

Die Estersynthese soll eine Gleichgewichtsreaktion sein



LNCU.de
ID 33628
CC-BY-SA 4.0
Online abrufen

Lässt sich das beweisen?

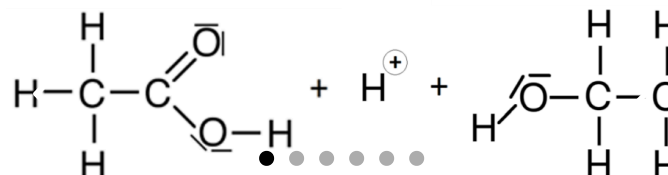
M1 Ist das plausibel?



Kann es wirklich sein, dass in dem geschlossenen Gefäß sowohl eine Estersynthese als auch eine Esterspaltung stattfinden?



Klick dich einmal „vorwärts“ durch die einzelnen Schritte der Reaktion und dann „rückwärts“. Was sagst Du?



Galerie 1: Die Reaktion mit Zwischenprodukten.



Wechseln wir einmal auf die molekulare Ebene und schauen uns Schritt für Schritt die Reaktionen im Einzelnen an, die vermutlich ¹ nacheinander ablaufen.

In **Galerie 1** sind ausgehend von **Ethansäure** und **Ethanol** Strukturformeln gezeichnet. Man sieht, wo der **Katalysator** am Anfang bindet und welche **Zwischenprodukte** entstehen. Am Ende entstehen die Produkte **Ethansäureethylester** und **Wasser** sowie der wieder freigesetzte Katalysator.



Okay, das ist plausibel. Aber es ist noch kein Beweis.

Aufgaben

- Überlegen Sie kurz, wie man experimentell einfach prüfen kann, ob die Rückreaktion tatsächlich stattfindet.
- Werten Sie im Anschluss **M2** diesbezüglich aus.

M2 Esterspaltung im geschlossenen Gefäß

Der Aufbau



Schaue dir an, was in folgendem Versuch, der sogenannten „**Esterhydrolyse**“, ² gemacht wird.

Die Messergebnisse

Alle 10 Minuten stechen wir wieder mit einer Kanüle durch den Stopfen, entnehmen eine winzige Probe und bestimmen die nun vorhandene Konzentration der Ethansäure ⁵. Daraus berechnen wir einfach die Konzentration des noch vorhandenen Esters.

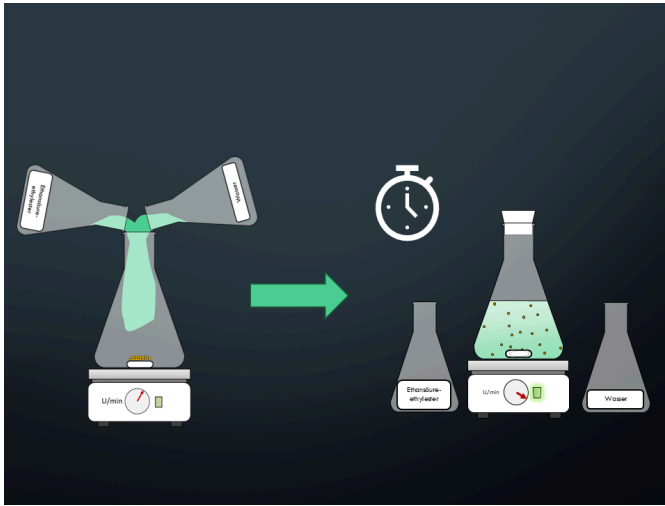
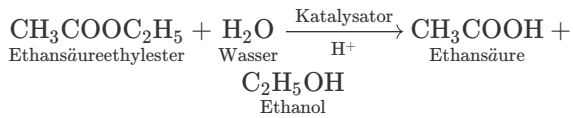
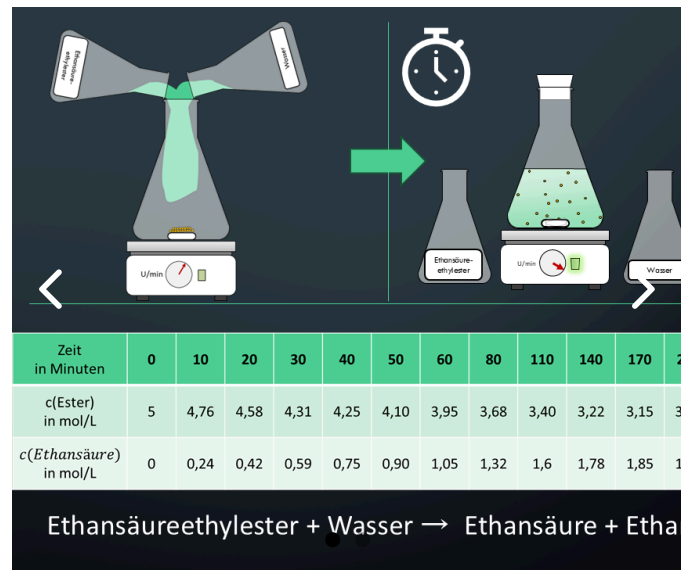


Abb. 1: Versuchsaufbau ³

Die **Anfangskonzentration** des **Ethansäureethylesters** und die **Anfangskonzentration** von **Wasser** sind gleich. Sie beträgt jeweils **5 mol/L**. Damit ist sichergestellt, dass der gesamte Ester reagieren könnte. ⁴



Galerie 2: Gemessene Konzentrationen ⁶

Aufgaben

- Erklären Sie nun, warum in einem **geschlossenen Gefäß** die Ethansäure nie vollständig mit Ethanol zu Ethansäureethylester reagiert.
- Beschreiben Sie mit Hilfe von **M3**, was man unter einer Hin- und Rückreaktion versteht. Erklären Sie den Begriff des chemischen Gleichgewichts an diesem Beispiel. Achten Sie dazu auf Details in **Abb. 2** – fällt Ihnen etwas bezüglich der Konzentrationen auf?
- In **M4** sind Zeitpunkte in den Messung, Modelle auf Teilchenebene, Formeln mit ausgewählten Gleichgewichtspfeilen sowie Texte zusammengestellt. Suchen Sie stets vier passende zusammen.

M3 Hinreaktion - Rückreaktion - chemisches Gleichgewicht

Wir haben die Esterbildung (Veresterung, Estersynthese) und die Esterspaltung (Esterhydrolyse) einzeln betrachtet. Nun wollen wir sie zusammen anschauen.

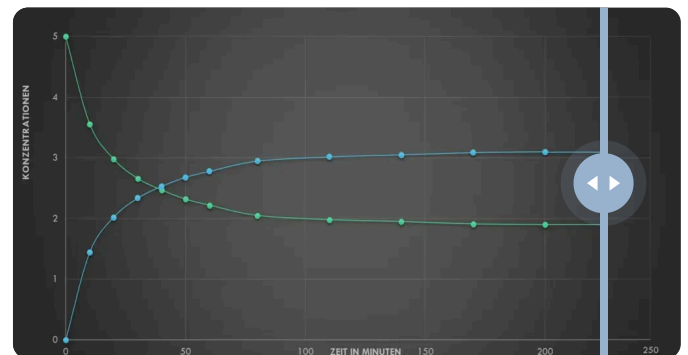
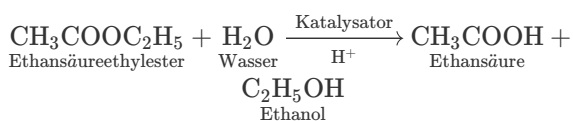
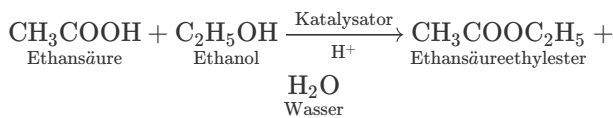
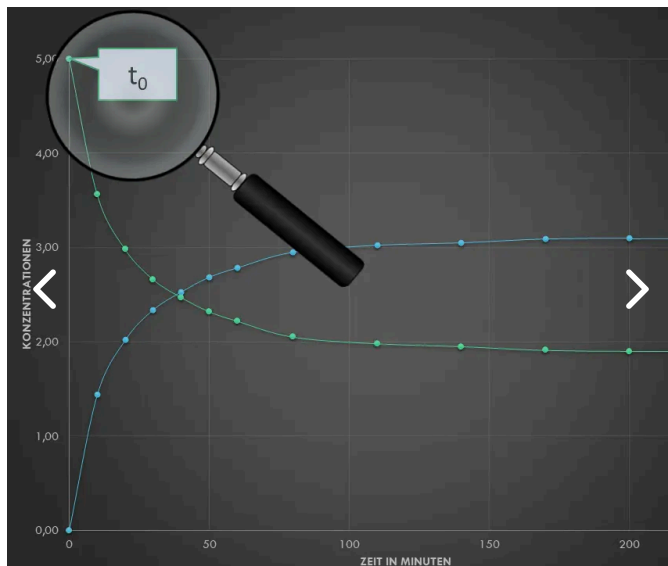


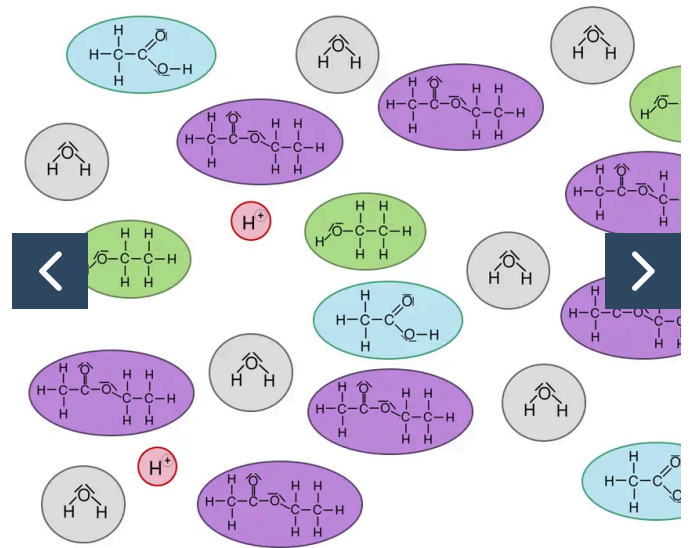
Abb. 2: Messungen zu den Reaktionen im geschlossenen Gefäß ³

M4 Chemisches Gleichgewicht: eine Verständnisübung

Ausgewählte Zeitpunkte



Teilchenmodelle



Reaktionsgleichungen

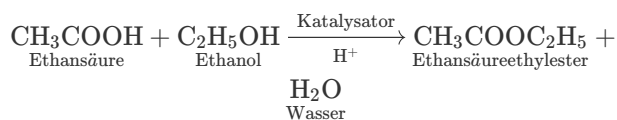
1

2

3

4

5



Aussagen

1

2

3

4

5



Kein Stoff ist vollständig umgesetzt. Die Geschwindigkeit der Hinreaktion und der Rückreaktion sind genau gleich. Dauernd kommt es zu „erfolgreichen Stößen“ – aber wir messen keine Veränderungen der Konzentrationen mehr. **Ein chemisches Gleichgewicht hat sich eingestellt.**

Einzelnachweise

- 1 Der Mechanismus der säurekatalysierten Estersynthese (Fischer-Veresterung) gilt heute als gut abgesichert, obwohl einzelne Zwischenschritte nicht direkt beobachtbar sind. Die hohe Sicherheit ergibt sich aus dem Zusammenwirken mehrerer unabhängiger Befundlinien: (1) Isotopenmarkierung (z. B. mit ^{18}O) zeigt eindeutig, dass das Sauerstoffatom des Alkohols im Ester verbleibt, während das Wasser aus der Säure stammt – ein zentraler Hinweis auf den nukleophilen Angriff des Alkohols am protonierten Carbonyl. (2) Kinetische Untersuchungen belegen die Abhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit von der Protonenkonzentration sowie den Eduktkonzentrationen und stützen damit die frühe Protonierung und einen geschwindigkeitsbestimmenden Angriff des Alkohols. (3) Spektroskopische Befunde (IR, NMR) zeigen Veränderungen der Carbonylgruppe bei Protonierung und liefern indirekte Hinweise auf kurzlebige tetraedrische Zwischenstufen. (4) Die Reversibilität (saure Esterhydrolyse als Rückreaktion) spricht für einen gemeinsamen, konsistenten Reaktionsweg. (5) Schließlich fügt sich der Mechanismus widerspruchsfrei in das allgemeine Reaktionsmuster der nukleophilen Substitution ein, das für zahlreiche Carbonsäurederivate experimentell abgesichert ist. Die Übereinstimmung dieser unabhängigen Evidenzen macht den vorgeschlagenen Mechanismus sehr plausibel und in der Fachwissenschaft breit akzeptiert.
- 2 Spaltung eines Esters mit Wasser
- 3 Gregor von Borstel, 2026
- 4 Die gelben Kugeln in Abb. 1 stellen erneut den sauren Ionentauscher dar, der die H^+ -Ionen liefert, die als Katalysator wirken.
- 5 Die Konzentration einer Säure kann man eben am einfachsten bestimmen :-).
- 6 Gregor von Borstel, 2021