

Messinstrumente im physikalischen Grundpraktikum

Dr. Th. Kirn

I. Physikalisches Institut B

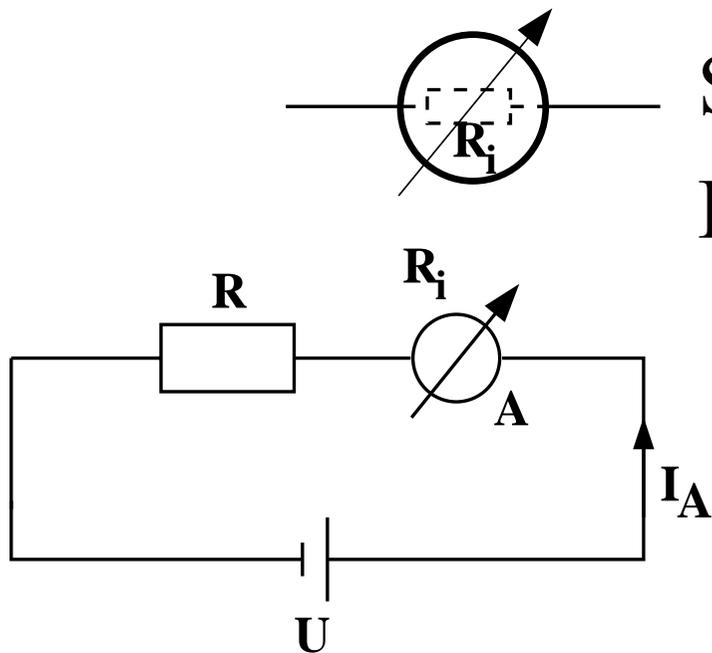
Messinstrumente im physikalischen Grundpraktikum

- 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!

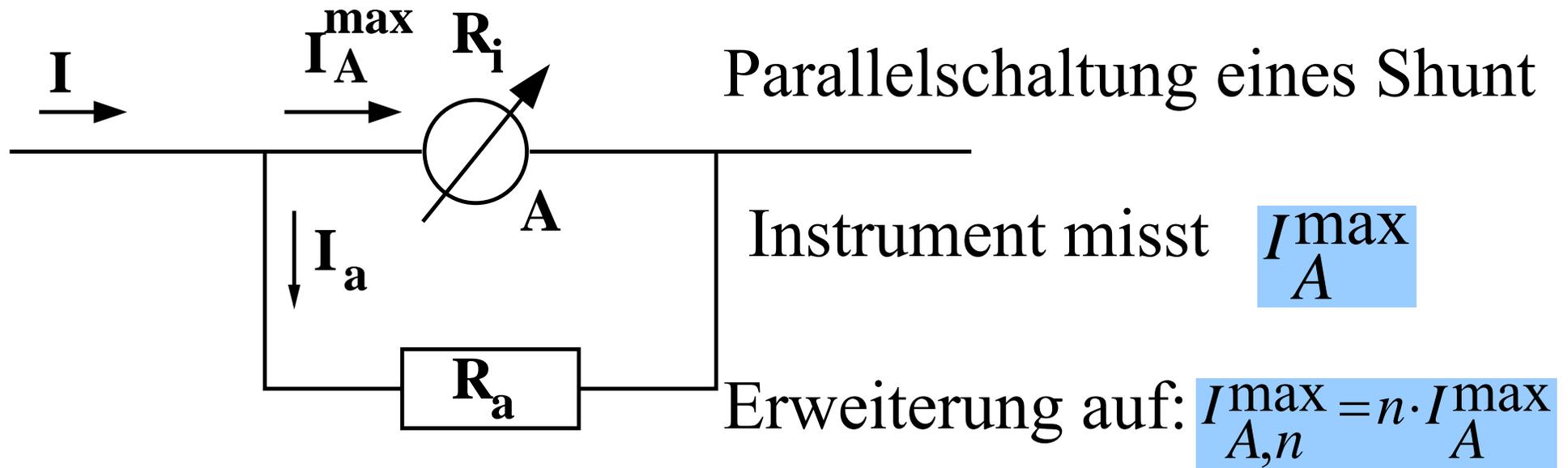
Erwarteter Strom: $I = \frac{U}{R}$



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

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

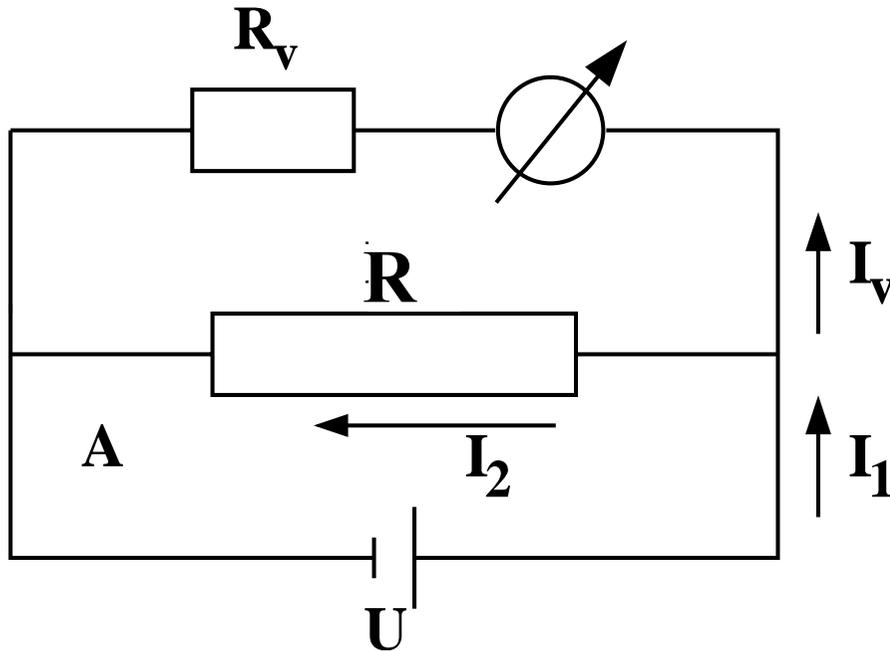
Messbereichserweiterung



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



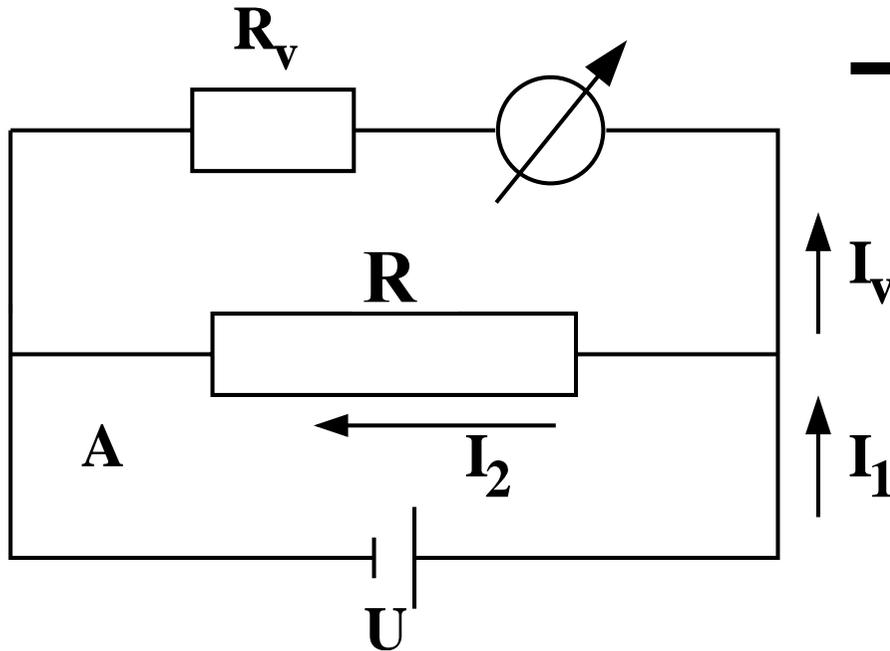
Spannungsmesser sind mittels
Ohmschen Gesetz in Volt
geeichte Amperemeter

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

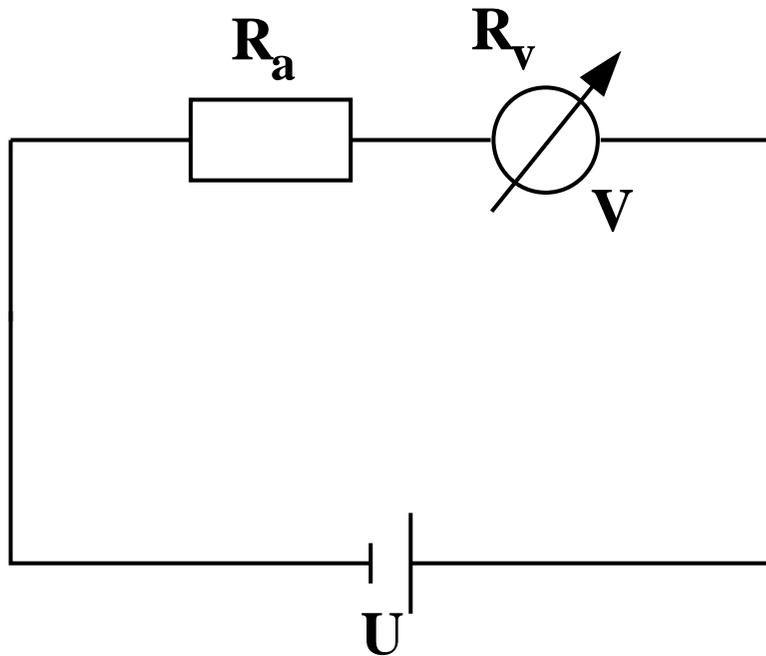
$$I_1 = U \cdot \left(\frac{1}{R_v} + \frac{1}{R} \right) = I \cdot \frac{R + R_v}{R_v} > I = \frac{U}{R}$$

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:

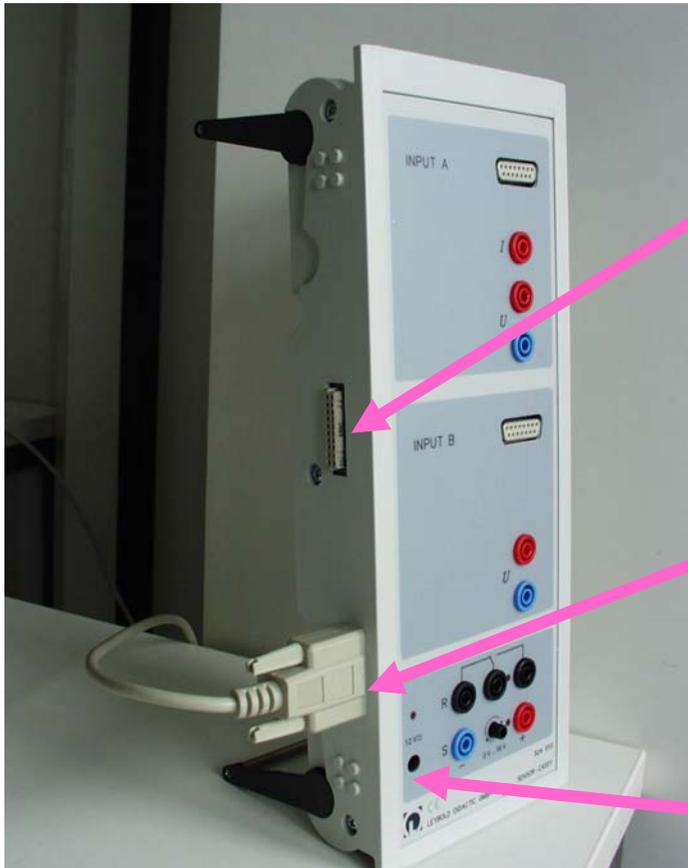
Eingang A (I,U)

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

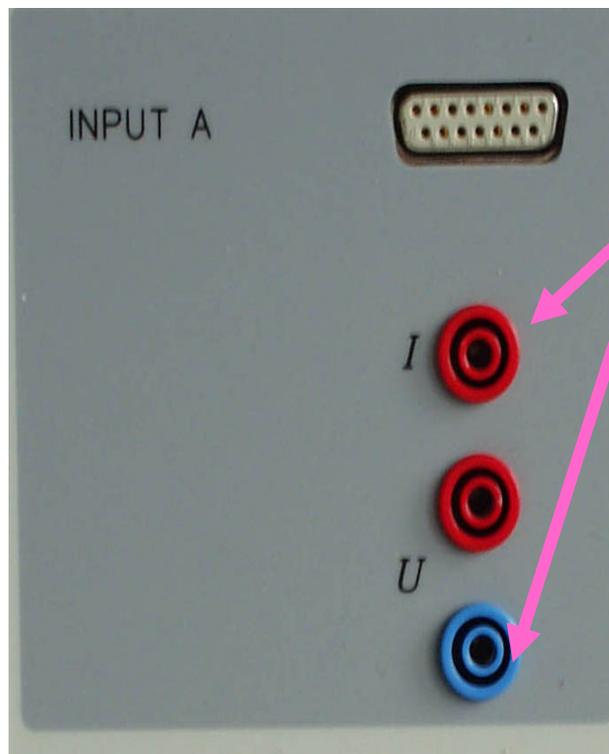
2 analoge Spannungseingänge A und B:

- 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)



Sensor-Cassy Interface

Eingang A:



1 analoger Stromeingang :

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

Sensor-Cassy Interface



2 analoge Eingänge auf Sensorbox-Steckplätzen A und B

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

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

- Zählfrequenz: max. 100 kHz
- Zeitauflösung: $0,25\text{ }\mu\text{s}$
- 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

F4 F3 F2 F9 F5 F6 F1 F7

CASSY Lab

Standard Kennlinie

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

U_{B1} I_{A1}

U_{B1} 10
V

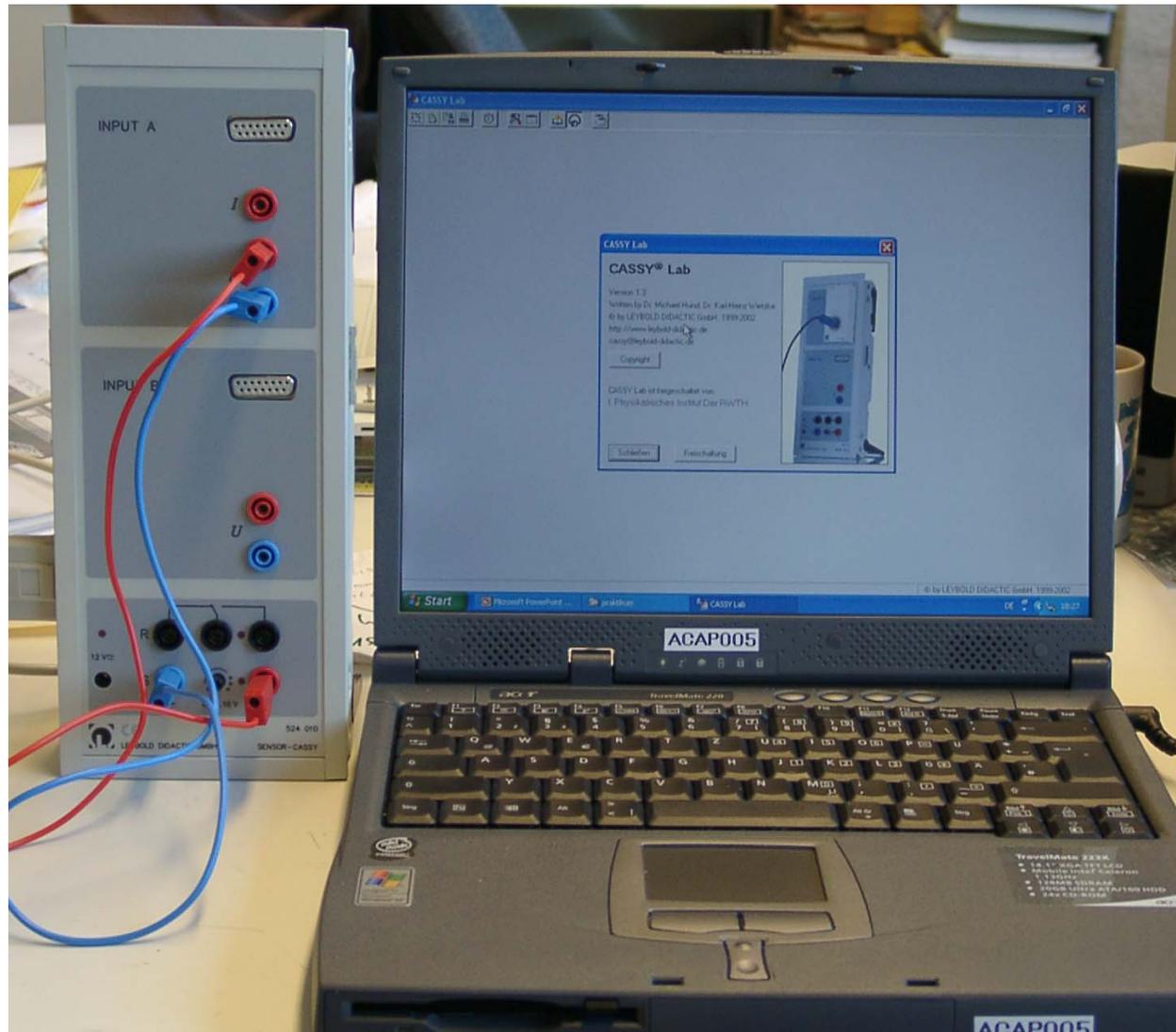
Spannung U_{B1}

-10 -5 0 5 10

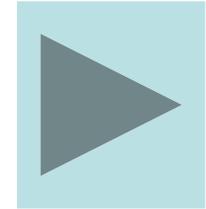
$U_{B1} = 0,01 \text{ V}$

1 2 3 4 5 6 7 8 9

Cassy Lab, 1. Übung



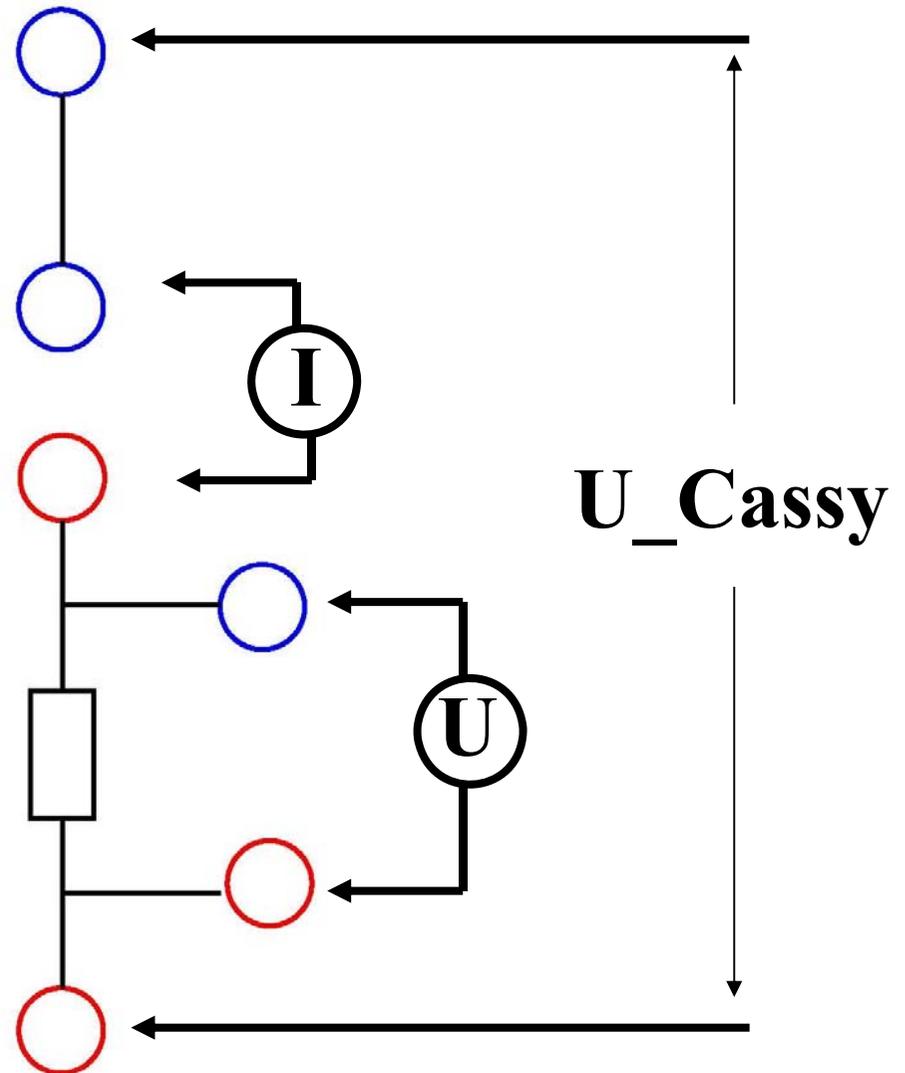
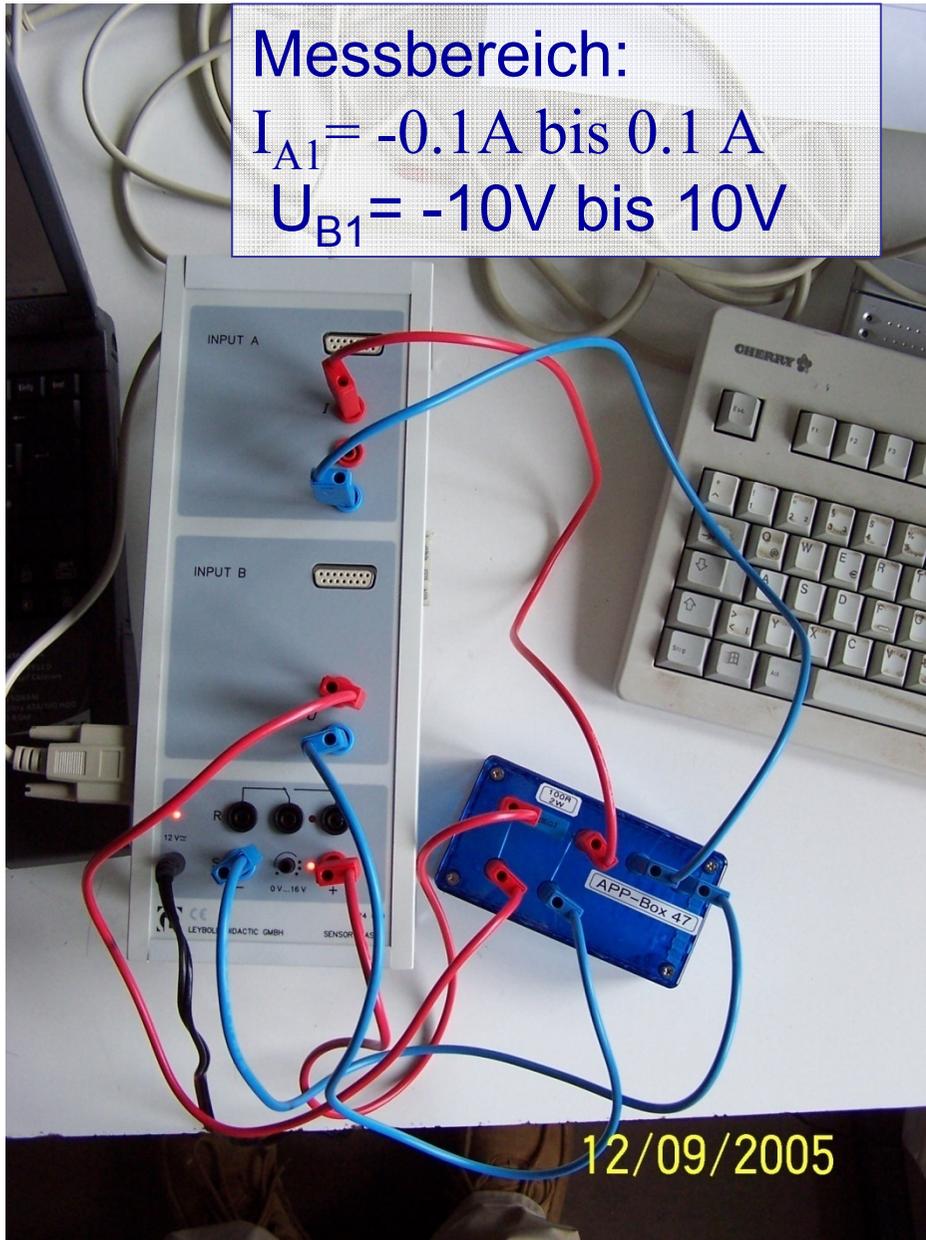
Cassy Lab, 2. Übung



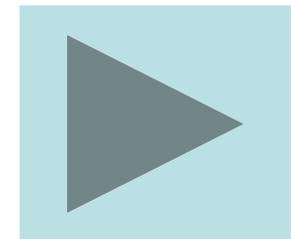
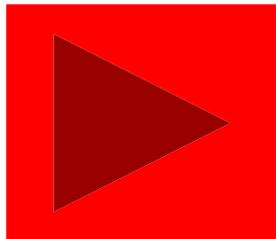
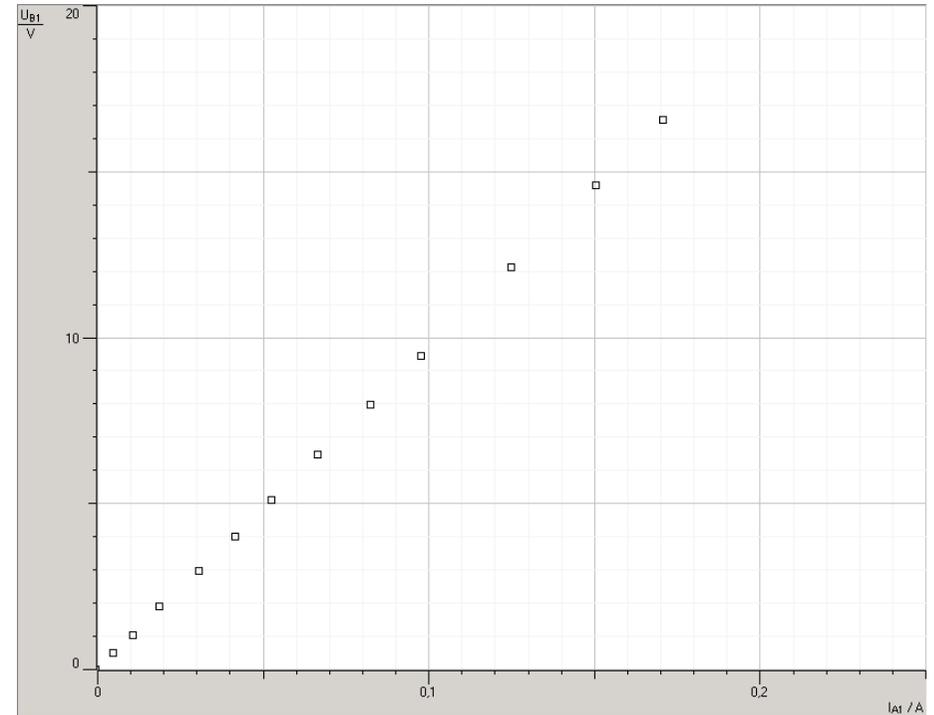
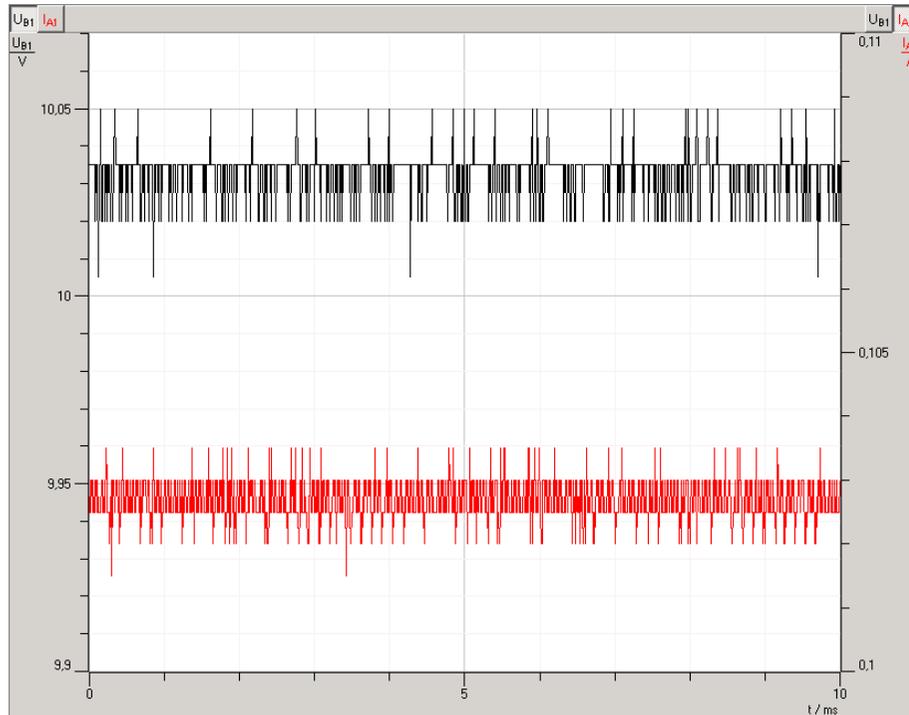
Messbereich:

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

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

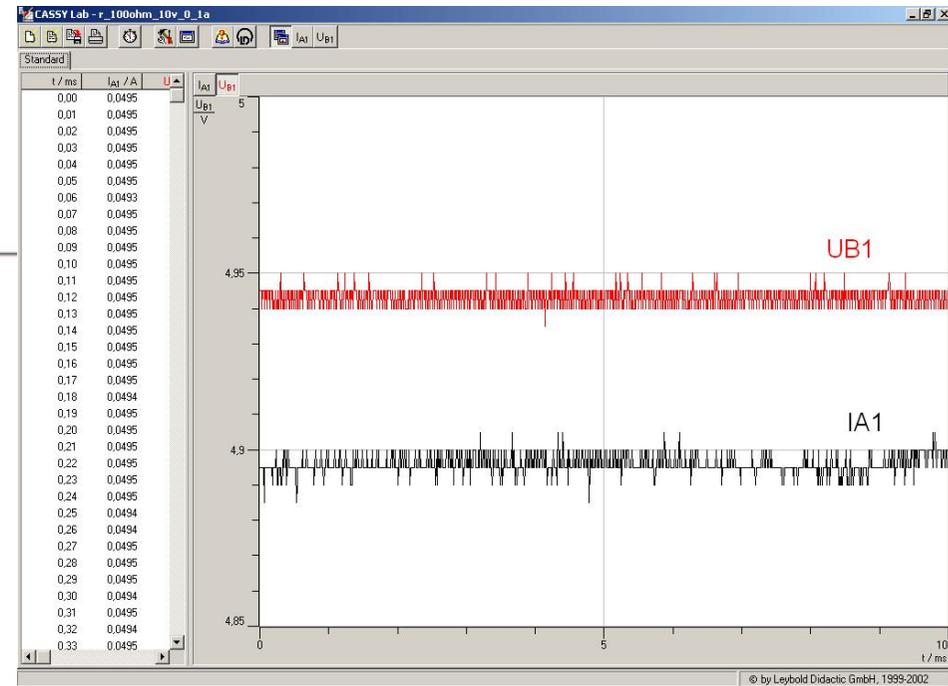
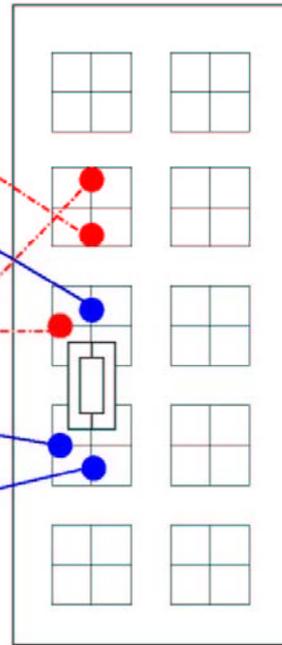
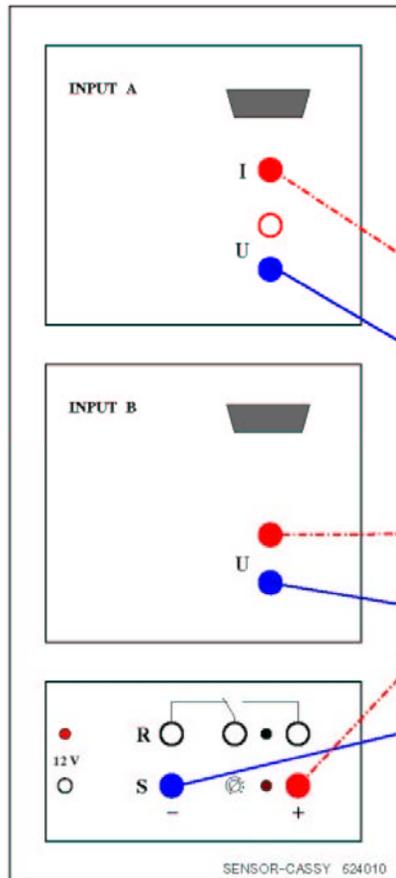


Sensor Cassy Dateien ↔ Maple-Auswertung



Sensor Cassy Interface

Messungenauigkeiten



Messaufbau: $R=100\Omega$

Angelegte Spannung:

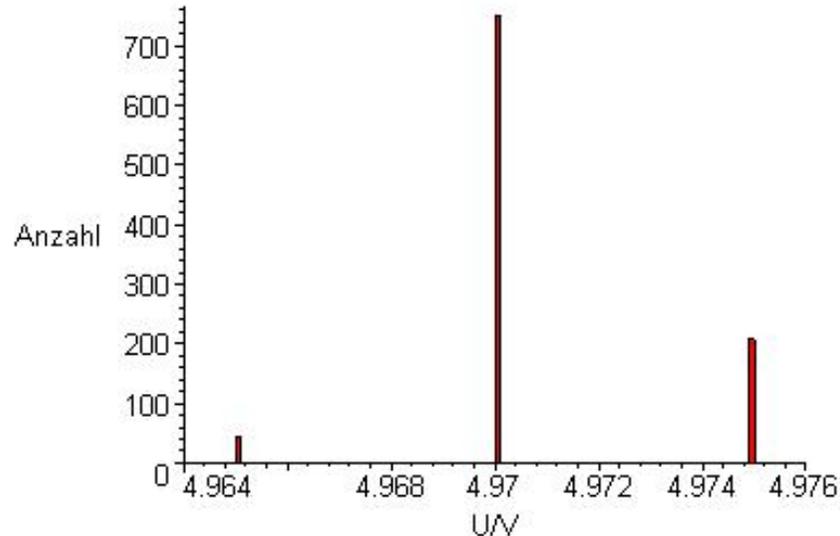
$U=5V$

Im Kreis fließender Strom:

$I=0,05A$

Sensor-Cassy Interface

statistische Messungenauigkeit?



Messbereich: ± 10 V

Mean = (4.9708 ± 0.00007) V

RMS = 2.4 mV

Digitale Auflösung: 12 bit = 4096

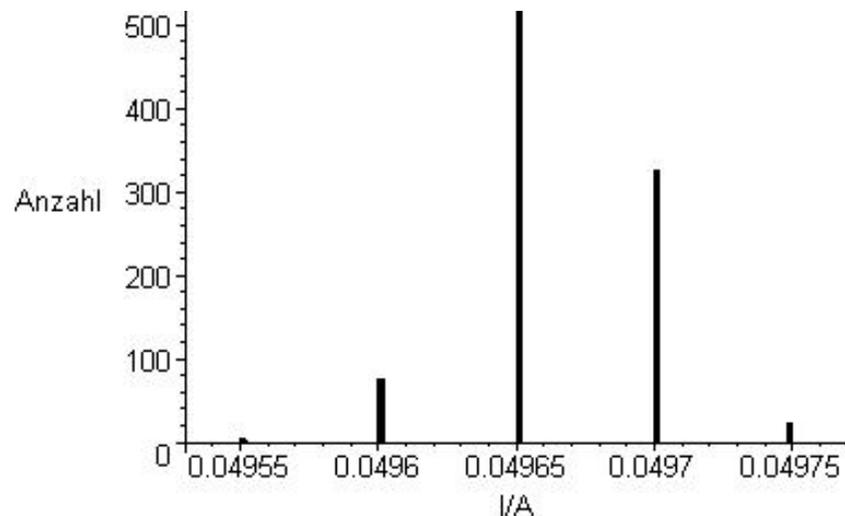
→ $U_{\min} = 5$ mV → $U_{\min}/\sqrt{12}$

→ „Fehler“ = 1.4 mV

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

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

$$\sigma_{\langle x \rangle} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$



Messbereich: $\pm 0,1$ A

Mean = (49.66 ± 0.0000003) mA

RMS = 0.03 mA

Digitale Auflösung: 12 bit = 4096

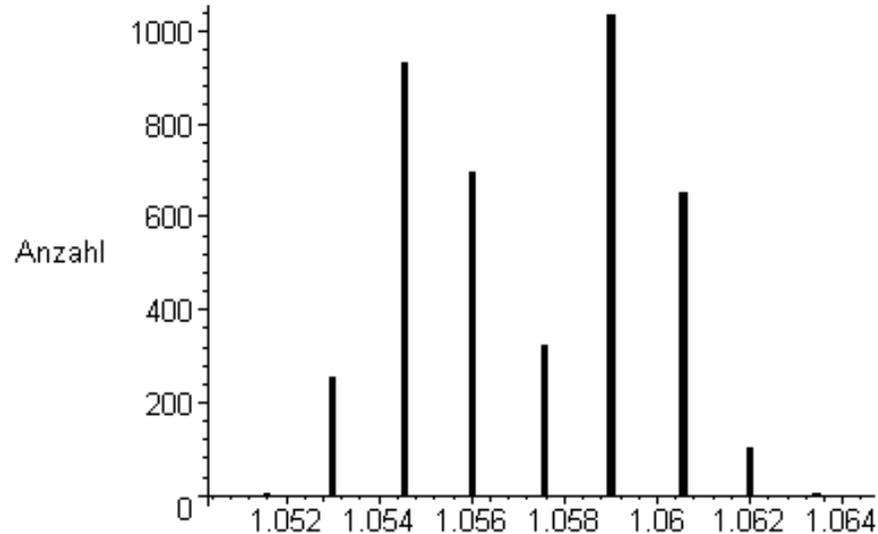
→ $I_{\min} = 0.05$ mA → $I_{\min}/\sqrt{12}$

→ „Fehler“ = 0.014 mA

MU durch Messung bestimmen!

Sensor-Cassy Interface

stat. & system. Messungenauigkeit (4SC)



Messbereich: ± 3 V

Mean = (1.0572 ± 0.00004) V

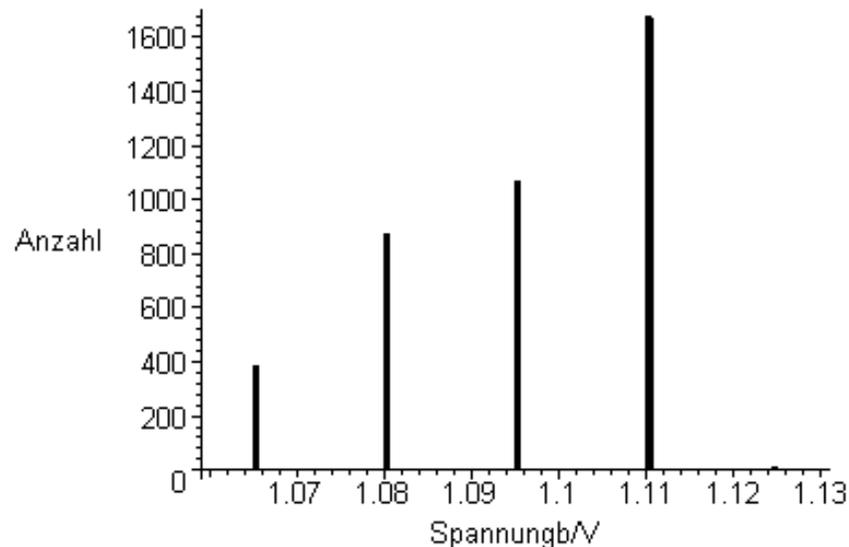
RMS = 2,5 mV

→ 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 %

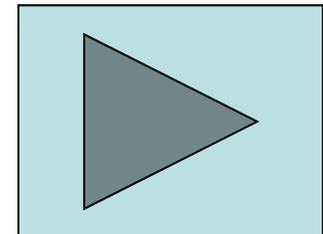
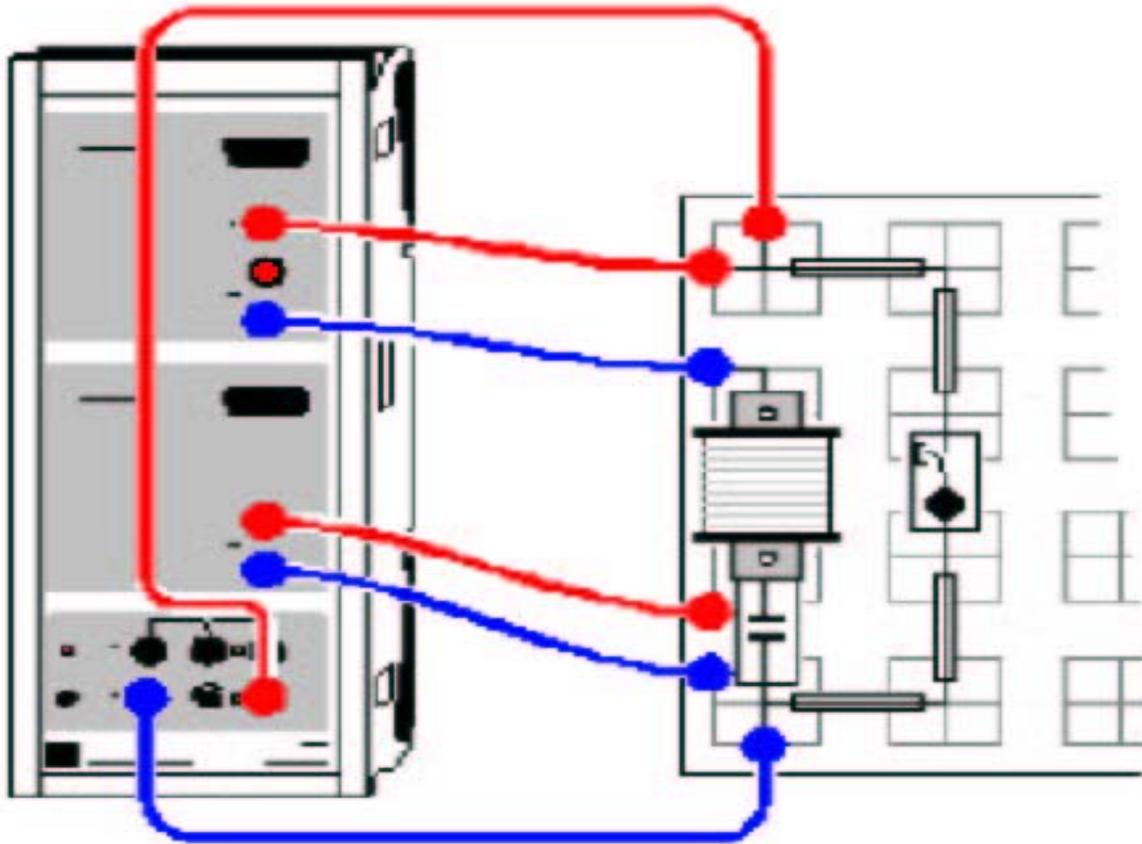
Digitale Auflösung: 12 bit = 4096

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

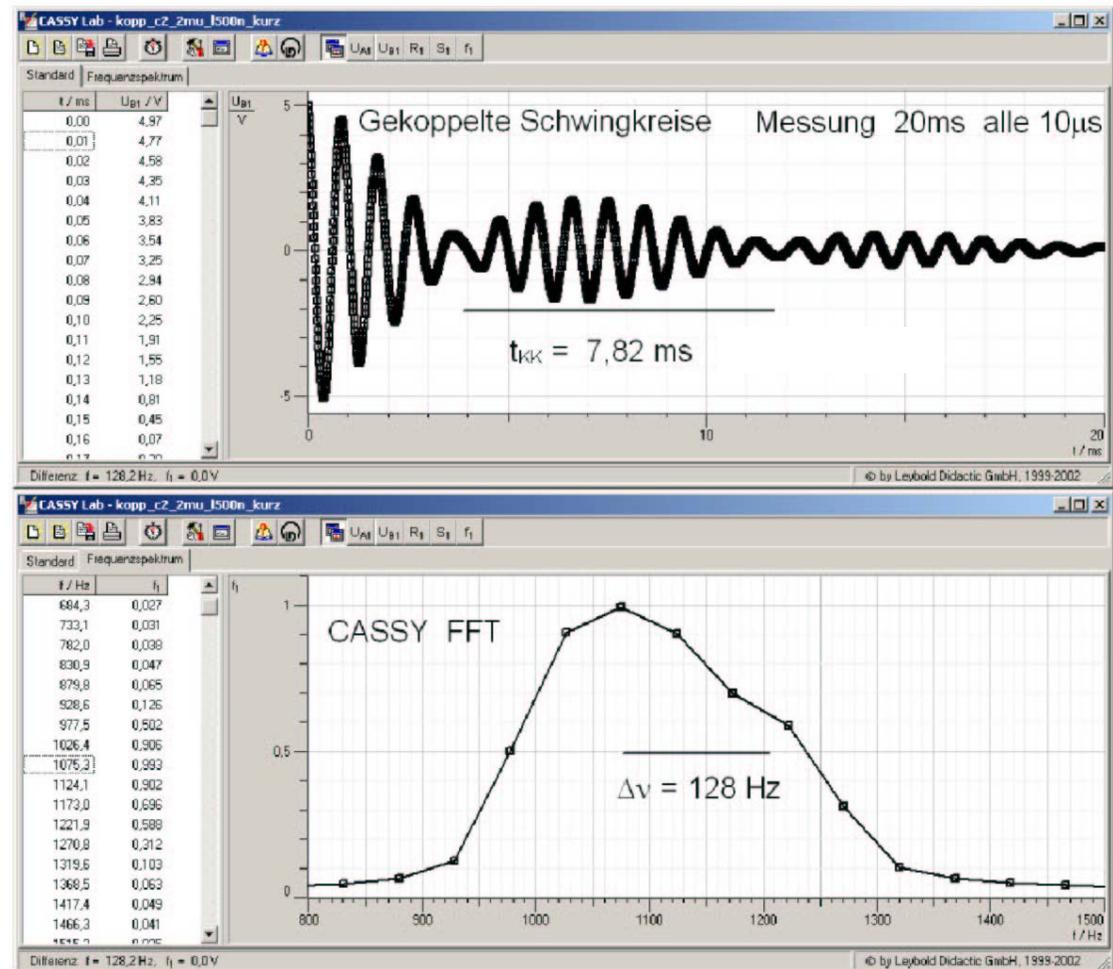
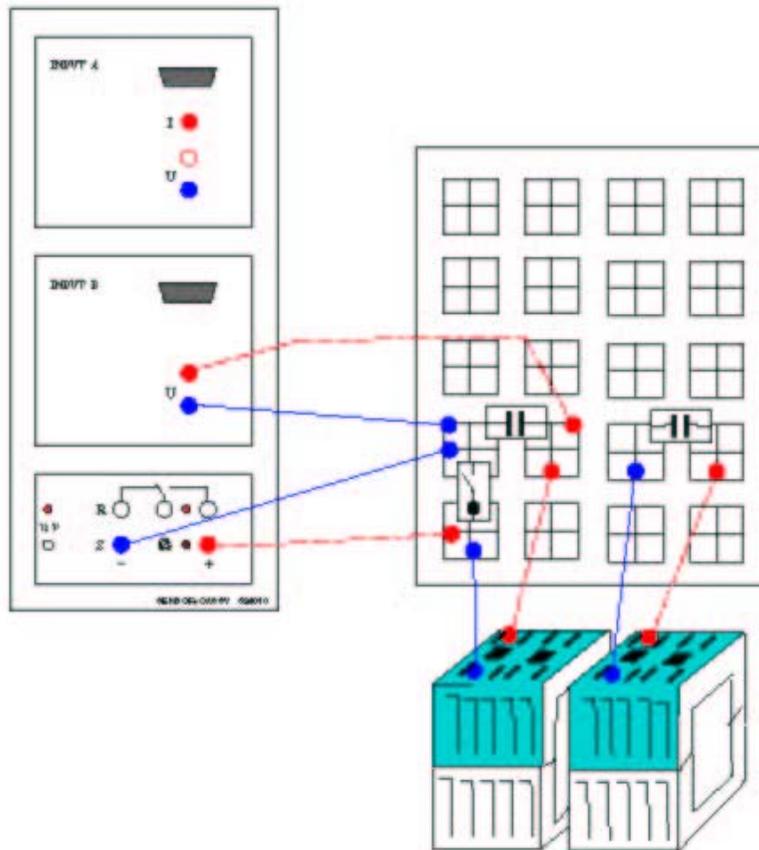
→ „Fehler“ = 4.3 mV

MU durch Messung bestimmen!

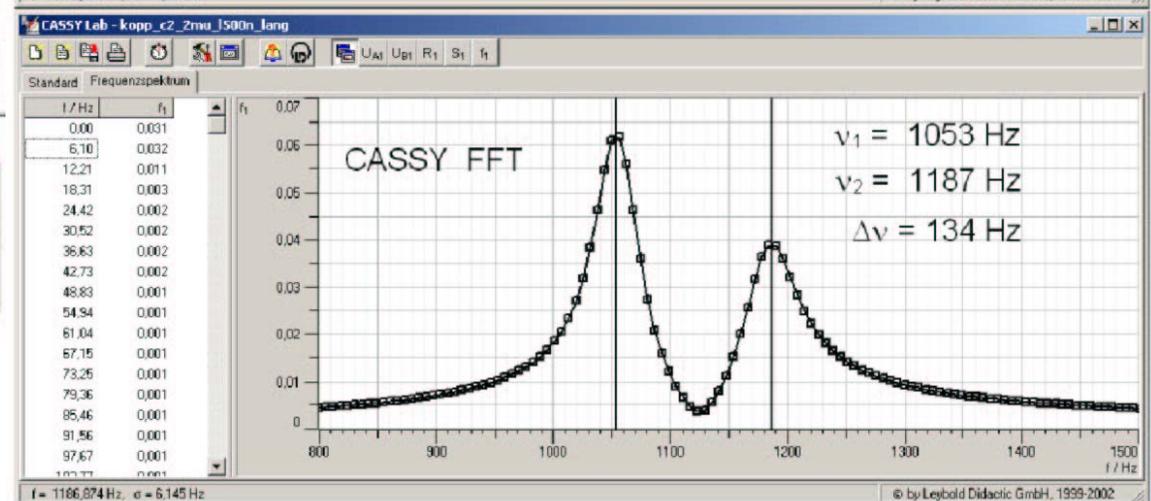
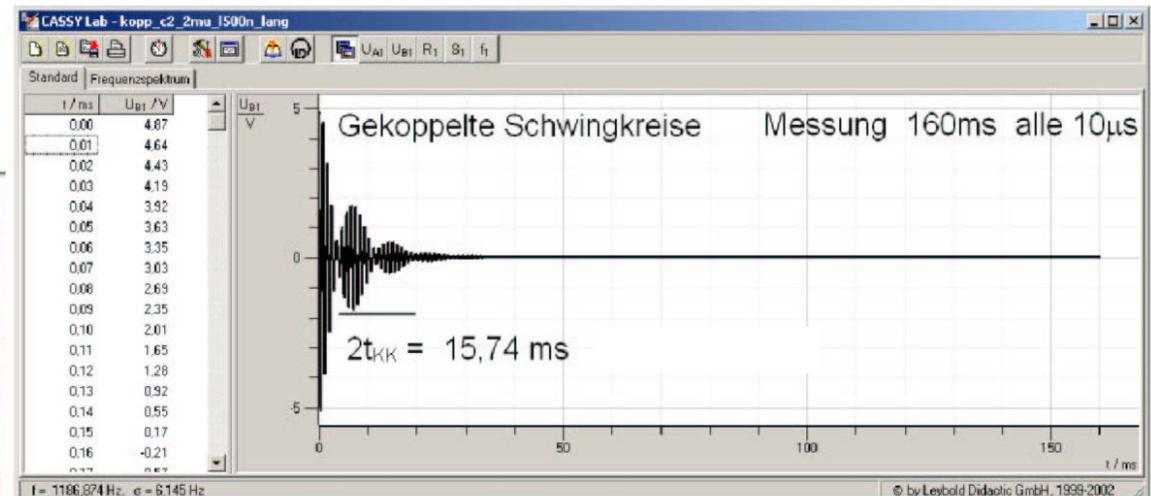
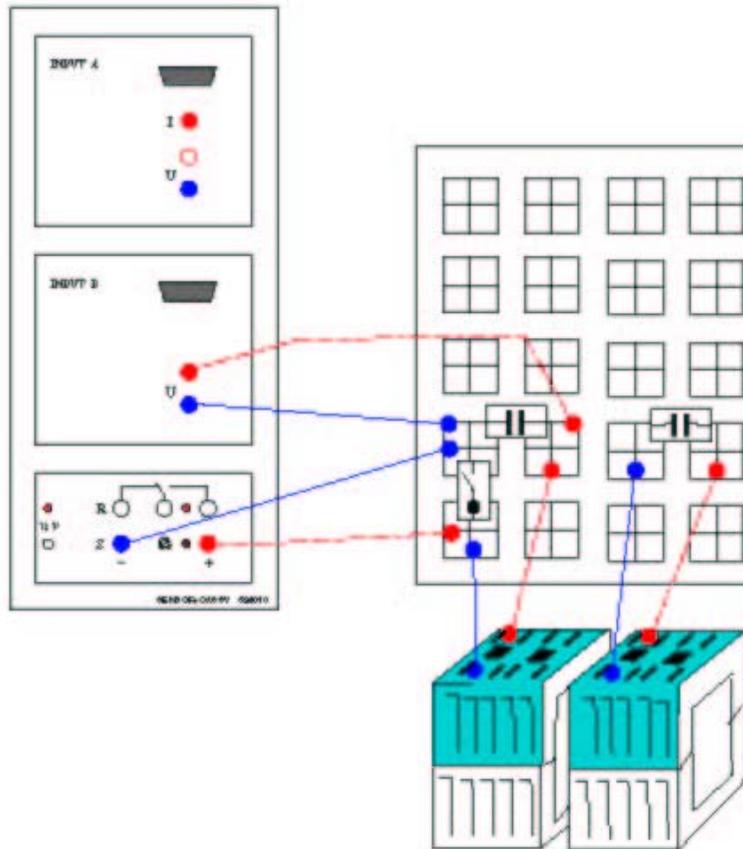
Gedämpfter Schwingkreis, 3. Übung



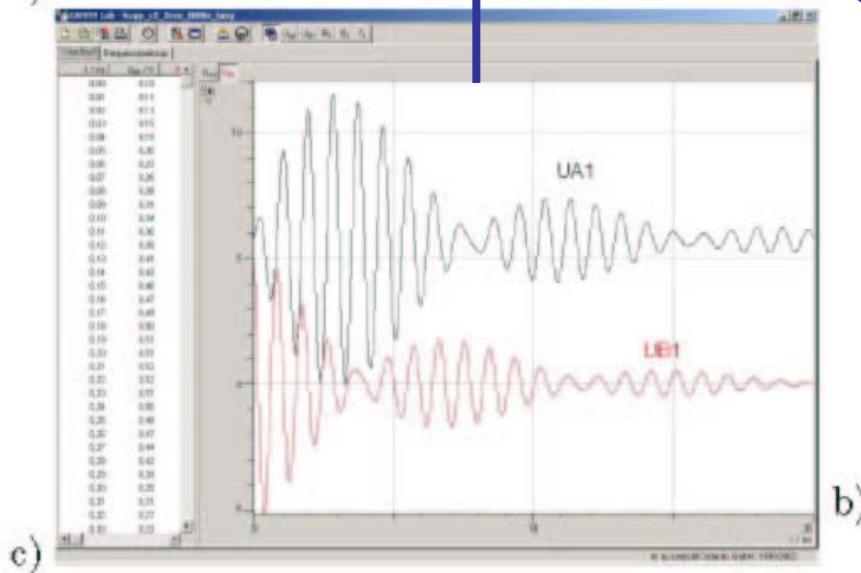
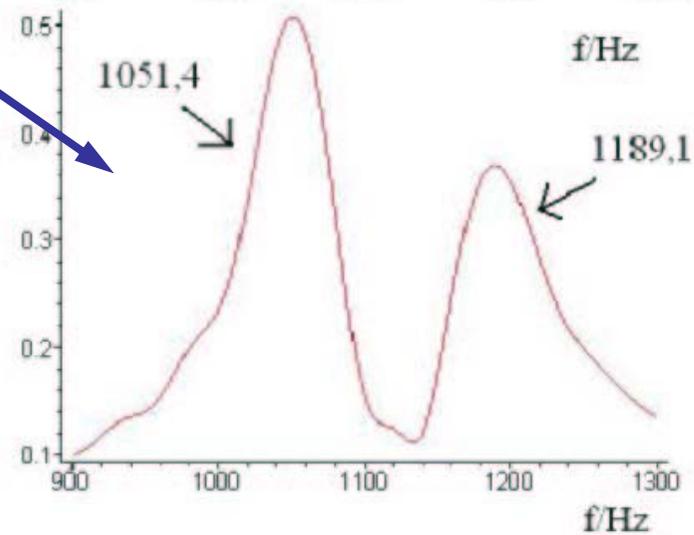
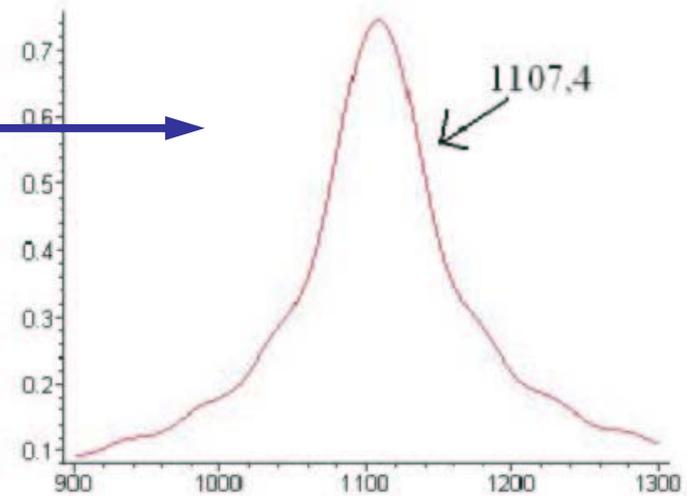
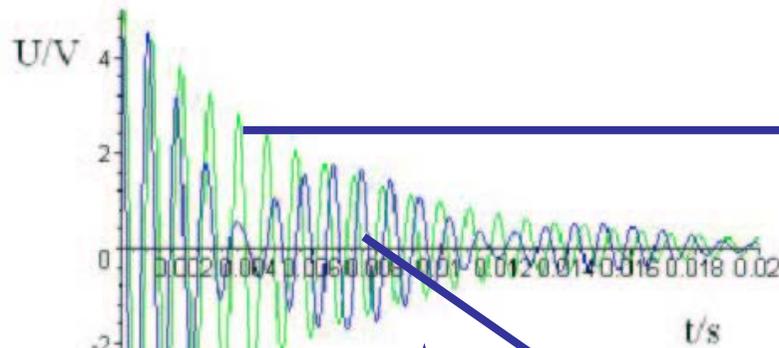
Gekoppelte Schwingungen oder das Ende der CASSY FFT



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 ✓

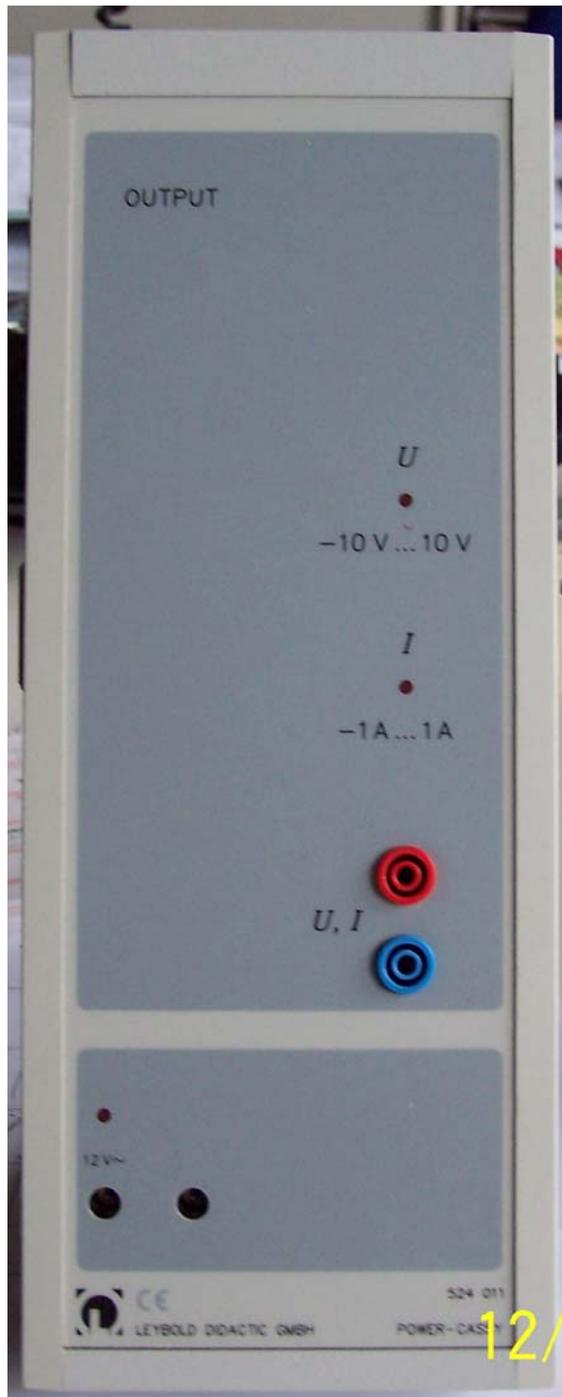
Power Cassy

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

Anschluß an serielle Schnitt-
stelle RS232 des PCs

Spannungsversorgung:

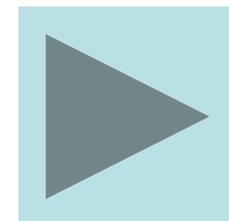
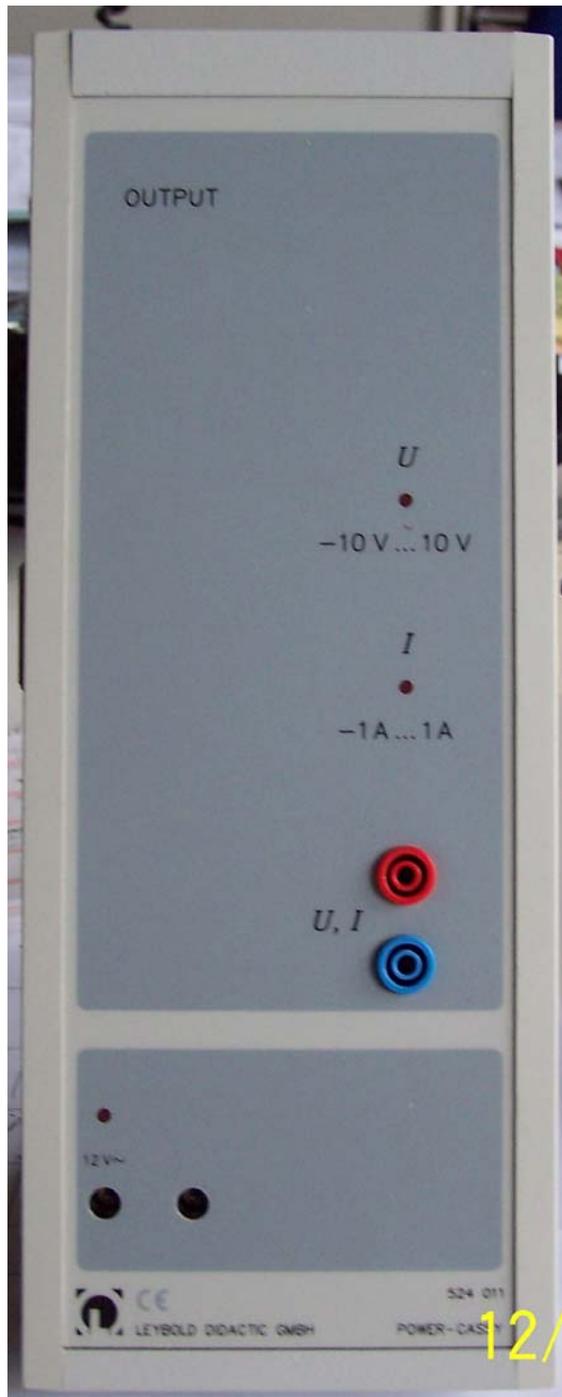
12V AC/DC über Hohlstecker oder
benachbartes Cassy-Modul



Power Cassy

Programmierbare Spannungsquelle mit gleichzeitiger Strommessung:

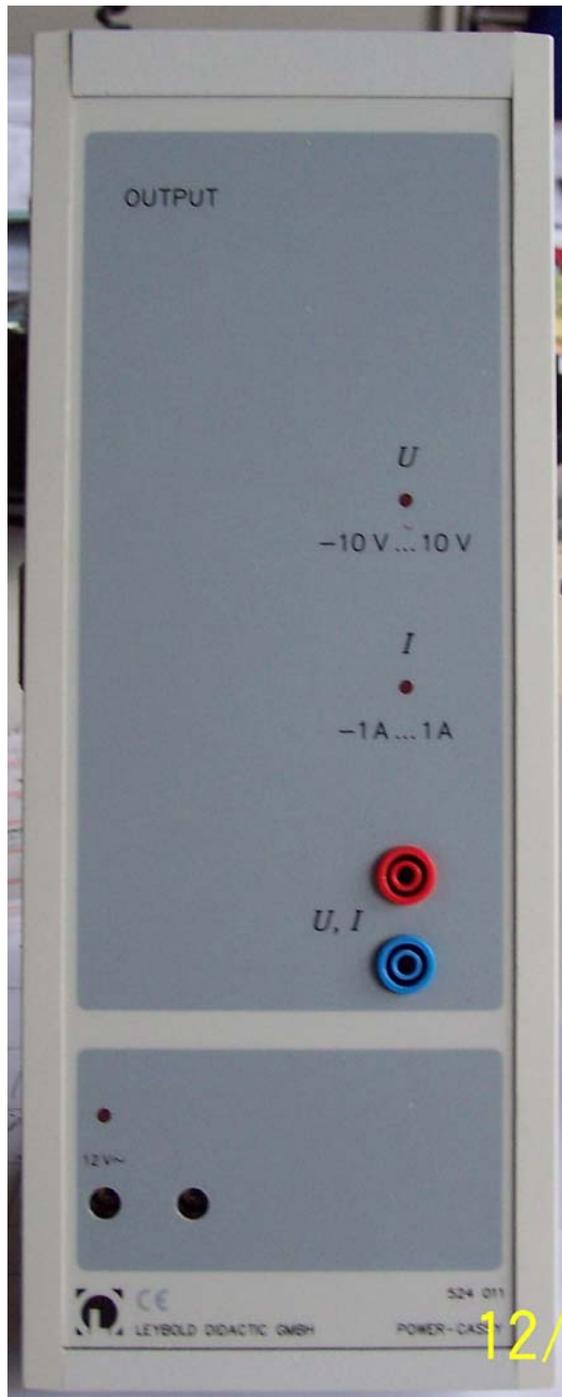
- Auflösung: 12 Bit
- Aussteuerbereich: $\pm 10 \text{ V}$
- Messbereiche: $\pm 0,1/0,3/1 \text{ A}$
- Abtastrate: max. 200.000 Werte/s
(=100.000 Werte/s Spannung und Strom)



Power Cassy

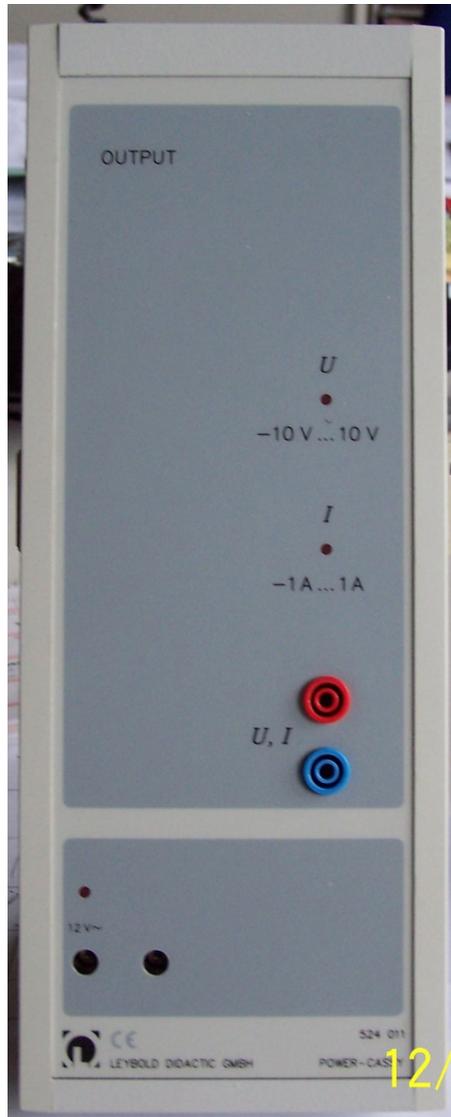
Programmierbare Stromquelle mit gleichzeitiger Spannungsmessung:

- 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 vs Sensor Cassy

4. Übung



Power Cassy:
Sinusspannung mit

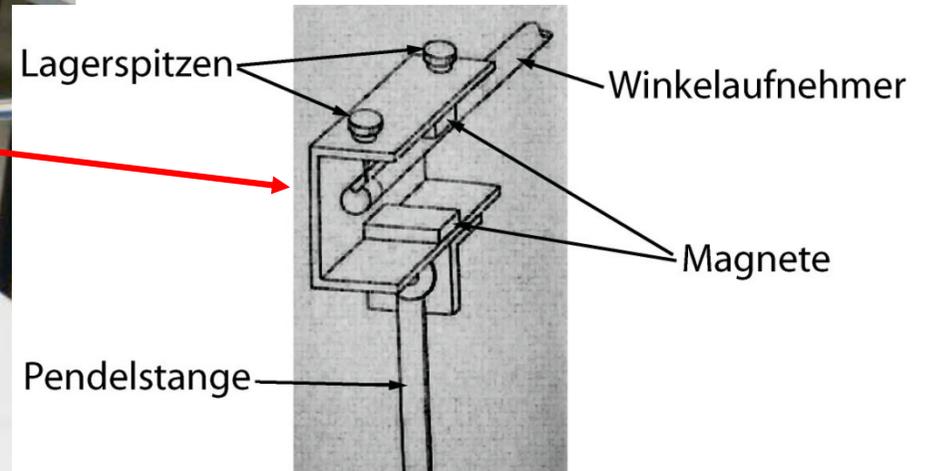
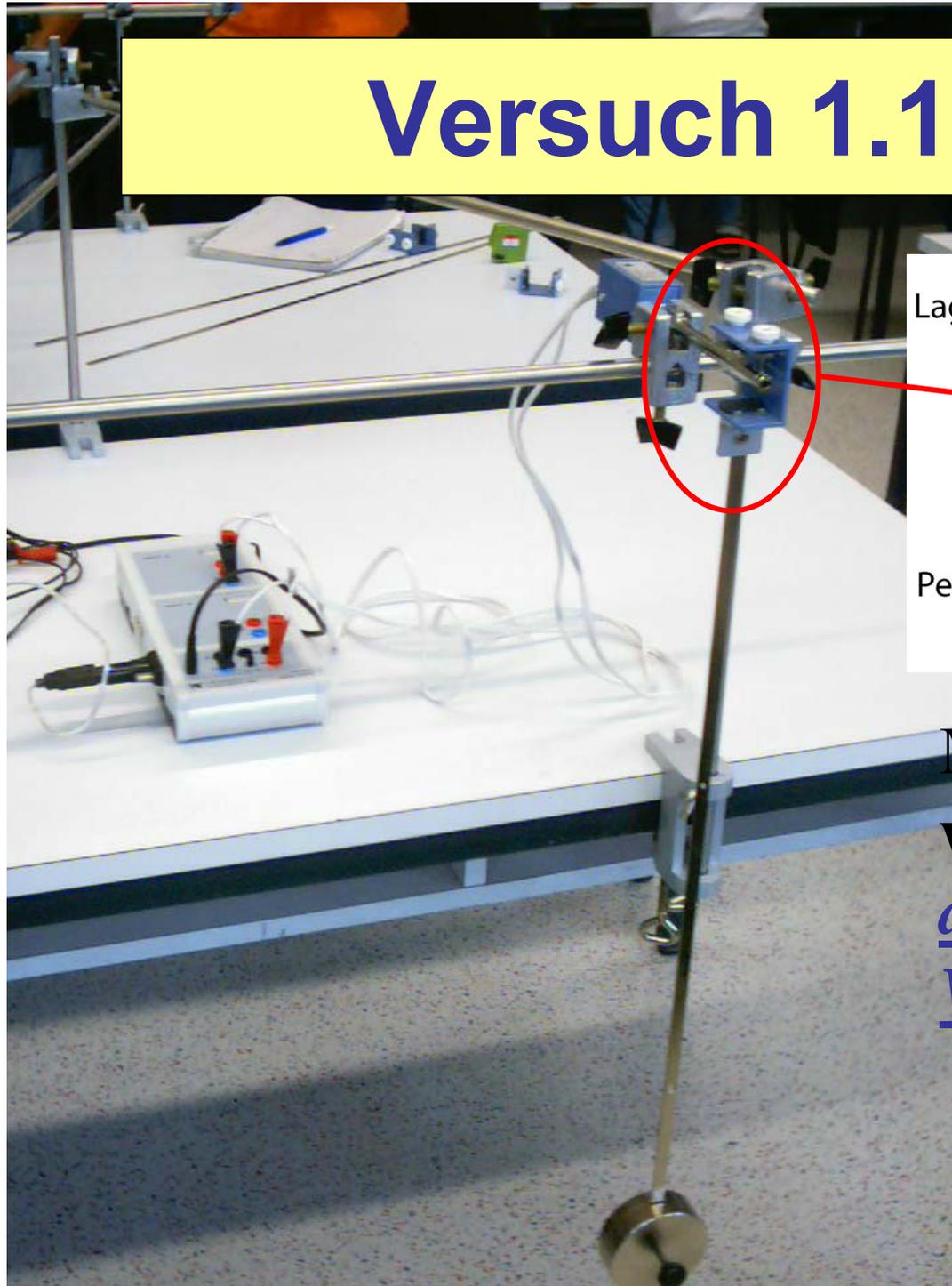
$f = ?$ Hz

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

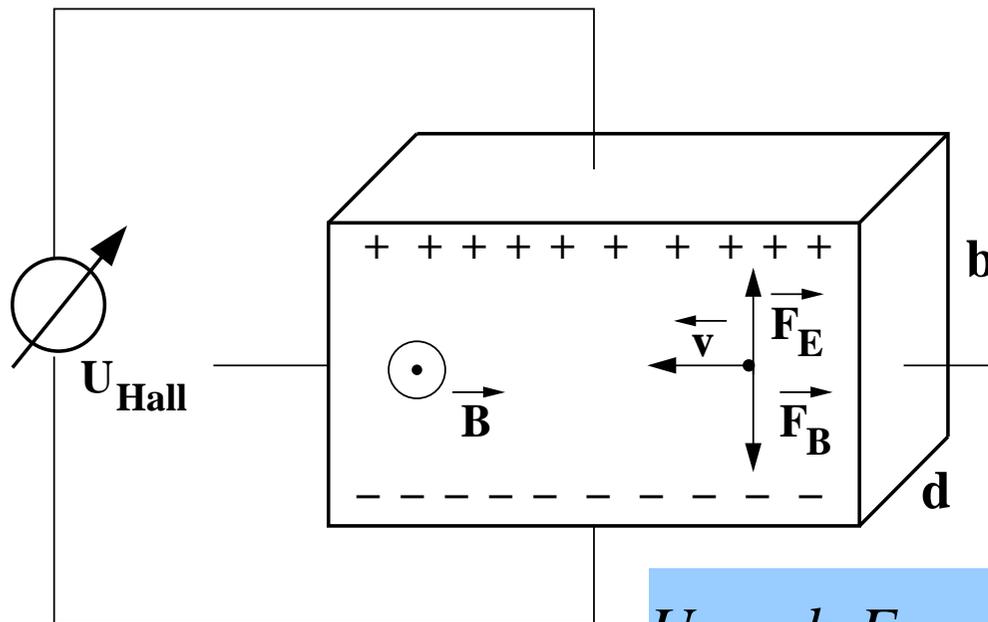
\rightarrow Ladungstrennung \rightarrow E-Feld: $\vec{E} \perp \vec{I}$ und $\vec{F}_E = q \cdot \vec{E}$

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

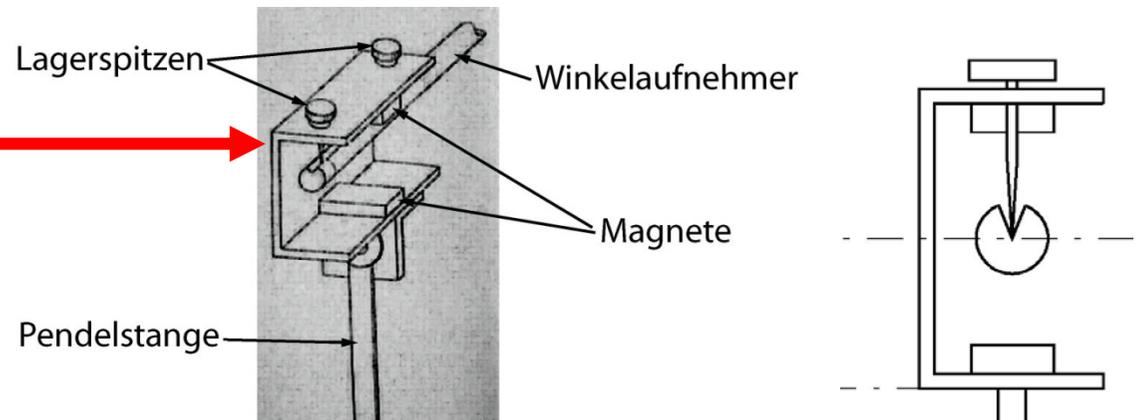
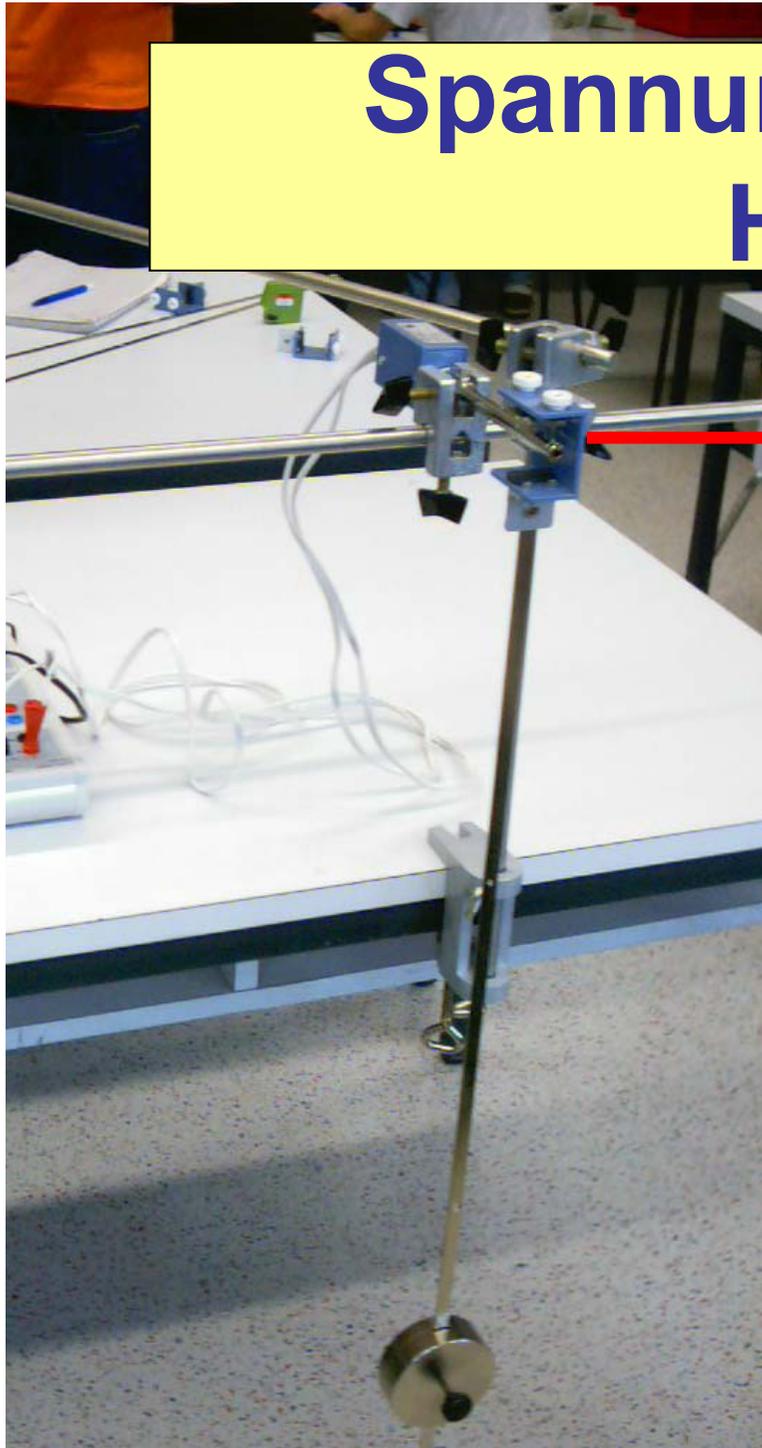
allgemein: $\vec{I} = q \cdot n \cdot A \cdot \vec{v}$

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

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



Spannungsmessung mit Hallsonde



Orientierung der Sonde \rightarrow Empfindlich

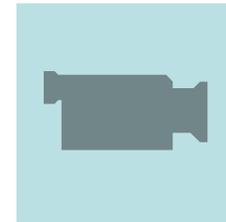
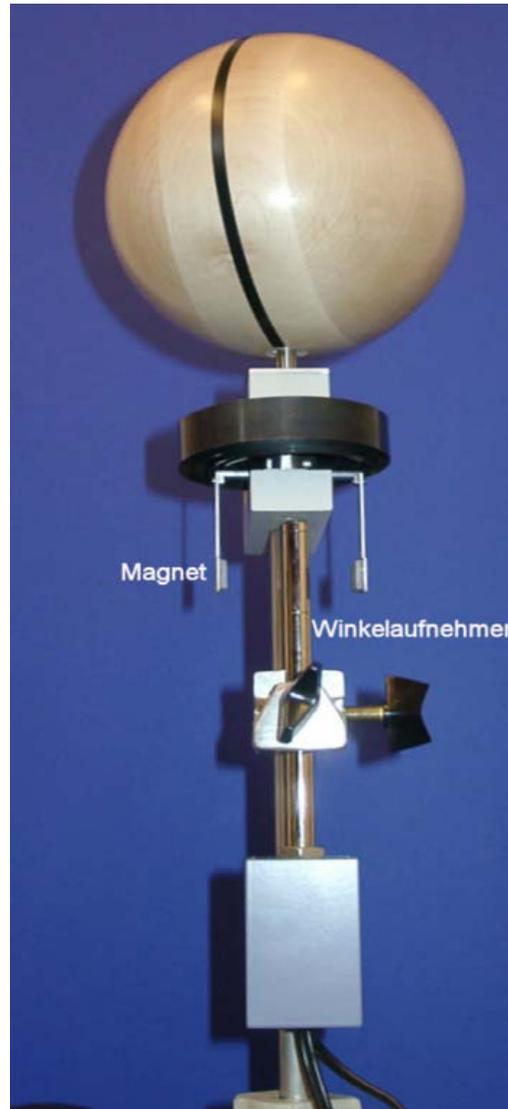
auf horizontale B-Komponente B_h

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

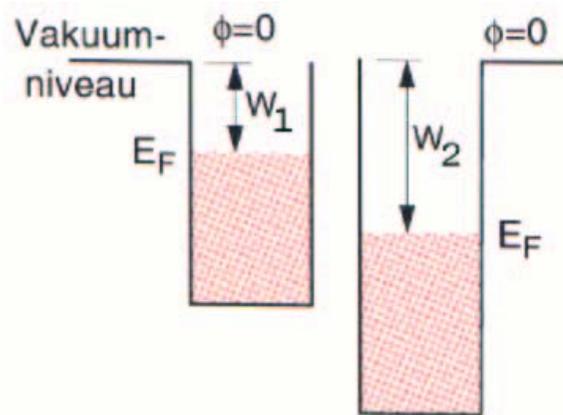
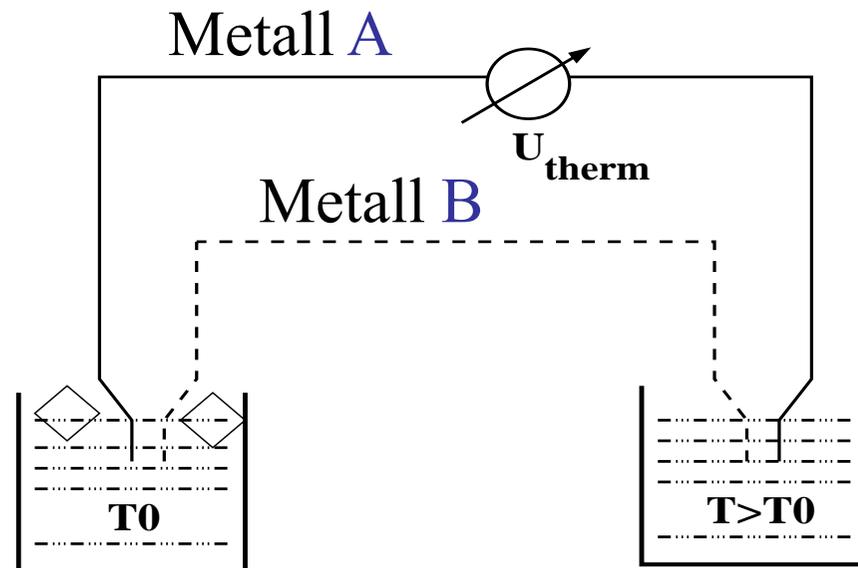
Auslenkung um Winkel $\rightarrow B_h = B \cdot \sin \delta$

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

Spannungsmessung mit Hallsonde



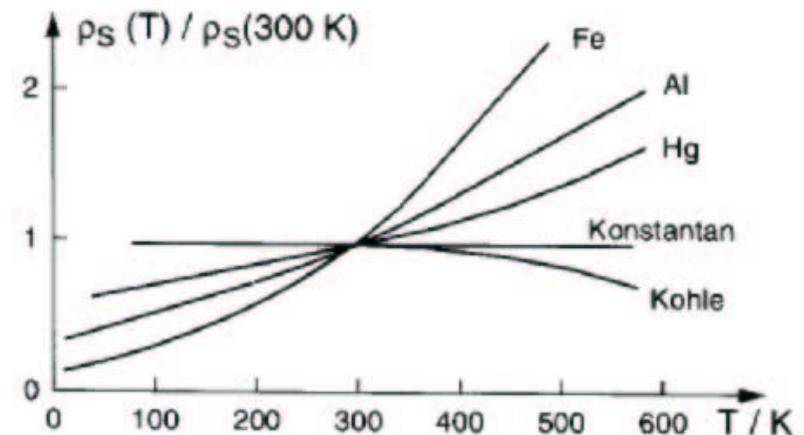
Thermospannung



Seebeckeffekt: thermoelektrische Erscheinung bei Erwärmung an Grenzfläche zweier verschiedener Leiter (Metalle oder Halbleiter)

Temperaturabhängigkeit des spezifischen Widerstandes ρ_e

$$\rho_e = \rho_e(T_0) \cdot [1 + \alpha(T_0) \cdot (T - T_0)]$$



Thermoelement



Thermoelement: NiCr-Ni

Empfindlichkeit: $41 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$

Temperaturbereich:

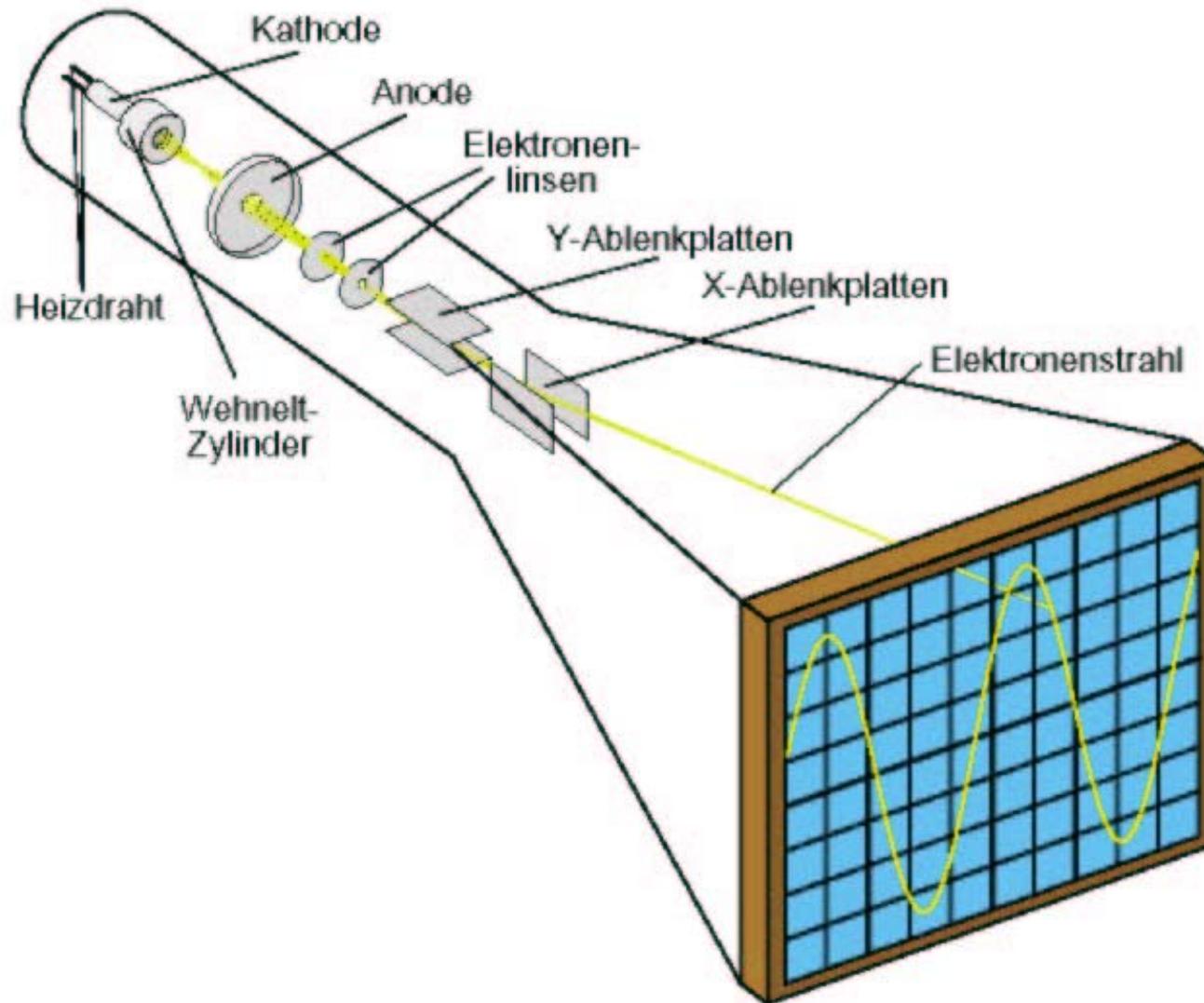
$-200 \text{ }^\circ\text{C} \dots +1200 \text{ }^\circ\text{C}$

Toleranz: $-40 \text{ }^\circ\text{C} \dots +375^\circ\text{C}$

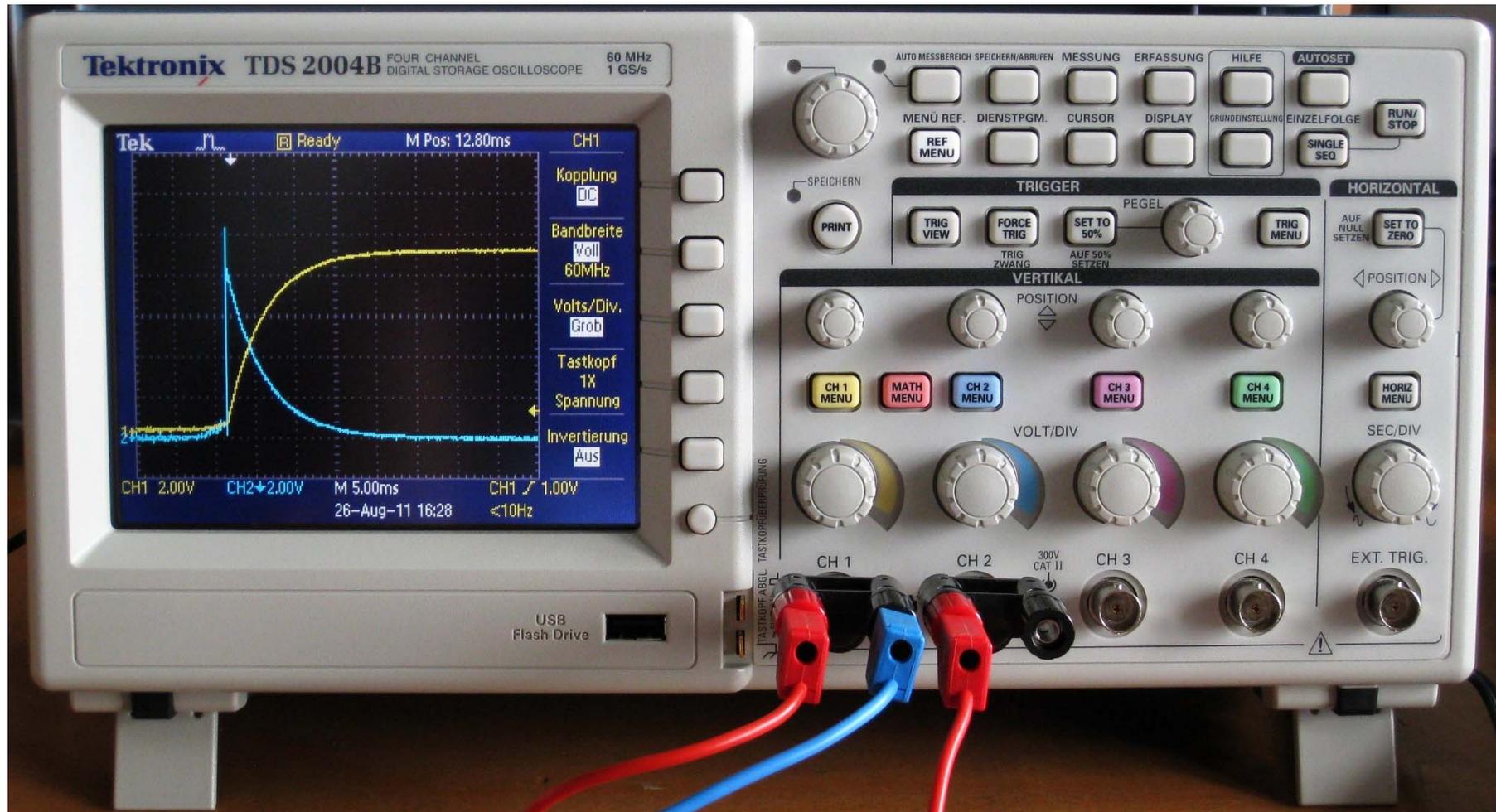
$\pm 1,5 \text{ }^\circ\text{C}$

Ansprechzeit: $>15 \text{ s}$ in Gas

Oszilloskop (Braunsche Röhre)



Digital Oszilloskop

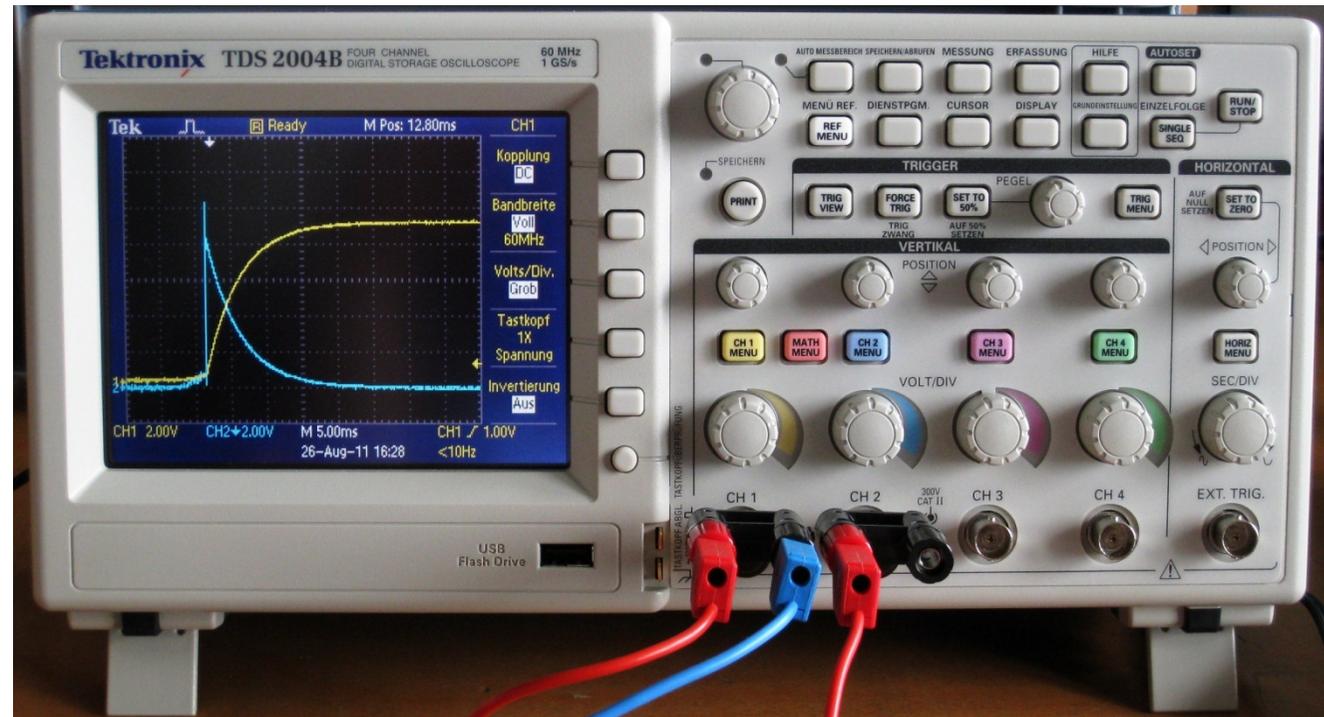
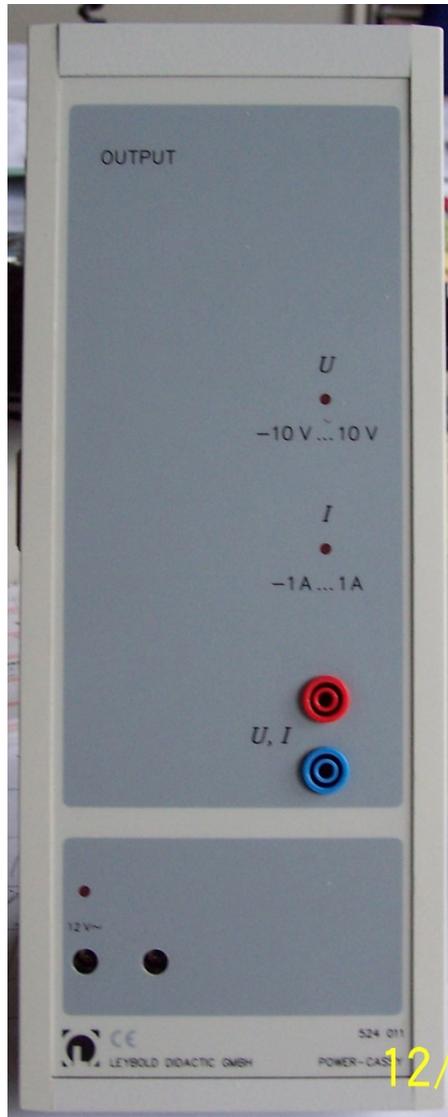


<http://virtphys.uni-bayreuth.de/elek/quickstart.html>

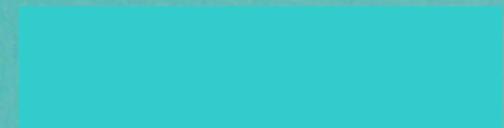


Power Cassy vs Sensor Cassy

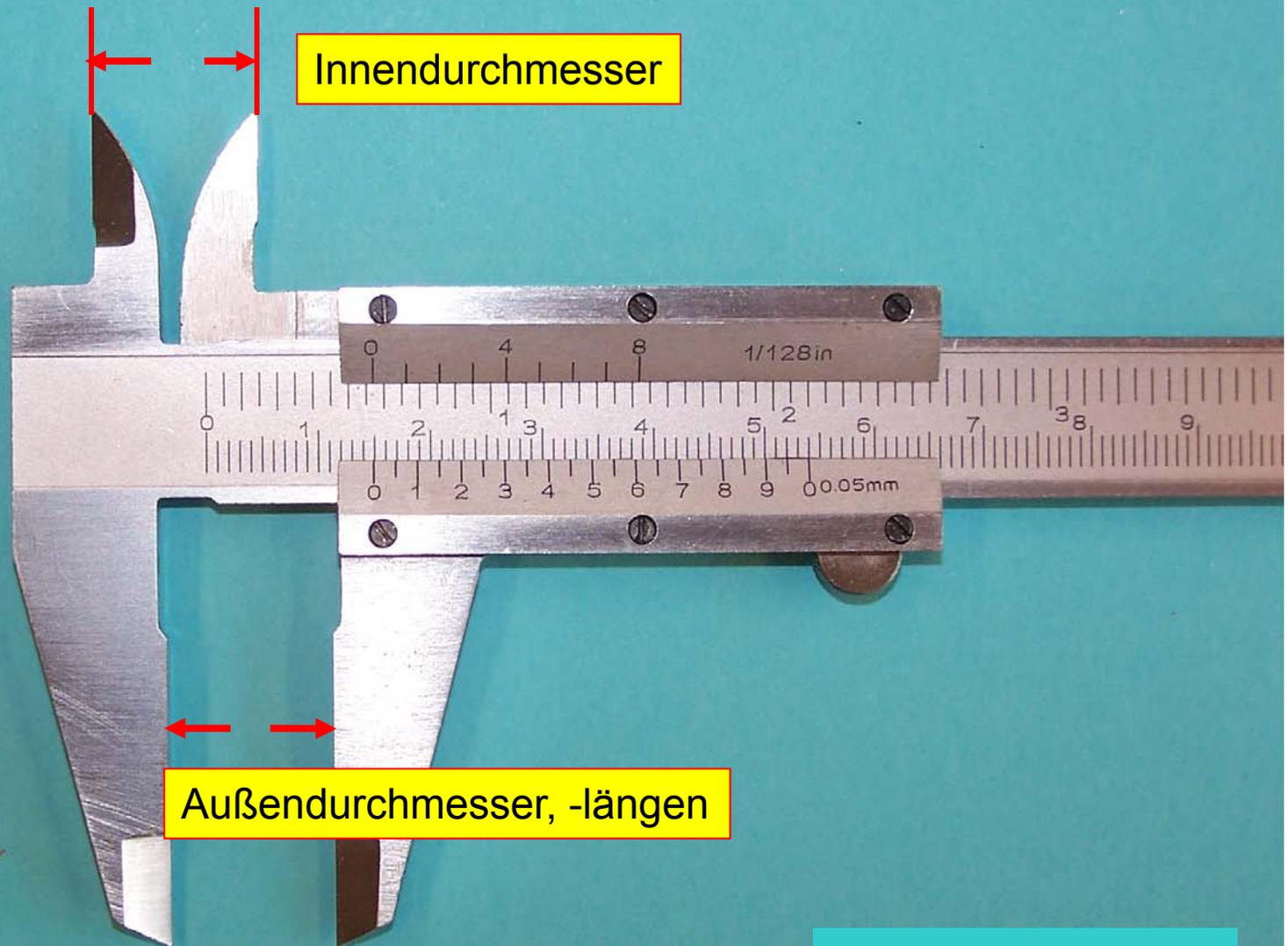
5. Übung



Längenmessungen



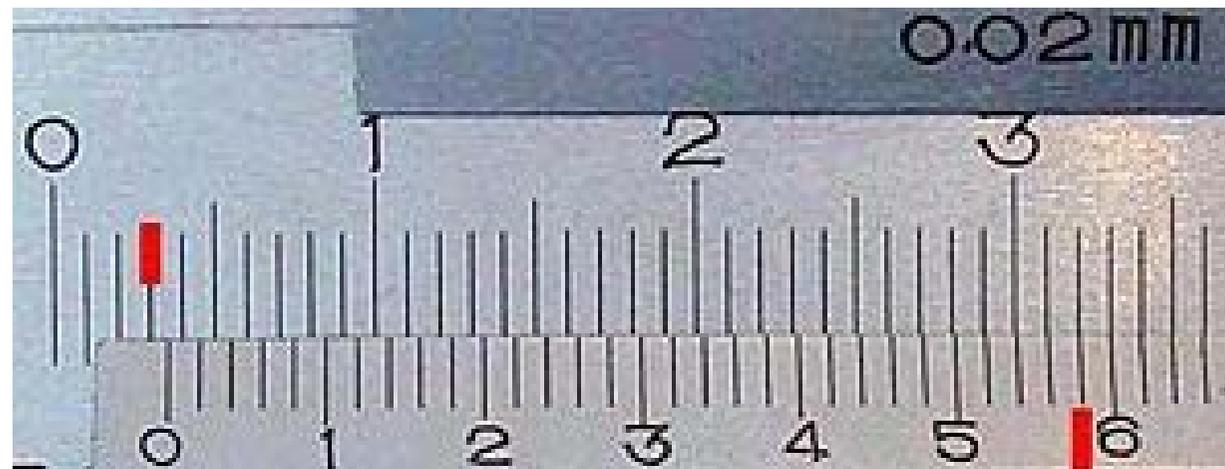
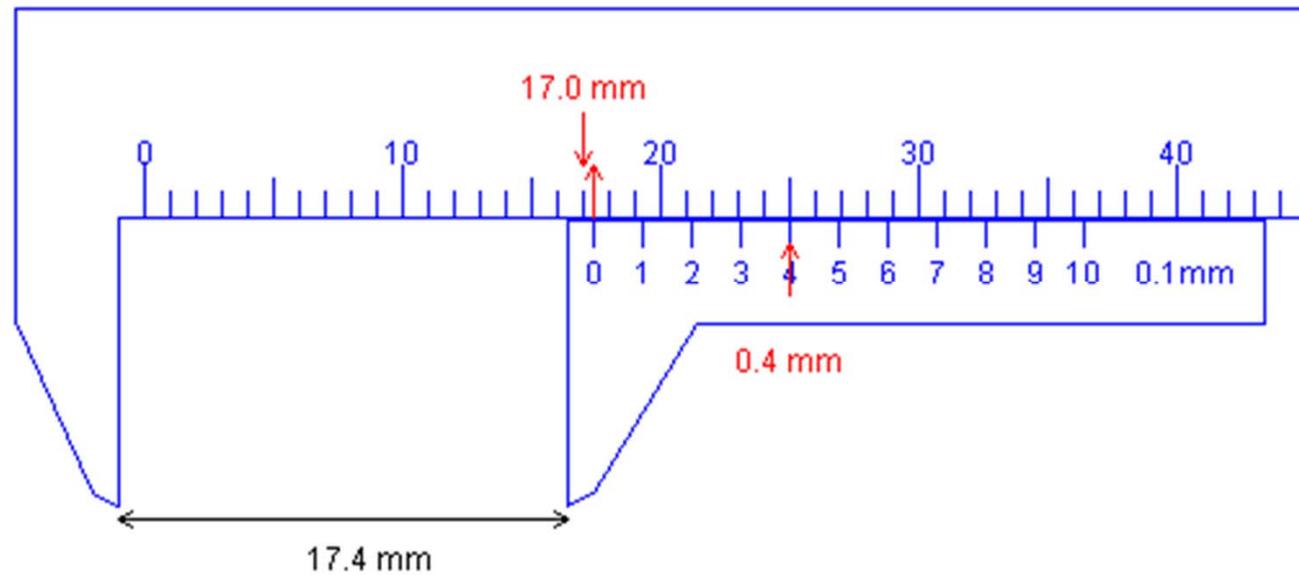
Längenmessungen mit Messschieber



Innendurchmesser

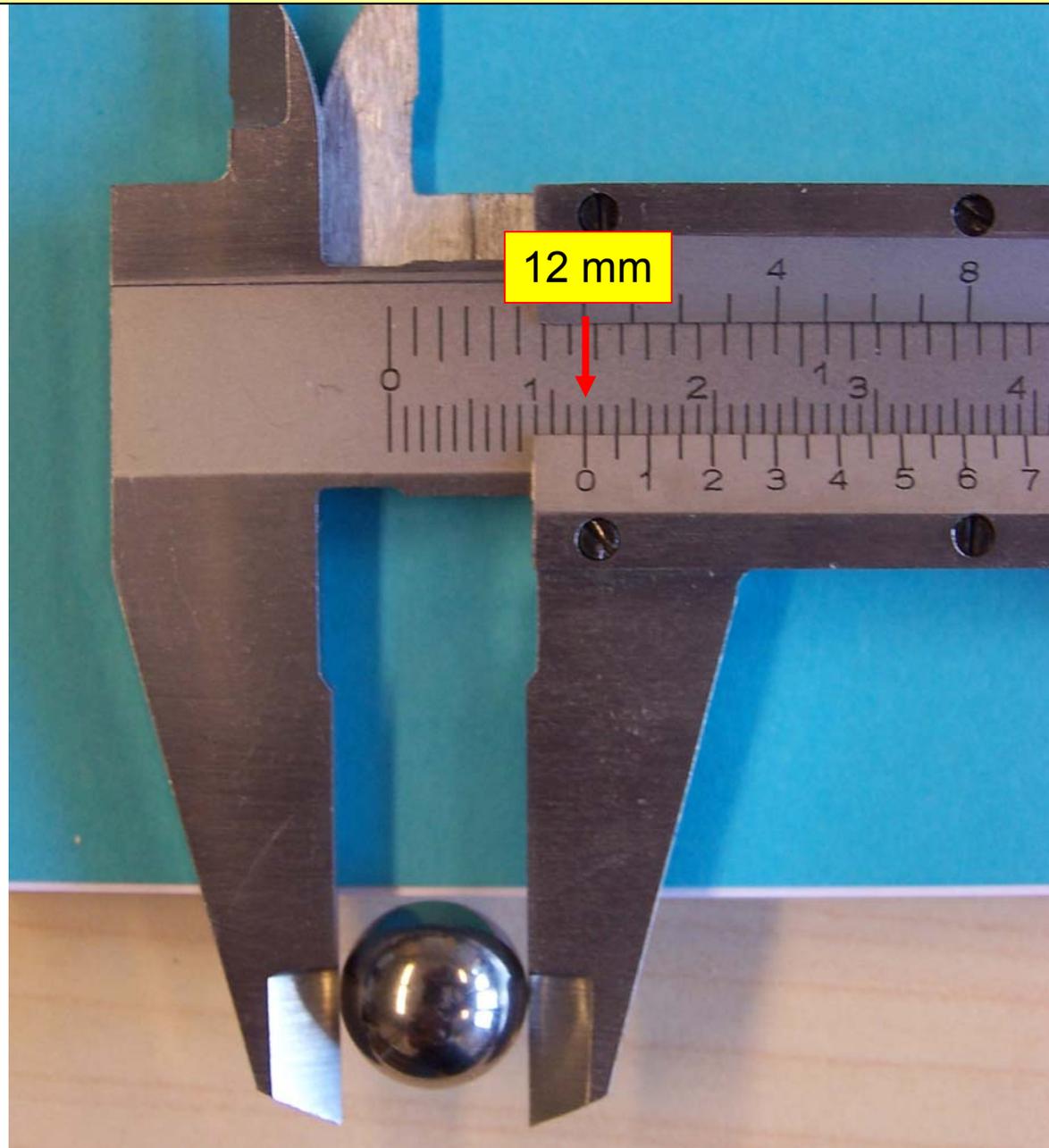
Außendurchmesser, -längen

Längenmessungen mit Messschieber

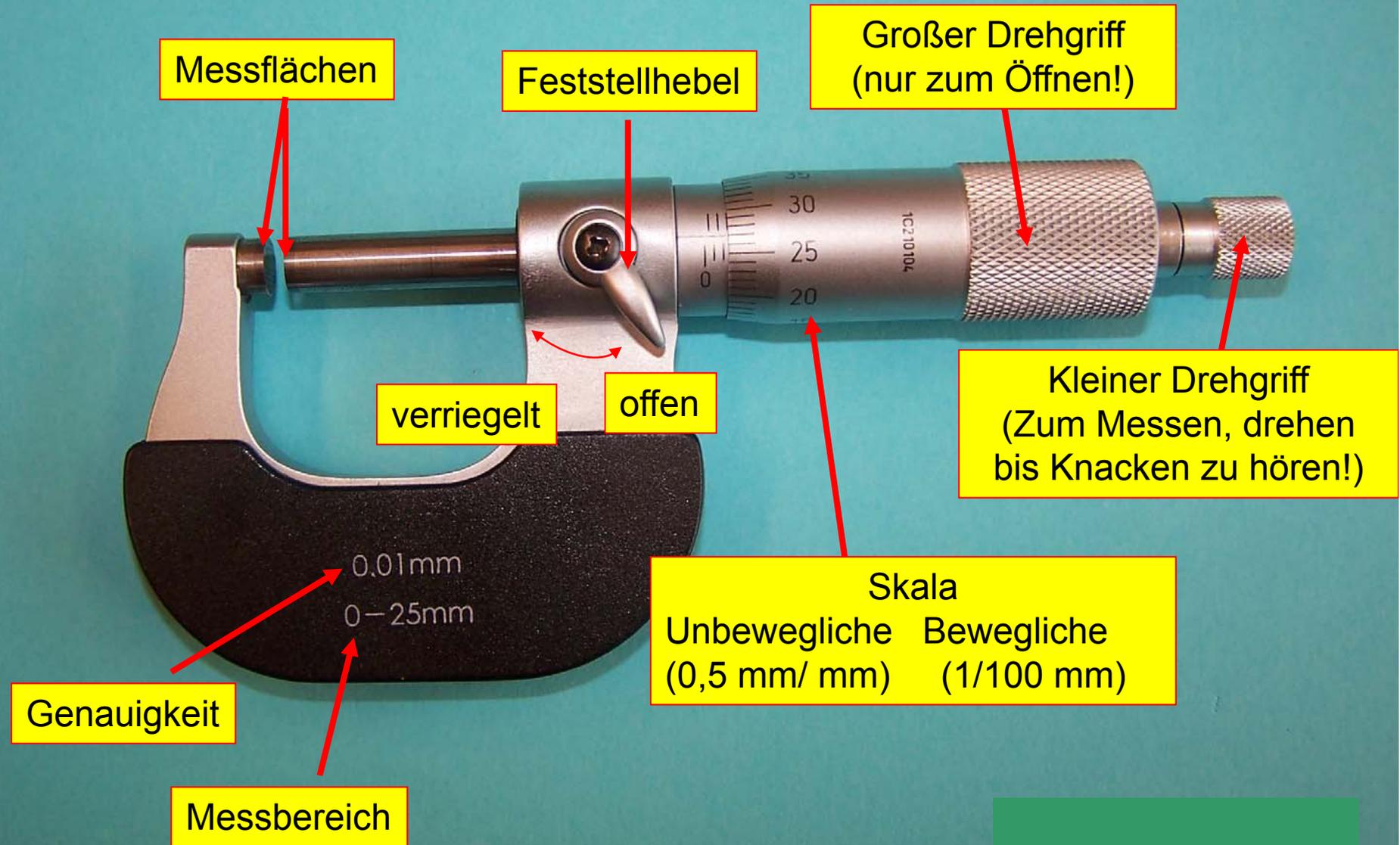


3,58 mm

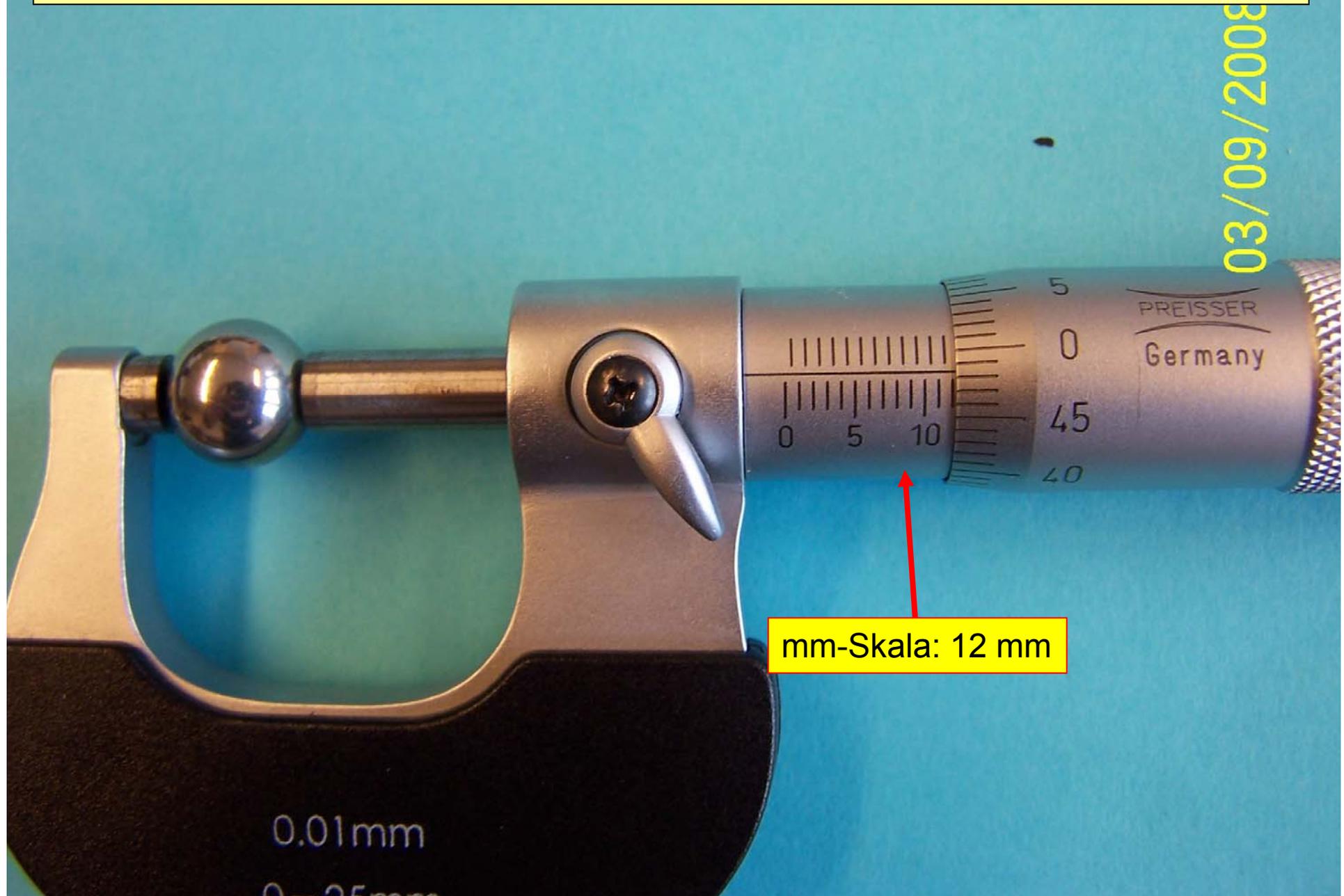
Längenmessungen mit Messschieber



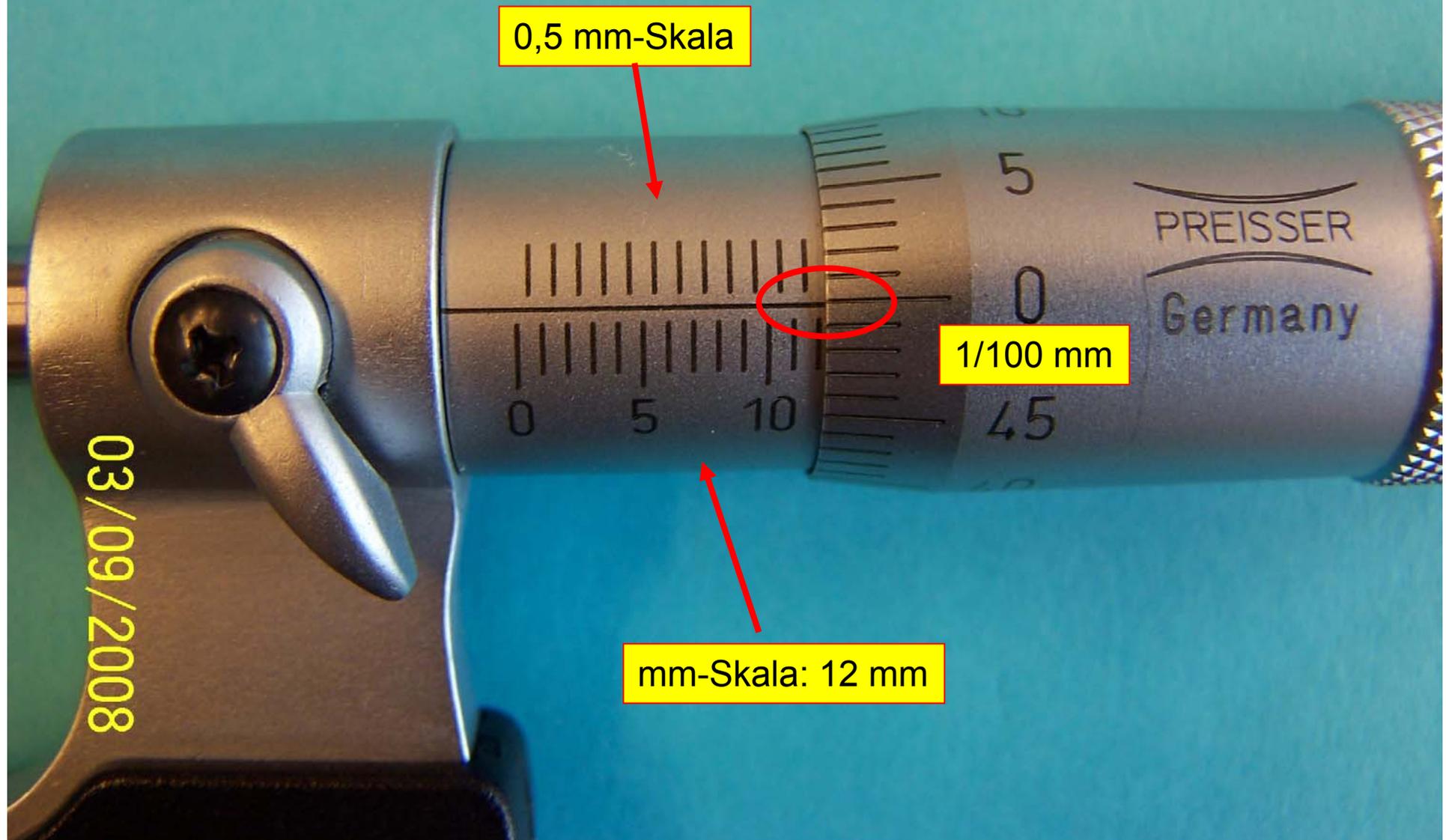
Längenmessungen mit Mikrometerschraube



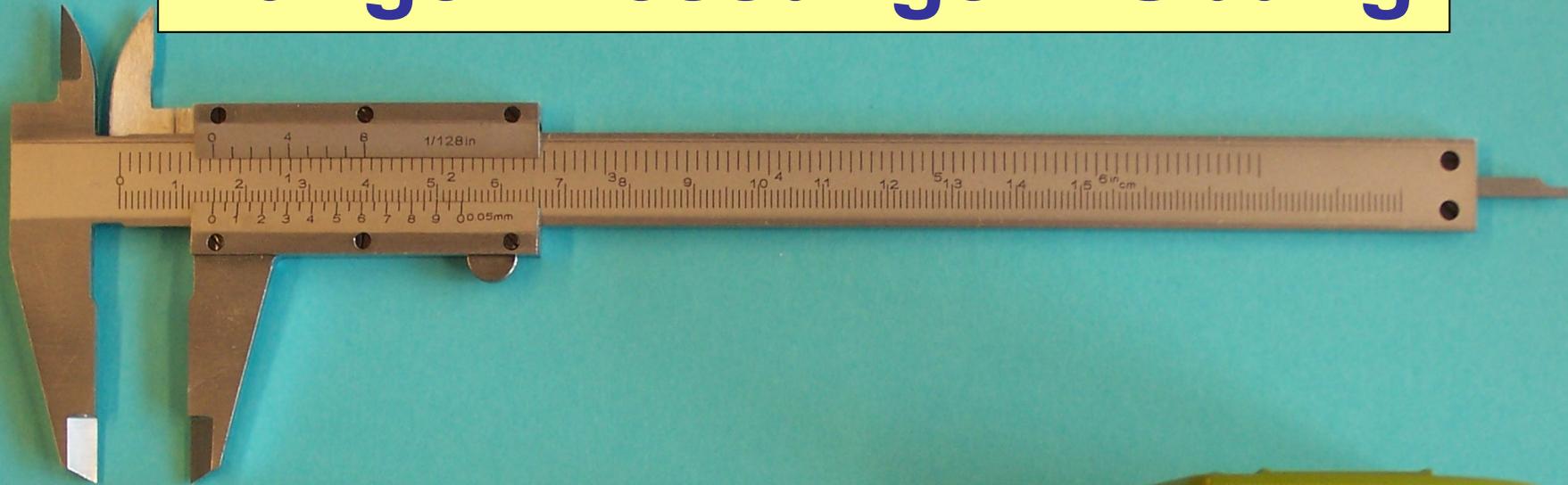
Längenmessungen mit Mikrometerschraube



Längenmessungen mit Mikrometerschraube



Längenmessungen: Übung



Digital-Kamera PC-CAM 600



Viel Erfolg !