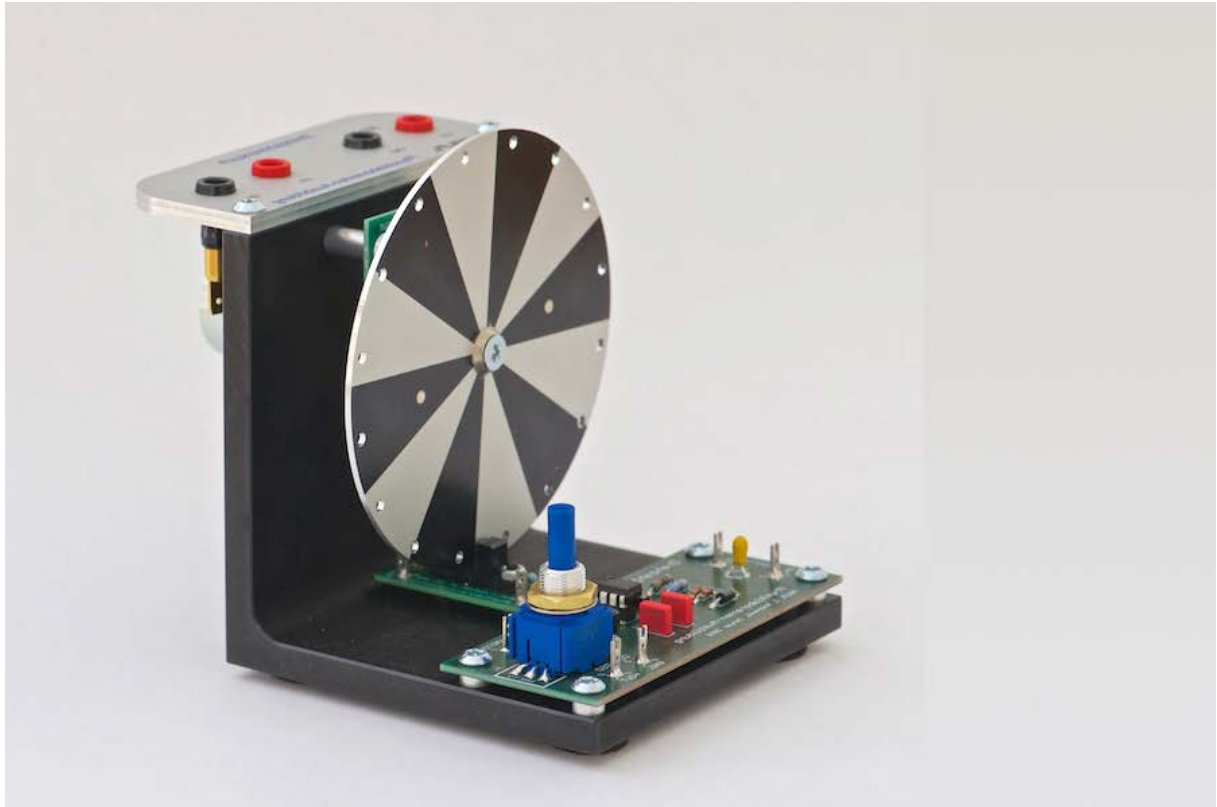


Überbetrieblicher Kurs „Messmethoden“

Grundlagen-Ausbildung der Physiklaboranten



ETH Zürich

Jessica Gmür, Oliver Schwager und Cornel Andreoli

19. August – 4. September 2020

OC Oerlikon

Damian Loher

14. – 30. Oktober 2020

Version 6.1.3

Überbetrieblicher Kurs „Messmethoden“

Grundlagen-Ausbildung der Physiklaboranten

Dieser Kurs befasst sich mit:

- Was ist Messen = Vergleichen mit normierten Grössen und Einheiten.
- Messen von physikalischen Grössen im Direktverfahren, direkt anzeigende Messgeräte.
- Umsetzen von physikalischen Grössen in elektrische und digitale Grössen.
- Registrierung, elektronischer Auswertung und Visualisierung.
- Fehlerarten und -quellen beim Messen.
- Erstellen von Kalibrationen und Messprotokollen.
- Software erstellen um Messwerte mit LabJack U12 aufzunehmen.

Der üK wird anfangs des 1. Lehrjahres durchgeführt. Der Kurs dauert 9 Tage.

Den Kurs und weitere Informationen gibt es auf meinem public-server:

http://people.phys.ethz.ch/~andreoli/üK_1/



1	EINLEITUNG	5
2	LÄNGENMESSUNG	6
2.1	Der Nonius	7
2.2	Längenmessung mit Laserdistanzmessgerät	13
3	ERSTELLEN EINES PROTOKOLLS	15
4	DICHTEMESSUNG	16
4.1	Einleitung	16
4.2	Dichtemessung von Flüssigkeiten	16
4.2.1	Ablesen des Aräometers	16
4.3	Dichtemessung von Festkörpern	18
4.3.1	Volumen einfacher, geometrischer Körper	18
4.3.2	Volumen unregelmässiger Körper	18
4.3.3	Volumen kleiner Körper	20
5	ELEKTRISCHER STROMKREIS	21
5.1	Einführung	21
5.2	Spannungen, Ströme und Widerstände	22
6	ELEKTRISCHE MESSUNGEN MIT DEM DIGITALMULTIMETER	23
6.1	Einführung	23
6.2	Netzgerät / Power Supply	25
6.2.1	Konstante Spannungsquelle	25
6.2.2	Konstante Stromquelle	25
6.2.3	ETH-Power Supply ($\pm 15V$)	25
6.3	Spannungsmessung	26
6.4	Strommessung	26
6.5	Ströme und Spannungen	27
6.5.1	Serieschaltung von Widerständen	27
6.5.2	Parallelschaltung von Widerständen	28
6.6	Berechnungen von Widerstands-Netzwerken	29
6.7	Strom- und Spannungsfehlerschaltung	31
6.8	Konstant-Strom-Messmethoden	32
6.9	4-Leiter-Schaltung	34
6.10	Wheatstone'sche Messbrücke (Charles Wheatstone, 1802 – 1875)	36

7	ELEKTRISCHE MESSUNG MIT DEM DIGITALSPEICHEROSZILLOSKOP	38
7.1	Einführung	38
7.2	Digitalspeicheroszilloskop Tektronix TDS2002B	38
8	KRÄFTEMESSUNG	40
8.1	Einführung	40
8.2	Kräftemessung mit Dehnungsmessstreifen (DMS)	41
8.2.1	Elektrische Messkette mit DMS-Kraftaufnehmer	43
8.2.2	Elektrischer Kraftaufnehmer	44
8.3	Literatur & weitere Infos	45
9	DREHZAHL- UND ZEITMESSUNG	46
9.1	Drehzahlmessung	46
10	TEMPERATURMESSUNG	47
10.1	Einleitung	47
10.2	Mechanische Volumenänderung	48
10.3	Widerstandsänderung	49
10.3.1	NTC und PTC:	49
10.3.2	Pt100 und Ni100:	50
10.4	Halbleiter-Temperatursensor	52
10.5	Thermoelement	53
10.5.1	Einleitung	53
10.5.2	Messen mit einem Thermoelement	54
10.5.3	Messung mit einer Ausgleichsleitung	56
10.6	Literatur & weitere Infos	58
10.7	Abbildungsverzeichnis	58
11	NOTIZEN UND FRAGEN	59

1 Einleitung

„Wer misst misst Mist“

Aufgabe: Was gibt es bei einer Messung zu beachten?

Diskutiere in einer 2'er Gruppe und notiere dir die wichtigsten Punkte.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....



„Messen heisst _____“

2 Längenmessung

Die Längenmessung ist eine wichtige Messmethode in der Technik. Es gibt verschiedene Möglichkeiten um eine Länge zu messen. Einige Längenmessmethoden sind dir bereits bekannt.

Aufgabe: Welche Längenmessmittel kennst du?

Diskutiere in einer 2'er Gruppe und notiere dir die wichtigsten Punkte.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Für eine präzise Längen- oder Durchmesserbestimmung lernst du in diesem üK den Messschieber und die Bügelmessschraube kennen. Beide Messgeräte gibt es mit einer Noniusanzeige oder einer digitalen

Anzeige. In diesem Kurs wirst du beide Messgeräte mit einer Noniusanzeige kennen lernen. Beides sind empfindliche Messgeräte.



Abb. 1: Messschieber



Abb. 2: Bügelmessschraube



Behandle die beiden Messgeräte mit viel **Sorgfalt!**

2.1 Der Nonius

Mit dem Nonius wird die Hauptskala noch einmal fein unterteilt. Die Striche auf der Hauptskala und dem Nonius stehen in einem definierten Verhältnis zueinander. Bei unserem Messschieber ist das Verhältnis 9:10. Dies bedeutet, dass der Abstand zwischen zwei Noniusstriche 0.9 mm beträgt auf der Hauptskala sind es jeweils 1 mm zwischen den Strichen.

Wie liest man den Wert am Messschieber ab?

Zuerst liest du den Wert auf der Hauptskala ab. Im Beispiel ist dies ein Wert von 10 mm.

Nun schaust du welcher Noniusstrich (violette Skala) sich mit einem Strich der Hauptskala auf derselben Höhe befindet. (Im Beispiel wäre dies der 2. Noniusstrich). Zum Wert von der Hauptskala wird nun der Wert der Noniusskala dazu addiert.

Hier ein Beispiel:

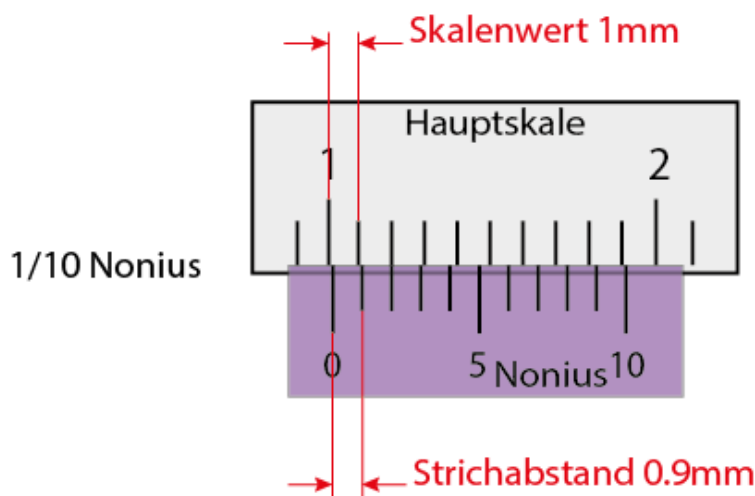


Abb. 3: Ablesen 1/10-Nonius

Wert auf der Hauptskala:	10 mm
Noniusskala:	2 Strich – 0.2 mm
Total:	10.2 mm

Es gibt nicht nur den 1/10-Nonius, sondern auch noch andere Unterteilungen.

Ablesebeispiele: Nonien mit verschiedenen Nonienwerten

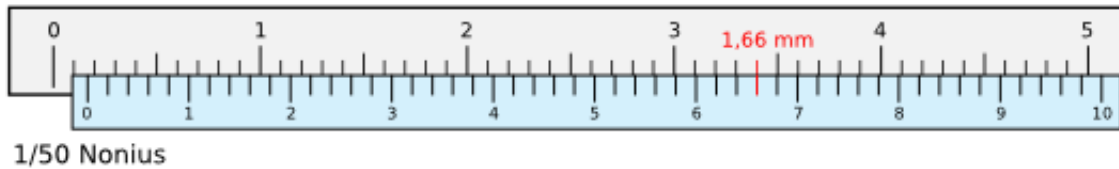
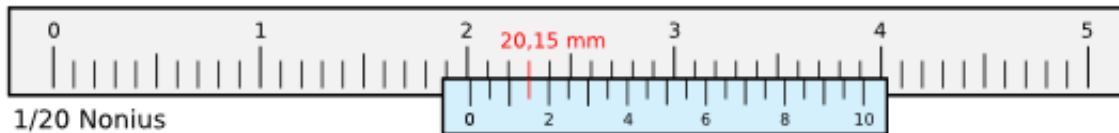
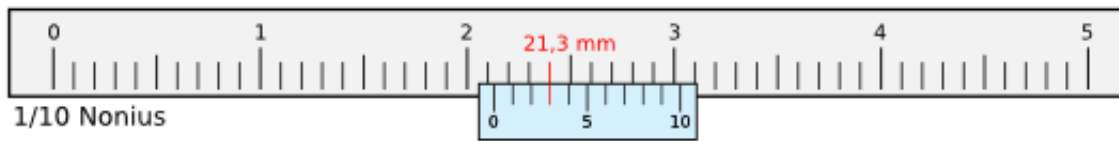


Abb. 4: Verschiedene Nonien

Kannst du den Wert richtig ablesen?

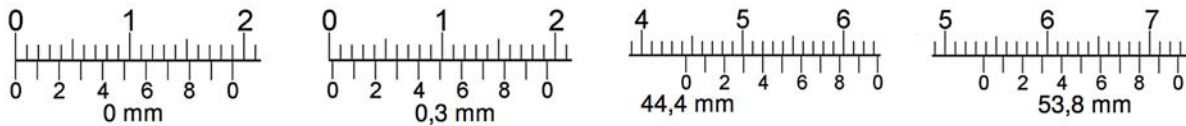
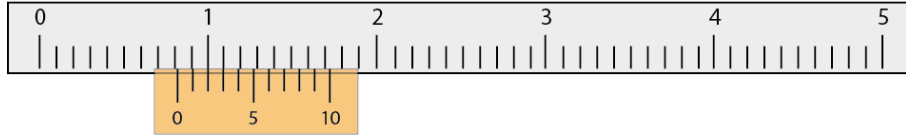


Abb. 5: Weitere Beispiele mit Nonien

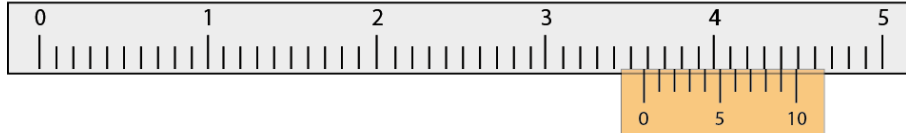
Aufgabe: Nonius ablesen am Messschieber

Lesen die eingestellten Messschieber Werte ab und notiere die Resultate.

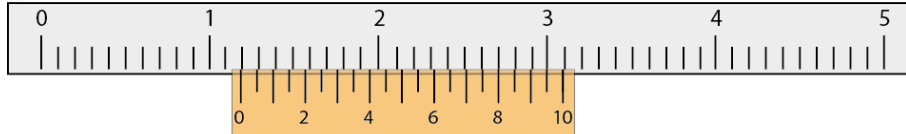
1/10 Nonius



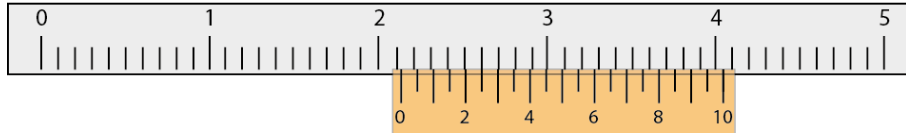
1/10 Nonius



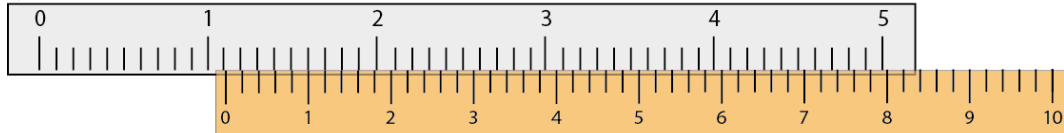
1/20 Nonius



1/20 Nonius



1/50 Nonius



1/50 Nonius

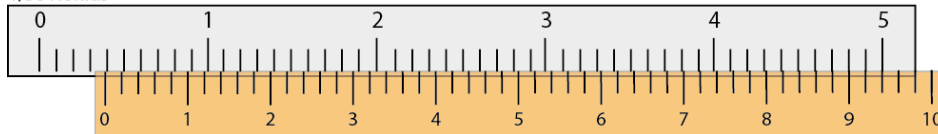


Abb. 6: Verschiedene Messschieber

Wie liest man den Wert an der Bügelmessschraube ab?

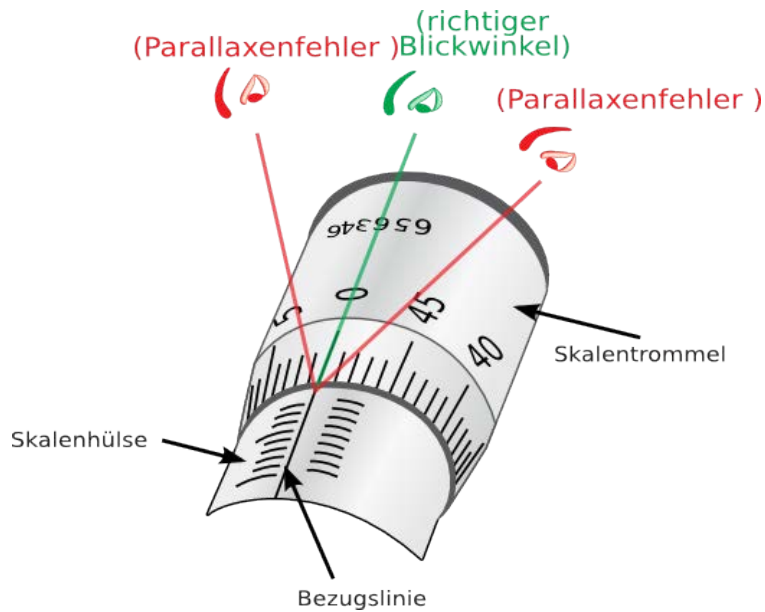


Abb. 7: Möglicher Parallax-Fehler bei der Bügelmessschraube

Aufgabe: Nonius ablesen an der Bügelmessschraube

Lese die eingestellten Werte ab und notiere die Resultate.

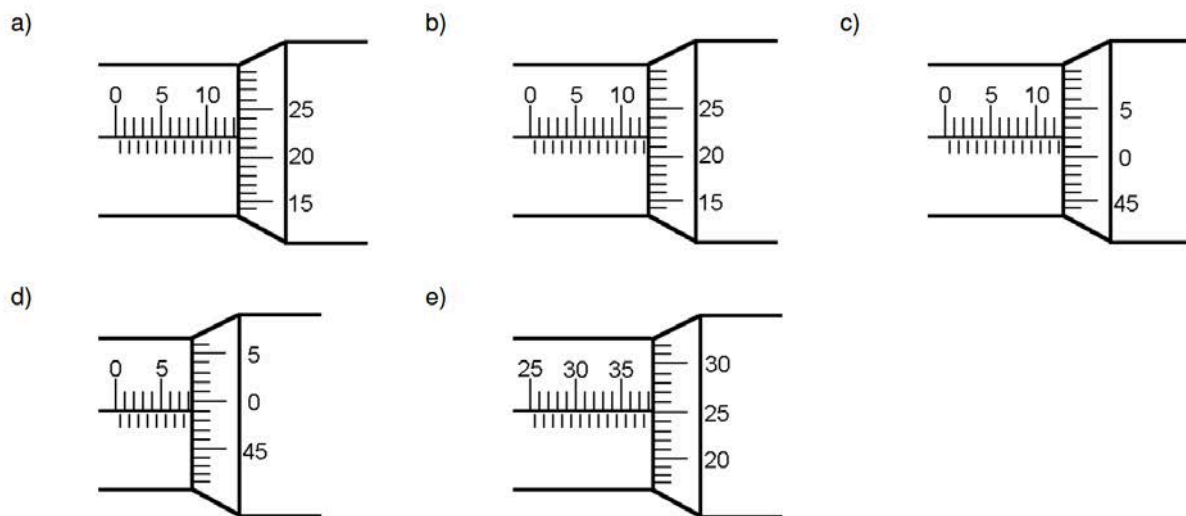


Abb. 8: Beispiele von Bügelmessschrauben

a.)

b.)

c.)

d.)

e.)

.....

.....

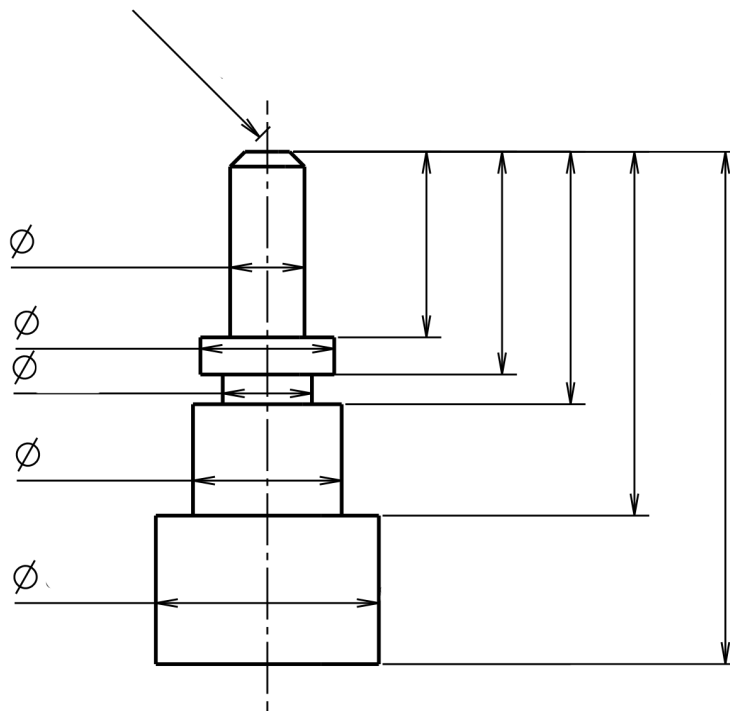
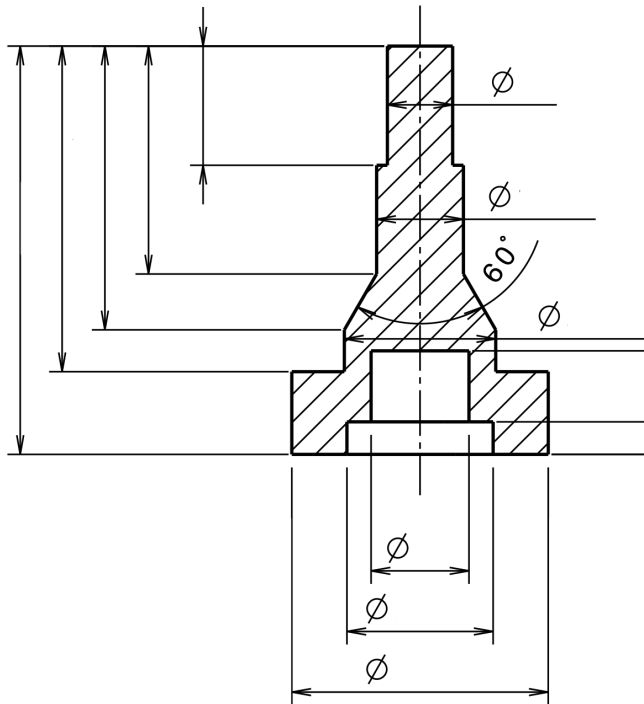
.....

.....

.....

Aufgabe: Praktische Messung

Messe die beiden Wellen aus und notiere die gemessenen Werte.



Aufgabe: Repetition Messschieber, Bügelmessschraube und Nonius.

1. Was ist ein Nonius?

.....

.....

.....

.....

.....

2. Was ist bei der Messung von Längen mit dem Messschieber und der Bügelmessschraube wichtig?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Aufgabe: Wie gross ist der Durchmesser deines Haares? Wie dick ist ein Blatt Papier?

2.2 Längenmessung mit Laserdistanzmessgerät

Für grössere Längenmessungen ist ein Laserdistanzmessgerät ideal. Im üK haben wir ein Längenmessgerät der Firma Hilti (PD5). Mit diesem Gerät kannst du von 25 cm bis 100 m mit einer Genauigkeit von ± 1.5 mm messen.



NICHT direkt in den Laserstrahl schauen!

Aufgabe: Laserdistanzmessgerät

Wie funktioniert das Laserdistanzmessgerät?

Such in einer 2'er Gruppe auf dem Internet nach Informationen, beschreibe die Funktion mit deinen eigenen Worten und ev. einer Skizze.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Skizze:

Aufgabe: Die Höhe des Gebäude HPP

Bestimme auf dem H-, J- oder K-Stock die nutzbare Fläche und die gesamte Fläche.

Erledige diese Aufgabe im 2'er Team.

Überlege dir **zuerst** wie du diese Messung durchführen möchtest.

Skizziere deine Messungen:

HPP	
	P
	O
	N
	M
	L
	K
	J
	H
	G
	F

3 Erstellen eines Protokolls

Es ist sehr wichtig, dass ein Physiklaborant seine Arbeit genau protokolliert. Nur Messungen und Arbeiten, welche gut protokolliert sind, sind in der Zukunft wertvoll!

Das Protokoll ist dann richtig abgefasst und vollständig, wenn ein Fachmann die Arbeit anhand des Protokolls genau wiederholen kann.

Aufgabe: Wie sieht ein Protokoll aus?

Diskutiere in deiner 2'er Gruppen was in einem guten Protokoll stehen muss. Notiere dir die wichtigen Punkte.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

4 Dichtemessung

4.1 Einleitung

Die Dichte ρ (rho) ist der Quotient aus der Masse m eines Körpers und seinem Volumen V . Jedes Material hat seine eigene Dichte. Über die Dichte kann ein unbekanntes Material bestimmt werden. Die Dichte ist temperaturabhängig, da das Volumen eines Körpers von der Temperatur abhängig ist.

$$\text{Dichte } \rho = \frac{\text{Masse}}{\text{Volumen}} = \frac{m}{V}$$

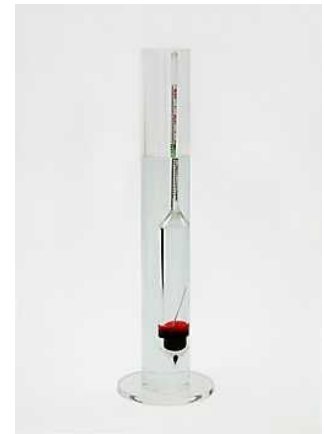


Abb. 9: Aräometer



Führe das Aräometer langsam und **vorsichtig** in die zu messende Flüssigkeit ein und lasse es erst los wenn das Aräometer in der Flüssigkeit **schwimmt**!

4.2.1 Ablesen des Aräometers

Je nach Flüssigkeit wird das Aräometer verschieden abgelesen. Bei durchsichtigen Flüssigkeiten wird das Aräometer am unteren Meniskus abgelesen (s. Skizze). Bei undurchsichtigen Flüssigkeiten liest man den Wert am oberen Meniskus ab.

Aufgabe: Bestimmung unbekannter Lösungsmittel

Bestimme mit einer Aräometermessung welches Lösungsmittel die Probe A, die Probe B und die Probe C sein könnten. Vergleiche deine Messwerte mit der Tabelle der Lösungsmittel.

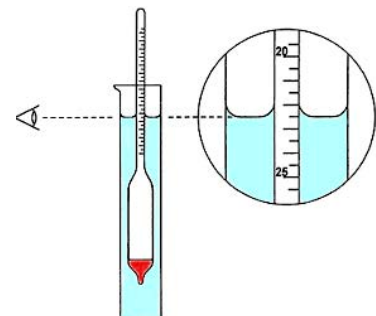


Abb. 10: Ablesen Aräometer

Probe	Dichte [kg/m³ oder g/l]	Mögliches Lösungsmittel
A		
B		
C		

Aufgabe Zuckergehalt von Coca-Cola, RedBull, etc.

Wie könntest du den Zuckergehalt eines beliebigen Süssgetränkes bestimmen?

Diskutiere mit deinem Kollegen über eine mögliche Lösung. Arbeite in einer 2'er Gruppe und bestimme den Zuckergehalt eines Süssgetränkes.

1.
2.
3.
4.
5.
6.

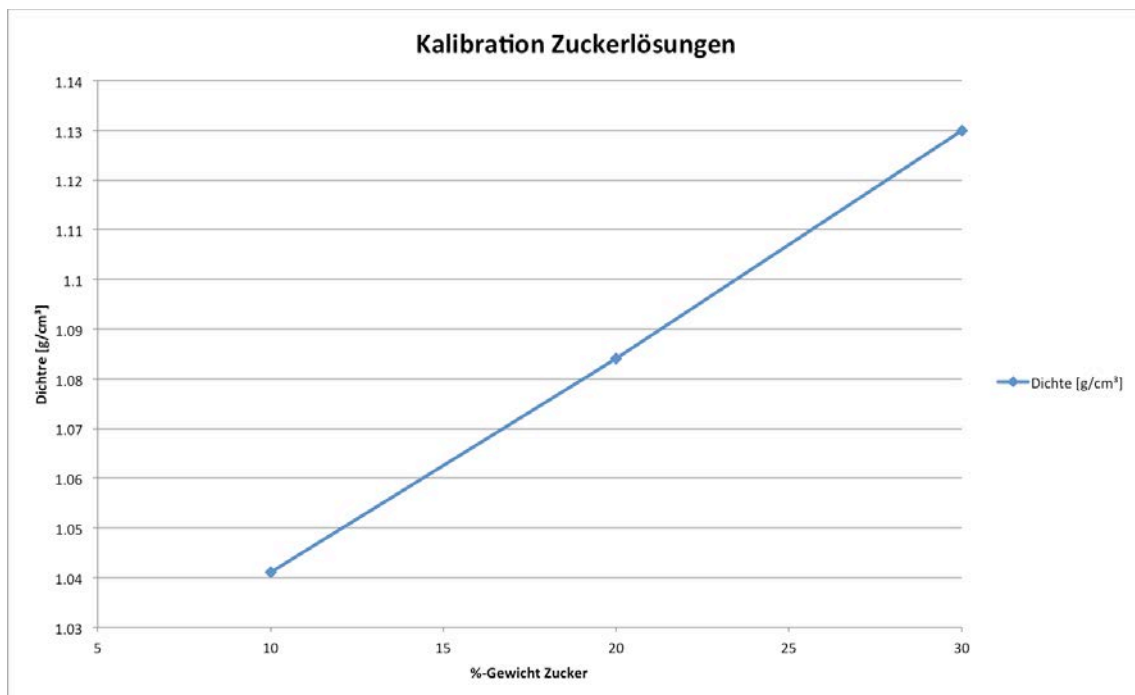


Abb. 11: Beispiel einer Kalibrationskurve



Arbeite vorsichtig und sauber, damit nicht alles vor Zucker klebt!



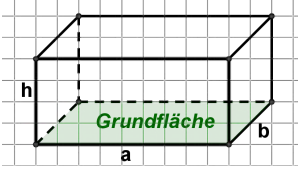
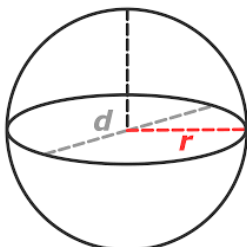
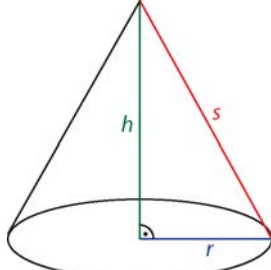
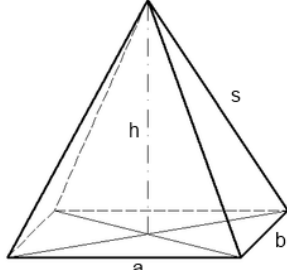
Reinige nach deiner Messung alle Geräte mit Wasser!

4.3 Dichtemessung von Festkörpern

Für die Bestimmung der Dichte muss immer das Volumen und die Masse des Festkörpers bekannt sein. Je nach Körper gibt es unterschiedliche Messmethoden.

4.3.1 Volumen einfacher, geometrischer Körper

Bei einem Festkörper mit einer einfachen geometrischen Form kann das Volumen gut bestimmt werden. Dazu misst du mit einem Messschieber oder einer Bügelmessschraube die Längen/Radius und die Höhe des Festkörpers.

			
$V = a * b * h$	$V = \frac{4}{3} \pi * r^3$	$V = \frac{1}{3} \pi * r^2 * h$	$V = \frac{1}{3} a * b * h$

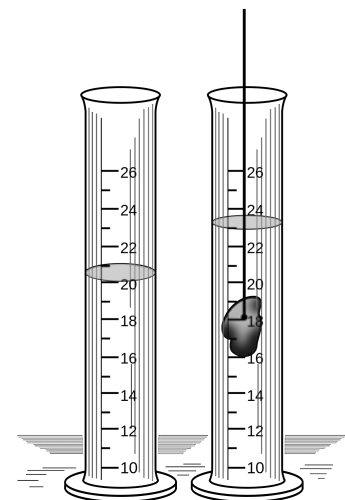
Misst du nun die Masse m des Festkörpers, dann kannst du die Dichte berechnen:

$$\text{Dichte } \rho = \frac{\text{Masse}}{\text{Volumen}} = \frac{m}{V}$$

4.3.2 Volumen unregelmässiger Körper

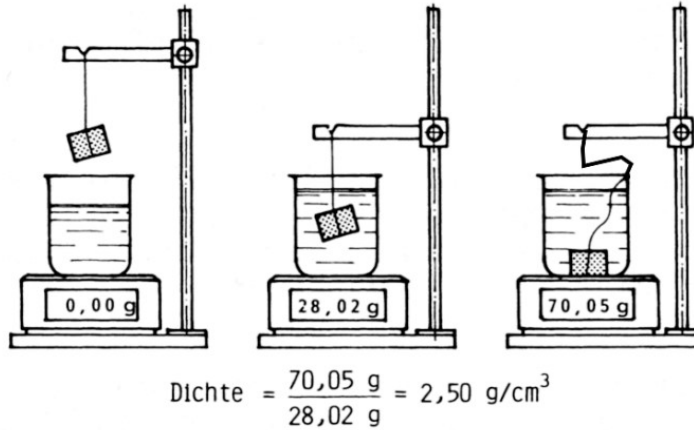
Bei Festkörpern, welche keine einfache, geometrische Form haben, kann man das Volumen über die Auftriebs- bzw. Verdrängungsmethode bestimmen.

- **Verdrängungsmethode:**
Messzylinder mit Wasser füllen und den Festkörper eintauchen.
Die Volumenänderung ablesen.



- **Auftriebsmethoden**

Becherglas mit Wasser füllen, auf Waage stellen und Nullen. Festkörper in Wasser hängen und Gewicht m_1 messen. Dies entspricht genau dem Volumen des Festkörpers. Festkörper auf den Boden legen und das Gewicht m_2 messen.



$$\text{Dichte } \rho = \frac{m_2}{m_1}$$

Aufgabe: Bestimmung der Dichte der verschiedenen Proben

Miss die Dichte der unterschiedlichen Proben. Entscheide mit welcher Messmethode du die Dichte bestimmen möchtest.

4.3.3 Volumen kleiner Körper

Für die Bestimmung des Volumens von kleinen Körpern (z.B. Granulat) kannst du ein Pyknometer verwendet. Das Pyknometer hat ein definiertes Volumen. Das Messprinzip beruht auf der Verdrängung der im Pyknometer befindlichen Flüssigkeit. Zuerst wird das leere Pyknometer gewogen (m_0). Nun wird das Pyknometer inkl. der unbekannten Probe gewogen (m_2). Danach nimmt man die Probe aus dem Pyknometer, füllt das Pyknometer mit einer bekannten Flüssigkeit und wägt das Pyknometer inkl. der bekannten Flüssigkeit (m_1). Am Schluss wird das gefüllte Pyknometer inkl. der unbekannten Probe gewogen (m_3). Als Flüssigkeit verwendet man am besten destillierte Wasser bei 20°C (Dichte $\rho_W = 0.9982 \text{ g/cm}^3$)

Dichte des unbekannten Festkörpers ρ_F

$$\rho_F = \frac{m_2 - m_0}{(m_1 - m_0) - (m_3 - m_2)} * \rho_W$$

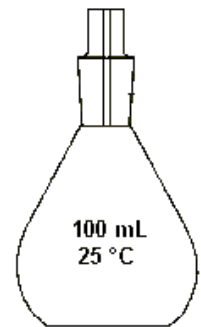


Abb. 12: Pyknometer

Aufgabe: Bestimmung der Metall-Granulate oder Metall-Späne

Du hast unbekannte Metall-Granulate. Bestimme das Material mit einer Dichtemessung mit dem Pyknometer. Fülle das Pyknometer zu ca. 1/3 mit dem unbekannten Material.

Metall-Granulat	Dichte [kg/m³] oder [g/cm³]	Beschreibung, Aussehen, etc.	Mögliches Metall nach Tabelle
A			
B			
C			
D			
E			
F			

5 Elektrischer Stromkreis

5.1 Einführung

In diesem Kapitel schauen wir uns den elektrischen Stromkreis genauer an. Wir beschränken uns vorerst auf die Gleichspannung. Als Analogie nehmen wir einen Wasserkreislauf.

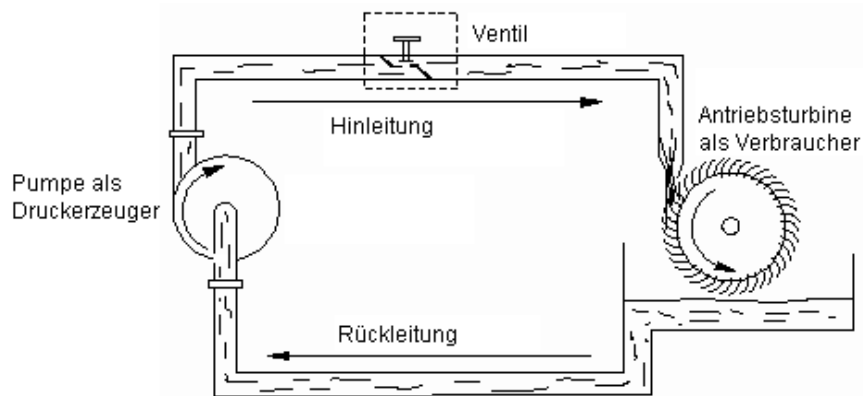


Abb. 13: Wasserkreislauf

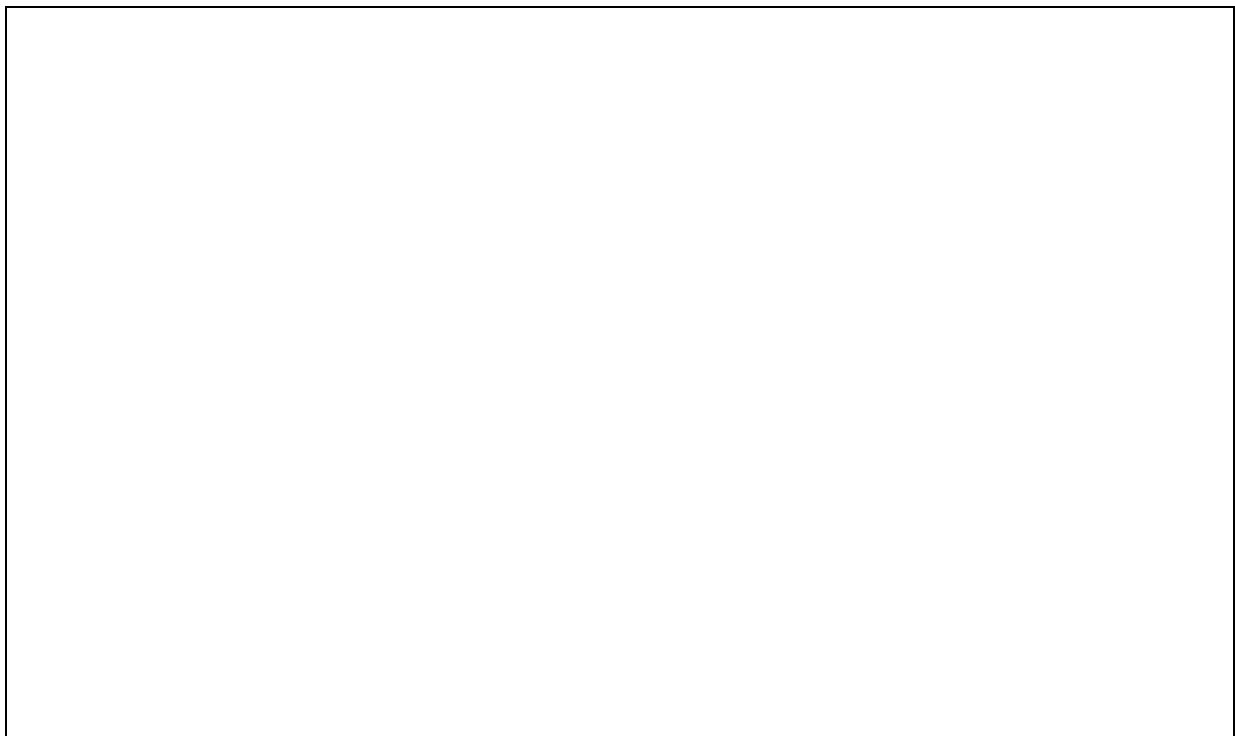
Wasserkreislauf

Pumpe
Ventil
Turbine als Verbraucher

Stromkreislauf

Batterie, Netzgerät (PowerSupply)
Schalter
Widerstand, Lampe, Motor, etc. als Verbraucher

Aufgabe: Zeichne einen einfachen Stromkreis mit einer Batterie, Schalter und Widerstand



5.2 Spannungen, Ströme und Widerstände

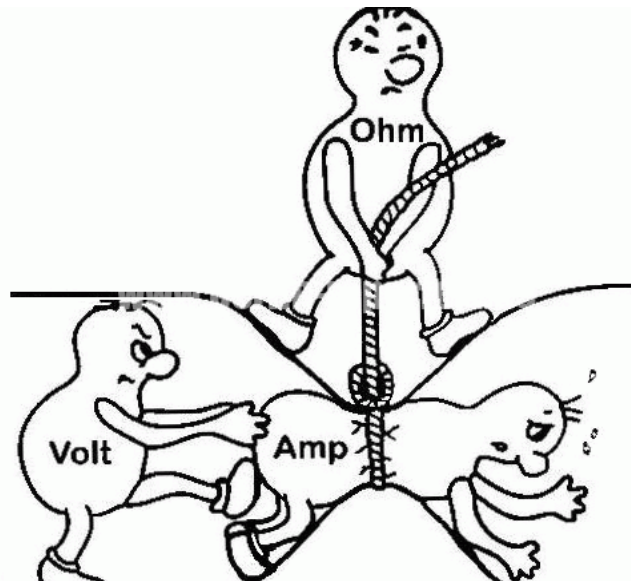
In jedem Stromkreislauf hast du Spannungen, Ströme und Widerstände. Eine Spannung an einer Lampe (Widerstand) gibt einen Strom. Dies wird auch als Ohm'sches Gesetz bezeichnet.

$$U = R * I$$

U: Spannung [U] = Volt V

R: Widerstand [R] = Ohm Ω

I: Strom [I] = Ampère A (oft auch mA // 10^{-3} A oder μA // 10^{-6} A)



Aufgabe: Fülle folgende Tabelle mit den fehlenden Werten aus

Spannung [V]	Widerstand [Ω]	Strom [A]
5	100	
12		0.2
15	270	
	680	0.125
15	3.3	
10		0.5
10	560	
15		1 A

6 Elektrische Messungen mit dem Digitalmultimeter

6.1 Einführung

In der Technik sind elektrische Signale sehr wichtig. Sei es um Messwerte von Sensoren zu übertragen oder Steuerungssignale für Aktuatoren (Ventile, Motoren, etc.).

Für einen Physiklaborant*in ist es sehr wichtig, dass sie/er elektrische Signale richtig und effizient messen kann. Elektrische Signale können Spannungen [V] oder Ströme [A] sein. Widerstände können aus diesen Werten gerechnet werden. Manchmal werden die Widerstände auch direkt gemessen. Alle diese elektrischen Signale können mit dem Digitalmultimeter (DMM) gemessen werden.

Es gibt viele verschiedene Digitalmultimeter. In unserem üK werden wir 2 Typen verwenden. Was sind die Unterschiede?



Abb. 14: Keysight U1252B



Abb. 15: UNI-T Digitalmultimeter

Aufgabe: Unterschiede der Digitalmultimeter

Typ	Keysight U1252B	UNI-T UT61
DC-Spannung [V] (min ... max)		
Max. DC-Strom [A] (min ... max)		

Auflösung DC-Spannung [mV]		
Widerstand [Ω] (min ... max)		
Genauigkeit DC-Spannung		
Temp. Messung (... bis ...°C)		
PC-Interface		
Preis, Diverses		

6.2 Netzgerät / Power Supply

Ein Power Supply liefert am Ausgang eine stabilisierte Gleichspannung. Du kannst es dir wie eine Batterie vorstellen. Es gibt Power Supplies, bei welchem die Ausgangsspannung einstellbar ist. Bei unseren Power Supplies gibt es zwei verschiedene Betriebsmöglichkeiten.



Abb. 16: Power Supply für den überbetrieblichen Kurs

6.2.1 Konstante Spannungsquelle

Die Ausgangsspannung (Buchse schwarz und rot) kann von 1.2V - 30V eingestellt werden. Am Poti (1) grob und am Poti (2) fein. Bei konstanter Ausgangsspannung leuchtet die LED CV (Constant Voltage). Je nach Last fließt ein anderer Ausgangsstrom. Spannung wie Strom werden angezeigt.

6.2.2 Konstante Stromquelle

Das Power Supply kann auch einen konstanten Ausgangsstrom liefern. Dazu werden die beiden Ausgangsbuchsen mit einem Kabel verbunden. Nun kann an den beiden Potis (3 und 4) der konstante Ausgangsstrom eingestellt werden. Die Verbindung wird entfernt und die Last am Ausgang verbunden. Das Power Supply liefert nun unabhängig der verwendeten Last den eingestellten Strom. Die LED CC leuchtet.

Aufgabe: Stelle eine Spannung von 5.0V und einen Strom von 0.1A ein

Notiere wie du das machst:

.....

.....

.....

6.2.3 ETH-Power Supply ($\pm 15V$)

Das ETH-Power Supply hat eine Ausgangsspannung von $\pm 15V$ und 5V. Die erdsymmetrische Ausgangsspannung ($\pm 15V$) wird vor allem in der Elektronik benötigt.

6.3 Spannungsmessung

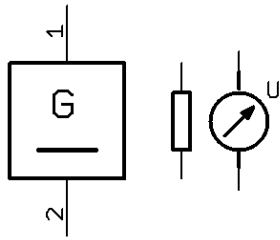


Abb. 17: Spannungsmessung

Skizziere deine Messschaltung:

Aufgabe: Spannungsmessung

Zeichne in das Schema deine Verkabelung ein und messe die Spannung U am Widerstand R_1 .

Spannungsmessgeräte haben einen möglichst _____ Innenwiderstand.

6.4 Strommessung

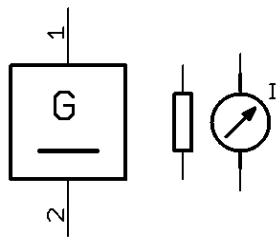


Abb. 18: Strommessung

Skizziere deine Messschaltung:

Aufgabe: Strommessung

Zeichne in das Schema deine Verkabelung ein und messe den Strom I , welcher durch den Widerstand fließt.

Strommessgeräte haben einen möglichst _____ Innenwiderstand.

6.5 Ströme und Spannungen

Aufgabe: Strom- und Spannungsmessung

Verbinde 2 Widerstandsmodule und messe die einzelnen Ströme und Spannungen.

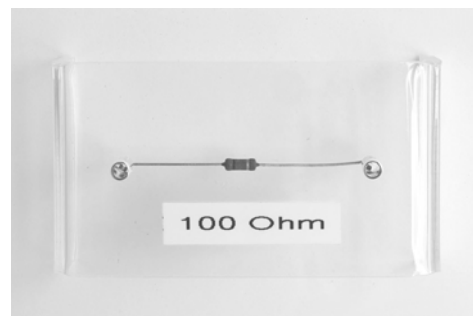


Abb. 19: Widerstand-Modul

6.5.1 Serieschaltung von Widerständen

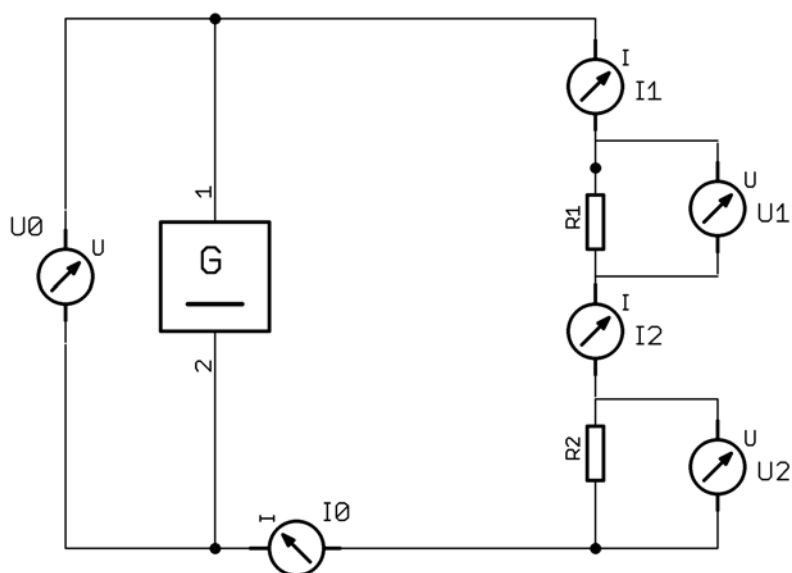


Abb. 20: Serie-Schaltung

U0 [V]	U1 [V]	U2 [V]	I0 [mA]	I1 [mA]	I2 [mA]

Notiere alle Messwerte übersichtlich in der Tabelle.

Was ist deine Erkenntnis aus den Messungen?

.....

.....

.....

.....

6.5.2 Parallelschaltung von Widerständen

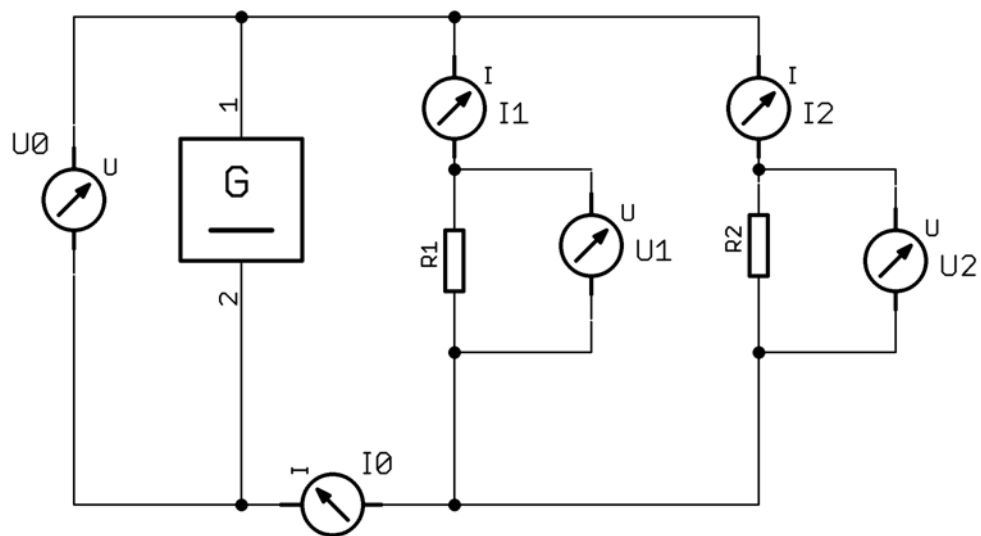


Abb. 21: Parallel-Schaltung

U_0 [V]	U_1 [V]	U_2 [V]	I_0 [mA]	I_1 [mA]	I_2 [mA]

Notiere alle Messwerte übersichtlich in der Tabelle.

Was ist deine Erkenntnis aus den Messungen?

.....

.....

.....

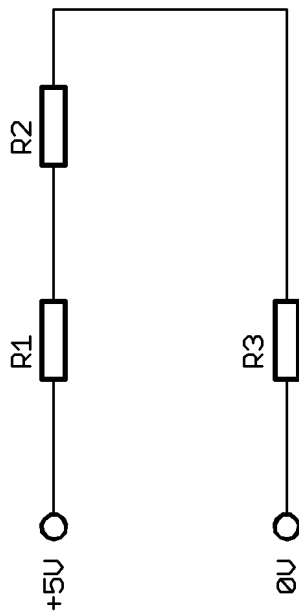
.....

6.6 Berechnungen von Widerstands-Netzwerken

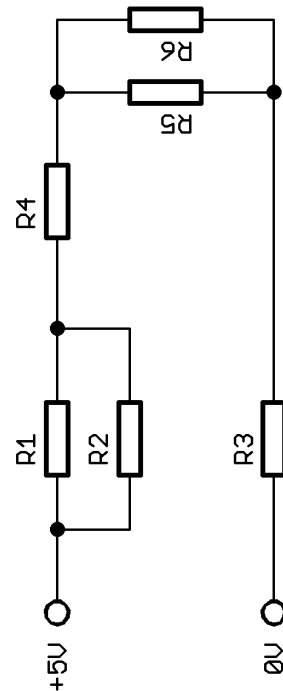
Die Versorgungsspannung ist bei jeder Schaltung +5V. Alle Widerstände haben einen Wert von $1\text{k}\Omega$.
Berechne bei jeder Schaltung:

- Laststrom I_L
- Durch welchen Widerstand fließt der grösste Strom?
- An welchem Widerstand fällt die höchste Spannung ab?

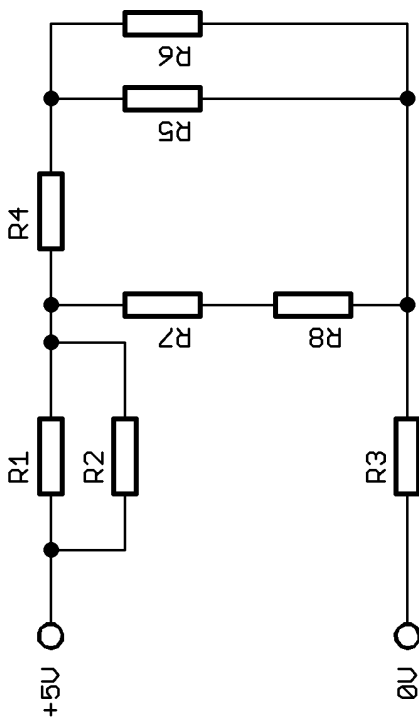
1.)



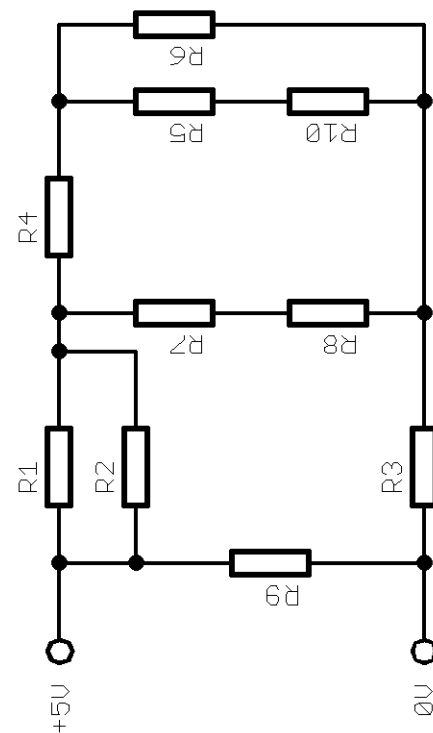
2.)



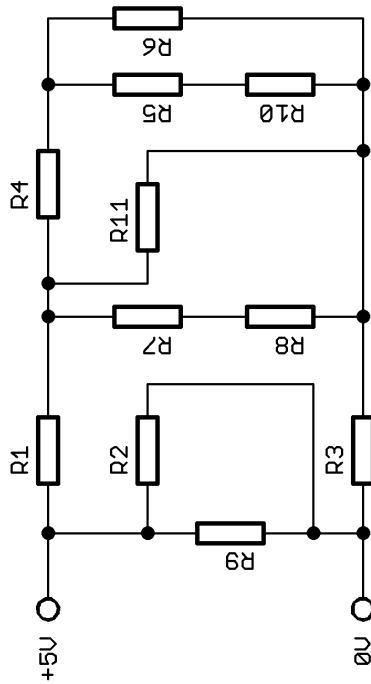
3.)



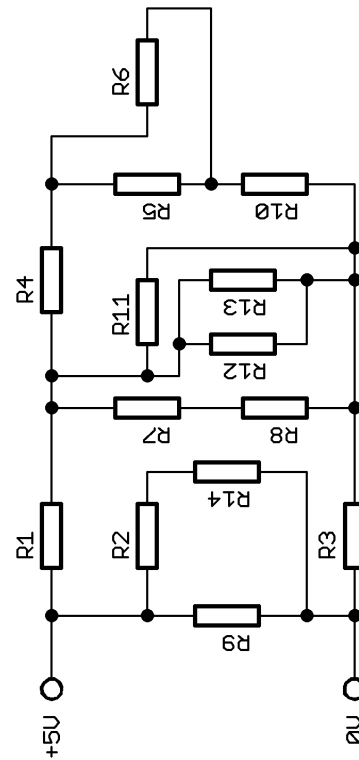
4.)



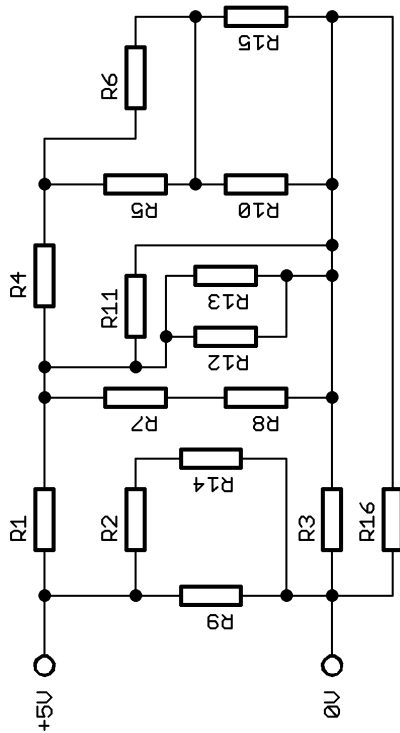
5.)



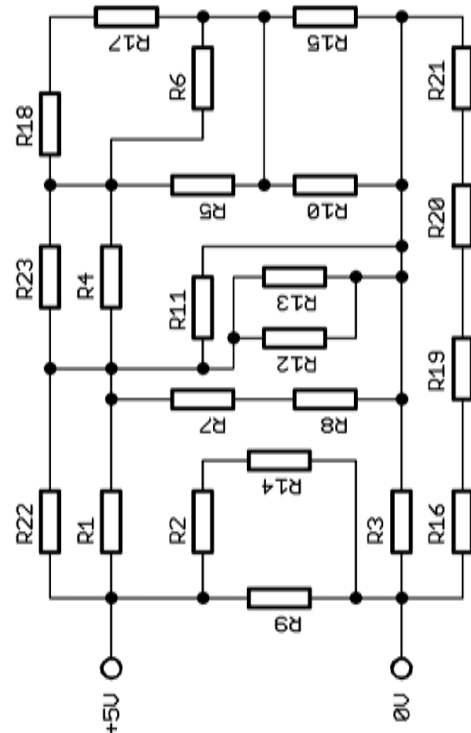
6.)



7.)



8.)



6.7 Strom- und Spannungsfehlerschaltung

Wie du bei den ersten Messungen gesehen hast, kann man den elektrischen Widerstand mit dem Digitalmultimeter auf 2 Arten messen.

- direkt mit der Ω -Einstellung
- mit einer Strom- und Spannungsmessung und dann den ohm'schen Wert ausrechnen.

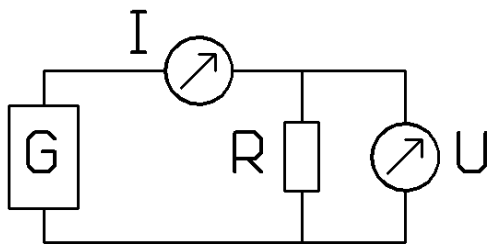


Abb. 22: Strom-Fehlerschaltung

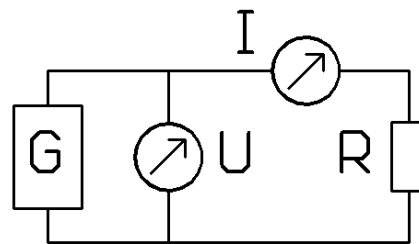


Abb. 23: Spannungs-Fehlerschaltung

Mit beiden Schaltungen kann man den Widerstand über eine Strom- und Spannungsmessung bestimmen. Gibt es einen Unterschied?

Aufgab: Strom- und Spannungsfehlerschaltung:

Diskutiere die Schaltungen in einer 2'er Gruppe und notiere deine Bemerkungen.

.....

.....

.....

.....

Aufgabe: Strom- und Spannungsfehlerschaltung:

Messe in einer 2'er Gruppe folgende Aufgaben.

1. Zeichne je ein Schema für die Strom- und Spannungsfehlerschaltung
2. Ausgangsspannung **U=5V**, stelle die Strombegrenzung auf **max. 100 mA** ein.
3. Bestücke es mit dem Widerstand R1 (150 Ω oder 180 Ω).
4. Messe nun den Strom und die Spannung mit der Strom- und Spannungsfehlerschaltung. Schliesse die DMMs entsprechend an.
5. Ersetze nun den Widerstand R1 durch einen Widerstand R2 mit 470 k Ω oder 560 k Ω
6. Messe nun den Strom und die Spannung mit der Strom- und Spannungsfehlerschaltung. Schliesse die DMMs entsprechend an.
7. Als Referenz dient die Messung mit dem 4-Leiter-Messgerät
8. Erstelle in Excel eine Tabelle der Werte und rechne den elektrischen Widerstand aus.



Verwende jeweils die **genaueren** Keysight-DMM für die Messungen!

6.8 Konstant-Strom-Messmethoden

Um Widerstände zu messen, wird oft die Messmethode mit konstantem Strom verwendet. Der Pt100-Widerstand ist ein Temperatur-Sensor, welcher bei 0°C einen Wert von 100Ω hat. Misst man den Widerstand, dann kann man aus einer Tabelle die Temperatur herauslesen.

(<https://www.omega.de/prodinfo/pt100-tabelle-1.html>)

Aufgabe: Bau die Schaltung auf und miss mit dem DMM den Spannungsabfall und fülle die Tabelle aus

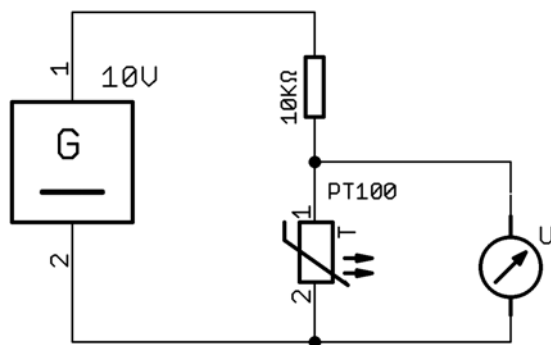


Abb. 24: Schema Pt100 Messung

Messtabelle:

U_0 [V]	U [V]	I_0 [mA]	R Pt100 [Ω]	Temp. [°C]



Mit der Pt100-Widerstandsänderung **ändert** sich auch der Strom!

Verwendest du anstelle der Spannungsquelle eine **Konstant-Stromquelle**, dann ändert sich der Strom durch den Widerstand nicht. Deine Messung wird genauer. Diese Messmethode probieren wir bei der nächsten Aufgabe aus.

Aufgabe: Pt 100 Temperatur-Sensor an 25m Kabel

Messe in einer 2'er Gruppe folgende Aufgaben.

Du hast 2 genaue Keysight-Digitalmultimeter und eine Konstant-Stromquelle (ca. 2mA) zur Verfügung.

1. Überlege dir eine genaue Messmethode
2. Zeichne das Schema auf
3. Baue deinen Versuchsaufbau auf und miss die Spannungen und Ströme
4. Notiere deine Messwerte in Excel
5. Berechne den Widerstand und die Temperatur
6. Nimm ein 4-Leitermessgerät und miss den ohm'schen Wert
7. Vergleiche die Messresultate



Abb. 25: Konstant-Stromquelle

Skizziere deine Messschaltung:



Verwende jeweils die **genaueren** Keysight-DMM für die Messungen!

6.9 4-Leiter-Schaltung

Mit der 4-Leiterschaltung kannst du Widerstände sehr genau messen. Für die Messung benötigst du 2 genaue Digitalmultimeter (Stromfehlerschaltung) oder ein teures, spezielles Messgerät. Im 4-Leiter Messgerät ist eine Konstant-Stromquelle, genaue Strom- Spannungsmessgeräte eingebaut (s. Abb. 27: Schematisch 4-Leiter-Messung)



Abb. 26: 4-Leiter-Messgerät

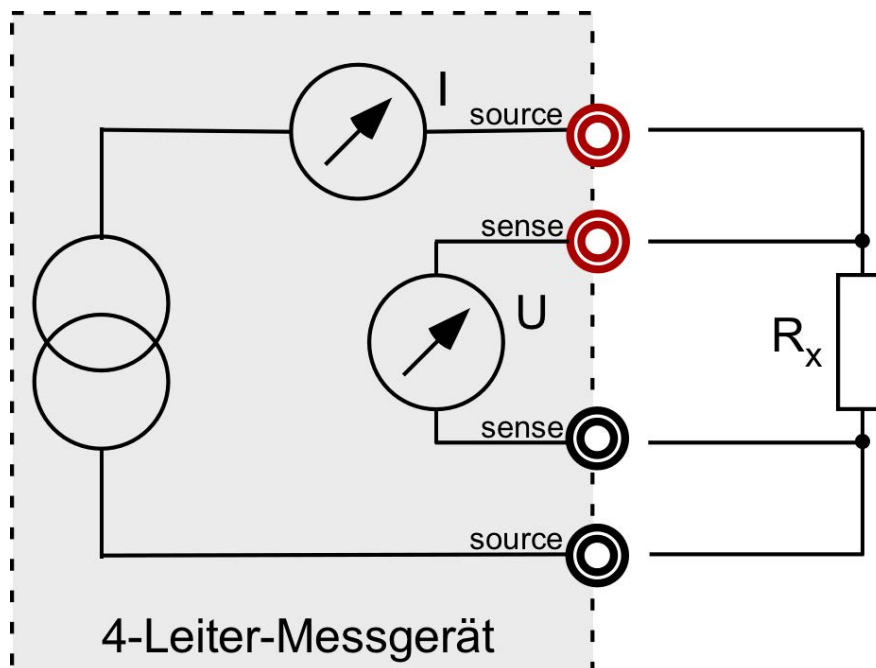


Abb. 27: Schematisch 4-Leiter-Messung

Aufgabe: Erklärung der 4-Leiter-Messschaltung

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Aufgabe: Messungen mit der 4-Leiter-Messschaltung

1. Messe den genauen Widerstand ($10\ \Omega$, 0.1%) mit 2 – 3m Laborkabel mit der 2- und 4-Leiter-Schaltung aus. Notiere deine gemessenen Werte.
2. Messe den genauen Widerstand ($100\ \Omega$, 0.1%) mit 2 – 3m Laborkabel mit der 2- und 4-Leiter-Schaltung aus. Was ergibt dies bei einem Pt100 für einen Fehler in °C?
3. Notiere alle deine Messresultat übersichtlich in einer Tabelle.

Aufgabe: Erkenntnisse der 4-Leiter-Messschaltung

Notiere deine Erkenntnisse der 4-Leiter-Messschaltung. Was sind ihre Vor- und Nachteile? Wofür ist sie speziell geeignet?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....



4-Leiter-Messungen sind vor allem für **kleine Widerstände** oder **lange Leitungen** sinnvoll!

6.10 Wheatstone'sche Messbrücke (Charles Wheatstone, 1802 – 1875)

Mit der Wheatstone'schen Messbrücke kann man elektrische Widerstände und kleine Widerstandsänderungen genau messen. Die Wheatstone'sche Brückenschaltung wird häufig bei der Kraftmessung (Dehnungsmessstreifen: DMS) verwendet.

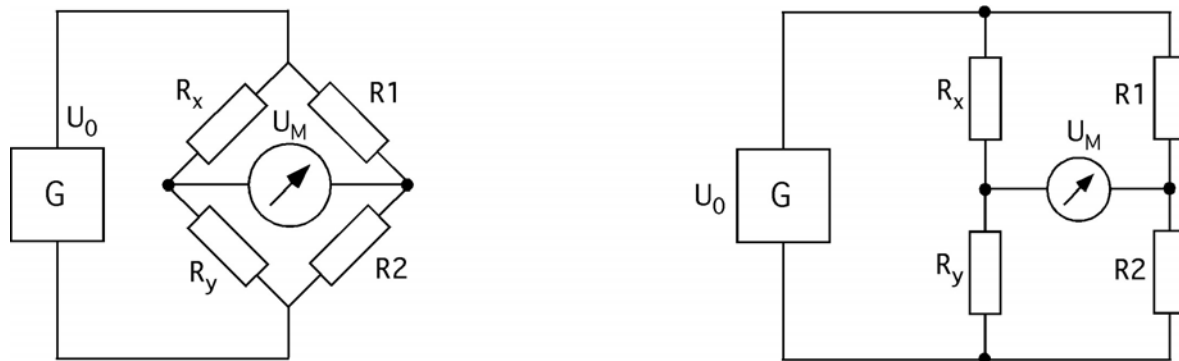


Abb. 28: Wheatstone'sche Messbrücke

$$U_x = U_0 \cdot \frac{R_x}{R_x + R_y}$$

Daraus folgt: $U_M = U_x - U_1$

Die Brücke ist abgeglichen, wenn: $U_M = 0V$!

Bedingung: $R_x = R_y = R_1 = R_2$

$$\frac{R_x}{R_y} = \frac{R_1}{R_2}$$

Bei einer **abgeglichenen** Brücke ist die Ausgangsspannung $U_M = 0V$. Die Verstärkung kann sehr hoch gewählt werden, für eine hohe Auflösung. Mit der Symmetrie der Messbrücke können thermische Effekte kompensiert werden. Dadurch kann die Wheatstone'sche Messbrücke unempfindlich für Temperaturänderungen sein.

Die Wheatstone'sche Messbrücke wird bei Kraft- und bei Temperaturmessungen mit Widerständen (Pt100) verwendet.



Die Wheatstone'schen Messbrücken für **kleine Widerstandsänderungen**!

Aufgabe: Erklärung der Wheatstone'schen-Messsbrücke

Arbeite in einer 2'er Gruppe theoretisch die Wheatstone'sche-Messbrücke durch. Diskutiere die Vor- / Nachteile und die Einsatzmöglichkeiten. Notiere in Stichworten.

7 Elektrische Messung mit dem Digitalspeicheroszilloskop

7.1 Einführung

Du hast gelernt wie man mit einem Digitalmultimeter Spannungen, Ströme und Widerstände messen kann. Das Digitalspeicheroszilloskop (DSO) ist ein weiteres Gerät, welches elektrische Signale misst. Mit dem Digitalspeicheroszilloskop kannst du (nur) Spannungen messen. Die Spannung kannst du jedoch **zeitaufgelöst** messen.

7.2 Digitalspeicheroszilloskop Tektronix TDS2002B

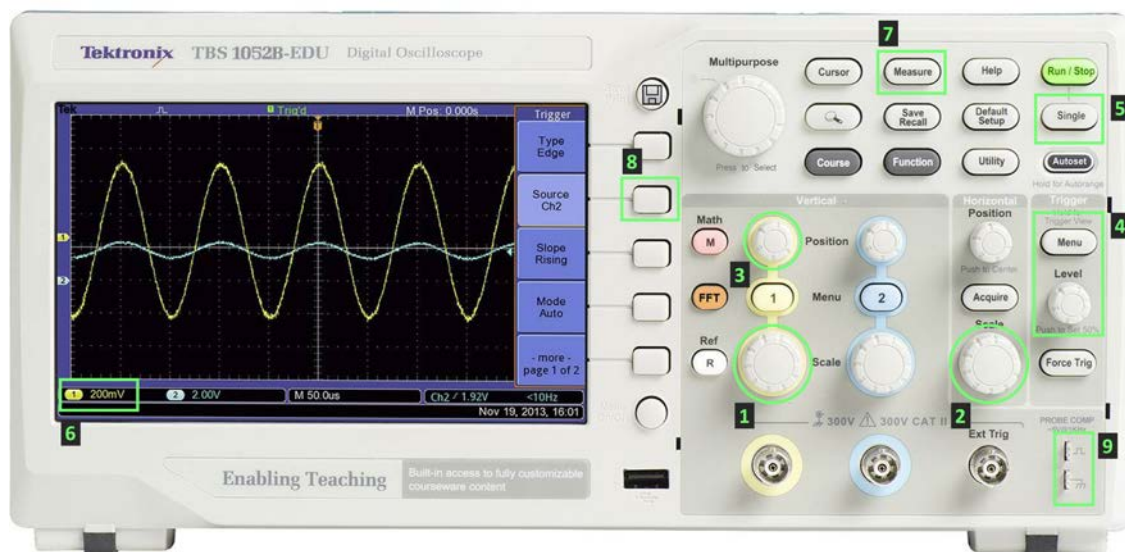


Abb. 29: Digitalspeicheroszilloskop (DSO)

Aufgabe: Wichtigste Funktionen eines Digitalspeicheroszilloskops

Beschreibe die Bedienung folgender Punkte am DSO:

1.
2.
3.
4.
5.
6.
7.
8.
9.



Abb. 30: Frequenzgenerator

Mit dem Frequenzgenerator kannst du Signale mit einstellbaren Frequenzen und Signalformen erzeugen.

Aufgabe: DSO-Übung

1. Schliesse das DSO beim Frequenzgenerator (Output 50Ω) an.
2. Stelle eine Sinuskurve mit 1 V_{pp} und 1 kHz ein
3. Überprüfe deine Sinuskurve mit dem DSO
4. Speichere ein Bild auf dem Memory Stick und druck es für dein Protokoll aus.
5. Was macht der Knopf „Offset“?

8 Kräftemessung

8.1 Einführung

Um Kräfte zu messen wird meistens die Deformation gemessen, die durch eine, auf einen Körper einwirkende Kraft entsteht. Die Deformierbarkeit eines Körpers hängt von dessen Werkstoffkennwerten und dessen Geometrie ab. Um Kraftmessgeräte zu bauen wird ein Werkstoff benötigt, der sich elastisch unter Krafteinwirkung verformt; elastisch heisst, dass wenn die Kraft weggenommen wird, der Körper wieder in die Ursprungsform zurückgeht.

Hook'sches Spannungsdiagramm

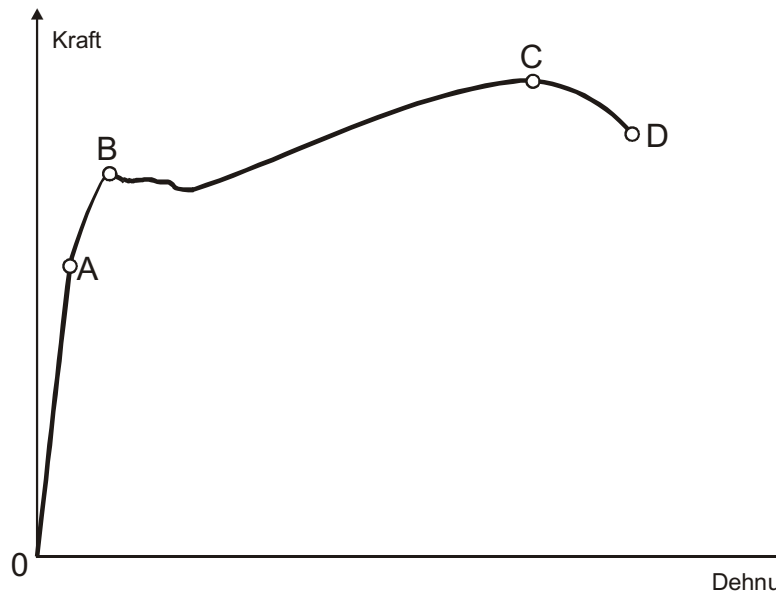


Abb. 31: Hook'sches Spannungsdiagramm

Die Kraft wird normalerweise auf eine Fläche bezogen [N/mm²], so können Materialkennwerte ohne Einfluss der Geometrie verglichen werden.

Diese Grösse wird als **Mechanische Spannung** bezeichnet, in Formeln mit dem griechischen Buchstaben σ (Sigma) ausgedrückt.

Die unter Krafteinwirkung entstehende Längenänderung wird als **Dehnung** bezeichnet, sie erhält den griechischen Buchstaben ϵ (Epsilon), die Einheit ist m/m oder mm/m, resp. Einheitenlos.

Nur der Bereich 0 bis zum Punkt A ist als **elastischer** Bereich zu verstehen, in diesem Bereich tritt noch keine bleibende Verformung auf.

Hook'sches Gesetz (Robert Hook, 1635- 1703) gilt von 0 bis zum Punkt A für alle Materialien.

$$\Delta l = \frac{l}{E * A} * F$$

E: E-Modul oder Elastizitätsmodul, $[E] = \frac{m * N}{m * mm^2} = \frac{N}{mm^2}$

8.2 Kräftemessung mit Dehnungsmessstreifen (DMS)

Dehnungsmessstreifen (DMS) sind Sensoren um Dehnungen/ Stauchung von Materialien zu messen. Der DMS ändert schon bei kleinsten Dehnungen seinen elektrischen Widerstand. Der DMS wird direkt auf das Material geklebt. Eine saubere Klebestelle ist äusserst wichtig!

Der DMS ist ein Mäander, welcher aus Konstantan besteht. Dadurch wird die Widerstands-änderung durch Temperatureinfluss minimiert.

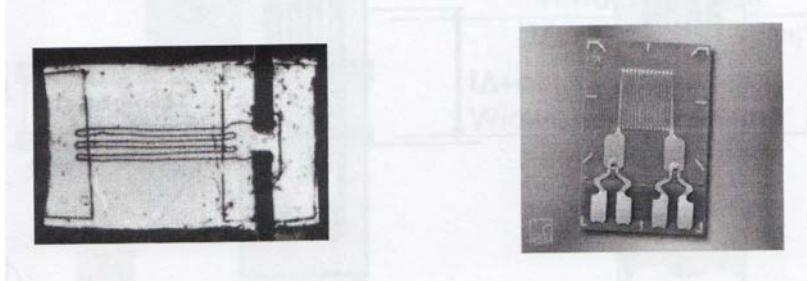


Abb. 32: "Links: Erster DMS-Kraftsensor (1938) Rechts: aktueller DMS-Kraftsensor von HBM"

Bei einer Längenänderung Δl ändert sich der Widerstand um ΔR .

Da diese Widerstandsänderung sehr klein ist, wird die Änderung mit einer Wheatstone'schen Messbrücke gemessen.

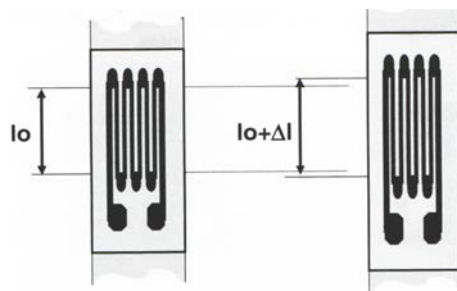


Abb. 33: DMS-Widerstandsänderung

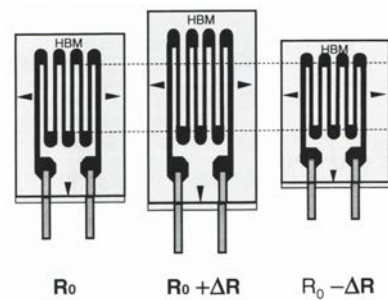


Abb. 34: DMS-Längenänderung

Dehnung ε

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$$

$[\varepsilon] = \mu\text{m/m}$

Von der mechanischen Dehnung zur Widerstandsänderung:

$$\frac{\Delta R}{R} = k * \varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$$

k: k-Faktor

Messbereich von DMS:

- $\pm 0.004 \dots 50000 \mu\text{m/m}$
- $-270 \dots +250^\circ\text{C}$
- statisch... 50 kHz.
- Genauigkeit: 1- 3%

DMS gibt es mit folgenden Grundwiderstandswerten:

- 120 Ω
- 350 Ω
- 700 Ω
- 1000 Ω

Je nach Anwendung werden andere Grundwerte verwendet. (Eigenerwärmung, Störungen, etc.)

Mögliche Fehlerquellen:

.....

.....

.....

.....

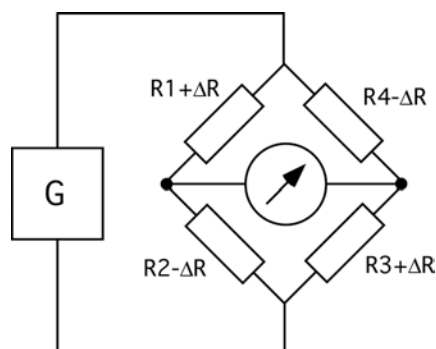
.....

.....

Verschaltung von DMS:

Wird mit einem DMS gemessen spricht man von einer Viertelbrücke. Die Messsignale sind sehr klein und es gibt keine Temperaturkompensation. Daher kommt die Viertelbrücke selten zur Anwendung. Befindet sich z.B. bei einem Biegebalken auf der Ober- und Unterseite ein DMS, so spricht man von einer **Halbbrücke**. Der obere DMS wird gedehnt ($+\Delta R$), während der untere DMS gestaucht ($-\Delta R$) wird. Die Signale werden verdoppelt. Bei einer Halbbrücke werden die Temperaturänderungen kompensiert.

Für ein maximales Signal verwendet man eine **Vollbrücke**. Bei dieser Messanordnung werden auf der Oberseite, wie auch auf der Unterseite eines Biegebalkens je 2 DMS-Sensoren montiert. Auch bei der Vollbrücke werden Temperaturänderungen kompensiert.



Biegebalken	Halbbrücke	Vollbrücke
Oben	R1	R1 und R3
Unten	R2	R2 und R4

Abb. 35: Verschaltung der DMS

8.2.1 Elektrische Messkette mit DMS-Kraftaufnehmer

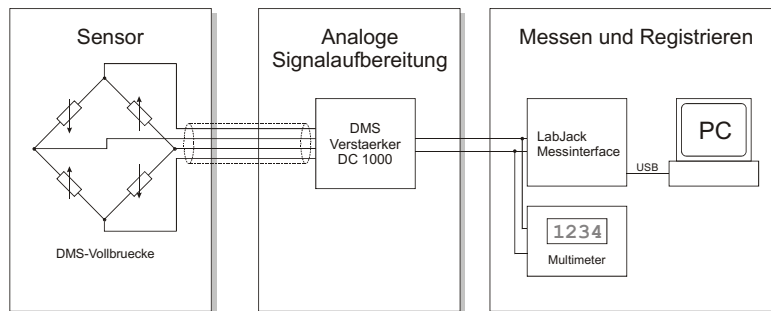


Abb. 36: DMS-Messkette



Abb. 37: AGLPL-DMS-Verstärker

Mathematischer Zusammenhang:

$$\frac{\Delta R}{R_0} = \frac{\Delta l}{l_0} * k$$

Erklärung: ΔR =Widerstandsänderung,
 R_0 = Anfangswiderstand,
 Δl = Längenänderung,
 l_0 = Ausgangslänge

Dehnung $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$



Dehnungsmessstreifen ändern ihren Widerstand **proportional** zu ihrer Längenänderung

Die Dehnungen müssen sich im elastischen Bereich bewegen. Sie sind relativ klein ($\sim 10^{-3}$ m/m), dementsprechend sind auch die Widerstandsänderungen klein. Kleine Widerstandsänderungen ergeben an der Wheatston'schen-Messbrücke auch kleine Spannungsänderungen. Die Ausgangsspannung kann vergrößert werden, indem die Brücke mit 4 DMS (Vollbrücke) bestückt wird. Es kann auch nur mit zwei DMS eine Halbbrücke gebildet werden, die mit zwei Festwiderständen zur ganzen Brücke vervollständigt wird. Widerstandsänderungen aufgrund von Temperatureinflüssen werden in beiden Fällen wegkompensiert, sofern alle DMS dieselbe Temperatur aufweisen. Die kleine Ausgangsspannung der Messbrücke wird verstärkt, damit sie auch mit einem Messinterface gemessen und registriert werden kann.

8.2.2 Elektrischer Kraftaufnehmer

Zur Kraftmessung werden in der Technik elektrische Kraftaufnehmer verwendet. Sie sind recht genau, aber aufwändig und auch relativ teuer.

Prinzip:

Durch die zu messende Kraft wird ein der Funktion entsprechendes Metallteil deformiert. Diese Dehnung wird mit, auf den Metallteil aufgeklebten, Dehnungsmessstreifen (DMS) gemessen. Die Dehnungsmessstreifen sind metallische Widerstände, die bei einer Längenänderung ihren elektrischen Widerstand ändern.

Um Kräfte zu messen reicht es aus, wenn man das System Kraftaufnehmer-Messverstärker-Anzeige als Black-Box versteht. Das heisst das Anlegen einer Kraft bewirkt eine Spannungsänderung am Ausgang, welche proportional zur angelegten Kraft ist.

Beispiel:

Biegebalken-Kraftsensor:

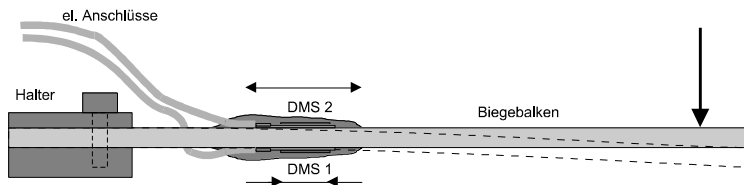


Abb. 38: DMS-Biegebalken



Abb. 39: DMS-Kraftsensor

Mögliche Fehlerquellen:

- Einfluss von schräg und seitlich auftretenden Kräften.
- Einfluss von Dreh- resp. Torsionskräften.
- Thermische Spannungen (Trägermaterial dehnt sich aus).
- Fließen, ungenügende Befestigung der DMS (Hysterese).
- Elektrische Fehler, elektrische Einstreuungen (Rauschen, Brummen).

Abb. 40: Biegebalken-Kraftsensor

Aufgabe: Wie schwer ist dein Handy?

1. Baue die DMS-Messkette zusammen und teste sie.
2. Kalibriere den DMS-Kraftsensor und erstelle eine Kalibrationskurve $U_{DMS}=f(G)$ auf mm-Papier.
3. Messe nun dein Handy, lese den Spannungswert ab und schaue in deiner Kalibrationskurve nach wie schwer dein Handy ist.



Der Kraftsensor darf mit **maximal** 10 kg (100 N) belastet werden!

Aufgabe Bestimmung der Federkonstante D einer Feder

Bringt man mit einer Masse m eine Feder in Schwingung dann ist die Schwingung von der Federkonstante D und der Masse m abhängig. Von der Berufsschule kennst du die Formel $F=D \cdot \Delta l$.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{D}}$$

$$T = \frac{1}{f}$$

$$F = D \cdot \Delta l$$

T: Periodendauer

f: Frequenz

m: Masse

D: Federkonstante

F: Kraft

Δl : Längenänderung

1. Bespreche im 2'er Team passende Versuchsaufbauten
2. Besprich deine Ideen mit den Ausbilder und baue sie auf
3. Schreibe ein Messprotokoll (Einzelarbeit) und vergleiche die beiden Federkonstanten

8.3 Literatur & weitere Infos

- „Messen mit Dehnungsmessstreifen“, Karl Hoffmann, Bezug durch <http://www.hbm.com/de/>

<http://hbm.de/>

<http://de.wikipedia.org/wiki/Dehnungsmessstreifen>

9 Drehzahl- und Zeitmessung

9.1 Drehzahlmessung

In der Technik ist die Drehzahl oft eine wichtige Grösse. Es ist wichtig zu wissen wie schnell ein Drehbank dreht, ein Motor läuft, ect.

Aufgabe: Messmethoden Drehzahlmessung

Was kennst du für Möglichkeiten um die Drehzahl zu messen?

Mögliche Drehzahlmessung:

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Im überbetrieblichen Kurs haben wir ein Experiment, mit welchem du die Drehzahl der Scheibe mit unterschiedlichen Messmethoden messen kannst.



Abb. 41: Drehzahl-Experiment



Tausche die einzelnen Messgeräte mit deinen Kollegen aus.

Aufgabe: Drehzahlmessung der Drehscheibe

Messe die Drehzahl n der Scheibe in Abhängigkeit der Spannung U_M am Motor. $n=f(U_M)$ mit folgenden Methoden:

- Lichtschranke
 - Tachometrisch (mechanisch und optisch)
 - Stroboskop
 - Hall-Sensor
1. Baue den Versuch zusammen
 2. Messe die Drehzahl $n=f(U_M)$ mit den oben genannten Messmethoden
 3. Bestimme eine Anfangsspannung U_M und eine sinnvolle Spannungserhöhung ΔU .
 4. Erstelle die Auswertung in Excel (alle Messungen in einem Plot)
 5. Schreibe ein Messprotokoll (Einzelarbeit)

10 Temperaturmessung

10.1 Einleitung

In der Technik ist die Messung der Temperatur eine sehr wichtige Messgrösse. Durch diese Wichtigkeit gibt es sehr viele Messmethoden um die Temperatur zu messen. In diesem überbetrieblichen Kurs werden wir nur die wichtigsten Temperaturmessmethoden kennen lernen. Die Messmethoden können in einzelne Gruppen aufgeteilt werden

Aufgabe: Welche Temperaturmessmethoden kennst du?

Mögliche Temperaturmessung:

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Umrechnungen von Temperatur-Skalen:

Absoluter Nullpunkt: _____

$\Delta K =$ _____ $^{\circ}C$

$LN_2 = 77K \cong$ _____ $^{\circ}C$

Umrechnung $^{\circ}Fahrenheit$ in $^{\circ}Celsius$ $T_{^{\circ}C} = \frac{T_{Fahrenheit} - 32}{1.8}$

Umrechnung Kelvin in $^{\circ}Celsius$ $T_{^{\circ}C} = K - 273.15^{\circ}C$

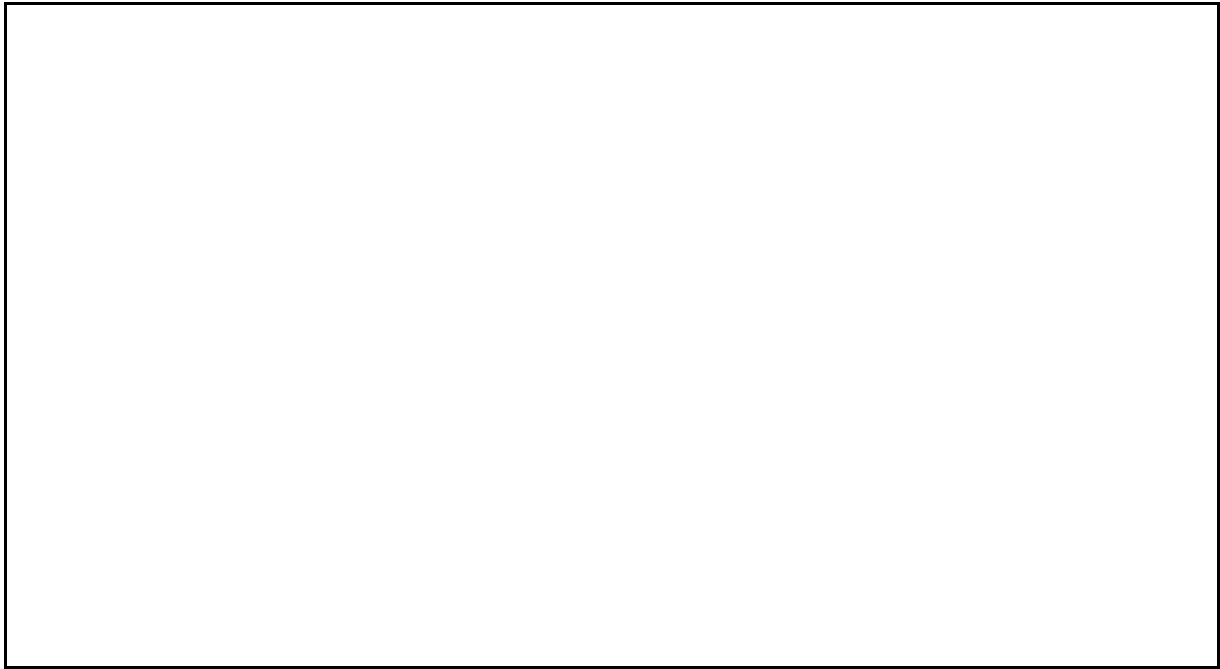
10.2 Mechanische Volumenänderung

Diese Gruppe ist für einen Physiklaborant nicht mehr so wichtig. Die „klassischen“ Quecksilber-Thermometer, oder die aktuellen Alkohol-Thermometer gehören in diese Gruppe.

Das Bimetall-Thermometer zählt auch in diese Gruppe und wird oft zur Temperaturüberwachung und „Notabschaltung“ verwendet.

Aufgabe: Skizziere ein Bimetall-Thermometer und erkläre die Funktionsweise.

Skizze:



Beschreibung:

.....

.....

.....

.....

10.3 Widerstandsänderung

In dieser Gruppe ändert der elektrische Widerstand in Abhängigkeit der Temperatur. Je nach verwendetem Sensor ist die Widerstandsänderung sehr linear. Der grosse Vorteil dieser Gruppe ist, dass man ein elektrisches Signal erhält, welches von der Temperatur abhängt. Das Signal kann verstärkt und elektrisch aufgezeichnet werden. Oft wird der Sensor mit einem konstanten Strom (typ. 1 mA) gespiessen und die Spannungsänderung gemessen.

10.3.1 NTC und PTC:

(NTC: **n**egative **t**emperatur **c**oefficient, PTC: **p**ositive **t**emperatur **c**oefficient)

- Sehr günstig
- Grosse Widerstandsänderung / °C
- Nicht sehr linear
- Begrenzter Temperaturbereich

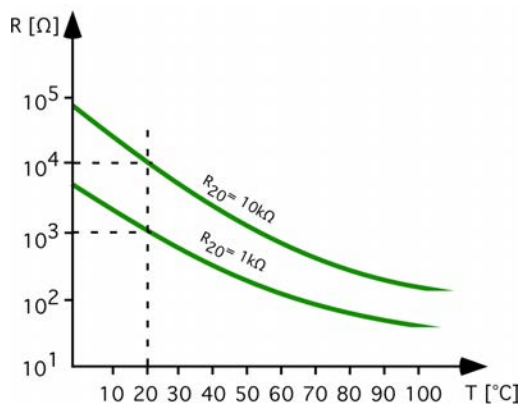


Abb. 42: NTC-Plot

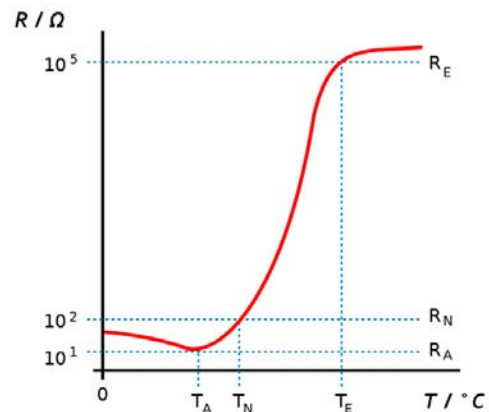


Abb. 43: PTC-Plot

Aufgabe: PTC Messung

Messe die Temperatur des Kursraumes mit einem PTC-Sensor. Verwende dazu eine Konstantstrom-Quelle und messe den Spannungsabfall.

Was hat der Raum für eine Temperatur? _____ °C

Was ist problematisch bei dieser Messung?

.....

.....

.....

.....

.....



Alle **Metalle** haben einen positiven Temperatur-Koeffizienten (PTC)!

10.3.2 Pt100 und Ni100:

Diese beiden Sensoren werden sehr oft in der Technik verwendet. Ein Pt100-Sensor hat bei 0°C 100Ω. Der Pt100 ist sehr linear.

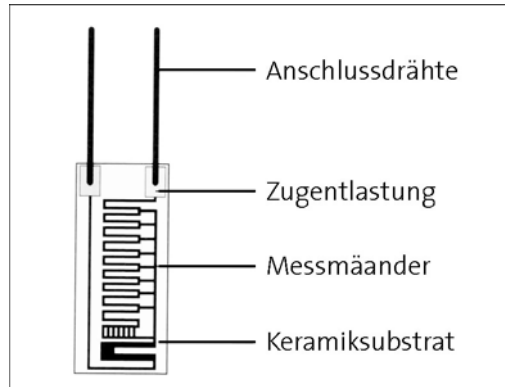


Abb. 44: Aufbau PT100-Dünnschicht-Sensor

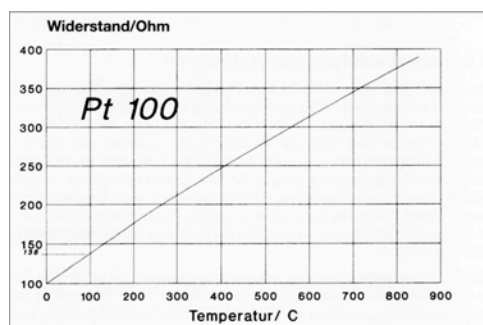


Abb. 45: Widerstandskennlinie PT100

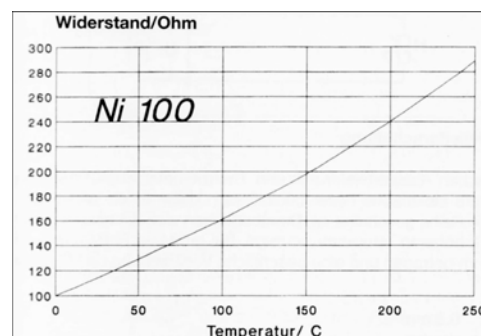


Abb. 46: Widerstandskennlinie Ni100

Aufgabe: Tabelle Einsatztemperatur

Widerstand	Temp. von... bis ...	Widerstand 0°C	Widerstand bei 20° bzw. 100°C
Pt100			
Ni100			
NTC			
PTC			

Aufgabe: Pt100 Messung

Messe die Temperatur des Kursraumes mit einem Pt100-Sensor. Verwende dazu eine Konstantstrom-Quelle.

Was hat der Raum für eine Temperatur? _____°

Nenne Vor- und Nachteile der Pt100/Ni100 Sensoren

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Skizze Messaufbau:



Mögliche Fehlerquellen:

- Kabelwiderstand
- Übergangswiderstände
- Schlechter Wärmekontakt, zu viel Masse
- Nichtlinearität
- Messgerät
- Feuchtigkeit

10.4 Halbleiter-Temperatursensor

Eine weitere, einfache Möglichkeit um Temperaturen zu messen, ist die Messung mit Halbleiter-Temperatursensoren. Ein typischer Vertreter ist der LM35 von National Semiconductor. Diese Sensoren sind sehr einfach in der Anwendung. Sie benötigen eine Versorgungsspannung und am Ausgang erhält man (meistens) $10\text{mV}/^\circ\text{C}$. Der Messbereich ist je nach Typ verschieden. (Maximal: $-55 - 150^\circ\text{C}$).

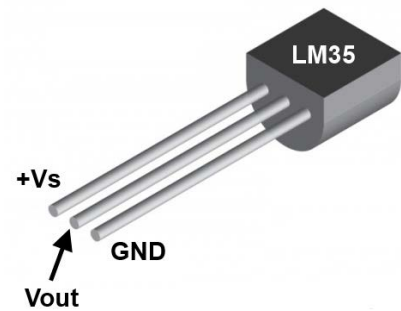


Abb. 47: LM35 Temperatursensor

Aufgabe: LM35-Temperatursensor

Lesen das Datenblatt und schliesse den LM35 korrekt an die Versorgungsspannung an. Messe die Temperatur unseres Kursraumes oder ein eigenes Objekt.
Der Kursraum hat eine Temperatur von _____ $^\circ\text{C}$.

Aufgabe: Ein- und Ausschalttemperatur eines Thermostates

Messe die Ein- und Ausschalttemperatur eines Thermostaten mit verschiedenen Temperatur-Messmethoden.

1. Zusammenbau der Versuchseinrichtung und Verkabelung der verschiedenen Temperatur-Sensoren
2. Heize mit dem Widerstand bis der Thermostat schaltet
3. Schalte die Heizspannung aus und messe bei welcher Temperatur der Thermostat wieder einschaltet
4. Werte in Excel deine Daten aus und bestimme die Einschalt- und Ausschalttemperatur des Thermostates
5. Schreibe ein vollständiges Protokoll

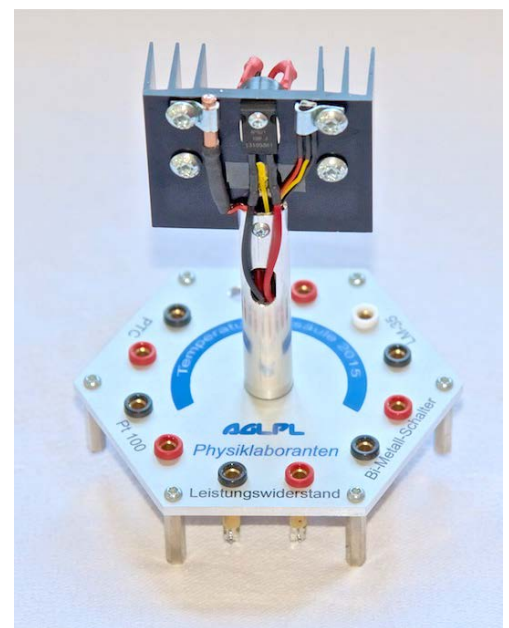


Abb. 48: Thermostat-Messung



Mit einem **Thermostat** können elektrische Schaltkreise sicher **unterbrochen** werden!

10.5 Thermoelement

10.5.1 Einleitung

Ein weiterer wichtiger Temperatur-Sensor ist das Thermoelement.

Sind zwei verschiedene Metalle leitend miteinander verbunden entsteht an der Kontaktstelle eine Spannung, die sogenannte **Thermospannung**. Diese Spannung ist zur Temperatur proportional. Dieser Effekt wurde erstmals 1821 von Seebeck* entdeckt. Er heisst thermoelektrischer Effekt oder Seebeck-Effekt

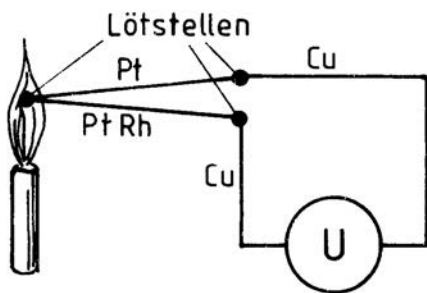


Abb. 49: Thermoelement, (engl: thermocouple)

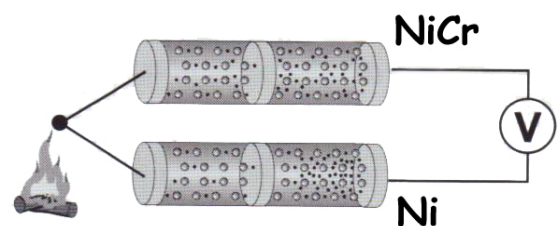


Abb. 50: Thermoelektrischer Effekt (Seebeck

Mit dem Thermoelement können nur **Temperaturdifferenzen** gemessen werden. Die gemessene Thermospannung ist proportional zur Temperaturdifferenz (T_1 und T_2). Besteht zwischen den beiden Kontaktstellen kein Temperaturunterschied, so ist **keine** Thermospannung messbar!

Die Thermospannung U_{Th} ist proportional zur Temperaturdifferenz ΔT und ist abhängig vom Material der beiden Schenkel. Der Proportionalitätsfaktor α_{Th} heisst thermoelektrischer Spannungskoeffizient.

$$U_{TH} = \alpha * \Delta T$$

Die Thermospannung U_{Th} ist sehr klein. Je nach Thermoelement beträgt sie 9... 41 μV . Dies sind sehr kleine Messsignale und müssen bei der Messung berücksichtigt werden. Der thermoelektrische Spannungskoeffizient ist nicht über den ganzen Einsatzbereich linear. Für genaue Messungen ist eine Linearisierung mittels Thermoelementtabelle oder einer geeigneten Software notwendig.

Als **Faustformel** für Chromel-Alumel (Typ K): von 20...100°C

$$T_{TE} \sim \frac{U_{TE}}{41 \mu V / ^\circ C} + 0.6^\circ C$$

*Thomas Seebeck (1770 – 1831)

10.5.2 Messen mit einem Thermoelement

- Ohne spezielle Referenz: Klemmentemperatur = Referenztemperatur T_2 :

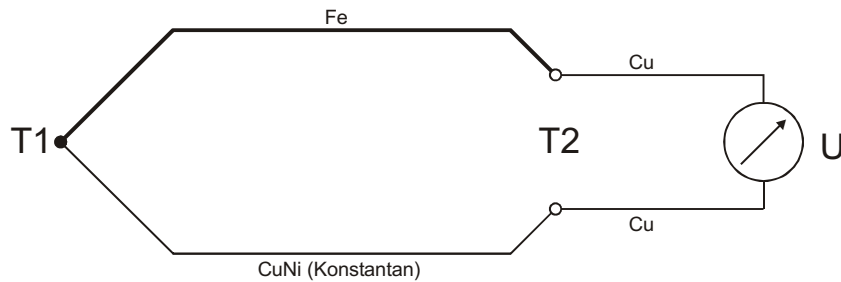


Abb. 51: Messung schematisch ohne Referenz

- Mit Referenztemperatur T_{Ref} :

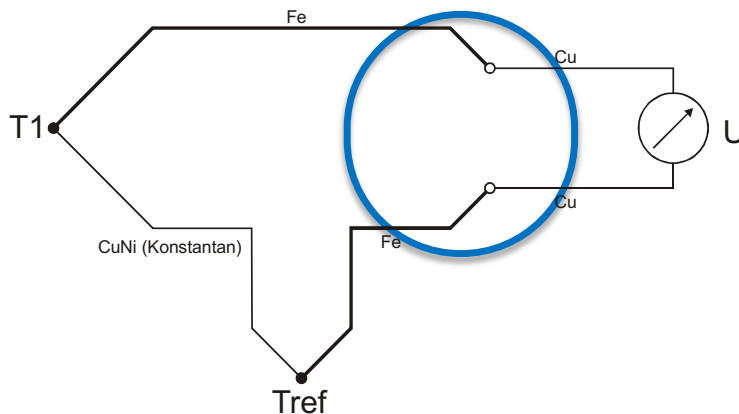


Abb. 52: Messung schematisch mit Referenz

Mit Vorteil wählt man als Referenz 0°C (Eiswasser), da man so die Referenzspannung nicht zu addieren braucht, weil sich die Thermoelementtabellen normalerweise auf 0°C beziehen. Die Referenzstelle kann auch als temperierter Cu- oder Al-Klotz mit genauem Referenzthermometer ausgeführt sein.

Es gibt verschiedene Thermoelement-Typen. Je nach Anwendung kommen andere Typen zum Einsatz.

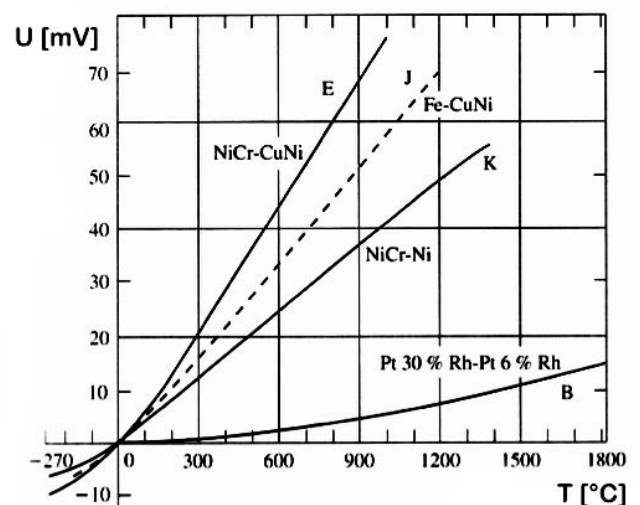


Abb. 53: Thermospannung verschiedener Thermoelemente

Aufgabe: Grundlagen Thermoelement

Ergänze die Tabelle und notiere die wesentlichen Punkte zum Thermoelement.
Verwendete Literatur/Quelle:

Typ	Metallkombination	Kürzel, chemische Formel	Max. Temperatur [°C]	Kennlinie definiert bis [°C]	Thermospannung [$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$]
J					
T					
K *					
E					
N **					
S					
R					
B					
C	Wolfram5%Rhenium– Wolfram26%Rhenium	WRe5–WRe26			

*: Chromel–Alumel: -> Ni-Schenkel mit Al -> Al_2O_3 als Schutzschicht
 **: beide Schenkel Si: -> Silizium-Oxid Schicht (SiO_2)

Wesentliche Punkte:

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

10.5.3 Messung mit einer Ausgleichsleitung

Sind längere Distanzen zwischen Thermoelement und Messgerät respektive Referenz zu überbrücken, müssen sogenannte **Ausgleichsleitungen** verwendet werden. Im Idealfall sollte der Thermoelementdraht bis zum Referenzpunkt/Messgerät geführt werden. Ist dies aus Kostengründen oder wegen dem schwierigeren Handling nicht möglich, werden Ausgleichsleitungen verwendet. Die Ausgleichsleitungen haben dieselbe thermo-elektrische Eigenschaften wie die dazu passenden Thermoelemente. Die Ausgleichsleitung ist flexibel und kann auch eine Abschirmung besitzen. Jeder Thermoelement-Typ hat die passende Ausgleichsleitung. Werden falsche Ausgleichsleitungen verwendet, treten Messfehler auf.

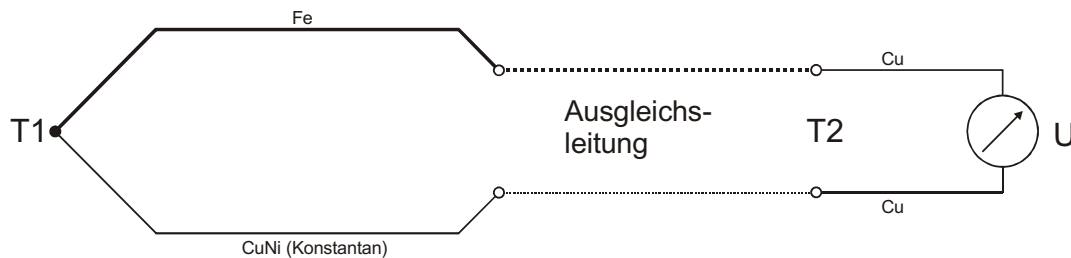


Abb. 54: Thermoelement mit Ausgleichsleitung

Typ	Mantel	Plus	Minus	alte Norm
J	schwarz	schwarz	weiss	
K	grün	grün	weiss	grün, rot, grün
N	rosa	rosa	orange	
S	orange	orange	weiss	weiss, rot, weiss

Vorteil Ausgleichsleitung:

- Flexibel
- gleiche thermoelektrische Eigenschaften
- abgeschirmt und günstiger
- weniger Knicke, weniger Messfehler

Grenzabweichung bei der Thermoelement-Messung

Für Thermoelemente gibt es drei Toleranzklassen. Diese Toleranzen beziehen sich auf den Neuzustand. Die Alterung der Thermoelemente hängt sehr stark von ihrem Einsatz (Zeit, Temperatur und Umgebung) ab.

Typ	Klasse	Toleranz I	Toleranz II
J	Klasse 1	$-40... +750^{\circ}\text{C} \pm 0.004 \cdot t$	$\pm 1.5^{\circ}\text{C}$
	Klasse 2	$-40... +750^{\circ}\text{C} \pm 0.0075 \cdot t$	$\pm 2.5^{\circ}\text{C}$
	Klasse 3		
K N	Klasse 1	$-40... +750^{\circ}\text{C} \pm 0.004 \cdot t$	$\pm 1.5^{\circ}\text{C}$
	Klasse 2	$-40... +750^{\circ}\text{C} \pm 0.0075 \cdot t$	$\pm 2.5^{\circ}\text{C}$
	Klasse 3	$-200... +40^{\circ}\text{C} \pm 0.015 \cdot t$	$\pm 2.5^{\circ}\text{C}$
S R	Klasse 1	$0... +1600^{\circ}\text{C} \pm [1 + 0.003 \cdot (t - 1100^{\circ}\text{C})]$	$\pm 1.0^{\circ}\text{C}$
	Klasse 2	$0... +1600^{\circ}\text{C} \pm 0.0025 \cdot t$	$\pm 1.5^{\circ}\text{C}$
	Klasse 3		
B	Klasse 1	$600... +1700^{\circ}\text{C} \pm 0.0025 \cdot t$	$\pm 1.5^{\circ}\text{C}$
	Klasse 2	$600... +1700^{\circ}\text{C} \pm 0.005 \cdot t$	$\pm 4.0^{\circ}\text{C}$
	Klasse 3		

Aufgabe: Thermoelement-Messung

1. Messe mit einem Thermoelement die Aufheizkurve des Lötkolbens.
2. Überlege dir im 2'er Team einen geeigneten Messaufbau
3. Bestimme eine sinnvolle sampling rate und Messzeit
4. Bestimme die Maximaltemperatur des Lötkolbens aus der Grafik
5. Erstelle ein vollständiges Messprotokoll (Einzelarbeit)

Aufgabe: Mögliche Messfehler

Überlege dir nach der Messung mögliche Fehlerquellen bei einer Temperaturmessung mit dem Thermoelement.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....



Temperatur-Sensoren zeigen **immer** die Temperatur des Sensors!

10.6 Literatur & weitere Infos

- „Elektrische Temperaturmessung“, M. Nau, 978-3-935742-06-1
- „Technische Temperaturmessung“, VDI/VDE-Richtlinien, VDI/VDE 3511
- „Technische Temperaturmessung“, F. Bernhard, 3-540-62672-7
- „Handbuch Technische Temperaturmessung“, Lieneweg, 3-528-08358-1

<http://de.wikipedia.org/wiki/Pt100>

<http://www.pt100.de/>

<http://www.jumo.net/jumo.de/de/index.html>

<http://www.ist-ag.ch>

<http://www.lkmelectronic.de/deutsch/tabellen/tabellen.html>

<http://www.temperaturblog.de/category/thermoelement/>

<http://www.temperaturblog.de/category/pt100/>

https://people.phys.ethz.ch/~andreoli/üK_1/Zusatz/Temp_Messung/Jumo%20Temperaturmessung.pdf

10.7 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: <https://www.brwtools.ch/de/>

Abb. 2: <https://www.brwtools.ch/de/>

Abb. 7: <https://www.messschraube.org/messschraube-parallaxenfehler.html>

Abb. 10: <http://www.bs-wiki.de/mediawiki/index.php?title=Aräometer>

Abb. 12: <http://www.chemgapedia.de/>

Abb. 40: <https://www.ionstorm.de/>

Abb. 42...44: <https://www.hbm.com/de/>

Abb. 54...56: [Abb. 59, 60, 63: \[Alle anderen Schemas, Bilder und Grafiken sind von Cornel Andreoli, 2016...2019\]\(http://www.jumo.ch/de_CH/support/FAQ>Weiterbildung/literatur/</p></div><div data-bbox=\)](http://www.jumo.ch/de_CH/support/FAQ>Weiterbildung/literatur/</p></div><div data-bbox=)

11 Notizen und Fragen