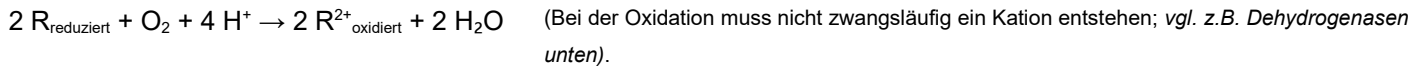


Es lassen sich verschiedene Untergruppen an Enzymen unterscheiden, von denen hier einige vorgestellt sind. Die internationale Enzymkommission vergibt vierstelligen *Enzyme Commissions Numbers (EC-Nummern)*, die international gültigen Zahlenkürzel für die einzelnen Enzyme darstellen..

Oxidoreduktasen (Kürzel: EC 1.X.X.X.)

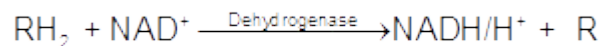
Oxidoreduktasen sind Enzyme der ersten Enzymklasse laut der systematischen Nomenklatur der Enzymkommission der International Union of Biochemistry (IUB) und katalysieren Redoxreaktionen.

Oxidasen entziehen einem Substrat Elektronen und übertragen diese auf molekularen Sauerstoff (O₂). Zusammen mit H⁺ entsteht daraus H₂O oder H₂O₂. 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 H₂O₂ entsteht. Beim **GOD-Test (Glucose-Oxidase-Test)** wird das entstehende H₂O₂ als Cosubstrat für eine **Peroxidase (z.B. Meerrettichperoxidase, EC 1.11.1.7)**. benötigt. Sie katalysiert die Bildung eines Farbstoffs (und H₂O). Der Farbstoff kann quantifiziert werden und ist letztendlich ein Maß dafür, wie viel Glucose in der Probelösung vorlag.

Dehydrogenasen oxidieren ein Substratmolekül, wobei sie gleichzeitig H⁺ entziehen:



Formal entziehen die Enzyme dem Substrat also Wasserstoff H (H = H⁺ + e⁻ bzw. H₂ = 2 H⁺ + 2 e⁻), daher kommt der Name für diese Gruppe von Enzymen („dehydrogen“ = „wasserstoffentziehend“). Die Elektronen bzw. H⁺ werden dabei auf ein Cosubstrat, z.B. NAD⁺, übertragen. Durch Dehydrogenasen entstehen also **Reduktionsäquivalente**.

Transferasen (Kürzel: EC 2.X.X.X.)

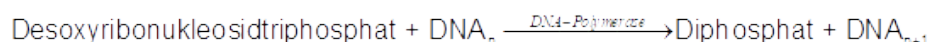
Transferasen übertragen funktionelle Gruppen von einem Molekül (Donor) auf einen Akzeptormolekül

Prinzip: $A-X + B \rightarrow A + B-X$ In diesem Fall ist A der Donor und B der Akzeptor.

Bei den übertragenen Gruppen kann es sich beispielsweise um eine Phosphat- (=“P_i“, 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_i entsteht dabei **Adenosindiphosphat (ADP)**. Ein sehr wichtiges Enzym, das zu den Kinasen gehört ist die **Phosphofruktokinase** (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.

**Hydrolasen (Kürzel: EC 3.X.X.X.)**

Wie der Name schon andeutet, spalten Hydrolasen Substratmoleküle *hydrolytisch*, also unter dem Einfluss von Wasser. Dabei wird i.d.R. auch das Wassermolekül gespalten: X-Y + **HOH** → X-OH + H-Y.

α-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.

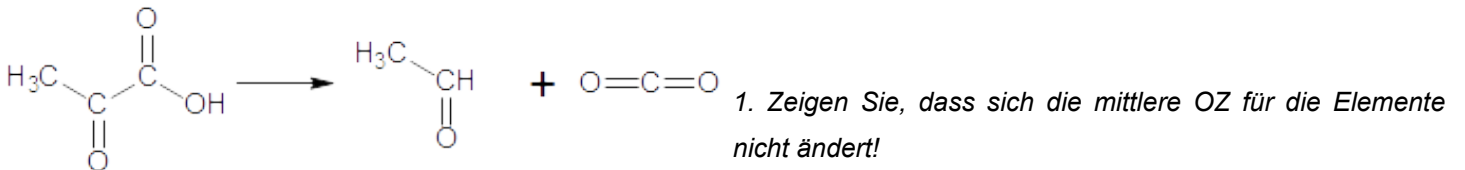
Die Untergruppe der **Esterasen** spalten Estergruppen, meist Carbonsäureester in Alkohole und Carbonsäuren.

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.

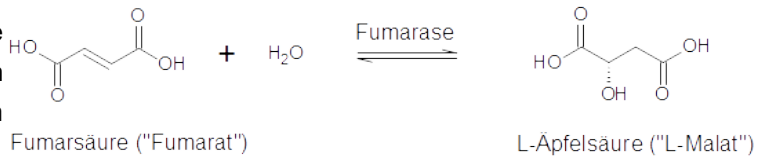
Auch die **β -Lactamasen**, die den Lactam-Ring von Lactam-Antibiotika spalten und von Bakterien als Abwehrwaffen gegen entsprechende Antibiotika gebildet werden, gehören zur Gruppe der Hydrolasen.

Lyasen (Kürzel: EC 4.X.X.X.)

Lyasen sind Enzyme die Bindungsspaltungen katalysieren, wobei es sich jedoch nicht um eine Hydrolyse oder eine oxidative Spaltung handelt. Wird durch eine Lyase eine Einfachbindung in einem Molekül gespalten, so entstehen aus dem Substratmolekül zwei getrennte Fragmente. Diese Molekülsplaltung geht dann mit der Bildung von Doppelbindungen einher. Ein Beispiel stellt die **Pyruvat-Decarboxylase** dar, die die Spaltung von Pyruvat zu Acetaldehyd und CO_2 katalysiert:



Aber auch Enzyme die die entsprechende Rückreaktionen katalysieren, werden Lyasen genannt. Häufig kann ein und dasselbe Enzym sogar die Spaltung und die Synthese katalysieren.



So kann die **Fumarase** das Substrat Fumarsäure zu Äpfelsäure umwandelt, oder das Substrat Äpfelsäure zu Fumarsäure: Ist die Synthesereaktion aus zwei Substratmolekülen zu einem größeren Endprodukt wichtiger bzw. findet in größerem Ausmaß statt, so spricht man auch von **Synthasen**.

Isomerasen (Kürzel: EC 5.X.X.X.)

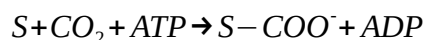
Die **Isomerasen** sind Enzyme, die Isomerierungs-Reaktionen, also die Umwandlung einer Verbindung in eine isomere Struktur, katalysiert. Zur Untergruppe der **Racemasen** gehören dabei solche Moleküle, die eine Anordnungsänderung der Substituenten an Chiralitätszentren katalysieren.

Eine bekanntes Enzym dieser Klasse ist die **Triosephosphatisomerase**, die bei der Glykolyse (siehe Aufgabe unten) die Umwandlung von Dihydroxyacetonphosphat in Glycerinaldehyd-3-Phosphat katalysiert:

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.

Carboxylasen sind Enzyme, die CO_2 (meist in der gelösten Form: HCO_3^-) als Carboxylgruppe in ein Substrat (S) einbauen. Auch dieser Vorgang ist ATP-abhängig.



Herausragende Bedeutung hat die **Rubisco (Ribulosebiphosphat-Carboxylase)**. Es handelt sich um das Enzym, mit dem photosynthetisch aktive Lebewesen Luft- CO_2 fixieren und an ein Substrat (Ribulosebiphosphat) binden, können.

Translokasen (Kürzel: EC 7.X.X)

Diese Klasse beinhaltet Enzyme, die für den Transport von Stoffen durch eine Zellmembran hindurch verantwortlich sind (**Translokation**). Sie wurden früher häufig in die Gruppe der Hydrolasen (EC 3.X.X.) eingegliedert, da die erforderliche Energie für diesen aktiven Transport aus der hydrolytischen ATP-Spaltung (Prinzip: $\text{ATP} + \text{H}_2\text{O} + \text{X}_{\text{OrtA}} \rightarrow \text{ADP} + \text{P} + \text{X}_{\text{OrtB}}$) stammt. 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. Stoffwechselweg der Glykolyse

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 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: C₅).
- Bilden Sie die Stoff-, ATP- und eine Reduktionsäquivalenten-Bilanz der Glykolyse.

