

41 Farben einiger Indikatorlösungen bei verschiedenen pH-Werten

| Indikator | Farbumschlag | pH-Bereich |
|--------------------|-----------------|------------|
| Methylviolett | gelb–blau | 0,0–1,6 |
| Kresolrot | rot–gelb | 0,2–1,8 |
| Thymolblau (Säure) | rot–gelb | 1,2–2,8 |
| Methylgelb | rot–gelb | 2,5–4,0 |
| Methylorange | rot–orange/gelb | 3,1–4,4 |
| Bromphenolblau | gelb–blau | 3,0–4,6 |
| Kongorot | violett–rot | 3,0–5,0 |
| Bromkresolgrün | gelb–blau | 3,8–5,4 |
| Methylrot | rot–gelb | 4,4–6,2 |
| Lackmus | rot–blau | 5,0–8,0 |
| Bromkresolpurpur | gelb–purpur | 5,2–6,8 |
| Bromthymolblau | gelb–blau | 6,0–7,6 |
| Phenolrot | gelb–rot | 6,8–8,4 |
| Kresolrot | gelb–rot | 7,1–8,8 |
| Thymolblau (Base) | gelb–blau | 8,0–9,6 |
| Phenolphthalein | farblos–rot | 8,2–10,0 |
| Thymolphthalein | farblos–blau | 9,0–10,5 |

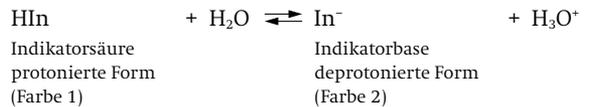
42 Wichtige Indikatoren, ihre Farbänderungen und Umschlagsbereiche



43 Die Blüten des Klatschmohns (rot) und der Kornblume (blau) enthalten den gleichen Farbstoff. Der Farbunterschied wird durch den unterschiedlichen pH-Wert des Zellsafts verursacht

13.13 | Indikatoren

Wirkungsweise von Indikatoren. Ein Säure-Base-Indikator ist im Allgemeinen eine schwache farbige Säure, deren korrespondierende Base eine andere Farbe als die Säure aufweist. Durch Aufnahme oder Abgabe jeweils eines Protons (H^+) ändert sich die Elektronenverteilung im betreffenden Farbstoff-Teilchen. Damit verschiebt sich der Wellenlängenbereich, in dem das Teilchen Licht absorbiert – die Farbe der Verbindung ändert sich. Für das Indikator-Molekül verwenden wir die allgemeine Abkürzung HIn ; das Symbol H steht dabei für das H -Atom, das als Proton abgegeben werden kann. Die korrespondierende Base von HIn ist demzufolge In^- . In wässriger Lösung stellt sich für einen Indikator HIn folgendes Protolysegleichgewicht ein:



Bei Zugabe einer Säure erhöht sich die Konzentration der H_3O^+ -Ionen. Dadurch verschiebt sich gemäss dem Prinzip von LE CHÂTELIER das Gleichgewicht nach links (\nearrow Kap. 12.3): In^- -Teilchen werden protoniert; die Konzentration der HIn -Moleküle nimmt zu. Die Zugabe einer Base verschiebt das Gleichgewicht dagegen nach rechts: HIn -Teilchen werden deprotoniert; die Konzentration der In^- -Teilchen nimmt zu. Da HIn und In^- unterschiedliche Farben aufweisen, hat die Gleichgewichtsverschiebung eine Farbänderung der Lösung zur Folge (\triangleright Abb. 40).

Wenn die Stoffmengenkonzentration von HIn und In^- gleich gross ist, sieht man die *Mischfarbe* von HIn und In^- . Ist das eine Teilchen in zehnfach grösserer Konzentration als das andere vorhanden, ist in der Regel nur noch dessen Farbe sichtbar. Das pH-Intervall, in dem die Mischfarbe sichtbar ist, heisst *Umschlagsbereich* des Indikators; er umfasst meist etwa 2 pH-Einheiten. Der Umschlagsbereich hängt von der Säurestärke von HIn ab (\triangleright Abb. 41 und 42).

Indikatorarten. Als *einfarbige Indikatoren* bezeichnet man Indikatoren, bei denen nur HIn oder In^- farbig ist, die andere Form dagegen farblos. Das bekannteste Beispiel ist Phenolphthalein. *Mehrfarbige Indikatoren* wie beispielsweise Thymolblau haben zwei Umschlagsbereiche. *Universalindikatoren* sind Gemische mehrerer Indikatoren mit unterschiedlichen Umschlagsbereichen.

Naturfarbstoffe als Indikatoren. Die Farben zahlreicher Naturfarbstoffe sind pH-abhängig: So enthalten zum Beispiel die blauen Blüten der Kornblume und die roten Blüten des Klatschmohns den gleichen Farbstoff; die unterschiedliche Farbe wird durch den pH-Wert des Zellsafts verursacht (▷ Abb. 43). Auch Lackmus, der während Jahrhunderten meistverwendete Indikator, ist ein Naturfarbstoff; er wird aus bestimmten Flechtenarten gewonnen.

- A 42** Mit welchen Indikatoren aus 7 ▷ Abb. 42 kann man am besten beurteilen, ob eine Lösung sauer oder alkalisch ist?
- A 43** Welche Farbe hat eine Mischung von Phenolphthalein und Bromthymolblau bei pH = 4, pH = 7 und pH = 10?
- A 44** Eine Mischung der pH-Indikatoren Methylorange und Bromthymolblau erscheint in wässriger Lösung gelb. Welchen pH-Wert hat diese Lösung?

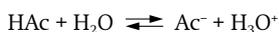
13.14 | Pufferlösungen

Puffer gibt es nicht nur bei der Eisenbahn. Gibt man zu destilliertem Wasser nur ein wenig Salzsäure, so zieht dies eine starke pH-Wert-Änderung nach sich. Der pH-Wert des menschlichen Bluts dagegen schwankt nur sehr wenig um den pH-Wert von 7,4 herum, obwohl beim Stoffwechsel Säuren an das Blut abgegeben werden. Man spricht bei Systemen, die auf die Zugabe einer sauren oder alkalischen Lösung mit einer nur sehr geringen pH-Wert-Änderung reagieren, von **Pufferlösungen** (oder kurz *Puffern*). Der Begriff wurde von den Stossfängern an Eisenbahnwagen übernommen (▷ Abb. 44). Eisenbahnpufer federn mechanische Stösse ab; Pufferlösungen dienen dem «Abfangen» von H_3O^+ - beziehungsweise OH^- -Ionen.

Pufferlösungen halten den pH-Wert einer Lösung bei Zugabe beschränkter Mengen von Säuren und Basen konstant.

Wirkungsweise einer Pufferlösung. Um den pH-Wert in einem System auch bei Zugabe oder Bildung von H_3O^+ - oder OH^- -Ionen konstant zu halten, muss eine Lösung eine ausreichend hohe Zahl von Teilchen enthalten, welche die H_3O^+ - und OH^- -Ionen zugegebener Säuren und Laugen neutralisieren. H_3O^+ - und OH^- -Ionen kommen dafür nicht in Betracht, da das Produkt ihrer Konzentrationen nicht grösser sein kann als $10^{-14} \text{ mol}^2/\text{L}^2$ (Ionenprodukt des Wassers (K_w) bei 25 °C).

Eine *saure Pufferlösung* stabilisiert eine Lösung bei $\text{pH} < 7$. Sie entsteht, wenn eine schwache Säure und ein Salz, das die zu ihr korrespondierende Base enthält, in Wasser gelöst werden. Ein bekanntes Beispiel einer sauren Pufferlösung ist der Essigsäure-Acetat-Puffer, der Essigsäure (Abkürzung HAc) und Acetat-Ionen (Abkürzung Ac^-) in meist gleicher Stoffmengenkonzentration enthält. In der Pufferlösung stellt sich folgendes Gleichgewicht ein:



Ein Puffer mit $c(\text{HAc}) = c(\text{Ac}^-) = 1 \text{ mol/L}$ hat einen pH-Wert von 4,75. Die Konzentrationen der Essigsäure-Moleküle und der Acetat-Ionen sind dabei etwa 50 000-mal grösser als die der H_3O^+ -Ionen. Setzen wir der Lösung eine begrenzte Menge H_3O^+ -Ionen zu, so werden sie mit dem grossen Vorrat an Acetat-Ionen zu Essigsäure reagieren:



Setzen wir eine begrenzte Menge an OH^- -Ionen zu, so werden sie mit den vorhandenen Essigsäure-Molekülen reagieren:



44 Puffer bei einem Eisenbahnwagen. Sie dienen zum Abfedern mechanischer Stösse