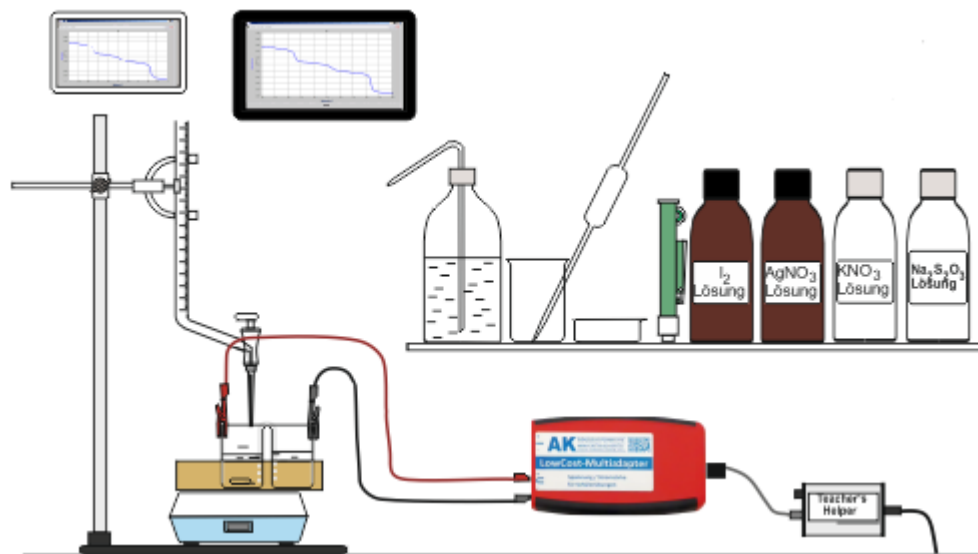




Prinzip

Die Probe der Iodlösung wird mit Natriumthiosulfatlösung ($c = 0,1 \text{ mol/L}$) titriert und potenziometrisch verfolgt. Es kommt zu einem Reaktionsgleichgewicht dessen Gleichgewichtskonstante es zu berechnen gilt.



**Aufbau
und
Vorbereitung**

Benötigte Geräte

- AK Low Cost Multiadapter U/I
- Teacher's Helper / Netzteil/ USB Kabel
- Tablet, Laptop o. Smartphone
- 2 Bechergläser, 50 mL
- Pipette, 10 mL u. Pipettierhilfe
- 2 Krokodilklemmen
- Bürette, 25 mL
- Stativ, Klemme

- Experimentierkabel, rot
- Experimentierkabel, schw.
- AK Experimentierklotz
- Filterpapier
- 2 Silberblechstreifen
- Kristallisierschale
- Magnetrührer
- Rührmagnet

Verwendete Chemikalien

- Silbernitrat-Lsg., $c = 0,1 \text{ mol/L}$
- Kaliumnitrat-Lsg, $c = 1 \text{ mol/L}$
- Natriumthiosulfat-Lsg, $c = 0,1 \text{ mol/L}$
- Iodlösung, $c \approx 0,05 \text{ mol/L}$

Vorbereitung des Versuchs

- ▶ Experiment nach der Abbildung aufbauen.
- ▶ Rührfisch und 10 mL der Iodlösung in das Becherglas geben und diese auf den Magnetrührer stellen.
- ▶ Das „Bezugsbecherglas“ mit etwa 20 mL Silbernitratlösung ($c = 0.1 \text{ mol/L}$) füllen und mit einem in Kaliumnitratlösung (in kleiner Kristallisierschale) getränkten Filterpapier mit dem „Analysenbecherglas“ verbinden.
- ▶ Die Bürette mit der Natriumthiosulfatlösung spülen und füllen. Auf die Nullmarkierung einstellen.
- ▶ Den Teacher's Helper mit dem AK Low Cost Multiadapter (U) verbinden und den mit Kabeln und Krokodilklemmen an die Silberbleche anschließen.

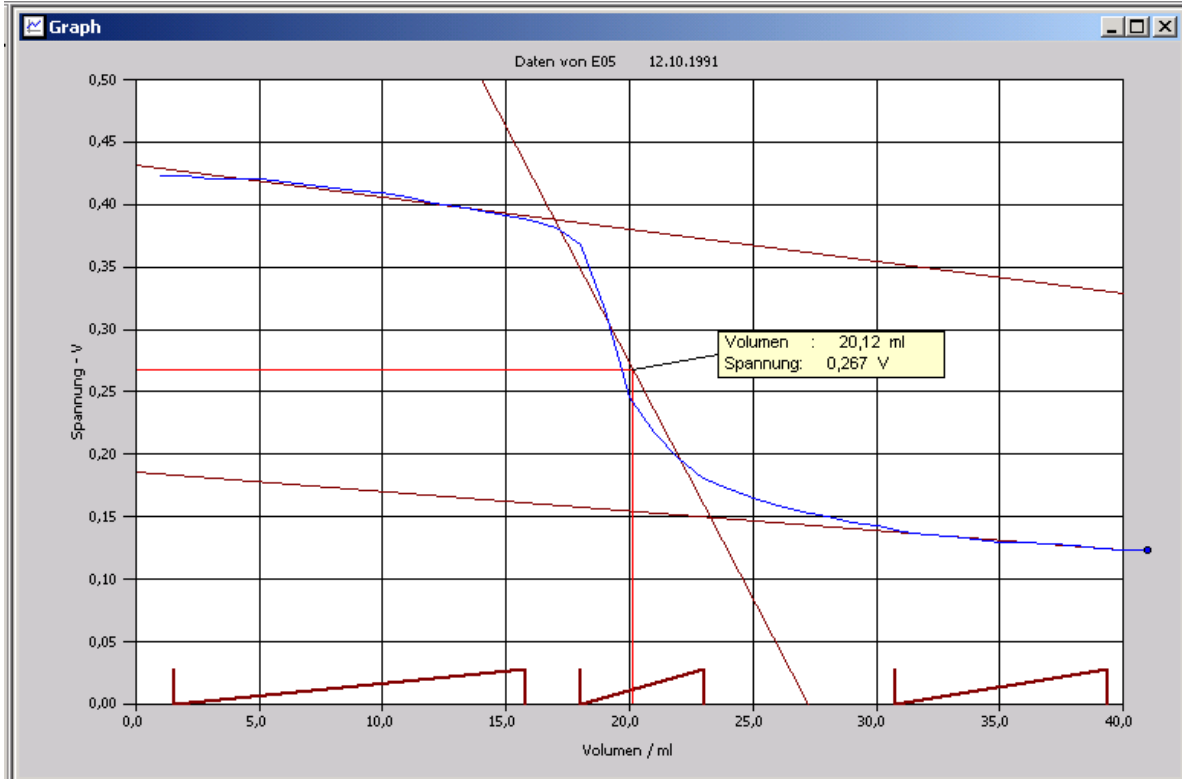
Vorbereitung an den Tablets/ Laptops (Clients)

- ▶ Am Tablet / Laptop / Smartphone Einstellungen oder mit **WLAN** eine Verbindung herstellen: **ak.net** anwählen und warten bis die Verbindung eingebucht ist.
- ▶ Browser z.B. **Firefox/Safari** aufrufen, in die Adresszeile (URL-Zeile) - nicht in der (Google-Suchzeile!!) **http://labor.ak** eingeben. - Es erscheinen 4 Bildschirme
- ▶ **AK MiniAnalytik** wählen. Im erschein Bild können die Menüicons neben- oder (bei kleinen Bildschirmen) untereinander angeordnet sein.
- ▶ Icon 'Messen' (2. Von links) und **Mit Messgerät verbinden** auswählen
- ▶ **Messgrößen-Auswahl:** **Spannung (U)**
- ▶ **Konfiguration-Methode** y-Achse U Min **0,00 V** und Max **0,5 V**
Nachkomma **2** und Linie **ja**
- ▶ **x-Achse: Volumen (auf Tastendruck)**



- ▶ x-Achse Vol. Intervall mL und Vol. Max mL
Nachkomma und
- Der Messbildschirm wird aufgebaut und Werte angezeigt.

- ▶ Zur Messwertaufnahme bei 0,0 mL drücken.
- ▶ Die Titratorflüssigkeit kontinuierlich (mit recht kleiner Geschwindigkeit!) aus der Burette auslaufen lassen und nach jeweils 0,5 mL einen Messwert mit speichern.
- ▶ Zum Beenden



Durch-
führung

Speichern

- ▶ Icon oben links und wählen
▶ Unter „Projekt Speichern“ Projektnamen eingeben (hier: Beispiel) und

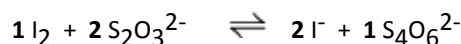
Excel-
Export

- ▶ Icon oben links und wählen
Unter „Datenreihen Speichern“ Projekt auswählen und
- ▶ Je nach Gerät mit „Speichern unter“ noch Pfad aussuchen und bestätigen

Öffnen
bei
Bedarf

- ▶ Ist der Teacher's Helper nicht mehr zu erreichen: Browser z.B. aufrufen, in die Adresszeile (URL-Zeile) - nicht in der (Google-Suchzeile!!) eingeben. -
- ▶ Icon oben links und "Projekt Laden" direkt auswählen und → anklicken

Prinzip: Die Reaktion verläuft nach folgender Gleichung:



Berechnung der Iodkonzentration

Prinzip: Im Äquivalenzpunkt gilt: $2 \cdot c(\text{I}_2) \cdot V(\text{I}_2) = c(\text{S}_2\text{O}_3^{2-}) \cdot V(\text{S}_2\text{O}_3^{2-})$



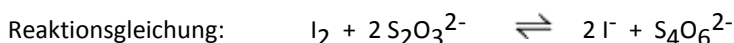
Am Tablet

Auswertung

Die Bestimmung des Äquivalenzpunktes erfolgt nach der Drei-Geraden-Methode oder mit Hilfe der im Programm vorgesehenen automatischen Wendepunktsbestimmung.

- ▶ Icon 'Auswerten' (3. von links) **Drei-Geraden-Methode**
- ▶ Folgen Sie den Anweisungen (mit 'Abhaken') **1.** für die **Vorperiode**, **2.** **Hauptperiode** und **3.** **Nachperiode**
- ▶ Dann auf **Berechnen** tippen.
- ▶ Evtl. die Position des Ergebniskästchens ändern.

Berechnung der Gleichgewichtskonstanten:

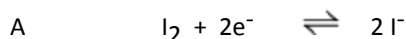


Auf diese Gleichung wird das Massenwirkungsgesetz angewendet:

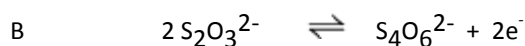
$$K = \frac{c^2(I^-) \cdot c(S_4O_6^{2-})}{c(I_2) \cdot c^2(S_2O_3^{2-})}$$

Auf den Oxidations- und den Reduktionsvorgang wird nun getrennt die Nernstsche Gleichung angewendet.

Erweiterung



$$U_1 = U_{0A} + \frac{0,059V}{2} \cdot \lg \frac{c(I_2)}{c^2(I^-)}$$



$$U_2 = U_{0B} + \frac{0,059V}{2} \cdot \lg \frac{c(S_4O_6^{2-})}{c^2(S_2O_3^{2-})}$$

Im Gleichgewichtszustand ist die Potenzialdifferenz der beiden Teilreaktionen gleich null. Es gilt daher:

$$0 = U_1 - U_2$$

$$0 = U_{0A} + \frac{0,059V}{2} \cdot \lg \frac{c(I_2)}{c^2(I^-)} - [U_{0B} + \frac{0,059V}{2} \cdot \lg \frac{c(S_4O_6^{2-})}{c^2(S_2O_3^{2-})}]$$

$$\frac{(U_{0A} - U_{0B}) \cdot 2}{0,059} = \lg \frac{c(S_4O_6^{2-})}{c^2(S_2O_3^{2-})} + \lg \frac{c^2(I^-)}{c(I_2)} = \lg K$$

Man erhält einen Zusammenhang zwischen den Normalpotenzialen und dem Massenwirkungsgesetz. Um den Logarithmus der Gleichgewichtskonstanten zu bestimmen, benötigt man lediglich die Normalpotenziale der beiden Teilreaktionen. Diese ergeben sich (allerdings in etwas komplizierterer Weise) aus dem Titrationsdiagramm.

1) Bestimmung des Normalpotenzials von $I_2 / 2 I^-$ (U_{0A})

U_{0A} ist dann gleich U_1 , wenn Zähler und Nenner des logarithmischen Ausdrucks in der Gleichung A gleich sind:

$$c(I_2) = c^2(I^-)$$

Der Index 0 soll sich auf das Iod (vorher) der Index 1 auf das Iodid und der Index w auf den Äquivalenzpunkt beziehen.

Im Äquivalenzpunkt gilt: $c_0 \cdot V_0 = 1/2(c_1 \cdot V_W) \implies c_0 = \frac{c_1 \cdot V_W}{2 \cdot V_0}$



Aus einem Iodmolekül entstehen immer zwei Iodidionen. Die Anzahl der Iodidionen entspricht aber immer gerade der Anzahl der zugegebenen Thiosulfationen. Die aktuelle Iodkonzentration erhält man, wenn man von der Anfangsstoffmenge des Iods die Hälfte der zugegebenen Thiosulfatstoffmenge abzieht.

$$\frac{c_0 \cdot V_0 - 1/2(c_1 \cdot V_1)}{V_0 + V_1} = \left(\frac{c_1 \cdot V_1}{V_0 + V_1} \right)^2$$

Die Lösung ergibt sich durch langwieriges Umformen und Lösen der quadratischen Gleichung:

$$(c_0 \cdot V_0 - 1/2(c_1 \cdot V_1)) \cdot (V_0 + V_1) = c_1^2 \cdot V_1^2$$

$$c_0 V_0^2 - 1/2 c_1 V_0 V_1 + c_0 V_0 V_1 - 1/2 c_1 V_1^2 = c_1^2 V_1^2$$

$$c_1^2 V_1^2 + 1/2 c_1 V_1^2 + 1/2 c_1 V_0 V_1 - c_0 V_0 V_1 - c_0 V_0^2 = 0$$

$$(c_1^2 + 1/2 c_1) V_1^2 + (1/2 c_1 V_0 - c_0 V_0) V_1 - c_0 V_0^2 = 0$$

$$V_1^2 + \frac{(1/2 c_1 V_0 - c_0 V_0)}{(c_1^2 + 1/2 c_1)} V_1 + \frac{-c_0 V_0^2}{(c_1^2 + 1/2 c_1)} = 0$$

$$V_{1,2} = - \frac{(1/2 c_1 V_0 - c_0 V_0)}{(2(c_1^2 + 1/2 c_1))} \pm \sqrt{\left(\frac{(1/2 c_1 V_0 - c_0 V_0)}{(2(c_1^2 + 1/2 c_1))} \right)^2 + \frac{c_0 V_0^2}{(c_1^2 + 1/2 c_1)}}$$

2) Bestimmung des Normalpotenzials von $S_4O_6^{2-} / 2 S_2O_3^{2-}$ (U_{0B})

U_{0B} ist dann gleich U_2 , wenn Zähler und Nenner in dem logarithmischen Ausdruck in der Gleichung B (s.o.) gleich sind:

$$\frac{c(S_4O_6^{2-})}{c^2(S_2O_3^{2-})} = 1$$

Dabei ist die Stoffmenge an Tetrathionationen im Äquivalenzpunkt (Beginn dieser Betrachtung) genau gleich der Stoffmenge an Iod zu Beginn der Titration. Da keine Reaktion mehr abläuft, braucht man nur noch so viel Thiosulfat zutropfen zu lassen, bis die obige Bedingung erfüllt ist.

In der Gleichung oben stehen zwar Konzentrationen. Da aber das Volumen dasselbe ist, sind die Stoffmengen und Konzentrationsquotienten identisch.

$$\frac{c_0 \cdot V_0}{V_0 + V_W + V_2} = \left(\frac{c_1 \cdot V_2}{V_0 + V_W + V_1} \right)^2$$

$$(c_0 \cdot V_0) \cdot (V_0 + V_W + V_2) = c_1^2 \cdot V_2^2$$

$$c_1^2 \cdot V_2^2 - c_0 V_0 V_2 - c_0 V_0 V_W - c_0 V_0^2 = 0$$

$$V_2^2 - \frac{c_0 V_0}{c_1^2} V_2 - \frac{c_0 V_0 V_W - c_0 V_0^2}{c_1^2} = 0$$



$$V_{1,2} = -\frac{-c_0V_0}{2c_1^2} \pm \sqrt{\left(\frac{c_0V_0}{2c_1^2}\right)^2 + \frac{c_0V_0V_W - c_0V_0^2}{c_1^2}}$$

Wenn man nur die Differenzen der Potentiale haben möchte braucht man nicht zu berücksichtigen, dass nicht mit einer Wasserstoffelektrode als Bezugsselement gemessen wurde, sondern mit einer Silberelektrode. Will man auch die Normalpotentiale bestimmen, muss das Potenzial der Vergleichselektrode von den abgelesenen Werten abgezogen werden.

Die Auswertung scheint sehr kompliziert zu sein, doch ein kleines Programm (geschrieben in GW-Basic und daher geeignet für Q-Basic bzw. Quick-Basic) hilft, schnell die Lösung zu finden

```

100 REM Programm zur Ermittlung der Normalpotentiale
110 REM bei der Titration von Iod mit Thiosulfat

120 INPUT " Volumen der Iod-Lösung           mL:"; V0
130 INPUT " Konzentration der Thiosulfat- Lsg. mol/L:"; C1
140 INPUT " Verbrauch an Thiosulfat- Lsg.   mL:"; VW
150 C0 = C1 * VW / (2 * V0)
160 PRINT : PRINT "Ergebnis:":
170 PRINT "Konzentration der Iod- Lösung mol/L:"; C0
180 p = (C1 * V0 / 2 - C0 * V0) / (2 * C1 * C1 + C1)
190 q = -C0 * V0 * V0 / (C1 * C1 + C1 / 2)
200 V1 = -p / 2 + SQR((p * p / 4) - q)
210 PRINT "V1 ="; V1; " mL"
220 p = -(C0 * V0) / (C1 * C1)
230 q = -(C0 * V0 * V0 + C0 * V0 * VW) / (C1 * C1)
240 V2 = -p / 2 + SQR((p * p / 4) - q)
250 PRINT "V2 ="; VW + V2; " mL"
    
```

Beachten:



Entsorgung

Schwermetallbehälter

Literatur

Institut Dr. Flad, Praktikumsunterlagen