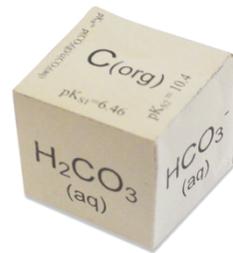


# Chemistry

# Cube

# Game

## Spielanleitungen



Spiele mit Würfeln für den Chemie Unterricht

von Markus T. Müller

## *Für Sophie und Bärbel*

Danke...

...Hansueli Ehrensperger, Jörg Engweiler und Vesna Klingel für die wertvollen Gespräche und kritischen Rückmeldungen bei der Entwicklung des Spieles und der Spielanleitungen.

...meinen Klassen an der Kantonsschule Frauenfeld für das Basteln der ersten 200 Prototypen und die vielen Verbesserungsvorschläge für spannendere Spielformen.

...Peter Schaltegger für die grafische Umsetzung und Detailgestaltung der vielen Formeln und seine Unterstützung bei der Auswahl der Farben.

...Hansruedi Dütsch für die Unterstützung und Bereitschaft, das Chemistry Cube Game über den VSN-Shop zu vertreiben.

... der Schweizerischen Chemischen Gesellschaft (SCG), für die finanzielle Unterstützung bei der Vorbereitung der Erstauflage.

... meiner Familie für die moralische Unterstützung bei der Entwicklung dieses Spieles.

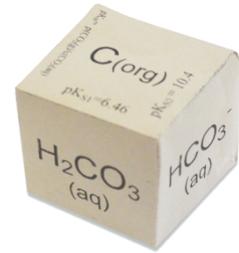
### Impressum

1. Auflage      Februar 2017 (Deutsche Version), März 2017 (Englische Version)

Copyright:    Markus T. Müller, Im Baumgarten 5, CH-8500 Frauenfeld, Schweiz

Kontakt:      markus.mueller@kftg.ch

Vertrieb:      www.vsn-shop.ch



## Inhaltsverzeichnis

### Allgemeine Infos zum Spiel

#### Salze

- 1.1 Salze, Salzformeln, Ionenschreibweise
- 1.2 Lösevorgang von gut löslichen Salzen
- 1.3 Lösevorgang von schlecht löslichen Salzen
- 1.4 Auskristallisieren von Salzen  
siehe auch 3.1, 4.1, 4.2, 4.4

#### Säuren und Basen

- 2.1 Welche Spezies liegt bei welchem pH-Wert vor?
- 2.2 Zusammenhang zwischen pH- und  $pK_a$ -Wert
- 2.3 Titration einer Säure mit Natronlauge
- 2.4 Titration einer Base mit einer starken Säure  
siehe auch 4.1, 4.2, 4.3, 4.4

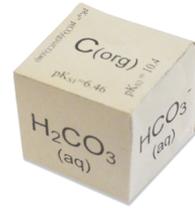
#### Redox-Chemie

- 3.1 Metalle reagieren mit Nichtmetallen zu Salzen
- 3.2 Redoxreaktionen erkennen - Oxidationszahlen
- 3.3 Redoxreaktionen die wirklich ablaufen und  $E^\circ$   
siehe auch 4.4

#### Umweltchemie - Luftschadstoffe und Saurer Regen

- 4.1 Kohlenstoff - Kohlendioxid - Kohlensäure - Carbonate
- 4.2 Schwefel - Schwefeldioxid - Schwefelsäure - Gips
- 4.3 Stickstoff - Stickoxide - Salpetrige Säure - Salpetersäure
- 4.4 Stickstoff-Fixierung, Nitrifikation und Denitrifikation
- 4.5 Eutrophierungs-Spiel (in Bearbeitung)

Homepage: [www.swisschemcube.ch](http://www.swisschemcube.ch)



## Abstract

Das Chemistry Cube Game besteht aus 16 verschiedenen Würfeln. Die Würfel können in verschiedene erlaubte Richtungen gedreht werden, wobei mit einer Drehung (resp. einem Kippen um  $90^\circ$ ) jeweils eine chemische Reaktion oder ein physikalischer Vorgang gezeigt wird. Neu an den von uns entwickelten Würfeln ist die Speziierung von Säuren und Basen (Anionen) Spezies, von elementaren Metallen ( $\text{Me}^0$ ) und den zugehörigen Metall-Kationen ( $\text{Me}^{x+}$ ), sowie von Nichtmetallen ( $\text{O}_2^0$ ) und ihren Anionen ( $\text{O}^{2-}$ ). Zudem wurden weitere Aspekte wie die Herkunft eines Stoffes, sowie Phasenübergänge, Löslichkeitsgleichgewichte von Gasen in Wasser wenn möglich berücksichtigt und so auf dem Würfel angeordnet, dass verschiedene Drehbewegungen, die möglich sind, auch chemisch einen Sinn ergeben.

Mit den SwissChemCubes können verschiedene Themenbereiche des Chemie-Unterrichts wie Salze, chemische Gleichgewichte, Säuren-Basen-, Redox-Chemie sowie Themen aus der Umweltchemie spielerisch erlernt werden.

Im Themenbereich Salze können die Grundlagen zur Salzbildung, zum Herleiten von Salzformeln und deren Ionenschreibweise, Lösevorgänge, Auskristallisieren erarbeitet werden.

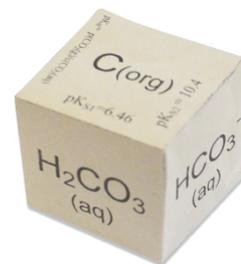
Bei der Säuren-Basen Chemie liegt ein Schwerpunkt des Spieles bei den Spezies, die bei verschiedenen pH-Werten vorliegen (Speziierung). Der Zusammenhang zwischen Säurekonstante  $pK_a$  und dem pH-Wert, sowie die Titration einer Säure resp. einer Basen können mit den Würfeln gespielt werden.

Die Spiele in der Redox-Chemie beginnen mit der Herstellung von Salzen aus den Elementarstoffen, aus Metallen und Nichtmetallen. Mit Hilfe der Oxidationszahlen können anschließend Redoxreaktionen erkannt sowie die Teilreaktionen der Oxidation und Reduktion korrekt notiert werden.

In der Umweltchemie beginnen wir mit dem Kohlenstoff-Kreislauf und den verschiedenen Gleichgewichten, die dabei zu berücksichtigen sind. Das Thema saurer Regen wird anhand der Beispiele zum Schwefelsäure und Salpetersäure behandelt. Hier ist das Ziel, die komplexen Zusammenhänge zu erkennen und die Verknüpfungen der Reaktionen und ihre Abhängigkeiten von Rahmenbedingungen wie pH-Wert, Druck, Temperatur zu erleben. Der Stickstoffkreislauf, in welchem aerobe und anaerobe Bedingungen hinzukommen, verknüpft die verschiedenen behandelten Themen miteinander.

Fünf Jahre Erfahrung mit selbst gebastelten Prototypen sind in die Spielanleitungen des Chemistry Cube Games eingeflossen. Es bietet zudem die Möglichkeit, eigene Spielideen auszuprobieren und umzusetzen.

# Allgemeine Infos



## Spielidee

Beim Chemistry Cube Game geht es in erster Linie um die verschiedenen Formen oder Spezies, in der ein Stoff, z.B. eine Säure oder Base, ein Reduktions- oder Oxidationsmittel (Metalle, Nichtmetalle und ihre Ionen), vorliegen kann. Zudem findet man auf den Würfeln die Formeln von Vorläufersubstanzen, aus denen z.B. die betrachtete Säure gebildet werden kann. Man kann mit diesen Würfeln die unterschiedlichsten Reaktionen spielerisch erleben.

## Inhalt

16 verschiedene Würfel (total 204 Würfel, Halbklassensatz):

Anz.		Anz.		Anz.		Anz.	
24	H <sub>2</sub> O	12	NH <sub>3</sub>	12	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	12	Pb, Sn
12	H <sub>2</sub> S	12	HNO <sub>2</sub>	12	Na, Mg, Al	12	N <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> , S
12	H <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	12	HNO <sub>3</sub>	12	Ca, Zn, Ag,	12	F <sub>2</sub> , Cl <sub>2</sub> , Br <sub>2</sub>
12	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	12	H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	12	Fe, Cu	12	leer

Die unbedruckten Würfel können selber beschriftet werden. Melden Sie uns Ihre Ideen für weitere Würfel. In einer zweiten Auflage können wir oft genannte Wünsche eventuell berücksichtigen.

## Würfel zusammenbauen

Die Würfel werden gestanzt, gerillt und einmal verleimt flach geliefert. Vor dem ersten Gebrauch müssen sie zusammengesteckt werden (z.B. mit einer Klasse). Dabei ist zu beachten, dass die Würfel, wenn Sie zusammengesteckt sind, nicht zerstörungsfrei wieder geöffnet werden können. Es empfiehlt sich, die beiden Einstülp-Laschen (oben und unten) nach dem Einstecken mit einem Leimtupfer zu versehen und diese so zusammen zu leimen, dass alle Würfelkanten für das Spielen geschlossen vorliegen. Dadurch ist das Öffnen des Würfels nicht mehr möglich.

## Würfel lagern

Sind die Würfel montiert können Sie in einer Box gelagert werden. Bewährt haben sich UTZ Behälter 40 x 30 x 11.7 cm (10 x 7 x 2 = 140 Würfel) die 2 lagig mit den Würfel befüllt werden.

## Würfel reinigen

Die Würfel können mit einem feuchten Lappen von Verunreinigungen befreit werden.

## Allgemeine Spielregeln:

Die Würfel dürfen in der Regel in alle Richtungen gedreht oder gekippt werden, in welche die Schriften das zulassen, resp. die Übergänge gut lesbar sind. Steht eine Schrift plötzlich auf dem Kopf, so ist dieser Übergang in der Regel nicht direkt möglich.

Mit den Würfel darf aber auch gewürfelt werden, was bei den Spielen zu den Salzen einen Zufallsfaktor mit ins Spiel bringt. Die Würfel können auch gestapelt werden, z.B. um einen Salzkristall zu bauen.

Mit den Würfel sollten nur auf einem Tisch gespielt werden, um Verunreinigungen und Beschädigungen zu vermeiden.

Mit laminierten Kopien von Reaktionspfeilen, Gleichgewichtspfeilen und evt. von Stöchiometrischen Koeffizienten (1, 2, 3, 4, 5, 6) können zudem Reaktionsgleichungen und Gleichgewichtsreaktionen korrekt dargestellt werden.

## Bedeutung der Schriftfarben

Ändert beim Drehen eines Würfels die Schriftfarbe, so bedeutet dies, dass bei diesem Übergang eine chemische Reaktion notwendig ist.

## Säure Basen Würfel

Säure (gibt Proton  $H^+$  ab)

Sie drehen oder kippen den Würfel nach links.

Base (nimmt Proton  $H^+$  auf)

Sie drehen oder kippen den Würfel nach rechts.

Die Würfel mit den Säuren und Basen sind so aufgebaut, dass durch Drehen eines Würfels die verschiedene Spezies der entsprechenden Säure und ihrer korrespondierenden Basen erscheinen. Eine Protonenabgabe einer Säure erfolgt über das Kippen oder Drehen des Würfels nach links. Die Protonenaufnahme einer Base erfolgt über das Kippen resp. Drehen des Würfels nach rechts. Die Säurenkonstanten  $pK_a$ -Werte sind jeweils oberhalb der entsprechenden Säuren angegeben und können jeweils durch Kippen des Würfels nach vorne nachgeschaut werden. Dies dient der Memorisierung der  $pK_a$ -Werte nach dem Motto, wissen oder nachschauen. Mehrprotonige Säuren und Basen können so erlebt und bespielt werden.

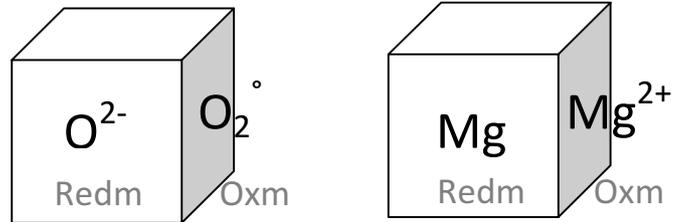
## $pK_a$ -Wert ( $pK_s$ )

Für die  $pK_a$ -Werte wurden die Tabellenwerte aus "Formeln, Tabellen, Begriffe" vom Orell Füssli Verlag (5. Auflage) verwendet. Für die Abkürzung der Säurekonstante wurde die englische Variante gewählt ( $pK_s = pK_a = \text{acidity constant}$ ).

## pH-Wert

Der pH-Wert ist wie folgt definiert:  $pH = -\log c(H_3O^+(aq))$ . Der Spielanleitung liegt eine pH-Skala bei, die ausgedruckt, laminiert und für den Spielbetrieb verwendet werden kann. Zudem zeigt die Tabelle den Zusammenhang zwischen pH- und pOH-Wert. Die farbigen Zahlen können ebenfalls als pH-Wert verwendet werden.

## Redox



Bei den mehrfarbigen Würfeln für die Redoxchemie

Reduktionsmittel (Elektronendonator) Redm

Oxidationsmittel (Elektronenakzeptor) Oxm

Oxidation (= Elektronenabgabe): Sie drehen resp. kippen den Würfel nach links.

Reduktion (=Elektronenaufnahme): Sie drehen resp. kippen den Würfel nach rechts.

allgemeines Reaktionsschema:



## Metalle und Metall-Ionen

Die Würfel mit den Metallen und ihren Ionen können für die Redoxchemie oder zur Salzbildung verwendet werden. Wird ein Würfel mit dem ungeladenen Metall (z.B. Magnesium:  $Mg^{\circ}$ ) nach links gedreht oder gekippt, so steht dies für eine Elektronenabgabe (Oxidation), aus der das Magnesium-Kation  $Mg^{2+}$  entsteht. Eine Elektronenaufnahme (Reduktion) erfolgt durch Drehen oder Kippen des Würfels nach rechts. Reduktionsmittel und das korrespondierende Oxidationsmittel stehen also jeweils nebeneinander.

Bewusst wurde hier auf die Angabe des Standardreduktionspotentials  $E^{\circ}$  [V] verzichtet. Es wird empfohlen, bei Bedarf eine entsprechende Tabelle zur Verfügung zu stellen, welche dem obigen Schema entspricht.

## Nichtmetalle und Nichtmetall-Ionen

Die Würfel mit den Nichtmetallen und ihren Ionen können für die Redoxchemie sowie für die Salzbildung verwendet werden. Wird ein Würfel mit dem ungeladenen Nichtmetall (z.B. Sauerstoff:  $O_2^{\circ}$ ) nach rechts gedreht oder gekippt, so steht dies für eine Elektronenaufnahme (Reduktion), aus der das Oxid-Ion  $O^{2-}$  entsteht.

Bewusst wurde hier auf die Angabe des Standardreduktionspotentials  $E^{\circ}$  [V] verzichtet. Es wird empfohlen, bei Bedarf eine entsprechende Tabelle zur Verfügung zu stellen.

## Salze

Würfel können auch für die Herleitung von Salzformeln und Salznamen benutzt werden. Wir gehen dabei von dem Konzept aus, Salzformeln immer auch in der sogenannten **Ionenschreibweise** darzustellen. Mit den Würfel kann die Ionenschreibweise einfach ermittelt werden.

Eine grosse Schwierigkeit besteht bei den Schüler/innen darin, Elementarstoffe ( $\text{Mg}^\circ$ ) und Ionen ( $\text{Mg}^{2+}$ ) auseinanderzuhalten. Da auf den Würfeln beide Formen vorkommen, sollen sie durch das Spielen mit den Würfeln dafür sensibilisiert werden.

### Farbwahl

In der folgenden Tabelle wird die Farbwahl begründet.

Nr		
1	$\text{H}_2\text{O}$	Farbe von Wasser (türkis)
2	$\text{H}_2\text{S}$	Farbe von Schwefel (gelb) & Molymod Modellbaukasten
3	$\text{H}_2\text{SO}_3$	
4	$\text{H}_2\text{SO}_4$	
5	$\text{NH}_3$	Farbe von Stickstoff im Molymod Modellbaukasten (blau)
6	$\text{HNO}_2$	
7	$\text{HNO}_3$	
8	$\text{H}_2\text{CO}_3$	Farbe von Kohlenstoff (Grafit) (grau)
9	$\text{H}_3\text{PO}_4$	Farbe von Phosphor im Molymod Modellbaukasten
10	Na	-
10	Mg	-
10	Al	-
11	Ca	-
11	Zn	-
11	Ag	Silber-Farbe
12	Fe	-
12	Cu	Kupfer-Farbe
13	Pb	-
13	Sn	-
14	$\text{N}_2$	Farbe von Stickstoff im Molymod Modellbaukasten (blau)
14	$\text{O}_2$	Farbe von Sauerstoff im Molymod Modellbaukasten (rot)
14	S	Farbe von Schwefel (gelb)
15	$\text{F}_2$	Farbe von Fluor-Gas (blass gelb)
15	$\text{Cl}_2$	Farbe von Chlor-Gas (grünlich gelb)
15	$\text{Br}_2$	Farbe von Brom-Gas (orange)
16	leer	

### Bestellung

Die Würfel können als Halbklassensatz (204 Würfel), als Musterpackung (16 Würfel) oder auch einzeln in beliebiger Anzahl im VSN-Shop bestellt werden.

## Klassenstufe und entsprechende Altersstufe

Bei jeder Spielanleitung ist die Klassenstufe der Schüler/innen, für die das Spiel **geeignet** (**bedingt geeignet**) ist, angegeben. Leicht abgewandelte oder vereinfachte Spielformen können auch bei anderen Klassenstufen funktionieren.

<b>Alter</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>&gt;19</b>
<b>Klassenstufe</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>FH</b>
	PS	PS	PS	Sek I	Sek I	Sek I	Sek II	Sek II	Sek II	FH/HS

## Rolle der Lehrperson

Die Würfel erlauben entdeckendes Lernen entweder durch das Verteilen der Spielanleitung oder durch eine kurze Anweisungen durch die Lehrperson. Je nach Spiel kann die Lehrperson als Spielleiter fungieren.

Bei Spielen wie "Titration einer Säure" oder "... einer Base" kann auch ein Experiment das Spiel begleiten.

Die Lehrperson sollte zudem für sich entscheiden, was die Schüler/innen in welcher Form festhalten sollen und geeignete Tabellenblätter oder Vorlagen für eine Auswertung zur Verfügung stellen. Einige Anregungen und Überlegungen dazu sind in den Spielanleitungen festgehalten.

Wenn beim Spielen Tabellen notwendig sind (z.B. Säurekonstanten, Reduktionspotentiale, Löslichkeitsprodukte, Löslichkeiten von Salzen, etc.) sollten diese zur Verfügung stehen.

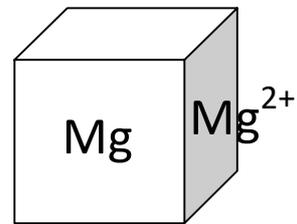
## Rolle der Schüler/innen

Alleine, in kleinen Gruppen oder im Klassenverband mit den Würfel spielen und durch das Spielen lernen. Resultate festhalten und diese diskutieren. Spielerisch sollen Gesetzmässigkeiten und theoretische Grundlagen erfahren werden.

Sie sollen in Kleingruppen auch Strategien entwickeln, um in einem Spiel gegen eine andere Gruppe antreten zu können (Wettkampf-Modus).

# ChemCube - Salzformeln

4	5	6	7	8	9	10	11	12	HS
---	---	---	---	---	---	----	----	----	----



## 1.1 Salze, Salzformeln, Ionenschreibweise

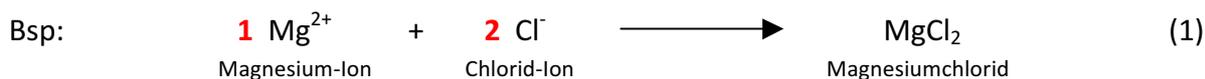
### Theorie

Salze sind Ionenverbindungen. Sie bestehen aus positiv geladenen Kationen (+, 2+, 3+, ...) und aus negativ geladenen Anionen (-, 2-, 3-, ...). In der Tabelle (siehe Rückseite) sind die Ionen-Formeln und ihre korrekten Namen zusammengestellt.

Der Salznamen setzt sich zusammen aus dem Namen des Kations (z.B. Natrium, Magnesium, ...) gefolgt vom Namen des Anions, der in der Regel eine Salzendung trägt (-id, -it, -at), wie zum Beispiel beim Chlorid ( $\text{Cl}^-$ ), Sulfid- ( $\text{S}^{2-}$ ), beim Sulfit- ( $\text{SO}_3^{2-}$ ) oder beim Sulfat-Ion ( $\text{SO}_4^{2-}$ ).

Salze sind meist ungeladen, das heisst die Ladungen der Kationen und Anionen heben sich gegenseitig auf. Das Verhältnis der Kationen und Anionen wird in der Salzformel wiedergegeben, im Salznamen hingegen nicht (1).

allgemein:  $x$  Kationen +  $y$  Anionen  $\longrightarrow$  Salz



Würfeln Sie mit einem der Metallwürfel (ober Reihe) bis ein Kation oben liegt und mit einem "Nichtmetall"-Würfel (untere Reihe), bis ein Anion oben liegt. Ergänzen Sie diese nun mit so vielen Kationen ( $x$ ) und Anionen ( $y$ ), dass sich die Ladungen der Ionen gegenseitig aufheben. Notieren Sie zuerst das Ionenverhältnis in einer Tabelle (1. Ionenschreibweise), leiten Sie daraus die Salzformel (2.) ab und benennen Sie das Salz mit dem korrekten Salznamen (3.). Achten Sie dabei darauf, dass der Salznamen eindeutig ist (siehe Rückseite).

1. Ionenschreibweise			
$x$ Kation/en	$y$ Anion/en	2. Salzformel	3. Salzname
$1 \text{ Mg}^{2+}$	$2 \text{ Cl}^-$	$\text{MgCl}_2$	Magnesiumchlorid

Würfel hier mit Ladungen oder ohne?

$\text{Na}^+$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Al}^{3+}$	Sn	Cu	Fe	$\text{Ca}^{2+}$	Zn	$\text{Ag}^+$
			$\text{N}^{3-}$	$\text{S}^{2-}$	$\text{O}^{2-}$	$\text{F}^-$	$\text{Cl}^-$	$\text{Br}^-$

# ChemCube - Salzformeln

## 1.1 Salze, Salzformeln, Ionenschreibweise (ff)

**Tabelle** der einfachen und zusammengesetzten Ionen (**fett** gedruckte Ionen muss man kennen)

<b>Kation</b>	<b>Name</b>	<b>Anion</b>	<b>Name</b>
<b>Li<sup>+</sup></b>	Lithium-	<b>F<sup>-</sup></b>	Fluorid
<b>Na<sup>+</sup></b>	Natrium-	<b>Cl<sup>-</sup></b>	Chlorid
<b>K<sup>+</sup></b>	Kalium-	<b>Br<sup>-</sup></b>	Bromid
<b>Ag<sup>+</sup></b>	Silber-	<b>O<sup>2-</sup></b>	Oxid
<b>Be<sup>2+</sup></b>	Beryllium-	<b>S<sup>2-</sup></b>	Sulfid
<b>Mg<sup>2+</sup></b>	Magnesium-	<b>N<sup>3-</sup></b>	Nitrid
<b>Ca<sup>2+</sup></b>	Calcium-	(NO <sub>2</sub> ) <sup>-</sup>	Nitrit
Fe <sup>2+</sup> , Fe <sup>3+</sup>	Eisen(II)-, Eisen(III)-	<b>(NO<sub>3</sub>)<sup>-</sup></b>	Nitrat
Cu <sup>+</sup> , Cu <sup>2+</sup>	Kupfer(I)-, Kupfer(II)-	<b>(OH)<sup>-</sup></b>	Hydroxid
Zn <sup>2+</sup>	Zink-	(CH <sub>3</sub> COO) <sup>-</sup>	Acetat
Pb <sup>2+</sup> , Pb <sup>4+</sup>	Blei(II), Blei (IV)	<b>(CO<sub>3</sub>)<sup>2-</sup></b>	Carbonat
<b>Al<sup>3+</sup></b>	Aluminium-	<b>(HCO<sub>3</sub>)<sup>-</sup></b>	Hydrogencarbonat
Sn <sup>2+</sup> , Sn <sup>4+</sup>	Zinn(II)-, Zinn(IV)-	(SO <sub>3</sub> ) <sup>2-</sup>	Sulfit
Ti <sup>2+</sup> , Ti <sup>4+</sup>	Titan(II)-, Titan(IV)-	<b>(SO<sub>4</sub>)<sup>2-</sup></b>	Sulfat
Cr <sup>3+</sup> , Cr <sup>6+</sup>	Chrom(III)- Chrom(VI)-	<b>(HSO<sub>4</sub>)<sup>-</sup></b>	Hydrosulfat
Ni <sup>2+</sup> , Ni <sup>3+</sup>	Nickel(II)-, Nickel(III)-	<b>(PO<sub>4</sub>)<sup>3-</sup></b>	Phosphat
<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>	Ammonium-	<b>(HPO<sub>4</sub>)<sup>2-</sup></b>	Hydrogenphosphat
<b>H<sub>3</sub>O<sup>+</sup></b>	Das Oxonium-Ion bildet keine Salze!!!	<b>(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sup>-</sup></b>	Dihydrogenphosphat

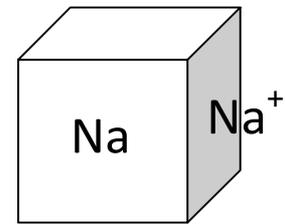
### Spiel 2

Viele Anionen sind Molekül-Ionen, die aus mehreren Nichtmetallatomen bestehen.

Würfeln Sie bei den Anionen nun auch mit den Würfeln der unteren Reihe.

Na <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	Sn	Cu	Fe	Ca <sup>2+</sup>	Zn	Ag <sup>+</sup>
H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> S	NH <sub>3</sub>	HNO <sub>2</sub>	HNO <sub>3</sub>	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	H <sub>3</sub> O <sup>+</sup>

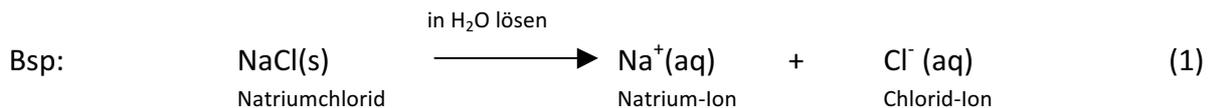
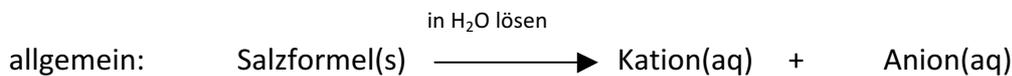
# ChemCube - Salze auflösen



## 1.2 Lösevorgang von gut löslichen Salzen

### Theorie

Der Lösevorgang von Salzen, d.h. Ionenverbindungen, in Wasser kann wie folgt dargestellt werden.



Gut lösliche Salze lassen sich oft in grösseren Mengen in Wasser lösen. Bei Kochsalz z.B. liegt die Löslichkeit bei ca 358 g/L. Pro gelöstes Ion stehen dabei noch 4-5 Wasserteilchen zur Verfügung, die dieses Ion umhüllen. Zeigen Sie, wie Sie mit 9 Wasserwürfel die beiden Würfel  $\text{Na}^+$  und  $\text{Cl}^-$  umhüllen. Benützen Sie die 3 Dimensionen des Raumes!

### Spiel: Das besser lösliche Salz gewinnt

Spiel für 3-4 Schüler/innen, 1 i-Pad oder Tablet zur Internetrecherche

1. Spieler/in ... würfelt mit jeweils 1 Metall-Würfel der ersten Reihe ein Kation und mit 1 Nichtmetall-Würfel der 2. oder 3. Reihe ein Anion. Salzformel und Salznamen notieren. Sie recherchieren im Internet die Wasser-Löslichkeit für das Salz und notieren Sie diese.
2. Spieler/in ... wählt einen anderen Metall-Würfel aus und würfelt ein anderes Kation. Salzformel und Salznamen bestimmen, Löslichkeit recherchieren. Der/die Spieler/in mit dem besser löslichen Salz (1 oder 2) gewinnt und erhält einen Punkt.
3. Spieler/in ... wählt einen anderen Nichtmetall-Würfel aus und würfelt ein neues Anion. Salzformel und Namen bestimmen, Löslichkeit recherchieren. Der/die Spieler/in mit dem besser löslichen Salz (2 oder 3) gewinnt und erhält einen Punkt.

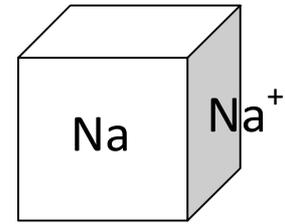
usw.

Welche Strategien führen zum Sieg? Fordert eine andere Gruppe zu einem Duell heraus!

$\text{Na}^\circ$	$\text{Mg}^\circ$	$\text{Al}^\circ$	$\text{Sn}^\circ$	$\text{Cu}^\circ$	$\text{Fe}^\circ$	$\text{Ca}^\circ$	$\text{Zn}^\circ$	$\text{Ag}^\circ$
	°	°	$\text{N}_2^\circ$	$\text{S}^\circ$	$\text{O}_2^\circ$	$\text{F}_2^\circ$	$\text{Cl}_2^\circ$	$\text{Br}_2^\circ$
$\text{H}_2\text{CO}_3$	$\text{H}_2\text{SO}_3$	$\text{H}_2\text{SO}_4$	$\text{H}_2\text{S}$	$\text{NH}_3$	$\text{HNO}_2$	$\text{HNO}_3$	$\text{H}_3\text{PO}_4$	$\text{H}_3\text{O}^+$

# ChemCube - Salze auflösen

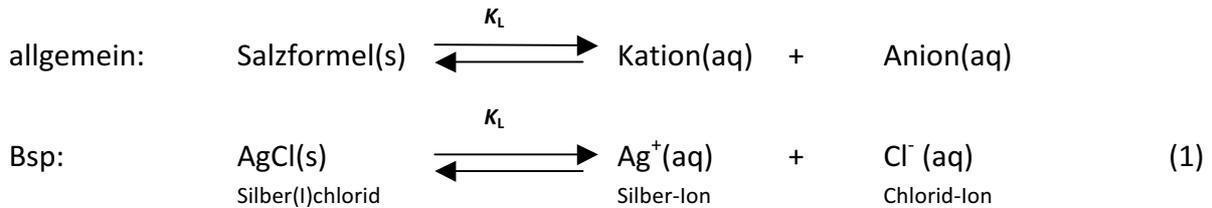
4	5	6	7	8	9	10	11	12	HS
---	---	---	---	---	---	----	----	----	----



## 1.3 Lösevorgang von schlecht löslichen Salzen

### Theorie

Schlecht lösliche Salze lösen sich meistens nicht vollständig auf, sondern oft bleibt ein Bodensatz zurück. Zwischen dem Bodensatz und den gelösten Ionen stellt sich ein Löslichkeitsgleichgewicht ein (1), das durch einen Doppelpfeil (Gleichgewichtspfeil) beschrieben wird.



Das Löslichkeitsgleichgewicht kann mathematisch durch das Löslichkeitsprodukt  $K_L$  beschrieben werden (2). Dabei werden die Konzentrationen der gelösten Ionen miteinander multipliziert.

Berechnung: 
$$K_L(\text{AgCl}) = c(\text{Ag}^+(\text{aq})) * c(\text{Cl}^-(\text{aq})) = 2 \cdot 10^{-10} \frac{\text{mol}^2}{\text{L}^2} \quad (2)$$

Das Löslichkeitsprodukt ist für ein Salz bei einer bestimmten Temperatur konstant. In der Tabelle auf der Rückseite sind die Löslichkeitsprodukte ( $K_L$ -Werte) für verschiedene schlecht lösliche Salze aufgelistet.

### Spiel: Das schlechter lösliche Salz gewinnt

Spiel für 3-4 Schüler/innen, 1 i-Pad oder Tablet zur Internetrecherche

1. Spieler/in ... würfelt mit jeweils 1 Metall-Würfel der ersten Reihe ein Kation und mit 1 Nichtmetall-Würfel der 2. oder 3. Reihe ein Anion. Salzformel und Salznamen notieren. Sie recherchieren im Internet die Wasser-Löslichkeit für das Salz und notieren Sie diese.
2. Spieler/in ... wählt einen anderen Metall-Würfel aus und würfelt ein anderes Kation. Salzformel und Namen bestimmen sowie Löslichkeit recherchieren. Der/die Spieler/in mit dem schlechter löslichen Salz (1 oder 2) gewinnt und erhält einen Punkt.
3. Spieler/in ... wählt einen anderen Nichtmetall-Würfel aus und würfelt ein neues Anion. Salzformel und Namen bestimmen, Löslichkeit recherchieren. Der/die Spieler/in mit dem schlechter löslichen Salz (2 oder 3) gewinnt und erhält einen Punkt.

usw.

Welche Strategien führen zum Sieg? Fordert eine andere Gruppe zu einem Duell heraus!

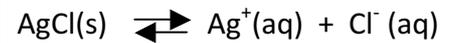
Na°	Mg°	Al°	Sn°	Cu°	Fe°	Ca°	Zn°	Ag°
	°	°	N <sub>2</sub> °	S°	O <sub>2</sub> °	F <sub>2</sub> °	Cl <sub>2</sub> °	Br <sub>2</sub> °
H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> S	NH <sub>3</sub>	HNO <sub>2</sub>	HNO <sub>3</sub>	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	H <sub>3</sub> O <sup>+</sup>

Tabelle: Löslichkeitsprodukte (pK<sub>L</sub>-Werte) von verschiedenen schlecht löslichen Salzen.  
 Quelle: Formelsammlung von Urs Wuthier

	pK <sub>L</sub>		pK <sub>L</sub>
AgBr	12.1	FeC <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	6.7
AgBrO <sub>3</sub>	4.2	Fe(OH) <sub>2</sub>	13.8
Ag <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	11.2	FeS	18.4
AgCl	9.8	Fe(OH) <sub>3</sub>	36.0
Ag <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub>	11.0		
Ag <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	6.7	HgBr	20.9
AgI	15.8	HgCl	17.7
AgIO <sub>3</sub>	8.0	HgI	27.9
AgOH	7.8	HgS	52.4
Ag <sub>2</sub> S	48.8		
AgSCN	11.9	MgCO <sub>3</sub>	4.6
		MgC <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	4.1
Al(OH) <sub>3</sub>	32.3	MgF <sub>2</sub>	8.2
		MgNH <sub>4</sub> PO <sub>4</sub>	12.6
BaCO <sub>3</sub>	8.1	Mg(OH) <sub>2</sub>	10.9
BaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	6.8		
BaCrO <sub>4</sub>	9.7	Mn(OH) <sub>2</sub>	13.4
BaF <sub>2</sub>	5.8	MnS	14.9
Ba(IO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	9.2		
BaSO <sub>4</sub>	10.0	NiCO <sub>3</sub>	6.9
		Ni(OH) <sub>2</sub>	14.0
CaCO <sub>3</sub>	8.1	NiS	23.9
CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	8.6	PbCO <sub>3</sub>	13.5
CaF <sub>2</sub>	10.4	PbC <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	10.6
Ca(IO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	6.2	PbCrO <sub>4</sub>	13.8
CaSO <sub>4</sub>	4.6	PbF <sub>2</sub>	7.5
		PbI <sub>2</sub>	7.9
CdC <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	7.8	Pb(IO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	12.6
Cd(OH) <sub>2</sub>	13.9	Pb(OH)	15.6
CdS	28.4	PbS	27.5
		PbSO <sub>4</sub>	8.0
CoS	25.5		
		SnS	28.0
CuBr	7.4		
CuI	11.3	SrCO <sub>3</sub>	8.8
Cu <sub>2</sub> S	46.7	SrC <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	7.3
CuSCN	10.8	SrF <sub>2</sub>	8.6
CuC <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	7.5	SrSO <sub>4</sub>	6.4
Cu(IO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	6.9		
Cu(OH) <sub>2</sub>	19.8	ZnCO <sub>3</sub>	10.2
CuS	44.1	ZnC <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	8.9
		Zn(OH) <sub>2</sub>	13.7
		ZnS	22.9

Def:  $pK_L = -\log K_L$       $K_L = 10^{-pK_L}$

Abschätzen der Gleichgewichts-  
konzentration GGK für die Löslichkeit von  
schlecht löslichen Salzen:



$$K_L(\text{AgCl}) = c(\text{Ag}^+(\text{aq})) * c(\text{Cl}^-(\text{aq})) \\ = 2 \cdot 10^{-10} \frac{\text{mol}^2}{\text{L}^2}$$

unter der Annahme dass gilt:

$$c(\text{Ag}^+(\text{aq})) = c(\text{Cl}^-(\text{aq})) = \sqrt{K_L} = \text{GGK}$$

GGK bestimmen für...

Salze aus 2 Ionen (AgCl, CaSO<sub>4</sub>, ...):

$$\text{GGK} = \sqrt{K_L \frac{\text{mol}^2}{\text{L}^2}} = 10^{-\frac{pK_L}{2}} \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

Salze aus 3 Ionen (CaF<sub>2</sub>, Fe(OH)<sub>2</sub>, ...)

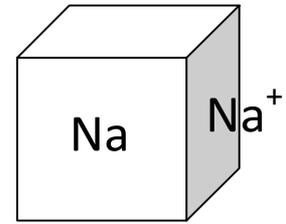
$$\text{GGK} = \sqrt[3]{K_L \frac{\text{mol}^3}{\text{L}^3}} = 10^{-\frac{pK_L}{3}} \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

Salze aus 4 Ionen (Al(OH)<sub>3</sub>, Fe(OH)<sub>3</sub>, ...)

$$\text{GGK} = \sqrt[4]{K_L \frac{\text{mol}^4}{\text{L}^4}} = 10^{-\frac{pK_L}{4}} \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

# ChemCube - Salze auflösen

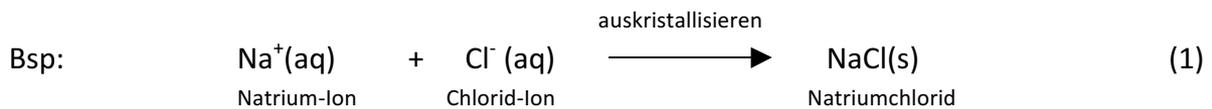
4	5	6	7	8	9	10	11	12	HS
---	---	---	---	---	---	----	----	----	----



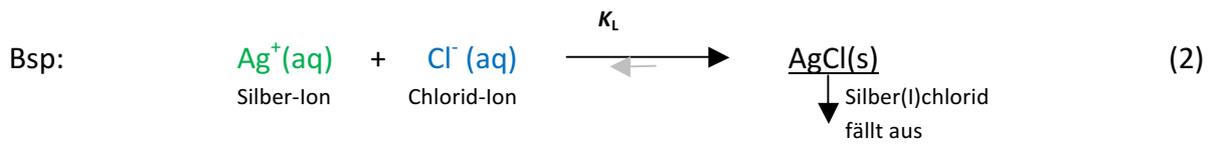
## 1.4 Auskristallisieren von Salzen

### Theorie

Salze lassen sich auskristallisieren indem man sie eindampft, resp. das Wasser (Lösungsmittel) verdunsten lässt.



Man kann Salze aber auch gezielt auskristallisieren, indem man **ein Ion zugibt**, das mit den **vorhandenen Ionen** ein schlecht lösliches Salz bildet (vergl. Tabelle mit  $pK_L$ -Werten). So kann man z.B. aus einer verdünnten Kochsalzlösung (NaCl), die Chlorid-Ionen  $\text{Cl}^-(\text{aq})$  enthält diese gezielt entfernen, resp. auskristallisieren oder sichtbar machen, indem man **Silber-Ionen**  $\text{Ag}^+(\text{aq})$  hinzugibt, welche zusammen mit den Chlorid-Ionen  $\text{Cl}^-(\text{aq})$  ein schwerlösliches Salz bilden. Diese Salz kann dann sedimentiert, filtriert und abgetrennt werden.



## Spiel: Salze auskristallisieren - Ionen nachweisen (3 Personen)

**Spieler 1** Sie wählen einen Würfel aus und **würfeln** ein **Ion**, welches ausgefällt werden soll.

**Spieler 2 & 3\*** Sie suchen beide jeweils einen Würfel mit einem **Gegenion**, welches mit dem gesuchten **Ion** ein schwerlösliches Salz bildet. (30 Sek) Rollen rotieren! 9 Runden.

\*Variante: **Spieler 2** nur mit i-Pad oder Tablet / **Spieler 3** jeweils nur mit  $pK_L$ -Tabelle.

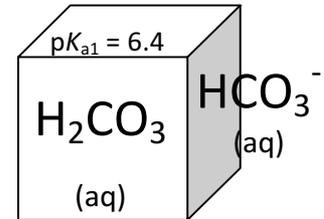
Resultat (Recherche mit i-Pad oder Tablet **oder** Abschätzung der **Gleichgewichtskonzentration GGK** gemäss Anleitung neben der Tabelle mit Löslichkeitsprodukten  $pK_L$ )

Punkte: Spieler 2 und 3 finden **kein Gegenion**. --> **Spieler 1** erhält 2 Punkte  
 nur **ein** Spieler (2 oder 3) findet **ein Gegenion**. Dieser Spieler erhält 1 Punkt  
 der Spieler mit dem **besseren Gegenion**, d.h tiefere GGK resp. Löslichkeit, erhält 2 Punkte

alle Würfel 1x

Na°	Mg°	Al°	Sn°	Cu°	Fe°	Ca°	Zn°	Ag°
	°	°	N <sub>2</sub> °	S°	O <sub>2</sub> °	F <sub>2</sub> °	Cl <sub>2</sub> °	Br <sub>2</sub> °
H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> S	NH <sub>3</sub>	HNO <sub>2</sub>	HNO <sub>3</sub>	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	H <sub>3</sub> O <sup>+</sup>

# ChemCube - Säuren und Basen



## 2.1 Welche Spezies liegt bei welchem pH-Wert vor?

Vorbereitung:

Sie verteilen die Säuren-Basen-Würfel auf einem Spieltisch, der von 3-6 Personen bespielt wird. Für jeden Spieler sollte jeder Würfel mindestens einmal vorliegen. Alle Würfel werden so sortiert, dass die vollständig protonierte Säureform nach oben zeigt ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{HNO}_2$ ,  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{H}_3\text{O}^+$ , ...). Die  $pK_a$ -Werte (Säurekonstanten  $pK_a$ ) für diese Spezies sind jeweils auf der Kopfseite des Würfels angegeben. Durch Kippen des Würfels nach vorne kann man diese nachsehen, wenn man sie nicht auswendig kennt.

Der Würfel kann nun nach links gekippt werden, so dass die rechte Seite nach oben zu liegen kommt. Wenn mehrere Spezies vorliegen, kann man jeweils weiterdrehen:



Der Würfel wird dann von der Säure 1 auf die korrespondierende Bas1 gedreht, wenn der pH-Wert grösser ist als der  $pK_{a1}$ -Wert der entsprechenden Säure 1.

Startet man bei basischen Bedingungen, z.B. bei einem pH-Wert von 12, d.h. man beginnt bei der Base 2. Senkt man den pH-Wert der Lösung ab so kippt man den Würfel dann nach rechts auf die korrespondierende Säure 2, wenn der pH-Wert tiefer ist als der  $pK_{a2}$ -Wert der entsprechenden Säure 2.

**Spiel 1:** Wir starten bei einer sauren Lösung mit einem pH-Wert von  $\text{pH} = 0$ .

$\text{pH} = 0$  Legen sie alle Würfel mit der Spezies nach oben auf den Tisch, die bei  $\text{pH} = 0$  vorliegt.

Was fällt auf? In welcher Form liegen die verschiedenen Säuren bei  $\text{pH} = 0$  vor?

$\text{pH} = 1$  Was passiert, wenn Sie den pH-Wert auf  $\text{pH} = 1$  erhöhen?

Erhöhen Sie den pH-Wert schrittweise jeweils um 1.

$\text{pH} = 7$  In welcher Form liegen die verschiedenen Säuren und Basen bei  $\text{pH} = 7$  vor?

Erhöhen Sie den pH-Wert schrittweise jeweils um 1.

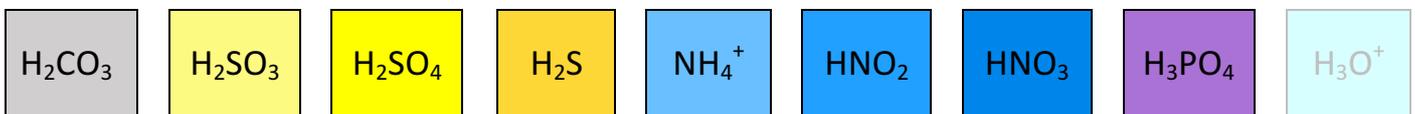
$\text{pH} = 14$  In welcher Form liegen die verschiedenen Säuren und Basen bei  $\text{pH} = 14$  vor?

**Spiel 2:** Wir starten bei einer basischen Lösung mit einem pH-Wert von  $\text{pH} = 14$ .

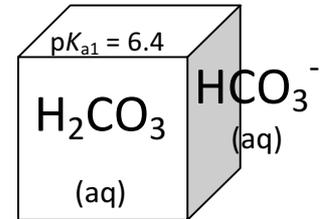
$\text{pH} = 14$  Starten Sie bei einem pH-Wert von 14 und erniedrigen Sie den pH-Wert schrittweise.

$\text{pH} = 0$  ...

je 1 x pro Spieler



# ChemCube - Säuren und Basen



## 2.2 Zusammenhang zwischen pH- und $pK_a$ -Wert

### Theorie

Der  $pK_a$  Wert (acidity constant: Säurekonstante  $pK_s$ ) steht für den pH-Wert, bei welchem die Säure-Form **HB** und die Basen-Form **B<sup>-</sup>** jeweils im Verhältnis 1:1 oder 50 % : 50 % vorliegt. Bei diesem pH-Wert liegen also 5 der 10 Würfel in der protonierten Form (Säure) und die anderen 5 Würfel in der deprotonierten Form (Base) vor.

Liegt der pH-Wert unter dem  $pK_a$ -Wert, z.B. bei  $pH = pK_a - 1$ , so liegen 10 % der Spezies in der deprotonierten Basen-Form (B<sup>-</sup>) und 90 % in der protonierten Säuren Form (HB) vor. D.h. ist dieser pH-Wert erreicht so wird der erste Würfel der 10 Würfel gedreht.

Erhöht man den pH-Wert auf  $pH = pK_a + 1$ , so liegen 90 % der Spezies in der deprotonierten Basen-Form vor (B<sup>-</sup>) und 10 % in der protonierten Säuren Form (HB) vor.

	Säure (HB)	Base (B <sup>-</sup> )
$pH = pK_a - 2$	99 %	1 %
$pH = pK_a - 1$	90 %	10 %
<b><math>pH = pK_a</math></b>	<b>50 %</b>	<b>50 %</b>
$pH = pK_a + 1$	10 %	90 %
$pH = pK_a + 2$	1 %	99 %

	$H_2CO_3(aq)$	$HCO_3^-(aq)$
$pH = 4.4$	99 %	1 %
$pH = 5.4$	90 %	10 %
<b><math>pH = 6.4</math></b>	<b>50 %</b>	<b>50 %</b>
$pH = 7.4$	10 %	90 %
$pH = 8.4$	1 %	99 %

### Vorbereitung:

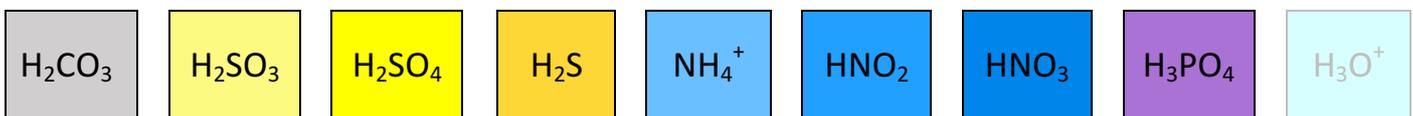
Sie legen 10 Würfel einer Sorte, z.B. Kohlensäure ( $H_2CO_3(aq)$ ), vor sich auf den Tisch

### Spielstart:

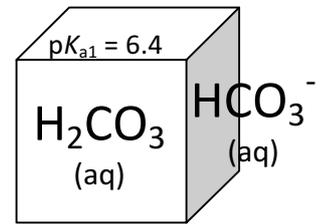
- $pH = 0$  Legen sie alle Würfel so auf den Tisch, dass die Spezies, die bei  $pH = 0$  vorliegt, nach oben zeigt.
- $pH = pK_{a1} - 1$  Erhöhen Sie den pH-Wert langsam bis der erste pH-Wert erreicht ist, bei dem gilt:  $pH = pK_{a1} - 1$ . Nun wird von dieser Säure ( $H_2CO_3(aq)$ ) der erste Würfel so gedreht, dass die korrespondierende Base ( $HCO_3^-(aq)$ ) oben zu liegen kommt (Würfel nach links kippen).
- $pH = pK_{a1}$  Erhöhen Sie den pH langsam auf  $pH = pK_{a1}$ . Dabei werden weitere 4 Würfel gedreht, so dass nun die Hälfte der Spezies deprotoniert, d.h. in der Basenform vorliegt.
- $pH = pK_{a1} + 1$  Drehen sie weitere 4 Würfel, so dass 90 % der Spezies in der Basenform vorliegen.
- $pH = pK_{a1} + 2$  Drehen sie den letzten Würfel, da nun 99 % der Spezies in der Basenform vorliegen.

Falls in der Zwischenzeit der 2.  $pH = pK_{a2} - 1$

- Wiederholen Sie das Spiel mit 10 Säurewürfel einer anderen Sorte:  $H_2SO_3$ ,  $H_2SO_4$ ,  $H_2S$ ,  $NH_4^+$ ,  $HNO_2$ ,  $HNO_3$ ,  $H_3O^+$ , ...)
- Wiederholen Sie das Spiel mit jeweils 10 Würfeln von 3 bis 4 Sorten.
- Wiederholen Sie das Spiel als Gruppe mit unterschiedlicher Anzahl von verschiedenen Säurewürfeln.



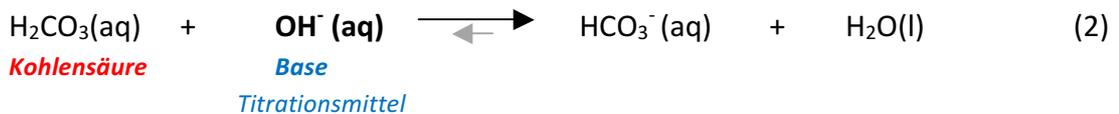
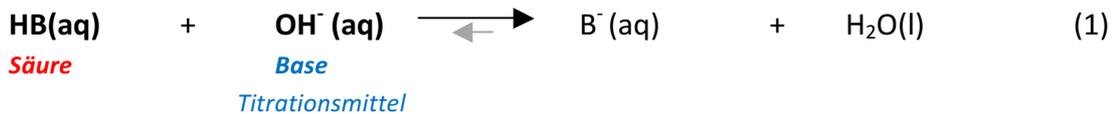
# ChemCube - Säuren und Basen



## 2.3 Titration einer Säure mit Natronlauge

### Theorie

Bei dieser ersten Titration lassen wir eine **Säure** mit einer starken **Base**, z.B. mit Natronlauge (Natriumhydroxid-Lösung) als **Titrationmittel** reagieren. Dabei reagiert die Säure **HB(aq)** mit dem Hydroxid-Ion **OH<sup>-</sup>(aq)** und wird dabei deprotoniert (1):



	pK <sub>a</sub> <b>Säure (HB)</b>	Base (B <sup>-</sup> )
pH = pK <sub>a</sub> - 2	99 %	1 %
pH = pK <sub>a</sub> - 1	90 %	10 %
<b>pH = pK<sub>a</sub></b>	<b>50 %</b>	<b>50 %</b>
pH = pK <sub>a</sub> + 1	10 %	90 %
pH = pK <sub>a</sub> + 2	1 %	99 %

	pK <sub>a</sub> =6.4 <b>H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>(aq)</b>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (aq)
pH = 4.4	99 %	1 %
pH = 5.4	90 %	10 %
<b>pH = 6.4</b>	<b>50 %</b>	<b>50 %</b>
pH = 7.4	10 %	90 %
pH = 8.4	1 %	99 %

### Vorbereitung:

Sie legen 10 Würfel einer Sorte, z.B. Kohlensäure (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>(aq)), vor sich auf den Tisch und nehmen 1 Wasser-Würfel mit dem Hydroxid-Ion OH<sup>-</sup>(aq) nach oben in die Hand. Und los gehts:

pH = pK<sub>a1</sub> - 2    Start-pH-Wert der Titration: Legen Sie die 10 Würfel so auf den Tisch, dass die Spezies, die bei pH = pK<sub>a1</sub> - 2 vorliegt, nach oben zeigt.

Start            Sie starten die Titration, indem Sie den **OH<sup>-</sup>** -Würfel in der Hand mit dem ersten **H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>**-Würfel reagieren lassen. Beide Würfel werden entsprechend gedreht. Der pH-Wert steigt auf: pH = pK<sub>a1</sub> - 1

pH = pK<sub>a1</sub> - 1    Sie nehmen den **OH<sup>-</sup>** -Würfel erneut in die Hand und wiederholen diesen Reaktionsschritt 4-mal. Nun ist die Hälfte der Würfel deprotoniert d.h.: pH = pK<sub>a1</sub>

pH = pK<sub>a1</sub>        Sie nehmen den **OH<sup>-</sup>** -Würfel erneut in die Hand und wiederholen den Schritt 4-mal. Nun sind 90 % der Würfel deprotoniert d.h.: pH = pK<sub>a1</sub> + 1

pH = pK<sub>a1</sub> + 1    Lassen Sie auch den letzten Würfel reagieren, so dass 99 % der Spezies in der Basenform vorliegen, ist der pH erreicht:    pH = pK<sub>a1</sub> + 2.

- Was passiert, wenn Sie jetzt weiter titrieren? d.h. weitere **OH<sup>-</sup>** -Würfel zugeben?
- Wählen Sie 10 (oder eine kleinere Anzahl) Würfel einer anderen Säure aus und titrieren Sie diese!
- Machen Sie eine Prognose, welche Säuren sich gut titrieren lassen und welche nicht.

10x 1x

H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>

H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>

H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

H<sub>2</sub>S

NH<sub>4</sub><sup>+</sup>

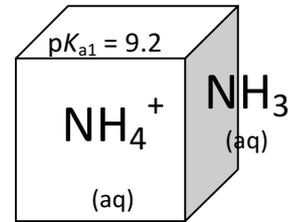
HNO<sub>2</sub>

HNO<sub>3</sub>

H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>

OH<sup>-</sup>

# ChemCube - Säuren und Basen



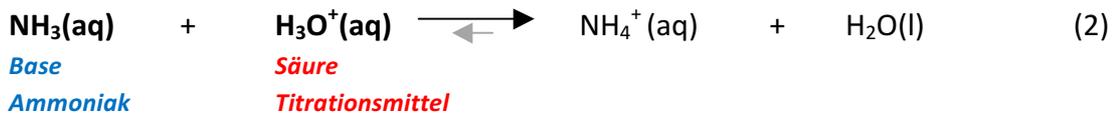
## 2.4 Titration einer Base mit einer starken Säure

### Theorie

Bei dieser ersten Titration lassen wir eine **Base** mit einer starken Säure, z.B. mit Salzsäure ( $c(\text{HCl}) = 1 \text{ mol/L}$ ;  $\text{pH} = 0$ ), reagieren. Da die Salzsäure bei  $\text{pH} = 0$  vollständig deprotoniert vorliegt ( $\text{p}K_a = -6$ ), ist die aktive Spezies das  $\text{H}_3\text{O}^+$ -Ion (1):



Das  $\text{H}_3\text{O}^+$ -Ion reagiert bei der Titration mit der Base wie folgt:



	$\text{p}K_a$ Säure (HB)	Base (B <sup>-</sup> )
$\text{pH} = \text{p}K_a + 2$	1 %	99 %
$\text{pH} = \text{p}K_a + 1$	10 %	90 %
<b><math>\text{pH} = \text{p}K_a</math></b>	<b>50 %</b>	<b>50 %</b>
$\text{pH} = \text{p}K_a - 1$	90 %	10 %
$\text{pH} = \text{p}K_a - 2$	99 %	1 %

	$\text{p}K_a=9.2$ $\text{NH}_4^+(\text{aq})$	$\text{NH}_3(\text{aq})$
$\text{pH} = 11.2$	1 %	99 %
$\text{pH} = 10.2$	10 %	90 %
<b><math>\text{pH} = 9.2</math></b>	<b>50 %</b>	<b>50 %</b>
$\text{pH} = 8.2$	90 %	10 %
$\text{pH} = 7.2$	99 %	1 %

### Vorbereitung:

Sie legen 10 Würfel einer Sorte, z.B. Ammoniak ( $\text{NH}_3(\text{aq})$ ), vor sich auf den Tisch und nehmen 1 Wasser-Würfel mit dem  $\text{H}_3\text{O}^+$ -Ion nach oben in die Hand.

$\text{pH} = \text{p}K_{a1} + 2$  Start-pH-Wert der Titration: Legen Sie die 10 Würfel so auf den Tisch, dass die Spezies, die bei  $\text{pH} = \text{p}K_{a1} + 2$  vorliegt, d.h.  $\text{NH}_3(\text{aq})$  nach oben zeigt.

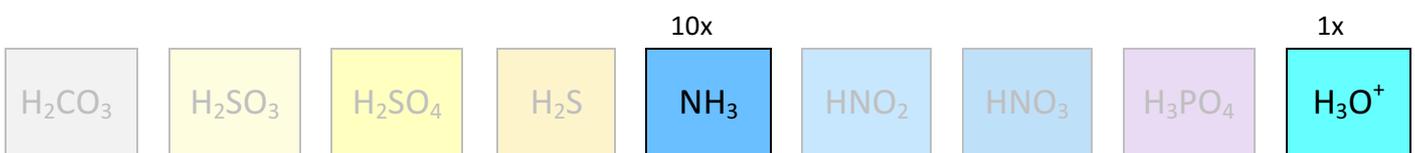
**Start** Sie starten die Titration in dem Sie den  $\text{H}_3\text{O}^+$ -Würfel in der Hand mit dem ersten Ammoniak-Würfel reagieren lassen. Beide Würfel werden entsprechend gedreht. Der pH-Wert steigt auf:  $\text{pH} = \text{p}K_{a1} + 1$

$\text{pH} = \text{p}K_{a1} + 1$  Sie nehmen den  $\text{H}_3\text{O}^+$ -Würfel erneut in die Hand und wiederholen diesen Reaktionsschritt 4-mal. Nun ist die Hälfte der Würfel protoniert, d.h.:  $\text{pH} = \text{p}K_{a1}$

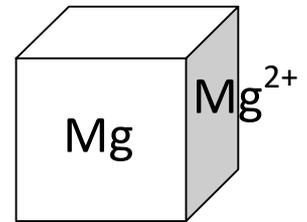
$\text{pH} = \text{p}K_{a1}$  Sie nehmen den  $\text{H}_3\text{O}^+$ -Würfel erneut in die Hand und wiederholen den Schritt 4-mal. Nun sind 90 % der Würfel protoniert, d.h.:  $\text{pH} = \text{p}K_{a1} - 1$

$\text{pH} = \text{p}K_{a1} - 1$  Lassen Sie auch den letzten Würfel reagieren, so dass 99 % der Spezies in der protonierten Form vorliegen, ist der pH erreicht:  $\text{pH} = \text{p}K_{a1} - 2$

**Endpunkt** Wenn Sie den  $\text{H}_3\text{O}^+$ -Würfel erneut zugeben findet dieser nun keinen Reaktionspartner mehr. Der pH sinkt sprunghaft. Das Ende der Titration ist erreicht.



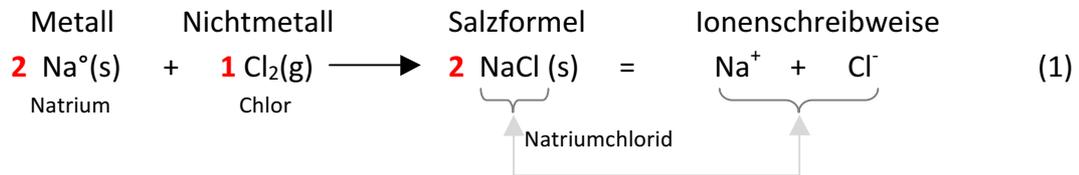
# ChemCube - Redox



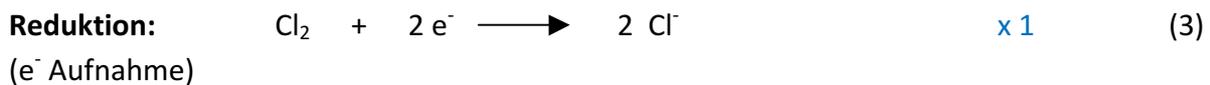
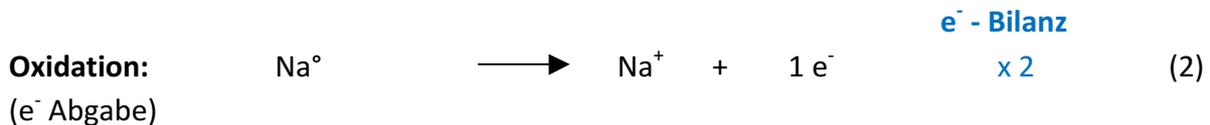
## 3.1 Metalle reagieren mit Nichtmetallen zu Salzen

### Theorie

Reagieren Metalle mit Nichtmetallen so entstehen Salze, d.h. Ionenverbindungen.



Stellt man die Salzformel in der Ionschreibweise dar, so sieht man, dass bei der Salz- bildung aus ungeladenen Elementarstoffen nun Ionen entstehen, d.h. dass Elektronen verschoben werden. Es handelt sich dabei also um eine Redoxreaktion. Dabei wird das Metall oxidiert, d.h. es gibt Elektronen ab. Das Nichtmetall wird reduziert, d.h. es nimmt Elektronen auf:

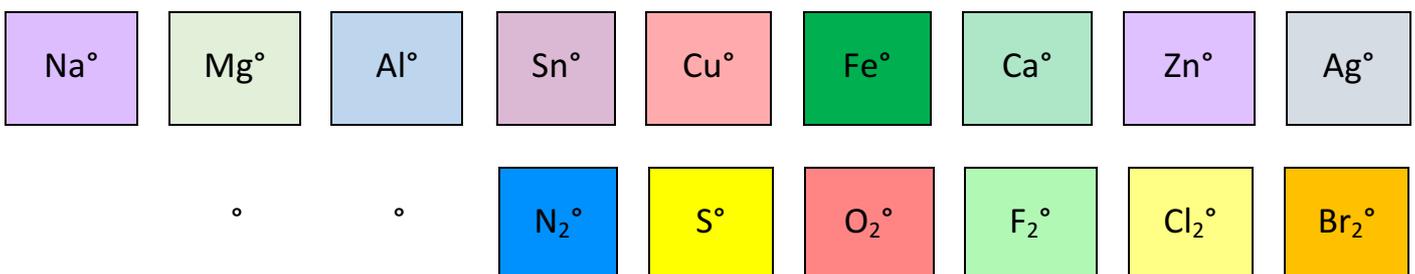


### Vorbereitung:

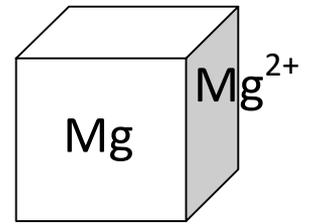
Wählen Sie ein **Metall** (5x) und ein **Nichtmetall** (5x) aus. Legen Sie die 5 Metall-Würfel auf die linke Seite und die 5 Nichtmetall-Würfel in die Mitte des Tisches bereit. Kombinieren Sie daraus eine Ionenverbindung so, dass sich die Summe Ladungen der Ionen gegenseitig auf- heben. Daraus ergibt sich die Salzformel und die Ionschreibweise (1).

Notieren Sie die Reaktionsgleichung (1), sowie die Teilreaktionen der Oxidation (2) und der Reduktion (3), inklusive Elektronenbilanz.

Metall	+ Nichtmetall	→ Salzformel	= Ionschreibweise	
<b>Oxidation:</b>  <b>Reduktion:</b>				<b>e<sup>-</sup> - Bilanz</b>



# ChemCube - Redox



## 3.2 Redoxreaktionen erkennen - Oxidationszahlen

### Anleitung

Farbänderungen der Schriften beim Drehen eines Würfels weisen darauf hin, dass bei diesem Schritt Chemie passiert.

Es gibt auch Spezies, die auf zwei Würfeln vorkommen. Versuchen Sie Gruppen zu machen von Würfeln, die etwas miteinander zu haben.

Wählen Sie eine Gruppe aus und versuchen Sie die Chemie zu erklären, die in dieser Gruppe und bei Farbänderungen der Schriften beim Drehen eines Würfels auftreten.

### Aufgabe:

- Formulieren Sie dazu jeweils eine Reaktionsgleichung.
- Handelt es sich bei dieser Reaktion um eine Redoxreaktion? Verwenden Sie Oxidationszahlen.
- Falls ja, notieren Sie die Teilreaktionen der Oxidation und der Reduktion. Falls nicht, begründen Sie ihre Antwort.

### Ergebnisse

#### Rkt.gl:

#### Lewis:

#### e<sup>-</sup> - Bilanz

#### Oxidation:

(e<sup>-</sup> Abgabe)



#### Reduktion:

(e<sup>-</sup> Aufnahme)

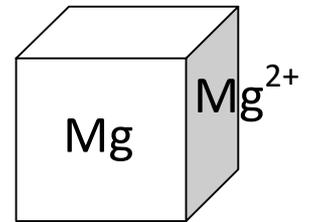


alle Würfel 1x

Na <sup>°</sup>	Mg <sup>°</sup>	Al <sup>°</sup>	Sn <sup>°</sup>	Cu <sup>°</sup>	Fe <sup>°</sup>	Ca <sup>°</sup>	Zn <sup>°</sup>	Ag <sup>°</sup>
	°	°	N <sub>2</sub> <sup>°</sup>	S <sup>°</sup>	O <sub>2</sub> <sup>°</sup>	F <sub>2</sub> <sup>°</sup>	Cl <sub>2</sub> <sup>°</sup>	Br <sub>2</sub> <sup>°</sup>
H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> S	NH <sub>3</sub>	HNO <sub>2</sub>	HNO <sub>3</sub>	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	H <sub>3</sub> O <sup>+</sup>

# ChemCube - Reduktionspotential E°

4	5	6	7	8	9	10	11	12	HS
---	---	---	---	---	---	----	----	----	----

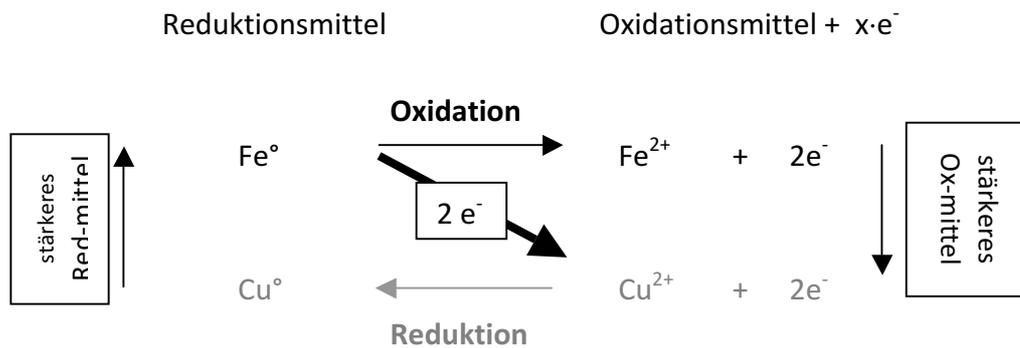


## 3.3 Redoxreaktionen die wirklich ablaufen und E°

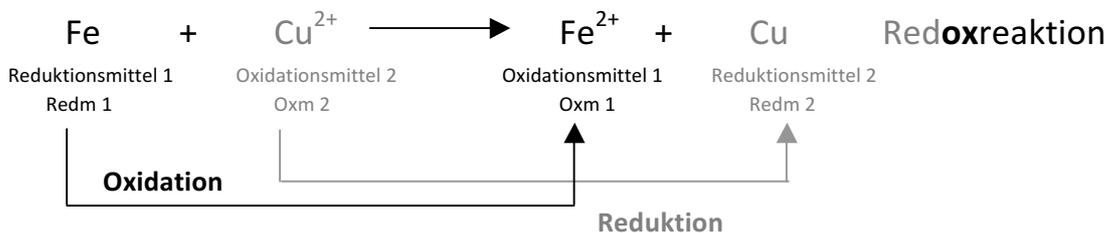
### Theorie

In der Redoxreihe sind die korrespondierenden Reduktions- und Oxidationsmittel ("Redox-Paare") in einer Tabelle so geordnet, dass die stärkeren Reduktionsmittel links oben stehen, die stärkeren Oxidationsmittel rechts unten.

Das unter Standardbedingungen **stärkere Reduktionsmittel Redm1** reagiert mit dem **stärkeren Oxidationsmittel Oxm 2**. Die Redox-Reaktion sollte freiwillig ablaufen.



Redoxreaktion:



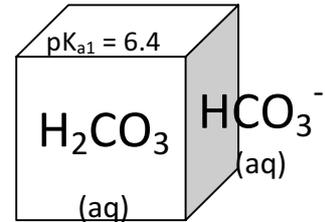
Aufgabe:

- Formulieren Sie mit Hilfe der Redox-Reihe Reaktionsgleichungen für Redoxreaktionen, die freiwillig ablaufen sollten (Hypothese).
- Notieren Sie die Teilreaktionen der Oxidation und der Reduktion.
- Überprüfen Sie die eine oder andere Hypothese nach Absprache mit der Lehrperson.

alle Würfel 1x

Na <sup>0</sup>	Mg <sup>0</sup>	Al <sup>0</sup>	Sn <sup>0</sup>	Cu <sup>0</sup>	Fe <sup>0</sup>	Ca <sup>0</sup>	Zn <sup>0</sup>	Ag <sup>0</sup>
	°	°	N <sub>2</sub> <sup>0</sup>	S <sup>0</sup>	O <sub>2</sub> <sup>0</sup>	F <sub>2</sub> <sup>0</sup>	Cl <sub>2</sub> <sup>0</sup>	Br <sub>2</sub> <sup>0</sup>
H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> S	NH <sub>3</sub>	HNO <sub>2</sub>	HNO <sub>3</sub>	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	H <sub>3</sub> O <sup>+</sup>

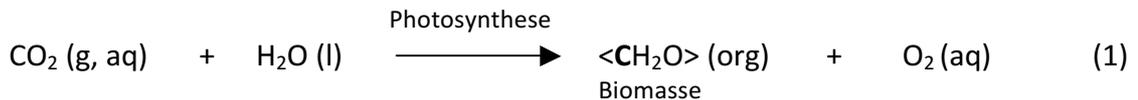
# ChemCube - Luftschadstoffe & Saurer Regen



## 4.1 Kohlenstoff - Kohlendioxid - Kohlensäure - Carbonate

### Theorie

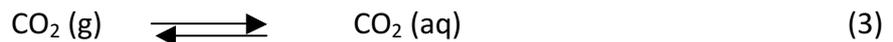
Bei der Photosynthese durch Pflanzen oder Algen wird Kohlendioxid in Biomasse  $\langle\text{CH}_2\text{O}\rangle$  oder kurz in organisch gebundenen Kohlenstoff **C(org)** umgewandelt (1):



Bei der Verbrennung oder Veratmung von Kohlenstoff (z.B. als Kohle C(s) oder organischer Kohlenstoff C(org)) mit Sauerstoff entsteht **Kohlendioxid-Gas**.  $\rho_i(\text{CO}_2(\text{g})) = 400 \text{ ppm}$



Das gasförmige Kohlendioxid  $\text{CO}_2(\text{g})$  löst sich im Wasser (Regenwasser, Flüsse, Seen, Meere) und steht mit dem im Wasser gelöstem Kohlendioxid  $\text{CO}_2(\text{aq})$  im Gleichgewicht:



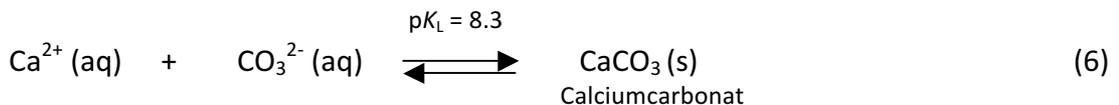
Das im Wasser gelöste Kohlendioxid  $\text{CO}_2(\text{aq})$  reagiert mit dem Wasser zu Kohlensäure  $\text{H}_2\text{CO}_3(\text{aq})$ .



Je nach pH-Wert reagiert nun die Kohlensäure weiter zu Hydrogencarbonat resp. Carbonat:



Viele Wasserlebewesen wie Korallen, Schnecken und Muscheln, aber auch Mikroorganismen können Calciumcarbonate in ihren Schalen einbauen. Sterben diese Tiere so lagern sich diese Schalen als Sedimente ab:



Spielen Sie diese Reaktion mit den Kohlensäure-Würfel durch. Alle Reaktionen, die als Gleichgewicht formuliert sind, sind reversibel, das heisst umkehrbar.

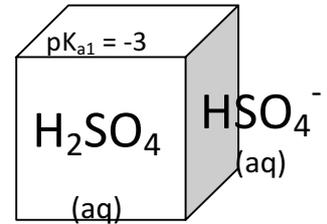
Aufgabe: Verknüpfen Sie die Reaktionen (3) - (6) miteinander.

Fragen:

- Was bedeutet diese Erkenntnis für den Treibhauseffekt.
- Die Wasserlöslichkeit von Kohlendioxid nimmt mit zunehmender Temperatur des Wassers ab. Was bedeutet dies für die Kohlendioxidkonzentration in der Atmosphäre?

<b>10x</b>								<b>2x</b>	
H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> S	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	HNO <sub>2</sub>	HNO <sub>3</sub>		Ca <sup>2+</sup>	H <sub>3</sub> O <sup>+</sup>

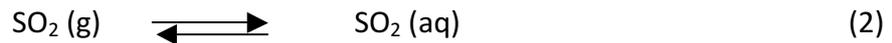
# ChemCube - Luftschadstoffe & Saurer Regen



## 4.2 Schwefel - Schwefeldioxid - Schwefelsäure - Gips

### Theorie

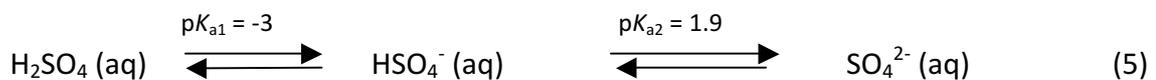
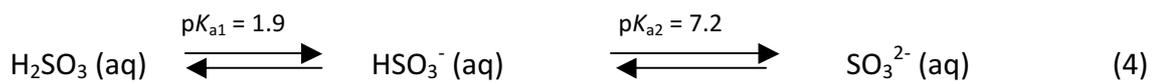
Bei der Verbrennung von Schwefel **S** oder von schwefelhaltigen organischen Verbindungen **S(org)** reagieren Schwefel und Sauerstoff zu **Schwefeldioxid-Gas**.



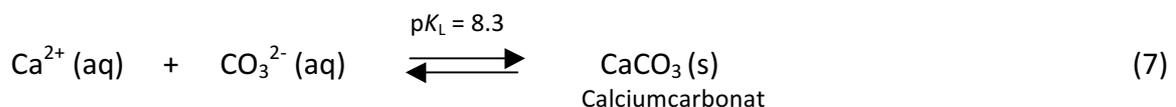
Reagiert Schwefeldioxid mit Wasser so bildet sich Schweflige Säure ( $\text{H}_2\text{SO}_3 \text{ (aq)}$ ). Diese kann z.B. mit gelöstem Sauerstoff zur noch stärkeren Schwefelsäure ( $\text{H}_2\text{SO}_4 \text{ (aq)}$ ) weiterreagieren. Beide sind wichtige Bestandteile des sauren Regens:



Je nach pH-Wert liegen diese beiden Säuren in den folgenden Spezies vor:



Bei der Verdunstung von calciumsulfathaltigem Meerwasser fallen Gips und Anhydrit (6) in früher Phase der Carbonatabscheidung (7) aus:



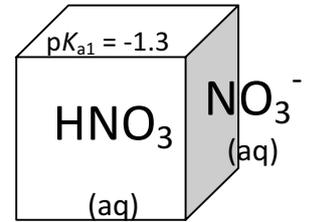
Spielen Sie diese Reaktion mit den entsprechenden Würfeln durch. Alle Reaktionen, die als Gleichgewicht formuliert sind, sind reversibel, das heisst umkehrbar.

Aufgabe: Verknüpfen Sie die Reaktionen (3) - (6) miteinander.

Frage: Welche Rolle spielen diese Gleichgewichte bei der Gesteinsbildung? Welchen Einfluss hat der pH-Wert des Wassers auf diese Prozesse?

1x	5x	5x					5x	
$\text{H}_2\text{CO}_3$	$\text{H}_2\text{SO}_3$	$\text{H}_2\text{SO}_4$	$\text{H}_2\text{S}$	$\text{NH}_4^+$	$\text{HNO}_2$	$\text{HNO}_3$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{H}_3\text{O}^+$

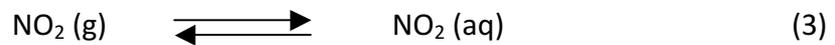
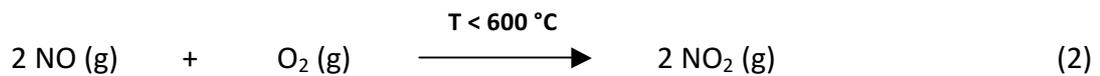
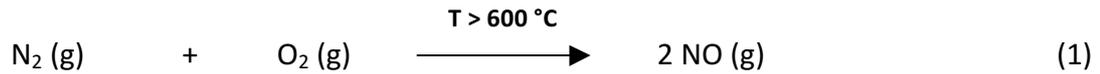
# ChemCube - Luftschadstoffe & Saurer Regen



## 4.3 Stickstoff - Stickoxide - Salpetrige Säure - Salpetersäure

### Theorie

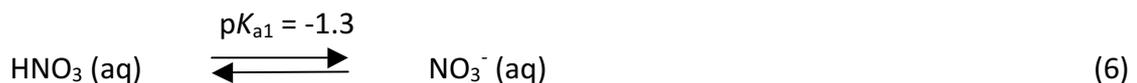
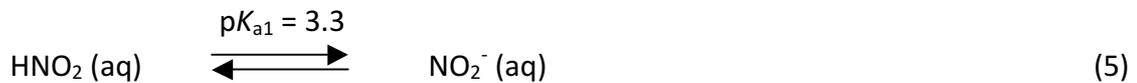
Bei vielen Verbrennungsreaktionen herrschen hohe Temperaturen. Bei Temperaturen über 600 °C kann Luft-Stickstoff  $\text{N}_2$  mit Sauerstoff zu Stickoxiden  $\text{NO}_x$  reagieren. Dabei entstehen Stickstoffmonoxid  $\text{NO}$  und Stickstoffdioxid  $\text{NO}_2$ .



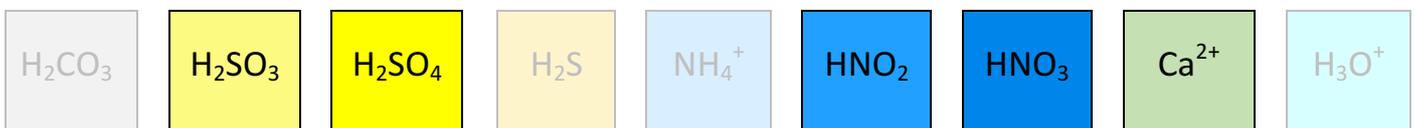
Stickstoffdioxid reagiert mit Wasser zu Salpetriger Säure **und** Salpetersäure:



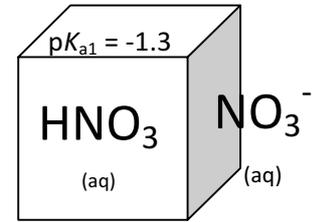
Je nach pH-Wert reagieren diese weiter zu Nitrit (5), resp. Nitrat (6):



Spielen sie diese Reaktionen mit dem entsprechenden Würfeln durch. Alle Reaktionen, die als Gleichgewicht formuliert sind, sind reversibel, das heisst umkehrbar.



# ChemCube - Stickstoff in der Umwelt



## 4.4 Ammoniaksynthese, Nitrifikation und Denitrifikation

Theorie

Stickstoff-Fixierung

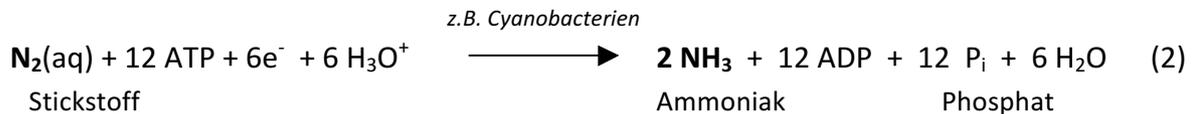
### a) Haber-Bosch Verfahren

Industriell wird Luft-Stickstoff  $\text{N}_2$  im Haber-Bosch Verfahren mit Wasserstoff  $\text{H}_2$  zu Ammoniak  $\text{NH}_3$  synthetisiert (1).



### b) Biologische Stickstoff-Fixierung

Einige Cyanobakterien und die Knöllchenbakterien, die in Symbiose mit gewissen Pflanzen (Wurzeln) leben (Hülsenfrüchte, Leguminosen), sind in der Lage, Luftstickstoff zu fixieren (2).



## Nitrifikation

Die Nitrifikation von Ammonium zum Nitrat verläuft über zwei Teilschritte, die von verschiedenen Bakterien durchgeführt werden können: 1. die Ammoniumoxidierer (*Nitrosomonas*) und 2. die Nitritoxidierer (*Nitrobacter*). Beides sind autotrophe Bakterien.

### 1. Ammoniumoxidierer (z.B. *Nitrosomonas* Bakterien)

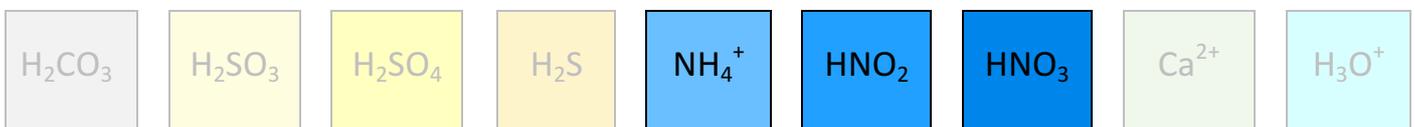
Die *Nitrosomonas*-Bakterien übernehmen die Oxidation von Ammonium zu Nitrit:



Notieren Sie die Teilreaktionen der Oxidation und der Reduktion:

Oxidation:

Reduktion:



## 2. Nitritoxidierer (z.B. *Nitrobacter*- Bakterien)

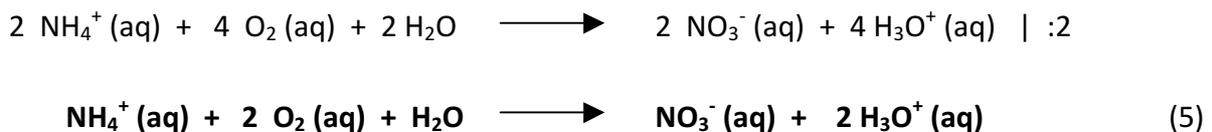
Die *Nitrobacter*-Bakterien übernehmen die Oxidation von Nitrit zu Nitrat:



Oxidation:

Reduktion:

Die vollständige Bilanz der Nitrifikation lautet:

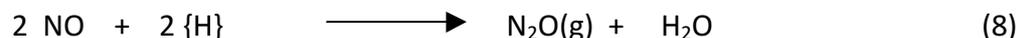


Bei der Nitrifikation wird also Ammonium unter Sauerstoffverbrauch in Nitrat umgewandelt. Dabei sinkt der pH-Wert der Lösung. Die Nitrifikation funktioniert nur bei pH-Werten > 7.2 bis 8. Sinkt der pH-Wert darunter, dann wird die Nitrifikation eingestellt. Im See hilft das gelöste Carbonat (Hydrogencarbonat) beim Puffern der frei werdenden  $\text{H}_3\text{O}^+$ -Ionen.

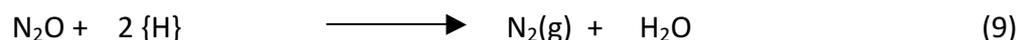
Aufgabe: Frage: Notieren Sie diese Reaktionsgleichung:

### Denitrifikation

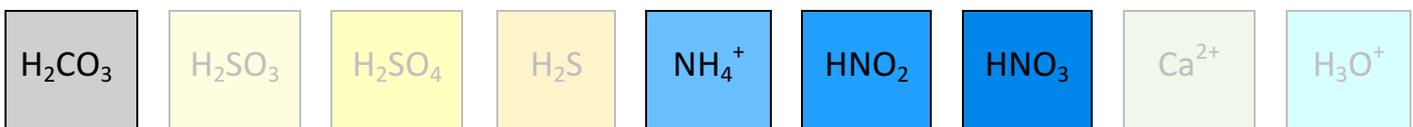
Im Unterschied zur Nitrifikation ist die Denitrifikation ein anaerober Prozess, d.h. er läuft ohne Beteiligung von Sauerstoff ab. Nitrat wird dabei über mehrere Schritte zu elementarem Stickstoff reduziert. Im Folgenden wollen wir die einzelnen Reaktionsschritte genauer betrachten. Die **{H}** bezeichnen H-Donatoren, welche **H-Atome** zur Verfügung stellen können (z.B. NADH):



Stickstoffmonoxid Lachgas  
Distickstoffmonoxid

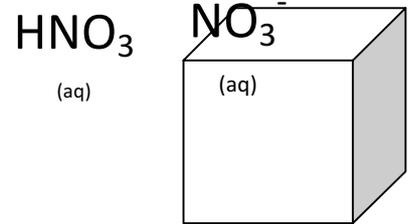


Spielen Sie diese Prozesse mit den Würfeln durch. Überlegen Sie, welchen Einfluss der pH-Wert hat.



# ChemCube - Eutrophierung

Diese Spiel Idee ist noch nicht mit Würfel umgesetzt - to be done



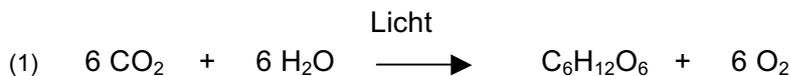
## 4.5 Eutrophierungs-Spiel

Wir befinden uns in unserem Schulzimmer in einem See, der in ein Epilimnion (Tischreihe 1&2) und ein Hypolimnion (Tischreihe 3&4) unterteilt ist. Es ist Frühling und die ersten sonnigen Tage haben die oberste Wasserschicht bereits so stark erwärmt, dass sich eine Temperaturschichtung eingestellt hat (beginnende Sommerstagnation). Im See hat es aufgrund der Winterzirkulation genügend gelösten Sauerstoff, zudem auch gelöstes  $\text{CO}_2$ .

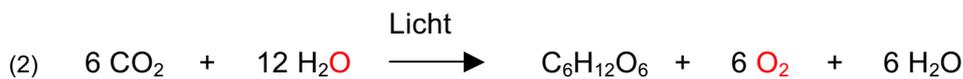
Die Tafel im Schulzimmer ist die Sonne. Auf den ersten zwei Tischreihen (=Epilimnion) läuft die Photosynthese ab. Auf der 3. und 4. Reihe sind die Destruenten aktiv. Die Konsumenten können sich im ganzen See aufhalten.

C	Kohlenstoff (grau)
$\text{CO}_2$	gelöstes $\text{CO}_2$ (grau)
N	Stickstoff (blau)
P	Phosphor (violett)
$\text{O}_2$	gelöster Sauerstoff (rot)
$\text{H}_2\text{O}$	Wasserstoff, der aus dem Wasser stammt (weiss)

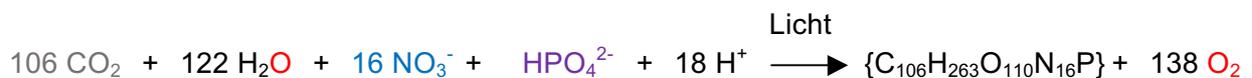
Sie kennen alle die einfachste Form der Fotosynthese Gleichung, die wir im Folgenden etwas genauer anschauen und um die Nährstoffe erweitern wollen (1):



Da der Sauerstoff vollständig aus dem Wasser stammt, müssen wir die einfache Gleichung leicht anpassen (2):



Wenn man die Nährstoffe brücksichtigt, so sieht die Photosynthese-Gleichung etwa so aus (3):



Für das Spiel wurden in etwa die Quadratwurzeln der stöchiometrischen Koeffizienten verwendet um kleinere Zahlen zu erhalten (4).

im Spiel gilt also:



Da wir in einem Gewässer sind, ist Wasser in genügender Menge vorhanden. Das heisst, man muss sich die Wasserteilchen nicht erkämpfen oder erspielen.

## Spiel: Teil 1:

In einer 1. Phase spielt die Gruppe einmal die Photosynthese zur Algenproduktion in einem See durch.

Danach spielen zwei Gruppen mit dem Ziel gegeneinander, jeweils eine Nahrungskette aufzubauen, um möglichst rasch einen Barsch zu haben. Die Gruppe bestimmt einen Chef und einen Bankier und organisiert sich sonst selbst.

- Der Chef organisiert die Gruppe so, dass diese möglichst erfolgreich ist.
- Der Bankier wandelt Nährstoff Kärtchen in Algen etc. um
- Die Lehrer bestimmen die Nährstoffzufuhr in den See.

## 1. Phase (Algenproduktion - Photosynthese)

Um eine Alge zu produzieren, muss ein Algenbaublatt gefüllt werden. Dieses wird dann gegen eine Alge eingetauscht: d.h. man würfelt und sammelt die für eine Alge notwendigen Bau- und Nährstoffkärtchen:  $10 \text{ CO}_2 \text{ (C)} + 4 \text{ NO}_3^- \text{ (N)} + 1 \text{ HPO}_4^{2-} \text{ (P)}$

Regeln:

- Die Gruppe bestimmt einen Chef, der die Arbeit beobachtet und die Arbeitskräfte den Bereichen zuteilt, so dass immer alle etwas zu tun haben
- 1 Würfel pro Person
- pro gewürfelte Zahl können entsprechend viele Bau- und Nährstoff-Kärtchen für den Algenbau aus dem See entnommen werden, die den Seentypen mit unterschiedlicher Nährstoffbelastung:
  - Oligotropher See (nur bei 1 und 2 darf man 1 resp. 2 Kärtchen nehmen)
  - Mesotropher See (bei 1,2,3, darf man entsprechend viele Kärtchen nehmen)
  - Eutropher See (bei 1,2,3,4,(5,6) darf man entsprechend viele Kärtchen nehmen).

Die Sauerstoffproduktion wird in der ersten Phase noch nicht gespielt

## 2. Phase (Nacht im See: Destruenten)

Jetzt kommt auch der im Wasser gelöste Sauerstoff ins Spiel.

Der bei der Photosynthese frei werdende Sauerstoff wird ins Wasser gegeben.  $\text{O}_2 \rightarrow \text{See}$  (Ein Teil des Sauerstoff wird in der Nacht durch die Algen selbst verbraucht: Respiration).

Regeln: Jedes zweite Algenkärtchen und jedes dritte Zooplanktonkärtchen wandern jeweils einen Tisch nach hinten (Sedimentation und Absterben)

Regeln: Die Destruenten setzen die fixierten Nährstoffe wieder frei. Dabei verbrauchen Sie gelösten Sauerstoff um die Biomasse zu oxidieren. Im Spiel oxidieren wir den Kohlenstoff mit Hilfe des gelösten Sauerstoffs, der aus dem See entfernt wird.  
 $\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$

### 3. Phase (über die Nahrungskette via Zooplankton zum Barsch)

Um ein Zooplankton zu produzieren, können entsprechend viele Algenkärtchen resp. die Zooplankton-Kärtchen eingetauscht werden (siehe Angabe auf dem Zooplankton-Kärtchen). Da das Zooplankton auf die Suche resp. Jagd nach Nahrung gehen muss, und diese nicht immer erfolgreich verläuft, gelten die folgenden Würfelregeln:

Würfel-Regel:

Algen:	Augenzahl (1, 2, 3, 4, 5, 6) gleich Anzahl Kärtchen.
Konsumenten 1. Ordnung:	bei geraden Zahlen 2,4,6 dürfen 1,2,3 Algen gefressen werden
Konsumenten 2. Ordnung:	bei 3 und 6 dürfen 1 resp. 2 Kons. 1. Ordn. gefressen werden
Konsumenten 3. Ordnung:	bei 1 darf 1 Konsument 2. Ordnung gefressen werden. bei 2 dürfen 2 Konsumenten 1. Ordnung gefressen werden
Konsumenten 4. Ordnung:	2 Würfel, bei 2 gleichen geraden Zahlen 2+2 → 2 Kons. 1. Ordn 4+4 → 2.Kons. 2. Ordn 6+6 → 1 Sonnenfisch

### 4. Phase (Störungen des Ökosystems)

Lassen Sie sich überraschen!!! Wie reagiert das Ökosystem See auf diese Störungen?

### 5. Phase (Suche nach dem Gleichgewicht)

Erlebnisaustausch

## Material

1 Kiste mit Nährstoff-Kärtchen wird auf den Tischen (=im See) verteilt: C, CO<sub>2</sub>, H, H<sub>2</sub>O, O<sub>2</sub>, N, P

12 normale Spielwürfel

1 Schachtel mit O<sub>2</sub> (gelöster Sauerstoff, der bei der Photosynthese produziert wird: -->O<sub>2</sub>)

1 Schachtel mit C=CO<sub>2</sub> (Photosynthese verbraucht CO<sub>2</sub> --> C). Destruenten produzieren CO<sub>2</sub>: C -->CO<sub>2</sub>

1 Schachtel mit N (= Stickstoff als Nährstoff). Destruenten setzen Nährstoffe aus Biomasse frei. -->N

1 Schachtel mit P (= Phosphor als Nährstoff). Destruenten setzen Nährstoffe aus Biomasse frei: -->P

1 Schachtel mit Algen

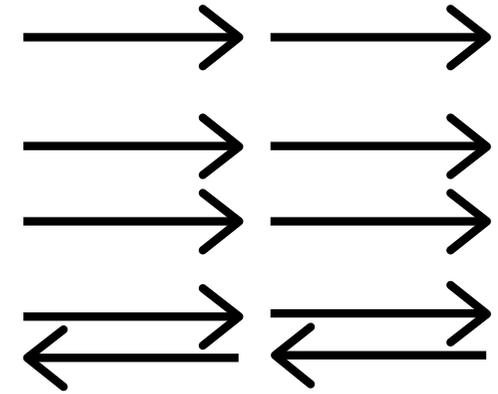
1 Schachtel mit Zooplankton, Konsumenten 2., 3., 4. Ordnung

Baupläne zum Bau und Abbau von Algen-Biomasse

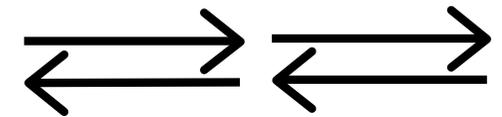
Baupläne zum Bau und Abbau von sonstiger Biomasse (siehe Kärtchen)

# pH-Skala

Lösung ist...	...stark sauer			...sauer			... neutral			basisch			...stark basisch		
pH-Wert	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
pOH-Wert	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
$c(\text{H}_3\text{O}^+) \text{ mol/L}$	$1=10^0$	$10^{-1}$	$10^{-2}$	$10^{-3}$	$10^{-4}$	$10^{-5}$	$10^{-6}$	$10^{-7}$	$10^{-8}$	$10^{-9}$	$10^{-10}$	$10^{-11}$	$10^{-12}$	$10^{-13}$	$10^{-14}$
$c(\text{OH}^-) \text{ mol/L}$	$10^{-14}$	$10^{-13}$	$10^{-12}$	$10^{-11}$	$10^{-10}$	$10^{-9}$	$10^{-8}$	$10^{-7}$	$10^{-6}$	$10^{-5}$	$10^{-4}$	$10^{-3}$	$10^{-2}$	$10^{-1}$	$1=10^0$



1    1    1    2    2    2    3    3    3  
4    4    4    5    5    5    6    7    8  
9    10    11    12    13    14



pH-Skala	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
pH ist...															

