

Katalytische Oxidation von Weinsäure

Versuchsziele

- Weinsäure mit Wasserstoffperoxid und einem Kobalt-Katalysator oxidieren.
- Eine Reaktion durch einen Katalysator zum Laufen bringen.
- Zeigen, dass ein Katalysator unverändert aus einer Reaktion hervorgeht
- Einfluss eines Katalysators auf die Aktivierungsenergie erraten.

Grundlagen

Im Jahr 1836 prägte der schwedische Forscher Jöns Jakob Berzelius den Begriff der Katalyse. Dieser hat seinen Ursprung im Griechischen und bedeutet so viel wie Auslösung. Er fand heraus, dass es Stoffe gibt, welche eine Reaktion beschleunigen können, aber nach dieser unverändert vorliegen. Diese Stoffe werden als Katalysatoren bezeichnet.

Katalysatoren selber haben nur einen Einfluss auf die Geschwindigkeit einer Reaktion, aber nicht auf die Gleichgewichtslage. Katalysatoren beeinflussen Hin- und Rückreaktion gleichermaßen. Sie helfen dabei, die Energiebarriere (Aktivierungsenergie), welche nötig für die Reaktion ist, zu überwinden, indem sie die Aktivierungsenergie einer Reaktion herabsetzen.

Eine weitere Besonderheit dabei ist, dass sie nach der Reaktion wieder unverändert vorliegen. Die genauen Mechanismen dabei sind nicht immer bekannt. Meistens wird aber eine Art Übergangszustand durchlaufen.

Für die Industrie sind Katalysatoren von großer Bedeutung. Sie werden zur Herstellung einer Vielzahl von Grundchemikalien verwendet wie z.B. Ammoniak, Schwefelsäure oder Methanol. Ihr Nutzen dabei ist, dass sie Reaktionen beschleunigen und bei niedrigeren Temperaturen gearbeitet werden kann. Dies wiederum hat Kostenvorteile für die Industrie, weswegen ca. 80 % der Prozesse der chemischen Industrie Katalysatoren verwenden.

Auch der menschliche Körper nutzt Katalysatoren, damit bestimmte Prozesse bei Körpertemperatur ablaufen können. Diese Katalysatoren werden Enzyme genannt und sorgen dafür, dass der menschliche Stoffwechsel funktioniert.

In diesem Versuch soll gezeigt werden, dass die Umsetzung von Weinsäure mit Wasserstoffperoxid mit Hilfe des Katalysators Kobalt(II)-chlorid beschleunigt werden kann und er am Ende der Reaktion wieder unverändert vorliegt. Die dabei ablaufende Reaktion lautet folgendermaßen:

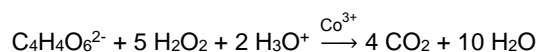







Abb. 1: Versuchsaufbau.

Gefährdungsbeurteilung

Bei der Arbeit mit Wasserstoffperoxid und Kobalt(II)-chlorid-Hexahydrat (nie in Schülerhänden!) unbedingt geeignete Schutzkleidung tragen. Wasserstoffperoxid kann schwere Augenschäden verursachen und Kobalt(II)-chlorid darf unter keinen Umständen eingeatmet werden.

Wasserstoffperoxid, 30 %	
  Signalwort: Gefahr	<p>Gefahrenhinweise</p> <p>H302 Gesundheitsschädlich bei Verschlucken.</p> <p>H318 Verursacht schwere Augenschäden.</p> <p>Sicherheitshinweise</p> <p>P280 Schutzhandschuhe/ Schutzkleidung/ Augenschutz/ Gesichtsschutz tragen.</p> <p>P305+P351+P338 BEI KONTAKT MIT DEN AUGEN: Einige Minuten lang behutsam mit Wasser spülen. Vorhandene Kontaktlinsen nach Möglichkeit entfernen. Weiter spülen.</p> <p>P313 Ärztlichen Rat einholen / ärztliche Hilfe hinzuziehen.</p>
Kobalt(II)-chlorid-Hexahydrat	
   Signalwort: Gefahr	<p>Gefahrenhinweise</p> <p>H350i Kann bei Einatmen Krebs erzeugen.</p> <p>H341 Kann vermutlich genetische Defekte verursachen.</p> <p>H360F Kann die Fruchtbarkeit beeinträchtigen.</p> <p>H302 Gesundheitsschädlich bei Verschlucken.</p> <p>H334 Kann bei Einatmen Allergie, asthmaartige Symptome oder Atembeschwerden verursachen.</p> <p>H317 Kann allergische Hautreaktionen verursachen.</p> <p>H410 Sehr giftig für Wasserorganismen mit langfristiger Wirkung.</p> <p>Sicherheitshinweise</p> <p>P201 Vor Gebrauch besondere Anweisungen einholen.</p> <p>P281 Vorgeschriebene persönliche Schutzausrüstung verwenden.</p> <p>P273 Freisetzung in die Umwelt vermeiden.</p> <p>P308+P313 BEI Exposition oder falls betroffen: Ärztlichen Rat einholen/ärztliche Hilfe hinzuziehen.</p> <p>P304+P341 BEI EINATMEN: Bei Atembeschwerden an die frische Luft bringen und in einer Position ruhigstellen, die das Atmen erleichtert.</p>

Geräte und Chemikalien

1	Sensor-CASSY 2.....	524 013
1	CASSY Lab 2.....	524 220
1	pH-Adapter S.....	524 0672
1	pH-Elektrode mit Kunststoffschicht, BNC.....	667 4172
1	NiCr-Ni-Adapter S, Typ K.....	524 0673
1	Temperaturfühler NiCr-Ni, 1,5 mm, Typ K.....	529 676
1	Becherglas Boro 3.3, 250 ml, nF.....	664 130
1	Kompaktwaaage 440-3N, 200 g : 0,01 g.....	667 7977
1	Messpipette 10 ml.....	665 997
1	Pipettierball (Peleusball).....	666 003
1	Mikro-Doppelspatel Edelstahl, 185 mm.....	666 961
1	Magnetrührer.....	666 8451
1	Magnetrührstäbchen, 15 mm x 5 mm Ø.....	666 850
1	Rührstäbchenentferner.....	666 859
1	Bunsenstativ, 450 mm hoch.....	666 502
2	Doppelmuffe S.....	301 09
2	Universalklemme 0...80 mm.....	666 555
1	Uhrglas 40 mm Ø.....	664 152
1	Kaliumnatriumtartrat, 250 g.....	672 6710
1	Wasserstoffperoxid, 30 %, 250 ml.....	675 3500
1	Kobalt(II)-chlorid-6-hydrat, 25 g.....	672 8000

Zusätzlich erforderlich:
 PC mit Windows 7 oder höher
 Wasser

Versuchsaufbau und -vorbereitung

Aufbau der Apparatur

1. Die Apparatur wird wie in Abb. 1 zu sehen aufgebaut.
2. Dazu am Bunsenstativ zwei Doppelmuffen S befestigen und in diesen wiederum die Universalklemmen befestigen.
3. In eine Universalklemme die pH-Elektrode einspannen und in die andere den Temperaturfühler.
4. Den Temperaturfühler über den NiCr-Ni Adapter S mit dem Sensor-CASSY 2 verbinden. Die pH-Elektrode mit Hilfe des pH-Adapter S an das Sensor-CASSY 2 anschließen.
5. Neben dem Stativ den Magnetrührer platzieren. Auf diesem ein Becherglas (250 ml) mit Rührfisch stellen.

Durchführung

1. Für die Messung 3 g Kaliumnatriumtartrat in das Becherglas (250 ml) einwiegen.
2. 200 mg Kobalt(II)-chlorid-Hexahydrat auf ein Uhrglas einwiegen.
3. Das Kaliumnatriumtartrat wird in 50 ml ca. 50 °C heißem Wasser zunächst gelöst.
4. Währenddessen [Einstellungen in CASSY Lab 2 laden](#).
5. Es werden während des Versuches die Werte für Temperatur, pH-Wert und Spannung aufgezeichnet.
6. In das gleiche Becherglas werden 10 ml 30 %ige Wasserstoffperoxid-Lösung gegeben und die Messung gestartet.
7. Nach ungefähr 1 Minute das Kobalt(II)-chlorid-Hexahydrat hinzufügen.

Hinweis: Achtung! Es kommt zu einer heftigen CO₂-Entwicklung, die Lösung schäumt stark. Die Lösung sollte keine Temperatur über 40 °C haben, da die Reaktion sonst umso heftiger abläuft und überschäumen kann.

8. Den Versuch so lange laufen lassen, bis die Lösung wieder rosa gefärbt ist.

Beobachtung

Nach Zugabe des Kobalt(II)-chlorid-Hexahydrat ist Lösung zunächst aufgrund der Co²⁺_{aq}-Ionen rosa gefärbt.

Schnell verfärbt sich der Reaktionsansatz durch die gebildeten Co^{3+} -Ionen aber nach tiefdunkelgrün. Gleichzeitig beginnt die Lösung stark zu schäumen.

Zum Ende verschwindet die tiefdunkelgrüne Farbe wieder und die Lösung färbt sich erneut rosa.

Bei den gemessenen Werten (siehe Abb. 2) ist zu beobachten, dass die Temperatur stark ansteigt und nach einem kurzen Abfall auch ein Anstieg des pH-Wertes stattfindet.

Auswertung

In Abb. 2 ist das Diagramm für Temperatur und pH-Wert während des Versuches zu sehen.

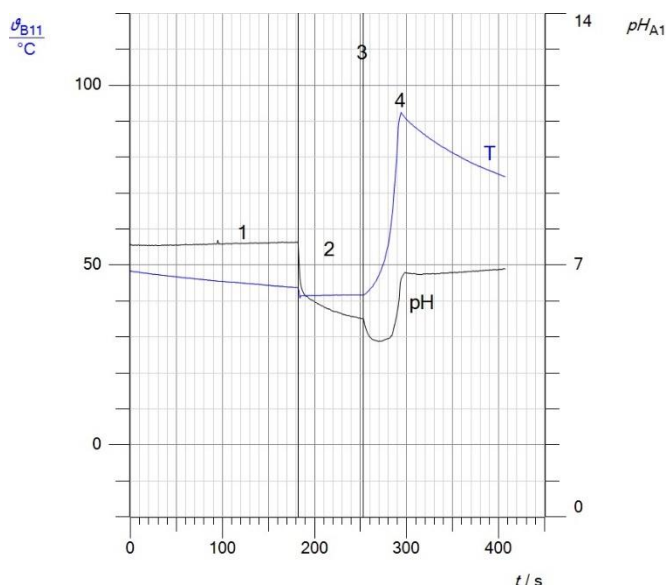
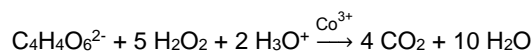


Abb. 2 Diagramm für Temperatur und pH-Wert.

Nach Lösen des Kaliumnatriumtartrats (1) und der Hinzugabe von Wasserstoffperoxid (2) kommt es nur zu einem minimalen Temperaturabfall sowie eines Absinkens des pH-Werts. Dieser ist darin begründet, dass Wasserstoffperoxid selber leicht sauer ist. Sonst ist zunächst keine Reaktion zu beobachten. Ohne Katalysator ist die Reaktion also sehr, sehr langsam.

Mit der Zugabe von Kobalt(II)-chlorid-Hexahydrat (3) setzt die Reaktion jedoch schlagartig ein. Direkt nach der Zugabe des Kobalt(II)-chlorid-Hexahydrats ist die Lösung zunächst rosa gefärbt. Dies liegt an den Co^{2+} -Ionen in Lösung.

Es kommt sehr schnell zu einer heftigen Schaumentwicklung und die Lösung verfärbt sich tiefdunkelgrün. Durch den Katalysator wird Weinsäure von Wasserstoffperoxid zu CO_2 oxidiert, daher die Schaumbildung. Die tiefgrüne Farbe stammt von nun in der Lösung vorliegenden Co^{3+} -Ionen (dem Hexa-aquakobalt(III)-Komplex). Diese entstehen bei der Reaktion mit Wasserstoffperoxid. Die nun ablaufende Reaktion ist folgende:



Es kommt nach der Zugabe von Kobalt(II)-chlorid-Hexahydrat (3) zu einem schnellen Temperaturanstieg, da die Reaktion stark exotherm verläuft. Gleichzeitig führt die schlagartige Bildung von CO_2 zu einer pH-Wert-Senkung. Da dieses jedoch während der Reaktion wieder entweicht steigt der pH-Wert nach kurzer Zeit wieder an (4).

Da die Konzentration der Ionen ansteigt, kommt es gleichzeitig auch zu einem Anstieg der Spannung. Diese fällt parallel zum pH-Wert Anstieg auch wieder ab (4).

Sobald das Wasserstoffperoxid aufgebraucht ist kehren die Werte langsam wieder zu ihrem Ausgangswert zurück, da die Reaktion nicht weiter abläuft (4). Dies ist auch der Moment, in dem sich die rosa Färbung durch die $\text{Co}^{2+}_{\text{aq}}$ -Ionen zurückbildet.

Ergebnis

In diesem Versuch sollte gezeigt werden, dass ein Katalysator eine Reaktion beschleunigt, aber nicht in dieser umgesetzt wird. Das bedeutet, dass er zum Ende der Reaktion wieder unverändert vorliegt.

Während des Versuches zerfällt ein Großteil des Wasserstoffperoxids und steht der Reaktion nicht mehr zur Verfügung. Ist dieses aufgebraucht, kommt die Reaktion zum Stillstand und die Lösung verfärbt sich wieder rosa. Dies bedeutet, dass wieder Co^{2+} -Ionen vorliegen und der Katalysator der die Reaktion gestartet hat wieder unverändert vorliegt.

Das Kaliumnatriumtartrat wird meist nicht in einem Versuch verbraucht. Durch erneute Zugabe von Wasserstoffperoxid kann die Reaktion erneut gestartet werden.

Reinigung und Entsorgung

Die Lösung im Abfall für anorganische Salzlösungen mit Schwermetallen entsorgen.