

# Keto-Enol-Tautomerie des Acetessigsäureethylesters (3-Oxobutansäureethylester) -



Die Schülerinnen und Schüler lernen in diesem Versuch eine einfache Nachweismethode für Doppel- und Mehrfachbindungen in organischen Stoffen kennen. In diesem Versuch wird auf einfache Weise die Keto-Enol-Tautomerie für Acetessigsäureethylester nachgewiesen. Dazu wird Bromwasser zur Ester-Lösung gegeben und damit der Doppelbindungscharakter der Enol-Form nachgewiesen.

Chemie

Organische Chemie

Sauerstoffhaltige organische Verbindungen



Schwierigkeitsgrad

leicht



Gruppengröße

1



Vorbereitungszeit

10 Minuten



Durchführungszeit

10 Minuten

**PHYWE**  
excellence in science

# Allgemeine Informationen

## Anwendung

**PHYWE**  
excellence in science

Versuchsaufbau

Unter der Keto-Enol-Tautomerie versteht man in der Chemie das Gleichgewicht zwischen der Strukturform eines Aldehyds und eines Ketons (wobei es sich bei den Verbindungen um Konstitutionsisomere handeln muss). Der Name „Enol“ lässt sich dabei auf die Doppelbindung (-en) und die OH-Gruppe (-ol) in der Molekülstruktur zurückführen.

Die Keto-Enol-Tautomerie ist dabei eine Gleichgewichtsreaktion, bei der ein Proton vom Kohlenstoffatom einer C=O-Einheit zum Sauerstoffatom der Keto-Gruppe übertragen wird. Die C=O Doppelbindung wird gelöst, wobei sich anstelle der C=O Doppelbindung eine Hydroxylgruppe und eine C=C-Doppelbindung ausbildet. Die Keto- und Enol-Form einer Verbindung sind Konstitutionsisomere. Daher liegt beispielsweise für Acetessigsäureethylester in Lösung ein Gleichgewicht zwischen der Keto-Form und Enol-Form vor.

## Sonstige Informationen (1/2)

**PHYWE**  
excellence in science

### Vorwissen



Die Schüler sollten bereits mit der Isomerie und der Keto-Enol-Tautomerie in der Theorie vertraut sein.

### Prinzip



Die Verwendung von Bromwasser zum Nachweis von ungesättigten Kohlenwasserstoffen (z.B. Alkenen) ermöglicht "sichtbar" den Doppelbindungs- bzw. Mehrfachbindungscharakter einer organischen Verbindung zu veranschaulichen. Während der Nachweis-Reaktion verschwindet die (intensive) rot-braune Färbung des Broms.

## Sonstige Informationen (2/2)

**PHYWE**  
excellence in science

### Lernziel



Die Schüler lernen in diesem Versuch eine einfache Nachweismethode für Doppel- und Mehrfachbindungen in organischen Stoffen kennen. In diesem Versuch wird auf einfache Weise die Keto-Enol-Tautomerie für Acetessigsäureethylester nachgewiesen. Dazu wird Bromwasser zur Ester-Lösung gegeben und damit der Doppelbindungscharakter der Enol-Form nachgewiesen.

### Aufgaben



Die Schüler weisen die Keto-Enol-Tautomerie von Acetessigsäureethylestern mit Hilfe von Bromwasser nach.

## Sicherheitshinweise (1/2)

**PHYWE**  
excellence in science



- Während des Versuches müssen alle im Raum befindlichen Personen eine Schutzbrille tragen!
- Experimente mit Brom sind stets unter dem Abzug durchzuführen. Bromdämpfe reizen die Schleimhäute und rufen Entzündungen hervor. Flüssiges Brom ätzt die Haut.
- Brom ist unter Verschluss aufzubewahren. Beim Umfüllen von Brom Handschuhe tragen.
- Beachten Sie für die H- und P-Sätze bitte die zugehörigen Sicherheitsdatenblätter.
- Für diesen Versuch gelten die allgemeinen Hinweise zum sicheren Experimentieren im naturwissenschaftlichen Unterricht.

## Sicherheitshinweise (2/2)

**PHYWE**  
excellence in science



**Erste Hilfe:** Betroffene Haut sofort mit viel Wasser und Ethanol (auch Petroleum, Petroleumbenzin o.ä. möglich) spülen. Nach dem **Einatmen:** Frischluft.

**Entsorgung:** Lösungen mit Wasser verdünnen, neutralisieren (pH 6 - 8) und wegspülen.

**Ethanol** ist eine leichtentzündliche, mit Wasser mischbare Flüssigkeit, deren Dämpfe mit Luft explosionsfähige Gemische bilden können. **Acetessigsäureethylester** (3-Oxobutansäureethyl-ester) ist eine farblose, wenig wasserlösliche, brennbare Flüssigkeit, die erst bei erhöhten Temperaturen mit Luft explosionsfähige Gemische bilden kann. Die Flüssigkeit hat lokale Reizwirkungen auf Haut, Augen und Atemwege.

**Erste Hilfe:** Betroffene Haut mit Wasser und Seife gründlich waschen. Spritzer in die Augen bei gut geöffnetem Lidspalt verdunsten lassen (vorsichtig Blasen) und dann mit Wasser spülen.

**Nach dem Einatmen:** Frischluft.

**Entsorgung:** Brennbare, halogenfreie organische Lösungsmittel und Lösungen in einem dafür gekennzeichneten Behälter sammeln.

## Theorie

Der vorliegende Ester ist aufgrund seiner Molekülstruktur bestens geeignet, die Keto-Enol-Tautomerie nachzuweisen. Damit die Keto-Enol-Tautomerie vorliegt, muss es möglich sein, ein Proton vom Kohlenstoffatom einer C=O-Einheit zum Sauerstoffatom der Keto-Gruppe zu übertragen. Die C=O-Doppelbindung wird gelöst, wobei sich anstelle der C=O-Doppelbindung eine Hydroxylgruppe und eine C=C-Doppelbindung ausbildet.

Die Zugabe von Bromwasser (als typische Nachweismethode für den Mehrfachbindungscharakter einer organischen Verbindung) visualisiert (durch die Entfärbung von Brom) das Vorhandensein einer Mehrfachbindung. Da die Ketoform des Acetessigsäureethylesters über keinen Mehrfachbindungscharakter verfügt, kommt für den positiven Nachweis nur die Enol-Form in Betracht.

## Material

Position	Material	Art.-Nr.	Menge
1	Magnetrührer ohne Heizung für 3 Liter, 230 V	35761-99	1
2	Magnetrührstäbchen, PTFE, 15 mm, zylindrische Form	46299-01	1
3	Magnetrührstäbchen, PTFE, 30 mm, zylindrische Form	46299-02	1
4	Magnetrührstäbchen, PTFE, 50 mm, zylindrische Form	46299-03	1
5	Magnetrührstäbchen-Entferner	35680-03	1
6	Becherglas, Boro, hohe Form, 1000 ml	46030-00	2
7	Becherglas, Boro, hohe Form, 600 ml	46029-00	2
8	Becherglas, Boro, hohe Form, 150 ml	46032-00	1
9	Löffelspatel, Stahl, l = 150 mm	33398-00	1
10	Spritzflasche, 500 ml, Kunststoff	33931-00	1
11	Glasrührstab, Boro, l = 300 mm, d = 7 mm	40485-05	2
12	Messzylinder, Boro, hohe Form, 25 ml	36627-00	1
13	Messzylinder, Boro, hohe Form, 100 ml	36629-00	1
14	Bromfüller	45100-00	1
15	Handschuhe, Gummi, Größe L, Paar	39324-00	1
16	Kompaktwaage, AE ADAM, 1000 g : 0,1 g Modell CB1001	ADA-CB-1001	1
17	Wägeschalen, quadratisch, 84 x 84 x 24 mm, 500 Stück	45019-50	1
18	Acetessigsäureethylester, 250 ml	31001-25	1
19	Eisen-III-chlorid-6-Hydrat, 500 g	30069-50	1
20	Bromat/Bromid-Lösung, 250 ml Zur Herstellung von elementarem Brom	30046-25	1
21	Ethanol, absolut, 500 ml	30008-50	1
22	Wasser, destilliert, 5 l	31246-81	1



## Aufbau und Durchführung (2/2)

**PHYWE**  
excellence in science

### Durchführung des Versuches

Ein 1-l-Becherglas füllt man mit etwa 800 bis 900 ml Eiswasser und einigen Eisstücken. Zu dem Wasser werden 50 ml des Bromwassers gegeben und die Lösung gut durchgerührt. Anschließend versetzt man dieses verdünnte Bromwasser mit ca. 5 ml Acetessigsäureethylester.

In einem weiteren 1-l-Becherglas werden in 800 bis 900 ml Eiswasser 25 ml einer etwa 20%igen ethanolischen Acetessigsäureethylesterlösung aus 20 ml Ethanol und 5 ml Acetessigester eingerührt. Zu diesem Gemisch gießt man dann 10 ml der Eisen(III)chloridlösung. Unter starkem Rühren wird die Lösung in einem Guß mit 40 ml des Bromwassers versetzt.



Die Lösung wird gut durchgerührt.

**PHYWE**  
excellence in science

## Auswertung



## Auswertung (1/5)

### Beobachtung

Gibt man Bromwasser in Eiswasser wird dabei keine Entfärbung der Bromlösung beobachtet. Aufgrund des Verdünnungseffektes wird die Intensität der rot-braunen Färbung des Bromwassers etwas schwächer.

Gibt man zu dem Bromwasser Acetessigsäureethylester, so entfärbt sich die Lösung sofort, die rot-braune Bromfärbung verschwindet.

Versetzt man die ethanolische Lösung von Acetessigsäureethylester mit der Eisenchloridlösung, so beobachtet man einen Farbumschlag der Lösung zu rot-violett.

Durch Zugabe von Eisen(III)-chlorid zu einer Acetessigsäureethylesterlösung färbt sich diese rot-violett. Gibt man zu dieser rotviolett Lösung Brom hinzu, entfärbt sich die Lösung sofort. Nach 20 bis 30 Sekunden tritt die rote Farbe wieder auf.

## Auswertung (2/5)

### Auswertung

Acetessigsäureethylester wird auch als Ethyl-acetoacetat oder mit systematischem Namen als 3-Oxobutansäureethylester bezeichnet. Es ist das klassische Beispiel einer tautomeren Verbindung. Der Acetessigsäureester ist ein Keton, das unter Wanderung eines Wasserstoffatoms und Verschiebung einer O-Bindung in die isomere Form eines (3-Hydroxy-crotonsäureesters mit einer Hydroxy-Gruppe an einer Doppelbindung (En-ol-Form) übergeht.

Während bei normalen Ketonen das Gleichgewicht praktisch ausschließlich auf der Seite der Keto-Form liegt, besteht der Acetessigsäureethylester im Gleichgewicht zu etwa 7,5% aus der Enol-Form. Anders als normale Ketone kann Acetessigsäureethylester daher durch die Enol-Form mit Eisen(III)chlorid einen farbigen Komplex bilden. Anders als die Keto-Form addiert die Enol-Form sehr schnell Brom. Der farbige Komplex wird dadurch zerstört und die Lösung entfärbt. Durch die Gleichgewichtsreaktion wird die Enol-Form wieder nachgebildet. Sobald das gesamte Brom in der Lösung verbraucht ist, wird die Farbe des sich dann wieder neu bildenden Eisenchlorid-Komplexes erneut sichtbar.

## Auswertung (3/5)

Ziehe die Wörter in die richtigen Felder!

Unter der Keto-Enol-Tautomerie versteht man in der Chemie das [ ] zwischen der Strukturform eines [ ] und eines Ketons. Der Name „Enol“ lässt sich dabei auf die Doppelbindung (-en) und die [ ] (-ol) in der Molekülstruktur zurückführen. Sie ist dabei eine Gleichgewichtsreaktion, bei der ein Proton vom Kohlenstoffatom einer C=O-Einheit zum Sauerstoffatom der Keto-Gruppe übertragen wird. Die C=O-Doppelbindung wird gelöst, wobei sich anstelle der C=O Doppelbindung eine Hydroxylgruppe und eine C=C-Doppelbindung ausbildet.

 Überprüfen

## Auswertung (4/5)

Was passiert, wenn man Bromwasser in Eiswasser gibt?

- Gibt man Bromwasser in Eiswasser wird dabei keine Entfärbung der Bromlösung beobachtet. Aufgrund des Verdünnungseffektes wird die Intensität der rot-braunen Färbung des Bromwassers etwas schwächer.
- Gibt man Bromwasser in Eiswasser wird dabei eine Entfärbung der Bromlösung beobachtet. Aufgrund d Verdünnungseffektes wird die Intensität der rot-braunen Färbung des Bromwassers etwas stärker.
- Keine der Antworten ist korrekt.

 Überprüfen

## Auswertung (5/5)

Welche Aussagen zu Acetessigsäureethylester sind korrekt?

- Acetessigsäureethylester wird auch als Ethyl-acetoacetat oder mit systematischem Namen als 3-Oxobutansäureethylester bezeichnet.
- Der Acetessigsäureester ist ein Keton, das unter Wanderung eines Wasserstoffatoms und Verschiebung einer O-Bindung in die isomere Form eines (3-Hydroxy-crotonsäureesters mit einer Hydroxy-Gruppe an einer Doppelbindung (En-ol-Form) übergeht.
- Acetessigsäureethylester ist das klassische Beispiel einer tautomeren Verbindung.

✓ Überprüfen

Folie	Punktzahl/Summe
Folie 15: Keto-Enol-Tautomerie	0/3
Folie 16: Bromwasser in Eiswasser	0/1
Folie 17: Acetessigsäureethylester	0/3

Gesamtsumme  0/7

👁️ Lösungen

🔄 Wiederholen