

Forsøg 1 (kemi): Kolorimetrisk titrering af 0,100 M saltsyre

Forsøgsbeskrivelse

10,0 mL 0,100 M saltsyre udtages med pipette og overføres til en 100 mL konisk kolbe. Der tilsættes ca. 30 mL demineraliseret vand og 2-3 dråber methylrødt. Opløsningen titreres under magnetomrøring med 0,100 M NaOH, indtil der på 1 dråbe kommer et blivende farveskift. Noter forbruget af base.

Udfør dobbeltbestemmelse.

Øvelse 1: Efterbehandling af forsøg 1

- Opskriv titreringsreaktionen.
- Hvorfor vælges methylrødt som indikator?
- Beregn den stofmængde NaOH, der er tilsat ved ækvivalenspunktet.
- I hvilket forhold reagerer HCl og NaOH?
- Beregn koncentrationen af HCl og sammenlign med de 0,100 M HCl, som bør opnås.

Forsøg 2 (kemi): Potentiometrisk titrering af 0,100 M saltsyre

Forsøgsbeskrivelse

10,0 mL 0,100 M saltsyre udtages med pipette og overføres til et 50 mL bægerglas. Opløsningen titreres under magnetomrøring med 0,100 M NaOH. pH-meteret kalibreres med en pufferopløsning, så det viser pufferens pH (husk også at indstille pH-meterets temperaturknap, da pH er temperaturafhængig).

pH-elektroden skylles forsigtigt med demineraliseret vand og tørres forsigtigt med lidt køkkenrulle. Den lille tyndvæggede glaskugle forneden på elektroden er den følsomme del - den tåler ikke at blive berørt! Elektroden sættes ned i bægerglasset uden at berøre glasset. Anbring den sådan, at magneten ved omrøring ikke berører elektroden. Fyld om nødvendigt efter med demineraliseret vand, så elektrodens følsomme del er dækket. Tænd magnetomrøreren, og aflæs pH-meteret, når dets visning er konstant.

0,100 M NaOH dryppes nu ned i bægerglasset. I et skema anføres sammenhørende værdier for tilsat basemængde og pH. I starten foretages aflæsning for hver tilsætning af max. 1 mL base (nøjagtig aflæsning på buretten). I nærheden af ækvivalenspunktet (altså ved stor pH-variation) aflæses for hver dråbe tilsat base. Dvs. så snart pH-værdien begynder at stige mere end "normalt" tilsættes basen dråbevis. Titreringen fortsættes, indtil volumen af tilsat titrator svarer til to gange volumen af titrator i ækvivalenspunktet.

Øvelse 2: Efterbehandling af forsøg 2

- Opskriv den kemiske reaktion, der foregår ved titreringen.
- Hvad er en puffer?
- Tegn titreringskurven, idet tilsat volumen NaOH afsættes ud af 1.aksen og pH afsættes ud af 2.aksen.
- Ud fra titreringskurven bestemmes ækvivalenspunktet, og tilsat volumen NaOH i ækvivalenspunktet aflæses.
- Beregn den stofmængde NaOH, der er tilsat ved ækvivalenspunktet
- Hvilken pH-værdi nærmer opløsningen sig efterhånden som volumen af tilsat NaOH vokser?
- Beregn HCl-koncentrationen.
- Forklar pH-værdien i ækvivalenspunktet.
- Diskuter mulige valg af indikatorer ved udførelse af en kolorimetrisk titrering
- Sammenlign til slut de to titreringsmetoder. Diskuter fordele/ulemper ved de to metoder.

Forsøg 3 (matematik): Den teoretiske titreringskurve for potentiometrisk titrering af 0,100 M saltsyre

Formålet er at opskrive et matematisk udtryk for titrering af 10,0 mL 0,100 M HCl med 0,100 M NaOH. Ved at plotte sammenhørende værdier for $(x, [\text{H}_3\text{O}^+])$ og derefter sammenhørende værdier for (x, pH) , vil man forstå, hvorfor pH-skalaen er nødvendig, hvis man ønsker at aflæse ækvivalenspunktet, og dermed beregne koncentrationen af titranden.

x betegner antal mL NaOH, $f(x)$ betegner $[\text{H}_3\text{O}^+]$ som funktion af x , og $\text{pH}(x)$ betegner $-\log\left(\frac{[\text{H}_3\text{O}^+]}{\text{M}}\right)$ som funktion af x .

Først beskrives $[\text{H}_3\text{O}^+]$ som funktion af $V(\text{NaOH})$ samt pH som funktion af $V(\text{NaOH})$.

Det er nødvendigt at beskrive funktionen som en stykvis funktion opdelt i intervallerne $(0 \leq x < 10)$ og $(x > 10)$. Først giver vi omskrivningerne af $[\text{H}_3\text{O}^+]$, dernæst af pH, og i den efterfølgende øvelse diskuteres omskrivningerne:

$$f(x) = [\text{H}_3\text{O}^+]$$

$$= \begin{cases} \frac{10,0 \text{ mL} \cdot 0,100 \text{ M} - x \text{ mL} \cdot 0,100 \text{ M}}{(10,0 + x) \text{ mL}} & \text{for } 0 \leq x < 10,0 \\ \frac{1 \cdot 10^{-14} \text{ M}^2}{[\text{OH}^-]} & \text{for } 10,0 < x \end{cases}$$

$$= \begin{cases} \frac{1,00 - x \cdot 0,100}{(10,0 + x)} \text{ M} & \text{for } 0 \leq x < 10,0 \\ \frac{1 \cdot 10^{-14} \text{ M}^2}{\left(\frac{x \text{ mL} \cdot 0,100 \text{ M} - 10,0 \text{ mL} \cdot 0,100 \text{ M}}{(10,0 + x) \text{ mL}}\right)} & \text{for } 10,0 < x \end{cases}$$

$$= \begin{cases} \frac{1,00 - x \cdot 0,100}{(10,0 + x)} \text{ M} & \text{for } 0 \leq x < 10,0 \\ \frac{1 \cdot 10^{-14}}{\left(\frac{x \cdot 0,100 - 1,00}{10,0 + x}\right)} \text{ M} & \text{for } 10,0 < x \end{cases}$$

Øvelse 3

Tegn grafen for $f(x)$.

Omskrivning af udtrykket for pH:

$$\text{pH}(x) = -\log\left(\frac{[\text{H}_3\text{O}^+]}{M}\right)$$

$$= \begin{cases} -\log\left(\frac{1,00 - x \cdot 0,100}{(10,0 + x)}\right) & \text{for } 0 \leq x < 10,0 \\ -\log\left(\frac{1 \cdot 10^{-14}}{\left(\frac{x \cdot 0,100 - 1,00}{10,0 + x}\right)}\right) & \text{for } 10,0 < x \end{cases}$$

Øvelse 4

Tegn grafen for pH(x).

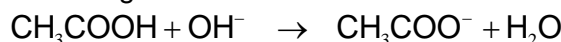
Øvelse 5: Efterbehandling af forsøg 3

- Forklar med ord ovenstående formler.
- Hvorfor kan ovenstående formler ikke anvendes ved $x = 10$?
- Hvad forventes $f(10)$ og $\text{pH}(10)$ at blive?
- Sammenlign graferne for $f(x)$ og $\text{pH}(x)$.
- $\text{pH}(x) = -\log(f(x))$. Forklar forskellen på de to grafers udseende.
- Hvor mange mL NaOH skal der bruges, hvis man ønsker en stigning i pH fra 1 til 2, og hvor meget ændrer $[\text{H}_3\text{O}^+]$ sig i dette pH-interval?
- Hvor mange mL NaOH skal der bruges, hvis man ønsker en stigning i pH fra 2 til 3, og hvor meget ændrer $[\text{H}_3\text{O}^+]$ sig i dette pH-interval?
- Hvorfor kræves der kun en enkelt dråbe NaOH hvis man ønsker en stigning i pH fra 4 til 10? Som hjælp til besvarelse af dette spørgsmål kan man beregne følgende:
 - Beregn $n(\text{H}_3\text{O}^+)$ i en 20 mL opløsning med $\text{pH} = 4$.
 - Beregn $n(\text{H}_3\text{O}^+)$ i en 20 mL opløsning med $\text{pH} = 10$.
 - Beregn $n(\text{OH}^-)$ i én dråbe 0,100M NaOH. Den typiske størrelse på en dråbe er 0,05 mL.
- Indtegn den teoretiske titreringskurve og de eksperimentelle data fra forsøg 2 i samme koordinatsystem.
- Diskuter forskellen mellem de eksperimentelle resultater og den teoretiske kurve.

Forsøg 4 (kemi): Kolorimetrisk titrering af 0,100 M ethansyre

Princip:

Ethansyre (eddikesyre) CH_3COOH er en svag organisk syre, der her skal titreres med den stærke base NaOH. Reaktionen kan beskrives ved følgende reaktionsskema:



Ved reaktionen dannes ethanoat, som er en svag base. Man skal derfor vælge en indikator, der skifter farve ved pH 8-10.

Forsøgsbeskrivelse

10,0 mL 0,100 M ethansyre udtages med pipette og overføres til en 100 mL konisk kolbe. Der tilsættes ca. 30 mL demineraliseret vand og 2-3 dråber phenolphthalein. Opløsningen titreres under magnetomrøring med 0,100 M NaOH, indtil der på 1 dråbe kommer et blivende farveskift. Noter forbruget af base.

Vigtigt: Udfør dobbeltbestemmelse.

Øvelse 6: Efterbehandling af forsøg 4

- Opskriv de to sæt af korresponderende syre-base par, som indgår i titreringsreaktionen.
- Hvad gælder om styrken af de indgående syrer og baser?
- Hvorfor vælges phenolphthalein som indikator?
- Beregn den stofmængde NaOH, der er tilsat ved ækvivalenspunktet.
- I hvilket forhold reagerer ethansyre og NaOH?
- Beregn koncentrationen af ethansyre.
- Hvilken pH-værdi nærmer opløsningen sig efterhånden som $V(\text{NaOH})$ vokser?

Forsøg 5 (kemi): Potentiometrisk titrering af af 0,100 M ethansyre

Forsøgsbeskrivelse

10,0 mL 0,100 M ethansyre udtages med pipette og overføres til en 50 mL bægerglas. Opløsningen titreres under magnetomrøring med 0,100 M NaOH. pH-metret kalibreres med en pufferopløsning, så det viser pufferens pH (husk også at indstille pH-metrets temperaturknop, da pH er temperaturafhængig).

pH-elektroden skylles forsigtigt med demineraliseret vand og tørres forsigtigt med lidt køkkenrulle. Den lille tyndvæggede glaskugle forneden på elektroden er den følsomme del - den tåler ikke at blive berørt! Elektroden sættes ned i bægerglasset uden at berøre glasset. Anbring den sådan, at magneten ved omrøring ikke berører elektroden. Fyld om nødvendigt efter med demineraliseret vand, så elektrodens følsomme del er dækket. Tænd magnetomrøreren, og aflæs pH-meteret, når dets visning er konstant.

0,100 M NaOH dryppes nu ned i bægerglasset. I et skema anføres sammenhørende værdier for tilsat mængde base og pH. I starten foretages aflæsning for hver tilsætning af max. 1 mL base (nøjagtig aflæsning på buretten). I nærheden af ækvivalenspunktet (altså ved stor pH-variation) aflæses for hver dråbe tilsat base. Dvs. så snart pH-værdien begynder at stige mere end "normalt" tilsættes basen dråbevis. Titreringen fortsættes, indtil volumen af tilsat titrator svarer til to gange volumen af titrator i ækvivalenspunktet.

Øvelse 7: Efterbehandling af forsøg 5

- Tegn titreringskurven, idet tilsat volumen NaOH afsættes ud af 1.aksen og pH afsættes ud af 2.aksen.
- Ud fra titreringskurven bestemmes ækvivalenspunktet, og tilsat volumen NaOH i ækvivalenspunktet aflæses.
- Beregn den stofmængde NaOH, der er tilsat ved ækvivalenspunktet
- I hvilket forhold reagerer ethansyre og NaOH?
- Beregn koncentrationen af ethansyre.
- Forklar pH-værdien i ækvivalenspunktet.

- g) Diskuter mulige valg af indikatorer ved udførelse af en kolorimetrisk titrering.
 h) Ethansyres styrkeeksponent pK_S kan bestemmes ved at aflæse pH ved $\frac{1}{2} \cdot V(\text{NaOH})$ (i ækvivalenspunktet). Bestem pK_S og sammenlign med tabelopslag.

Forsøg 6 (matematik): Den teoretiske titreringskurve for potentiometrisk titrering af 0,100 M ethansyre

Formålet er at opskrive et matematisk udtryk for titrering af 10,0 mL 0,100 ethansyre med 0,100 M NaOH og dermed tegne en titreringskurve..

x betegner antal mL NaOH og $pH(x)$ betegner $-\log\left(\frac{[\text{H}_3\text{O}^+]}{M}\right)$ som funktion af x .

Det vil sige pH kan beskrives som funktion af $V(\text{NaOH})$.

I det følgende tages udgangspunkt i pufferligningen, se nedenfor. Grunden er, at når titreringen forløber, er opløsningen en blanding af en svag syre (ethansyre) og dets korresponderende base (ethanoat). Det vil sige, man kan betragte blandingen som pufferopløsning, hvor pufferligningen skal benyttes til beregning af pH:

$$\begin{aligned} \text{pH} &= pK_S - \log \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]} \\ &= pK_S + \log \frac{n_B}{n_S} \end{aligned}$$

hvor n_S er stofmængden af den svage syre (ethansyre) og n_B er stofmængden af den korresponderende base (ethanoat).

For ethansyre er pK_S lig med 4,76 ved 25°C.

Det er nødvendigt at beskrive funktionen som en stykvis funktion opdelt i intervallerne ($0 < x < 10$) og ($x > 10$). Faktisk skulle man inddrage to ekstra beregningsformler for pH, hvis billedet skal fuldendes. Før titreringen begynder ($x=0$), svarer opløsningen til en vandig opløsning af den svage base. Man kan derfor i $x=0$ benytte den reducerede formel til beregning af pH:

$$\text{pH} = \frac{1}{2}(pK_S - \log C_S)$$

Og tilsvarende for $x=10,0$ (ækvivalenspunktet). Her er der tale om en opløsning af en svag base, nemlig den korresponderende base til ethansyre.

$$\text{pOH} = \frac{1}{2}(pK_B - \log C_B)$$

Dette udelades dog i nedenstående betragtninger.

$$\text{pH}(x) = \begin{cases} 4,76 + \log\left(\frac{n_B}{n_S}\right) & \text{for } 0 < x < 10,0 \\ -\log\left(\frac{1 \cdot 10^{-14} \text{ M}^2}{[\text{OH}^-]} \frac{1}{\text{M}}\right) & \text{for } 10,0 < x \end{cases}$$

$$= \begin{cases} 4,76 + \log\left(\frac{x \text{ mL} \cdot 0,100 \text{ M}}{10,0 \text{ mL} \cdot 0,100 \text{ M} - x \text{ mL} \cdot 0,100 \text{ M}}\right) & \text{for } 0 < x < 10,0 \\ -\log\left(\frac{1 \cdot 10^{-14} \text{ M}^2}{\left(\frac{x \text{ mL} \cdot 0,100 \text{ M} - 10,0 \text{ mL} \cdot 0,100 \text{ M}}{(10,0 + x) \text{ mL}}\right)} \frac{1}{\text{M}}\right) & \text{for } 10,0 < x \end{cases}$$

$$= \begin{cases} 4,76 + \log\left(\frac{x \cdot 0,100}{1,00 - x \cdot 0,100}\right) & \text{for } 0 < x < 10,0 \\ -\log\left(\frac{1 \cdot 10^{-14}}{\left(\frac{x \cdot 0,100 - 1,00}{(10,0 + x)}\right)} \frac{1}{\text{M}}\right) & \text{for } 10,0 < x \end{cases}$$

Øvelse 8

Tegn grafen for pH(x).

Øvelse 9: Efterbehandling af forsøg 6

- Forklar med ord ovenstående formler.
- Hvorfor kan ovenstående formler ikke anvendes ved $x = 0$ og $x = 10$?
- Indtegn den teoretiske titreringskurve og de eksperimentelle data fra forsøg 5 i samme koordinatsystem.
- Diskuter forskellen mellem de eksperimentelle resultater og den teoretiske kurve.
- Ethansyres styrkeeksponent pK_S kan bestemmes ved at aflæse pH ved $\frac{1}{2} \cdot V(\text{NaOH})$ (i ækvivalenspunktet). Forklar dette ud fra pufferligningen.
- Bestem pK_S og sammenlign med tabelopslag.

Udvidelse

Hvis der er elever, som ønsker at udvide projektet, kan man arbejde med andre svage syrer, overveje betydningen af at skifte fra en svag til en middelstærk syre eller ændre på syrens koncentration.