

Messinstrumente im physikalischen Grundpraktikum

Dr. Th. Kirn

I. Physikalisches Institut B

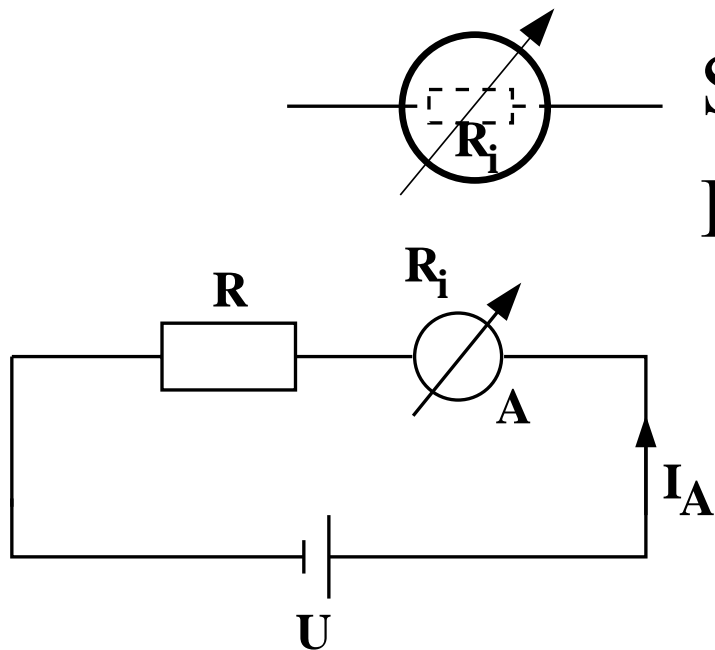
Messinstrumente im physikalischen Grundpraktikum

- 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!

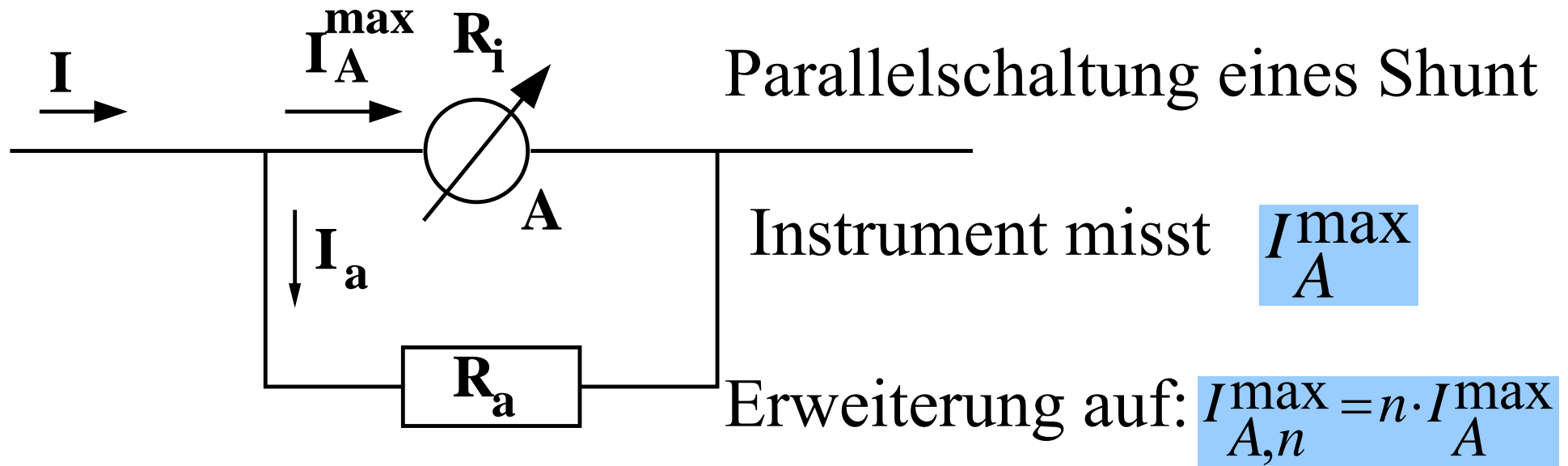
Erwarteter Strom: $I = \frac{U}{R}$



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

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

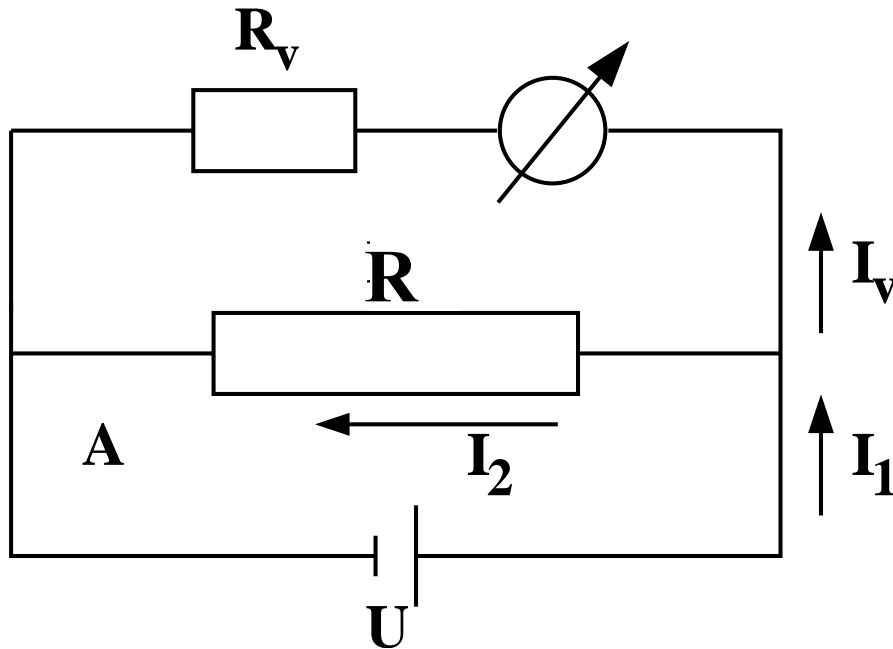
Messbereichserweiterung



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



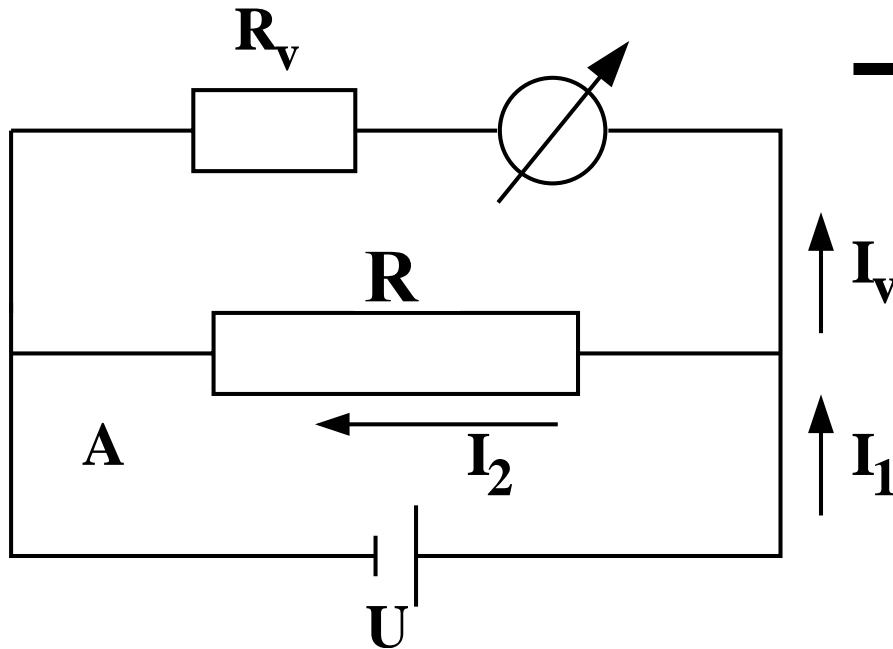
Spannungsmesser sind mittels
Ohmschen Gesetz in Volt
geeichte Amperemeter

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

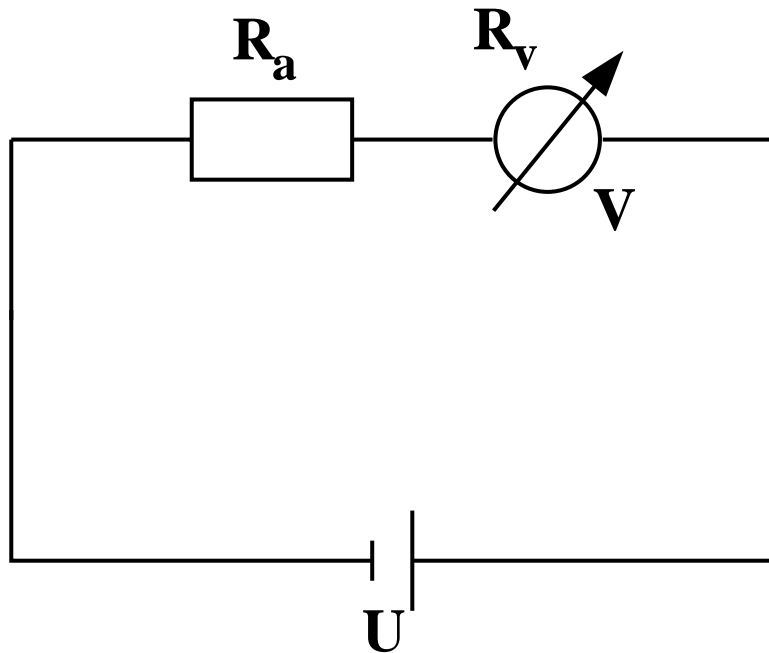
$$I_1 = U \cdot \left(\frac{1}{R_v} + \frac{1}{R} \right) = I \cdot \frac{R + R_v}{R_v} > I = \frac{U}{R}$$

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

Spannungsmesser sind hochohmige Strommesser

$$R_v > 10k\Omega$$

Messbereichserweiterung



Es ist:

Reihenschaltung eines Vorwiderstandes R_a

Instrument misst U_{\max}

Erweiterung auf: $U'_{\max} = n \cdot U_{\max}$

$(n > 1)$

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

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

Realisation der Strom- und Spannungsmessung im Praktikum?



Sensor Cassy Interface



4-fach galvanisch getrennt:

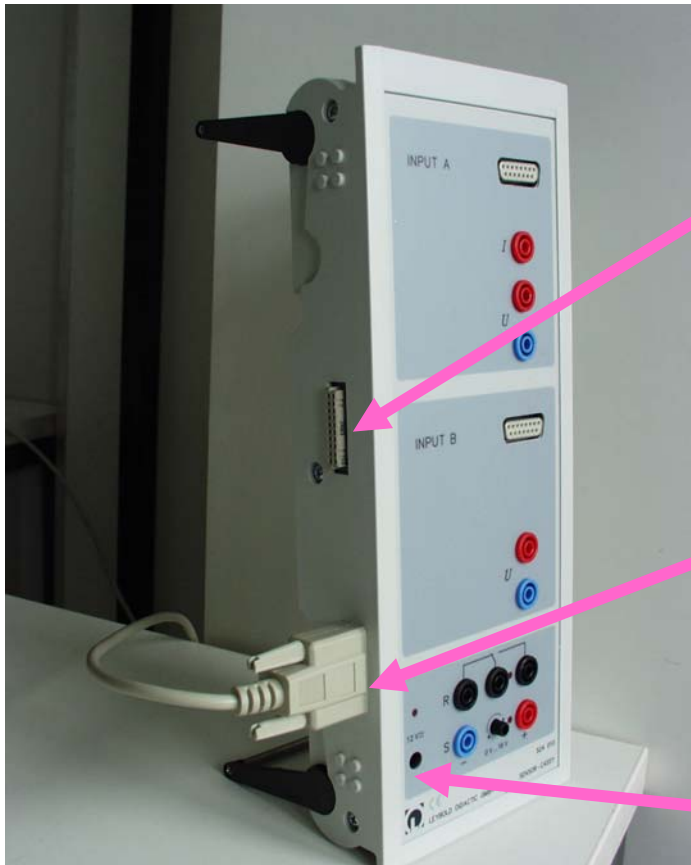
Eingang A (I,U)

Eingang B (U)

Relais R

Spannungsquelle S (0 – 16V)

Sensor-Cassy Interface



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

Anschluß an serielle Schnitt-
stelle RS232 des PCs

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

Sensor-Cassy Interface

Umschaltrelais R
(Schaltanzeige mit LED)

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



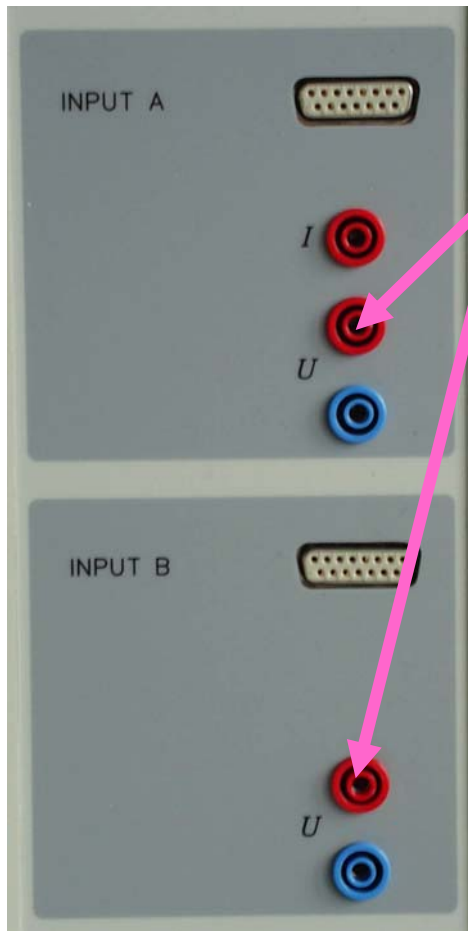
1 analoger Ausgang (PWM)
pulsweitenmoduliert, schaltbare
Spannungsquelle S,
Schaltanzeige mit LED,
Spannung: **max. 16 V / 200 mA**
PWM-Frequenz: **100 Hz**

Sensor Cassy Interface

5 analoge Eingänge

2 analoge Spannungseingänge A und B:

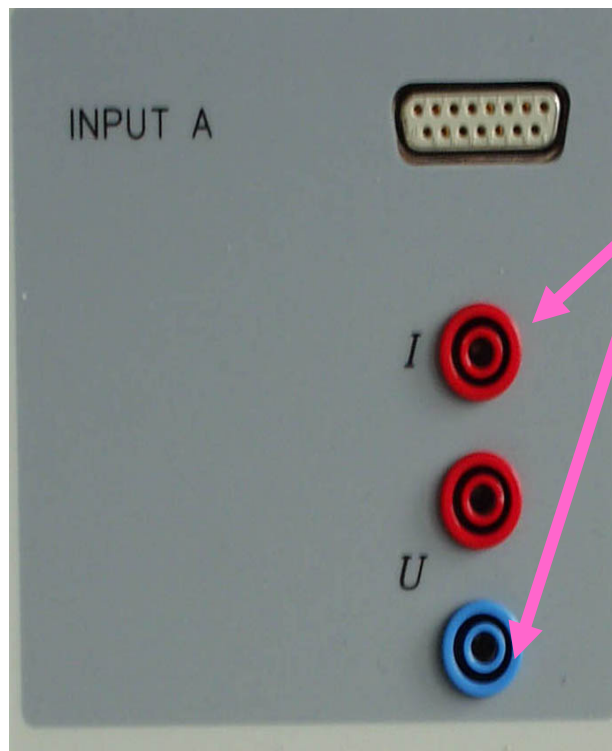
- Auflösung: 12 Bit ($2^{12} = 4096$)
- Messbereiche: $\pm 0,3/1/3/10/30/100$ V
- Digitalisierung: $\pm 0,15$ mV/.../ 48,8mV
- sys. Messfehler: $\pm 1\% + 0,5\%$ Endwert
- Eingangswiderstand: 1 M Ω
- Abtastrate: max. 200.000 Werte/s
(=100.000 Werte/s pro Eingang)
- Anzahl Messwerte: max. 32000



(= 16000/ Eingang) 12

Sensor-Cassy Interface

Eingang A:



1 analoger Stromeingang :

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

Sensor-Cassy Interface



2 analoge Eingänge auf Sensorbox-Steckplätzen A und B

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

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

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

Sensor-Cassy Interface



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

Timer Box → Laufzeit Messung

Temperatur Box

B-Box → B-Feldmessung,
→ Druckmessung

Stromquellen-Box

Datenauslese: Cassy Lab

The screenshot displays the Cassy Lab software interface. At the top, function keys F4 through F7 are labeled. Below them is a toolbar with icons for file operations, a clock, a graph, a data table, and a voltage measurement window. The main window shows a data table with columns 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. A grid is visible in the background.

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}

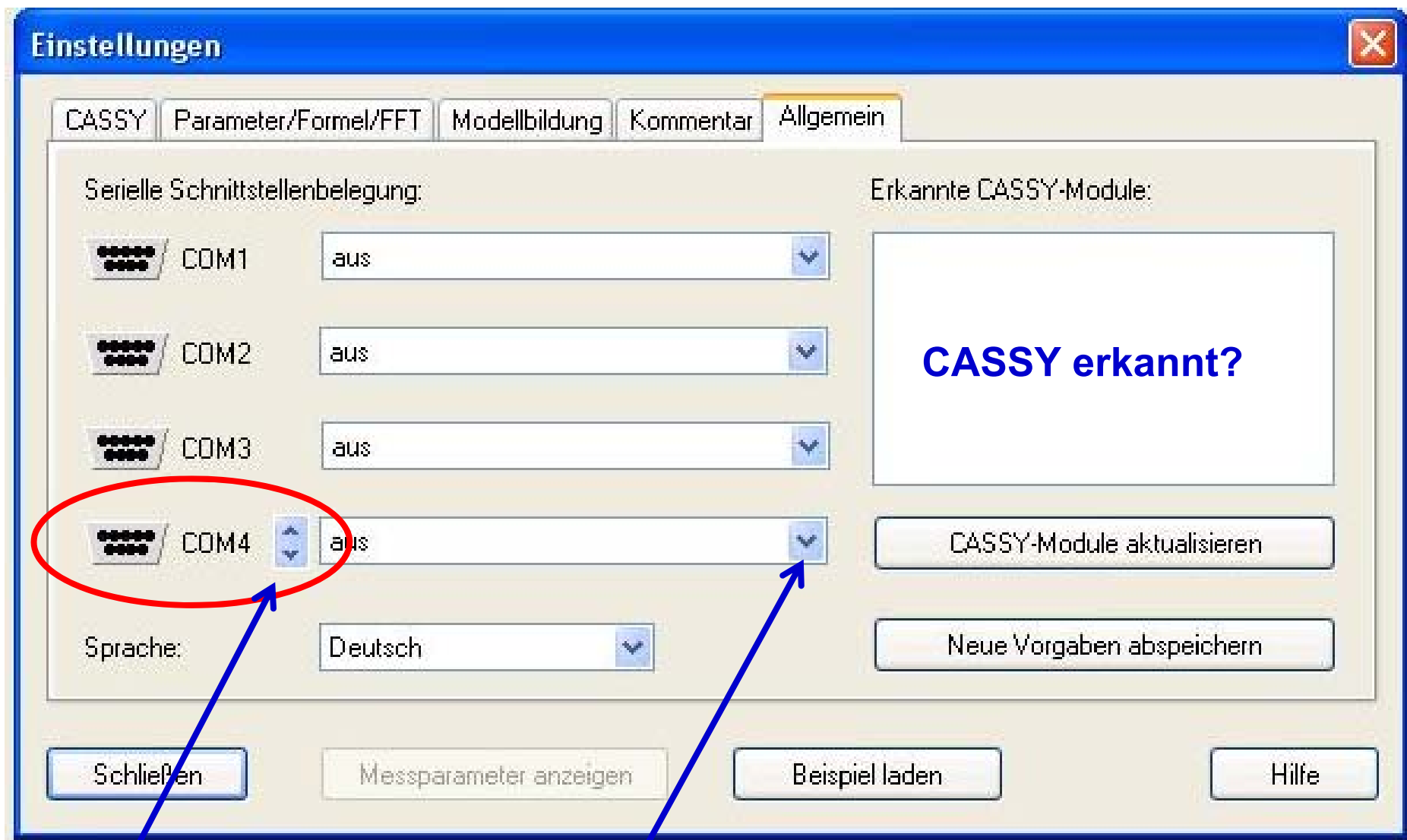
-10 -5 0 5 10

U_{B1} = 0,01 V

Cassy Lab Start



Cassy Lab Start

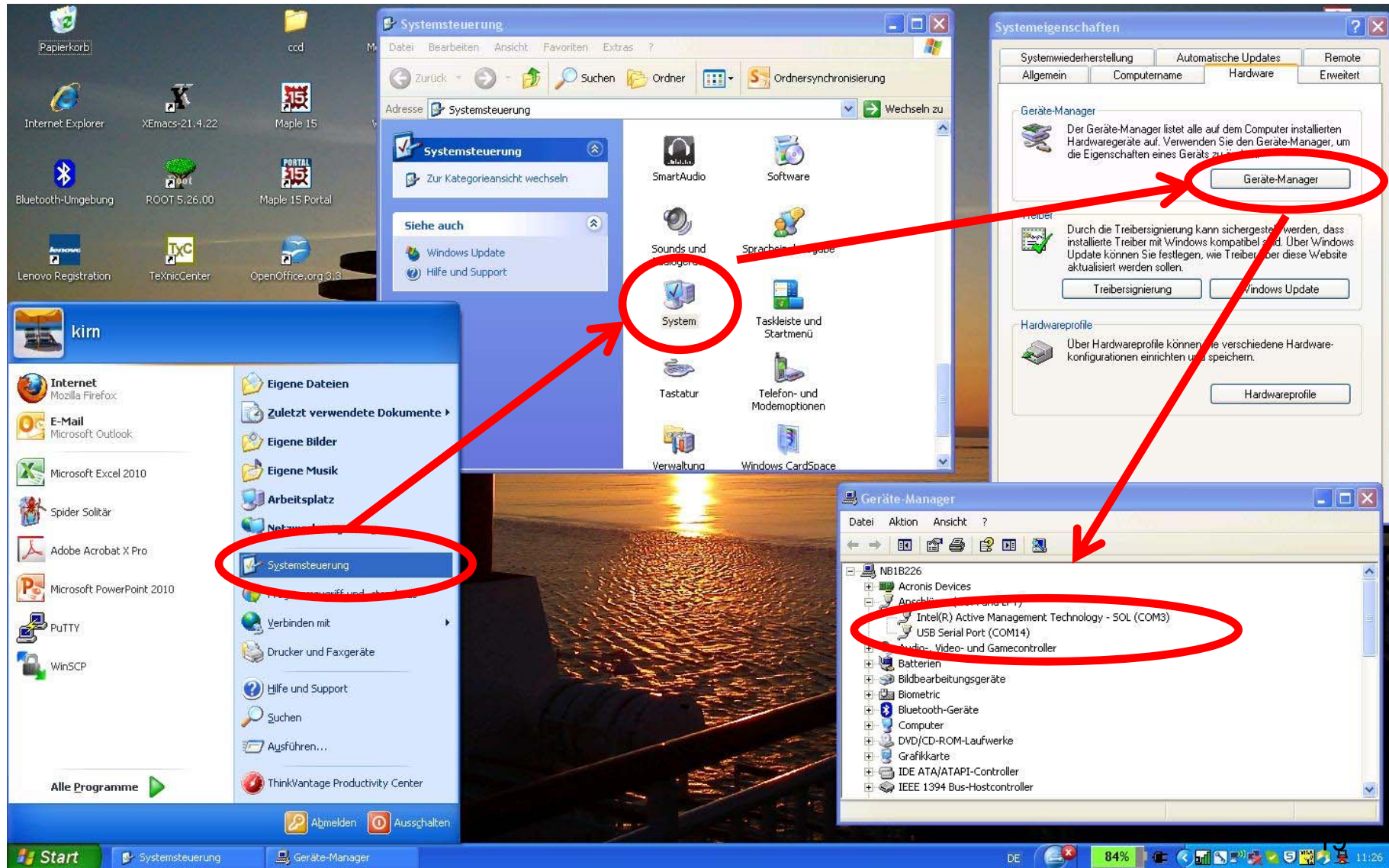


Com-Port Einstellungen → CASSY

Cassy Lab Start

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

Start → Systemsteuerung → System → Hardware → Gerätemanager → USB Serial Port



Cassy Lab Start

Wenn COM >19

**Com-Port 7 reserviert
→ CASSY Lab Absturz)**

Eigenschaften von USB Serial Port (COM14)

- Allgemein
- Anschlüsseinstellungen
- Treiber
- Details

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

Erweitert... Wiederherstellen

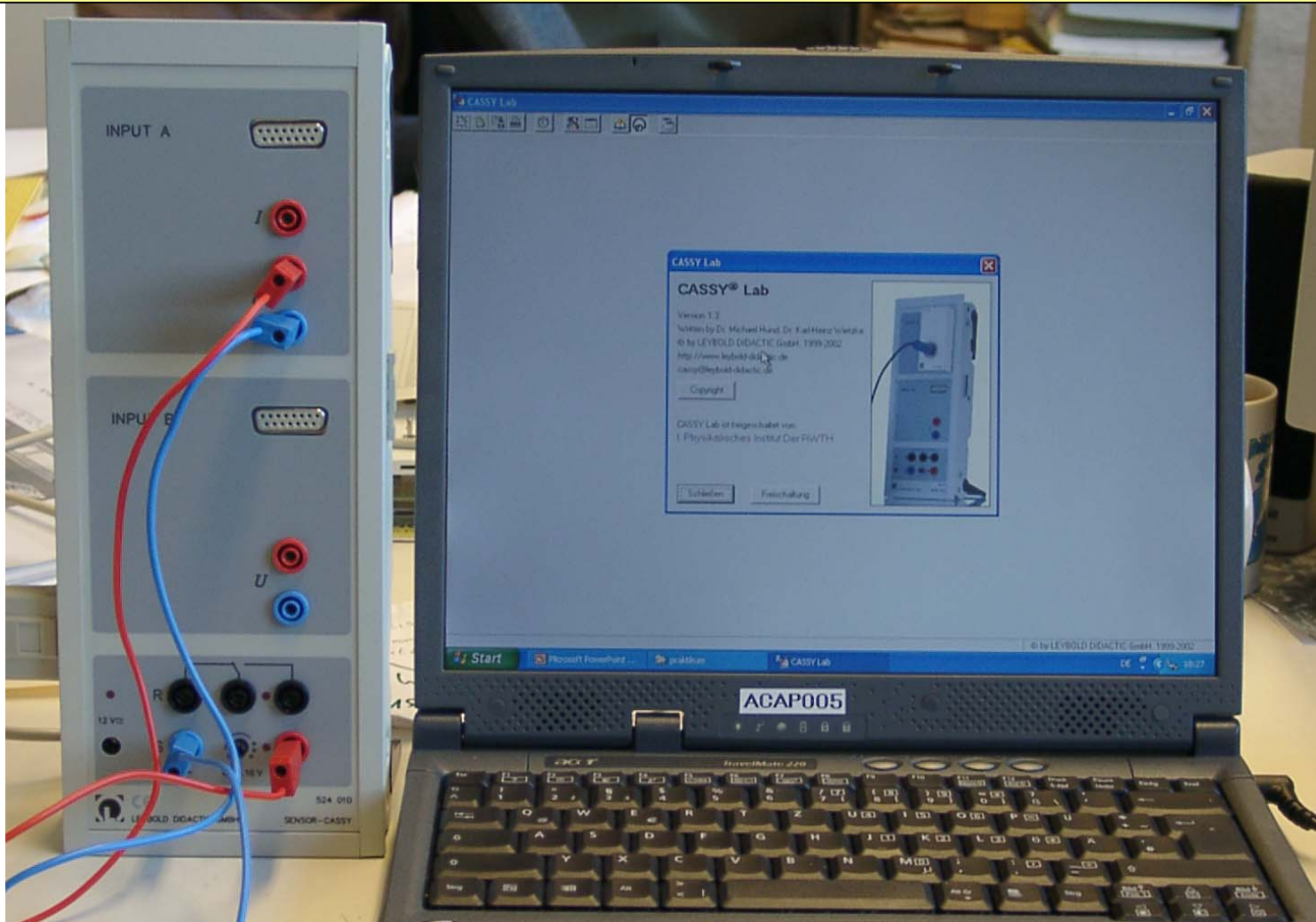
Erweiterte Einstellungen für COM14

COM-Anschlussnummer: COM14

- COM12 (bereits belegt)
- COM13 (bereits belegt)
- 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
- COM39
- COM40
- COM41

OK Abbrechen Standard

Cassy Lab, 1.Übung: Inbetriebnahme



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

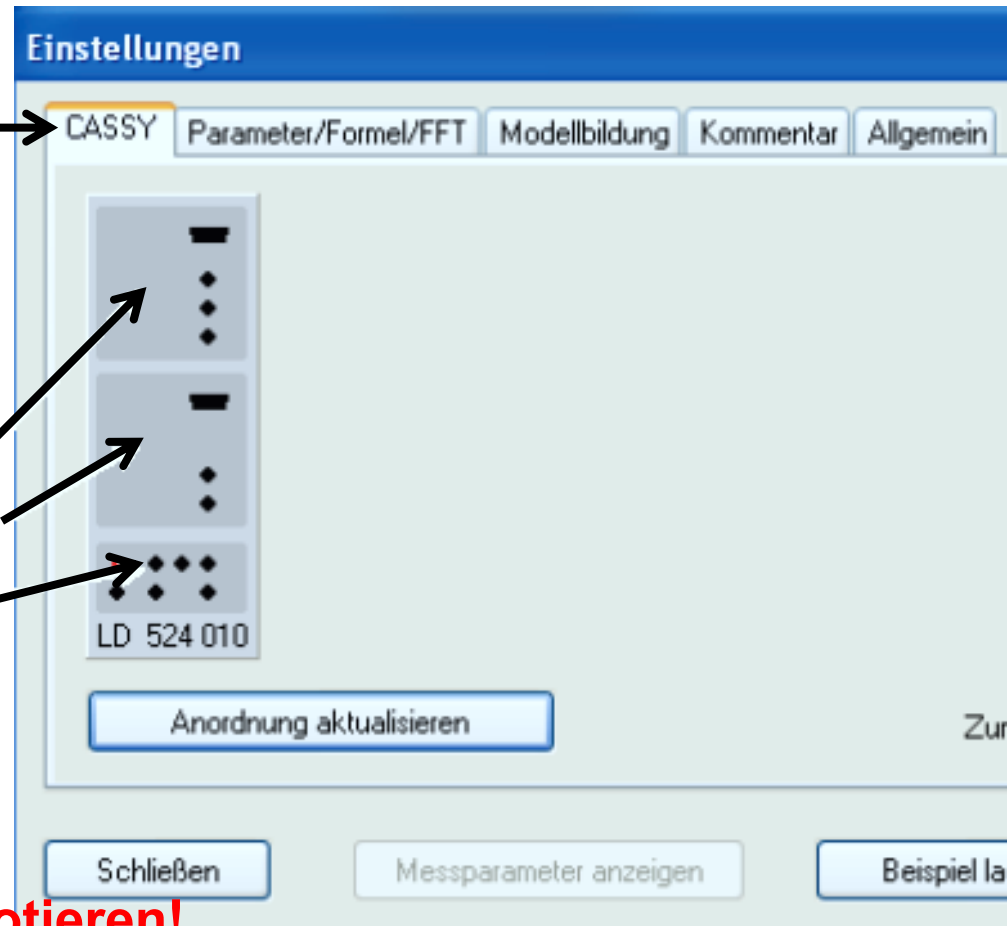


Cassy Lab, Einstellungen

Einstellungen via Symbolknopf oder F5 →



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



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

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

Cassy Lab, Einstellungen, Messparameter

Zweimalige Betätigung des Einstellungsknopfs oder der F5-Taste



Messparameter

automatische Aufnahme Intervall: 100 ms Trigger: [Dropdown]

manuelle Aufnahme x Anzahl: [Dropdown]

neue Messreihe anhängen = Messzeit: [Input] s Messbedingung: 1

wiederholende Messung akustisches Signal

Schließen Hilfe

Messparameter

automatische Aufnahme Intervall: 10 µs Trigger: UB1 5,00 V fallend

manuelle Aufnahme x Anzahl: 16000

neue Messreihe anhängen = Messzeit: 160 ms Messbedingung: 1

wiederholende Messung akustisches Signal

Schließen Hilfe

Messparameter

automatische Aufnahme Intervall: 100 ms Trigger: [Dropdown]

manuelle Aufnahme x Anzahl: [Dropdown]

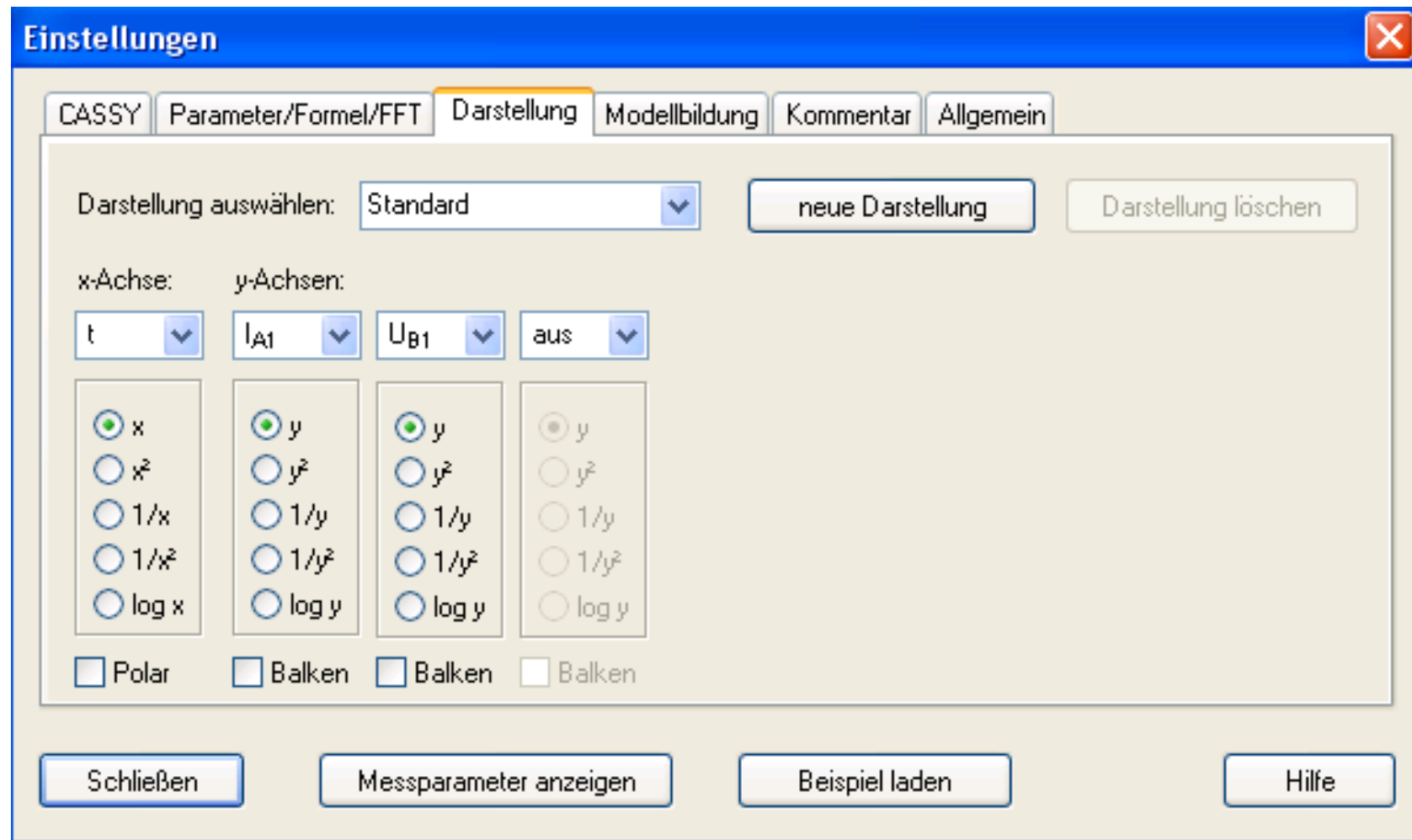
neue Messreihe anhängen = Messzeit: [Input] s Messbedingung: $f < 5000 \text{ and } \Delta t > 2/f + 2 = \text{AUS}$

wiederholende Messung akustisches Signal

Schließen Hilfe

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 neue Größe Größe löschen

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)=
 UB2/IA2

zeitliche Ableitung zeitliches Integral Fast Fourier Transformation } von

Mittelwert über 10 s Histogramm ($\Delta =$ 1)

Symbol: X_C Einheit: Ohm von: 0 Ohm bis: 1000 Ohm Dezimalstellen: 1

Schließen Messparameter anzeigen Beispiel laden Hilfe

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

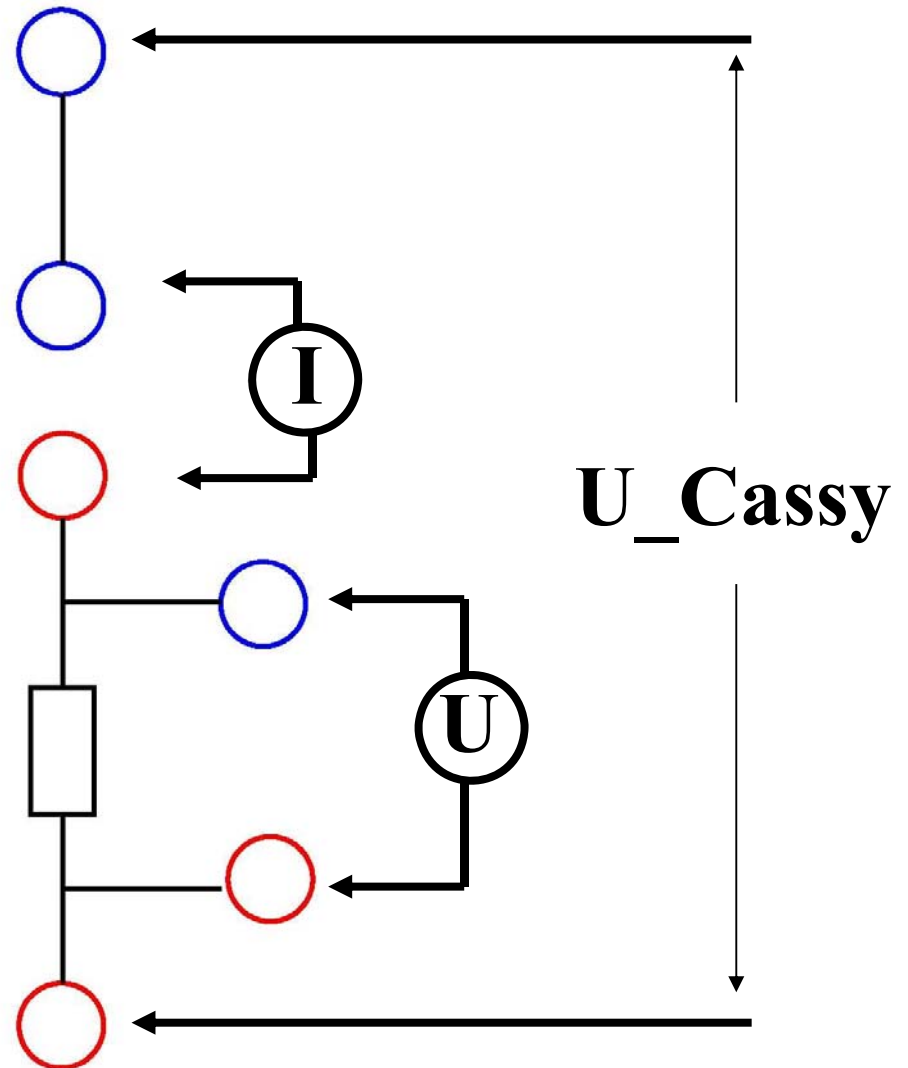
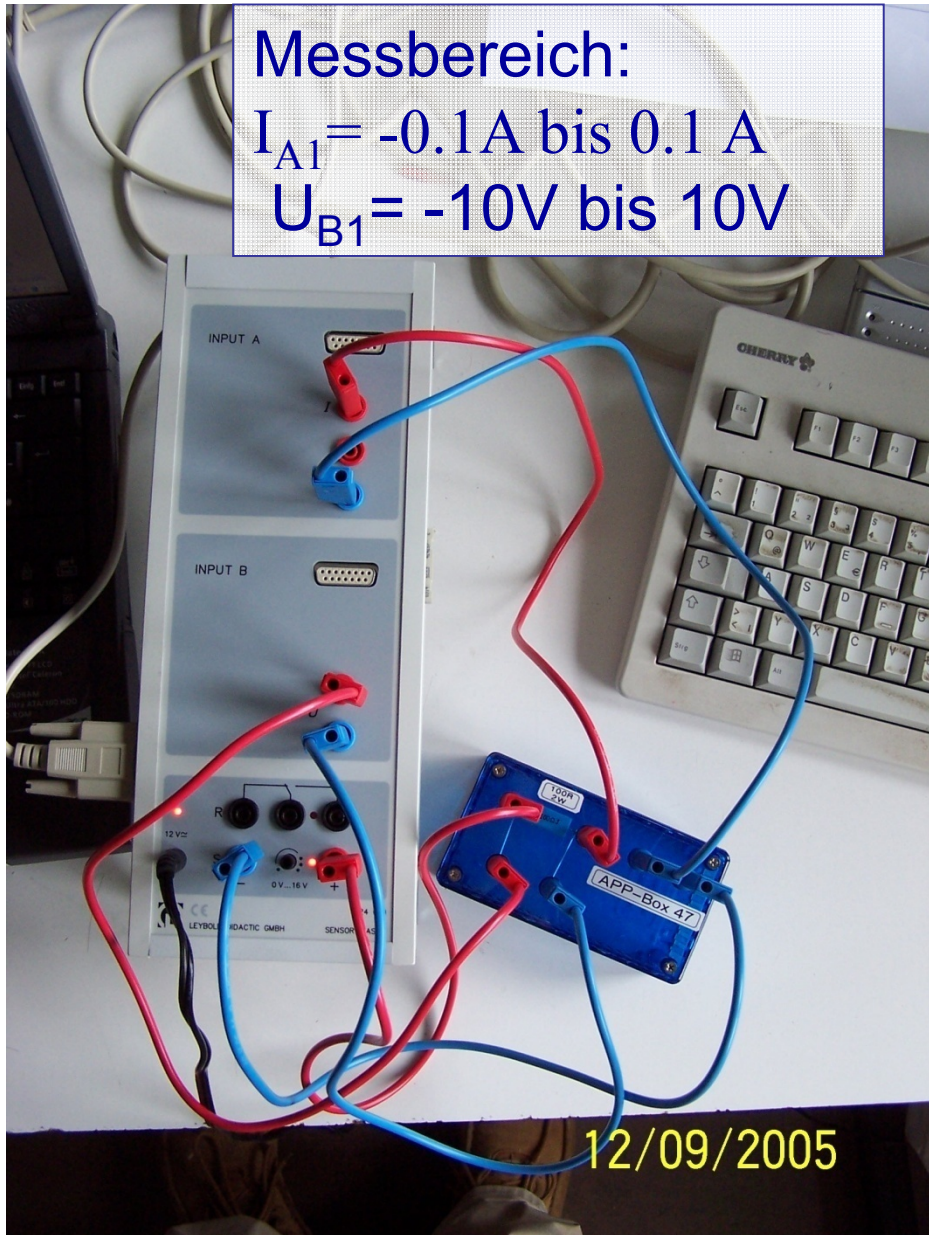
Cassy Lab, 2. Übung



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

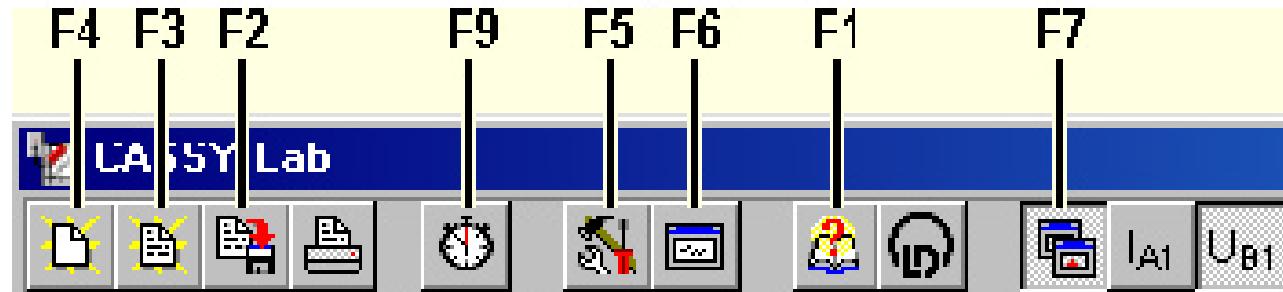
F9: Datennahme starten

F2: Dateien speichern

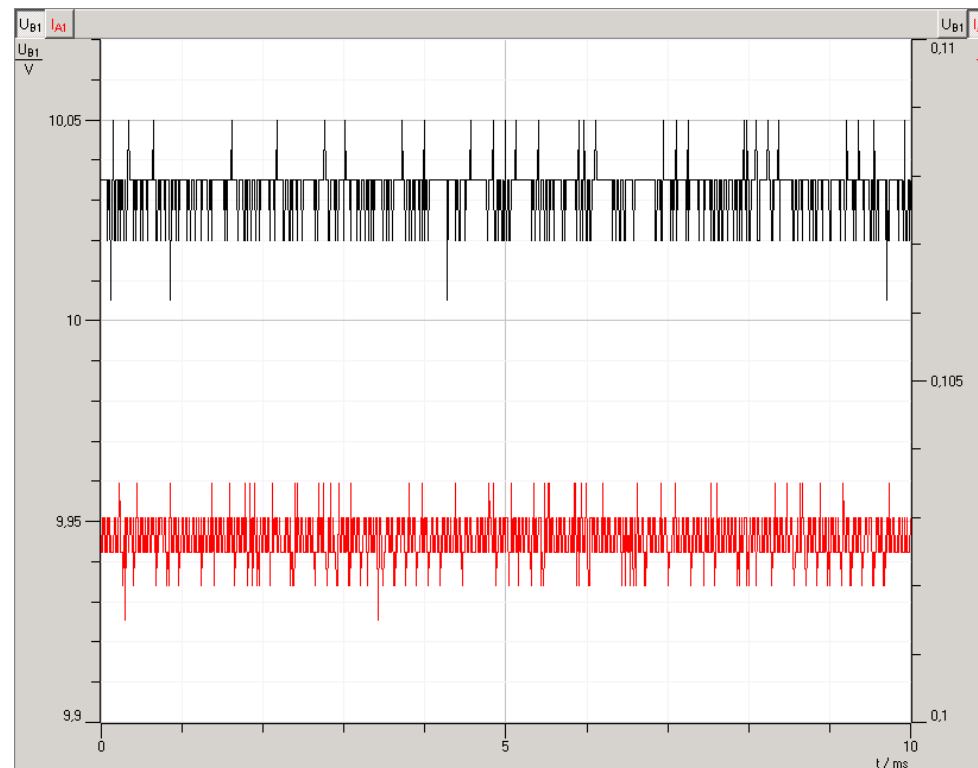
F3: Dateien laden

F4: Daten löschen

F5: Einstellungen



Messungen abspeichern und Dateinamen notieren!



Sensor Cassy Dateien

```
100R_U_I_t.lab
File Edit View Cme
Open Dired Save Print Cut Copy Paste Undo Spell Replace Mail Info Compile Debug News
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
Frequenz
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 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

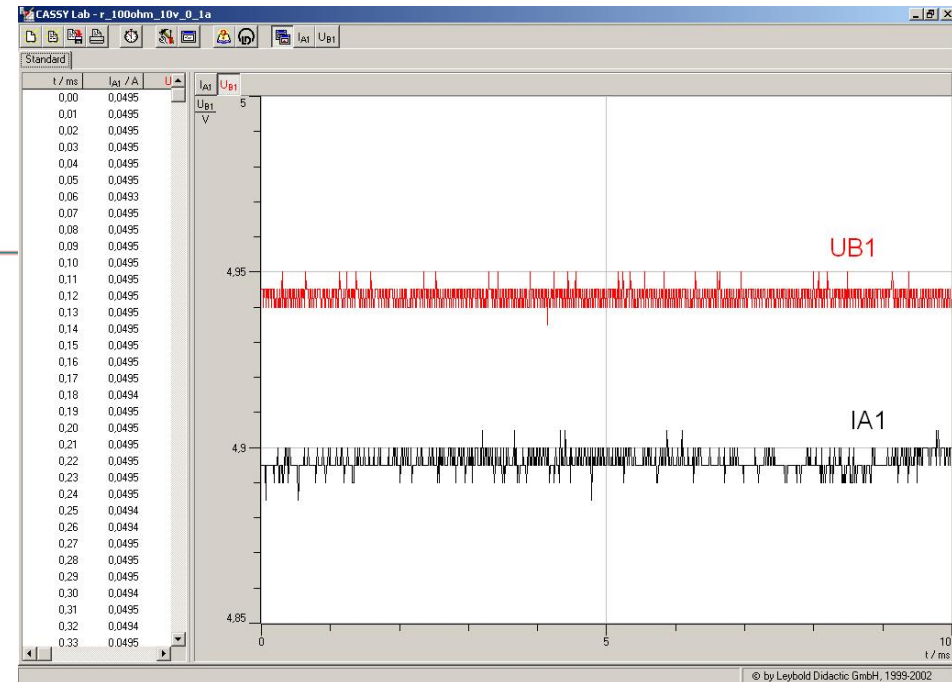
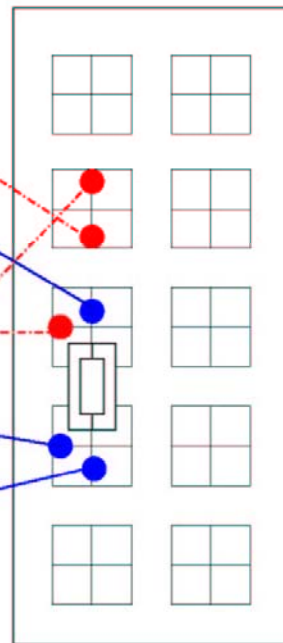
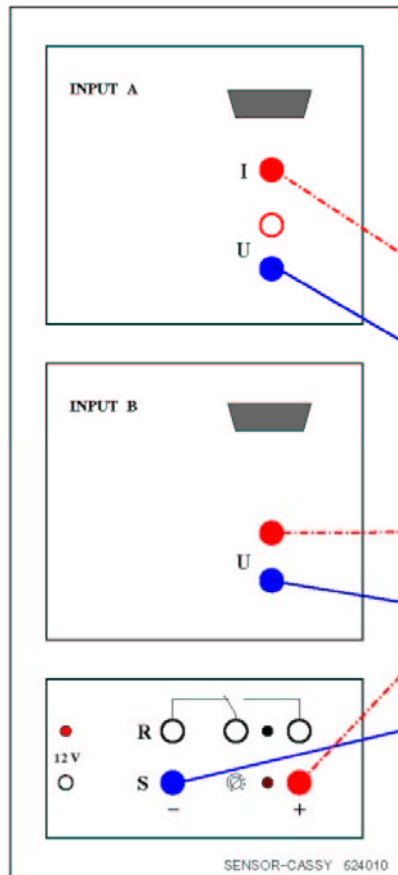
Sensor Cassy Dateien

```
100R_U_I_t.lab - XEmacs
File Edit View Cmds Tools Options
Open Dired Save Print Cut Copy Paste Undo Spell Replace Mail Info Compile Debug News
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: $R=100\Omega$

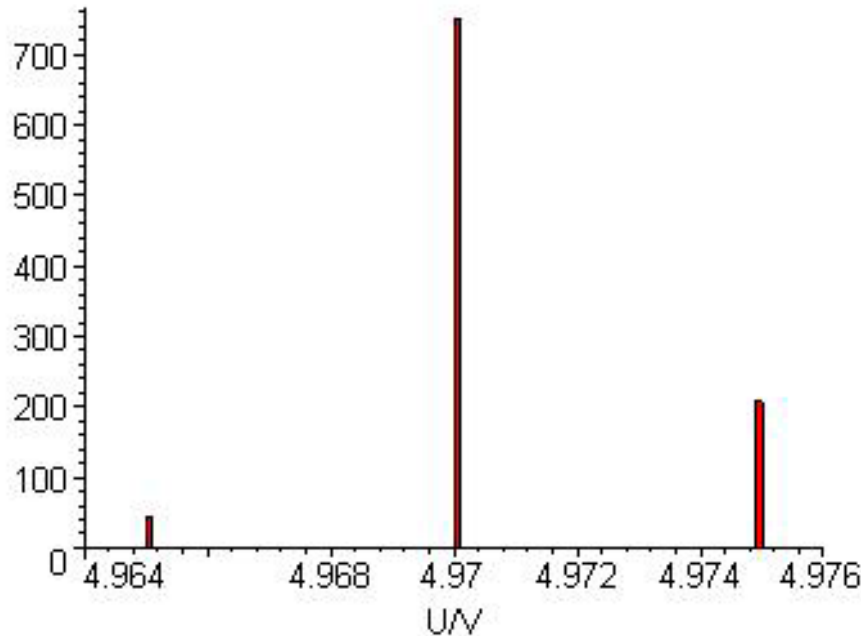
Angelegte Spannung:

$U=5V$

Im Kreis fließender Strom:

$I=0,05A$

Sensor-Cassy Interface statistische Messungenauigkeit?



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

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

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

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

Digitale Auflösung: 12 bit = 4096 ,

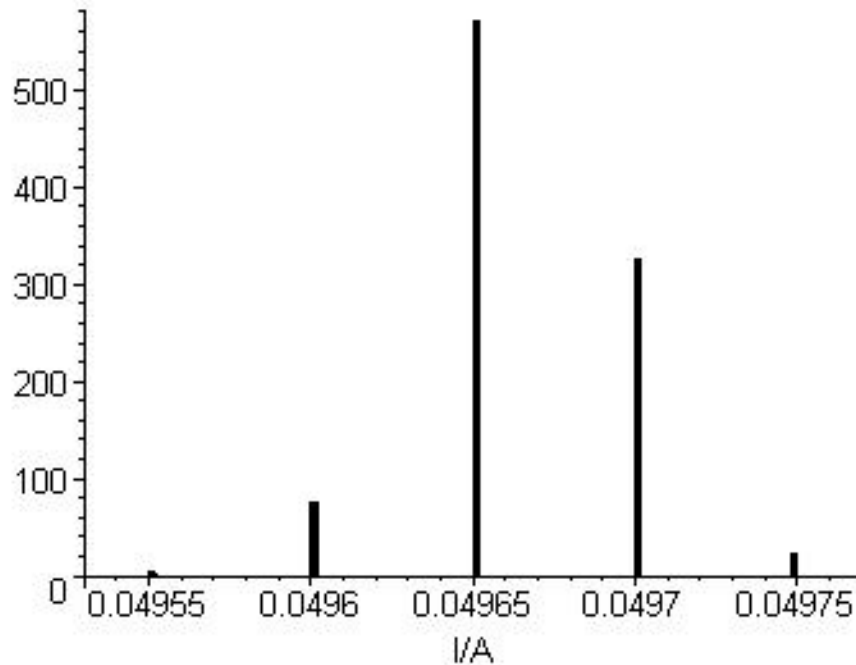
d.h. kleinste Skaleneinheit in dem Messbereich: $U_{\text{min}} = 5 \text{ mV}$

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

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

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

= (MU Einzelmessung)

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

Digitale Auflösung: 12 bit = 4096 ,

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

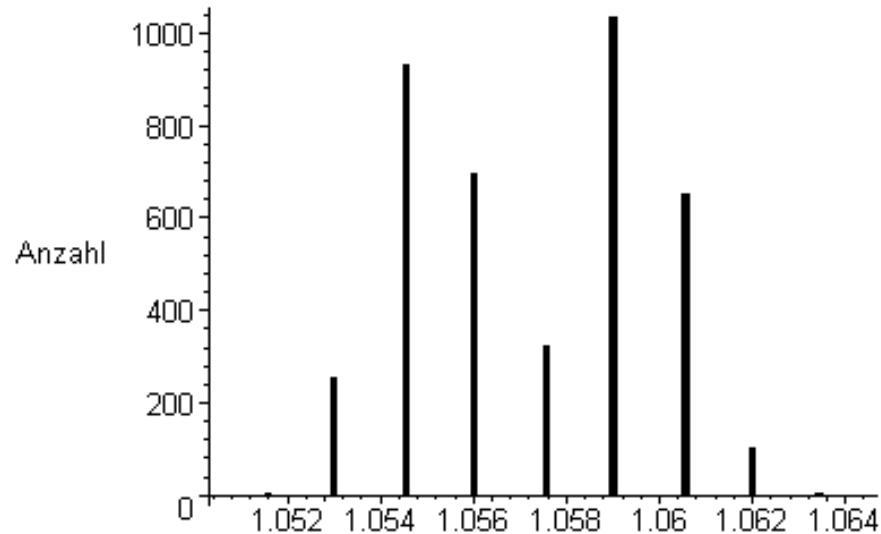
Annahme der Gleichverteilung: $I_{\text{min}}/\sqrt{12}$

→ „Fehler“ = 0,014 mA \neq gesamte stat. MU

MU durch Messung bestimmen!

Sensor-Cassy Interface

stat. & system. Messungenauigkeit (4SC)



Messbereich: ± 3 V

Mean = (1.0572 ± 0.00004) V

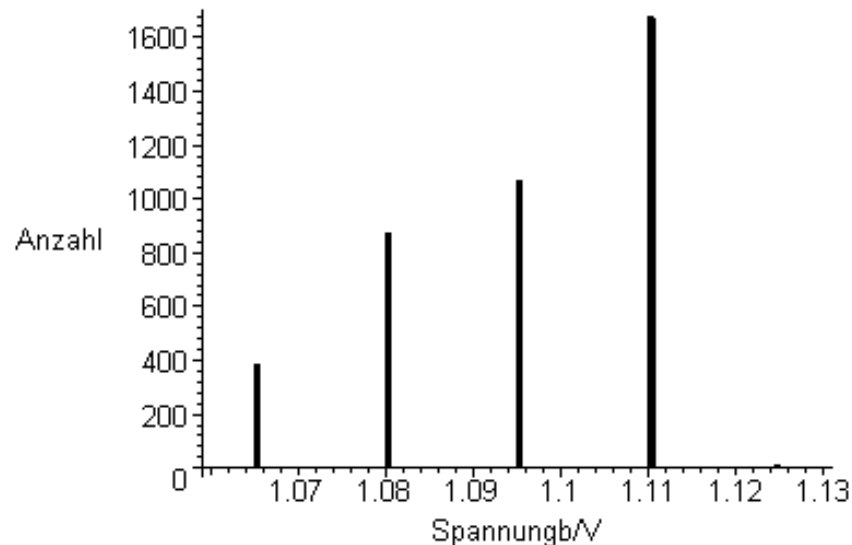
RMS = 2,5 mV

→ relativer Fehler: 2,4‰

Digitale Auflösung: 12 bit = 4096

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

→ „Fehler“ = 0,4 mV



Messbereich: ± 30 V

Mean = (1.095 ± 0.0000003) V

RMS = 15.2 mV

→ relativer Fehler: 1.4 %

Digitale Auflösung: 12 bit = 4096

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

→ „Fehler“ = 4.3 mV

MU durch Messung bestimmen!

Sensor-Cassy Interface

stat. & system. Messungenauigkeiten

Quellen für Messungenauigkeiten:

- Ableseunsicherheit, kleinste Skaleneinheit (Digitalisierung)
- Elektronisches Rauschen (weißes Rauschen → Gauß'förmig)
- Systematische Messunsicherheiten:

$$a \cdot X_i + b \cdot X_{BE}$$

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

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

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

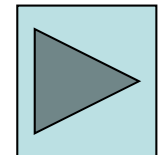
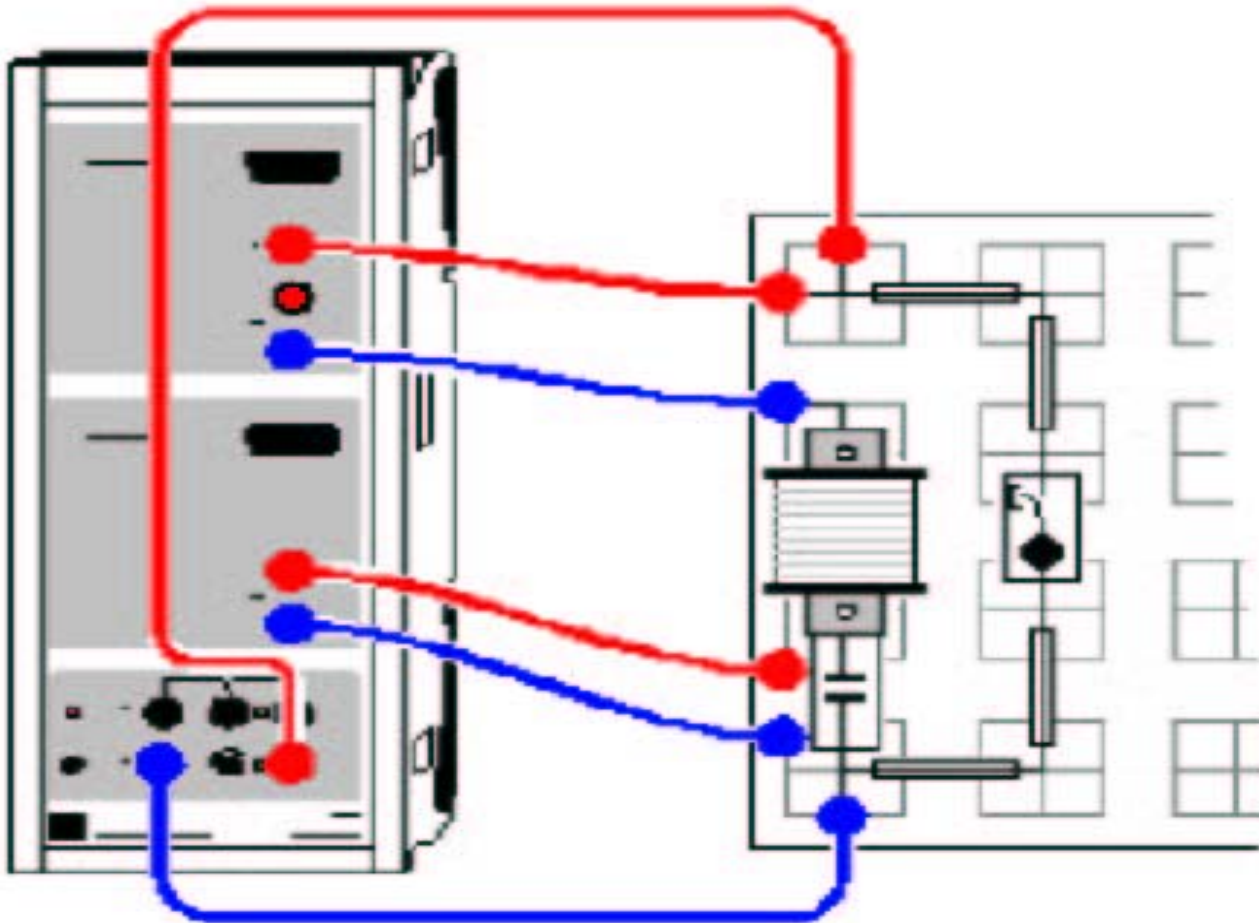
$$U_{sys} : (0,01 \cdot 2 + 0,005 \cdot 100) V = 0,52 V$$

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

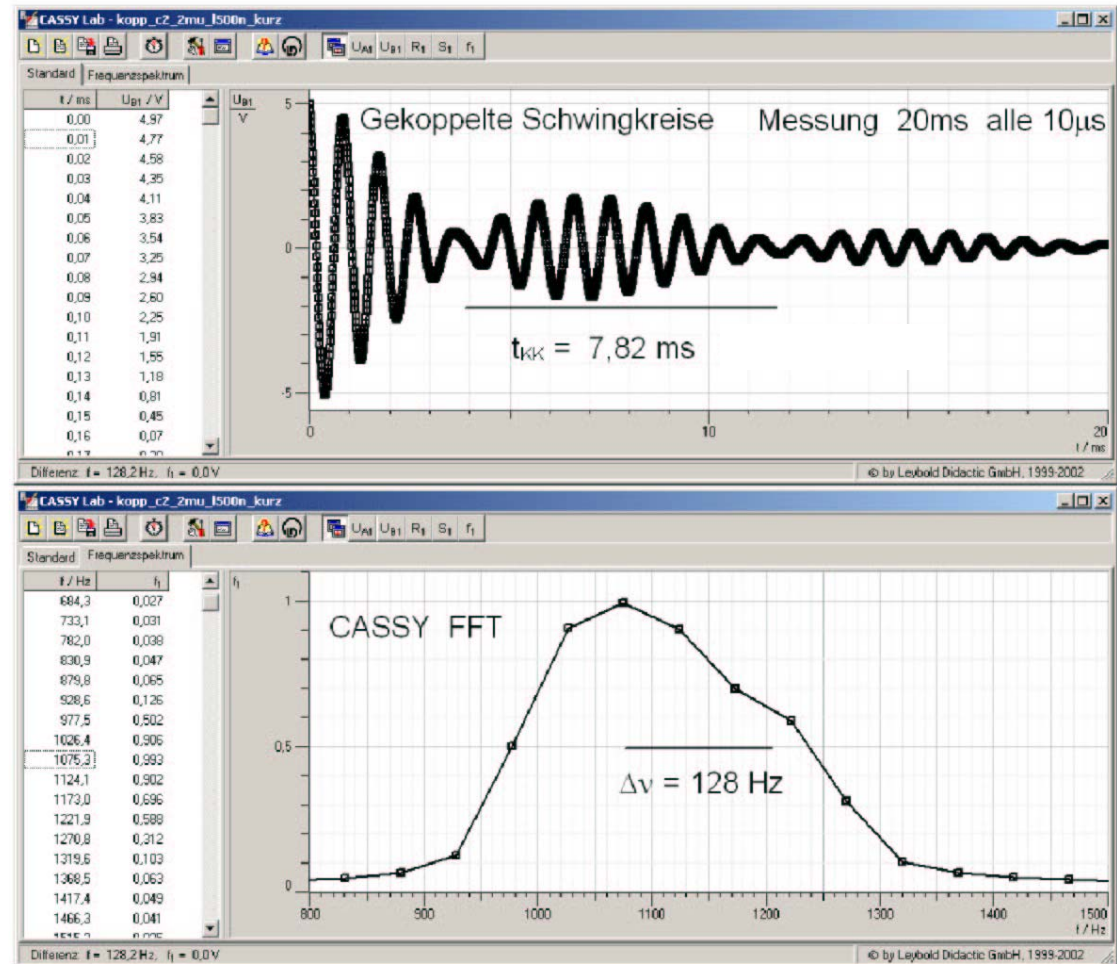
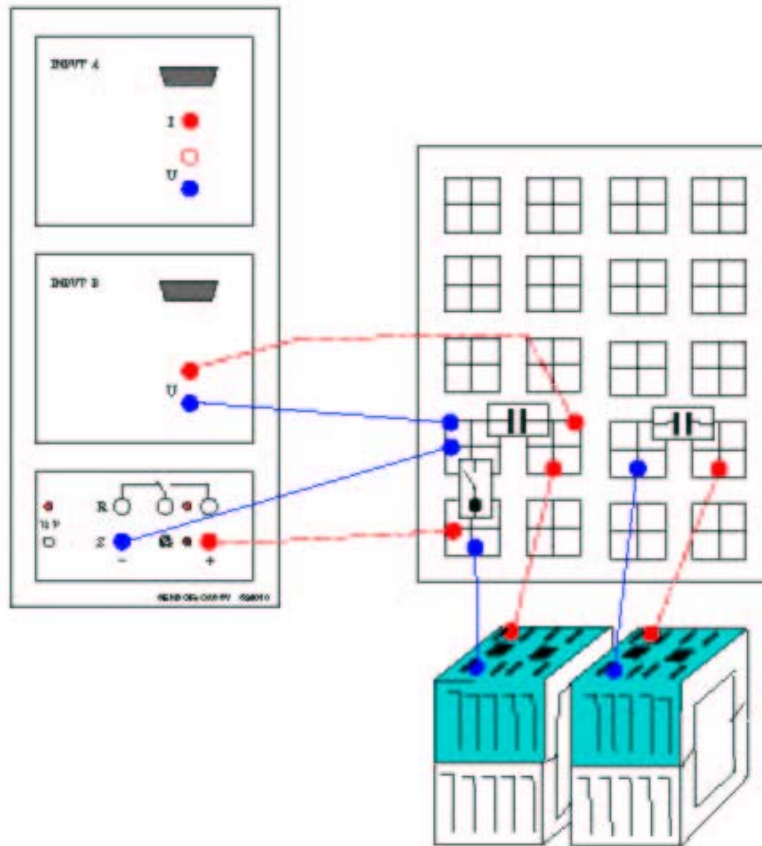
Relativer Fehler: $\sigma_{U_{sys}} / U_i = 15 \% !$

Sinnvoller Messbereich vorher überlegen und MU durch Messung bestimmen!

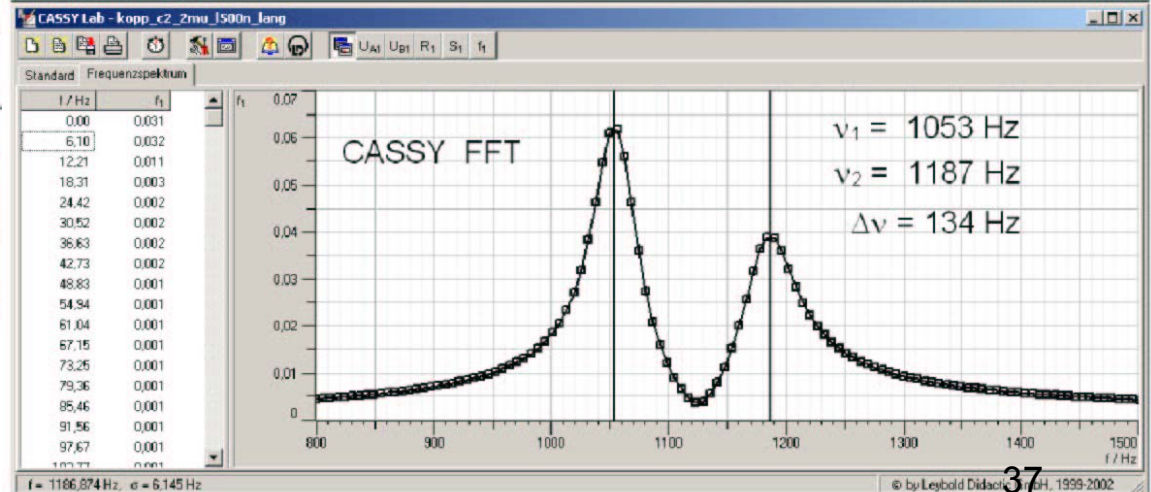
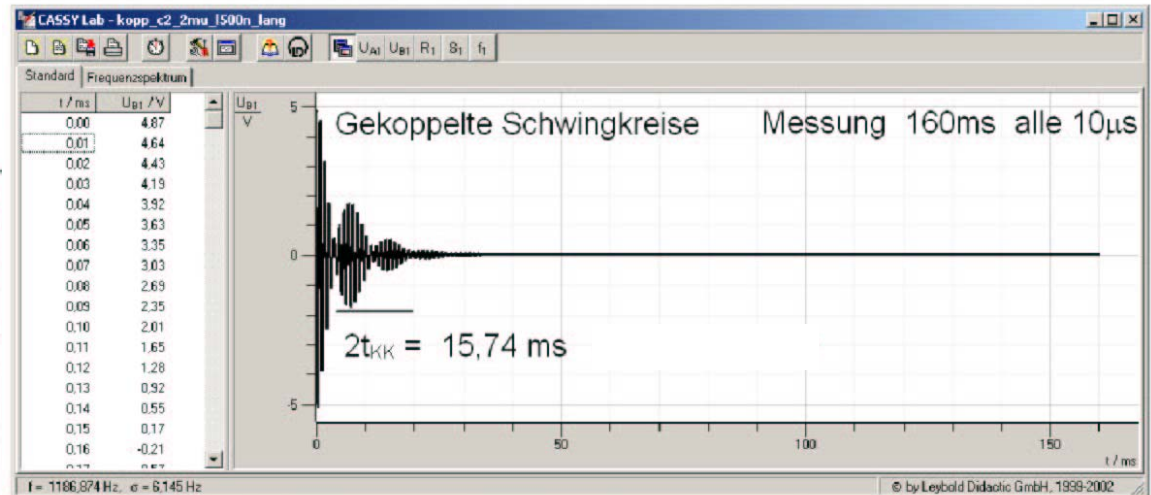
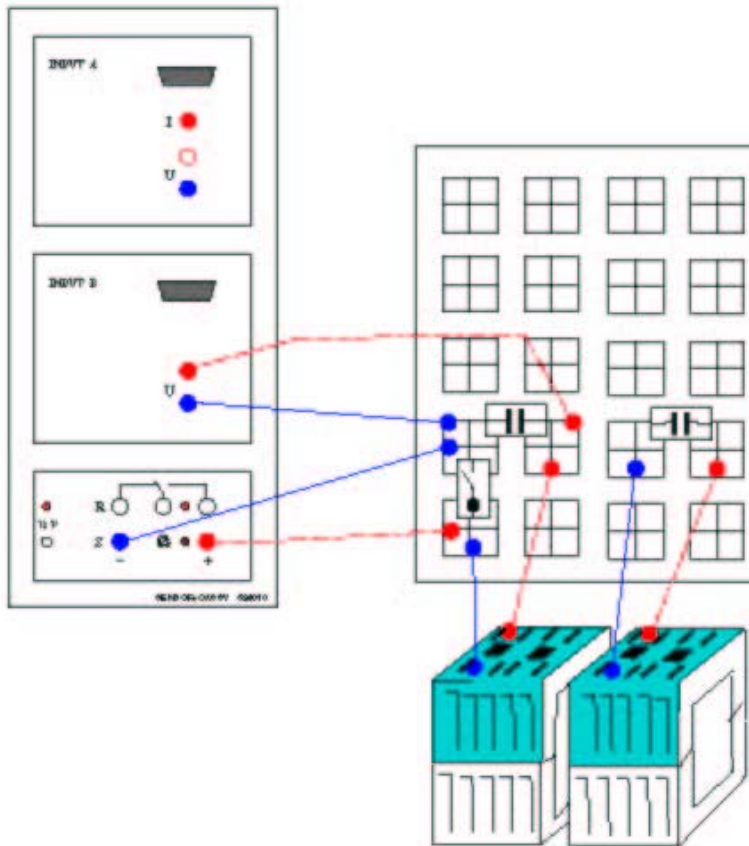
Gedämpfter Schwingkreis



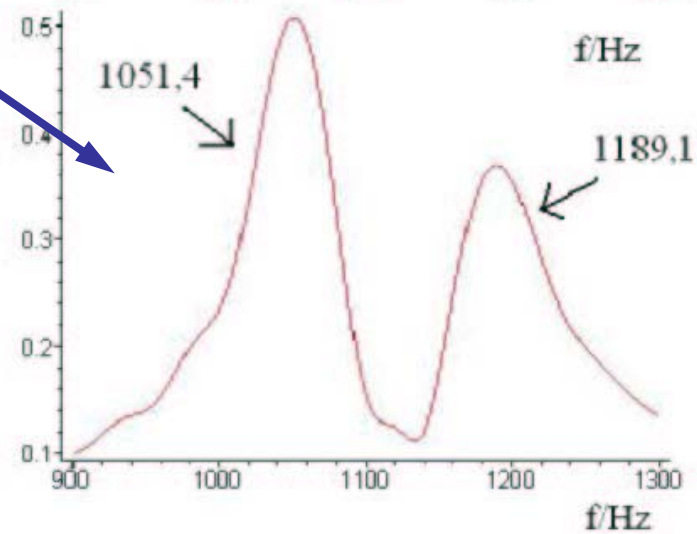
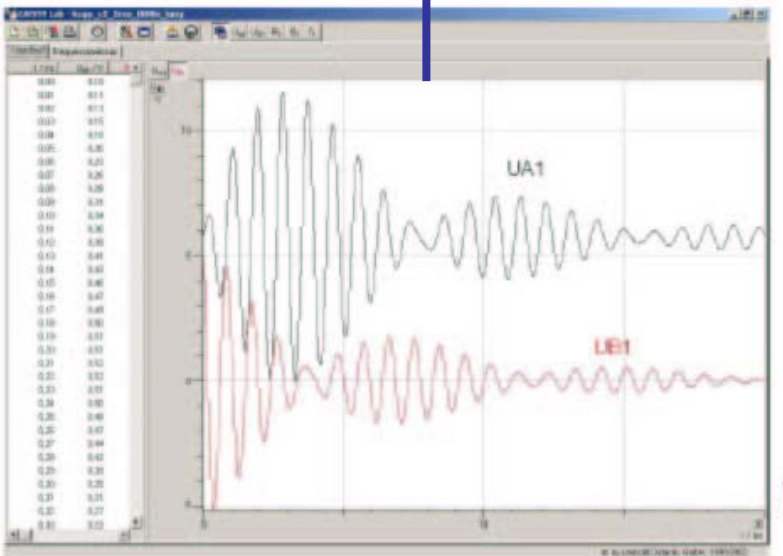
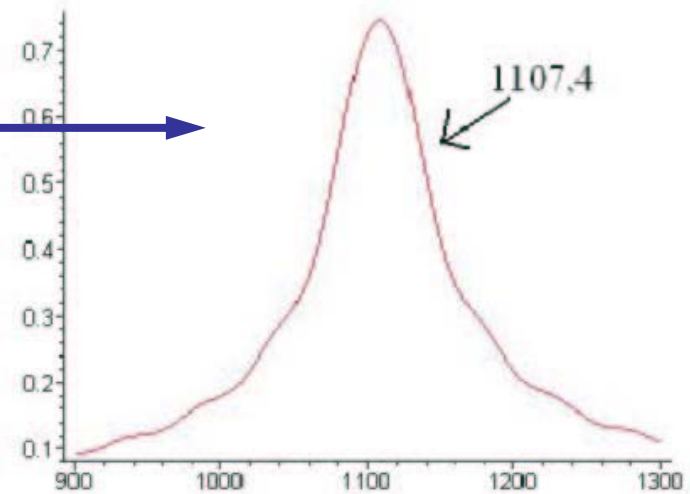
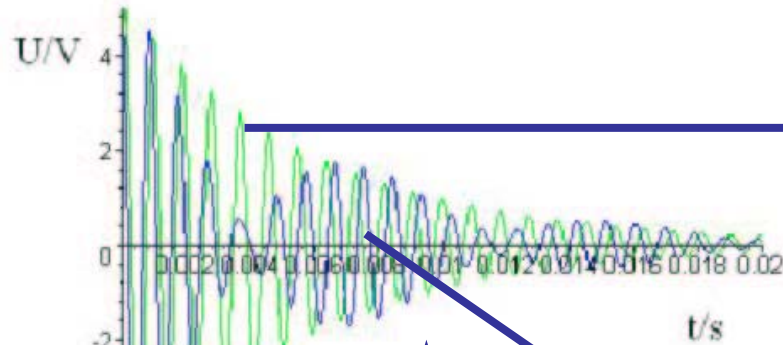
Gekoppelte Schwingungen oder das Ende der CASSY FFT



Gekoppelte Schwingungen oder das Ende der CASSY FFT



Gekoppelte Schwingungen oder das Ende der CASSY FFT



c)

b)

Zusammenfassung Sensor Cassy



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

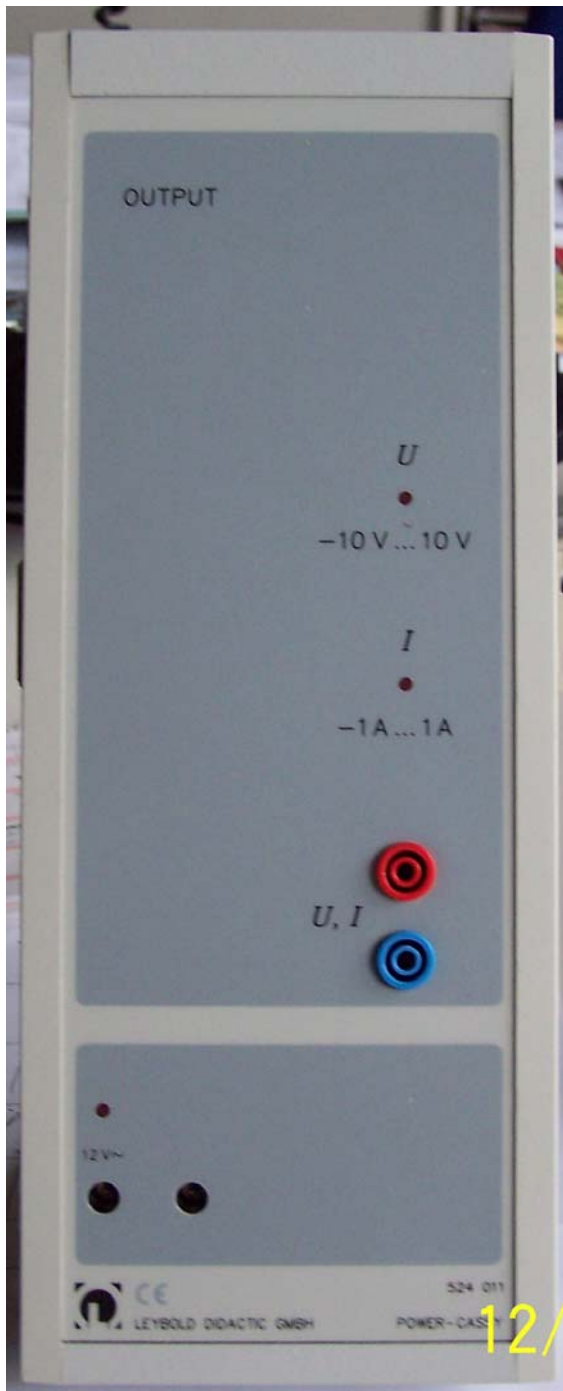
Power Cassy

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

Anschluß an serielle Schnitt-
stelle RS232 des PCs

Spannungsversorgung:

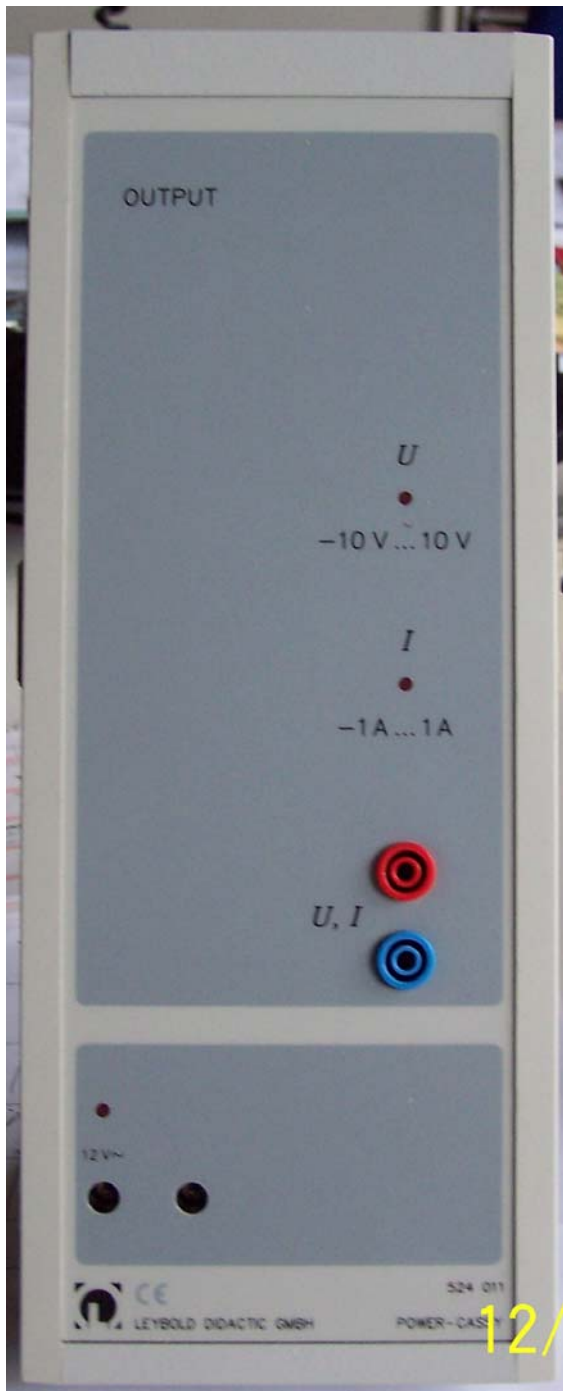
12V AC/DC über Hohlstecker oder
benachbartes Cassy-Modul



Power Cassy

Programmierbare Stromquelle mit gleichzeitiger Spannungsmessung:

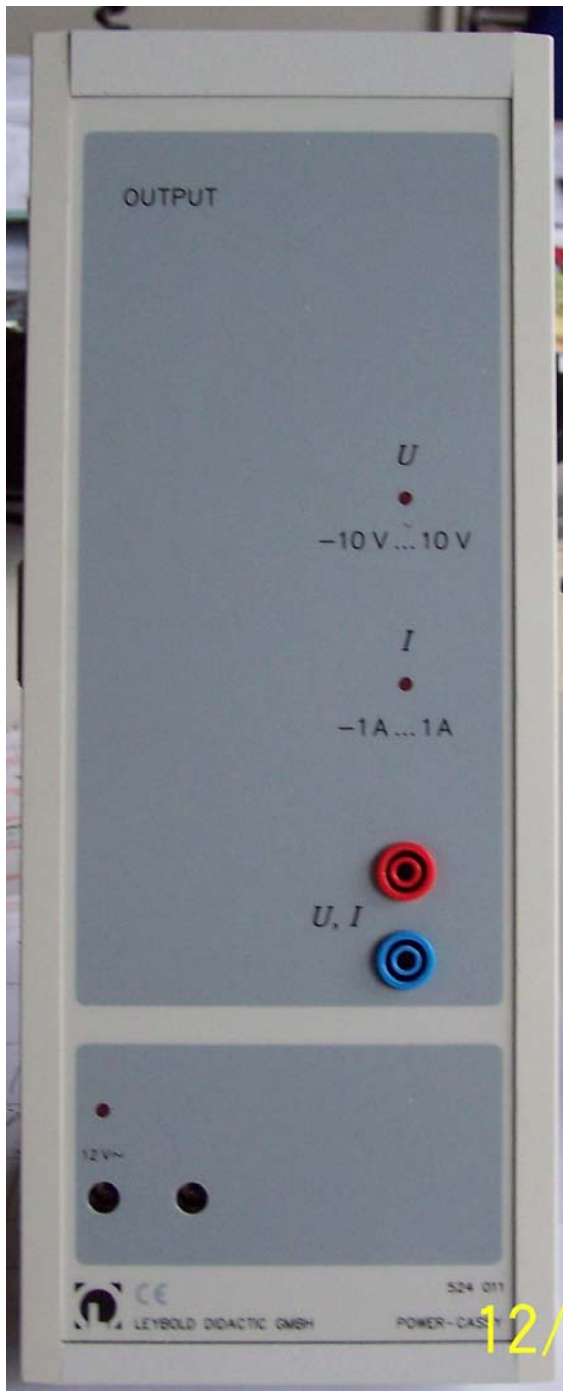
- Auflösung: 12 Bit
- Aussteuerbereich: $\pm 1 \text{ A}$
- Messbereiche: $\pm 1/3/10 \text{ V}$
- Abtastrate: max. 200.000 Werte/s
(=100.000 Werte/s Spannung und Strom)



Power Cassy

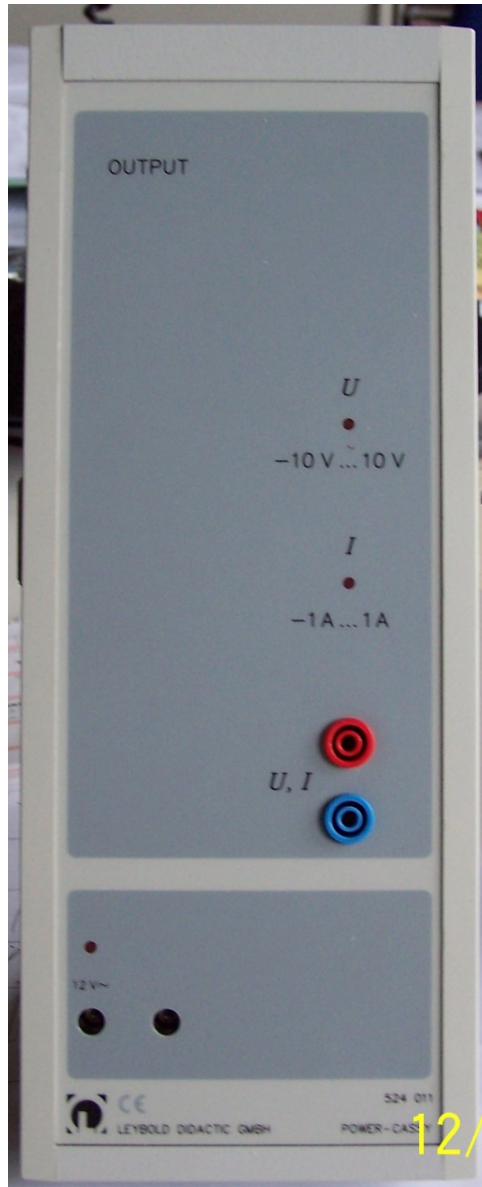
Programmierbare Spannungsquelle mit gleichzeitiger Strommessung:

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



Power Cassy vs Sensor Cassy

3. Übung

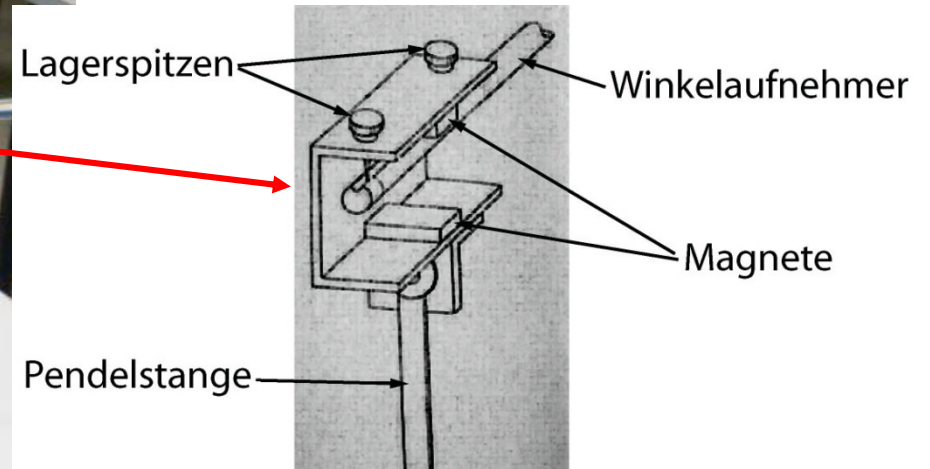
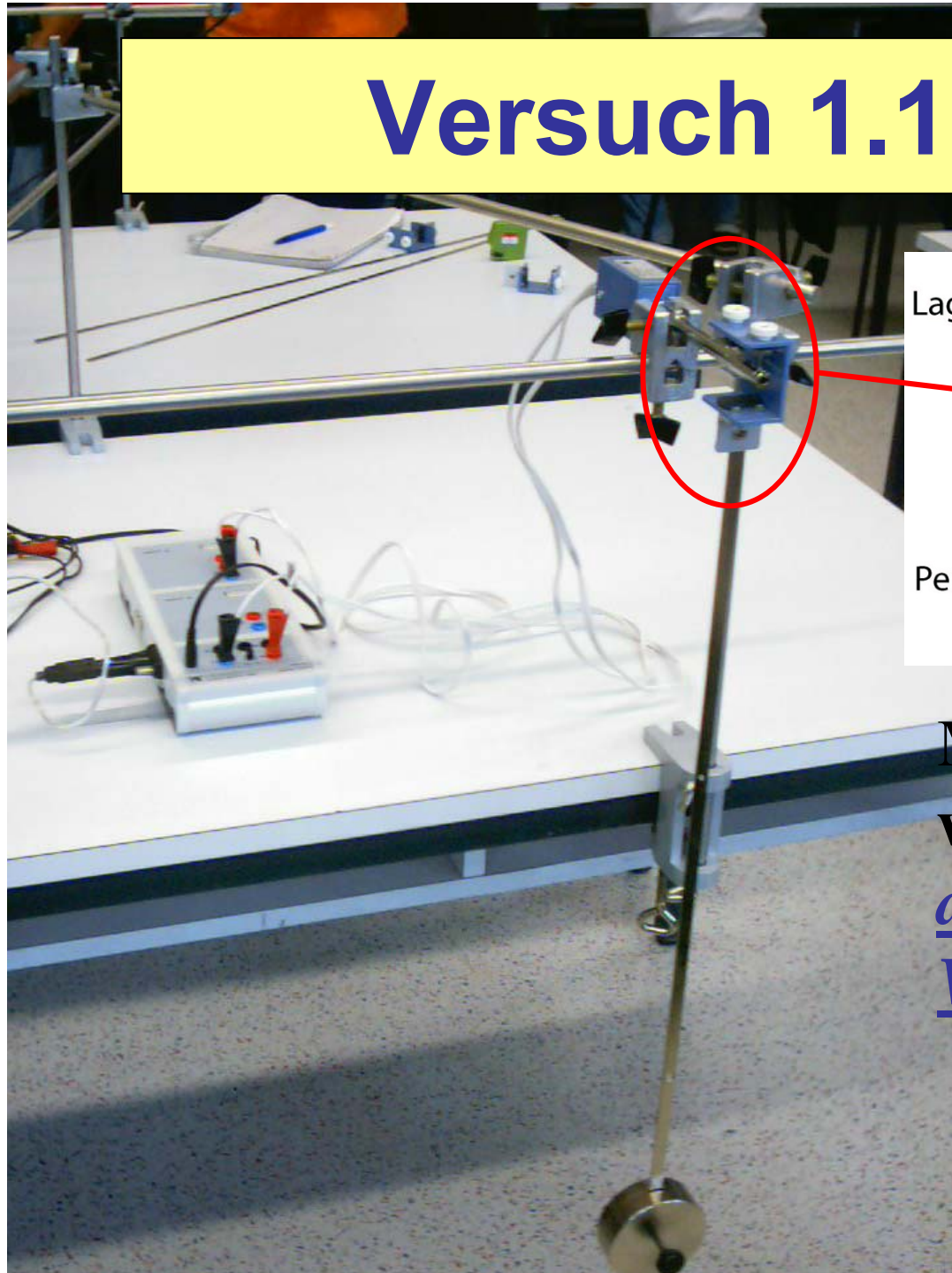


Power Cassy:
Sinusspannung mit
 $f=?$ Hz

Sensor Cassy:
Welche f (FFT) ?



Versuch 1.1 Pendel



Mit Sensor Cassy können wir Spannungen messen, aber wie messen wir einen Winkel?

Halleffekt

Stromfluß I durch dünnen Leiter der Dicke d und Breite b , Elektronen bewegen sich mit v durch Magnetfeld $\vec{v} \perp \vec{B} \rightarrow \vec{F}_B = q \cdot \vec{v} \times \vec{B}$

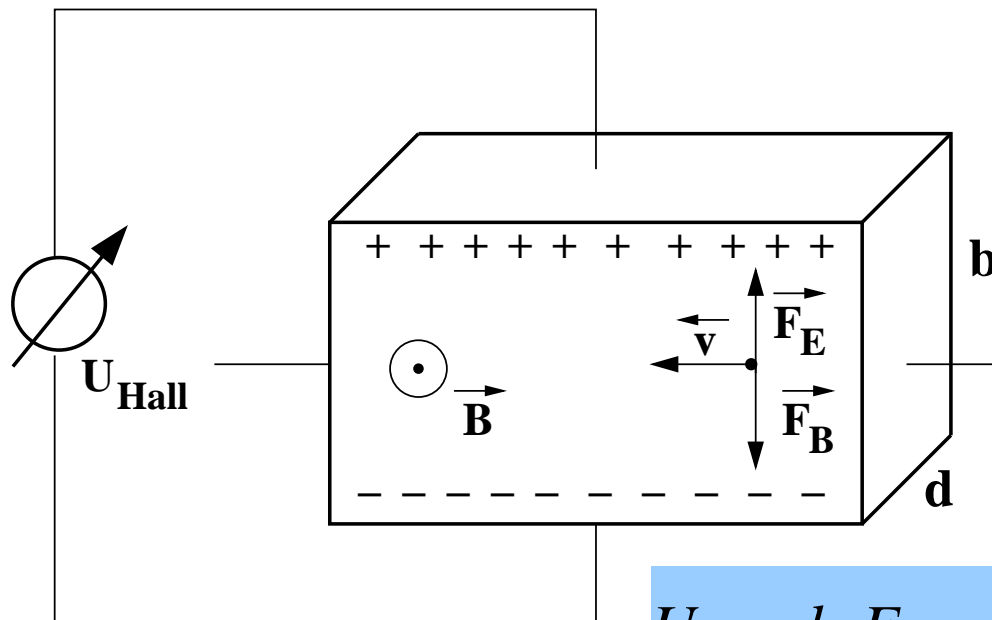
\rightarrow Ladungstrennung \rightarrow E-Feld: $\vec{E} \perp \vec{I}$ und $\vec{F}_E = q \cdot \vec{E}$

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

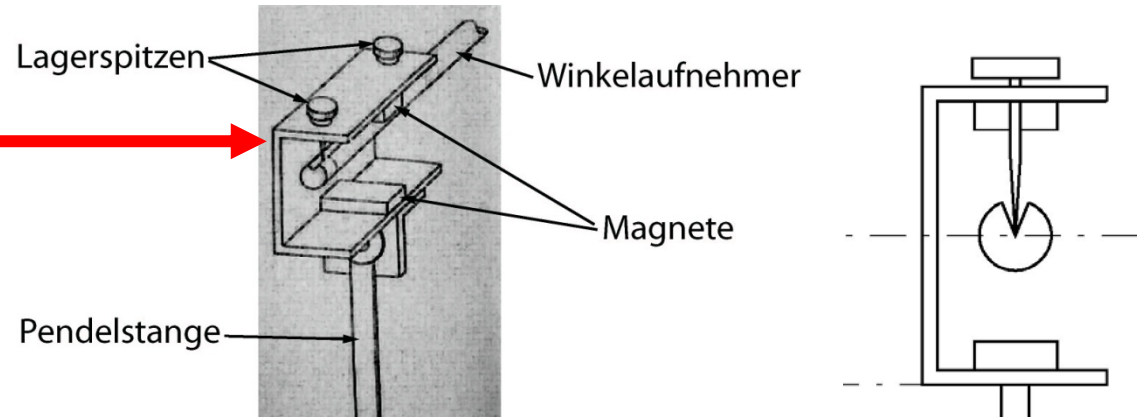
allgemein: $\vec{I} = q \cdot n \cdot A \cdot \vec{v}$

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

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



Spannungsmessung mit Hallsonde



Orientierung der Sonde \rightarrow Empfindlich

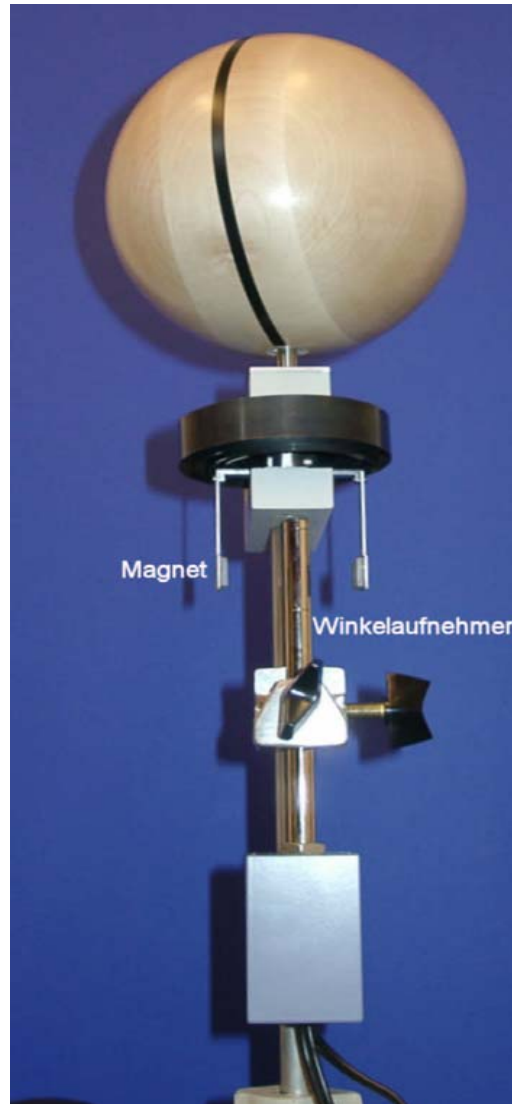
auf horizontale B-Komponente B_h

Ruhezustand $\rightarrow B_h = 0 \rightarrow U = 0$

Auslenkung um Winkel $\rightarrow B_h = B \cdot \sin \delta$

$\rightarrow U \approx B_h \approx \delta$ Linearität: $\delta = \pm 14^\circ$

Spannungsmessung mit Hallsonde



Thermospannungen - Thermistor



Thermistor: NTC

Temperaturbereich:

-20 °C ...+120 °C

Messunsicherheit:

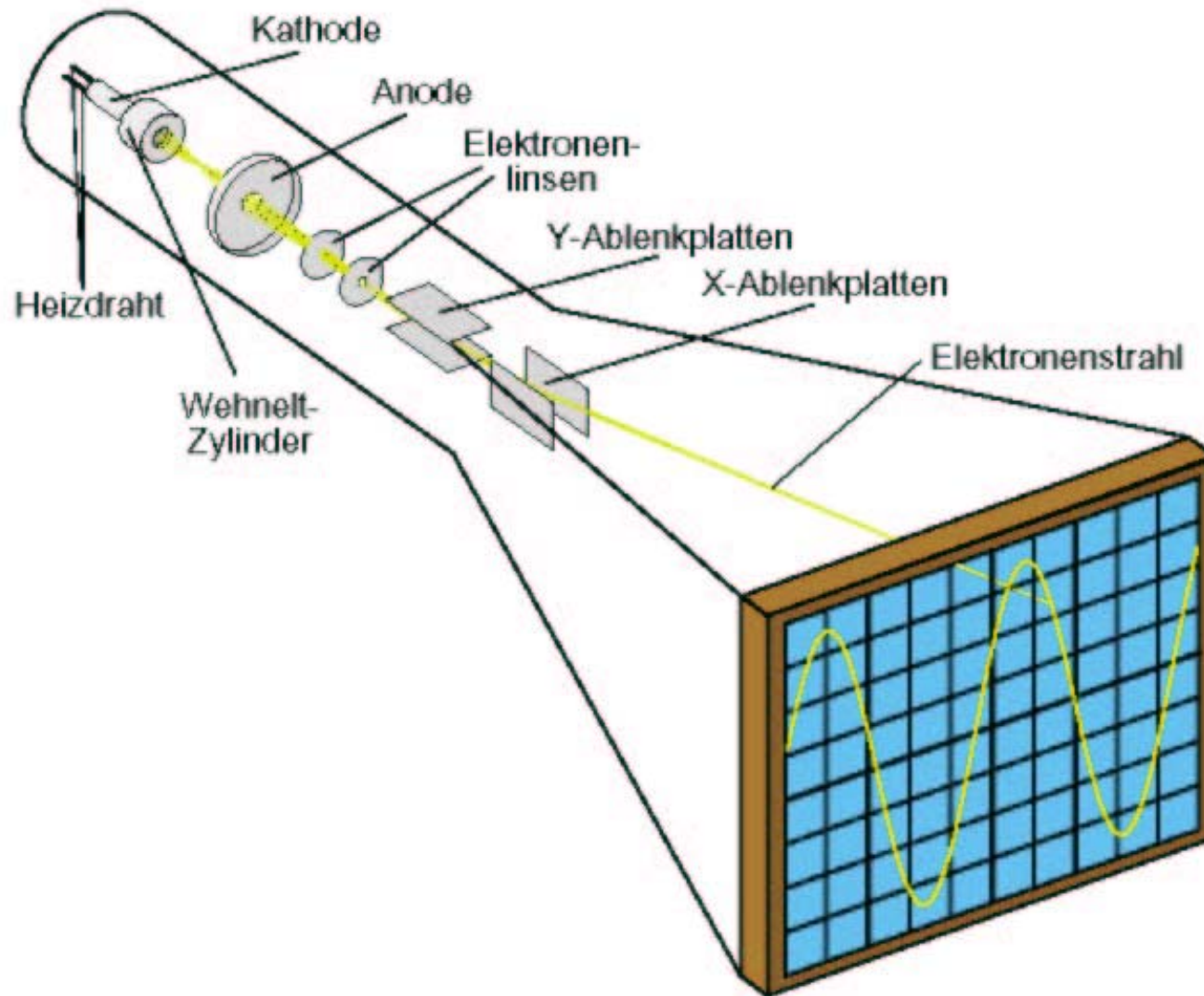
-20°C < T < +70°C: 0,2°C

70°C < T < 120°C: 0,4°C

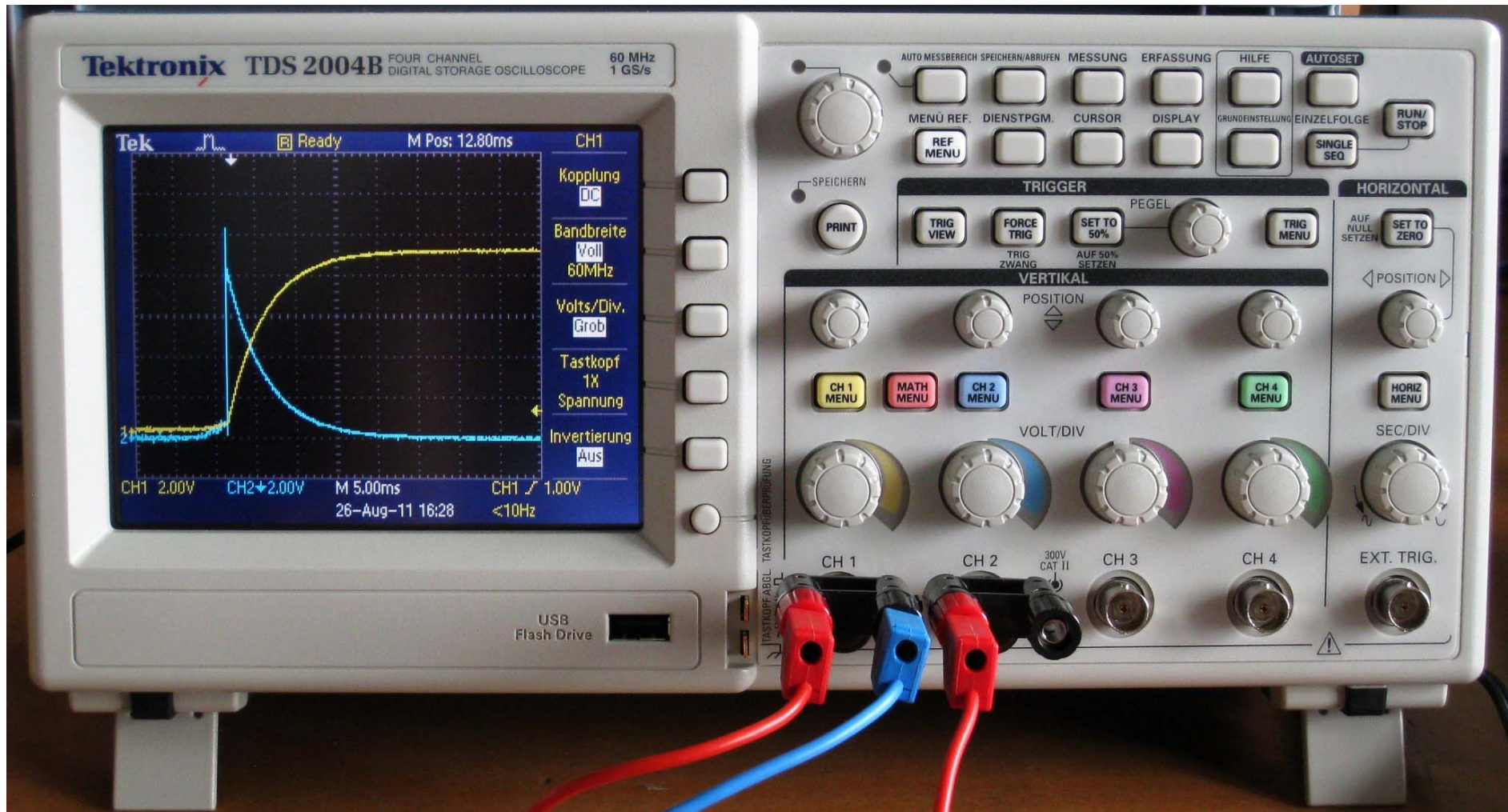
Ansprechzeit:

>7 s in Flüssigkeiten

Oszilloskop (Braunsche Röhre)



Digital Oszilloskop

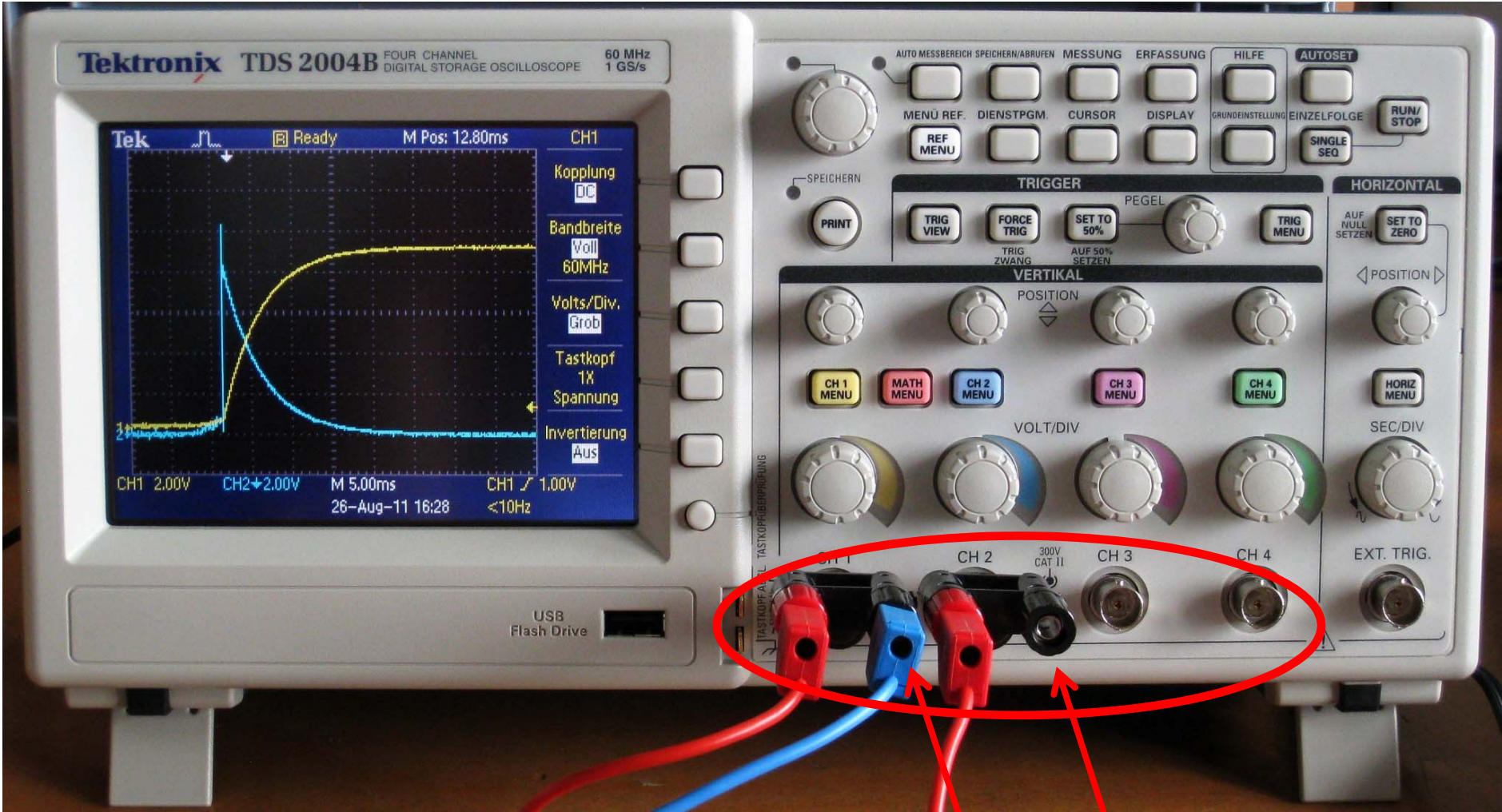


<http://virtphys.uni-bayreuth.de/elek/quickstart.html>



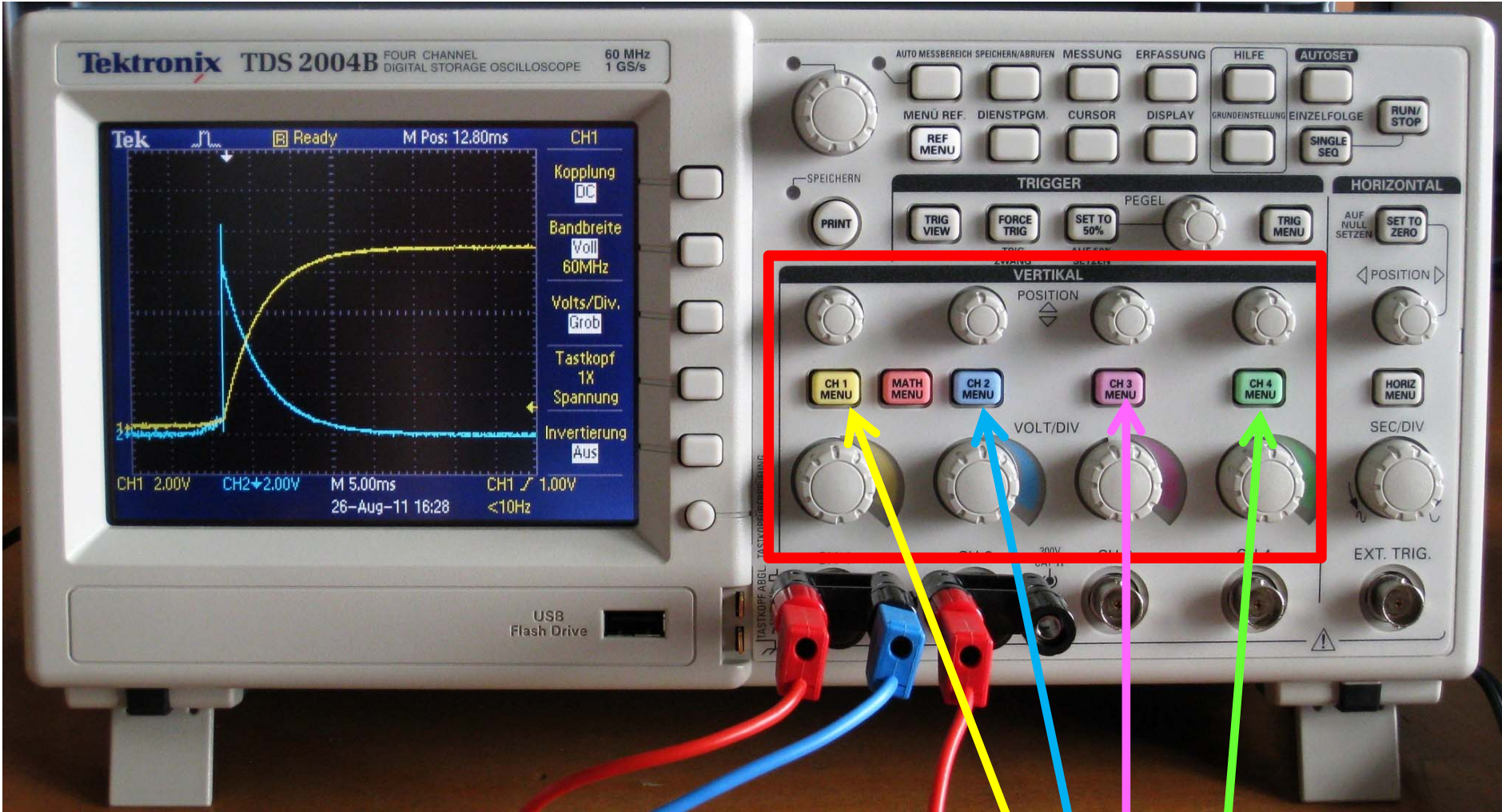
50

Digital Oszilloskop



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

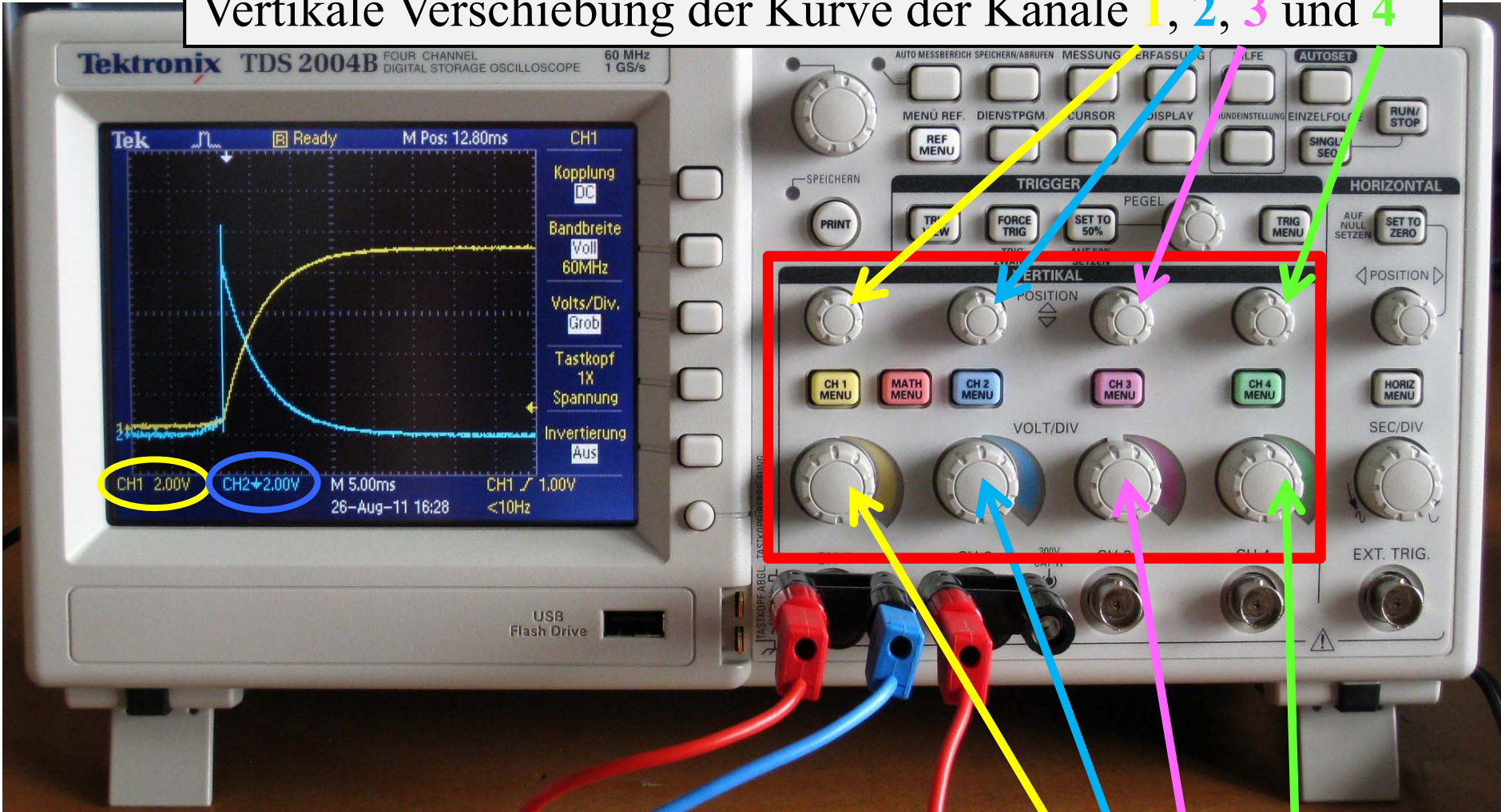
Digital Oszilloskop



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

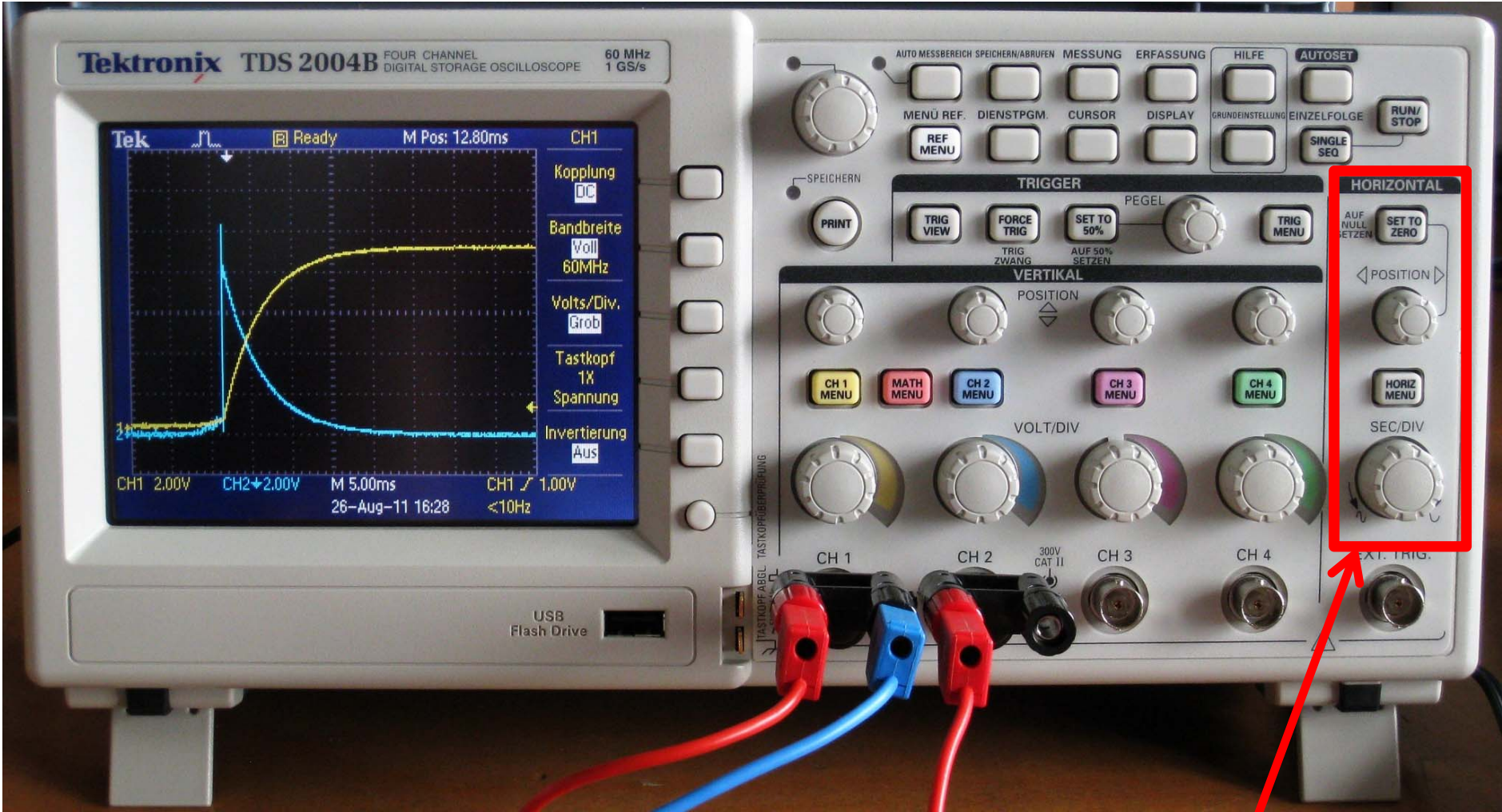
Digital Oszilloskop

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



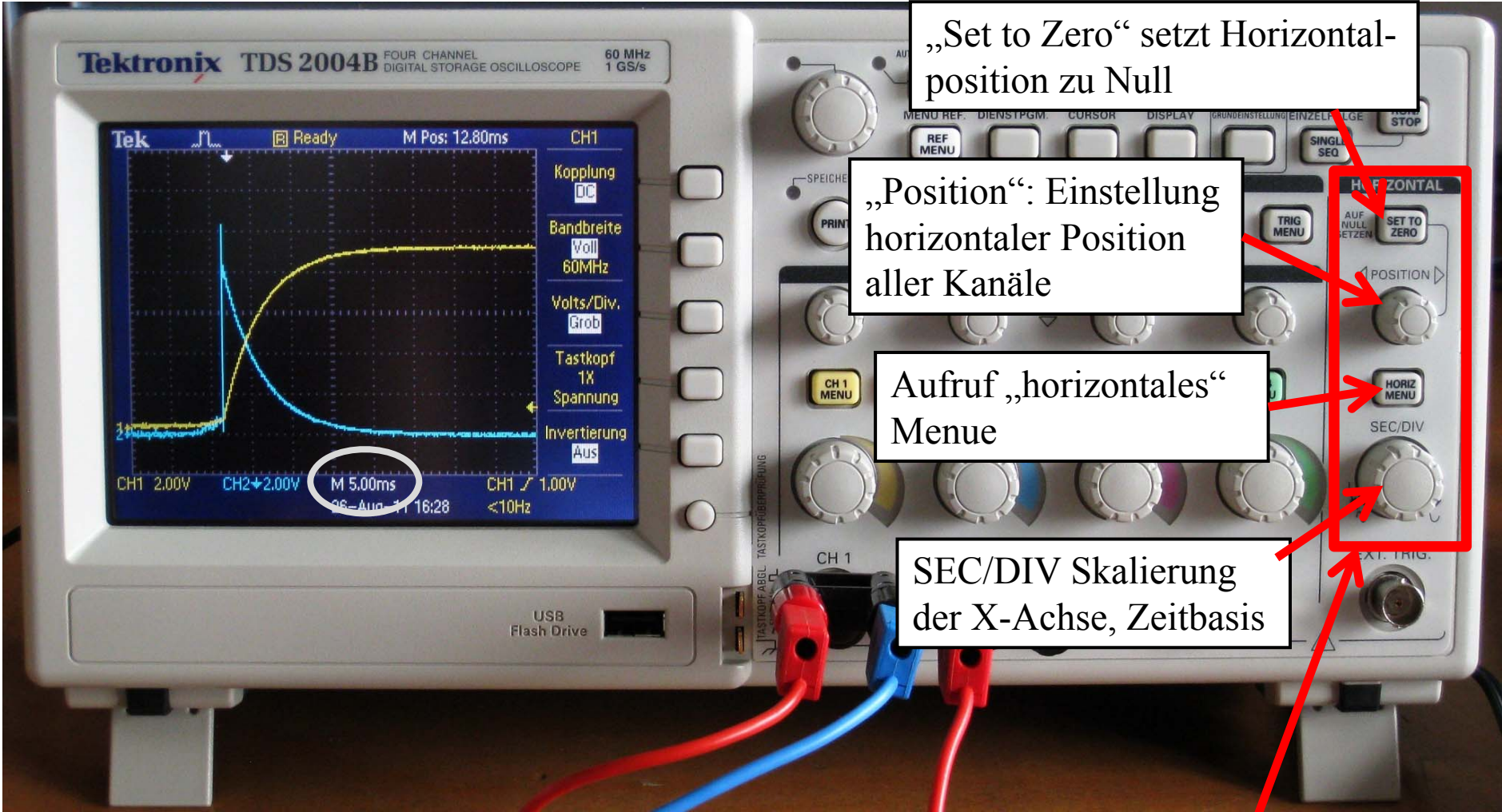
Volt/Div Einstellung der Skalierung der y-Achsen der Kanäle 1, 2, 3 und 4

Digital Oszilloskop



Horizontale Einstellungen

Digital Oszilloskop



„Set to Zero“ setzt Horizontalposition zu Null

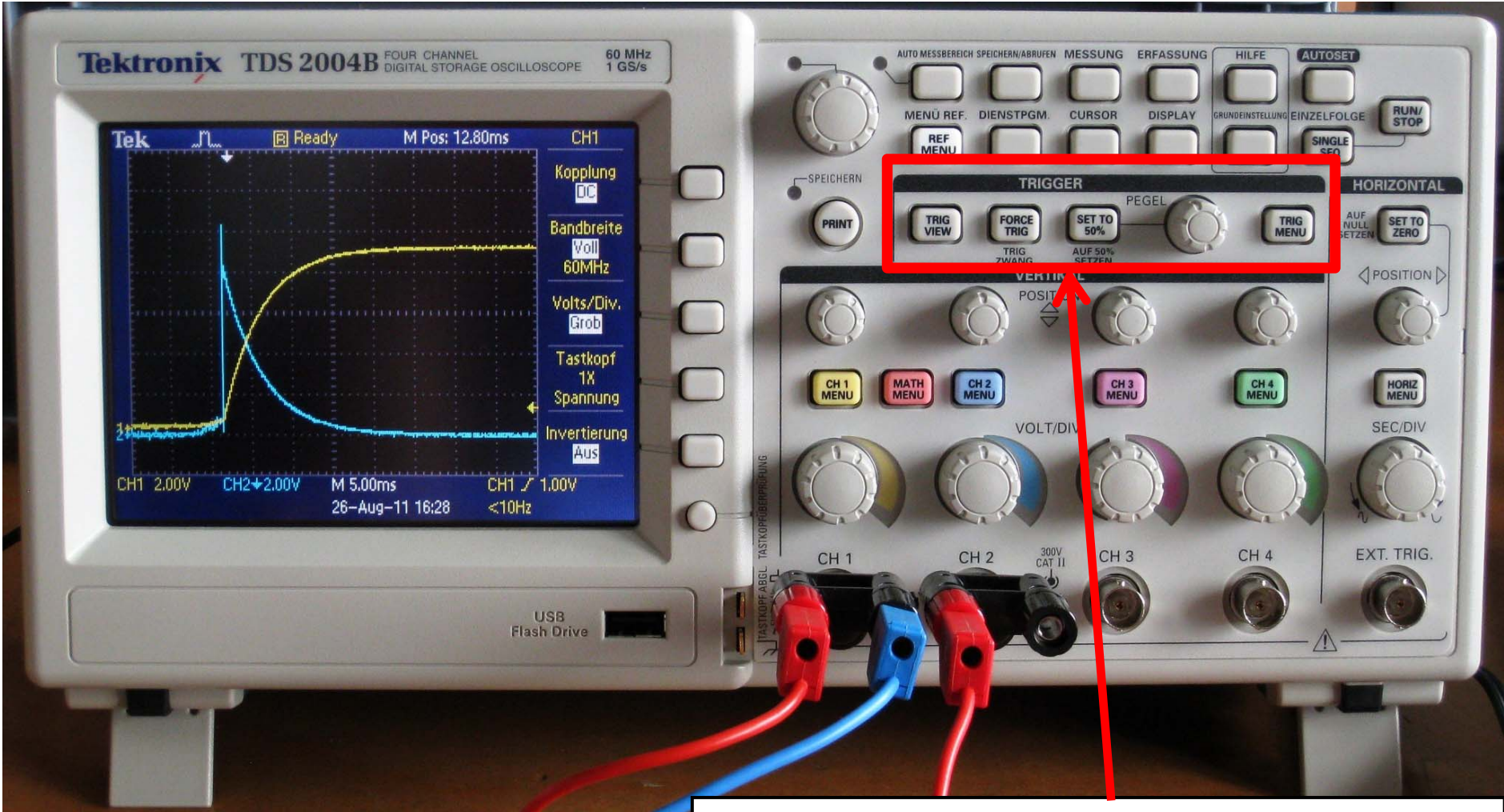
„Position“: Einstellung horizontaler Position aller Kanäle

Aufruf „horizontales“ Menu

SEC/DIV Skalierung der X-Achse, Zeitbasis

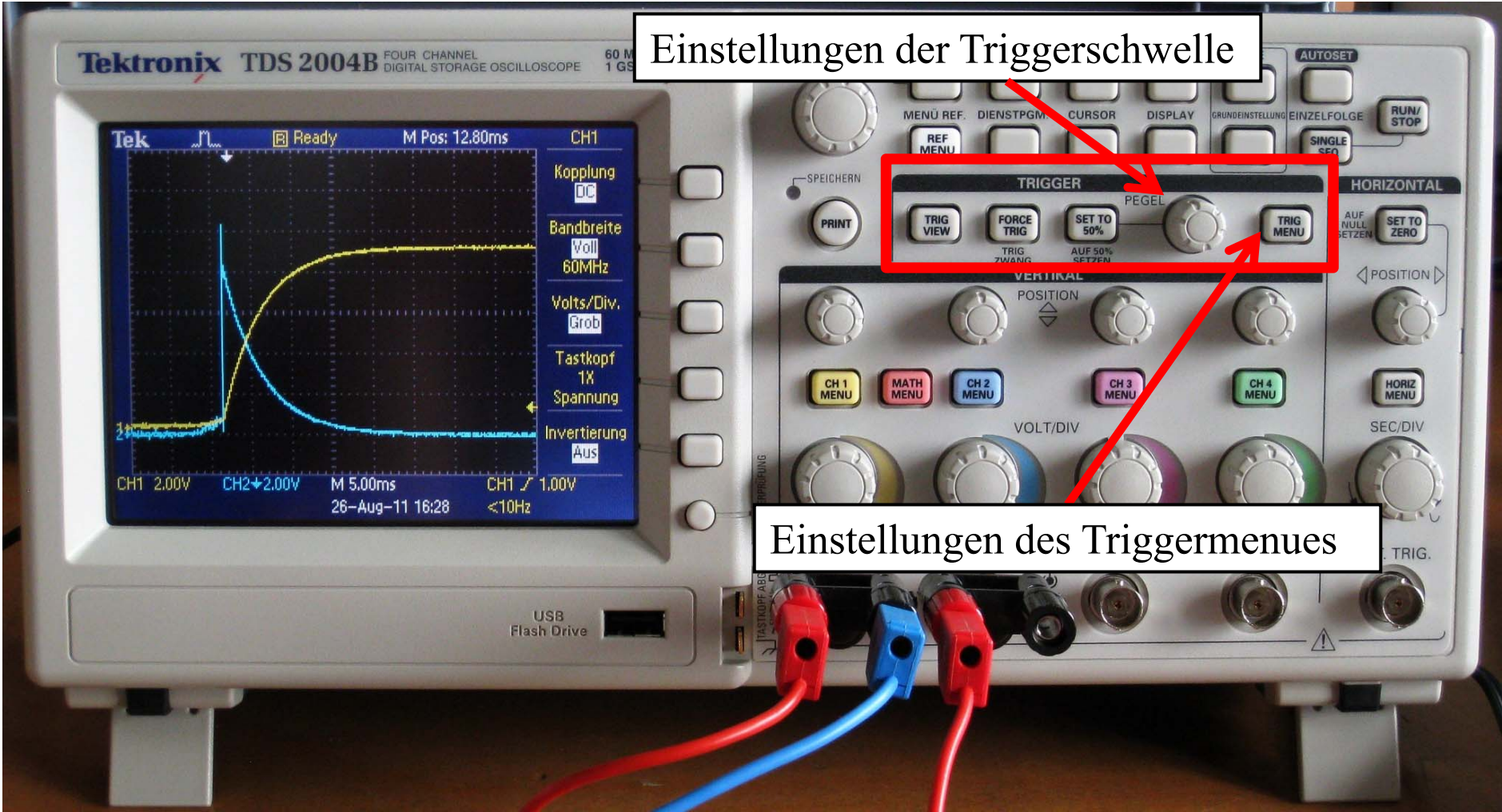
Horizontale Einstellungen

Digital Oszilloskop



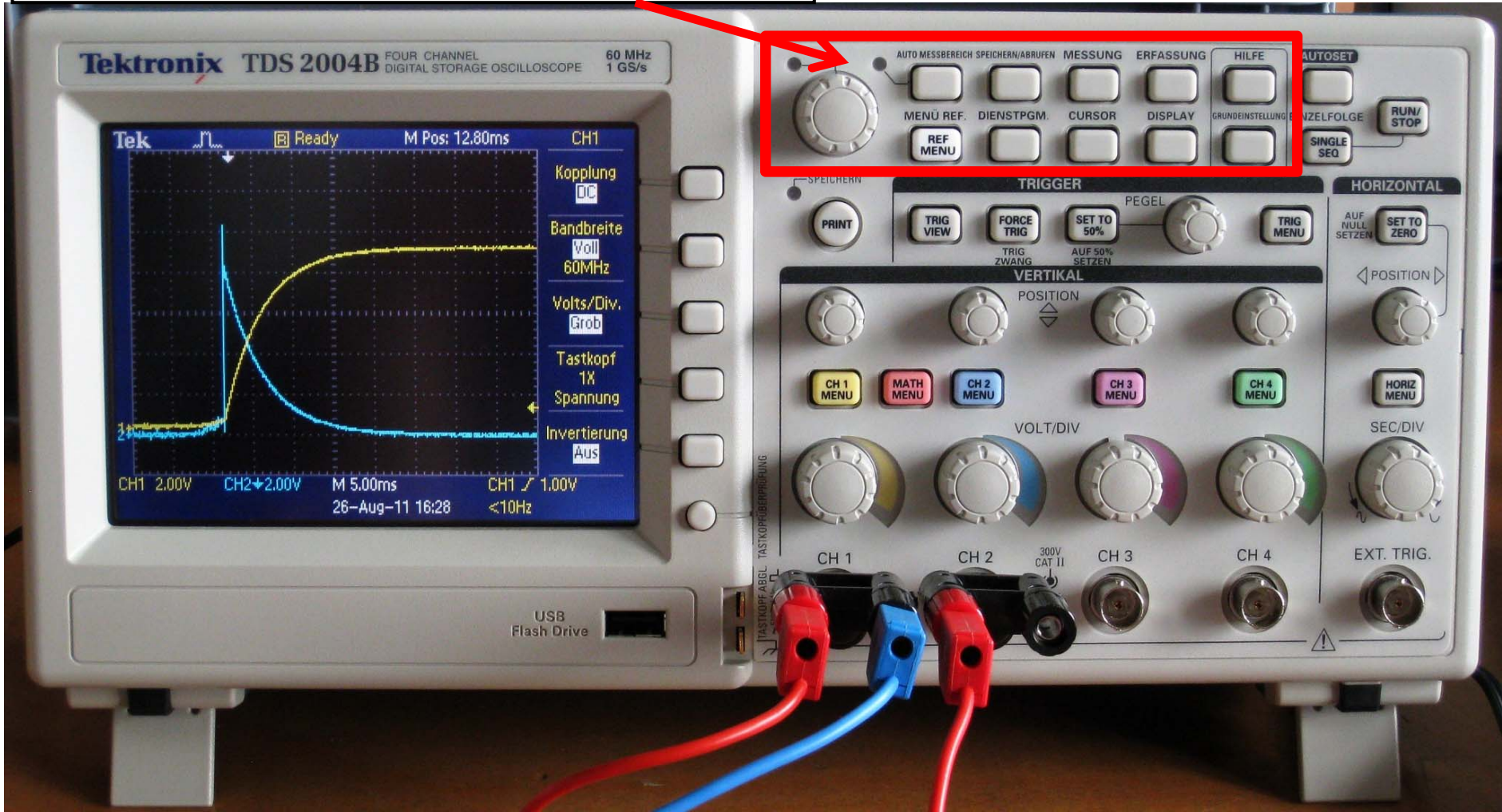
Einstellungen des Triggers, der steuert, wann ein Signal auf Display angezeigt werden soll

Digital Oszilloskop



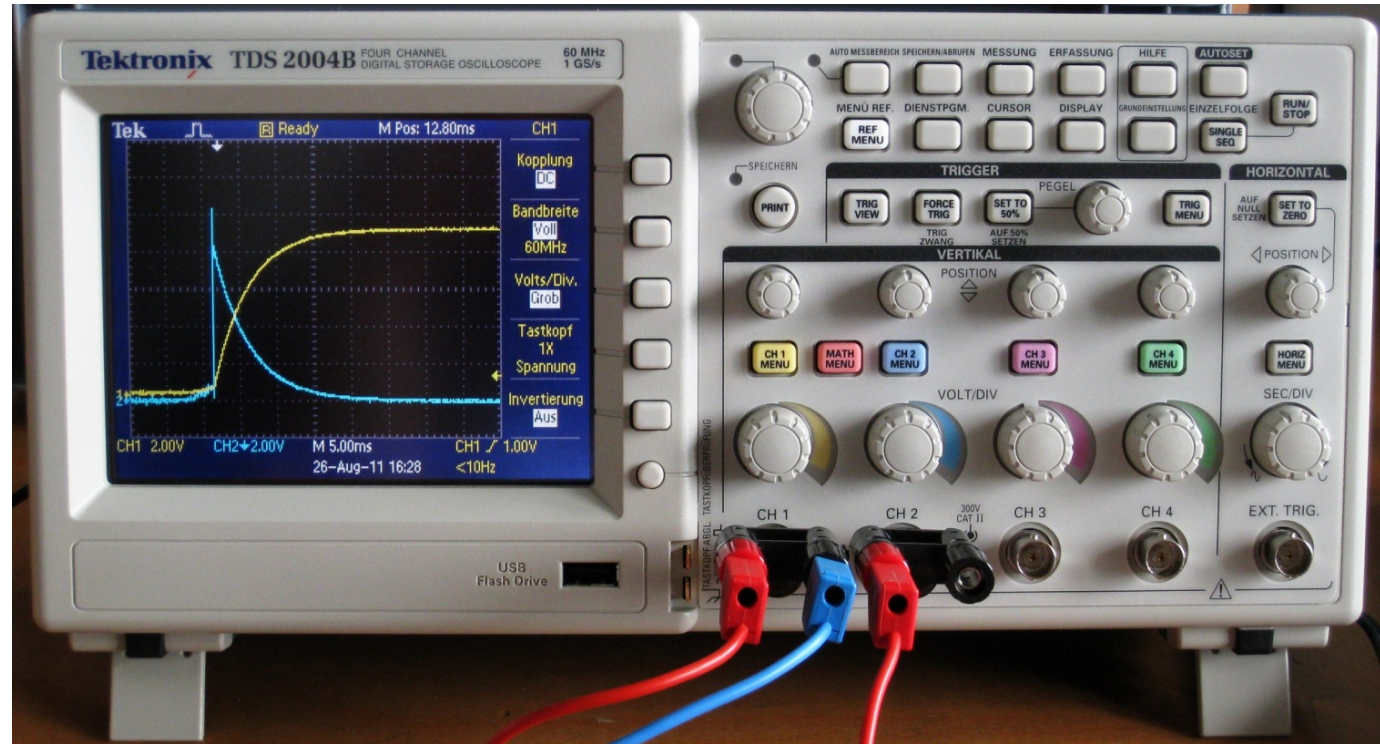
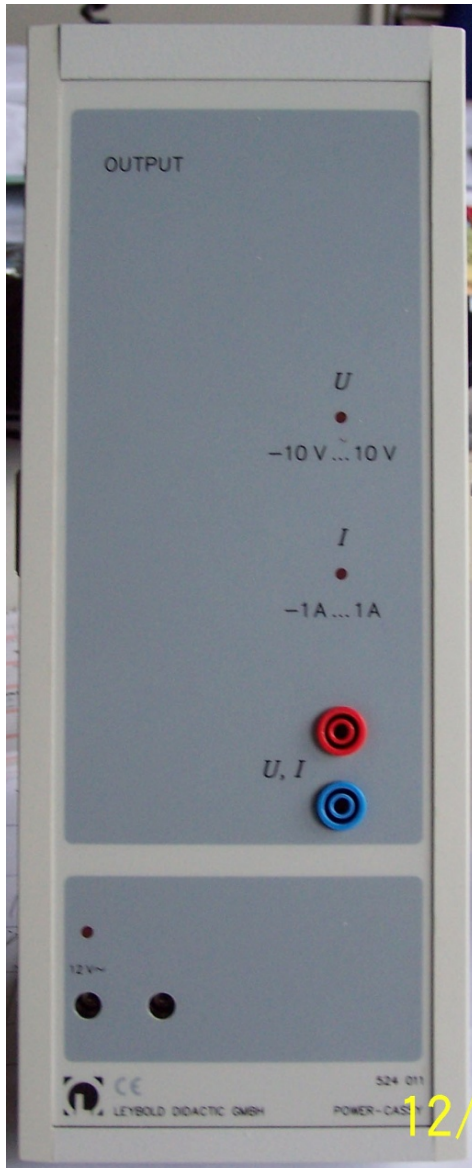
Digital Oszilloskop

Allgem. Einstellungen, Cursor, Messungen

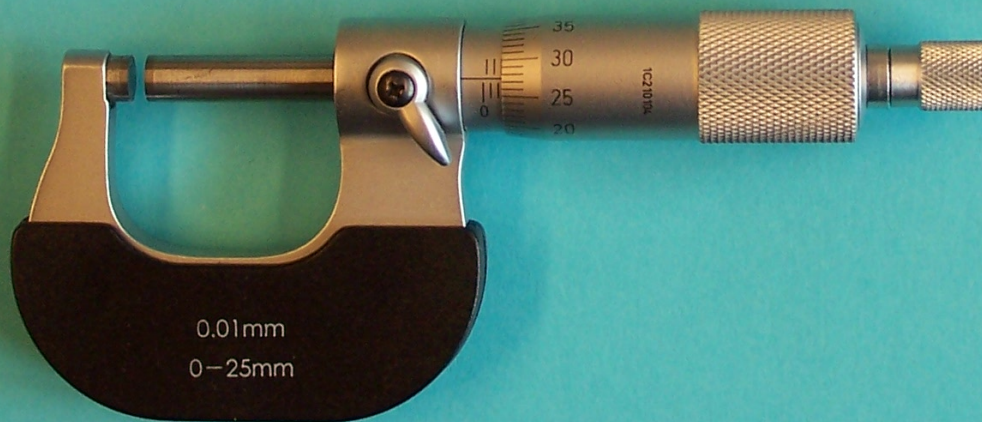


Power Cassy vs Oszilloskop

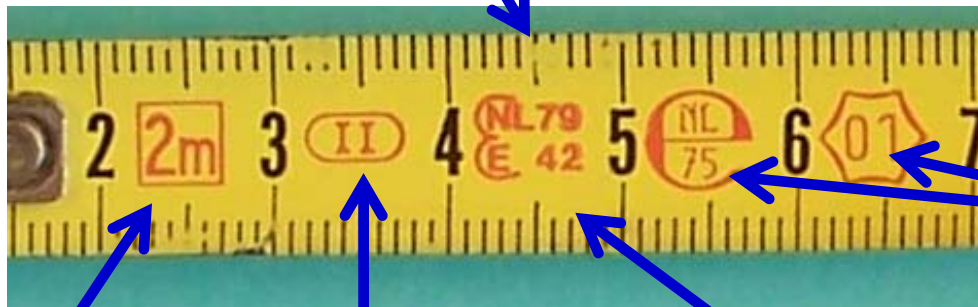
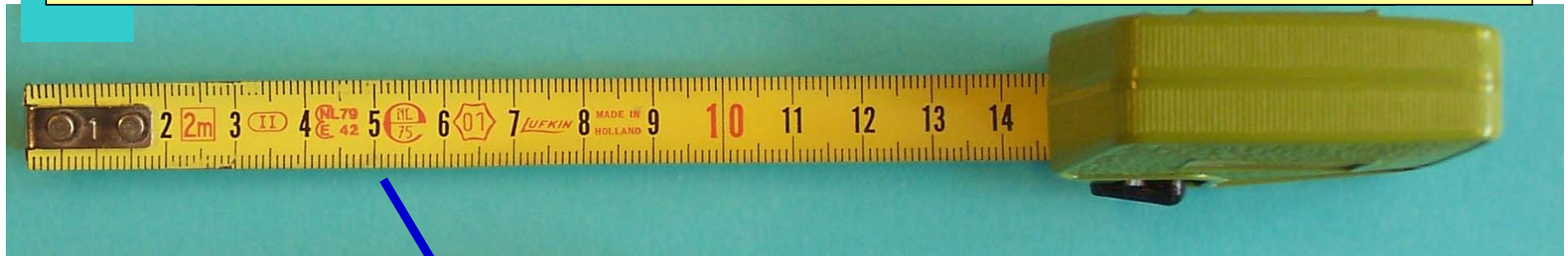
4. Übung



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:

$$(a + b \times L)$$

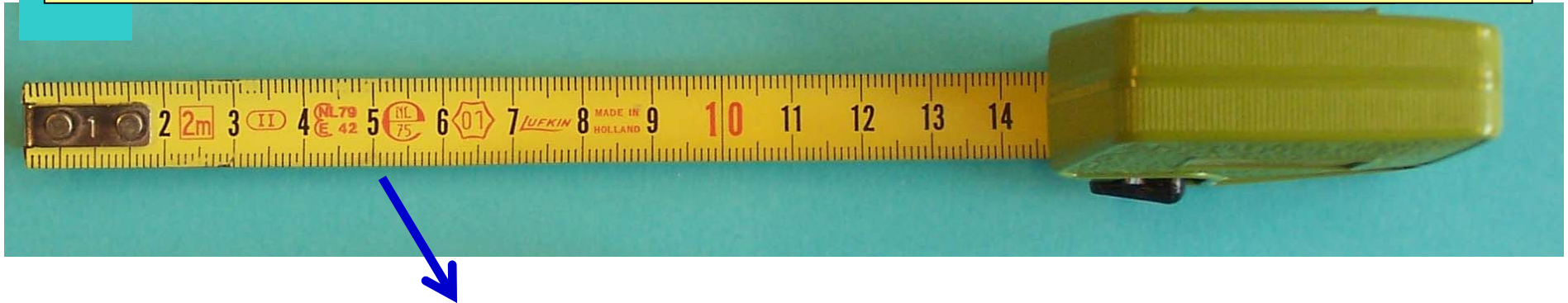
L = Nominallänge in Metern

	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

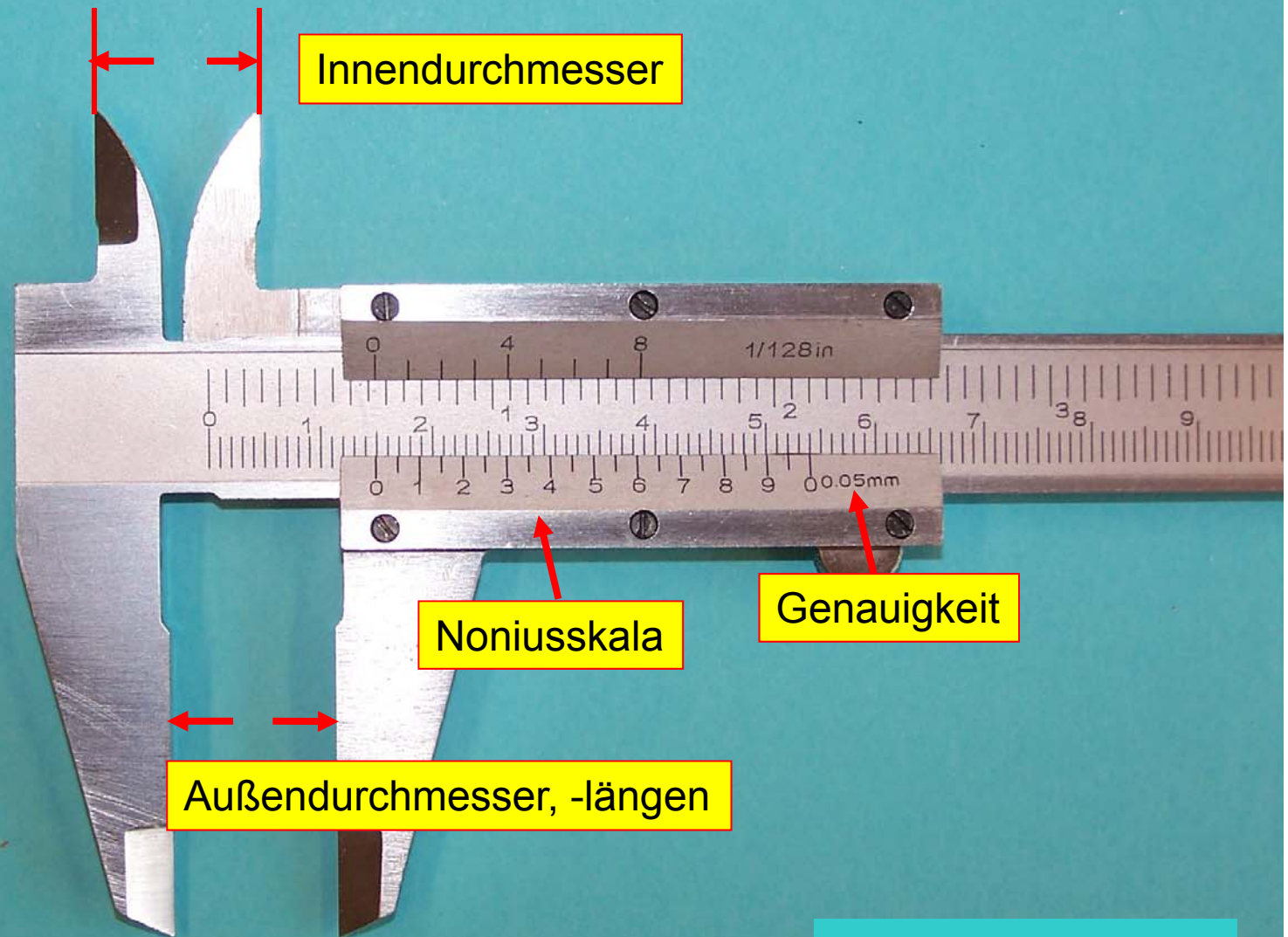
Längenmessungen mit Maßband



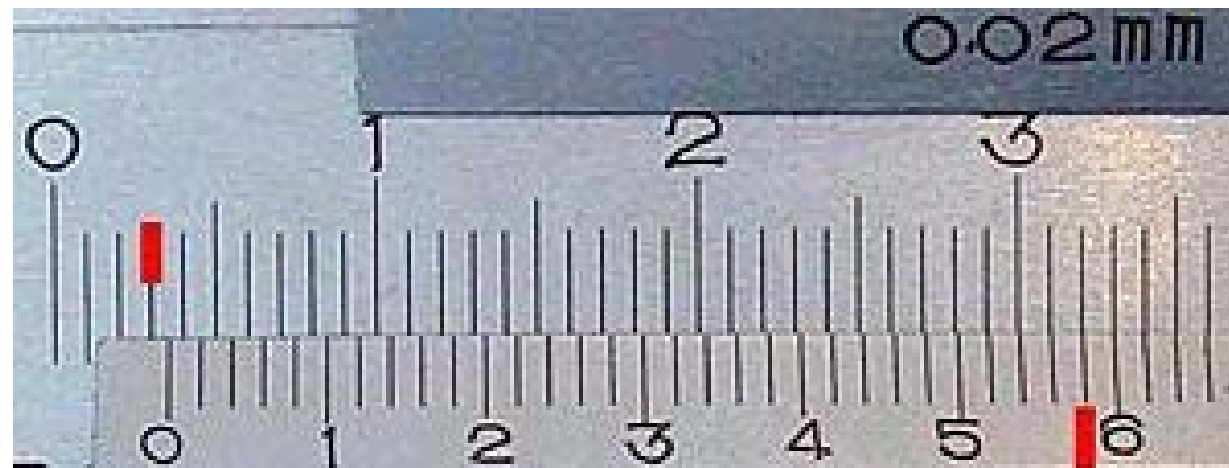
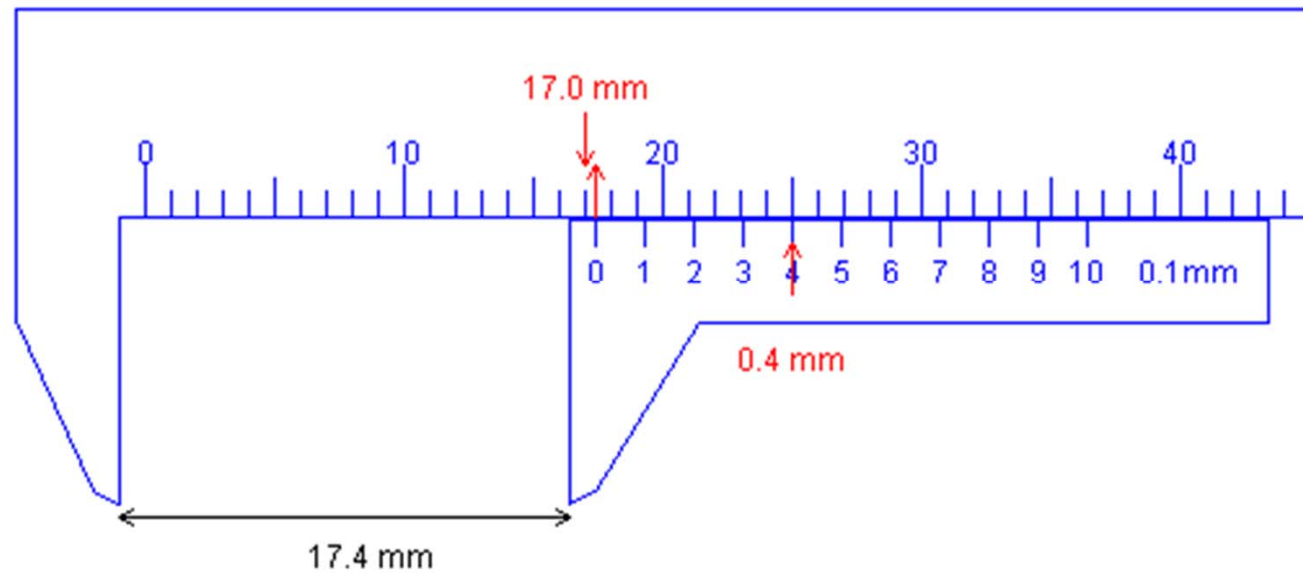
Messunsicherheiten:

- 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

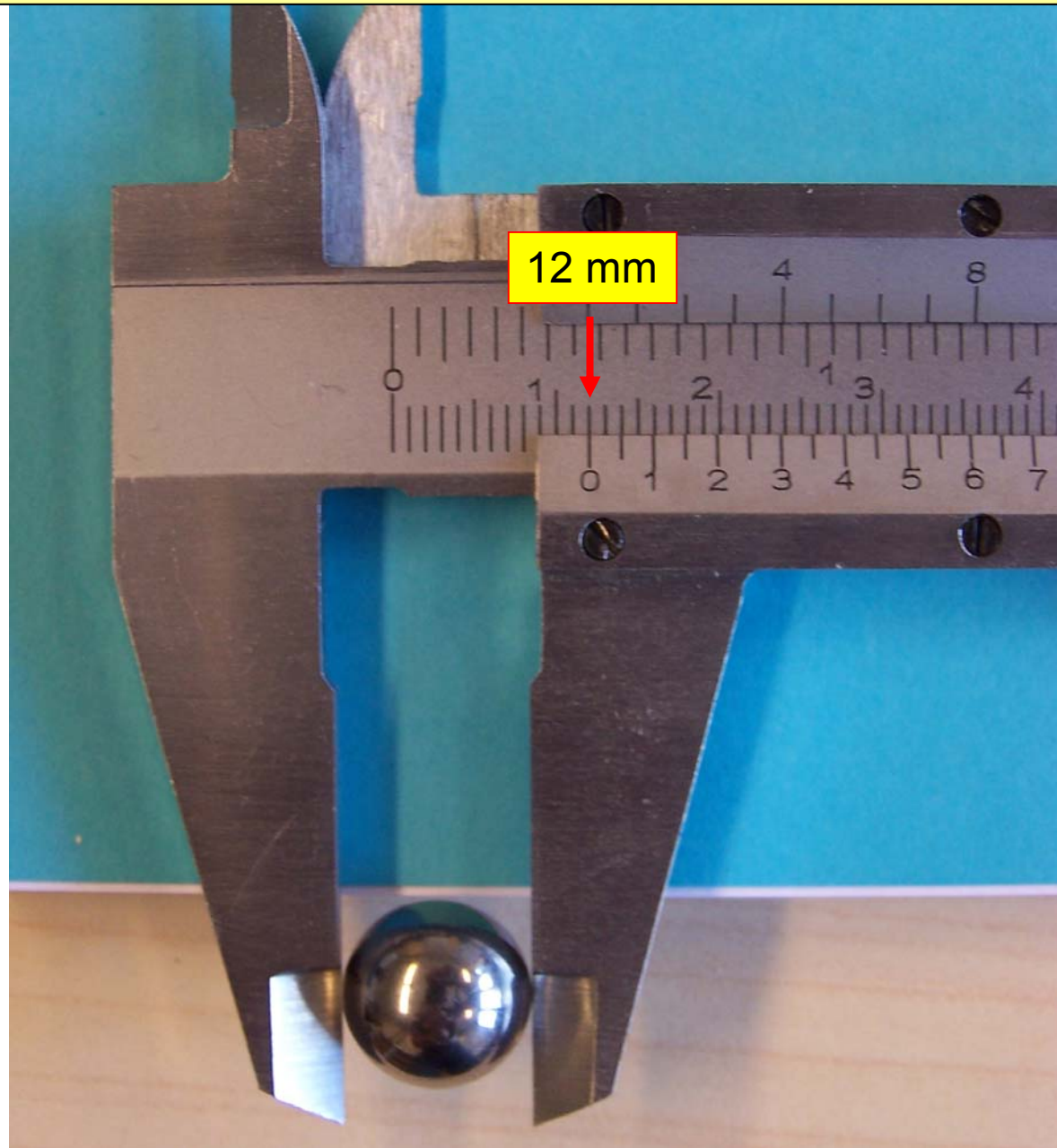


Längenmessungen mit Messschieber

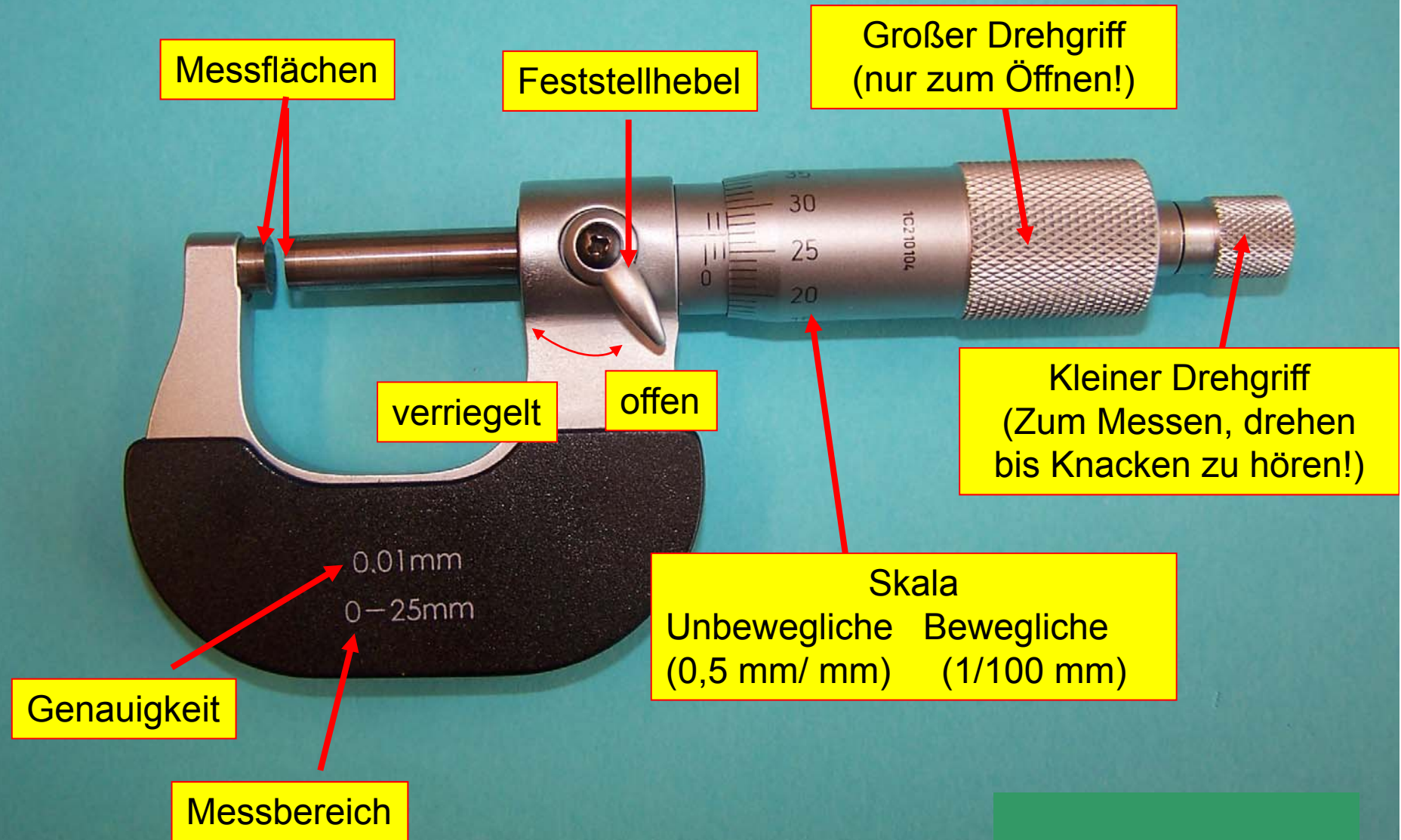


3,58 mm

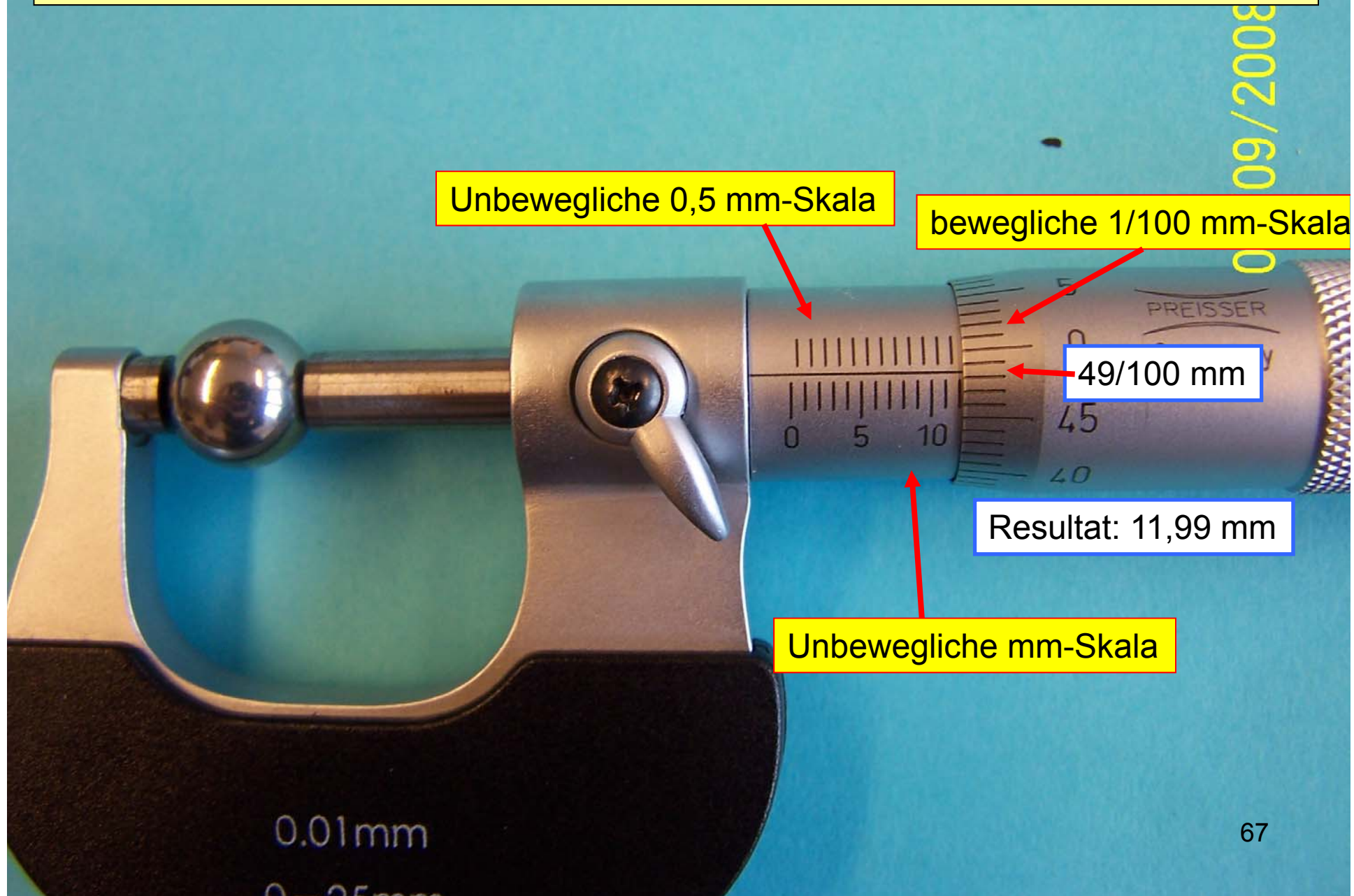
Längenmessungen mit Messschieber



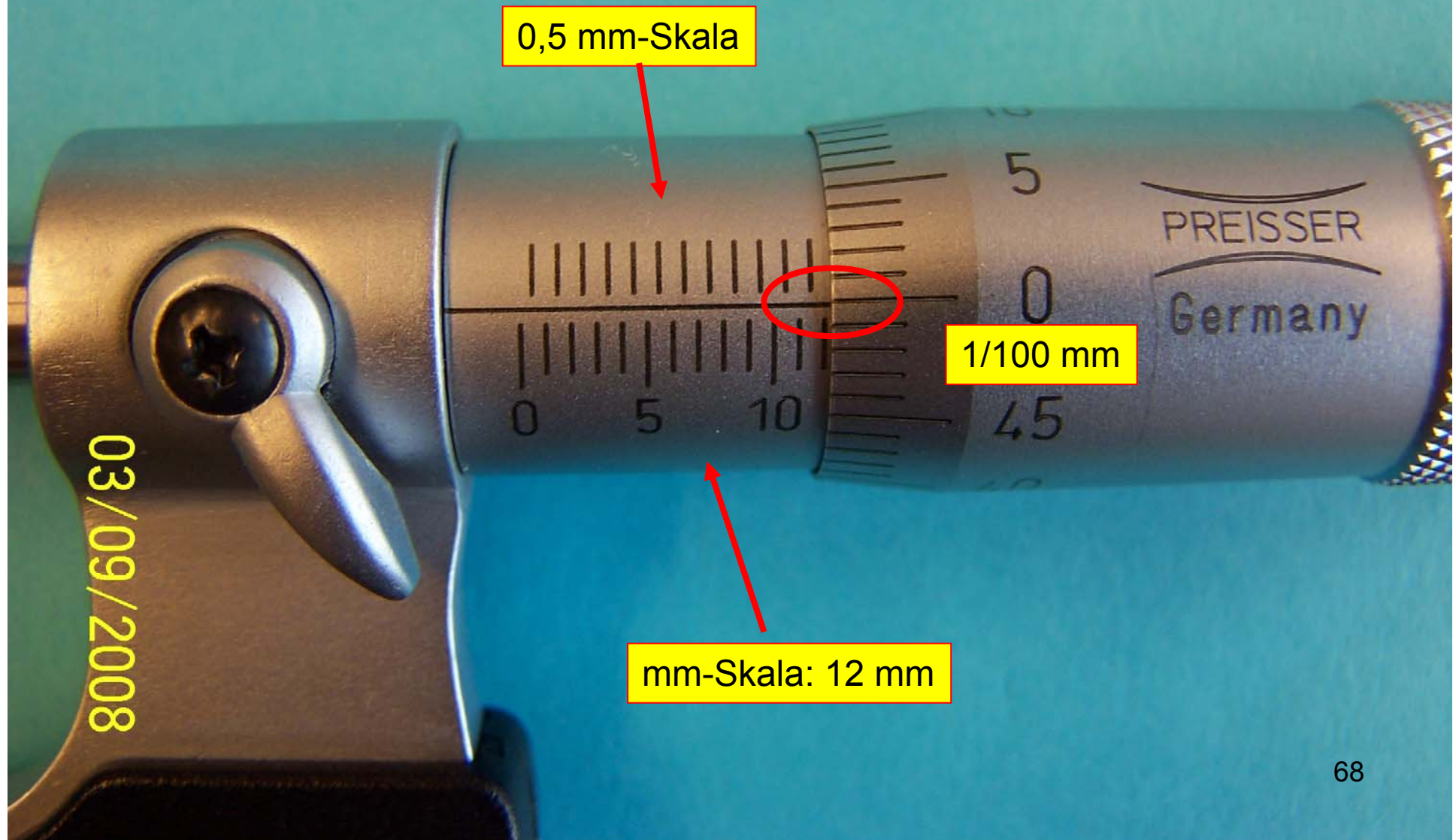
Längenmessungen mit Mikrometerschraube



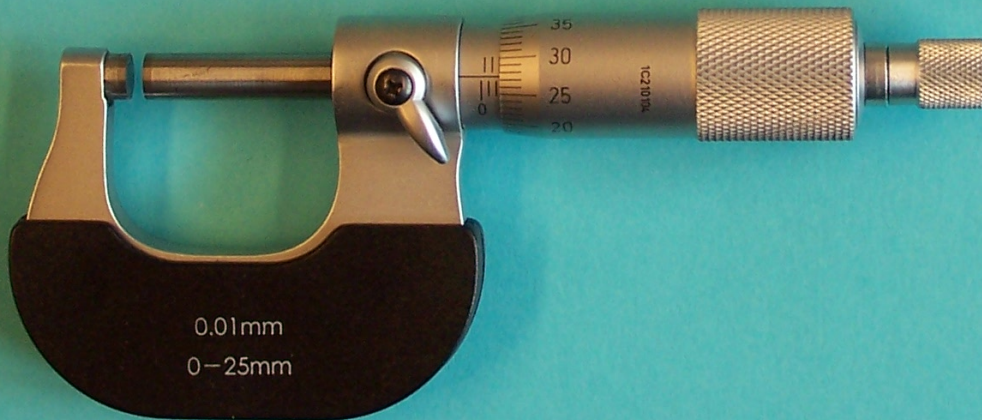
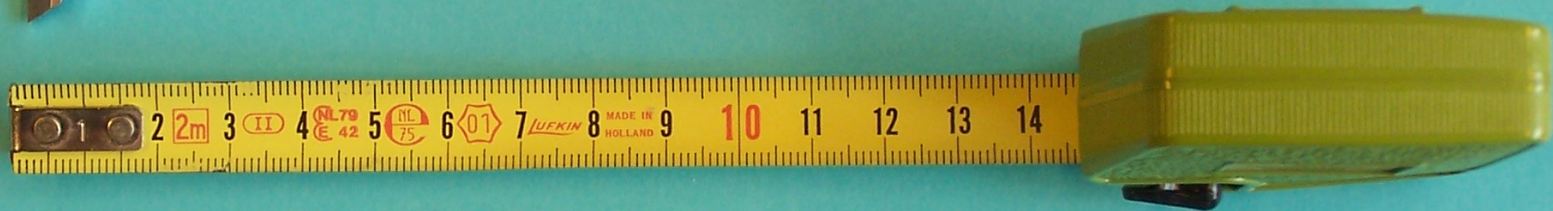
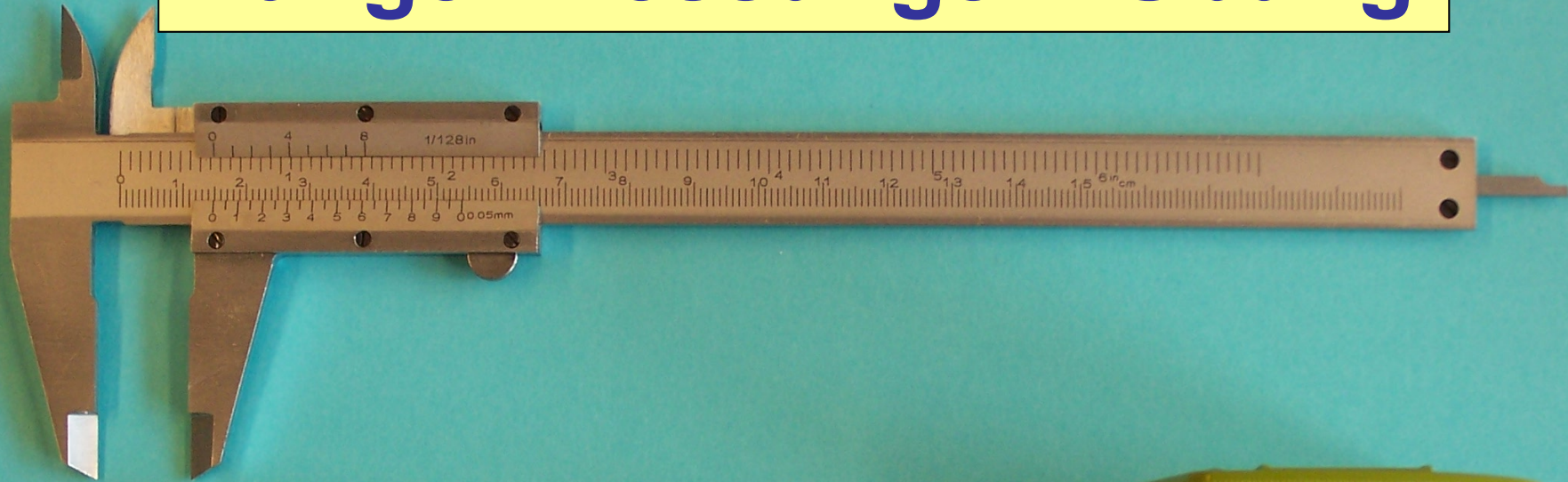
Längenmessungen mit Mikrometerschraube



Längenmessungen mit Mikrometerschraube



Längenmessungen: Übung



Viel Erfolg !