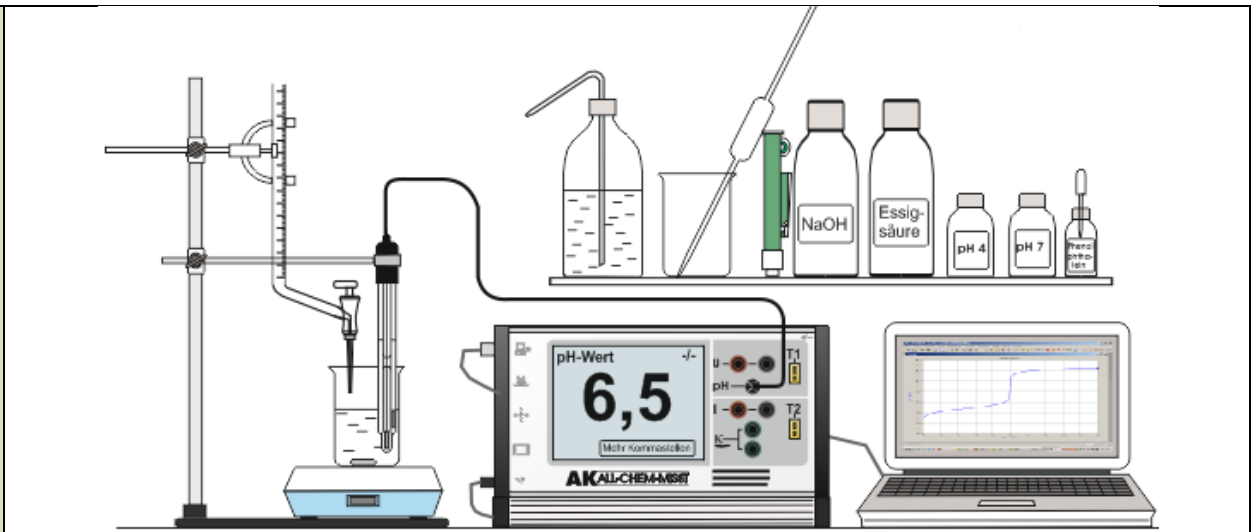




Prinzip

Essigsäure wird mit Natronlauge titriert. Durch Ermittlung des Äquivalenzpunktes lässt sich der Gehalt der Säure berechnen; durch Ermittlung des Halbäquivalenzpunktes der entsprechende pK_S-Wert.

Aufbau und Vorbereitung



Benötigte Geräte

- ALL-CHEM-MISST II oder ACM Junior
- Netzteil / USB-Anschlusskabel
- Computer
- pH-Elektrode mit BNC
- Spülbecherglas, 250 mL
- Pipette, 10 mL
- Pipettierhilfe

- Bürette, 25 mL
- Becherglas, 100 mL
- Stativ, Muffe
- Bürettenklemme
- Elektrodenklemme
- Magnetrührer
- Rührfisch

Verwendete Chemikalien

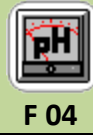
- Natronlauge (c = 0,1 mol/L)
- Essigsäure (c = 0,1 mol/L)
- Pufferlösung, pH = 4
- Pufferlösung, pH = 7
- destilliertes Wasser
- Phenolphthalein-Lsg. 0,5 %

Vorbereitung des Versuchs

- ▶ **Geräte** entsprechend der Zeichnung aufbauen.
- ▶ **Bürette** mit **Natronlauge** spülen, füllen und auf Nullmarkierung stellen.
- ▶ **10 mL Essigsäure** (bzw. Analysenlösung) mit **Pipette** in **Becherglas** geben.
- ▶ **Rührfisch** dazugeben und das **Becherglas** auf **Magnetrührer** stellen.
- ▶ **pH-Elektrode** in halb mit **Leitungswasser** gefülltes **Spülbecherglas** stellen.
- ▶ pH- Elektrode in die entsprechende pH-Buchse stecken.

Vorbereitung am Computer

- ▶ **AK Analytik 11** starten; **Messen** mit **Geräte-Schnellstarter App** **ALL-CHEM-MISST II**
- ▶ Anweisungen befolgen und 'abhaken' **Weiter**
- ▶ **Auswahl des Messkanals: (Buchse im Bild) pH** **Weiter** **Abfrage „pH-Wert kalibrieren?“: Ja**
- ▶ **Abfrage: „pH Wert kalibrieren“ Ja** (bei „nein“ grünen Kästen' überspringen!)
- ▶ Zwei unterschiedliche Pufferlösungen bereithalten!
- ▶ Anleitung gelesen, jetzt beginnen und abhaken
- ▶ Elektrode gespült und in Pufferlösung z.B. pH=7 getaucht
- ▶ pH-Wert 1 (Etikett) (bestätigen oder ändern) **z.B. 7**
- ▶ Warten bis Driftanzeige „stabil“, dann Puffer bestätigen
- ▶ Elektrode gespült und in 2. Pufferlösung z.B. pH=2 getaucht
- ▶ 2. pH-Wert (Etikett) (bestätigen oder ändern) **z.B. 2**
- ▶ Warten bis Driftanzeige „stabil“, dann Puffer bestätigen
- ▶ Abschließen der Kalibrierung mit **Akzeptieren**
- ▶ **Auf welche Weise möchten Sie messen: Volumen** dann: **Tastatur** ,
Volumenintervall: **0,5** mL, **Gesamtvolumen:** **20,0** mL, **x-Komma** **1**
- ▶ **Darstellung der Kanäle im Graphen: pH-Wert** **y-Untergrenze im Graphen** **0**
y-Obergrenze **14** **y-Nachkomma** **1** – Bestätigen mit **Akzeptieren** dann **Weiter**



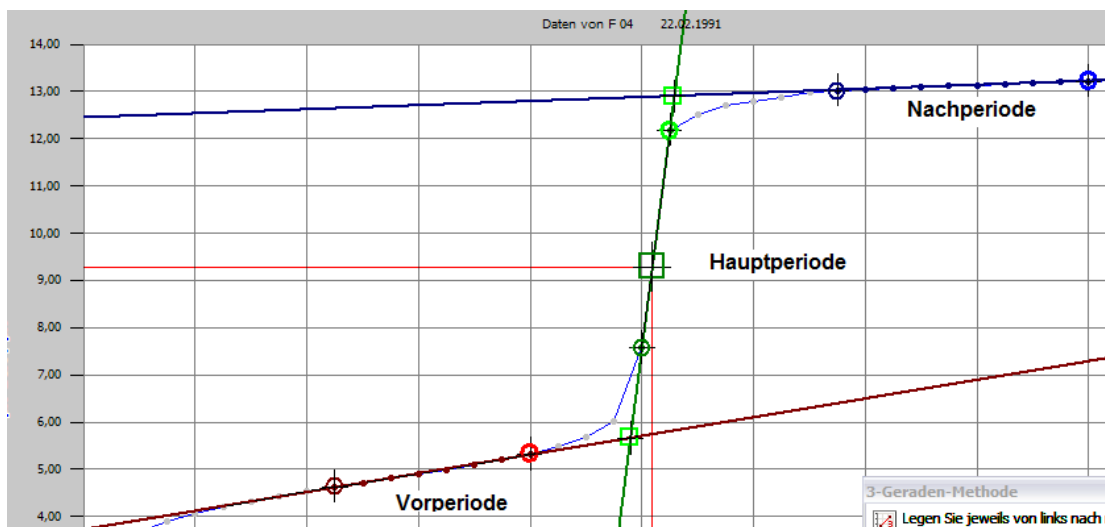
Durchführung

- ▶ pH-Elektrode am Stativ befestigen. Der Rührfisch darf beim Drehen die Elektrode nicht berühren.
- ▶ Zur **Messwertaufnahme** bei **0,0 mL** **Einzelwert** oder besser die 'Leertaste' drücken.
- ▶ Die Titratorflüssigkeit kontinuierlich (mit recht kleiner Geschwindigkeit!) aus der Bürette auslaufen lassen und nach **jeweils 0,5 mL** einen **Messwert** mit 'Leer'-Taste oder **Maus speichern**.
- ▶ Zum Beenden **Messung beenden** oder 'Esc'-Taste drücken.
- ▶ Projektname eingeben (hier: Beispiel) **Mein erstes Projekt** und **Akzeptieren**

Auswertung des Versuches 1. Gehaltsbestimmung

a) Bestimmung des Volumens im Äquivalenzpunkt

Die Ermittlung erfolgt nach der sogenannten „Drei-Geraden-Methode“: Die Messwerte in und um den Äquivalenzpunkt werden in 3 „Zonen“ eingeteilt. 1. „Vorperiode“ (dunkelrot), 2. „Hauptperiode“ (grün) und 3. „Nachperiode“ (blau). In diesen Bereichen kann annähernd ein linearer Verlauf angenommen werden. Durch die Messpunkte werden vom Computer nacheinander einzelne Ausgleichsgeraden gelegt. (Die Schüler können die Ausgleichsgeraden mit dem Geo-Dreieck einzeichnen). Der Mittelwert der x-Werte der beiden Schnittpunkte der drei Geraden (hellgrüne Kästchen) ist das Volumen im Äquivalenzpunkt (dunkelgrünes Kästchen).



b) Berechnung des Gehaltes (Bedeutung der Indizes: v = vorgelegt – z = zugegeben bis zum Äquivalenzpunkt)

Bei Äquivalenz gilt: $n_v(\text{HAc}) = n_z(\text{NaOH}) \Rightarrow c_v(\text{HAc}) \cdot V_v(\text{HAc}) = c_z(\text{NaOH}) \cdot V_z(\text{NaOH})$

$$\Rightarrow c_v(\text{HAc}) = \frac{c_z(\text{NaOH}) \cdot V_z(\text{NaOH})}{V_v(\text{HAc})}$$

Bestimmung am Computer

- ▶ Hauptmenü: **AK Analytik 11** Start Messung Favoriten **Auswerten** Hinzufügen **Drei-Geraden-Methode**
- ▶ Folgen Sie den Anweisungen (mit 'Abhaken') **1.** für die **Vorperiode**, **2.** **Hauptperiode** und **3.** **Nachperiode**
- ▶ Zur Prüfung des Ergebnisses **Koordinaten Zeichnen** dann **Konzentration berechnen**
- ▶ **Akzeptieren** und **Beschriften** (evtl. Position ändern) und **Fertig**

Auswertung des Versuches 2. pK_S -Wert-Bestimmung (pH-Wert im Halbäquivalenzpunkt)

Die **Puffergleichung** für die schwache Säure HAc lautet: $pH = pK_S - \log \frac{c(\text{HAc})}{c(\text{Ac}^-)}$

Bei der Titration wird die schwache Säure HAc durch die starke Base OH^- in die schwache Base Ac^- überführt. In einem bestimmten Punkt sind die **Konzentrationen von HAc bzw. Ac^- gleich** und die Gleichung vereinfacht sich, da $(\log(1)=0)$ ist, zu:

$$pH = pK_S$$

Dies ist genau dann der Fall, wenn die **Hälfte der vorgelegten Säure umgesetzt** ist (Halbäquivalenz). Das zugegebene Volumen im HÄP ist **genau halb so groß wie das im Äquivalenzpunkt**.

Auswertung

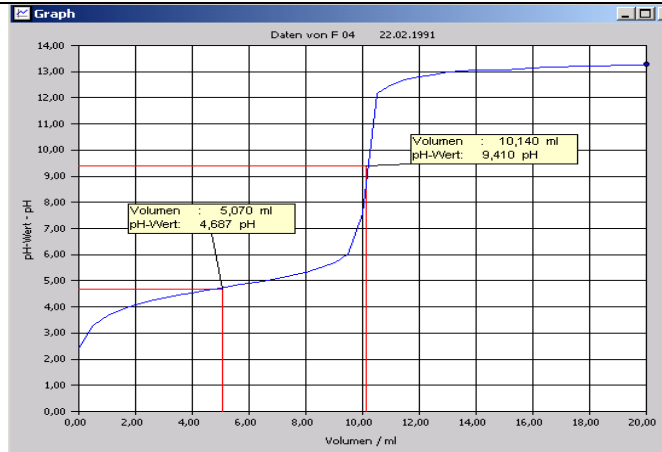
Theorie



Bestimmung am Computer

- ▶ Auswerten im Hauptmenü **AK Analytik 11** Start Messung Favoriten **Auswerten** Hinzufügen
- ▶ **Halbäquivalenzpunkt** (Achtung: es folgen Beispielwerte!)
- ▶ Linker x-Wert: **0,0** mL, Rechter x-Wert: **10.14** mL Stützpunkte: **20** und **Berechnen**
- ▶ **Akzeptieren** **Koordinaten Zeichnen** und **Beschriften** (evtl. Position ändern) und **Fertig**

Auswertung

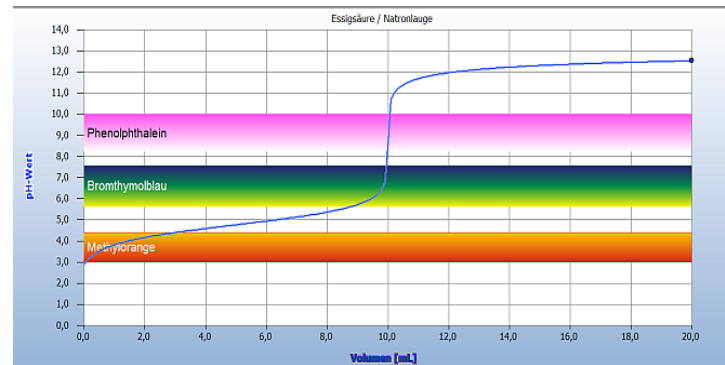


Nebenstehend der Graph der komplett ausgewerteten Messreihe

1. Einblenden verschiedener Indikatoren

AK Analytik 11 Start Messung Favoriten **Auswerten** Hinzufügen

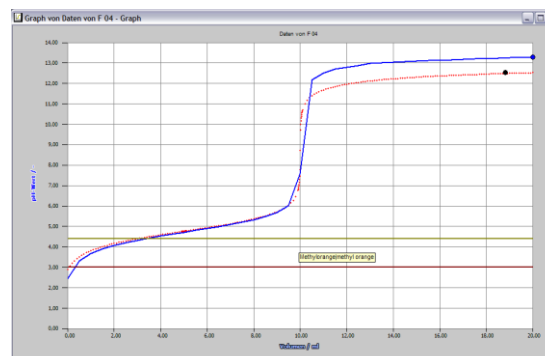
- ▶ **Indikatoren**
Wählen Sie z.B. **Methylorange** aus, um zu zeigen, dass der Indikator für diese Titration ungeeignet ist.
- ▶ **Bromthymolblau** ist nur bedingt geeignet.
- ▶ Ein geeigneter Indikator ist: **Phenolphthalein**



Zusatzauswertung

2. Vergleich der gemessenen mit einer theoretisch ermittelten Kurve

- ▶ **AK Analytik 11** Start Messung Favoriten **Auswerten** **Hinzufügen** **pH-Kurve** Vorlage: **Säure**
- ▶ Vorlage: **Essigsäure** Konzentration (mol/L): **0,1** Volumen (mL): **10,0**
- ▶ Titrierm.: **Natronlauge** Konzentration (mol/L): **0,1014** Volumen Anfang (mL): **0** Ende (mL): **20,0**
- ▶ **Akzeptieren** **Neue Datenreihe** **In aktuellen Graphen einzeichnen** **Akzeptieren**





Erläuterung mit dem Programmpaket AK-Labor (kostenlos aus dem Internet „downloadbar“)

Neben vielen anderen Simulations- und Rechenprogrammen ist auch das Programm **TitraCalc** zur Verdeutlichung von Elementarreaktionen wie die einer Säure mit einer Base enthalten. Man kann für die Schüler (oder diese für sich selbst) jeden einzelnen Schritt des Zustandekommens von so komplexen Zusammenhängen wie Titrationskurven nach und nach „aufdröseln“.

- ▶ Vom Desktop AK Labor 11 starten
- ▶ Rechnen & Nachschlagen
- ▶ TitraCalc
- ▶ Rechen-Demos
- ▶ pH- schwache Säure mit starker Base

Erläuterung der Abbildung:

Linker Teil „Blick ins Titriergefäß: Zugabe von '2 mL Base“

Rechts: oben: Aufgabenstellung
Mitte: Bilanz der Stoffe (nur wichtige Teilchen - keine Wasserteilchen)

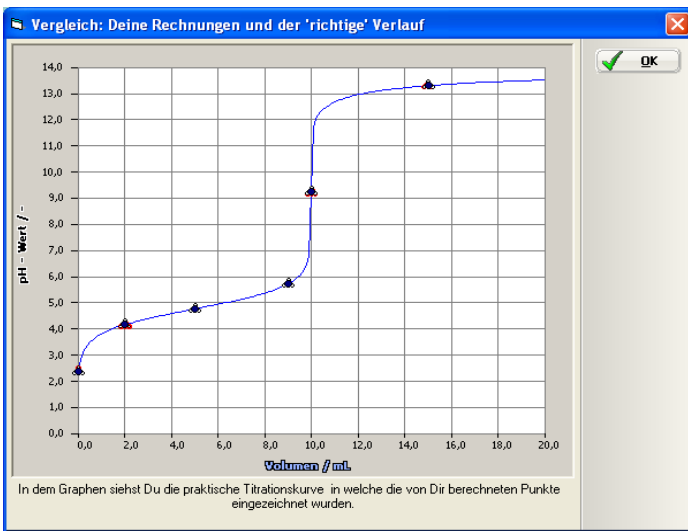
Aktuelle Bilanz	
H ₃ O ⁺	0 mmol
Na ⁺	2 mmol
HAc	8 mmol
Ac ⁻	2 mmol
OH ⁻	0 mmol

c_V(HAc) = 1 mol/L V_V(HAc) = 0,010 L
 c_Z(OH) = 1 mol/L V_Z(OH) = 0,002 L
 pH Wert: Demo

Auf der rechten Seite steht das Beispiel eines Rechenweges zum pH Wert.

Dieser komplette Weg und noch weitere Hinweise erscheinen nur, wenn DEMO angewählt wurde, oder wenn man bei jedem der fünf Schritte Fehler gemacht hat.

So kann man die praktisch aufgenommene Kurve rechnerisch „verstehen“:



pH-Wert ausrechnen

- Stoffmenge vorgelegte Säure
 $n_V(\text{HAc}) = c_V(\text{HAc}) \cdot V_V(\text{HAc})$
 $c_V(\text{HAc}) = 1 \text{ mol/L}$
 $V_V(\text{HAc}) = 0.01 \text{ L}$
 $n_V(\text{HAc}) = 1 \cdot 0.01$
 $n_V(\text{HAc}) = 0,01 \text{ mol}$
- Stoffmenge der zugegropften Base
 $n_Z(\text{OH}) = c_Z(\text{OH}) \cdot V_Z(\text{OH})$
 $c_Z(\text{OH}) = 1 \text{ mol/L}$
 $V_Z(\text{OH}) = 0,002 \text{ L}$
 $n_Z(\text{OH}) = 1 \cdot 0,002$
 $n_Z(\text{OH}) = 0,002 \text{ mol}$
- Welcher Fall liegt vor - ist für den pH entscheidend?
 (Fast) nur HAc $n_Z(\text{OH}) = 0$
 HAc neben Ac- $0 < n_Z(\text{OH}) < n_V(\text{HAc})$
 (Fast) nur Ac- $n_Z(\text{OH}) = n_V(\text{HAc})$
 Wichtig nur OH- $n_Z(\text{OH}) > n_V(\text{HAc})$
- HAc und Ac- liegen nebeneinander vor
 $n(\text{HAc}) = n_V(\text{HAc}) - n_Z(\text{OH})$
 $n(\text{HAc}) = 0,008 \text{ mol}$
 $n(\text{Ac}) = n_Z(\text{OH})$
 $n(\text{Ac}) = 0,002 \text{ mol}$
 $n(\text{HAc})/n(\text{Ac}) = n(\text{HAc})/n_Z(\text{OH})$
 $n(\text{HAc})/n(\text{Ac}) : 4,000 \text{ mol}$
- pH-Wert berechnen
 $\text{pH} = \text{pK}_s - \log(n(\text{HAc}) / n(\text{Ac}))$
 pH = 4,16

AK
Labor
11

Zusatz-
übung

Beachten:



Entsorgung

Ausguss (nach evtl. Neutralisation)

Literatur

F. Kappenberg; Computer im Chemieunterricht 1988, Verlag Dr. Flad, Stuttgart