

Mehrprotonige Säuren; als Beispiel Cola

Arbeitsauftrag:

Führe den nachstehenden Versuch ‚Titration von Cola‘ gemäß der Durchführung durch und notiere deine Messwerte:

Materialien: 2 Bechergläser (230 mL), Bürette, Magnetrührer, Trichter, Rührschwein, Pipette, Stativ, Muffe, pH-Meter

Chemikalien: Cola, Natronlauge (0,1 M)

Durchführung: 150 mL Cola werden in ein Becherglas mit einem Magnetrührer solange gerührt und aufgeköcht, bis kein Schäumen mehr zu beobachten ist. Anschließend werden 100 ml der Cola in ein anderes Becherglas geschüttet. Die Bürette wird mithilfe des Trichters mit Natronlauge befüllt und der Flüssigkeitsstand wird abgelesen. Danach wird die Cola mit der Natronlauge titriert und der pH-Wert der Lösung wird mittels pH-Meter detektiert und kontinuierlich notiert. Fertige dazu eine Tabelle an.



Abbildung:
Versuchsaufbau zur Cola-Titration.

Aufgaben:

1. Stelle deine Messwerte graphisch dar und benenne Auffälligkeiten, falls diese vorhanden sind.
2. Formuliere die einzelnen Protolysegleichgewichte der Phosphorsäure und bestimme mithilfe der Drei-Geraden-Methode die Äquivalenzpunkte. Berechne außerdem den Phosphorsäure-Gehalt in der Cola.
3. Beurteile deine berechneten Werte in Hinblick auf die nachfolgenden Angaben.

Phosphorsäure ist unter Einhaltung bestimmter Höchstmengen für einige Lebensmittel zugelassen. Die Zulassungen gelten größtenteils auch für die Phosphate, die deutlich häufiger angewendet werden. Phosphorsäure ist unter anderem zugelassen für:

- Erfrischungsgetränke, insbesondere Cola-Getränken (max. 700 mg/l)
- Sportlergetränke (max. 0,5 g/l)
- Schlagsahne und Sahneerzeugnisse (max. 5 g/kg)
- Milchgetränke (je nach Fettgehalt max. 1 - 1,5 g/kg)
- Milchpulver und Kaffeeweißer (max. 2,5 g/kg bzw. 30 g/kg)

1 Didaktischer Kommentar zum Schülerarbeitsblatt

In diesem Arbeitsblatt wird die Experimentierfertigkeit der Schülerin und Schüler geschult, da sie einen Versuch gemäß der Anleitung durchführen müssen. Für die richtige Durchführung des Versuchs sind gute motorische Fähigkeiten bei der Titration gefragt, sowie ein gutes Auge beim Ablesen des Flüssigkeitsstandes in der Bürette. Des Weiteren wird die Kommunikation geschult, da sich die Schülerinnen und Schüler in Kleingruppen organisieren müssen und arbeitsteilig arbeiten.

1.1 Erwartungshorizont (Kerncurriculum)

In der ersten Aufgabe sollen die Schülerinnen und Schüler ihre Messwerte graphisch auftragen und somit eine Titrationskurve erstellen. Diese Aufgabe fällt in den Anforderungsbereich I, weil die Schülerinnen und Schüler ihre Messwerte strukturiert wiedergeben und nur die Auffälligkeiten der Titrationskurve benennen sollen. Für die Bearbeitung der Aufgabe ist kein fachliches Vorwissen über ÄP's und HÄP's nötig. Im Kerncurriculum wird als Kompetenz von den Schülerinnen und Schüler erwartet, dass sie Titrationskurven einprotoniger Säuren messen und auftragen können. Diese Aufgabe stellt eine Erweiterung dar, da hier eine mehrprotonige Säure titriert wird, deren pK_s -Werte jedoch weit auseinander liegen. Dies ist nicht explizit im Kerncurriculum gefordert. Das Erfassen einer Titrationskurve einer mehrprotonigen Säure ist eine Anwendung und Kontrolle der Fertigkeit im Aufnehmen einer Titrationskurve. Außerdem wird hier die qualitative Erklärung einer Titrationskurve, die im KC gefordert ist, abgefragt.

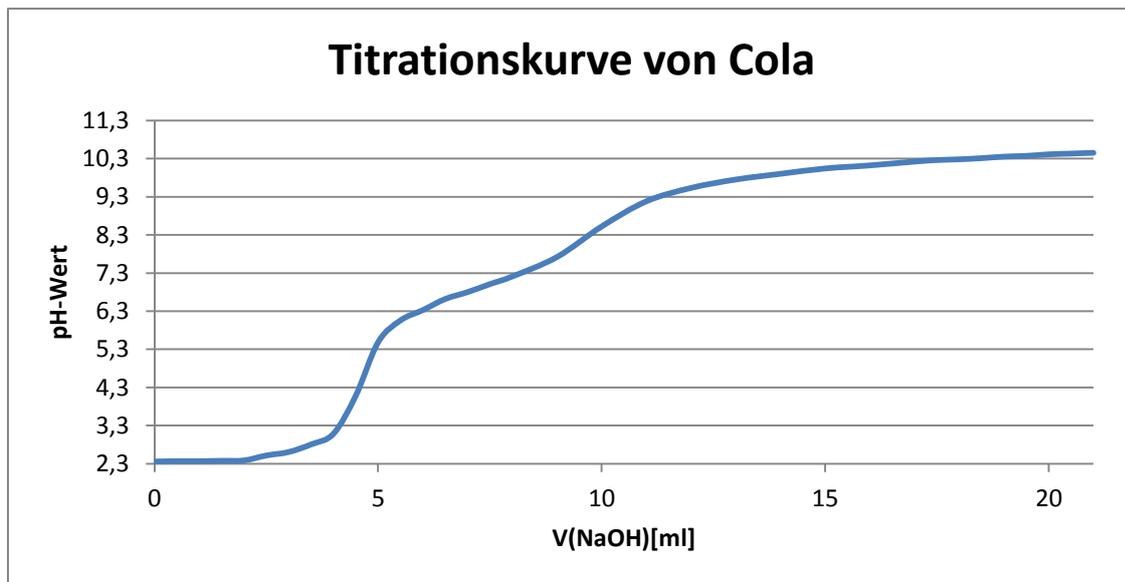
In der zweiten Aufgabe sollen die Schülerinnen und Schüler die einzelnen Protolyse-Schritte der Phosphorsäure-Dissoziation formulieren und mithilfe der Drei-Geraden-Methode die ÄP's bestimmen. Diese Aufgabe ist im Anforderungsbereich II angesiedelt, da die Schülerinnen und Schüler ihr Wissen aus der Säure-Base-Chemie und vor allem Neutralisationsreaktionen anwenden und in der Summenformel als Reaktionsgleichung angeben müssen. Des Weiteren sollen die Schülerinnen und Schüler Ergebnisse anhand ihrer Methoden generieren, in diesem Fall durch die Extrapolation. Außerdem ist die Berechnung von Ergebnissen aus den bestimmten Werten ebenfalls der Anforderungsbereich II angesiedelt. Im Kerncurriculum wird gefordert, dass Schülerinnen und Schüler Säure-Base-Reaktionen als Protonenübergangsreaktionen deuten. Dies wird durch die Aufstellung der Protolysegleichgewichte gefordert.

In der dritten Aufgabe sollen die Schülerinnen und Schüler ihre errechneten Werte einordnen diese miteinander vergleichen. Sowie die Ergebnisse beurteilen, ob diese gut oder schlecht sind in Bezug auf die Menge der enthaltenen Phosphorsäure in der Cola. Durch den Operator ‚beurteile‘ ist diese Aufgabe in dem Anforderungsbereich III anzusiedeln, da die Schülerinnen und Schüler zu einem Sachverhalt eine selbstständige Einschätzung nach fachwissenschaftlichen

Kriterien angeben. In dieser Aufgabe wird der Punkt im KC, das Schülerinnen und Schüler die Bedeutung der Titration als maßanalytisches Verfahren erkennen und beschreiben sollen, erarbeitet und die Möglichkeit der Beurteilung durch diese Methode aufgezeigt.

1.2 Erwartungshorizont (Inhaltlich)

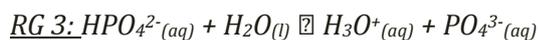
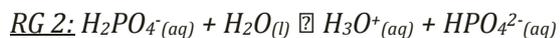
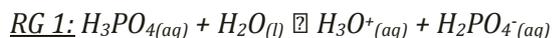
1. Stelle deine Messwerte graphisch dar. Sind Auffälligkeiten vorhanden?



Auffällig ist, dass nicht nur ein Äquivalenzpunkt vorhanden ist, sondern zwei.

2. Formuliere die einzelnen Protolysegleichgewichte der Phosphorsäure und bestimme mithilfe der Drei-Geraden-Methode die Äquivalenzpunkte. Berechne außerdem den Phosphatsäure-Gehalt in der Cola.

Folgende Reaktionsgleichungen veranschaulichen die Deprotonierung der Phosphorsäure.



Für die Bestimmung der Äquivalenzpunkte mithilfe der Drei-Geraden-Methode siehe Anhang.

Mit den erhaltenen Werten ist es nun möglich den Gehalt an Phosphorsäure zu ermitteln, dafür wird der erste Protolyse schritt (RG 1) betrachtet. Um die ÄP's ablesen zu können werden diese mithilfe der Dreigeraden-Methode bestimmt. Für die Berechnung wird folgende Formel verwendet:

$$c_{\text{Säure}} \cdot V_{\text{Säure}} = c_{\text{Base}} \cdot V_{\text{Base}}$$

Die Formel wird nach der Konzentration der Säure umgestellt, so wird folgendes erhalten:

$$c_{\text{Säure}} = \frac{c_{\text{Base}} \cdot V_{\text{Base}}}{V_{\text{Säure}}}$$

Nun werden die Werte in die Formel eingesetzt:

$$c_{\text{Säure}} = \frac{0,1 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \cdot 0,0047 \text{ L}}{0,150 \text{ L}} = 3,13 \cdot 10^{-3} \frac{\text{mol}}{\text{L}} = 3,13 \frac{\text{mmol}}{\text{L}}$$

Nun wird mit der molaren Masse der Phosphorsäure der Wert gemäß der nachfolgenden Gleichung verrechnet, um die exakte Menge zu erhalten.

$$m = c_{\text{Säure}} \cdot M = 3,13 \cdot 10^{-3} \frac{\text{mol}}{\text{L}} \cdot 98 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 0,307 \frac{\text{g}}{\text{L}} = 307 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

Fehlerbetrachtung: Es werden der absolute und relative Fehler berechnet.

Literaturwert: max. 700 mg/L

$$\overline{x}_{\text{abs}} = |x_{\text{Messwert}} - x_{\text{Literatur}}| = |307 - 700| = 393$$

$$x_{\text{rel}} = \frac{\overline{x}_{\text{abs}}}{x_{\text{Literatur}}} \cdot 100 = \frac{393}{700} \cdot 100 = 56,14 \%$$

3. Beurteile deine berechneten Werte in Hinblick auf die nachfolgenden Angaben.

Phosphorsäure ist unter Einhaltung bestimmter Höchstmengen für einige Lebensmittel zugelassen. Die Zulassungen gelten größtenteils auch für die Phosphate, die deutlich häufiger angewendet werden. Phosphorsäure ist unter anderem zugelassen für:

- Erfrischungsgetränke, insbesondere Cola-Getränken (max. 700 mg/l)
- Sportlergetränke (max. 0,5 g/l)
- Schlagsahne und Sahneerzeugnisse (max. 5 g/kg)
- Milchgetränke (je nach Fettgehalt max. 1 - 1,5 g/kg)
- Milchpulver und Kaffeeweißer (max. 2,5 g/kg bzw. 30 g/kg)^[6]

Die berechneten Werte zeigen, dass in der untersuchten Cola nur die Hälfte der maximal zugelassenen Menge an Phosphorsäure enthalten ist. Dennoch ist im Vergleich ersichtlich, dass die Cola noch am wenigsten Phosphorsäure enthält. Spitzenreiter ist das Milchpulver mit 2,5 g/kg. Die Ergebnisse zeigen zu dem auch, dass die öffentlichen Angaben der Coca Cola-Group der Wahrheit entsprechen und die Höchstmenge nicht überschritten wird.

2 Literaturangaben

- [6] H. Kreutz, http://www.zusatzstoffe-online.de/zusatzstoffe/122.e338_phosphors%E4ure.html, 31.07.16 (Zuletzt abgerufen am 31.07.16).