

# DIE CHEMIE DER VERDAUUNG

## AM BEISPIEL DES MAGENSAFTES

Spezialgebiet Chemie

© 2008  
www.chemie.de  
www.chemie.de  
www.chemie.de  
www.chemie.de  
www.chemie.de

# **Inhaltsverzeichnis**

## **Übersichtsgrafik zur chemischen Verdauung**

### **Allgemeine Einführung zu Säuren und Basen**

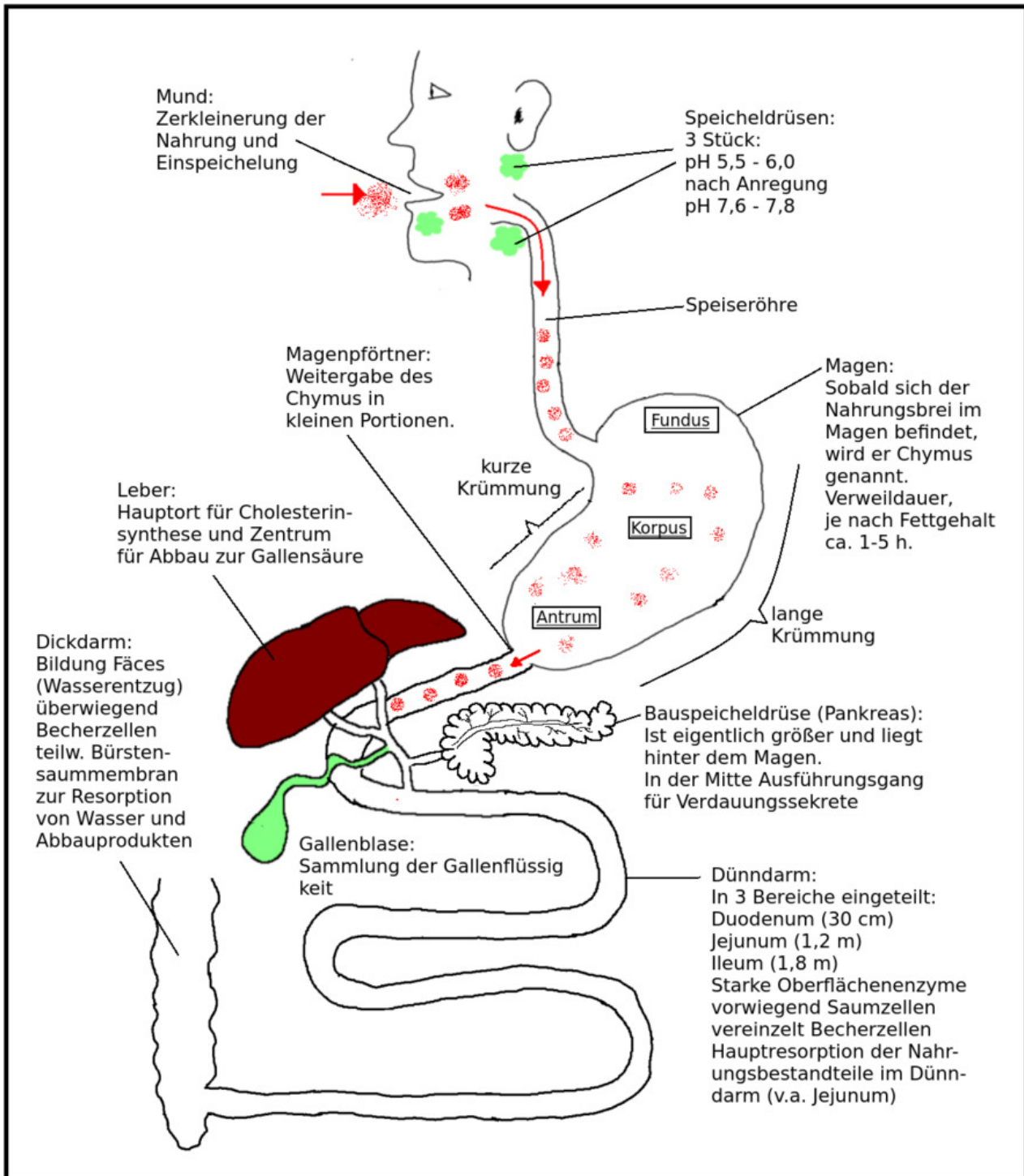
- **Definition und Eigenschaften von Säuren und Basen**
  - Wichtige Säuren und ihre Ionen
  - Wichtige Hydroxide
- **Konjugierte Säure-Basenpaare**
- **Definition des pH-Werts**
  - Berechnen des pH-Werts
  - Bedeutung des pH-Werts
- **Neutralisation**
- **Puffersystem**

### **Chemischer Prozess der Verdauung**

- **Anatomie des Magens**
- **Ablauf der Verdauung**
  - Verdauung der Kohlenhydrate
  - Verdauung der Fette
  - Verdauung der Eiweiße
- **Magensaft**
  - Zusammensetzung
  - pH-Wert
  - Chemische Reaktionen
  - Neutralisation

### **Abschlusswort**

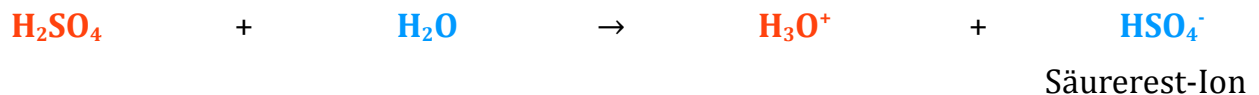
# Übersichtsgrafik zur chemischen Verdauung



<http://chemieplanet.org/index.php/Verdauung>

# Definition und Eigenschaften von Säuren und Basen

**Säuren** sind alle chemischen Verbindungen, die Protonen ( $H^+$ ) an einen Reaktionspartner übertragen – man nennt sie daher Protonendonatoren (*lat. donare = schenken, geben*). Das Übertragen des Protons ( $H^+$ -Ions) nennt man Protolyse. In wässrigen Lösungen ist Wasser der wesentliche Reaktionspartner. Dabei kann man anorganische und organische Säuren unterscheiden. Bei einer Reaktion mit einer anorganischen Säure mit Wasser, entstehen  $H^+$ -Ionen. Die übrigen Atome bleiben zusammen und bilden das Säurerest-Ion, welches ebenso viele negative Ladungen trägt, wie  $H^+$ -Ionen entstanden sind.



Bei einer Reaktion mit einer organischen Säure kann sich das Wasserstoffatom abspalten. Somit sind die restlichen Atome das Säurerest-Ion.

Zusätzlich bilden sich bei Reaktionen mit Wasser sogenannte Oxonium-Ionen ( $H_3O^+$ ) wodurch der pH-Wert gesenkt wird. Je niedriger der pH-Wert ist, desto saurer ist die Lösung. Säuren reagieren mit Basen unter Bildung von Wasser und Salzen. Somit ist eine Base das Gegenstück zur Säure und kann diese neutralisieren.

## Einige wichtige Säuren und ihre Ionen

Name	Formel	Säurerest-Ion
Schwefelsäure	$H_2SO_4$	$SO_4^{2-}$ Sulfat
Salzsäure	HCl	$Cl^-$ Chlorid
Essigsäure	$CH_3COOH$	$CH_3COO^-$ Acetat

**Basen** sind in der Lage, Hydroxid-Ionen ( $OH^-$ ) zu bilden. Diese erhöhen den pH-Wert einer Lösung. Je höher der pH-Wert ist, desto basischer ist die gemessene Lösung. Hydroxid-Ionen sind chemische Verbindungen, die Protonen von einer Säure unter Bildung eines Wassermoleküls übernehmen können – man nennt sie daher Protonenakzeptor (*lat. acceptare = empfangen*).

### Einige wichtige Hydroxide

Formel	Name	Trivialname	
		des Feststoffes	der Lösung
NaOH	Natriumhydroxid	Ätznatron	Natronlauge
Ca(OH) <sub>2</sub>	Calciumhydroxid	gelöster Kalk	Kalkwasser

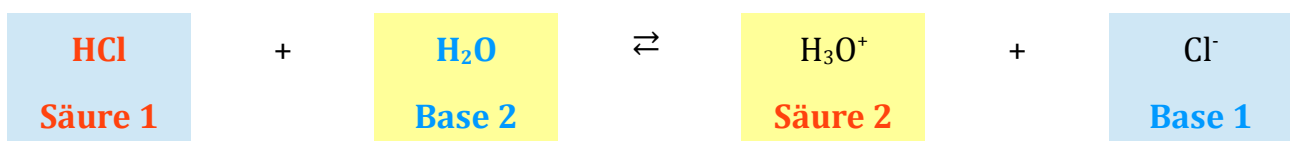
Bei Säure-Basen-Reaktionen werden Protonen übertragen und es existieren immer Säure-Basen-Paare. Die Lösungen von Säuren und Basen leiten Strom, was ein klarer Hinweis auf das Vorhandensein von Ionen ist.

Stoffe, die als Säure und als Base wirken können sind amphoter, z.B.: Wasser.

## ***Konjugierte Säure-Basenpaare***

Der Säurerest ist die konjugierte (*zugehörige*) Base der Säure.

Bei der Dissoziation, also die Spaltung eines Moleküls, der Säure HCl nimmt  $H_2O$  ein Proton auf.  $H_2O$  reagiert also als Base:



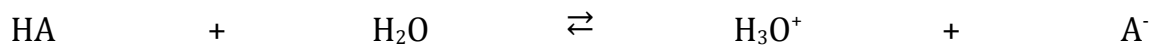
Die Abgabe von Protonen der Säure oder die Aufnahme von Protonen der Base ist eine reversible (*umkehrbare*) Reaktion. Bei HCl reagiert bei der Rückreaktion das  $Cl^-$  als Base und das  $H_3O^+$  als Säure. Ein Gleichgewicht stellt sich zwischen der Hin- und Rückreaktion ein.  $HCl$  und  $Cl^-$  sind ein konjugiertes Säure-Base-Paar, genauso wie  $H_3O^+$  und  $H_2O$ .

Durch die Doppelpfeile wird ausgedrückt, dass Hin- und Rückreaktion gleichzeitig ablaufen.

$\text{H}_3\text{O}^+$ : konjugierte Säure der Base  $\text{H}_2\text{O}$

$\text{Cl}^-$ : konjugierte Base der Säure  $\text{HCl}$

Ein konjugiertes Säure-Base-Paar unterscheidet sich um ein Proton. Die allgemeine Schreibweise des Dissoziationsgleichgewichts einer Säure in wässriger Lösung sieht folgendermaßen aus:



## ***Definition des pH-Werts***

<http://www.camlabworld.com/ph-indicator-and-test-paper-reels-p14535.aspx>

Säuren und Wasser bilden  $\text{H}_3\text{O}^+$ -Ionen. Die Konzentration daraus wird als Maß für den sauren/basischen Charakter einer Lösung genommen. Zum Abschätzen des pH-Werts reicht ein Indikator. Sie verändern ihre Farbe nach dem pH-Wert der Lösung. Ein natürlicher Indikator wäre z.B.:

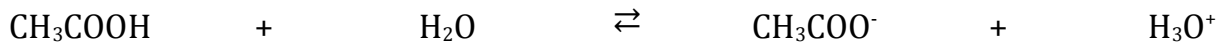


Schwarztee. Wird ihm Zitronensaft zugegeben, dann wechselt er seine Farbe von dunkelbraun auf hellrötlichbraun.

## **Berechnen des pH-Werts anhand eines Beispiels**

*Massenwirkungsgesetz:*

$$K = \frac{\text{Produkt der Konzentration der Produkte}}{\text{Produkt der Konzentration der Edukte}}$$



$$K = \frac{c(\text{CH}_3\text{COO}^-) \cdot c(\text{H}_3\text{O}^+)}{c(\text{CH}_3\text{COOH}) \cdot c(\text{H}_2\text{O})}$$

**0,5 M (M = mol/L) Essigsäure (pK<sub>a</sub> = 4,75)**

Ist der pK<sub>a</sub>-Wert angegeben, so setzen wir ihn in folgende Formel ein:

pK<sub>a</sub> = 4,75 ⇒ K<sub>a</sub> = 10<sup>-4,75</sup> (ist der Wert der Potenz unter 1, so liegt das Gleichgewicht links und das Produkt ist klein)

	CH <sub>3</sub> COOH	+	H <sub>2</sub> O	⇌	CH <sub>3</sub> COO <sup>-</sup>	+	H <sub>3</sub> O <sup>+</sup>
	↓		↓		↓		↓
Beginn:	0,5 M		viel		0		0
Gleichgewicht:	0,5 - x		viel		x		X

$$K = \frac{c(\text{CH}_3\text{COO}^-) \cdot c(\text{H}_3\text{O}^+)}{c(\text{CH}_3\text{COOH}) \cdot c(\text{H}_2\text{O})}$$

$$10^{-4,75} = \frac{x \cdot x}{0,5 - x}$$

$$10^{-4,75} = \frac{x^2}{0,5} / \cdot 0,5$$

$$\sqrt{10^{-4,75} \cdot 0,5} = x$$

x = Konzentration von H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> ⇒ c(H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>)

pH-Wert = - log · c(H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>)

Als Maßzahl für den sauren oder basischen Charakter einer Lösung wurde der negative dekadische Logarithmus der  $\text{H}_3\text{O}^+$ -Ionenkonzentration gewählt, der als pH-Wert bezeichnet wird.

Allgemein formuliert:

$$\begin{array}{lclclcl} \text{pH} & = & -\log c(\text{H}_3\text{O}^+) & c(\text{H}_3\text{O}^+) & = & 10^{-\text{pH}} \text{ mol/L} \\ \text{pOH} & = & -\log c(\text{OH}^-) & c(\text{OH}^-) & = & 10^{-\text{pOH}} \text{ mol/L} \end{array}$$

Für das Ionenprodukt ergibt sich daher:

**Neutrale Lösung:** Die Anzahl der  $\text{H}_3\text{O}^+$ -Ionen ist gleich der Anzahl der  $\text{OH}^-$ -Ionen. Bei neutralen Lösungen ist der pH-Wert = 7.

**Saure Lösung:** Die Anzahl der  $\text{H}_3\text{O}^+$ -Ionen überwiegt. Die Konzentration der  $\text{H}_3\text{O}^+$  ist größer als  $10^{-7}$ . Bei sauren Lösungen ist der pH-Wert < 7.

**Basische Lösung:** Hier überwiegen die  $\text{OH}^-$ -Ionen. Die Konzentration der  $\text{OH}^-$ -Ionen ist größer als  $10^{-7}$ . Bei basischen Lösungen ist der pH-Wert > 7.

*Durchschnittliche pH-Werte einiger gebräuchlicher Lösungen*

<b>Substanz</b>	<b>pH-Wert</b>	<b>Art</b>
Magensäure (nüchterner Magen)	1,0 – 1,5	sauer
Essig	2,5	
Wein	4	
Hautoberfläche des Menschen	5,5	
Menschlicher Speichel	6,5 – 7,4	sauer bis basisch
Reines Wasser	7	neutral
Blut	7,4	basisch
Pankreassaft (Darmsaft)	8,3	
Seife	9,0 – 10,0	
Natronlauge	13,5 – 14	

## Bedeutung des pH-Wertes

Er ist wesentlich für den Ablauf von vielen chemischen und biochemischen Reaktionen. Die chemischen Vorgänge im menschlichen Organismus sind vom pH-Wert abhängig. Die verschiedensten Enzyme sind nur bei einem bestimmten pH-Wert optimal wirksam. Er wird daher weitestgehend konstant gehalten, z.B.: im Blut durch das Puffersystem auf 7,4.

## **Neutralisation**

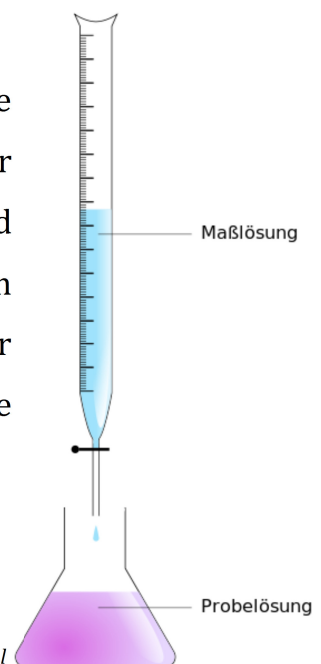
Werden gleiche Mengen einer starken Säure und einer starken Base gemischt, so erfolgt eine exotherme Reaktion. Säure und Base heben einander auf und die entstehende Lösung ist neutral. Die Neutralisation ist eine Säure-Base-Reaktion, bei der Oxonium-Ionen mit Hydroxid-Ionen unter Bildung von Wasser reagieren. Säurerest-Ionen und Metall-Ionen bilden ein Salz.

Salze **starker Säuren** und **starker Basen** reagieren **neutral**.

Salze **schwacher Säuren** und **starker Basen** reagieren **basisch**.

Salze **starker Säuren** und **schwacher Basen** reagieren **sauer**.

Neutralisationsreaktionen werden auch verwendet, um die Menge, also die Konzentration, der Säure oder Base in einer Probe zu bestimmen. So auch bei einer **Titration**. Hierbei wird z.B.: zu einer Säure, mit einer unbekanntem Konzentration (*Grafik: Probelösung*), so lange tropfenweise eine Base, bekannter Konzentration (*Grafik: Maßlösung*), zugegeben, bis die gesamte Säure neutralisiert ist.



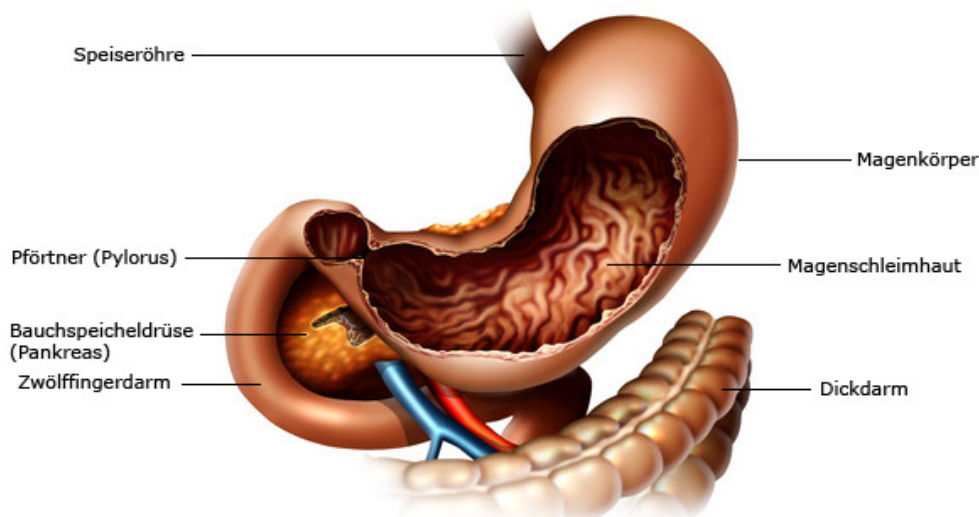
<http://chemiekurs.npage.de/stundenbox-lk-q2.html>

## ***Puffersystem***

Der Ablauf vieler chemischer Reaktionen wird vom pH-Wert sehr stark beeinflusst, weshalb es oft wünschenswert ist, ihn konstant zu halten. Der Puffer besteht entweder aus einer schwachen Säure und einer konjugierten starken Base oder umgekehrt: aus einer schwachen Base und einer konjugierten starken Säure. Ein Puffer ist also ein Stoffgemisch, welches auf die Zugabe einer Säure oder Base mit einer sehr viel geringeren Veränderung des pH-Wertes reagiert, als ein ungepuffertes Gemisch.

In jeder Zelle des Körpers kann ein bestimmter pH-Wert gemessen werden. Für eine ordnungsgemäße Funktion ist der pH-Wert des entsprechenden Gewebes von großer Bedeutung. Vor allem Enzyme haben ein sehr eng begrenztes pH-Optimum, in dem sie am besten arbeiten können. Auch im Blut des menschlichen Körpers herrscht ein pH-Wert, der durch verschiedene Puffersysteme zwischen 7,36 und 7,44 konstant gehalten wird.

## ***Anatomie des Magens***



<http://www.netdokter.at/untersuchung/gastroskopie-8316>

Die Magenschleimhaut kleidet die Innenwand des Magens aus und ist stark gefaltet und von Drüsenzellen durchsetzt. Jene Zellen unterteilt man in drei Typen: Die Nebenzellen, Hauptzellen und Belegzellen.

*Nebenzellen:* Hier wird ständig ein hydrogencarbonatreicher, zäher Schleim abgesondert. Er legt sich schützend über die Magenschleimhaut und bildet gleichzeitig einen Puffer zur lokalen Neutralisation der Magensäure.

*Hauptzellen:* Sondern Pepsinogen ab, ein inaktives Enzym, welches erst durch die Salzsäure zu Pepsin aktiviert wird. Pepsin spaltet Proteine in kleinere Peptide, die dann später zerlegt werden. Pepsin kann Kollagen, welches der Hauptbestandteil von Bindegewebe ist, umwandeln. Da der pH-Wert im Magen durch die starke Salzsäure bei 0,9 liegt, muss die Magenschleimhaut durch das Kollagen besonders geschützt werden.

*Belegzellen:* Produzieren die Salzsäure und „durchsäuern“ den Mageninhalt.

## ***Ablauf der Verdauung***

Verdauungsvorgänge sind exotherm, da hierbei wieder Energie frei wird. Die Spaltung erfordert allerdings eine hohe Aktivierungsenergie, die durch einige Enzyme stark abgesenkt wird. Fast alle Verdauungsenzyme sind Hydrolasen, das heißt, dass sie ihr Substrat unter Einlagerung von Wasser spalten.

Amylose + n H<sub>2</sub>O → Maltose oder Glucose

Protein + n H<sub>2</sub>O → Aminosäuren

Fett + 3 H<sub>2</sub>O → Glycerin + Fettsäuren

## **Verdauung von Kohlenhydraten**

Das Enzym Amylase im Speichel spaltet die Stärke bis hin zum Disaccharid (= *Zweifachzucker*) Maltose =  $C_{12}H_{22}O_{11}$ . Im Magen wird durch die starke Salzsäure ein Teil der Disaccharide wie Maltose und Saccharose in die Monosaccharide =  $C_6H_{12}O_6$  (= *Einfachzucker*) gespalten. Die Amylasen aus der Bauchspeicheldrüse bauen die Stärken im Dünndarm endgültig ab.

## **Verdauung der Fette**

Die Verdauung von Fetten findet ausschließlich im Dünndarm durch Lipase des Pankreas statt. Durch die Lipasen werden Ester in Fettsäuren und Glycerin gespalten. Die Lipolyse ist die hydrolytische Spaltung von Lipiden (= *Fette*) und Cholesterinestern durch Enzymen der Lipasen (= *Enzyme, die freie Fettsäuren von Lipiden abspalten können*). Dabei entstehen freie Fettsäuren, die ins Blut abgegeben werden, Mono- und Diglyceride als Zwischenprodukte und einer der Alkohole Glycerin oder Cholesterin. Die Lipolyse ist umkehrbar, was bedeutet, dass Organismen in der Lipogenese aus Kohlenhydraten wie z.B.: Glucose, Fettsäuren und daraus in weiterer Folge Fette synthetisieren können.

## **Verdauung der Eiweiße**

Die Hydrolyse (*Aufspaltung von chemischen Verbindungen durch Reaktionen mit Wasser*) von Proteinen erfolgt durch Proteasen (*Enzyme, die andere Enzyme „verdauen“ können*). Diese Proteasen können lediglich denaturierte Proteine angreifen. Diese Denaturierung erfolgt entweder durch Kochen oder durch die Einwirkung einer starken Säure, im Magensaft die Salzsäure. Im Magen befindet sich Pepsin, das die Proteinmoleküle sowie aromatische Aminosäuren spaltet. Pepsin ist gegen HCl unempfindlich.

Im Dünndarm wird die HCl zuerst durch Hydrogencarbonatpuffer neutralisiert und dabei wird ein schwach basisches Milieu hergestellt.

Durch verschiedene hochspezifische Exopeptidasen und anschließend durch Dipeptidasen werden die entstanden Oligopeptide in die einzelnen resorbierbaren

Aminosäuren zerlegt.

## ***Magensaft***

Der Magensaft ist eine enzymreiche Flüssigkeit, welche von der Magenschleimhaut in das Lumen des Magen abgegeben wird. Der Magensaft dient der Verdauung der aufgenommenen Nahrung.

### **Zusammensetzung**

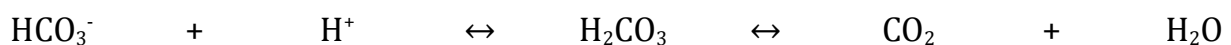
Der Magensaft ist eine mehr oder weniger schleimartige Flüssigkeit, mit durchsichtiger aber auch deutlich gelb-grünliche Farbe, welche einen markanten Eigengeruch besitzt. Er enthält unter anderem Wasser, Magensäure, die eine bakterizide Wirkung hat und nüchtern aus einer etwa 0,5 prozentigen Salzsäure besteht, Pepsin und dessen Vorstufe Pepsinogen, die Eiweiß spalten, Muzine (*zum Schutz der Schleimhaut vor chemischen, physikalischen und mechanischen Reizen*) und Hydrogencarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ , *bildet in Verbindung mit Kohlensäure den Hydrogencarbonat-Puffer*).

### **pH-Wert**

Die Magensäure weist einen pH-Wert von etwa 1 – 1,5 bei nüchternem Magen auf. Wenn er voll ist, dann beträgt er 2 – 4. Die Magensäure dient zum „Aufspalten“ der Proteine. Die Zellen der Magenschleimhaut verhindern, dass der Magensaft den Magen selbst zersetzt und verdaut.

### **Chemische Reaktionen**

*Hydrogencarbonat-Puffer*: eines der wichtigsten Puffersysteme, welches  $\text{H}^+$ -Ionen abgeben oder binden kann. Die Bindung der  $\text{H}^+$ -Ionen folgt der chemischen Gleichung:



Der  $\text{pK}_a$ -Wert von diesem Puffersystem liegt bei 6,1.

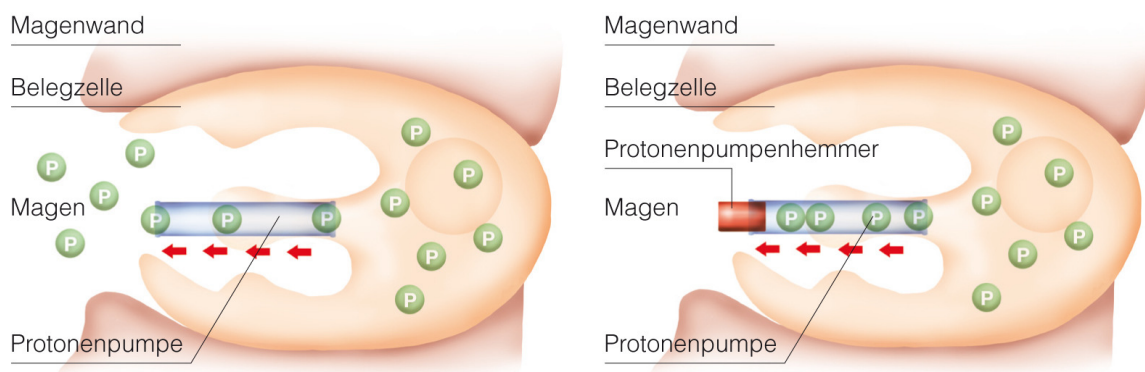
### *Lipolyse:*

Magenlipasen spalten im Magen Fette zu Mono- und Diglyceriden. Jene Lipasen haben ein pH-Optimum von 5-7, können aber dennoch auch im stark sauren Bereich im Magen sehr effektiv arbeiten. Der Gesamtanteil der Esterpaltung ist dennoch mit etwa 15% sehr gering.

### **Neutralisation**

Kann medikamentös durch Protonenpumpenhemmer erfolgen. Diese verhindern die Bildung von Magensäure in den Belegzellen des Magens mithilfe der Protonen-Kalium-Pumpe oder auch  $H^+/K^+$ -ATPase. Unter Hydrolyse werden Kaliumionen ( $K^+$ ) von der einen Seite der Membran zur anderen Seite transportiert. Werden zusätzlich negative Chloridionen ( $Cl^-$ ) auf die gleiche Seite transportiert, entsteht dort HCl. Sie ist unter anderem für die Abtötung von Keimen und zur Vorbereitung der Nährstoffe zur Verdauung zuständig.

Protonenpumpenhemmer werden zunächst im Dünndarm resorbiert und gelangen danach über den Blutkreislauf in die Kanäle der Belegzellen des Magens. Die  $H^+/K^+$ -ATPase der Belegzellen wird gehemmt. Somit wird die Sekretion von Protonen in den Magen und damit die Entstehung von Salzsäure wirkungsvoll gehemmt. Durch die Ausbildung einer Disulfidbrücke (= eine Atombindung zwischen zwei Schwefel-Atomen) mit der  $H^+/K^+$ -ATPase wird das Enzym blockiert. Die Sekretion der Säure kann erst wieder stattfinden, wenn neue  $H^+/K^+$ -ATPasen synthetisiert sind, das dauert ca. 2-3 Tage.



<http://www.tk.de/tk/krankheiten-r/reizmagen/therapie/408426>

Protonenpumpenhemmer werden in Form von Kapseln oder Tabletten, welche magensaftresistent sind, verabreicht.

## ***Abschlusswort***

Gerade in unserer Gesellschaft heutzutage ist es besonders wichtig, sich mit dem menschlichen Körper auseinander zu setzen und über chemische Prozesse Bescheid zu wissen. Viele „Wehwechen“ entstehen aufgrund von Unwissen oder auch Desinteresse der Menschheit. Würde man etwas mehr nachlesen und sich informieren, wüsste man sofort, wie man die ein oder andere Kleinigkeit ohne Arzt und Medikamente lösen kann.

Mich persönlich hat dieses Thema besonders interessiert, da ich vor 2 Jahren selbst von Gastritis und einem Reflux betroffen war. Auch in meinem Familien- und Bekanntenkreis ist diese „Volkskrankheit“ nicht unbekannt. Es ist umso wichtiger sich damit auseinander zu setzen, um vorzubeugen und natürlich auch um mitreden zu können. Ich habe durch mein Spezialgebiet in Chemie ein Thema genauer erarbeiten können, welches mir allgemein als sehr wichtig erscheint.

## **Quellenangaben:**

<http://chemieplanet.org/index.php/Verdauung>

Dr. Franz Neufingerl; Chemie 1 – Allgemeine und anorganische Chemie; © 2009 Verlag  
Jugend & Volk

<http://de.wikipedia.org/wiki/S%C3%A4ure>

[http://de.wikipedia.org/wiki/Basen\\_%28Chemie%29](http://de.wikipedia.org/wiki/Basen_%28Chemie%29)

<http://de.wikipedia.org/wiki/Protolyse>

[http://www.chemgapedia.de/vsengine/vlu/vsc/de/ch/8/bc/vlu/chem\\_grundlagen/sauren\\_basen.vlu/Page/vsc/de/ch/4/cm/saeuren/konjugierte\\_paare.vscml.html](http://www.chemgapedia.de/vsengine/vlu/vsc/de/ch/8/bc/vlu/chem_grundlagen/sauren_basen.vlu/Page/vsc/de/ch/4/cm/saeuren/konjugierte_paare.vscml.html)

[http://de.wikipedia.org/wiki/Indikator\\_%28Chemie%29](http://de.wikipedia.org/wiki/Indikator_%28Chemie%29)

[http://www.chemieunterricht.de/dc2/ws-bclm/kap\\_03.htm](http://www.chemieunterricht.de/dc2/ws-bclm/kap_03.htm)

<http://flexikon.doccheck.com/de/Puffer>

<http://flexikon.doccheck.com/de/Magensaft>

<http://flexikon.doccheck.com/de/Pepsinogen>

<http://flexikon.doccheck.com/de/Muzin>

<http://flexikon.doccheck.com/de/Bikarbonat>

<http://flexikon.doccheck.com/de/Bicarbonat-Puffer>

<http://de.wikipedia.org/wiki/Magensaft>

<http://de.wikipedia.org/wiki/Verdauung>

<http://de.wikipedia.org/wiki/Lipolyse>

<http://www.chemie.de/lexikon/Protonenpumpenhemmer.html>

<http://de.wikipedia.org/wiki/Protonenpumpenhemmer>

<http://www.chemie.de/lexikon/Protonen-Kalium-Pumpe.html>