Antioxidantien: Biochemie, Mythen & Radikalfänger

Autor: Wolfram Klatt
Veröffentlicht am: 10.08.2026

Dokument generiert über Gesundheitsmythen.de

ZUSAMMENFASSUNG (ABSTRACT)

Antioxidantien verlangsamen oder verhindern die Oxidation von Molekülen und neutralisieren freie Radikale. Während das körpereigene enzymatische Abwehrsystem lebensnotwendig ist, zeigt die Wissenschaft, dass isolierte hochdosierte Nahrungsergänzungsmittel Effekte wie den Nutzen des Sportes hemmen und die Sterblichkeit nicht senken.

Antioxidantien

1. Definition und Grundlagen: Das Konzept der Elektronen-Übergabe

Kaum ein Begriff aus der Naturwissenschaft hat in den letzten Jahrzehnten eine vergleichbar steile Karriere aus dem Chemielabor direkt in die alltägliche Gesundheitskommunikation hingelegt wie jener der „Antioxidantien“. Auf Säften, Hautcremes und Nahrungsergänzungsmitteln wird der Begriff häufig genutzt, und er weckt die Hoffnung auf Schutz und den Erhalt der Gesundheit. Doch was verbirgt sich chemisch und biologisch tatsächlich hinter diesem Konzept?

In der naturwissenschaftlichen Definition sind Antioxidantien Moleküle, die in der Lage sind, die Oxidation anderer Moleküle zu verlangsamen oder gänzlich zu verhindern. Oxidation ist eine fundamentale chemische Reaktion, bei der Elektronen – die winzigen, negativ geladenen Teilchen, die Atome umkreisen – von einem Stoff auf einen anderen (das sogenannte Oxidationsmittel) übertragen werden. Dieser Vorgang ist lebensnotwendig: Ohne ihn gäbe es kein Feuer, keinen Rost und vor allem keine Zellatmung, die unseren Körper ununterbrochen mit Energie versorgt.

Bei vielen dieser natürlichen und essenziellen Stoffwechselprozesse entstehen als Nebenprodukte sogenannte **freie Radikale**. Das sind Atome oder Moleküle, denen in ihrer chemischen Struktur ein Elektron fehlt. Dieser Zustand macht sie thermodynamisch instabil und hochreaktiv. Um diesen „Mangel“ auszugleichen, entnehmen sie benachbarten Molekülen – etwa aus Zellmembranen, Proteinen oder der DNA – das fehlende Elektron. Durch diesen Vorgang wird das ursprünglich intakte Molekül jedoch selbst zu einem Radikal, was eine Kettenreaktion auslösen kann.

Die Metapher des molekularen Dominospiels

Stellen Sie sich eine fein aufgereihte Kette von Dominosteinen vor, die die gesunden Zellen unseres Körpers repräsentieren. Ein freies Radikal ist wie ein Stein, der aus dem Gleichgewicht geraten ist und fällt.

```
Die Radikalkettenreaktion vs. Antioxidative Schutzwirkung:

[Stabiles Molekül]
       |
       | (Elektronenentnahme durch Radikal)
       v
[Neues Radikal] ----------------> [Greift nächstes Molekül an] ---> (Kette
       |
       | (Antioxidans greift ein und spendet freiwillig ein Elektron)
       v
[Wieder stabil] <--- [Antioxidans wird zu harmlosem, schwachem Radikal]
```

Hier betreten die Antioxidantien die Bühne. Sie fungieren als biochemische Puffer: Es sind Moleküle, die strukturell so beschaffen sind, dass sie bereitwillig eines ihrer eigenen Elektronen an ein freies Radikal abtreten können, ohne dabei selbst zu einem aggressiven, gefährlichen Radikal zu werden. Sie fangen den fallenden Dominostein auf und durchbrechen die

Kettenreaktion, wodurch sie die Zelle vor strukturellen Veränderungen bewahren. Antioxidantien sind somit keine einheitliche Stoffklasse und nicht einfach gleichzusetzen mit "Vitaminen", sondern beschreiben eine funktionelle Eigenschaft verschiedenster Moleküle – von körpereigenen Enzymen bis hin zu sekundären Pflanzenstoffen.

2. Der naturwissenschaftliche Mechanismus in unseren Zellen

Um die Brillanz und die Notwendigkeit des antioxidativen Systems zu begreifen, lohnt sich ein Blick auf die subzelluläre und molekulare Ebene. In unseren Zellen, genauer in den Mitochondrien (oft als die "Kraftwerke der Zelle" bezeichnet), wird Sauerstoff genutzt, um aus Nährstoffen die universelle Energiewährung ATP zu synthetisieren. Bei dieser sogenannten oxidativen Phosphorylierung dient Sauerstoff als finaler Elektronenakzeptor.

Doch dieser Prozess ist nicht vollkommen verlustfrei: Etwa 1 bis 3 Prozent des Sauerstoffs werden unvollständig reduziert. Dabei entstehen *Reaktive Sauerstoffspezies (ROS)*, darunter das Superoxidanion-Radikal ($O_2^{\bullet-}$), Wasserstoffperoxid (H_2O_2) und das extrem reaktive Hydroxyl-Radikal ($OH^\bullet$).

Das Hydroxyl-Radikal ist so reaktiv, dass es mit praktisch jedem organischen Molekül reagiert, auf das es in der Zelle trifft – und zwar innerhalb von Bruchteilen einer Nanosekunde. Trifft es auf die ungesättigten Fettsäuren der Zellmembran, entnimmt es diesen ein Wasserstoffatom. Es entsteht ein Lipidradikal, das sich sofort mit weiterem Sauerstoff zu einem Lipidperoxylradikal verbindet, welches wiederum der nächsten Fettsäure ein Elektron entzieht. Diese *Lipidperoxidation* kann die Struktur und Funktion einer Zellmembran maßgeblich beeinträchtigen.

Die Verteidigungslinie der Natur gegen diese zellulären Schäden ist ein hochkomplexes, interagierendes Redox-Netzwerk (Reduktion und Oxidation). Dieses System besteht aus zwei wesentlichen Hauptsäulen:

1. Die enzymatische Abwehr (Körpereigen): Unser Organismus verlässt sich nicht primär auf zugeführte Nahrung, um essenzielle Stoffwechsel-Nebenprodukte zu kontrollieren, sondern produziert eigene, hochspezifische Enzyme.

- Die *Superoxiddismutase (SOD)* fängt das Superoxidanion ab und wandelt es blitzschnell in Wasserstoffperoxid um.

- Wasserstoffperoxid ist zwar kein Radikal, aber stark oxidierend. Daher übernehmen sofort zwei weitere Enzyme – die *Katalase* und die *Glutathion-Peroxidase* – und spalten das Wasserstoffperoxid in völlig harmloses Wasser und Sauerstoff. Dieses System arbeitet mit beeindruckender Geschwindigkeit und Präzision rund um die Uhr in all unseren Zellen.

2. Die nicht-enzymatische Abwehr (Nahrungsabhängig und Körpereigen): Hierzu gehören bekannte Mikronährstoffe wie Vitamin C (Ascorbinsäure) in der wässrigen Phase der Zelle und Blutbahn sowie Vitamin E (Alpha-Tocopherol) in der fettlöslichen Zellmembran. Wenn ein Radikal die Zellmembran angreift, gibt das Vitamin-E-Molekül ein Elektron ab. Das Radikal ist neutralisiert. Vitamin E wird dadurch zwar selbst zum Tocopheryl-Radikal, ist jedoch durch seine Ringstruktur chemisch so stabilisiert (Resonanzstabilisierung), dass es keinen weiteren Schaden anrichtet.

Das Faszinierende daran ist das Zusammenspiel: Das Vitamin C, welches sich im wässrigen Milieu an der Grenze zur Zellmembran befindet, reicht dem „erschöpften“ Vitamin E ein Elektron und regeneriert es. Vitamin C wird dabei zum Ascorbyl-Radikal, welches wiederum durch das körpereigene Antioxidans *Glutathion* regeneriert werden kann. Es handelt sich um ein hochentwickeltes molekulares Recycling-System, in dem Moleküle wie Zahnräder ineinandergreifen.

3. Die Ambivalenz des Sauerstoffs und oxidativer Stress

Das Leben auf einem Planeten mit etwa 21 Prozent Sauerstoff in der Atmosphäre ist ein ständiger evolutionärer Drahtseilakt. Sauerstoff ist das Gas, das komplexe Lebensformen erst ermöglicht, aber er besitzt gleichzeitig eine starke oxidierende Kraft, die organisches Material verändern kann. Ohne ein ausbalanciertes antioxidatives System könnten unsere Zellen in dieser sauerstoffreichen Umgebung nicht bestehen.

Von *oxidativem Stress* spricht man in der Medizin und Biologie dann, wenn das dynamische Gleichgewicht zwischen der Produktion reaktiver Sauerstoffspezies (freier Radikale) und der antioxidativen Kapazität der Zelle aus der Balance gerät, sodass die Konzentration der Radikale überwiegt.

Dieser Zustand ist von großer medizinischer Bedeutung, da er mit den grundlegenden Mechanismen der zellulären Alterung (der *Free Radical Theory of Aging*) sowie mit der Entstehung zahlreicher chronischer Erkrankungen in Verbindung gebracht wird. Wenn

beispielsweise LDL-Cholesterin in unseren Blutgefäßen durch freie Radikale oxidiert wird (oxLDL), wird es von bestimmten Immunzellen (Makrophagen) aufgenommen. Diese können sich in sogenannte Schaumzellen verwandeln, was einen frühen Schritt in der Entwicklung von Arteriosklerose darstellt – einem wesentlichen Risikofaktor für Herz-Kreislauf-Erkrankungen. Auch bei Entzündungsprozessen, neurodegenerativen Erkrankungen oder bei Mutationen der DNA spielt andauernder oxidativer Stress eine wichtige Rolle.

Doch nicht nur im menschlichen Körper, auch in unserer Umwelt sind Antioxidantien relevant. In der Lebensmittelproduktion helfen sie, den natürlichen Verderb zu verzögern. Wenn eine angeschnittene Avocado oder ein Apfel an der Luft braun wird, ist das ein sichtbarer Oxidationsprozess. Durch die Zugabe von Antioxidantien, wie etwa ein paar Tropfen Zitronensaft (reich an Ascorbinsäure), wird dieser Prozess gestoppt. In der Pflanzenwelt produzieren Gewächse immense Mengen an antioxidativen Verbindungen (wie Flavonoide oder Anthocyane), primär um sich selbst vor der intensiven UV-Strahlung der Sonne und dem dadurch entstehenden oxidativen Stress bei der Photosynthese zu schützen. Diese Schutzstoffe nehmen wir anschließend über pflanzliche Lebensmittel auf.

4. Das Hormesis-Prinzip: Warum freie Radikale für die Gesundheit essenziell sind

Eine der wichtigsten Erkenntnisse der modernen Redoxbiologie ist, dass die oft vorherrschende, vereinfachte Sichtweise – „Freie Radikale sind grundsätzlich schädlich, Antioxidantien sind grundsätzlich gesundheitsfördernd“ – der biologischen Realität nicht gerecht wird.

Tatsächlich sind freie Radikale (ROS) für unseren Körper absolut lebenswichtig. Sie dienen als essenzielle Signalmoleküle. Ein gutes Beispiel ist unser Immunsystem: Wenn bestimmte Abwehrzellen (Makrophagen oder Neutrophile) Bakterien oder andere Erreger erkennen und umschließen, produzieren sie gezielt große Mengen an Sauerstoffradikalen. Bei diesem sogenannten *Respiratory Burst* (Atemstoß) werden die Radikale genutzt, um den Eindringling chemisch unschädlich zu machen. Ohne freie Radikale wäre unsere Immunabwehr stark beeinträchtigt.

Die Signalfunktion im Sport

Besonders eindrücklich wird die Bedeutung reaktiver Sauerstoffspezies beim Thema Sport und körperliche Anpassung. Körperliches Training fordert den Stoffwechsel stark und führt zu einem

messbaren Anstieg von oxidativem Stress in der Muskulatur. Lange Zeit nahm man an, es sei vorteilhaft, Sportler mit hochdosierten Antioxidantien-Präparaten vor diesem Stress zu "schützen".

Die Forschung, unter anderem bahnbrechende Studien von Prof. Michael Ristow (2009 in *PNAS* veröffentlicht), zeigte jedoch einen faszinierenden, gegenläufigen Effekt: Die beim Sport temporär vermehrt auftretenden freien Radikale dienen als wichtiges molekulares Signal. Sie melden der Muskelzelle, dass sie sich anpassen, neue Mitochondrien bilden und die Insulinsensitivität verbessern muss. Dieser Vorgang, bei dem ein leichter Stressor zu einer positiven Anpassung führt, wird als **Hormesis** bezeichnet.

```
Das Prinzip der Hormesis beim Sport:

Sport / Körperliche Anstrengung
          |
          v
Temporärer Anstieg von freien Radikalen (ROS)
          |
          v
Aktivierung von zellulären Signalwegen (z.B. PGC-1?)
          |
          v
Anpassung: Aufbau neuer Mitochondrien, verbesserte Fitness
```

Verabreichte man Probanden im Rahmen der Forschung hohe Dosen isolierter Vitamine (wie Vitamin C und E), wurden diese wichtigen Signal-Radikale sofort neutralisiert. Das Ergebnis war überraschend: Der gesundheitsfördernde Effekt des Sports auf den Stoffwechsel (insbesondere auf die Insulinresistenz) blieb bei diesen Teilnehmern nahezu vollständig aus. Die isolierten Antioxidantien hatten das Signal zur Anpassung unterdrückt.

5. Erkenntnisse zu Nahrungsergänzungsmitteln und populären Gesundheitskonzepten

Die Erkenntnis, dass die Dosis und der Kontext das Gift – oder eben das Heilmittel – machen, hat auch den Blick der Wissenschaft auf Nahrungsergänzungsmittel geschärft. Viele Menschen greifen mit dem aufrichtigen und verständlichen Wunsch nach Gesundheit, Vitalität oder Heilung zu Antioxidantien-Präparaten. Die wissenschaftliche Datenlage fordert hier jedoch eine differenzierte Betrachtung.

Groß angelegte Meta-Analysen (wie jene von Bjelakovic et al., veröffentlicht im *JAMA*, 2007) untersuchten die Daten von hunderttausenden Probanden. Es zeigte sich, dass die präventive Einnahme von hochdosierten, isolierten Antioxidantien (etwa Beta-Carotin, Vitamin A oder Vitamin E in Pillenform) keinen generellen Schutz vor Herz-Kreislauf-Erkrankungen oder Krebs bot. In einigen Studiengruppen korrelierte die langfristige Gabe solch hochdosierter Isolatarzneien sogar mit einer leicht erhöhten Mortalität. Die Gründe dafür sind komplex, deuten aber darauf hin, dass ein unphysiologisches „Überfluten“ des Körpers mit starken Reduktionsmitteln das feine Gleichgewicht der zellulären Signalwege stören kann.

Der ORAC-Wert und seine Grenzen

Ein oft genutzter Begriff im Zusammenhang mit der Vermarktung von Lebensmitteln und Extrakten ist der **ORAC-Wert** (Oxygen Radical Absorbance Capacity). Er gibt an, wie gut eine Substanz in einem Reagenzglas (in vitro) Radikale neutralisieren kann. Auch wenn dieser Wert eine interessante chemische Eigenschaft beschreibt, lässt er sich nicht direkt auf die Gesundheit des Menschen übertragen.

Ob ein Molekül mit hohem ORAC-Wert nach dem Verzehr die Magensäure unbeschadet passiert, im Darm überhaupt in den Blutkreislauf aufgenommen wird, bis in die Zellen vordringt und dort eine antioxidative Wirkung entfaltet, wird durch diesen Wert nicht abgebildet. Oft werden Pflanzenstoffe vom Körper als körperfremd erkannt, in der Leber metabolisiert und zügig wieder ausgeschieden. Aus diesem Grund hat das US-Landwirtschaftsministerium (USDA), welches lange eine ORAC-Datenbank führte, diese letztlich zurückgezogen, um Irreführungen der Verbraucher zu vermeiden.

Empathischer Blick auf "Detox" und Entgiftungskonzepte

Auch Konzepte wie "Detox" (Entgiftung) oder der Einsatz von speziellem „basischen Wasser“ oder „Wasserstoff-Wasser“ greifen oft auf das Narrativ der schädlichen Radikale und rettenden Antioxidantien zurück. Viele Menschen, die unter chronischen Beschwerden oder Erschöpfung leiden, suchen in solchen Angeboten verständlicherweise nach Linderung und Kontrolle über ihre Gesundheit.

Aus medizinischer und physiologischer Sicht reguliert der menschliche Körper seinen Säure-Basen-Haushalt und sein Redox-Gleichgewicht jedoch sehr effektiv selbst, primär über hochkomplexe Systeme in Leber, Nieren, Lunge und eben durch die zelleigenen Enzyme (wie SOD und Katalase). Diese körpereigenen Systeme lassen sich durch extrem hochdosierte

Infusionen oder spezifische Wässer kaum gezielt und sicher "aufrüsten". Eine ausgewogene, gemüsereiche Ernährung liefert dem Körper auf natürliche und sichere Weise genau die Vielfalt an Bausteinen und Mikronährstoffen, die er benötigt, um seine beeindruckenden Selbstregulationsmechanismen aufrechtzuerhalten. Die Zufuhr ganzer Lebensmittel wie Obst und Gemüse, die eine komplexe Matrix aus Fasern, Vitaminen und tausenden Pflanzenstoffen bieten, hat in unzähligen Studien immer wieder positive Gesundheitseffekte gezeigt – ganz im Gegensatz zu vielen isolierten Präparaten.

6. Faszination Wissenschaft: Die Evolution und die Zukunft

Die wahre biologische Geschichte der Antioxidantien ist faszinierend und eng mit der Geschichte des Lebens selbst verknüpft. Sie beginnt vor etwa 2,4 Milliarden Jahren beim sogenannten *Großen Oxidationsereignis* (Great Oxidation Event). Damals begannen Cyanobakterien, als Abfallprodukt ihrer Photosynthese massenhaft Sauerstoff in die Atmosphäre abzugeben. Für das damalige Leben, das an eine sauerstofffreie Welt angepasst war, war dieses Gas extrem toxisch. Das Leben, wie wir es heute kennen, konnte nur fortbestehen und sich weiterentwickeln, weil Organismen evolutionär lernten, dieses „Gift“ durch die Entstehung erster enzymatischer Antioxidantien zu zähmen – und den Sauerstoff schließlich sogar als hocheffiziente Energiequelle zu nutzen.

Ein modernes Rätsel der Biologie ist der Nacktmull (*Heterocephalus glaber*). Dieses kleine Nagetier wird bemerkenswerte 30 Jahre alt und erkrankt fast nie an altersbedingten Leiden wie Krebs. Das Erstaunliche für die Forschung: Die Gewebe des Nacktmulls weisen hohe Mengen an oxidativem Stress und zellulären Schäden auf – teils mehr als bei Mäusen, die nur wenige Jahre leben. Doch die Zellen des Nacktmulls tolerieren diese Schäden offensichtlich besser. Dieses Phänomen erweitert unser Verständnis des Alterns erheblich: Es zeigt, dass Langlebigkeit nicht zwingend bedeutet, jeden oxidativen Schaden zu verhindern, sondern vielmehr robuster mit unvermeidlichen Zellschäden umzugehen und Reparaturmechanismen aufrechtzuerhalten.

In der modernen medizinischen Forschung versucht man inzwischen, dieses komplexe Wissen gezielter zu nutzen. Statt breit angelegter Vitaminpräparate erforscht die Pharmakologie heute sogenannte *mitochondrien-gerichtete Antioxidantien* (wie etwa MitoQ). Diese Moleküle werden synthetisch mit einem lipophilen Kation gekoppelt, das wie ein chemisches Navigationssystem funktioniert. Es zieht das Antioxidans durch die Zellmembranen gezielt in das Innere der Mitochondrien – genau an den mikroskopisch kleinen Ort, wo die potenziell schädlichen Sauerstoffradikale bei bestimmten Krankheiten unkontrolliert entstehen. Das Ziel ist es, in Zukunft Erkrankungen, bei denen oxidativer Stress eine ursächliche Rolle spielt, präziser

behandeln zu können, ohne die wichtigen Signalfunktionen im restlichen Körper zu stören.

Dieses Dokument ist ein offizieller Export von Gesundheitsmythen.de (COMUN e.V.). Alle Fakten und Quellenangaben sind auf der Website einsehbar.