

Messinstrumente im physikalischen Grundpraktikum

Dr. Th. Kirn

I. Physikalisches Institut B

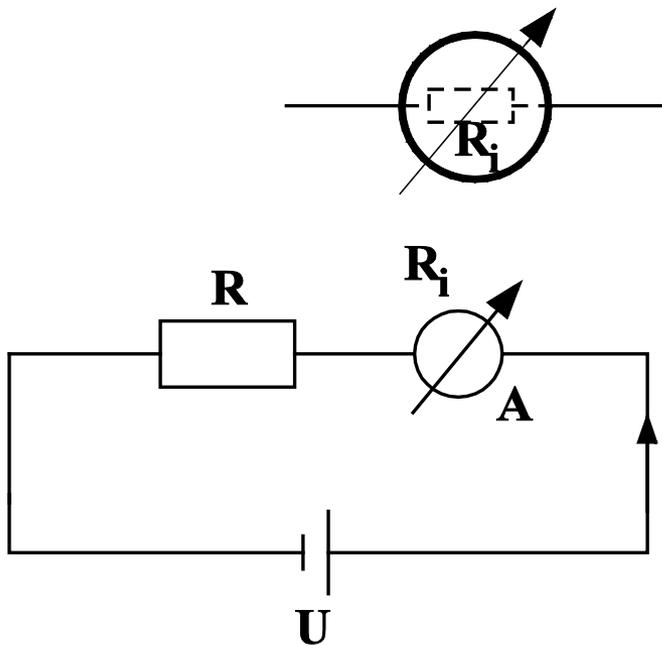
Messinstrumente im physikalischen Grundpraktikum

- 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!

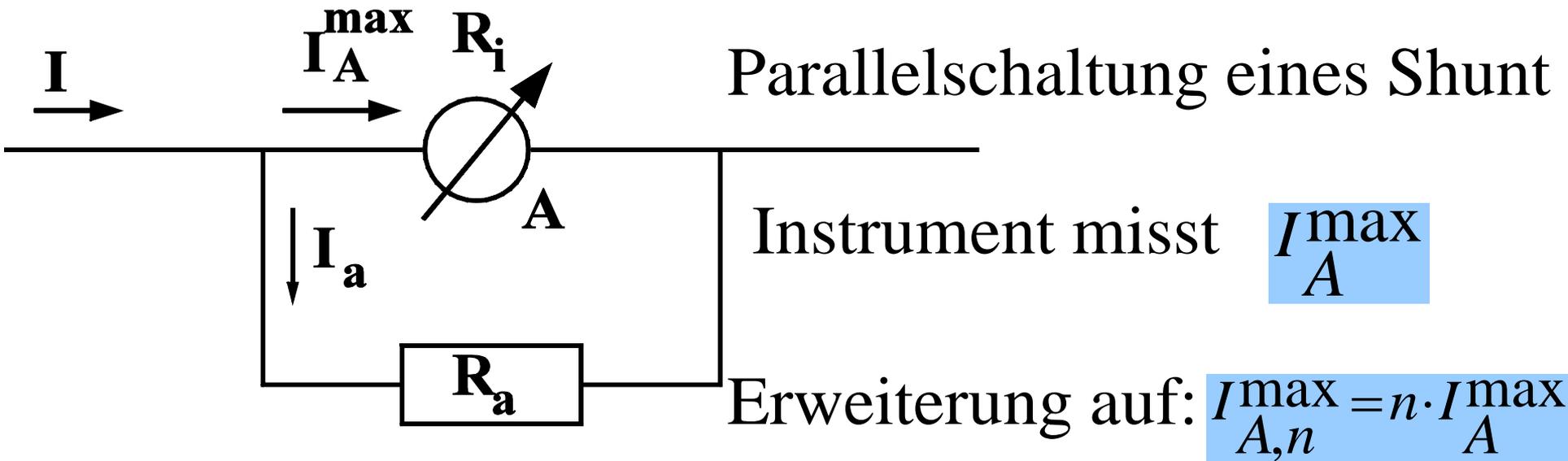
Erwarteter Strom: $I = \frac{U}{R}$



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

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

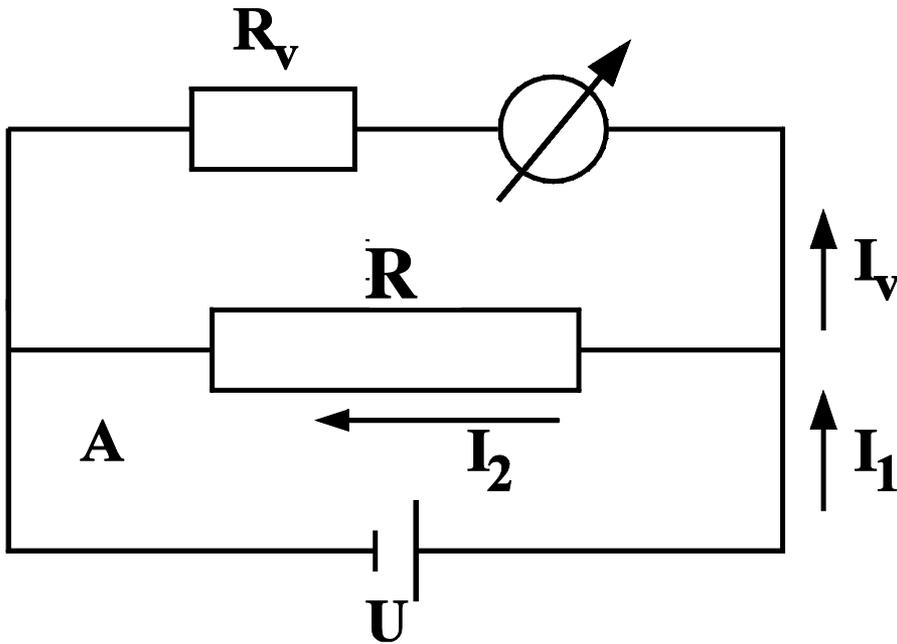
Messbereichserweiterung



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



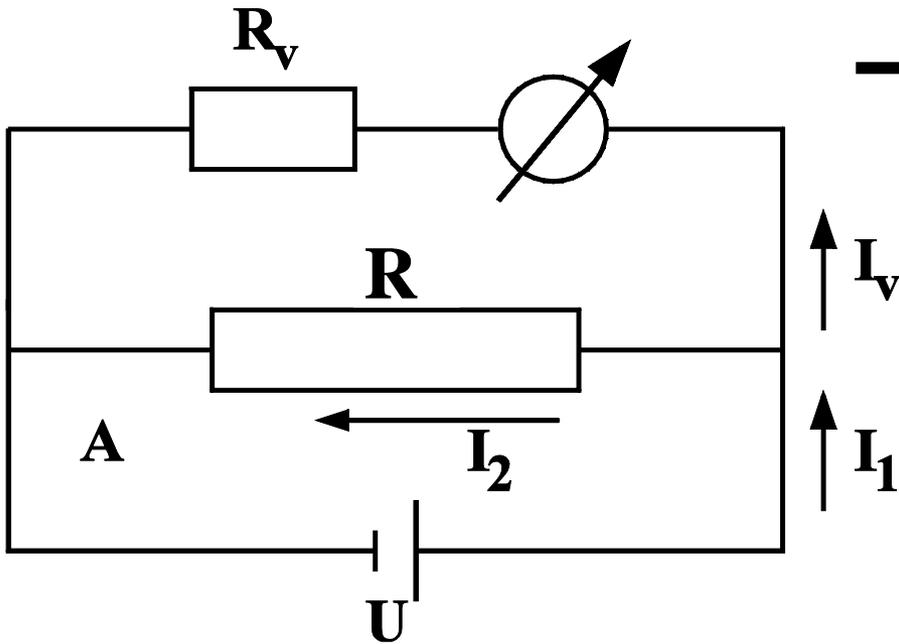
Spannungsmesser sind mittels
Ohmschen Gesetz in Volt
geeichte Amperemeter

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

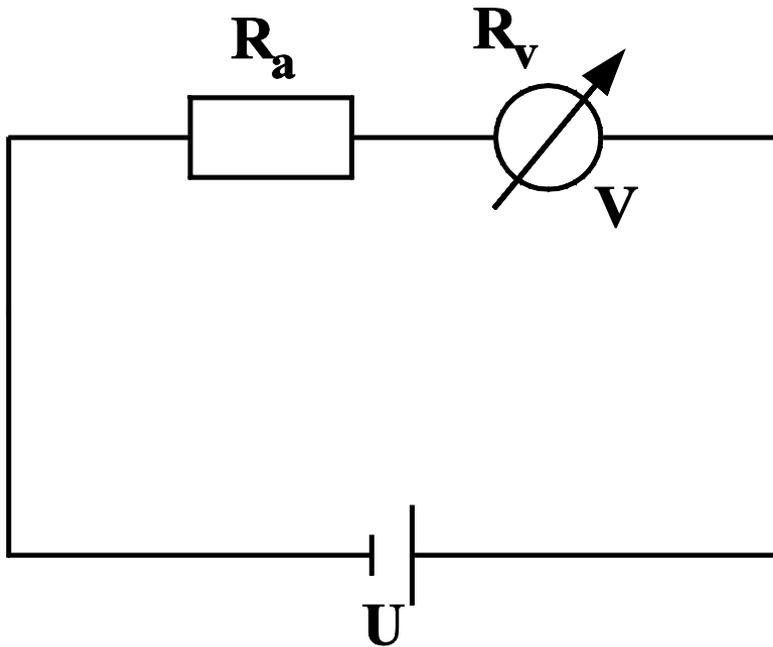
$$I_1 = U \cdot \left(\frac{1}{R_v} + \frac{1}{R} \right) = I \cdot \frac{R + R_v}{R_v} > I = \frac{U}{R}$$

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:

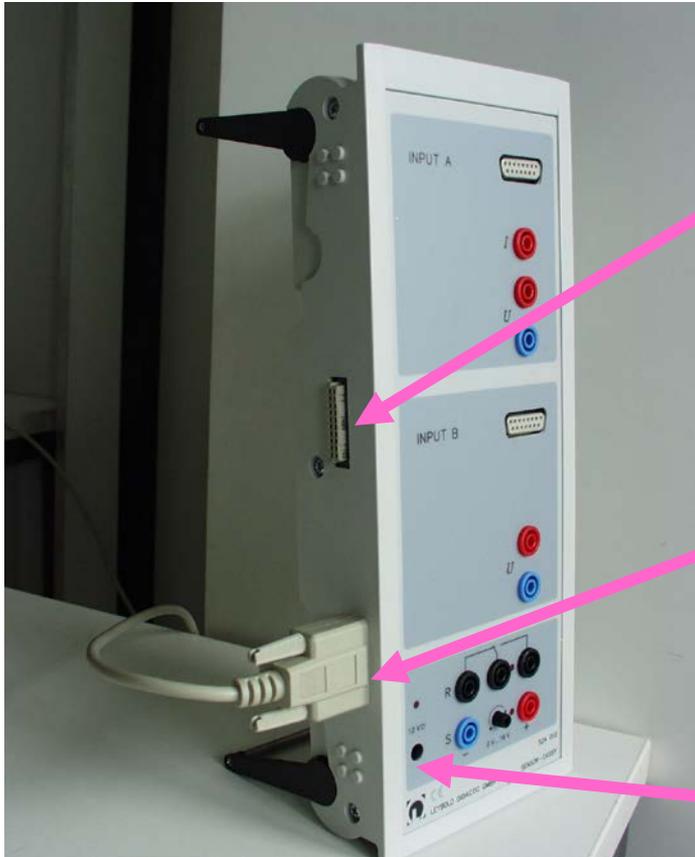
Eingang A (I,U)

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:

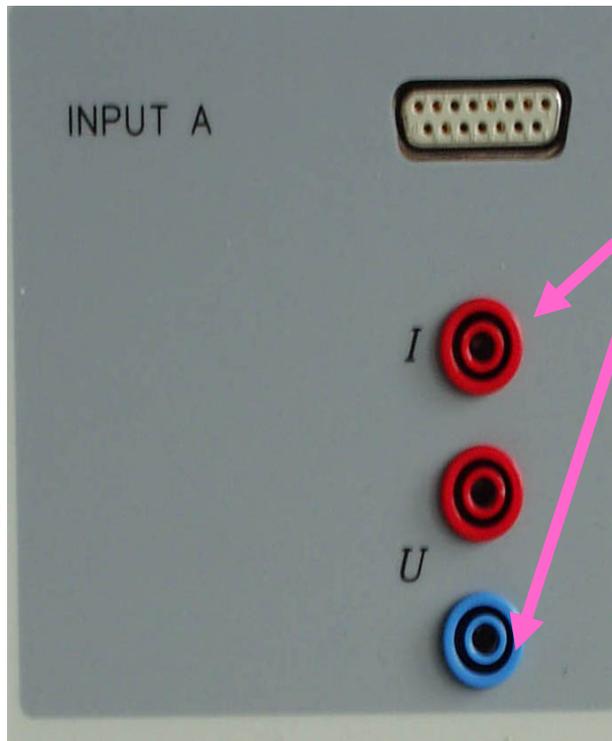
- Auflösung: 12 Bit ($2^{12} = 4096$)
- Messbereiche: $\pm 0,3/1/3/10/30/100$ V
- Digitalisierung: $\pm 0,15$ mV/.../ 48,8mV
- sys. Messfehler: $\pm 1\% + 0,5\%$ Endwert
- Eingangswiderstand: 1 M Ω
- Abtastrate: max. 200.000 Werte/s
(=100.000 Werte/s pro Eingang)
- Anzahl Messwerte: max. 32000



(= 16000/ Eingang) 12

Sensor-Cassy Interface

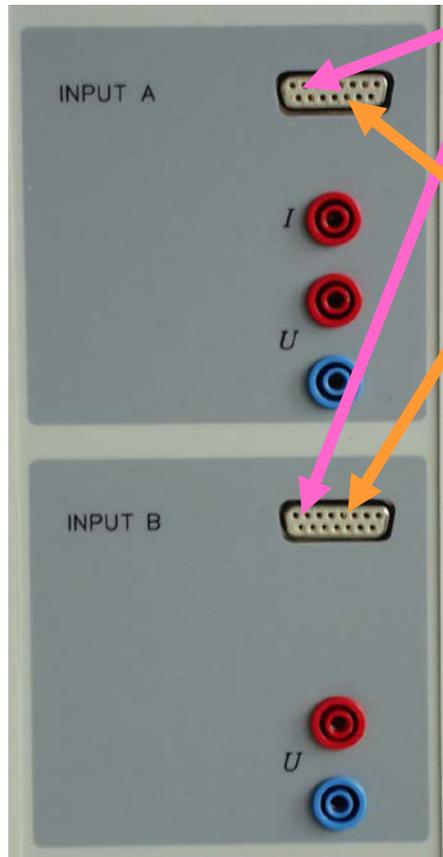
Eingang A:



1 analoger Stromeingang :

- Messbereiche: $\pm 0,1/0,3/1/3$ A
- Digitalisierung: $0,05$ 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

The screenshot displays the Cassy Lab software interface. At the top, function keys F4, F3, F2, F9, F5, F6, F1, and F7 are labeled. Below them is a toolbar with icons for file operations, a clock, a graph, a calculator, and a help icon. The main window has a menu bar with 'Standard' and 'Kennlinie'. A table shows data for time (t/s), voltage (U_{B1} /V), and current (I_{A1} /A). A pop-up window titled 'Spannung U_{B1}' shows a scale from -10 to 10 V and a digital readout of 0,01 V. Yellow circles with numbers 1-9 highlight specific UI elements.

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

Spannung U_{B1}

U_{B1} = 0,01 V

Cassy Lab Start

CASSY Lab



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

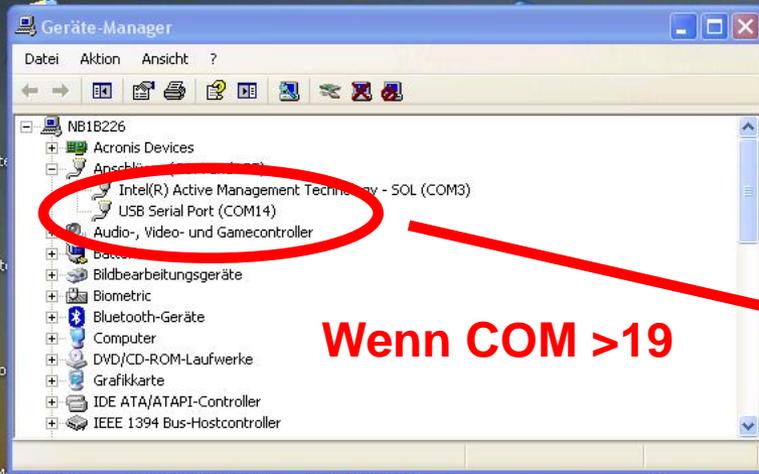
Messparameter anzeigen

Beispiel laden

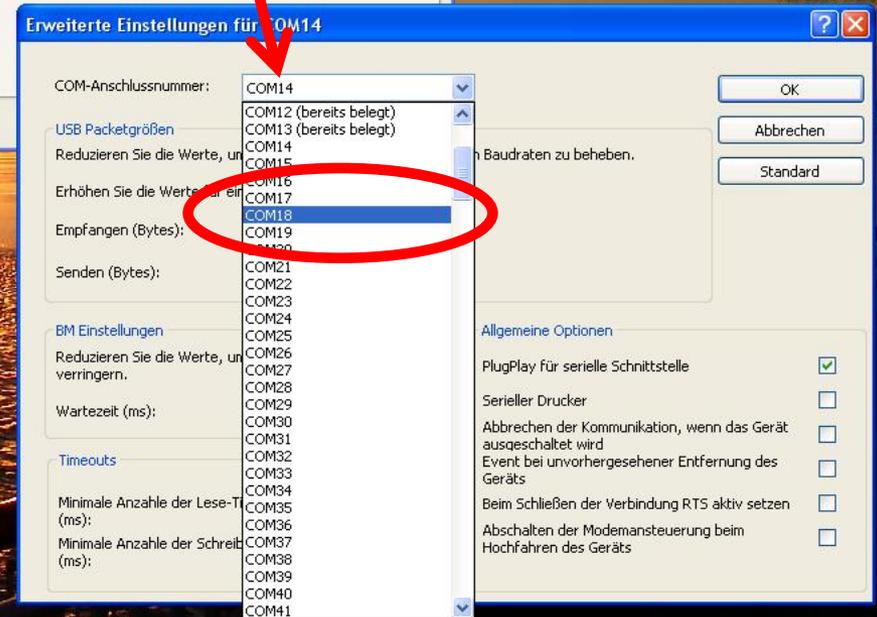
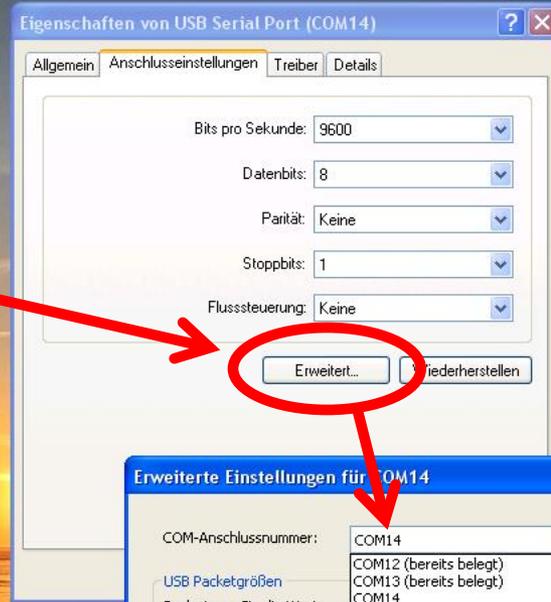
Hilfe

Com-Port Einstellungen → CASSY

Cassy Lab Start

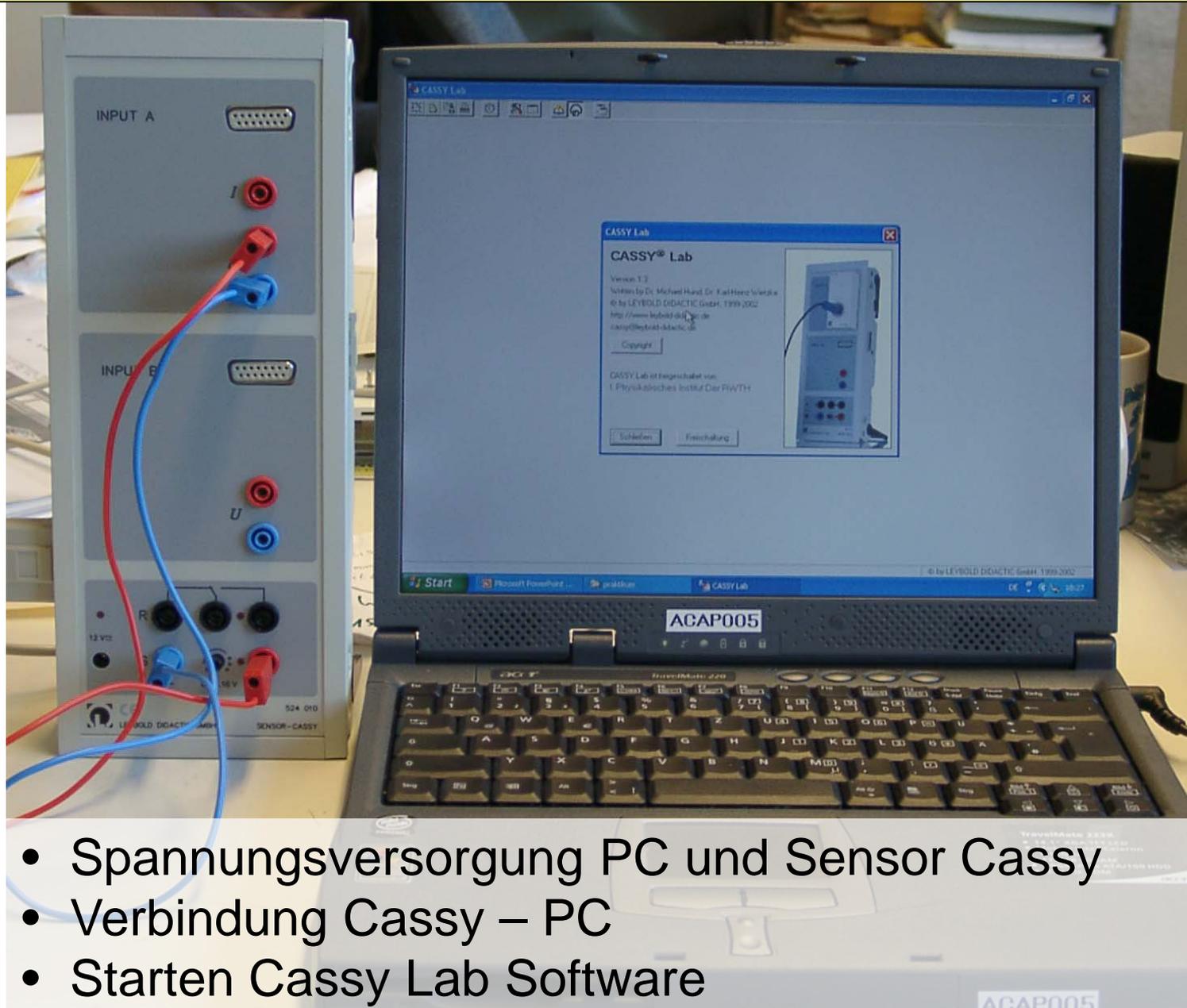


Wenn COM >19



Com-Port 7 reserviert
→ CASSY Lab Absturz)

Cassy Lab, 1.Übung: Inbetriebnahme



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

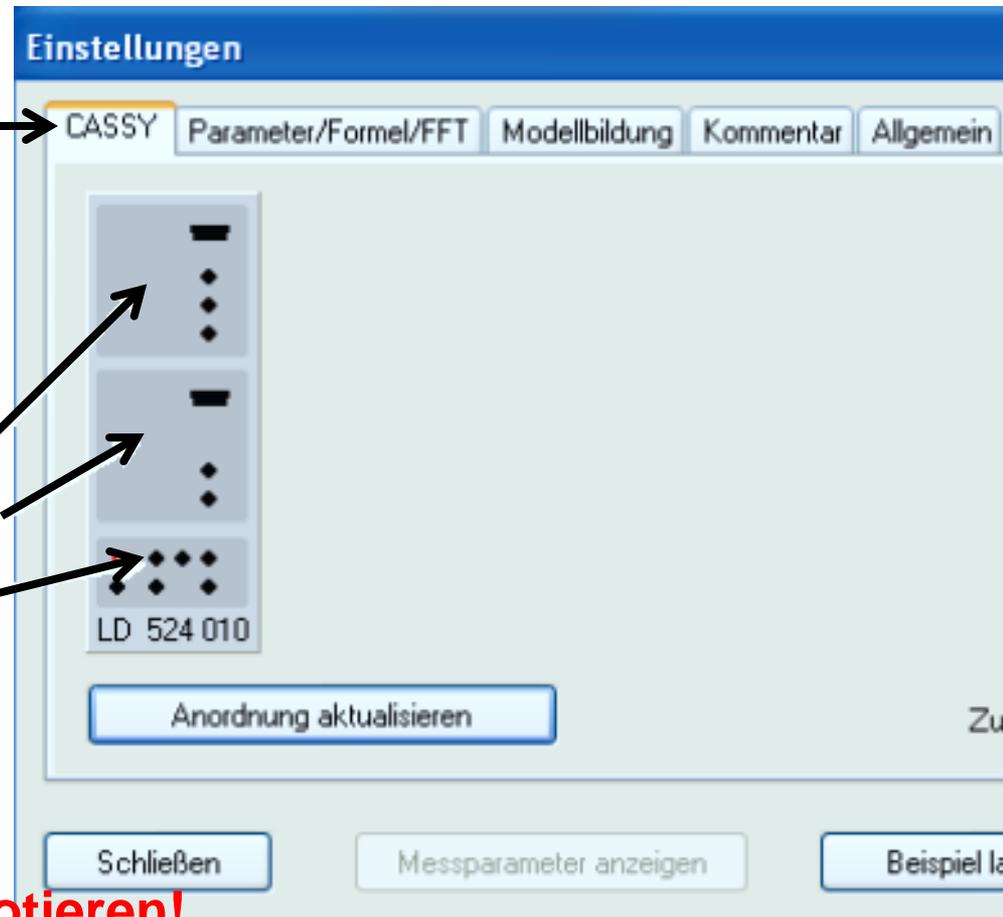


Cassy Lab, Einstellungen

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
 manuelle Aufnahme
 neue Messreihe anhängen

Intervall: 100 ms [◀ ▶]
x Anzahl: [◀ ▶]
= Messzeit: [] s [▼]

Trigger: [▼]
 Messbedingung: 1
 wiederholende Messung
 akustisches Signal

[Schließen] [Hilfe]

Messparameter [X]

automatische Aufnahme
 manuelle Aufnahme
 neue Messreihe anhängen

Intervall: 10 µs [◀ ▶]
x Anzahl: 16000 [◀ ▶]
= Messzeit: 160 ms [▼]

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

[Schließen] [Hilfe]

Messparameter [X]

automatische Aufnahme
 manuelle Aufnahme
 neue Messreihe anhängen

Intervall: 100 ms [◀ ▶]
x Anzahl: [◀ ▶]
= Messzeit: [] s [▼]

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

[Schließen] [Hilfe]

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

Cassy Lab, Einstellungen, Darstellungen

Einstellungen ✖

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

Darstellung auswählen:

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

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)=

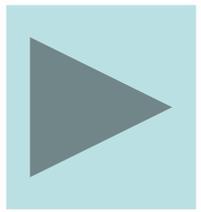
zeitliche Ableitung zeitliches Integral Fast Fourier Transformation } von

Mittelwert über Histogramm (Δ =)

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

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

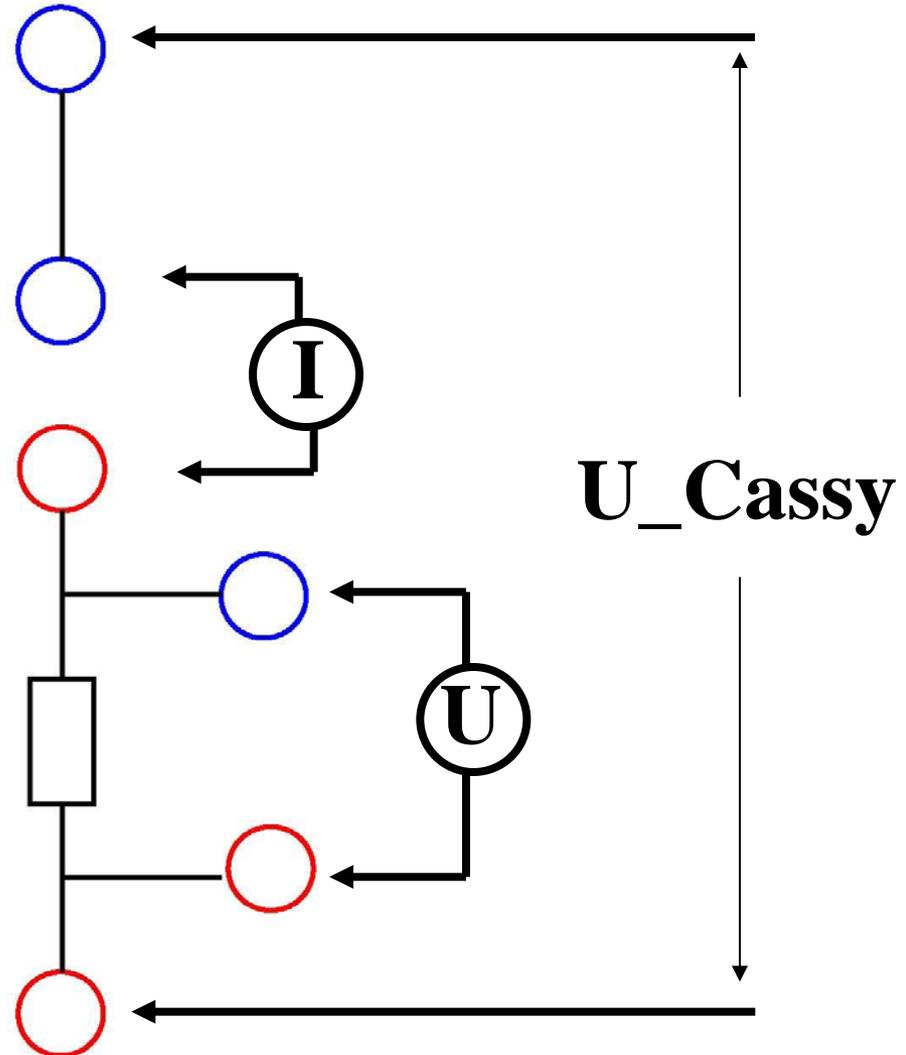
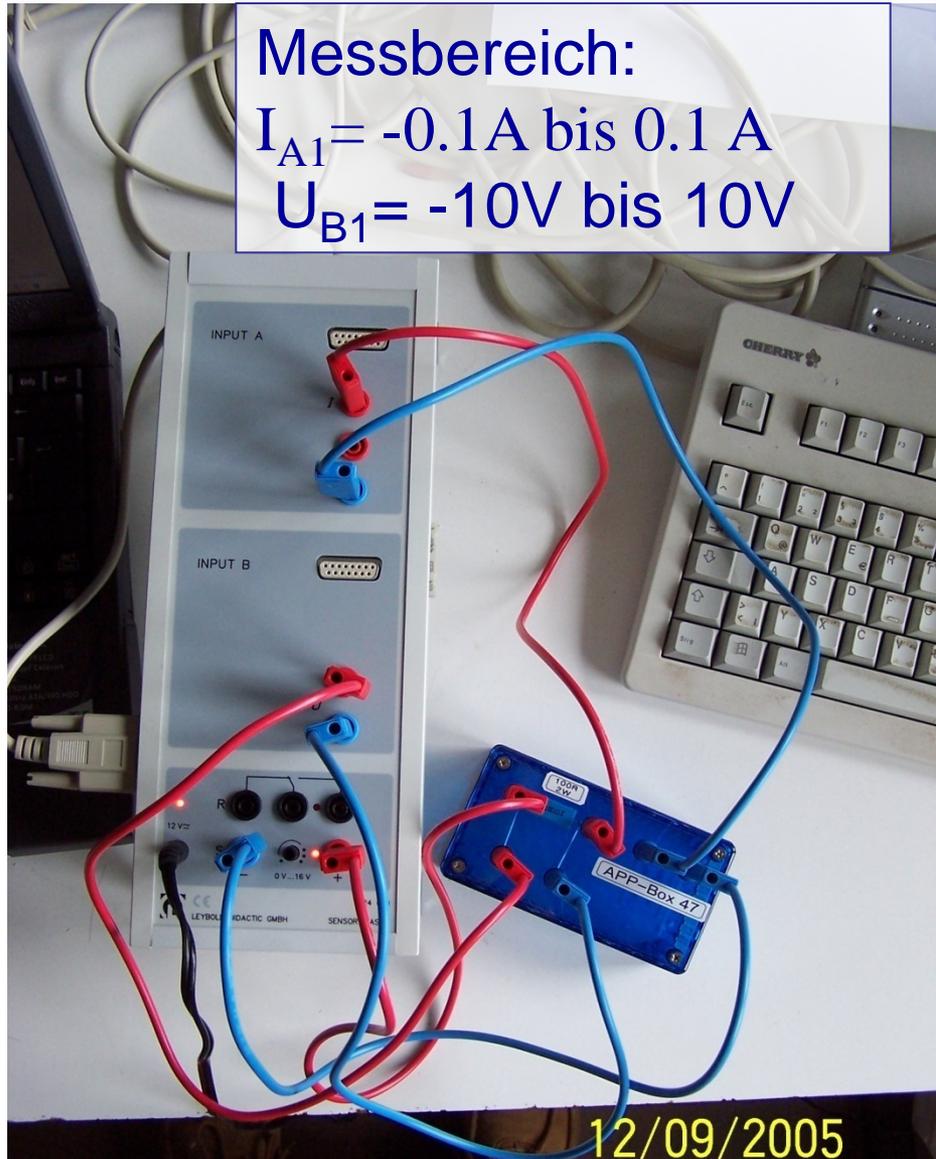
Cassy Lab, 2. Übung



Messbereich:

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

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



Sensor Cassy Lab und Dateien

F9: Datennahme starten

F2: Dateien speichern

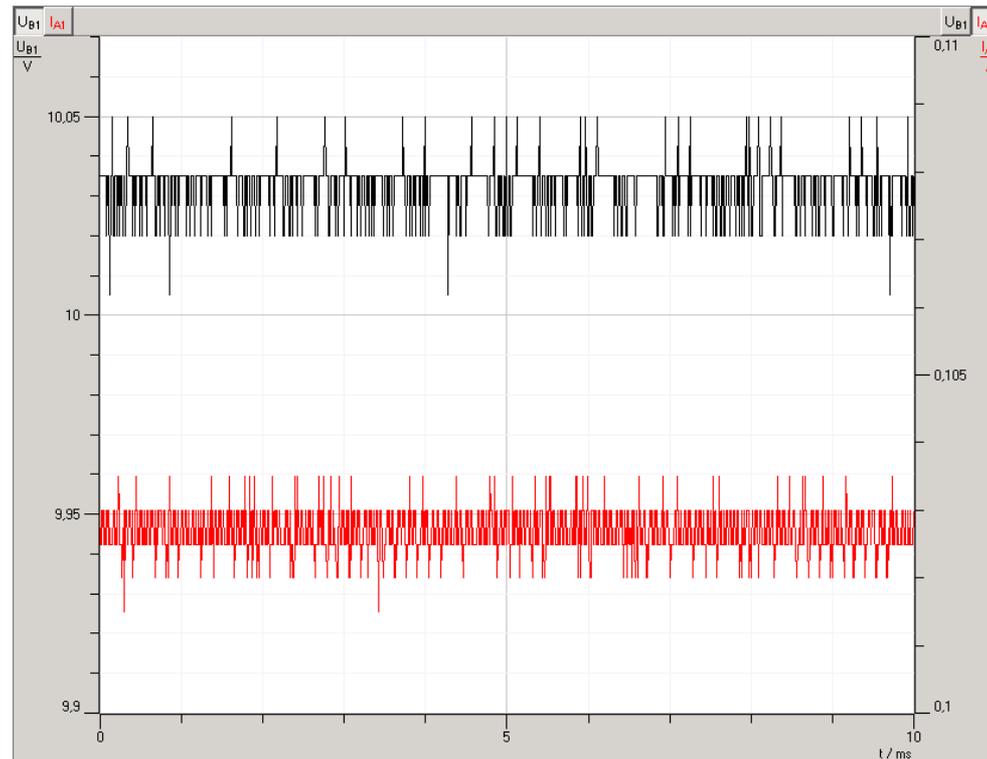
F3: Dateien laden

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

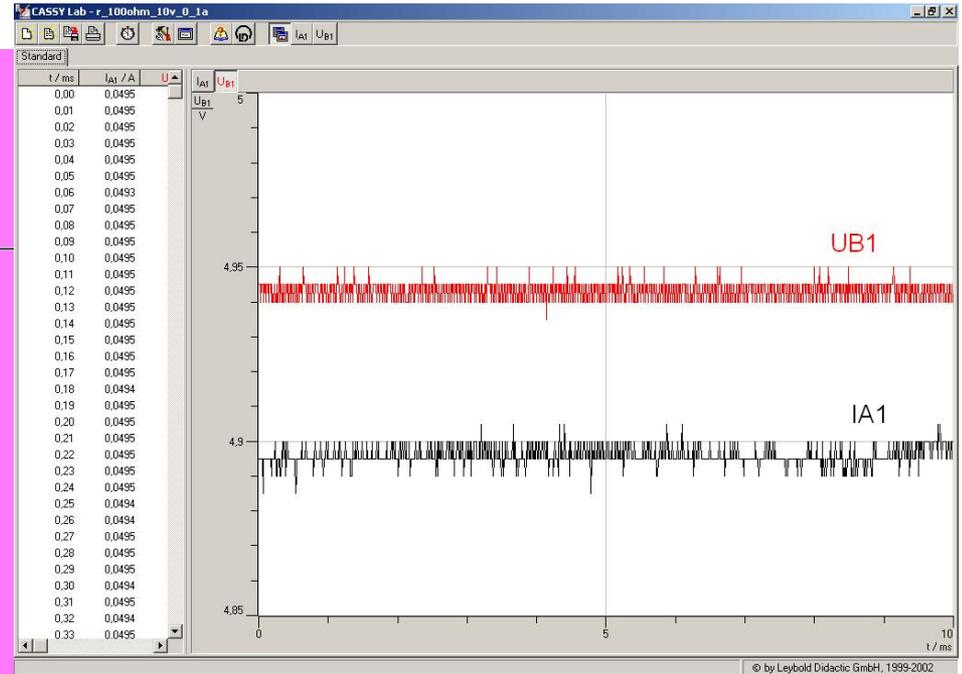
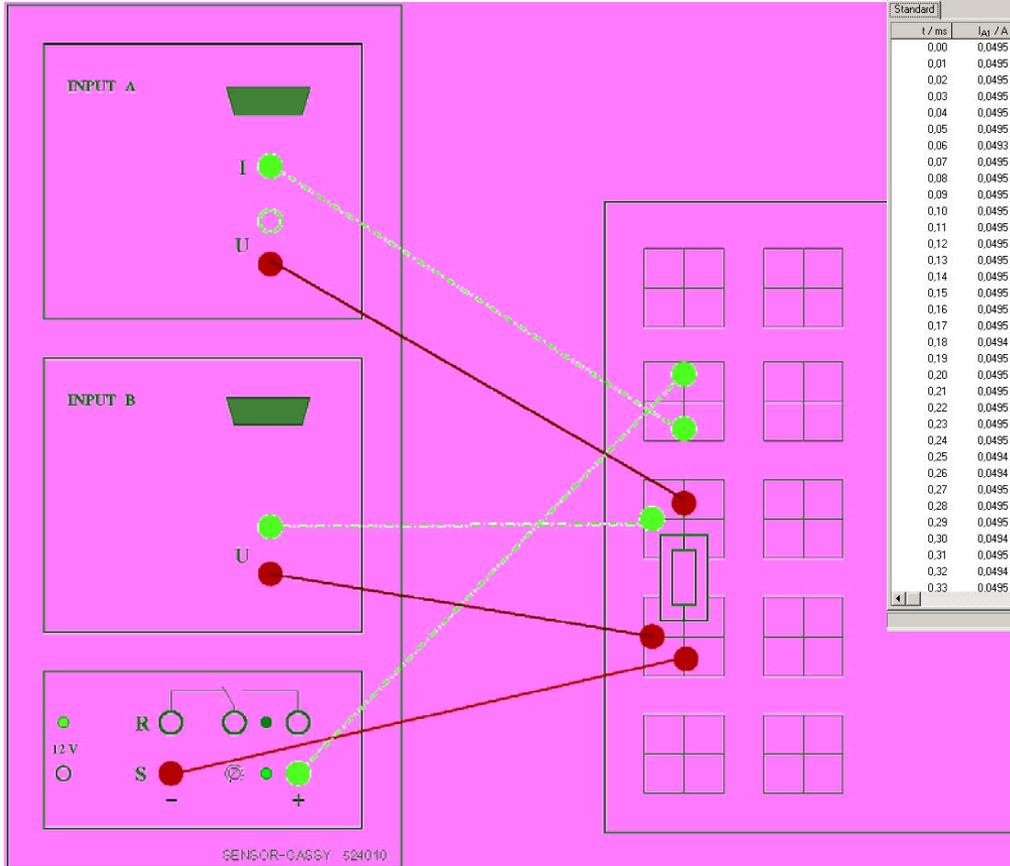
Spalte 4: Eingang B

Spalte 5: Zustand Relais

Spalte 6: Zustand Spannungsquelle

Sensor Cassy Interface

Messungenauigkeiten



Messaufbau: $R=100\Omega$

Angelegte Spannung:

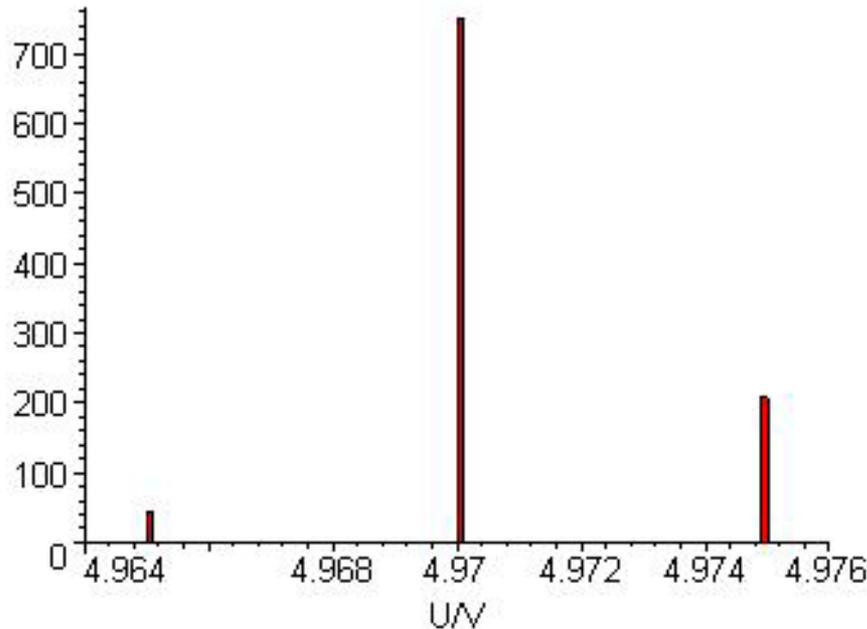
$U=5V$

Im Kreis fließender Strom:

$I=0,05A$

Sensor-Cassy Interface

statistische Messungenauigkeit?



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

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

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

= (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: $U_{\text{min}} = 5 \text{ mV}$

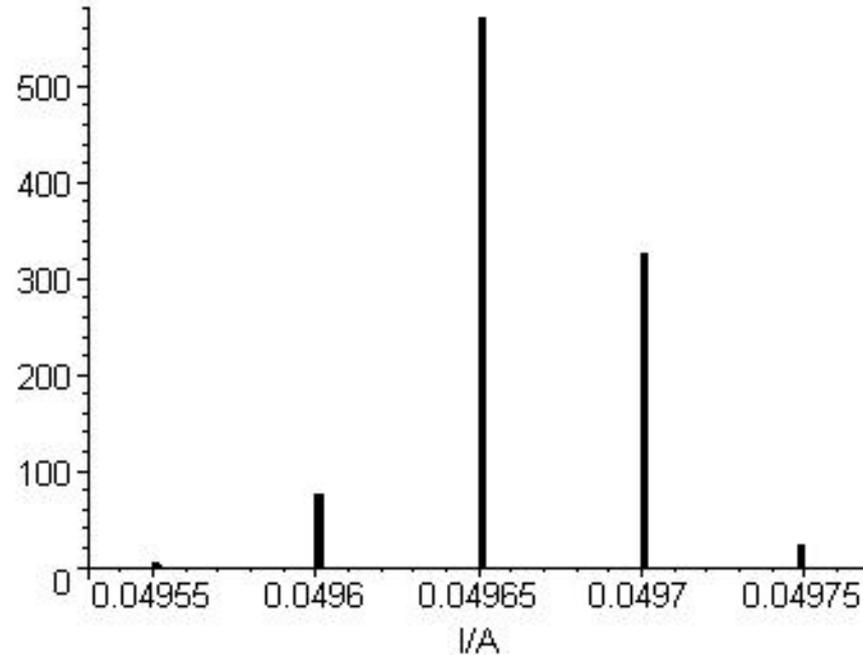
Annahme der Gleichverteilung: $U_{\text{min}}/\sqrt{12}$

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

MU durch Messung bestimmen!

Sensor-Cassy Interface

statistische Messungenauigkeit?



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

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

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

= (MU Einzelmessung)

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

Digitale Auflösung: 12 bit = 4096 ,

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

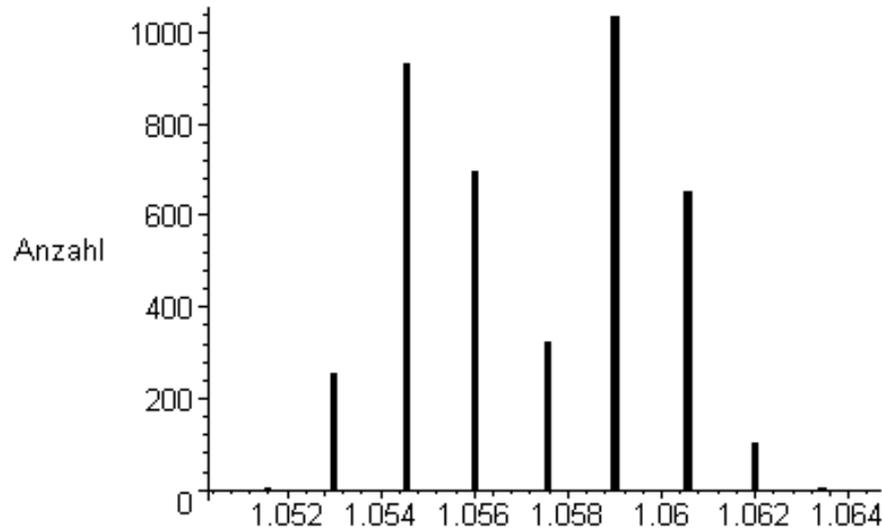
Annahme der Gleichverteilung: $I_{\text{min}}/\sqrt{12}$

→ „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

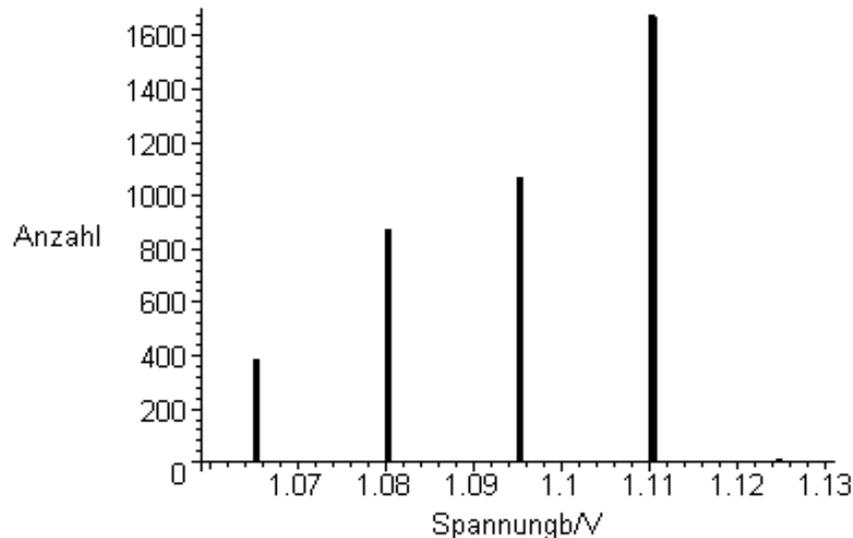
RMS = 2,5 mV

→ 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 $\pm 100V$

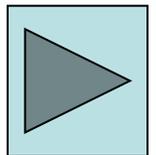
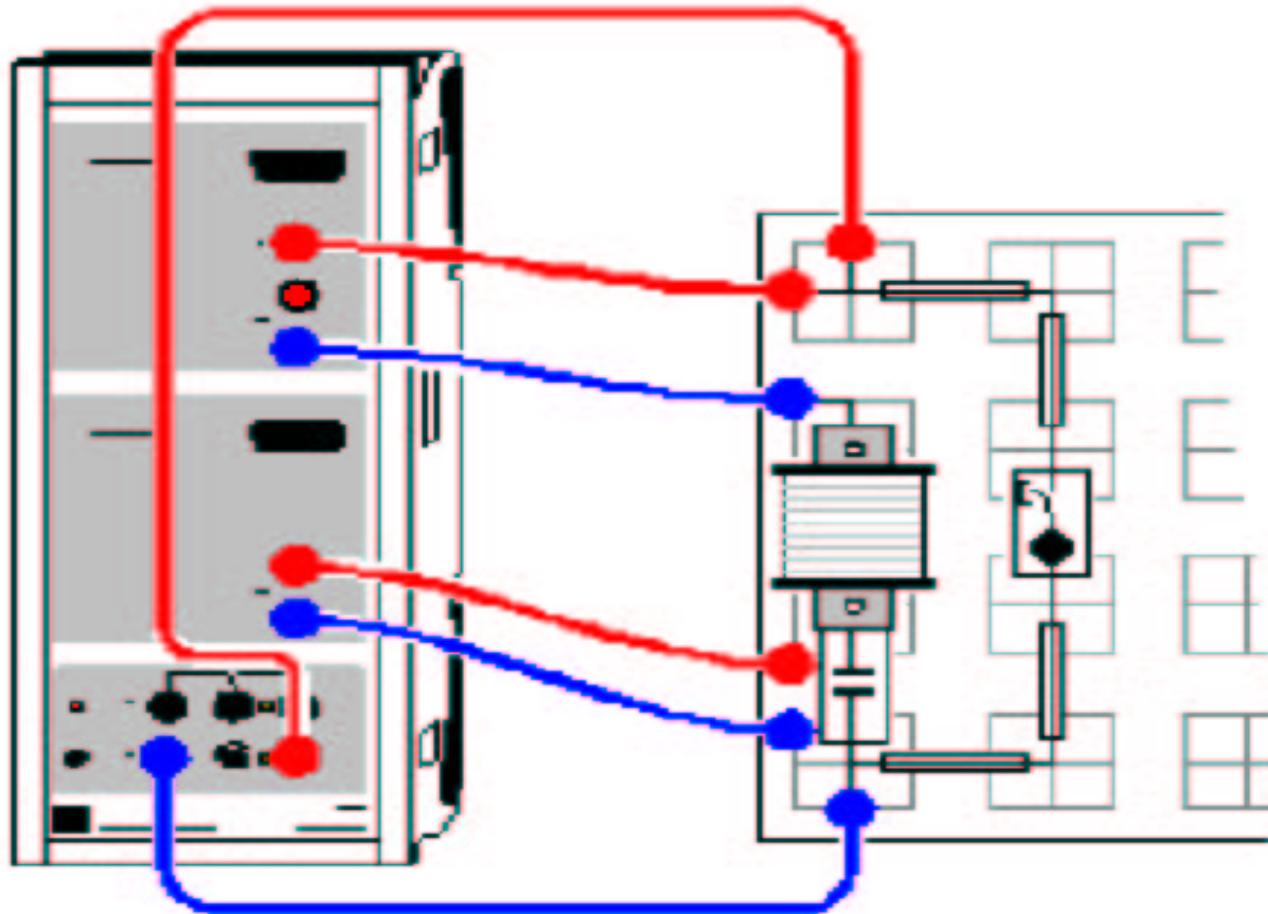
$$U_{sys} : (0,01 \cdot 2 + 0,005 \cdot 100) V = 0,52 V$$

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

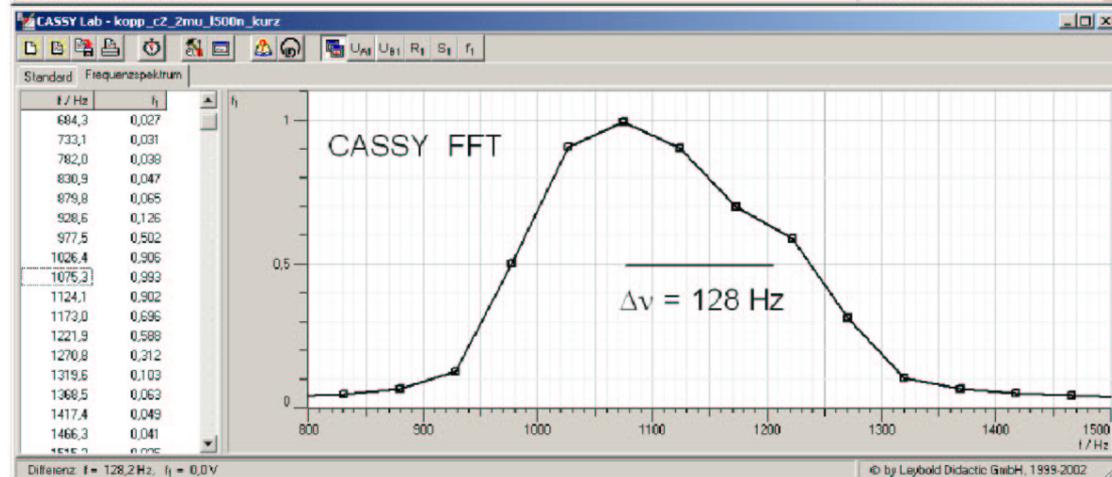
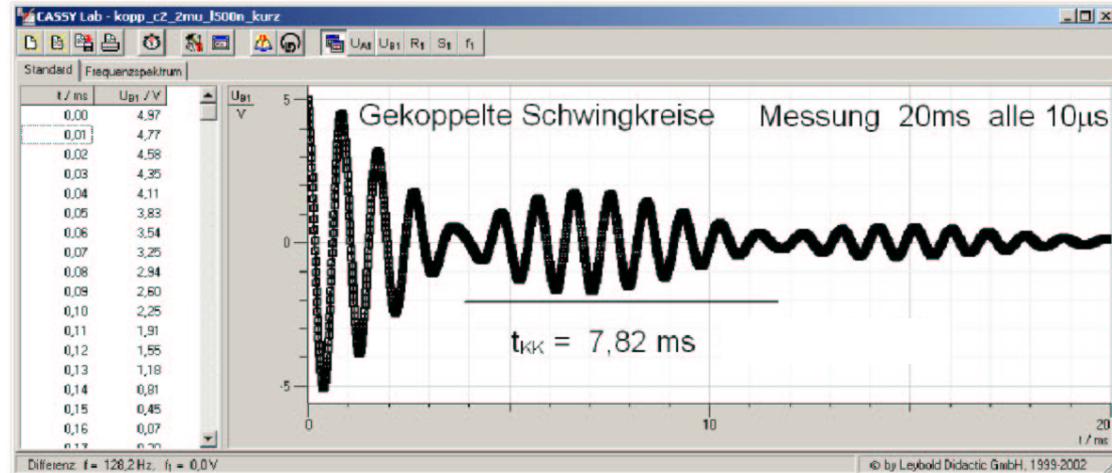
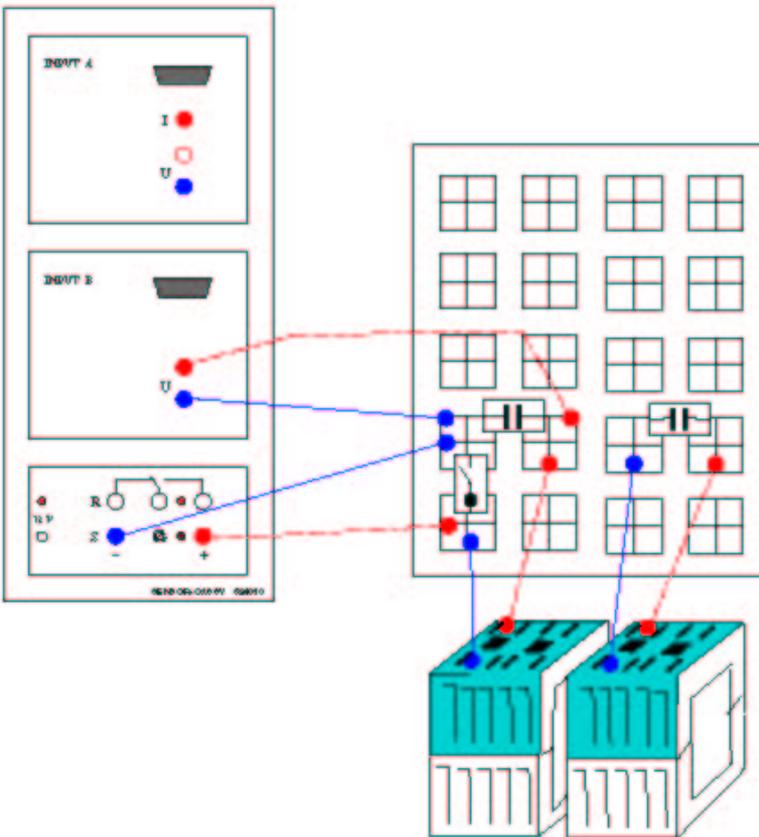
Relativer Fehler: $\sigma_{U_{sys}} / U_i = 15 \% !$

Sinnvolle Messbereich vorher überlegen und MU durch Messung bestimmen!

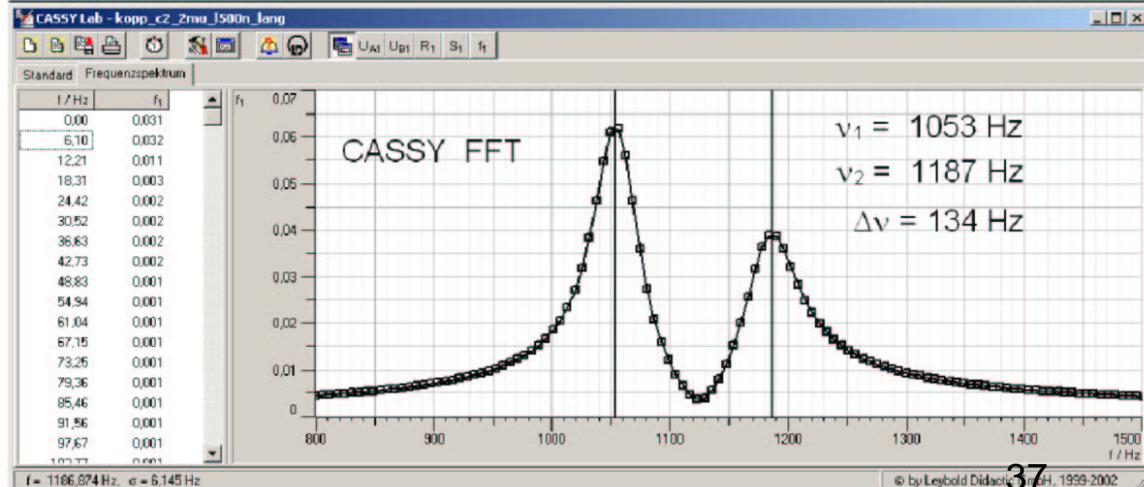
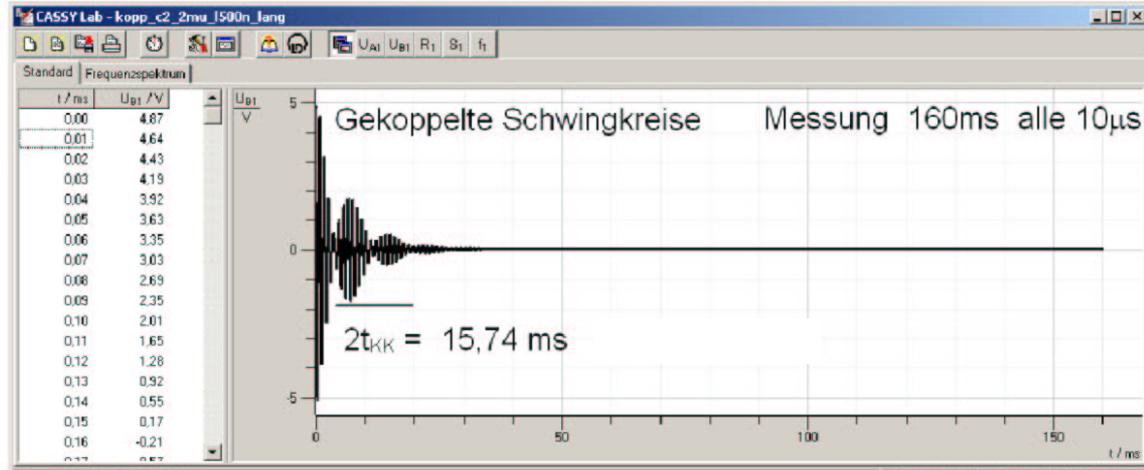
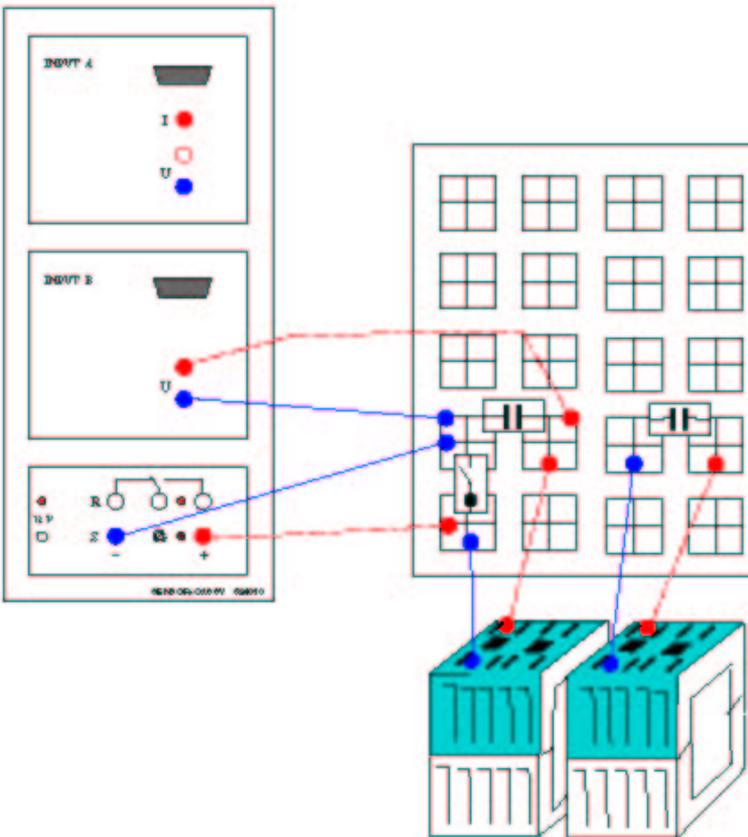
Gedämpfter Schwingkreis



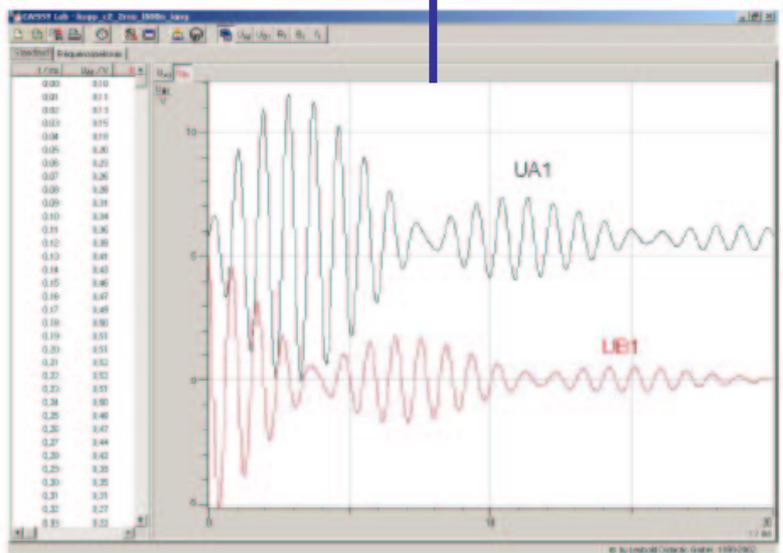
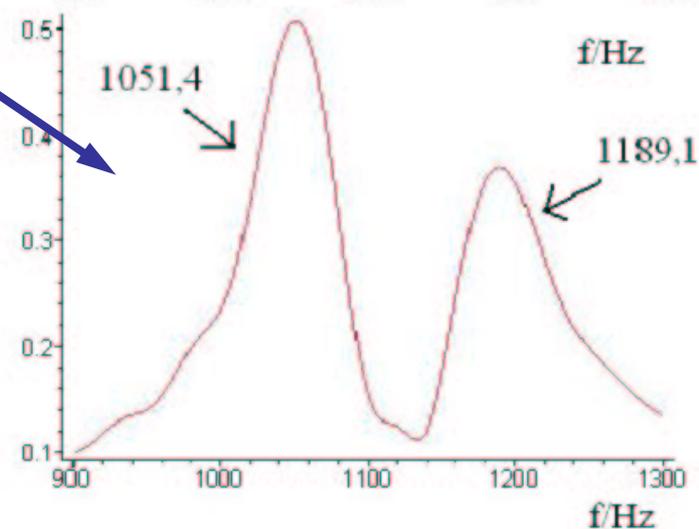
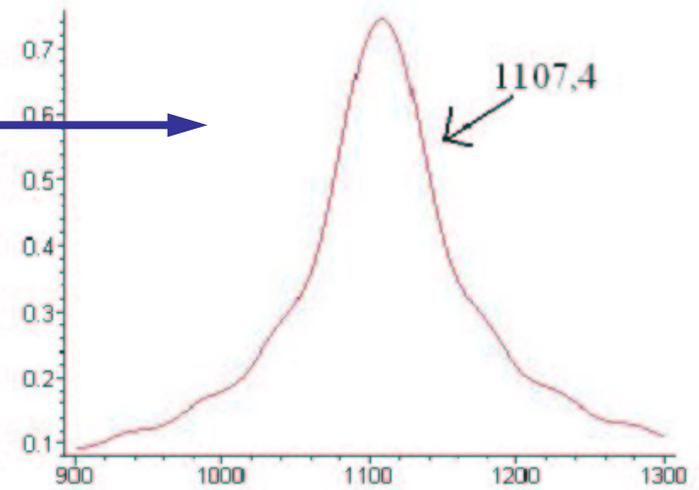
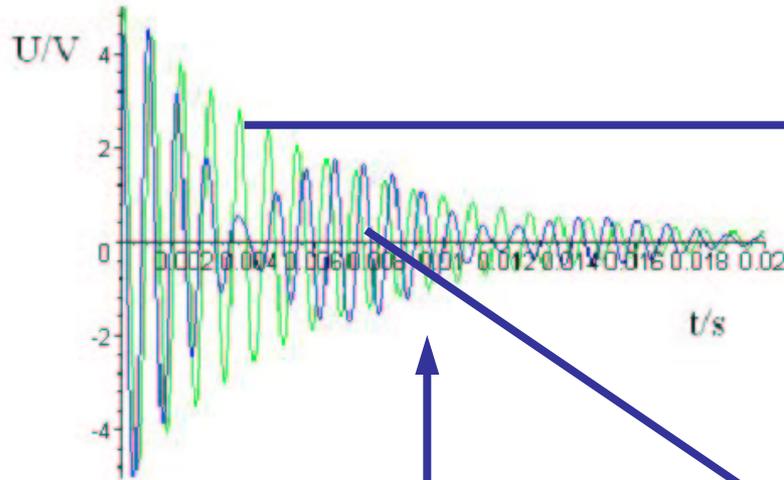
Gekoppelte Schwingungen oder das Ende der CASSY FFT



Gekoppelte Schwingungen oder das Ende der CASSY FFT



Gekoppelte Schwingungen oder das Ende der CASSY FFT



c)

b)

Zusammenfassung Sensor Cassy



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

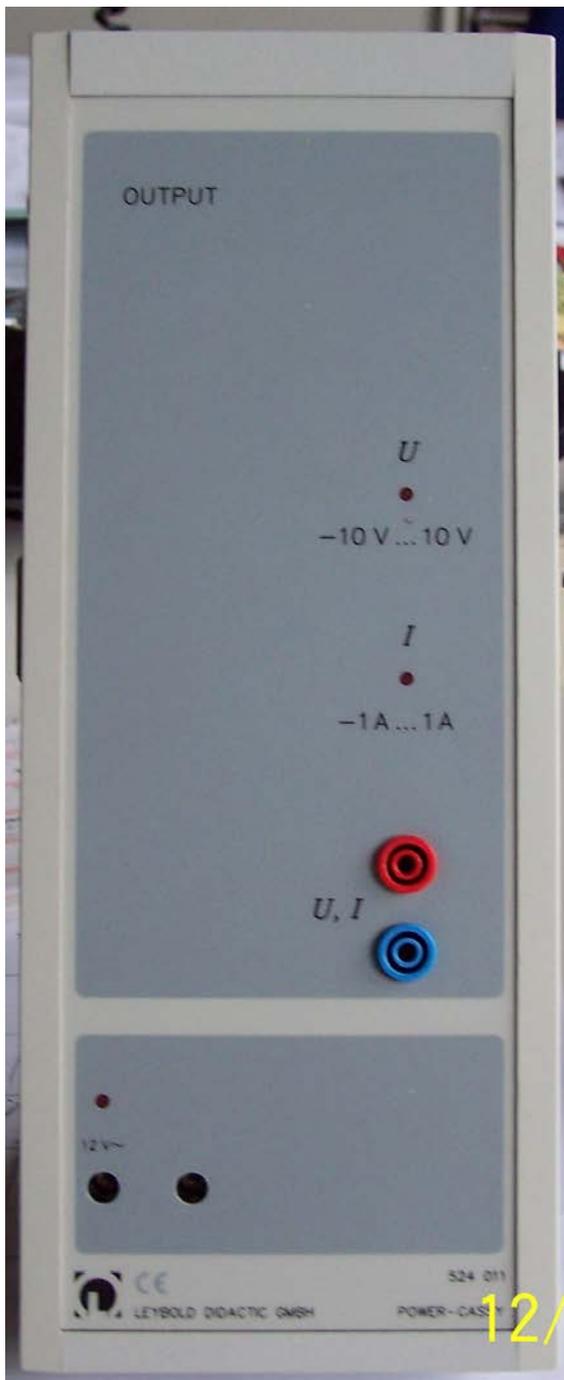
Power Cassy

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

Anschluß an serielle Schnitt-
stelle RS232 des PCs

Spannungsversorgung:

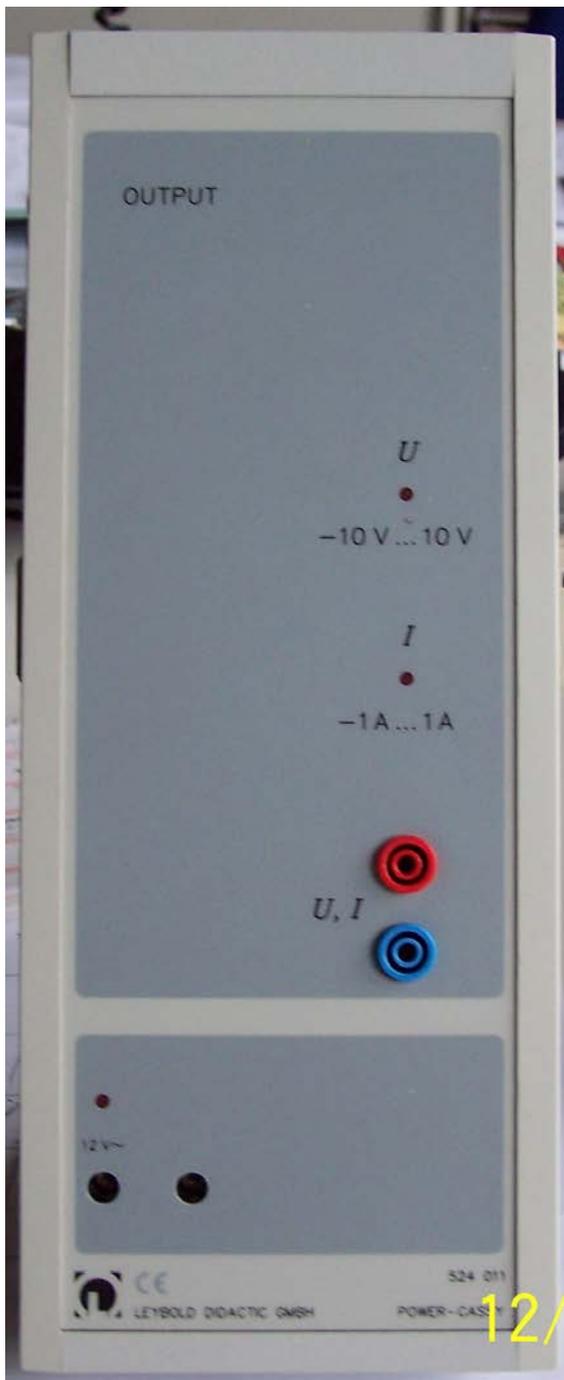
12V AC/DC über Hohlstecker oder
benachbartes Cassy-Modul



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)

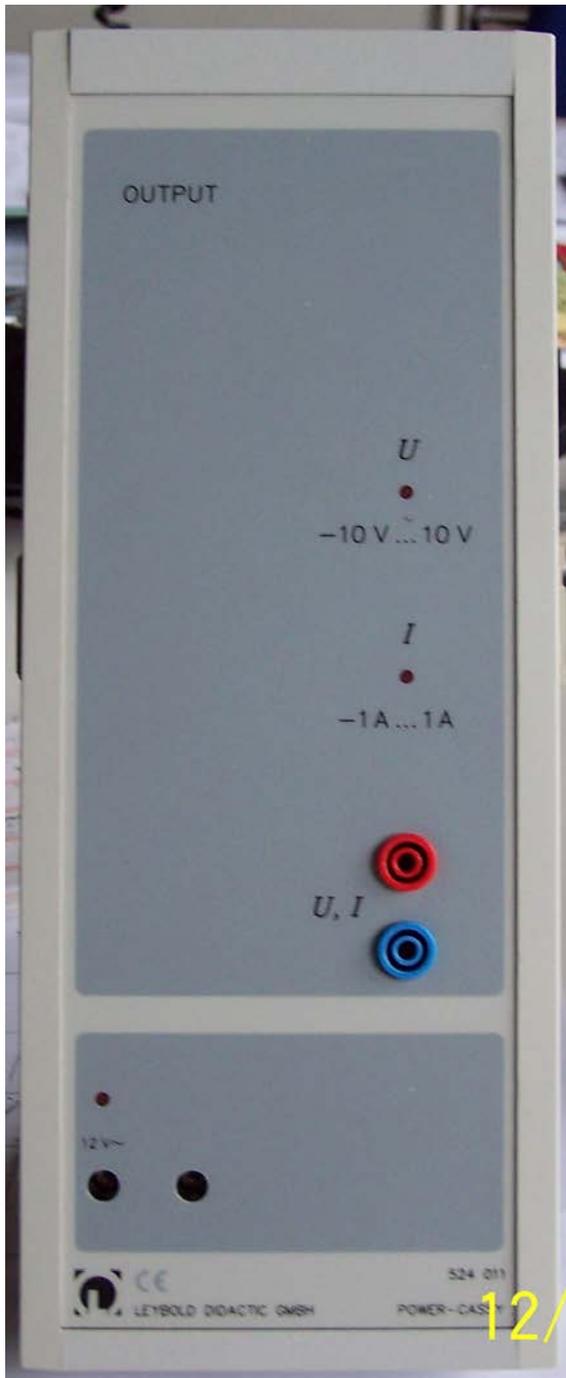


12/

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

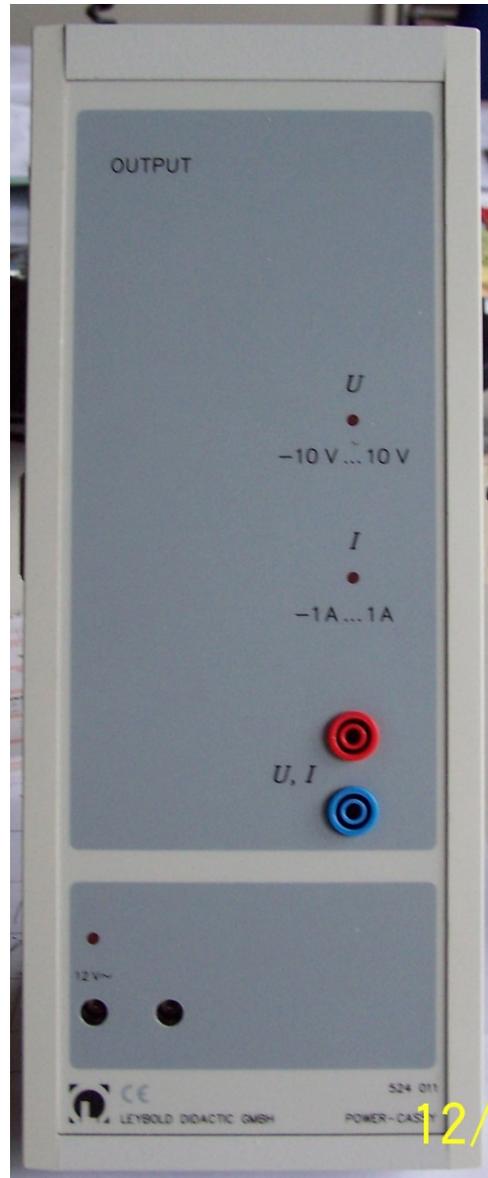
Power Cassy:

Sinusspannung mit

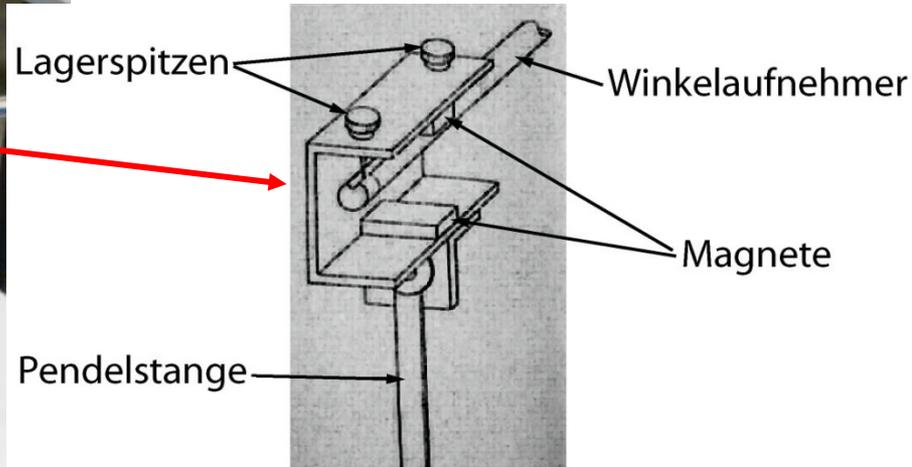
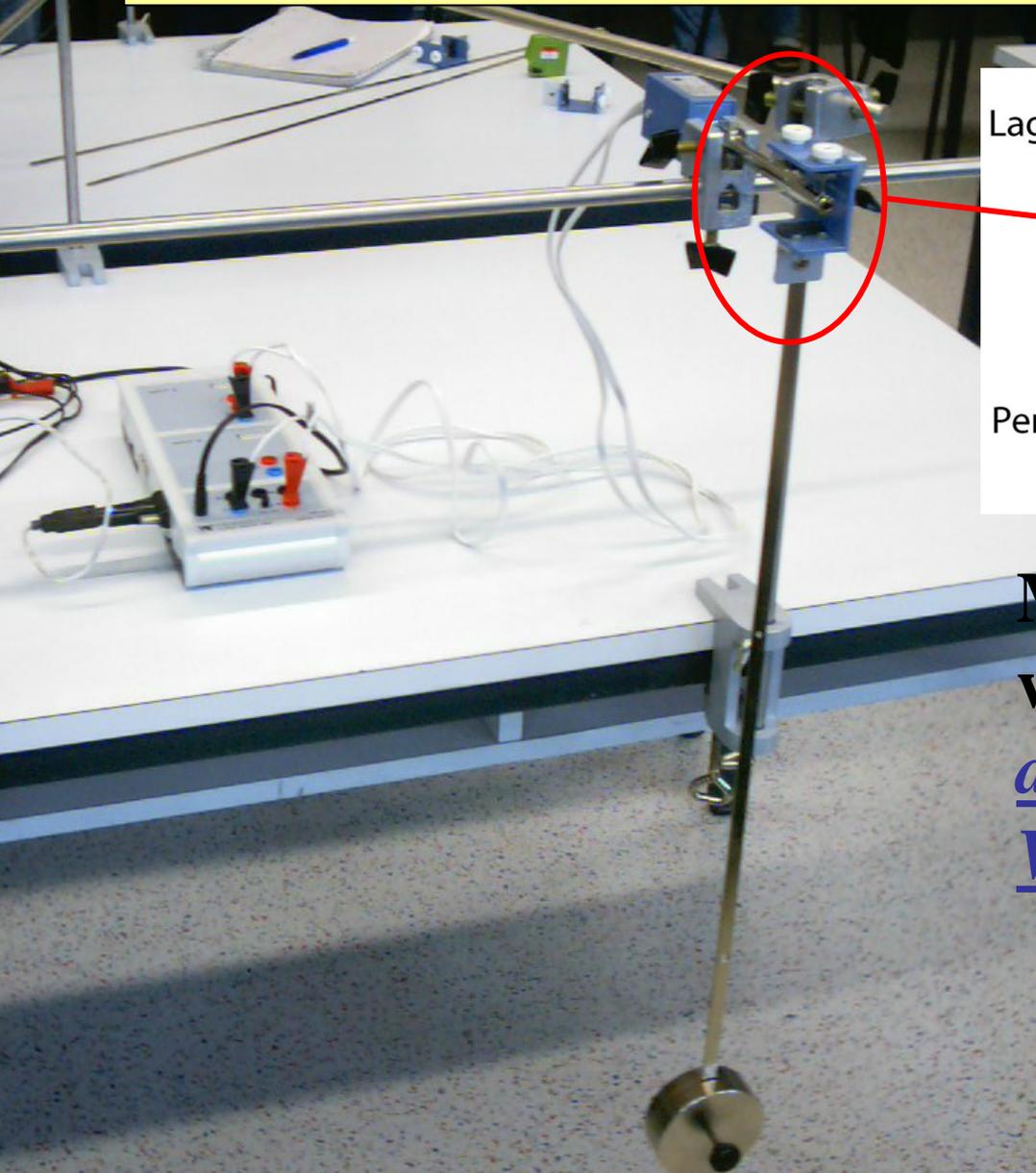
$f = ?$ Hz

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

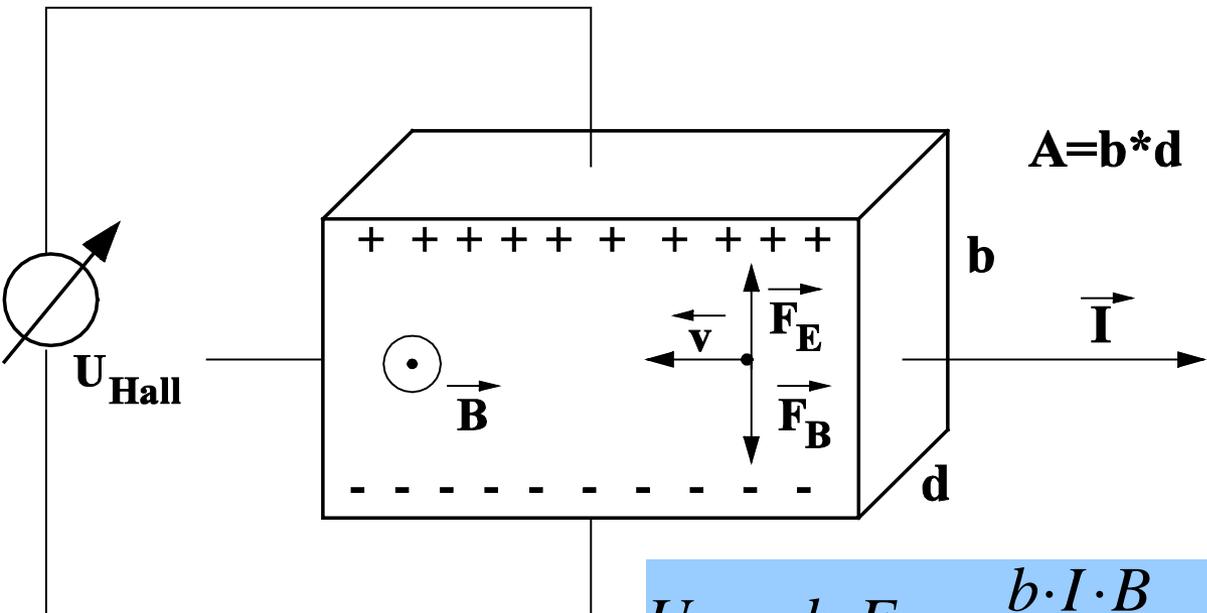
\rightarrow Ladungstrennung \rightarrow E-Feld: $\vec{E} \perp \vec{I}$ und $\vec{F}_E = q \cdot \vec{E}$

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

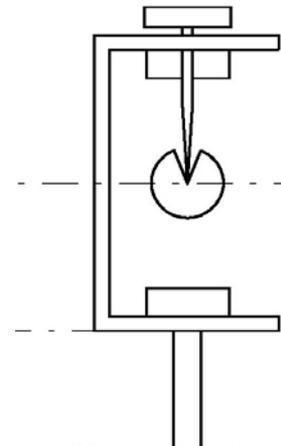
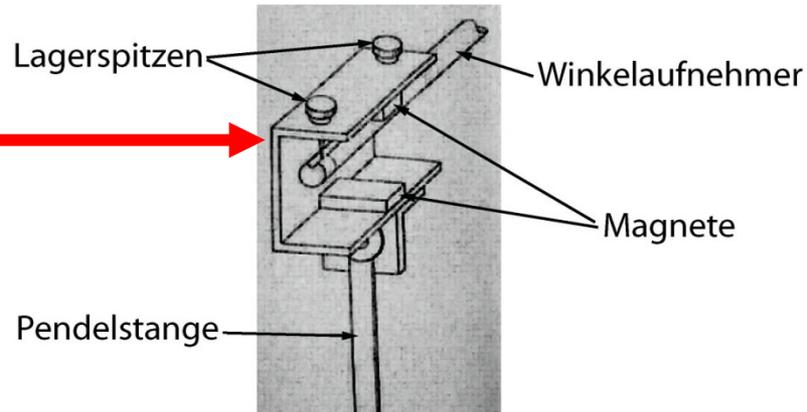
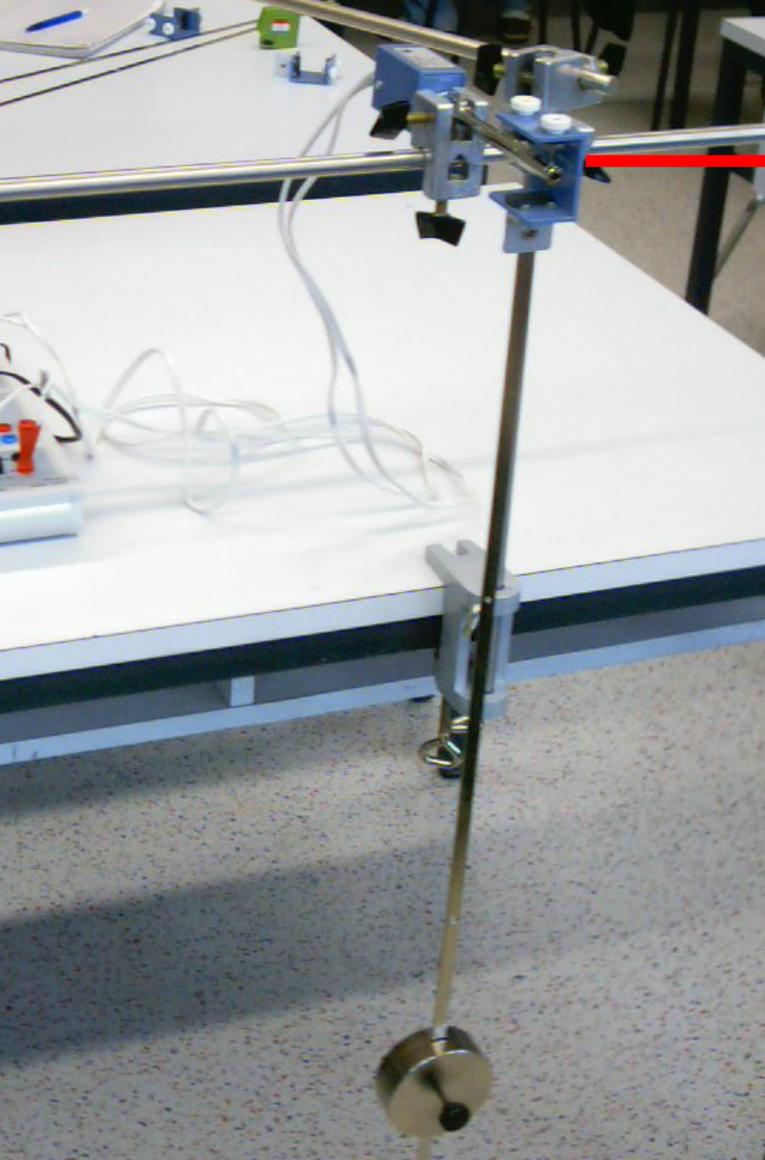
allgemein: $\vec{I} = q \cdot n \cdot A \cdot \vec{v}$

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

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



Spannungsmessung mit Hallsonde



Orientierung der Sonde \rightarrow Empfindlich

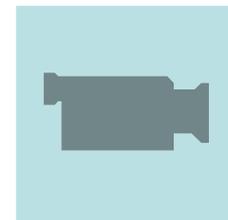
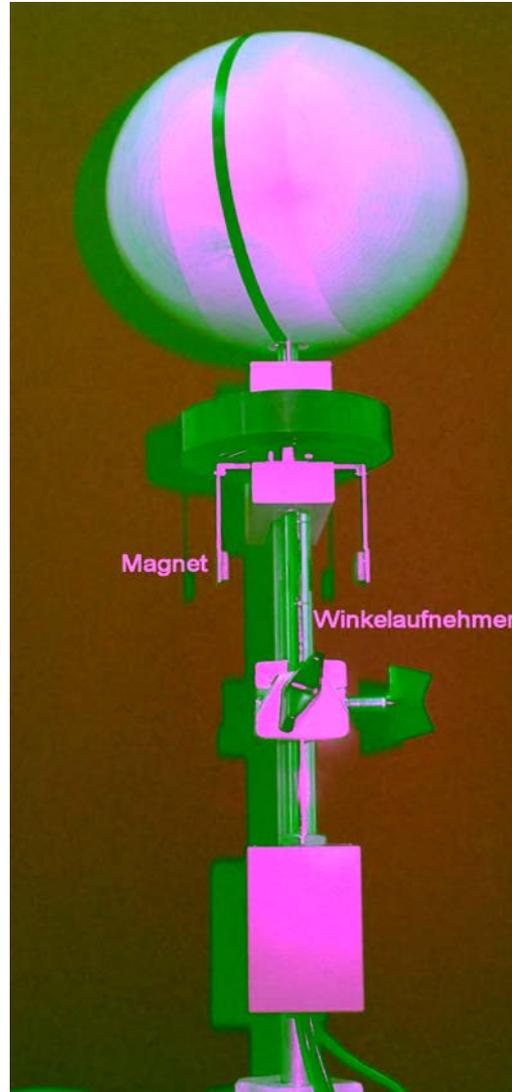
auf horizontale B-Komponente B_h

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:

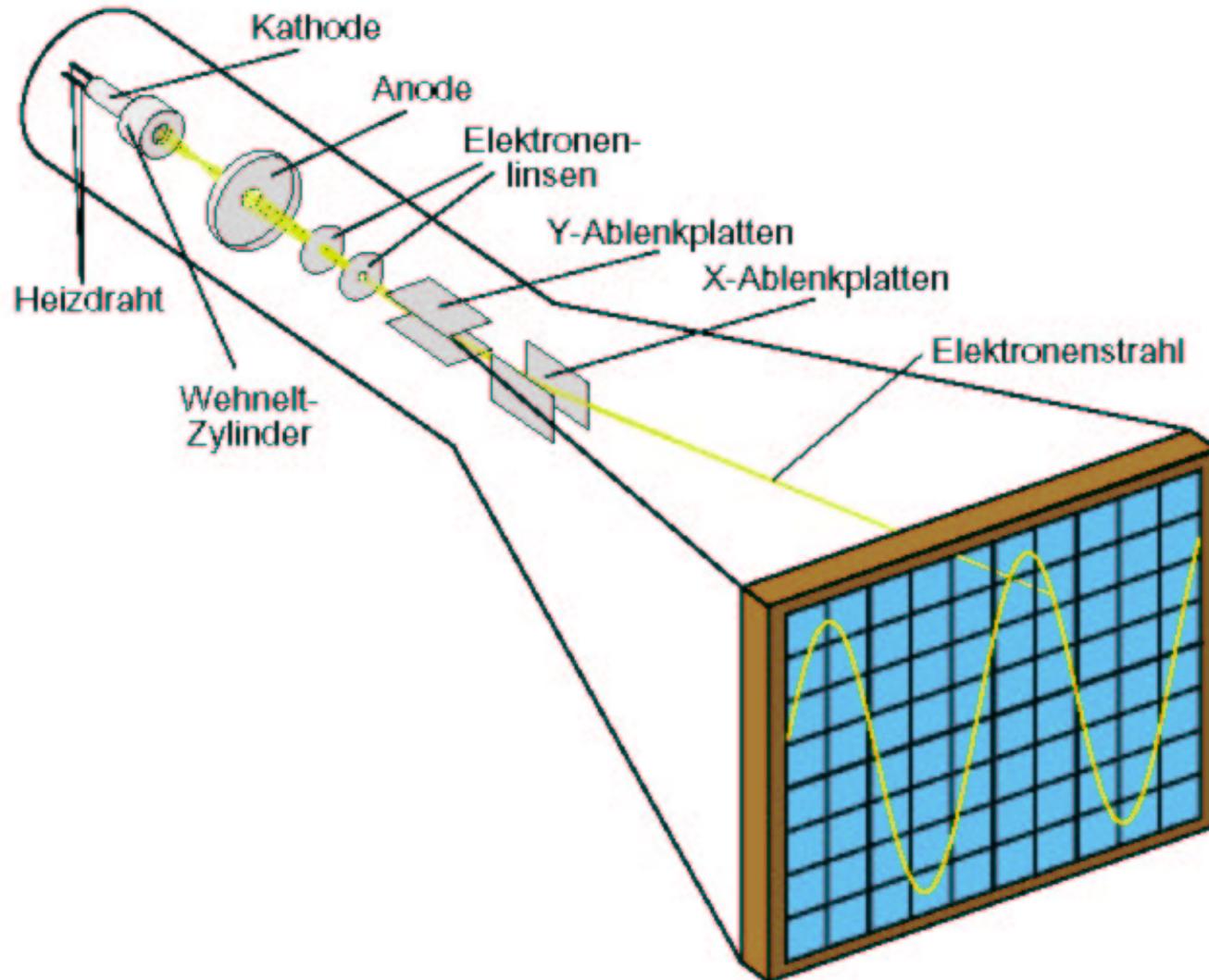
$-20\text{ °C} < T < +70\text{ °C}$: $0,2\text{ °C}$

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

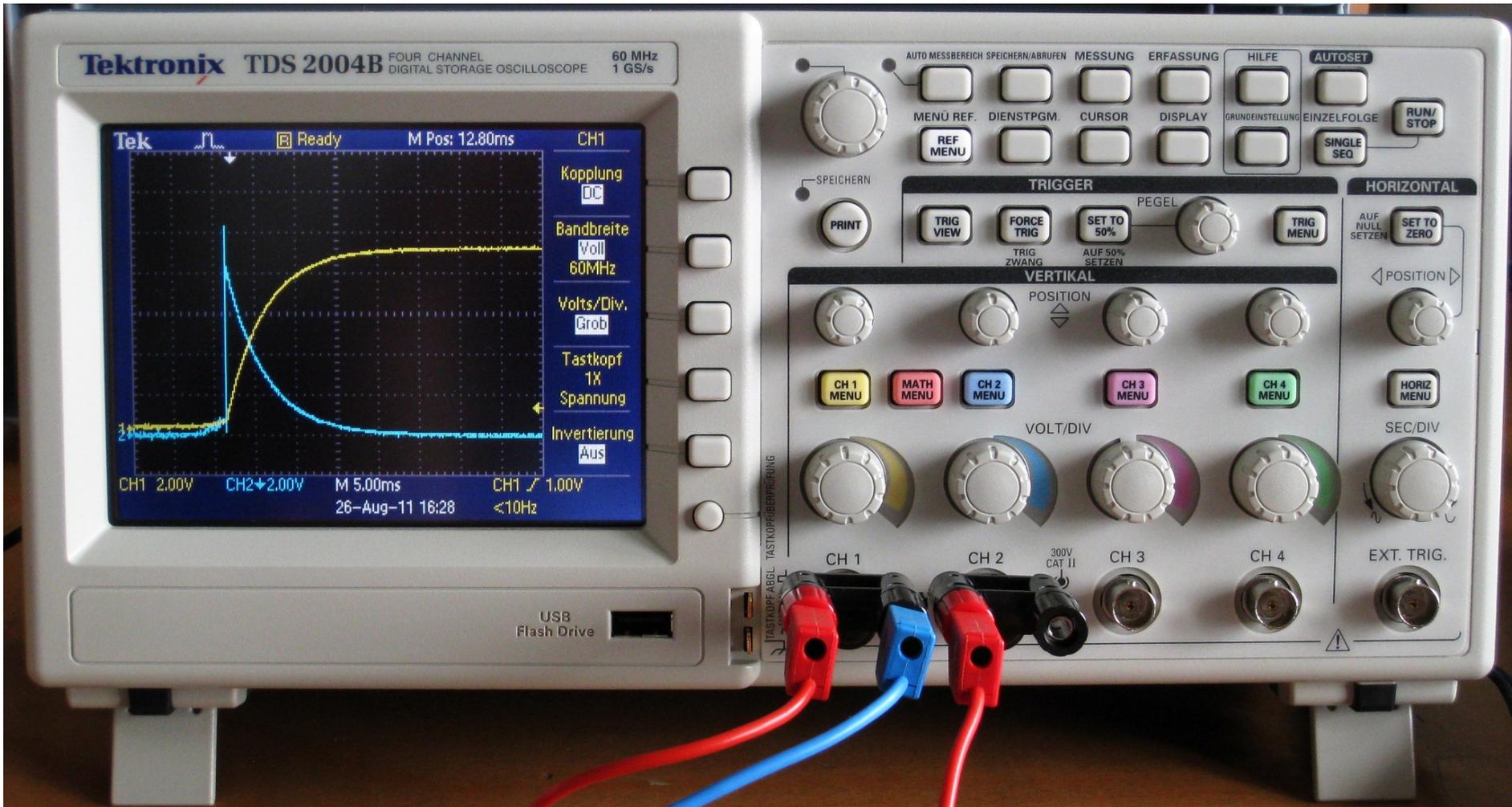
Ansprechzeit:

$>7\text{ s}$ in Flüssigkeiten

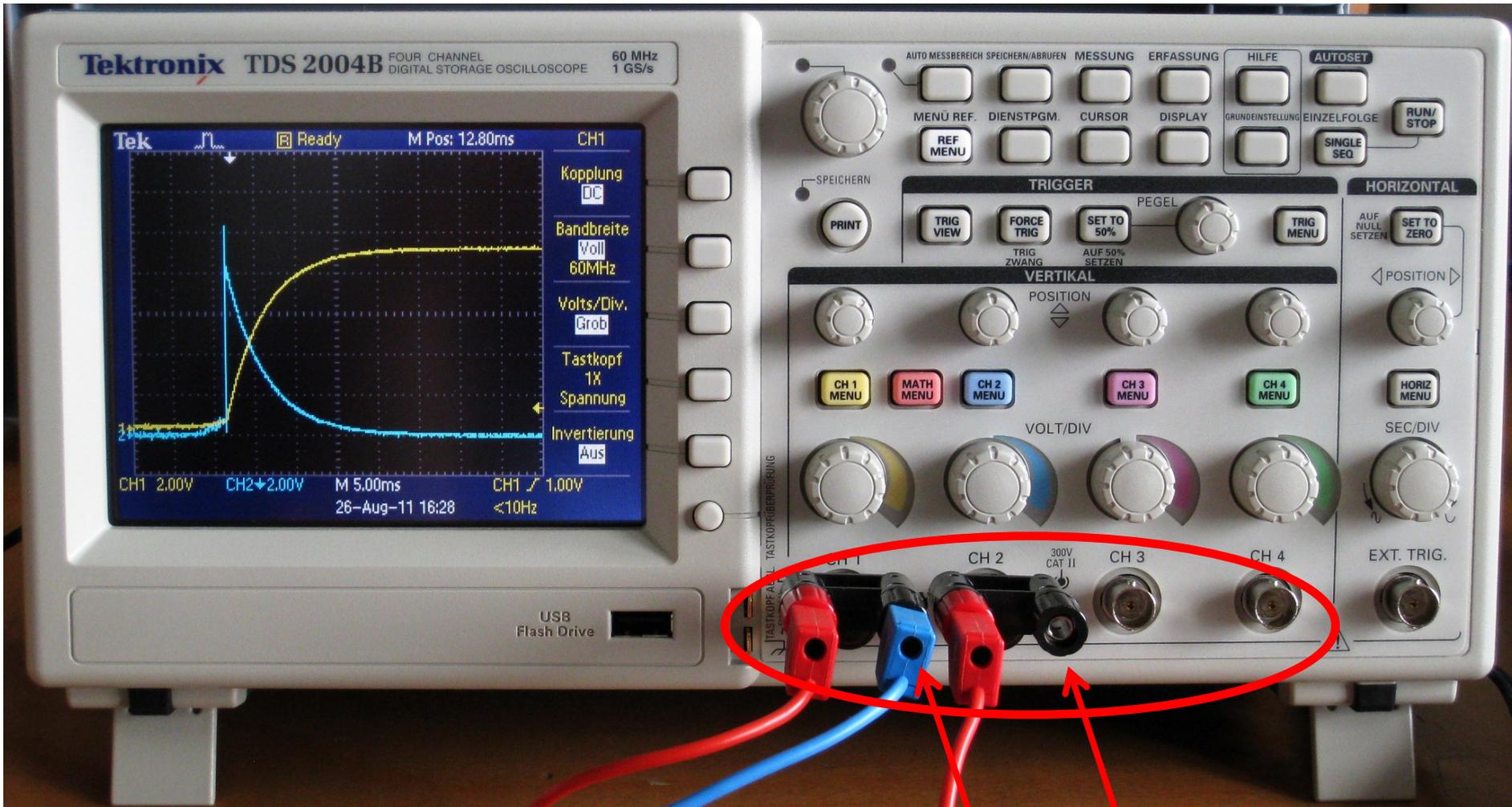
Oszilloskop (Braunsche Röhre)



Digital Oszilloskop

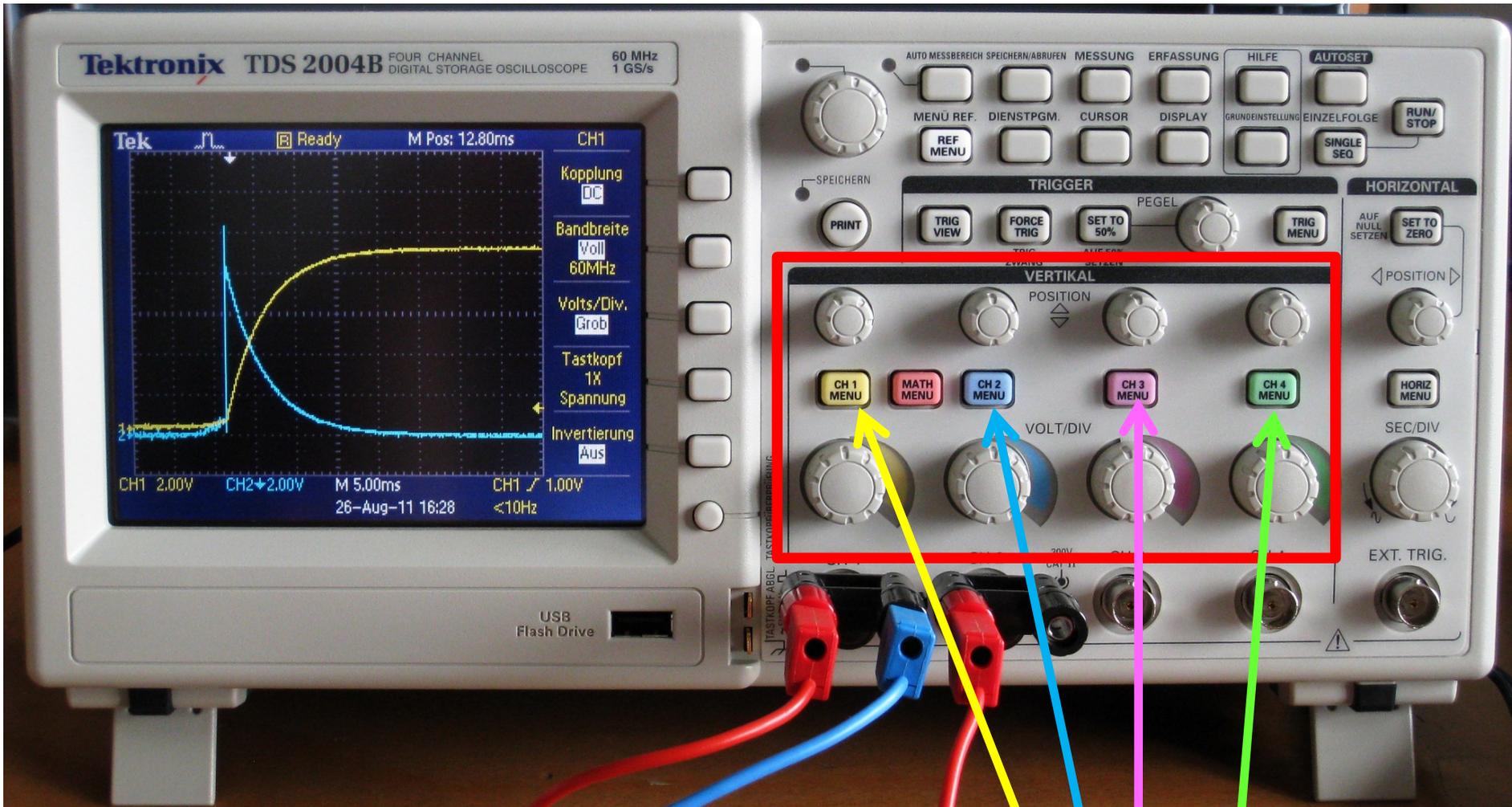


Digital Oszilloskop



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

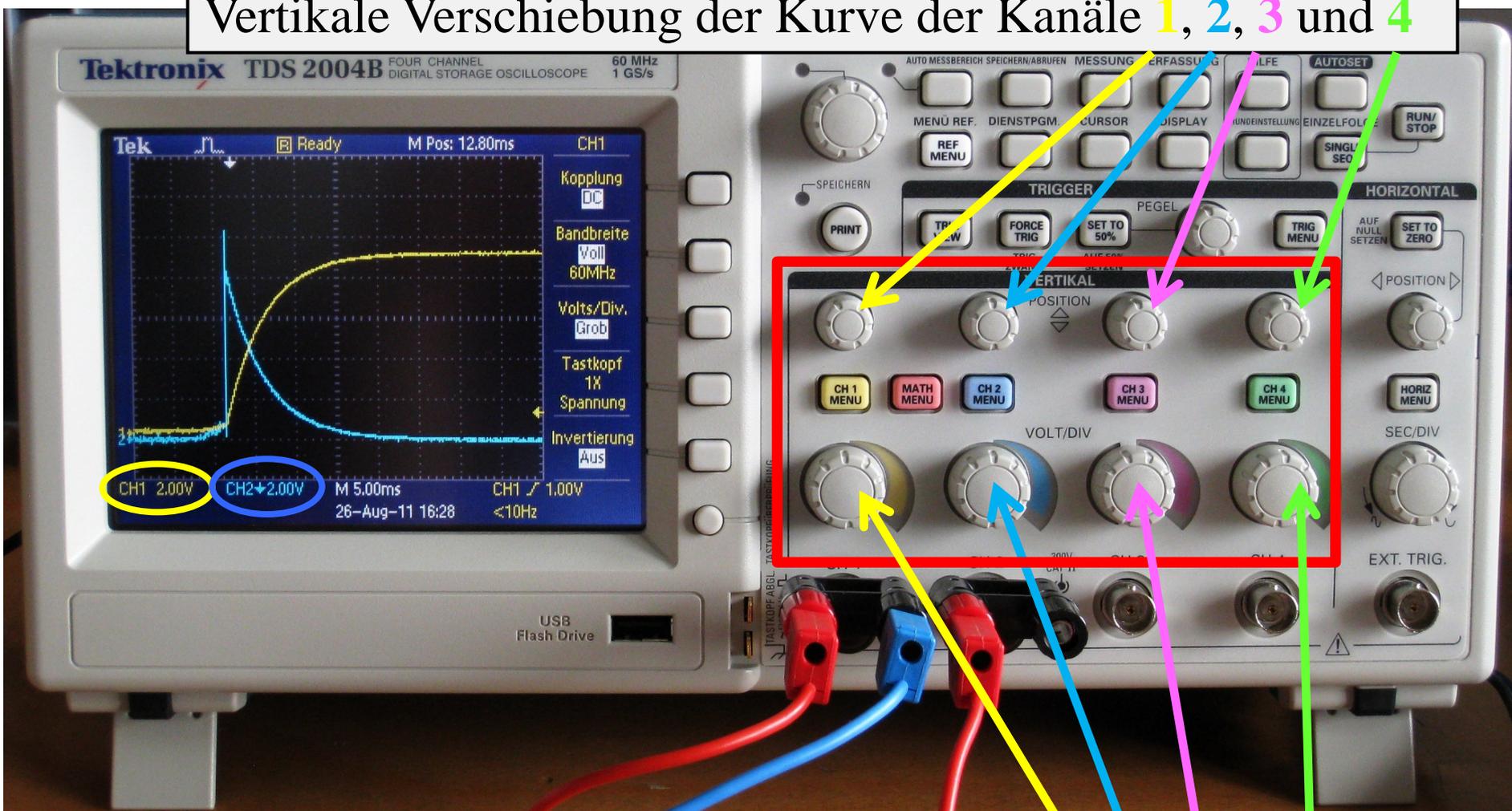
Digital Oszilloskop



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

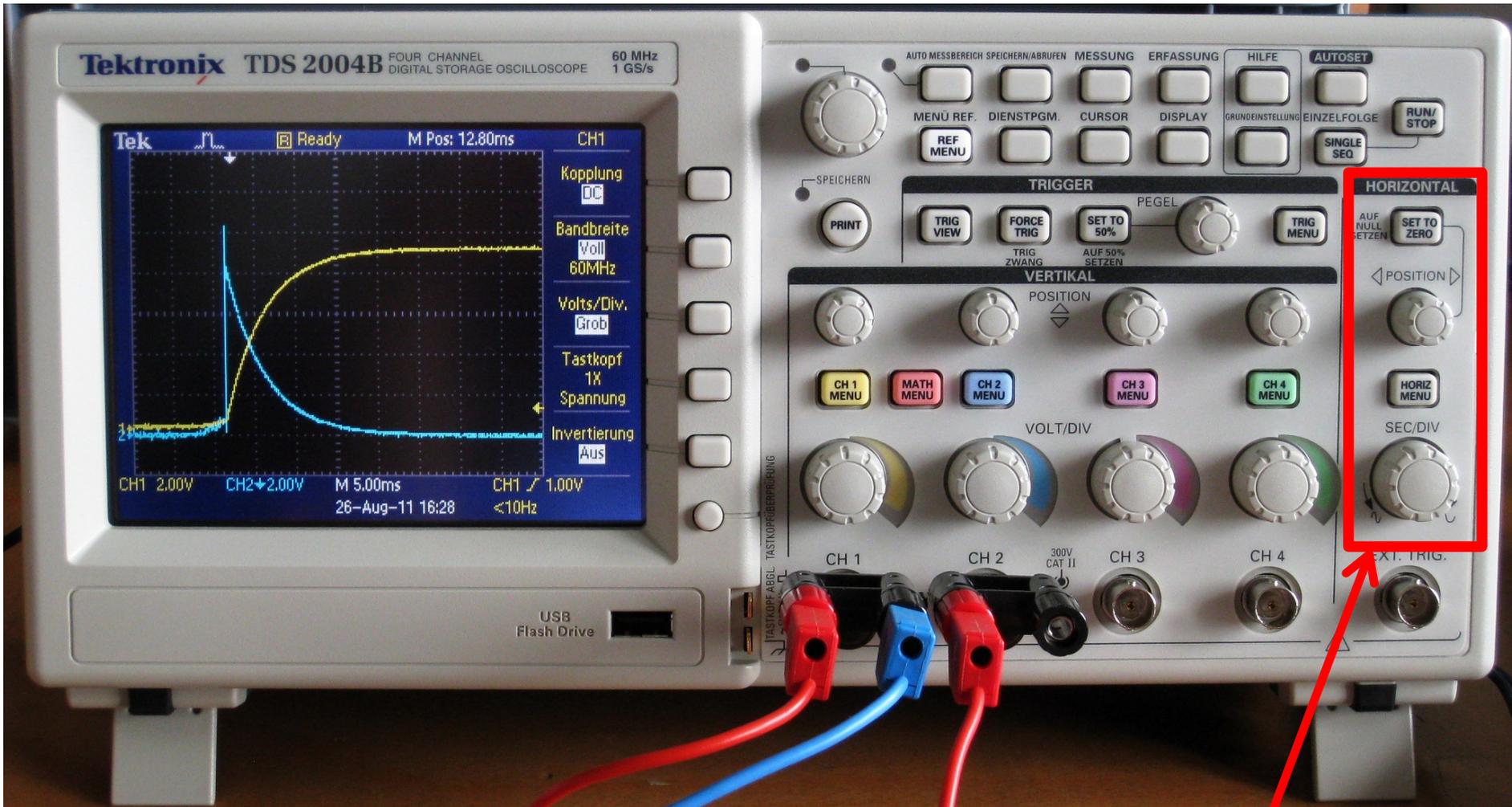
Digital Oszilloskop

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



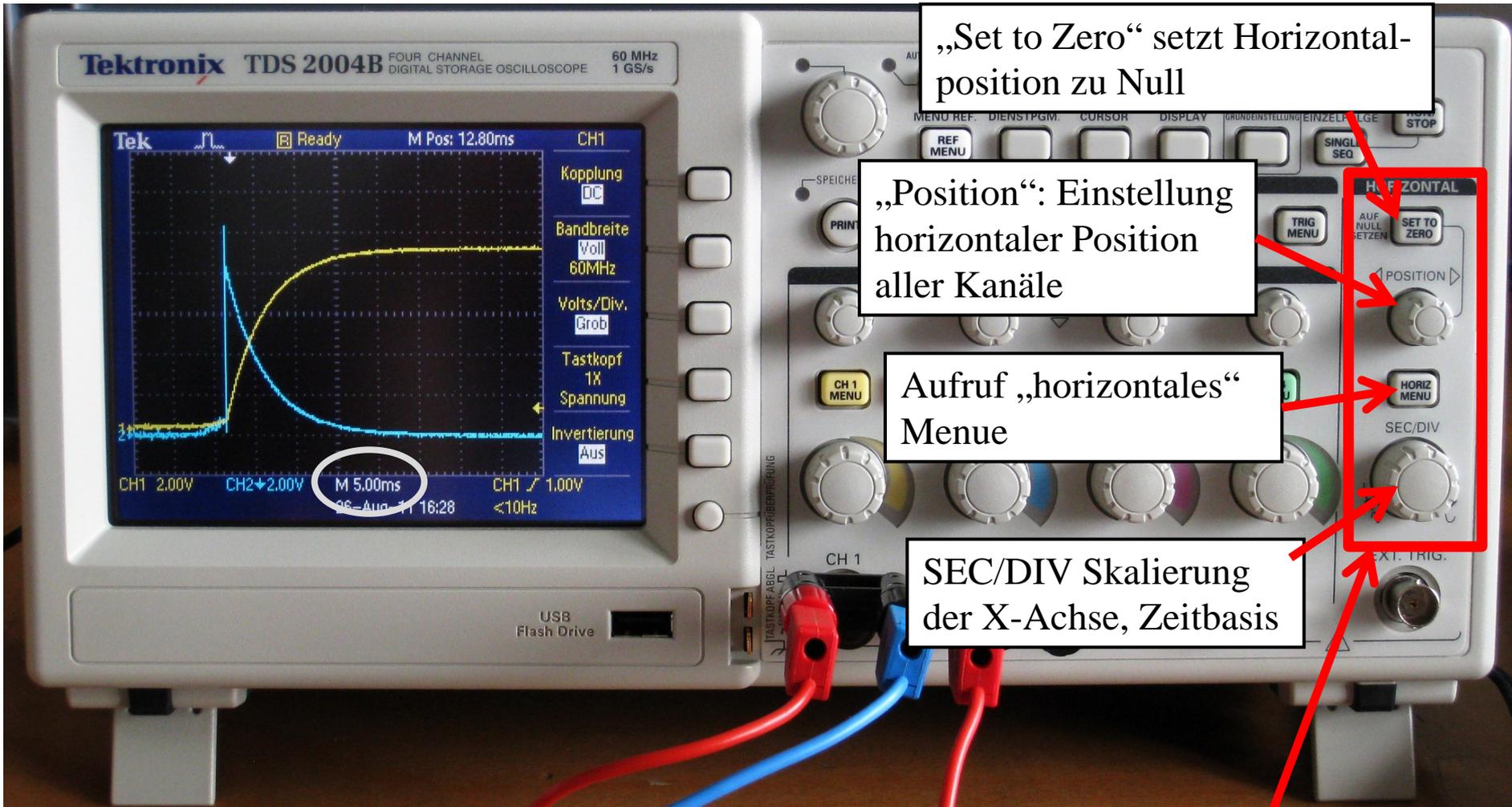
Volt/Div Einstellung der Skalierung der y-Achsen der Kanäle 1, 2, 3 und 4

Digital Oszilloskop



Horizontale Einstellungen

Digital Oszilloskop



„Set to Zero“ setzt Horizontalposition zu Null

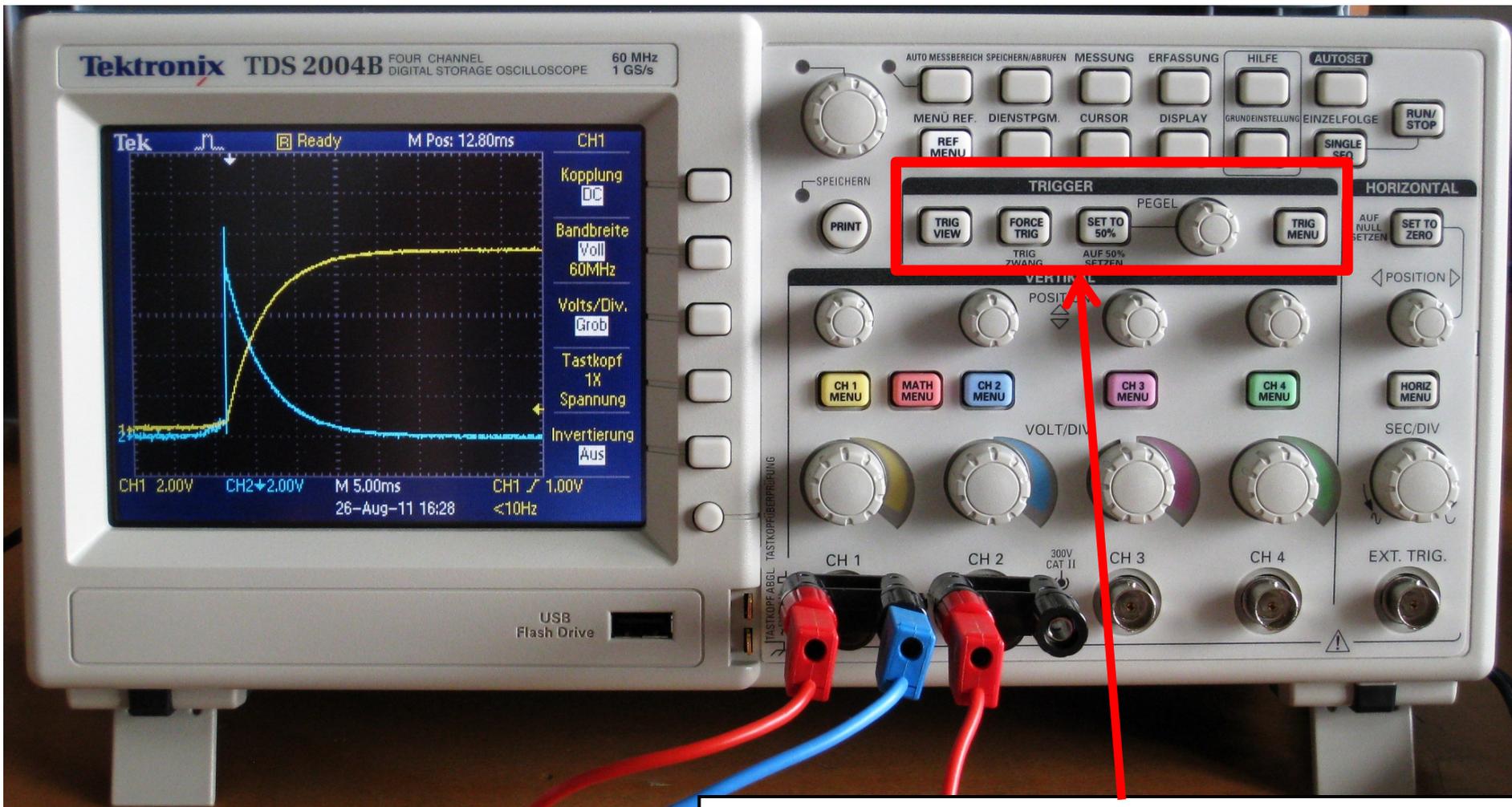
„Position“: Einstellung horizontaler Position aller Kanäle

Aufruf „horizontales“ Menue

SEC/DIV Skalierung der X-Achse, Zeitbasis

Horizontale Einstellungen

Digital Oszilloskop

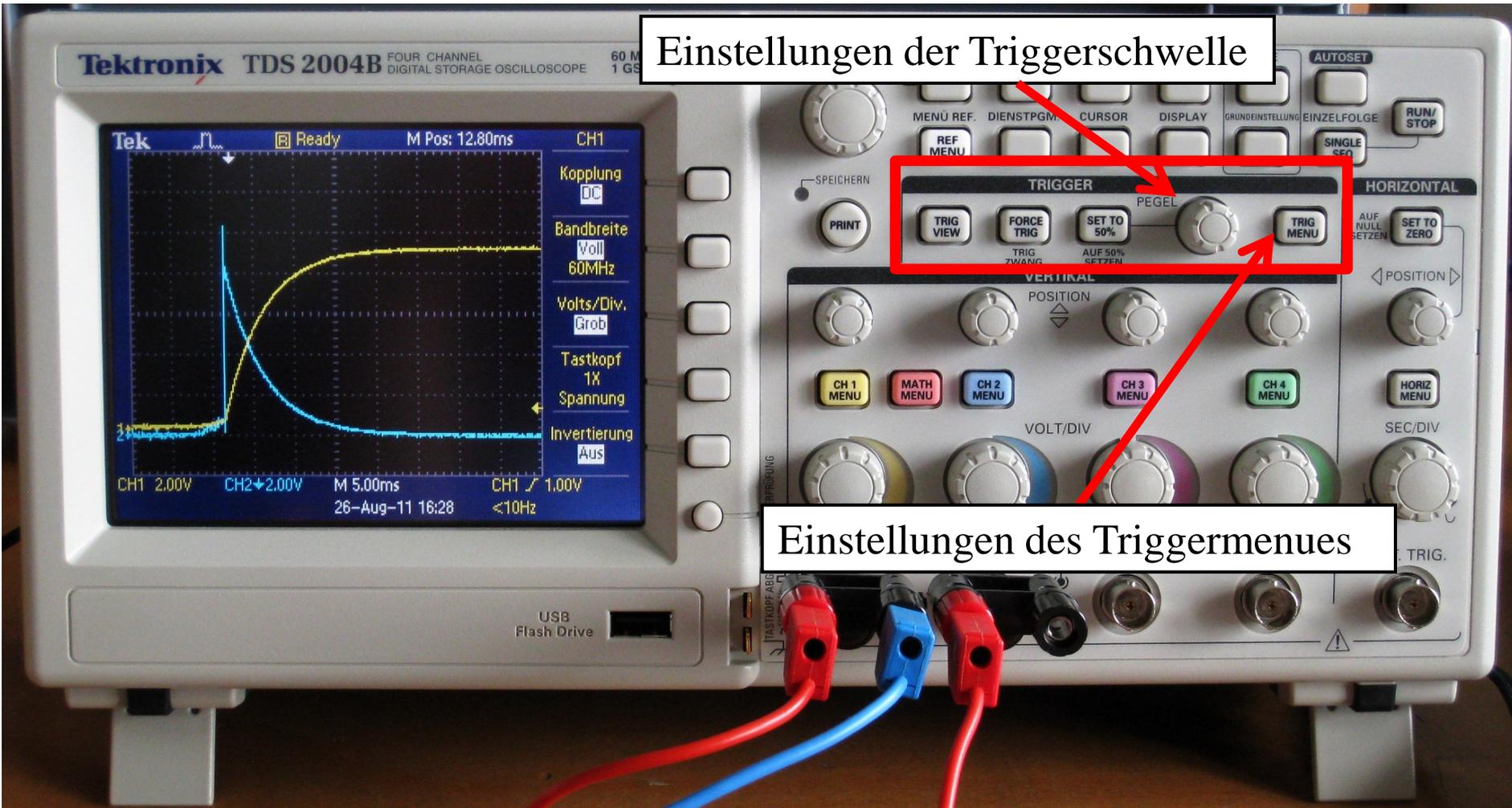


Einstellungen des Triggers, der steuert, wann ein Signal auf Display angezeigt werden soll

Digital Oszilloskop

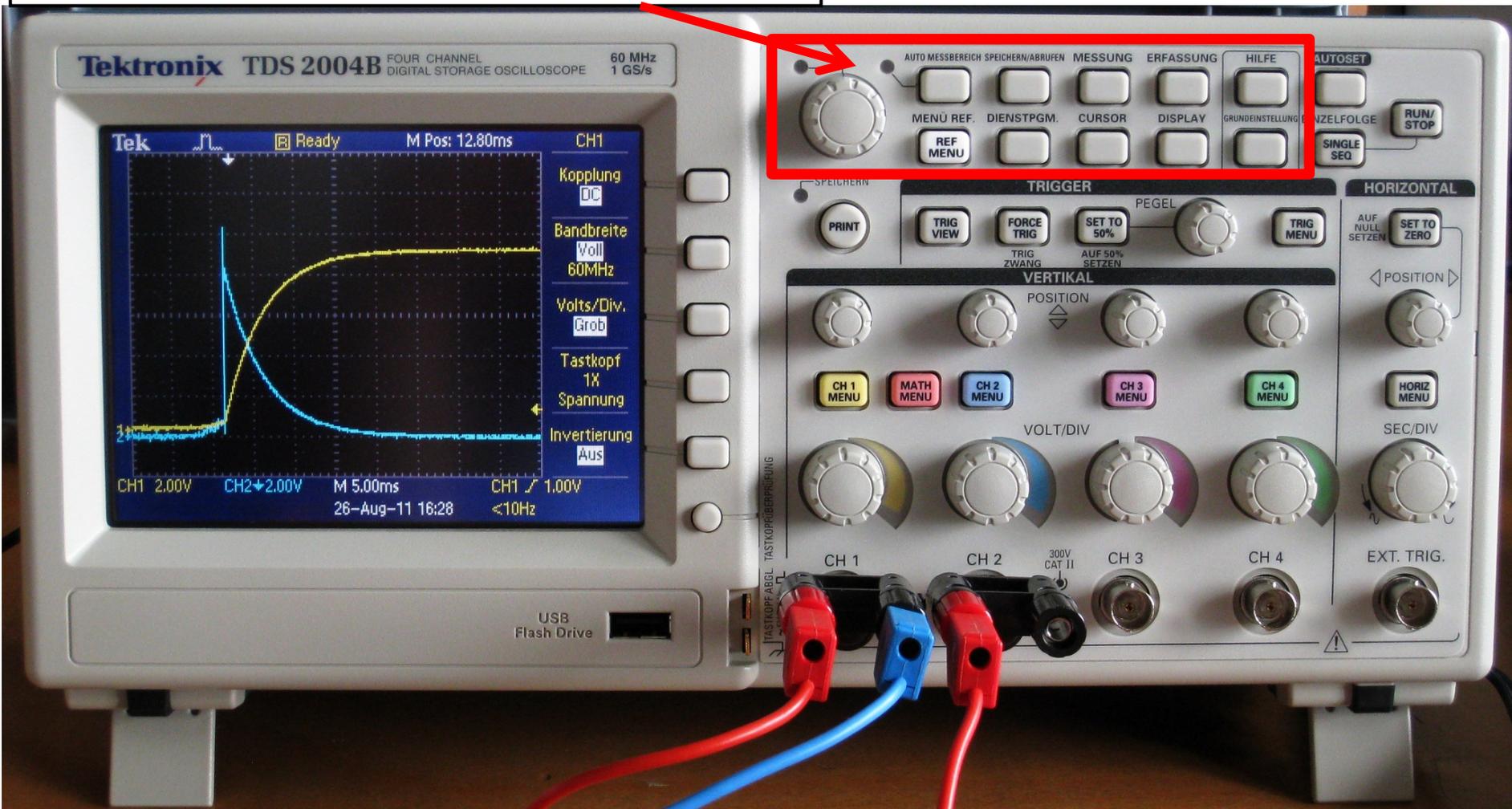
Einstellungen der Triggerschwelle

Einstellungen des Triggersmenues



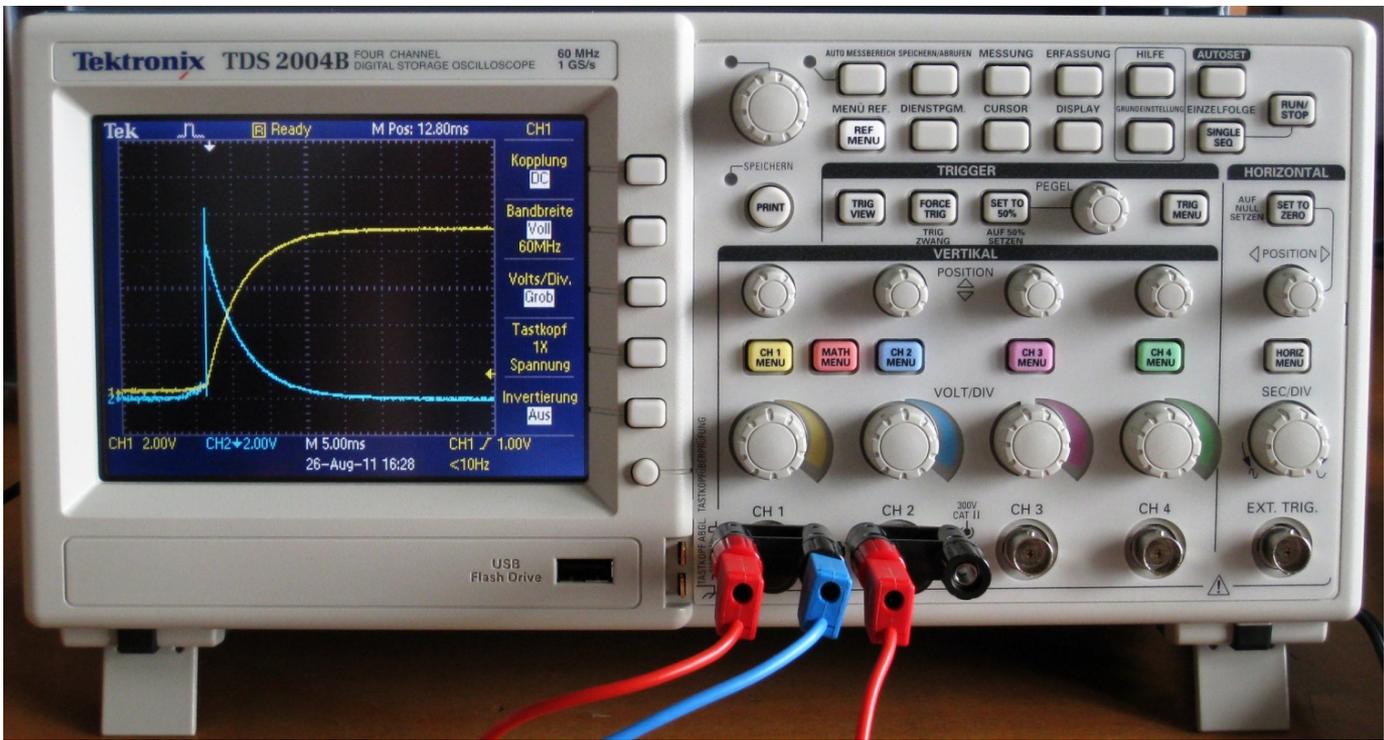
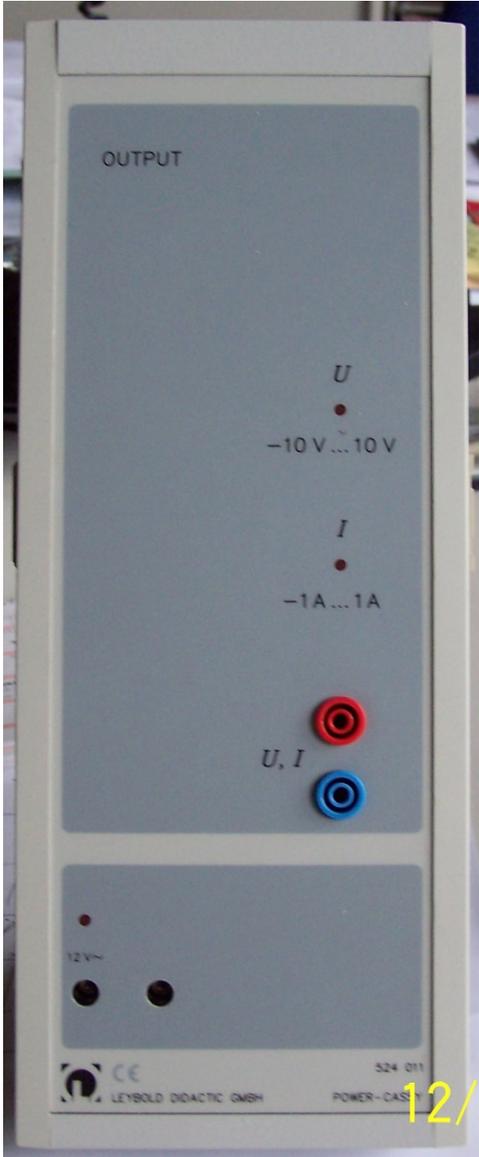
Digital Oszilloskop

Allgem. Einstellungen, Cursor, Messungen



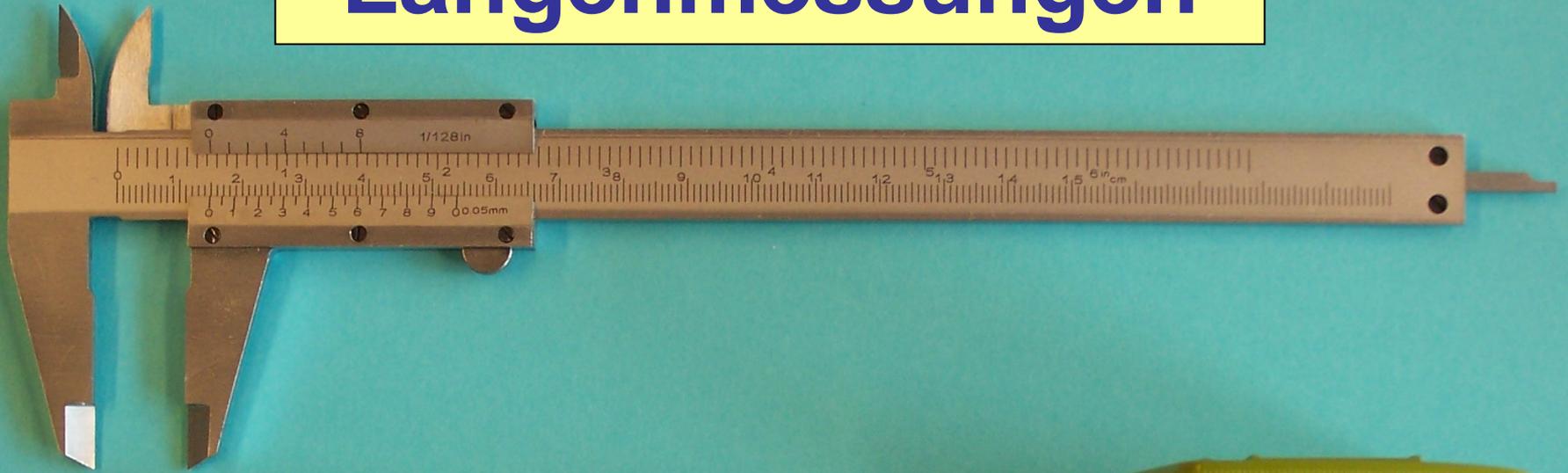
Power Cassy vs Oszilloskop

4. Übung

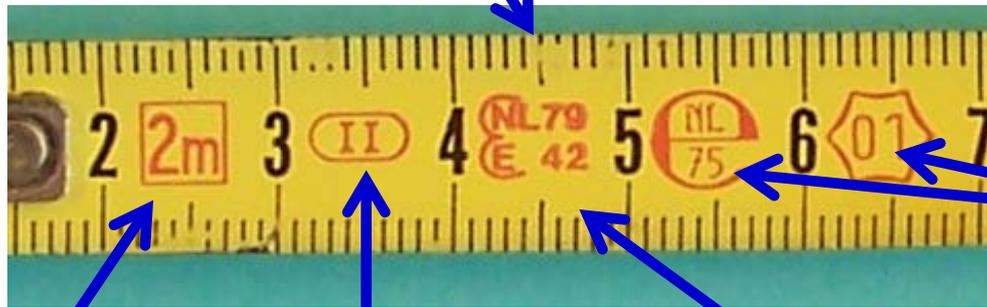
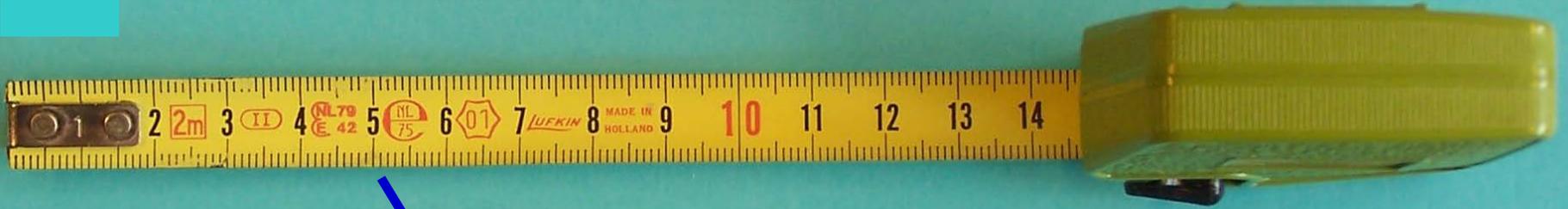


12/

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

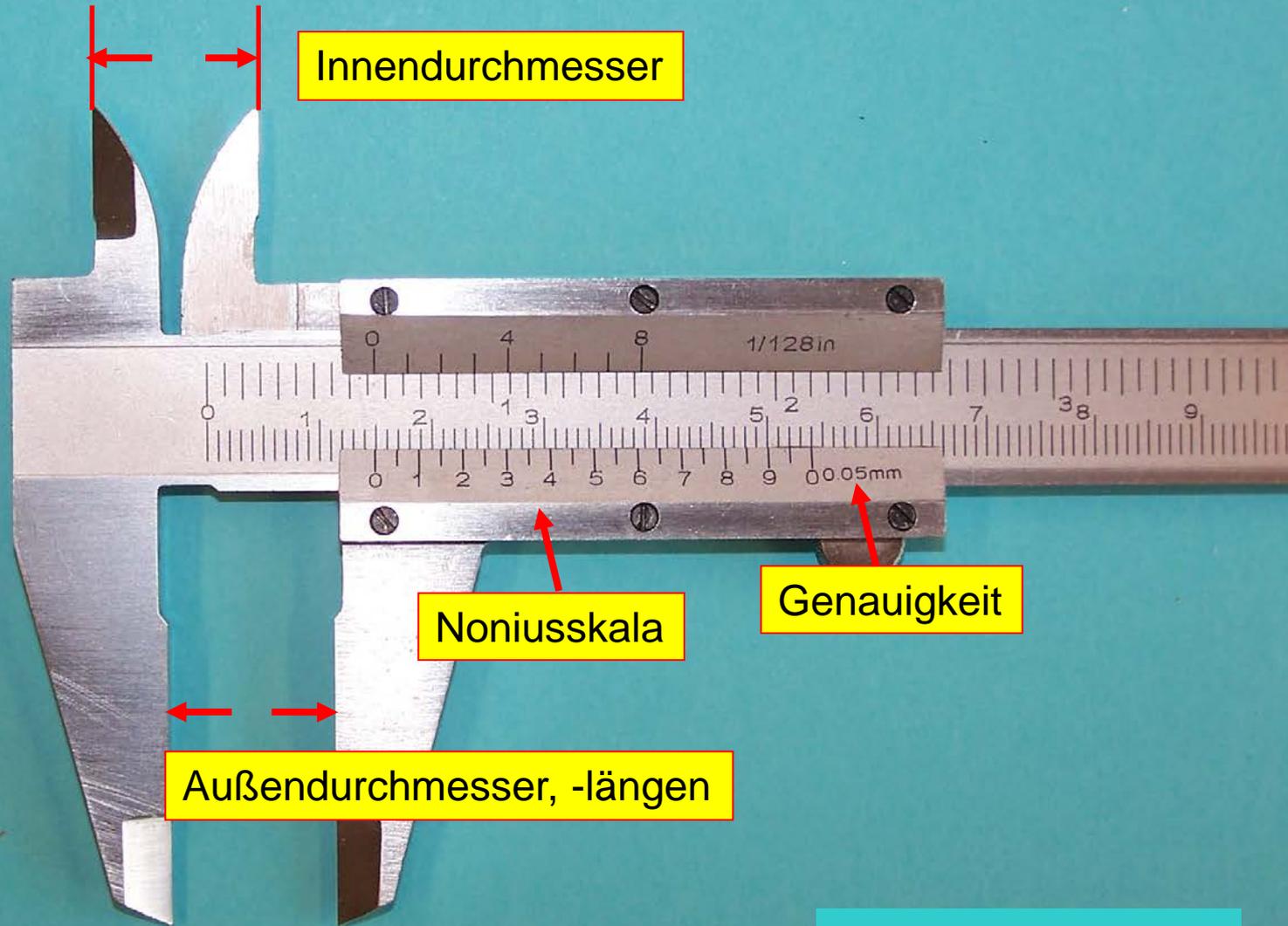
Längenmessungen mit Maßband



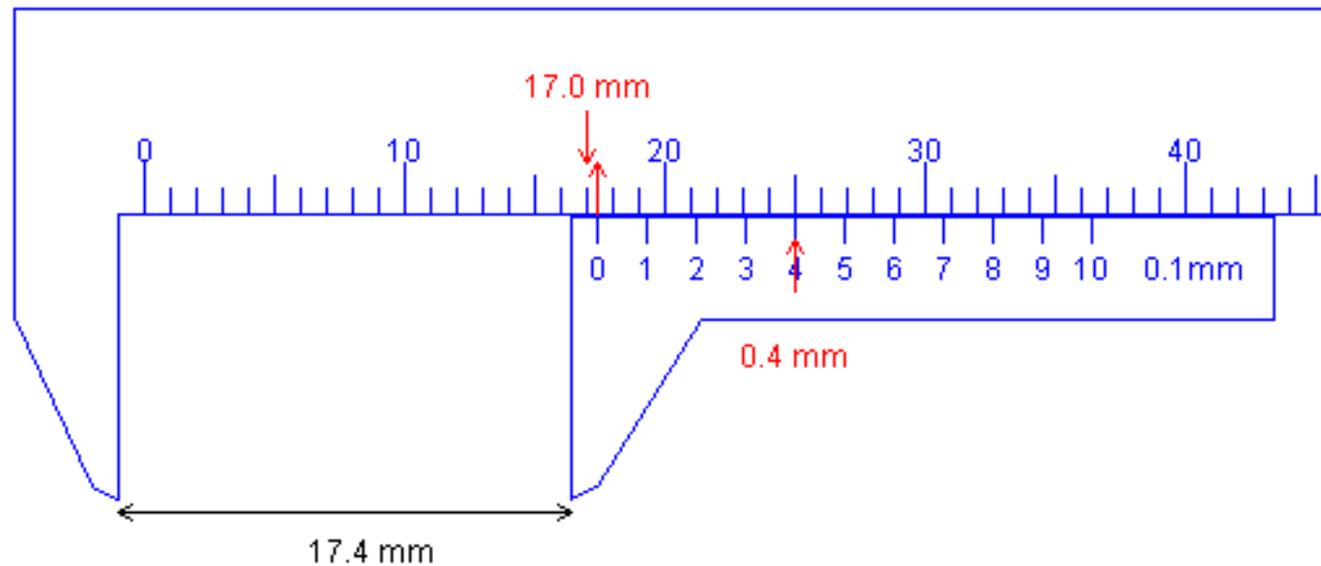
Messunsicherheiten:

- 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

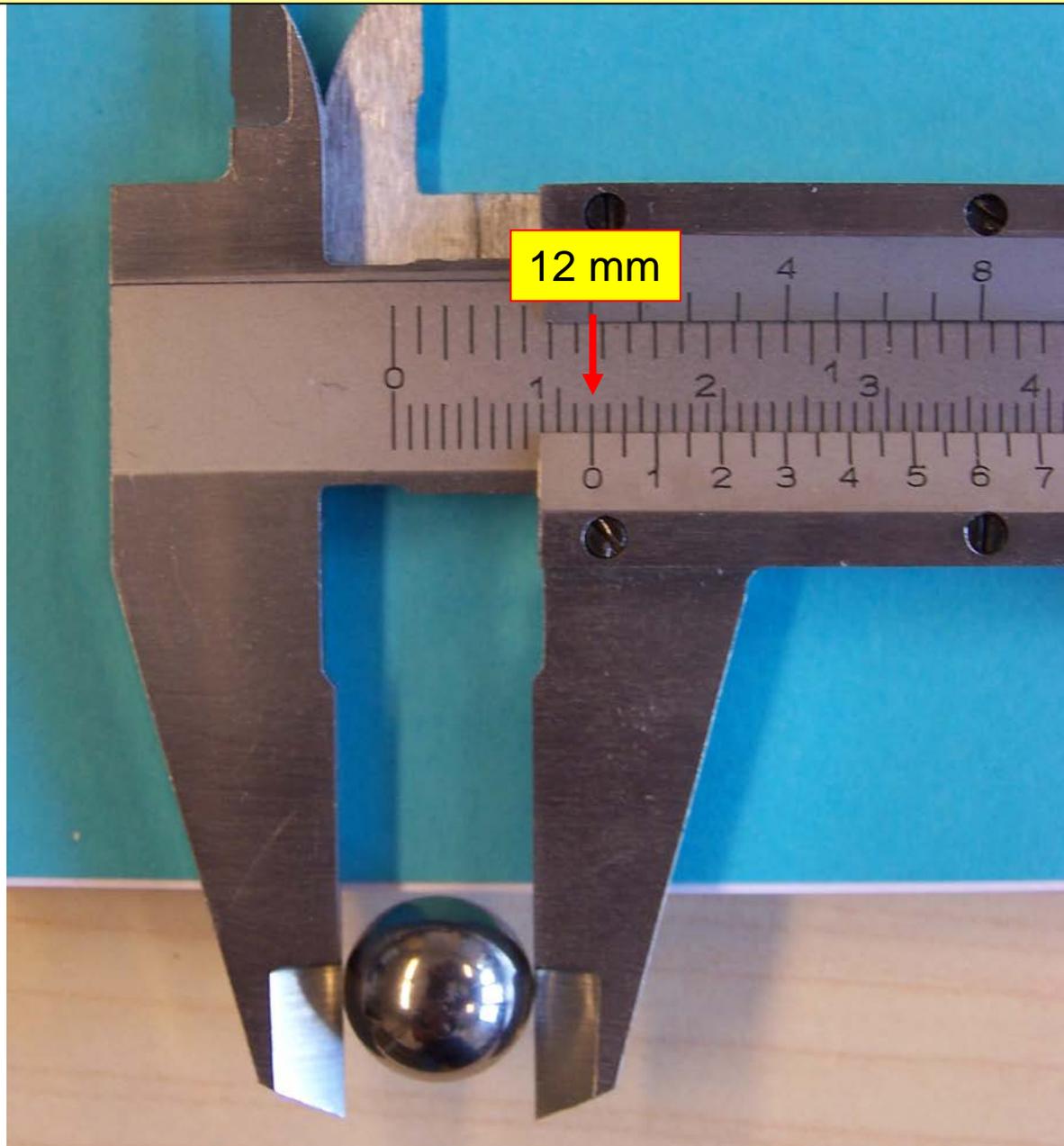
Längenmessungen mit Messschieber



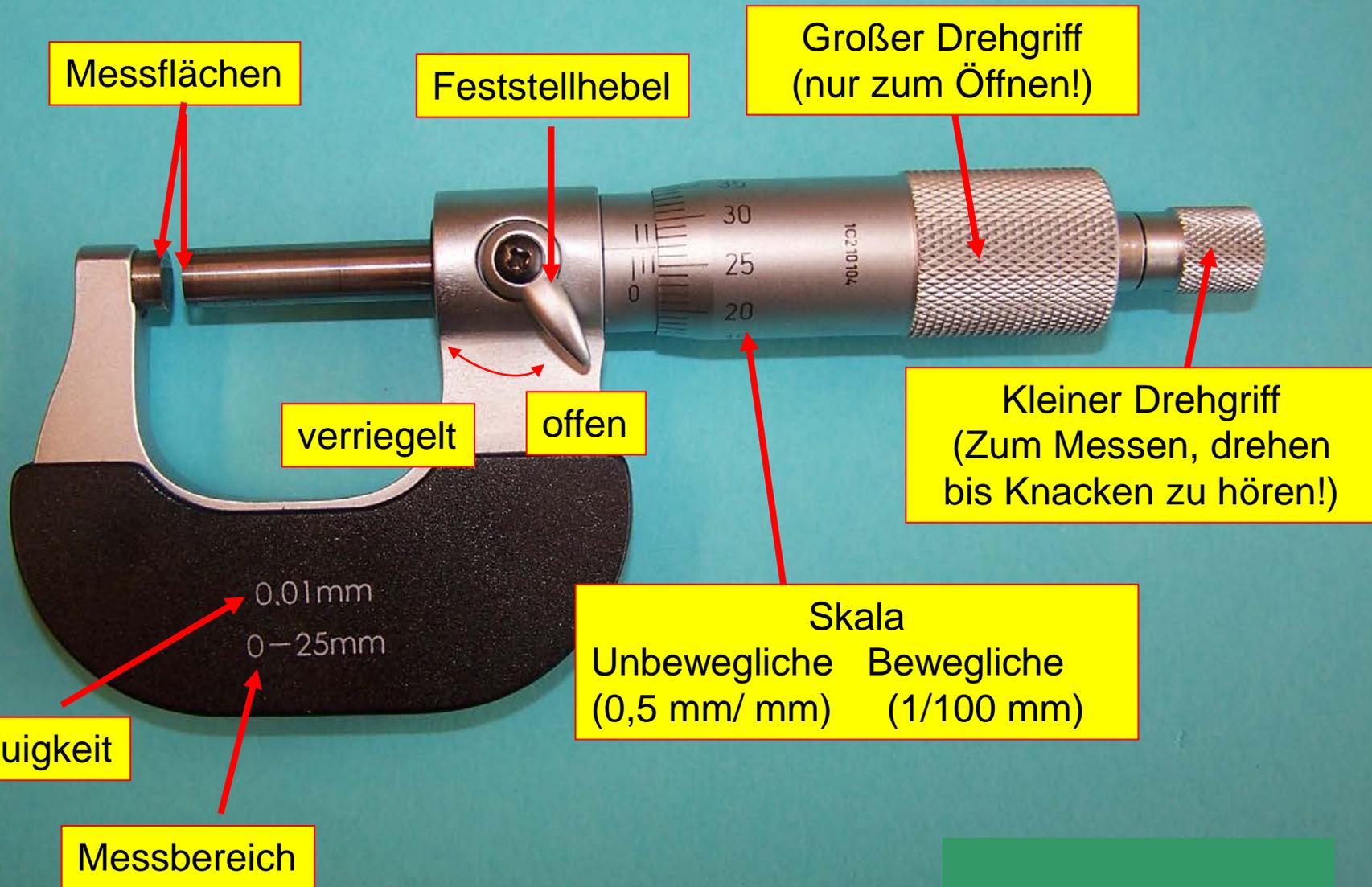
Längenmessungen mit Messschieber



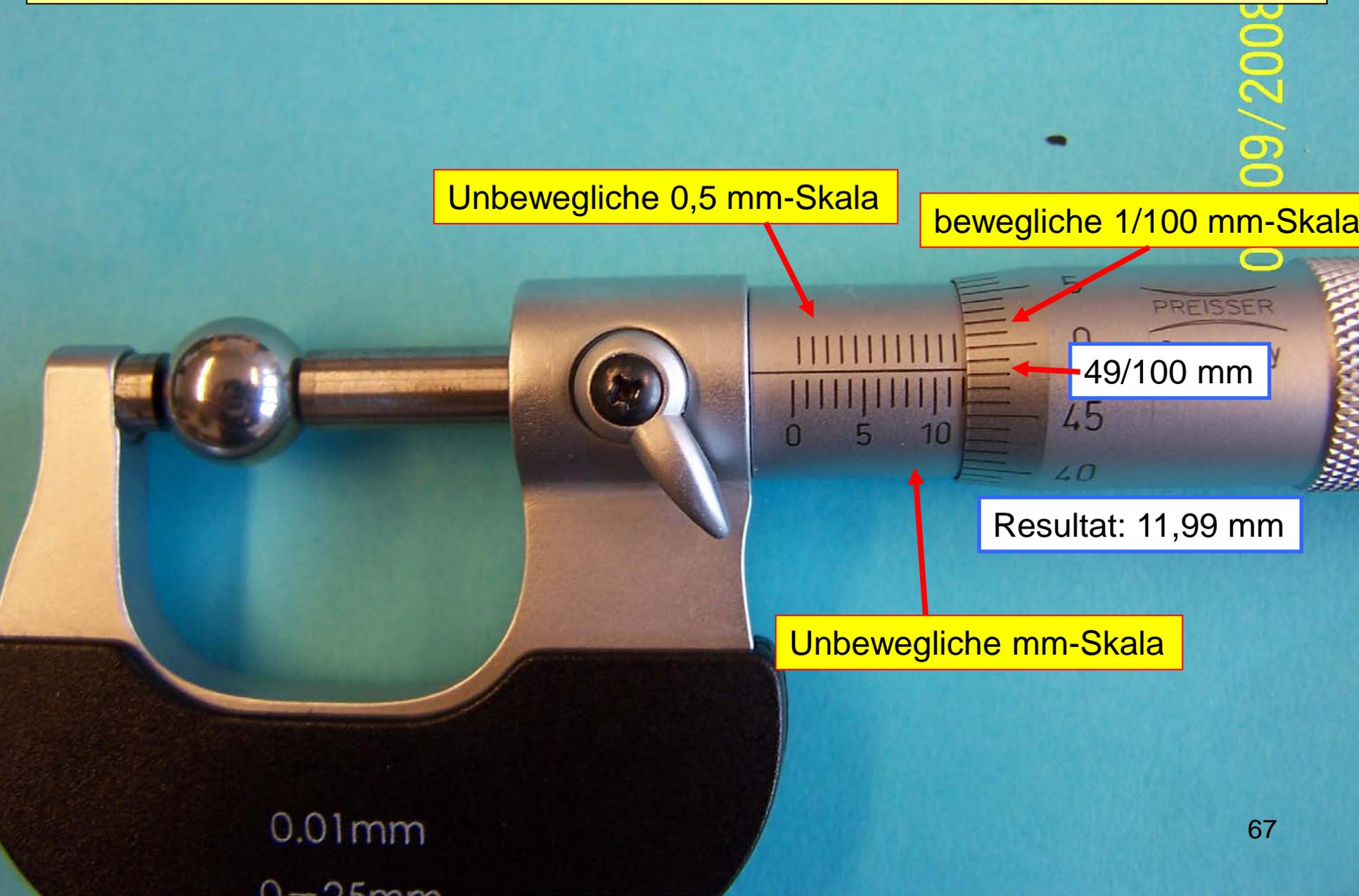
Längenmessungen mit Messschieber



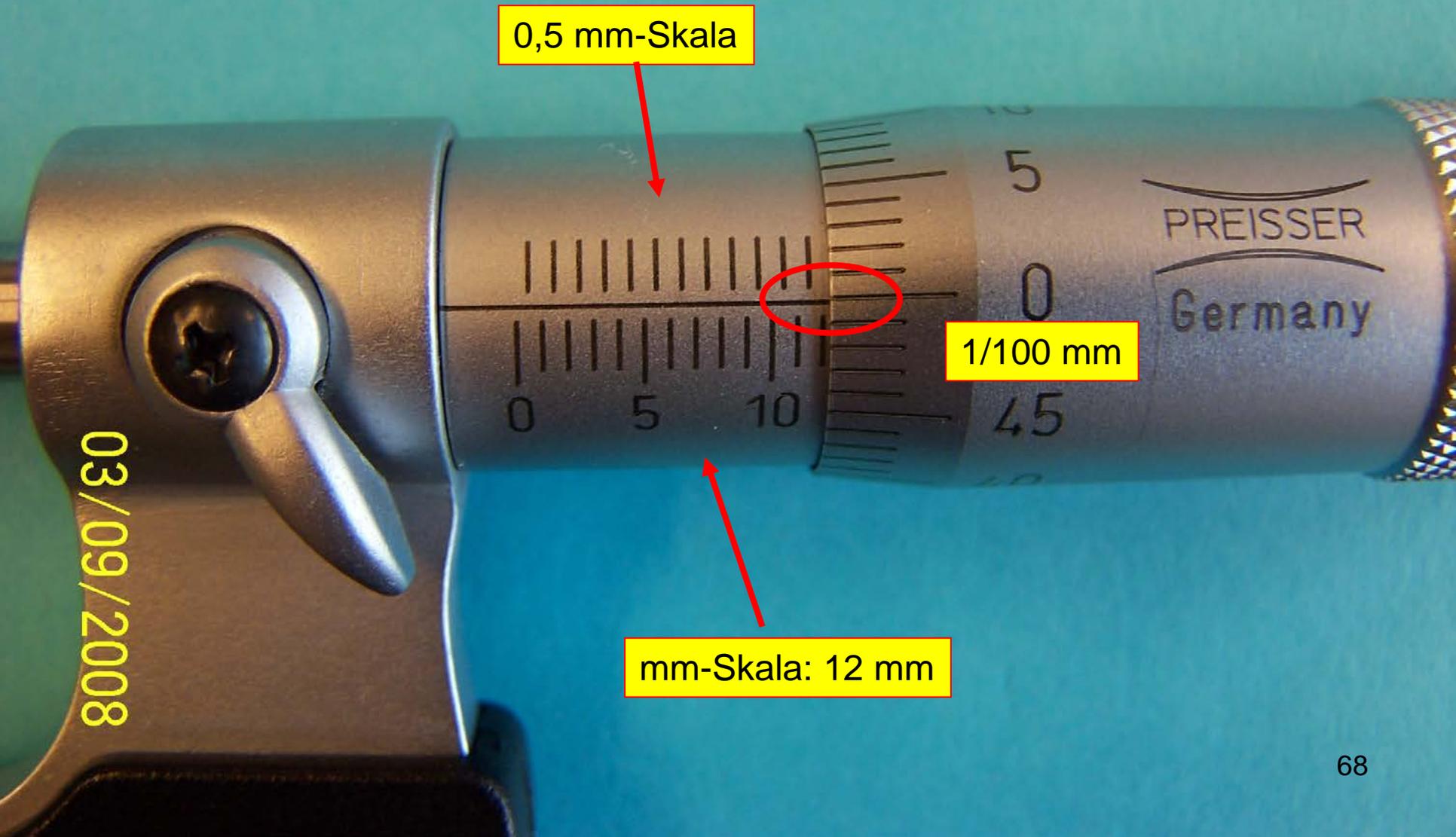
Längenmessungen mit Mikrometerschraube



Längenmessungen mit Mikrometerschraube



Längenmessungen mit Mikrometerschraube



Längenmessungen: Übung



Viel Erfolg !