





Stefan Limmer

Dr. rer. nat. Birgitt Täuber-Rusch

MITOCHONDRIEN

**Das Geheimnis
unbegrenzter Lebensenergie**



MOMANDA

Wichtiger Hinweis

Die Autoren und der Verlag haben die Empfehlungen in diesem Buch sorgfältig erwogen und geprüft. Die Anwendung durch die Leser erfolgt jedoch auf eigene Verantwortung. Weder die Autoren noch der Verlag und dessen Mitarbeiter übernehmen eine Haftung für etwaige Schäden jeglicher Art, die durch die Anwendung entstehen. Die hier vorgestellten Methoden ersetzen weder den Besuch bei einem Arzt oder einer Ärztin noch eine notwendige Therapie. Verordnete Medikamente dürfen keinesfalls abgesetzt werden.

**© MOMANDA GmbH, Rosenheim
Alle Rechte vorbehalten
1. Auflage 2020**

- Cover: Guter Punkt, München
- Bildnachweis:
 - > stock.adobe.com: velora, S. 47; rudall30, S. 50; xtaska, S. 73;
 - sunnychicka, S. 94; Peter Hermes Furian, S. 99
 - > shutterstock.com: EVA105, S. 2 u.a. (Spiralen)
 - Alle anderen Schaubilder:
- Maja Limmer, Hannah Limmer und Dr. Birgitt Täuber-Rusch
 - Lektorat: Gitta Lingen
 - Layout: Birgit-Inga Weber
- Gesamtherstellung: Bernhard Keller
- Druck: CPI Moravia Books

ISBN 978-3-95628-033-7

Vorwort	8
Teil 1: Mensch und Energie	10
Energie bedeutet Leben	12
Pflanzen, Menschen, Tiere – eine Energie-Symbiose	14
Die Zelle	19
Zellforschung am Rand der etablierten Wissenschaft	26
Die Mitochondrien – Kraftwerke der Zellen	31
Die Reise des Sauerstoffs zu den Zellen	38
Die Reise der Nährstoffe zu den Zellen	41
Teil 2: Die Energiebereitstellung in der Zelle	48
ATP und ADP	52
NAD und FAD	53
Die Glykolyse	54
Die Pyruvat-Decarboxylierung	57
Die Beta-Oxidation der Fettsäuren	59
Der Zitronensäurezyklus –	
Drehscheibe des Stoffwechsels	61
Die Atmungskette und die oxidative Phosphorylierung	64
Die Glukoneogenese	67
Die Ketonkörpersynthese	68
Weitere Wege der Energiebereitstellung	69
Die Steuerung des Energiebedarfs –	
Die Kommunikation der Zellen und Mitochondrien	70



Teil 3: Der feinstoffliche Energiestoffwechsel	82
Jenseits der Wissenschaft	84
Das Geheimnis unserer Lebensqualität und Lebensenergie	85
Feinstoffliche Energie	85
Das feinstoffliche Energiesystem	88
Feinstoffliche Energiequellen –	
Quellen unserer Lebenskraft und Lebensenergie	101
Das Bewusstsein und die Mitochondrien	130
Teil 4: Die Folgen von Energiemangel	134
Primäre Mitochondriopathie	137
Sekundäre Mitochondriopathie	140
Teil 5: Diagnostik und Therapie der sekundären Mitochondriopathie	156
Diagnoseverfahren der sekundären Mitochondriopathie	158
Mitochondriale Therapie –	
die regenerative Mitochondrienmedizin	162
Mitochondriale Ernährung	165
Wichtige Mikronährstoffe und Nahrungsergänzungen	
in der mitochondrialen Therapie	170
Die physikalische Reiztherapie – Wasser und Kälte	193
Intervall-Hypoxie-Hyperoxie-Training (IHHT-Therapie)	196
Diagnose- und Therapieverfahren für das feinstoffliche	
Energiesystem	196



Teil 6: Wunder unbegrenzter Lebenskraft	200
Extreme körperliche Leistungen	202
Eisbaden und Winterschwimmen	202
Apnoetauchen, Tieftauchen und Langzeittauchen	205
ohne Hilfsmittel	205
Spontanheilung und Wunderheilung	211
Fasten und Lichtnahrung	219
Die Mitochondrien – Ursprung unseres Energiekörpers und Basis des globalen, unbegrenzten Bewusstseins?	229
Alles ist möglich – Leben im unbegrenzten Bewusstsein	231
Nachwort	232
Die wichtigsten Begriffe und Erklärungen	233
Literatur- und Quellenverzeichnis	240
Die Autoren	252

Vorwort

Liebe Leserinnen und Leser,

wie wir heute wissen, besteht unsere Realität mit allen Erscheinungsformen aus Schwingungen und Energie. Auch wir Menschen sind Energiewesen. Die Quantenphysik hat uns gelehrt, dass Materie nur eine intelligente Zusammenballung von Energie ist. So schwingt dieses Universum in unterschiedlichsten Frequenzen und erzeugt damit eine Energie-Symphonie aus unendlich vielen Variationen – ein Spiel, in das wir Menschen untrennbar eingebunden sind.

Aber wo ist die Quelle unserer Lebenskraft, woher kommt die Energie, die wir zum Leben brauchen? Wie wird sie erzeugt und was können wir tun, damit wir für die wechselnden Anforderungen des Lebens immer ein Optimum an Energie zur Verfügung haben? Können wir unsere Lebenskraft und Lebensenergie so weit beeinflussen, dass selbst vermeintlich Unmögliches möglich wird? Ist die Wissenschaft in der Lage, alle wichtigen Grundlagen und Zusammenhänge zu erklären, und liefert sie befriedigende Vorschläge, wie wir unser Energielevel auf allen Ebenen unseres Seins entsprechend aktivieren und optimieren können?

Um ein ganzheitliches Bild zu zeichnen und besser zu verstehen, wie wir als Energiewesen funktionieren, können wir neben den wissenschaftlichen Erklärungen zugleich viele interessante Antworten aus uralten schamanischen, spirituellen, philosophischen und fernöstlichen Lehren sowie aus wissenschaftlichen Randgebieten heranziehen.

Wir begeben uns auf eine Reise, die uns zunächst in unsere Körperfzellen führt und dort zu den Mitochondrien – den Kraftwerken der Zellen, den offensichtlichen Energielieferanten des materiellen Körpers. Wir betrachten unser feinstoffliches Energiesystem, seine Verbindungen in die Außen- und in die Innenwelt sowie seinen Einfluss auf unser Energielevel und unser Wohlbefinden. Wir erforschen die Zusammenhänge zwischen Energielosigkeit und Krankheiten und betrachten natürlich auch das Gegenteil: Zustände nahezu unbegrenzter Lebenskraft.

Unser Anliegen ist es, Ihnen, liebe Leserinnen und Leser, wertfrei und undogmatisch möglichst viele Informationen auf Ihren persönlichen Weg mitzugeben, damit Sie selbst Ihre Lebensenergie aktivieren, steuern und beeinflussen können, um möglichst das Optimum davon zur Verfügung zu haben.

Regensburg, Januar 2020

Dr. rer. nat. Birgitt Täuber-Rusch und Stefan Limmer



The background features a central gray circle surrounded by several concentric white circles of varying sizes. Small black dots are scattered across the design, particularly along the inner and outer edges of the circles. A thin vertical line runs parallel to the left edge of the central circle.

Teil 1



MENSCH UND ENERGIE



M Energie bedeutet Leben

Die Wissenschaft hat klare Kriterien festgelegt, um Leben zu definieren:

- d Fortpflanzung
- d Stoffwechsel und Energieaustausch
- d Wachstum und Entwicklung
- d Bewegung
- d Reizbarkeit
- d Vorhandensein von Zellen
- d Evolution

Etwas Lebendes muss also in der Lage sein, sich fortzupflanzen, es muss einen Stoff- und Energieaustausch aufweisen, einem Wachstum unterliegen, sich weiterentwickeln, sich bewegen und auf Reize reagieren, aus Zellen bestehen und sich an die Umwelt anpassen können.

Damit diese Kriterien beim Menschen erfüllt sind, hat die Natur komplexe aufeinander abgestimmte biologische Strukturen geschaffen, die miteinander kommunizieren und mit der Umgebung interagieren. Die wichtigste Voraussetzung ist aber das Vorhandensein einer Energiequelle, die das Leben aufrechterhält und dafür den notwendigen »Treibstoff« liefert. Die offensichtlichste Energiequelle auf unserem Planeten ist die Sonne; ohne sie gäbe es weder Licht noch Wärme, weder Natur noch Leben.

Neben der Sonnenenergie gibt es als »Urenergie« die Energie aus radioaktiven Zerfällen aus dem Erdinnern, die der Erdoberfläche in großem Maß zugeführt werden. Weitere offensichtliche Energie-lieferanten, die wir für unser Leben nutzbar gemacht haben, sind die in der Erde gespeicherten fossilen Energieträger Öl, Kohle und Erdgas; sie sind im Lauf von Jahrtausenden entstanden ... und wir sind gerade dabei, sie in unglaublich kurzer Zeit aufzubrauchen.

Genauso wie wir im großen Stil bei der Verbrennung fossiler Energieträger Sauerstoff benötigen und Kohlendioxid freisetzen, brauchen auch die Mitochondrien als Kraftwerke in unseren Zellen Sauerstoff und setzen Kohlendioxid frei.

Was ist Energie?

Energie ist in vielen naturwissenschaftlichen Gebieten eine fundamentale physikalische Größe; sie wird in der Maßeinheit »Joule« angegeben. Energie ist die Fähigkeit, Arbeit zu verrichten. Es gibt verschiedene Energieformen, die ineinander umgewandelt werden können:

- d Bewegungsenergie (kinetische Energie)
- d Lageenergie (potenzielle Energie)
- d Wärmeenergie
- d Elektrische Energie
- d Atomenergie, Kernenergie
- d Strahlungsenergie (elektromagnetische Wellen, Sonnenenergie)
- d Chemische Energie

Streng physikalisch gesehen kann Energie nicht erzeugt oder vernichtet werden, da bei allen Energierumwandlungen die Menge der Energie – zumindest in abgeschlossenen Systemen – immer gleich bleibt. Wenn wir von »Energieerzeugung« sprechen, verstehen wir darunter den Prozess, bei dem eine Energieform in eine andere gewünschte oder benötigte Form umgewandelt wird. Dieser Umwandlungsprozess erzeugt immer Wärme, die als »Energieverlust« bezeichnet wird, wenn eigentlich eine andere Energieart benötigt wird. Es wird also nur ein Teil der Ursprungsenergieart in eine andere umgewandelt. In der Technik spricht man vom »Wirkungsgrad«. Je höher der Wirkungsgrad, desto effektiver ist der Umwandlungsprozess. Bei der konventionellen Stromerzeugung wird z. B. ein Teil der chemischen Energie der Brennstoffe Öl, Kohle oder Gas in elektrische Energie mit einem Wirkungsgrad von 30–45 Prozent umgewandelt; der Energieverlust in Form von Wärme ist dabei also sehr hoch.

In uns Menschen wird bei jeder Form von »Arbeit« Energie umgewandelt, z. B. wenn wir uns im Alltag bewegen, Sport treiben oder geistige Leistungen vollbringen, wenn unser Herz das Blut durch die Adern pumpt, wenn wir unser Mittagessen verdauen oder wenn insgesamt Stoffwechselprozesse ablaufen. Die dabei entstehende Wärme

sorgt dafür, dass die für die physiologischen Stoffwechselvorgänge nötige Grundtemperatur von ca. 37 Grad im Körper aufrechterhalten wird. Verschiedene Kontroll- und Regelsysteme gewährleisten normalerweise, dass unser Körper weder ausköhlt noch überhitzt, sondern in einem engen Temperaturrahmen bleibt, in dem der Körper optimal arbeiten kann.

»Arbeit« kennzeichnet also immer einen Vorgang oder Prozess, »Energie« dagegen kennzeichnet den Zustand eines Körpers.

Neben der wissenschaftlichen Sichtweise von Energie finden wir viele andere Energiebegriffe, z.B.:

- d Feinstoffliche Energie
- d Lebensenergie und Lebenskraft
- d Seelenenergie
- d Chi
- d Prana

Diese Energieformen können messtechnisch nicht erfasst oder nachgewiesen werden und werden deshalb von der etablierten Naturwissenschaft ignoriert. Insofern werden diese vorwiegend im philosophischen, spirituellen und religiösen Kontext beschrieben. Wir gehen später genauer darauf ein (D Teil 3).

M Pflanzen, Menschen, Tiere – eine Energie-Symbiose

In der Natur ist im Lauf der Entwicklungsgeschichte des Lebens auf unserem Planeten ein fein aufeinander abgestimmtes Gleichgewicht zu beobachten. Alle Lebensformen wirken daran mit und haben so das Leben, Überleben und die permanente evolutionäre Weiterentwicklung ermöglicht.

Eine der für uns wichtigsten »Arbeitsteilungen« in der Natur ist die Produktion von Sauerstoff durch die Pflanzen und die Pro-

duktion von Kohlendioxid durch Menschen und Tiere. Für ihre Energiegewinnung und zum Leben benötigen die meisten Pflanzen Kohlendioxid, wohingegen Menschen und die meisten Tiere Sauerstoff brauchen.

Pflanzen betreiben Photosynthese – der wahrscheinlich wichtigste Prozess in der Geschichte des Lebens auf der Erde. Vor ca. 4,5 Milliarden Jahren bestand die Erdatmosphäre aus einem Gemisch aus eher lebensfeindlichen Gasen, z.B. Wasserstoff, Helium, Ammoniak, Methan.

Vor ca. 2,5 Milliarden Jahren tauchten Algen und Bakterien auf, bei deren Stoffwechsel als Abfallprodukt Sauerstoff anfiel: Er reicherte sich in mehreren Hundert Millionen Jahren in der Erdatmosphäre an, bis die heutige Konzentration von 21 Prozent Sauerstoff erreicht war. Menschen und Säugetiere können nicht selbst Sauerstoff produzieren. Er wird zu 100 Prozent durch Photosynthese von Algen, Bakterien und Pflanzen synthetisiert.

Die Chemie beschreibt diesen Vorgang mit der folgenden Formel:



Pflanzen benötigen sechs Moleküle Wasser, sechs Moleküle Kohlendioxid und Licht und stellen daraus in einem chemischen Prozess sechs Moleküle Sauerstoff und ein Molekül Glukose her. Glukose, den sogenannten Traubenzucker, benötigt die Pflanze als Ausgangsstoff für die Herstellung von Fetten und Eiweißen. Der bei der chemischen Reaktion anfallende Sauerstoff ist für die Pflanze ein reines Abfallprodukt und eher ein »notwendiges Übel«. Der Sauerstoff wird über bestimmte Zellen, die Schließzellen, aus der Pflanze transportiert und an die Umwelt abgegeben.

Die Photosynthese – die Energiegewinnung der Pflanze – findet in den Chloroplasten statt, die hinsichtlich ihrer Funktion den Mitochondrien bei Menschen und Tieren entsprechen: Sie sind die Kraftwerke der Pflanzen und dienen der Energiegewinnung und -bereitstellung für alle wichtigen Vorgänge der Pflanze.

Dabei wird über die eben erwähnten Schließzellen Kohlendioxid in das Innere der Chloroplasten befördert. Wasser wird in den

Pflanzen über Xylem – das holzige Leitgewebe, das Wasser und anorganische Salze in der Pflanze transportiert – zu den Chloroplasten gebracht.

Chlorophyll, der »Farbstoff der Pflanzenzelle«, sorgt dafür, dass Sonnenlicht absorbiert wird. Ohne die Energie des Lichts kann keine Photosynthese stattfinden.

Die Entwicklung der Photosynthese vor ca. 2,5 Milliarden Jahren leitete eine der großen Wandelphasen in der Geschichte des Lebens ein. Für alle bis dahin existierenden Lebensformen stellte Sauerstoff mit seiner stark oxidierenden Wirkung einen Giftstoff dar. Die Entstehung von Lebensformen vor ca. 1,5 Milliarden Jahren, die die Atmungskette und Sauerstoff zur Energiegewinnung nutzten, schuf Voraussetzungen, um weit mehr Energie zu gewinnen als unter den bisher bekannten Bedingungen.

Hier zeigt sich die erstaunliche Anpassungsfähigkeit der Natur und des Lebens auf sich verändernde Umweltbedingungen. Mit dem vermehrten Auftreten von Sauerstoff in der Atmosphäre entwickelten sich zunächst Organismen, die den Sauerstoff tolerieren konnten, bis es einigen Organismen gelang, den Sauerstoff – bisher Gift und Feind des Lebens – zu verstoffwechseln und für ihre Energiegewinnung zu nutzen. Die ersten derartigen Zellen waren wahrscheinlich Prokaryoten, später wurden sie als Eukaryoten von Ur-Eukaryoten aufgenommen.

Autotrophe und heterotrophe Lebensformen

Heute unterscheiden wir grundsätzlich zwischen autotrophen und heterotrophen Lebensformen.

Autotrophe Organismen sind Lebewesen, die mithilfe von Energie ihre notwendigen Baustoffe ausschließlich aus anorganischen Stoffen aufbauen. Stoffe, die keine Kohlenstoffatome enthalten, werden in der Chemie als »anorganische« Stoffe bezeichnet. Als Ausnahmen werden zu den anorganischen Stoffen Kohlendioxid, Kohlenmonoxid und Karbonate gezählt, die Kohlenstoff enthalten. Alle anderen Stoffe sind organische Stoffverbindungen.

Autotrophe Organismen gewinnen die benötigte Energie entweder durch Photosynthese aus Sonnenlicht oder aus chemischen Stoffen.

Auf der Grundlage der sogenannten Biomassenproduktion der autotrophen Lebewesen ist die heterotrophe Ernährungsform entstanden. Dabei werden organische Verbindungen zur Bildung der Baustoffe verwendet. Pilze, viele Bakterien, einige wenige Pflanzen, Tiere und Menschen sind heterotrophe Lebensformen.

Der Stoffwechsel

Der Stoffwechsel oder Metabolismus bildet die Grundlage aller lebenswichtigen Vorgänge im Körper und umfasst im weitesten Sinne alle biochemischen Vorgänge in Lebewesen: die Atmung, die Nahrungsaufnahme, die Verarbeitung und die Ausscheidung von Stoffen usw.

Vor allem versteht man unter dem Stoffwechsel die biochemischen Prozesse innerhalb einer Zelle, also den Abbau, Umbau und Neuaufbau – die Verstoffwechselung – der Nährstoffe, die den Zellen zugeführt werden.

Unser wichtigstes körpereigenes Stoffwechselorgan ist die Leber. Für den Stoffwechsel benötigt der Körper Cofaktoren, also andere Stoffe, die die entsprechenden Reaktionen und Teilschritte begleiten: Hormone und Enzyme. Gesteuert werden die Abläufe durch das Nervensystem und das Hormonsystem, wobei auch Umwelteinflüsse wie die Temperatur eine wichtige Rolle spielen.

Der Mensch als heterotropes Wesen muss Nährstoffe zu sich nehmen. Indem unser Körper die zugeführten oder bereits abgespeicherten Nährstoffe, Vitamine, Mineralien und Spurenelemente nutzt, sorgt er dafür, dass es ihm und damit uns als ganzheitliches Wesen gut geht, dass unsere Leistungsfähigkeit erhalten bleibt, wir genügend Lebensenergie haben und wir uns wohlfühlen.

Katabolismus und Anabolismus

Der Stoffwechsel teilt sich in zwei Bereiche auf:

Katabolismus ist der Abbau von komplexen Stoffen zu einfachen chemischen Verbindungen, die der Körper für weitere Stoffwechselvorgänge benötigt und nutzt: Kohlenhydrate werden zu einfachen Zuckern, Proteine/Eiweiße zu Aminosäuren und Lipide/Fette zu Fettsäuren und Glycerin abgebaut. Sie tragen zur Energiegewinnung bei; damit werden alle Körperfunktionen aufrechterhalten und der Körper gewinnt lebenswichtige Baustoffe.

Der Hauptlieferant für die Ausgangsstoffe ist die Nahrung. Die darin enthaltenen Nährstoffe werden verarbeitet, in den Zellen gespeichert und dort in Energie umgewandelt. Überflüssige oder nicht mehr benötigte Nahrungsbestandteile werden über den Stuhl und Urin ausgeschieden.

Glukagon, Adrenalin, Glukokortikoide und Schilddrüsenhormone sind wichtige Hormone, die besonders den Katabolismus steuern und beeinflussen. Sie erhöhen den Blutzuckerspiegel.

Anabolismus beschreibt den gegenteiligen Prozess. Aus den im Metabolismus hergestellten einfachen Stoffen werden komplexe Verbindungen gebildet. Aus Aminosäuren werden Proteine synthetisiert, aus Einfachzuckern werden wieder Mehrfachzucker, und Fette werden aufgebaut. Es geht hier um den Aufbau und den Erhalt der Körpersubstanz.

Insulin, das den Blutzuckerspiegel senkt, ist ein anaboles Hormon und Gegenspieler der katabolen Hormone.

Der Stoffwechsel sorgt für ein Gleichgewicht zwischen Ab- und Aufbau von Biomasse und passt sich den aktuellen Bedürfnissen des Körpers entsprechend an. Das zentrale Molekül im Stoffwechsel ist das Adenosintriphosphat (ATP). ATP stellt die sogenannte Energiewährung unseres Körpers dar und ist in allen Stoffwechselwegen als Energieträger involviert.

Im Stoffwechsel sind Reaktionszyklen (Kreisläufe) ein wichtiges Prinzip (z. B. der Zitronensäurezyklus): Sie sind durch den gleichen Ausgangs- und Endstoff gekennzeichnet. Es schließen sich weitere

Reaktionen an, die die Energie von Substanzen in andere Formen umwandeln oder freisetzen (D Teil 2 D »Der Zitronensäurezyklus – Drehscheibe des Stoffwechsels«, S. 61 ff.).

Neben der genetischen Disposition spielen beim individuellen Stoffwechsel viele beeinflussbare Faktoren eine Rolle.

M Die Zelle

Energie ist eine der wichtigsten Grundlagen des Lebens, der Bewegung und der biologischen Stoffwechselvorgänge – sowohl für autotrophe als auch für heterotrophe Lebensformen. Ohne Energie könnten wir Menschen weder denken noch fühlen, wir könnten nicht planen und nicht handeln – wir wären nicht lebendig.

Machen wir uns in unserem Körper auf die Suche nach dem Ort, an dem Energie für unser Leben bereitgestellt wird, dann stoßen wir unweigerlich auf die Zelle mitsamt ihren Kraftwerken, den Mitochondrien. Die Zelle ist quasi das Haus, in dem unsere Kraftwerke sicher und geschützt eingebettet sind. Die Zelle transportiert über ihre Hülle alle notwendigen Stoffe zu den Mitochondrien, damit diese die Energie für den Körper bereitstellen können, und sie transportiert alle Stoffwechselabfälle nach draußen. Sie sorgt somit für eine optimale Umgebung, damit die Mitochondrien und alle anderen Zellbestandteile ihre Arbeit möglichst optimal und ungestört erledigen können.

Um eine einzelne Zelle wahrnehmen zu können, brauchen wir Mikroskope, die uns das Geheimnis des menschlichen Körpers auf der Zellebene erschließen.

Zellen bilden die kleinsten Funktionseinheiten im menschlichen Körper und sind die Grundbausteine des Lebens. Jede Zelle ist eine autonome Einheit, die die grundlegenden Kennzeichen des Lebens erfüllt (D Teil 1 D »Energie bedeutet Leben«, S. 12 ff.).

Obwohl wir im menschlichen Körper ca. 200 verschiedene Zelltypen finden und sie in größeren unterschiedlichen Funktions-

einheiten – den Organen, Organsystemen und unterschiedlichen Gewebearten – organisiert sind, gleicht sich das Grundprinzip ihres Aufbaus bis auf wenige Ausnahmen. Sie unterscheiden sich grundlegend nur in der Größe und in ihrer Lebensdauer, die je nach Gewebe und Organ ein paar Tage bis zu mehreren Jahren beträgt.

In jeder Zelle finden essenzielle Stoffwechselvorgänge statt, die uns das Leben ermöglichen. Eine Zelle ist vergleichbar mit einer Chemiefabrik. Unterschiedliche Stoffe, die sie für ihre Aufgaben benötigt, werden durch die Zellmembran – die äußere Zellhülle – in die Zelle geschleust, dort verarbeitet, umgebaut und zur Energiegewinnung eingesetzt. Dabei anfallende Abfallstoffe werden wiederum aus der Zelle transportiert und über Lymphe, Blut, Haut, Atmung und Ausscheidungsorgane nach draußen transportiert.

Die biologisch-naturwissenschaftliche Sichtweise der Zelle

Damit eine Zelle als lebendige Grundeinheit ihre Aufgaben erfüllen kann, benötigt sie eine wässrige Umgebung mit einer ganz bestimmten, optimalen Mischung chemischer Substanzen.

Wasser (H_2O) ist eine besondere Verbindung und für das Leben unverzichtbar. Wir Menschen bestehen zu etwa 60–70 Prozent aus Wasser. Es ist essenziell für alle Stoffwechselvorgänge und Funktionen in und um die Zelle, chemische Prozesse würden ohne Wasser nicht funktionieren. »Lebendiges Wasser« – kristallin geclustertes Wasser mit freien H-Ionen – ist im Körper aufgrund seiner freien Bindungsstellen ein richtiggehendes Reinigungsmittel; es hilft, »Gewebeschlacken«, Umwelt- und Stoffwechselgifte auszuscheiden, und dient als Radikalfänger. Eine ausreichende Trinkmenge reinen, unbehandelten Wassers spielt hierbei eine wichtige Rolle. Eine intakte Cluster-Struktur hilft den Zellen bei der Erfüllung ihrer Aufgaben.

Wie bereits erwähnt, benötigen sie darüber hinaus Sauerstoff und Nahrung, aufgespalten in unterschiedliche grundlegende Nährstoffe wie Kohlenhydrate/Zucker, Lipide/Fette und Proteine/Eiweiße. Mithilfe von Mineralstoffen, Spurenelementen, Vitaminen

nen, Enzymen und Botenstoffen ist der Körper in der Lage, all die wichtigen Lebensprozesse zu steuern.

Das Blut spielt dabei die Rolle des Transportmediums, das den Sauerstoff aus der Atmung und die Nährstoffe aus der Nahrung zur Zelle transportiert und die in der Zelle entstehenden Abfallstoffe, Abbauprodukte und Kohlendioxid abtransportiert.

Die Grundfunktionen der menschlichen Zellen sind:

- d Energieerzeugung
- d Stoffaufnahme und -abgabe
- d Teilung und damit Erneuerung und Vermehrung
- d Heimat und Schutz der DNA bzw. DNS (Desoxyribonukleinsäure; engl. *acid* = dt. *Säure*), der Erbinformation des Menschen

Je nach Gewebeart und Organ haben die Zellen weitere Spezialaufgaben. Nervenzellen übermitteln z.B. elektrische Impulse, Zellen der Netzhaut nehmen optische Reize auf, Zellen im Blut transportieren Sauerstoff zu anderen Zellen usw.

Alle Systeme sind dabei sinnvoll aufeinander abgestimmt, und eine Vielzahl von Regelsystemen greifen ineinander, damit alles reibungslos funktioniert.

Ein erwachsener Mensch besteht aus rund 100 Billionen Zellen. Würden wir alle Zellen, die im Durchschnitt nur 1/40 Millimeter groß sind, hintereinander aufreihen, ergäbe dies eine Wegstrecke von 2,5 Millionen Kilometern. Zusätzlich leben wir in einer Symbiose mit einer Vielzahl von Bakterien, deren Menge bei Weitem die Anzahl unserer eigenen Körperzellen übersteigt. Hier sehen wir, wie wichtig und sinnvoll die Natur die Zusammenarbeit unterschiedlicher Spezies geregelt hat. Ohne die Bakterien wären wir überhaupt nicht in der Lage, so zu leben, wie wir es tun, nehmen sie uns doch eine Menge Arbeit ab. Der Mensch ist im Prinzip ein Ökosystem; es beheimatet viele verschiedene Bakterien mit unterschiedlichen Aufgaben im Gesamtsystem: Sie spalten unverdauliches Essen auf, bauen Gifte und Medikamente ab, trainieren das Immunsystem und produzieren eine Reihe von unverzichtbaren Stoffen.

Fast alle Zellen unseres Körpers unterliegen einem ständigen Erneuerungsprozess, der je nach Funktion und Gewebeart unterschiedlich schnell abläuft. Jede Sekunde sterben ca. 50 Millionen Zellen und werden durch neue ersetzt. Die Zellen unserer Magenschleimhaut werden z. B. ca. 1 Woche alt, Dünndarmzellen 1–2 Tage, die roten Blutkörperchen 120 Tage und Knochenzellen 10–30 Jahre.

Während der Embryonalzeit bilden sich die unterschiedlichen Zellarten aus den Stammzellen, differenzieren sich und schließen sich dann zu sinnvollen Zellverbänden zusammen, aus denen die einzelnen Organe entstehen. Damit unsere Organsysteme sinnvoll arbeiten können, ist also eine reibungslose Funktion der einzelnen Zellen erforderlich, wobei die Mitochondrien für die nötige Energie sorgen.

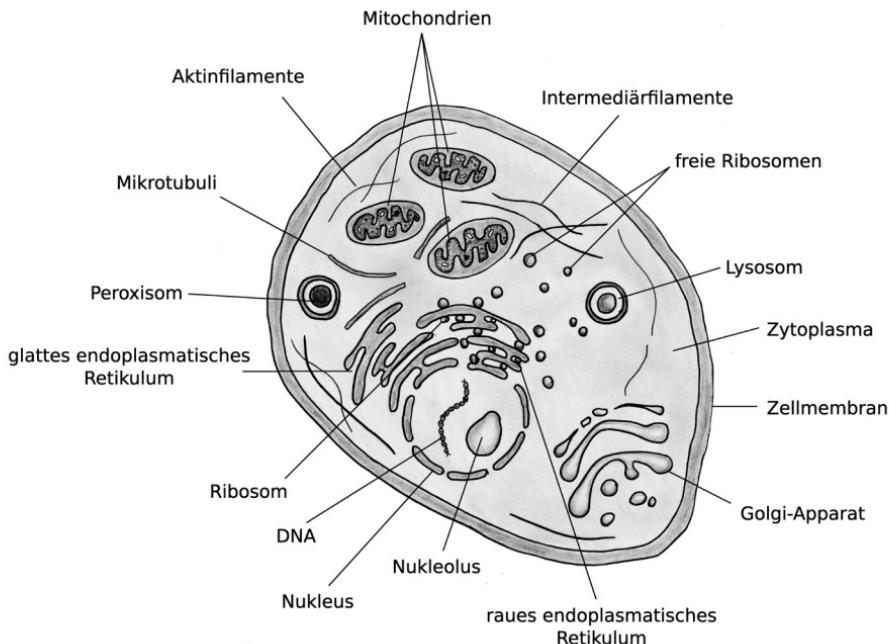
Aufbau einer typischen menschlichen Zelle

Bis auf wenige Ausnahmen bestehen menschliche Zellen aus der Zellmembran und dem Zytoplasma, in dem sich die unterschiedlichen Zellorganellen mit dem Zellkern befinden. Die roten Blutkörperchen, die im Knochenmark gebildet werden, sind kernlos und können sich deshalb auch nicht mehr teilen.

Die Zellmembran bildet die äußere, begrenzende, formgebende Hülle der Zelle, die »Hauswand«. Sie sorgt für einen kontrollierten Stoff- und Gasaustausch zwischen dem Zellinnenraum und der Umgebung. Sie ist nur für bestimmte Stoffe durchlässig und kann über verschiedene Mechanismen steuern, was wann in welcher Menge durchgelassen wird. Diese Fähigkeit wird auch als »Permeabilität« bezeichnet.

Der Grundbaustoff der Zellmembran sind Fette/Lipide. Diese bilden eine flüssige Lipid-Doppelschicht, die wiederum in eine Protein-/Eiweiß-Struktur eingebunden ist. Es handelt sich also um eine Doppelmembran.

Die Zellmembran umschließt das Zytoplasma.



Aufbau der Zelle

Das Zytoplasma ist eine flüssige, gelartige Substanz innerhalb der Zellmembran, die den Hauptbestandteil der Zelle ausmacht. Im Zytoplasma befinden sich das Zytosol, das Zytoskelett, der Zellkern und die Zellorganellen – weitere Funktionseinheiten der Zelle.

Das Zytosol besteht zu 70 Prozent aus Wasser, in dem unterschiedlichste Stoffe wie Ionen, Nährstoffe, Kohlenhydrate, Mineralsalze, Aminosäuren und Enzyme gelöst sind. Hier laufen zahlreiche Stoffwechselreaktionen ab.

Das Zytoskelett sitzt innerhalb des Zytoplasmas und sorgt für die notwendige Stabilität der Zelle und für die intrazellulären Stofftransporte. Es setzt sich aus Mikrotubuli, Aktin- und Intermediär-

filamenten zusammen und durchzieht die ganze Zelle in einem dreidimensionalen Netzwerk.

Der Zellkern (Nukleus) wird von der Kernmembran umhüllt und enthält das Chromatingerüst, das die codierte Erbinformation in Form von DNA beinhaltet. Er ist die Steuerzentrale der Zelle.

Der Nukleolus, das Kernkörperchen innerhalb des Zellkerns, besteht vorwiegend aus DNA, RNA (bzw. RNS/Ribonukleinsäuren) und Protein. Die Nukleoli (oder auch Nukleolen) sind für die Produktion der verschiedenen Untereinheiten der Ribosomen zuständig.

Die Mitochondrien, die Kraftwerke der Zelle, dienen hauptsächlich der Energiegewinnung durch Zellatmung. Daneben besitzen sie weitere Funktionen bei der Bildung von Baumaterial und der Entsorgung von Ammoniak sowie dem programmierten Zelltod (Apoptose). Zusätzlich dienen sie als intrazellulärer Kalziumspeicher. Sie sind wie der Zellkern von einer Doppelmembran umschlossen, besitzen eine eigene DNA und vermehren sich unabhängig von der Mutterzelle.

Das endoplasmatische Retikulum zieht sich als Gangsystem durch die gesamte Zelle und stellt eine Erweiterung der Kernmembran dar. Die Grundsubstanz, das *glatte* endoplasmatische Retikulum, ist für die Fettsäureproduktion, Speicherung von Kalzium und Entgiftung der Zelle zuständig. Durch Anlagerung von Ribosomen entsteht das *raue* endoplasmatische Retikulum, zu dessen Aufgaben die Protein-Biosynthese zählt.

Die Ribosomen erfüllen eine der wichtigsten Funktionen der Zelle – die Protein-Biosynthese – und liegen verstärkt auf der Kernmembran und dem rauen endoplasmatischen Retikulum. Hier werden unterschiedliche Aminosäuren zu Proteinen verknüpft. Die Verknüpfungssequenz der Aminosäuren ergibt sich aus dem genetischen Code der menschlichen DNA.

Der Golgi-Apparat stellt den Ort dar, an dem die vom rauen endoplasmatischen Retikulum und den Ribosomen produzier-

ten Proteine und Stoffe gespeichert und modifiziert werden. Im Golgi-Apparat werden zudem Transport-Vesikel (in der Zelle gelegene Bläschen) gebildet (eine Art Schutzhülle um die Proteine und Stoffe) und damit in der Zelle transportiert, verteilt oder ausgeschleust.

Die Lysosomen enthalten Enzyme und bauen damit zelleigene und zellfremde Stoffe ab. Ihr pH-Wert ist extrem sauer (4,5 bis 5).

Die Peroxisome sind besonders in Leber und Nieren zu finden und dienen dem Abbau von Fettsäuren mittels Oxidation. Sie spielen eine wichtige Rolle bei der Verstoffwechselung von zellulären Abfall- und Zwischenprodukten und ermöglichen die Entgiftung von reaktiven Sauerstoffverbindungen (Wasserstoffperoxid), die zu Zellschäden führen können.

Jede Zelle bildet also einen eigenen, kleinen Mikrokosmos und ein eigenständiges, lebensfähiges System. Durch die intelligenten, sinnvoll aufeinander abgestimmten biochemischen Prozesse in der Zelle und durch das perfekt aufeinander abgestimmte Zusammenspiel der verschiedenen Zellorganellen stellt die Zelle die Grundlage des Lebens dar. Durch den Zusammenschluss von Milliarden einzelner, intelligenter Zellen entstehen hoch komplexe Systeme (Gebebe, Organe, Organsysteme), und daraus formt sich der Mensch mit seinem eigenen Bewusstsein sowie seiner Fähigkeit, zu denken, zu fühlen und zu handeln.

Prokaryoten und Eukaryoten

In der Natur finden sich zwei grundsätzlich unterschiedliche Zellarten, die sich vor allem darin unterscheiden, dass bestimmte Zellbestandteile vorhanden sind oder fehlen.

Prokaryoten (Bakterien, Archaen) sind in der Regel Einzeller und sehr klein (ca. 1–2 µm). Eukaryoten sind meist mehrzellige Organismen (es gibt Ausnahmen), deren Zellen deutlich größer sind (10–100 µm) als die der Prokaryoten. Prokaryoten sind Le-

bewesen, deren Zellen keinen Zellkern aufweisen und hinsichtlich ihrer Architektur einfach organisiert sind. Die Erbinformation, die DNA, befindet sich bei Prokaryoten frei im Zellplasma, während sie bei Eukaryoten im Zellkern sitzt. Zusätzlich besitzen sie DNA in Form von Plasmiden. Prokaryotische Zellen enthalten im Gegensatz zu Eukaryoten keine Zellorganellen und Kompartimente. Aus dem Zusammenschluss von prokaryotischen Zellen sind im Lauf der Evolution komplexe eukaryotische Zellen hervorgegangen (D Teil 1 D »Die Endosymbionten-Theorie«, S. 33).

M Zellforschung am Rand der etablierten Wissenschaft

Sind wir durch unsere Gene bestimmt? Die Geheimnisse unserer Gene werden wissenschaftlich immer weiter entschlüsselt; wir wissen immer mehr über die Informationen, die sie enthalten. Wissenschaft und Schulmedizin sehen in der Genetik die riesige Chance, um langfristig bestimmte genetisch mitbestimmte Krankheiten frühzeitig zu erkennen und mittels gezielter Eingriffe in das Erbgut Krankheiten zu verhindern und zu heilen. In verschiedenen Ländern werden im Rahmen groß angelegter Studien (z. B. seit 2018 die »Estonian Personalized Medicine Initiative« in Estland) die genetischen Informationen der Bevölkerung erforscht, um zugleich Daten über Gendefekte, genetische Krankheitsdispositionen usw. zu erhalten. Genetische Risiken sollen frühzeitig erkannt sowie der Ausbruch der Krankheiten mithilfe gezielter Maßnahmen zur Lebensführung zumindest verzögert werden.

Aber sind es wirklich »nur« die in der DNA der Zelle codierten Gene, die uns bestimmen und die über Gesundheit und Krankheit entscheiden? Die festlegen, wer und was wir sind?

Schauen wir dazu auf die Ergebnisse einiger Forscher, die entgegen den landläufigen Meinungen alternative Ansichten zur Zelle vertreten.

Die Zelle aus Sicht des Entwicklungsbiologen und Zellforschers Dr. Bruce Lipton

Fakt ist, dass nicht jede genetische Krankheitsdisposition zwangsläufig zum Ausbruch einer Krankheit führen muss. Der Einfluss unserer eigenen Erwartungen, Ängste und Glaubenssätze kann eine wichtige, oft unterschätzte Rolle spielen.

Der Zellbiologe Bruce Lipton hat bereits vor vielen Jahren das Dogma infrage gestellt, wir würden von unseren Genen bestimmt. Aufgrund seiner eigenen sowie vielerlei anderer Forschungsergebnisse postuliert er, dass es nicht die Genetik ist, die unser Schicksal bestimmt; also sind wir auch nicht die Opfer unserer Gene. Viel wichtiger sei die Zellmembran, das heißt die Wand der Zelle, und dort die Transportmechanismen, die Informationen und Stoffe in die Zelle und aus der Zelle befördern. In der Membran sitze demnach die eigentliche Intelligenz der einzelnen Zellen.

Bruce Lipton geht noch einen Schritt weiter, indem er sagt, dass wir auf der Grundlage unserer Wahrnehmung der Umwelt die Zelle und unsere Gene steuern – nicht umgekehrt. Anders ausgedrückt sind es unsere eigenen Überzeugungen, die auf unsere Gene einwirken und sie aktivieren, lenken oder hemmen. Genau so, wie wir die Umwelt wahrnehmen, reagieren unsere Zellen.

Bekanntlich hegen wir alle unsere ureigenen Glaubenssysteme und Überzeugungen. Die größte Prägung erfolgt in den ersten Lebensjahren: durch die Überzeugungen und Glaubenssätze unserer Eltern, durch unser soziales, kulturelles und geografisches Umfeld, durch die Religion usw. So entsteht in dieser Kindheitsphase der Grundstock für unser persönliches Glaubens- und Wertesystem. Erst später fangen wir an, den Wahrheitsgehalt von Botschaften zu hinterfragen, und können – glücklicherweise – unsere Muster allmählich auch wieder verändern.

Laut Bruce Lipton haben unsere Gedanken, Gefühle und Überzeugungen – nicht unsere Gene – den entscheidenden Einfluss auf die Funktion unserer Zellen.

Wenn das so ist, sind wir nicht länger Opfer unserer genetischen Herkunft. Ganz im Gegenteil, wir selbst sind Schöpfer unserer Realität und können diese Schöpferkraft aktiv und bewusst einsetzen: für unseren Energiezustand, für unsere Lebensenergie, für unsere

Gesundheit, für unser Bewusstsein, für unser Leben, für alles, was wir erreichen wollen.

Wir brauchen dazu Mittel und Wege, um uns aus unseren alten, krank machenden, beschränkenden Überzeugungen zu lösen und sie durch neue, gesunderhaltende, stärkende, visionäre, grenzüberschreitende Ansichten und Überzeugungen zu ersetzen. Wir brauchen die innere Überzeugung, dass wir uns aus allen Begrenzungen lösen und ungeahnte Kräfte und Energien in uns aktivieren können, indem wir uns mit allen Energiequellen in und um uns verbinden und die Energie optimal für uns und unser Leben nutzen.

Die Frage stellt sich also, ob wir unseren Genen die Macht geben, indem wir an den alten Dogmen festhalten, oder ob wir an die Macht unseres Bewusstseins sowie an die These von der unbegrenzten Lebensenergie glauben. Nutzen wir unsere Schöpferkraft und die unbegrenzten Energiequellen optimal und sinnvoll oder lassen wir uns von unseren Genen, alten Glaubenssätzen und Überzeugungen fremdbestimmen und determinieren?

Mitochondrien und EZ-Wasser

Nach bisheriger wissenschaftlicher Lehrmeinung kommt Wasser in drei unterschiedlichen Zuständen vor: fest (gefroren/Eis), flüssig und gasförmig (Wasserdampf).

Bereits 1949 gab es jedoch Hinweise, dass sich Flüssigkeiten, also auch Wasser, grundsätzlich an hydrophilen Oberflächen verändern. Gerald Pollack, ein Forscher der Universität von Washington in Seattle, stellte die Theorie auf, dass es einen bisher verborgenen, gelartigen, vierten Aggregatzustand des Wassers gebe: Er tritt zwischen dem flüssigen und dem gefrorenen Zustand auf und bildet sich laut Pollack an hydrophilen Grenz- bzw. Oberflächen, einer sogenannten Exklusionszone (EZ-Zone), die wir überall im Körper haben. Dementsprechend nannte Pollack dieses Wasser »Exclusion Zone Water« bzw. »EZ-Wasser«.

Dieser Zustand tritt immer beim Abkühlen von Wasser kurz vor dem Gefrieren oder beim Erhitzen kurz vor dem Übergang vom gefrorenen in den flüssigen Zustand auf.

EZ-Wasser ist negativ geladenes, kolloidales Zellwasser. Die chemische Formel lautet H_3O^- . Sobald Wasser in die Nähe von hydrophilen Oberflächen gelangt, beginnt es sich selbst zu strukturieren und zu ordnen und geht in den Aggregatzustand des EZ-Wassers über. Diese Wassermoleküle sind stabiler als normale Wassermoleküle. Sie ordnen sich in einer Art geschichteter Wabenstruktur an, die helixartig (schraubenförmig) aufgebaut ist. Neben dem EZ-Wasser finden wir in der Zelle mehrere Strukturen, die helixartig angeordnet sind, z. B. Faserproteine, die DNA und die RNA.

Faszinierend am EZ-Wasser ist, dass es sich selbst reinigt: Es schiebt dabei alle gelösten Stoffe in die »normale« Wasserschicht ab. Dadurch entsteht diese absolut reine Exklusionszone.

Das EZ-Wasser bildet sich im Körper aus dem Wasser, das wir trinken. Dank des Gelzustands können Makromoleküle und Zellmembranen erst richtig funktionieren. Laut Pollack ist vor allem das EZ-Wasser in der Zelle essenziell für ihre gute Funktion. Hätten wir nur normales Wasser in den Zellen, würde es aus den Zellen ausfließen.

Was hat das EZ-Wasser nun mit dem Thema »Mitochondrien« und der Energie zu tun?

Pollack postuliert, dass unsere Zellen dank des EZ-Wassers negativ geladen sind. Die negative Ladung ist hier für viele Funktionen bedeutsam: Fehlt es Zellen an negativer Ladung, dann ist z. B. die Zellkommunikation eingeschränkt, vor allem auch in den Nervenzellen. Durch Oxidation verlieren unsere Zellen ihre negative Ladung; deshalb ist es unter anderem so wichtig, dass genügend Antioxidantien im Körper vorhanden sind. Alle Abfallstoffe im Körper sind positiv geladen und werden durch Schweiß, Urin und Stuhl ausgeschieden, ebenso durch Ausatmung von Kohlenstoffdioxid (CO_2).

Für unseren Körper und seine Funktionen ist die negative Ladung also essenziell. Wir können unseren Körper z. B. durch »Erdung« negativ aufladen (D Teil 3 D »Erdung sorgt für Entspannung«, S. 121f.); durch Lichttherapie und Infrarotlicht, durch Aufenthalt im Sonnenlicht kann EZ-Wasser gebildet werden. Licht erhöht die Leistungsfähigkeit der Mitochondrien, schützt vor Ent-

zündungen und hilft ihnen, schneller Adenosintriphosphat (ATP) zu produzieren.

Sie können sich EZ-Wasser zuführen, indem Sie rohe Gemüsesäfte, frisches Quellwasser oder Gletscherwasser trinken. Leitungswasser oder Flaschenwasser kann mithilfe von Schwingungen, Strahlung und Infrarotlicht in EZ-Wasser umgewandelt werden.

EZ-Wasser funktioniert laut Pollack wie eine Art Akku und kann durch Sonneneinstrahlung oder Infrarotlicht Energie aufnehmen, speichern und wieder abgeben.

Das EZ-Wasser weist also einige bisher unbekannte Eigenschaften auf: die gelartige Viskosität, einen veränderten elektrischen Widerstand, einen veränderten pH-Wert, die starke Absorption von Infrarotlicht und die deutlich negative Ladung.

Die Lichtquanten in den Zellen

In den Siebzigerjahren erforschte Fritz-Albert Popp an der Universität Marburg die Fotoreparatur von Zellen. 1975 gelang ihm erstmals der experimentelle, mittlerweile unumstrittene Nachweis der Biophotonen.

Lebende Zellen strahlen mit einem schwachen Leuchten wenige Lichtquanten pro Sekunde und Quadratzentimeter ab. Für unser Auge entspricht dies der Intensität eines Kerzenscheins in ungefähr 20 Kilometern Entfernung. Popps Versuche ergaben, dass bei lebenden Systemen die Lichtstrahlung langsamer abklingt als bei bereits toten Zellen, bei denen die Strahlung zudem immer schwächer wird. Die Biophotonen werden von Elektronen erzeugt, die vom Sonnenlicht angeregt wurden. Wenn die Elektronen dann von ihrem höheren Energieniveau herabfallen, strahlen sie Licht ab. Popp vermutete, dass in lebenden Systemen die Quanten nicht unabhängig voneinander agieren. Die Elektronen sind sozusagen voneinander informiert und »kommunizieren« miteinander.

Popp folgerte aufgrund seiner Forschungen und der Tatsache, dass Sonnenlicht eine elementare Nahrungsquelle der meisten Lebewesen ist, dass auch wir Menschen auf zellulärer Ebene Energie und ordnende Signale aus dem Sonnenlicht beziehen. Biophotonen

dienen demnach den Zellen zur gegenseitigen Kommunikation, und so werden die chemischen Vorgänge koordiniert. Indem wir Pflanzen essen, nehmen wir ihr gespeichertes Licht und die darin enthaltenen Informationen auf. Nach Popp sind Lebensmittel damit nichts anderes als Lichtinformation, und wir Menschen ernähren uns auf zellulärer Ebene (auch) von Licht.

Nun kann man zu Popps Forschungen stehen, wie man will – die Quantenphysik bestätigt diese Hypothesen. Vom Wiener Quantenphysiker Anton Zeilinger, dem als Erster die Teleportation von Lichtteilchen experimentell gelang, stammt die Aussage: »Richtig vorstellen kann ich mir auch nicht, was bei diesen Vorgängen jenseits von Zeit und Raum vor sich geht.« Gleichwohl könne man »Lichtteilchen als reine Information betrachten«.

M Die Mitochondrien – Kraftwerke der Zellen

Die Mitochondrien sind zuständig für die Energieversorgung der Zelle und des gesamten Organismus. Sie wurden bereits im 19. Jahrhundert entdeckt, aber erst seit 1948, als Methoden entwickelt wurden, mit denen die Mitochondrien isoliert werden konnten, wuchs das Verständnis für ihre genaue Funktion.

Normalerweise werden sie als bakterienähnliche, steife Zylinder mit einem Durchmesser von nur 0,5–1 Mikrometer dargestellt. Durch Zeitrafferaufnahmen lebender Zellen wird allerdings deutlich, dass Mitochondrien sehr bewegliche und verformbare Organellen sind, die Netzwerke bilden und ständig ihre Gestalt ändern, fusionieren und sich wieder trennen. Diese Bewegungen werden gewährleistet, indem Mitochondrien mit Mikrotubuli assoziiert sind. Dadurch kann die charakteristische Verteilung der Mitochondrien in verschiedenen Zelltypen erfolgen. Dabei hängt die Anzahl der Mitochondrien in jeder Zelle eines Organs davon ab, wie stoffwechselaktiv und energiebedürftig es ist, und kann dementsprechend an-

gepasst werden. Einen besonders hohen Energiebedarf haben die Muskel-, Nerven- und Sinneszellen sowie die Eizellen.

Verlieren eukaryotische Zellen Mitochondrien, sind sie nicht mehr regenerierbar.

Erythrozyten, die roten Blutkörperchen, haben keine Mitochondrien. Ansonsten besitzen menschliche Zellen durchschnittlich rund 1000–2000 Mitochondrien, die Anzahl kann aber stark variieren; so hat eine reife Eizelle mehrere Hunderttausend Mitochondrien, wohingegen Spermien weniger als 100 kugelförmige Mitochondrien im Mittelstück aufweisen. In manchen Zellen finden sich langkettige, bewegliche Mitochondrien, während in anderen Zellen, in denen sehr viel ATP verbraucht wird, die Mitochondrien eher an einem festen Ort fixiert bleiben und ihn mit ATP beliefern. So finden sich z. B. zwischen benachbarten Myofibrillen einer Herzmuskelzelle, die sehr viel Energie braucht, die Mitochondrien eingezwängt und festsitzend, sodass das ATP direkt in die Herzmuskelzelle abgegeben werden kann. Der Volumenanteil der Mitochondrien in Herzmuskelzellen beträgt bis zu 36 Prozent.

Eine Besonderheit der Mitochondrien stellt ihr eigenes, spezialisiertes, ringförmiges Erbgut dar. Es dient als Vorlage für besonders wichtige Proteine, die aber nur im Zusammenspiel mit den Erbinformationen aus dem Zellkern ihre vorgesehenen Funktionen erfüllen können. Während das Erbgut im Zellkern von beiden Eltern an die Kinder weitergegeben wird, wird die mitochondriale DNA in der Regel von der mütterlichen Seite mit der Eizelle vererbt, da das Spermium bei der Befruchtung nur den Zellkern überträgt. Dass mitochondriale DNA in Einzelfällen auch vom Vater an den Nachwuchs weitergegeben werden kann, haben nun Wissenschaftler um Shiyu Luo vom Cincinnati Children's Hospital entdeckt.

Eine weitere Besonderheit ist die Doppelmembran der Mitochondrien in Form einer Außen- und einer Innenmembran, was zunächst ungewöhnlich erscheint. Woher kommt die zweite Membran bzw. welchen Nutzen hat sie und woher kommt das eigene Erbgut?

Die Endosymbionten-Theorie

Vor ungefähr 1 bis 3,5 Milliarden Jahren, als Bakterien die ersten Lebewesen auf der Erde waren, setzte ein Ereignis die Entwicklung zu höheren Organismen in Gang. Die Endosymbionten-Theorie erklärt, wie aus diesen einfachen Organismen komplexe pflanzliche und tierische Zellen mit Zellkern und Organellen entstanden. Man geht davon aus, dass ursprünglich zwei Einzeller, ein etwas größeres Urbakterium und ein etwas kleineres Proteobakterium, miteinander fusionierten bzw. dass das Urbakterium, das Wasserstoff als Energiequelle nutzte, das kleinere Bakterium, das Wasserstoff freisetzte, in sich aufnahm, sodass das kleinere Bakterium eine zweite Membran von dem Urbakterium erhielt. Im Lauf mehrerer Jahrtausende verlor das kleinere Bakterium immer mehr seine Eigenständigkeit und wurde letztendlich zu einem Zellorganell, dem Mitochondrium. Dieses perfektionierte im Lauf der Evolution die Energiegewinnung, indem es nicht mehr nur Wasserstoff als Energiequelle zur Verfügung stellt, sondern den wertvollen Energieträger ATP. Somit entwickelte sich dieses kleine Bakterium zu einem richtigen Kraftwerk. Das Urbakterium bildete einen Zellkern und »verpackte« darin die DNA. Durch die Aufnahme eines weiteren Bakteriums, des Cyanobakteriums, das Photosynthese betreiben kann, entwickelten sich die Chloroplasten der Pflanzen.

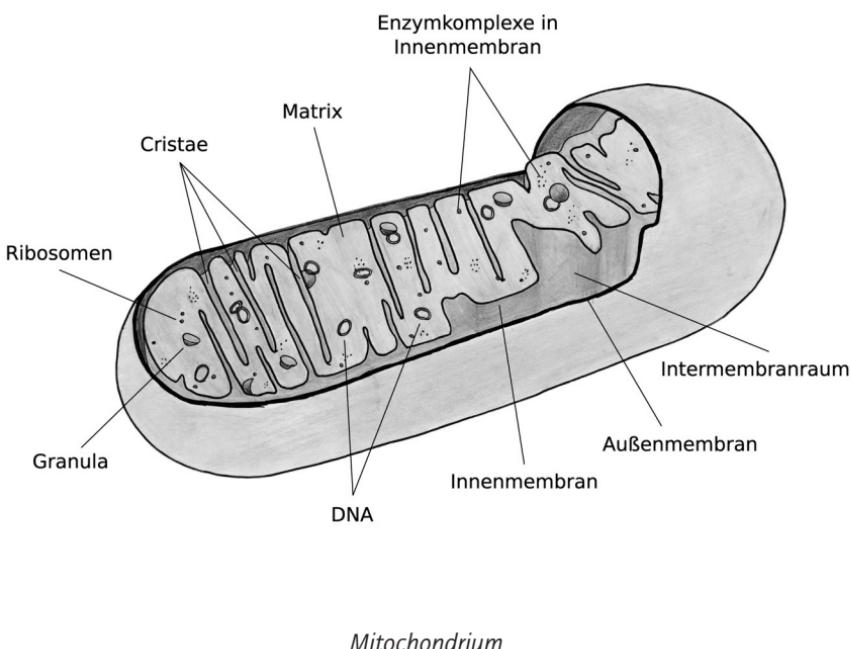
Letztendlich sprechen mehrere Indizien für eine Endosymbionten-Theorie: zum einen die Doppelmembran von Mitochondrien und Chloroplasten, zum anderen die von Proteobakterien stammenden Gene in allen eukaryotischen Zellen. Außerdem besitzen Mitochondrien und Chloroplasten ihr eigenes Erbgut in Form von ringförmiger DNA und vermehren sich wie Bakterien durch Teilung.

Aufbau der Mitochondrien

Jedes Mitochondrium ist von zwei hoch spezialisierten, für die Aktivität entscheidenden Membranen umgeben, die aus Phospholipiddoppelschichten und Proteinen aufgebaut sind. Sie haben unterschiedliche Eigenschaften.

Zwischen den beiden Membranen liegt der Intermembranraum, innerhalb der inneren Membran befindet sich die Matrix.

Die Außenmembran umschließt das Mitochondrium und ist durchlässig für kleine Moleküle und Ionen. Für gefaltete Proteine ist sie undurchlässig; für bestimmte ungefaltete Proteine besitzt sie spezielle Transportkanäle, sogenannte Porine. Weitere Proteine in der Außenmembran sind Enzyme der mitochondrialen Lipidsynthese und Enzyme, die Lipidsubstrate in Formen umwandeln, die dann in der Matrix verarbeitet werden.



Die Innenmembran weist starke Faltungen bzw. Einstülpungen in die Matrix hinein auf, die sogenannte Cristae-Faltung; diese kann flächig, unregelmäßig oder tubulusförmig sein. Dadurch ergibt sich eine enorm große Oberfläche.

Nehmen wir z. B. 1 Gramm Lebergewebe: Es enthält 3 Quadratmeter Mitochondrien-Innenmembranfläche. Die Anzahl der Cristae-Faltungen in den Mitochondrien einer Herzzelle ist ca. 3-mal so groß wie in einer Leberzelle, da hier der Energiebedarf kontinuierlich höher ist. Je größer die Fläche ist, desto mehr Platz steht für die ATP-Herstellung, also für die Energiegewinnung, zur Verfügung. Insofern ist sie umso größer, je stoffwechselaktiver die Zelle ist.

Die Innenmembran enthält Proteine aus drei unterschiedlichen Funktionskreisen:

- d Proteine, die die Oxidationsreaktionen der Atmungskette durchführen.
- d Enzymkomplexe, die als »ATP-Synthase« bezeichnet werden und die in der Matrix ATP herstellen.
- d Spezifische Transportproteine, die die Passage von Metaboliten – den Zwischenprodukten des Stoffwechsels – durch die Membran in die Matrix und aus ihr heraus regulieren.

Über die Innenmembran wird ein Protonengradient – ein Konzentrationsunterschied – errichtet, der die ATP-Synthase antreibt. Die Membran muss für die meisten kleinen Ionen undurchlässig sein, da der Gradient sonst nicht aufrechterhalten werden kann. Einzig Wasser, Sauerstoff, Kohlendioxid, Kohlenmonoxid und Stickstoffmonoxid können frei diffundieren.

Die Innenmembran ist hoch spezialisiert und enthält unter anderem große Mengen des Doppel-Phospholipids Cardiolipin, das mit seinen vier Fettsäuren wahrscheinlich dazu beiträgt, die Membran besonders Ionen-undurchlässig zu machen. Zudem enthält sie eine Reihe unterschiedlicher Transportproteine; sie machen die Membran sehr selektiv durchlässig für spezifische kleine Moleküle, die in der Matrix verstoffwechselt werden sollen oder von den vielen Mitochondrien-Enzymen im Matrixraum benötigt werden.

Der Intermembranraum, also der Bereich zwischen den beiden Membranen, enthält verschiedene Enzyme, die das aus der Matrix entlassene ATP zur Phosphorylierung anderer Nukleotide verwenden. Da die äußere Membran für kleine Moleküle frei durchlässig ist, ist die Konzentration von kleinen Molekülen wie Ionen und Zu-

cker identisch mit deren Konzentration im Zytosol. Große Proteine benötigen eine spezifische Signalsequenz, um durch die Membran transportiert zu werden.

Somit unterscheidet sich die Zusammensetzung der Proteine zwischen dem Intermembranraum und dem Zytosol. So ist z.B. das Cytochrom C ein Protein, das im Intermembranraum gehalten wird. Proteine des Intermembranraumes sind für viele mitochondriale und zelluläre Prozesse bedeutend, unter anderem für den Energiestoffwechsel, die Apoptose und den Transport von Metaboliten und Proteinen.

Die Matrix enthält ein hoch konzentriertes Gemisch aus Hunderten von Enzymen, unter anderem die für die Oxidation von Pyruvat und Fettsäuren sowie für den Zitronensäurezyklus benötigten Enzyme. Auch enthält sie mehrere identische Kopien des mitochondrialen DNA-Genoms, spezielle mitochondriale Ribosomen, t-RNAs und verschiedene Enzyme für die Expression, also für die Realisierung der Information, die in der DNA der Mitochondrien-Gene gespeichert ist.

Die Hauptarbeit der Mitochondrien findet in der Matrix und in der Innenmembran statt.

Funktionen der Mitochondrien im Überblick

Energieproduktion (D Teil 2)

- d Umwandlung von Pyruvat aus der Glykolyse in Acetyl-CoA durch den **Pyruvat-Dehydrogenase-Komplex**
- d Bildung von Acetyl-CoA durch **Beta-Oxidation** der Fettsäuren
- d Gewinnung von Reduktionsäquivalenten (NADH/H^+ und FADH_2) aus Acetyl-CoA im **Zitronensäurezyklus**
- d Übertragung der Elektronen und Protonen aus den Reduktionsäquivalenten (NADH/H^+ und FADH_2) auf Enzymkomplexe der **Atmungskette** – Entstehung eines Protonengradienten

- d Bildung von ATP durch den Protonengradienten, der die ATP-Synthase antreibt, bei der **oxidativen Phosphorylierung**
- d Erstreaktionen der **Glukoneogenese** (Bildung von Glukose aus dem Zuckerspeicher Glykogen)
- d **Ketonkörpersynthese**

Weitere Stoffwechselwege, die zum Teil in den Mitochondrien ablaufen:

- d Die Synthese von **Häm** als Zentralbestandteil von Hämoglobin und Bestandteil von anderen Stoffen ist wichtig für den Sauerstofftransport im Blut. Sie findet zum Teil im Intermembranraum der Mitochondrien statt.
- d Mitochondrien sind für die Bildung von **Steroidhormonen** in bestimmten hormonbildenden Geweben mitverantwortlich. Sie stellen den Startort der Synthese aus Cholesterin und den Endpunkt bei der Bildung des Stresshormons Cortisol und des Dursthormons Aldosteron dar.
- d Außerdem entstehen **Aminosäuren** aus Intermediaten des Zitronensäurezyklus, die zum Teil für Enzyme der Atmungskette gebraucht werden, aber auch aus der Zelle heraustransportiert werden können, um für weitere Proteinbildung zur Verfügung zu stehen.
- d Ein Teil des **Harnstoffzyklus** läuft unter Energieverbrauch in den Mitochondrien ab. Dabei wird z.B. der giftige Ammoniak, der unter anderem beim Abbau von Aminosäuren entsteht, zu harmlosem Harnstoff abgebaut.

Zusätzliche Funktionen:

- d **Synthese von Eisen-Schwefel-Clustern**, den Bestandteilen der Proteinkomplexe der Atmungskette.
- d **Speicherort für Kalzium**: Mitochondrien sind in der Lage, Kalzium-Ionen aufzunehmen und wieder abzugeben, und spielen daher eine Rolle bei der für die Zelle wichtigen Kalzium-Homöostase (Gleichgewicht).
- d **Apoptose (programmierter Zelltod)**: Das im Intermembranraum befindliche Cytochrom C, das als Elektronenüberträger

der Atmungskette unverzichtbar ist, hat zusätzlich eine wichtige Funktion für den programmierten Zelltod. Liegen in der Außenmembran der Mitochondrien Schäden vor, so kann Cytochrom C ins Zytoplasma der Zelle gelangen und Enzyme aktivieren, die den programmierten Zelltod einleiten.

Die Hauptaufgabe der Mitochondrien ist die Energiegewinnung durch die Zellatmung. Die dafür notwendigen Bestandteile sind Sauerstoff und Nahrung. Dabei wird die Nahrungsenergie in kleine »Energiepäckchen« (das ATP, die Energiewährung des Körpers) umgewandelt.

Doch wie gelangen der Sauerstoff und die Nährstoffe in die Zelle und zu den Mitochondrien?

M Die Reise des Sauerstoffs zu den Zellen

Sauerstoff ist für die Energiegewinnung in unseren Mitochondrien essenziell. Als Bestandteil der Luft ist er überall in unserem Lebensraum reichlich vorhanden. Der Sauerstoffgehalt in der Luft bleibt weitgehend konstant bei 21 Prozent. Sie enthält außerdem 78 Prozent Stickstoff, ca. 0,9 Prozent Argon – ein Edelgas –, Spurengase wie Kohlendioxid, Neon, Helium, Krypton und Xenon. Problematisch für unsere Gesundheit und für die Umwelt ist dabei der stetige Anstieg der primären Luftschadstoffe, z.B. Kohlendioxid, Stickoxide, Ammoniak, Schwefeloxide, Stoffpartikel wie Staub, Rauch, Ruß und Aerosole (Gemische aus festen und flüssigen Schwebeteilchen in einem Gas).

Ein erwachsener Mensch atmet ungefähr 17.000 bis 21.000 Mal am Tag ein und aus. Der komplexe Atemvorgang ist notwendig für den Gasaustausch: Blut wird mit Sauerstoff angereichert, und Kohlendioxid wird aus dem Blut abtransportiert.

Das wichtigste Organ für die Atmung und den Gasaustausch ist die Lunge. Die sauerstoffreiche Luft strömt beim Einatmen über

die oberen Atemwege (Nase, Mund, Kehlkopf und Rachen) zu den unteren Atemwegen (Luftröhre, Lunge mit Bronchien und Bronchiolen) und den dort sitzenden Lungenbläschen, den Alveolen. Die Alveolen sind mit einem feinen Kapillarnetz – den kleinsten Blutgefäßen – umzogen; dort findet der eigentliche Gasaustausch statt. Das durch die Kapillaren fließende Blut nimmt Sauerstoff aus den Alveolen auf und gibt gleichzeitig in die Alveolen CO_2 ab, das dann bei der Ausatmung nach draußen strömt.

Da sich Sauerstoff schlecht im Wasser bzw. im Blut löst, braucht es ein Transportmedium, um zu den Zielzellen und dort zu den Mitochondrien transportiert zu werden. Diese Aufgabe übernehmen im Blut die roten Blutkörperchen, die mit Hämoglobin, dem roten Blutfarbstoff, verbunden sind. Hämoglobin kann sehr gut Sauerstoff binden und bei Bedarf auch wieder abgeben. So fungieren das Hämoglobin und die roten Blutkörperchen wie ein Taxidienst, der den Sauerstoff abholt, ihn aufnimmt und zum Zielort transportiert.

Das Kohlendioxid wiederum, das als Abfallprodukt bei der Energiegewinnung in den Mitochondrien entsteht, löst sich wesentlich besser in Wasser und im Blut. So wird es zum einen von den »Taxis« – den roten Blutkörperchen mit dem Hämoglobin – zu den Alveolen zurücktransportiert und dort abgeatmet. Zum anderen kann es in Hydrogencarbonat umgewandelt werden, das in Blut sehr gut löslich ist. So wird es zur Lunge transportiert und dort vor dem Ausatmen wieder in CO_2 verwandelt. Wie für alle Körperforgänge benötigt und verbraucht der Körper dabei Energie, die die Mitochondrien zur Verfügung stellen.

Der Sauerstoffgehalt der Ausatemluft enthält immer noch 16 Prozent Sauerstoff. Wir nehmen also nur 5 Prozent des in der Luft enthaltenen Sauerstoffs auf. Der CO_2 -Gehalt in der Ausatemluft beträgt 4 Prozent; also atmen wir 40 Milliliter CO_2 pro Liter Luft aus.

Verdeutlichen wir uns diese Dimension des Atemvorgangs, wird dessen essenzielle Bedeutung ersichtlich. Ein erwachsener Mensch atmet im Durchschnitt pro Minute 12- bis 15-mal ein und aus. Dabei werden ca. 8 Liter Luft in uns hinein- und hinausbewegt. Am Tag sind das über 12.000 Liter Luft. Pro Minute setzen wir 0,4 Liter Sauerstoff um.

Saubere Luft ist lebenswichtig

Saubere Luft ist essenziell für unsere Gesundheit und unser Wohlbefinden. Die Luftverschmutzung, also die Anreicherung der Atemluft mit verschiedensten Schadstoffen, hat aber seit Beginn der Industrialisierung immer mehr zugenommen. Gerade in etlichen Ballungsgebieten mit hohem Verkehrsaufkommen und in Industriegebieten hat die Konzentration von verschiedenen gesundheitsschädlichen Stoffen trotz vieler Bemühungen zur Luftreinhaltung längst bedenkliche Werte erreicht oder überschritten. Unser menschlicher Körper benötigt dann mehr Energie, um Schadstoffe wieder auszuleiten und physische Schäden zu reparieren bzw. die Funktion bereits geschädigter Bereiche aufrechterhalten zu können. Dadurch steht weniger Energie für andere Aufgaben zur Verfügung. Luftreinhaltung ist daher bekanntlich kein Luxus, sondern grundlegend notwendig für Menschen, Tiere, ja die gesamte Natur und für die Aufrechterhaltung gesunder, funktionierender Lebensgrundlagen, da auch Pflanzen, Böden, Gewässer, Gebäude und Materialien unter den vielen Luftschadstoffen leiden.

Zusammen mit Wind, Wärme und Sonnenlicht reagieren die primären Schadstoffe miteinander, sie vermischen sich – es entstehen sekundäre Luftschadstoffe wie Feinstaub, Ozon usw.

Ozon reizt die Atemwege und ist in höheren Konzentrationen giftig.

Die Feinstaubpartikel sind so klein, dass sie über die Lungenbläschen in den Blutkreislauf und von dort weiter zu Körperzellen gelangen. Dort können sie zu unkontrollierten Reaktionen führen – sie gelten unter anderem als krebserregend. Rauch und Ruß setzen sich in der Lunge ab und beeinträchtigen deren Funktion.

Stickstoffdioxid (NO_2) schädigt Pflanzen und wirkt als Reizgas buchstäblich reizend auf uns Menschen, was z. B. besonders problematisch für Astmatiker ist. Aufgrund der starken Oxidationswirkung kann es zu Entzündungsreaktionen in den Atemwegen kommen.

Stickstoffmonoxid (NO) reagiert weniger in den Lungen, sondern geht ins Blut über und hat eher einen systemischen Effekt. Es beeinflusst die Spannung der Blutgefäße und ruft eine Gefäßweiterung hervor. Zudem ist Stickstoffmonoxid ein körpereigener

Botenstoff, aber das von außen zugeführte NO kann massiv in verschiedene Mechanismen wie die Blutdruck-Regulierung oder die Signalübertragung an das Gehirn und das periphere Nervensystem eingreifen und sie empfindlich stören. Zudem werden Heilreaktionen verhindert, da sich die Blutplättchen und weißen Blutkörperchen nicht mehr an die Gefäßwände anheften können.

Kohlenmonoxid (CO) entsteht immer bei einer unvollständigen Verbrennung von Brenn- und Treibstoffen, besonders im Fall von Sauerstoffmangel bei Verbrennungsprozessen. Es handelt sich um ein starkes Atemgift, verhindert die Aufnahme von Sauerstoff bei Menschen und Tieren und kann starke Auswirkungen auf unser zentrales Nervensystem haben.

Stickoxide (NO_x) entstehen bei der Verbrennung von Kohle und Öl. Sie reizen Schleimhäute, Augen und Atemwege.

M Die Reise der Nährstoffe zu den Zellen

Genauso wie der Sauerstoff müssen auch die in der Nahrung enthaltenen und für die Energiegewinnung notwendigen Stoffe zu den Mitochondrien gelangen. Sind die Nahrungsaufnahme und/oder die Verdauung gestört, werden möglicherweise weniger Nährstoffe resorbiert; in der Folge fehlen die notwendigen Stoffe, sodass unser Körper nicht genügend Energie bereitstellen kann.

Aber woher weiß unser Körper, wann er welche notwendigen Verdauungsschritte ankurbeln soll, damit die Nahrungsverwertung optimal funktioniert?

Wissenschaftler des Max-Plank-Institutes haben herausgefunden, dass bereits vor der Nahrungsaufnahme Verdauungsprozesse im Körper beginnen. Damit die aufgenommene Nahrung effizient verarbeitet werden kann, wird in dieser sogenannten Kopfphase der Verdauung bereits die Magensäureproduktion aktiviert, sobald wir die Nahrung riechen und sehen; gleichzeitig werden Neuronen, also Nervenzellen, in der Hypothalamusregion des Gehirns

aktiviert, die Signale an die Leber leiten, um sie auf die Verdauung vorzubereiten.

Der ganze weitere Prozess der Nahrungsaufnahme sowie der Verwertung und des Transports der für die Energiegewinnung notwendigen Stoffe wird durch ein hoch komplexes Kontroll- und Regelsystem vom Gehirn und vom Hormonsystem und, wie wir später sehen werden (D Teil 2 D »Lichtquanten – Biophotonen – Intelligente Zellkommunikation«, S. 77f.), von Lichtquanten gesteuert.

Proteinverdauung und Aufnahme von Aminosäuren im Körper

Die über die Nahrung aufgenommenen Eiweiße (Proteine) werden im Magen-Darm-Trakt mithilfe von Enzymen (Pepsine/Proteasen) zunächst zu Oligopeptiden, dann weiter zu Di- und Tripeptiden und schließlich zu Aminosäuren abgebaut. Die erste Spaltung beginnt im Magen. Im Duodenum (Zwölffingerdarm) werden die Proteine mithilfe von Enzymen aus dem Pankreas (Bauchspeicheldrüse) weiter zu Oligopeptiden zerlegt. Letzte Spaltungsschritte werden von Enzymen der Enterozyten durchgeführt, wobei Di- und Tripeptide entstehen.

Die Resorption der Spaltprodukte in die Enterozyten (Zellen der Darmwand) erfolgt aktiv (es wird Energie benötigt), da sich dort bereits eine hohe Konzentration an Aminosäuren befindet. Die Di- und Tripeptide werden hier weiter zu Aminosäuren abgebaut. Über die Mukosazellen der Darmwand werden sie passiv durch Diffusion ins Blut abgegeben und zunächst über die Pfortader zur Leber transportiert. Von hier werden sie weiter über das Blut zu den jeweiligen Zielzellen befördert. Zusätzlich zu den mit der Nahrung aufgenommenen Proteinen werden auch die Proteine in einer Zelle ständig abgebaut, um sie zu erneuern.

Durch diesen regen Proteinstoffwechsel sind immer freie Aminosäuren verfügbar. Deshalb ist es nicht notwendig, Aminosäuren auf Vorrat zu speichern, im Gegensatz zu den Kohlenhydraten und Fetten. Nimmt man mehr Proteine auf, als man braucht, werden die überschüssigen Aminosäuren zu Energie verbrannt. Allerdings entsteht beim Abbau von Aminosäuren eine Art Sondermüll in

Form von Ammoniak, der für den Körper giftig ist. Er muss deshalb zunächst über das Blut zur Leber transportiert werden, wo er in den ungiftigen Harnstoff umgebaut wird. Nachdem dieser über das Blut zu den Nieren gelangt ist, kann er mit dem Urin ausgeschieden werden. Das verbleibende Kohlenstoffgerüst der Aminosäuren wird vor allem zu Acetyl-CoA (aktivierte Essigsäure), aber auch zu Acetoacetyl-CoA, Pyruvat, Oxalacetat oder anderen Intermediaten des Zitronensäurezyklus umgewandelt und somit im Energiestoffwechsel zur ATP-Bildung, für die Glukoneogenese oder für die Fettsäuresynthese verwendet (D Teil 2).

Fettverdauung und Fettaufnahme in die Zelle

Viele der heutigen Nahrungsmittel enthalten große Mengen an Fetten (Lipiden). Wenn die Aufnahme von Fett den eigenen Bedarf übersteigt, gilt dies als ungesund, da sich das überschüssige Fett in den Arterien ablagern und Herz- und Gefäßerkrankungen verursachen kann. Trotzdem: Ohne Fett kann der Mensch nicht leben.

Fett ist ein wichtiger Geschmacksträger und liefert viel Energie (9,3 kcal bzw. 39 kJ pro Gramm), mehr als doppelt so viel wie Kohlenhydrate (4,1 kcal bzw. 17 kJ pro Gramm) oder Eiweiße (ebenfalls 4,1 kcal bzw. 17 kJ pro Gramm). Weiterhin dient es zur Wärmeisolation, schützt innere Organe und spielt eine wichtige Rolle beim intrazellulären Membranaufbau. Die Fette, die wir über die Nahrung aufnehmen (also Pflanzenöle, Butter etc.), setzen sich aus unterschiedlichen Bestandteilen zusammen: Phospholipiden, Cholesterin, Triglyceriden, den fettlöslichen Vitaminen E, D, K und A und Fettsäuren.

Fette lösen sich nicht in Wasser und können nicht einfach ins Blut aufgenommen und dort transportiert werden; zu diesem Zweck werden sie in sogenannte Lipoproteine (Komplex aus Apoproteinen, Phospholipiden, Cholesterin und Triglyceriden) eingebaut.

Die Fettverdauung beginnt bereits im Mund. Ein dort freigesetztes Enzym (Zungengrund-Lipase) beginnt hier schon mit der Fettzerlegung. Hauptsächlich findet sie jedoch im Dünndarm statt, und zwar mithilfe von Gallensäuren aus der Leber und anderen

Lipase-Enzymen aus dem Verdauungssaft der Bauchspeicheldrüse. Durch den Kauvorgang und die Magenmotilität (Motilität = Bewegung) sowie die Beimischung von Gallensalzen im Dünndarm findet eine Emulsion der Fette statt, wodurch sie sich in sehr feine Tröpfchen in der wässrigen Umgebung verteilen und somit den Lipasen eine große Angriffsfläche bieten. Die vorwiegende Fettresorption findet im Zwölffingerdarm (Duodenum) und im oberen Leerdarm (Jejunum) statt. Dafür ist eine Zerlegung der Triglyceride mittels Lipasen in Glycerin und Fettsäuren notwendig. Aus diesen werden im Darmlumen sogenannte Mizellen gebildet, die in die Dünndarmzelle aufgenommen werden und ihren Inhalt, also die Glyceride und Fettsäuren, in die Darmzelle (Enterozyt) abgeben.

Nur kurze und mittellange Fettsäuren gelangen durch die Darmzotten ins Blut, das sie zum Abbau in die Leber transportiert. Für langkettige Fettsäuren findet zunächst eine Resynthese zu Triglyceriden statt. Diese können die Zelle nicht verlassen und müssen vorher mit einer speziellen Proteinhülle versehen werden. Es entstehen sogenannte Chylomikronen, mit deren Hilfe die Fette die Zellmembran wieder passieren können und dann ins Lymphsystem abgegeben werden. Von dort aus gelangen sie in den großen Kreislauf und werden zu den Zielzellen transportiert.

Die freien Fettsäuren dienen nun der Zielzelle zur Energiegewinnung. Wie wir gesehen haben, ist die Fettaufnahme, der Fetttransport und der Weg in die Zelle ein hoch komplexer, intelligenter Vorgang, der eines Höchstmaßes an Koordination bedarf.

Der Hauptspeicherort der Fette ist im Zytosol der Zellen.

Kohlenhydratverdauung und Zuckeraufnahme im Körper

Kohlenhydrate bzw. Zucker sind in vielen Lebensmitteln enthalten und als Energielieferanten für uns Menschen lebenswichtig. Besonders der Traubenzucker (Glukose) liefert Energie für sehr viele Vorgänge im Körper.

Die Kohlenhydratverdauung beginnt bereits im Mund unter Einfluss des Enzyms Amylase: Es entstehen Stärke und Maltose.

Im Magen quellen die Zuckermoleküle mithilfe von Wasser und Säure auf und entwirren sich. Im Dünndarm findet nun die weitere Aufspaltung statt. Hierbei sind die Enzyme der Bauchspeicheldrüse von Bedeutung, welche die Stärke vollständig in Maltose zerlegen. Mit Enzymen des Bauchspeichels und der Darmwand wird die Maltose weiter in Glukose verwandelt. Aber nicht nur Stärke, sondern alle mit der Nahrung aufgenommenen Polysaccharide (Vielfachzucker) und Disaccharide (Zweifachzucker) werden auf diese Art und Weise in Einfachzucker wie Glukose, Fruktose und Galaktose gespalten. Glukose und Galaktose werden aus dem Dünndarm aktiv resorbiert, Fruktose hingegen wird über erleichterte Diffusion in die Enterozyten des Darms aufgenommen. Von dort gelangen sie über die Blutkapillaren in den Blutkreislauf.

Mit dem Blut wird die Glukose nun zunächst zur Leber transportiert. Die Glukose dient hier zum einen als Energielieferant, zum anderen wird sie als Glykogen gespeichert. Der Hauptanteil jedoch verlässt die Leber und wird zu den Zielzellen transportiert, die Glukose benötigen.

Die meisten Zellen können aber den Zucker nicht direkt aufnehmen. Sie brauchen dazu das Insulin, mit dessen Hilfe der Zucker durch die Zellwand in den Zellinnenraum gelangen kann. Ohne Insulin verbleibt der Zucker im Blut, wo die Konzentration ansteigt – was zu hohe Blutzuckerwerte zur Folge hat und viele negative Auswirkungen, Symptome und Schäden verursacht (z. B. bei Diabetes).

Insulin ist das in der Bauchspeicheldrüse in den Betazellen der Langerhans-Inseln gebildete und dort gespeicherte Hormon. Die Bauchspeicheldrüse hält immer ca. 10 mg Insulin vorrätig – eine Menge, die je nach den momentanen Lebensumständen und Belastungen für ca. 5 Tage ausreicht. Während und nach der Nahrungsaufnahme leert sich dieser Speicher entsprechend dem Insulinbedarf. Die Zuckermengen im Blut werden gemessen und signalisieren der Bauchspeicheldrüse, Insulin auszuschütten und gleichzeitig neues Insulin für das Depot zu bilden.

Auf der Zelloberfläche befinden sich Rezeptoren, an die das Insulin andocken kann; das gleicht einem Schlüssel, der genau ins Schloss passt. Wenn also Insulin die Rezeptoren aktiviert hat, können die Zellen in den Organen die Zuckermoleküle aufnehmen

und den Zucker zur Energiegewinnung abbauen, sodass der Blutzuckerspiegel gesenkt wird.

Etwa 2 Stunden nach der Nahrungsaufnahme ist der Zucker mithilfe des Insulins im Blut weitgehend in den Zellen verschwunden. Würde Insulin weiter ungebremst Zucker in die Zellen schleusen, dann würde im Blut »Unterzucker« herrschen. Das Gehirn bekäme dann zu wenig Treibstoff: Dadurch sinkt die Konzentration, die Laune verschlechtert sich und wir fühlen uns immer schwächer. Deshalb schüttet die Bauchspeicheldrüse kein weiteres Insulin aus, sobald der Blutzuckerspiegel das Normalniveau erreicht hat.

Der Gegenspieler des Insulins ist das Hormon Glukagon, das die Leber veranlassen kann, aus den Zuckerdepots (Glykogen) den Zucker freizusetzen.

Eiweiße, Fette und Zucker gelangen wie beschrieben in den Körper und werden zerlegt. Das dabei entstehende Kohlenwasserstoffmolekül wird dann mithilfe von Sauerstoff zu Kohlendioxid und Wasser verbrannt. Beim Zucker ist es das Pyruvat, bei den Fetten sind es die Fettsäuren, und bei den Eiweißen sind es die Aminosäuren, die in die Mitochondrien gelangen und über die dortigen Stoffwechselwege in Energie umgewandelt werden.

Bei der Energiegewinnung durch die Zellatmung werden ungefähr 80 Prozent des eingeatmeten Sauerstoffs verbraucht. Durch die Verbrennung wird Energie frei; damit sie nicht auf einmal freigesetzt wird, speichert die Zelle sie in der energiereichen und für die Zelle nutzbaren Form des ATP. Die Zellatmung besteht aus verschiedenen Teilschritten. Zum einen sind dies die Glykolyse im Zytosol sowie der in der Matrix stattfindende Zitronensäurezyklus oder Krebs-Zyklus (nach seinem Entdecker benannt) und zum anderen die Atmungskette mit der oxidativen Phosphorylierung in der inneren Mitochondrien-Membran.

