



**VST**

**FAKULTÄT FÜR VERFAHRENS-  
UND SYSTEMTECHNIK**

## Einführungsveranstaltung für PC I

**Praktikumsleiterin:**

Dr. Lama Naji

**„Laborbesetzung“:**

Martin Woche

Ines Sauer

# Überblick

- **Hinweise zum Praktikum**

- Versuche
- Durchführung/Protokolle

- **Einheiten**

- **Fehlerbetrachtung**

- Arten von Fehlern
- Ablesen von Messinstrumenten
- Fehlerrechnung
- Regression

- **Referenzdaten/ Literaturangaben**

# Hinweise zum Praktikum

## Durchführung/Protokolle

- Ort: Geb. 16 /Raum 008 (Chemisches Institut)
- **1. Praktikumstag:**
  - Laboreinweisung → Antestat → Versuchsdurchführung → Heimarbeit
- **Antestate sind Gruppenleistung: „Alle oder keiner!“**
- **Protokolle sind beim nächsten Termin (i.d.R. nach 2 Wochen) abzugeben, sonst keine Zulassung zum nächsten Versuch**
- **Abtestat findet nach Abschluss aller Versuche bei Frau Dr. Naji statt**
- **Testatbogen ist Leistungsnachweis (immer dabei haben)!!!**
  - Erhalt des *Praktikumsscheins* nach Vorlage des vollständig ausgefüllten Testatbogens bei Frau Dr. Naji (Geb. 16/ Raum 029).

## PC-Praktikum – Testatbogen

Name:.....Fachrichtung:.....

Matr.-Nr.:.....Gruppe/Wochentag:.....

Übersicht über die durchgeführten Versuche:

Versuch	Antestat	Messung	Protokoll abgegeben	Protokoll korrekt	Abtestat

Bemerkungen:

# Hinweise zum Praktikum

## Versuche

### Kalorimetrie:

Verbrennungsenthalpie → Benzoessäure

Verdampfungsenthalpie → Ethanol

(Neutralisationsenthalpie → HCl + KOH)

(Wärmekapazität → Luft)

### Thermodynamik:

Joule-Thomson-Prozess → O<sub>2</sub> und N<sub>2</sub>

### Kinetik:

Rohrzuckerinversion → Saccharose + HCl

### Stoffwerte von Flüssigkeiten:

Oberflächenspannung → H<sub>2</sub>O und Ethanol

---

Die Anleitung für das Praktikum finden Sie unter:

<http://www.ich.ovgu.de/Lehrst%C3%BChle/Physikalische+Chemie/Lehre>

oder

[davisson.nat.uni-magdeburg.de](http://davisson.nat.uni-magdeburg.de)

# „...Was Sie für das Praktikum wissen sollten...“

1. Ableitung, partielle Ableitung, Differenzial
2. totales Differenzial, thermodynamische Zustandsfunktionen
3. bestimmtes und unbestimmtes Integral
4. Intensive und extensive Größen
5. System und Umgebung
6. Phase
7. Temperatur
8. Enthalpie
9. Entropie
10. praktische Anwendung der physikalischen Grundgesetze
11. praktische Fehlerrechnung

→ Hinweise auf den jeweiligen Versuchsanleitungen beachten!

# Hinweise zum Praktikum

Einheiten müssen immer angegeben werden!

## Naturkonstanten

- $N_A = 6,0225 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
- $R = 8,31441 \text{ J/molK}$
- $F = 96487 \text{ C/mol}$

(separate Einheitenbetrachtung !)

$$\Delta_R S = \frac{kJ \times \cancel{m}}{mol \times \cancel{m} \times K}$$

## Energie

- $1 \text{ kgm}^2\text{s}^{-2} = 1 \text{ Nm} = 1 \text{ Ws} = 1 \text{ J} = 6,24 \times 10^{18} \text{ eV}$
- $1 \text{ eV} = 1,6021 \times 10^{-19} \text{ J}$
- $1 \text{ cal} = 4,184 \text{ J}$

## Druck

- $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2 = 1 \text{ kgm}^{-1}\text{s}^{-2} = 10^{-5} \text{ bar}$
- $p^0 = 1013,25\text{hPa} = 1 \text{ atm} = 760 \text{ Torr} = 760 \text{ mmHg}$

## Temperatur

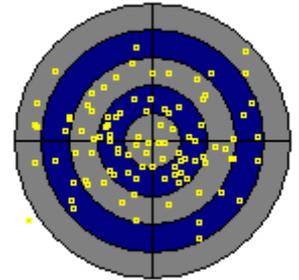
- $T [\text{K}] = 273,15 + \vartheta [^\circ\text{C}]$
- Temperaturdifferenz:  $\Delta T [\text{K}]; \Delta \vartheta [\text{grad}]; 1 \text{ K} = 1 \text{ grad}$

# Fehlerbetrachtung

## Arten von Fehlern - Fehlerberechnung

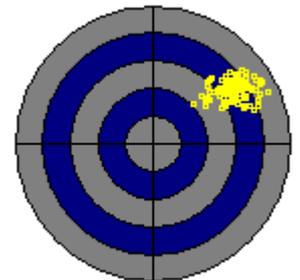
### zufällige (statistische) Fehler

- . statistische Messgröße
- . Rauschen des Messsignals
- . Umwelteinflüsse: Luftfeuchte, -druck, T-Drift/Schwankung im Zusammenhang mit T-abhängige Messwerken bzw. Messungen, Aufladung, Magnetfelder
- . Experimentator: Interpolation, Parallaxe, Reaktionszeit, Tagesform Ungeschicklichkeit
- . **Vermeidung durch:** *Wiederholung der Messung*



### systematische Fehler (Abweichungen nur in eine Richtung)

- . Umwelteinflüsse (s.o.)
- . Messinstrumente: Eichfehler, Alterung, nichtlineare Kennlinien, Reibung, Wärmekapazität/ Innenwiderstand der Messsonde
- . Experimentator: Näherungen, unkritische + subjektive Durchführung
- . **Vermeidung durch:** *Änderung der Messbedingungen, -geräte, -methode*

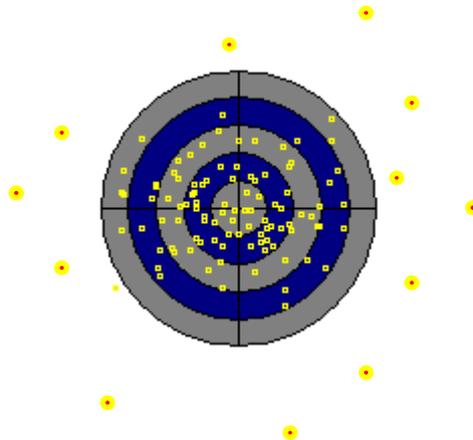


# Fehlerbetrachtung

## Arten von Fehlern - Fehlerberechnung

### grobe Fehler

- . Ungeschicklichkeit, Irrtümer, Missverständnis, defekte Apparatur, Programmfehler
- . **Vermeidung durch:** *Literaturstudium, Abschätzung der Ergebnisse, Kontrollmessungen, Nachdenken*

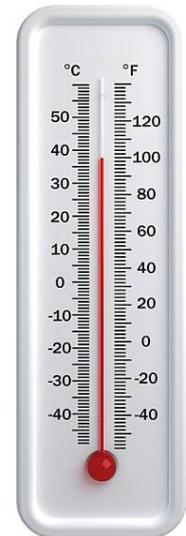


# Fehlerbetrachtung

## AbleSEN von Messinstrumenten

- . **Digitale Displays** (z.B. DVM):  $\pm 1$  **Digit** (letzte Stelle d. Anzeige)
- . **Geräte mit Skalen** (z.B. Thermometer):  $\pm 0,5$  **Skalenteile**
- . **Zeigerinstrumente** (z.B. Tensiometer):  $\pm 0,5$  **Skalenteile**

→ **Parallaxefehler sind zu vermeiden!**



# Fehlerbetrachtung

## Fehlerrechnung

### Definitionen

- genauer Wert der Größe:  $x$  - aber Messwert:  $x_i$
- **absoluter Fehler**:  $\Delta x = x_i - x$
- **relativer Fehler**:  $\Delta x/x \approx \Delta x_i/x_i$  (mit  $|x_i| \gg |\Delta x|$ )

### Einfache Rechenregeln

- $a = b \pm c$
  - $a = b^{\pm 1} \cdot c^{\pm 1}$
  - $a = b^{\pm c}$
- 
- $\Delta a = \pm (\Delta b + \Delta c)$
  - $\Delta a/a = \pm (\Delta b/b + \Delta c/c)$
  - $\Delta a/a = \pm c \cdot \Delta b/b$

Bei **Summen** addieren sich die **absoluten Fehler** und  
bei **Produkten** addieren sich die **relativen Fehler** !

# Fehlerbetrachtung

## Fehlerfortpflanzung

### Gauß'sches FFG

$$\Delta z = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left( \frac{\partial z}{\partial x_i} \right)^2 \Delta x_i^2} \quad (\text{wenn Größe nicht direkt messbar})$$

Einflüsse der Einzel-Messunsicherheiten auf die Unsicherheit des Ergebnisses *heben sich teilweise gegenseitig* auf (nicht korreliert)

---

### Arithmetisches Fehlerfortpflanzungsgesetz (FFG)

(Größtfehlerabschätzung)

$$\Delta z = \left| \frac{\partial z}{\partial x} \right|_y \Delta x + \left| \frac{\partial z}{\partial y} \right|_x \Delta y$$

Einflüsse aller Messunsicherheiten auf die Unsicherheit des Ergebnisses *addieren sich* (Korrelation)

# Fehler-Fortpflanzungsgesetz FFG

einfache Regeln für gängige Funktionen:

Funktion	FFG-Formel	Bemerkung
$y = a \cdot x$	$\Delta y = a \cdot \Delta x$	<b>absolute</b> Unsicherheit mit dem Betrag der Konstanten $a$ multiplizieren
$\left. \begin{array}{l} y = a \cdot x \\ y = a / x \end{array} \right\}$	$\frac{\Delta y}{ y } = \frac{\Delta x}{ x }$	<b>relative</b> Unsicherheit bleibt gleich
$y = a \cdot x^b$	$\frac{\Delta y}{ y } =  b  \cdot \frac{\Delta x}{ x }$	<b>relative</b> Unsicherheit mit Betrag von $b$ mult. ( $\Delta x / x$ ist unabhängig vom Vorfaktor $a$ )
$y = \ln x$	$\Delta y = \frac{\Delta x}{x}$	absolute Unsicherheit von $y =$ relative Unsicherheit von $x$
$y = x_1 \pm x_2$	$\Delta y^2 = (\Delta x_1)^2 + (\Delta x_2)^2$	<b>absolute</b> Unsicherheit quadratisch addieren (immer „+“!)

# Fehler-Fortpflanzungsgesetz FFG

einfache Regeln für gängige Funktionen:

Funktion	FFG-Formel	Bemerkung
$y = \ln x$	$\Delta y = \frac{\Delta x}{x}$	absolute Unsicherheit von $y$ = relative Unsicherheit von $x$
$y = x_1 \pm x_2$	$\Delta y^2 = (\Delta x_1)^2 + (\Delta x_2)^2$	<b>absolute</b> Unsicherheit quadratisch addieren ( <b>immer „+“!</b> )
$\left. \begin{array}{l} y = x_1 \cdot x_2 \\ y = x_1 / x_2 \end{array} \right\}$	$\left( \frac{\Delta y}{y} \right)^2 = \left( \frac{\Delta x_1}{x_1} \right)^2 + \left( \frac{\Delta x_2}{x_2} \right)^2$	<b>relative</b> Unsicherheit quadratisch addieren ( <b>immer „+“!</b> )
$y = a \cdot x_1^b \cdot x_2^c$	$\left( \frac{\Delta y}{y} \right)^2 = \left( b \frac{\Delta x_1}{x_1} \right)^2 + \left( c \frac{\Delta x_2}{x_2} \right)^2$	(relative Unsicherheit) * Exponent quadratisch addieren

# Fehlerbetrachtung

## Regression

### Ausgleichs- und Fehlergeraden (lineare Regression)

→ linearer Zusammenhang  $y = m * x + n$

→ Darstellung:  $y$  über  $x$

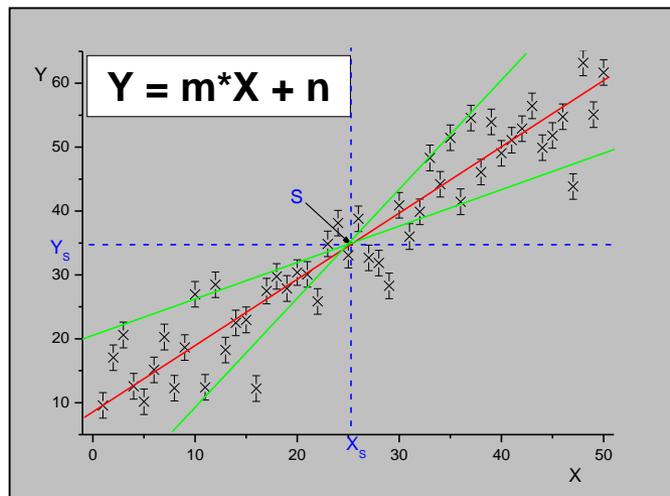
→ ansonsten Linearisieren

→ Darstellung:  $\ln y$  über  $1/x$

$$\boxed{\ln(k)} = \ln(A) - \frac{E_{\text{akt}}}{R} \cdot \frac{1}{T}$$

$y$   $x$

Beispiel: Arrhenius-Plot



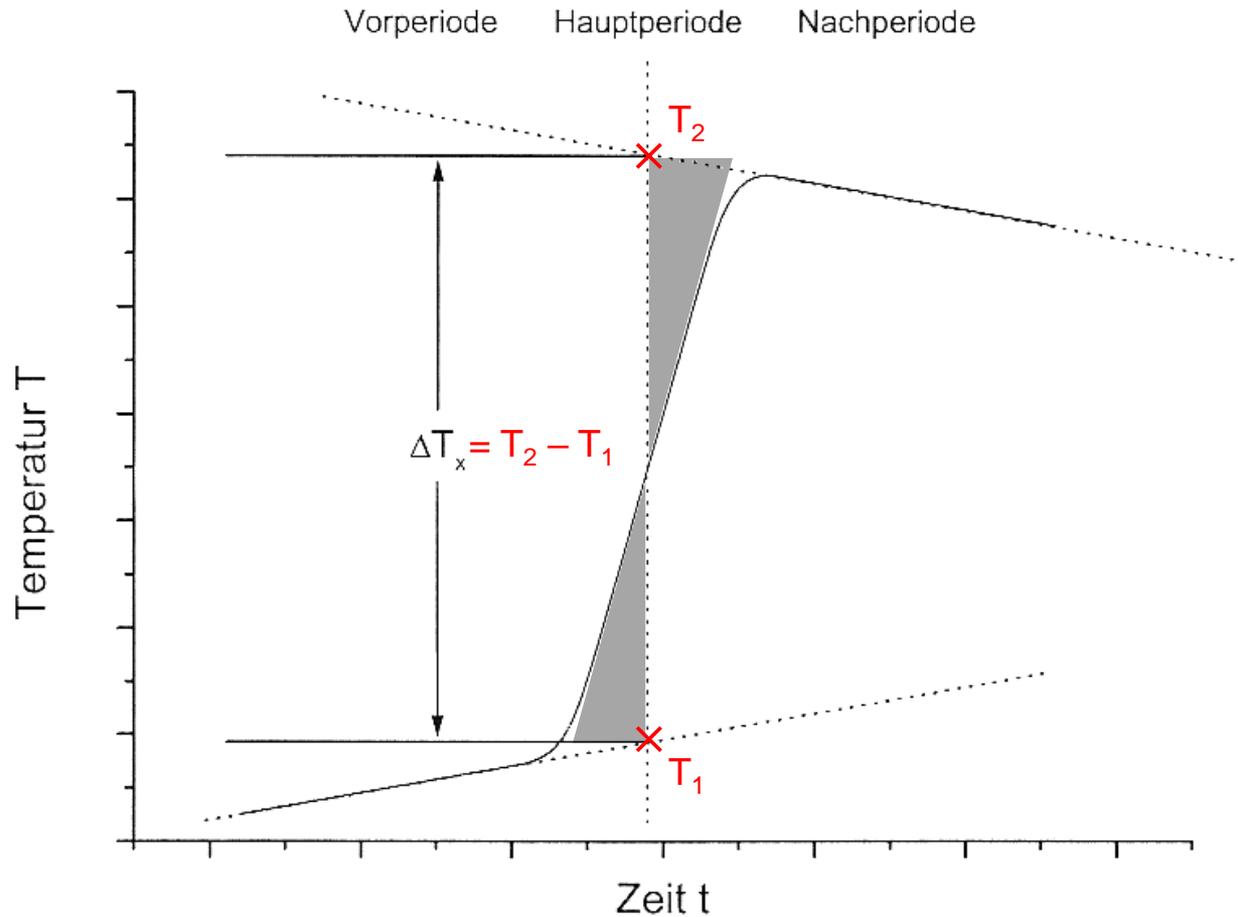
Gerade wird so gelegt, dass die Summe der Abstandsquadrate minimal wird.

$$m = \frac{\overline{xy} - \bar{x}\bar{y}}{\overline{y^2} - (\bar{y})^2}$$

$$n = \bar{y} - m\bar{x}$$

# Fehlerbetrachtung

## “Flächenausgleichsverfahren“



# Fehlerbetrachtung

## Angabe der Ergebnisse

Die letzte signifikante Stelle des Messwertes hat dieselbe Größenordnung wie  $\Delta x$ !

Das Ergebnis hat höchstens so viele signifikante Ziffern wie die ungenaueste der eingehenden Größen!

Beispiel:  $E_\gamma = (378 \pm 35) \text{ keV}$

$$|x_{REF} - x_i| > \Delta x$$

→ Liegt der Referenzwert einer Größe (Literatur-, Theoriewert) sehr weit außerhalb des Ergebnisses, liegt ein grober Fehler vor und ist zu kennzeichnen!

# Referenzdaten/ Literaturangaben

- **Lehrbücher**

- P. W. Atkins, „Lehrbuch der physikalischen Chemie“, 2. Aufl., VCH Weinheim, 1996
- G. Wedler, „Lehrbuch der physikalischen Chemie“, 4. Aufl., VCH Weinheim, 1997
- W. J. Moore, D. O. Hummel, „Physikalische Chemie“, 4. Aufl., WDEG Berlin, 1986
- R. Brdička, „Grundlagen der physikalischen Chemie“, 15. Aufl., DVW Berlin, 1990
- R. Reich, „Thermodynamik“, 1. Aufl., PhysVerl., Weinheim, 1978

- **spezielle Literatur**

- A. Williams, „TB d. chem. Substanzen“, 2. Aufl., Verl. H. Deutsch, Frankfurt, 2001
- E. Milke, „Thermochem. Data of Elements & Compounds“, VCH Weinheim, 1999
- D. R. Lide, „HB of Chemistry & Physics“, 78th Ed. CRC Press, Boca Raton, 1997

- Vorlesungsscript (Wo ist es zu finden?)

- Internet – mit Angabe des Datums (bitte mit Bedacht benutzen!)

## Literaturzitate

im Text durch <sup>[#]</sup>, im Lit.-Verz.:

# Verf., „Titel“, Zeitschrift **Nummer** (Jahr) Seite (Zeitschriften)

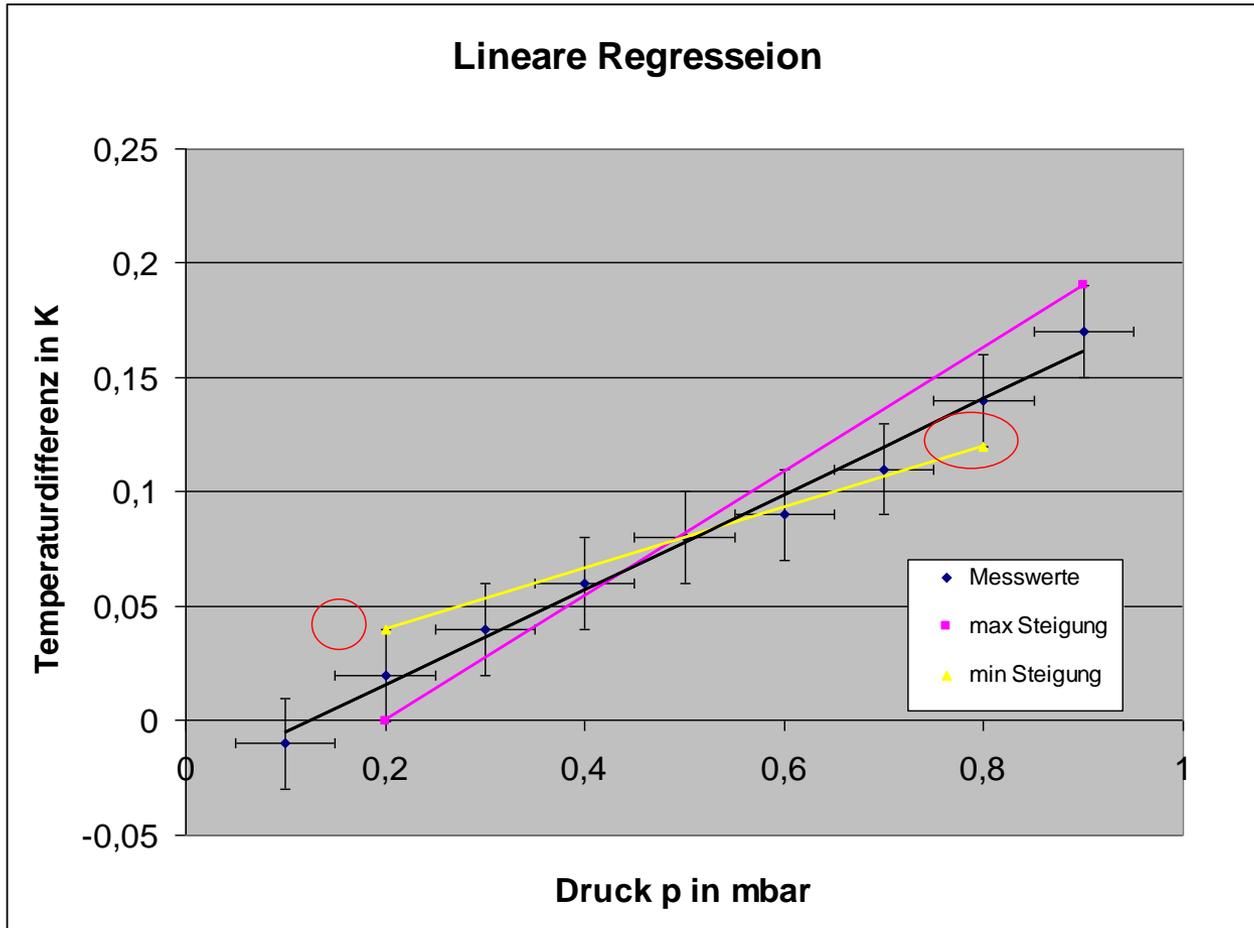
# Verf., „Titel“, Aufl., Verlag, Ort, Jahr, Seite (ff) (Bücher)

Rohrzuckerinvasion

?

Viel Spaß !

# Lineare Regression mit Fehlerbestimmung -Beispiel \*



\* [B. Vogt], Lineare Regression mit Fehlerbestimmung

# Lineare Regression mit Fehlerbestimmung - Vorgehen

- Einzeichnen der Messwerte mit Fehlerbalken bzgl. x- und y-Achse
- „best-fit“-Gerade einzeichnen (minimaler Abstand zu allen Messpunkten)
- Nach Augenmaß werden zwei weitere Geraden mit minimaler und maximaler Steigung eingezeichnet unter Berücksichtigung der Fehlerbalken der Messpunkte (siehe Beispiel). Zu beiden Geraden muss die jeweilige Geradengleichung angegeben werden
- Die Steigung der minimalen Geraden  $m(\min)$  und die Steigung der maximalen Geraden  $m(\max)$  werden mit der Steigung der „best-fit“-Geraden  $m(\text{best-fit})$  verglichen (vergleiche  $|m(\max) - m(\text{best-fit})|$  größer oder kleiner als  $|m(\text{best-fit}) - m(\max)|$ ), die größere Abweichung ist (betragsmäßig!) der Fehler der Steigung:  $m(\text{best-fit}) \pm \Delta m$

# Das Multimeter

## Messen mit dem Multimeter

### allgemein

- . zu Beginn immer den größten Messbereich wählen
- . Verpolung nicht möglich . Gerät misst auch „negativ“
- . DVM misst Effektivwerte von Wechselstrom bzw. -spannung

### Spannungsmessungen

- . immer in Parallelschaltung
- . Gleich-/ Wechselspannung beachten

### Strommessungen

- . immer in Reihenschaltung
- . Gleich-/ Wechselstrom beachten
- . bei großen Strömen (1...10A) spezielle Eingangsbuchse verwenden

### Temperaturmessungen

- . durch Messung von  $U_{th}$  (Thermoelement) oder  $R(T)$  (Widerstandsthermometer)

# Das Multimeter

(Digitalvoltmeter (DVM))

## Aufbau

