|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Ein Bild, das Text enthält.  Automatisch generierte Beschreibung |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
| **Einführung in die Laborpraktika** | | |
|  |  |  |
| Handout mit allgemeinen Hinweisen für  chemie- und umwelttechnische Praktika | | |
|  |  |  |
|  | | |
| Diese Übersicht soll für zukünftige Praktika in Form von Vorschlägen und Wissen eine Unterstützung bieten, um Geräte oder Versuchsstände selbstständig bedienen und aufbauen zu können. | | |
|  |  |  |
| Merseburg den 05.04.2021 | |  |

# Inhaltverzeichnis

[Inhaltverzeichnis 2](#_Toc68534518)

[1 Sicherheitsmaßnahmen 4](#_Toc68534519)

[2 Laborgeräte und Werkzeuge 5](#_Toc68534520)

[2.1 Allgemeiner Apparaturaufbau 5](#_Toc68534521)

[2.2 Volumengefäße [11, 12] 8](#_Toc68534522)

[2.3 Pipetten [11] 11](#_Toc68534523)

[2.4 Trichter 13](#_Toc68534524)

[2.5 Manometer 14](#_Toc68534525)

[2.6 Thermometer [20] 16](#_Toc68534526)

[2.7 Schläuche 17](#_Toc68534527)

[2.8 Filter 18](#_Toc68534528)

[2.9 Waschflaschen und Kühlfallen 20](#_Toc68534529)

[2.10 Rührer 21](#_Toc68534530)

[2.11 Kühler 22](#_Toc68534531)

[2.12 Heiz- und Kühlelemente 23](#_Toc68534532)

[2.13 Apparaturen zum Trocknen und Brennen 25](#_Toc68534533)

[2.14 Pumpen [46, 47] 26](#_Toc68534534)

[2.15 Füllkörper [48, 49] 28](#_Toc68534535)

[2.16 Zusätzlich: 29](#_Toc68534536)

[3 Typische Versuchsstände und Aufgaben 32](#_Toc68534537)

[3.1 Typische Versuchsstände 32](#_Toc68534538)

[3.2 Typische Verfahren und Aufgabenstellungen 33](#_Toc68534539)

[4 Fehlerquellen für die Versuchsauswertung 38](#_Toc68534540)

[4.1 Zufällige Fehler und systematische Fehler [61] 38](#_Toc68534541)

[4.2 Anzahl der Messreihen 39](#_Toc68534542)

[4.3 Vergleich analoger und digitaler Messungen [62–65] 39](#_Toc68534543)

[4.4 Genauigkeitsklasse und Fehlertoleranzen [66–71] 40](#_Toc68534544)

[4.5 Vertrauenswürdigkeit verschiedener Messungen 41](#_Toc68534545)

# Sicherheitsmaßnahmen

* es ist sich stets über den durchzuführenden Versuchsaufbau,   
  sowie die genutzten Stoffe/Chemikalien zu informieren und deren Gefahr ausgehend von der Menge abzuschätzen
* das Tragen von Schutzkleidung ist Pflicht   
  (Kittel, Brille, evtl. Handschuhe)
* je nach Risiko sind die Versuche nur unter Beaufsichtigung oder unter einem Abzug durchzuführen
* Essen und Trinken ist im Labor verboten
* Hände müssen nach der Versuchsdurchführung gewaschen werden
* Um an höhere liegende Objekte zu gelangen, ist eine Leiter (zu zweit) oder ein Elefantenfuß zu nutzen
* Fluchtwege sind stets freizuhalten
* **Notfalltelefonnummern:**
  + **Labortelefon: 2666**
  + **Handy: 112**
* **Hilfe holen!**

# Laborgeräte und Werkzeuge

Im Umgang mit Laborgeräten ergeben sich mehrere Fehlerquellen, welche in der Auswertung von Versuchen relevant sein können. Zudem sollte jeweils der Nutzen des jeweiligen Arbeitsmittels bekannt sein, um Messungenauigkeiten zu vermeiden.

## Allgemeiner Apparaturaufbau

1. Vor dem Aufbau überzeugt man sich, dass die Geräte unbeschädigt, einwandfrei nutzbar und sauber sind.
2. Es ist immer darauf zu achten, dass die Apparatur von unten nach oben und von links nach rechts aufgebaut wird (siehe Abb. 1).
3. Hierbei soll die offene Seite der Muffe nach links und die Flügelschraube der Klammer nach rechts zeigen (siehe Abb. 2).
4. Vor dem Aufbau der Apparatur ist zu überlegen auf welche Höhe die Hebebühne einzustellen ist, um gegebenenfalls die Probe ohne Abbau der Messapparaturen zu erreichen.
5. Die Brücke der Muffe soll die Klammer unterstützen (siehe Abb. 2).
6. Sinnvoller, lotrechter und winkliger Aufbau ist von besonderer Bedeutung.
7. Beim Klammern erst den feststehenden Teil der Klammer an das Gerät anlegen und dann erst den beweglichen Teil anziehen.
8. Bei Schliffapparaturen auf Spannungsfreiheit achten und dass die obere Hälfte der Schliffe mit sehr wenig Schlifffett gleichmäßig und durchsichtig gefettet ist.
9. Schliffverbindung nicht zusammenpressen und nie unnötige längere Zeit Alkalien, Phosphorsäure und Wasserdampf aussetzen.
10. Schlauchverbindung möglichst kurzhalten und vor heißen Apparaturteilen, gegebenenfalls durch gebündeltes Hochbinden schützen.

|  |  |
| --- | --- |
| Abb. 1: Richtung für Apparaturaufbau | Abb. 2: Skizze einer Muffe |

### Schliffklemmen alias Keck-Clips [1]

Schliffklemmen bzw. Keck-Clips sichern die Verbindung zwischen Glasgeräten mit Normschliff. Diese Art von Schliffsicherung findet sich vorrangig im anorganischen und organischen Chemiepraktikum für den Aufbau größerer Apparaturen. Die Ausführung der Schliffklemmen ist verschiedenen Formen und Materialien zu finden. Eine häufig vertretende Form aus Kunststoff ist die der patentierten Keck-Clips.

|  |  |
| --- | --- |
| Abb. 3: Skizze von KECK-Clips [2] | Abb. 4: Beispielhafte Nutzung von KECK-Clips [3] |

***Tipp:***

Um kleine oder leichte Apparaturteile, wie zum Beispiel Thermometer, zu montieren ist mit solchen Klemmen keine weitere Befestigung mehr nötig.

### Muffen [4]

Stativmuffen sind einer der häufigsten, verwendete Bauteile im apparativen Labor. Sie werden vorzugsweise für die Befestigung von zylindrischen Stativteilen, wie einer Stativklemme oder einem Stativring benutzt.

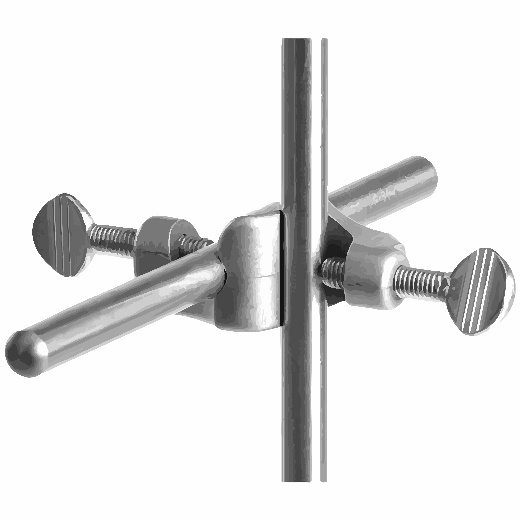


Abb. 5: Bild einer Stativmuffe [5]

### Bunsen-Stative [6]

Bunsen-Stative bzw. Laborstative bestehen aus einer metallenen Grundplatte an welcher senkrecht eine Metallstange eingeschraubt ist. Sie dienen dazu verschiedene Versuchsaufbauten zu konstruieren indem an die die Stange mittels Muffen und Klemmen verschiedenste Hilfsmittel wie Gefäße, Büretten, Kochringe oder ähnliches in verschiedenen Höhen befestigt werden können.

### Korkringe

Korkringe dienen zum Ablegen von Rundkolben, wenn diese nicht in ein Stativ eingespannt sind. Somit wird gesichert, dass Rundkolben aufgrund ihrer kugeligen Form nicht wegrollen.



Abb. 6: Korkringe für Rundkolben [7]

### Material der Glasgeräte

Glasgeräte im chemischen Labor bestehen meistens aus Borosilikatglas. Es zeichnet sich durch eine hohe Temperatur- und Chemikalienbeständigkeit aus und hält somit in den Bereichen der Chemie, der Verfahrenstechnik und dem Haushalt Einzug. Typische Markennamen für Borosilikatgläser sind beispielsweise Jenaer Glas, Duran, Pyrex oder Simax, um nur ein paar zu nennen. Auch im großtechnischen Bereich findet das Glas seine Anwendung, wie zum Beispiel in Schauglasarmaturen, Durchflussgläsern oder Behälter- schaugläsern.



Abb. 7: Logos von Borosilikatglas-Herstellern [8–10]

## Volumengefäße [11, 12]

### Bechergläser

Bechergläser sind zylindrische Becher, welche an der Oberseite einen gebogenen Rand, sowie eine Ausgussmöglichkeit haben. Sie werden für vielfältige Aufgaben, wie dem Erhitzen oder Zusammengießen von Flüssigkeiten genutzt. Es gibt sie in verschiedensten Ausführungen und Größen, welche meistens mit einem groben Maßstab versehen sind.

***Hinweis:***

Messbecher sollten nicht genutzt werden, um genaue Volumina abzumessen! Besser eignen sich hierfür Messzylinder oder Maßkolben   
(siehe 4.4: Genauigkeitsklasse und Fehlertoleranzen).

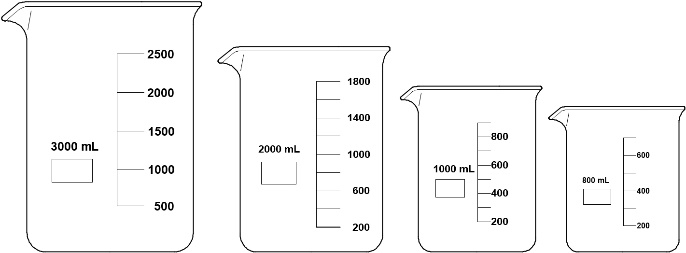


Abb. 8: Bechergläser

### Rundkolben

Rundkolben werden, ähnlich wie Bechergläser, in den verschiedensten Größen und Ausführungen hergestellt. Viele der Kolben besitzen einen sogenannten Normschliff am Kolbenhals, um beliebig und einfach gasdichte Apparaturen zusammenzustecken (siehe 2.16: 0.0Schliffe und Schlifffett).

Des Weiteren können Rundkolben auch als Mehrhalskolben ausgeführt sein, um an den zusätzlichen Öffnungen zum Beispiel Kühler, Rührer, Messgeräte und/oder Zuläufe gleichzeitig anzubringen. Zusätzlich können Rundkolben, im Gegensatz zu Standkolben auch unter Vakuum genutzt werden, da die runde Form eine Implosion verhindert. Diese runde Form ermöglicht ebenfalls ein gleichmäßiges Erwärmen des Kolbeninhaltes.

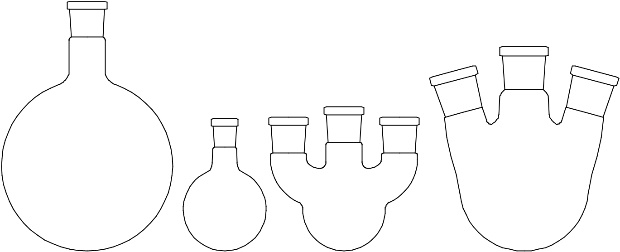


Abb. 9: Rund- und Mehrhalskolben

### Standkolben: Erlenmeyerkolben und Stehkolben

Erlenmeyerkolben und Stehkolben unterscheiden sich im Vergleich zum Becherglas vor allem im nach oben hin enger werdenden Hals. Dieser kann ebenfalls, wie bei Rundkolben, je nach Anwendung mit einem Normschliff versehen sein. Der verjüngende Hals der Kolben minimiert maßgeblich die Gefahr, dass bei Zugabe von Substanzen, beim Schwenken, Rühren oder Sieden Flüssigkeiten unkontrolliert aus dem Kolben entweichen. Der Erlenmeyerkolben besticht dabei durch die Möglichkeit, die enthaltene Flüssigkeit gut Schwenken zu können. Der Stehkolben hingegen ist ein nicht wegrollender Rundkolben, welcher sich als druckstabilerer Kolben eignet.

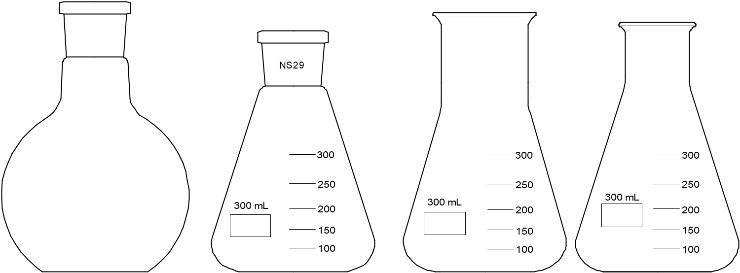


Abb. 10: Steh- und Standkolben

In Tab. 1 sind verschiedene Volumengefäße in ausgewählten Eigenschaften gegenübergestellt:

Tab. 1: Vergleich von Becherglas-, Rund- und Standkolben

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Becherglas** | **Rundkolben** | **Standkolben** | **Erlenmeyer** |
| Magnetrührer  **Eigenschaft**  **Kolben** | Ja | Ja | Ja | Ja |
| hitzebeständig | Ja | Ja | Ja | Ja |
| Mischung von  Flüssigkeiten | Ja | Ja | Ja | Ja |
| selbststehend | Ja | Nein | Ja | Ja |
| Normschliff | Nein | Ja | Ja | Ja |
| gleichmäßiges  Erwärmen | Nein | Ja | Nein | Nein |
| vakuumfest | Nein | Ja | Nein | Nein |

### Maßkolben bzw. Messkolben

Maßkolben dienen hauptsächlich zum Ansetzen und Aufbewahren von Maßlösungen mit exakten Konzentrationen. Sie sind auf Einguss geeicht und zählen somit nicht unter die Kategorie Volumenmessgerät!

Unter *Maßlösungen* versteht man Lösungen mit einer genau bestimmten Menge einer Substanz, welche über einen   
Urtiter oder Vergleichslösungen bestimmt wird.

Abb. 11: Maßkolben

*Urtiter* wiederum sind gut wägbare, nicht hygroskopische Reinsubstanzen, mit welchen sich der Gehalt von Maßlösungen bestimmen lässt.

### Messzylinder

Ein Messzylinder ist ein senkrechter, hoher Glas- oder Plastikzylinder mit einem Standfuß mit welchem über eine aufgebrachte Skala Volumina abgemessen werden können.   
Er ist genauer als ein Becherglas, aber ungenauer als eine Voll- oder Kolbenhubpipette (Eppendorf-Pipette). Je nachdem wie wichtig das genaue Abmaß des Volumens sein muss, sollte auf die aufgedruckte Genauigkeitsklasse bzw. Fehlertoleranz geachtet werden (siehe Abschnitt 4.4).

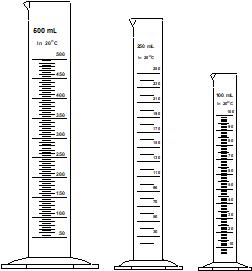


Abb. 12: Messzylinder

### Bürette

Eine Bürette ist eine kalibrierte, skalierte Glasröhre mit einem Hahn am unteren Ende und dient zur quantitativen Abmessung von geringen Flüssigkeitsvolumina für Titrationen. Eine besondere Form der Bürette ist die automatische Bürette, bei der über einen Blasebalg aus einem Vorratsbehälter der Messzylinderteil der Bürette wieder aufgefüllt wird (siehe Abb. 13).

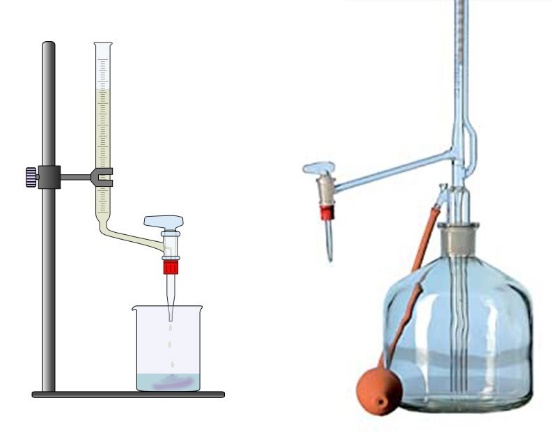


Abb. 13: manuelle und automatische Bürette [13, 14]

***Wichtig:***

Das Luftloch der automatischen Bürette sollte nicht zugehalten werden, da sich sonst ein zerstörerischer Druck im Vorratsbehälter aufbauen kann!

***Hinweis:***

Vor Einsatz der Bürette sollte geprüft werden, ob der Hahn nur schwergängig nutzbar ist. Ist dies der Fall sollte der Hahn mit Schlifffett gefettet werden.

## Pipetten [11]

### Peleusball

Der Peleusball ist eine gummierte Pipettierhilfe mit welcher das Abmessen von Flüssigkeitsvolumina in Glaspipetten ermöglicht wird. Hierfür wird der Auslass *A* geöffnet (zusammendrücken) und der Ball selbst zusammengedrückt, um einen Unterdruck zu erzeugen. Drückt man nun auf das Saugventil *S* wird die Flüssigkeit in die Glaspipette gesaugt und über drücken des Ventils *E* kann diese Flüssigkeit kontrolliert abgegeben werden.

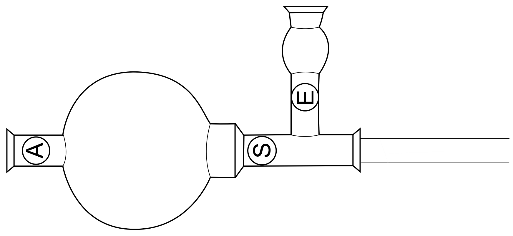


Abb. 14: Peleusball

### Vollpipetten

Vollpipetten sind kalibrierte Glasröhrchen mit einer Glasblase, um genaue Dosierungen von Flüssigkeits-volumina abzumessen. Sie sind auf Ausguss geeicht und besitzen ebenfalls, wie die Messzylinder eine aufgedruckte Fehlertoleranz oder Fehlerklasse. Typische Volumina für Vollpipetten sind 5 mL, 10 mL, 20 mL, 50 mL und 100 mL. Diese Größen sind hervorragend für Volumenabmessungen in vielen Laborbereichen geeignet. Für geringere Volumina im Mikroliterbereich sollten Hubkolbenpipetten genutzt werden.



Abb. 15: Vollpipette

### Kolbenhubpipette bzw. Eppendorf-Pipetten

Kolbenhubpipetten, auch Mikroliter- oder Mikropipette genannt, sind mechanische Pipetten, welche Volumina in Dosierungen von 0,1 µL bis 5 mL genauer als herkömmliche Glaspipetten dosieren können. Durch den bewegten Kolben beim Herunterdrücken wird in der aufgesteckten Pipettenspitze ein Unterdruck erzeugt, welcher die Flüssigkeit in die Spitze zieht. Die Menge an Volumen, die durch die Pipette angesaugt wird, ist meist über einen Drehmechanismus an der Pipette einstellbar. Eine verbreitete Bezeichnung für diese Pipetten ist Eppendorf-Pipette, wobei Eppendorf die Marke des Pipettenherstellers beschreibt und nicht die Ausführung der Pipette.

|  |  |
| --- | --- |
| Abb. 16: Schematische Umgangsweise mit einer Kolbenhubpipette | Abb. 17: Eppendorf-Pipette [15] |

***Wichtig:***

Es ist stets darauf zu achten, dass, egal welche Pipette genutzt wird, diese nicht liegen darf! Sie werden in eine dafür vorgesehene Halterung gestellt oder eingehängt.

***Benutzung:***

**Volumenaufnahme**:

1. Pipettierknopf bis zum ersten Anschlagdrücken
2. Pipettenspitze in die Flüssigkeit tauchen
3. Pipettierknopf langsam hochziehen (ohne Luft!)

→ es dürfen keine Luftblasen in der Pipettenspitze sein

**Volumenabgabe**:

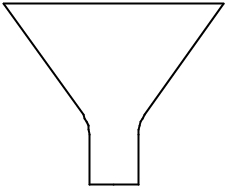
1. Pipettenspitze an die Innenwand des Gefäßes halten
2. Pipettierknopf langsam bis zum zweiten Anschlag drücken

Die Pipettenspitze kann über den großen, vorderen Abwurfknopf entfernt werden.

## Trichter

### Feststoff- bzw. Pulvertrichter

Abb. 18: Feststofftrichter



Pulvertrichter werden, wie der Name   
vermuten lässt, für das Abfüllen von   
Pulvern, Granulaten oder feinkristallinen Stoffen genutzt.   
Sie unterscheiden sich gegenüber den Flüssigkeitstrichter in der Tatsache, dass das Verhältnis zwischen dem Durchmesser der Öffnung und der Mündung des Trichters größer ausfällt. Gerade für zittrige Hände kann ein Feststofftrichter helfen das Schüttgut in den entsprechenden Behälter, ohne größere Verluste zu überführen.

### Tropftrichter

Tropftrichter sind Glasgeräte, welche hauptsächlich im chemischen Labor für die tropfenweise Zugdosierung von Chemikalien in eine Reaktionsmischung dienen. Sie besitzen meist einen Normschliff und es gibt sie in   
Ausführungen mit und ohne Druckausgleich.   
Mit Druckausgleich am Tropftrichter wird ein Verdampfen der zuzutropfenden Lösung vermieden. Auch hier ist darauf zu achten, dass zum Dosieren der Hahn des Tropftrichters zuvor mit Schlifffett zu behandeln ist. Die angebrachte Skalierung am Tropftrichter ist als Richtwert zu verstehen. Genaue Volumina sollten mittels Messzylinder oder Pipetten abgemessen werden.

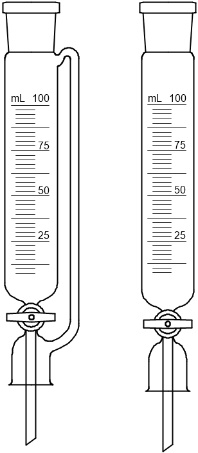


Abb. 19: Tropftrichter mit und ohne Druckausgleich

### Scheidetrichter bzw. Schütteltrichter [16]

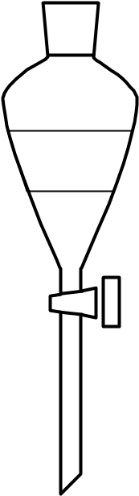


Abb. 20: Scheidetrichter

Scheidetrichter sind Glasbehälter, welche zur Trennung von nicht mischbaren Flüssigkeiten dienen. Bei verschlossenem Hahn wird über den Normschliff an der Oberseite das zu trennende Flüssigkeitsgemisch eingefüllt. Der Normschliff wird mit einem Stopfen verschlossen und die Phase mit größeren Dichten sammelt sich am untere Ende des Scheidetrichters. Diese Phase kann nun über den Hahn des Trichters abgegossen werden.

Die konische Form des Scheidetrichters erleichtert dabei die Arbeit einer exakten Abtrennung. Scheidetrichter werden deshalb gerne auch für Flüssig-Flüssig-Extraktionen genutzt, aus welchen sich der Begriff des „Ausschüttelns“ ergibt (siehe Abb. 53).

## Manometer

Als Manometer werden Messeinrichtungen bezeichnetet, welche den physikalischen Druck eines Gases oder einer Flüssigkeit erfassen und anzeigen. Zu beachten ist, dass in der Regel bei einem Manometer meist der Realtivdruck gemessen wird. Das bedeutet, dass der Bezugsdruck dem atmosphärischen Luftdruck entspricht. Es gibt jedoch auch Absolutdruck- und Differenzdruck-messeinrichtungen, welche sich auf ein Vakuum oder auf ein weiteres beliebiges System bei der Druckmessung beziehen.

### Klassische Manometer [17]

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Manometer gibt es in den verschiedensten Formen und Ausführungen. Die drei Wesentlichen stellen das U-Rohr-Manometer, das Rohrfeder -Manometer und das Plattenfedermanometer dar. | | |
| Beim **U-Rohr-Manometer** wird ein U-förmiges Glasrohr genutzt, dass ca. zur Hälfte mit der Sperrflüssigkeit  (z.B. Öle, Quecksilber oder Wasser) gefüllt ist. Sobald eine Druckdifferenz zwischen den Schenkeln des U-Rohr-Manometers vorliegt, verschiebt sich die Flüssigkeits-säule zur Seite mit dem geringeren Druck. Auf diese Weise kann die Druckdifferenz beider Seiten des U‑Rohrs bestimmt werden. Der Zusammenhang lässt sich folgendermaßen beschreiben: | | Abb. 21: U-Rohrmanometer |
| **Rohrfedermanometer** hingegen nutzen eine schneckenförmig, aufgewickelte Rohrfeder, welche sich bei Druckbeanspruchung anfängt, sich abzuwickeln. Die Wegänderung, die am Rohrfederende auftritt, wird über einen Zahnradmechanismus auf eine Zeigerachse übertragen. | Abb. 22: Rohrfedermanometer [18] | |
| Betrachtet im Vergleich dazu **Plattenfedermanometer**, so fällt auf, dass diese eine kreisförmige Membranfeder verbaut haben. Diese Membran verbiegt sich bei Druckeinwirkung und wirkt dabei auf ein Zeigerwerk, welches die Zeigerachse in Bewegung setzt. | Abb. 23: Plattenfedermanometer | |

### Barometer

Barometer beschreiben eine Sonderform des Manometers mit, der der atmosphärische Luftdruck gemessen wird. Dabei wird die Druckdifferenz in Form der oftmals auf eine Membran wirkende Kraft, gegenüber einem Vakuum gemessen.

### Drucksensoren [19]

Drucksensoren sind Messelemente, welche den anliegenden Druck in eine proportionale, elektrische Größe umwandeln. Dabei wird der Druck ebenfalls in Form einer Kraftmessung bestimmt, die auf eine bestimmte Fläche wirkt. Typische Drucksensoren bzw. Kraftmesseinrichtungen stellen piezoelektrischer Druckaufnehmer und Dehnungsmessstreifen (DMS) dar.

|  |  |
| --- | --- |
| Der **piezoelektrische Druckaufnehmer** wirkt als Messeinrichtung nach dem Prinzip, dass die durch den Druck verursachte Krafteinwirkung auf den verbauten Piezokristall wirkt. Dieser gibt aufgrund der wirkenden Kraft Ladung ab, welche durch einen Ladungsverstärker in elektrisches Signal von 0 bis 10 V umgewandelt werden kann. Diese Ausgangspannung verhält sich dann proportional zur wirkenden Kraft und die Kraft proportional zum Druck. | Abb. 24: Piezoelektrischer Drucksensor |
| Der **Dehnungsmessstreifen (DMS)** hingegen wirkt nach dem Prinzip, dass durch Druck- bzw. Krafteinwirkung sich der Messstreifen beginnt zu verformen (Dehnen) und sich somit der elektrische Widerstand erhöht. Bei einer anliegenden Spannung am DMS ist diese proportional zur Druckeinwirkung. | Abb. 25: Dehnmessstreifen (DMS) |

## Thermometer [20]

In der Industrie, sowie im Labor sind Temperaturmessungen unabdingbar.   
So werden im Labor, sowie in der Industrie üblicher mit Temperaturn von -200°C bis 750°C gearbeitet, welche gemessen werden müssen.

### Ausdehnungsthermometer [21]

Das typische Thermometer, wie man es meist aus dem Alltag kennt, ist ein analoges Ausdehnungsthermometer. Ein solches Thermometer zeigt die Temperatur durch Messen von Längen bzw. Volumina an. Meist bestehen sie aus einer Kapillare, die mit einer Flüssigkeit wie eingefärbtem Ethanol, Toluol oder Pentan gefüllt ist. Früher nutze man aufgrund der geringen Benetzung von Glas auch sehr häufig Quecksilber1. Durch eine aufgebrachte Skalierung neben der Kapillare kann die Temperatur abgelesen werden. Je nach Flüssigkeit können sie von -200°C bis 625°C messen.

1*Aus Gründen der Sicherheit und des Umweltschutzes ist in der EU seit 2009 das Inverkehrbringen von neuen Quecksilberthermometer verboten worden.*

### Thermoelement [22]

|  |  |
| --- | --- |
| Thermoelemente werden zur Messung von hohen Temperaturen bis 3000°C genutzt. Sie bestehen aus mindestens zwei Metalldrähten, welche über eine Lötstelle miteinander verbunden sind. Bringt man nun diese Lötstelle auf erhöhte Temperaturen, so entsteht aufgrund | Abb. 26: Thermoelement |

des Seebeck-Effekts eine messbare Thermospannung zwischen den beiden Enden der Metalldrähte. Diese Thermospannung ist proportional zur vorliegenden Temperaturdifferenz.

### Pt-Widerstandsthermometer [23]

Als Widerstandsthermometer bezeichnet man elektrische Geräte, welche mittels elektrischen Widerstand eines reinen Metalls die Temperatur messen.   
Hierfür werden reine Metalle, meist Platin oder Kupfer, aber auch Nickel oder Wolfram verwendet, da der elektrische Widerstand solcher reinen Metalle bei Erwärmung regelmäßig steigt.

Häufig begegnet man der Bezeichnung Pt100- oder Pt1000-Widerstands-thermometer. Diese bezeichnen Widerstandthermometer aus Platin mit einem elektrischen Widerstand von 100 Ω bzw. 1000 Ω. Sie messen Temperaturen von 250°C bis 1000°C.

## Schläuche

### Wasserschläuche

|  |  |
| --- | --- |
| Wasserschläuche im chemischen Labor bestehen meist aus Polyvinylchlorid (PVC), Polyethylen (PE) oder Silikon. Sie zeichnen sich dadurch aus, dass sie durchsichtig sind, hitzebeständig bis mindestens 100°C sowie universal, chemisch beständig sind. | Abb. 27: Wasserschlauch [24] |

Sie besitzen meist Wandstärken von 1‑2 mm und werden im chemischen Labor vorzugsweise für den Anschluss von Thermostaten, sowie jegliche Art von Wasserkühlern genutzt.

Tab. 2: Preisvergleich Schlauchmaterialien [25–27]

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Material** | **Wandstärke** | **Max. Betriebsdruck** | **Ø Preis pro Meter** |
| PE (LD) | 1,0 mm | 20 bar | 2,00 € |
| PVC | 0,8 mm | 3,1 bar | 6,00 € |
| Silikon | 1,0 mm |  | 9,00 € |

### Vakuumschläuche [28, 29]

|  |  |
| --- | --- |
| Vakuumschläuche werden im chemischen  Labor für jegliche Anwendungen genutzt, in denen ein Vakuum gezogen wird. Das betrifft in den meisten Fällen die Vakuumfiltration mittels Saugflasche und Filternutsche bzw. Fritte. | Abb. 28: Vakuumschlauch [30] |

Sie bestehen häufig aus Naturkautschuk (NR: natural rubber) und besitzen in der Regel eine Wandstärke von 4 mm.

Naturkautschuk findet in diesen Schläuchen Anwendung, da dieser gegenüber synthetisch hergestelltem Kautschuk höhere Verschleißfestigkeit,   
Alters und Witterungsbeständigkeit besitzt, jedoch wird dieser im Gegensatz zu Kunststoffen wie Silikon mit der Zeit brüchig.

***Tipp:***

Wenn Schläuche an den Enden sehr abgenutzt oder brüchig aussehen, müssen diese nicht entsorgt, sondern lediglich das Ende mit einer (Universal)‑Schere abgeschnitten werden.

### Oliven

Schlaucholiven sind Übergangsstücke für Schläuche. Sie können aus Glas, Metall oder Kunststoff sein und sind meist als Anschlussstück für den Schlauch an eine Apparatur wiederzufinden oder als Übergangsstück um zwei Schläuche gleichen oder unterschiedlichen Durchmessers miteinander zu verbinden.



Abb. 29: Schlaucholive [31]

## Filter

### Fritte

Eine Fritte ist ein Filter aus Glas oder Keramik, welcher zum Filtern von feinen Partikeln genutzt wird. Das entsprechende Glas bzw. die Keramik sind dabei so porös, dass sie ähnlich einem sehr feinen Sieb wirken. Typische Fritten lassen sich mit ISO P500, P100, P40 und P1.6 bezeichnen und beschreiben die maximale Porengröße in [µm].

### Filternutsche alias Büchner-Trichter

Die Filternutsche, auch Büchner-Trichter genannt, ist ein mechanischer Filter zur Trennung von Suspensionen. Sie wird zusammen mit einer Saugflasche zur Saugfiltration genutzt. Hierbei ist es nötig ein entsprechendes Filterpapier zurechtzuschneiden und in den Trichter einzulegen. Nach der Filtration kann dann das Filterpapier zusammen mit dem Filterkuchen wieder entnommen werden.

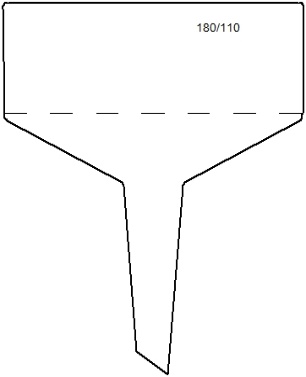


Abb. 30: Filternutsche

***Tipp:***

Um zu prüfen ob an der aufgebauten Saugfiltration der benötigte Unterdruck anliegt, kann ein Stück bedeckendes Papier über den Trichter gelegt werden. Liegt ein ausreichender Unterdruck an verformt sich das Papier.

### Filterpapier

Filterpapier besteht meist aus verschiedenen Faserschichten wie Baumwolle, Cellulose oder Glas. Diese Schichten halten je nach Güteklasse die Feststoffteilchen bis zu einem bestimmten Partikeldurchmesser an der Oberfläche und im Innern des Filters zurück. Als Filterpapiere kommen im Regelfall Papierfilter (Rund- oder Faltenfilter) zum Einsatz. Diese sind für die Filtration von verdünnten Säuren, Laugen oder anderen Lösungsmitteln in den meisten Fällen ausreichend. Es gibt jedoch auch weitere Filterpapiere wie Normalpapiere, Hartfilter oder aschefreie Filter, welche speziellere Anwendungen ausgelegt sind.

*Güteklassen für qualitatives Filterpapier aus Cellulose (Rundfilter):*

* **GK1 [11 µm]:**

Mittleres Partikelrückhaltevermögen (Retention) und   
Fließgeschwindigkeit für Routinelaborarbeiten

* **GK2 [8 µm]:**

Mehr Rückhaltevermögen als GK1, aber mit geringerer   
Fließgeschwindigkeit

* **GK3 [6 µm]:**

Dickes Papier mit hoher Belastbarkeit, welches sich besonders für den Büchner-Trichter eignet

* **GK4 [20 − 25 µm]:**

Hohe Durchflussgeschwindigkeit für größere Partikel und gelartige Niederschläge

* **GK5 [2,5 µm]:**

wirkungsvollstes, quantitatives Papier für kleinste Partikel

* **GK6 [3 µm]:**

doppelt so schnell wie GK5, aber geringfügig schlechterer   
Partikelrückhalt

### Watte oder Glaswolle

Sollen lediglich geringe Mengen an Feststoff oder Niederschlägen von einer Lösung grob getrennt werden, so ist es möglich, statt Filterpapier auch Watte in einem Trichter zu nutzen. Gerade im organisch-chemischen Labor kommt es dazu, dass geringe Feststoffabfälle vom zu entsorgenden Lösemittel getrennt werden, um die allgemeine Entsorgung zu vereinfachen. Glaswolle ist handelsüblicher Watte dann vorzuziehen, sobald zusätzliche thermische oder chemische Beständigkeit gefragt ist.



Abb. 31: Trichter mit Watte

## Waschflaschen und Kühlfallen

Waschflaschen und Kühlfallen sind Laborgeräte, welche zum Einsatz kommen, sobald ein Gasstrom in die Apparatur hinein oder aus der Apparatur heraus benötigt wird. Sie werden zwischen Pumpe und der eigentlichen Apparatur geschaltet. Wie der Name schon vermuten lässt, werden in diesen Flaschen Gase gewaschen. Dies erfolgt in der Regel mit einem Lösungsmittel innerhalb der Waschflasche durch die das Gas mittels Tauchrohr geführt wird. Aber auch bei der Vakuumfiltration werden Waschflaschen eingesetzt. Hierbei wird die jeweilige Waschflasche so zwischen Pumpe und Filtration geschaltet, dass äußersten Fall kein Filtrat in die Pumpe gelangt, sondern vorerst in der Waschflasche aufgefangen wird.

|  |  |
| --- | --- |
| Abb. 32: Kühlfalle (Gas absaugen) | Abb. 33: Kühlfalle (Gas einleiten) |

## Rührer

### Magnetrührwerk [32]

Magnetrührer sind elektrische Geräte, welche oft in Kombination mit Heizplatten versehen sind. Sie werden im chemischen Labor zum Rühren von wässrigen Lösungen und Suspensionen verwendet. Umgesetzt wird das in dem sich ein sogenannter *Rührfisch* als Dauermagnet in einem sich rotierenden Magnetfeld dreht. Die Rührgeschwindigkeit lässt sich über die Rotationsgeschwindigkeit des Magnetfeldes regeln.

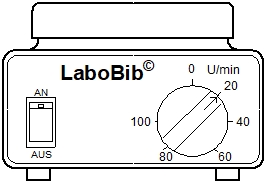


Abb. 34: Magnetrührer

Der *Rührfisch* ist meist mit Kunststoff oder Glas umschlossen, um ihn chemisch inert zu machen und die Reibung zu vermindern. Zusätzlich gibt es ihn je nach Anwendung in verschiedenen Größen und Formen.

### Laborrührer [33]

Laborrührer sind ebenfalls elektrische Geräte im Labor, welche jedoch vermehrt im verfahrenstechnischen Labor als im chemischen Labor genutzt werden. Sie erfüllen dort im Labormaßstab die Grundoperationen des Lösens, Homogenisierens, Suspendierens oder Begasens. Aber auch für hochviskose Stoffe im chemischen Labor eignet sich ein solcher Rührer. Der Rührantrieb selbst ist mit einer Einspannvorrichtung, ähnlich einer Bohrmaschine, versehen. In dieser kann eine Rührwelle mit Rührblatt eingesetzt werden.



Abb. 35: Laborrührer

### Rührertypen

Je nach Anwendung gibt es verschiedene Rührertypen, um unterschiedliche Aufgaben zu erfüllen. Im chemischen Labor kommen am häufigsten als zylindrische oder ovale Dauermagneten in Form von Rührfischen vor. Dabei werden zylindrische Rührfische hauptsächlich für flache Gefäße, wie Bechergläser oder Erlenmeyerkolben genutzt, während ovale Rührfische vorwiegend für Rundkolben verwendet werden. Es gibt dennoch weitere Rührfischtypen, welche für spezielle Anwendungen ausgelegt sind, wie beispielsweise ein Kreuzrührfisch. Im verfahrenstechnischen Labor finden sich im Vergleich noch einmal deutlich mehr Rührertypen, da diese auch verfahrenstechnische Aufgaben, wie das Suspendieren oder Homogenisieren zu erfüllen haben. Diese werden im Gegensatz zu Rührfischen mit Laborrührer, statt mit Magnetrührern in Rotation versetzt.

Typische Rührertypen mit ihrer Förderrichtung und deren Anwendungszwecke finden sich in der folgenden Übersicht:

Tab. 3: Vergleich von Rührertypen

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Rührertypen** | **Propeller** | **Scheibenrührer** | **Schrägblattrührer** | **Ankerrührer** | **Wendelrührer** |
| Bilder |  | Ein Bild, das Text enthält.  Automatisch generierte Beschreibung |  |  | Ein Bild, das Text, Sitz, Stuhl, Vektorgrafiken enthält.  Automatisch generierte Beschreibung |
| Fördereinrichtung | axial | radial | axial/radial | radial | axial |
| Rühraufgaben |  |  |  |  |  |
| Homogenisieren | + | (+) | + |  | + |
| Suspendieren | + |  | + |  |  |
| Begasen |  | + |  |  |  |
| Emulgieren |  | + |  |  |  |
| Wärmeübergang | + | + | + | + | + |

## Kühler

### Dimroth-Kühler [34]

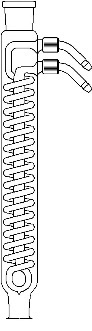
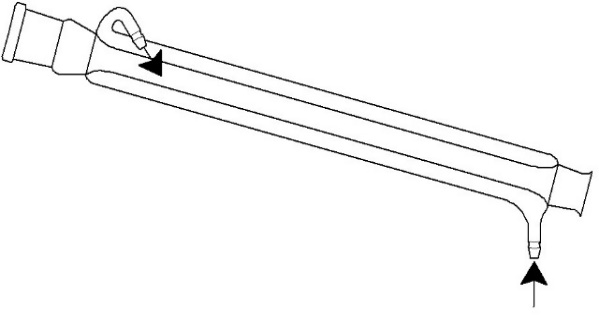


Abb. 36: Dimroth-Kühler

Der Dimroth-Kühler ist ein Rückflusskühler, welcher aus einem Rohr mit einer inneren Kühlspirale besteht.

Vorteil des Dimroth-Kühlers besteht darin, dass dieser eine große Kühlfläche besitzt.

### Liebig-Kühler [35]

Der Liebig-Kühler ist ein Kühler bestehend aus einem Glasrohr mit Wassermantel.

Er wird hauptsächlich als Kühler für Destillationsprodukte genutzt und kann auch unter Hochvakuum eingesetzt werden.

Abb. 37: Liebig-Kühler

Aufgrund der simplen Bauweise ist dieser Kühler preiswert, leicht zu reinigen und robust. Auch der Phasenübergang der Kondensation ist im Liebig-Kühler gut beobachtbar.

Aus dieser Bauweise ergibt sich jedoch auch eine kleine Kühlfläche und führt zu einer vergleichsweisen geringen Kühlleistung.

## Heiz- und Kühlelemente

Um Proben oder Lösungen in Rundkolben, Reagenzgläsern oder Bechergläsern zu erwärmen oder abzukühlen eigenen sich verschiedene Mittel zur Umsetzung.

### Heizbad und Eisbad

Gerade wenn es darum geht Stoffe bzw. Proben schonend zu erwärmen, ist es ratsam ein Wasser oder Ölbad zu nutzen. Oft wird das Heizbad vorgewärmt und dann auf einer Heizplatte mit Magnetrührer warmgehalten. Ein typisches Öl für ein solches Heizbad ist Silikonöl.

***Tipp:***

Wenn man nicht so lange warten möchte bis das Wasser über eine Heizplatte anfängt zu sieden, sollte man einen handelsüblichen Wasserkocher nutzen. Diese finden sich mehrfach im Labor.

Ebenso wie das Aufheizen von Proben ist im chemischen Labor auf das Abkühlen von Proben notwendig. Hierfür wird in den meisten Fällen Eis oder auch einfach nur Leitungswasser genutzt.

***Tipp:***

Möchte man, dass gerade ein Eisbad effizienter kühlte sollte dem Eisbad ein paar Milliliter Wasser zugegeben werden, um die Kontaktfläche zum jeweiligen Volumengefäß zu vergrößern. Sind zusätzlich Temperaturen des Eises von unter 0 °C nötig, dann sollte dem Eis etwas Natriumchlorid zugegeben werden, um eine *Kältemischung* herzustellen. Es lassen sich so Temperaturen von bis zu -21°C erreichen.

### Heizpilz oder Heiznetz [36]

Heizpilze sind halbkugelförmige Heizmäntel mit eingehäkelten Heizleitern. Der Name Heizpilz leitet sich dabei von der Marke Pilz ab. Sie werden im Regelfall zur Erwärmung des Inhaltes von Rundkolben genutzt und besitzen meist eine stufenweise Einstellmöglichkeit der Heizleistung. Heizpilze sind für Rundkolbenvolumina von 50 mL bis 20 L verfügbar.

***Wichtig:***

Man sollte tunlichst vermeiden Flüssigkeiten oder Proben auf dem Heizpilz zu verschütten, um Kurzschlüssen oder Bränden vorzubeugen!

### Heizplatte

Heizplatte sind im chemischen Labor in Kombination mit Magnetrührern vorzufinden. Sie dienen zum direkten Erwärmen von Lösungen, Proben und Heizbad-Medien. Gerade wenn leicht entzündliche Lösungen erhitzt werden sollen, ist jedoch von der Nutzung einer Heizplatte abzuraten! Es sollten lieber alternative Heizelemente wie ein Heizpilz oder noch besser ein Heizbad genutzt werden.

### Brenner [37, 38]

Der typische Laborgasbrenner auch Bunsen-Brenner genannt, ist ein nach dem Venturi-Prinzip selbst-Luft-ansaugender Gasbrenner, welcher im chemischen Labor zum Erhitzen von Proben oder Flüssigkeiten genutzt wird. Er sollte vorrangig dann genutzt werden, wenn keine leicht entzündlichen oder thermisch empfindlichen Stoffe genutzt werden und eine hohe Wärmebereitstellung erforderlich ist. Er wird oft auch in Kombination mit einem Dreifuß genutzt. Für qualitative Analysen, wie zum Beispiel der Flammfärbung oder   
Boraxperle findet er ebenfalls noch Verwendung.

In Abbildung Abb. 38 ist nochmals aufgeführt, welche Flammen am Brenner je nach Gaszufuhr vorliegen (rechts) und welche Temperaturzonen in der rauschenden Flamme vorhanden sind.

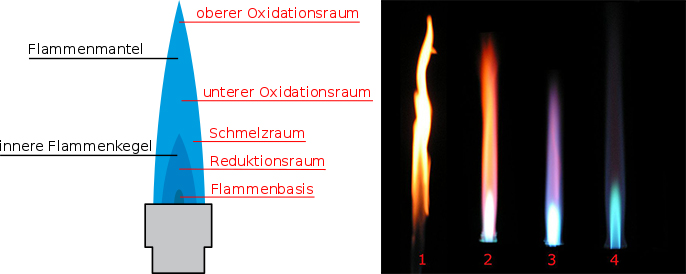


Abb. 38: Brennerflamme [39, 40]

## Apparaturen zum Trocknen und Brennen

### Exsikkator [41]

Der Exsikkator ist ein Laborgerät, welches zur Trocknung chemischer Feststoffe verwendet wird. Der Behälter besteht meist aus einem dickwandigen Glas und kann mit einem Deckel luftdicht verschlossen werden. Falls notwendig kann dafür zusätzlich Schlifffett genutzt werden. Exsikkatoren unterteilen sich zumeist in zwei Teile. In einen unteren Teil, um das jeweilige Trockenmittel wie zum Beispiel Calciumchlorid oder häufiges noch gefärbtes Silicagel (auch Kieselgel genannt) hineinzugeben und einen durch eine Siebplatte getrennten oberen Teil, in dem die Probe innerhalb eines Becherglases, einer Kristallisierschale oder einer Urglasschale hineingestellt wird.

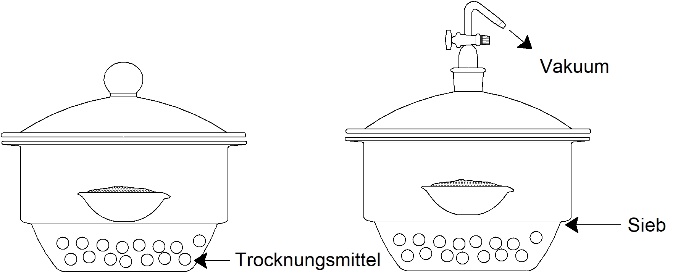


Abb. 39: Exsikkator

Prinzipiell entzieht im Exsikkator das Trockenmittel dem zu trocknenden Gut die Feuchtigkeit. Mittels Feuchtigkeitsindikator und dessen Farbumschlag kann dann festgestellt werden, wie stark das Trockenmittel bereits mit Wasser beladen ist. Um Proben schneller zu trocknen, gibt es zum Teil auch Exsikkatoren, welche über einen Absperrhahn mit einer Vakuumpumpe verbunden werden können. Solche Exsikkatoren werden als *Vakuumexsikkatoren* bezeichnet. Durch das Vakuum wird die Siedetemperatur des Wassers herabgesetzt und verdampft somit schneller.

### Trockenschrank [42]

|  |  |
| --- | --- |
| Mit Trockenschränken können gleichzeitig mehrere Proben unter konstanten Temperatur- und Feuchtigkeitsbedingungen getrocknet werden. Meistens wird dabei die Luft im Trockenschrank selbst entfeuchtet. Temperaturen sind in der Regel von der Raumtemperatur ausgehend bis 250 °C möglich.  Ausgehend von der Funktionsweise sind die meisten Trockenschränke ähnlich einem herkömmlichen Elektro-Backofen aufgebaut. | Abb. 40: Trockenschrank [43] |

### Muffelofen [44]

|  |  |
| --- | --- |
| Der Muffelofen ist ein Ofen in dem die Kammer mit dem zu brennenden/schmelzenden Gut durch einen hitzefesten Einsatz (die Muffel) getrennt ist. Als Einsatz werden meist feuerfeste Steine, wie Schamott (45 % Al2O3), eingesetzt. Im Labor werden sie für verschiedene gravimetrische Verfahren in der Analytik genutzt oder in der Umwelttechnik und den Inertstoff- und den Kohlenstoffgehalt von Böden zu bestimmen. Aber auch für weitere Anwendungen des Schmelzens, Glühens und Veraschens können diese Öfen genutzt werden. | Abb. 41: Muffelofen [45] |

## Pumpen [46, 47]

Pumpen werden gerade in der Verfahrenstechnik, aber auch chemischen Labor für verschiedenste Tätigkeiten benötigt. In erster Linie fällt einem dabei der Transport von Flüssigkeiten oder vielleicht auch Gasen ein. Pumpen werden aber auch genutzt, um Druck in Behältern aufzubauen oder ein Vakuum zu erzeugen. Typische Anwendungen dafür sind die Filtration, das Trocknen oder auch das Destillieren. Je nach Zweck und Ausführung eignen sich verschiedene Pumpentypen für verschiedene Anwendungen.

Tab. 4: Übersicht von Laborpumpen

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Pumpe** | **Vorteile** | **Nachteile** | **Anwendung** | **Max. Überdruck  [bar]** | **Min. Vakuum  [mbar]** | **Max. Förderleistung  [m^3/h]** |
| **Schlauchpumpe (peristaltische Pumpe)** | - leicht sterilisierbar - an viele Fördermedien  anpassbar - trockenlaufsicher - minimaler Wartungsaufwand - genaue Dosierung in kleinen Mengen möglich | - kurze Schlauchlebensdauer - chemische Beständigkeit ist zu beachten  (Schlauchbeständigkeit) - Abrieb des Schlauches evtl. im Fördergut - keine konstante  Förderleistung | - Dosierpumpe - Pumpe für Gefahrengut - Infusionspumpe | 2 bis 16 | - | 100 |
| **Ölpumpe/ Drehschieberpumpe** | - mittlere Geräuschpegel - regelbares Fördervolumen - kostengünstig - sehr effizient - erreicht mehr Vakuum als Membranpumpe | - hoher Verschleiß - empfindlich gegen  organische Dämpfe | - Fördern von Flüssigkeiten und Gasen - als Laborpumpe | 300 | Grob- bis Feinvakuum  1 bis 0,001 | 20-500 |
| **Membranpumpe** | - gute Förderung von  Gefahrstoffen (Giftstoffe, Säure, Basen) möglich - unempfindlich gegen  Dauerbelastung - wartungsfreundlich - leckfrei | - sensibel gegen Hochdruck - hoher Energiebedarf - pulsierender Volumenstrom | - Förderung in der Lebensmittelindustrie - sinnvoll, wenn ölfreies Vakuum  benötigt wird - Förderung in der Chemie-, Umwelt- und Verfahrenstechnik - als Laborpumpe - Fördern von Gasen und Flüssigkeiten - als Dosierpumpe | 15 | Grob- bis Feinvakuum   0,5 | 75 |
| **Wasserstrahlpumpe** | - einfache Bauweise (preiswert) - verschleiß- und wartungsarm - für explosionsgefährdete  Zonen geeignet  (kein elektr. Anschluss nötig) - flexibel im Einbau | - hoher Wasserverbrauch - geringer Wirkungsgrad - für gleiche Leistung  größere Baugröße  notwendig  - Düse kann verstopfen - Erosion kann auftreten (Werkstoffwahl) - hoher Geräuschpegel - Schadstoffe im Abwasser | - explosionsgeschützte Räume - Mischen und Dosieren von  Flüssigkeiten (und Gasen) - Feuerwehr:  > Leerpumpen von vollgelaufenen  Kellern > Lenzpumpe für Löschschaum | 4 | Grobvakuum  24 | 25 bis 75 |
| **Zahnradpumpe** | - gleichmäßige Förderleistung - gut bei hochviskosen Medien - hohe Dosiergenauigkeit - geringer Wartungsaufwand - hoher Wirkungsgrad | - Funktionsprinzip beinhaltet keine Druckbegrenzung > Sicherheits- und Druckbegrenzungseinrichtungen  erforderlich | - Dosierpumpe - Umwälzpumpe in Kühlkreisläufen | 300 | - | 200 |

## Füllkörper [48, 49]

Füllkörper werden vorrangig in der chemischen Technik genutzt, um eine Oberflächenvergrößerung von Kolonnen-Packungen zu erzeugen. Benötigt werden diese bei Verfahren der Destillation, Rektifikation sowie für die Optimierung von Stoffübergängen oder Wärmeaustauschprozessen. Sie bestehen meist aus Metall, Kunststoff, Keramik oder Glas. Folgend sind ein paar typische Vertreter von Füllkörpern aufgeführt:

* **Raschig**® - **Ringe (1912)**

Raschig® -Ringe sind die ersten entwickelten Füllkörper mit großer praktischer Bedeutung und breiter Anwendung. Der Füllkörper kann als Hohlzylinder beschrieben werden dessen Durchmesser annähernd der Seitenlänge des Zylinders entspricht.

* **Pall® - Ringe (1952)**

Pall® -Ringe zeichnen sich durch definierte Wandausschnitte aus der Ringwand, die in das Innere des Ringraumes gebogen sind aus. Es entsteht somit eine definierte innere Oberfläche, welche gegenüber dem Raschig® -Ring wesentlich höher belastbar ist und zudem geringere Druckverluste, sowie eine höhere Stoffaustauschwirkung aufweist.

* **Novalox® - oder Berl® - Sattelkörper (1957)**

Sattelkörper sind sehr leistungsfähige Füllkörper, welche für jegliche Trennaufgaben einsetzbar sind und durch ein gutes Preis-Leistungs-Verhältnis bestechen. Die Berl® -Sattelkörper sind hierbei teurer als die Novalox® -Sattelkörper, jedoch haben diese auch eine höhere Stoffaustauschleistung, sowie eine vorteilhaftere Geometrie.

## Zusätzlich:

### Dichtebestimmung mit einem Pyknometer

Pyknometer sind Messgefäße, welche in verschiedenen Größen und Konstruktionen genutzt werden, um bei vorgegebener Temperatur die Dichte von Flüssigkeiten oder zerkleinerten, festen Körpern zu bestimmen. Meist sind Pyknometer runde Glasgefäße mit ebenem Boden. Wenn das Pyknometer vollständig gefüllt ist, liegt ein genaues Volumen der entsprechenden Füllung vor. Pyknometer gibt es von 5 mL bis 100 mL. Das Volumen ist auf dem Glaskörper eingraviert. Um die Dichte eine Flüssigkeit zu bestimmen ist folgende Schrittweise zu befolgen:

|  |
| --- |
| Pyknometer mit Stopfen leer wiegen  Pyknometer mit Stopfen vollständig mit der Flüssigkeit füllen 🡪 Kapillare im Stopfen muss ebenfalls gefüllt sein!  Pyknometer zusammen mit Stopfen und der Flüssigkeit wiegen |

Somit lässt sich aus der Masse der Flüssigkeit bei vorgegebenen Volumen und vorgegebener Temperatur die Dichte bestimmen.

### Beschriftung von Proben

Proben lassen sich im chemischen Labor meist gut mit einem Permanentmarker der Marke edding® beschriften. Nötig ist das Beschriften von Proben um ein übersichtliches, strukturiertes Arbeiten zu garantieren.

Die Beschriftung an Glas mittels eines solchen Permanentmarkers ist   
wasserunlöslich. Möchte man die Beschriftung am Ende des Versuches   
dennoch lösen, ist das mittels Aceton möglich.

### Schliffe und Schlifffett [50]

Viele Laborglasgeräte besitzen genormte Schliffe, wodurch es vereinfacht wird Apparaturen zusammenzubauen und gasdicht zu verschließen. Die häufigste Schliffform sind *Kegelschliffe*. Die ineinander zu steckenden Teilen heißen für diese Schliffform Schliffkern und Schliffhülse.

Die Schliffgröße wird durch die Angabe des größten Durchmesser *d1*, sowie der Höhe *h* definiert. Die häufigsten Größen sind *d1/h = 14,5/23* und *29,2/32* mm.

Wenn man von diesen Größen spricht oder liest, werden die Nachkommastellen meist weggelassen und man sieht die Angaben NS14/23 und NS29/32.   
*NS* hat die Bedeutung Normschliff.

Wenn also im Labor vom „14er“- oder „29er“-Schliff gesprochen wird sind eben diese beiden Normschliffe gemeint.



Abb. 42: Normschliffe im Labor [50]

**Schlifffett** ist ein spezielles Hochvakuumfett, welches keinen messbaren Dampfdruck aufweist und die Apparaturbestandteile trotz Vakuum und Wärme dennoch beweglich bleiben. Wann wird nun Schlifffett benötigt? Wenn:

* Schliffverbindungen bei großen Druckunterschieden   
  (z.B. Vakuumdestillation) gasdicht sein sollen
* mit glasätzenden Stoffen (heiße Laugen) oder harzigen, polymerisierbaren Stoffen gearbeitet wird
* wenn Schliffverbindungen leicht beweglich bleiben sollen  
  (z.B. Glasküken in einem Hahn)

***Hinweis:***

Schlifffett sollte immer nur sehr, sehr sparsam verwendet werden, um zu gewährleisten, dass sich nichts davon mit den reagierenden Stoffen mischt.

### Ultraschallbad [51]

Ultraschallbäder bestehen meist aus einer mit Flüssigkeit gefüllten, eventuell beheizbaren Wanne, welche mit Schallschwingern mit Ultraschall beschallt wird. Sie sind oft mit einer Zeitschaltuhr versehen und werden oft zum Reinigen von komplexen, kleinen oder feinen Bauteilen wie Schmuck genutzt. Im chemischen Labor jedoch werden sie genutzt über den Ultraschall Stoffe weiter zu zerkleinern, um die Stoffe besser in Lösung zu bringen.

### Eismaschine

Oftmals ist es nötig Eiswasser bereitzustellen oder Lösungen zu Kühlen. Hierfür wird Eis benötigt. Dieses Eis wird nicht im Kühlschrank vorbereitet, sondern mit einer „Eismaschine“, genauer einem Flockeneisbereiter zur Verfügung gestellt.

### Unterschied zwischen Drehstrom und Wechselstrom [52]

Unter Drehstrom, auch Starkstrom genannt, versteht man einen dreiphasigen Wechselstrom. Wechselstrom ist aus den meisten Haushalten in Form der Steckdose bekannt und stellt mit einer Phase keine kontinuierliche Leistung zur Verfügung. Das reicht für die üblichen Haushaltsgeräte meist aus, jedoch gibt es in der Technik auch Maschinen, welche konstant höhere, elektrische Leistungen benötigen. An dieser Stelle wird der Dreiphasenwechselstrom genutzt.

Am besten lassen sich Wechselstrom und Drehstrom an der Anzahl der Pole erkennen. Wechselstrom hat 3 Pole: eine Phase, ein Neutralleiter und einen Schutzleiter. Drehstrom hingegen hat 5 Pole mit 3 Phasen, einem Neutralleiter und einem Schutzleiter.

|  |  |
| --- | --- |
| Abb. 43: Steckdose (Wechselstrom) [53] | Ein Bild, das rot, schließen enthält.  Automatisch generierte Beschreibung  Abb. 44: CEE-Stecker (Drehstrom) [54] |

# Typische Versuchsstände und Aufgaben

## Typische Versuchsstände

|  |  |
| --- | --- |
| Abb. 45: Becherglas-Rührapparatur | Ein Bild, das Text enthält.  Automatisch generierte Beschreibung  Abb. 46: Rückflussapparatur |
| Ein Bild, das Text enthält.  Automatisch generierte Beschreibung  Abb. 47: Mehrhalskolbenapparatur | Abb. 48: Titrationsapparatur |

## Typische Verfahren und Aufgabenstellungen

|  |
| --- |
| Dichtebestimmung |
| Abb. 49: Dichtebestimmung |
| Trocknung von Feststoffen |
| Abb. 50: Trocknung mittels Exsikkators |
| Destillation |
| Abb. 51: Destillation |

|  |
| --- |
| Umkristallisieren |
| Abb. 52: Umkristallisieren |

|  |
| --- |
| Extraktion |
| Abb. 53: Extraktion [55–60] |
| „Absaugen“ alias Vakuumfiltrieren |
| Abb. 54: Vakuumfiltrieren |
| Schmelzpunktbestimmung (Kapillarmethode) |
| Abb. 55: Schmelzpunktbestimmung mit Kapillarmethode |

|  |
| --- |
| Siedepunktbestimmung |
| Abb. 56: einfache Siedepunktsbestimmung |
| Refraktometrie |
| Abb. 57: Refraktometer |
| Dünnschichtchromatografie |
| Abb. 58: Ablauf einer Dünnschichtchromatografie |

|  |
| --- |
| Gaschromatographie |
| Abb. 59: Schematischer Aufbau einer Gaschromatografie (GC) |
| Wasserentzug organischer Lösungen mit Na2SO4 oder CaCl2 |
| Abb. 60: Entwässerung von organischen Lösungen |

|  |
| --- |
| Druckfiltration |
| Abb. 61: Druckfiltration |

# Fehlerquellen für die Versuchsauswertung

## Zufällige Fehler und systematische Fehler [61]

Dieser Abschnitt beschäftigt sich mit dem üblichen „Schwanken“ von Messreihen. Je nachdem, ob eine Abweichung zufallsbedingt (statistisch) oder systematisch erfolgt lassen sich die Messergebnisse auch unterschiedlich interpretieren.

### Zufällige Fehler

Zufällige Fehler bzw. *statistische Fehler* werden durch nicht vorhersehbare, spontane Prozesse während der Messwertaufnahme verursacht. Sie beschreiben somit eine Abweichung vom wahren Messwert, bei der die **Präzision** beeinflusst wird. Diese Fehler äußern sich somit in einer Streuung der Messwerte um einen Mittelwert und somit auch nicht reproduzierbar. Zufällige Fehler lassen sich nicht durch Fehleruntersuchungen identifizieren, aber durch Vergrößerung des Stichprobenumfanges reduzieren.

|  |  |
| --- | --- |
| *Beispiele:* | * Hintergrundrauschen vom Messgerät * Nicht beeinflussbare Schwankungen während einer Messung (Wind, Netzspannung, Temperatur, …) * Augen haben beim Ablesen nie dieselbe Position (Parallaxefehler) |

### Systematische Fehler

Systematische Fehler, auch *offset* genannt, beschreiben ein Abweichung vom wahren Messwert, bei der die **Richtigkeit** beeinflusst wird. Sie zeichnen sich dadurch aus, dass diese reproduzierbar sind und im gleichen Maße auftreten. Somit verfälschen diese Art von Fehlern die Messwerte immer in der gleichen Weise. Im Gegensatz zu den zufälligen Fehlern lassen sich systematische Fehler durch Fehleruntersuchungen identifizieren. Dabei gilt es zu beachten, dass diese Fehler in den meiste Fällen durch nicht steuerbare, äußere Einflüsse, der Unvollkommenheit des Messgerätes und der messenden Person hervorgerufen werden.

|  |  |
| --- | --- |
| *Beispiele:* | * Verunreinigte Proben * dauerhaft, schräger Ablesewinkel (Parallaxefehler) * Rundungsfehler bei Rechnungen * Nicht konstante Umgebungsbedingungen * Nicht/falsch kalibriertes Messgerät * Tarieren (z.B. einer Waage) vergessen * Alter von Sensoren |

## Anzahl der Messreihen

Die Anzahl der durchzuführenden Messungen richtet sich vorrangig nach der benötigten Wahrscheinlichkeit für die Genauigkeit des Messwertes. Dabei gilt je mehr Messungen durchgeführt werden, desto geringer ist der Einfluss von zufälligen Fehlern auf das Messergebnis.

Im Labor ist es jedoch nicht üblich für jede Messreihe 50 Messungen durchzuführen, da diese Ressourcen und vor allem Zeit benötigen.   
Deshalb lässt sich folgende Faustregel formulieren:

*„Eine Messreihe sollte immer mindestens aus drei Messungen bestehen.   
Im besten Fall sollten jedoch mindestens fünf Messungen durchgeführt werden. Mehr als 10 Messungen sollten vermieden werden, da diese Zeit und Geld kosten.“*

## Vergleich analoger und digitaler Messungen [62–65]

### analoge Messung

|  |  |
| --- | --- |
| **Vorteile** | **Nachteile** |
| * können jeden beliebigen Wert annehmen * beliebige Skalengröße/Auflösung möglich * besserer Überblick über den gesamten Messbereich * Beurteilung von schwankenden Messgrößen besser möglich * Können zum Teil stärkere extreme aushalten (hohe Temperaturen, Drücke) * Schnelle, stufenlose, kontinuierliche Messwertaufnahme | * Können oft durch magnetische Felder beeinflusst werden * Mögliche Ablesefehler 🡪 Parallaxenfehler * Umrechnungsfehler zwischen Skale und Messbereich möglich * Haben meist größere Fehlergrenzen * Thermische oder mechanischer Überlastung kritischer als in der Digitaltechnik * Ablesen des Messwertes aufwendiger |

### digitale Messung

|  |  |
| --- | --- |
| **Vorteile** | **Nachteile** |
| * digital leichter ablesbar * direkt digital weiter verarbeitbar * absolute, eindeutige Werte * oft unempfindlicher gegen Überlastungen * extreme Bedingungen nur bedingt geeignet * hohe Messgenauigkeit * Messung und Registrierung kann an örtlich getrennten Punkten erfolgen * hohe Verstärkung der Messignale möglich * gleichzeitiges Messen mehrerer Größen gut möglich | * stellen analoges Messsignal in stufenweiser Form wieder   🡪 ungenauer 🡪 Werte sind nur so genau, wie die feinste Stufe  🡪 Auftreten von Quantisierungsfehlern   * Bewertung und bewusstes Lesen der Zahlen nötig * oft werden analoge Elemente und eine Digital-Analog-Wandler benötigt * nicht sehr anschaulich   🡪 Veranschaulichung benötigt Drucker oder Computer |

## Genauigkeitsklasse und Fehlertoleranzen [66–71]

Die **Genauigkeitsklasse** ist ein Qualitätsmerkmal von Messgeräten, welche Auskunft über die zu erwartende maximale, prozentuale Abweichung vom wahren Wert der zu messenden Größe ist. Die angegebene Messabweichung liegt dabei innerhalb festgelegter Grenzen für festgelegte Referenzbedingungen.

Die **Fehlertoleranz** gibt die maximale zulässige Gesamtabweichung vom Sollwert an. Dieser Wert kann aus der Messspanne *MS* des Messgerätes und seiner Genauigkeitsklasse *GK* berechnet werden und wird in der Regel als -Wert angegeben.

|  |
| --- |
|  |

*Beispiel 1*: Manometer, GK: 1.6, Messspanne 0 bis 400 mBar

|  |
| --- |
|  |

*Beispiel 2*: Pt-Widerstandsthermometer, Klasse A, Temperatur -50°C

|  |
| --- |
|  |

Tab. 5: Typische Genauigkeitsklassen für Druckmessgeräte:

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Feinmessgeräte | 0,1 | | 0,25 | | 0,6 | |
| Betriebsmessgeräte | 1 | 1,6 | | 2,5 | | 4 |

Tab. 6: Typische Genauigkeitsklassen für Pt-Widerstandsthermometer:

|  |  |
| --- | --- |
| Klasse AA | tg = 0,1 °C + 0,0017 · |t| |
| Klasse A | tg = 0,15 °C + 0,002 · |t| |
| Klasse B | tg = 0,30 °C + 0,005 · |t| |
| Klasse C | tg = 0,6 °C + 0,01 · |t| |

Tab. 7: Typische Genauigkeitsklassen für Volumenmessgeräte:

|  |  |
| --- | --- |
| Klasse AS | Bezeichnet die Genauigkeitsklasse A die einen Schnellablauf S besitzen und kürze Wartezeit für Pipetten/Büretten beschreibt |
| Klasse A | Genauste Klasse der Volumenmessgeräte |
| Klasse B | Bezeichnet eine Fehlergrenze, die das 2-fache der Klasse A beträgt |

Ansonsten für weitere Informationen sollten die entsprechenden Normen der Messtechnik DIN 1319, DIN EN 60051 hinzugezogen werden.

Zusammenfassend sollte man immer im Blick haben welche Genauigkeitsanforderungen die jeweiligen Messungen haben und inwiefern diese für die   
Fehlerbetrachtung von Belangen sein können.

## Vertrauenswürdigkeit verschiedener Messungen

Fragwürdige Ausarbeitung, sehr subjektiv

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Größe** | **Fehleranfälligkeit** | **Fehlerquellen** |
| Masse | Niedrig | * Schlechte Ausrichtung der Waage * Zu großer/kleiner Messbereich   🡪 Art der Waage  🡪 Auflösung   * Tarieren der Waage nicht beachtet |
| Geometrie | Niedrig | * großer/kleiner Messbereich |
| Volumen | Niedrig bis Mittel | * Auswahl des Volumenmessgerätes 🡪 Genauigkeitsklasse beachten! * Parallaxenfehler |
| Druck | Mittel | * Auswahl des Druckmessgerätes 🡪 Genauigkeitsklasse beachten! * Zu großer/kleiner Messbereich * Digital: Verzögerung der Anzeige |
| Temperatur | Niedrig | * Schlechte Messstelle 🡪 Hotspots * Zu großer/kleiner Messbereich   🡪 Art des Thermometers  🡪 Auflösung   * Digital: Verzögerung der Anzeige |
| pH-Wert | Mittel bis Hoch | * Elektrode ist zu alt * Schlechte Messstelle  🡪 siehe Segregation * Elektrode nicht vollständig in Lösung * Falls nötig: Kappe der Elektrode öffnen |
| elektrische Leitfähigkeit | Niedrig | * Schlechte Messstelle  🡪 siehe Segregation * Elektrode nicht vollständig in Lösung |
| Volumenstrom | Hoch | * Parallaxenfehler * Angabe für Normtemperatur nicht beachtet * Angabe für geltendes Fluid nicht beachtet |
| Spektroskopische Messungen | Niedrig | * Küvette war nicht fett- und/oder blasenfrei * Küvette nicht ausreichend gefüllt   🡪 elektromagnetische Strahlung durchdringt Fluid nicht |

Literatur

1. (2016) Schliffklemme. https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Schliffklemme&oldid=160611608. Zugegriffen: 01. Februar 2021

2. Unbekannt (2019) Zeichnung einer Keck-Klemme. https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcR1TwN9XnuEr0n3XggQM3CX0vePdlrnl9V6qw&usqp=CAU. Zugegriffen: 01. Februar 2021

3. (2021) Keck Klemme. https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/31Bg8lLxhKL.jpg. Zugegriffen: 01. Februar 2021

4. (2020) Stativmuffe. https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Stativmuffe&oldid=206645164. Zugegriffen: 01. Februar 2021

5. www.chemoline.de (2014) Doppelmuffe. https://www.chemoline.de/images/content/images/Bochem/5332\_2-Alu\_web.jpg. Zugegriffen: 01. Februar 2021

6. (2020) Bunsenstativ. https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Bunsenstativ&oldid=203062207. Zugegriffen: 01. Februar 2021

7. (1970) Korkringe. https://www.carlroth.com/medias/H111-1000Wx1000H?context=bWFzdGVyfGltYWdlc3wxNjEyOTV8aW1hZ2UvanBlZ3xpbWFnZXMvaDNhL2g3MC84ODI3OTMwODY5NzkwLmpwZ3w4ZTBiNWIyNzdhNGU0MWRkOWI2YWVjMTUwOTM1NDNhYjBkNzc2MTcwOWVlNmNjNmI5NGE5OTMwNjYyZDUwYzNk. Zugegriffen: 01. Februar 2021

8. (2013) Duran Logo. http://www.duran-group.com/uploads/tx\_fedownloads/Unternehmensbroschuere\_03.pdf. Zugegriffen: 01. Februar 2021

9. (2021) pyrex Logo. https://www.mahahome.com/images/brands/logo/logo-pyrex.jpg. Zugegriffen: 01. Februar 2021

10. (2017) Jenaer Glas Logo. http://www.zwiesel-kristallglas.com/de/jobs\_karriere/ZK\_Einzelhandelskauffrau.pdf. Zugegriffen: 01. Februar 2021

11. Lehrmaterial von HannoverGEN Anleitung zum Umgang mit Pipetten. https://www.chemie-rp.de/uploads/media/script\_laborpraxis.pdf. Zugegriffen: 02. April 2021

12. Universität Siegen Seminarvorträge. https://www.chemie-biologie.uni-siegen.de/ac/be/lehre/seminarvoertraege.pdf. Zugegriffen: 02. April 2021

13. Unbekannt (2018) automatische Bürette. https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/41DDN6AxnuL.jpg. Zugegriffen: 01. Februar 2021

14. Unbekannt Bürette. https://freesvg.org/download/31735. Zugegriffen: 02. April 2021

15. Unbekannt Eppendorfpipette. https://www.gebraucht-kaufen.de/sh-img/f9264faa8fac06d1518ff7a3e19f4ae01557909626-lg\_eppendorf%2Bpipette.png. Zugegriffen: 02. April 2021

16. (2018) Scheidetrichter. https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Scheidetrichter&oldid=175559003. Zugegriffen: 01. Februar 2021

17. (2020) Druckmessgerät. https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Druckmessgerät&oldid=204758156. Zugegriffen: 24. Februar 2021

18. Malyszkz (2021) Mechanik eines Rohrfeder-Manometers mit [1] Zeigerachse, [2] Segmentzahnrad, [3] Schwenklager, [4] Zugstange, [5] Rohrfeder in Kreisform, [6] Zeiger [8] Prozessanschluss. CC BY-SA 3.0. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Manometr2.svg. Zugegriffen: 01. April 2021

19. HBM (2018) Wie funktioniert ein piezoelektrischer Kraftaufnehmer. https://www.hbm.com/de/7318/wie-funktioniert-eigentlich-ein-piezo-kraftaufnehmer/. Zugegriffen: 24. Februar 2021

20. RÖMPP-Redaktion (2002) Temperaturmessung. Thieme Gruppe

21. (2020) Ausdehnungsthermometer. https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Ausdehnungsthermometer&oldid=204873317. Zugegriffen: 24. Februar 2021

22. Holze R (2011) Thermoelemente. Thieme Gruppe

23. Foth H-J (2006) Widerstandsthermometer. Thieme Gruppe

24. (2021) Wasserschlauch. https://e.allegroimg.com/original/03401d/5be7ec054e58a02c7a08381a20de/WAZ-Przewod-IGIELITOWY-PCV-Igielit-4x1mm-dl-10m-Producent-czesci-Inny. Zugegriffen: 01. Februar 2021

25. Chemietechnik R (2021) TYGON®-Säure- und Laugen-Schlauch. Silikon-Chemieschlauch - Standard. https://www.rct-online.de/de/schlaeuche/gummischlaeuche-elastomerschlaeuche/pvc-schlaeuche-tygon-schlaeuche/tygon-saeure-und-laugen-schlauch. Zugegriffen: 25. Februar 2021

26. Chemietechnik R (2021) Silikon-Chemieschlauch - Standard. https://www.rct-online.de/de/schlaeuche/gummischlaeuche-elastomerschlaeuche/silikon-schlaeuche/silikon-chemieschlauch-standard. Zugegriffen: 25. Februar 2021

27. Chemietechnik R (2021) LDPE-Chemieschlauch - Standard. https://www.rct-online.de/de/schlaeuche/harte-kunststoffschlaeuche-kunststoffrohre/pe-schlaeuche/ldpe-chemieschlauch-standard. Zugegriffen: 25. Februar 2021

28. RCT Reichelt Chemietechnik GmbH + Co (2018) Ist Naturgummi immer noch aktuell? https://www.rct-online.de/magazin/naturgummi/. Zugegriffen: 01. Februar 2021

29. (2021) Naturkautschuk. https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Naturkautschuk&oldid=208047558. Zugegriffen: 01. Februar 2021

30. Silikonfabrik.de (2021) Vakuumschlauch. https://www.silikonfabrik.de/media/image/e9/1d/7b/vakuumschlauch-nr-rot-o-8-16-mm-meterware-1676-vsch3020816\_600x600.jpg. Zugegriffen: 01. Februar 2021

31. Carl Roth GmbH + Co. KG Schlaucholive. https://www.carlroth.com/medias/EKH5-01-1000Wx1000H?context=bWFzdGVyfGltYWdlc3w0NjQyMHxpbWFnZS9qcGVnfGltYWdlcy9oMDAvaDhlLzg4Mjg3MDA2MjI4NzguanBnfDk2NzM5NDk5MDBmYjJhNWIyYWUyYjY0N2Y4YmFiMTdhNzgyOGZiOWZhNWFkNDNjNTU0NmY5MWJiNTZjNjJiYWQ. Zugegriffen: 02. April 2021

32. (2020) Magnetrührer. https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Magnetrührer&oldid=197982391. Zugegriffen: 01. Februar 2021

33. (2019) Laborrührer. https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Laborrührer&oldid=189590364. Zugegriffen: 01. Februar 2021

34. (2021) Laborkühler. https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Laborkühler&oldid=207514792. Zugegriffen: 01. Februar 2021

35. (2020) Liebigkühler. https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Liebigkühler&oldid=204165269. Zugegriffen: 01. Februar 2021

36. (2020) Heizhaube. https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Heizhaube&oldid=204400193. Zugegriffen: 01. Februar 2021

37. (2020) Bunsenbrenner. https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Bunsenbrenner&oldid=203654861. Zugegriffen: 02. April 2021

38. (2018) Teclubrenner. https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Teclubrenner&oldid=182176327. Zugegriffen: 02. April 2021

39. Arthur Jan Fijałkowski (2014) Flammtypen. CC BY-SA 3.0. https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/0/08/Bunsen\_burner\_flame\_types.jpg/1024px-Bunsen\_burner\_flame\_types.jpg. Zugegriffen: 01. Februar 2021

40. Benedikt Seidl MM (2014) Entleuchtete Brennerflamme. CC BY-SA 3.0. https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/c/c1/Entleuchtete\_Brennerflamme.svg/373px-Entleuchtete\_Brennerflamme.svg.png. Zugegriffen: 01. Februar 2021

41. (2019) Exsikkator (Chemie). https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Exsikkator\_(Chemie)&oldid=189491992. Zugegriffen: 01. Februar 2021

42. (2019) Trockenschrank. https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Trockenschrank&oldid=192277160. Zugegriffen: 01. Februar 2021

43. Karelj (2014) Trockenofen. https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/6/60/Drying\_owen\_1.jpg/622px-Drying\_owen\_1.jpg. Zugegriffen: 01. Februar 2021

44. (2021) Muffelofen. https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Muffelofen&oldid=209283729. Zugegriffen: 02. April 2021

45. Benutzer:BMK (2013) Muffelofen. CC BY-SA 2.0. https://de.wikipedia.org/wiki/Muffelofen#/media/Datei:Muffelofen\_BMK.jpg. Zugegriffen: 12. Februar 2021

46. Freie Universität Berlin (2021) Pumpen. Organisch-chemisches Grundpraktikum - Fachbereich Biologie, Chemie, Pharmazie. https://www.bcp.fu-berlin.de/chemie/chemie/studium/ocpraktikum/ressourcen/laborpraxis/laborpraxis\_themen/pumpen.html. Zugegriffen: 01. Februar 2021

47. (2021) Zahnradpumpen - SPA. https://de.starpumpalliance.com/zahnradpumpen. Zugegriffen: 26. Februar 2021

48. Vereinigte Füllkörper-Fabriken GmbH & CO. KG Füllkörper - Gesamtprospekt. Ihr Spezialist für Füllkörper, Katalysatorträger und Kolonneneinbauten. https://www.vff.com/de/download?download=1:gesamtprospekt-ger

49. (2020) Füllkörper. https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Füllkörper&oldid=203845998. Zugegriffen: 01. Februar 2021

50. Freie Universität Berlin (2021) Schlifftypen. Organisch-chemisches Grundpraktikum - Fachbereich Biologie, Chemie, Pharmazie. https://www.bcp.fu-berlin.de/chemie/chemie/studium/ocpraktikum/ressourcen/laborpraxis/laborpraxis\_webinfos/apparaturen/schliffverbindungen/typen.html. Zugegriffen: 01. Februar 2021

51. (2021) Ultraschallreinigungsgerät. https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Ultraschallreinigungsgerät&oldid=207641564. Zugegriffen: 01. Februar 2021

52. Gloor R (2014) Drehstrom und Wechselstrom. https://energie.ch/drehstrom-und-wechselstrom/. Zugegriffen: 01. Februar 2021

53. Pixabay (2021) Steckdose, Europäische Stecker. https://pixabay.com/de/photos/steckdose-europ%C3%A4ische-stecker-3974888/. Zugegriffen: 16. Februar 2021

54. Stephan Nachtsheim (2013) CEE-Stecker. CC BY-SA 3.0. https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/2a/CEE-Stecker.jpg. Zugegriffen: 01. Februar 2021

55. HaJo88 (2018) Scheidetrichter Anleitung Teil 1. CC BY-SA 4.0. https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/7/75/Scheidetrichter\_Anleitung\_Teil\_1.svg/419px-Scheidetrichter\_Anleitung\_Teil\_1.svg.png. Zugegriffen: 01. Februar 2021

56. HaJo88 (2018) Scheidetrichter Anleitung Teil 2. CC BY-SA 4.0. https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/f/fb/Scheidetrichter\_Anleitung\_Teil\_2.svg/419px-Scheidetrichter\_Anleitung\_Teil\_2.svg.png. Zugegriffen: 01. Februar 2021

57. HaJo88 (2018) Scheidetrichter Anleitung Teil 3. CC BY-SA 4.0. https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/c/c5/Scheidetrichter\_Anleitung\_Teil\_3.svg/419px-Scheidetrichter\_Anleitung\_Teil\_3.svg.png. Zugegriffen: 01. Februar 2021

58. HaJo88 (2018) Scheidetrichter Anleitung Teil 4. CC BY-SA 4.0. https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/8/82/Scheidetrichter\_Anleitung\_Teil\_4.svg/419px-Scheidetrichter\_Anleitung\_Teil\_4.svg.png. Zugegriffen: 01. Februar 2021

59. HaJo88 (2018) Scheidetrichter Anleitung Teil 5. CC BY-SA 4.0. https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/9/9d/Scheidetrichter\_Anleitung\_Teil\_5.svg/419px-Scheidetrichter\_Anleitung\_Teil\_5.svg.png. Zugegriffen: 01. Februar 2021

60. HaJo88 (2018) Scheidetrichter Anleitung Teil 6. CC BY-SA 4.0. https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/c/cf/Scheidetrichter\_Anleitung\_Teil\_6.svg/419px-Scheidetrichter\_Anleitung\_Teil\_6.svg.png. Zugegriffen: 01. Februar 2021

61. Thode J (2021) Aus dem Laboralltag: Systematische und zufällige Fehler. https://mpl.loesungsfabrik.de/blog/methodenvalidierung/fehlerarten. Zugegriffen: 24. Februar 2021

62. Kuhlmann H (2021) Analog und Digital. https://praktische-elektronik.dr-k.de/Praktikum/Le-Analog-und-Digital.html. Zugegriffen: 01. Februar 2021

63. (2020) Analogmessgerät. https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Analogmessgerät&oldid=195869031. Zugegriffen: 01. Februar 2021

64. Peter-Wolfgang Gräber Automatisierungstechnik in der Wasserwirtschaft. Kaptitel 5: Messtechnik. https://tu-dresden.de/bu/umwelt/hydro/iak/ressourcen/dateien/systemanalyse/studium/folder-2009-01-29-lehre/folder-2009-04-03-at/AT-5.pdf?lang=de. Zugegriffen: 02. April 2021

65. (2019) Digitale Messtechnik. https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Digitale\_Messtechnik&oldid=192201419. Zugegriffen: 01. Februar 2021

66. DURAN Group Duran Volumenmessgeräte. https://www.duran-group.com/fileadmin/downloads/laborglas/DURAN\_15006\_Broschuere\_Volumetrie\_A5\_DE\_RZ7-view\_01.pdf. Zugegriffen: 24. Februar 2021

67. (2020) Genauigkeitsklasse. https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Genauigkeitsklasse&oldid=202431191. Zugegriffen: 24. Februar 2021

68. Fuehlersysteme eNET (2021) Genauigkeitsklasse für Thermometer. https://www.fuehlersysteme.de/wiki/genauigkeitsklasse. Zugegriffen: 24. Februar 2021

69. WIKA Genauigkeitsklassen für Manometer. https://www.wika.com/media/30\_\_technical\_information/german\_6/ds\_in0002\_de\_de.pdf. Zugegriffen: 24. Februar 2021

70. labom Temperaturmesstechnik. Allgemeine Informationen. https://www.labom.com/files/downloads/technische\_informationen/allg\_technische\_hinweise/t1-010\_temperaturmesstechnik\_allgemein.pdf. Zugegriffen: 24. Februar 2021

71. KEYENCE Deutschland (2021) Toleranz und Messgenauigkeit. Glossar der Messtechnik. https://www.keyence.de/ss/products/measure/measurement\_library/basic/tolerance/. Zugegriffen: 24. Februar 2021