

## Konduktometrische Titration einer Salzsäurelösung mit pH-Messung

### Versuchsziele

- Den Titrationsverlauf einer Säure-Base-Titration mit zwei verschiedenen Messmethoden kennenlernen.
- Den Äquivalenzpunkt bei einer Titration von starken Säuren mit Basen als Neutralpunkt erkennen.
- Das Zusammenspiel von Hydronium- und Hydroxidionen und deren Reaktion zu Wasser verstehen.
- Wasser als Ampholyt, das sowohl als Säure als auch als Base reagieren kann, begreifen.

### Grundlagen

Bei der konduktometrischen Titration mit pH-Messung werden eine Leitfähigkeits- und eine pH-Messung parallel durchgeführt, sodass der Äquivalenzpunkt gleichzeitig mit zwei Messmethoden ermittelt werden kann.

Mit Hilfe der Leitfähigkeitsmessung können sowohl Säure-Base-Titrationsen als auch Fällungstitrationen verfolgt werden. Bei Säure-Base-Titrationsen ist die konduktometrische Verfolgung möglich, da sowohl Hydronium- als auch Hydroxidionen eine sehr hohe Leitfähigkeit verglichen zu anderen Ionen besitzen (Grotthuß-Mechanismus, Erläuterung siehe C3.5.2.1).

In diesem Versuch wird Salzsäure mit Natronlauge titriert. Zu Beginn liegen in der Salzsäurelösung sehr viele Hydroniumionen vor, die die Leitfähigkeit dieser Lösung stark erhöhen. Werden nun Ionen mit entgegengesetzter Ladung wie Hydroxidionen durch die Zugabe von Natronlauge hinzugegeben so entsteht Wasser, da die Hydroniumionen durch die Hydroxidionen neutralisiert werden.



Die Leitfähigkeit der Elektrolytlösung nimmt ab. Genau am Äquivalenzpunkt ist die Stoffmenge an Hydronium- und Hydroxidionen ausgeglichen und die Leitfähigkeit der Lösung durchläuft ein Minimum.

Es gilt:  $n(H_3O^+) = n(OH^-)$

Bei weiterer Zugabe von Natronlauge steigt die Leitfähigkeit wieder an, da nun ein Überschuss von Hydroxidionen vorliegt. Durch die erhaltenen Messwerte der Leitfähigkeitsmessung können zwei Regressionsgeraden gelegt werden, welche sich in einem Minimum, dem Äquivalenzpunkt der Titration, schneiden.

Parallel dazu wird die Veränderung des pH-Wertes verfolgt. Der pH-Wert wird bei verdünnten Lösungen über den negativen dekadischen Logarithmus der Hydroniumionen-Konzentration  $c(H_3O^+)$  wie folgt bestimmt:

$$pH = -\log(c(H_3O^+)) \text{ bzw. } c(H_3O^+) = 10^{-pH}$$

Der Äquivalenzpunkt stellt bei der pH-Messung den Wendepunkt der Titrationskurve dar, da an diesem Punkt die Änderungsrate des pH-Wertes maximal ist. Werden wie in diesem Versuch starke Säuren und Basen in wässriger Lösung gegeneinander titriert, so liegt der Äquivalenzpunkt am Neutralpunkt und der pH-Wert ist 7.



Abb. 1: Versuchsapparatur für eine konduktometrische Titration mit pH-Messung.

## Gefährdungsbeurteilung

Natronlauge in der verwendeten Konzentration ist nicht als Gefahrstoff eingestuft. Salzsäure in der Konzentration ist ätzend. Beide Stoffe sollten nicht in Kontakt mit der Haut oder den Augen kommen. Während des Versuchs werden daher nur wässrige Lösungen der angegebenen Stoffe verwendet.

### Salzsäure, 0,1 mol/l



Signalwort:  
Achtung

#### Gefahrenhinweise

H290: Kann gegenüber Metallen korrosiv sein.

#### Sicherheitshinweise

P234 Nur im Originalbehälter aufbewahren.

P390 Verschüttete Mengen aufnehmen, um Materialschäden zu vermeiden.

## Geräte und Chemikalien

1	Sensor-CASSY 2.....	524 013
1	CASSY Lab 2.....	524 220
1	Leitfähigkeits-Adapter S.....	524 0671
1	Leitfähigkeits-Sensor.....	529 670
1	pH-Adapter S.....	524 0672
1	pH-Elektrode mit Kunststoffschale, BNC.....	667 4172
1	Magnetrührer Mini.....	607 105
1	Magnetrührstäbchen, 40 mm x 20 mm Ø, ....	604 592
1	Becherglas DURAN, 250 ml, nF.....	664 103
1	Messzylinder 100 ml, Kunststofffuß.....	665 754
1	Vollpipette Boro 3.3, 10 ml.....	665 975
1	Pipettierball (Peleusball).....	666 003
1	Bürette Klarglas, 25 ml, seitlicher Hahn.....	665 845
1	Trichter PP, 25 mm Ø.....	665 816
1	Bürettenhalter für 1 Bürette, Rollenhalterung.....	666 559
1	Stativfuß V-förmig, klein.....	300 02
1	Stativstab 450 mm, 12 mm Ø.....	666 523
1	Sockel.....	300 11
1	Stativstange 25 cm, 12 mm Ø.....	300 41
2	Kreuzmuffe, 0...16 mm.....	666 543
2	Universalklemme 0...80 mm.....	666 555
1	Salzsäure, 0,1 mol/l, 500 ml.....	674 6950
1	Natronlauge, 0,1 mol/l, 500 ml.....	673 8410
1	Pufferlösung pH 4,00, 250 ml.....	674 4640
1	Pufferlösung pH 7,00, 250 ml.....	674 4671

## Versuchsaufbau und -vorbereitung

### Aufbau der Apparatur

Für die konduktometrische Titration mit pH-Messung wird aus Magnetrührer, Becherglas (250 ml), Bürette, Bürettenhalter und Stativen eine Apparatur zur Titration aufgebaut (siehe Abb.1). Dafür wird am Stativstab mit Stativfuß der Bürettenhalter befestigt und die Bürette in die Halterung geklemmt. Die pH-Elektrode wird mit Hilfe einer Kreuzmuffe und einer Universalklemme ebenfalls am Stativstab befestigt. Der Leitfähigkeits-Sensor wird ebenfalls mit Hilfe einer Kreuzmuffe und einer Universalklemme an der Stativstange befestigt, welche im Stativsockel sitzt. Beide Sensoren werden mit Sensor-CASSY 2 verbunden. Dafür die pH-Elektrode über den pH-Adapter S am Eingang A und den Leitfähigkeits-Sensor über den Leitfähigkeits-Adapter S am Eingang B anschließen.

*Hinweis: Beim Aufbau sollte darauf geachtet werden, dass die Elektroden so in die Flüssigkeit getaucht werden, dass*

*sie ausreichend bedeckt sind jedoch nicht vom rotierenden Magnetührstäbchen touchiert werden.*

### Vorbereitung der Lösungen

100 ml Wasser werden mit dem Messzylinder abgemessen und in das 250 ml Becherglas gefüllt, mit einer Pipette 10 ml 0,1 M Salzsäure hinzugegeben. Die Bürette wird mit Hilfe des Trichters mit 20 ml 0,1 M Natronlauge befüllt.


### Vorbereitungen der Messung mit CASSY

1. [Einstellungen in CASSY Lab 2 laden.](#)
2. Für eine genaue Messung muss vor einer neuen Messung eine Kalibrierung der pH-Elektrode erfolgen:
3. In Einstellungen pHA1 **Korrigieren** wählen.
4. pH-Elektrode mit destilliertem Wasser abspülen, in die Pufferlösung pH 7,00 eintauchen und kurz bewegen.
5. Als ersten Sollwert 7,00 eintragen und nach Erreichen eines stabilen Messwerts die Schaltfläche **Offset korrigieren** betätigen.
6. Die Elektrode erneut mit destilliertem Wasser abspülen und in die Pufferlösung pH 4,00 eintauchen und kurz bewegen.
7. Als zweiten Sollwert 4,00 eingetragen und nach kurzer Wartezeit mit **Faktor korrigieren** bestätigen.
8. Die pH-Elektrode ist nun kalibriert. Diese kann nun wie die Leitfähigkeits-Elektrode in die Salzsäurelösung eingetaucht und befestigt werden.

*Hinweis: Um genauere Messergebnisse zu erreichen kann die pH-Elektrode nach der Lagerung über größere Zeitabstände nochmals kalibriert werden.*

## Versuchsdurchführung

1. Zunächst den Magnetrührer einschalten und die Rotationsgeschwindigkeit des Magnetührstäbchens einstellen.

Anschließend einen Anfangswert mit  aufnehmen. Drücken Sie alternativ F9.

2. Nun in 0,5 ml Schritten Natronlauge zur Salzsäure titrieren und jeweils nach Einstellen eines konstanten pH- und Leitfähigkeitswerts den Messwert manuell wie den Anfangswert aufnehmen.

*Hinweis: Der Magnetrührer sollte so schnell eingestellt sein, dass eine gute Durchmischung stattfinden kann, wodurch sich schnell ein konstanter Messwert einpendelt.*

## Beobachtung

Während der Titration wird sowohl die Leitfähigkeit als auch der pH-Wert in Abhängigkeit vom hinzugegebenen Volumen der Natronlauge aufgezeichnet (siehe Abb.2).

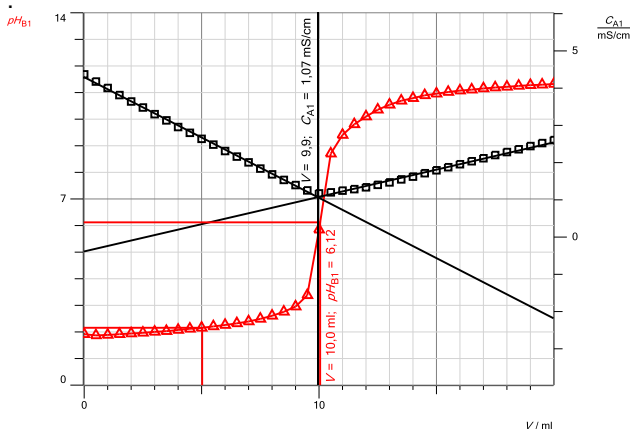
Bei der konduktometrischen Titration nimmt die Leitfähigkeit der Lösung zunächst durch die Zugabe der Natronlauge konstant ab. Nach der Zugabe von ca. 10 ml NaOH-Lösung, wird ein Minimum der Leitfähigkeit erreicht. Wird weiter basische Lösung hinzugegeben, so nimmt die Leitfähigkeit der Lösung wieder konstant zu, wobei die Steigung nun flacher verläuft. Wird der pH-Wert während der Titration betrachtet, so steigt dieser von dem Ausgangs-pH-Wert 1,9 zunächst nur leicht an. Die Steigung der Kurve nimmt immer stärker zu bis sie einen Wendepunkt bei einem pH-Wert von 6,1 durchläuft, dann abflacht und als Endwert einen pH-Wert von 11,3 erreicht.

## Auswertung

Es wird sowohl über die Leitfähigkeitsmessung als auch über die pH-Messung der Äquivalenzpunkt der Titration von Salzsäure mit Natronlauge ermittelt (siehe Abb.2)

### Bestimmung des Äquivalenzpunktes aus der Leitfähigkeit

Zur Bestimmung des Äquivalenzpunktes aus der konduktometrischen Messung sollten zunächst zwei Ausgleichsgeraden durch die Messwerte gelegt werden. Dafür wird mit der rechten Maustaste auf das Diagramm geklickt und unter **Anpassung durchführen** → **Ausgleichsgerade** ausgewählt. Für die Erstellung der ersten Regressionsgeraden wird der linke Ast der Leitfähigkeitskurve markiert. Die Anpassung für die zweite Regressionsgerade für den rechten Ast der Messung wiederholen. Am Schnittpunkt der beiden Geraden liegt der Äquivalenzpunkt der über **Markierung setzen** → **senkrechten Linie** gekennzeichnet werden kann. Der hier ermittelte Äquivalenzpunkt liegt bei einem Volumen von 9,9 ml NaOH-Lösung und einer Leitfähigkeit von 1,07 mS/cm.



**Abb. 2:** Darstellung der Leitfähigkeit (schwarz) und des pH-Wertes (rot) in Abhängigkeit der Zugabe einer Natronlauge.

### Bestimmung des Äquivalenzpunktes aus der Messung des pH-Wertes

Um den Äquivalenzpunkt aus der pH-Wert-Messung zu bestimmen wird mit der rechten Maustaste auf das Diagramm geklickt, unter **weitere Auswertungen** → **Äquivalenzpunkt bestimmen** ausgewählt und der gewünschte Kurvenbereich markiert. In der Statuszeile wird der gemittelte Äquivalenzpunkt angezeigt und kann als Text in das Diagramm gezogen werden. Der experimentell ermittelte Wert liegt bei einem Volumen von 10 ml Natronlauge und einem pH-Wert von 6,12.

### Ergebnis

Sowohl mit der konduktometrischen Messung als auch mit der pH-Wert-Messung kann der gleiche Äquivalenzpunkt einer Säure-Base-Titration ermittelt werden. Dies geht darauf zurück, dass derselbe chemische Vorgang auf unterschiedliche Weise nachgewiesen werden kann. Am Äquivalenzpunkt sind die Stoffmengen der Hydroniumionen und Hydroxidionen gleich und das System ist neutral. Bei der Leitfähigkeitsmessung kann zudem gezeigt werden, dass sowohl Hydroniumionen als auch Hydroxidionen eine hohe Leitfähigkeit besitzen. Bei der Leitfähigkeitsmessung ist der Äquivalenzpunkt durch ein Minimum der Leitfähigkeit gekennzeichnet. Bei der pH-Messung ist der Wendepunkt der Titrationskurve der Äquivalenzpunkt. An diesem Punkt ist die Änderungsrate des pH-Wertes maximal.

Es konnte in diesem Versuch mit zwei verschiedenen Messmethoden nachgewiesen werden, dass bei der Titration von starke Säuren und Basen in wässriger Lösung der Äquivalenzpunkt am Neutralpunkt bei pH=7 liegt.

### Reinigung und Entsorgung

Die Lösung in einen Abfallkanister für saure und basische Abfälle und Schwermetallhaltige Lösungen (nicht giftig) entsorgen.