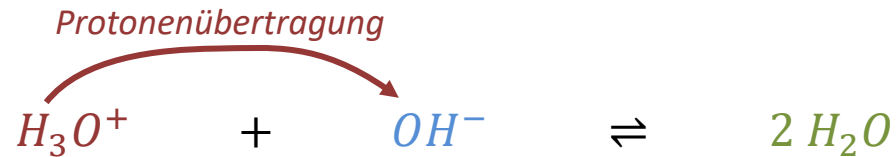


**Praktische Bestimmung der
Stoffmengenkonzentrationen von wässrigen
Lösungen sehr starker Säuren und sehr starker Basen**

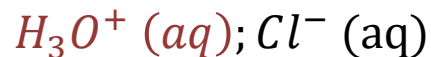
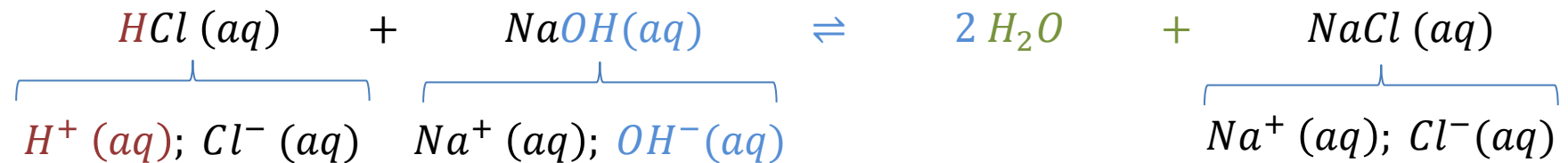
**Aufnahme eine Titrationskurve unter Einsatz eines
Messwerterfassungssystems**

Säure-Base-Titration

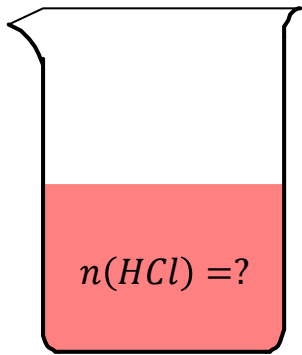
Grundlage: Neutralisationsreaktion



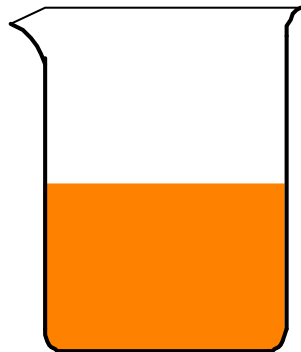
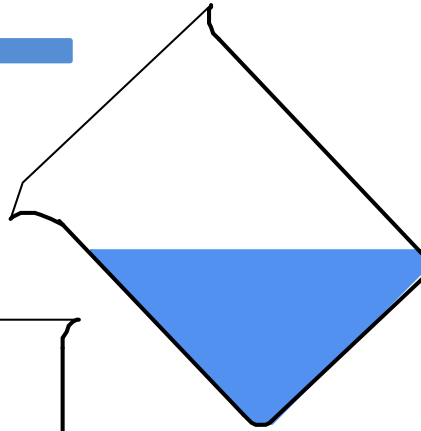
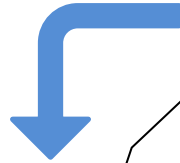
z. B. Titration von Salzsäure (saure Lösung von Chlorwasserstoff) und Natronlauge



Prinzip der Säure-Base-Titration

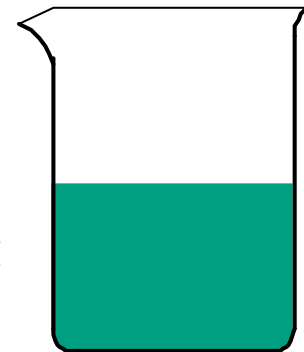


$$n(\text{NaOH}) = x \text{ mol}$$



ÄQUIVALENZPUNKT:

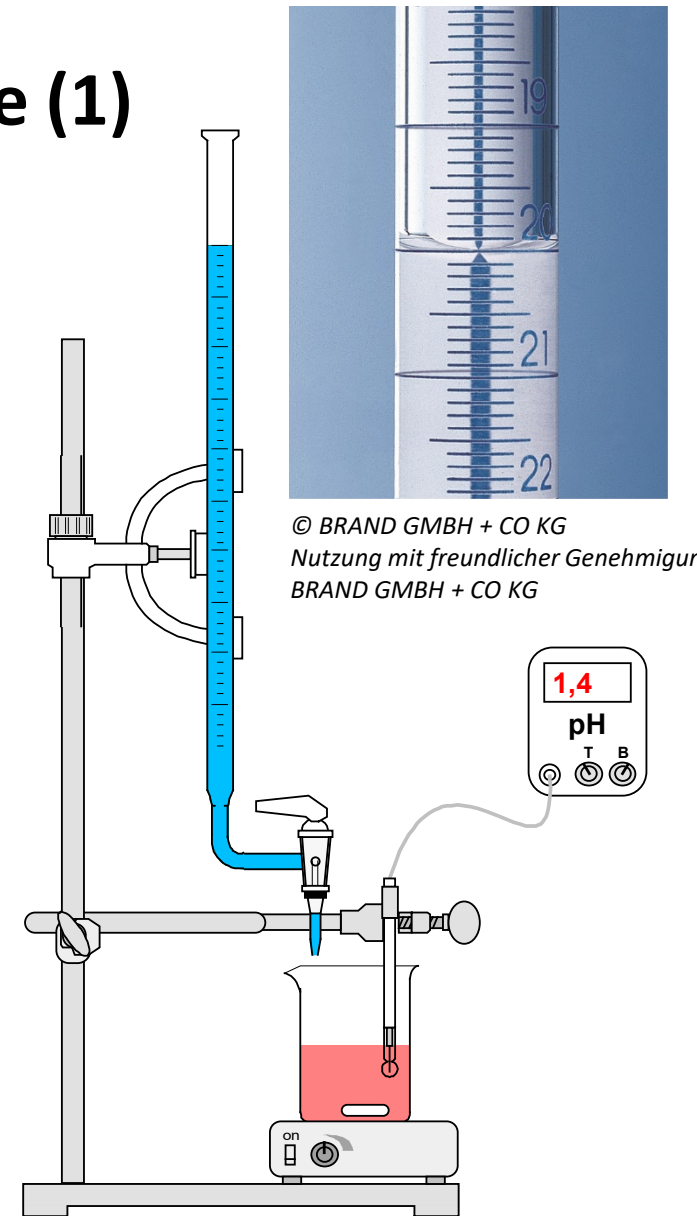
$$n(\text{HCl}) = n(\text{H}_3\text{O}^+) = n(\text{OH}^-) = n(\text{NaOH}) = x \text{ mol}$$



SE: Aufnahme einer Titrationskurve (1)

Aufbau der Messapparatur

- Bauen Sie nebenstehende Apparatur, bestehend aus einem Stativ, einer Stativklammer mit Muffe, einem Bürettenhalter mit Glasbürette, einem Laborrührer mit Rührfisch und einer mit dem Messwerterfassungssystem verbundenen pH-Sonde auf. Das Becherglas erhalten Sie später (vorbereitet mit der zu titrierenden Lösung).
- Machen Sie sich mit der Benutzung des Hahns der Bürette sowie mit der Skala und dem Ablesen der Volumenangaben der Bürette vertraut.
- Befüllen Sie [ACHTUNG: SCHUTZBRILLE!] die Bürette mit der Natronlauge ($c(\text{NaOH}) = 0,1 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$).
- Stellen Sie das vorbereitete Becherglas unter den Auslauf der Bürette, geben Sie den Rührfisch hinein und positionieren Sie die pH-Sonde.

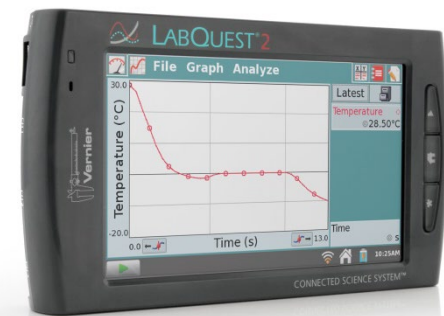


Grafik erstellt mit ACD ChemSketch unter
Verwendung der PIN-Laborgeräte-Bibliothek
von Dr. Thomas Epple

SE: Aufnahme einer Titrationskurve (2)

Vorbereitung des Messwerterfassungssystems

1. Durch Tippen auf die Anzeige **BETRIEBSART** ins Menü DATENERFASSUNG
2. Im Menü **DATENERFASSUNG**
 - Betriebsart: **ZEIT BASIERT** auswählen
 - Rate: **4** eingeben
 - Dauer: **600 s** eingeben
 - Mit **OK** bestätigen
3. Durch Tippen auf das GRAPHSYMBOL in der Menüleiste auf die GRAPHANZEIGE wechseln
4. Im Menü **GRAPH – GRAPHOPTIONEN**
 - **MANUELL** auswählen
 - Links: **0** eingeben
 - Rechts: **600** eingeben
 - Y-Achse – Oben: **14** eingeben
 - Y-Achse – Unten: **0** eingeben
 - Mit **OK** bestätigen



© Vernier Software & Technology
Quelle: <https://www.vernier.com/zoom/?id=74814>
Nutzung mit freundlicher Genehmigung Vernier
Software & Technology

SE: Aufnahme einer Titrationskurve (3)

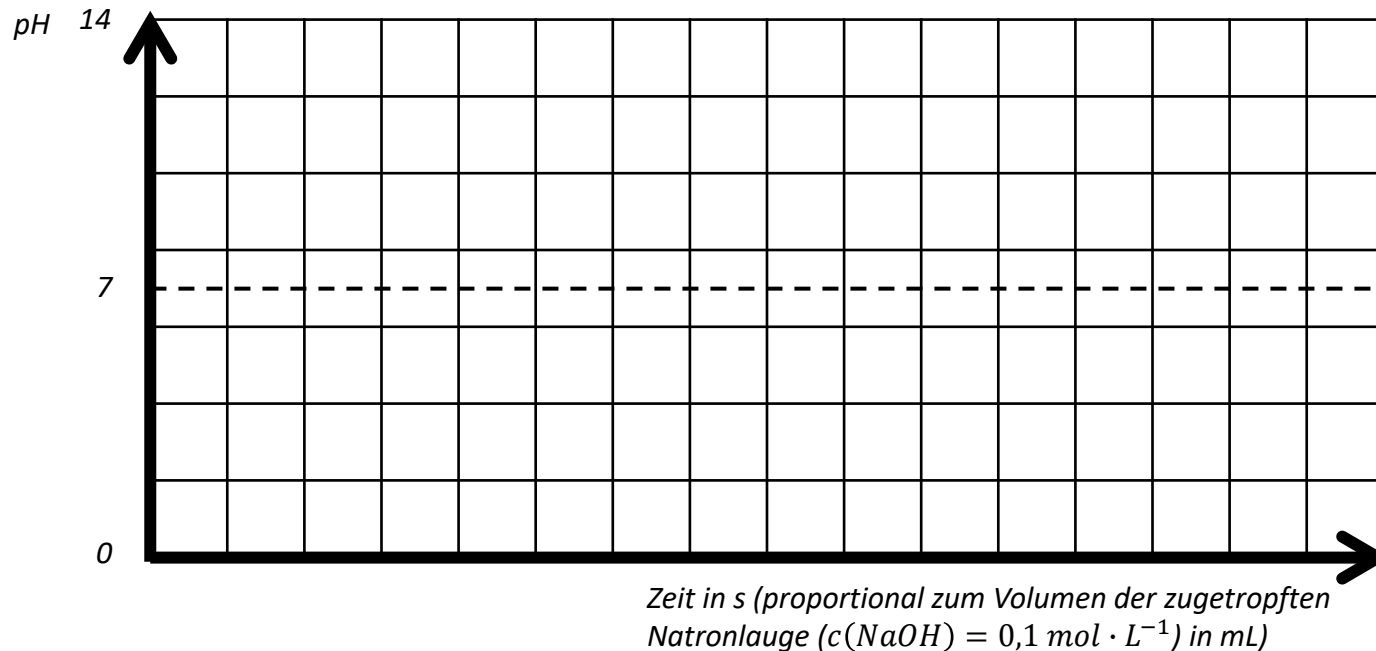
Durchführung der Messung [ACHTUNG SCHUTZBRILLE!]

1. Laborrührer einschalten (angemessene Geschwindigkeit!).
2. In der GRAPHANZEIGE unten links die Messwerterfassung durch Tippen auf das STARTSYMBOL (grüner Pfeil) beginnen.
3. Den Hahn der Bürette vorsichtig öffnen, dass ein gleichmäßiges Zutropfen gewährleistet ist. Die Tropfgeschwindigkeit ist zu Beginn der Messung möglichst zügig auf konstante ca. 2 Tropfen pro Sekunde einzustellen.
4. Beobachten Sie den Verlauf des Graphen auf dem Bildschirm.
5. Beenden Sie die Messung erst, wenn der Graph einen ausreichenden Bereich abbildet (er sollte ungefähr punktsymmetrisch aussehen).
 - Unten links die Messwerterfassung durch Tippen auf das STOPSYMBOL (rotes Quadrat) beenden.
 - Den Hahn an der Bürette schließen.
 - Den Laborrührer ausschalten.

SE: Aufnahme einer Titrationskurve (4)

Auswertung und Ergebnissicherung

1. Skizzieren Sie den Graphen schematisch in folgendes Schaubild

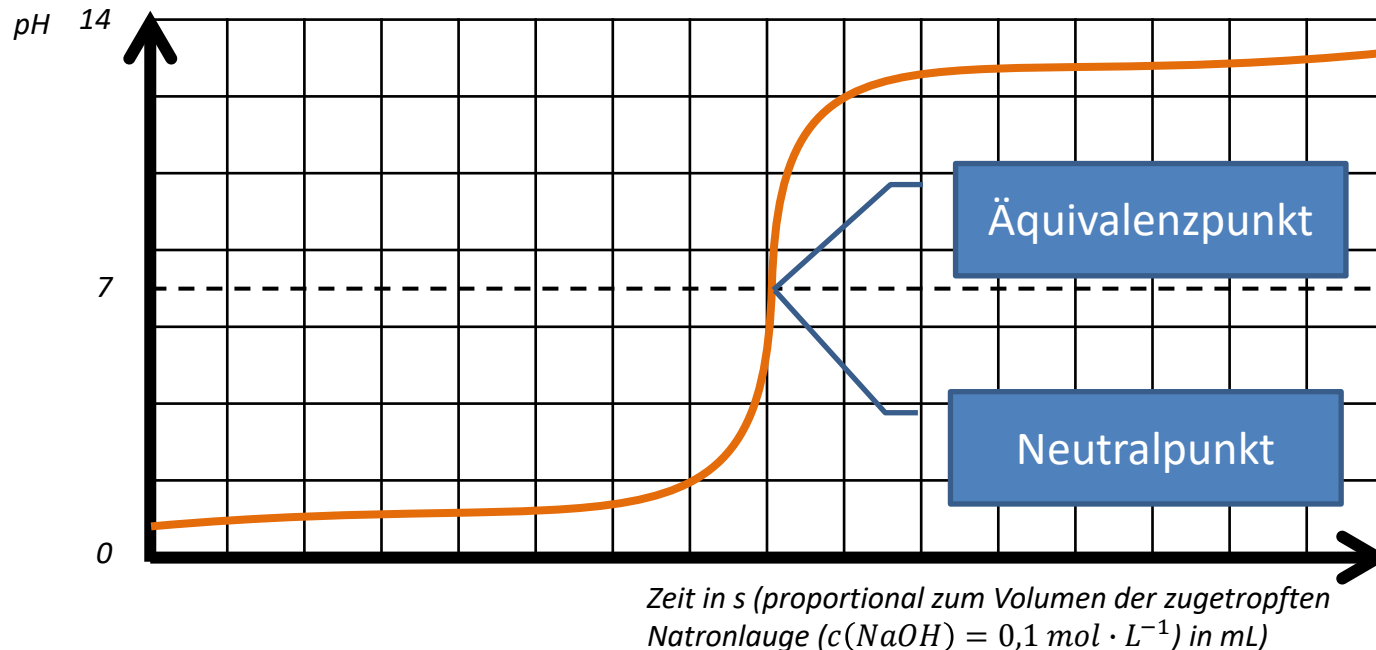


2. Zeichnen Sie in den Graphen den Äquivalenzpunkt und den Neutralpunkt (hier gilt: $pH = 7$) ein, und beschriften Sie diese entsprechend.
3. Erläutern Sie die Ursache für den Verlauf der Titrationskurve. Teilen Sie hierzu die Kurve in drei sinnvolle Abschnitte ein. (Überschlagen Sie die pro pH-Sprung zuzugebende Stoffmenge an Natronlauge)

SE: Aufnahme einer Titrationskurve (4)

Auswertung und Ergebnissicherung

1. Skizzieren Sie den Graphen schematisch in folgendes Schaubild



2. Zeichnen Sie in den Graphen den Äquivalenzpunkt und den Neutralpunkt (hier gilt: $pH = 7$) ein, und beschriften Sie diese entsprechend.
3. Erläutern Sie die Ursache für den Verlauf der Titrationskurve. Teilen Sie hierzu die Kurve in drei sinnvolle Abschnitte ein. (Überschlagen Sie die pro pH-Sprung zuzugebende Stoffmenge an Natronlauge)

Titrationverlauf



Erläuterung des Kurvenverlaufs

<i>pH</i>	$c(H_3O^+) [mol \cdot L^{-1}]$	$c(OH^-) [mol \cdot L^{-1}]$	<i>pOH</i>
0	10^0	10^{-14}	14
1	10^{-1}	10^{-13}	13
2	10^{-2}	10^{-12}	12
3	10^{-3}	10^{-11}	11
4	10^{-4}	10^{-10}	10
5	10^{-5}	10^{-9}	9
6	10^{-6}	10^{-8}	8
7	10^{-7}	10^{-7}	7
8	10^{-8}	10^{-6}	6
9	10^{-9}	10^{-5}	5
10	10^{-10}	10^{-4}	4
11	10^{-11}	10^{-3}	3
12	10^{-12}	10^{-2}	2
13	10^{-13}	10^{-1}	1
14	10^{-14}	10^0	0

Durchführung in der Praxis

Verwendung eines geeigneten Indikators zur schnellen Bestimmung des Äquivalenzpunktes („Umschlagpunkt des Indikators“).

Man titriert nur bis zum Äquivalenz- bzw. Umschlagpunkt.

Vorgaben:

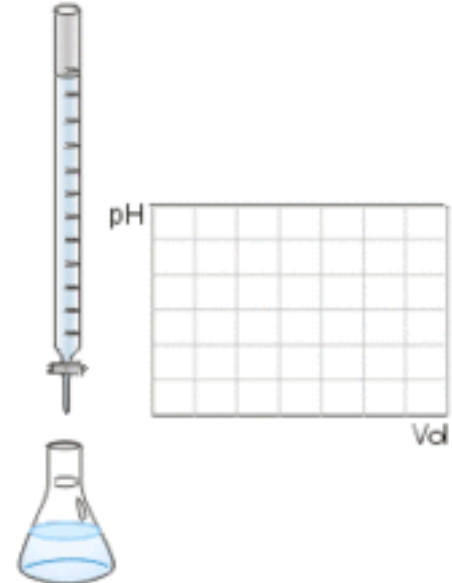
- Stoffmengenkonzentration der zuzutropfenden Maßlösung
- Volumen der Probe mit unbekannter Stoffmengenkonzentration

Messung:

- Volumen der zugetropften Maßlösung
- Ermittlung durch Notieren des Start- und Endwertes auf der Bürette

Berechnung:

- Stoffmengenkonzentration der Probe



Umschlagbereiche verschiedener Indikatoren



Quelle: (gemeinfrei) https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/9c/S%C3%A4uren_und_Laugen_-_Farbspektrum_verschiedener_Indikatoren.svg

Arbeitsauftrag/Hausaufgabe

1. Stellen Sie eine Auswerteformel für die Bestimmung der Stoffmengenkonzentration der Probe $c(\text{Probe})$ auf (Vorgaben: $V(\text{Probe})$; $c(\text{Maßlösung})$; Messung: $V(\text{Maßlösung})$)

HAUSAUFGABE

1. Berechnen Sie Stoffmengenkonzentration ein Salzsäureprobe ($V = 100 \text{ mL}$), zu der bis zum Erreichen des Äquivalenzpunktes $V(\text{Maßlösung}) = 100 \text{ mL}$ Natronlauge ($c(\text{NaOH}) = 0,5 \text{ mol/L}$) titriert werden mussten.
2. Skizzieren Sie die Titrationskurve einer starken Base, zu der eine starke Säure titriert wird. Begründen Sie den Kurvenverlauf.
3. Berechnen Sie Stoffmengenkonzentration ein Kalilaugeprobe ($V = 50 \text{ mL}$), zu der bis zum Erreichen des Äquivalenzpunktes $V(\text{Maßlösung}) = 30 \text{ mL}$ Salzsäure ($c(\text{HCl}) = 0,2 \text{ mol/L}$) titriert werden mussten.
4. Berechnen Sie Stoffmengenkonzentration ein Schwefelsäureprobe ($V = 100 \text{ mL}$), zu der bis zum Erreichen des Äquivalenzpunktes $V(\text{Maßlösung}) = 25 \text{ mL}$ Natronlauge ($c(\text{NaOH}) = 0,5 \text{ mol/L}$) titriert werden mussten. [Beachten Sie, dass Schwefelsäure eine zweiprotonige Säure ist!]

Titration einer Salzsäureprobe mit Natronlauge

- $V(HCl(aq)) = 10 \text{ mL}$ (bekommen Sie von mir)
- $c(NaOH) = 0,1 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$ (befindet sich bereits in der Bürette)
- Indikator: Bromthymolblau (3 Tropfen)

AUFGABE:

Bestimmen Sie die Stoffmengenkonzentration $c(HCl)$ der Salzsäureprobe.

Auswerteformel für die Titration einer starken Säure mit einer starken Base

Am Äquivalenzpunkt der Titration gilt:

$$n(\text{Probe}) = n(\text{Maßlösung})$$

mit $c = \frac{n}{V}$ bzw. $n = V \cdot c$ gilt:

$$c(\text{Probe}) = \frac{V(\text{Maßlösung}) \cdot c(\text{Maßlösung})}{V(\text{Probe})}$$

z. B.: Titration von Salzsäure mit Natronlauge

$$c(\text{HCl}) = \frac{V(\text{NaOH}) \cdot c(\text{NaOH})}{V(\text{HCl})} = \frac{20 \text{ mL} \cdot 0,2 \frac{\text{mol}}{\text{L}}}{100 \text{ mL}} = 0,04 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

Simulation: Titration starker Säuren/Basen in der Praxis

http://www.cornelsen.de/sites/medienelemente/cms/mel_xslt_gen/progs/html/mels/mel_520058_iwb.html

Lösungen HA (1)

1. Berechnen Sie Stoffmengenkonzentration ein Salzsäureprobe ($V = 100 \text{ mL}$), zu der bis zum Erreichen des Äquivalenzpunktes $V(\text{Maßlösung}) = 100 \text{ mL}$ Natronlauge ($c(\text{NaOH}) = 0,5 \text{ mol/L}$) titriert werden mussten.

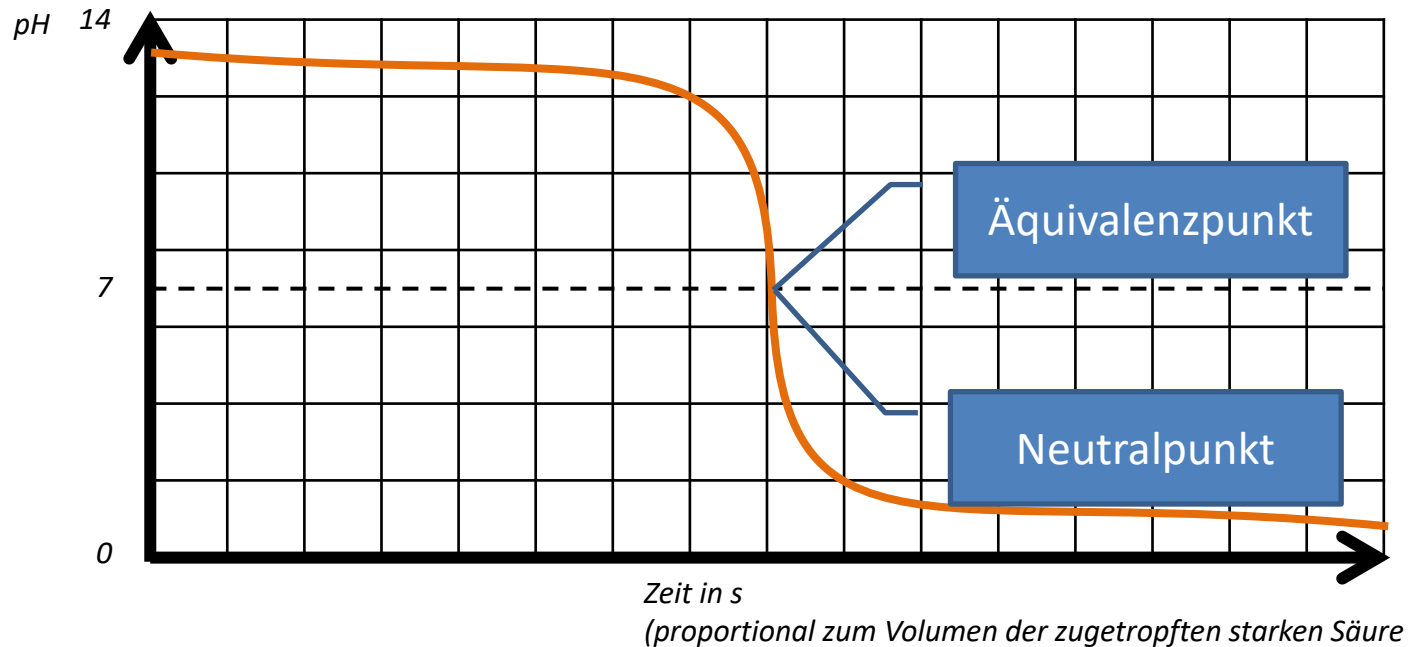
$$c(\text{HCl}) = \frac{V(\text{NaOH}) \cdot c(\text{NaOH})}{V(\text{HCl})}$$

$$c(\text{HCl}) = \frac{100 \text{ mL} \cdot 0,5 \frac{\text{mol}}{\text{L}}}{100 \text{ mL}}$$

$$c(\text{HCl}) = 0,5 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

Lösungen HA (2)

2. Skizzieren Sie die Titrationskurve einer starken Base, zu der eine starke Säure titriert wird. Begründen Sie den Kurvenverlauf.



Lösungen HA (3)

3. Berechnen Sie Stoffmengenkonzentration ein Kalilaugeprobe ($V = 50 \text{ mL}$), zu der bis zum Erreichen des Äquivalenzpunktes $V(\text{Maßlösung}) = 30 \text{ mL}$ Salzsäure ($c(\text{HCl}) = 0,2 \text{ mol/L}$) titriert werden mussten.

$$c(\text{KOH}) = \frac{V(\text{HCl}) \cdot c(\text{HCl})}{V(\text{KOH})}$$

$$c(\text{KOH}) = \frac{30 \text{ mL} \cdot 0,2 \frac{\text{mol}}{\text{L}}}{50 \text{ mL}}$$

$$c(\text{KOH}) = 0,12 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

Lösungen HA (4)

4. Berechnen Sie Stoffmengenkonzentration ein Schwefelsäureprobe ($V = 100 \text{ mL}$), zu der bis zum Erreichen des Äquivalenzpunktes $V(\text{Maßlösung}) = 25 \text{ mL}$ Natronlauge ($c(\text{NaOH}) = 0,5 \text{ mol/L}$) titriert werden mussten. [Beachten Sie, dass Schwefelsäure eine zweiprotonige Säure ist!]

Am Äquivalenzpunkt der Titration gilt (da $\text{H}_2\text{SO}_4 + 2 \text{NaOH} \rightleftharpoons \text{Na}_2\text{SO}_4 + 2 \text{H}_2\text{O}$):

$$n(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{1}{2} n(\text{NaOH})$$

$$c(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{V(\text{NaOH}) \cdot c(\text{NaOH})}{2 \cdot V(\text{H}_2\text{SO}_4)}$$

$$c(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{25 \text{ mL} \cdot 0,5 \frac{\text{mol}}{\text{L}}}{2 \cdot 100 \text{ mL}}$$

$$c(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,0625 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$