

# Zündkerzen des Lebens

**Enzyme** sorgen dafür, dass bei uns überhaupt etwas funktioniert. Sie katalysieren unzählige Stoffwechselreaktionen, die ohne ihre Hilfe in lebenden Zellen zu langsam oder gar nicht ablaufen könnten.

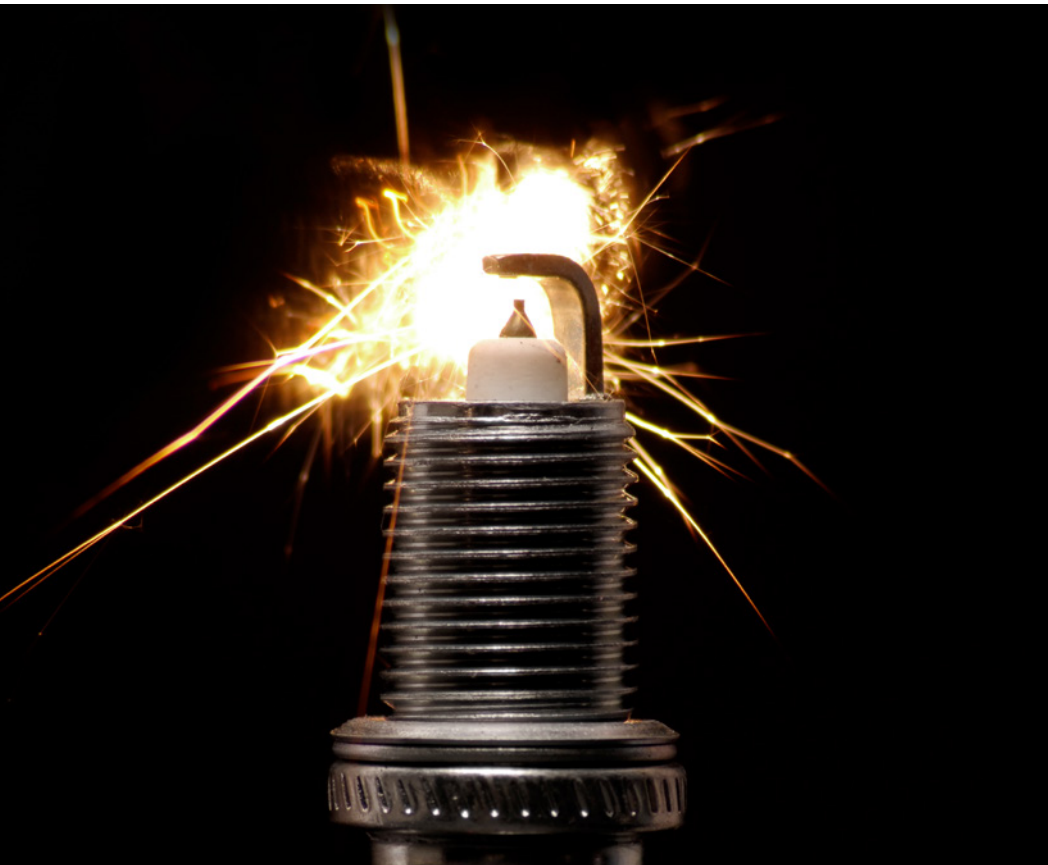
**D**er Begriff Enzym stammt aus dem Griechischen und bedeutet so viel wie „aus Hefe“. Dies erinnert an eine der ersten Reaktionen, die man Enzymen – oder wie man sie damals nannte:

Fermenten – zuordnete, nämlich an die Umwandlung von Zucker in Alkohol durch lebende Hefezellen. Inzwischen weiß man, dass ohne Enzyme ein Leben, so wie wir es kennen, gar nicht möglich wäre. Für viele Reaktionen, die in unseren

Zellen ablaufen, fehlt bei Körpertemperatur nämlich die nötige Aktivierungsenergie. Damit trotzdem die gewünschten und benötigten Stoffwechselprodukte entstehen, braucht die Zelle Biokatalysatoren. Diese Aufgabe übernehmen die Enzyme, die so die Abläufe in der Zelle steuern und kontrollieren.

**Enzymklassen** Der Name setzt sich in den meisten Fällen aus der Bezeichnung des Stoffes, der vom Enzym umgesetzt wird, der vom Enzym katalysierten Reaktion und der Endung -ase zusammen. So kann man beispielsweise aus dem Namen Alkoholdehydrogenase ablesen, dass dieses Enzym Alkohole dehydrogeniert und damit zum Aldehyd oxidiert. Die Acetylcholinesterase spaltet die Estergruppierung im Acetylcholin, während die Adenylatcyclase aus Adenosinmonophosphat cyclisches Adenosinmonophosphat macht (cAMP). Nur einige schon seit längerer Zeit bekannten Enzyme, wie Pepsin, Trypsin, Lysozym oder Renin haben ihre ursprünglichen Trivialnamen behalten.

Insgesamt unterscheidet man nach der international gültigen Klassifizierung sechs Reaktionsklassen von Enzymen: Oxidoreduktasen, Transferasen, Hydrolasen, Lyasen, Isomerasen und Ligasen. Zu den Oxidoreduktasen gehören die Dehydro-



© edfuentesg / iStock / Gettyimages

genasen, Oxidasen und Reduktasen. Sie übertragen Elektronen, katalysieren also Oxidationen oder Reduktionen. Die Transferasen übertragen chemische Gruppen. Zu ihnen gehören neben den Acetyl-, Methyl- und Aminotransferasen auch die Kinasen und Polymerasen.

**Apo-, Co- und Holoenzym** Ein vollständiges Enzym mit all seinen reaktiven Gruppen wird als Holoenzym bezeichnet. Es besteht in der Regel aus einem Proteinanteil, der Apoenzym genannt wird, und weiteren Cofaktoren. Dies sind entweder Metallionen oder häufiger niedermolekulare, organische Moleküle. Sind diese fest, also durch kovalente Bindungen, an den Proteinanteil gebunden, nennt man sie prosthetische Gruppe. Sind sie jedoch nur durch intermolekulare Kräfte, wie Wasserstoffbrückenbindungen, an das Apoenzym gebunden, bezeichnet man sie als Coenzym. In jedem Fall erfüllen sie die katalytische Funktion des Enzyms. Sie stellen die funktionellen Gruppen zur Verfügung, die für die Enzymreaktion benötigt werden, und befinden sich im aktiven Zentrum des Enzyms. Dieses aktive Zentrum kann man sich als eine dreidimensionale spalt- oder höhlenförmige Region aus verschiedenen Abschnitten der Proteinkette vorstellen. Es stellt nur einen relativ kleinen Teil des gesamten Enzymmoleküls dar. Die meisten Aminosäurereste des Enzyms kommen gar nicht mit dem Substrat in Kontakt.

**Die enzymatische Katalyse** Der erste Schritt einer Enzymreaktion ist stets die Bildung eines Komplexes zwischen dem Enzym und seinem Substrat. Als Substrat wird dabei die Ausgangssubstanz, die vom jeweiligen Enzym umgesetzt werden soll, bezeichnet. Die Bindung geschieht im aktiven Zentrum des Enzyms, der Komplex wird vorübergehend durch kovalente Bindungen, Wasserstoffbrückenbindungen oder Van-der-Waals-Kräfte stabilisiert. Enzyme sind dabei sehr spezifisch,

sowohl was das Substrat als auch die Art der Reaktion angeht. Das heißt, ein bestimmtes Enzym kann normalerweise nur mit einem ganz bestimmten Substrat oder chemisch eng verwandten Substraten in Wechselwirkung treten, da nur diese in das aktive Zentrum passen. Sehr anschaulich erklärt wird die Substratspezifität durch das Modell des Schlüssel-Schloss-Prinzips.

Das Substrat passt in das aktive Zentrum des Enzymmoleküls wie ein Schlüssel in sein Schloss. Außerdem kann nur eine bestimmte Reaktion katalysiert werden. Diese Wirkungsspezifität hat den Vorteil, dass im Normalfall keine unerwünschten Nebenreaktionen ablaufen und dadurch auch keine unnützen oder gar schädlichen Nebenprodukte entstehen. Der Enzym-Substrat-Komplex ist eine Art Übergangszustand, der bewirkt, dass die Aktivierungsenergie, die sonst für die gewünschte Reaktion nötig wäre, herabgesetzt wird. Damit wird die Reaktion beschleunigt oder in vielen Fällen bei Körpertemperatur überhaupt erst möglich. Durch die Wechselwirkung zwischen Enzym und Substrat ändert sich die Konformation des aktiven Zentrums, also die räumliche Anordnung der Gruppen. Diese lagern sich noch enger an das Substrat an. Dadurch werden auch die Reaktionspartner, also die reaktiven Gruppen von Enzym und Substrat, dichter zusammengebracht. Die entstehenden Bindungen zwischen Enzym und Substrat liefern die Energie, die für die eigentliche Reaktion benötigt wird. Nun kann das Substrat zum Endprodukt reagieren.

Nach Abschluss der Reaktion lösen sich die Bindungen zwischen Enzym und Endprodukt wieder, denn das Endprodukt passt nun nicht mehr optimal ins aktive Zentrum. Es wird freigesetzt und das Enzym liegt wieder in seiner ursprünglichen Form vor. Es ist nun bereit, mit einem weiteren Substratmolekül zu reagieren.

**Enzymaktivität** Sie ist ein Maß für die Wirksamkeit eines Enzyms. Sie

wird dadurch definiert, wie viel Substrat in einem bestimmten Zeitraum umgesetzt wird, spiegelt also die Reaktionsgeschwindigkeit der katalysierten Reaktion wider. Die Geschwindigkeit hängt zum einen von der Anzahl der Enzyme und der Menge an Substrat ab. Zum anderen haben aber auch die Temperatur und der pH-Wert einen großen Einfluss. So hat jedes Enzym ein Temperatur- und ein pH-Optimum, bei dem seine Umsatzrate am höchsten ist.

Generell wirkt eine Erhöhung der Temperatur auf enzymatische und nichtenzymatische Reaktionen beschleunigend. Dies liegt daran, dass sich Moleküle bei steigender Temperatur schneller bewegen und die Chance, dass die Reaktionspartner aufeinander treffen, dadurch größer ist. Bei Temperaturen unter 0 Grad Celsius (0 °C) laufen Reaktionen in biologischen Systemen so gut wie gar nicht ab. Erhöht man die Temperatur, werden die Reaktionen langsam beschleunigt. Etwa bei 37 °C erreicht die Geschwindigkeit der Enzymreaktionen in menschlichen Zellen ein Maximum, um bei weiter steigender Temperatur wieder abzufallen. Bei hohen Temperaturen verändert sich nämlich die Tertiärstruktur, also die räumliche Form des Enzyms irreversibel. Dies ist auch der Grund, warum man eine Körpertemperatur jenseits von 42 °C nicht lange überlebt. Die Proteinanteile der Enzyme denaturieren und die Enzyme können nicht mehr arbeiten, wodurch der Stoffwechsel zum Erliegen kommt.

Das pH-Optimum der verschiedenen Enzyme ist dem Wirkort angepasst und eng begrenzt. Der optimale pH-Wert liegt für die meisten Enzyme zwischen 6 und 8. Es gibt aber auch Ausnahmen, wie beispielsweise das Verdauungsenzym Pepsin, das sich an das stark saure Milieu des Magens angepasst hat. ■