

# Messinstrumente im physikalischen Grundpraktikum

Dr. Th. Kirn

I. Physikalisches Institut B

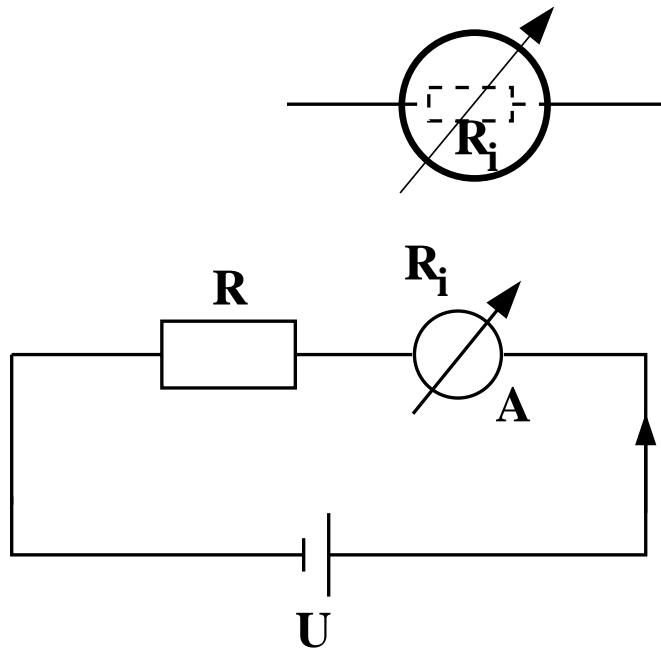
## Messinstrumente im physikalischen Grundpraktikum

- 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!

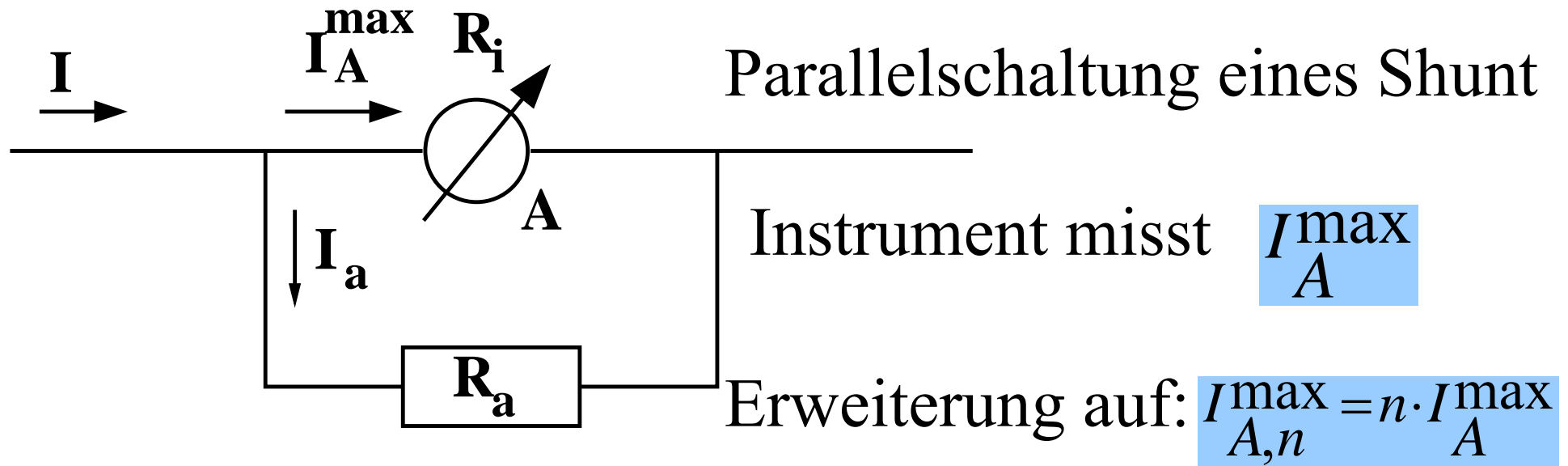
Erwarteter Strom:  $I = \frac{U}{R}$



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

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

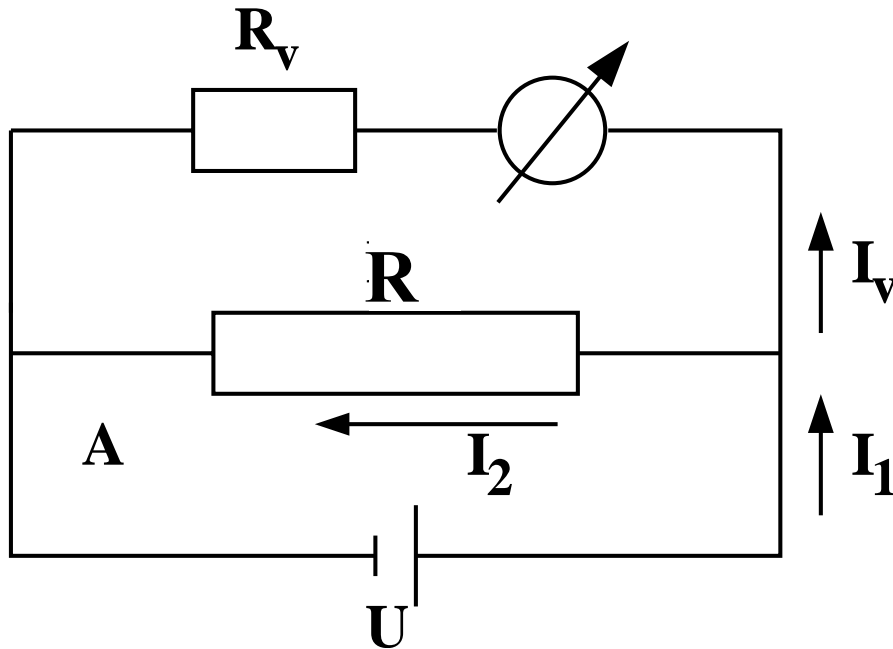
# Messbereichserweiterung



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



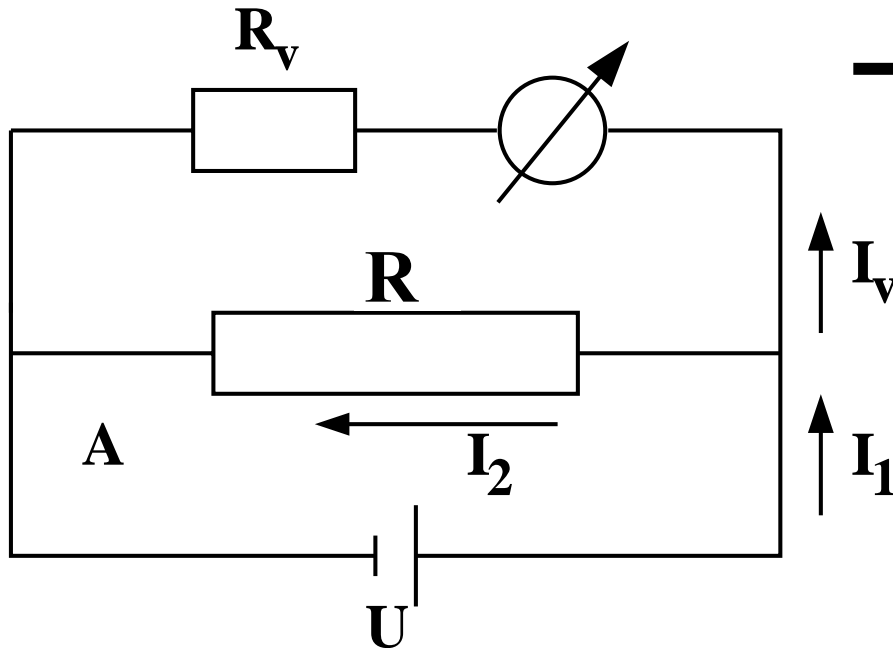
Spannungsmesser sind mittels  
Ohmschen Gesetz in Volt  
geeichte Amperemeter

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

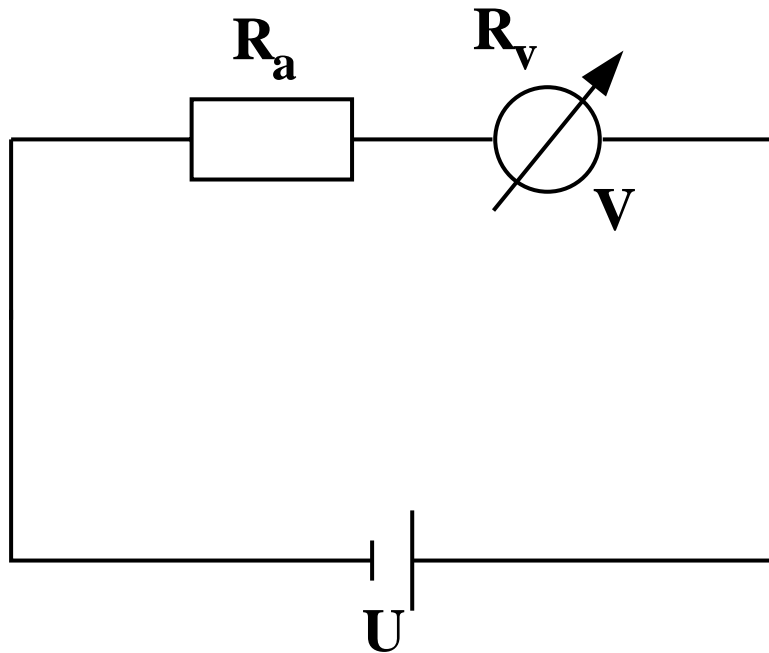
$$I_1 = U \cdot \left( \frac{1}{R_v} + \frac{1}{R} \right) = I \cdot \frac{R + R_v}{R_v} > I = \frac{U}{R}$$

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:

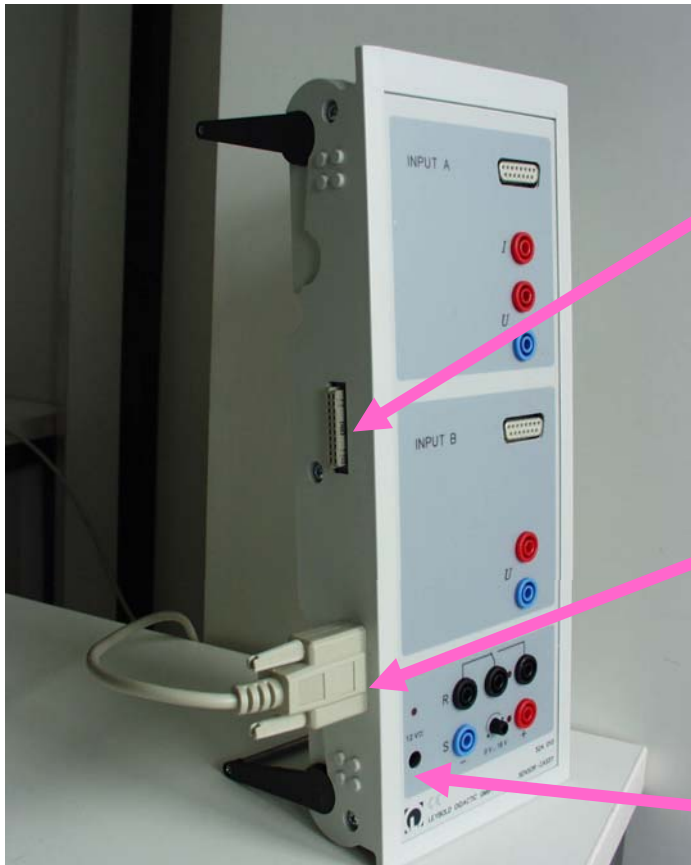
Eingang A (I,U)

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:

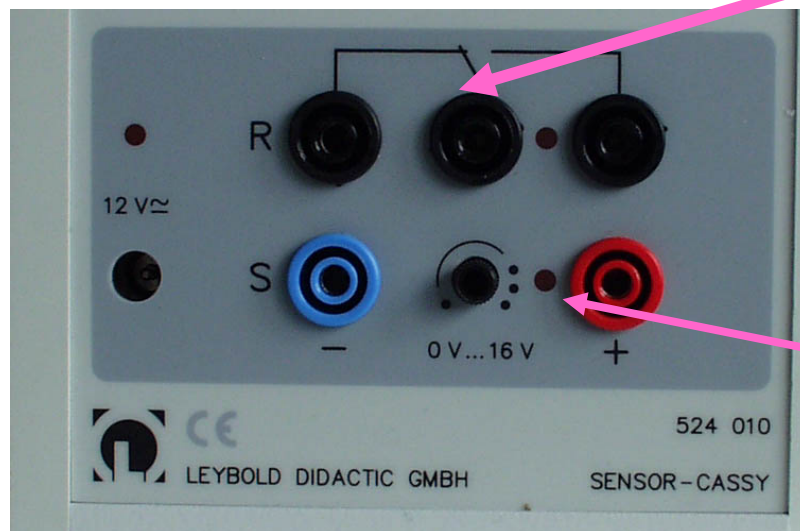
12V AC/DC über Hohlstecker oder  
benachbartes Cassy-Modul

# 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

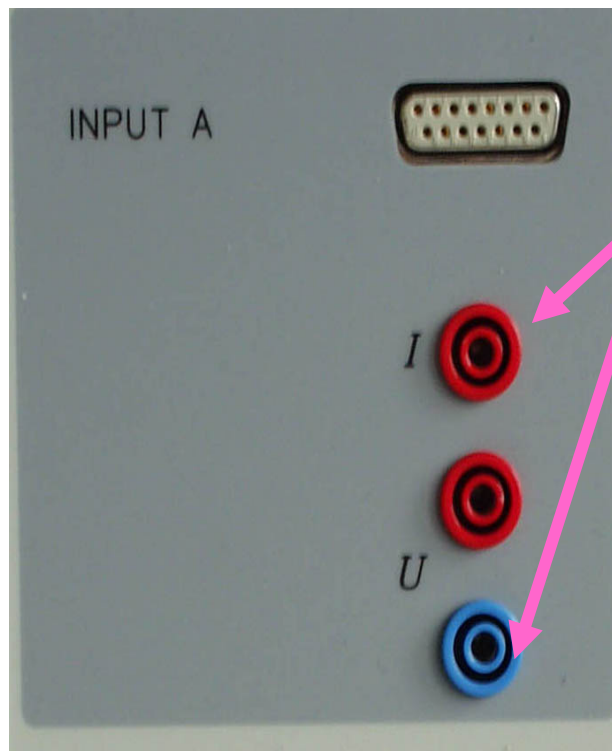
2 analoge Spannungseingänge A und B:

- 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 $\Omega$
- Abtastrate: max. 200.000 Werte/s  
(=100.000 Werte/s pro Eingang)
- Anzahl Messwerte: max. 32000  
(= 16000/ Eingang)



# Sensor-Cassy Interface

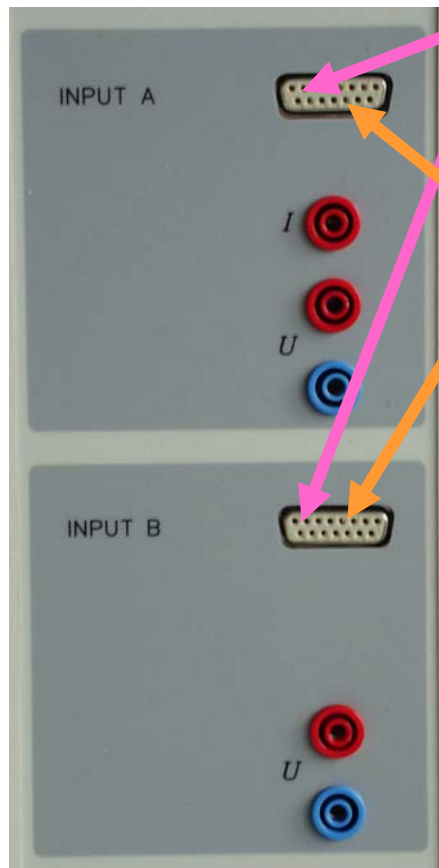
## Eingang A:



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:  $0,25\ \mu\text{s}$
- 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, a toolbar contains icons for file operations and measurement functions, with function keys F4 through F7 labeled above them. The main window shows a data table with columns for time (t/s), voltage (U<sub>B1</sub>/V), and current (I<sub>A1</sub>/A). A pop-up window titled 'Spannung U<sub>B1</sub>' 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

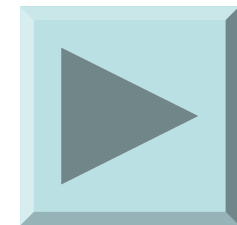
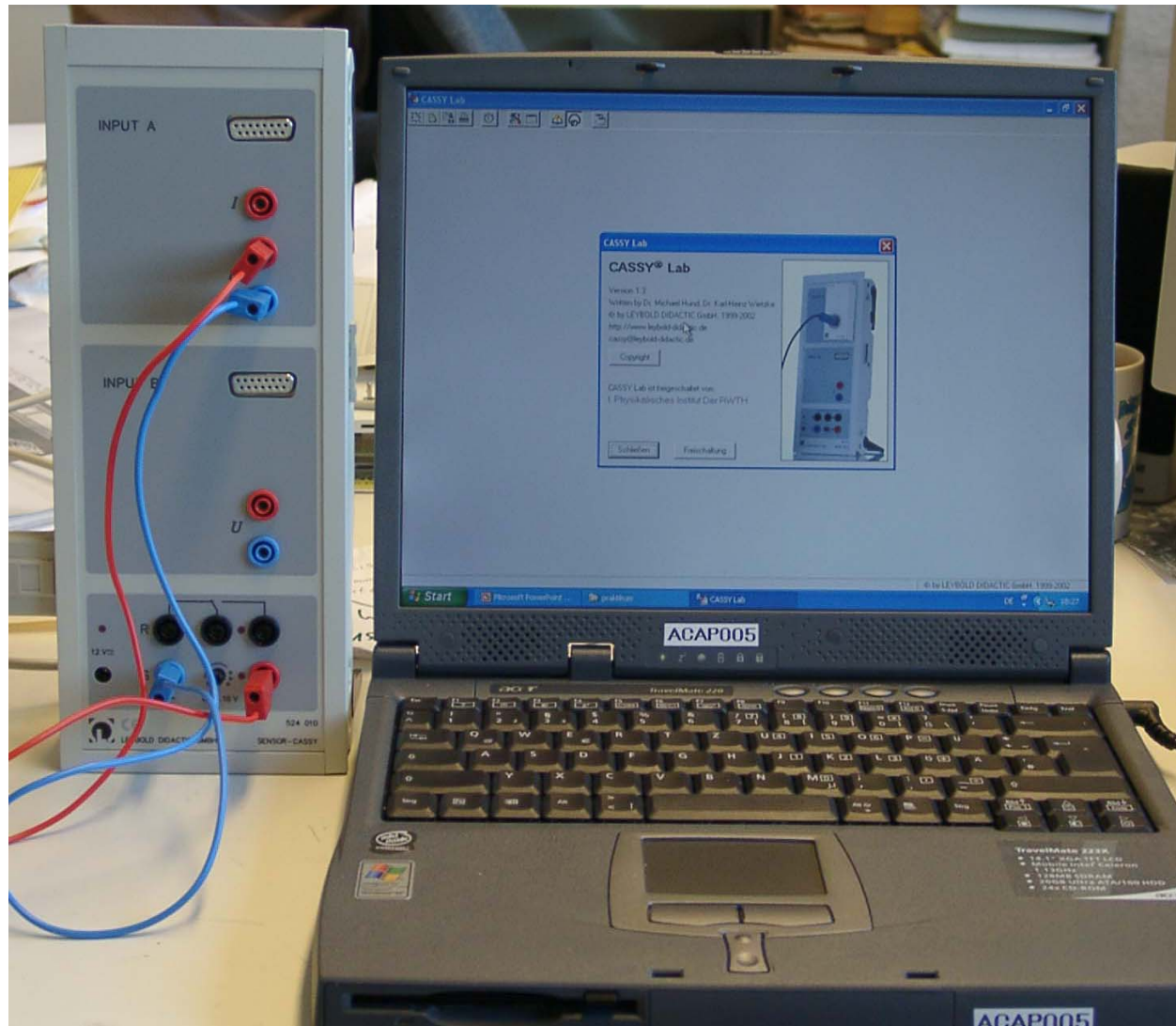
t / s	U <sub>B1</sub> / V	I <sub>A1</sub> / A
0,0	0,00	0,000
0,1	0,00	0,000

Spannung U<sub>B1</sub>

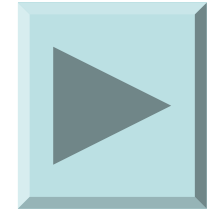
U<sub>B1</sub> = 0,01 V



# Cassy Lab, 1. Übung



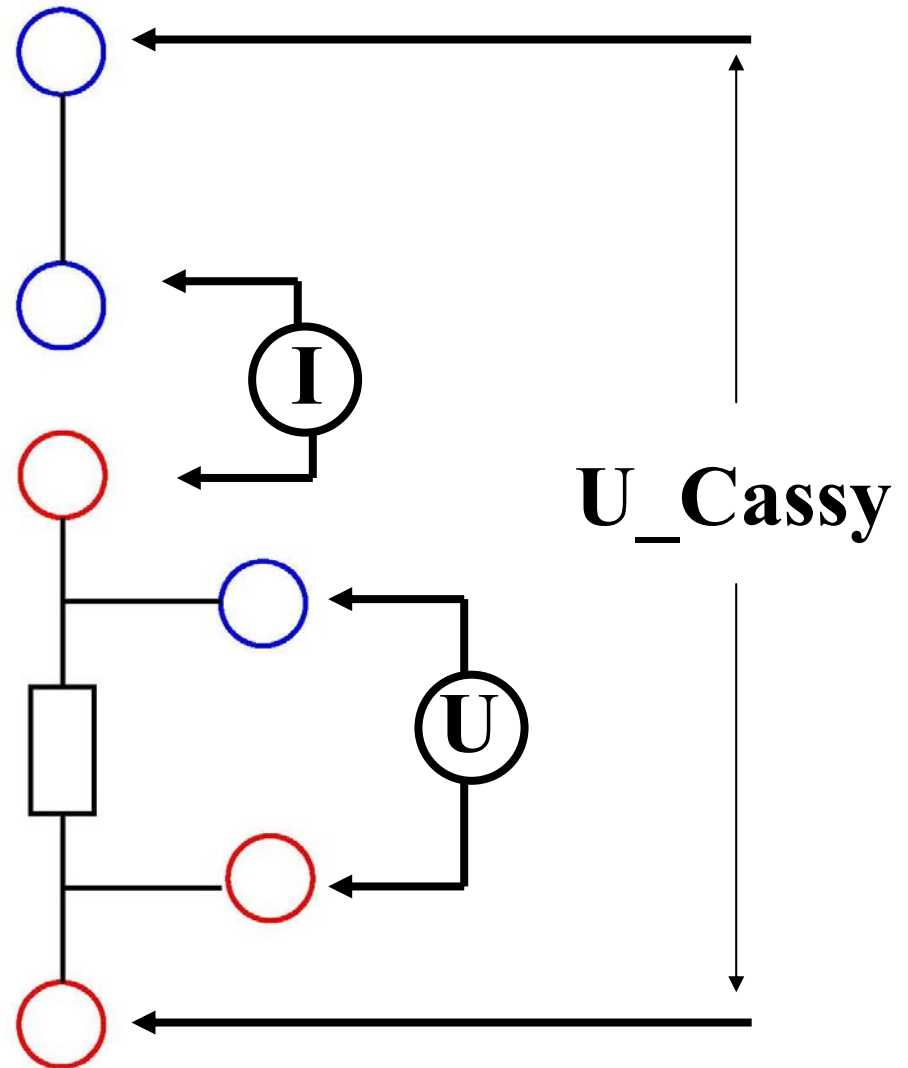
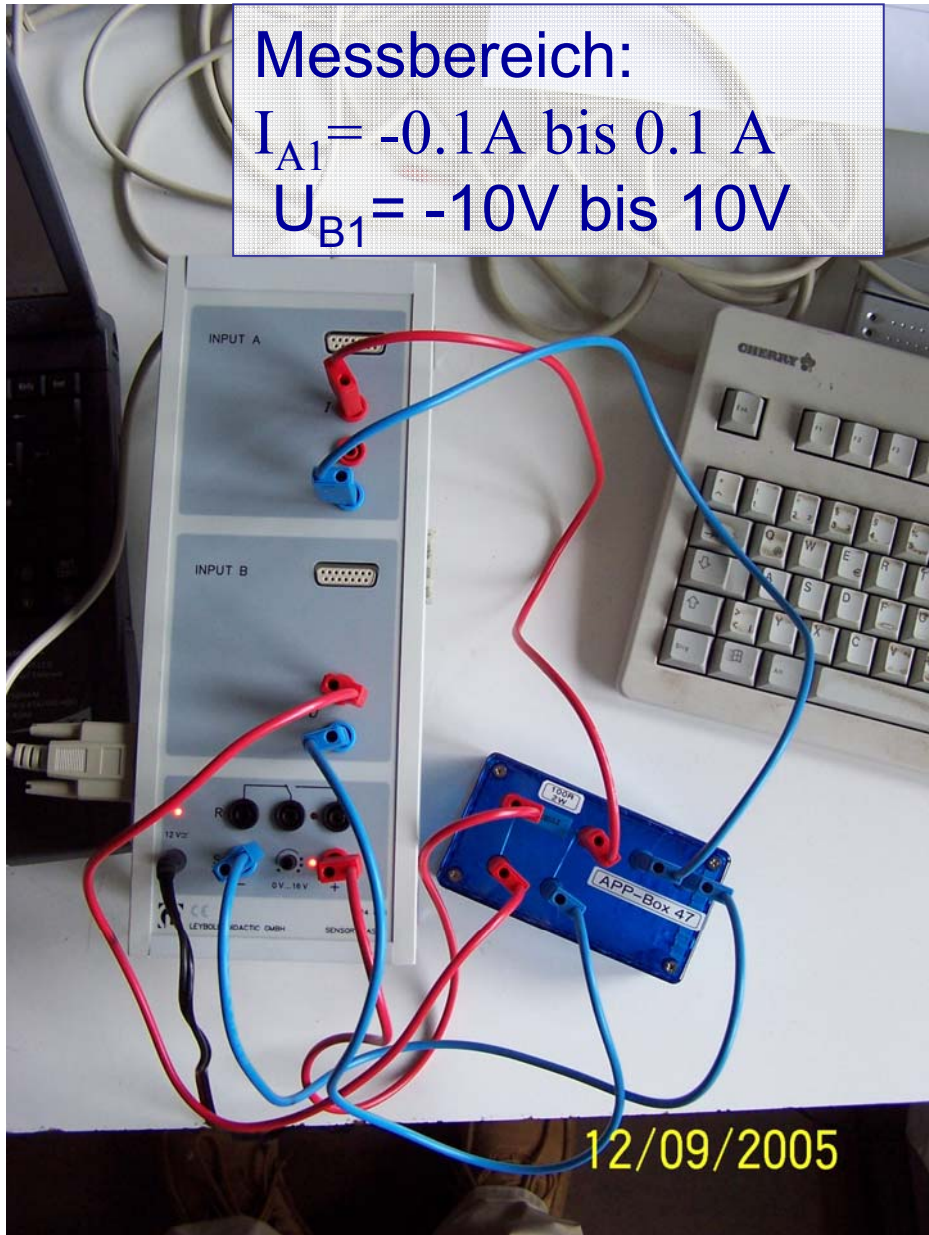
# Cassy Lab, 2. Übung



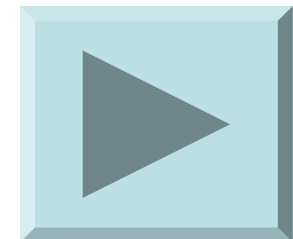
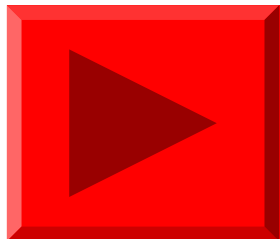
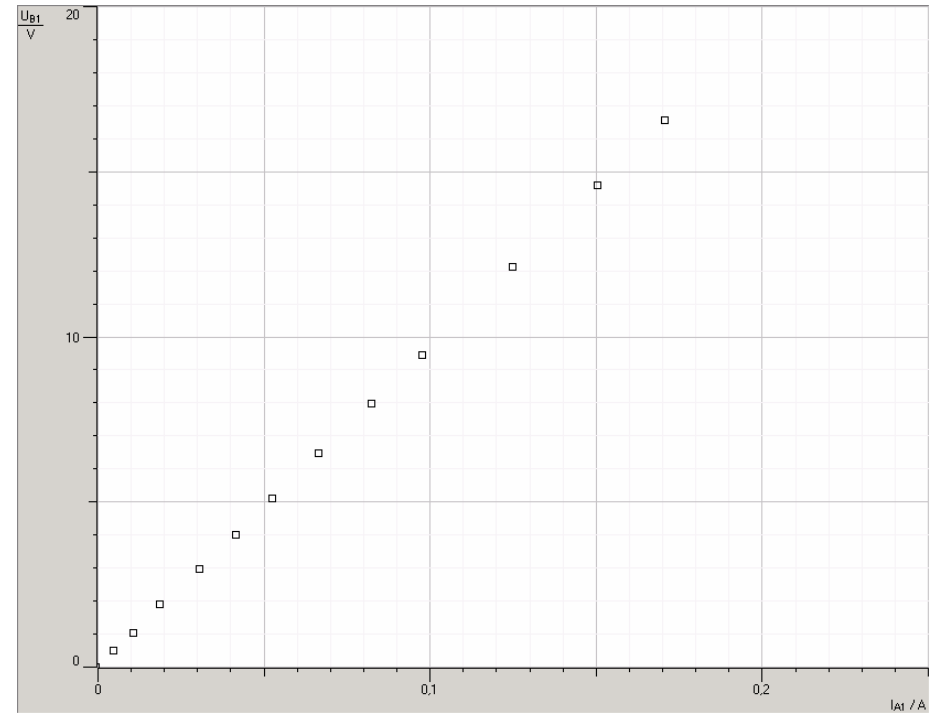
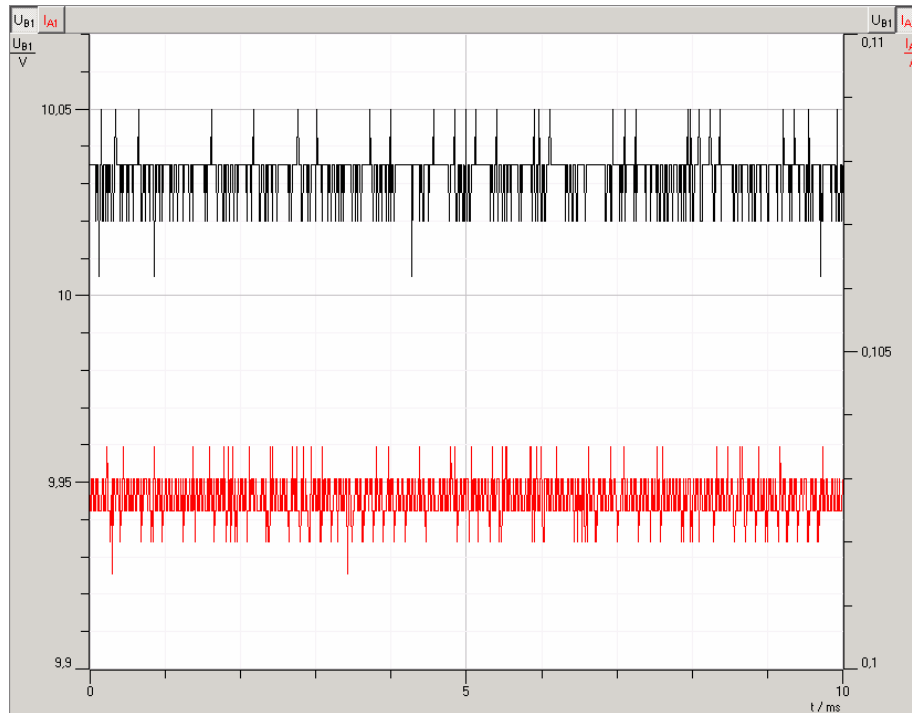
Messbereich:

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

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

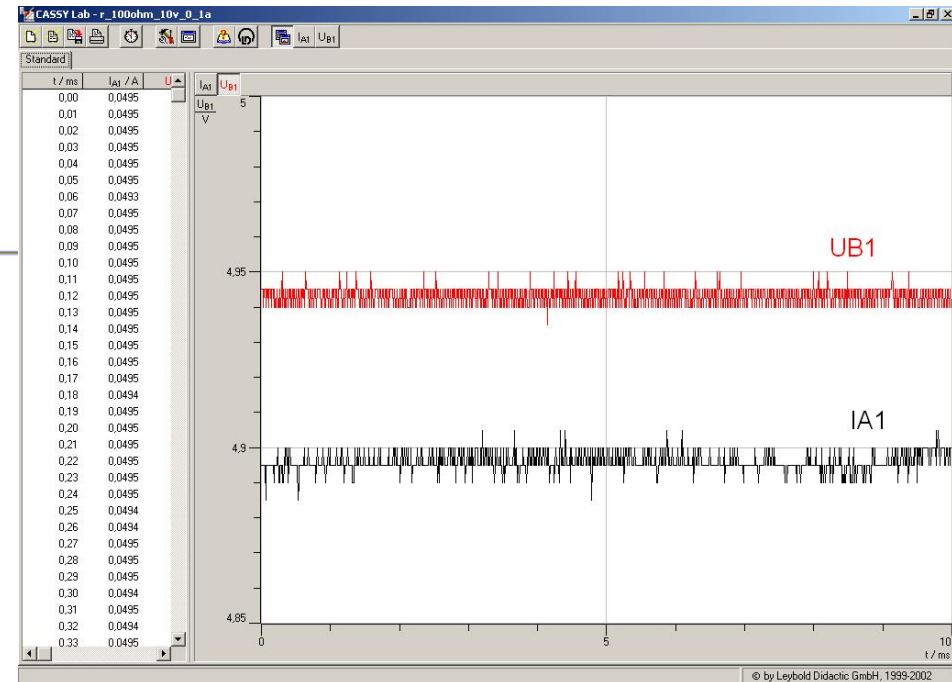
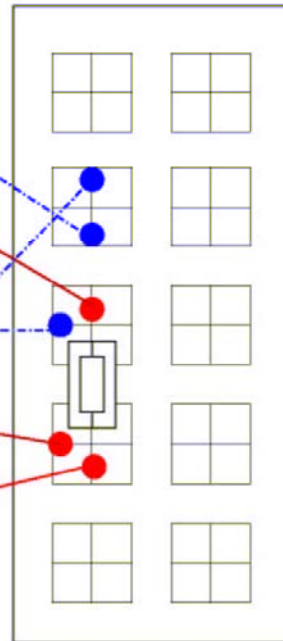
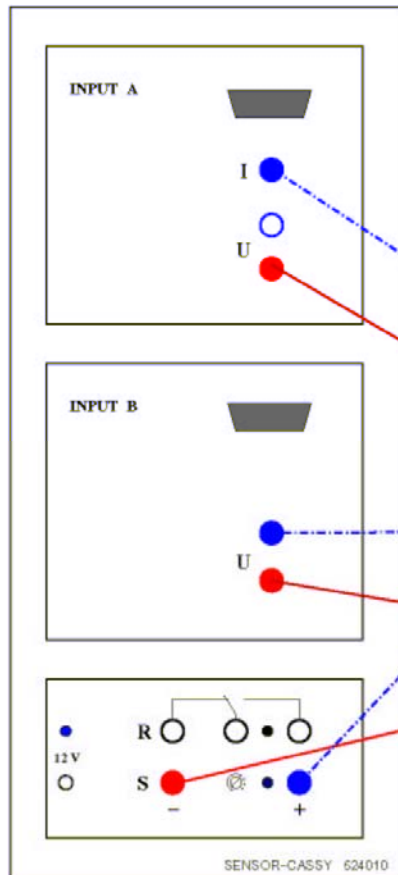


# Sensor Cassy Dateien ↔ Maple-Auswertung



# Sensor Cassy Interface

## Messungenauigkeiten



Messaufbau:  $R=100\Omega$

Angelegte Spannung:

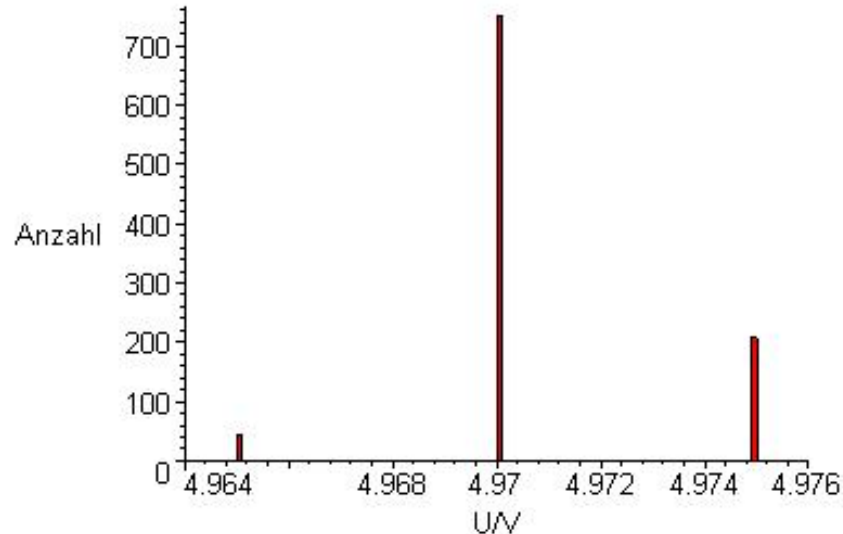
$U=5V$

Im Kreis fließender Strom:

$I=0,05A$

# Sensor-Cassy Interface

## statistische Messungenauigkeit?



Messbereich:  $\pm 10$  V

Mean =  $(4.9708 \pm 0.00007)$  V

RMS = 2.4 mV

Digitale Auflösung: 12 bit = 4096

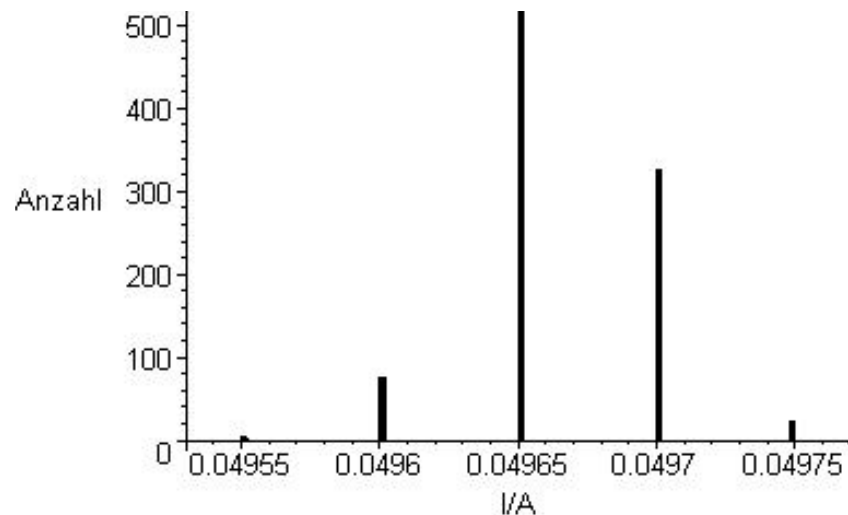
→  $U_{\min} = 5$  mV →  $U_{\min}/\sqrt{12}$

→ „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 =  $(49.66 \pm 0.0000003)$  mA

RMS = 0.03 mA

Digitale Auflösung: 12 bit = 4096

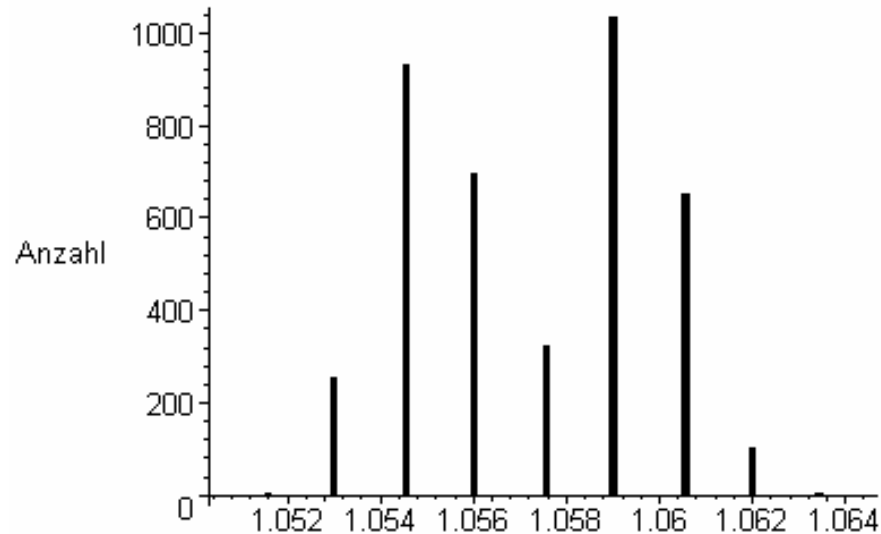
→  $I_{\min} = 0.05$  mA →  $I_{\min}/\sqrt{12}$

→ „Fehler“ = 0.014 mA

**MU durch Messung bestimmen!**

# Sensor-Cassy Interface

## stat. & system. Messungenauigkeit (4SC)



Messbereich:  $\pm 3$  V

Mean =  $(1.0572 \pm 0.00004)$  V

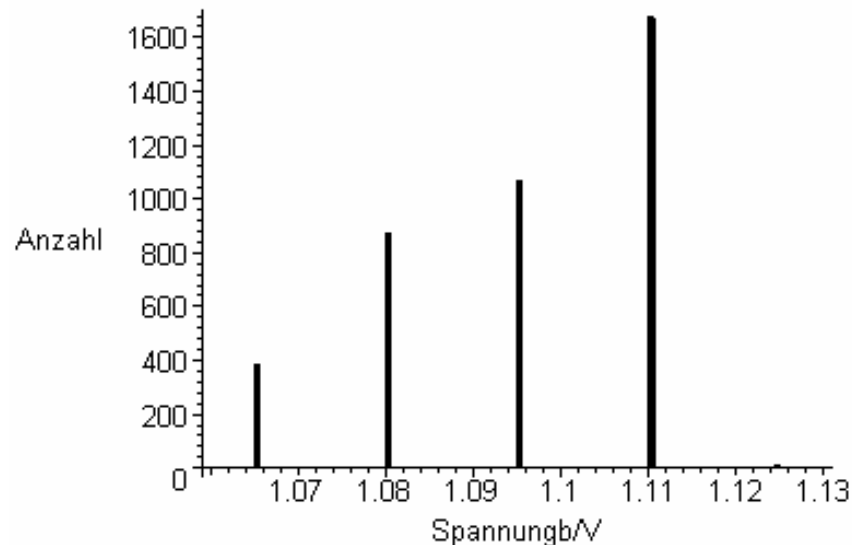
RMS = 2,5 mV

→ relativer Fehler: 2,4‰

Digitale Auflösung: 12 bit = 4096

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

→ „Fehler“ = 0,4 mV



Messbereich:  $\pm 30$  V

Mean =  $(1.095 \pm 0.0000003)$  V

RMS = 15.2 mV

→ relativer Fehler: 1.4 %

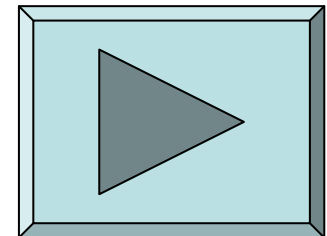
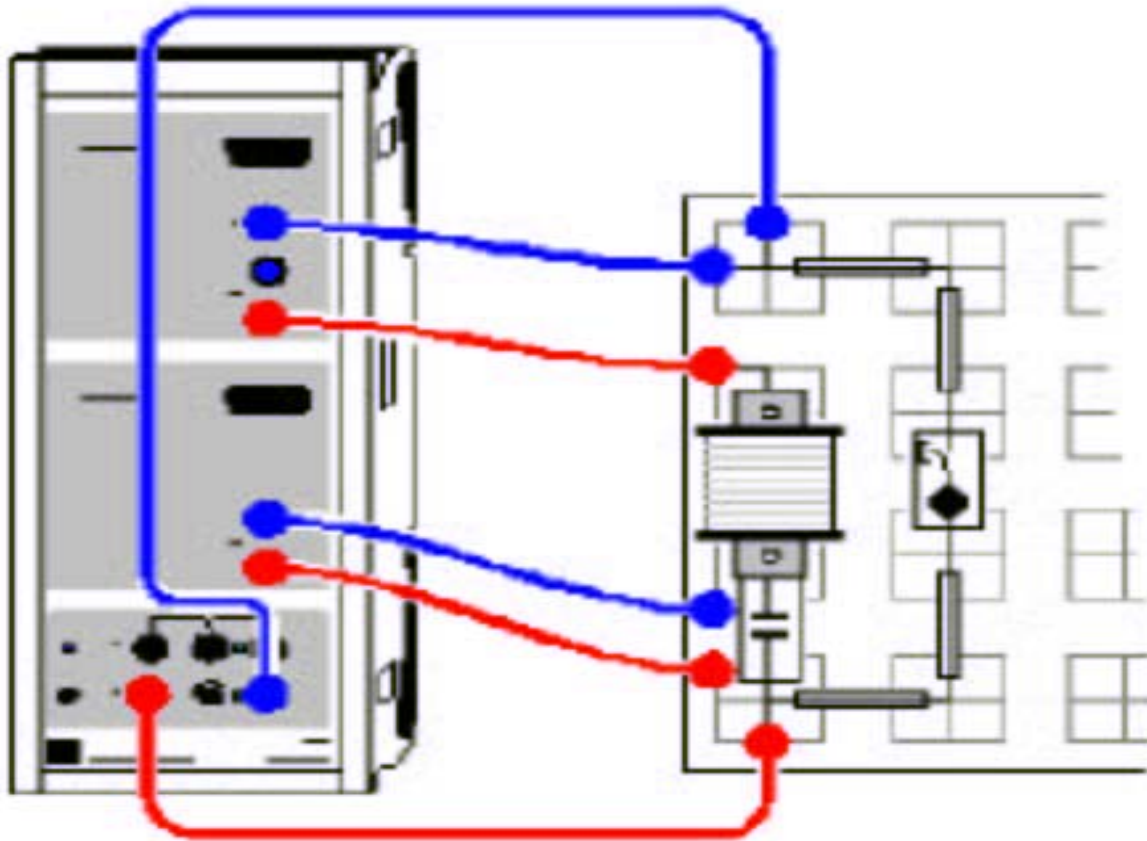
Digitale Auflösung: 12 bit = 4096

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

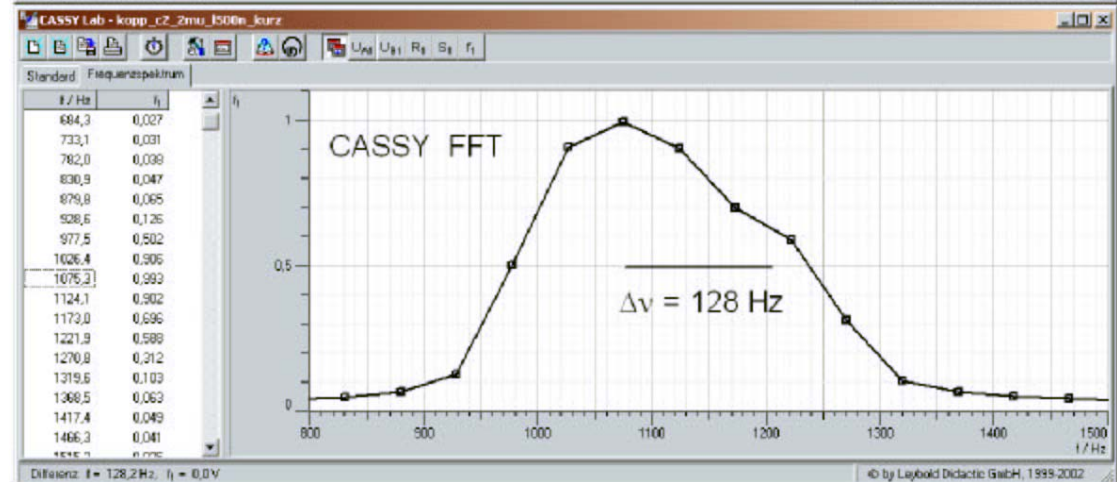
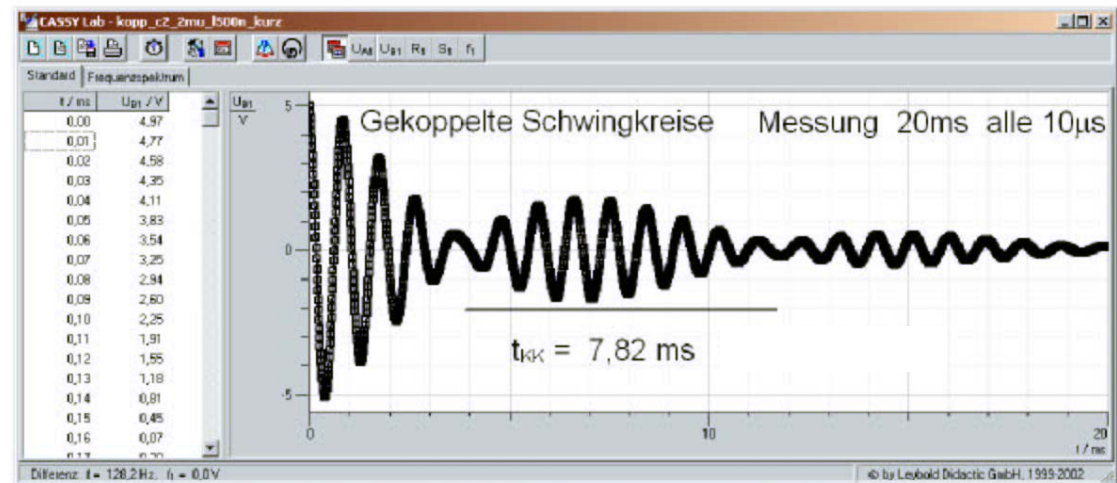
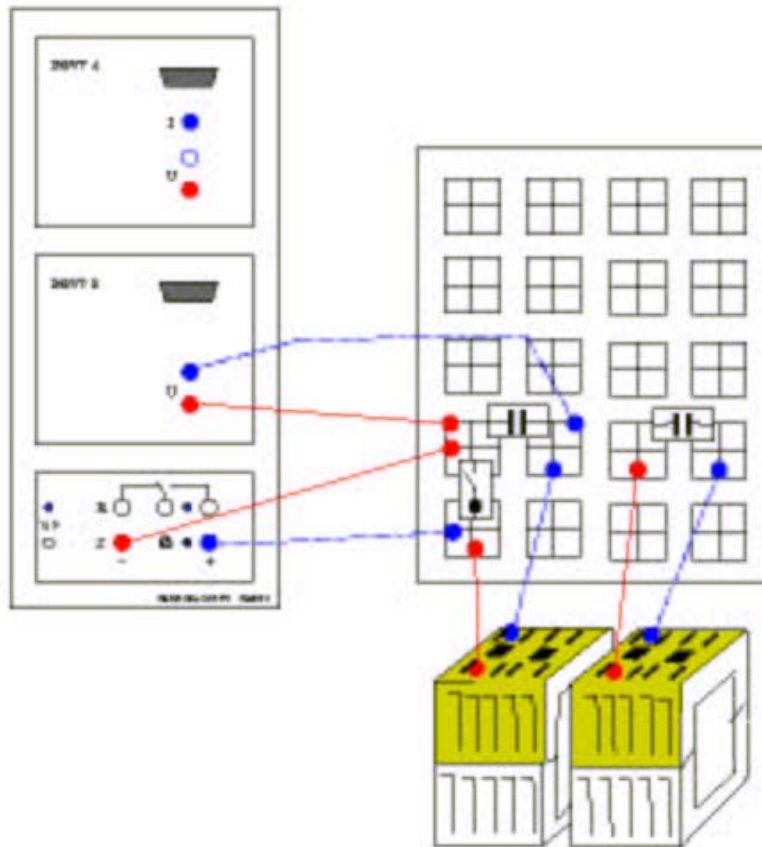
→ „Fehler“ = 4.3 mV

**MU durch Messung bestimmen!**

# Gedämpfter Schwingkreis, 3. Übung

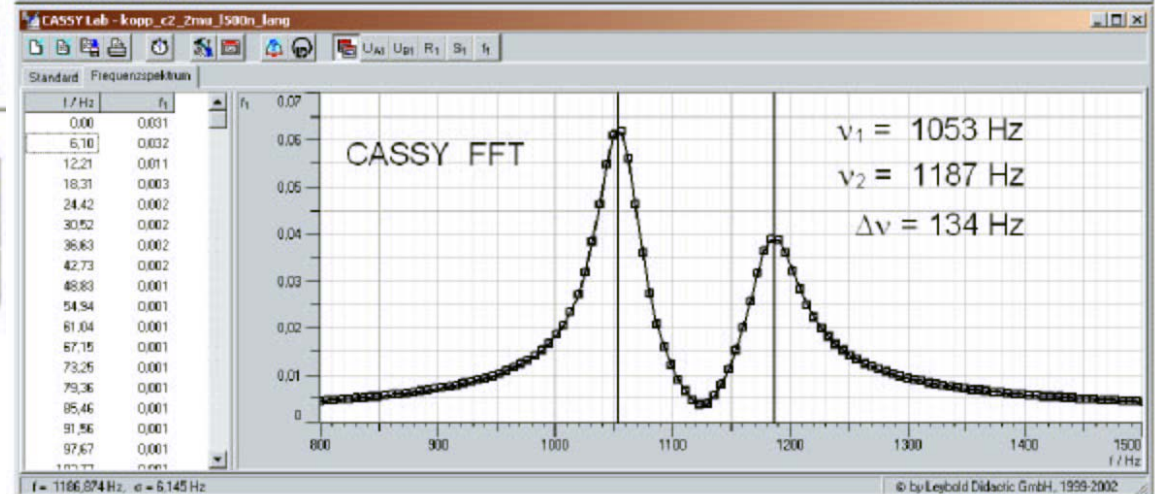
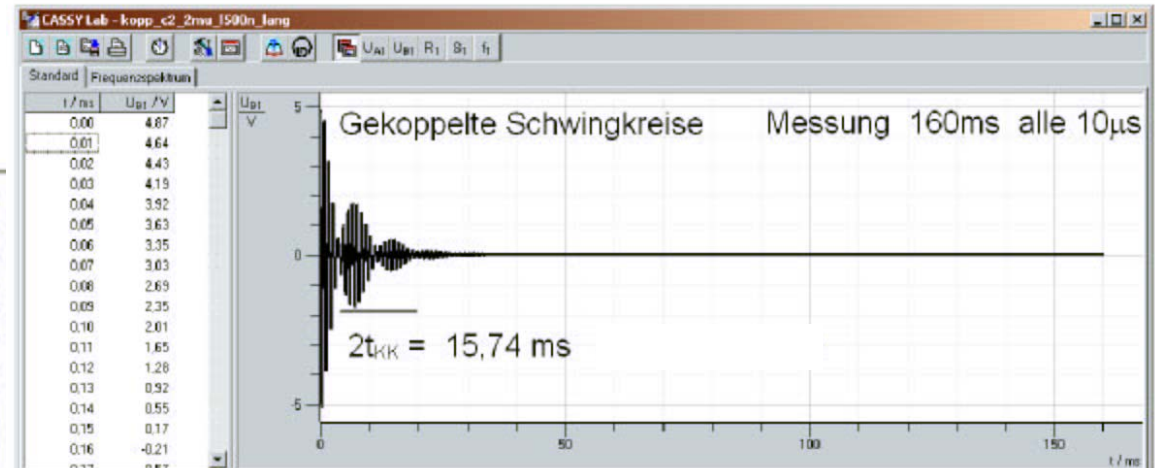
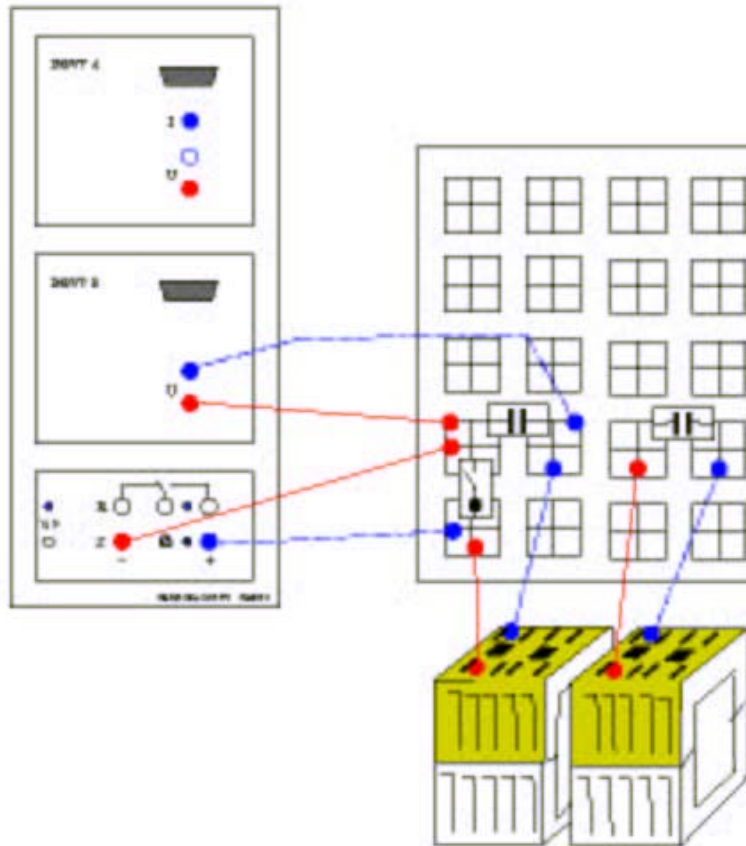


# Gekoppelte Schwingungen oder das Ende der CASSY FFT

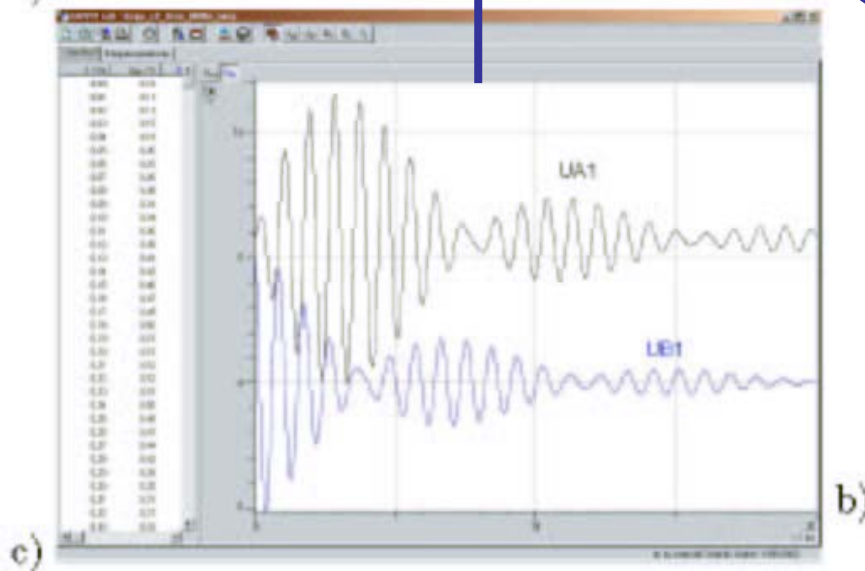
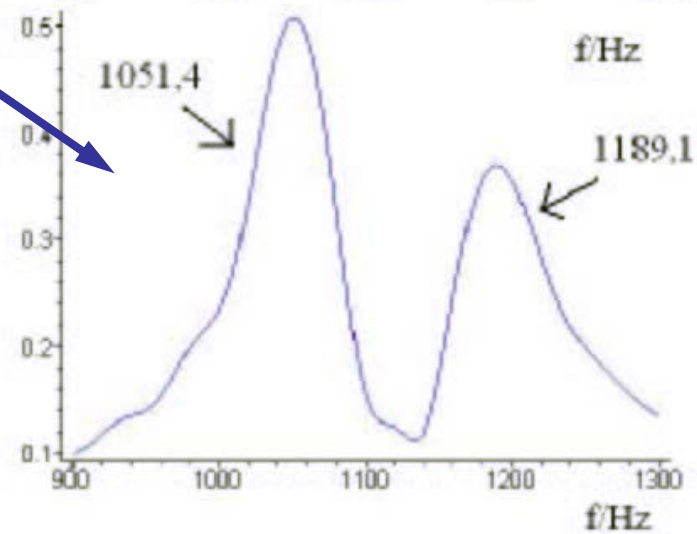
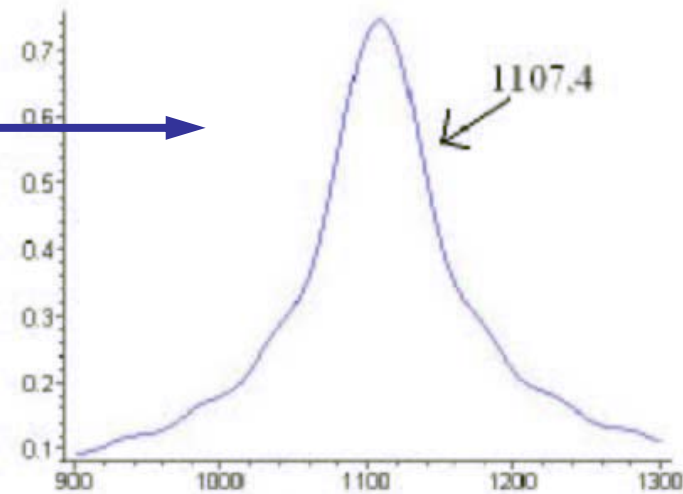
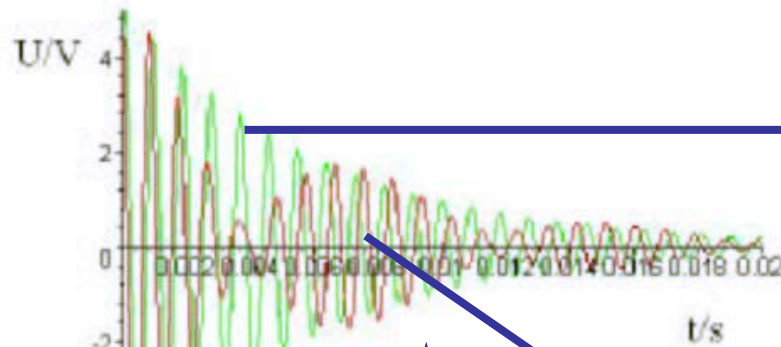




# Gekoppelte Schwingungen oder das Ende der CASSY FFT



# Gekoppelte Schwingungen oder das Ende der CASSY FFT



c)

b)

# Zusammenfassung Sensor Cassy



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

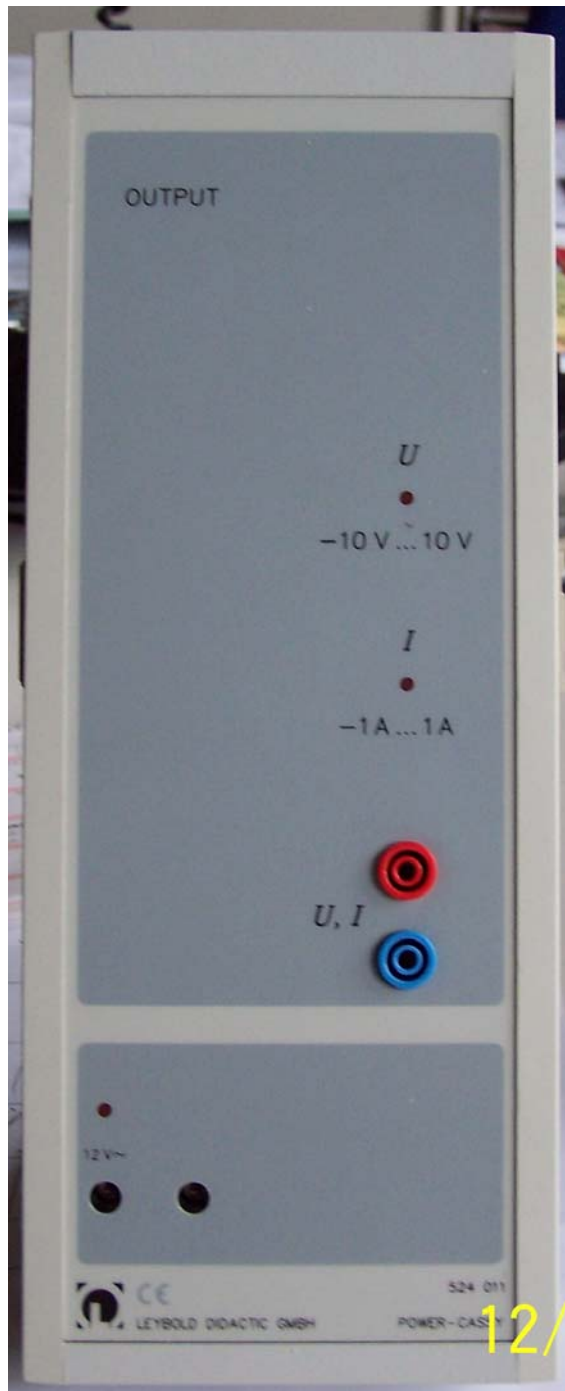
# Power Cassy

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

Anschluß an serielle Schnitt-  
stelle RS232 des PCs

Spannungsversorgung:

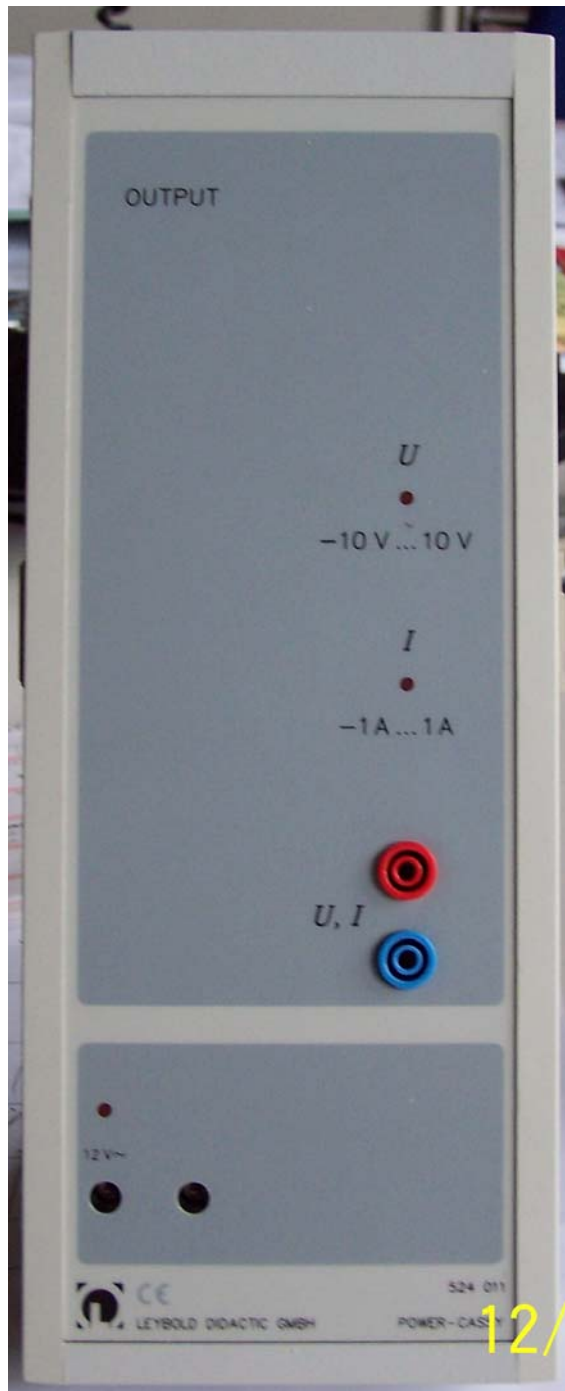
12V AC/DC über Hohlstecker oder  
benachbartes Cassy-Modul



# Power Cassy

Programmierbare Spannungsquelle mit gleichzeitiger Strommessung:

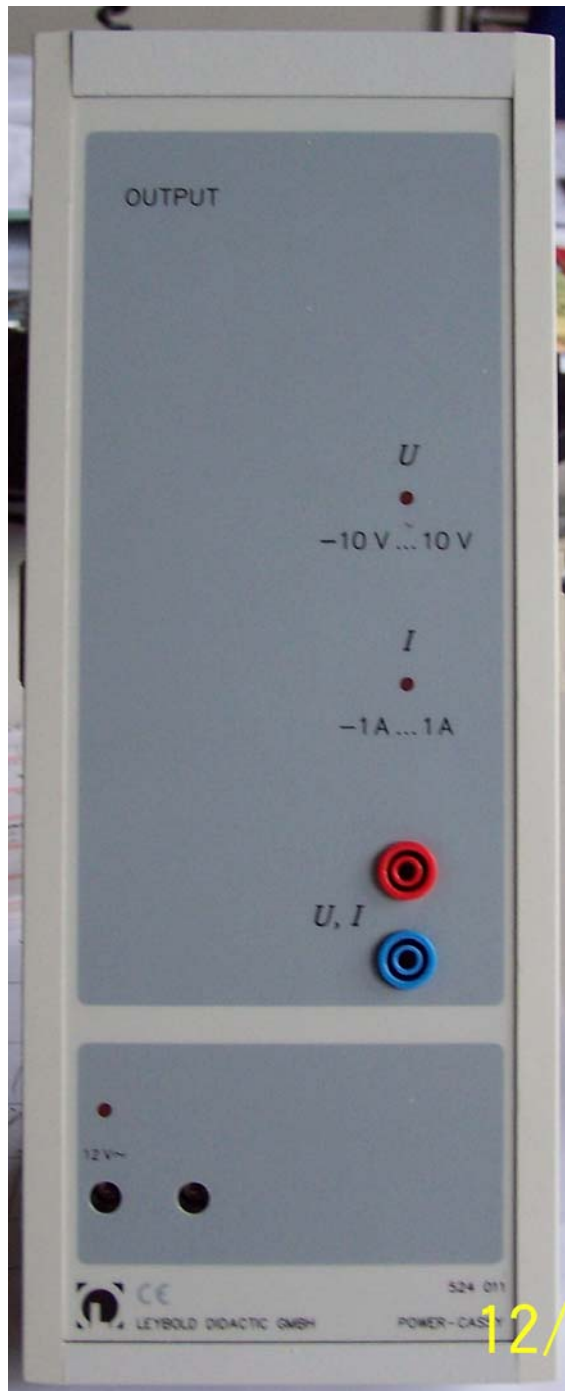
- Auflösung: 12 Bit
- Aussteuerbereich:  $\pm 10 \text{ V}$
- Messbereiche:  $\pm 0,1/0,3/1 \text{ A}$
- Abtastrate: max. 200.000 Werte/s  
(=100.000 Werte/s Spannung und Strom)



# Power Cassy

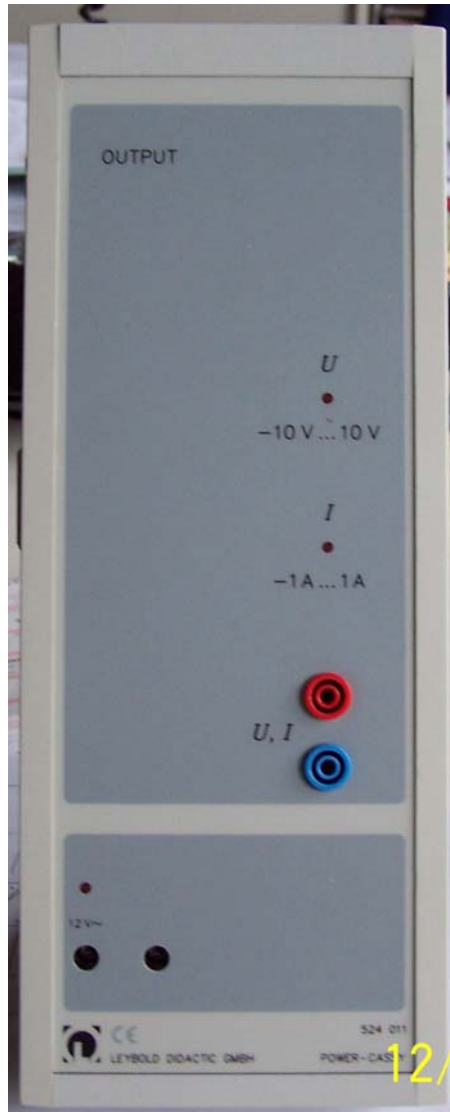
Programmierbare Stromquelle mit gleichzeitiger Spannungsmessung:

- 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

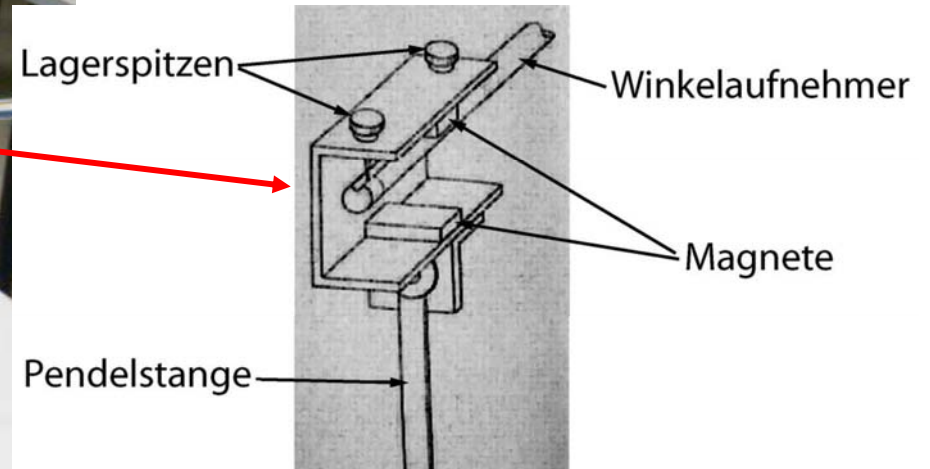
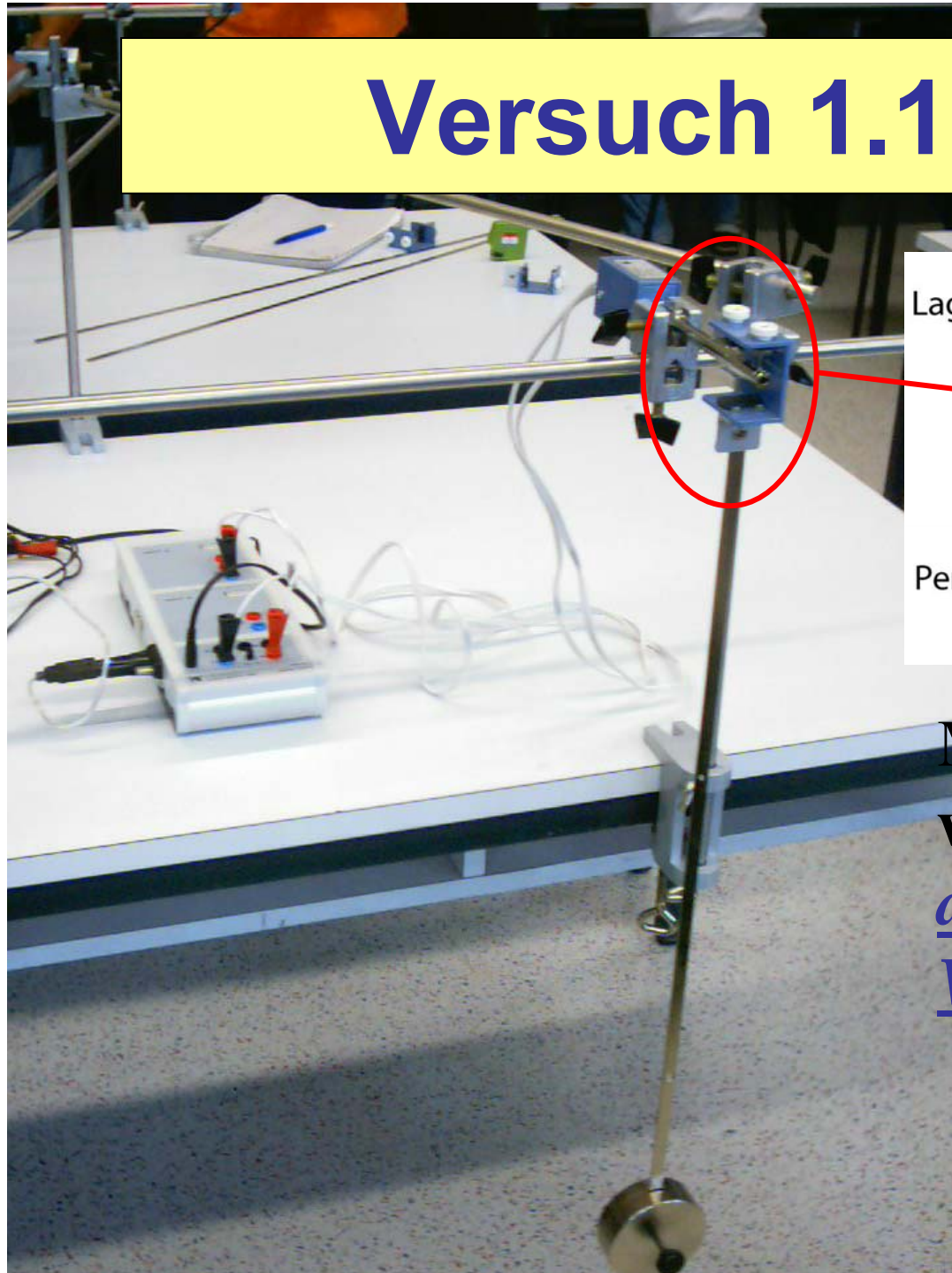
$f = ?$  Hz

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

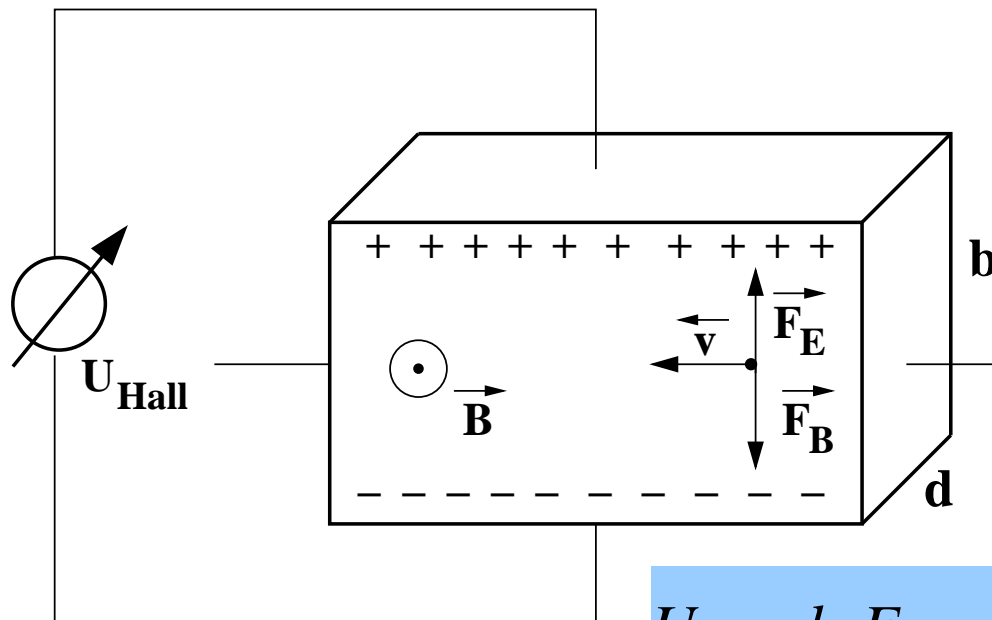
$\rightarrow$  Ladungstrennung  $\rightarrow$  E-Feld:  $\vec{E} \perp \vec{I}$  und  $\vec{F}_E = q \cdot \vec{E}$

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

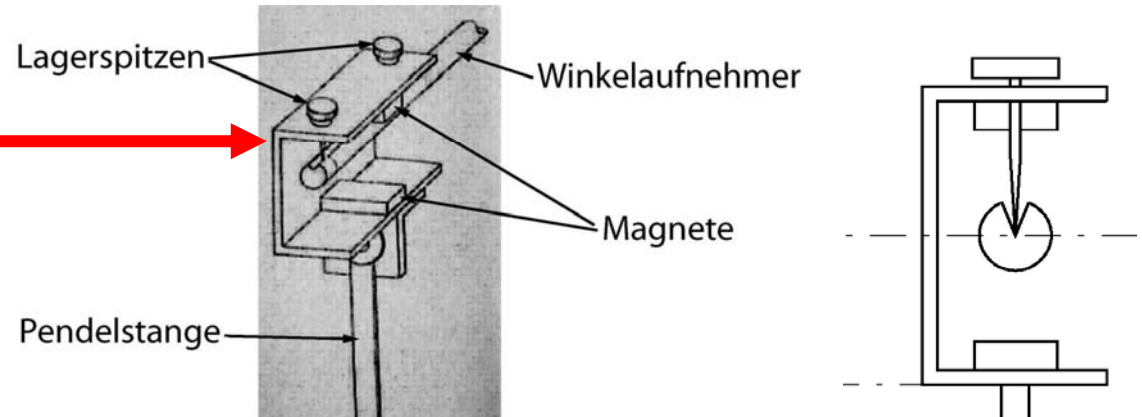
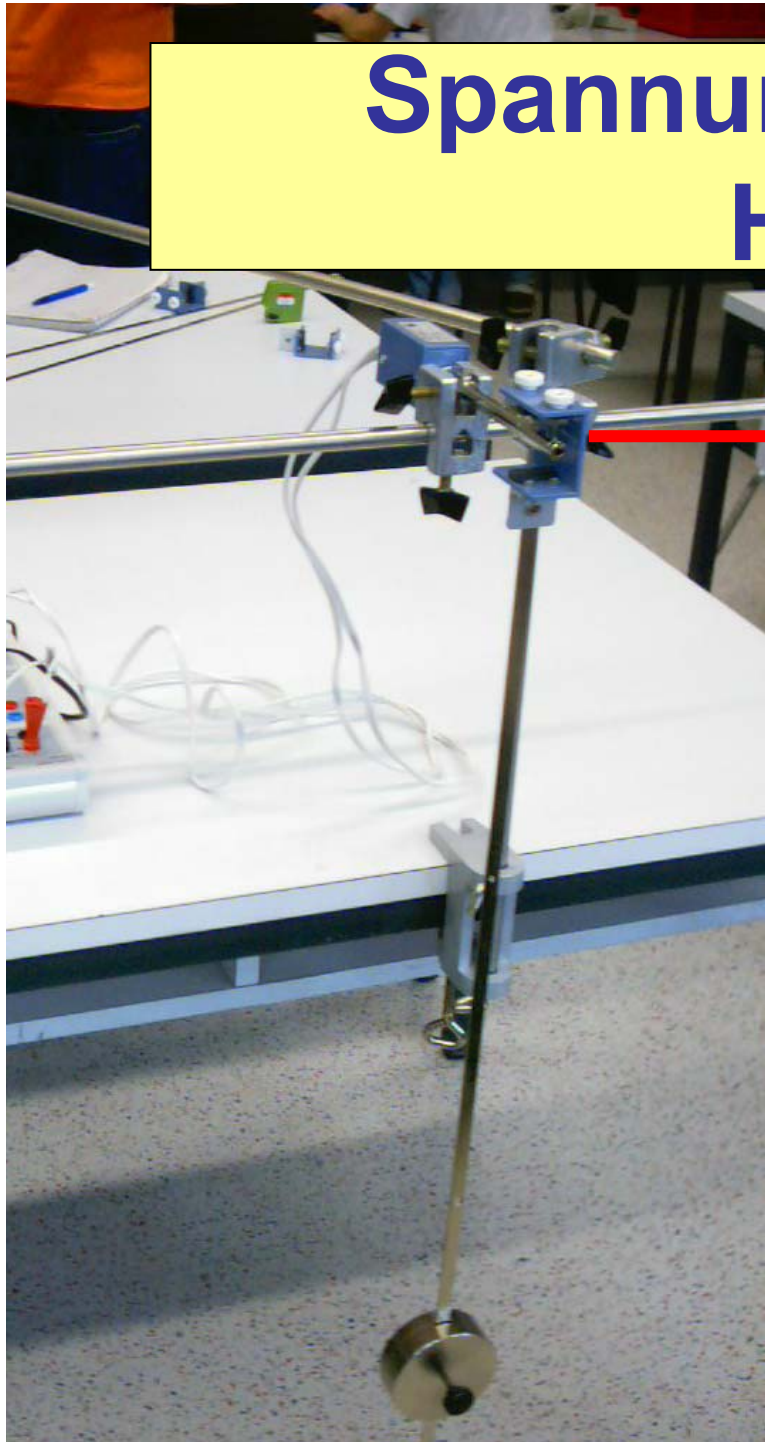
$A = b \cdot d$   
allgemein:  $\vec{I} = q \cdot n \cdot A \cdot \vec{v}$

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

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



# Spannungsmessung mit Hallsonde



Orientierung der Sonde  $\rightarrow$  Empfindlich

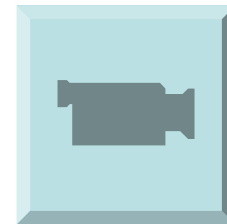
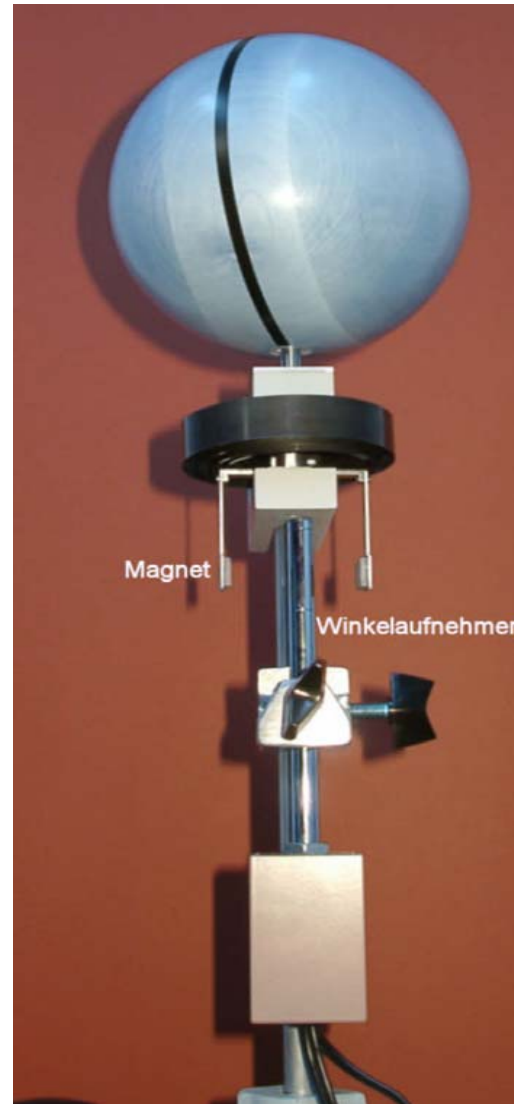
auf horizontale B-Komponente  $B_h$

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

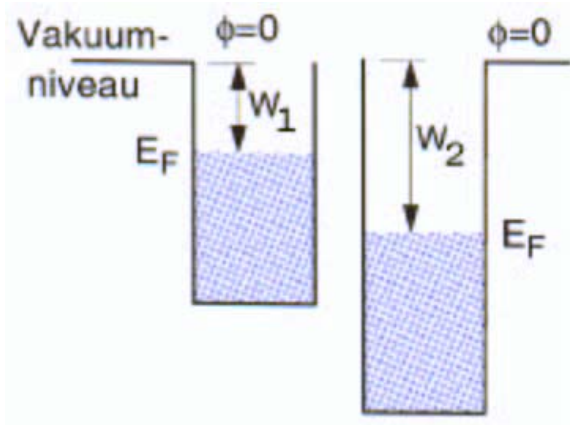
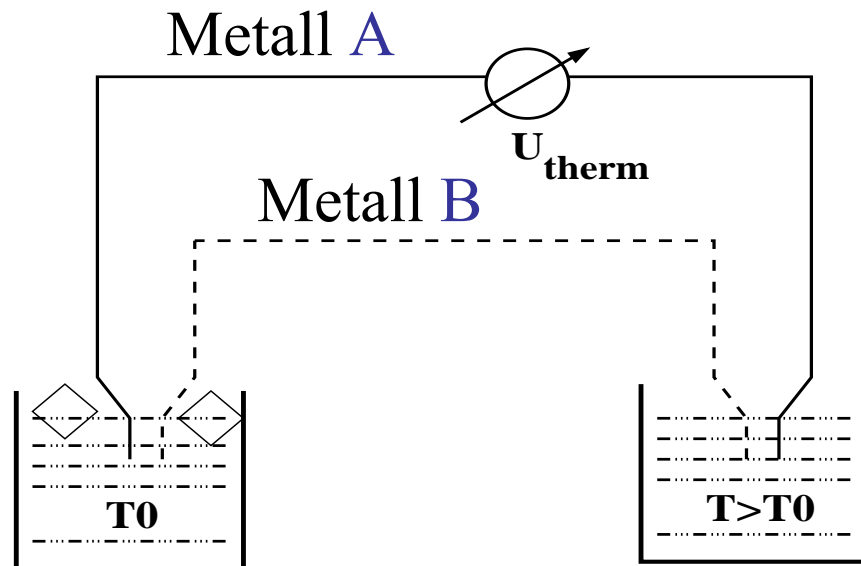
Auslenkung um Winkel  $\rightarrow B_h = B \cdot \sin \delta$

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

# Spannungsmessung mit Hallsonde



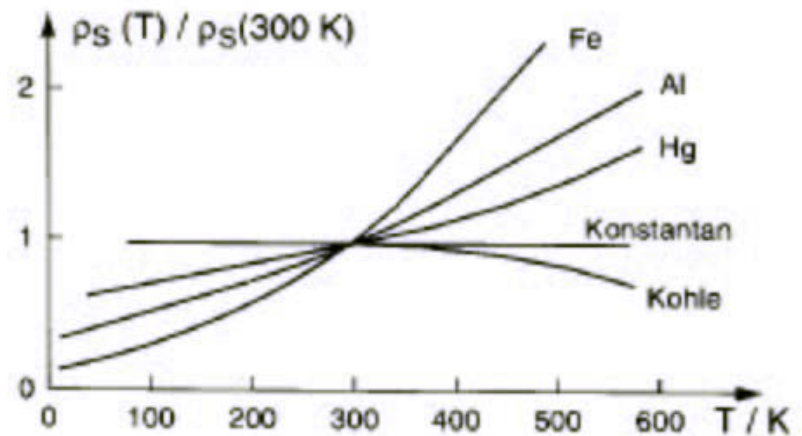
# Thermospannung



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

Temperaturabhängigkeit des spezifischen Widerstandes  $\rho_e$

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



# Thermoelement



Thermoelement: NiCr-Ni

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

Temperaturbereich:

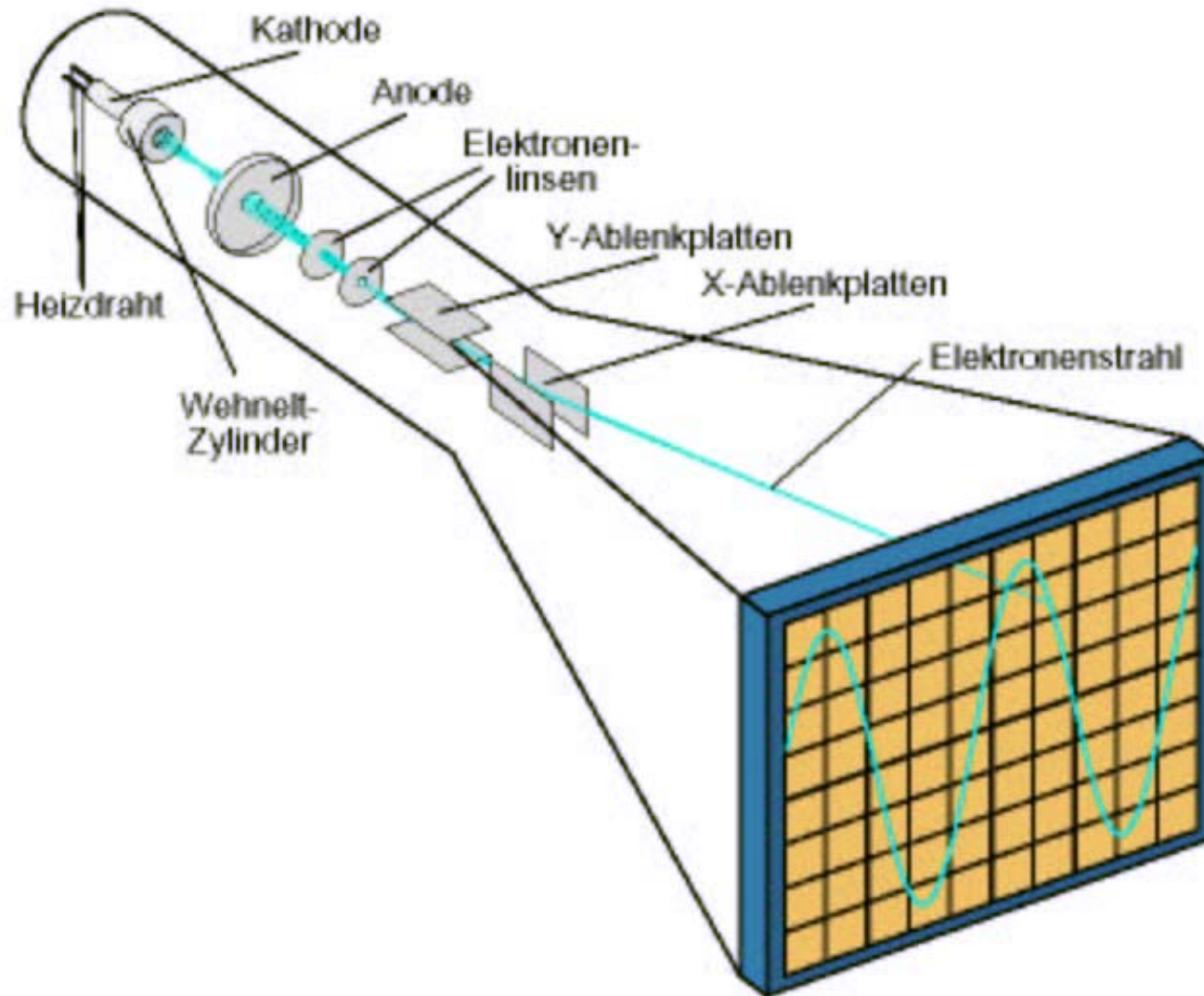
$-200 \text{ }^\circ\text{C} \dots +1200 \text{ }^\circ\text{C}$

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

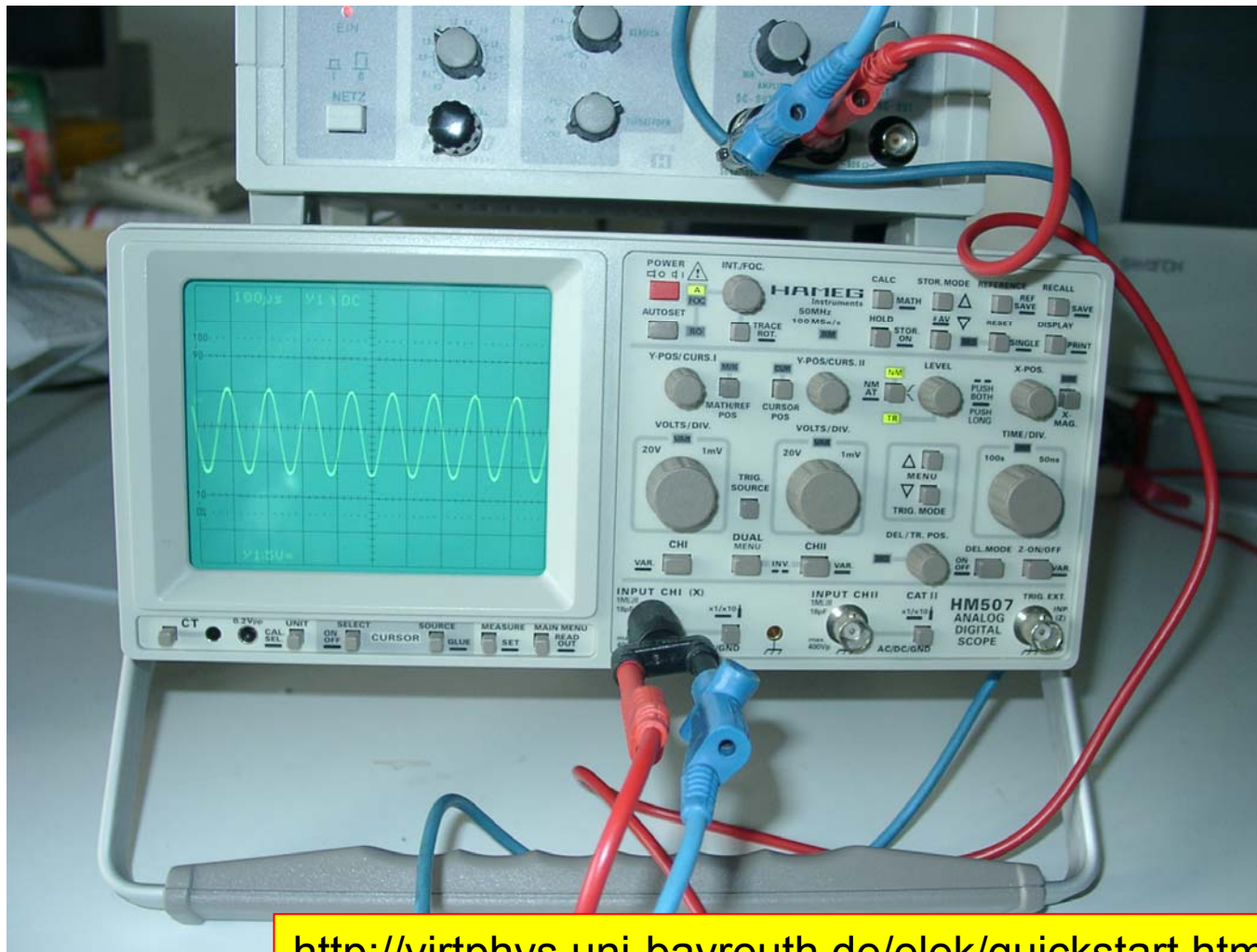
$\pm 1,5 \text{ }^\circ\text{C}$

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

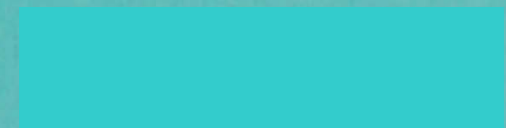
# Oszilloskop (Braunsche Röhre)



# Analog-Digital Oszilloskop

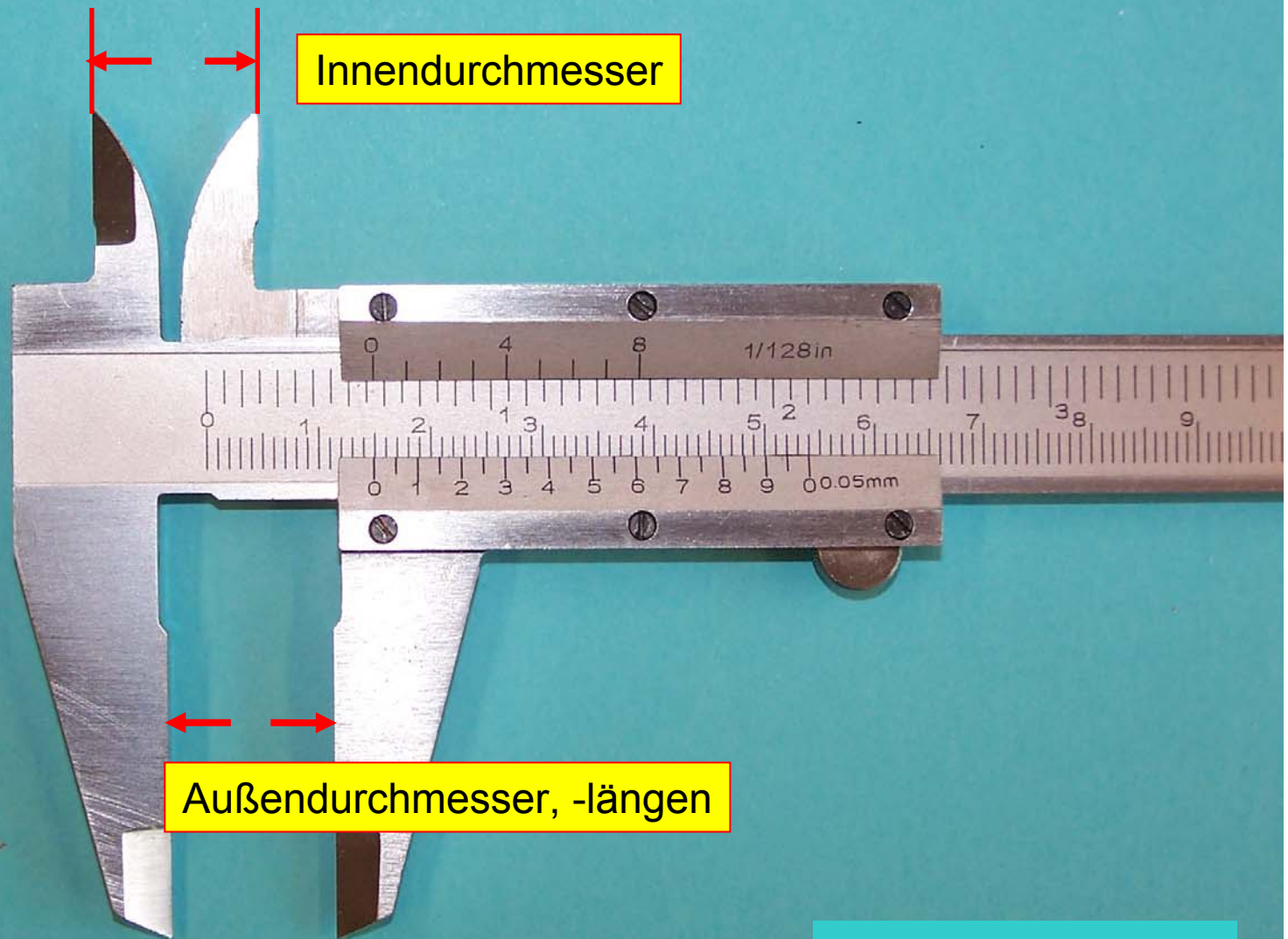


# Längenmessungen

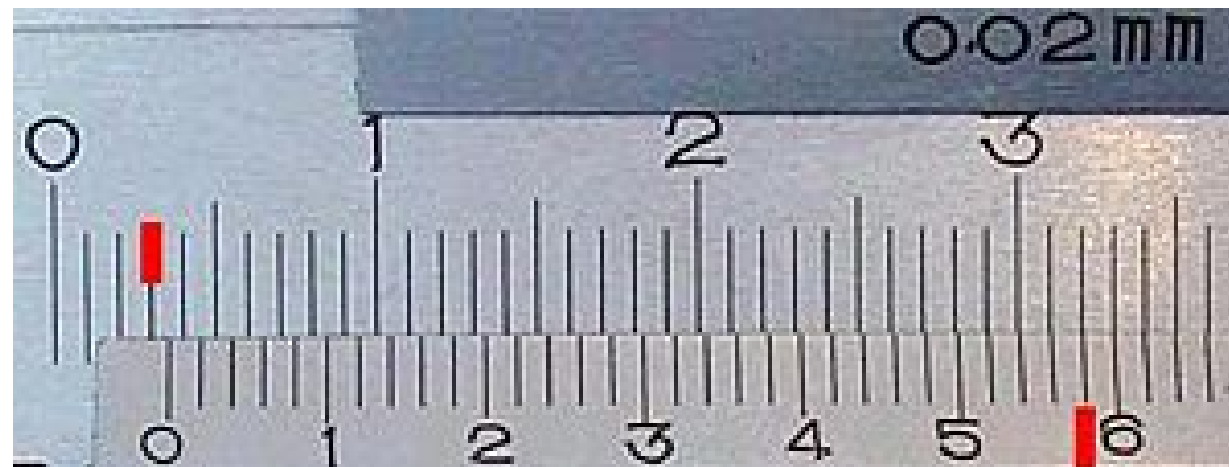
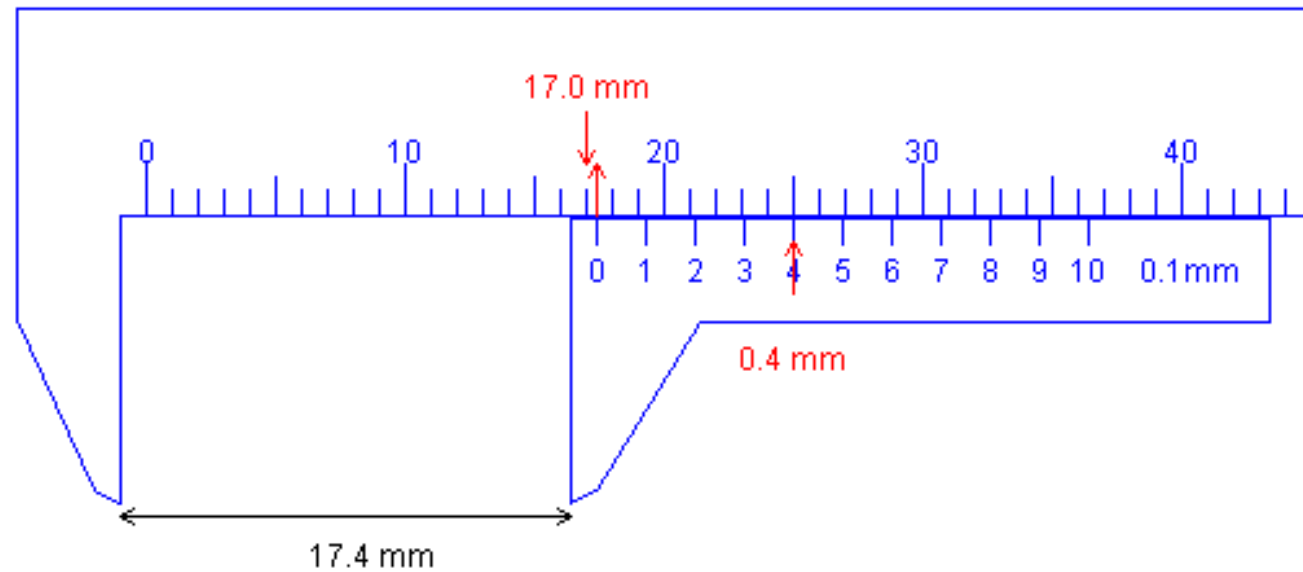




# Längenmessungen mit Messschieber

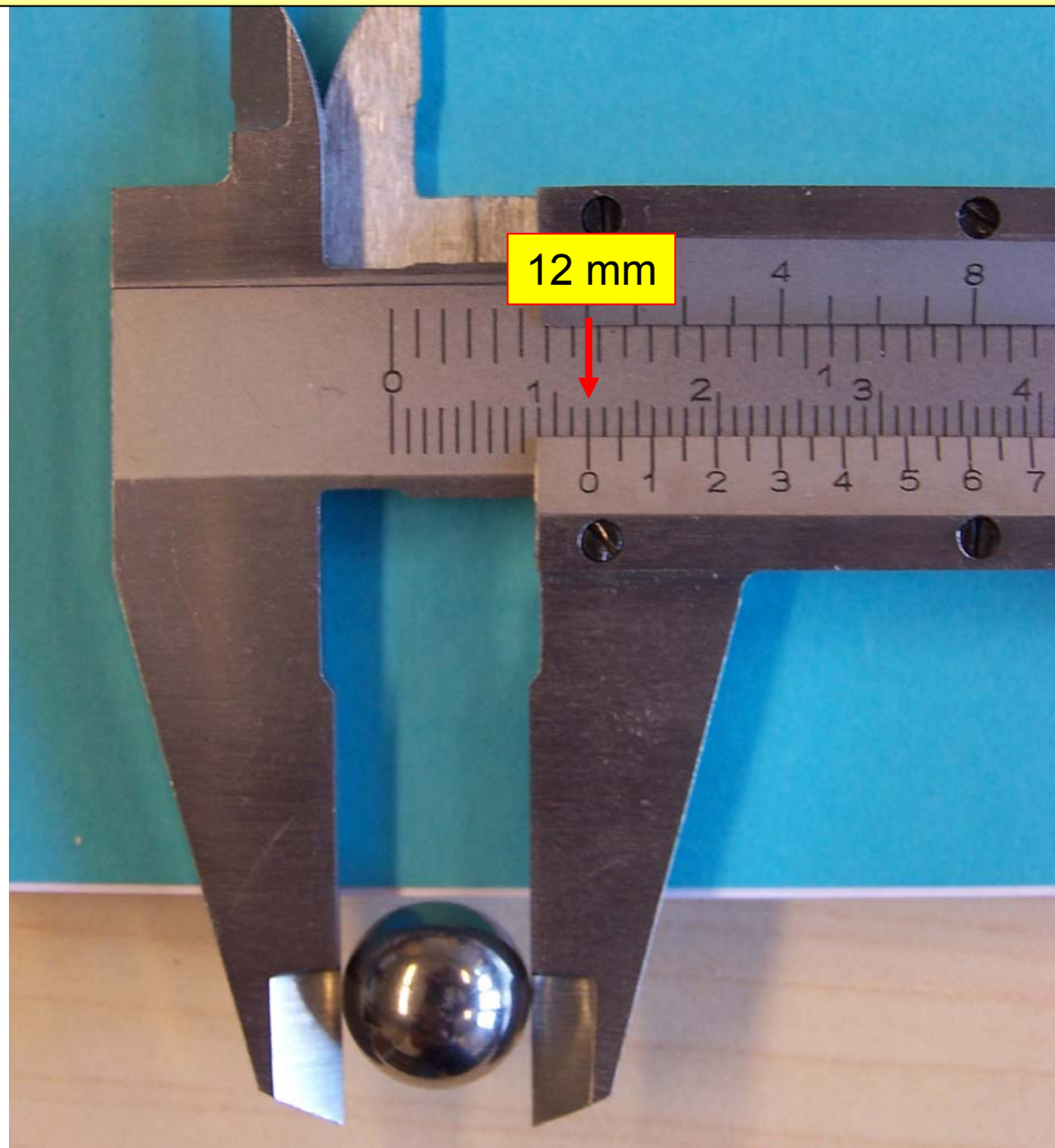


# Längenmessungen mit Messschieber

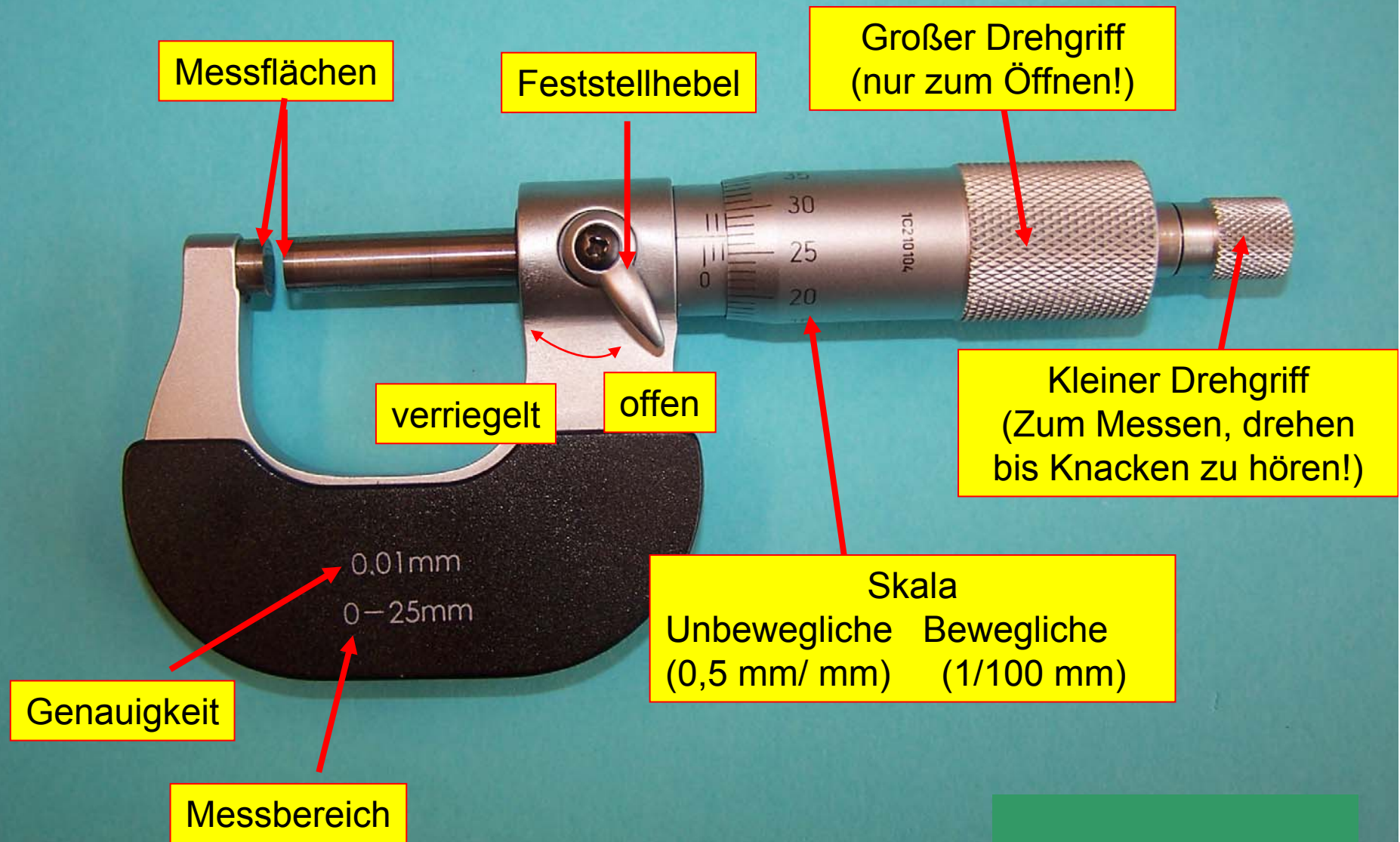


3,58 mm

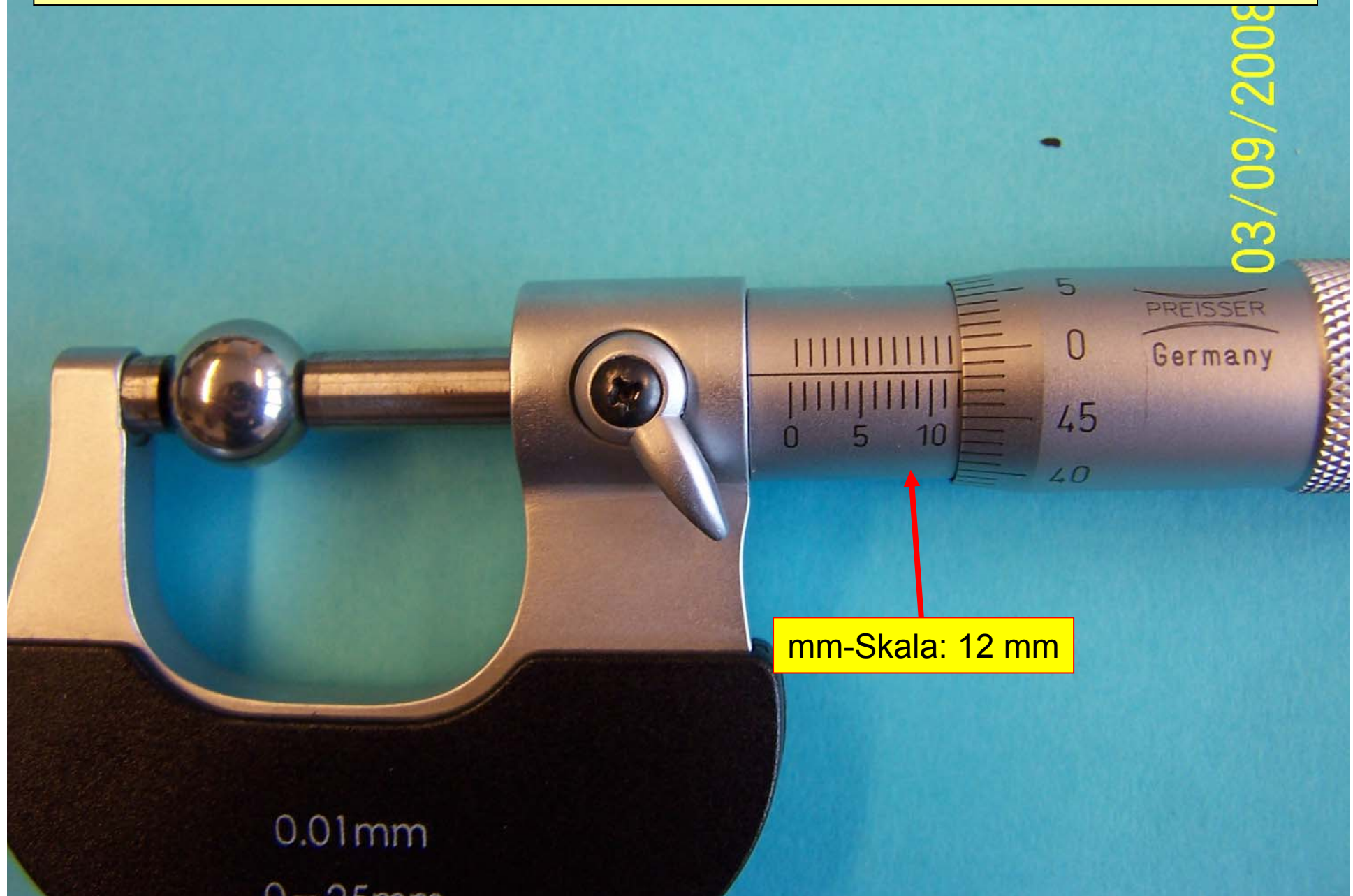
# Längenmessungen mit Messschieber



# Längenmessungen mit Mikrometerschraube



# Längenmessungen mit Mikrometerschraube



# Längenmessungen mit Mikrometerschraube

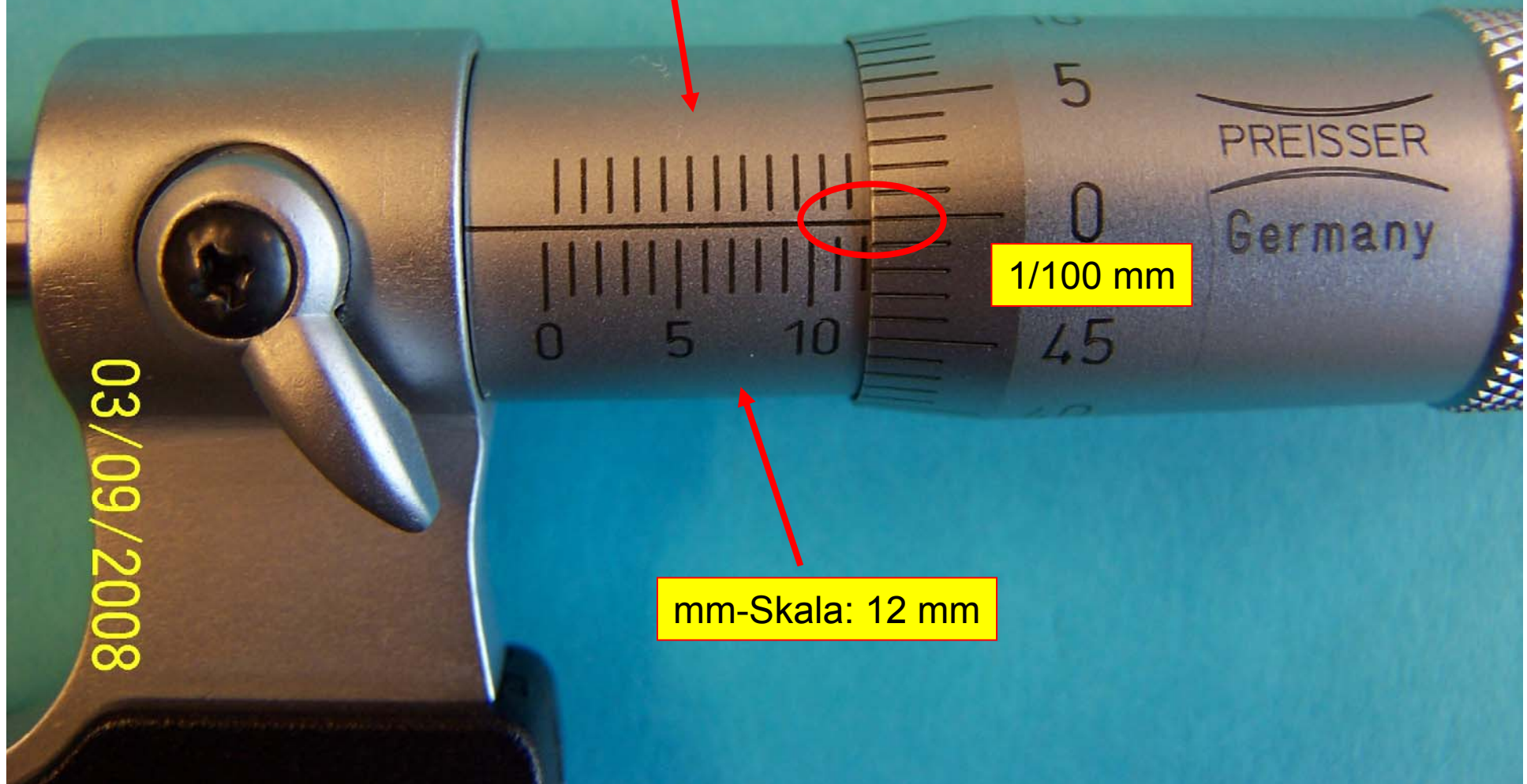
0,5 mm-Skala

1/100 mm

mm-Skala: 12 mm

03/09/2008

PREISSER  
Germany



# Längenmessungen: Übung



# Digital-Kamera PC-CAM 600





**Viel Erfolg !**