

# Einteilung der Enzyme in verschiedene Klassen

C3BL



Es lassen sich verschiedene Untergruppen an Enzymen unterscheiden, von denen hier einige vorgestellt sind. Die internationale Enzymkommission vergibt vierstelligen *Enzyme Commissions Numbers* (EC-Nummern).

Empfohlenes Lernvideo (ca. 11 min, Titel: „Arten von Enzymen - Hauptgruppen von Enzymen - Einteilung nach Reaktionstypen“), das alles im Schnelldurchgang wiederholt:

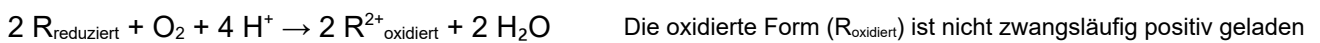
<https://youtu.be/LXizkwQMqu4>



## Oxidoreduktasen (Kürzel: EC 1.X.X.X.)

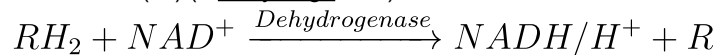
Zu den **Oxidoreduktasen** gehören Enzyme, die Substrate oxidieren oder reduzieren, also Redoxreaktionen katalysieren. Bei manchen Untergruppen dieser Klasse werden Redox-Cosubstrate (z.B. NADH oder NADP<sup>+</sup>) benötigt, **ATP/ADP hingegen nicht**.

- **Oxidasen** entziehen einem Substrat Elektronen und übertragen diese auf molekularen Sauerstoff (O<sub>2</sub>). Zusammen mit H<sup>+</sup> entsteht daraus H<sub>2</sub>O oder H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Prinzip:



- Die **Glucose-Oxidase** (EC 1.1.3.4) ist ein Beispiel für ein wichtiges Enzym aus dieser Gruppe. Es katalysiert die Oxidation von Glucose wobei neben dem Oxidationsprodukt als Nebenprodukt auch H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> entsteht. Beim **GOD-Test (Glucose-Oxidase-Test)** wird das entstehende H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> als Cosubstrat für eine **Peroxidase (z.B. Meerrettichperoxidase, EC 1.11.1.7)** benötigt. Sie katalysiert die Bildung eines Farbstoffs (und H<sub>2</sub>O). Der Farbstoff kann quantifiziert werden und ist letztendlich ein Maß dafür, wie viel Glucose in der Probelösung vorlag.

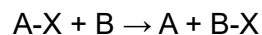
- **Dehydrogenasen** oxidieren ein Substratmolekül. Sie entziehen neben 2 Elektronen auch 2 H<sup>+</sup>. Da 2 H<sup>+</sup> + 2 e<sup>-</sup> = H<sub>2</sub> ist, entziehen sie formal also Wasserstoff (H<sub>2</sub>) (= **Dehydrogenase**)



Die Elektronen bzw. H<sup>+</sup> werden dabei auf ein Cosubstrat, z.B. NAD<sup>+</sup>, übertragen. Es entstehen also *Reduktionsäquivalente*.

## Transferasen (Kürzel: EC 2.X.X.X.)

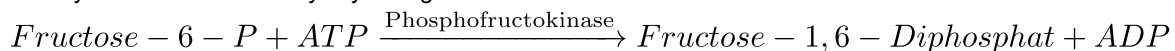
Transferasen übertragen funktionelle Gruppen von einem Molekül (Donor) auf einen Akzeptormolekül. Prinzip:



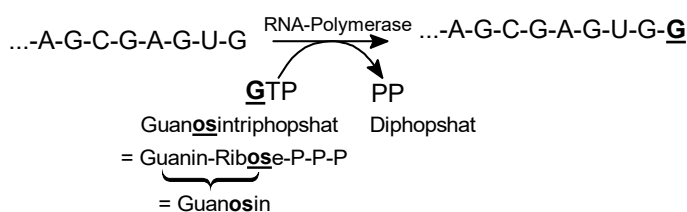
In diesem Fall ist A der Donor und B der Akzeptor.

Bei den übertragenen Gruppen kann es sich beispielsweise um eine Phosphat- (=“P<sub>i</sub>“, inorganic phosphate), Amino- oder Methylgruppen handeln. Transferasen für Phosphatgruppen werden **Kinasen** (EC: 2.7.X.X.) genannt. Als Phosphat-Donor fungiert dann meist das Cosubstrat **Adenosintriphosphat (ATP)**. Durch die Übertragung von P<sub>i</sub> entsteht dabei **Adenosindiphosphat (ADP)**.

Ein sehr wichtiges Enzym, das zu den Kinasen gehört ist die Phosphofructokinase (EC: 2.7.1.11). Dieses Schlüsselenzym des Glucose-Stoffwechsels katalysiert innerhalb der Glykolyse folgende Reaktion:



Auch DNA- und RNA-Polymerasen, wie sie z.B. bei der PCR-Technik eingesetzt werden, gehören zu dieser Klasse. Sie sind für das Anhängen von Nucleotiden bei der RNA bzw. Desoxynucleotiden bei der DNA zuständig, also für die Kettenverlängerung. Als Cosubstrate nutzt die RNA-Polymerase GTP, ATP, CTP oder UTP. Diese enthalten alle Ribose als Zucker enthalten. Die DNA-Polymerase nutzt die Varianten mit Desoxyribose als Zucker.



**Abb. 1:** Schema für das Anhängen eines Nucleosids an einen RNA-Strang. Bsp. hier: GTP

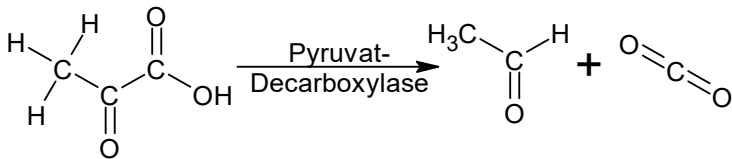
## Hydrolasen (Kürzel: EC 3.X.X.X.)

Wie der Name schon andeutet, spalten Hydrolasen Bindungen *hydrolytisch*, also unter dem Einfluss von Wasser. Dabei wird auch das Wassermolekül gespalten:  $X-Y + HOH \rightarrow X-OH + H-Y$ . **Zu dieser Gruppe die meisten spaltenden Enzyme: Peptidasen, Proteasen, Lipasen, Nucleasen (z.B. Restriktionsenzyme) Amylasen, Esterasen (z.B. Acetylchlorinesterase),  $\beta$ -Lactamasen**

- **$\alpha$ -Amylase** (EC 3.2.1.1.) spaltet die 1,4-Glykosidbindungen der Amylose, einem Stärkebestandteil. Dadurch entstehen Dextrine, Maltose und Glucose. **Invertase** spaltet Saccharose in die beiden Monosaccharide.
- Die Untergruppe der **Peptidasen** spalten die Peptidgruppen in Oligo- oder Polypeptiden und Proteinen. Dazu gehören z.B. die Enzyme Trypsin, Chymotrypsin und Pepsin. Spalten sie eine AS-Kette an den Rändern, spricht man von einer Exopeptidase, wird im Inneren des Strangs gespalten, handelt es sich um eine Endopeptidase.
- Die Untergruppe der **Esterasen** spalten Estergruppen, meist Carbonsäureester in Alkohole und Carbonsäuren.
- Zu den **Nucleasen** werden alle Enzyme gezählt, die Nucleinsäuren hydrolytisch spalten. Zwei Untergruppen der Nucleasen sind die **Desoxyribonucleasen (DNAsen)**, spalten DNA-Moleküle) und die **Ribonucleasen (RNAsen)**, spalten RNA-Moleküle). Zu den Nucleasen gehören auch die sogenannten **Restriktionsendonucleasen** (kurz: **Restriktionsenzyme**). Sie schneiden DNA im Inneren des Strangs an speziellen Erkennungssequenzen.
- Auch die  **$\beta$ -Lactamasen**, die den Lactam-Ring von Lactam-Antibiotika spalten und von Bakterien als Abwehrwaffen gegen entsprechende Antibiotika gebildet werden, gehören zur Gruppe der Hydrolasen.

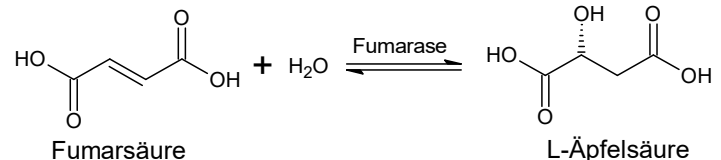
## Lyasen (Kürzel: EC 4.X.X.X.)

Lyasen sind Enzyme die Bindungsspaltungen oder die entsprechende Rückreaktion katalysieren, wobei es sich jedoch nicht um eine Hydrolyse oder eine oxidative Spaltung handelt. Die Summe aller OZ als C-Atome verändert sich nicht. Wird durch eine Lyase eine Einfachbindung in einem Molekül gespalten, so entstehen aus dem Substratmolekül zwei getrennte Fragmente. **In der Regel geht die enzymatische Reaktion bei Lyasen mit der Veränderung der Anzahl an Doppelbindungen einher. ATP/ADP ist nicht beteiligt.**



1. Zeigen Sie, dass sich die Gesamt-OZ (OZ-Summe) für die C-Atome nicht ändert!

Aber auch Enzyme die die entsprechende Rückreaktionen katalysieren, werden Lyasen genannt. Häufig kann ein und dasselbe Enzym sogar die Spaltung und die Synthese katalysieren (vgl. z.B. *Fumarase*)



## Isomerasen (Kürzel: EC 5.X.X.X.)

Sie katalysieren Isomerisierungen, z.B. intramolekulare Verschiebungen von funktionellen Gruppen.

## Ligasen (Kürzel: EC 6.X.X.X.)

Hierbei handelt es sich um Enzyme, die zwei Moleküle **unter ATP-Verbrauch (oder GTP-Verbrauch)** zu einem größeren Molekül verknüpfen.

Besonders wichtig sind **DNA-Ligasen**, die Nucleotide über Ausbildung von Phosphorsäureestern verknüpfen. So können 2 DNA-Stränge zu einem längeren DNA-Strang verknüpft werden.

## Translokasen (Kürzel: EC 7.X.X)

Diese Klasse beinhaltet Enzyme, die für den *passiven* oder *aktiven* Transport von Stoffen durch eine Zellmembran hindurch verantwortlich sind (**Translokation**). Prinzip:  $X_{\text{OrtA}} \rightarrow X_{\text{OrtB}}$

Wenn die Energie für einen aktiven Transport aus der hydrolytischen ATP-Spaltung (Prinzip:  $\text{ATP} + \text{H}_2\text{O} + X_{\text{OrtA}} \rightarrow \text{ADP} + \text{P} + X_{\text{OrtB}}$ ) stammt, wurden diese Enzyme früher häufig der Gruppe der Hydrolasen (EC 3.X.X.) zugerechnet. Da hier jedoch nicht die Hydrolyse selbst die Hauptfunktion ist, sondern der Transportvorgang an sich, werden sie besser in diese neue Gruppe der Translokasen einsortiert. Weiterhin sind hier auch andere Transportproteine zu finden, die im Rahmen eines Cotransports auch andere Stoffe als Cosubstrate nutzen.

Quelle: Diverse Wikipedia-Artikel.

## 2. Übungsaufgabe: Stoffwechselweg der Glykolyse (muss man nicht auswendig können!)

Die Glykolyse ist einer der wenigen Stoffwechselwege, den fast alle Organismen (ALLE Eukaryoten, die meisten Prokaryoten) gemeinsam haben, was auf eine sehr frühe Entstehung hinweist.

- Geben Sie zur Übung zu jedem Enzym der Glykolyse die Enzymklasse an.
- Geben Sie zu jedem Substratmolekül die Anzahl der C-Atome an (z.B.: 5 C-Atome im Molekül: C<sub>5</sub>).
- Bilden Sie die Stoff-, ATP- und eine Reduktionsäquivalenten-Bilanz der Glykolyse.

