

„Low-cost Experimente“

Versuche mit medizintechnischen Geräten

Dr. B.H. Brand
Immanuel-Kant-Gymnasium
Bad Oeynhausen

priv.
Sachsenstr. 7
32257 Bünde
BH_Brand@t-online.de

www.bhbrand.de
www.medtech-gb.de

Stand: 13.3.2013

Inhalt:

- 1 Vorbemerkungen
- 2 Medizintechnische Geräte
 - 2.1 Luer-Lock Verbindungssystem
 - 2.2 Spritzen
 - 2.3 Kanülen
 - 2.4 Dreiwegehähne
 - 2.5 Blindstopfen
 - 2.6 Injektstopfen
 - 2.7 Adapter
 - 2.8 Heidelberger-Verlängerungen
 - 2.9 Butterflys
 - 2.10 Absorptionsröhrchen
 - 2.10.1 Aktivkohlefüllung
 - 2.10.2 Aktivkohle und CuSO_4 -Füllung
 - 2.10.3 Calciumchlorid (wasserfrei)
 - 2.10.4 Natronkalk
- 3 Klassische Geräte
 - 3.1 Stopfenbettsystem
 - 3.2 Glasrohre und Stopfen
- 4 Stativsysteme
 - 4.1 Plattensystem und Magnethalter
 - 4.1.1 Arbeitsbühne mit Halterung für Magnetrührer
 - 4.1.2 Metallplatten
 - 4.1.3 Stativ aus Holz
 - 4.1.4 Metallplatten und Bunsenstative
 - 4.2 Fahrbarer Experimentierstand
- 5 Magnetrührer
- 6 Grundlegende Arbeitsweisen
 - 6.1 Dichtsetzen von Spritzen
 - 6.2 Pipettierhilfen
 - 6.3 „Schnüffelapparatur“
 - 6.4 Dichte von Gasen
 - 6.5 Manometer

- 6.6 Gasentwicklung
 - 6.6.1 Reagenzglas-Gasentwickler
 - 6.6.2 Filmdosen-Gasentwickler
 - 6.6.3 Stopfenbettsystem-Gasentwickler
 - 6.6.4 Stopfenbettsystem-Gasentwickler mit Adsorption
 - 6.6.5 Stopfenbettsystem-Gasentwickler mit Gastrocknung und Adsorption
 - 6.6.6 Halbmikro-Gasentwickler mit Zinser-Geräten
 - 6.6.7 Darstellung verschiedener Gase
- 6.7 Titrationsen
 - 6.7.1 Indikator-Titration
 - 6.7.2 Leitfähigkeitstitration
- 6.8 Springbrunnenversuche
- 6.9 Verbrennungsprodukte gasförmiger Stoffe (Daniellscher Hahn)
- 6.10 Reaktionen in Gläsern mit Septum
- 6.11 Gasaufbewahrung und Gasentnahme
 - 6.11.1 Gase in großen Spritzen
 - 6.11.2 Gase im Luftballon
 - 6.11.3 Pneumatische Wanne
- 6.12 Elektrolyse
 - 6.12.1 Elektroden
 - 6.12.2 Die komplette Zersetzungsapparatur

7 Versuchssammlung

- | | |
|--|-----|
| Sauerstoff aus H_2O_2 | 7.1 |
| Welcher Bestandteil der Luft reagiert mit Kupfer | 7.2 |
| Oxidation von Cu mit O_2 | 7.3 |
| Reduktion von CuO mit H_2 | 7.4 |
| Kontaktverfahren | 7.5 |
| Bildung und Nachweis von CO_2 | 7.6 |
| Kohlendioxid aus C und Luft | 7.7 |

Kohlendioxid aus C und Sauerstoff	7.8
Kohlendioxid-Schnüffler	7.9
CO ₂ -Nachweis	7.10
Calciumhydrogencarbonat	7.11
Thermolyse von NaHCO ₃	7.12
Boudouard-Gleichgewicht	7.14
Verflüssigen von Feuerzeuggas durch Abkühlen	7.15
Verflüssigen von Feuerzeuggas durch Druck	7.16
Molare Masse von Feuerzeuggas	7.17
Verbrennungsenthalpien: Methan – Butan	7.18
NO ₂ -Darstellung	7.19
Chlor aus KMnO ₄ und HCl	7.20
Reaktion von Natrium mit Chlor	7.21
Modellversuch Atemschutz NH ₃	7.22
Darstellung von Ammoniak	7.23
Springbrunnenversuch – NH ₃	7.24
Darstellung von HCl(g)	7.25
Ammoniumchlorid	7.26
Daniellscher Hahn	7.27
Chlorwasserstoff aus den Elementen	7.28
Bromwasserstoff aus den Elementen	7.29
Teilchenzahl in einem Gasvolumen (Avogadro)	7.30
Molare Masse von Mg (einfach)	7.31
Atommasse von Mg	7.32
Bestimmung des Löslichkeitsproduktes von PbI ₂	7.33
Säuregehalt von Speiseessig	7.34
Leitfähigkeitstiteration	7.36
Elektrolyse von Wasser	7.37
Springbrunnen – NH ₃ mit RG	7.38
Normalpotenzial von Zn/Zn ²⁺	7.39
Potentiometrische Titeration	7.40

8 Bezugsquellen

1 Vorbemerkungen

Low-Cost Versuchsapparaturen erfreuen sich mehr und mehr einer steigenden Beliebtheit. Dies liegt sicherlich an der bewusst preiswert gehaltenen Ausführung, aber auch an der Einfachheit der verwendeten Geräte. Gute low-cost Apparaturen sind übersichtlich und somit leicht für Schüler in ihrer Funktionalität zu überschauen. Hier greift auch schon eine wichtige Einschränkung. Nicht alle Versuche eignen sich, um in einer low-cost Version durchgeführt zu werden. Sobald der Aufbau zu komplex wird und nicht mehr durch klare Strukturen besticht, sollte man bei der klassischen Variante bleiben. Medizintechnische Geräte bieten sich für den Einsatz im low-cost Sektor geradezu an. Sie sind robust, passen baukastenartig an- und ineinander, liefern gasdichte Apparaturen und sind sehr preiswert.

Die Gegenüberstellung einer klassischen Titration mit Bürette und einer low-cost Varianten mag einige dieser Vorteile verdeutlichen:

Die Einführung der Gefahrstoffverordnung ist an den Schulen nicht spurlos vorübergegangen. So muss immer häufiger mit klassischen Apparaturen unter dem Abzug gearbeitet werden; für Schüler somit kaum erkennbar. Hier bieten sich quasi geschlossene Apparaturen, die kein schädliches Gas in die Umgebung gelangen lassen. Dies lässt sich leicht mit Hilfe der medizintechnischen Geräte erreichen, indem man mit einfachen Mitteln Adsorptionsröhrchen konstruiert, die die Apparaturen nach außen hin „quasi verschließen“. So ist die Darstellung von Chlor bei richtiger Handhabung nach RiSU möglich.

Aufgrund der kleinen Bauarten werden die MAK-Werte vieler Gase auch beim größten anzunehmenden Unfall nicht überschritten. Werden in Schülerübungen pro Spritze 10 mL Chlor bei 8 Gruppen frei, so ergibt sich bei einem Raumvolumen von 160 m^3 ein Chlorgehalt von 0,5 ppm, dies entspricht dem MAK-Wert.

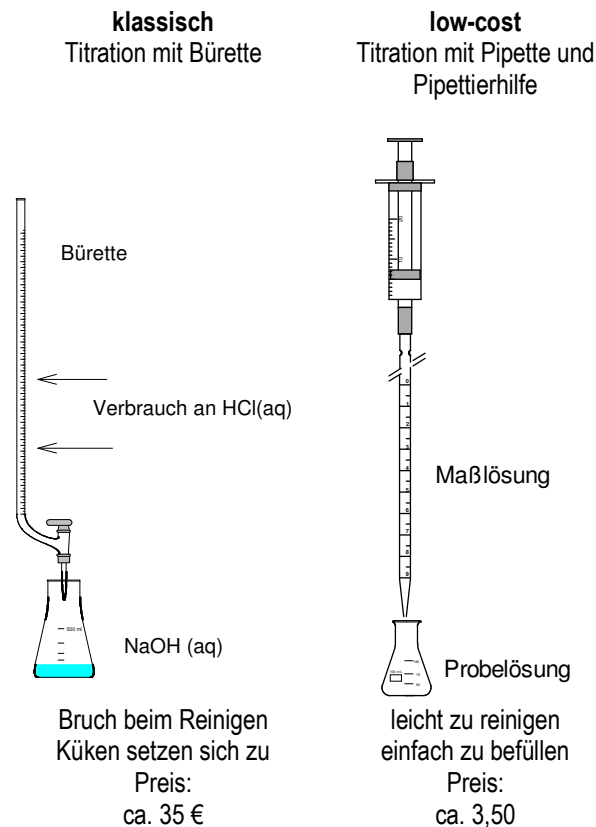
Entsorgung als kostenintensive Nachbehandlung wird bei den geringen eingesetzten Chemikalienmengen sehr minimiert.

Die folgenden Ausführungen sind und auch die Zusammenstellung der Versuchssammlung sind im Rahmen des Modellversuchs "Sinus" entstanden, an dem unsere Schule, das Immanuel-Kant-Gymnasium, Bad Oeynhausen in der Zeit von 1998 - 2003 teilgenommen hat.

Sinus:

Modellversuch der Bund-Länder-Kommission zur Effizienzsteigerung des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts.

Die aufgeführten Versuche und auch Zusammenstellungen der Versuchsapparaturen sind nicht alle von mir selbst erdacht. Viele Anregungen stammen von F. Kappenberg, V. Obendrauf, K.G. Häusler u.a.



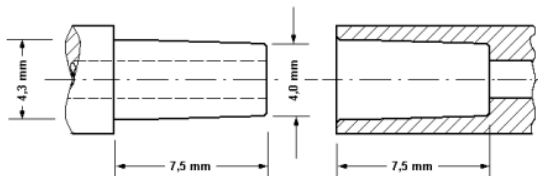
2 Medizintechnische Geräte

2.1 Das Luer-Lock Verbindungssystem

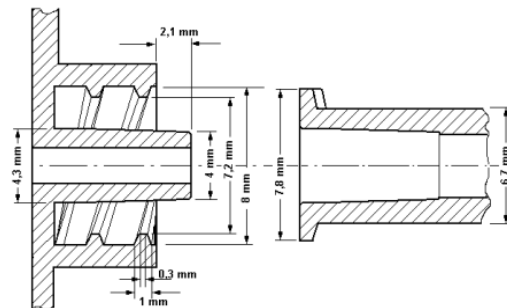
Medizintechnische Geräte werden weitestgehend über so genannte Luer bzw. Luer-Lock-Verbindungen miteinander verbunden.

Sinnigerweise verwendet man die in der Technik üblichen Bezeichnungen „männlich – weiblich“ oder „male – female“ oder „m – f“.

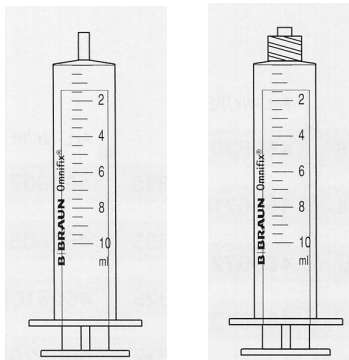
Während die einfache Luer-Verbindung mit einem Normschliffstopfen (m) und einer Normschliffhülse (f) im Miniformat vergleichbar ist, verfügt der Luer-Lock Anschluss zusätzlich über eine Arretierungsmöglichkeit. Dabei wird durch eine leichte Drehung die Verbindung fixiert und auch entsprechend gelöst. Kanülen lassen sich so sicher an einer Spritze befestigen, ohne dass sie bei leichten mechanischen Beanspruchungen herausrutschen. Luer-Lock Verbindungen sind somit gegen versehentliches Lösen sehr sicher. Immer dann, wenn Apparaturen mechanisch stark beansprucht werden (z.B. Luftanalyse) ist diese Art der Arretierung angesagt.



Luer-Verschluss (links m, rechts f)



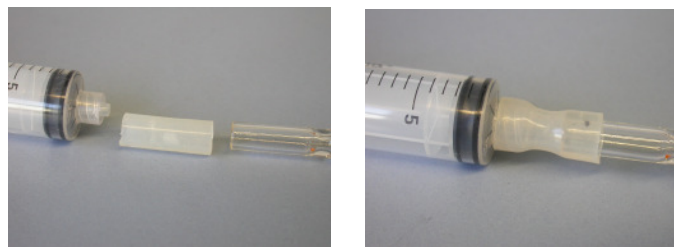
Luer-Lock Verschluss (links m, rechts f)



Luer bzw. Luer-Lock Verschluss (m) an einer Spritze



Der Luer-Lock Verschluss hat noch einen weiteren Vorteil. Man kann über ihn ein Stückchen Silikon-schlauch ziehen, so dass eine Verbindung zu üblichen Glasrohren ($d = 8 \text{ mm}$) geschaffen wird.



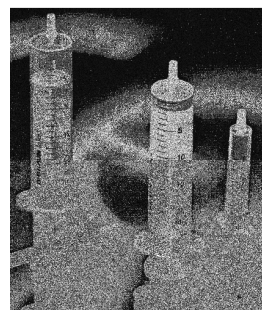
Luer-Lock und Silikon-schlauchadapter

2.2 Spritzen

Einfache Luer-Spritzen sind preiswert und sie haben den Vorteil, sich schnell von Apparaturen trennen zu lassen. So kann ein Einsatz in Gasentwicklungsapparaturen sinnvoll sein, wenn schnell mehrere Spritzen gefüllt werden müssen.

Einfache Luer-Spritzen gibt es in zentrierter und nicht zentrierter Form. Bei der Anschaffung sollte man auf diesen Unterschied achten.

Im Allgemeinen sind zentrierte Bauformen vorzuziehen, da sie sich aufgrund der Symmetrie in Apparaturen drehen lassen, ohne dass die gesamte Befestigung gelöst werden muss



Luer nicht zentriert
und zentriert

Spritzen werden weitgehend aus Polypropylen (PP) und einem Stempel aus Synthese-Kautschuk geliefert. PP ist gegenüber Benzin, Chlor, Brom und weiteren organischen Lösemitteln nicht beständig. Dies hat zur Folge, dass beim Befüllen mit Feuerzeuggas oder Chlor einige Spritzen nicht mehr leichtgängig sind. Möglicherweise liegt dies aber auch an der Reaktion mit dem Stempelmaterial. Es ist daher sinnvoll, einen gewissen Vorrat an unterschiedlichen Spritzen bereit zu halten. Man muss hier von Fall zu Fall ausprobieren, um eine passende Spritze zu wählen.

Verwendet werden weitestgehend Spritzen mit einem Luer-Lock Anschluss in den Größen:

Größe	Verbindungsart	Einsatzmöglichkeiten
2,5 mL	Luer-Lock	Zutropfen von Reaktionslösungen (z.B. konz. H ₂ SO ₄ zu NaCl zur Erzeugung von HCl(g))
10 mL	Luer-Lock	Allroundspritzen
20 mL	Luer-Lock	
20 mL	Luer	zum schnellen Befüllen mit Gasen (schneller Wechsel)
50 mL	Luer-Lock	<ul style="list-style-type: none"> • Bestimmung von Molaren Massen • Reaktionen mit Luft, Sauerstoff und Stickstoff • als Ersatz von Kolbenproblem
Insulin-Spritzen	keine Kupplungsmöglichkeit	<ul style="list-style-type: none"> • Zuspritzen kleinster Flüssigkeitsmengen • „kalter Viktor“

Beständigkeit von PP-Spritzen:

Nach: <http://www.buerkle.de/deu/d2-1.php>

1 = beständig

2 = praktisch beständig

3 = bedingt beständig

4 = unbeständig

0 = kein Wert vorhanden

Substanz	Konzentration	Beständigkeit
Aceton		1
Acetylen	100 %	1
Allylalkohol	96 %	1
Ameisensäure	98 – 100 %	1
Ammoniak	25 %	1
Ammoniumchlorid	wässrig	1
Ammoniumhydroxid	5%	1
Benzin		3
Benzol		3
Brom		4
Butanol	techn. rein	1
Calciumhydroxid	konz.	1
Chlor	10% nass	4
Cyclohexan		3
Diethylether		4
Eisessig		1
Ethanol	50%	1
Ethylacetat		1
Ethylalkohol	96%	1
Formaldehyd	40%	1
Harnstoff		1
Heptan		3
Hexan		2
Isopropanol		1

Substanz	Konzentration	Beständigkeit
Iod (Tinktur)		1
Kalilauge	50%	1
Kohlendioxid		1
Metallsalze	gelöst	1
Methanol		1
Natriumacetat		1
Natriumchlorid		1
Natriumhydroxid	50%	1
Natriumhypochlorid	15%	1
Natronlauge	30%	1
Oktan		1
Oxalsäure		1
Perchllorethylen		4
Perchlorsäure		2
Petroleum		1
Phenol		1
Phosphorsäure	85%	1
Propan		4
Salicylsäure		1
Salpetersäure	50%	3
Salzsäure	20%	1
Schwefeldioxid	Feucht	1
Schwefelsäure	95%	3
Silbernitrat		1

2.3 Kanülen

Kanülen werden sehr häufig benötigt, um Lösungen zuzutropfen o.ä. Zweckmäßigerweise verwendet man Kanülen mit unterschiedlichster Länge und Durchmessern. Man achte allerdings auf die Preise. Kleine Kanülen sind recht preiswert, längere jedoch (z.B. $l = 12\text{ cm}$) sind sehr teuer.

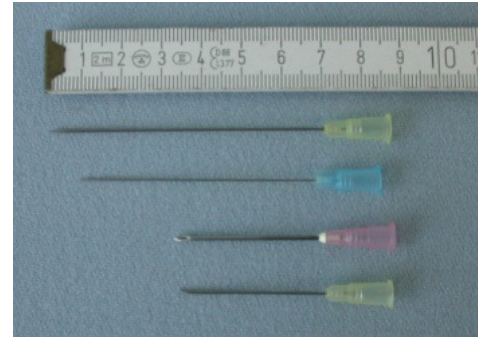
Beim Umgang mit Kanülen sind bestimmte Sicherheitsvorkehrungen zu treffen:

Schutzbrille tragen, nie Spritzen mit aufgesetzten Kanülen ohne Schutzabdeckung transportieren, gebrauchte Kanülen umbiegen und in einem speziellen Behälter sammeln und in sicherer Form entsorgen.



Insulin-Spritze

Nr.	Bezeichnung	Länge	Durchmesser
1	0,9 x 70	70 mm	0,9 mm
2	0,6 x 60	60 mm	0,6 mm
3	1,2 x 40	40 mm	1,2 mm
4	0,9 x 40	40 mm	0,9 mm



2.4 Dreiwegehähne

Die Verwendungsmöglichkeiten von Dreiwegehähnen sind aus dem experimentellen Chemieunterricht weitgehend bekannt. Absperren, Umleiten sind hier zu nennen.

Aber auch eine Möglichkeit der Gasentnahme von Feuerzeuggas aus Nachfüllflaschen bietet sich an, indem man einen DWH direkt auf das Entnahmeventil setzt. Durch Drücken öffnet sich das Ventil und man kann leicht aufgesetzte Spritzen füllen.



Gasentnahmemöglichkeit mit DWH



Dreiwegehahn



Blindstopfen

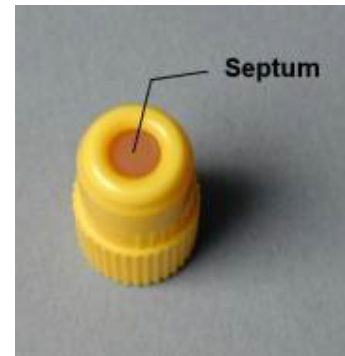
2.5 Blindstopfen

Blindstopfen sind so konstruiert, dass sie an einem Ende einen männlichen Anschluss (m) und am anderen einen weiblichen Anschluss (w) besitzen. Sie sind jedoch geschlossen. In der Medizin dienen sie zum zeitweisen Verschließen von medizinischen Einspritzsystemen. Diese Verschlüsse lassen sich

schnell wieder lösen und aufsetzen. Im Low-cost-Bereich lassen sich die Blindstopfen gut zum vorübergehenden Verschließen von Spritzen oder dem freien Ende von Dreiwegehähnen verwenden. Durch Aufbohren lassen sich aus ihnen Blindstopfen-Glas-Adapter herstellen (s.u.). Man sollte sich eine große Anzahl dieser vielseitigen Stopfen zulegen. (Bezugsquelle Fa. Dispomed)

2.6 Injektstopfen

Injektstopfen besitzen am oberen Ende ein Septum aus Silikon, das leicht zu Injektionszwecken mit einer Kanüle durchstochen werden kann. Selbst nach häufigem Einstechen der Kanüle ist das Septum immer noch sehr dicht. Am unteren Ende befindet sich ein m-Anschluss, so dass der Injektstopfen auf Spritzen oder Adapter (s.u.) aufgesetzt werden kann. Es lassen sich so geschlossene Apparaturen zusammenbauen, in die Reaktionspartner über den Injektstopfen zugespritzt werden können. (Bezugsquelle: Dispomed)



Injektstopfen

2.7 Adapter

Die einfachste Art, aber auch die teuerste, einen Adapter zu verwenden, ist, auf industriell gefertigte Teile zurückzugreifen. Man benötigt einen Miniadapter der Firma INFILTEC vom Typ: PP-LF-S64 (Lieferfirma: Pieper-Filter GmbH).

Der Adapter verfügt über einen Luer-Lock (weiblich) (links zu sehen) und eine 6,4 mm Olive, auf die man ein Silikonschlauchstückchen mit dem entsprechenden Durchmesser schieben kann. So wird die Verbindung zu Glasrohren mit einem Durchmesser von 8 mm hergestellt.



Adapter PP-LF-S64 weiblich



Adapter mit Silikonschlauch

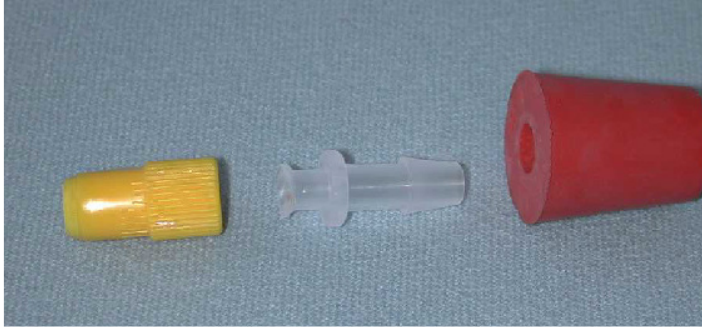


Adapter PP-LM-S64 männlich

Diesen Adapter gibt es auch in der männlichen Form vom Typ: PP-LM-S64.

Man kann den Miniadapter auch in einen Gummistopfen mit Bohrung stecken und erhält so eine vorzügliche Verbindung zum Stopfenbettsystem. Auf das Luer-Lock-Gewinde lässt sich ein Injekt-Adapter schrauben, so dass eine Zuspritzmöglichkeit für Flüssigkeiten resultiert:

Dieser Adapter ist äußerst vielseitig verwendbar. Leider ist der Preis für den Miniadapter mit ca. 0,60 € recht hoch. Er ist jedoch sehr robust und kann ohne Verschleiß immer wieder eingesetzt werden. Ohne diesen Adapter ist ein Großteil der Versuchsanordnungen nicht zu realisieren.



Manchmal ist es notwendig Spritzen direkt miteinander zu verbinden. Hierzu eignen sich Adapter vom Typ w-w. Auch die Gegenstücke m-m finden in einigen Versuchsaufbauten Verwendung.



Adapter w – w



Adapter m – m

2.8 Heidelberger-Verlängerungen

Heidelberger-Verlängerungen bestehen aus einem längeren Weich-PVC-Schlauch (l = 50 cm) mit angegossenen Luer-Lock Verbindern. Auf der einen Seite ein weiblicher Adapter, auf der anderen Seite das männliche Gegenstück. Man kann sie zu Verlängerungszwecken heranziehen, oder man kann eine Kupplung abschneiden und erhält einen Gas-einleitungsschlauch, der vielseitig verwendbar ist (Bezugsquelle: Dispomed).

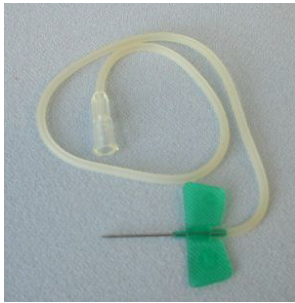


Heidelberger Verlängerung

2.9 "Butterfly"

"Butterflies" sind kleine Injektionsnadeln mit einem Verlängerungsschlauch und einer angegossenen Luer-Lock Verbindung.

Man kann sie direkt verwenden, um Gase über eine variable Verbindung injizieren zu können, wenn z.B. eine Kanüle einen zu starren Aufbau notwendig macht. Man kann aber auch die Injektionsnadel abschneiden und z.B. mit einer Nachfüllflasche für Feuerzeuggase verbinden. So kann man leicht eine Gasentnahmeverrichtung konstruieren. (Bezugsquelle: Dispomed)



Butterfly

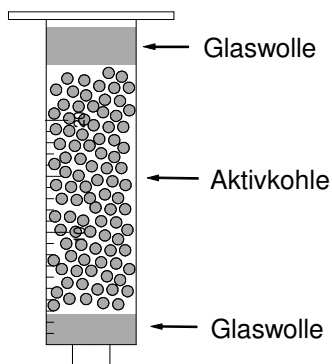


Gasentnahmemöglichkeit

2.10 Absorptionsröhrchen

Absorptionsröhrchen dienen zum Einen dazu „quasi geschlossene Apparaturen“ zu erzeugen, da sie verhindern, dass giftige Gase o.ä. aus den Apparaturen entweichen können. Zum Anderen können sie zur Trocknung von Gasen eingesetzt werden.

2.10.1 Aktivkohlefüllung (Halogene)



Verwendet wird die Hülse einer 20 mL-Spritze man füllt zunächst etwas Glaswolle, dann gekörnte Aktivkohle ein und verschließt die Spritzenhülse mit etwas Glaswolle.

Mit einem so präparierten Absorptionsröhrchen kann man gut Chlor, Brom etc. zurückhalten.



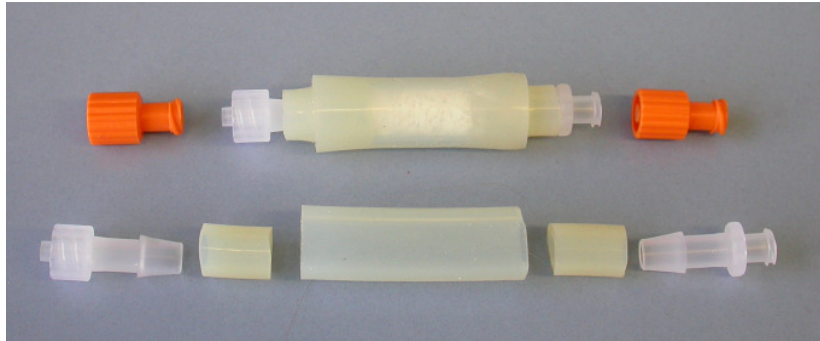
Absorptionsröhrchen in einer Chlorapparatur

2.10.2 Aktivkohle – CuSO_4 -Fällung (Ammoniak)

Auch hier verwendet man die Hülse einer 20 mL-Spritze, die man zunächst mit etwas Glaswolle füllt, dann aber ein Gemisch aus gekörnter Aktivkohle und festem blauen Kupfersulfat-Pentahydrat einfüllt. Auch hier wird mit etwas Glaswolle die Hülse verschlossen. Mit einer solchen Füllung lässt sich Ammoniakgas zurückhalten, da es mit dem Kupfersulfat den tiefblauen Tetramminkomplex ergibt.

2.10.3 Calciumchlorid (wasserfrei) (Wasser)

Um Gase wasserfrei zu erhalten lässt man sie über wasserfreies Calciumchlorid strömen. Eine solche Apparatur muss etwas anders aufgebaut sein. Man kann solche Röhrchen leicht herstellen, indem man entsprechende Adapter über dünne Silikonschläuche, die man von beiden Seiten in einen mit einem größeren Durchmesser schiebt, verbindet und den Innenraum mit CaCl_2 füllt (s. Abbildung). Solche Adapter lassen sich einen Gasstrom einbauen und sorgen so für eine Gastrocknung. Wird der



Trockenrohr

Adapter nicht benutzt, so wird er beidseitig mit Blindstopfen verschlossen.

2.10.4 Natronkalk (Kohlendioxid, Chlornwasserstoffgas)


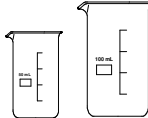
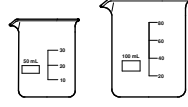
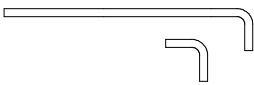
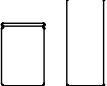
Mit Natronkalk gefüllte Absorptionsröhrchen dienen zum Entfernen von sauren Gasen wie z.B. CO_2 oder HCl .

3 Klassische Geräte

Es hat sich sehr bewährt, Glasgeräte, Gummistopfen und ähnliche Aufbauteile aus Glas in den Abmessungen aufeinander abzustimmen. So bietet es sich an, die handelsüblichen Stopfenbettsysteme mit den passenden Gummistopfen zu verwenden. Zudem sollte man den Durchmesser der Glasrohre auf $d = 8 \text{ mm}$ einheitlich festlegen. Man benötigt relativ wenige klassische Glasgeräte, die allesamt zudem sehr klein sind.

3.1 Glasgeräte

Benötigt werden folgende Geräte:

	Erlenmeyerkolben, weit, 50 mL für Titrationsversuche	
	Bechergläser (oder Rollrandgläser), eng <ul style="list-style-type: none"> • 50 mL • 100 mL 	
	Bechergläser, (oder Rollrandgläser), weit <ul style="list-style-type: none"> • 50 mL • 100 mL 	
	Winkelrohre, $d = 8 \text{ cm}$ <ul style="list-style-type: none"> • 250 mm x 50 mm • 50 mm x 50 mm 	
	Glasrohr zur Spitze ausgezogen <ul style="list-style-type: none"> • 50 mm • 250 mm 	
	Rollrandgläser, div. Größen (Rollrandgläser bieten einen guten Ersatz für die teureren Bechergläser)	

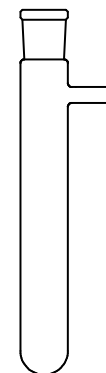
3.2 Stopfenbettsystem

Glasteile – Gummistopfen - Silikonverbindungsstücke

Beim Stopfenbettsystem handelt es sich um ein Glassystem, das über genormte Verbindungen verfügt. Es ist eng verwandt mit dem Normschliffsystem, denn hier werden die ungeschliffenen Normschliffteile (Kerne und Hülsen) verwendet. Es gibt solche Bauteile als SB 19 und SB 29. Die Zahlenangaben beziehen sich auf die Abmessungen der Normschliffrohlinge. Für den Low-Cost-Bereich werden allerdings nur die Geräte mit Hülsen verwendet. Insbesondere ist es weitgehend das Reagenzglas (SB19) mit seitlichem Ansatz. Von dieser Sorte sollte man einen größeren Vorrat bereithalten.

Passend zum Stopfenbettsystem bieten die Hersteller (z.B. Mauer) Gummistopfen mit und ohne Bohrung an. Diese Stopfen haben den Vorteil, dass sie mit einer passenden Steigung geliefert werden und der Durchmesser der Bohrungen genormt ist und zum 8mm Glasrohrsystem passt.

Um Glasrohre miteinander zu verbinden bieten sich Silikonabschnitte von ca. 4 cm Länge an, die man leicht mit einem Cuttermesser aus Meterware schneiden kann. Gummiverbinder sind zwar preiswerter, sind aber längst nicht so haltbar.

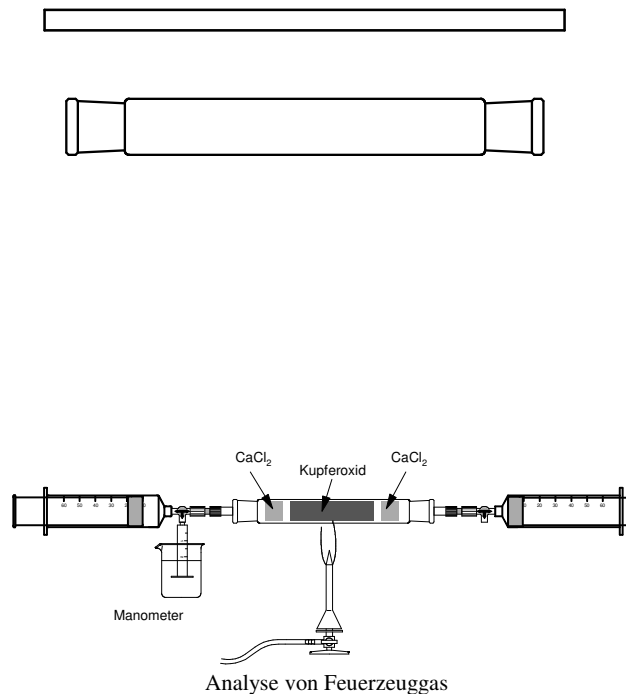
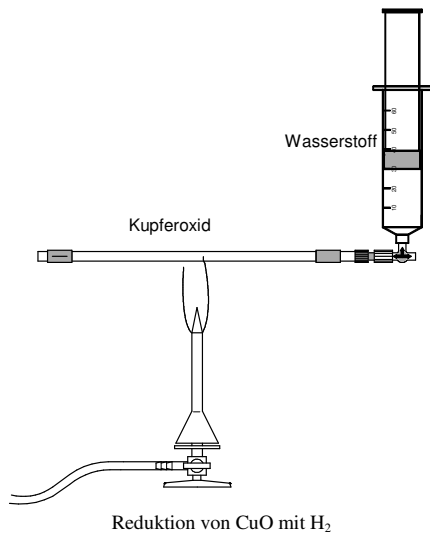


3.3 Reaktionsrohre

Als dauerhaftes, d.h. temperaturbeständiges Material für Reaktionsrohre hat sich Quarzglas bewährt. Diese Rohre sind zwar teurer, aber bieten bei zu starkem Erwärmen guten Verbiegeschutz. Alternativ kann man Durangläser verwenden, die man u.U. häufiger wechseln muss.

Für Versuchsaubauten mit geringen Substanzmengen verwendet man 20 cm lange Quarzrohre mit einem Durchmesser von 8 mm.

Müssen größere Reaktionsmengen bereitgehalten werden, so bieten sich Rohre mit angesetzten Stopfenbetthülsen an.

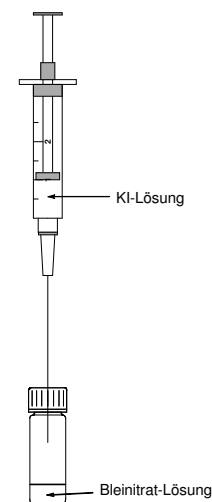


3.4 Schraubflaschen mit Septum

Möchte man Reaktionen in geschlossenen Apparaturen durchführen, so kann dies in kleinen Schraubflaschen ($V = 4,5 \text{ mL}$) mit Septum geschehen. Der Deckel ist bei diesen Flaschen mit einer Öffnung versehen, die mit dem Septum abgedichtet ist. Man kann z.B. als Lehrer eine solche Flasche mit einer Flüssigkeit füllen, die ein hohes Gefahrenpotenzial birgt und demzufolge der Umgang in Schülerübungen nicht möglich ist. Die Schüler injizieren dann mit einer Spritze den weiteren Reaktionspartner, ohne mit ihm in Kontakt kommen zu können. So ist z.B. die Bildung von PbI_2 aus $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ und KI-Lösung nach Meinung des Autors in Schülerübungen möglich.

Tipp:

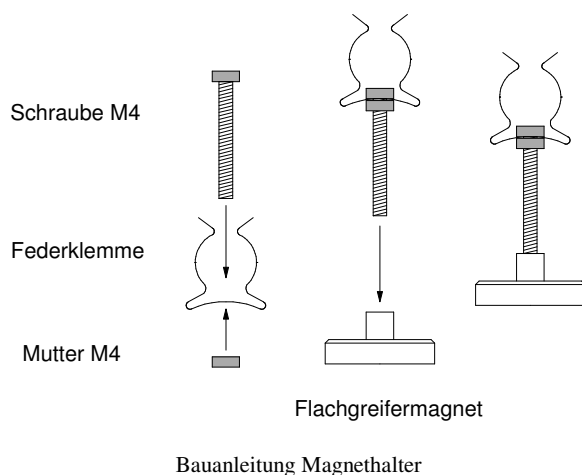
Um ein Herausspritzen der Flüssigkeiten durch den Überdruck, der beim Injizieren entsteht, zu vermeiden, sollte man zuvor etwas vom überstehenden Gasraum in die Spritze ziehen, um so einen leichten Unterdruck zu erzeugen.



4 Stativsysteme

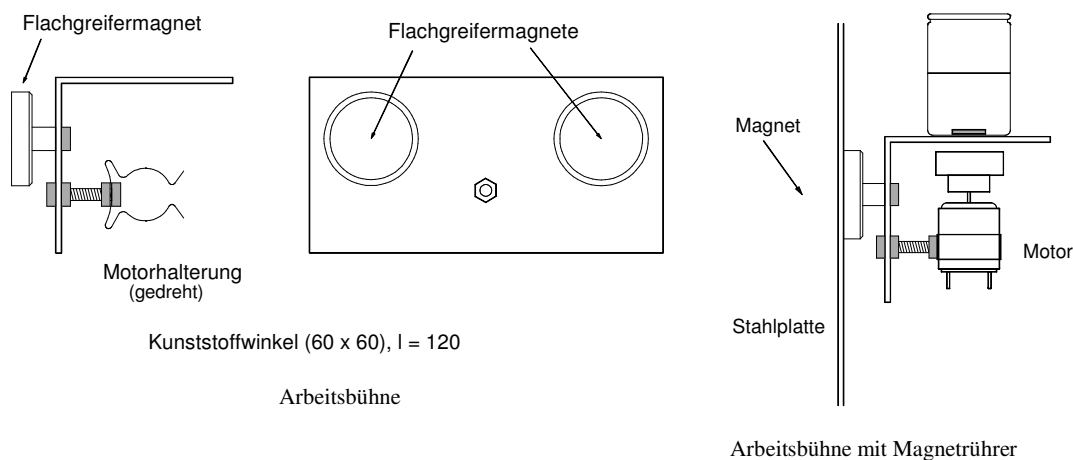
4.1 Plattensystem und Magnethalter

Um die Übersichtlichkeit der Versuchsanordnungen so groß wie möglich zu halten und eine größtmögliche Flexibilität zu erzielen, geschieht die Befestigung der Versuchsaufbauten mit Hilfe von Magnetklemmen und zugehörigen Stahlplatten, die in ein Stativ eingeschoben werden. Mit einem solchen Befestigungssystem lassen sich die Versuchsanordnungen schnell und sicher in Schülerübungen aufbauen. Die Magnetklemmen lassen sich leicht selbst herstellen, die Metallplatten werden in einer Schlosserei zugeschnitten und das zugehörige Stativ lässt sich preiswert aus Holzleisten zusammensetzen.



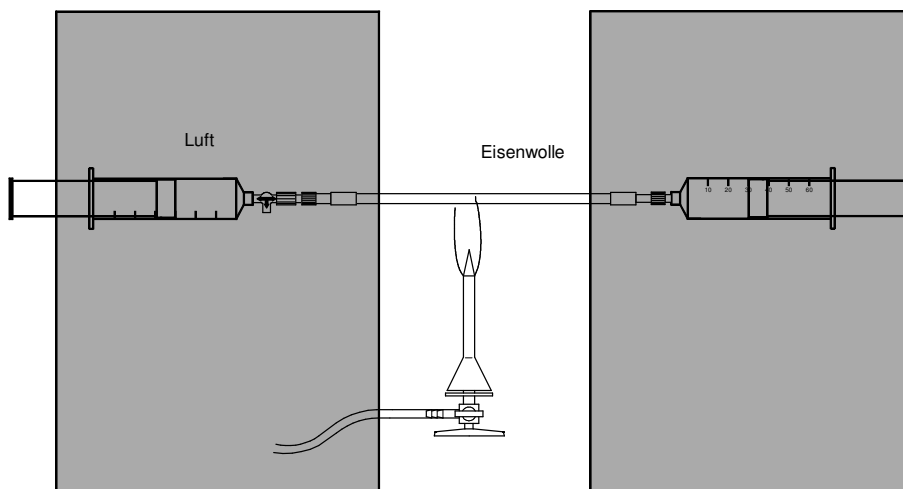
4.1.1 Arbeitsbühne mit Halterung für Magnetrührer

Aus einem 12 cm langen Abschnitt einer Kunststoffwinkelleiste (60 x 60 mm) lässt sich eine Arbeitsbühne bauen, die mit Hilfe von zwei angeschraubten Flachgreifermagneten an den Metallplatten befestigt werden kann. In der Mitte befindet sich eine Federklemme (Typ 20) zur Aufnahme eines Motors. Wegen einer besseren Übersichtlichkeit ist die Federklemme für die Motorhalterung in der Zeichnung um 90° gedreht dargestellt. Der rechte Teil der Abbildung zeigt die Rückansicht der Bühne.



4.1.2 Metallplatten

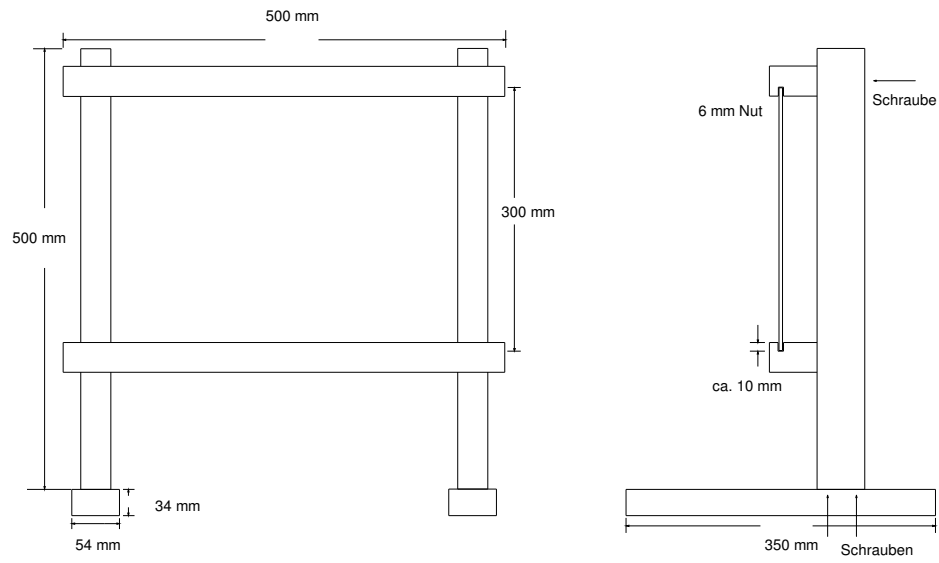
Als Haftplatten für die Magnetklemmen werden Stahlplatten mit den Maßen (300 mm x 500 mm) verwendet. Eine Seite wird mit weißer Seidenmattfarbe gerollt oder gespritzt. Besser noch ist eine kratzfeste Pulverbeschichtung. Diese Platten werden in das unten beschriebene Stativ aus Holz geschoben. Komplette Versuchsanordnungen lassen sich so leicht anbringen und auch verändern. Möchte man Reaktionsrohre mit einem Brenner erwärmen, so nimmt leicht die gestrichene Rückwand durch die Hitzentwicklung Schaden. Hier ist es günstig, zwei Metallplatten jeweils mit geringerer Breite (300 mm x 200 mm) so einzuschieben, dass ein ca. 10 cm breiter Zwischenraum entsteht, durch den die Brennerflamme brennen kann.



2 Metallplatten mit Abstand zum Erwärmen von Reaktionsrohren

4.1.3 Stativ aus Holz

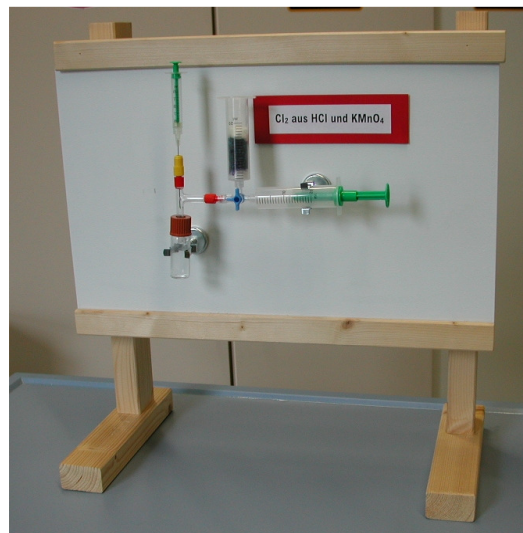
Pos.	Stück	Material	Verwendung
1	4	Rahmenhölzer 34x54 mm, l = 50 cm	Stativstangen und Längsverbin- der
2	2	Rahmenhölzer 34x54 mm, l = 35 cm	Stativfüße
3	8	Holzschrauben 6 x 80 mm	
4		Holzleim	
5	je nach Bedarf	Platten 300 x 500 mm Stärke: d = 3 - 5 mm Material: PVC oder Hartfaser (weiß beschichtet)	Platten zur Aufnahme der Ver- suchsaufbauten (fest montiert)
6	je nach Bedarf	Platten 300 x 500 mm oder je 2 Platten 300 x 200 mm (Erwärmen von Reaktionsrohren) Stärke: d = 1,5 mm Material: Eisen (weiß gestrichen oder besser pulverbeschichtet)	Platten zur Aufnahme der Ver- suchsaufbauten (variabel mit Magnethaltern)



Stativ (Frontansicht)



Stativ (Seitenansicht)

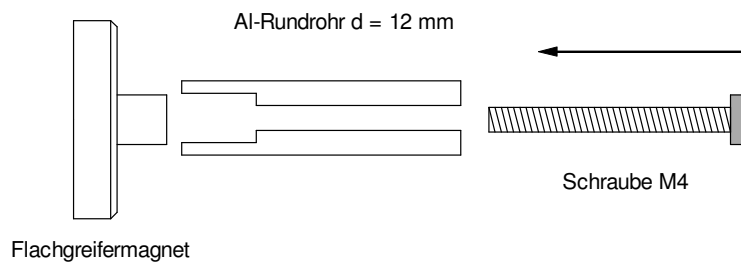


Stativ mit Magnetplatte und Versuchsaufbau

4.1.4 Metallplatten und Bunsenstative

Verwendet man kleinere Metallplatten für einfache Versuchsaufbauten, so sind häufig die großen Holzstative unhandlich. Hier macht es Sinn, die Platten direkt an vorhandenen Bunsenstativen zu befestigen. Zu diesem Zweck stellt man sich eine Magnethalterung her, die man leicht erhält, indem man eine längere Schraube in einen Flachgreifermagneten schraubt, die dann, von einer Doppelmuffe gehalten, die Metallplatte magnetisch festhält.

Eine elegantere und stabilere Variante ergibt sich aus dem Nachbau der unten aufgeführten Halterung. Diese besteht ebenfalls aus einem Flachgreifermagneten, der in einen Al-Rundstab ($l = 45 \text{ mm}$, $d = 12 \text{ mm}$) eingelassen und mit einer Schraube (M4) befestigt wird.



4.2 Fahrbarer Experimentierstand

Als universell einsetzbares Stativsystem hat sich ein fahrbarer Experimentierstand bewährt. An ihm können Lehrerdemonstrationen durchgeführt werden, die mit einer Videokamera auf ein Fernsehgerät oder einen Beamer übertragen werden können. Zudem ist es möglich, Versuchsaufbauten zusammenzustellen, die die Schüler dann leicht nachbauen können.

Kernstück des fahrbaren Experimentierstandes ist ein Untergestell zur Aufnahme von Sortierkästen zur Aufbewahrung von Spritzen etc. . Darüber befindet sich eine Pinnwand (600 x 900 mm) aus emailiertem Stahl. An ihr lassen sich mit Hilfe von Magnetklammern die Versuchsaufbauten leicht befestigen und jederzeit leicht verändern. Beschriftet werden Versuchsanordnungen mit abwischbaren Spezialfilzschreibern.

Auf der Rückseite sind kleinere Sortierkästen angebracht, die Kleinteile wie Dreiwegehähne, Silikonverbinder oder Adapter enthalten. Zudem ist im oberen Bereich ein Stahlblech aufgeschraubt, an das die Magnetklammern geheftet werden. Von jeder Größe sind 8 Stück vorhanden, um für eine entsprechende Arbeitsgruppengröße alle Geräte zur Hand zu haben. Ebenso findet man hier 8 Stahlplatten, die in die Holzstative der Schülerübungsplätze geschoben werden können.

Der Nachbau gestaltet sich recht einfach. Auf eine genaue Maßangabe wird verzichtet, da ein solcher Experimentierstand individuell zusammengestellt werden sollte. Der hier abgebildete Stand hat eine Höhe von ca. 1700 mm, eine Breite von ca. 600 mm und eine Tiefe von ca. 450 mm.



5 Magnetrührer

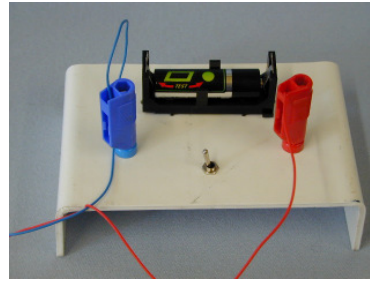
Aus einem Spielzeugmotor (Fa. Conrad) und einem Rundmagneten (Fa. Conrad) lässt sich leicht ein preiswerter Miniaturrührer bauen. Angetrieben wird er von einer 1,5 V Mignon-Batterie.

Man muss dafür sorgen, dass der Magnet senkrecht zur Motorachse aufgebracht wird. Magnete lassen sich nicht bohren, deshalb muss man eine Konstruktion entwerfen, die eine solche Anordnung ermöglicht. Im einfachsten Fall klebt man den Magneten auf eine Scheibe, die man im Mittelpunkt entsprechend dem Durchmesser der Motorwelle aufgebohrt hat. Diese Anordnung wird stramm auf die Welle gezogen.

Im folgenden wird eine Anordnung beschrieben, die etwas präziser rund läuft. Sie kann allerdings nur mit Hilfe einer Drehbank realisiert werden. Unter diesen Bedingungen ist es leicht, für alle Schülergruppen entsprechend viele Rührer herzustellen.

Die Rührer werden in eine Magnetklemme (s.u.) eingespannt und unter der entsprechenden Apparatur (Becherglas oder Erlenmeierkolben) angebracht.

<p>Bau der Magnethalterung</p> <ul style="list-style-type: none"> • Von einem Kunststoffstab passender Dicke (ca. 3 cm) werden Scheiben abgesägt (d = 2,5 cm). • Diese werden mit Hilfe der Drehbank beidseitig plan gedreht • In die Mitte wird eine Bohrung gesetzt, die später die Welle des Motors aufnehmen soll. • Quer zur späteren Drehrichtung wird mit einem Bohrständer eine Bohrung gesetzt, die den Magneten aufnehmen soll. • Überflüssige Masse wird entfernt 	
<p>Eindrücken des Magneten</p> <ul style="list-style-type: none"> • Der Magnet wird in die Bohrung mit Hilfe eines Schraubstockes gedrückt. Vorsicht! Nicht verkanten! 	
<p>Aufsetzen auf die Motorwelle</p> <p>Der fertige Rührmotor</p>	

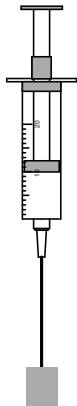
Die Stromversorgung**Der Rührer im Einsatz**

An diesem Rührmotor wurde zusätzlich ein Widerstand angebracht, um die Rührgeschwindigkeit heranzusetzen



6 Grundlegende Arbeitsweisen

6.1 Dichtsetzen von Spritzen



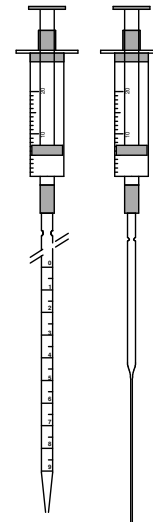
Hat man Gase o.ä. in Spritzen aufgefangen und muss diese noch einige Zeit aufbewahren, so verschließt man diese zweckmäßigerweise mit einem Blindstopfen oder mit einem Dreiwegehahn. Muss es ganz schnell gehen und benötigt man zur weiteren Reaktion eine aufgesetzte Kanüle, so lässt sich durch Einstechen in einen Gummistopfen eine oder mehrere Spritzen dichtsetzen.



Blindstopfen

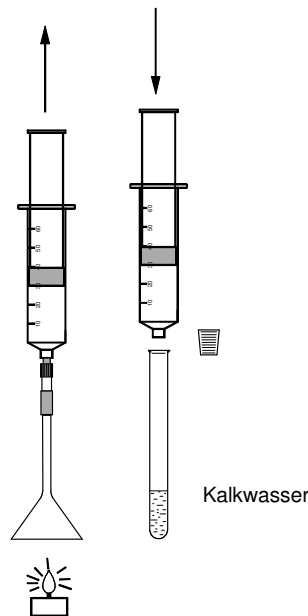
6.2 Pipettierhilfen

Teure im Handel erhältliche Pipettierhilfen lassen sich mit einer 20 mL-Spritze (Luer-Lock) und einem Silikonschlauchstückchen ersetzen.



6.3 „Schnüffelapparatur“

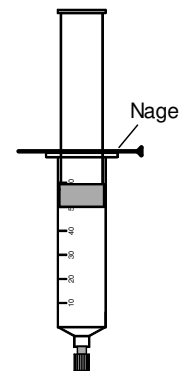
Um Gase für weiterführende Untersuchungen aufzufangen, lässt sich eine „Schnüffelapparatur“ mit Hilfe eines Trichters und eines Silikonschlauchstückchens zusammenbauen. Mit ihr lassen sich z.B. Abgase von Kerzen oder Autoabgase auffangen und auf diverse Bestandteile (z.B. CO_2 , NO_x) untersuchen.



6.4 Dichte von Gasen

Die Bestimmung der Dichte von Gasen stellt eine ganz zentrale Versuchsanordnung dar. Man bestimmt hierbei die Masse eines bestimmten Gasvolumens in einer Spritze. Besonders gut geeignet sind für dieses Experiment große 50 mL Spritzen. Zunächst wird die Spritze präpariert, indem man den Kolben bis auf 50 mL herauszieht und mit Hilfe eines in der Bunsenbrennerflamme erwärmten Nagels ein Loch in den Hals des Spritzenkolbens schmilzt. Danach drückt man den Stempel auf Null, verschließt die Spritze mit einem Blindstopfen und zieht kräftig am Kolben, bis die Stellung bei etwas über 50 mL angelangt ist. Mit einem Nagel, den man quer durch das Loch schiebt, fixiert man den Stempel. Die so evakuierte Spritze legt man auf eine Waage mit einer Genauigkeit von 0,001 g. Danach wird die Spritze mit dem zu untersuchenden Gas genau bis zur zuvor verwendeten Marke gefüllt und die Masse erneut bestimmt. Aus der Differenz errechnet man die Masse der Gasportion.

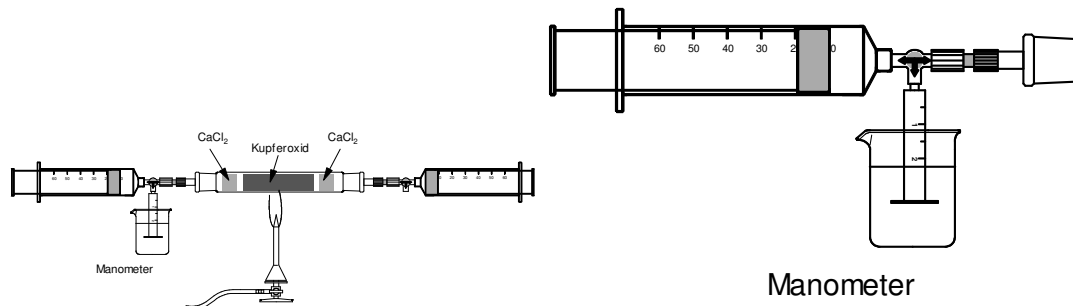
Dieses Verfahren kann mit unterschiedlichen Intentionen im Unterricht eingesetzt werden:



- Bestimmung der Dichte
- Bestimmung der Molaren Masse
- Bestimmung von V_m
- Herleitung der „Hypothese des Avogadro“, d.h. Bestimmung der Teilchenzahl bei unterschiedlichen Gassorten bei gleichem Volumen

6.5 Manometer

Apparaturen, bei denen es auf Druckgleichheit vor dem Experiment und nach dem Experiment ankommt bestückt man am besten mit einem Manometer, das sich leicht aus einer Spritzenhülse (2,5 mL) und einem Becherglas herstellen lässt.



6.6 Gasentwicklung

Gasentwicklung ist im experimentellen Unterricht schon von jeher ein schwierig zu handhabender Bereich. Die verwendeten klassischen Apparaturen sind sehr groß und bringen sehr große Probleme mit sich:

- Große Chemikalienmengen
- Große Totvolumina
- Arbeiten unter dem Abzug bei Darstellung toxischer und ätzender Gase
- Fast nur Lehrerdemonstrationen - kaum Schülerübungen möglich

Hier bietet die Verwendung von medizintechnischen Geräten eine Alternative. Victor Obendrauf hat in seinem Grundsatzartikel "Experimente mit Gasen im Minimaßstab" [ChiuZ, 30. Jahrg. 1996/Nr.3 S. 118 ff] Low-Cost-Gasentwickler mit entsprechenden Anwendungsmöglichkeiten aufgezeigt. Die unten aufgeführten Versuchsanordnungen gehen weitgehend auf seine Vorschläge zurück.

Klassische Gasentwickler bestehen fast immer aus einem Tropftrichter, einem Reaktionsgefäß und einem Apparaturteil zum Auffangen der Gase. Konsequenzerweise kann man den Tropftrichter durch eine Luer-Spritze mit einem kleinen Volumen (z.B. 2,5 mL) ersetzen, als Gas auffanggerät findet eine 20 mL oder 50 mL-Spritze Verwendung. Je nach Ausstattung der Sammlung lässt man die Reaktion zur Gaserzeugung in unterschiedlichen Gerätschaften (s. Versuchsaufbauten) wie Reagenzglas, Reagenzglas mit seitlichem Ansatz, Filmdose oder Rollrandglas ablaufen.

Die gasgefüllten Spritzen können aus der Apparatur genommen werden, somit stehen die Gase für weitere Reaktionen zur Verfügung. Bei der Darstellung von toxischen Gasen ist darauf zu achten, dass immer eine mit einem geeigneten Adsorptionsmittel (z.B. Aktivkohle mit Glaswolle gefasst) gefüllte Spritzenhülse bereit gehalten werden, um die offene Apparatur zu verschließen.

Die Kanüle der gasgefüllten Spritzen steckt man in einen Gummistopfen und kann sie so bis zur eigentlichen Verwendung aufbewahren (s.o.).

Die Spritzen, die als Tropftrichtersersatz fungieren, füllt man direkt aus der Flasche durch Aufziehen der entsprechenden Chemikalien. Anhaftende Substanzreste müssen durch mit Wasser abgespritzt werden. Nach dem Versuch muss die Kanüle mit Wasser gespült werden; so ist eine erstaunliche Langlebigkeit der Kanülen garantiert.

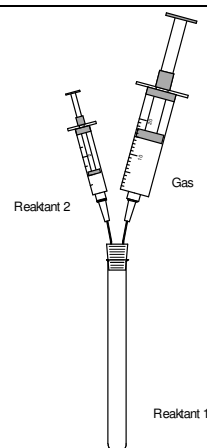
Gasentwicklungsapparaturen lassen sich in vielfältiger Hinsicht zusammenstellen; von einer einfachen Gasentwicklung in einem Reagenzglas bis hin zu Apparaturen mit Gastrocknung und Absorption. Die folgenden Abbildungen sind selbsterklärend:

6.6.1 Reagenzglas-Gasentwickler

Ein sehr einfacher Gasentwickler lässt sich mit Hilfe eines Reagenzglases (16x160 mm) und eines passenden Gummistopfens zusammenstellen. Zwei Kanülen (1,2 x 40) werden durch einen Gummistopfen geschoben und mit einem Seitenschneider gekappt. Die Schnittfläche darf dabei nicht zusammengedrückt werden. Man präpariert auf diese Art einige Gummistopfen, die speziell für diese Art der Gasentwicklung benutzt werden.

Geräte:

- Reagenzglas (16 x 160 mm, Fiolax)
- passender Gummistopfen (18D)
- 2 Kanülen (1,2 x 40 mm)
- 20 mL Spritze zum Auffangen des entstehenden Gases
- 2,5 mL Spritze zum Zutropfen des Reaktanten 2

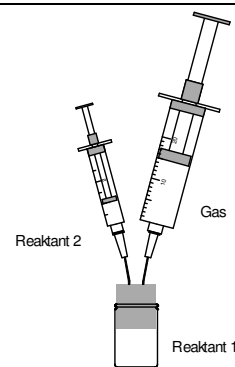


6.6.2 Filmdosen-Gasentwickler

Dieser Gasentwicklertyp ist ähnlich aufgebaut wie der Reagenzglas-Gasentwickler. Anstelle des Reagenzglases wird eine Filmdose oder, falls man die Gasentwicklung direkt beobachten möchte, ein Rollrandglas mit ähnlichen Abmessungen verwendet. Ein entsprechend dimensionierter Gummistopfen findet Verwendung.

Geräte:

- Filmdose oder Rollrandglas
- passender Gummistopfen (34D)
- 2 Kanülen (1,2 x 40 mm)
- 20 mL Spritze zum Auffangen des entstehenden Gases
- 2,5 mL Spritze zum Zutropfen des Reaktanten 2



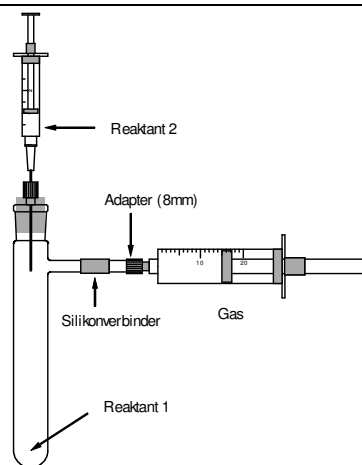
6.6.3 Stopfenbettsystem-Gasentwickler

In vielen Chemiesammlungen finden sich Geräte des Stopfenbettsystems SB19/SB29. Dazu gehören auch Reagenzgläser mit einem seitlichen Ansatz. Solche Reagenzgläser lassen sich gut zur Gasentwicklung einsetzen. Benötigt werden dazu Adapter mit einem Glasrohr von 8 mm Durchmesser.

Besonders einfach gestaltet sich das Einbringen des Reaktanten 2 in die Apparatur, wenn man einen durchbohrten Stopfen verwendet, in den man umgekehrt einen Injektadapter eindrückt. Durch ihn kann man leicht die Kanüle schieben und auch während des Versuches herausziehen, ohne dass Gas entweichen kann. Dies ist immer dann von Vorteil, wenn der Reaktant 2 nachgeliefert werden muss.

Geräte:

- Reagenzglas mit seitlichem Ansatz (SB 19)
- passender Gummistopfen (SB 19)
- 1 Kanülen (1,2 x 40 mm)
- 20 mL Spritze zum Auffangen des entstehenden Gases
- 2,5 mL Spritze zum Zutropfen des Reaktanten 2
- Silikonverbinder
- Adapter (8mm)

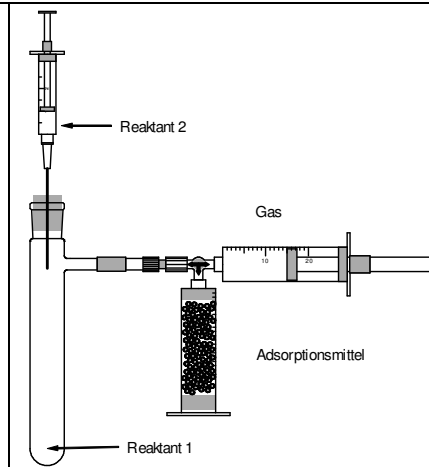


6.6.4 Stopfenbettsystem-Gasentwickler mit Adsorption

Bei der Darstellung toxischer Gase ist es häufig zweckmäßig, die Gasentwicklungsapparatur um die Möglichkeit der Gasadsorption zu erweitern.

Geräte:

- Reagenzglas mit seitlichem Ansatz (SB 19)
- passender Gummistopfen (SB 19)
- 1 Kanülen (1,2 x 40 mm)
- Dreiwegehahn
- 20 mL Spritze zum Auffangen des entstehenden Gases
- 2,5 mL Spritze zum Zutropfen des Reaktanten 2
- Spritzenhülse mit einem geeigneten Adsorptionsmittel
- Silikonverbinder
- Adapter (8mm)

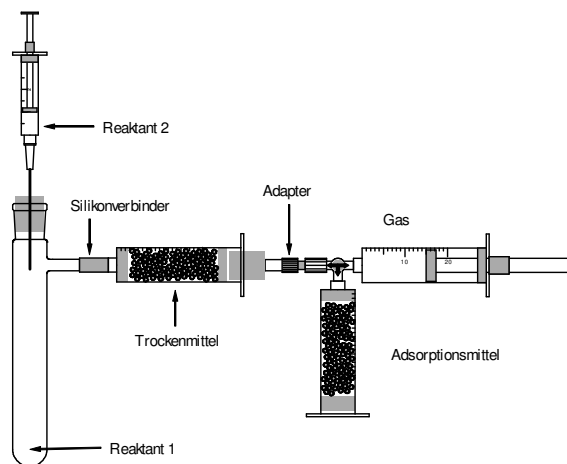


6.6.5 Stopfenbettsystem-Gasentwickler mit Gastrocknung und Gasadsorption

Um Gase wasserfrei darzustellen, ist eine Trocknung mit einem geeigneten Trockenmittel notwendig. Dazu füllt man eine Spritzenhülse mit einem geeigneten Trockenmittel (mit Glaswolle gehalten). Bei der Darstellung toxischer Gase ist es häufig zweckmäßig, die Gasentwicklungsapparatur um die Möglichkeit der Gasadsorption zu erweitern.

Geräte:

- Reagenzglas mit seitlichem Ansatz (SB 19)
- passender Gummistopfen (SB 19)
- 1 Kanülen (1,2 x 40 mm)
- Dreiwegehahn
- 20 mL Spritze zum Auffangen des entstehenden Gases
- 2,5 mL Spritze zum Zutropfen des Reaktanten 2
- Spritzenhülse mit einem geeigneten Trockenmittel
- Spritzenhülse mit einem geeigneten Adsorptionsmittel
- Silikonverbinder
- Adapter (8mm)

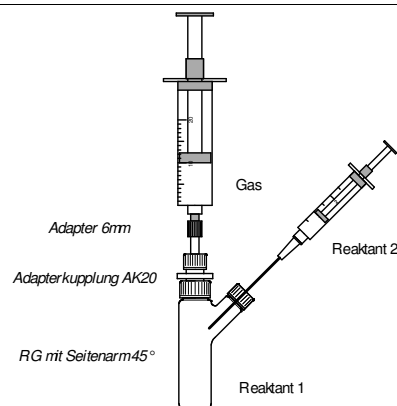


6.6.6 Halbmikro-Gasentwickler mit Zinser-Geräten

Mit dem Halbmikrosatz von Zinser lässt sich mit einem "Zweihalskolben" und entsprechenden Adapterkupplungen, die mit einer entsprechenden Dichtung bzw. Silikonseptum versehen sind. Über das Septum wird der Reaktant 2 zugespritzt. Das Gas entweicht über die Adapterkupplung, in die ein 6mm Adapter eingeführt wird.

Geräte:

- Reaktionsgefäß mit Seitenarm 45°
- Adapterkupplung AK20
- Adapter 6mm
- Verschlusskappe mit Septum
- Kanüle
- 20 mL Spritze zum Auffangen des entstehenden Gases
- 2,5 mL Spritze zum Zutropfen des Reaktanten 2



6.6.7 Darstellung verschiedener Gase

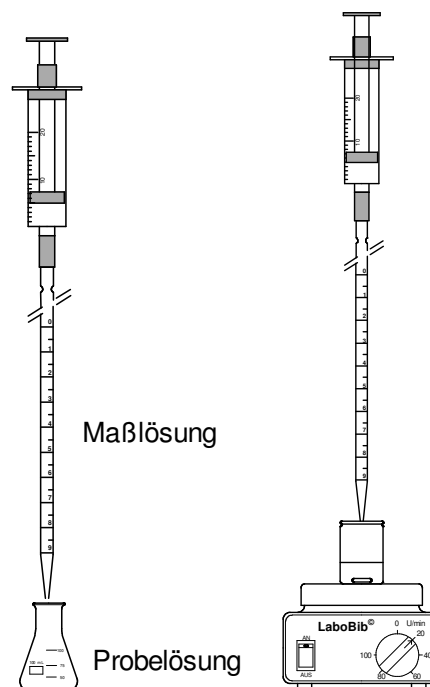
Gas	Reaktant 1 im Über- schuss im Gasentwickler (ca. 3-5 g)	Reaktant 2 tropfenweise zu dosieren aus 2- mL-Spritze	Adsorptionmittel	Trockenmittel (falls erforder- lich)	Hinweise
Wasserstoff (F+)	Zn-Granalien	Salzsäure (konz.)	entfällt	Calciumchlorid	Zn/HCl-Gemisch mit CuSO_4 -Lösung katalysieren
Wasserstoff (F+)	Mg-Band	Salzsäure (w = 10%)	entfällt	Calciumchlorid	
Sauerstoff (O)	MnO_2 -Tabletten	Wasserstoffperoxid (w = 10%)	entfällt	Calciumchlorid	MnO_2 -Tabletten: Braunsteinpulver u. Zement (Massenteile 2:1 bis 1:1) mit Wasser anteigen und in leerer Tablettenverpackung verfestigen lassen.
Kohlendioxid	NaHCO_3 (s) Na_2CO_3 (s)	Salzsäure (w = 10%)	entfällt	Calciumchlorid	HCl-freies CO_2 erhält man durch Vorschalten eines Aktivkohleröhrchens
Schwefeldioxyd (T)	NaHSO_3 (s) Na_2SO_3 (s)	Salzsäure (w = 10%)	NaOH (s)	Calciumchlorid	Nur im RG durchführbar (Erhitzen erhöht die Ausbeute), Adsorptionsröhrchen verwenden.
Kohlenmonoxid (T), (F+)	H_2SO_4 (konz.) ca. 2 mL	Ameisensäure (konz.)	Harnstofflösung	Calciumchlorid	Nur im RG durchführbar: Ameisensäure in 0,5 mL-Portionen zugeben u. leicht erwärmen (mehrere Spritzen füllen)
Chlor (T)	KMnO_4 (s)	Salzsäure (konz.)	Aktivkohle	Calciumchlorid	Gummidichtung ölen, Adsorptionsröhrchen unerlässlich
Stickstoffoxide (T)	Cu-Blech	Salpetersäure (konz.)	Aktivkohle	Calciumchlorid	Nadeln sofort nach Gebrauch waschen, Adsorptionsröhrchen unerlässlich
Chlorwasserstoff (C)	NaCl (s)	H_2SO_4 (konz.)	Wasser	Calciumchlorid	Nur im RG durchführbar (Erhitzen erhöht die Ausbeute)
Schwefelwasserstoff (T+), (F+)	FeS (s) zer- kleinern ca. 1mm	Salzsäure (w = 10%)	Aktivkohle ???	Calciumchlorid	im RG empfehlenswert (Erhitzen erhöht die Ausbeute)
Ammoniak (T)	NaOH (s)	Ammoniaklösung (w = 25%)	Aktivkohle mit CuSO_4 oder Wasser	Calciumchlorid	NH_3 -Lösung langsam zutropfen lassen, Adsorptionsröhrchen verwenden
Ethin (F+)	CaC_2 (kleines Stück)	Wasser	Aktivkohle für Phosphin	Calciumchlorid	Das geruchsintensive und giftige Nebenprodukt Phosphin kann mit einem Adsorptionsröhrchen gebunden werden

nach V. Obendrauf

6.7 Titrationen

6.7.1 Titration mit einer Messpipette

Einen einfachen Titrationsaufbau kann man mit einer Messpipette (z.B. 10 mL oder 5 mL) und einer 20 mL-Spritze zusammenstellen. Die Messpipette fungiert als Bürettensatz. Als Reaktionsgefäß findet entweder ein kleiner Erlenmeyerkolben oder ein Rollrandglas ($d = 30$ mm, $h = 50$ mm) mit einem Magnetrührer Verwendung. Das Foto zeigt einen Titrationsstand mit einem Minirührer, der mit Hilfe eines Spielzeugmotors gebaut wurde.

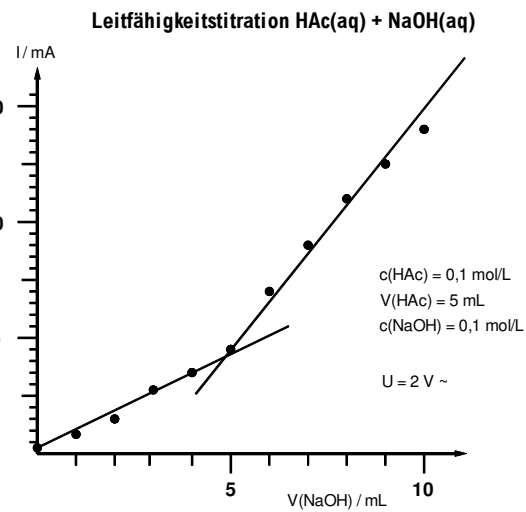
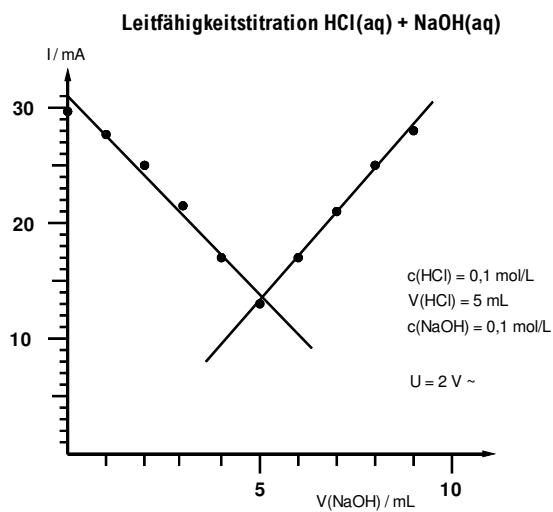
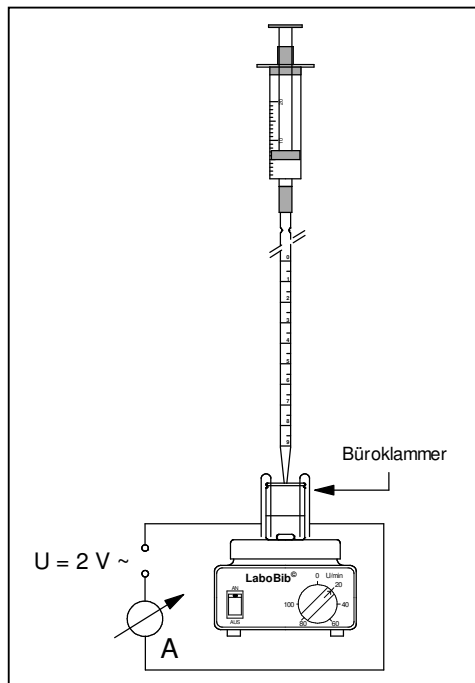


Kostenrelation			
Bürette	40.- €	Pipette	2,50 €

6.7.2 Leitfähigkeitstitation

Der obige Aufbau lässt sich leicht in eine Leitfähigkeitstitation umwandeln, indem man seitlich zwei große Aktenklammern (Büroklammer) ($l = 50$ mm) aufsteckt. Diese bestehen aus Eisen und sind mit einer Kupferschicht überzogen, so dass sie verdünnten Säuren und Laugen relativ lange widerstehen können. Seitlich stellt man die Zuleitung über zwei Miniaturkrokoklemmen (Miniaturmessschnüre) (Bezugsquelle x) her. Eine 2 V Wechselspannung wird über ein Amperemeter zu einem Messkreis zusammengeschaltet.

Kostenrelation			
Leitfähigkeitsprüfer	40.- €	Aktenklemme (Büroklammer)	0,01 €



6.8 Springbrunnenversuche

Der Springbrunnenversuch wird häufig eingesetzt, um die Reaktion von $\text{HCl}(\text{g})$ oder $\text{NH}_3(\text{g})$ zu demonstrieren. Auch in der Low-Cost-Version mit Spritzen ist eine Variante realisierbar. Dazu wird eine Spritze mit dem Gas gefüllt, mit einem Blindstopfen verschlossen und anschließend unter Wasser, das mit einem Indikator versetzt wurde, geöffnet. Sollte die Reaktion nicht spontan einsetzen, so zieht man einen Tropfen Wasser in die Spritze. Das gesamte Gasvolumen löst sich in diesem Tropfen und es entsteht ein starker Unterdruck, der die Flüssigkeit in die Spritze saugt. Man muss dabei allerdings den Stempel mit der Hand fixieren; so spürt man den entstehenden Unterdruck.



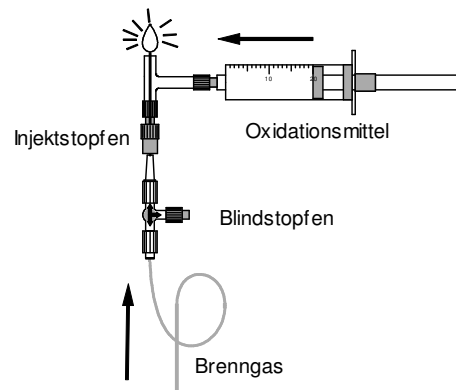


Für Schüler ein unvergesslicher Versuch. Vergisst man den Stempel zu arretieren, so wird dieser schlagartig in die Spritze gezogen.
Achtung: Quetschgefahr!

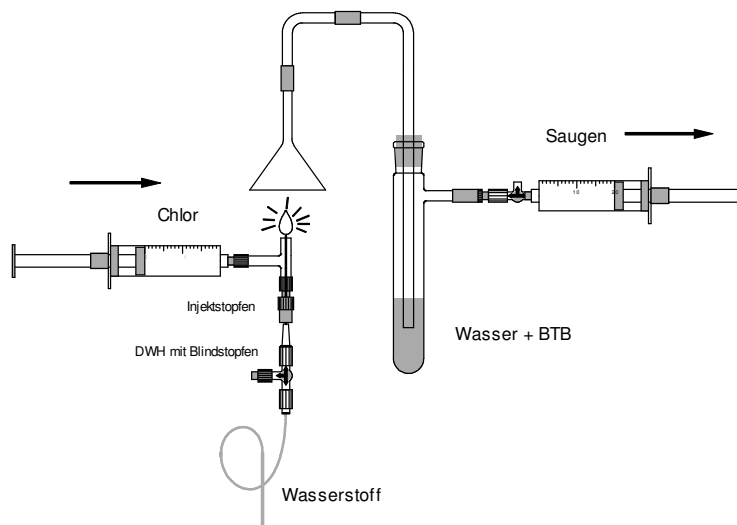
6.9 Verbrennungsprodukte gasförmiger Stoffe (Daniellscher Hahn)

Problematisch ist im Unterricht die Darstellung von HCl aus den Elementen. Üblicherweise wird dabei Wasserstoff in einer Chloratmosphäre verbrannt. Man kann aus den Spritzetechnikgeräten allerdings einen Daniellschen Hahn konstruieren, mit dem die beiden Gase einfach zur Reaktion gebracht werden können. Man benötigt zu diesem Zweck ein T-Stück aus 8mm Glas, dessen Schenkel man passend kürzt. Auf den rechten und unteren Schenkel klebt man aufgebohrte Blindstopfen als Adapter für die Luer-Verbindungen auf (s. CD).

Das untere Ende verschließt man mit einem Injektstopfen, durch den man eine Kanüle steckt, die so weit nach oben geschoben wird, bis die Spitze so eben aus der Öffnung des T-Stücks herausragt. Das Brenngas wird von unten über einen Dreiwegehahn, dessen einer „Weg“ mit einem Blindstopfen verschlossen ist, eingeleitet.



Das entstehende Chlorwasserstoffgas saugt man mit Hilfe einer Spritze durch eine Bromthymolblaulösung, die man zuvor mit etwas Natriumcarbonat alkalisch eingestellt hat.

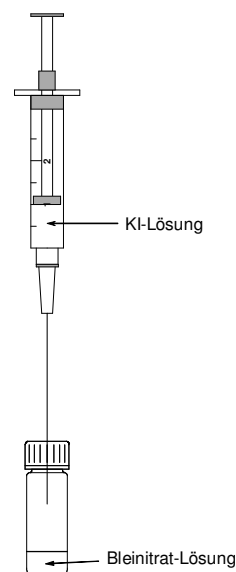




6.10 Reaktionen in Gläsern mit Septum

Fällungsreaktionen lassen sich z.B. einfach im Miniaturmaßstab durchführen, indem man aus einer Spritze mit aufgesetzter Kanüle langsam eine Reaktionslösung in eine vorgelegte Lösung, die sich z.B. in einem Rollrandglas o.ä. befindet, tropft.

Verwendet man jedoch Gläser mit einer Schraubkappe mit Loch und einem Septum, durch das die Reaktionslösung zugetropft wird, so erhält man ein nach außen geschlossenes System, in dem - nach Meinung des Autors - auch Lösungen zur Reaktion gebracht werden können, die sonst aufgrund einer entsprechenden Einstufung durch die GefStoffV bzw. TRGS 900 nicht in Schülerversuchen eingesetzt werden dürfen. Dazu gehört auch die Fällung von Bleiodid zur Demonstration der Schwerlöslichkeit dieses Salzes und auch die Bestimmung des Löslichkeitsproduktes (s.a. Kap. 3.4)

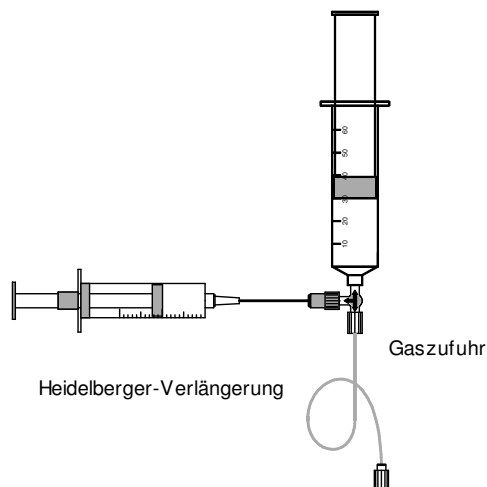


6.11 Gasaufbewahrung und Gasentnahme

Die Aufbewahrung von Gasen kann zweckmäßigerweise in großen Spritzen, in einem Luftballon oder in einem Gasfangbeutel erfolgen. Alle Konstruktionen sind so gewählt, dass die Gase leicht in kleinere Spritzen abgefüllt werden können und somit Schülern im Experiment zur Verfügung stehen. Zu beachten ist allerdings, dass Luftballons über eine relativ große Spannung verfügen; sie sollten daher vor dem Einsatz kurz prall aufgepustet werden. Häufig reicht dennoch bei einer Gasentwicklung der Druck nicht aus, um einen solchen Ballon zu füllen. Dann muss man auf Spritzen als Gasbehälter zurückgreifen, da sich diese leicht durch Herausziehen des Stempels dem Druck anpassen lassen. Luftballons verfügen jedoch über ein wesentlich größeres Volumen; sie sind für Schülerübungen gut geeignet.

6.11.1 Gase in großen Spritzen

Spritzen können häufig als Gasreservoir benutzt werden, wenn nur geringe Gasvolumina benötigt werden. An einen Dreiweghahn werden die Spritze und ein Injektstופן aufgesetzt. Der dritte Anschluss wird mit einer Gaszufuhr (Druckgasflasche, Versuchsaufbau o.ä.) verbunden. Man kann hier eine "Heidelberger-Verlängerung" verwenden oder direkt über einen Adapter einen Gummischlauch ansetzen. In der Abbildung ist eine "Heidelberger-Verlängerung" zu sehen.



Geräte:

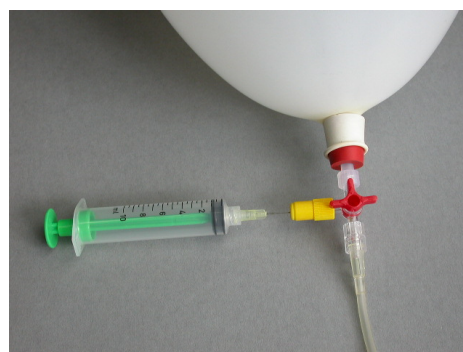
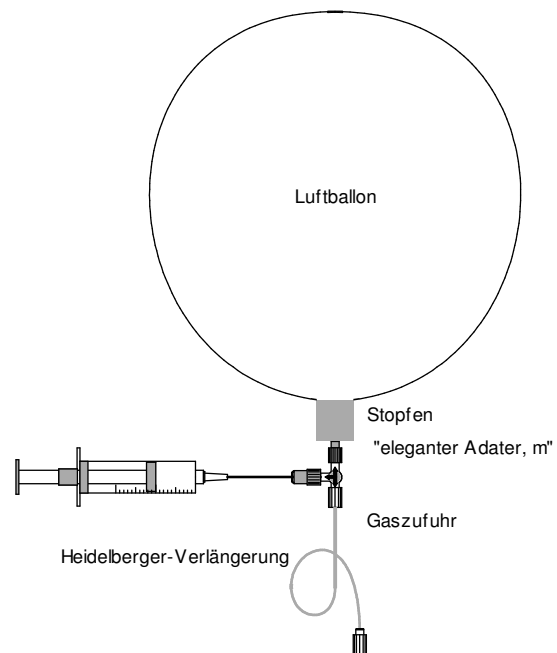
- 50 mL Spritze zum Auffangen des Gases
- Dreiwegehahn
- Injektstoptfen
- 1 Kanüle (z.B. 1,2 x 40 mm o.ä.)
-
- u.U. Heidelberger-Verlängerung

6.11.2 Gase im Luftballon

Luftballons bieten sich bei größeren Gasvolumina an. Allerdings muss auf den Gegendruck der Gummihaut beim Befüllen geachtet werden. Man steckt den "eleganten Adapter, männlich" mit der Schlaucholive in den Gummistopfen, der dann mit dem Luftballon versehen wird. An einen Dreiwegehahn werden der so präparierte Luftballon und ein Injektstoptfen aufgesetzt. Der dritte Anschluss wird mit einer Gaszufuhr (Druckgasflasche, Versuchsaufbau o.ä.) verbunden. Man kann hier eine "Heidelberger-Verlängerung" verwenden oder direkt über einen Adapter einen Gummischlauch ansetzen. In der Abbildung ist eine "Heidelberger-Verlängerung" zu sehen.

Geräte:

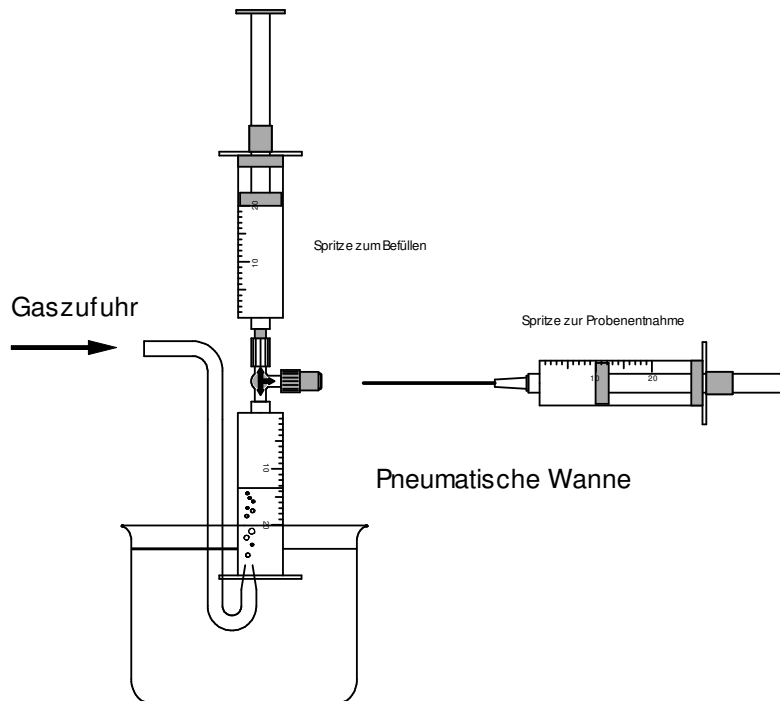
- Luftballon zum Auffangen des Gases
- Gummistopfen mit Bohrung
- "eleganter Adapter, männlich"
- Dreiwegehahn
- Injektstoptfen
- 1 Kanüle (z.B. 1,2 x 40 mm o.ä.)
- kleinere Spritze zum Abfüllen des Gases
- u.U. Heidelberger-Verlängerung



6.11.3 Pneumatische Wanne

Manchmal ist es hilfreich, Gase nicht direkt in Spritzen aufzufangen, sondern in einer „Pneumatischen Wanne“. Dies ist immer dann der Fall, wenn bei der Reaktion ein Gas nur mit einem geringen Druck entsteht.

Um das Gas aufzufangen wird eine Spritzenhülse verwendet. Sie wird oben mit einem Dreiwegehahn verschlossen, an dessen einem Ende sich ein befindet Injektstopfen. Hier kann später das Gas mit einer weiteren Spritze zur weiteren Untersuchung entnommen werden. Am oberen Ende des DWH wird über einen Adapter (f-f) eine Spritze aufgebracht, mit der man die untere durch Herausziehen des Stempels mit der Sperrflüssigkeit füllen kann; vor dem eigentlichen Versuches kann dann diese Spritze wieder entfernt werden.

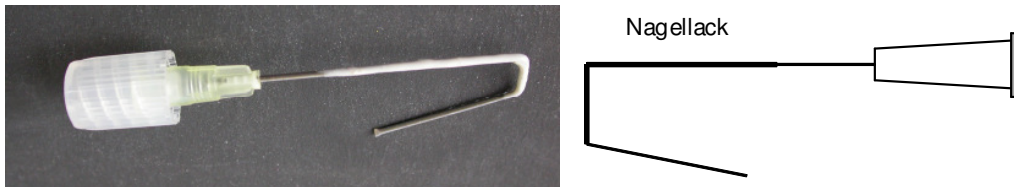


6.12 Elektrolyse

Um eine Elektrolyse wässriger Lösungen durchzuführen benötigt man eine Apparatur, die dem Hoffmannschen Zersetzungsapparat sehr ähnelt. Die beiden Schenkelrohre werden durch Spritzenhülsen ersetzt, analog der Anordnung „pneumatische Wanne“.

6.12.1 Elektroden

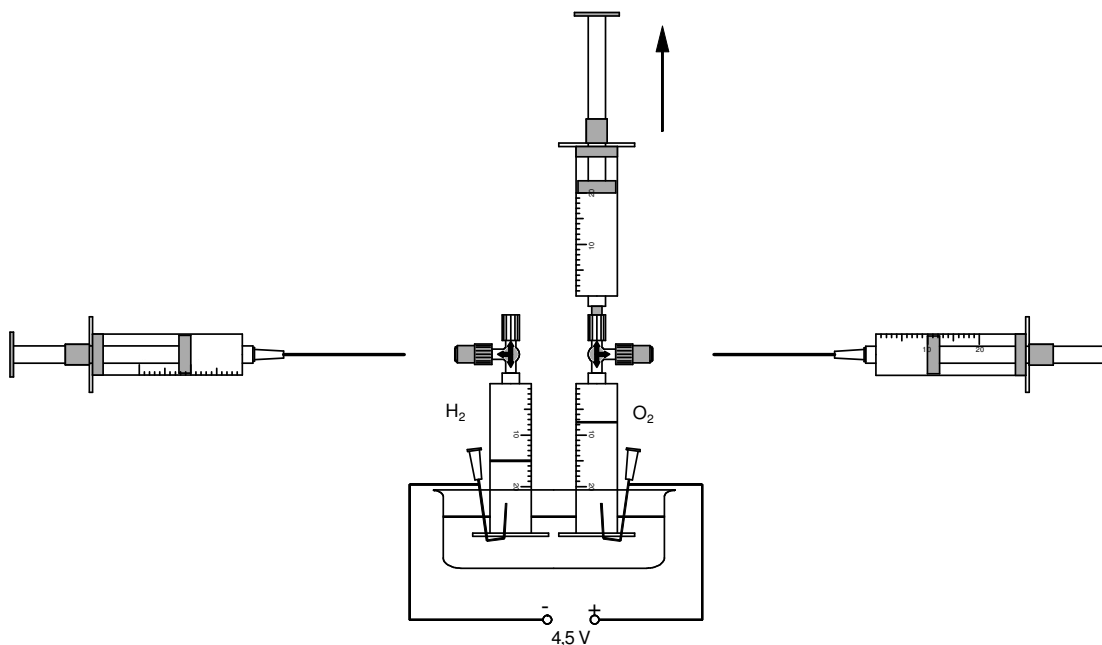
Als Elektroden finden umgebogene Kanülen Anwendung, die aus V2A-Stahl bestehen und eine genügend große Beständigkeit aufweisen. Allein an der Elektrode, an der sich Sauerstoff entwickelt kommt es zu leichten Nebenreaktionen. Um die Gasabscheidung auf den Bereich zu beschränken, der sich im Inneren der Spritzenhülse befindet, wird der Teil der Kanüle, an dem keine Abscheidung erfolgen soll mit Nagellack überzogen. Die Spitze wird mit einem Seitenschneider abgekniffen.

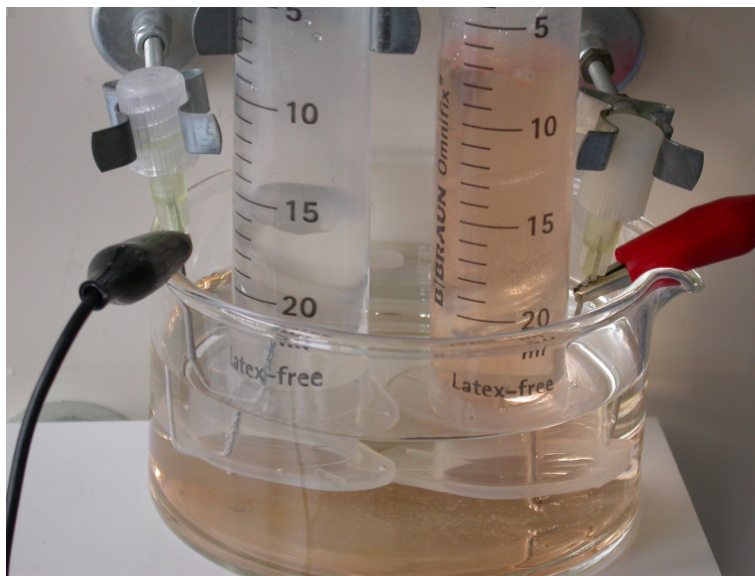


Alternativ kann man auch den zu schützenden Bereich mit einem dünnen Schrumpfschlauch überziehen. Um die Kanülen mit Hilfe von Magnetklemmen befestigen zu können setzt man einen Bindstopfen o.ä. auf, der dann sicher vom Clip der Magnetklemme gefasst wird.


6.12.2 Die komplette Zersetzungsapparatur

Die komplette Apparatur zeigt die Abbildung. Als Elektrolysegefäß dient eine Kristallisierschale. Die beiden seitlichen Spritzen erlauben ein Herausziehen der Gase über die beiden Injektstöpfe zur weiteren Analyse. Die obere Spritze dient zum Befüllen der Spritzenhülsen mit der zu zersetzenden Lösung. In diesem Fall handelt es sich um Schwefelsäure. Der Anschluss der 4,5 V Flachbatterie erfolgt über kleine Kabel mit einer Mini-Krokoklemme.





Sauerstoff aus H₂O₂

Geräte:	Chemikalien:	Sicherheit:
<ul style="list-style-type: none"> • Reagenzglas SB19 mit Ansatz • Adapter, 8mm • Silikonverbinder • Spritze 2,5 mL • Kanüle • Injektadapter • Spritze 20 mL • Dreiwegehahn 	<ul style="list-style-type: none"> • H₂O₂-Lösung ca. 5% • Braunstein-Tablette (MnO₂ und Zement im Verhältnis 2:1 mischen und in Tablettenform gießen) • Holzspan • Zigarette 	

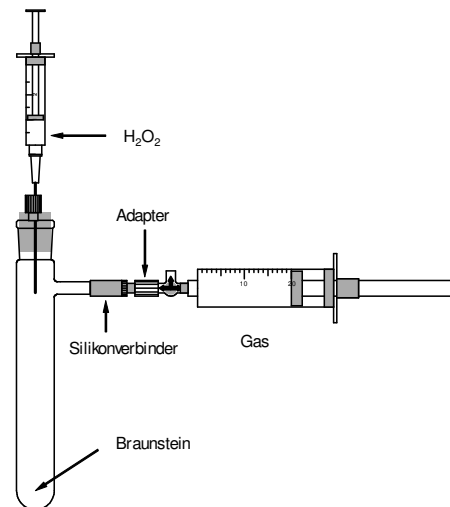
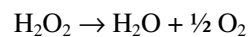
Durchführung:

- Die Gasentwicklungsapparatur wird gemäß der Abbildung zusammengestellt.
- Man träufelt die H₂O₂-Lösung auf die Braunsteintablette.
- Den entstehenden Sauerstoff fängt man mit der Spritze auf.
- Zum Nachweis kann man einen glimmenden Holzspan entzünden oder das Gas an eine glimmende Zigarette düsen


Beobachtung:

- Es entwickelt sich ein farbloses Gas (Sauerstoff)
- Glimmspanprobe

Auswertung:

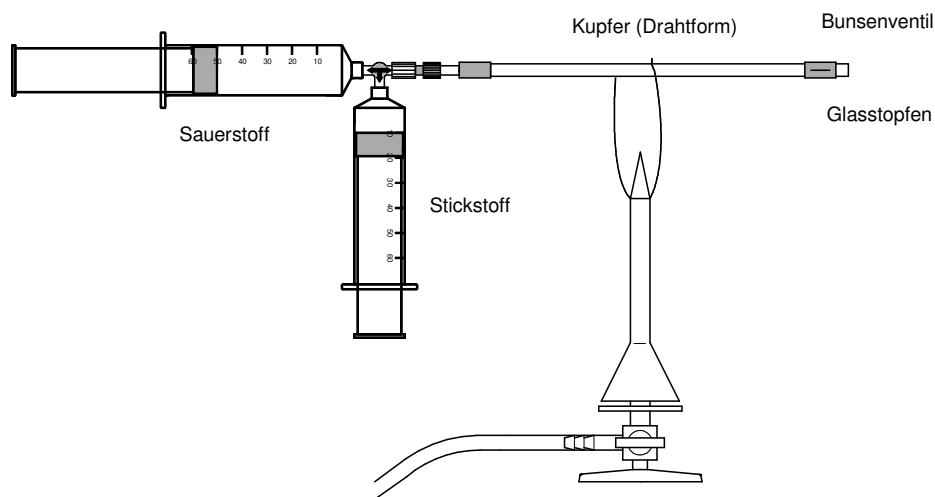


Welcher Bestandteil der Luft reagiert mit Kupfer?

Geräte:	Chemikalien:	Sicherheit:
<ul style="list-style-type: none"> • Quarzrohr (d = 8 mm) • 2 Spritzen 50 mL • Dreiweghahn • Adapter (8 mm) • Silikonschlauchstück • Bunsenventil • Brenner 	<ul style="list-style-type: none"> • Stickstoff • Sauerstoff (O) • Kupferdrahtstücke (abisierte Cu-Leitungsdrähte) 	

Durchführung:

- Die Apparatur wird gemäß der Abbildung zusammengestellt
- Die Spritzen werden mit Stickstoff bzw. mit Sauerstoff gefüllt
- Die Apparatur wird zunächst mit Stickstoff gespült (2x)
- Die Cu-Stückchen werden erwärmt
- Zunächst wird Stickstoff langsam durch das Reaktionsrohr geleitet, danach Sauerstoff
-



Beobachtung:

- Beim Überleiten von Stickstoff bilden sich Anlauffarben, aber kein schwarzes Reaktionsprodukt
- Beim Überleiten von Sauerstoff bildet sich schwarzes Kupferoxid


Auswertung:

Kupfer + Sauerstoff → schwarzes Pulver
 Kupfer + Sauerstoff → Kupferoxid
 $2 \text{ Cu} + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{ CuO}$

Hinweis:

Das Experiment dient im Anfangsunterricht zur Klärung der Frage, welcher Bestandteil der Luft mit Kupfer reagiert.

Oxidation von Cu mit O₂

Geräte:	Chemikalien:	Sicherheit:
<ul style="list-style-type: none"> • Bunsenbrenner • Quarzglasrohr • 2 Glasstopfen • 2 Silikonschlauchstücke, 1 Stück davon mit Bunsenventil • Spritze mit Kanüle (20 mL) • 	<ul style="list-style-type: none"> • Sauerstoff im Vorrat (z.B. Luftballon) oder Druckgasflasche (O) • Stücke eines Kupferdrahtnetzes oder Kupferdrahtstücke • 	

Durchführung:

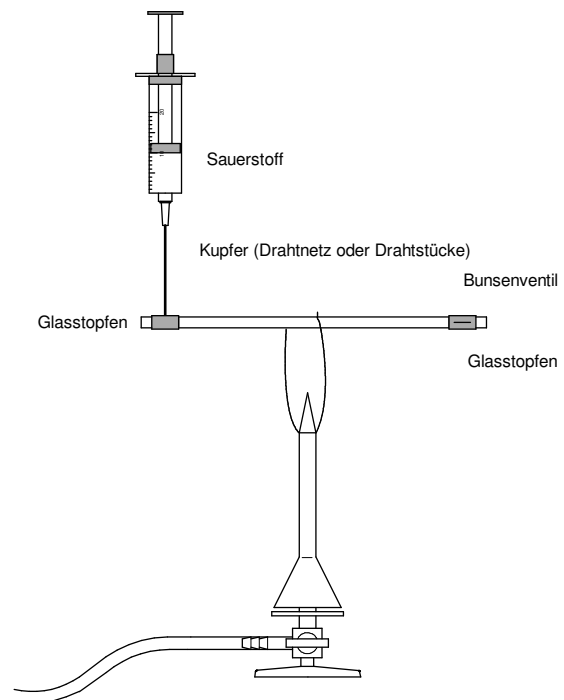
- Das Kupferdrahtnetz oder die Kupferdrahtstücke wird in das Quarzglasrohr eingeschoben.
- Man erwärmt das Kupfer-Drahtnetz
- Man leitet Sauerstoff über das Netz

Beobachtung:


- Das Kupferdrahtnetz wird schwarz
-

Auswertung:

- Es bildet sich schwarzes Kupferoxid
- $2\text{Cu} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{CuO}$



Reduktion von CuO mit H₂

Geräte:	Chemikalien:	Sicherheit:
<ul style="list-style-type: none"> • Bunsenbrenner • Quarzglasrohr • 2 Glasstopfen • 2 Silikonschlauchstücke, 1 Stück davon mit Bunsenventil • Spritze mit Kanüle (20 mL) • 	<ul style="list-style-type: none"> • Wasserstoff im Vorrat (z.B. Luftballon) oder Druckgasflasche (F+) • Oxidierte Stückchen Kupferdrahtnetz 	

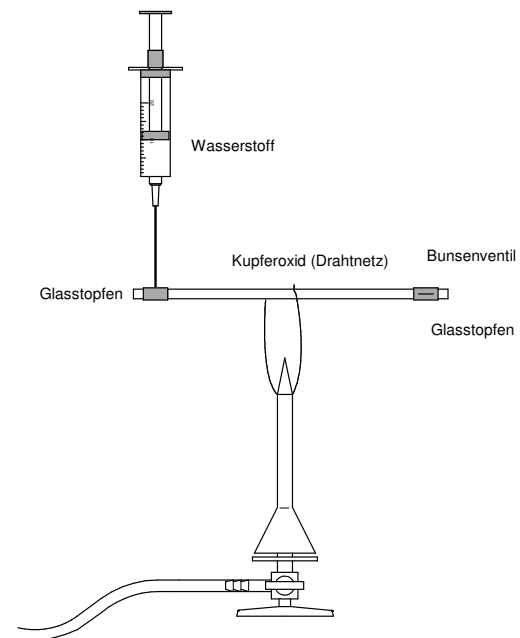
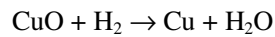
Durchführung:

- Das oxidierte Kupferdrahtnetz wird in das Quarzglasrohr eingeschoben und die Apparatur mit Wasserstoff gespült.
- Man erwärmt das Kupferoxid-Drahtnetz
- Man leitet Wasserstoff über das Netz
- Der überschüssige Wasserstoff entweicht aus dem Bunsenventil; ein Abfackeln ist bei diesen geringen Mengen nicht notwendig.
-
-

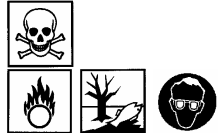
Beobachtung:

- Das Kupferdrahtnetz wird wieder kupferfarben
- Es bildet sich ein Wasserbeschlag

Auswertung:

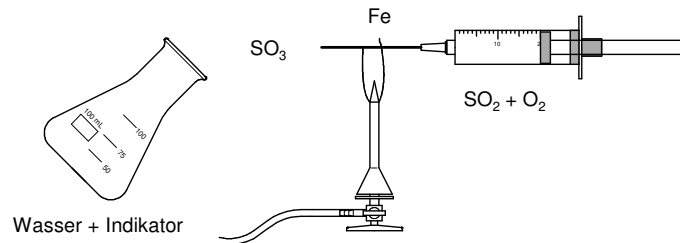


Kontaktverfahren

Geräte:	Chemikalien:	Sicherheit:
<ul style="list-style-type: none"> • Spritzen 20 mL • Kanüle • Brenner 	<ul style="list-style-type: none"> • SO₂ (T) (z.B. aus NaH-SO₃ und HCl) • Sauerstoffdruckgasflasche (O) 	

Durchführung:

- Man füllt die Spritze mit Schwefeldioxid und Sauerstoff im Volumenverhältnis $V(\text{SO}_2) : V(\text{O}_2) = 2 : 1$
- Die Kanüle wird auf mittlere Rotglut erwärmt und das Gasgemisch durch die erwärmte Kanüle geleitet.
- Das Reaktionsprodukt leitet man in einen Erlenmeyerkolben, der mit Wasser und einem Indikator gefüllt ist.



Beobachtung:

- Am Kanülenende bildet sich weißer Rauch (SO₃)
- Der Indikator zeigt eine saure Lösung an


Auswertung:

- Die Kanüle besteht aus Eisen. Eisen wirkt auf die Bildung von Schwefeltrioxid katalysierend.
- $2\text{SO}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{SO}_3$ (Katalysator: Eisen)
- $\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$

Literaturangaben:

Obendrauf, PdN, „Spritziige Experimente“ (Serie)

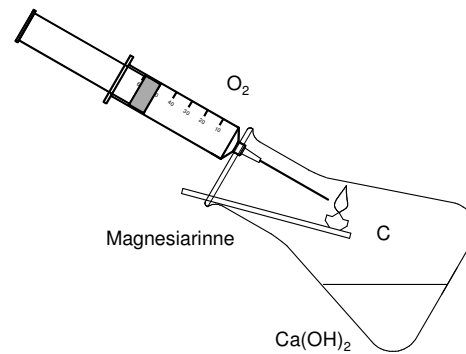
Bildung und Nachweis von CO₂

Geräte: <ul style="list-style-type: none">• 50 mL Spritze• Kanüle• Erlenmeyerkolben (100mL weit)• Magnesiumrinne• Brenner	Chemikalien: <ul style="list-style-type: none">• Grillkohle• Kalkwasser (Xi)• Sauerstoff (O)	Sicherheit:  <ul style="list-style-type: none">• Vorsicht! Funkenflug!• Schülerübung
--	---	--


Durchführung: Ein Stückchen Holzkohle wird auf der Magnesiumrinne zur Rotglut erwärmt. Dann wird mit Hilfe der Spritze reiner Sauerstoff auf die Grillkohle geleitet. Die Versuchsanordnung wird in einen schräg gestellten Erlenmeyerkolben gehalten, der mit Kalkwasser gefüllt ist.

Beobachtung: Unter heftigem Aufglühen bildet sich CO₂, das Kalkwasser trübt.

Auswertung: $C + O_2 \rightarrow CO_2 + E$
 $CO_2 + Ca(OH)_2 \rightarrow CaCO_3 + H_2O$

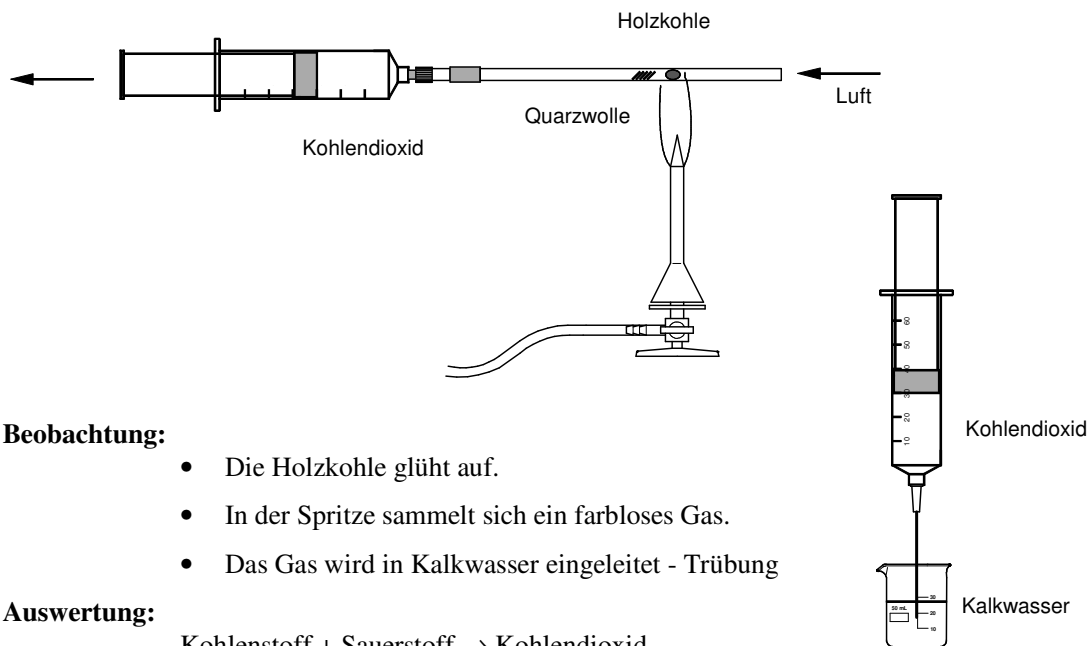


Kohlendioxid

Geräte:	Chemikalien:	Sicherheit:
<ul style="list-style-type: none"> • Spritze 50 mL • Adapter, 8 mm • Quarzrohr • Siliconschlauchstück • Gaseinleitungsrohr mit Adapter • Brenner • 	<ul style="list-style-type: none"> • Holzkohle • Kalkwasser • Quarzwolle 	

Durchführung:

- Die Apparatur wird der Abbildung entsprechend zusammengesetzt.
- in den vorderen Bereich des Quarzrohres wird ein Stückchen Holzkohle gegeben und gegen Verrutschen mit etwas Quarzwolle gesichert.
- Mit dem Brenner wird das Holzkohlestückchen stark erwärmt.
- Mit der Spritze wird Luft über die Kohle gesaugt.




Beobachtung:

- Die Holzkohle glüht auf.
- In der Spritze sammelt sich ein farbloses Gas.
- Das Gas wird in Kalkwasser eingeleitet - Trübung

Auswertung:

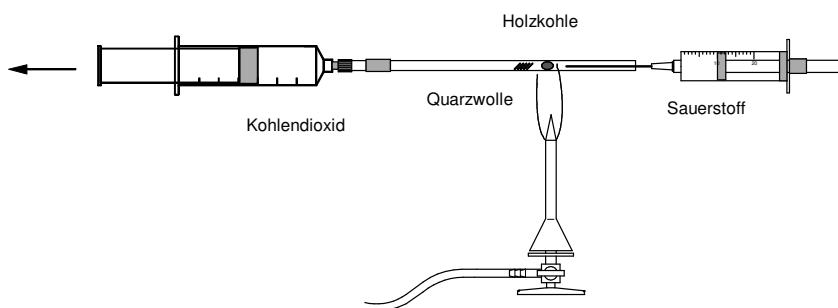
Kohlenstoff + Sauerstoff → Kohlendioxid
 $C + O_2 \rightarrow CO_2$

Kohlendioxid aus C und Sauerstoff

Geräte:	Chemikalien:	Sicherheit:
<ul style="list-style-type: none"> • Spritze 50 mL • Spritze 20 mL • Kanülen • Adapter, 8 mm • Quarzrohr • Siliconschlauchstück • Gaseinleitungsrohr mit Adapter • Brenner • 	<ul style="list-style-type: none"> • Holzkohle • Kalkwasser • Quarzwolle 	

Durchführung:

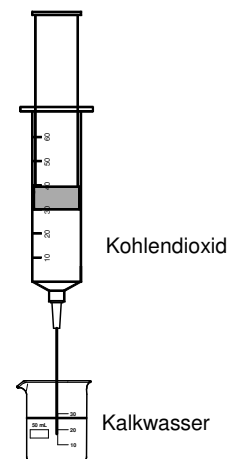
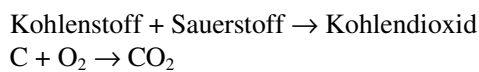
- Die Apparatur wird der Abbildung entsprechend zusammengesetzt.
- in den vorderen Bereich des Quarzrohres wird ein Stückchen Holzkohle gegeben und gegen Verrutschen mit etwas Quarzwolle gesichert.
- Mit dem Brenner wird das Holzkohlestückchen stark erwärmt.
- Mit der Spritze wird Luft über die Kohle gesaugt. Gleichzeitig leitet man vorsichtig Sauerstoff an das Kohlestückchen.




Beobachtung:

- Die Holzkohle glüht heftig auf.
- In der Spritze sammelt sich ein farbloses Gas.
- Das Gas wird in Kalkwasser eingeleitet - Trübung

Auswertung:



Kohlendioxid-Schnüffler

Geräte:	Chemikalien:	Sicherheit:
<ul style="list-style-type: none"> • Spritze, 50 mL • Adapter, 8mm • Silikonschlauchstück • Glastrichter, klein • Porzellanschale • Reagenzglas • Stopfen für RG • Moped oder PKW 	<ul style="list-style-type: none"> • Kalkwasser • Kerze oder Teelicht • Benzin • 	

Durchführung:

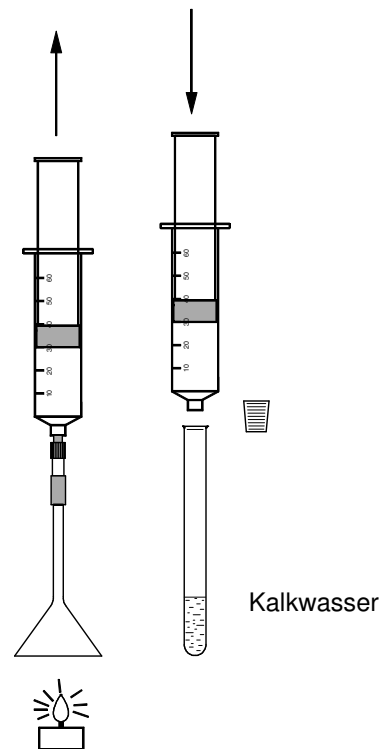
- Man baut die Gas-Schnüffelapparatur gemäß der Abbildung zusammen
- Durch Einsaugen füllt man die Spritze mit Verbrennungsgasen einer Kerze, eines brennenden Bunsenbrenners, eines Gasfeuerzeuges, eines brennenden Benzinportions (Porzellanschale) oder eines PKW-Motors.
- Man entfernt den Glastrichter und düst das Gas in ein mit Kalkwasser gefülltes RG.
-

Beobachtung:


- Das Kalkwasser trübt sich

Auswertung:

- Brennbare organische Materialien enthalten chemisch gebundenen Kohlenstoff, der beim Verbrennen zu Kohlendioxid wird



CO₂- Nachweis

Geräte: <ul style="list-style-type: none">• 20 mL Spritze• Kanüle (0,9 x 70)• kleines Reagenzglas (10x100 mm)	Chemikalien: <ul style="list-style-type: none">• Kalkwasser• CO₂-Druckgasflasche	Sicherheit: 
--	---	---

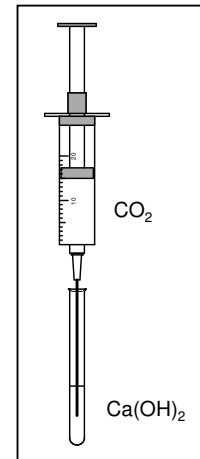
Durchführung: Man füllt die 20 mL-Spritze mit Kohlendioxidgas und düst es langsam in das Kalkwasser ein.

Beobachtung: Es bildet sich eine weiße Trübung


Auswertung: $\text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 \downarrow + \text{H}_2\text{O}$

Literaturangaben:

HTML-Bearbeitung: Dr. Brand, Immanuel-Kant-Gymnasium, Bad Oeynhausen



Calciumhydrogencarbonat

Geräte:	Chemikalien:	Sicherheit:
<ul style="list-style-type: none">• 20 mL Spritze• Kanüle (0,9 x 70)• kleines Reagenzglas (10x100 mm)	<ul style="list-style-type: none">• Kalkwasser• CO₂-Druckgasflasche	

Durchführung:

- Ein kleines Reagenzglas wird zu einem Drittel mit Kalkwasser gefüllt.
- Man füllt die 50 mL-Spritze mit Kohlendioxidgas und düst es langsam in das Kalkwasser ein.

Beobachtung:

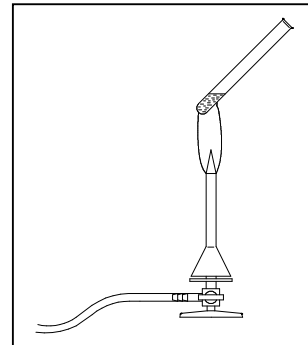
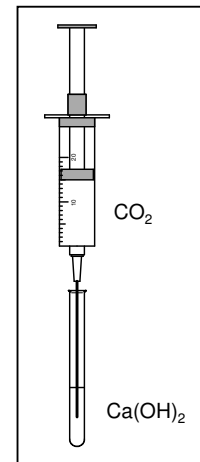
- Nach ca. 20 mL CO₂-Zugabe ist eine weiße Trübung zu beobachten.
- Bei weiterem Einleiten löst sich der Niederschlag wieder auf.
- Beim Erwärmen entweichen kleine Gasblasen und die Trübung erscheint wieder.

Auswertung:


- $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 \downarrow + \text{H}_2\text{O}$
- $\text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$
- $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 \downarrow + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$

Literaturangaben:

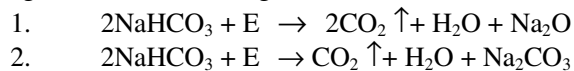
HTML-Bearbeitung: Dr. Brand, Immanuel-Kant-Gymnasium, Bad Oeynhausen



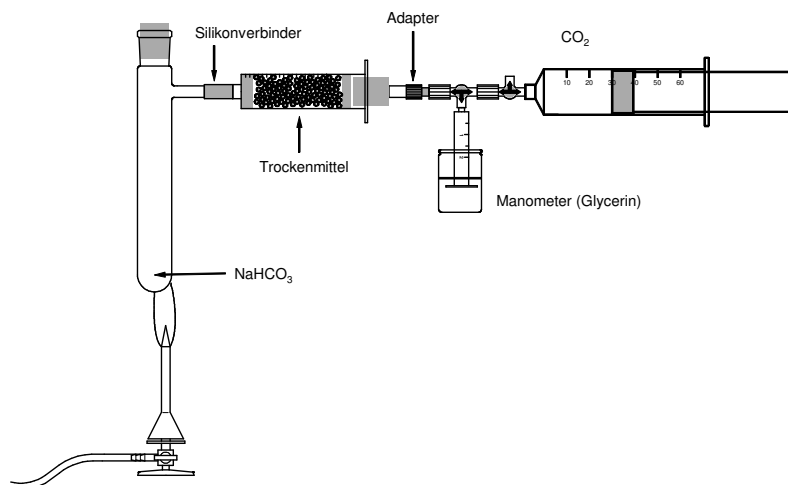
Thermolyse von NaHCO_3

Geräte:	Chemikalien:	Sicherheit:
<ul style="list-style-type: none"> • Reagenzglas mit seitlichem Ansatz SB19 • Trockenrohr • 2 Dreiwegehähne • Spritzen (50 mL) • Adapter • Gummistopfen SB19 • Gummistopfen SB19 mit Bohrung • Leerhülse (2 mL) als Monometer • Rollrandglas oder Becherglas • Bunsenbrenner • Waage 	<ul style="list-style-type: none"> • NaHCO_3 • CaCl_2 (wasserfrei) • Glycerin (Manometerfüllung) • Glaswolle 	<p>X </p>

Die thermische Zersetzung von NaHCO_3 kann grundsätzlich auf zwei Arten erfolgen:



Während im ersten Fall Natriumoxid entsteht, bildet sich im zweiten Fall Natriumcarbonat. Aus 2 mol NaHCO_3 entstehen im ersten Fall 2 mol CO_2 , im zweiten Fall 1 mol CO_2 .



Durchführung: Es wird eine Stoffmenge von $n(\text{NaHCO}_3) = 1/10$ mol eingesetzt; dies entspricht einer Masse von $m(\text{NaHCO}_3) = 0,168$ g [$M(\text{NaHCO}_3) = 84$ g/mol].

Man sorgt für Druckausgleich und erwärmt dann mit leichter Flamme. Nach Einstellung der Volumkonstanz wartet man, bis sich die Apparatur auf Zimmertemperatur abgekühlt hat und bestimmt dann nach Zuschalten des Manometers das Endvolumen.

Beobachtung: Es wurden bei Gruppenversuchen folgende Werte gefunden. Jede Gruppe hat zwei Versuche durchgeführt:

Die Raumtemperatur betrug 22 °C.

Gruppe	1. Versuch $V(\text{CO}_2)$ /ml	2. Versuch $V(\text{CO}_2)$ /ml
1	23,0	24,5

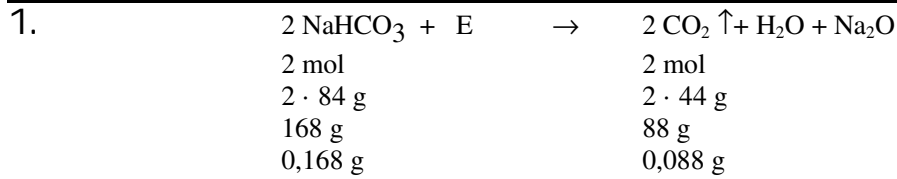
2	25,5	24,0
3	25,5	25,5
4	22,5	25,5
Mittel	24,0	25,0
Mittel	24,5	

Auswertung:

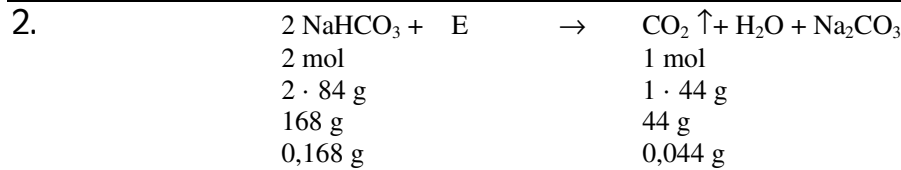
$$M(\text{NaHCO}_3) = 84 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{CO}_2) = 44 \text{ g/mol}$$

$$\rho(\text{CO}_2) \text{ bei } 22 \text{ }^\circ\text{C} = 1,83 \text{ g/L}$$

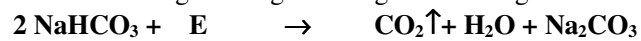


mit Hilfe der Dichte errechnet sich das zu erwartenden Kohlendioxidvolumen zu: $V(\text{CO}_2) = 48 \text{ ml}$





mit Hilfe der Dichte errechnet sich das zu erwartenden Kohlendioxidvolumen zu: $V(\text{CO}_2) = 24 \text{ ml}$

Der Wert der letzten Reaktionsgleichung stimmt gut mit dem gemessenen Wert überein. Somit gilt:

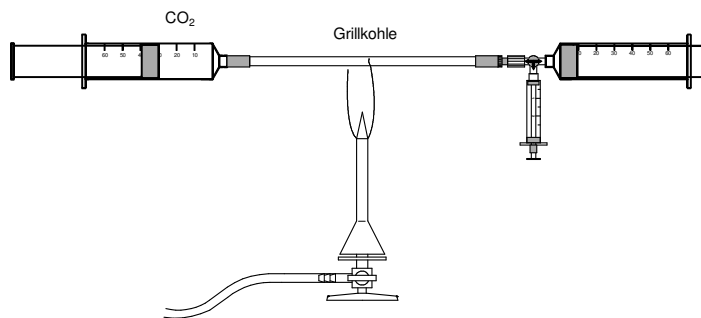


Boudouard-Gleichgewicht

Geräte:	Chemikalien:	Sicherheit:
<ul style="list-style-type: none"> • 2 Spritzen (50 mL) • 1 Spritze (2,5 mL) • 1 Reaktionsrohr (Quarz), d = 8 mm • 1 Silikonadapter • 1 Silikon Schlauch • 1 Dreiwegehahn 	<ul style="list-style-type: none"> • Grillkohle bei 150 °C getrocknet • Quarzwolle • CO₂ aus Druckgasflasche • ammoniakalische Silbernitratlösung 	  Schülerübungen

Durchführung: Die Apparatur wird gemäß der Abbildung aufgebaut. Das Quarzrohr ist mit getrockneter, zerstoßener Grillkohle gefüllt, die durch Quarzwolle fixiert ist. Die Apparatur wird durch den Dreiwegehahn mit CO₂ gespült und mit 30 mL CO₂ gefüllt. Das Reaktionsrohr wird auf Rotglut erwärmt und das Kohlendioxid über die Kohle geleitet. Nach dem Abkühlen setzt man eine Kanüle auf die das CO enthaltene Spritze auf und entzündet dies. CO brennt mit einer blauen Flamme. Ein weiterer Teil des CO wird in eine ammoniakalische Silbernitratlösung geleitet (Fällung von Ag). Mit Hilfe der kleinen angesetzten Spritze (2,5 mL) lassen sich Gasproben für gaschromatographische Untersuchung ziehen. Die Versuche werden bei unterschiedlichen Temperaturen (unterschiedlich heiße Brennerflammen) durchgeführt und die Gaschromatogramme verglichen.

Beobachtung: Es sich Kohlenmonoxid, das mit blauer Flamme brennt und mit ammoniakalischer Silbernitratlösung zu metallischem Silber reagiert. Es existiert zwischen dem CO₂ und dem CO ein Gleichgewicht. Bei hohen Temperaturen liegt das Gleichgewicht auf der Seite des CO (GC)




Auswertung:

$$\text{CO}_2 + \text{C} \rightleftharpoons 2\text{CO}$$

$$2\text{CO} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{CO}_2$$

$$\text{CO} + 2\text{Ag}^+ + 2\text{OH}^- \rightarrow 2\text{Ag} + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$$

Verflüssigung von Feuerzeuggas durch Abkühlen

Geräte: <ul style="list-style-type: none"> • 20 mL-Spritze • Verschlussstopfen • Kältethermometer • 250 mL Becherglas (weit) • Adapter zur Entnahme des Gases aus einer Nachfüllkartusche für Feuerzeuge. • Hinweis: Man stellt einen solchen Adapter her, indem man von einem Perfusionsbesteck die Kanüle abschneidet und das Schlauchende auf die Nachfüllkartusche steckt. 	Chemikalien: <ul style="list-style-type: none"> • Nachfüllkartusche für Feuerzeuge (F+) • Eis • Streusalz • Wasser 	Sicherheit: 
--	---	--

Durchführung:

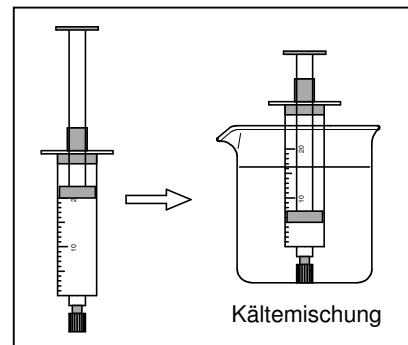
- Man füllt die Spritze mit Feuerzeuggas, verschließt sie mit einem Verschlussstopfen und stellt sie in ein Kältebad (ca. $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$), das durch Mischen von Salz, Eis und Wasser (je 1/3) hergestellt wird.

Beobachtung:

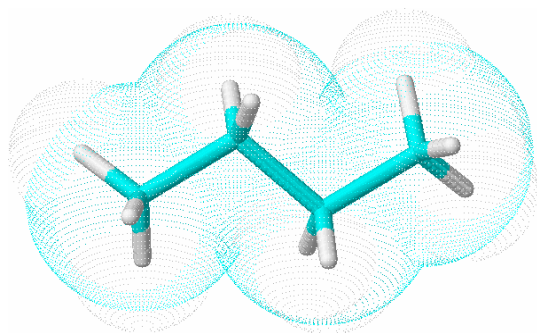
- Bei leichtem Druck auf den Stempel wird das Gas flüssig
- Beim Erwärmen mit der Hand stellt sich der Ausgangszustand wieder ein.

Deutung:

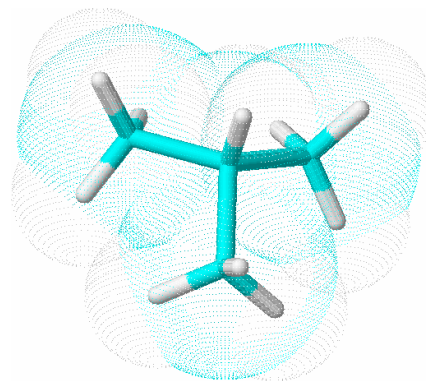
Feuerzeuggas besteht weitestgehend aus Butan. Der Siedepunkt von n-Butan liegt bei $-0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, der von i-Butan bei $-11,7\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Auswertung:





n-Butan
längliche Gestalt



i-Butan
kugelförmige Gestalt

Verflüssigen von Feuerzeuggas durch Druck

Geräte: <ul style="list-style-type: none">• Spritze 20 mL• Blindstopfen	Chemikalien: <ul style="list-style-type: none">• Feuerzeuggas (F+)	Sicherheit:   Unbedingt Schutzbrille tragen! Vakuum!
---	---	--

Durchführung:

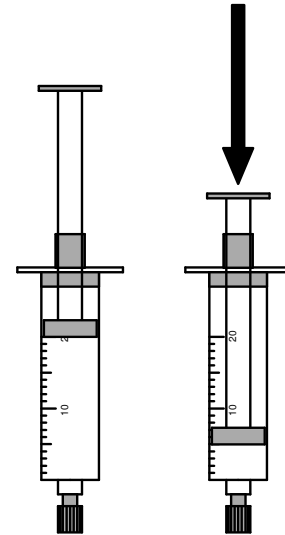
- Man füllt die Spritze mit Feuerzeuggas und verschließt sie mit einem Blindstopfen
- Man übt einen kräftigen Druck auf das Gas aus.

Beobachtung:


- Das Gas verflüssigt sich. Es sind winzige Flüssigkeitstropfen zu beobachten, die beim Nachlassen der Druckerhöhung wieder verschwinden.

Auswertung:

- Durch die Druckerhöhung nähern sich die kleinsten Teilchen so weit an, dass die Anziehungskräfte wirksam werden können. Das Gas verflüssigt sich.



Molare Masse von Feuerzeuggas

Geräte: <ul style="list-style-type: none"> • 50 mL-Spritze mit Querloch im Stempel bei 50 mL • Blindstopfen • Nagel • Waage (0,001 g genau) 	Chemikalien: <ul style="list-style-type: none"> • Feuerzeuggas (Nachfüllkartusche) 	Sicherheit: 
--	--	--

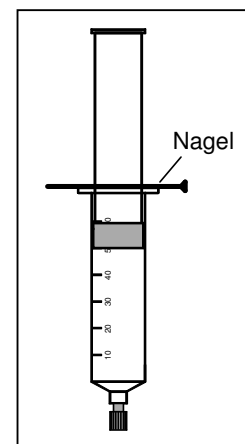
Durchführung: Die Spritze wird mit dem Blindstopfen verschlossen und durch Herausziehen des Stempels ein Vakuum erzeugt. Bei der Markierung 50 mL wird der Stempel durch einen Nagel, der durch den Stempel geschoben wird, fixiert. Sodann wird die Masse bestimmt. Danach werden 50 mL des Feuerzeuggases eingefüllt und die Masse erneut bestimmt (Nagel nicht vergessen!).

Beobachtung: Aus der Massendifferenz erhält man die Masse von 50 mL des Feuerzeuggases.



Messergebnis: $m = 0,119 \text{ g}$ $V = 50 \text{ mL}$ $V_m = 24,1 \text{ L/mol}$

Auswertung: mit $M = \frac{m}{n}$ und $n = \frac{V}{V_m}$ folgt

$$M = \frac{m \cdot V_m}{V} = \frac{0,119 \text{ g} \cdot 24,1 \text{ L}}{0,05 \text{ L} \cdot \text{mol}} = 57,4 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

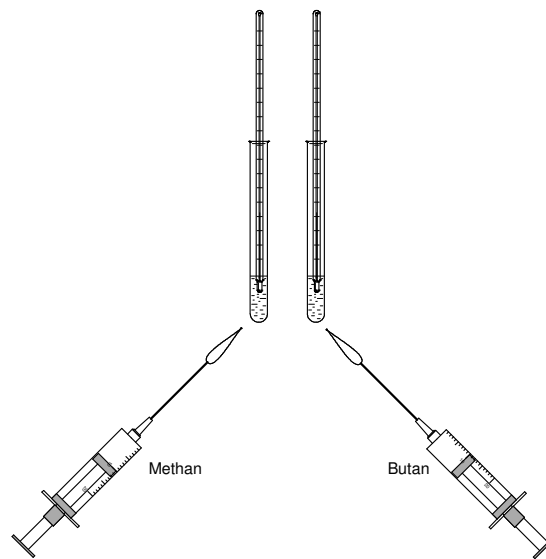


Verbrennungsenthalpien: Methan -Butan

Geräte: <ul style="list-style-type: none">• 2 Reagenzgläser• Thermometer• 2 Spritzen, 20 mL• 2 Kanülen (0,4 x 60)	Chemikalien: <ul style="list-style-type: none">• Methan (F+)• Butan (F) aus Feuerzeuggaskartusche	Sicherheit:  
---	---	---

Durchführung:

- Man füllt die Reagenzgläser jeweils mit 7 mL Wasser.
- Die Spritzen werden mit 10 mL der Gase gefüllt.
- Man entzündet die Gase an der Kanüle und lässt die Flamme unter gleichmäßigem Druck gegen das Reagenzglas brennen.
- Die Temperaturerhöhungen werden notiert.



Beobachtung:


- Der Inhalt der Reagenzgläser erwärmt sich unterschiedlich stark. Butan liefert die größere Temperaturerhöhung.

Auswertung: Butan hat einen größeren Heizwert als Methan.

Literatur: H. Brinkmann, PdN-Chemie 36 (1987), Nr.1, 17

HTML-Bearbeitung: Dr. Brand, Immanuel-Kant-Gymnasium, Bad Oeynhausen

NO₂ - Darstellung

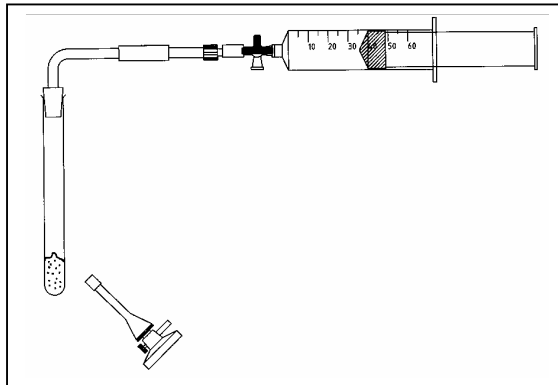
Geräte: <ul style="list-style-type: none">• 20 mL-Spritze• Dreiwegehahn• Adapter 8 mm• Gummiverbinder• Winkelrohr• Stopfen (durchbohrt),• Reagenzglas (Duran)	Chemikalien: <ul style="list-style-type: none">• Bariumnitrat (wasserfrei) (Xn)• Harnstofflösung (c = 2 mol/L)	Sicherheit: 
--	--	---

Durchführung: In das Reagenzglas wird Ba(NO₃)₂ gegeben und unter dem Abzug kräftig erhitzt. Die verdrängte Luft lässt man durch den Dreiwegehahn entweichen. Danach füllt man die Spritze mit NO₂-Gas. Das aufgefangene Gasgemisch dient zu grundlegenden Versuchen zum MWG


- Beobachtung:
- $2 \text{Ba}(\text{NO}_3)_2 + \text{E} \rightarrow 2 \text{BaO} + 4 \text{NO}_2 + \text{O}_2$
- $2 \text{NO}_2 \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_4$
-

Entsorgung: Die Entsorgung von NO₂ gelingt durch Einleiten in Harnstofflösung

Sicherheit: Abzug



Chlor aus KMnO_4 und HCl

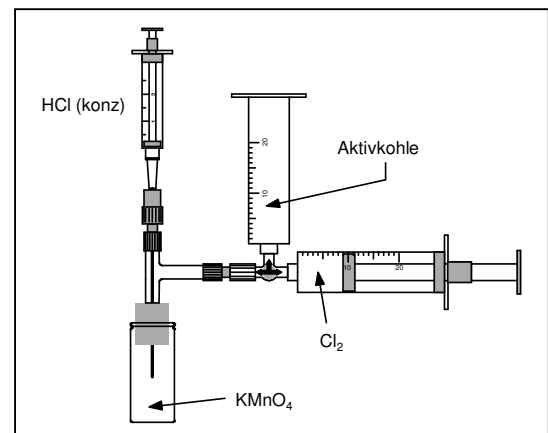
Geräte:	Chemikalien:	Sicherheit:
<ul style="list-style-type: none"> • T-Stück • Dreiwegehahn • 20 mL-Spritze • 20 mL-Spritzenhülle mit Aktivkohlefüllung (in Glaswolle gefasst) • 2,5 mL-Spritze • Rollrandglas • Gummistopfen, durchbohrt • Injekt-Adapter • große Kanüle (0,9 x 120 mm) 	<ul style="list-style-type: none"> • Konz. Salzsäure (C) • Kaliumpermanganat (O, Xn) • Chlor (T+) 	

Durchführung:

- Die Apparatur wird gemäß der Abbildung zusammengebaut.
- Kaliumpermanganat wird eingefüllt.
- Die Spritze wird mit konz. Salzsäure gefüllt.
- Es ist darauf zu achten, dass die Kanüle aus dem T-Stück in das Reaktionsgefäß hineinragt, da sonst durch das sich entwickelnde Chlor die Salzsäure in die Apparatur gedrückt wird.
- Die Salzsäure wird tropfenweise zum Kaliumpermanganat gegeben.
- Der Dreiwegehahn ist so positioniert, dass die verdrängte Luft durch die mit Aktivkohle gefüllte Spritzenhülle entweichen kann. Erst danach wird der Chlorgasstrom in die dafür vorgesehene Spritze geleitet.
- Vor dem Abnehmen der mit Chlor gefüllten Spritze wird der Dreiwegehahn in die Ausgangsstellung zur Adsorption des Chlors zurückgedreht.

Beobachtung:

- Es entwickelt sich Chlorgas, das in der Spritze aufgefangen wird und für weitere Reaktionen zur Verfügung steht.




Auswertung:

Hinweis:

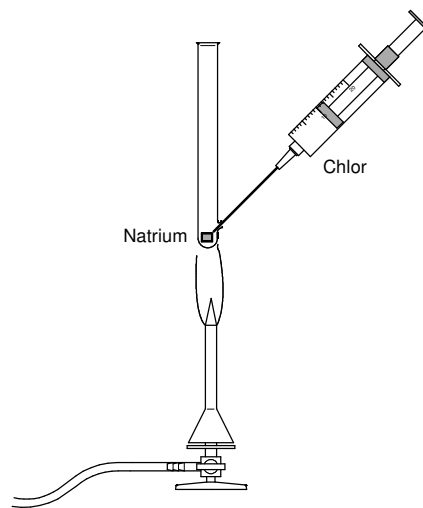
Man kann in die mit Chlorgas zu füllende Spritze ein farbiges Blütenblatt legen und die Entfärbung direkt in der Spritze beobachten.

Reaktion von Natrium mit Chlor

Geräte:	Chemikalien:	Sicherheit:
<ul style="list-style-type: none"> • Reagenzglas, in das seitlich mit einer spitzen Brennerflamme ein Loch geblasen wurde • Minibrenner • Messer • Pinzette • Filtrierpapier • Bunsenbrenner • Spritze, 20 mL • Kanüle • 	<ul style="list-style-type: none"> • Natrium (C), (F) • Chlor in Spritze (T) 	

Durchführung:

- Man bläst mit Hilfe einer kleinen, spitzen Flamme seitlich in ein RG ein Loch.
- Ein kleines Stückchen Natrium wird entzündet und in das RG gelegt.
- Mit dem Brenner wird das Na-Stückchen erwärmt, bis es geschmolzen ist.
- Das Chlorgas aus der Spritze wird mit Hilfe der Kanüle auf die Na-Schmelze gerichtet.
- Mit dem Stempel der Spritze lässt sich der Reaktionsablauf gut steuern.



Beobachtung:

- Die Reaktion erfolgt unter heftigem Aufglühen.
- Dabei wird das Chlor weitgehend verbraucht, so dass kein Chlorgeruch wahrzunehmen ist.
- Es bildet sich ein weißer Beschlag von Natriumchlorid.

Auswertung:

- $2\text{Na} + \text{Cl}_2 \rightarrow 2\text{NaCl} + \text{E}$
-


Entsorgung:

- Das RG wird nach dem Erkalten in Ethanol gestellt, bis sich überschüssiges Natrium zersetzt hat. Danach wird der Inhalt des Becherglases in das Abwasser gegeben.
-

Fortführung des Experiments:

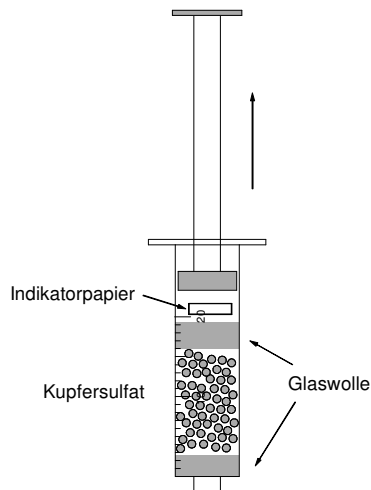
- Etwas vom gebildeten Kochsalz wird abgekratzt, in Wasser gelöst und mit Silbernitratlösung zum Nachweis der Chlorid-Ionen versetzt.
- Ein Teil wird in Wasser gegeben und die Leitfähigkeit geprüft.

Modellversuch Atemschutz NH_3

Geräte:	Chemikalien:	Sicherheit:
<ul style="list-style-type: none"> • Spritzflasche mit dest. Wasser • Spritzenhülse einer 20 mL-Spritze (Luerlock) • Pulverspatel • Becherglas zum Mischen der Substanzen 	<ul style="list-style-type: none"> • konz. Ammoniakwasser • blaues Kupfersulfat (s), (Xn, N) • Glaswolle • Aktivkohle, gekörnt • Indikatorpapier 	

Bau eines Atemschutzfilters für Ammoniak

Man gibt in eine Spritzenhülse etwas Glaswolle und darauf ein Gemisch aus Aktivkohle und blauem Kupfersulfat. Das Gemisch sollte die Spritzenhülse zu ca. 2/3 füllen. Die so präparierte Hülse wird mit Glaswolle verschlossen. Sie dient zum Verschließen von Reaktionsgefäßen, um ein Entweichen von Ammoniakgas zu verhindern.




Durchführung: Auf die Glaswolle legt man etwas angefeuchtetes Indikatorpapier und setzt einen Stempel auf.

Man zieht etwas ammoniakhaltige Luft aus einer Flasche mit konz. Ammoniakwasser durch den Filter. Zum Vergleich hält man feuchtes Indikatorpapier direkt über die Flasche.

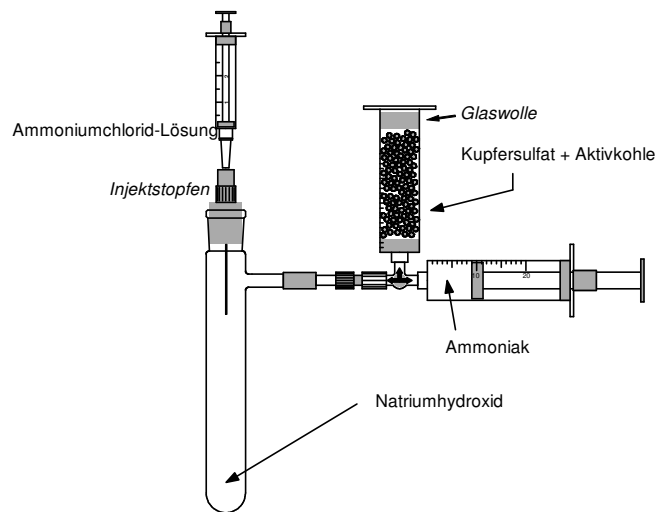
Beobachtung: Der Indikatorpapierstreifen färbt sich bei Verwendung eines Filters nicht. Ansonsten färbt sich der Streifen intensiv blau.

Auswertung: Bildung einer blauen Verbindung zwischen Kupfersulfat und Ammoniak. Ammoniak kann so unschädlich gemacht werden.

Darstellung von Ammoniak


Geräte:	Chemikalien:	Sicherheit:
<ul style="list-style-type: none">Gasentwickler aus medizintechnischen Geräten (s. Abb.)4 Spritzen (10 mL) mit Kanülen4 Gummistopfen	<ul style="list-style-type: none">Natriumhydroxid (C)konz. Ammoniumchlorid-Lösung (Xn)	

Versuchsaufbau:



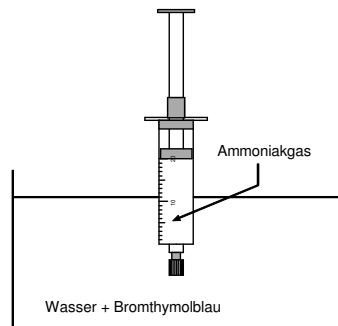
Durchführung: Man füllt in das Reaktionsgefäß einige Natriumhydroxidplättchen ein. Die Spritze wird mit der Ammoniumchlorid-Lösung gefüllt und die Apparatur zusammgebaut. Tropfenweise wird die Ammoniumchlorid-Lösung zu den Natriumhydroxidplättchen getropft. Der Dreiweghahn ist so geschaltet, dass die zunächst verdrängte Luft in das Adsorptionsröhrchen entweichen kann. Erst dann wird durch Drehen des Hahnes das Ammoniakgas mit der Spritze aufgefangen. Diese wird dann abgenommen (3-Wegehahnstellung ändern), mit einer Kanüle versehen und mit einem Gummistopfen verschlossen. Es werden insgesamt 4 Spritzen auf diese Art gefüllt.

Springbrunnenversuch – NH₃

Geräte: <ul style="list-style-type: none">• Kunststoffwanne (z.B. Tiefkühlbox, 075 L)• Spritze 20 mL mit NH₃(g) (T), (C) gefüllt	Chemikalien: <ul style="list-style-type: none">• Wasser• Bromthymolblau	Sicherheit: 
---	---	---

Durchführung:

- Man füllt die Kunststoffwanne mit Wasser und gibt Bromthymolblau als Indikator hinzu.
- Unter Wasser taucht wird die Spritze geöffnet. Gleichzeitig hält man den Stempel in seiner Position.
- Man zieht einen Tropfen Wasser in die Spritze.
-




Beobachtung:

- In der Spritze entsteht ein Unterdruck, der das Wasser in den Innenraum zieht.
- Die Spritze füllt sich fast vollständig mit Wasser.
- Der Indikator schlägt um.

Auswertung:

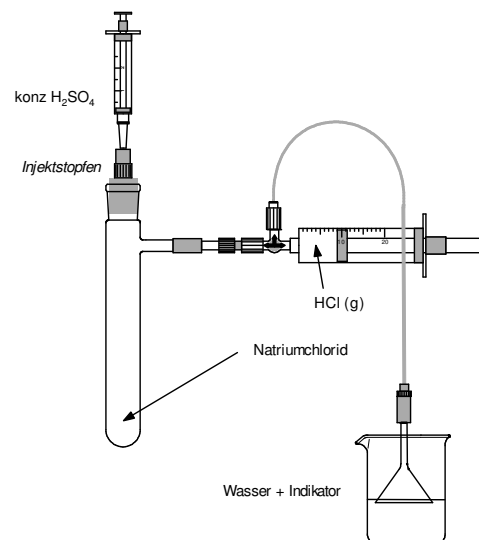
- In dem Wassertropfen löst sich fast das gesamte Gas. Dadurch entsteht der Unterdruck.
- Es bildet sich Ammoniakwasser, das den Indikator färbt.
- $\text{NH}_3(\text{g}) + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NH}_4\text{OH}$

Darstellung von HCl(g)

Geräte:	Chemikalien:	Sicherheit:
<ul style="list-style-type: none"> • RG SB 19 mit seitlichem Ansatz • 2,5 mL Spritze • Kanüle • Injektstופן • Gummistופן mit 1 Bohrung • Dreiwegehahn • Heidelberger Verlängerung • 2 Adapter mit Silikon Schlauch • mehrere 20 mL Spritzen • Blindstופן • kleiner Trichter • passendes Becherglas • Brenner 	<ul style="list-style-type: none"> • NaCl • konz. Schwefelsäure • dest. Wasser • Indikator 	

Durchführung:

- Die Apparatur wird entsprechend der Abbildung aufgebaut.
- Mit Hilfe einer Heidelberger Verlängerung, einem Adapter und einem kleinen Trichter wird die Apparatur abgeschlossen. Möglicherweise entweichendes HCl-Gas löst sich im Wasser.
- Konz Schwefelsäure wird langsam auf das NaCl getropft.
- Nachdem die überschüssige Luft entwichen ist, werden mehrere Spritzen mit HCl-Gas gefüllt und mit einem Blindstופן verschlossen.




Beobachtung:

- Es entweicht HCl-Gas. Falls die Entwicklung nicht heftig genug sein sollte, muss etwas erwärmt werden.

Auswertung:

- $\text{NaCl(s)} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{NaHSO}_4 + \text{HCl(g)}$

Ammoniumchlorid

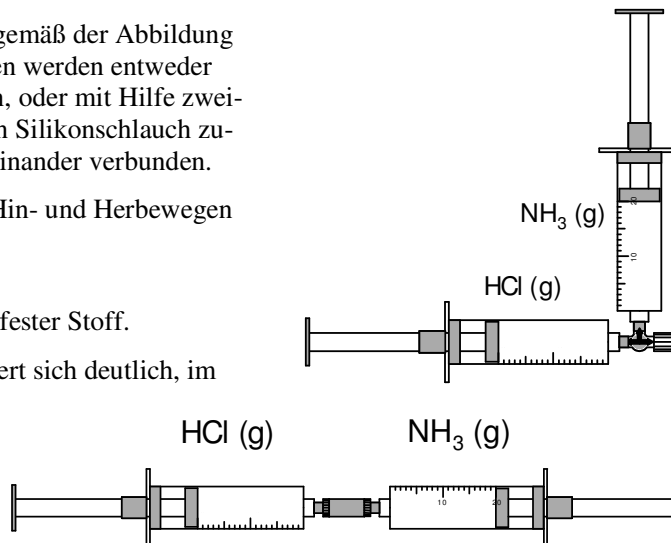
Geräte: <ul style="list-style-type: none"> • Dreiwegehahn • 2 Adapter • Silikonschlauch 	Chemikalien: <ul style="list-style-type: none"> • 20 mL-Spritze mit $\text{NH}_3(\text{g})$ gefüllt • 20 mL-Spritze mit $\text{HCl}(\text{g})$ gefüllt • 	Sicherheit:  Entsorgung: Abfluss
---	--	--

Durchführung:

- Man baut die Apparatur gemäß der Abbildung zusammen. Beide Spritzen werden entweder über einen Dreiwegehahn, oder mit Hilfe zweier Adapter, die über einen Silikonschlauch zusammengefügt sind, miteinander verbunden.
- Die Gase werden durch Hin- und Herbewegen vermischt.

Beobachtung:

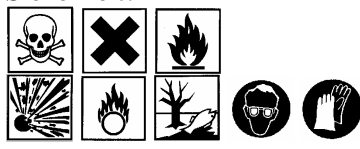
- Es bildet sich ein weißer fester Stoff.
- Das Gasvolumen verringert sich deutlich, im Idealfall verschwindet es ganz.
- Die Spritzen erwärmen sich.



Auswertung:

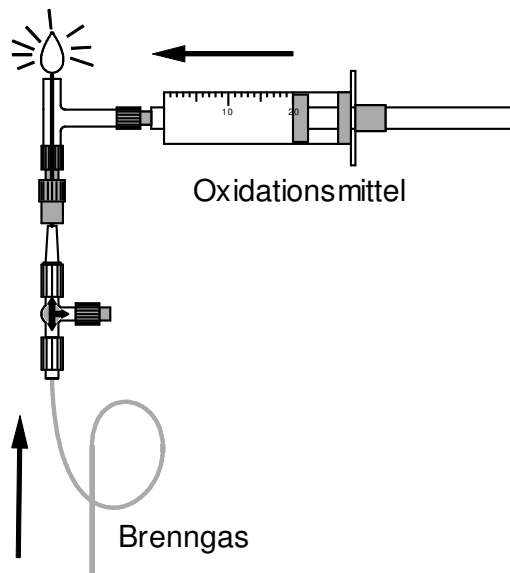
- $\text{HCl}(\text{g}) + \text{NH}_3(\text{g}) \rightarrow \text{NH}_4\text{Cl}(\text{s}) + \text{E}$
- 1 mol HCl reagiert mit 1 mol NH_3 (gleiche Volumina enthalten gleich viele Teilchen, Avogadro)

Daniellscher Hahn

Geräte: <ul style="list-style-type: none"> • T-Stück mit 2 aufgeklebten Adaptern • Injektstoppfen • lange Kanüle • DWH • Blindstopfen • Heidelberger Verlängerung 	Chemikalien: <ul style="list-style-type: none"> • Brenngas • Oxidationsmittel 	Sicherheit: 
--	--	--

Durchführung:


- Auf das T-Stück wird ein Injektstoppfen geschraubt
- Eine entsprechend lange Kanüle wird durch das Septum gestoßen und bis über den Rand des T-Stückes geschoben
- Ein DWH mit einem seitlichen Blindstopfen (er wirkt so wie ein Zweiwegehahn) wird aufgesetzt
- Über eine Heidelberger Verlängerung wird die Verbindung zu einem Brenngasreservoir (z.B. Luftballon) geschaffen



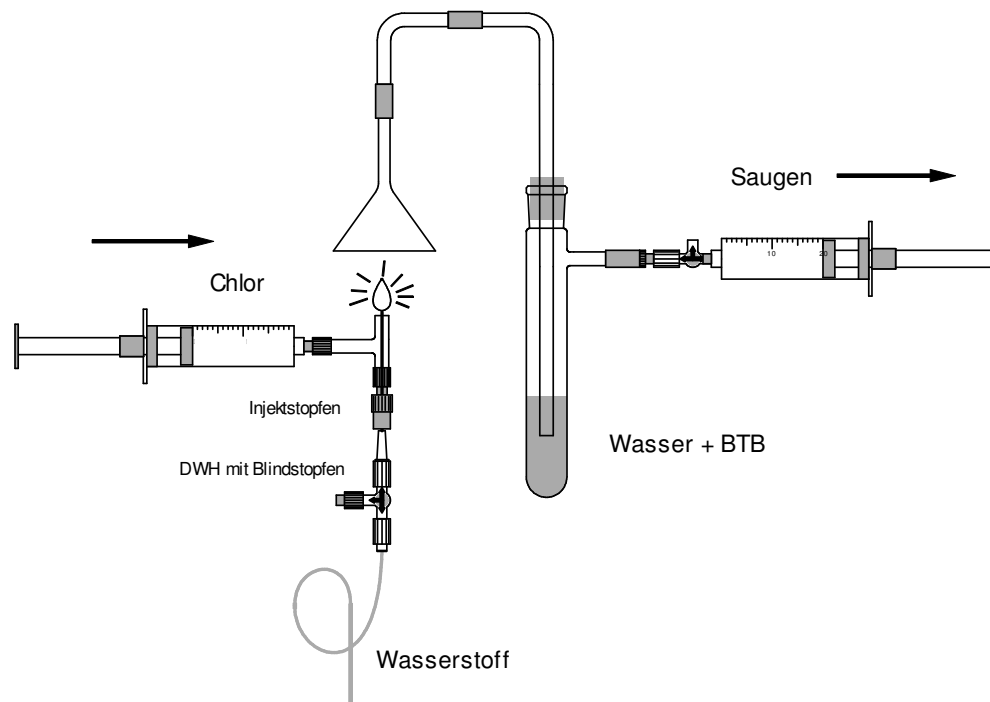
- Man spült die Apparatur mit dem Brenngas bevor man das Gas entzündet
- Danach lässt man vorsichtig das Oxidationsmittel zuströmen
- Die Reaktionsprodukte werden auf unterschiedlichste Arten nachgewiesen

Brenngas	Oxidationsmittel	Reaktionsprodukt
Wasserstoff	Sauerstoff	Wasser
Wasserstoff	Chlor	Chlorwasserstoffgas
Wasserstoff	Brom	Bromwasserstoffgas
Butan	Sauerstoff	CO ₂ und H ₂ O

Chlorwasserstoff aus den Elementen

Geräte:	Chemikalien:	Sicherheit:
<ul style="list-style-type: none"> • Saugapparatur • Daniellscher Hahn • 20 ml Spritze • Adapter mit Silikon-schlauch • Silikonschläuche • 2 Reagenzglas mit seitlichem Ansatz • Dreiweghahn • Luftballon mit H₂ • Trichter 	<ul style="list-style-type: none"> • Wasserstoff (F+) • Chlor (T) • Bromthymolblau • dest. Wasser • Natriumcarbonat 	

Durchführung: Man baut die Apparatur gemäß der Abbildung auf. Dabei ist darauf zu achten, dass die Wasser/BTB –Füllung durch Zugabe von sehr wenig Natriumcarbonat blau gefärbt ist.




- Man spült die Apparatur mit Wasserstoff, bevor man ihn an der Kanüle entzündet
- Mit leichtem Druck fügt man Chlorgas hinzu
- Gleichzeitig zieht man an der Spritze, die zum Saugen dient

Beobachtung:

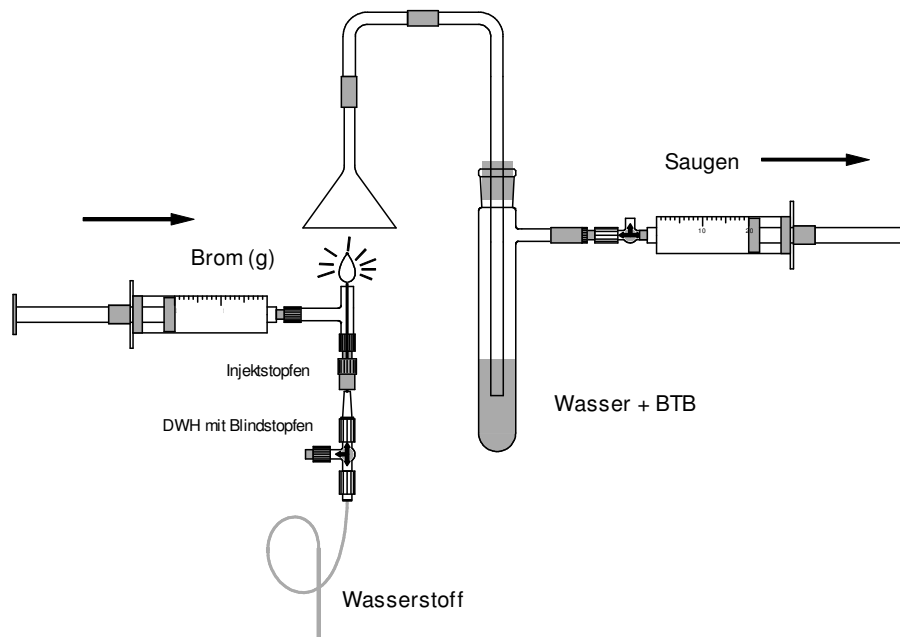
- Die zunächst nicht sichtbare Flamme färbt sich fahlblau
- Die BTB-Lösung färbt sich gelb

Auswertung: $\text{H}_2 + \text{Cl}_2 \rightarrow 2 \text{HCl(g)}$ $\text{HCl(g)} \rightarrow \text{HCl(aq)}$

Bromwasserstoff aus den Elementen

Geräte:	Chemikalien:	Sicherheit:
<ul style="list-style-type: none"> • Saugapparatur • Daniellscher Hahn • 20 ml Spritze • Adapter mit Silikon-schlauch • Silikonschläuche • 2 Reagenzglas mit seitlichem Ansatz • Dreiweghahn • Luftballon mit H₂ • Trichter 	<ul style="list-style-type: none"> • Wasserstoff (F+) • Brom (T+) • Bromthymolblau • dest. Wasser • Natriumcarbonat 	

Durchführung: Man baut die Apparatur gemäß der Abbildung auf. Dabei ist darauf zu achten, dass die Wasser/BTB –Füllung durch Zugabe von sehr wenig Natriumcarbonat blau gefärbt ist.




- Man spült die Apparatur mit Wasserstoff, bevor man ihn an der Kanüle entzündet
- Man zieht Bromgas aus dem Gasraum einer Bromflasche in eine Spritze
- Mit leichtem Druck fügt man Bromgas hinzu
- Gleichzeitig zieht man an der Spritze, die zum Saugen dient

Beobachtung:

- Die zunächst nicht sichtbare Flamme färbt sich fahlblau
- Die BTB-Lösung färbt sich gelb

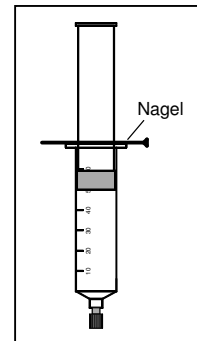
Auswertung:
$$\text{H}_2 + \text{Br}_2 \rightarrow 2 \text{HBr(g)} \quad \text{HBr(g)} \rightarrow \text{HBr(aq)}$$

Teilchenzahl in einem Gasvolumen

Geräte: <ul style="list-style-type: none"> • 50 mL-Spritze mit Querloch im Stempel bei 50 mL • Blindstopfen • Nagel • Waage (0,001 g genau) 	Chemikalien: <ul style="list-style-type: none"> • Gase in Druckgasflaschen (CO₂, N₂, O₂) • He im Luftballon 	Sicherheit: 
--	---	--

Durchführung: Die Spritze wird mit dem Blindstopfen verschlossen und durch Herausziehen des Stempels ein Vakuum erzeugt. Bei der Markierung 50 mL wird der Stempel durch einen Nagel, der durch den Stempel geschoben wird, fixiert. Sodann wird die Masse bestimmt. Danach werden 50 mL der ausstehenden Gase eingefüllt und die Masse erneut bestimmt (Nagel nicht vergessen!).

Beobachtung: Aus der Differenz erhält man die Masse von 50 mL des jeweiligen Gases.




Messwerte:

	Gasart	Formel	m/g	V/mL	Molekülmasse/u	N
1	Stickstoff	N ₂	0,049	49	28	1,05 · 10 ²¹
2	Kohlendioxid	CO ₂	0,083	49	44	1,1 · 10 ²¹
3	Sauerstoff	O ₂	0,062	49	32	1,2 · 10 ²¹
4	Helium	He	0,006	49	4	0,9 · 10 ²¹

Rechengang: (Beispiel Stickstoff)

$$N = \frac{m}{m(1 - \text{Molekül})} = \frac{0,049 \text{ g}}{28 \text{ u}} = \frac{0,049}{28 \cdot \frac{1}{6 \cdot 10^{23}}} = 1,05 \cdot 10^{21}$$

Molare Masse von Mg (einfach)

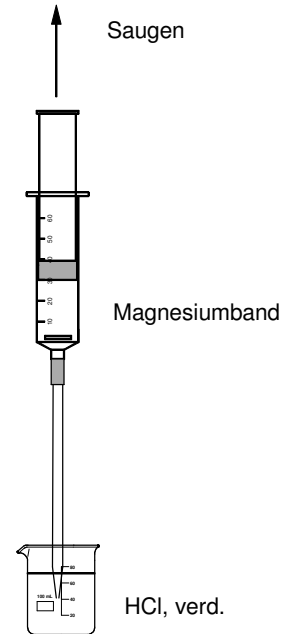
Geräte:	Chemikalien:	Sicherheit:
<ul style="list-style-type: none"> • Spritze 50 mL • Glasrohr mit Spitze • Silikonadapter • Lineal • Becherglas 	<ul style="list-style-type: none"> • verd. Salzsäure • Mg-Band 	

Durchführung:

- Man baut die Apparatur gemäß der Abbildung zusammen
- In die leere Spritze gibt man ein ca. 3 – 4 cm langes Mg-Band; die Länge des Bandes muss mit dem Lineal genau bestimmt werden (1 cm = 10 mg)
- Das Becherglas wird mit ver. Salzsäure gefüllt
- Der Stempel wird in die Null-Position gebracht und nunmehr zügig Salzsäure in die Spritze gezogen
-

Beobachtung:

- Der entwickelnde Wasserstoff verdrängt die Salzsäure (falls notwendig Säure nachziehen!)
- Nach dem Abklingen der Reaktion drückt man überschüssige Salzsäure in das Becherglas zurück (wie weit?)
- Das Wasserstoffvolumen kann abgelesen werden.



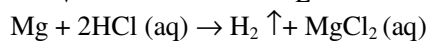
Messwerte:

- $m(\text{Mg}) = 37 \text{ mg}$
- $V(\text{H}_2) = 36 \text{ mL}$
- $\rho = (\text{H}_2) = 0,083 \text{ g/L}$

Auswertung:

Bestimmung der Wasserstoffmasse:

$$\rho = \frac{m}{V} \rightarrow m = \rho \cdot V = 0,083 \frac{\text{g}}{\text{L}} \cdot 0,036 \text{ L} = 0,003 \text{ g}$$




$$\begin{array}{ccc} x & & 2 \text{ u} \\ 0,036 \text{ g} & & 0,003 \text{ g} \end{array}$$

$$\frac{x}{0,036 \text{ g}} = \frac{2 \text{ u}}{0,003 \text{ g}} \rightarrow x = 24 \text{ u}$$

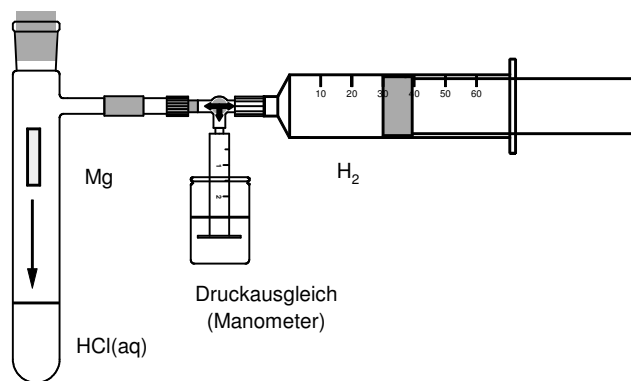
$$\text{d.h. } M(\text{Mg}) = 24 \text{ g/mol}$$

Atommasse von Mg

Geräte:	Chemikalien:	Sicherheit:
<ul style="list-style-type: none"> • Reagenzglas mit seitlichem Ansatz (SB19) • Gummistopfen (SB19) • Spritze 50 mL • Dreiwegehahn • Adapter (8mm) • Spritzenhülse 2 mL (Luer) • Rollrandglas • 	<ul style="list-style-type: none"> • verd. Salzsäure • Mg-Band • 	

Durchführung:

- Man baut die Apparatur gemäß der Abbildung zusammen
- Die Spritzenhülse dient zusammen mit dem Rollrandglas als Manometerersatz
- Ein Stück des Mg-Bandes wird abgeschnitten und ausgewogen
- Man wirft das Mg-Band in das RG verschließt die Apparatur sofort.
- Nachdem die Reaktion abgeklungen ist, wird mit Hilfe des Dreiwegehahns das Manometer zugeschaltet, auf Druckausgleich gestellt und das Wasserstoffvolumen abgelesen.
-



Tipp:

1 cm Mg-Band hat ziemlich genau die Masse von 10 mg und liefert ein Wasserstoffvolumen von 10 mL

Messwerte:

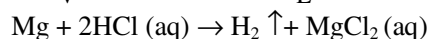
- $m(\text{Mg}) = 37 \text{ mg}$
- $V(\text{H}_2) = 36 \text{ mL}$

Auswertung:

$$\rho = (\text{H}_2) = 0,083 \text{ g/L}$$

Bestimmung der Wasserstoffmasse:

$$\rho = \frac{m}{V} \rightarrow m = \rho \cdot V = 0,083 \frac{\text{g}}{\text{L}} \cdot 0,036 \text{ L} = 0,003 \text{ g}$$



$$\begin{array}{ccc} x & & 2 \text{ u} \\ 0,036 \text{ g} & & 0,003 \text{ g} \end{array}$$

$$\frac{x}{0,036 \text{ g}} = \frac{2 \text{ u}}{0,003 \text{ g}} \rightarrow x = 24 \text{ u}$$

Bestimmung des Löslichkeitsproduktes von PbI_2

Geräte:	Chemikalien:	Sicherheit:
<ul style="list-style-type: none"> Pro Gruppe 9 Schraubkappengefäße mit Septum (4 mL) 2 mL-Spritze mit Kanüle Hilfreich: Eppendorf-Pipette (1 mL) Raster zur Anordnung der Lösungen 	<ul style="list-style-type: none"> Bleinitratlösungen $c = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l}$ $c = 1 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l}$ $c = 2 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l}$ Kaliumiodidlösungen $c = 1 \cdot 10^{-2} \text{ mol/l}$ $c = 1,4 \cdot 10^{-2} \text{ mol/l}$ $c = 2 \cdot 10^{-2} \text{ mol/l}$ 	

Vorbemerkung: Bleinitratlösungen sind reproduktionstoxisch [R_{E1} (frucht-schädigend) und R_{E3} (keimzellenschädigend)]. Auch durch Verdünnung der Lösungen kann man das Gefahrenpotenzial bei diesem Stoff nicht herabsetzen. Es sind Experimente nur im Lehrerversuch erlaubt (Soester-Liste 2001). Im folgenden wird ein Experiment vorgestellt, das nach Meinung des Autors in Schülerübungen durchgeführt werden kann, wenn der Lehrer die Bleinitratlösungen vorlegt und die Schüler nur die KI-Lösung zuspritzen, da sie so mit der Bleinitratlösung nicht in Berührung kommen.

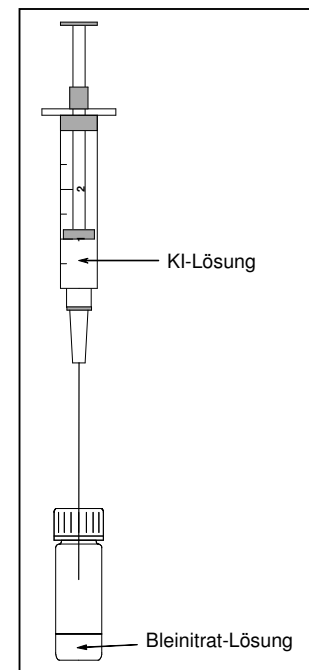
Durchführung: Zur Füllung werden 9 gereinigte Schraubkappengefäße mit Septum in die Felder des Rasters gestellt und durch den Lehrer mit je 1 ml der entsprechenden Bleinitratlösung gefüllt. Dafür wird zweckmäßigerweise die Eppendorf-Pipette verwendet. Mit Hilfe der Spritze durchsticht man das Septum und injiziert man vorsichtig 1 mL der entsprechenden KI-Lösung. Dieser Vorgang kann durch Schüler erfolgen. Man beginnt mit der geringsten Konzentration. Hält man diese Reihenfolge ein, so muss die Spritze zwischenzeitlich nicht gereinigt werden!

Beobachtung: Nach einigen Minuten bestimmt man, in welchen Gläsern ein gelber, manchmal perlmuttartig glänzender Niederschlag aufgetreten ist und notiert das Ergebnis. Besonders gut sind kleine Einzelkristalle im auftreffenden Licht vor dunklem Hintergrund unter leichtem Schütteln zu erkennen.


Auswertung: Berechnen Sie das Löslichkeitsprodukt des PbI_2 . Beachten Sie, dass sich die Konzentrationen beim Zusammengießen der Lösungen verändern. Der Literaturwert beträgt: $L_p(\text{PbI}_2) = 10^{-7,86} \text{ mol}^3/\text{l}^3 = 0,138 \cdot 10^{-7} \text{ mol}^3/\text{l}^3$ bei 20°C .

Raster: x = Fällung von PbI_2

c(KI) in mol/L	c($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$) in mol/L			
		$2 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$0,5 \cdot 10^{-3}$
$2 \cdot 10^{-2}$		x	x	-
$1,4 \cdot 10^{-2}$		x	?	-
$1 \cdot 10^{-2}$		-	-	-



Säuregehalt von Speiseessig

Geräte: <ul style="list-style-type: none"> • 10 mL Pipette • 5 mL Pipette • 2 Pipettierhilfen (20 mL-Spritze + Silikonverbinder) • Erlenmeyerkolben, weit, 50 mL • Stativplatte mit 2 Halterungen 	Chemikalien: <ul style="list-style-type: none"> • Phenolphthalein als Indikator • Natronlauge ($c = 1$ mol/L) • Haushaltsessig 	Sicherheit: 
---	---	--

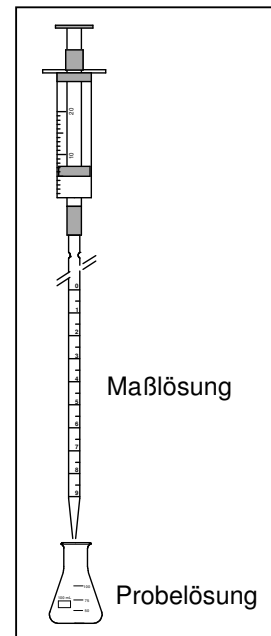
Auf den Flaschen für Haushaltsessig findet sich eine Angabe zum Essigsäuregehalt (Angabe als Massenanteil in %). Diese Angabe ist gesetzlich vorgeschrieben und wird von Lebensmitteluntersuchungsämtern regelmäßig überwacht.

Durchführung:

- Fülle 5 mL des Speiseessigs mit Hilfe einer Pipette in den Erlenmeyerkolben.
- Gib 3 Tropfen Phenolphthalein hinzu
- Füge mit Hilfe der Pipette so lange Natronlauge hinzu bis eine leichte Rotfärbung zu erkennen ist
- Notiere den Verbrauch an Natronlauge

Hinweise: Stoffmengenkonzentration: $c = \frac{n}{V}$ oder $n = c \cdot V$
 Massenanteil: $w = \frac{m(\text{Essigsäure})}{\text{Gesamtmasse}} \cdot 100\%$
 $M(\text{Essigsäure}) = 60 \text{ g/mol}$
 Die Dichte des Essigs sei 1 g/mL

Auswertung: s. nächste Seite



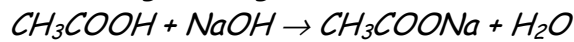
Auswertung:**a) Stoffmengenkonzentration:**

Gegeben: $V_{Ls}(CH_3COOH) = 5 \text{ mL}$
 $c(NaOH) = 1 \text{ mol/L}$

Gemessen: $V_{Ls}(NaOH) = 4,8 \text{ mL}$

Gesucht: $c(CH_3COOH)$

Reaktionsgleichung:



Stoffmengenverhältnis:

$$n(CH_3COOH) : n(NaOH) = 1 : 1 \quad \text{d.h.} \quad n(CH_3COOH) = n(NaOH)$$

mit $c = n/V$ bzw. $n = c \cdot V$ erhält man:

$$c(CH_3COOH) \cdot V_{Ls}(CH_3COOH) = c(NaOH) \cdot V_{Ls}(NaOH)$$

$$c(CH_3COOH) = \frac{c(NaOH) \cdot V_{Ls}(NaOH)}{V_{Ls}(CH_3COOH)} = \frac{1 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \cdot 4,8 \text{ mL}}{5 \text{ mL}} = 0,96 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

b) Massenanteil:

Das obige Ergebnis heißt in Worten:

In 1L Essigsäure sind 0,96 mol reine Essigsäure enthalten.


Mit $m = n \cdot M = 0,96 \text{ mol} \cdot 60 \text{ g/mol}$ ergibt sich für die Masse der reinen Essigsäure

$$m(\text{Essigsäure}) = 57,6 \text{ g}$$

1L Speiseessig hat eine Masse von 1000 g, da die Dichte 1g/mL beträgt. Somit ergibt sich:

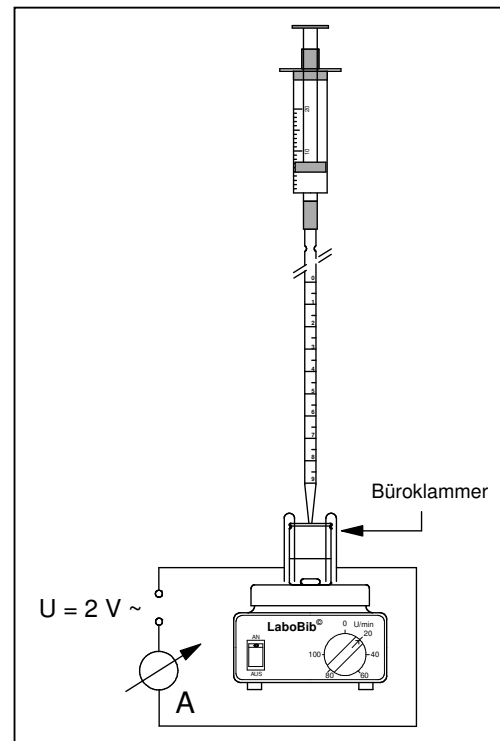
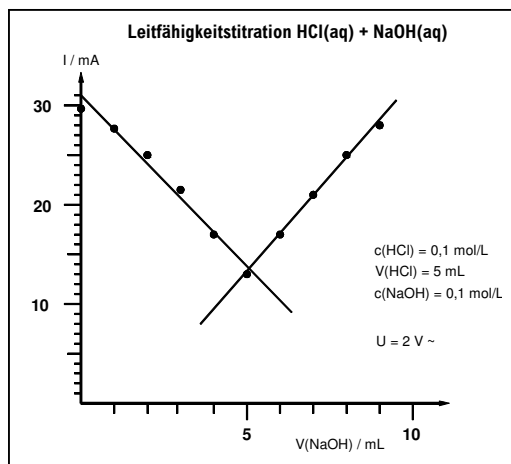
$$w = \frac{m(\text{Essigsäure})}{m(\text{Probe})} \cdot 100\% = \frac{57,6 \text{ g}}{1000 \text{ g}} \cdot 100\% = 5,76\%$$

Leitfähigkeitstiteration

Geräte: <ul style="list-style-type: none"> • Messpipette (10 mL) • 20 mL-Spritze • Silikon Schlauchadapter • Rollrandglas • 2 Aktenklammern (5cm) • Magnetrührer • Rührfisch • Messschnüre • 2 Miniaturkrokodilklemmen mit Messschnur • Amperemeter (30 mA) • Spannungsquelle (2V ~) 	Chemikalien: <ul style="list-style-type: none"> • Salzsäure $c(\text{HCl}) = 0,1 \text{ mol/L}$ • Natronlauge $c(\text{NaOH}) = 0,1 \text{ mol/L}$ (Xi) 	Sicherheit: 
--	--	---

Durchführung:


- Die Apparatur zur Bestimmung der Leitfähigkeit wird gemäß der Abbildung zusammengebaut.
- Im Rollrandglas befinden sich 5 mL Salzsäure.
- Es werden jeweils 1mL Natronlaugeportionen hinzugefügt und die Stromstärke gemessen.



Messergebnisse:

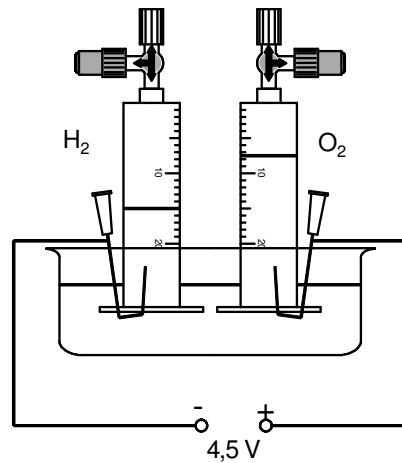
Zugabe an NaOH	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
V(NaOH)/mL										
Stromstärke I/mA	29,7	27,8	25	21,5	17	13	17	21	25	28

Elektrolyse von Wasser

Geräte:	Chemikalien:	Sicherheit:
<ul style="list-style-type: none">• 2 Spritzenhülsen• 2 DWH• 2 Injektstopfen• 2 Elektroden aus Kanülen gefertigt• 4,5 V Flachbatterie• 2 Kabel mit Krokodilanschlüssen• Kristallisierschale o.ä.	<ul style="list-style-type: none">• Schwefelsäure, ca. 0,5 molar	

Durchführung:

- Man baut die Apparatur gemäß der Abbildung zusammen.
- Man füllt die Spritzen, indem man mit einer zusätzlichen (nicht abgebildet) Spritze über einen f-f-Adapter die Schwefelsäure in die Hülsen zieht.
- Man elektrolysiert mit 4,5 V.




Beobachtung:

- Es entwickeln sich an den Elektroden Gase, die als Wasserstoff und Sauerstoff identifiziert werden.
- Die Schwefelsäure färbt sich u.U. am + -Pol leicht bräunlich, da hier eine Reaktion mit dem Edelstahl der Kanülen einsetzt

Auswertung:



Springbrunnen (NH₃)

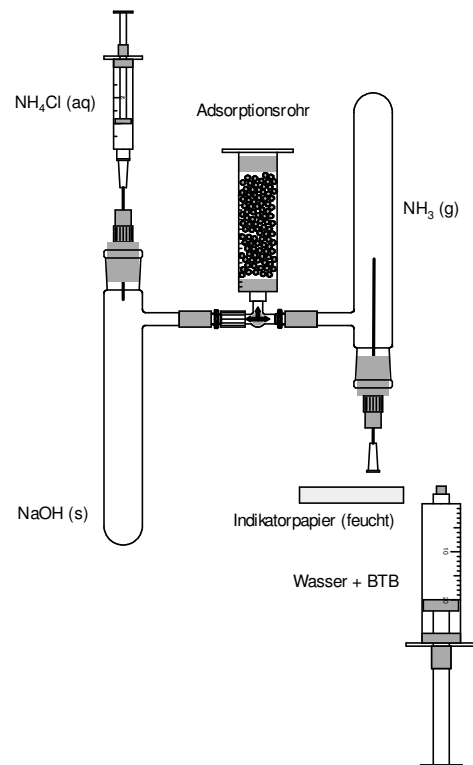
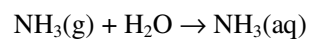
Geräte:	Chemikalien:	Sicherheit:
<ul style="list-style-type: none"> • Spritzen (2,5 mL, 20 mL) • mittellange Kanüle • lange Kanüle • Adsorptionsrohr mit Aktivkohle und Kupfersulfat • 2 RG mit Stopfenbett und seitl. Ansatz • DWH • 2 Stopfen durchbohrt • 2 Injektstopfen • 4 Adapter • Blindstopfen 	<ul style="list-style-type: none"> • konz. Ammoniumchloridlösung • NaOH fest (c) • Indikatorpapier • dest Wasser • BTB-Lösung (gelb) 	

Durchführung:

- Die Apparatur wird gemäß der Abbildung aufgebaut
- Nach Verdrängen der Luft durch das NH₃-Gas (Kontrolle mit Indikatorpapierstreifen) wird das rechte RG abgenommen und mit einem Blindstopfen verschlossen
- Die mit Wasser und gelber BTB-Lösung gefüllte 20 mL-Spritze wird aufgesetzt und ein Wassertropfen in das RG gedrückt

Beobachtung: „Springbrunnen“

Auswertung:



Normalpotenzial von Zink

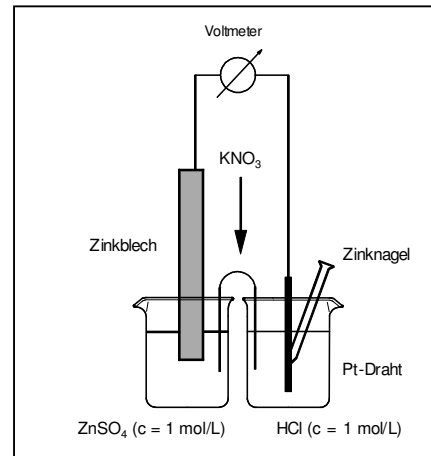
Geräte:	Chemikalien:	Sicherheit:
<ul style="list-style-type: none"> • 2 Bechergläser (50 mL) • Platindraht • Voltmeter • Filtrierpapier für Salzbrücke, streifenförmig • 2 Kabel 	<ul style="list-style-type: none"> • Salzsäure ($c = 1 \text{ mol/L}$) • Zinksulfatlösung ($c = 1 \text{ mol/L}$) • verzinkter Nagel • KNO_3-Lösung in Tropfflasche 	

Durchführung:

- Die Messapparatur wird gemäß der Abbildung aufgebaut.
- Das Filtrierpapier wird mit der KNO_3 -Lösung befeuchtet. So entsteht eine Salzbrücke.
- Man berührt den Pt-Draht in der Salzsäure mit dem Zn-Nagel. Zn reagiert mit der HCl , wobei die Entladung der H^+ -Ionen bevorzugt am Pt-Draht erfolgt. So entsteht eine NWE
- Man entfernt den Nagel und liest die Spannung ab.

Beobachtung:

- Es bildet sich eine Spannung von 0,76 V aus.
- - Pol ist das Zn-Blech, + Pol die Normalwasserstoffelektrode



Auswertung:

- $U = E^{\circ}(+) - E^{\circ}(-)$
- $0,76 \text{ V} = 0 \text{ V} - E^{\circ}(-)$
- $E^{\circ}(-) = -0,76 \text{ V}$
- Das Normalpotenzial von Zink beträgt $E^{\circ}(\text{Zn}/\text{Zn}^{2+}) = -0,76 \text{ V}$

Literaturangaben:

- HTML-Bearbeitung: Dr. Brand, Immanuel-Kant-Gymnasium, Bad Oeynhausen

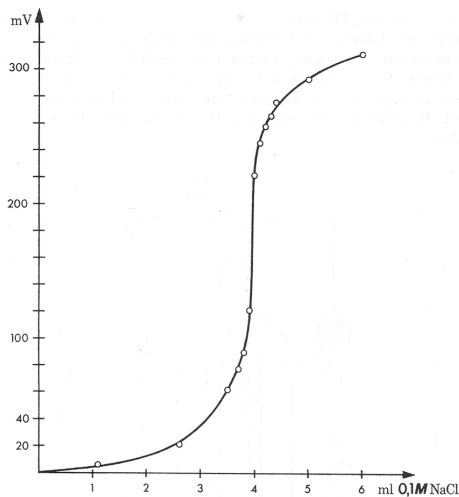
Potentiometrische Titration ($\text{AgNO}_3 - \text{NaCl}$)

Geräte:	Chemikalien:	Sicherheit:
<ul style="list-style-type: none"> • 2 Bechergläser , weit, 100 mL • 2 Silberelektroden • Salzbrücke mit ges. NH_4Cl • Bürette mit 0,1 mL-Teilung (25 mL) oder Pipette mit Pipettierhilfe • Digitalmultimeter • Messschnüre 	<ul style="list-style-type: none"> • Silbernitratlösung (0,01 mol/L) • Natriumchloridlösung (0,1 mol/L) 	

Durchführung:

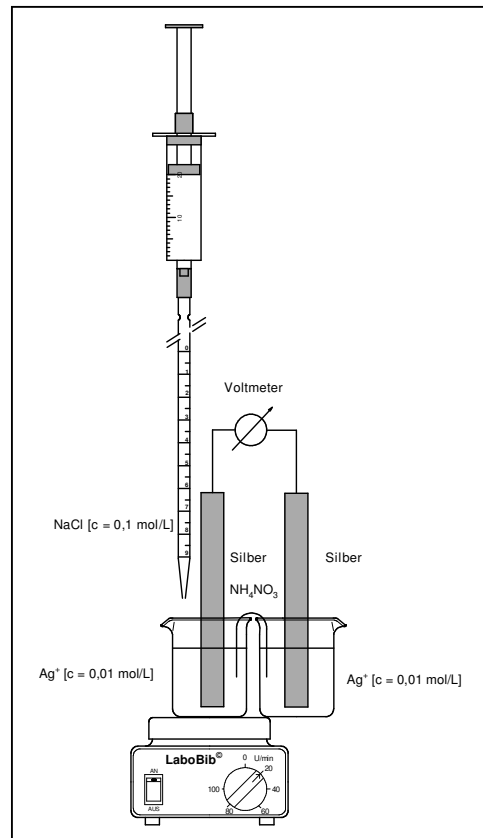
- Die Apparatur wird gemäß der Abbildung aufgebaut.
- In beiden Bechergläsern werden je 40 mL der Silbernitratlösung (0,01 mol/L) vorgelegt.
- Man lässt aus der Pipette die NaCl-Lösung (0,1 mol/L) zufließen und bestimmt die resultierende Spannung.

Beobachtung:



Messwerte:

V(NaCl) in mL	1,0	2,0	3,0	3,5	3,7	3,8	3,9	4,0	4,1	4,2	4,3	4,5	5,0	6,0	7,0
U/mV															



Ergebnis:

Die Potentialkurve, die man bei Titration einer Silbersalzlösung mit einer Natriumchloridlösung (Maßlösung) erhält, steigt bei Annäherung an den Äquivalenzpunkt steil an und wechselt dabei ihre Richtung. Der Äquivalenzpunkt liegt im Wendepunkt der Kurve. Die Abszisse des Wendepunktes gibt die der Silbersalzlösung äquivalente Menge der Maßlösung an.

8 Bezugsquellen

Gegenstand	Bezugsquelle
Spritzen Kanülen Dreiwegehähne Blindstopfen Injektstopfen Heidelberger-Verlängerungen Butterflys	Dispomed Am Spielacker 10-1 63571 Gelnhausen-Hailer Tel.: 06051-9623-0 FAX: 06051-9623-50 http://www.dispomed.de eMail: info@dispomed.de B. Braun Petzold Schwarzenberger Weg 73-79 34212 Melsungen Tel.: 05661-71-0 FAX: 05661-71-3550 http://www.bbraun.de
Flachgreifermagnete	Peter Welter, Bonner-Ring 49-51 50374 Erftstadt Tel.: 02235-95521-0 FAX: 02235-72875 http://www.magnete-welter.de
Adapter	Pieper Filter GmbH Borsigstr. 3 26160 Bad Zwischenahn Tel.: 04403-949390 Fax: 04403-949391
Federklammern für Stativhalterungen	Opitec Hobbyfix Hohlweg 1 97232 Giebelstadt Tel.: 01805-905905 Fax: 09334-941194
Silikonschlauch d(innen) = 6mm; d(aussen) = 8 mm	Carl Roth Schoemperlenstr. 1-5 76185 Stuttgart www.Carl-Roth.de
Kleine Flaschen (4mL) mit Septum	Carl Roth Schoemperlenstr. 1-5 76185 Stuttgart www.Carl-Roth.de
Metallplatten mit Pulverbeschichtung	Örtlicher Fachhandel
Holz, Schrauben etc.	Örtlicher Baumarkt