

### 3. Kapitel:

# Wir lösen Kalkrückstände mit Essig auf: Säure/Base-Reaktionen

## Thema

Es gibt unterschiedlich starke Säuren und Basen. Man kann diese untereinander vergleichen und ihrer Stärke nach ordnen. Auf diese Weise erhält man die Säure/Base-Reihe. Diese hilft uns bei der Entscheidung, welche Säure mit welcher Base reagieren kann. Wir können ablesen, welche Stoffe wir bei einer Säure/Base-Reaktion erhalten.

## Lektionsablauf

Zuerst bearbeiten Sie die Theorie. Dann führen Sie drei Experimente durch. Sie lösen Kalk auf und stellen ein Brausegetränk her.

Haben Sie dann auch noch die Aufgaben im Abschnitt "Lernkontrolle" gelöst, können Sie sich zum Kapiteltest melden.

Eine Säure/Base-Reihe steht Ihnen für den Kapiteltest zur Verfügung (allerdings ohne die Namen der Säuren).

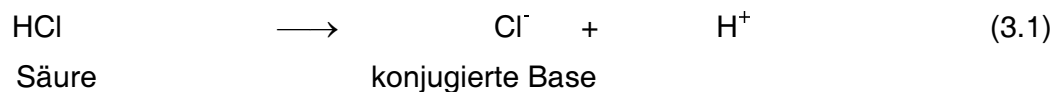
### Lernziele

1. Sie wissen, was man unter "konjugierter Säure", "konjugierter Base" und "Säure/Base-Paar" versteht.
2. Sie können herausfinden, wer von mehreren möglichen Reaktionspartnern tatsächlich reagiert und welche Endstoffe wir erhalten.
3. Sie wissen, wie man Kalkrückstände auflösen kann. Sie können erklären, warum eine Brausetablette "braust".
4. Sie können für eine beliebige Säure/Base-Reaktion abschätzen, ob diese Reaktion „vollständig“ abläuft oder nicht. Sie geben die Lage des Gleichgewichtes an.

## Theorie

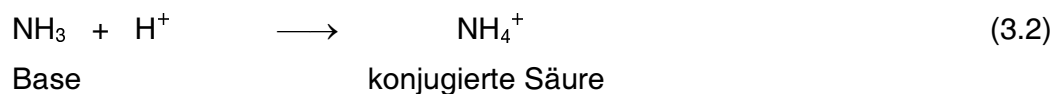
### Säure/Base-Paare

Aus der Säure HA entsteht durch  $H^+$ -Ionenabgabe eine Base. Es ist die "**konjugierte Base**" von HA. Betrachten wir dies am Beispiel von HCl:



Dieselbe Überlegung lässt sich auch für eine Base machen:

Aus einer Base B entsteht durch  $H^+$ -Ionenaufnahme eine Säure. Es ist die "**konjugierte Säure**" von B. Betrachten wir dies am Beispiel von  $NH_3$ :



Eine Säure und ihre konjugierte Base bilden zusammen ein "**Säure/Base-Paar**".



#### Aufgabe 3.1

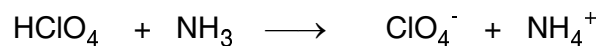
Welches ist die konjugierte Base von  $HClO_4$ ? Von  $H_3O^+$ ?

Welches ist die konjugierte Säure von  $OH^-$ ?

Nennen Sie die entsprechenden Säure/Base-Paare.



#### Aufgabe 3.2: Wir betrachten folgende Reaktion:




Welches ist hier die Säure, die konjugierte Säure, die Base und die konjugierte Base? Welches sind die beiden Säure/Base-Paare?

## Die Säure/Base-Reihe

Eine starke Säure gibt sehr leicht ein  $H^+$ -Ion ab. Schwache Säuren hingegen lassen ihre  $H^+$ -Ionen nicht so leicht gehen. Wenn eine Säure ihr  $H^+$ -Ion schon leicht abgibt, so ist naheliegend, dass die dabei entstandene konjugierte Base nicht leicht wieder eines aufnimmt.


Mit andern Worten:



**Je stärker eine Säure, desto schwächer ist ihre konjugierte Base.**

Dasselbe lässt sich auch für eine Base formulieren:

Je leichter eine Base ein  $H^+$ -Ion aufnimmt (je "stärker" die Base ist), um so schwerer gibt ihre konjugierte Säure das  $H^+$ -Ion wieder ab.



**Je stärker eine Base, desto schwächer ist ihre konjugierte Säure.**

Man kann die Säuren nach ihrer Säurestärke ordnen. Die entsprechende Tabelle heisst "**Säure/Base-Reihe**". Sie finden sie auf der nächsten Seite. Ein Exemplar davon steht Ihnen ab jetzt übrigens bei jedem Test zur Verfügung.

Chlorwasserstoff ( $HCl$ ) ist eine starke Säure. Sie finden diese Säure oben in der Säure/Base-Reihe.

Wasser ( $H_2O$ ) dagegen ist eine sehr schwache Säure.  $H_2O$  steht fast zu unterst in der Säure/Base Reihe.

Den  $pK_S$ -Wert in der letzten Spalte brauchen wir in diesem Kapitel noch nicht.

<b>Säure/Base-Reihe</b>
-------------------------

	Säure	konj. Base	pK <sub>S</sub> -Wert	
	HClO <sub>4</sub>	ClO <sub>4</sub> <sup>⊖</sup>	- 9	
	HCl	Cl <sup>⊖</sup>	- 6	
	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	HSO <sub>4</sub> <sup>⊖</sup>	- 3	
	H <sub>3</sub> O <sup>⊖</sup>	H <sub>2</sub> O	- 1.74	
	HNO <sub>3</sub>	NO <sub>3</sub> <sup>⊖</sup>	- 1.32	
	HClO <sub>3</sub>	ClO <sub>3</sub> <sup>⊖</sup>	0	
	CCl <sub>3</sub> COOH	CCl <sub>3</sub> COO <sup>⊖</sup>	0.08	
	HSO <sub>4</sub> <sup>⊖</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2⊖</sup>	1.92	
	H <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	HSO <sub>3</sub> <sup>⊖</sup>	1.96	
	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>⊖</sup>	1.96	
	HF	F <sup>⊖</sup>	3.14	
	HNO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub> <sup>⊖</sup>	3.35	
	HCOOH	HCOO <sup>⊖</sup>	3.7	
	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> COOH	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> COO <sup>⊖</sup>	4.22	
	CH <sub>3</sub> COOH	CH <sub>3</sub> COO <sup>⊖</sup>	4.76	
	H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub> <sup>⊖</sup>	6.46	
	H <sub>2</sub> S	HS <sup>⊖</sup>	7.06	
	HSO <sub>3</sub> <sup>⊖</sup>	SO <sub>3</sub> <sup>2⊖</sup>	7.2	
	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>⊖</sup>	HPO <sub>4</sub> <sup>2⊖</sup>	7.21	
	HClO	ClO <sup>⊖</sup>	7.25	
	NH <sub>4</sub> <sup>⊖</sup>	NH <sub>3</sub>	9.21	
	HCN	CN <sup>⊖</sup>	9.4	
	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> O <sup>⊖</sup>	9.89	
	HCO <sub>3</sub> <sup>⊖</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2⊖</sup>	10.40	
	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	HO <sub>2</sub> <sup>⊖</sup>	11.62	
	HPO <sub>4</sub> <sup>2⊖</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3⊖</sup>	12.32	
	HS <sup>⊖</sup>	S <sup>2⊖</sup>	12.9	
	H <sub>2</sub> O	OH <sup>⊖</sup>	15.74	
	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> O <sup>⊖</sup>	18	
	OH <sup>⊖</sup>	O <sup>2⊖</sup>	24	
	NH <sub>3</sub>	NH <sub>2</sub> <sup>⊖</sup>	~27	

↑  
zunehmende Säurestärke
↓  
zunehmende Basenstärke



**Aufgabe 3.3:** Welches ist die schwächste Base in dieser Säure/Base-Reihe, welches die stärkste?

### Wie wenden wir die Säure/Base Reihe an?

Eine Säure und eine Base reagieren nur dann mehr oder weniger vollständig miteinander, wenn die Säure in der Säure/Base Reihe weiter oben liegt als die Base auf der rechten Seite. Dies bedeutet, dass das Gleichgewicht der Reaktion auf der rechten Seite liegt. Mit den Reaktionspfeilen können wir dies so darstellen:  $\rightleftharpoons$ .

Näherungsweise gehen wir vorerst davon aus, dass in diesem Fall die Reaktion immer vollständig abläuft.

Betrachten wir die schon mehrfach behandelte Reaktion von HCl mit H<sub>2</sub>O. Suchen wir die beiden Stoffe in der Säure/Base-Reihe.

Säure	konj. Base	pK <sub>s</sub> -Wert
HClO <sub>4</sub>	ClO <sub>4</sub> <sup>⊖</sup>	- 9
<b>HCl</b>	Cl <sup>⊖</sup>	- 6
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	HSO <sub>4</sub> <sup>⊖</sup>	- 3
H <sub>3</sub> O <sup>⊖</sup>	<b>H<sub>2</sub>O</b>	- 1.74
HNO <sub>3</sub>	NO <sub>3</sub> <sup>⊖</sup>	- 1.32

HCl liegt weiter oben, als H<sub>2</sub>O. Die Reaktion erfolgt also fast vollständig.

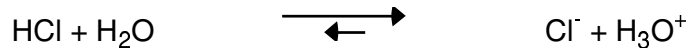
Welche Stoffe werden bei der Reaktion gebildet? Sie wissen es aus dem 1. Kapitel: Cl<sup>-</sup> und H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>. Dies können wir auch direkt aus der Säure/Base-Reihe ablesen:

Aus HCl wird Cl<sup>-</sup>, aus H<sub>2</sub>O erhalten wir H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>.

Säure	konj. Base	pK <sub>s</sub> -Wert
HClO <sub>4</sub>	ClO <sub>4</sub> <sup>⊖</sup>	- 9
HCl	Cl <sup>⊖</sup>	- 6
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	HSO <sub>4</sub> <sup>⊖</sup>	- 3
H <sub>3</sub> O <sup>⊖</sup>	H <sub>2</sub> O	- 1.74
HNO <sub>3</sub>	NO <sub>3</sub> <sup>⊖</sup>	- 1.32

Der fette Pfeil zeigt also den Weg des Protons. Die dünneren Pfeile zeigen die entstehenden Stoffe an.

Die Reaktionsgleichung lautet also:



Eine Säure und eine Base reagieren „vollständig“ miteinander, wenn der Weg des Protons nach unten geht. Das Gleichgewicht der Reaktion liegt in diesem Fall auf der rechten Seite.



Allgemein gilt:

Das Gleichgewicht liegt so, dass aus der stärkeren Säure und der stärkeren Base die schwächere Säure und die schwächere Base entstehen.

**Wie wenden wir die Säure/Base-Reihe an? So gehen Sie vor:**

- Sie suchen die Säure in der linken Spalte, die Base in der rechten Spalte der Säure/Base-Reihe.
- Wenn die Säure (linke Spalte) weiter oben steht als die Base (rechte Spalte), so läuft die Reaktion „vollständig“ ab. Das Gleichgewicht liegt auf der rechten Seite. Wir schreiben dies so:  $\rightleftharpoons$
- Steht die Säure unterhalb der Base, läuft die Reaktion nur ganz wenig ab. Das Gleichgewicht liegt dann auf der linken Seite. Wir schreiben dies so:  $\leftleftharpoons$
- Die bei der Reaktion gebildeten Stoffe stehen rechts neben der Säure und links neben der Base. Jetzt können Sie die Reaktionsgleichung aufschreiben.



**Aufgabe 3.4:** Chlorwasserstoff (HCl) und Ammoniak (NH<sub>3</sub>) sind bei Raumtemperatur gasförmig. Expecten Sie, dass diese beiden Stoffe „vollständig“ reagieren? Ist dies der Fall, schreiben Sie die Reaktionsgleichung auf.



**Aufgabe 3.5:** In einem Becherglas wird Natriumhydroxid (NaOH) in Wasser gelöst. Zu dieser Lösung gibt man Salpetersäure (HNO<sub>3</sub>).

Welche Säure/Base-Reaktion findet statt?

**Ganz so einfach ist die Sache aber nicht immer!** Gewisse Säuren können mehrere H<sup>+</sup>-Ionen abgeben. Dazu gehört z.B. die Schwefelsäure (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Allerdings muss die Base stark genug sein, wenn Sie beide H<sup>+</sup>-Ionen aufnehmen soll. Sie können dies mit Hilfe der Säure/Base-Reihe herausfinden.

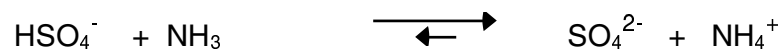
**Beispiel:** Betrachten wir die Reaktion von Schwefelsäure (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) mit Ammoniak (NH<sub>3</sub>). In einem ersten Schritt gibt die Schwefelsäure ein H<sup>+</sup>-Ion ab:



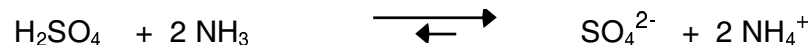
Nun müssen Sie untersuchen, ob das Hydrogensulfat-Ion (HSO<sub>4</sub><sup>-</sup>) mit einem weiteren NH<sub>3</sub>-Molekül reagieren kann.

Das Hydrogensulfat-Ion (HSO<sub>4</sub><sup>-</sup>) ist eine Base. Sie finden es in der Säure/Base-Reihe auf der rechten Seite bei den Basen. Es kann aber auch als Säure wirken. Deshalb findet man das Hydrogensulfat-Ion auch auf der linken Seite bei den Säuren.

Da HSO<sub>4</sub><sup>-</sup> als Säure in der Säure/Base-Reihe weiter oben steht als NH<sub>3</sub>, kann es mit diesem reagieren:



Insgesamt findet also folgende Reaktion statt:

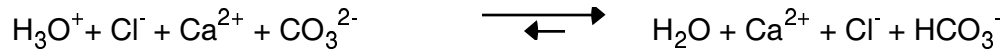


**Aufgabe 3.6:** Schreiben Sie die Gleichung der Reaktion von Phosphorsäure (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) mit Natronlauge auf.

**Es gibt auch Basen, die mehrere H<sup>+</sup>-Ionen aufnehmen können.**

Als Beispiel nehmen wir das Carbonat-Ion (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>). Dieses ist im Kalk (CaCO<sub>3</sub>) enthalten. Betrachten wir die Reaktion von Kalk mit Salzsäure. Dies ist eine Lösung von HCl in Wasser. Sie enthält praktisch nur H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>- und Cl<sup>-</sup>-Ionen, da HCl fast vollständig mit Wasser reagiert. Kalk enthält Ca<sup>2+</sup> und CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>-Ionen.

In einem ersten Schritt gibt das Hydronium-Ion ein H<sup>+</sup>-Ion ab (Cl<sup>-</sup> ist "Zuschauer"):



Die Ca<sup>2+</sup>- und Cl<sup>-</sup>-Ionen sind bei dieser Reaktion "Zuschauer".

**Zur Erinnerung:**

Stoffe wie CaCO<sub>3</sub>, die also sowohl Metall- als auch Nichtmetallatome enthalten sind **Salze**. Salze enthalten **Ionen**. Deshalb sind sie an fast jeder Säure/Base-Reaktion beteiligt.

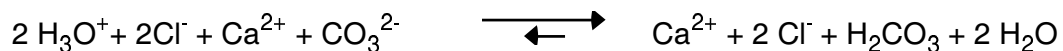
Zuerst müssen Sie bei einem Salz immer erkennen, welche Ionen darin enthalten sind. Bei CaCO<sub>3</sub> sind das Ca<sup>2+</sup> und das **Molekülion** CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>.

Sehr oft ist nur eines der Ionen aus einem Salz an der Säure/Base-Reaktion beteiligt, das andere ist Zuschauer.

HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> als Base kann mit einem weiteren H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> (und einem Cl<sup>-</sup> als Begleit-Ion) reagieren:



Insgesamt findet also folgende Reaktion statt:



Die dabei entstehende Kohlensäure (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) ist instabil und zerfällt zu H<sub>2</sub>O und CO<sub>2</sub>. Man stellt bei dieser Reaktion ein "Brausen" fest. Dabei handelt es sich um das freiwerdende Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>).



## Experimenteller Teil

### Experiment 3.1: Auflösen von Kalk mit Säuren



**Diesen Versuch führen Sie bei sich zu Hause durch!**

**Sicherheit:**

*Nur weil diese Chemikalien bei Ihnen zu Hause herumstehen und nicht im Labor, sind sie keinesfalls harmlos!*

*Passen Sie auf Ihre Augen auf!*

**Geräte:** 2 grosse Trink-Gläser

**Chemikalien:** Speiseessig [Essigsäure  $c(\text{CH}_3\text{COOH}) = \text{ca. } 0.75 \text{ mol/L}$ ], Eierschale [Calciumcarbonat = "Kalk" ( $\text{CaCO}_3$ )], freiwillig auch noch Putzeessig, WC- oder Abfluss-Reiniger

**Vorgehen:** Geben Sie je eine Eierschale in ein Trink-Glas. Überschichten Sie die eine Schale mit Essig (mind. 2 cm hoch Essig), zu der andern geben Sie WC-Reiniger (falls zu stark gefärbt oder zu wenig flüssig noch etwas mit Wasser verdünnen).

**Auswertung:** Notieren Sie Ihre Beobachtungen. Geben Sie zu jeder Reaktion eine Erklärung in einem bis zwei Sätzen. Notieren Sie auch die Hauptbestandteile im WC-Reiniger. Welche Reaktion läuft ab? Formulieren Sie die Reaktionsgleichung.



**Aufgabe 3.7:** Schreiben Sie mit Hilfe der Säure/Base-Reihe die Reaktionsgleichung der Reaktion von Essigsäure mit Kalk auf. Kalk ist Calciumcarbonat.

### Experiment 3.2: Brausepulver



**Sicherheit:**

*In diesem Versuch dürfen keine "Chemiegeräte" und nur besonders für diesen Versuch gekennzeichnete Chemikalien verwendet werden! Der Versuch darf nur an einem Ort durchgeführt werden, wo gleichzeitig keine andern Experimente ablaufen.*

**Geräte:** Trinkglas oder Plastikbecher, Kaffeelöffel.

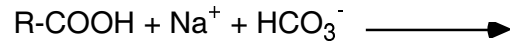
<b>Chemikalien:</b> Natriumhydrogencarbonat	0.6 g
Zitronensäure	1.0 g
Ascorbinsäure (Vitamin C)	0.2 g
Natrium-Cyclamat	0.2 g
Saccharose ("Zucker")	2.0 g
Zitronenaroma	2 Tropfen mit Pipette
Lebensmittelgelb	kleinste Spuren

**Herstellung:** Alle Substanzen (ausser Aroma und Farbe) mit Hilfe eines sauberen Papierchens abwägen und in den Becher geben. Vorsichtig Aroma und Farbe zumischen. Gemisch mit Pistill so lange zerreiben, bis ein homogenes Pulver entstanden ist. Dann füllt man das Glas mit Leitungswasser.

Selbstverständlich darf und soll die Lösung degustiert werden!



**Aufgabe 3.8:** Vervollständigen Sie die Reaktionsgleichung. Wir betrachten Citronen- oder Weinsäure als R-COOH mit der zugehörigen Base R-COO<sup>-</sup> (R steht für „Rest“). Sie stehen in der Säure/Base-Reihe etwas oberhalb von HCOOH. Erklären Sie das "Brausen".



**Aufgabe 3.9:** Eine Säure vermag Kalk aufzulösen, wenn die Reaktion mit dem Carbonat-Ion (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>) fast vollständig verläuft.

- Nennen Sie 4 Säuren, die in der Lage sind, Kalk aufzulösen.
- Schreiben Sie für einen Fall die Reaktionsgleichung auf. Es darf nicht Salzsäure oder Essigsäure sein.



### Aufgabe 3.10 – Zusatzaufgabe für die Schnellen

Essig ist ein sehr wichtiges Lebensmittel und wird in unzähligen Varianten in riesigen Mengen konsumiert.

Starten Sie im Computerzimmer (418) einen PC auf und suchen Sie Informationen um in einem Kurzaufsatz von etwa 10 Sätzen die folgenden Fragen zu beantworten:

- Was ist Essig?
- Welches sind die zwei wichtigsten Verfahren zur Essigherstellung?
- Was darf gesetzlich als Essig bezeichnet werden?
- Wie lange kennt man Essig schon?

Sie können dazu beliebige Internetseiten nutzen, sinnvolle Informationsquellen sind aber sicher das Chemielexikon ([www.roempp.com](http://www.roempp.com)) und Wikipedia ([de.wikipedia.org](http://de.wikipedia.org)).

Diesen Text geben Sie am Schluss mit dem Kapiteltest zusammen ab.

**Wichtige Begriffe:** Säure/Base-Reihe, konjugierte Säure, konjugierte Base, Säure/Base-Paar, Essig, Kalk (=CaCO<sub>3</sub>)

## Lernkontrolle



Versuchen Sie, diese Aufgaben selbständig zu lösen! So können Sie festzustellen, wieviel Sie schon gelernt haben. Falls es nicht so gut geklappt hat, wissen Sie, was Sie nochmals anschauen sollten!

**Geben Sie bei allen Reaktionen die Lage des Gleichgewichts mit den entsprechenden Pfeilen an!**

Wenn Sie die Aufgaben selbständig lösen können, haben Sie die Grundlage für das nächste Kapitel gelegt. Melden Sie sich zum Kapitteltest! Wenn Sie etwas nicht verstehen, nehmen Sie sich ruhig Zeit, um den betreffenden Stoff zu repetieren! Zögern Sie nicht, mich bei Problemen zu fragen!

**Aufgabe 3.11:** Vervollständigen Sie die Reaktionsgleichungen! Welches Teilchen wirkt als Säure, welches als Base?

- a)  $\text{NH}_3 + \text{HCl}$
- b)  $\text{H}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O}$
- c)  $\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}$
- d)  $\text{H}_2\text{O} + \text{CH}_3\text{COOH}$

**Aufgabe 3.12:** a) Eine wässrige Ammoniumnitrat-Lösung [ $\text{NH}_4\text{NO}_3$  (aq)] und eine wässrige Kaliumhydroxid-Lösung (KOH (aq)) werden zusammengegeben. Welche Reaktion findet statt?

b) Eine wässrige Kaliumhydrogenphosphat-Lösung ( $\text{K}_2\text{HPO}_4$  aq) und eine wässrige Magnesiumhydrogencarbonat-Lösung [ $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$  (aq)] werden zusammengegeben. Welche Reaktion findet statt?

**Aufgabe 3.13:** Was müsste man zugeben, um aus Ammoniumchlorid ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) zu gewinnen?

Wie lautet die Reaktionsgleichung? Wo liegt das Gleichgewicht? Schätzen Sie K!

**Meine Lösungen des 3. Kapitels:**