1.3 S Rund um das chemische Gleichgewicht – mit Ameisensäure und Essigsäure *M 1*

Station 1: Ameisensäure und Essigsäure im Alltag

Ameisensäure und Essigsäure spielen in unserem Alltag eine relativ große Rolle und haben interessante chemische Eigenschaften. Einige werden im Folgenden und in den nächsten Stationen genauer untersucht.

Informieren Sie sich im Chemie-Buch (auch aus vergangenen Schuljahren) über die beiden Säuren Ameisensäure und Essigsäure (z. B. natürliches Vorkommen, Herstellung, Eigenschaften, Verwendung, typische Reaktionen) und beantworten Sie die folgenden Fragen.

Aufgaben

a) Ameisensäure kommt in der Natur vor. Nennen Sie ein Beispiel und entwickeln Sie eine Möglichkeit, die Säure dort nachzuweisen.

b) Marie möchte Apfelessig verwenden, um ihren Salat zu würzen. Leider hat sie keinen im Haus. Peter will ihr helfen und ihn selber herstellen. Wie sollte Peter vorgehen, wenn er frisch gepressten Apfelsaft hat?

c) Welcher Vorgang wird mit der Reaktionsgleichung
$CH_3CH_2OH + O_2 \rightarrow CH_3COOH + H_2O$ beschrieben?

d) Eine wässrige Lösung von Ameisensäure färbt das Indikatorpapier rot. Erklären Sie die Reaktion mithilfe eines Molekülmodells.

e) Im Laden kann man Essig und Essigessenz kaufen. Worin bestehen laut Etikett Gemeinsamkeiten und Unterschiede? Planen Sie ein Experiment, um den Unterschied experimentell zu veranschaulichen, und beschreiben Sie die erwarteten Beobachtungen.

f) Essigsäureethylester ist ein oft verwendetes Lösungsmittel und am charakteristischen Geruch zu erkennen. Wie gehen Sie vor, um diesen Stoff in der Schule herzustellen?

g) In vielen Haushalten findet man Böden und Fensterbänke aus Marmor, da sie sehr schön aussehen. Allerdings sollte man diese Steine nicht mit Essig reinigen.
Informieren Sie als Verkaufsleiter eines Fliesengeschäftes Ihre Kunden mit einem aussagekräftigen Informationsblatt.

h) In den Wasserleitungen einer verkalkten Kaffeemaschine hat sich sehr viel Kalk abgelagert, so dass nur noch wenig Wasser hindurch gelangen kann. Ein Hausrezept empfiehlt das Entkalken mit Essig und anschließendes Spülen mit Wasser. Erläutern Sie das Vorgehen! Wie können Sie überprüfen, dass sich nach dem Vorgang der Reinigung und Spülung kein Essig mehr in der Kaffeemaschine befindet?

1.3 S Rund um das chemische Gleichgewicht – mit Ameisensäure und Essigsäure *M2*

Station 2: Untersuchung einer wässrigen Lösung von Ameisensäure unbekannter Konzentration

In der Chemie-Sammlung der Schule findet Ihre Lehrkraft eine unbeschriftete Flasche mit einer wässrigen, klaren Flüssigkeit. Eine Überprüfung mit Indikatorpapier zeigt, dass es sich um eine saure Lösung handelt. Vermutlich handelt es sich um eine wässrige Lösung von Ameisensäure.
Mithilfe der genaueren Ermittlung des pH-Wertes und der Titration der wässrigen Lösung sollen Sie sowohl die **Konzentration der Säure** ermitteln als auch den $\boldsymbol{K_S}$**-Wert** zur genaueren Identifikation der Säure berechnen.

Geräte: Büretten, 10-mL-Pipetten, Weithals-Erlenmeyerkolben, Spritzflaschen mit dest. Wasser, Bechergläser, pH-Meter bzw. pH-Indikatorstäbchen

Chemikalien: Natronlauge (c = 0,1 mol/L), Phenolphthalein-Lösung (w < 1 %), wässrige Lösung von Ameisensäure unbekannter Stoffmengenkonzentration, pH-Meter bzw. pH-Indikatorstäbchen

Versuchsdurchführung
Mit dem pH-Meter bzw. pH-Indikatorstäbchen wird der pH-Wert der vorgegebenen Säure möglichst genau ermittelt.
In den Weithalserlenmeyerkolben werden 10 mL der Säure pipettiert und mit der eingestellten Natronlauge und einigen Tropfen der Phenolphthalein-Lösung als Indikator titriert. Die Titration wird dreimal durchgeführt.

K_S für einprotonige Säuren: $K_S = \dfrac{c(H^+) \cdot c(A^-)}{c(HA)}$

Aufgaben
a) Notieren Sie Ihre Beobachtungen.
b) Erläutern Sie die bei der Titration ablaufenden chemischen Reaktionen.
c) Berechnen Sie mit dem Mittelwert der verbrauchten Volumina an Natronlauge die Stoffmengenkonzentration der vorliegenden Säure.
d) Erklären Sie den Begriff „K_S-Wert“ einer Säure.
e) Ermitteln Sie aus dem gemessenen pH-Wert und der berechneten Stoffmengenkonzentration den K_S-Wert der Ameisensäure.
f) Vergleichen Sie Ihr Ergebnis mit dem Literaturwert und diskutieren Sie mögliche Abweichungen.

1.3 L Rund um das chemische Gleichgewicht – mit Ameisensäure und Essigsäure

Erwartungshorizont

Station 1

zu a) Wenn Ameisen über ein angefeuchtetes Indikatorpapier krabbeln, färbt es sich rot.

zu b) Lässt man frisch gepressten Apfelsaft unter Luftabschluss etwas länger stehen, gärt er, es bildet sich Ethanol (Alkohol); Apfelwein ist entstanden. Lässt man Apfelwein an der Luft stehen, wird er sauer: Man erhält Apfelessig, da Ethanol mit Sauerstoff zu Essigsäure und Wasser reagiert.

zu c) Die Reaktionsgleichung beschreibt die Reaktion von Ethanol an der Luft zu Essigsäure (s. b).

zu d) Ameisensäure reagiert in wässriger Lösung als Säure. Ameisensäure-Moleküle geben jeweils ein Proton $H^+(aq)$ ab.

zu e) Essig und Essigessenz sind beides wässrige Lösungen von Essigsäure. Unterschiede bestehen allerdings in der Konzentration. Essig ist eine 5 %-ige Lösung von Essigsäure in Wasser, Essigessenz enthält ca. 25 % Essigsäure.
Experimentell veranschaulichen kann man den Unterschied z. B. durch Titration jeweils einer gleichen Menge Flüssigkeit mit Natronlauge nach Zugabe eines geeigneten Indikators. Bei der Titration der Essigessenz-Portion wird der Indikator erst nach Zugabe eines ca. fünffachen Volumens an Natronlauge im Vergleich zur Titration der Essig-Portion umschlagen.

zu f) Eine kleine Portion Essigsäure und Ethanol werden mit ein paar Tropfen Schwefelsäure und einem Siedestein im Reagenzglas versetzt und über dem Bunsenbrenner erhitzt. Anschließend gibt man das Reaktionsgemisch in ein Glas mit Wasser. Der in Wasser unlösliche Ester schwimmt auf der Oberfläche und ist an seinem Geruch zu erkennen; die restlichen E- und Produkte lösen sich in der wässrigen Phase.

zu g) Essigsäure reagiert mit Marmor zu Calciumacetat, Wasser und Kohlenstoffdioxid.
$2\ CH_3COOH + CaCO_3 \rightarrow Ca(CH_3COO)_2 + H_2O + CO_2$

zu h) Essigsäure reagiert mit Kalk (s. g). Das gebildete Calciumacetat löst sich leicht in Wasser, die Leitungen werden wieder frei. Spülen mit Wasser ist daher notwendig, auch um überschüssige Essigsäure zu entfernen. Mit einem pH-Papier kann man im Spülwasser prüfen, ob noch Essigsäure enthalten ist.

Station 2

Vorbereitung der Versuche:

Es werden z. B. 4,603 g Ameisensäure mit destilliertem Wasser auf insgesamt 1 L Lösung aufgefüllt, so dass die Säure eine Stoffmengenkonzentration von $c = 0{,}1$ mol/L hat.

zu a) Der pH-Wert der Säure soll z. B. 2,5 betragen.
Nach der Zugabe von rund 10 mL Natronlauge zur vorliegenden Probe mit Indikator färbt sich die Lösung rosa.

1.3 L Rund um das chemische Gleichgewicht – mit Ameisensäure und Essigsäure

Erwartungshorizont

Station 2 (Fortsetzung)

zu b) Ameisensäure reagiert mit Natronlauge zu Natriumformiat und Wasser:
$HCOOH + NaOH \rightarrow HCOONa + H_2O$
Wenn alle Ameisensäure-Moleküle reagiert haben, reagieren die zugegebenen Hydroxid-Ionen der Natronlauge nicht mehr, der Indikator Phenolphthalein nimmt eine rosa Farbe an.

zu c) Für die Titration der Säure werden ca. 10 mL Natronlauge verbraucht. Bei drei Titrationen sollte sinnvoll ein Mittelwert gebildet werden. In der vorliegenden Modellrechnung wird ein Verbrauch an Natronlauge von 10,1 mL angenommen.
Nach der Reaktionsgleichung gilt für die Stoffmengen: $n(HCOOH) = n(NaOH)$.
Daraus ergibt sich

$$c(HCOOH) \cdot V(HCOOH) = c(NaOH) \cdot V(NaOH), \text{ also}$$
$$c(HCOOH) \cdot 10\ mL = 0{,}1\ mol/L \cdot 10{,}1\ mL, \text{ und damit}$$
$$c(HCOOH) = 0{,}1\ mol/L.$$

Die Säurelösung hat also eine Stoffmengenkonzentration von $c = 0{,}1$ mol/L.

zu d) Die Protolyse einer Säure ist eine Gleichgewichtsreaktion. Bei einer einprotonigen Säure lautet die Reaktionsgleichung

$$HA \rightleftharpoons H^+(aq) + A^-(aq)$$

Im Gleichgewicht ist der Quotient aus dem Produkt der Konzentration der Produkte und der Konzentration des Edukts konstant. Diesen Zahlenwert nennt man K_S-Wert.

zu e) Der pH-Wert der Säure wird zu etwa pH = 2,5 bestimmt.

$$K_S = \frac{c(H^+) \cdot c(A^-)}{c(HA)}.$$

Da $c(H^+) = c(A^-)$ ist und – vereinfacht für schwache Säuren – $c(HA) \approx c_0(HA) = 0{,}1$ mol/L (s. c), ergibt sich nach dem Einsetzen

$$K_S = \frac{c^2(H^+)}{c_0(HA)} = \frac{(1 \cdot 10^{-2{,}5}\ mol/L)^2}{0{,}1\ mol/L} = 1 \cdot 10^{-4}\ mol/L.$$

Der K_S-Wert der unbekannten Säure beträgt also $1 \cdot 10^{-4}$ mol/L, also $pK_S = 4$.

zu f) Der Literaturwert für Ameisensäure beträgt $pK_S = 3{,}77$. Abweichungen des experimentell ermittelten Wertes liegen insbesondere an der relativ ungenauen pH-Wert-Bestimmung.

Station 3

zu a) Essigsäure-Moleküle können in Wasser Protonen $H^+(aq)$ abgeben. Mit einer verkürzten Schreibweise (HAc steht für Essigsäure) kann man für die Reaktionsgleichung und die Säurekonstante notieren:

$$HAc\ (aq) \rightleftharpoons H^+(aq) + Ac^-(aq) \quad (1)$$

$$K_S = \frac{c(H^+) \cdot c(A^-)}{c(HA)} \quad (2)$$