

Acetate – Salze für den Alltagsgebrauch

Hubert Giar, Gießen

Niveau: Sek. II

Dauer: 6 Unterrichtsstunden (Doppelstunden)

Kompetenzen: Die Lernenden können ...

- naturwissenschaftliche Definitionen, Regeln, Gesetzmäßigkeiten und Theorien erarbeiten und anwenden und damit Eigenschaften und Reaktionsverhalten von Stoffen mit deren Strukturen in Beziehung setzen und Reaktionsgleichungen formulieren.
- fachliche Kenntnisse konzeptbezogen darstellen, strukturieren und vernetzen und damit detailliertes Fachwissen in größere Zusammenhänge einordnen.
- chemische Experimente und Untersuchungen durchführen, auswerten und die Ergebnisse darstellen und interpretieren.
- fachlich kommunizieren und argumentieren und damit Skizzen und Versuchsbeschreibungen in konkrete Handlungen umsetzen sowie Versuchsergebnisse für die Verifizierung von Sachverhalten nutzen.
- fachbezogen Sachverhalte in naturwissenschaftlichen Zusammenhängen sachgerecht beurteilen und bewerten, auch indem sie den Einsatz und die Wirkung von Stoffen anhand ihrer Eigenschaften in der alltäglichen Anwendung reflektieren.

Der Beitrag enthält Materialien für:

- | | | |
|----------------------|------------------|-------------------------------|
| ✓ Projektunterricht | ✓ Übungsaufgaben | ✓ Schülerversuche |
| ✓ Abiturvorbereitung | ✓ Lehrerversuche | ✓ differenzierte Lernangebote |

Hintergrundinformationen

Unter dem übergeordneten Thema „Acetate“ werden hier Materialien zu den Basis-konzepten Struktur-Eigenschaft, Donator-Akzeptor, Energie und Gleichgewicht vorge-stellt, wie sie auch in den Abiturprüfungsanforderungen aller Bundesländer enthalten sind. Die Themenbereiche sind dabei insbesondere Protolysegleichgewichte, Puffer-systeme, Reaktionsenthalpie, Färbeverfahren, chemische Zusatzstoffe in Lebensmit-teln sowie Brennstoffe und mobile Energiewandler. Der übergeordnete Begriff vereint dabei nicht nur diese Themenfelder, sondern stellt sie für ein Lernen im Kontext in einen unmittelbaren Alltagsbezug.

In den ersten beiden Arbeitsblättern geht es um die Herstellung von Natriumacetat-Trihydrat und um dessen Analyse mit der Bestimmung des Kristallwassers als beson-deren Aspekt. Für das Verständnis des exothermen Lösungs- bzw. Schmelzvorganges und der endothermen Rückreaktion ist dieses Kristallwasser relevant, ebenso für die Bestimmung der entsprechenden Reaktionsenthalpie. Die Erarbeitung der theoretischen Grundlagen zur Neutralisation der Essigsäure und zur Titration des Natriumace-tats mit Salzsäure ist hier auch die Voraussetzung für die folgenden Anwendungen zur Säureregulierung in Lebensmitteln und pharmazeutischen Produkten.

Die Synthese weiterer Acetate, wie Calcium- und Aluminiumacetat, sind mit einfachen Versuchen und ohne den Einsatz von Gefahrstoffen möglich und liefern Produkte, deren Anwendungspotenzial sofort überprüfbar ist. Dabei geht es um die Herstellung eines weiteren mobilen Energieträgers, um die Herstellung eines pharmazeutischen Produktes und um das Beizen und Färben ausgewählter Textilien.

II/H

Hinweise zur Didaktik und Methodik

Jedes Arbeitsblatt enthält ein oder mehrere Experimente in Form von Anleitungen für Schülerversuche. Nur wenige Gefahrstoffe, und wenn, dann mit geringem Gefährdungspotenzial, kommen zum Einsatz. Oft werden auch Stoffe des Alltagsgebrauchs eingesetzt. Zu den Versuchsanleitungen sind Chemikalienlisten und Gerätelisten angegeben. Für die Arbeitsblätter wurden Aufgaben mit schon fertigen Versuchsergebnissen ausgewählt. Damit soll eine Bearbeitung des Arbeitsblattes auch dann möglich sein, wenn die Zeit nicht reicht und die Versuche einmal nicht durchgeführt werden können. In den einzelnen Aufgabenteilen werden die Beschreibungen, Auswertungen oder Interpretationen der Versuche strukturiert. Da öfter im Voraus ermittelte Ergebnisse für die Lösungswege weiterer Aufgaben notwendig sind, sollten die Aufgaben eines Arbeitsblattes in der vorgegebenen Reihenfolge bearbeitet werden. Das ist mit den Angaben, den ermittelten Messwerten und natürlich mit der unterrichtlichen Basis zum jeweiligen Thema auch ohne weitere Hilfen möglich.

In drei Arbeitsblättern wird die Herstellung der Acetate von Natrium (**M 1**), von Calcium (**M 3**) und von Aluminium (**M 6**) behandelt. Es folgt die Synthese von Aceton aus Calciumacetat (**M 4**). Die Verwendung von Natriumacetat-Trihydrat und Calciumacetat als mobile Energieträger (**M 2**, **M 4**) und als Lebensmittelzusatzstoffe (**M 5**) werden thematisiert und schließlich das Aluminiumhydroxiddiacetat als wesentlicher Inhaltsstoff von essigsaurer Tonerde (**M 7**).

Durchführung

In den Lösungen sind zusätzlich tatsächliche Versuchsergebnisse angegeben. Diese können anstelle selbst ermittelter Werte eingesetzt werden. Grundsätzlich steigt bei den Aufgaben eines Arbeitsblattes der Anspruch von Frage zu Frage an. Schließlich sind auch Aufgaben mit weiterführenden Aspekten aufgenommen. Der Lösungsteil enthält zu jeder Aufgabe einen Lösungsvorschlag.

Hinweise zum fachübergreifenden Unterricht

Projekte zu den Themen Energie und Energieträger können ebenso fachübergreifend und fächerverbindend durchgeführt werden wie etwa zu den Themenbereichen Gesundheit und gesunde Ernährung. Ein Projekt zum Beizen und Färben von Textilien verbindet Chemie und künstlerische Gestaltung.

Literatur

Schulze, Gerhard u.a.: Maßanalyse. Walter de Gruyter. Berlin 2003. S. 67–99.

Das umfangreiche Werk enthält auch einen Abschnitt zu Säure-Base-Titrationen und zu Titrationskurven.

Atkins, Peter W.: Physikalische Chemie. Wiley-VCH Verlag. Weinheim 2001.

Hier sind die theoretischen Grundlagen zu Berechnungen von pH-Werten ausführlich wiedergegeben. Das Buch dient auch als Nachschlagewerk für Säure- und Basenkonstanten sowie für weitere thermodynamische Daten.

Hessisches Kultusministerium: Kerncurriculum gymnasiale Oberstufe Chemie. Stand Januar 2016. <https://kultusministerium.hessen.de/sites/default/files/media/kcgo-ch.pdf>

Die Bildungsstandards, Basiskonzepte und Themenbereiche sind hier wie in entsprechenden Veröffentlichungen weiterer Bundesländer aufgeführt.

Ebner, Franziska, Hasenöhrl, R.: Natürlich Färben mit Pflanzen. Stocker-Verlag. Graz 2016.

Das Buch enthält eine sehr große Anzahl von Rezepten und Färbearbeitungen mit Pflanzenfarbstoffen und verschiedenen Beizen auf unterschiedliche Textilien.

Materialübersicht

⌚ V = Vorbereitungszeit SV = Schülerversuch AB = Arbeitsblatt/Informationsblatt
⌚ D = Durchführungszeit LV = Lehrerversuch

Die **Gefährdungsbeurteilungen** zu den Versuchen finden Sie auf  **CD 62**.

M 1	#Ab mit LV	Kristallwasser im Natriumacetat	
⌚ V: 30 min		<input type="checkbox"/> Salzsäure (c = 1 mol/l)	<input type="checkbox"/> 2 Bechergläser (250 ml)
⌚ D: 45 min		<input type="checkbox"/> Essigsäure (c = 1 mol/l)	<input type="checkbox"/> Kristallisationsschale (flach)
		<input type="checkbox"/> Natronlauge (c = 1 mol/l)	<input type="checkbox"/> Messkolben (100 ml)
			<input type="checkbox"/> Bürette
			<input type="checkbox"/> 2 Messpipetten (10 ml)
			<input type="checkbox"/> Magnetrührer mit Rührfisch
			<input type="checkbox"/> pH-Meter mit γ ,t-Schreiber
			<input type="checkbox"/> Waage
M 2	#Ab mit SV	Natriumacetat als Wärmespeicher	
⌚ V: 30 min		<input type="checkbox"/> Natriumacetat-Trihydrat	<input type="checkbox"/> 3 Reagenzgläser mit Reagenzglasständer
⌚ D: 45 min			<input type="checkbox"/> Waage
			<input type="checkbox"/> Wasserbad
			<input type="checkbox"/> Dewargefäß
			<input type="checkbox"/> Thermometer
			<input type="checkbox"/> Heizplatte mit Magnetrührer und Rührfisch
M 3	#Ab mit SV	Calciumacetat in Brennpaste	
⌚ V: 15 min		<input type="checkbox"/> Essigsäure (w = 25%ig)	<input type="checkbox"/> 2 Erlenmeyerkolben (250 ml)
⌚ D: 15 min		<input type="checkbox"/> Kalk, ersatzweise Eierschalen oder Muschelschalen (jeweils zerkleinert)	<input type="checkbox"/> Waage
		<input type="checkbox"/> Ethanol oder Brennspritus	<input type="checkbox"/> Messzylinder (50 ml)
			<input type="checkbox"/> Trichter mit Filterpapier
			<input type="checkbox"/> Kristallisationsschale (flach)
			<input type="checkbox"/> Porzellanschale
			<input type="checkbox"/> Trockenschrank
			<input type="checkbox"/> Reagenzglas mit Stopfen

I/H

M 4 #Ab mit SV

⌚ V: 45 min

⌚ D: 45 min

Aceton aus Calciumacetat

- Calciumacetat (wasserfrei)
- Salzsäure (w = 10%ig)  
- Bariumhydroxid-Lösung 
- Glycerin
- Aceton (Propanon)  
- Eiswasser
- 3 Reagenzgläser, davon ein schwer schmelzbares und eines mit seitlichem Ansatz
- rechtwinkliges Glasrohr mit zwei durchbohrten Stopfen
- Becherglas (400 ml)
- Bunsenbrenner
- Gärröhrchen
- Porzellanschale
- Erlenmeyerkolben mit seitlichem Ansatz, Stopfen und Glaskugeln
- Kolbenprober
- T-Stück mit U-Rohr und Verbindungsschläuchen
- 2 Pasteurpipetten mit Gummikappen
- Waage, Stativmaterial

M 5 #Ab mit SV

⌚ V: 15 min

⌚ D: 15 min

Acetate als Lebensmittelzusatzstoffe

- verd. Zitronensaft (10 ml Zitronensaft, frisch gepresst und filtriert, mit Wasser auf 50 ml verdünnt)
- Natriumacetat-Lösung (c = 0,5 mol/l)
- Universalindikator-Lösung 1–13 mit Farbtafel und 3 Küvetten (10 ml)  
- 3 Reagenzgläser
- 2 Pipetten (5 ml) mit Ansaughilfe

M 6 #Ab mit LV

⌚ V: 15 min

⌚ D: 30 min

Essigsäure Tonerde – Herstellung

- Aluminiumsulfat (wasserfrei, bei Einsatz von kristallwasserhaltigem Aluminiumsulfat muss die Masse entsprechend erhöht werden) 
- Calciumcarbonat
- Essigsäure (w = 25%ig) 
- Weinsäure 
- 2 Erlenmeyerkolben mit Stopfen (250 ml)
- Waage
- 2 Messzylinder (50 ml, 250 ml)
- Trichter mit Filterpapier
- Messpipette (10 ml) mit Ansaughilfe
- Petrischale

I/H

M 7 #Ab mit SV Essigsaurer Tonerde – Anwendungen

⌚ V: 15 min

⌚ D: 45 min

 essigsaurer Tonerde
($w = 1\%$ ig, 2% ig) Methylcellulose Stoffproben aus Seide
oder Wolle Rotkraut (ein Blatt, fein
geschnitten) Becherglas (100 ml) Messzylinder (50 ml) Laborrührwerk Dose mit Deckel 2 Erlenmeyerkolben
(250 ml) mit Stopfen Waage Wasserbad**Minimalplan**

Ihnen steht nur wenig Zeit zur Verfügung? Dann lässt sich die Unterrichtseinheit auf **zwei Doppelstunden** kürzen. Die Planung sieht dann wie folgt aus:

1./2. Stunde (M 2, M 3)	Verzichten Sie auf das Arbeitsblatt M 1 und führen Sie die Struktur des Natriumacetats-Trihydrats theoretisch ein. Lassen Sie die Arbeitsblätter M 2 und M 3 unter dem Aspekt mobile Energieträger bearbeiten. Verzichten Sie auch auf die Synthese von Aceton (M 4).
3./4. Stunde (M 5, M 7)	Thematisieren Sie mit den Arbeitsblättern M 5 und M 7 die Anwendungen im Alltag. Verzichten Sie auf die Herstellung der essigsaurer Tonerde (M 6). Verwenden Sie stattdessen ein fertiges Produkt.

Die Erläuterungen und Lösungen zu den Materialien finden Sie ab Seite 18.

II/H

M 2 Natriumacetat als Wärmespeicher

Kleine Beutel aus Kunststoff werden mit Natriumacetat-Trihydrat gefüllt, um sie als Wärmekissen zu verwenden. Das feste Salz geht beim Erwärmen in den flüssigen Zustand über. Das kann als Schmelzen oder als Lösen im Kristallwasser aufgefasst werden. Die Werte für die Schmelzenthalpie und Lösungsenthalpie sind gleich. Auch nach Abkühlen auf Raumtemperatur bleibt das Natriumacetat-Trihydrat in flüssigem Zustand. Die Kristallisation der übersättigten Lösung erfolgt erst durch ein „Anstoßen“. Bei dieser Kristallisation wird Wärme freigesetzt und kann so z. B. kalte Hände wärmen.

Schülerversuche: Schmelztemperatur (A) und Kristallisationswärme (B)

🕒 Vorbereitung: 30 min ⌚ Durchführung: 45 min



Chemikalien / Gefahrenhinweise Geräte

- | | |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> Natriumacetat-Trihydrat | <input type="checkbox"/> 3 Reagenzgläser mit Reagenzglasständer |
| | <input type="checkbox"/> Waage |
| | <input type="checkbox"/> Wasserbad |
| | <input type="checkbox"/> Dewargefäß |
| | <input type="checkbox"/> Thermometer |
| | <input type="checkbox"/> Heizplatte mit Magnetrührer und Rührfisch |

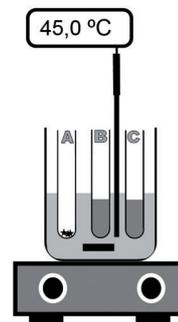


Achtung: Schutzbrille tragen

Entsorgung: Neutrale Rückstände werden in den Abfluss entsorgt.

A: Schmelztemperatur

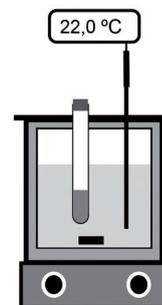
In die Reagenzgläser B und C werden jeweils 5 g Natriumacetat-Trihydrat eingewogen, in das Reagenzglas A kommt nur eine Spatelspitze davon. Die drei Reagenzgläser und ein Thermometer werden in das Wasserbad mit einer Temperatur von etwa 45 °C eingetaucht. Das Wasserbad steht auf einer Heizplatte mit Magnetrührer (siehe Skizze). Unter Rühren wird die Temperatur des Wasserbads um etwa ein Grad pro Minute erhöht. Schmilzt die Probe A wird dessen Schmelztemperatur am Thermometer abgelesen. Für das Schmelzen der Proben B und C muss die Temperatur des Wasserbades noch um einige Grad erhöht werden. Die Reagenzgläser mit den vollständig geschmolzenen Proben B und C werden aus dem Wasserbad heraus genommen und zum Abkühlen auf Raumtemperatur in einen Reagenzglasständer gestellt.



Versuch A:
Schmelz-
temperatur

B: Kristallisationswärme

Trotz Abkühlung weit unter die Schmelztemperatur kristallisiert das Salz nicht spontan aus. Vielmehr muss die Kristallisation „angestoßen“ werden. Dazu wird in das Reagenzglas B ein kleiner Kristall aus Natriumacetat-Trihydrat zugegeben. Sobald die Kristallisation eintritt, wird durch vorsichtiges Anfassen überprüft, wie sich die Temperatur des Reagenzglases mit Inhalt verändert. Ein Dewargefäß mit 400 g Wasser, Rührfisch und Thermometer steht auf einem Magnetrührer (siehe Skizze). Das Reagenzglas C wird zusätzlich in das Dewargefäß positioniert. Der Rührer wird eingeschaltet und die Temperatur wird beobachtet. Bleibt diese während einiger Minuten konstant, kommt in das Reagenzglas C ebenfalls ein kleiner Kristall aus Natriumacetat-Trihydrat. Die Temperatur wird weiter beobachtet. Die maximale Temperaturänderung wird festgestellt.



Versuch B:
Kristallisations-
wärme

I/H



Aufgaben

1. **Formulieren** Sie die Reaktionsgleichung zur Kristallisation des festen Natriumacetats aus der Natriumacetat-Lösung.
2. **Geben** Sie die Schmelztemperatur des Natriumacetat-Trihydrats **an**.
3. a) **Berechnen** Sie zum Versuch die Kristallisationswärme (Wärmemenge, Q) aus der Masse des erwärmten Wassers (m), der spezifischen Wärmekapazität von Wasser ($c_p = 4,18 \text{ J}/(\text{mol}\cdot\text{K})$) und der gemessenen Temperaturdifferenz (ΔT). Beziehen Sie den Wasserwert des Dewar-Gefäßes mit Zubehör (m_w) mit ein. Die Masse des Salzes soll unberücksichtigt bleiben, da sie im Vergleich zur Gesamtmasse sehr klein ist.

Die Berechnung der Wärmemenge erfolgt mit der Formel: $Q = (m + m_w) \cdot c_p \cdot \Delta T$.

- b) **Berechnen** Sie aus der Masse des eingesetzten Natriumacetat-Trihydrats und der molaren Masse des Natriumacetat-Trihydrats dessen Stoffmenge mit der Formel $n = m / M$.
 - c) **Berechnen** Sie schließlich aus der Kristallisationswärme und der Stoffmenge die Kristallisationsenthalpie (Reaktionsenthalpie, ΔH). **Beachten** Sie, dass hier die Wärmemenge einzusetzen ist, die aus dem System austritt, und somit gilt: $\Delta H = -Q / n$.
4. In einem weiteren Versuch wird für ein Wärmekissen mit 150 g Natriumacetat-Trihydrat für die Kristallisationswärme der Betrag 290 kJ festgestellt.

Berechnen Sie aus diesem Ergebnis die Kristallisationsenthalpie von Natriumacetat-Trihydrat. **Vergleichen** Sie den Wert mit dem Ergebnis aus der Aufgabe 3.

© Thinkstock/iStock



Aufgabe 4: Durch Klicken des Metallblättchens in der Lösung wird die Kristallisation ausgelöst.

© <http://www.awn-online.de/waerme2go/funktionsprinzip>



Aufgabe 5: Mobiler Wärmespeicher

5. In großem Maßstab wird Natriumacetat-Trihydrat in mobilen Wärmespeichern genutzt. In Containern befinden sich mehrere mit dem Salz befüllte geschlossene Systeme. Mithilfe von Rohrleitungen, durch die heißes Wasser strömt, wird diesen Systemen Energie zugeführt, um die einzelnen Salzportionen in ihre entsprechenden Lösungen umzuwandeln. Die Energie für das warme Wasser wird z. B. aus der Abwärme einer Müllverbrennungsanlage bezogen. Diese Energie kann an anderer Stelle und zu einem anderen Zeitpunkt mithilfe von Kristallisation in den geschlossenen Systemen der Container wieder freigegeben werden. Anschließend wird durch die Rohre kaltes Wasser geleitet, das durch die Kristallisationswärme erwärmt und so zum Heizen von Gebäuden oder Bädern genutzt wird. Wie bei einem Akku kann der Vorgang der Aufnahme und Abgabe von Energie öfter wiederholt werden.
 - a) In einem konkreten Beispiel ist ein Container im Gesamten mit vier Tonnen Natriumacetat-Trihydrat beschickt. **Berechnen** Sie die Wärmeenergie, die von einem solchen Container abgegeben werden kann. **Setzen** Sie für die Kristallisationsenthalpie den in Aufgabe 4 berechneten Wert **ein**.
 - b) **Berechnen** Sie das Volumen an Erdgas (Methangas), das verbrannt werden muss, um die gleiche Wärmemenge zu erzeugen, die dieser Container speichert. Die Verbrennungsenthalpie von Erdgas beträgt $-880 \text{ kJ}/\text{mol}$. **Gehen** Sie dabei von Standardbedingungen (298 K, 1013 hPa) aus.

M 4 Aceton aus Calciumacetat

Aceton wurde zum ersten Mal Anfang des 17. Jahrhunderts durch thermische Zersetzung von Bleiacetat hergestellt. Hier erfolgt die Synthese aus Calciumacetat. Diese Synthese wird zwar heute großtechnisch nicht mehr durchgeführt, sie zeigt jedoch eine interessante Schnittstelle der anorganischen Chemie zur organischen Chemie.

Calciumacetat ist auch als Wirkstoff in Medikamenten enthalten. Es wird in der Therapie bei erhöhtem Phosphatspiegel im Blut eingesetzt.

Schülerversuch: Aceton aus Calciumacetat, Nachweis der Produkte

🕒 Vorbereitung: 45 min 🕒 Durchführung: 45 min



Chemikalien / Gefahrenhinweise Geräte

- | | |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> Calciumacetat (wasserfrei) | <input type="checkbox"/> 3 Reagenzgläser, davon ein schwer schmelzbares und eines mit seitlichem Ansatz |
| <input type="checkbox"/> Salzsäure ($w = 10\%$ ig) | <input type="checkbox"/> rechtwinkliges Glasrohr mit zwei durchbohrten Stopfen |
|   | <input type="checkbox"/> Becherglas (400 ml) |
| <input type="checkbox"/> Bariumhydroxid-Lösung | <input type="checkbox"/> Bunsenbrenner |
|  | <input type="checkbox"/> Gärröhrchen |
| <input type="checkbox"/> Glycerin | <input type="checkbox"/> Porzellanschale |
| <input type="checkbox"/> Aceton (Propanon) | <input type="checkbox"/> Erlenmeyerkolben mit seitlichem Ansatz, Stopfen und Glaskugeln |
|   | <input type="checkbox"/> Kolbenprober |
| <input type="checkbox"/> Eiswasser | <input type="checkbox"/> T-Stück mit U-Rohr und Verbindungsschläuchen |
| | <input type="checkbox"/> 2 Pasteurpipetten mit Gummikappen |
| | <input type="checkbox"/> Waage, Stativmaterial |

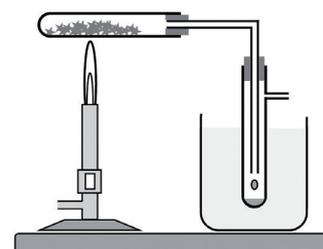


Achtung: Schutzbrille tragen, Pipettierhilfen verwenden

Entsorgung: Neutrale Rückstände werden in den Abfluss entsorgt.

A: Thermische Zersetzung von Calciumacetat

Das schwer schmelzbare Reagenzglas wird mit etwa 5 g Calciumacetat (wasserfrei) beschickt und mithilfe eines durchbohrten Stopfens mit dem gebogenen Glasrohr verbunden (s. Versuchsaufbau). Ein Reagenzglas mit seitlichem Ansatzrohr wird mithilfe eines weiteren durchbohrten Stopfens mit dem anderen Ende des Glasrohrs verbunden und in ein Becherglas mit Eiswasser eingetaucht. Das Reagenzglas mit dem Calciumacetat wird mit dem Bunsenbrenner rundum erhitzt. Die bei höheren Temperaturen entstehenden Dämpfe gelangen durch das gebogene Glasrohr in das zweite Reagenzglas und kondensieren dort. Der Versuch ist beendet, sobald sich der Rückstand im erhitzten Reagenzglas deutlich verfärbt.



Aceton aus Calciumacetat

B: Nachweis des entstandenen Calciumcarbonats

Zum Nachweis von Calciumcarbonat im festen Rückstand (Versuch A) wird nach dem Erkalten eine Probe davon in ein Reagenzglas überführt. Ein Gärröhrchen mit Bariumhydroxid-Lösung wird vorbereitet. In das Reagenzglas werden etwa 5 ml Salzsäure pipettiert. Sofort wird das Gärröhrchen auf das Reagenzglas aufgesetzt. Im Reagenzglas sollte eine Gasentwicklung auftreten, im Gärröhrchen...