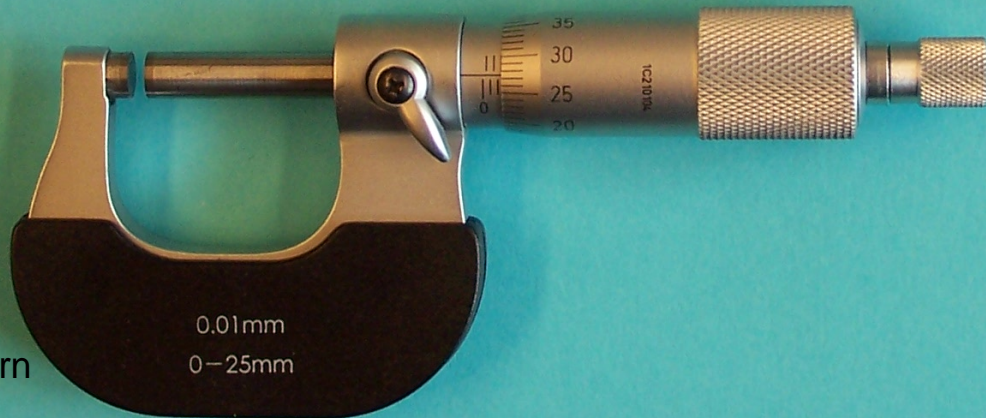
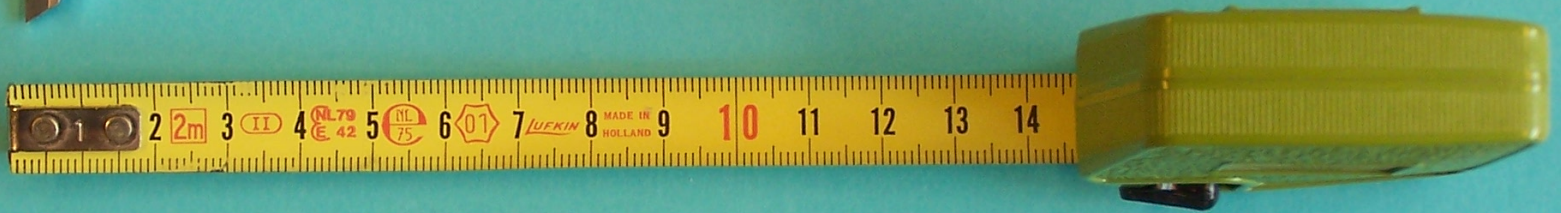
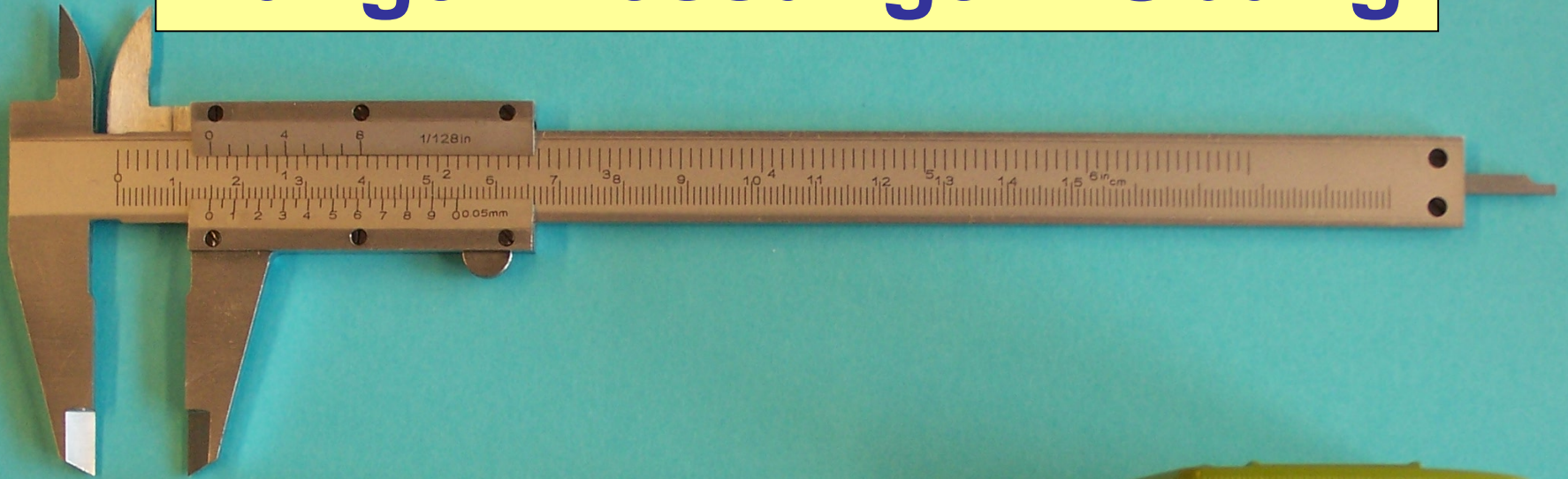
0-25mm

Längenmessungen mit Mikrometerschraube



03/09/2008

Längenmessungen: Übung



Th. Kirn

0.01mm
0-25mm

Viel Erfolg !