

QUELLE DES LEBENS:
ENZYME
WIE SIE WIRKEN UND HELFEN

Winfried Miller



Quelle des Lebens: Enzyme

Wenn wir uns fragen, was Enzyme und ihre Aufgaben im menschlichen Körper und in jedem lebendigen Organismus sind, so führt uns dies direkt zu der Frage, was Leben ist. Denn keine andere Substanz ist so eng wie die Enzyme mit den Prozessen verbunden, die das Leben ausmachen. Enzyme steuern Wachstum, Veränderung, Tod und Neuentstehung aller 100 000 Milliarden Zellen in unserem Körper. In jeder dieser 100 000 Milliarden Zellen gibt es Hunderte, ja Tausende von verschiedenen Enzymen, die zudem auch von diesen Zellen selbst produziert werden. Und auch diese Produktion wird wiederum von Enzymen gesteuert. Enzyme gewährleisten, dass unser Körper all seine Aufgaben erfüllen kann: atmen, sich bewegen, Verletzungen selbstständig reparieren, sich ernähren, sich gegen Krankheitserreger und schädliche Substanzen schützen und zur Wehr setzen.

All diese Aufgaben erfüllt unser Körper – im Grunde fast ohne dass wir es bewusst zur Kenntnis nehmen. Erst wenn etwas nicht stimmt, wenn etwa Entzündungen nicht abheilen wollen, die Gelenke andauernd schmerzen und vielleicht sogar Tumoren entstanden sind, wird uns klar, was es bedeutet, wenn es heißt: »Gesundheit ist das höchste Gut.« Und für unsere Gesundheit spielen Enzyme eine entscheidende Rolle. Um zu verstehen, was unsere Gesundheit mit diesen wunderbaren Substanzen namens »Enzyme« zu tun hat, müssen wir uns einen Schritt

hinaus- oder, besser gesagt, hineinwagen in die wunderbare, geheimnisvolle Welt der Zellen und Gewebe in unserem Körper. Viele der Dinge, die im Folgenden berichtet werden, sind erst seit ein paar Jahrzehnten bekannt. Die Wissenschaft hat Großes entdeckt – trotzdem wirft jede beantwortete Frage mindestens zwei neue Fragen auf. In einigen Jahren wird dieses Buch sicherlich um neue Erkenntnisse erweitert werden müssen.

Was sind Enzyme?

Die Forschung zur wissenschaftlichen Aufklärung der Enzyme ist noch relativ jung. Es gibt Enzyme zwar bereits seit ca. 3,5 Milliarden Jahren und seit ca. 8000 Jahren werden sie von Menschen (ohne etwas über die Hintergründe zu wissen) gezielt eingesetzt, nämlich etwa bei der Gärung von Alkohol, dem Gerben von Leder und der Produktion von Käse. In der »modernen« westlichen Medizin wiederum begann man erst vor nicht einmal 200 Jahren, sich der Heilkraft der Enzyme allmählich zu bemächtigen. Naturvölker, vor allem die, die mit besonders enzymreichen Pflanzen wie der Ananas und der Papaya gesegnet waren, verwenden Enzyme allerdings seit Urzeiten auch zu Heilzwecken. (Dazu mehr ab ► Seite 19.)

Enzyme sind Proteine

Heute kann man – etwa in einem Lexikon – unter dem Stichwort »Enzyme« lesen,

es handele sich um Eiweißmoleküle oder auch Proteine, die von lebenden Zellen produziert werden und biochemische Reaktionen im Körper, aber auch außerhalb des Körpers steuern. Man vermutet, dass es im Organismus des Menschen etwa 15 000 verschiedene Enzyme gibt (manche Autoren sprechen auch von 30 000), von denen aber erst etwa 3000 überhaupt näher erforscht sind.

Aber: Was sind denn nun eigentlich Eiweiße oder Proteine? Jeder Mensch, so scheint es, weiß doch, was Proteine sind: Eiweiß, Fleisch, Quark – aber auch Soja, wie es überhaupt viele pflanzliche Proteine gibt. Das ist alles gar nicht falsch. Woraus aber bestehen Proteine? Liegen sie, ähnlich wie vielleicht Eisen oder Zink oder Sauerstoff, fertig im Fleisch oder der Sojabohne bereit? Wir essen sie und die Zellen bauen daraus unseren Körper auf? Einschließlich Haaren, Knochen und roten Blutkörperchen?

Das nähert sich zwar einem Teil der Wahrheit an, aber nur entfernt. Denn Proteine sind offenkundig ein wichtiger Baustoff in unserem Körper, aber: Die Proteine, von denen hier die Rede ist und die man Enzyme nennt, steuern ja diesen Aufbau- oder Wachstumsprozess. Wie können sie dann gleichzeitig der Baustoff sein? Es ist doch nicht der Zement auch gleichzeitig der Maurer! Enzyme müssen also ganz besondere Proteine sein.

Gesucht: Ganz besondere Proteine

Was ist der Unterschied zwischen »normalen« Proteinen und Enzymen? Das Besondere an den Enzymen ist, dass sie katalytische Eigenschaften haben: Sie können in anderem biologischem Material (Zucker, Fett, Eiweiß) Veränderungen

WO DIE NAMEN HERKOMMEN

Das Wort Enzym stammt aus dem Griechischen: *en zyme* heißt übersetzt »in der Hefe«. Eine veraltete Bezeichnung für Enzyme ist Ferment (vom lateinischen *fermentum* = Sauerteig).

Der Name Protein stammt von dem griechischen Wort »*proteuein*« ab, welches bedeutet »der Erste sein«.

bewirken. Man nimmt heute an, dass es im Organismus kaum eine Proteinart gibt, die – wenn sie nicht als Stütz-, Transport- oder Speichereiweiß dient – nicht die Funktion eines Enzyms hat. So ist beispielsweise im Muskelgewebe, neben den Eiweißmolekülen, die die Muskelfasern bilden und sich aktiv zusammensetzen können, eine hohe Konzentration an Enzymen vorhanden. Diese stellen die Energie für die Muskelarbeit bereit. Auch die Faktoren, welche die Blutgerinnung steuern und regeln, sind Enzyme. An den komplizierten Steuerungsfunktionen des Immunsystems sind ebenfalls ganz wesentlich Enzyme beteiligt. Für die Enzyme gibt es in unserem Körper viel zu tun: In den Zellen findet in jeder Sekunde die nahezu unvorstellbare Zahl von etwa 30-mal 10^{15} (= 30 Billionen) chemischen Reaktionen statt, die im Wesentlichen von Enzymen gesteuert werden. Der Körper befindet sich nämlich in einem ständigen Austausch- und Erneuerungsprozess. Alte Strukturen werden permanent abgebaut und durch neue ersetzt. Während wir heutzutage eine Lebenserwartung von 80 Jahren haben, lebt jede unserer 100 000 Milliarden Zellen nur wenige Wochen, manche, wie etwa die Blutkörperchen oder Zellen unseres Abwehrsystems, nur wenige

Tage, Stunden oder auch nur Minuten. Es handelt sich um einen gewaltigen, permanenten Wachstums- und v. a. auch »Reparatur«-Vorgang, welcher Energie und Substanz benötigt. Tatsächlich verwendet unser Körper dafür, dass wir uns bewegen, nur den geringsten Teil der aufgenommenen Kalorien, nämlich – je nachdem, ob wir vor allem den ganzen Tag herumsitzen oder unsere Muskeln anstrengen – zwischen 10 und 20 %. Der ganze »Rest« ist notwendig, um für die Grundprozesse wie die Atmung, die Verdauung, das Schlagen des Herzens Energie bereit zu stellen. Und vor allem auch für die Abbau- und Aufbauprozesse, die in den Zellen stattfinden. Diese gesamten Abbau-, Umbau- und Aufbauprozesse bezeichnet man als Stoffwechsel.

Enzyme steuern den Stoffwechsel

Und hier sind es die Enzyme, die es schaffen, diesen Stoffwechsel mit einem letztlich sehr geringen Energieverbrauch zu bewerkstelligen. Denn sie sind in der Lage, biochemische Reaktionen extrem zu beschleunigen, ohne dass der Energieverbrauch und die Temperatur entsprechend ansteigen, und ohne dass sich die beteiligten Enzyme bei dieser Reaktion verbrauchen. Vielmehr stehen sie nachher unverändert wieder zur Verfügung, um die nächste Reaktion zu steuern. Deshalb bezeichnet man die Enzyme auch als Katalysatoren, genauer gesagt Biokatalysatoren:

Sie steuern und beschleunigen biochemische Reaktionen (dazu mehr ab

► Seite 27).

Alles Leben ist verwandt

Ohne Enzyme gäbe es auf der Welt kein Leben – weder pflanzliches noch tierisches. Wo kommt aber das Leben her? Wie ist überhaupt das Leben entstanden? Die Frage beschäftigt seit jeher die Theologie wie die Naturwissenschaft. Das in der Bibel verwendete Bild, dass der Mensch aus Staub (bzw. Lehm) gemacht sei, ist gar nicht so falsch. Der Lehmfigur wurde dann der göttliche Atem eingehaucht, auf diese Weise wurde sie zum Leben erweckt. Der eigentliche Schöpfungsakt besteht darin, unbelebte Materie in lebendige Organismen zu verwandeln. Er geschah vor ungefähr 3,5 Milliarden Jahren.

Göttliche Schöpfung oder Tanz der Atome?

Vor Milliarden von Jahren, kurz nach dem Urknall, war unsere heutige Erde ein wüstes, brodelndes Etwas. Sie war fast vollständig von Meeren bedeckt, die aber beileibe nicht mit den heutigen Ozeanen verglichen werden können. Vielmehr waren in diesem »Urmeer« alle auch heute noch auf der Erde vorkommenden chemischen Elemente gelöst. Man spricht deshalb auch von der »Ursuppe«. Die in der Ursuppe schwimmenden Substanzen gingen miteinander chemische Reaktionen ein, es brodelte, knallte und dampfte. Befeuert wurden diese Prozesse von gewaltigen kosmischen Energien, die in Form von Blitzen in das Urgemisch einschlugen.

Im Laufe von Millionen von Jahren bildeten sich dann festere Strukturen heraus in Form von Molekülen und Molekülketten und irgendwann entstand eine vollkommen neue Art von chemischen Verbindungen: das erste Leben! Voraussetzung dafür war wahrscheinlich,

dass sich die Temperatur der Ursuppe allmählich auf unter 100 Grad Celsius abkühlte. Dies wurde dadurch möglich, dass sich in der Atmosphäre Wolken bildeten, die die Einstrahlung der Sonne abschirmten.

Der Bauplan des Lebens

Der Bauplan des Lebens – sei es der von Pflanzen, Bakterien, Tieren oder Mensch – ist von genialer Einfachheit. Organische Materie besteht zu 99 % nur aus den vier Elementen Stickstoff (N), Kohlenstoff (C), Wasserstoff (H) und Sauerstoff (O). Ihr Grundgerüst bilden Kohlenstoffatome. Diese lagern sich zu ganz unterschiedlichen räumlichen Strukturen zusammen, sie bilden Ketten, Ringe und Gitter. An diese Kohlenstoffgerüste docken sich dann in schier unendlicher Kombinationsmöglichkeit Stickstoff-, Wasserstoff-, Sauerstoff- und weitere Kohlenstoffatome an. Die Biomoleküle verbinden sich untereinander zu Zellen, Zellverbänden, Geweben und Organen. Man kann vier Grundarten von Biomolekülen unterscheiden, die bei allen Lebewesen vorkommen:

- Nukleinsäuren bauen die Erbinformationen auf, ohne die sich Zellen nicht vermehren könnten.
- Aus den Aminosäuren entstehen die Protein- bzw. Eiweißverbindungen,
- Zucker bauen die Kohlenhydrate auf und
- Fettsäuren die Fette.

Die ersten lebendigen Wesen waren winzig kleine, einzellige Organismen, die sich – im Unterschied zur unbelebten Materie – von der Umwelt zum Teil selbstständig machten, indem sie

SPEZIALISTEN

Die ersten dieser spezialisierten organischen Verbindungen, die dieses Kunstwerk vollbringen konnten und damit die Grundlage der Entstehung und Aufrechterhaltung des Lebens bildeten und heute noch bilden, entstanden vor zirka 3,5 Milliarden Jahren: Es sind die Eiweißverbindungen, die man seit dem Jahre 1876 Enzyme nennt.

es schafften, Sauerstoff sowie Proteine, Zucker und Fette (= Nahrung) aufzunehmen und diese durch eigene biochemische Prozesse so zu verändern, dass sie zu Bausteinen für ein geregeltes Zellwachstum und die Fortpflanzung wurden. Dazu konnte es u. a. kommen, weil sich spezialisierte Eiweißmoleküle gebildet hatten, die diesen Stoffwechsel und diese Lebensprozesse so steuern konnten, dass es – salopp gesprochen – den Einzeller weder in einer unkontrollierten chemischen Reaktion zeretzte (wie etwa bei einem Popcorn) noch dass er verhungerte.

Aus den ersten Einzellern entwickelten sich alle höheren Lebensformen; vereinfacht gesagt dadurch, dass sich die Zellen immer weiter differenzierten und spezialisierten. Der menschliche Organismus besteht aus der unvorstellbar großen Zahl von 100 Billionen Zellen – eine Zahl mit 12 Nullen. Alle diese 100 Billionen Zellen sind in der Entwicklung jedes einzelnen Menschen aus einer einzigen Eizelle entstanden. Insofern wiederholt sich bei Wachstum und Reifung jedes einzelnen Individuums der gesamte Prozess der Evolution von Neuem.

Die Wunderwelt der Enzyme

Enzyme begegnen uns überall in unserem Alltag und in der Natur. Hätten Sie gewusst, dass ohne Enzyme die Natur allmählich ersticken würde? Mehr als 90 Prozent der auf der Erde abgestorbenen Pflanzen, abgeworfenen Blätter wie auch Lebewesen werden von einer Vielzahl von Bakterien, im Boden lebenden Insekten, Würmern und Pilzen abgebaut.

ENZYME: VORLÄUFIGER STECKBRIEF

Geburt: vor etwa 3,5 Milliarden Jahren

Gezielte Verwendung durch den Menschen:

ab ungefähr 8000 vor Christus

Entdeckung für die Medizin: 1833

Taufe auf den Namen Enzym: 1876

Die wichtigste Rolle spielen dabei die kleinsten unter ihnen: Bakterien und Pilze. Sie ernähren sich dadurch, dass sie das organische Material durch die Ausscheidung von Verdauungsenzymen vorverdauen, um dann die verflüssigten Bestandteile direkt über ihre Zelloberflächen aufzunehmen. Nach dem Verdauungsprozess geben sie einfache organische und anorganische Verbindungen an den Boden zurück, von wo aus sie von den Pflanzen wieder als Nährstoffe aufgenommen werden können. Ohne diese Enzyme der Bakterien und Pilze würden unsere Wälder alsbald unter ihren eigenen abgeworfenen Blättern ersticken.

Enzyme bringen Glühwürmchen zum Leuchten

Das für die »Biolumineszenz« verantwortliche Enzym nennt man Luciferase. An dieses Enzym ist eine Leuchtsubstanz als Substrat gebunden – das Luciferin –, welches durch einen Oxidationsvorgang aktiviert wird. Hierbei wird ein Lichtteilchen ausgestoßen, welches den Leuchtvorgang auslöst. Das Leuchten mancher Tiere ist auf (harmlose) Bakterien zurückzuführen, die mit ihrem Wirt in Symbiose leben und Luciferin umwandeln. Andere Tiere wie Leuchtkäfer, Süßwasserschnecken und Muschelkrebse besitzen ein eigenes Leuchtsystem. Auch verschiedene Meeresalgen sind Träger des Leuchtens und für das berühmte Meeresleuchten verantwortlich.

Warum Tintenfische chemische Kampfstoffe abbauen können

Forscher von der Uni Frankfurt ist es gelungen, aus den Nervenzellen des Tintenfisches *Loligo vulgaris* ein Gegenmittel gegen chemische Kampfstoffe zu isolieren. Es handelt sich um ein Enzym, welches Gifte vom Typ der sogenannten Organophosphonate abbauen kann. Ein Beispiel dafür ist das Sarin, ein Nervengas, das 1995 bei dem Anschlag auf die U-Bahn in Tokio eingesetzt wurde. Die giftigen Phosphorverbindungen hemmen bestimmte Aminosäuren im aktiven Zentrum von Enzymen, so z. B. im für die Nervenleitung unverzichtbaren Enzym Acetylcholinesterase. Die Forscher taufte das Tintenfisch-Enzym auf den komplizierten Namen Diisopropylfluorophosphatase, abgekürzt DFPase. Die DFPase spaltet das Nervengift in unschädliche Teile auf. Das Enzym ist so aktiv, dass der Tintenfisch im Vergleich zu anderen Organismen sehr große Mengen Nervengift verträgt, ohne geschädigt zu werden.

Enzyme im Alltag

Ohne etwas über ihre Fähigkeiten zu wissen, setzten die Menschen Enzyme schon lange vor der modernen Zeitrechnung bei der Herstellung von Käse, Brot, Bier und Wein ein. Seit es die moderne Biotechnologie ermöglicht, Enzyme aus Zellen zu isolieren, sind sie weit verbreitete Hilfsmittel in der Medizin, Biologie, Chemie, aber auch bei der Herstellung von Medikamenten, Lebensmitteln und Waschpulver. Insbesondere die moderne Gentechnik wäre ohne den Einsatz von Enzymen gar nicht denkbar.

So wird zum Beispiel das Insulin, welches für Diabetiker lebenswichtig ist, mithilfe von Enzymen hergestellt. Es wird aus den Bauchspeicheldrüsen von Rindern oder Schweinen gewonnen oder auch von gentechnisch veränderten Mikroorganismen produziert. Enzyme haben hier die Aufgabe, das Insulin zu reinigen, sodass es nicht vom Körper abgestoßen wird. So unterscheidet sich das Schweine-Insulin vom menschlichen Insulin nur durch eine einzige Aminosäure – dieser winzige Unterschied reicht aber bereits aus, um seine Verträglichkeit für den Menschen zu stören. Durch einen gezielten Spaltvorgang trennen eiweißauflösende Enzyme diese Aminosäure ab.

Das unter die Haut gespritzte Insulin wirkt genauso wie das von der Bauchspeicheldrüse hergestellte menschliche Hormon. Es wird in die Blutbahn aufgenommen und schleust den Blutzucker von dort in die Körperzellen. Die Blutzuckerkonzentration, die bei Diabetikern gefährlich hoch werden kann, sinkt ab, der Körper wird wieder mit Glukose versorgt.

Für die Gentechnik sind Enzyme unverzichtbare Werkzeuge. Sie werden benötigt, um die DNS, die die Erbinfor-

mation trägt, zu schneiden, zusammenzufügen, ab-, auf- und umzubauen, zu isolieren und zu identifizieren. Dabei werden gerade an diese Enzyme sehr hohe Anforderungen hinsichtlich ihrer Reinheit gestellt. Deshalb gehörten sie zu den ersten Produkten überhaupt, die biotechnisch hergestellt wurden. Denn durch die Verbindung gentechnischer Methoden und biotechnischer Verfahren können Enzyme in großen Mengen und herausragender Reinheit zur Verfügung gestellt werden. Viele Methoden der modernen Biotechnologie sind heute nur deswegen anwendbar, weil die dafür notwendigen Enzyme gentechnisch sehr sauber hergestellt werden können. Auf dem Gebiet der Tierzucht ist zum Beispiel die Phytase zu nennen, ein Enzym, das Phosphat aus pflanzlichen Quellen verfügbar macht. Dieses Enzym kommt in den Mägen von Rindern vor, nicht aber bei Schweinen oder Hühnern. Diese Tiere können daher pflanzliches Phosphat schlecht aufnehmen und verwerten; deshalb hat man früher dem Futter Phosphat zugesetzt, um ein gutes Wachstum der Tiere zu erreichen. Die gentechnische Herstellung der Phytase durch die Klonierung des Gens in dem Pilz *Aspergillus niger* ermöglicht es, die Phytase dem Futter beizumischen, um das pflanzliche Phosphat für die Tiere besser verfügbar zu machen. Dadurch wird nicht zuletzt die Belastung der Umwelt mit von den Nutztieren ausgeschiedenem Phosphat erheblich reduziert.

Ein weiteres Beispiel ist das Enzym Chymosin, das bei der Käseherstellung eine wichtige Rolle spielt. Es wurde früher aus dem Lab in Kälbermägen gewonnen. Als die Nachfrage nach Käse immer größer wurde, befürchtete man schon Produktionsengpässe. Heute wird Chymosin mithilfe eines gentechnisch veränderten

LEBENSMITTEL	ENZYM	WIRKUNGSWEISE
Fruchtsäfte	Xylanase	Knackt Zellwände auf, dadurch größere Saftausbeute und Klärung von Fruchtsäften.
	Amylase	Baut Trübstoffe ab.
Backwaren	Hemicellulase, Amylase, Xylanase	Bauen Pflanzenfasern ab und verbessern so die Beschaffenheit des Teiges.
Eiprodukte	Glukoseoxydase, Katalase	Baut Wasserstoffperoxid ab, verlängert dadurch die Haltbarkeit und beugt Verfärbungen vor.
Süßwaren	Invertase	Spaltet Zucker und verhindert dadurch, dass Füllungen (z. B. in Pralinen) hart werden.
Fleischverarbeitung	Protease	Spaltet Eiweißverbindungen und macht das Fleisch zarter und aromatischer. Wird auch zur Abtrennung des Fleisches von Knochen benutzt (Separatorenfleisch).

Hefepilz produziert und steht in nahezu unbegrenzter Menge und größerer Reinheit zur Verfügung.

Waschpulver wäscht besser durch Enzyme

Ein großer Markt für die sogenannten technischen Enzyme – an deren Reinheit weniger hohe Anforderungen gestellt werden müssen – ist heute der Waschmittelbereich. Hier kommen vor allem Lipasen und Proteasen zum Einsatz. Lipasen können Fette spalten, Proteasen bauen Eiweiße ab. Dies sind höchst praktische Fähigkeiten, wenn es darum geht, hartnäckige Flecken aus der Wäsche zu entfernen. Musste man früher Wäsche kochen und bleichen, bei entsprechender Belastung der Umwelt, so ermöglicht es heute der Einsatz von Enzymen, schon bei 40 oder 60 Grad Waschttemperatur und mit weniger Waschpulver eine optimale Sauberkeit zu erreichen. Bei der Lebensmittelproduktion werden

Enzyme für eine Vielzahl von Zwecken eingesetzt; die Tabelle auf ► Seite 14 zeigt nur einen kleinen Ausschnitt. Es soll hier nicht verschwiegen werden, dass der weit verbreitete Einsatz von Enzymen gerade in der Lebensmittelindustrie nicht unproblematisch ist. Zwar werden die Enzyme, die sehr hitzeempfindlich sind, bei der Herstellung zerstört. Trotzdem befürchtet man, dass sie Allergien auslösen können und möglicherweise – denn Enzyme sind ja höchst potente Moleküle – noch unbekannt, schädliche Wechselwirkungen mit den körpereigenen Enzymen eingehen. Kritiker wünschen sich hier stärkere Kontrollen und eine Deklarationspflicht für Enzyme auf der Verpackung.

Enzyme unter die Lupe genommen

Enzyme sind Eiweißstoffe oder Proteine, die aus langen Ketten von Aminosäuren

aufgebaut sind. Manchmal sind es über tausend solcher Aminosäuren, die hintereinander gereiht sind. Dabei gibt es im menschlichen Körper nur 20 verschiedene Aminosäuren, aus denen letztlich alle Proteine zusammengebaut sind – aber diese Zahl reicht völlig aus, um alle Lebensformen hervorzubringen. Man schätzt, wie schon gesagt, dass in unserem Organismus ungefähr 15 000 verschiedene Enzyme arbeiten (manche Autoren sprechen auch von bis zu 50 000). Sie unterscheiden sich voneinander »lediglich« durch die Abfolge der Aminosäuren. Diese Abfolge ist allerdings entscheidend dafür, welche äußere Gestalt ein Enzym annimmt. Denn die chemischen Elemente, aus denen die Aminosäuren bestehen (im Wesentlichen sind dies Sauerstoff (O), Wasserstoff (H), Kohlenstoff (C) und Stickstoff (N)), üben aufeinander Anziehungskräfte aus, die dazu führen, dass sich die langen Aminosäurenketten kräuseln und verknäulen. Es bilden sich zwischen einzelnen Aminosäuren quasi Brücken aus (sogenannte Peptidbrücken); diese verleihen dem Protein letztlich seine feste Struktur. Unter einem sehr hoch auflösenden Mikroskop sehen Enzyme deshalb aus wie unordentlich und lose aufgewickelte Wollknäuel.

Sie haben eine sehr zerklüftete Oberfläche und weisen höhlenförmige Einbuchtungen auf. Was auf den ersten Blick wie ein zufälliges Durcheinander wirkt, hat jedoch in höchstem Maße System. Denn jede gleiche Aminosäurenkette verknäult sich in identischer Weise. Jedes Enzym gleicher Bauart nimmt deshalb die gleiche Form oder Struktur an; jede andere Aminosäurenreihenfolge führt zu einer spezifisch anderen Struktur mit typischen anderen Einbuchtungen und Höhlen. Dies ist extrem wichtig dafür,

wie die Enzyme funktionieren, denn es sind diese räumlichen Strukturen, die festlegen, was ein Enzym macht. Eines sei hier schon angemerkt (wir werden später aber noch einmal näher darauf eingehen): Wenn Sie sich vorstellen, dass man 20 verschiedene Bausteine Hunderte oder Tausende von Malen kombiniert, so kommt es natürlich vor, dass bei verschiedenen Enzymen durchaus Gemeinsamkeiten da sind. Nämlich in Form von (nahezu) identischen Abschnitten der Ketten, wodurch in der räumlichen Struktur baugleiche Elemente entstehen.

Wo kommen die Enzyme her?

Enzyme werden fortlaufend in der lebenden Zelle gebildet. Dieser Produktionsprozess gehört zum genetischen Bauplan der Zellen. Die Lebensdauer der Enzyme ist jedoch begrenzt. Manche Enzyme bleiben nur ungefähr 20 Minuten voll funktionsfähig und müssen danach bereits von neu produzierten »Kollegen« ersetzt werden. Andere Enzyme bleiben mehrere Wochen und Monate aktiv, bis auch sie in den »Ruhestand« treten und ersetzt werden müssen. Dieser Ersetzungs- oder Neubildungsprozess wird ebenfalls von Enzymen gesteuert – woraus man auch ersehen kann, dass die Enzyme untereinander in Verbindung stehen und miteinander »kommunizieren«.

Diese Verbindung ist auch deshalb wichtig, weil die meisten organischen Reaktionen nicht durch ein Enzym alleine, sondern durch die Zusammenarbeit mehrerer verschiedener Enzyme gesteuert werden. Diese arbeiten oft – wie verschiedene Zündstufen beim Start einer Mondrakete – in hintereinander

geschalteten Stufen, wobei ein Enzym jeweils seinen Nachfolger aktiviert, bis die Reaktion zu Ende geführt ist. Solche sogenannten »Enzymkaskaden« haben den Vorteil, dass die gesteuerte Reaktion wesentlich besser kontrollierbar ist (sie kann jederzeit unterbrochen werden) und zudem weniger Energie erfordert.

Enzyme werden zwar nur in lebenden Zellen hergestellt, können aber – wenn das Milieu, d. h. Temperatur und pH-Wert, stimmt, dann auch außerhalb von Zellen, wie etwa in einer Petri-Schale im Labor, bio-chemische Reaktionen katalysieren.

Wie gesagt: Wie alle

Proteine werden Enzyme in den Zellen hergestellt. Hier steuert der in den 46 Chromosomen des Zellkerns festgelegte genetische Code letztlich den genauen Aufbau eines jeden Proteins. Ein Chromosom ist ein langkettiges Molekül mit dem Namen Desoxyribonukleinsäure (DNS). Genau betrachtet, besteht es aus zwei umeinander gedrehten Phosphat-Zucker-Strängen, die durch Basenpaare



[2] Doppelhelix

wie die Treppen einer Wendeltreppe miteinander verbunden sind. Das Ganze hat die Gestalt der berühmten »Doppelhelix«, die 1953 von den amerikanischen Forschern James Watson und Felix Crick entdeckt wurde. Beide erhielten dafür 1962 den Nobelpreis für Medizin. In die Wunder der Genetik können wir uns hier nicht weiter vertiefen – nur so viel sei gesagt: Soll in der Zelle ein Protein produziert werden, ribbelt sich die DNS an einem bestimmten Abschnitt auf und »sagt« den Ribosomen (so nennt man die Proteinproduzenten in den Zellen) auf diese Weise, welches Protein

hergestellt werden soll. Solch ein DNS-Abschnitt, welcher jeweils die Aminosäuresequenz eines bestimmten Proteins codiert, ist ein Gen.

Welche Zelle welche Proteine und Enzyme produziert, wird also jeweils durch Gene gesteuert. Allerdings können bei der Geschwindigkeit und der Häufigkeit, mit der neue Aminosäureketten produziert werden, Fehler auftreten. Es sind wiederum spezialisierte Enzyme, die hier eine Art Qualitätskontrolle vornehmen, indem sie fehlerhafte Genabschnitte reparieren und missratene Proteine vernichten.

ERBGUT

Das menschliche Erbgut besteht aus ca. 3,27 Milliarden Basenpaaren. Daraus formieren sich beim Menschen ca. 23 000 Gene. Diese wurden erst im Jahre 2000 durch das internationale »Human-Genom-Projekt« in ihrer Gesamtheit beschrieben.

WUNDERWELT DER ZELLE

»Jede einzelne Zelle unseres Körpers ist durch Zellteilung entstanden und im Prinzip ähnlich aufgebaut. Jedes Lebewesen (egal, ob Mensch, Tier oder Pflanze) weist zudem eine Ahnenreihe auf, die in direkter Linie bis zu einer einzigen Urzelle zurückführt, die sich vor gut 3,5 Milliarden Jahren im Ur-Ozean gebildet haben muss.

Die einzelne Zelle ist mit bloßem Auge nicht zu erkennen, auch unter einem normalen Mikroskop sieht man noch nicht viel von ihr, außer vielleicht einen Zellkern und eine äußere Begrenzung, die Zellwand. Tatsächlich aber ist jede einzelne Zelle ein kleines Universum, dessen Beschreibung aus einem Science-Fiction-Roman stammen könnte.«

Dem Wissenschaftsjournalisten Johann Grohe ist es gelungen, das Innenleben einer Zelle sehr plastisch zu schildern: »... erst wer sich die Zelle gewaltig vergrößert vorstellt, begreift, wie wundersam und unfassbar komplex das molekulare Räderwerk ineinander greift, das ihren Stoffwechsel am Laufen hält. Wer sich etwa eine Zelle auf die Größe einer Kathedrale aufgebläht denkt – der Mensch, zu dem sie gehört, würde ähnlich vergrößert seinen Kopf bis weit ins All recken –, stieße in ihrem Inneren auf ein scheinbar heillooses Durcheinander. Viele Milliarden Proteine in etwa 10 000erlei Gestalt, jedes groß wie eine Walnuss, schwirren durch die Kathedralen-Zelle. Einige schließen sich zusammen zu karotten- oder donutförmigen Gebilden. Andere formieren sich zu einem Gestänge, dessen Streben den Raum wie eine eingerüstete Großbaustelle erscheinen lassen. Wieder andere heften sich als Poren in die Plane, die den ganzen Innenraum umschließt. Und über eine Million etwa orangengroße Protein-Komplexe sind unentwegt damit beschäftigt, neue Proteine herzustellen.

Jedes dieser Moleküle hat seine eigene, hochspezifische Aufgabe: Das eine pumpt Ionen aus der Kathedrale heraus, das nächste schneidet ausgediente Proteine klein, ein drittes transportiert den Müll nach draußen, oder es formt ihn zu einem Rohstoff um, aus dem sich neue Utensilien bauen lassen. Einige dienen als Signalsubstanz, andere als Schalter. Und vor allem sind sie fast alle unentwegt damit befasst, sich wechselseitig zu verändern.

Die Zentrale, die all dies Treiben steuert, befindet sich im Zellkern, der kugelförmig und groß wie ein sechsstöckiges Haus ist. Sein Inneres ist bis oben hin vollgestopft mit einem 10 000 Kilometer langen Seil. Etwa so dick wie das Anlasserkabel im Auto, ist es in 46 unterschiedlich lange Stücke, die Chromosomen, aufgeteilt.

Auf diesem Kabel ist nun, in Gestalt von sechs Milliarden Buchstaben, die genetische Botschaft niedergeschrieben. Dass es der Zelle jedoch gelingt, in der hochhaushohen Steuerzentrale auf dem Tausende von Kilometern langen Strang stets diejenige Passage zu finden, die genau den Befehl enthält, den es nun abzulesen und auszuführen gilt, mutet wie ein Wunder an.« (*aus dem Spiegel vom 24.2.2003*)

KAPITEL 2

Die Geschichte der Enzymtherapie

Die Heilkraft der Enzyme wird in der Medizin der Naturvölker seit Jahrhunderten, wenn nicht Jahrtausenden genutzt. Dies betrifft insbesondere die Anwendung der besonders enzymreichen tropischen Früchte Ananas und Papaya, deren Hauptenzyme, nämlich das Bromelain (Ananas) und das Papain (Papaya), auch wichtige Bestandteile der modernen Enzympräparate in der Medizin sind.

Enzymtherapie: Eine uralte Erfahrung

Die Erkenntnisse der modernen Pharmakologie (Arzneimittellehre) und Medizin bestätigen heute (wie auch auf anderen Gebieten) das reichhaltige Erfahrungswissen, welches Menschen, in deren natürlichem Lebensraum die Früchte seit jeher wild wachsen, im Laufe

von Jahrhunderten sammelten und von Generation zu Generation weiter gaben. Nachdem unsere westliche Medizin sich mit der Erfindung des Reagenzglases lange Zeit fast ausschließlich auf die Erforschung und Entwicklung von im Labor hergestellten Medikamenten konzentriert hat, besinnt man sich seit einigen Jahrzehnten wieder auf die bewährten Mittel der Naturheilkunde. Erst seit nicht viel mehr als einem Jahrzehnt erforschen die großen westlichen Pharmakonzerne den Regenwald auf der Suche nach neuen Wirkstoffen gegen Krebs, AIDS, Diabetes, Rheuma sowie Viren und Bakterien. Große Forschungseinrichtungen und Pharmakonzerne entsenden also Wissenschaftler in die tropischen Regenwälder, um dort neue und »vergessene« Heilpflanzen aufzuspüren – möglicherweise kommen sie in vielen Fällen zu spät, denn Tag für

APOTHEKE REGENWALD

Insbesondere die tropischen und subtropischen Regenwälder gelten heute als ein wahres Füllhorn der Natur. Sie beherbergen die größte Artenvielfalt, die es irgendwo auf der Erde gibt. Man schätzt, dass auf einem Hektar des Amazonas-Regenwaldes über 700 verschiedene Baumarten und über 1500 Pflanzenarten wachsen. Insgesamt umfasst die Pflanzenvielfalt in den Regenwäldern etwa 300 000 verschiedene Arten. Man nimmt an, dass in den unendlichen Dickichten noch viele weitere medizinisch wertvolle Pflanzen wachsen, von denen die Indianer wussten, deren Wissen, von dem es kaum schriftliche Aufzeichnungen gibt, aber verloren ging. Dabei muss man bedenken, dass z. B. vor 500 Jahren noch zehn Millionen Indios im Amazonas-Gebiet lebten, heute sind es nur noch 200 000. »Jedesmal, wenn ein Mediziner stirbt, ist es, als brenne eine Bibliothek nieder«, beklagt der Völkerkundler *Mark J. Plotkin*.



[3] Tempelanlage

Tag werden immer noch riesige Flächen des Regenwalds vernichtet. Jedes Jahr wird Regenwaldgebiet zerstört in einer Fläche, die ungefähr so groß ist wie ganz Deutschland. Die größten natürlichen Ressourcen der Erde lösen sich buchstäblich in Rauch auf. Jeden Tag werden über fünfhundert Quadratkilometer von unersetzlichem Regenwald gefällt oder verbrannt. Zurück bleibt wertloser Boden, denn das Biotop der Regenwälder lebt alleine durch seine Biomasse, insbesondere die Baumriesen. Noch vor 20 Jahren bedeckten die Regenwälder 14 Prozent der Erdoberfläche, heute sind es nur noch sechs Prozent. Setzt sich die Zerstörung in der gegenwärtigen Geschwindigkeit fort, wird dieser einzigartige und geheimnisvolle Lebensraum in einigen Jahrzehnten unwiederbringlich ausgelöscht sein.

Mit der Erforschung der medizinischen Kenntnisse der Naturvölker früherer und auch jetziger Zeit beschäftigt sich ein noch relativ junger Zweig der Wissenschaft, die Ethnomedizin.

Tatsächlich stammen die ältesten Arzneien der Menschheit aus Pflanzen. Ihre

heilkraftigen Inhaltsstoffe, so auch ihre Enzyme, gehören zum Immunsystem der Pflanze, mit dem sie sich gegen Parasiten, Klimaschwankungen und Umweltgifte schützt. Wie unsere Vorfahren die heilkraftige Wirkung bestimmter Pflanzen und Früchte erkannten, ist eigentlich leicht nachzuvollziehen. Früchte, Beeren, Wurzeln bildeten die Hauptnahrungsquelle; Fleisch stand eher selten auf der Speisekarte. Über die Jahrtausende konnte es nicht ausbleiben, dass man die wohltuende Wirkung von bestimmten Pflanzen auf bestimmte Beschwerden bemerkte. Da Krankheiten und Verletzungen immer eine Bedrohung darstellten, gab es sehr schnell Spezialisten, nämlich die Medizinmänner und Schamanen, die dieses Wissen weiterentwickelten, bewahrten und an die nächste Generation weitergaben.

Enzyme sind schon in der Bibel erwähnt

Eine der ältesten schriftlichen Quellen, die zur Enzymtherapie überliefert sind,

STECKBRIEF PAPAYA



Die Papaya-Frucht wächst in tropischen Breitengraden auf Bäumen, die bis zu sieben Metern hoch werden. Die Frucht enthält das eiweißspaltende Enzym Papain; besonders enzymreich sind die Kerne und der Milchsaft (Latex), der aus der grünen, unreifen Schale austritt. Die Frucht wird von Einheimischen oft als »Gesundheitsmelone«, der Baum als »Medizinbaum« bezeichnet. Der Überlieferung zufolge war Kolumbus davon beeindruckt, dass die Eingeborenen ihre Mahlzeiten meist mit einer Papaya abschlossen, um so Verdauungsproblemen vorzubeugen. Der spanische Eroberer Vasco da Gama bezeichnet die Papaya als den »goldenen Baum des Lebens«. Das Enzym Papain ist eine eiweißspaltende Protease mit einem leicht sauren pH-Optimum von 5. Es ist gegenüber chemischen und physikalischen Einflüssen, insbesondere hohen Temperaturen, ungewöhnlich stabil.

stammt aus dem Alten Testament der Bibel. Im 2. Buch der Könige lesen wir, dass der Fürst Hiskaja an Geschwüren auf den Tod erkrankt war. Der Prophet Jesaja glaubte zunächst, dass Hiskajas Ende bevorstehe. Aber Gott erwies sich gnädig und schenkte ihm weitere 15 Lebens-

jahre. Daraufhin befahl Jesaja: »Bringt ein Feigenpflaster her! Da holten sie ein solches, legten es auf das Geschwür, und er wurde gesund.«

Was wie ein Wunder erscheint, entpuppt sich mit unserem heutigen Wissen als eine Enzymtherapie, die der Prophet verordnete. Denn die Feige ist reich an dem Enzym Ficin, das die Wundheilung fördert. Was die Ananas und die Papaya betrifft, so finden wir überall dort, wo diese Pflanzen natürlich wuchsen und wachsen, ähnliche Rezepturen und Anwendungen: Aus Mittel- und Südamerika ebenso wie aus Hawaii, im indischen Ayurveda ebenso wie in der traditionellen chinesischen Medizin, bei den Eingeborenen Australiens (den Aborigines) wie auch in der afrikanischen Volksmedizin.

Altes Wissen – moderne Indikationen

Sammelt man diese von den Volksmedizinern fast aller Kontinente überlieferten und auch heute noch praktizierten Anwendungen von Ananas und Papaya bei gesundheitlichen Beschwerden, so finden wir fast die gesamte Bandbreite von Indikationen, die auch heute für Enzympräparate gültig und von der modernen Forschung in wissenschaftlichen Untersuchungen bestätigt sind. Wenn man die inzwischen umfangreiche Literatur auswertet, die von den Ethnomedizern und -biologen zusammengetragen wurde, so lesen sich die erwähnten Krankheitsbilder, bei denen Zubereitungen dieser Früchte helfen, fast wie ein komplettes medizinisches Lexikon. Denn abgesehen davon, dass diese Früchte reich an Vitaminen und Mineralstoffen sind (und damit die notwendigen Co-Enzyme gleich mitliefern), erkannten

STECKBRIEF ANANAS



Die Heimat der Ananas ist Südamerika; heutzutage wird sie in vielen tropischen Ländern angebaut. Die großen Früchte wachsen auf kräftigen Stauden.

Über die Frucht heißt es in einem Bericht aus dem Jahre 1605, dass Ananassaft »auf bewundernswerte Weise den Geist erfrischt ... und das Herz beruhigt. Er stärkt auch den Magen ... außerdem zerstört er die Wirkung von Giften.«

Das wichtigste Enzym der Frucht ist das eiweißspaltende Bromelain. Dabei ist der innere harte Strunk der Frucht besonders enzymhaltig und sollte deshalb mit verzehrt werden. Bromelain entlastet die Bauchspeicheldrüse, verbessert die Fließeigenschaften des Blutes und wirkt entzündungshemmend. Es ist hitzeempfindlich und wird beim Kochen zerstört. Deshalb ist Ananas aus Dosen für die Gesundheit fast wertlos.

schon die Indios in Mittel- und Südamerika, in deren Lebensraum Ananas und Papaya natürlich vorkamen, lange vor der Entdeckung Amerikas durch Kolumbus, dass diese Früchte nicht nur schmackhaft und nahrhaft waren, sondern bei vielen Beschwerden halfen.

Dies bezieht sich zunächst einmal auf die sogenannte »innere Anwendung«, d. h. auf wohltuende und heilsame Begleiterscheinungen nach dem Verzehr der Früchte. Da die Enzyme Bromelain oder Papain Eiweiß aufspalten und es damit leichter verdaulich machen, helfen sie wirkungsvoll bei Verdauungsstörungen und Magen-Darm-Beschwerden.

So heißt es in einem Text aus dem 16. Jahrhundert über die Verwendung der Papaya bei den Mayas: »Die Früchte isst man, um die Verdauung und die Gallenblase anzuregen; der Saft normalisiert die Tätigkeit des Magens und der Galle und die Arbeit der Leber. Der Milchsafte, der in der Rinde und in den grünen Früchten enthalten ist, heilt sofort die Durchfälle, auch ist er gut, um Asthma zu behandeln und um Würmer auszutreiben«.

Die Heilkundigen auf Hawaii verwenden die Ananas ebenfalls bei Verdauungsproblemen oder Befall mit Darmparasiten, Gleiches ist auch aus China und Indien überliefert.

Damit sind jedoch die »Wundertaten« dieser wahren Füllhörner der Natur längst nicht ausgeschöpft. Die Heilkundigen der Naturvölker wussten auch bereits, dass der Früchtebrei der Ananas und der Papaya, äußerlich aufgetragen, hervorragend bei Hautverletzungen, schlecht heilenden Wunden oder Verbrennungen hilft. Der milchige Latex-Saft der Papaya wurde in mehreren Kulturen als Mittel gegen Hühneraugen und Warzen erkannt. Prellungen, Zerrungen und andere Muskelverletzungen wurden mit Breiaufgaben aus den Früchten behandelt.

Medizinmänner und -frauen nutzten (ohne dass sie etwas über die Biochemie der Enzyme wussten) die schleimlösende Wirkung der eiweißspaltenden Inhalts-

stoffe bei Atemwegserkrankungen, Halsschmerzen, geschwollenen Mandeln oder Heiserkeit.

Auch zur Vorbeugung und Heilung von Infektionskrankheiten und Entzündungen wurden die tropischen Früchte über alle Kulturen hinweg verwendet. Man kennt sie von Alters her als Mittel gegen Gelenkentzündungen, nutzt ihre schmerzstillenden und fiebersenkenden sowie antibakteriellen und antiviralen Eigenschaften. Diese Eigenschaften basieren nicht zuletzt darauf – wie wir

allerdings erst seit Beginn des letzten Jahrhunderts wissen –, dass die Enzyme das Immunsystem stärken und seine Aktivität und die Selbstheilungskräfte des Körpers anregen.

Auch eine der aufsehenerregendsten Erkenntnisse der modernen Medizin, nämlich dass der Einsatz von Enzymen bei der Behandlung von Krebs hilft, war den Naturvölkern bereits bekannt. So verwendet man in der Volksmedizin in Indien, auf den Philippinen, in Ghana wie auch Indonesien und Amerika insbeson-

EINIGE BEISPIELE AUS DER VOLKSHEILKUNDLICHEN VERWENDUNG VON ENZYMEN:

- Die Kuna-Indianer der San Blas-Inseln im Pazifik vor Panama verwenden heute noch die verschiedenen Pflanzenteile der Papaya (Früchte, Samen, Blätter) bei einer weit gefächerten Fülle von Erkrankungen und Beschwerden, nämlich als Kreislaufmittel, Herztonikum, zur Anregung der Harnausscheidung, zur Behandlung von Furunkeln, zur Förderung der Menstruation, gegen Würmer, gegen Fieber und Schmerzen, bei Verdauungsstörungen, Bauchkrämpfen, Blähungen, als Mittel gegen Ruhr und Gelbfieber, bei Hämorrhoiden, Leber- und Milzvergrößerung wie auch als Aphrodisiakum und als Stärkungsmittel.
- Auf Malaysia und den Ostindischen Inseln wird die Ananas u. a. zur Förderung der Verdauung und der Harnausscheidung, zur Anregung der Nierentätigkeit, bei Halsentzündungen, typhusähnlichen Durchfallerkrankungen, Kehlkopfentzündungen und Ödemen verwendet.
- Im westafrikanischen Benin verwendet man unreife Ananas- und Papayafrüchte bei Erkrankungen der Leber; auch gegen Malaria wurde eine Wirkung festgestellt.
- In Süd-Ost-Nigeria gibt man Patienten mit Verdauungsstörungen oder Menstruationsbeschwerden unreife Papaya.
- In Ceylon (dem heutigen Sri Lanka) wird die grüne Papaya-Frucht, gekocht in Weinessig und Wasser, als milchtreibendes Mittel verwendet. Papaya-Latex wird etwa mit Schmalz gemischt und gegen Hauterkrankungen wie Psoriasis, Ekzeme, aber auch bei Sommersprossen eingesetzt. Auch Hühneraugen, Warzen, Zahnschmerzen und Durchfall werden mit Papaya-Zubereitungen kuriert.
- In der Yunani-Medizin der Amazonasindianer wird die Papaya unter anderem bei Magenbeschwerden, Appetitmangel, Blähungen und zur Anregung der Nierenfunktion angewendet. Sie heilt Entzündungen, hilft gegen Fettsucht, Hauterkrankungen und Hämorrhoiden.