

Statement-Sammlung September 2005, aktuell abgetippt mit dem Ziel, die mögliche Wirkungsweise von hochdosiertem Vitamin C (vor allem im Kontext der Debatte gegen Prostatakrebs, s. [www.prostatakrebs-bps.de](http://www.prostatakrebs-bps.de)) besser diskutieren zu können,

aus:

**„Neue Chancen zur natürlichen Vorbeugung und Behandlung von umweltbedingten Krankheiten“ –  
Dr.Bodo Kuklinski, Dr.Ina van Lunteren, 2000, ISBN 3-928430-04-1**

**Dr. med. Bodo Kuklinski**

ist Facharzt für Innere Medizin mit der Zusatzqualifikation Umweltmedizin. Seit Oktober 1995 leitet er das Diagnostik- und Therapiezentrum für Umweltmedizin Rostock. Bodo Kuklinski ist unter anderem Vorstandsmitglied des Deutschen Berufsverbandes der Umweltmediziner und Vorsitzender des wissenschaftlichen Beirates der Nährstoffakademie Salzburg. Sein besonderes Wissen über Stoffwechsel / Endokrinologie, Onkologie, Geriatrie, Gastroenterologie, Intensivtherapie, Ernährung, Vitamin- und Spurenelementenhaushalt, oxidativen Streß, Umweltmedizinische Diagnostik und Therapie hat Bodo Kuklinski in bislang 126 Publikationen und drei Büchern dokumentiert.

## **Kapitel 2 Chemische Fabrik Mensch**

Man kann unseren Organismus in seiner Komplexität noch am ehesten mit einem Chemiekonzern vergleichen, der eine Unzahl von kleineren und grösseren Organ-Betrieben dirigiert. Sie alle arbeiten im Prinzip autonom, sind aber untereinander eng verzahnt. Diese Betriebe gliedern sich wieder in immer kleinere, aber weiterhin autonome regionale Werke. Am Ende der Kette stehen schliesslich die Zellen mit ihren Zellorganen (Organellen), wie Mitochondrien, Ribosomen usw.. Zellorganellen setzen sich aus Molekülen und Atomen zusammen, womit wir bei den eigentlichen chemischen Abläufen in unserem Körper angekommen wären.

Auf der Suche nach dem kleinsten gemeinsamen Nenner von Krankheiten und den mit ihnen Hand in Hand gehenden Stoffwechseleränderungen landen wir früher oder später bei der Biochemie der Zelle. Näher an den Ursprung der Ereignisse geht es nicht mehr.

Weil die moderne Medizin in diesem Bereich zwar jede Menge Detailwissen anhäufen konnte, aber ein „Prinzip Krankheit“ nicht zu definieren vermochte, sind Zweifel am Sinn dieser Wissenschaft immer lauter

geäußert worden. Inzwischen hat sich die Lage geändert, und man ist Prozessen auf der Spur, in die eine ungeahnte Vielzahl von Krankheiten einmündet bzw. aus denen sie entsteht. Möglicherweise hat man dabei sogar das gemeinsame Entstehungsmuster aller Krankheiten entdeckt. Stoffwechselprozesse sind nichts anderes als komplexe biochemische Reaktionsabläufe. Und wie in jedem anderen chemischen Betrieb kann es zu Unregelmäßigkeiten bzw. Betriebsunfällen kommen. Erst in den letzten Jahrzehnten erkannte man, dass das grundsätzliche Muster dieser chemischen Unfälle immer gleich ist. Die Ursachen und Krankheitsbilder mochten dabei noch so unterschiedlich sein, sie alle entstanden nach einem einheitlichen Prinzip aus biochemischen Entgleisungen. In sehr vielen Fällen sind die Verursacher dieser Betriebsunfälle sehr aggressive Substanzen, die sogenannten Freien Radikale.

## **FREIE RADIKALE**

Um die Wirkungsweise dieser Substanzen nachvollziehen zu können, muss man seine chemischen Grundkenntnisse etwas strapazieren. Tröstlich ist, dass dies auch für Ärzte ein trockenes Thema ist, dem sie gern aus dem Weg gehen. Wer sich nicht mit den Details auseinandersetzen möchte, kann sich auf die Resümees (bis zum Kapitel Sauerstoff) beschränken. [ was ich hiermit tue ]

...

### *Resümee*

*Was unserem Körper schadet, sind aggressive, hochreaktive Stoffe, die biologisch nicht vorhergesehene chemische Verbindungen eingehen. Solche Substanzen nennt man Freie Radikale. Sie schwimmen wie weisse Haie im biologischen Meer unserer organischen Kleinbetriebe, gehen dabei blitzschnell irreversible Verbindungen ein, attackieren empfindliche Aminosäuren, Fette, Zellmembranen und machen auch vor der Erbsubstanz nicht Halt. Sie provozieren Kettenreaktionen und bilden Zwischen- und Abfallprodukte sowie „Molekülkonglomerate“, die ohne biologischen Nutzen sind. Am Ende derartiger Reaktionen verbleiben Substanzen, mit denen der Körper nichts anfangen kann, oder gar völlig zerstörte Zellen. Sukzessive füllen sie die Deponien unseres Organismus und behindern dessen Funktionen, bis eines Tages nichts mehr geht.*

## **DIE ZELLE**

Alle chemischen Prozesse finden innerhalb der Zellen statt. Es lohnt sich also, diese kleinen Gebilde etwas näher anzuschauen. In ihnen werden alle notwendigen biochemischen Leistungen in hochspezialisierten Zellorganellen („Zellorgane“) erbracht. Diese kleinen Chemiebetriebe grenzen sich durch Membranen voneinander ab, andernfalls gäbe es ein chemisches Tohobohu. Da alle Arbeit im Körper von den Zellen geleistet wird, fällt ihnen bzw. ihrer inneren Chemie eine lebenswichtige Rolle zu.

[ Grafik, **Der Aufbau der Zelle**: In der Mitte unseres chemischen Kleinstbetriebes residiert die Firmenleitung, der **Zellkern** (Nucleus). Hier werden alle Baupläne in Form des Erbmo­leküls DNA verwahrt und zu gegebener Zeit kopiert. Das kleine **Mitochondrium** ist mit einem Miniaturkraftwerk zu vergleichen, es liefert alle Energie. Eine einzige Zelle kann bis zu 2.000 Mitochondrien enthalten. Die **Lyosomen** dienen der intrazellulären Verdauung. Das **endoplasmatische Retikulum** ist zuständig für die Eiweißsynthese. Die kleine Fabrik Zelle ist von der **Zellmembran** umschlossen und gefüllt mit einer speziellen Flüssigkeit, dem **Cytoplasma**. ]

Die **Zellmembran** ist keine funktionslose Hülle, um die Zelle zusammenzuhalten, sondern Teil der Zellorgane. Wäre sie ein statisches System wie z.B. eine Plastiktüte, so würde die Zelle sterben, weil dann jeder Stoffaustausch unterbunden wäre. Wie im wirklichen Leben muss das kleine Staatsgebilde Zelle ständig irgendwelche Substanzen importieren, dafür werden andere Stoffe exportiert. Dieser Austausch kann nur über die Zellmembran erfolgen. Sie besteht aus einer Doppelmembran, einem zähflüssigen, dynamischen Gebilde.

Dem „Grenzübergang“ kommen mehrere Funktionen gleichzeitig zu: Die Membran muss zum einen erkennen, welche Produkte herein und welche hinaus sollen, zum anderen ist sie für die Erhaltung des inneren Zellmilieus zuständig. Letzteres ist Grundlage der mannigfaltigen Zellfunktionen. (( Bildlich gesprochen können sich Karlchen (Substanz A) und Gretchen (Substanz B) nur bei einer angenehmen Zimmertemperatur (inneres Milieu) vereinen. Entscheidend für die einwandfreie Funktion der Zelle ist die Konstanz dieses Milieus.))

Zu den wichtigsten und zugleich gefährlichsten Aufgaben der Zelle gehört die Lieferung von Energie aus Sauerstoff. Dieser Vorgang ist recht komplex und bei genauerer Betrachtung ein wahres Wunder der Biologie. Alle **Energieerzeugung** ist mit einem „Feuerchen“ verbunden. Wenn man ausserhalb des Körpers Energie aus Fetten, Kohlenhydraten oder Eiweiss gewinnen will, so entstehen dabei sehr hohe Temperaturen. In unserem Körper laufen prinzipiell die gleichen Verbrennungsvorgänge ab, allerdings bei einer konstanten Temperatur von ca. 37 Grad Celsius. Diese erstaunliche Leistung wird von den **Enzymen** bewerkstelligt.

Es leuchtet ein, dass solche chemischen Vorgänge ausserordentlich diffizil sind und als Voraussetzung ganz spezielle Arbeitsbedingungen brauchen: ein konstantes inneres Milieu. Kommt dieses innere Gleichgewicht – aus welchem Grund auch immer – aus der Balance, wird die Zelle krank, im schlimmsten Fall stirbt sie ab.

*Resümee:*

*Die biologische Membran (der Zelle, der Mitochondrien) ist eine lebenswichtige Struktur, die für den aktiven Stofftransport sorgt und ein ganz bestimmtes inneres Milieu innerhalb ihres Bereichs aufbaut. Das Gleichgewicht dieses Milieus ist unabdingbare Voraussetzung für chemische Abläufe. Gefahr droht ihnen durch die unseligen Machenschaften der Freien Radikalen, welche die Membranen der Mitochondrien und Zellen zum Angriffsziel haben.*

## **ENZYME UND COENZYME**

Bei den bisherigen Erklärungen wurden der Einfachheit halber die Enzyme zunächst ausser acht gelassen. Ohne sie würde jedoch gar nichts ablaufen. Dass eine Verbrennung organischer Substanzen bei unserer relativ niedrigen Körpertemperatur überhaupt möglich ist, verdanken wir nämlich diesen Biokatalysatoren, von denen es rund 700 Typen gibt.

Es handelt sich dabei um Eiweissverbindungen (Proteine), die sich aus 25 verschiedenen Biobausteinen – den Aminosäuren – zusammensetzen. Die Zelle baut aus Aminosäuren alle notwendigen Produkte auf, die zum Teil exportiert werden, zum grössten Teil aber in der Zelle verbleiben. Die von der Zelle selbst verwerteten unterteilt man in funktionelle und strukturelle Proteine, wobei zu den funktionellen Eiweissen die Enzyme zählen. Bei der strukturellen Gruppe handelt es sich um Baumaterialien, z.B. für die Zellmembran. Die Zellproduktion konzentriert sich dabei eindeutig auf die Enzyme: Auf ein strukturelles Protein kommen zweihundert funktionelle. Etwa 20.000 Enzymproteine befinden sich in einer Zelle!

Enzyme sind Katalysatoren, d.h. sie bewirken chemische Vorgänge, die sonst gar nicht oder nur unter anderen Umständen, wie z.B. unter höheren Temperaturen, ablaufen würden. Ein Katalysator aktiviert zwar eine chemische Reaktion, wird aber selbst dadurch nicht verändert. Die Wirkungsweise lässt sich treffend anhand einer bekannten Denksportaufgabe erklären: Ein Scheich hinterliess seinen drei Söhnen 17 Kamele. Laut Testament sollte der älteste Sohn die Hälfte, der zweite ein Drittel und der dritte ein Neuntel der Tiere erben. Guter Rat war teuer. Die Erbanteile wäre kaum zu lösen gewesen, hätte sich da nicht ein guter Nachbar eingemischt. Er fügte der Hinterlassenschaft ein eigenes Kamel hinzu, und die nun 18 Kamele liessen sich plötzlich problemlos aufteilen. Der erste Sohn bekam neun, der zweite sechs und der dritte zwei Kamele. Eins, das des freundlichen Nachbarn, blieb unbehelligt übrig.

Bei ihrer Arbeit sind die Enzyme häufig von einem kleinen Partner abhängig, dem sogenannten Coenzym. Und dieses benötigt für seine Tätigkeit Vitamine, fast ausschliesslich B-Vitamine und bestimmte Spurenelemente. Für eine reibungslose Funktion ist das Enzym bzw. Coenzym demnach auf einen essentiellen Bestandteil angewiesen: das

Vitamin. Als „essentiell“ bezeichnet man Substanzen, die lebenswichtig sind und mit der Nahrung aufgenommen werden. Wir müssen diese Substanzen also in ausreichender Menge zu uns nehmen, um den chemischen Betrieb nicht in Bedrängnis zu bringen. Wir wir noch sehen werden, ist dies nicht immer leicht: Unsere Ernährung ist oft zu einseitig, so dass der tatsächliche Nährstoffbedarf nicht gedeckt wird.

*Resümee:*

*Stoffwechselprozesse laufen nicht von allein in geordneten Bahnen. Es sind die Enzyme, die die einzelnen Reaktionsschritte nach Plan und moderat ablaufen lassen. Eine ihrer Aufgaben besteht darin, Freie Radikale unschädlich zu machen. Dazu verwenden sie u.a. Vitamine, die Freie Radikale an sich binden und damit entschärfen können.*

## **RADIKALFÄNGER**

Wie im Zusammenhang mit den Enzymen bereits erwähnt, verfügt der Mensch über körpereigene, natürliche Abwehrmechanismen. Substanzen, die ihre Elektronen opfern, werden genutzt, um Freie Radikale unschädlich zu machen. Man nennt sie ganz allgemein Radikalfänger. So unterschiedlich die vielen Schadstoffe sind, so mannigfach differenzierte Radikalfänger werden benötigt. Zu ihnen gehören Vitamine, Spurenelemente, Aminosäuren und bestimmte Enzyme.

Unsere **Abwehrstrategie** ist im Prinzip immer gleich: Ein Freies Radikal entreißt einem anderen Atom oder Molekül ein Elektron. Das so verminderte Teilchen wird oxidiert – so der elektrochemische Fachausdruck – und selbst zum Freien Radikal. Das „hungrige“ Radikal hingegen wird reduziert und benimmt sich jetzt wieder „gesittet“. Reduktion und Oxidation halten sich demnach im Prinzip die Waage. Allerdings würde diese Kettenreaktion immer weiterlaufen und in kürzester Zeit den gesamten Organismus durch Oxidation zerstören, wenn sie nicht gestoppt würde. Hier schlägt die Stunde der Radikalfänger. Sie geben ein eigenes Elektron ab und unterbrechen damit die verhängnisvolle Kette. Das sie dabei selbst oxidiert werden, müssten sie eigentlich ebenfalls zu Freien Radikalen werden.

Aber Radikalfänger verhalten sich anders: Sie bleiben entweder stabil oder können vom Organismus in einem gesonderten Vorgang neutralisiert, regeneriert oder ausgeschieden werden. Vitamin C bleibt z.B., wenn es ein Radikal abgefangen hat, stabil und kann auf normalem Weg den Körper verlassen.

In der Konsequenz bedeutet dies, dass radikalfangende Vitamine, Spurenelemente und Aminosäuren einerseits **„Ex-und-hopp-Produkte“** sind und ständig verbraucht werden. Darum ist ein ausreichender Nachschub für uns so wichtig. Würden wir andererseits für jedes Freie

Radikal einen Radikalfänger zu uns nehmen müssen, kämen wir aus dem Essen nicht mehr heraus, zumal wir uns mit der Nahrung erneut Freie Radikale einverleiben. Hier setzt die **Ökonomie des Organismus** ein.

Fängt beispielsweise **Vitamin E** ein Radikal ab, kann es durch **Coenzym Q10** regeneriert werden und erneut auf Radikalfang gehen. Das Coenzym Q10 wiederum wird vom **Vitamin C**, dieses von **Selen-Enzymen** usw. regeneriert. So sorgt eine raffinierte Recyclingkette für eine äusserst wirtschaftliche Wiederverwertung. Dieses Recyclingprinzip gilt jedoch nicht für alle Radikalfänger, und auch das Recycling ist irgendwann am Ende angelangt. Die verbrauchten Radikalfänger müssen ersetzt werden. Vitamine und andere Substanzen – kurz Nährstoffe – in unserer Nahrung sind ursächlich dafür entscheidend, ob der Organismus genügend Radikalfänger erhält oder nicht.

Es liegt auf der Hand, dass nur eine ausreichende Menge von Radikalfängern die destruktiven Prozesse von Freien Radikalen bereits im Keim ersticken kann. Ein Mangel an Nährstoffen hat zur Folge, dass schädliche Kettenreaktionen zu lange andauern können, ehe sie auf Radikalfänger stossen. Je später die Kette aber unterbrochen wird, desto grösser sind die bis dahin angerichteten Schäden. Und diese sind Ursache für Alterungsprozesse und Krankheiten aller Art.

## **RADIKALE ALS HEILER**

Bisher haben wir die Freien Radikalen ausschliesslich als „böse Buben“ dargestellt. In Wahrheit sind sie **wie ein Messer mit doppelter Klinge**. Ihre zerstörerische Potenz wird nämlich vom Abwehrsystem auch eingesetzt, um gegen Bakterien, Viren und defekte Zellen vorzugehen. Das Prinzip ist das gleiche.

Die Zellen unseres Immunsystems spüren bei einer **Infektion** Bakterien oder Viren auf und beschiessen sie gewissermassen mit Freien Radikalen. Die Folgen gleichen denen einer Attacke auf unsere eigenen lebenswichtigen Bausteine: Die Angreifer werden (durch Oxidationen) zerstört. Denn im Gegensatz zu uns verfügen die kleinen Eindringlinge über keine Abwehrmöglichkeiten wie z.B. Antioxidantien. Sie sind diesen Oxidationsangriffen hilflos ausgeliefert und gehen zugrunde.

Was der Organismus im Fall einer Infektion vollbringen muss, gleicht einem wahren Drahtseilakt. Er muss eine Unmenge von freien Sauerstoffradikalen mobilisieren, um die Invasoren zu zerstören und gleichzeitig vermeiden, dass eigene Strukturen in Mitleidenschaft gezogen werden. Deshalb werden zum Selbstschutz von der Zelle vermehrt Radikalfänger benötigt bzw. verbraucht.

Eine weitere Leistung der Freien Radikalen, auf die wir nicht verzichten können, ist die **Eliminierung defekter Zellen**. Solche Zelldefekte können der Anfang krankhafter (mutagener) oder gar krebsfördernder (kanzerogener) Veränderungen sein. Vor allem, wenn es sich um Krebszellen handelt, ist dieser Zerstörungsmechanismus von unschätzbarem Wert. So oder so muss eine kranke Zelle beseitigt werden, um einer neuen, gesunden Platz zu machen. Insofern tragen Freie Radikale zur ständigen Regeneration des Organismus bei.

Ob der Körper nun eine Infektion, defekte Zellen oder gar Krebszellen bekämpft, die Vorgehensweise ähnelt immer einem heftigen Artilleriebeschuss, bei dem auch die eigenen Truppen etwas abbekommen können. Chemisch gesehen ist es eine **Gratwanderung zwischen Oxidation feindlicher und Reduktion eigener Linien**, ein heikles Bemühen um Gleichgewicht zwischen Radikalbildung und Radikalfang.

Nun läuft dieses Geschehen auf einer Ebene ab, die wir nicht direkt beobachten können. Zur besseren Beurteilung von krankhaften Prozessen wäre es jedoch sehr nützlich, wenn wir im Einzelfall wüssten, ob Reduktionen durch Radikalfänger oder Oxidationen durch Freie Radikale überwiegen. Man behilft sich hier mit einem kleinen Umweg:

Systeme, in denen sowohl Reduktionen als auch Oxidationen stattfinden, nennt man Redoxsysteme. Deren Aktivität kann auf der einen oder anderen Seite überwiegen. Entweder finden vermehrt Reduktionen (Radikalfang) oder Oxidationen (Radikalbildung) statt. Da es sich letztendlich um sehr kleine Elektronenladungen handelt, entstehen winzige Spannungsfelder, sog. Potentiale. Diese **(Redox-)Potentiale kann man messen** und damit zu einer Aussage gelangen, ob der Radikalfang oder die Radikalbildung stärker ist. In einem ausgeglichenen Körper halten sich Oxidationen und Reduktionen das Gleichgewicht, d.h., das Redoxpotential liegt bei Null.

Diese Messungen dienen keineswegs nur akademischer Wissensanhäufung, sondern haben einen sehr praktischen Wert. So wurde inzwischen festgestellt, dass **bestimmte Faktoren zur Verschiebung des Redoxpotentials führen können**, Faktoren, von denen wir lange nicht wussten, dass und wie sie das Gleichgewicht so nachhaltig zu unseren Ungunsten, also in Richtung Radikalbildung, verschieben können. Zu diesen Faktoren gehören

- falsch Ernährung
- Genussmittel
- Extreme Lebensbelastungen (Stress, Sonnenbäder)
- Chronischer Schadstoffanfall
- Erkrankungen
- Medikamente u.v.a.m.

Bedauerlicherweise wird bis heute der therapeutische Nutzen dieser Erkenntnisse geradezu sträflich vernachlässigt. Mit allen Folgen. So setzt man bei der Therapie Medikamente ein, deren Hauptwirkung mit einer unangenehmen Nebenwirkung erkauft werden muss, einer gesteigerten Radikalbildung. Nun gehen Erkrankungen ohnehin schon mit einem enormen Anstieg der Radikalbildung bzw. Oxidationen einher, und der Organismus bräuchte dringend Radikalfänger, um das Gleichgewicht wieder herstellen zu können. Statt dessen heizt der Arzt durch ein Medikament die Radikalbildung oftmals noch weiter an.

Freie Radikale haben eine Doppelwirkung. Zum einen sind sie heilend, zum anderen destruktiv. Ohne Freie Radikale ist Leben nicht möglich, durch sie wird es aber auch zerstört. Ein scheinbar unauflöslicher Widerspruch?

Nicht ganz. Die Lösung des Problems liegt in einem Sowohl-Als-Auch. Freie Radikale stehen im Zusammenhang mit Oxidationen, und diese wiederum bewirken Energiegewinnung. Auf der anderen Seite sorgen Radikalfänger und damit Reduktion für Energiespeicherung. Die Natur reagiert wie immer sinnvoll, indem sie sicherstellt, dass – vereinfacht ausgedrückt – ein oxidativer Vorgang immer von vielen reduzierenden Faktoren umgeben ist. **Der Mensch braucht Freie Radikale, aber vor allem ausreichend Radikalfänger, um die heiklen Nebeneffekte dieser Prozesse im Zaum zu halten.** Es ist schon fast makaber, dass wir uns dabei in einer immer weiter auseinanderklaffenden Schere befinden. Während sich die Freien Radikale durch eine Vielzahl von Ursachen (von Stress bis Smog) allgemein drastisch vermehrt haben, ist zugleich das Angebot von Radikalfängern (Nährstoffen) gesunken. Die Auswirkungen sind verheerend und führen auf lange Sicht zu Verfall und vorzeitigem Siechtum. Würde man rechtzeitig seine Nährstoffaufnahme erhöhen und die Anhäufung von Freien Radikalen reduzieren, bliebe einem vieles erspart, was heute fatalistisch als unumgänglich hingenommen wird. Nach aktuellem Kenntnisstand müssten Alterungsprozesse und Krankheiten keineswegs so gravierend unser Leben behindern, wie es augenblicklich noch der Fall ist. Beides liesse sich bis auf ein (wahrscheinlich) unvermeidbares Mass reduzieren.

*Resümee:*

*Die Freien Radikale spielen in unserem Organismus eine zentrale Rolle. Sie zerstören lebenswichtige Strukturen. Gleichzeitig nutzt der Organismus diese aggressiven Substanzen jedoch, um Bakterien, Viren und krankhafte Zellen (Krebs) zu eliminieren. Die Erhaltung des diffizilen Gleichgewichts zwischen beabsichtigter und unbeabsichtigter Zerstörung durch Freie Radikale entscheidet darüber, ob Krankheits- bzw. Alterungsprozesse unter Kontrolle gehalten werden können oder nicht.*



## Kapitel 3 Der Sauerstoff

Aus den bisherigen Überlegungen ergibt sich, dass der Mensch es mit einer **unendlichen Vielfalt von Radikaltypen** zu tun haben kann, denn sehr vielen Substanzen fehlt das fragliche Elektron. Viele Arten von Radikalen kommen jedoch relativ selten, andere häufig vor. Der **Sauerstoff** nimmt in diesem Zusammenhang eine **besondere Stellung** ein. Er ist unser **Energielieferant** und überall anwesend. Gleichzeitig ist er ein potentiell **Freies Radikal** und Ausgangsbasis für das Entstehen weiterer Freier Radikale.

Sauerstoff kommt in der Natur als Molekül aus **zwei Atomen vor: O<sub>2</sub>**. Wie beim Chlor handelt es sich um eine **Atombindung**. Wird O<sub>2</sub> getrennt, entstehen **zwei Radikale**, die sofort neue Bindungen eingehen. Nicht nur anorganische Stoffe wie Metalle werden dabei zu Angriffszielen, sondern auch alle organischen Fette, Kohlenhydrate und Proteine. Die unerwünschten Effekte von Radikal- bzw. Sauerstoffeinwirkungen können wir täglich beobachten. Jene bekannten schmierig-verharzten Stellen in der Küche sind nichts anders als oxidierte Fette. Auch morsche Gummidichtungen und sprödes Plastik sind traurige Hinterlassenschaften dieses aggressiven chemischen Vagabunden. Vor allem durch Sonnenstrahlen unterstützt, leben die Freien Radikale geradezu auf. Sie sind verantwortlich, dass die Haut zuerst an unbedeckten Stellen ihre Elastizität verliert, runzelig wird und schneller altert. Das kann bis zum Hautkrebs führen. Auch am grauen Star sind diese Aggressoren beteiligt. Die schädliche Wirkung von Röntgenstrahlen beruht auf vermehrter Freisetzung von teilweise sehr gefährlichen Freien Radikalen. Es liegt auf der Hand, dass sie auch anderswo in unserem Organismus ihr Unwesen treiben und dort für Krebs, Arteriosklerose, Schwächung des Immunsystems und vieles andere mehr verantwortlich sein können.

Bereits in den fünfziger Jahren postulierte Prof. Denham HARMAN „the free radical theory of aging“ (die **Theorie des Alterns durch Freie Radikale**) und bewies, dass Alterungsprozesse auf Auswirkungen von Freien Radikalen beruhen. Zu dieser Zeit war bereits bekannt, dass ionisierende Strahlen (z.B. Röntgenstrahlen) die Entstehung von Hydroxylradikalen verursachen. HARMAN wies nach, dass die gleichen Vorgänge in unserem **Stoffwechsel** stattfinden. Er charakterisierte dies Geschehen als „**innere ionisierende Strahlung**“.

Viele Wissenschaftler sind davon überzeugt, dass die Entdeckung von HARMAN den gleichen bahnbrechenden Stellenwert bekommen wird wie die von PASTEUR und KOCH über die Entstehung von Infektionskrankheiten.

Roy WALFORD, ein amerikanischer Immunbiologe, bemerkte hierzu: „Es ist nicht jedem gegenwärtig, dass der Sauerstoff in unserer Atmosphäre ein sehr giftiges Gas ist. Ausserirdische Wesen von einem Methan-Planeten würden an dem Stoff, den wir so beiläufig einatmen, ersticken und sterben. Er lässt Eisen rosten, ist an jeder

Zerstörung von Granitblöcken beteiligt und nimmt an jedem Feuer in der Stadt teil, trotzdem leben wir darin und lieben ihn! Wahrscheinlich haben galaktische Wesen sich deswegen noch nicht gezeigt. Sie kommen zur Erde, um diese zu untersuchen, und nehmen dabei eine Prise Luft. Verflixt noch mal! Überall Sauerstoff! Besser, man überlässt diese zähen Erdteufel sich selbst!"

Ein Leben ohne Sauerstoff ist heute undenkbar. Interessanterweise war das jedoch nicht immer so. Die frühesten Lebewesen auf unserem blauen Planeten waren Anaerobier (die „ohne Luft Auskommenden“), also Bakterien, die ohne Sauerstoff leben können. Erst mit dem Entstehen der Pflanzen änderte sich das. Die Energiequelle der **Pflanzen** ist bekanntermassen die Sonne. Mittels der bis heute nicht restlos geklärten **Photosynthese** bezieht die Pflanze ihre Energie aus Kohlendioxid und Wasser, wobei Glukose und Sauerstoff anfallen. **Glukose** benötigt die Pflanze selbst. Von dem bei der Synthese entstandenen Nebenprodukt **Sauerstoff** gibt sie den grössten Teil an ihre Umgebung ab. Es klingt sicherlich eigenartig, aber genauso genommen haben erst Pflanzen unsere Erde mit Sauerstoff „vergiftet“. Mit fortschreitender Evolution entstanden Lebensformen, die ihren Energiebedarf aus der Photosynthese allein nicht mehr decken konnten und sich daher auf das reichlich vorhandene Gas Sauerstoff einrichteten. Erst durch diese Umstellung sind komplexe Lebensformen möglich geworden.

Mit dem Sauerstoff haben sich die Lebewesen auf einen heiklen Stoff eingelassen, denn **alle Nahrungssubstanzen** wie Kohlenhydrate, Eiweisse und Fette **sind ihm gegenüber instabil**. Die stark verdünnte Sauerstoffkonzentration in unserer Luft lässt uns vergessen, dass reiner Sauerstoff hochexplosiv ist. Dies sind auch die Gründe dafür, warum unsere innere Chemie scheinbar umständlich mit ihm umgeht. Würden wir reinen Sauerstoff in unsere Blutbahn bringen, wäre dies für uns das sichere Ende.

Für uns sind nicht die Sauerstoffmoleküle als solche von Bedeutung, sondern ihre „**Energie**“. Unter normalen Umständen würde der Sauerstoff seine Energie ohne Plan und Ziel abgeben und uns auf diese Weise schädigen. Deswegen wird der Sauerstoff so sicher wie ein Gefahrgut „**verpackt**“ und „**schwerbewacht**“ zu den **Kraftwerken (Mitochondrien) der Zellen transportiert. Auch hier wird er wieder „eingesperrt**“. Die Sicherheitsvorkehrungen der Zelle könnte man mit denen eines Kernkraftwerks vergleichen. Im Mitochondrium wird auf komplizierte Weise dem Sauerstoff seine Energie entzogen. Die **Ausbeute wird in einer Art Akku, genannt Adenosintriphosphat (ATP), übertragen**. Das ist der eigentliche Energiespender unseres Stoffwechsels. ATP gibt die benötigte Energie gezielt, nach Plan und vor allem unschädlich ab. Und wenn wir uns dem Sauerstoff am Ende seines Transportes ansehen, finden wir nur ein klein wenig Wasser.

Die Laufbahn des Sauerstoffs beginnt in der Lunge. Unsere Atemluft enthält gut 20% Sauerstoff, der über die Alveolen (Lungenbläschen) in die

Lungenkapillaren (Blutgefäße) diffundiert bzw. aufgenommen wird. Dort wird er vom Hämoglobin in den roten Blutkörperchen übernommen und chemisch „eingesperrt“, damit er auf dem Transport zu den Mitochondrien kein Unheil anrichten kann. Für den Fall der Fälle nimmt das rote Blutkörperchen die Enzyme Glutathionperoxidase und Katalase mit auf die Reise. Sollte der Sauerstoff unterwegs „ausbrechen“, greifen sie sofort ein, um ihn zu neutralisieren. Darüber später mehr.

Im Mitochondrium befindet sich der Sitz unserer Zellatmung. 90% der Energie werden hier gewonnen. Die Gewinnung einer biologisch verwertbaren Energieform aus Sauerstoff läuft in vielen Zwischenschritten (Zitratzyklus und Atmungskette) ab. Dabei wird der Sauerstoff erneut „eingesperrt“, seiner Energie beraubt und so unschädlich gemacht. Viele Enzyme der Atmungskette leiten diesen Vorgang ein und überwachen ihn.

[ Abb. 3: Der Aufbau der Mitochondrienmembran

Auf der Innenseite der Mitochondrienmembran befinden sich Ausstülpungen (Säckchen). Hier wird der Sauerstoff erneut isoliert und endgültig umgewandelt (=zu Wasser reduziert). Die dabei freiwerdende Energie nimmt ein Molekül ATP (Adenosintriphosphat). ATP ist für den Organismus unschädlich und wird zu den Orten des Energieverbrauchs transportiert. ]

Trotz aller Vorkehrungen bei Transport und Umwandlung kann unser Organismus nicht völlig verhindern, dass Sauerstoff hin und wieder „ausbricht“ und dabei viel Unheil anrichtet. Die daraus resultierenden Schäden berühren eines der wichtigsten Themen dieses Buches, nämlich das Entstehen der Sauerstoffradikalen.

Resümee:

*Sauerstoff ist ein lebensnotwendiges, aber sehr aggressives Gas. Während der Energiegewinnung aus Sauerstoff entstehen Freie Radikal. Wenn diese sich der Enzym-Kontrolle entziehen, können sie enorme Schäden anrichten.*

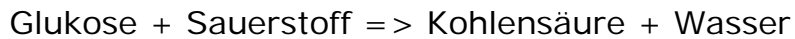
## **SAUERSTOFF UND DIREKTE OXIDATIONEN**

Alle Energiegewinnung, auch die in unserem Körper, verläuft nach dem **Prinzip der Verbrennung (Oxidation)**. Bei diesem Vorgang kann der Organismus verschiedene Wege beschreiten, die alle zum Ziel führen. Entweder **direkt**, wobei Sauerstoff sich mit einem anderen Stoff verbindet, oder **indirekt**, wobei Sauerstoff überhaupt nicht in Erscheinung tritt. Letzteres erfolgt durch Wasserstoff- oder Elektronenentzug bzw. – abgabe.

Der Körper bedient sich fast ausschliesslich der indirekten Oxidation, und man könnte die direkte wegen Geringfügigkeit ad acta legen, hätte sie

nicht verheerende Auswirkungen zur Folge. Dabei lässt sich sehr eindrucksvoll der Umfang jener Schädigungen nachvollziehen, mit denen der Körper konfrontiert wird, wenn Oxidationen nicht nach Plan ablaufen.

Als Beispiel sei die **direkte Verbrennung von Zucker (Glukose)** gewählt. Diese verläuft nach der Gleichung:



Glukose verbrennt (oxidiert) mit Hilfe von Sauerstoff zu Kohlensäure und Wasser. Dabei wird Energie in Form von Wärme frei. Bis aber Glukose und Sauerstoff zu Kohlensäure und Wasser umgewandelt sind, bedarf es einiger Zwischenschritte, die von Enzymen überwacht werden. Sauerstoff oxidiert die Glukose und wird dabei selbst zu Wasser reduziert. Uns interessiert hier die Reduktion des Sauerstoffs. Die dabei auftauchenden Elektronen (e) und das Wasserstoffmolekül (H<sub>2</sub>) stammen aus der Oxidation der Glukose.

[ Abb.4: Reduktion von Sauerstoff zu Wasser

]

Für unsere Betrachtung sind vor allem die Zwischenprodukte interessant, die bei diesen Vorgängen entstehen, nämlich das **Superoxidradikal**, **Wasserstoffsuperoxid** und das **Hydroxylradikal (OH)**. Diese Stoffe sind aggressiv und schädlich. Die Enzyme haben nun die Aufgabe, diese chemischen Reaktion so zu steuern, dass kein Schaden entstehen kann. Das Enzym **Superoxiddismutase (SOD)** wandelt das Superoxidradikal zu Wasserstoffsuperoxid, übergibt es unterschiedlichen Enzymen wie **Glutathionperoxidase, Peroxidase oder Katalase**, welche die Substanz sofort zu Wasser weiterverarbeiten, wodurch die Bildung des sehr aggressiven Hydroxylradikals (OH) von vorneherein unterbunden wird.

Die Aggressivität der Zwischenprodukte beruht darauf, dass sie ein sehr stark ausgeprägtes Bestreben haben, sich mit jedwedem Stoff in ihrer Umgebung zu verbinden. Man nennt diese Stoffe **Sauerstoffradikale oder Oxidantien**.

Theoretisch funktioniert unser Schutzsystem einwandfrei. Praktisch kommt es jedoch immer wieder zu „Betriebsunfällen“ mit der Folge, dass solche Zwischenprodukte aus der Umklammerung der Enzyme ausbrechen und eigene Wege gehen. Sie reagieren mit dem ersten Molekül, das ihnen über den Weg läuft – egal ob dies eine empfindliche Aminosäure oder ein Fettsäuremolekül ist. Ihre Bindungsaggressivität führt zu rasend schnellen Kettenreaktionen. Das Ergebnis sind chemische „Krüppel“ aller Art, u. a. biologisch wertlose Polymerisationen. Man spricht daher nicht von Riesenmolekülen, sondern von Konglomeraten oder „**Nonsense**“-

**Molekülen**, womit man die Nutzlosigkeit dieser Gebilde zum Ausdruck bringt. Und weil diese Molekülknäuel sozusagen „un-biologisch“ sind, kann die Zelle sie nicht verwerten und nur mangelhaft abräumen: Sie sind grösstenteils nicht zersetzbarer **Müll**, der in der Zelle liegen bleibt.

Diese Erkenntnis ist an sich nicht neu, aber man glaubte, dass die schützenden Enzyme mit solchen Entgleisungen fertig werden würden. Erst in jüngerer Zeit erwies sich, dass die **Enzyme** keine geschlossene Front gegen aggressive Substanzen bilden können. Sie sind kaum in der Lage, ausserhalb ihres begrenzten Reviers Sauerstoff und Sauerstoffradikale einzufangen. Hier sind **kleinmolekulare Substanzen**, wie z.B. antioxidierend wirkende **Vitamine**, zuständig. Diese Stoffe fasst man unter dem Oberbegriff Radikalfänger oder **Antioxidantien** zusammen. Im englischen Sprachgebrauch begegnet einem das Wort „**scavenger**“, wodurch ihre Funktion treffend beschrieben ist: **Aasgeier**.

Diese sinnlosen Konglomerate können nun mit den Jahren zu einem ernsthaften Problem werden. Ständig werden veraltete Zellen durch neue ersetzt, wobei im Laufe der Zeit die Qualität der neuen Zellen sinkt. Bei jungen Menschen lassen sich noch **2.000 Mitochondrien** in einer Leberzelle nachweisen; bei älteren sind es nur noch ca. **500**. Als Folge nimmt die Energieausbeute pro Zelle erheblich ab. Man nimmt an, dass dies auf die fortschreitende Zerstörung von Zellen bzw. Mitochondrienbauplänen (DNA) und nicht zuletzt auf die zunehmende Anhäufung von „Müll“ zurückzuführen ist.

Ein wichtiges Enzym ist die bereits erwähnte **Superoxiddismutase (SOD)**, die ihre Arbeit im Mitochondrium verrichtet. Die mengenmässige Erfassung dieses Enzyms gibt uns eine Vorstellung vom Umfang seiner chemischen Aktivitäten: Auf Gewichtsbasis steht SOD an fünfter Stelle der Enzyme. Wenn man sich vor Augen führt, dass eine Zelle nur unter dem Mikroskop sichtbar und der gesamte Körper randvoll von diesen kleinen Strukturen ist, jede von diesen bis zu 2.000 Mitochondrien (Leberzelle) enthalten kann, dann kann man die wahre Grössenordnung des chemischen Umsatzes und die damit verbundenen potentiellen „Betriebsunfälle“ erahnen.

Solche Chemieunfälle können überall und zu jeder Zeit im Organismus passieren. Und an gefährlichen Situationen mangelt es nicht, denn was hier vereinfacht dargestellt wurde, verläuft in Wirklichkeit über eine Unzahl von Zwischenschritten, von denen viele ebenfalls eine ähnliche Unfallgefahr in sich bergen.

Resümee:

*Sauerstoff an sich ist bereits in der Lage, viele Strukturen zu zerstören. Noch aggressiver gebärden sich allerdings sein verwandten Stoffe, die bei der lebenswichtigen Energiegewinnung aus Sauerstoff entstehen und*

*diese wiederum lahm legen können. Im Laufe eines Menschenlebens kumulieren die Schäden und senken die Energieausbeute.*