Dr. med. Alexander Wunsch



Warum wir gutes Licht brauchen und schlechtes Licht uns krank macht

VORWORT Der Mensch und das Licht.

Licht ist wohl das am meisten verkannte und unterschätzte Lebensmittel. Woran das liegt, darüber kann man nur spekulieren - wahrscheinlich ist es so allgegenwärtig, dass wir seine Präsenz einfach als gegeben hinnehmen, ohne weiter darüber nachzudenken. Für unsere Vorfahren war es wirklich »gegeben«, und zwar durch die Sonne, den Mond und das Feuer. Heute wird den Menschen das Licht eher verordnet: EU, Politiker, Industrie, Arbeitgeber, Lichtplaner oder Elektriker sind diejenigen, die das Licht in unserer Umwelt auswählen und gestalten. Eltern legen die Lichtumgebung ihrer Kinder anhand spontaner Kaufimpulse fest, die sie beim Gang durch das Einrichtungshaus verspüren. Dabei spielt oft die Form der Leuchte eine wichtigere Rolle für die Kaufentscheidung als die Lichtqualität.

Der richtige Umgang mit Licht muss erlernt werden

Es ist immer wieder erstaunlich, wie wenig die meisten Menschen über die Qualität von Kunstlicht wissen. Ähnlich verhält es sich mit den Grundregeln im Umgang mit Sonnenlicht. Lichtkompetenz wird zu keinem Zeitpunkt der schulischen oder beruflichen Ausbildung systematisch vermittelt, dabei ist sie aus meiner Sicht so wichtig wie Lesen und Schreiben. Der Mensch spürt, wann er Hunger oder Durst hat und handelt dementsprechend. Bei Licht verhält sich das anders: Der richtige Umgang mit Sonnenlicht muss erlernt werden.

In prähistorischen Zeiten waren es meistens die Religionen, die den kulturell-rituellen Rahmen vorgaben, indem sie das Licht der Sonne einer göttlichen Kraft gleichstellten. Dies bedeutete, Licht/Gott war allmächtig, also sowohl in der Lage, Leben zu erschaffen, als auch es zu zerstören. Die religiösen Rituale flößten den primitiven Menschen Ehrfurcht ein, damit sie sich so verhielten, dass sie von der göttlichen Energie (= Sonnenlicht) nicht geschädigt wurden. Strukturierung von Tagesabläufen (chronobiologische Rhythmen) oder Bekleidungsvorschriften (Sonnenschutz) sind nur zwei Beispiele für kulturell-religiös geschaffene Rahmenbedingungen, die salutogenetisch und risikomindernd wirken, sprich, der Entstehung und dem Erhalt der Gesundheit dienen. Unter diesem Blickwinkel wird auch verständlich, dass die Kulte vergangener Zeiten meist lokal eng begrenzt waren, denn die Sonne scheint zwar für jeden, aber sie scheint nicht überall auf der Erde gleich. Jede Kultur musste in ihrem Einflussgebiet den optimalen Umgang mit dem Sonnenlicht finden und an die kommenden Generationen weitergeben, um das Überleben zu gewährleisten.

Kunstlicht als große Herausforderung der Moderne

Heute haben sich die Bedingungen grundlegend verändert. Das Sonnenlicht ist nicht mehr der wichtigste Lichteinfluss, da wir uns meistens in geschlossenen Räumen aufhalten, die mit modernen Fenstern und Kunstlicht ausgestattet sind. Lichtanpassungsreaktionen, die sich auf der Erde über Millionen von Jahren entwickelt hatten, um menschliches Leben zu ermöglichen und unser Überleben zu sichern, können sich nun leicht gegen uns wenden, da sie in dieser neuen, künstlichen Umgebung sinnlos geworden sind. Der moderne Mensch steht lichtbiologisch vor einer der größten Herausforderungen unserer Tage: Er muss lernen, technische Möglichkeiten nicht nur intelligent, sondern bio-logisch zum Einsatz zu bringen. Er sollte außerdem verstehen, dass er sich nicht nur vom Auge leiten lassen darf – dieses Sinnesorgan ist nämlich ein begnadeter Gaukler, dem man nicht über den Weg trauen sollte!

Ich beschäftige mich nun seit über 25 Jahren intensiv mit dem Thema Licht. Dabei habe ich den Werbesprüchen der Industrie immer misstraut und stattdessen meine Informationsquellen in der Wissenschaft und auch der angewandten Medizin gesucht und gefunden. Ich finde es reizvoll, altes Wissen mit neuen

Forschungsergebnissen zusammenzuführen. Die alten Mediziner, die vor über 100 Jahren die Lichtbiologie für sich und ihre Patienten entdeckten, hatten von Molekularbiologie oder Erbsubstanz noch wenig Ahnung. Dafür konnten sie wesentlich besser beobachten als viele ihrer heutigen Kollegen und waren gezwungen, die fehlende Detailkenntnis durch den aufmerksamen Blick auf das Ganze zu kompensieren.

Die Disziplin der Lichtbiologie heißt heute »Photobiologie«. Ich nenne mich trotzdem gern »Lichtbiologe«, da mir die Herangehensweise meiner Vorgänger sympathischer ist als die heutige Strategie, die fast ausschließlich auf die biochemischpharmakologischen Vorgänge blickt und dabei die physikalischen Aspekte des Lebens weitgehend vernachlässigt. Außerdem missfällt mir eine Wissenschaft, die es unterstützt, dass das Sonnenlicht, Ursprung allen Lebens auf diesem Planeten, als krebserzeugend eingestuft und die Glühlampe als einzige Kunstlichtquelle mit natürlichem Spektrum verboten wurde.

In der heutigen Zeit einen Ratgeber über gutes Licht zu verfassen, ist ein Wagnis. Die technische Entwicklung schreitet so schnell voran, dass kaum absehbar ist, was uns der Fortschritt morgen bringen wird. Wer hätte zum Beispiel im Jahr 2007 gedacht, dass im darauffolgenden Jahr die Glühlampe verboten werden könnte? Was also bleibt in einer Zeit, in der das einzig Sichere der immer schnellere Wandel ist? Welche Ratschläge sollte man geben?

Wie Licht unseren Organismus beeinflusst

Aus meiner langjährigen ärztlichen Praxis, aber auch aus Rückmeldungen von Hörern meiner zahlreichen Vorträge weiß ich, dass schlechtes Kunstlicht krank machen kann. Eine kritische Auseinandersetzung mit dem Thema Licht als Gesundheitsfaktor wird in der Öffentlichkeit aber weitge-

hend vermieden. Eine große Anzahl wissenschaftlicher Studien hat das Thema der Lichtschädigung zum Gegenstand. Solche Untersuchungen können jedoch immer nur einen Teilaspekt bearbeiten und wurden zumeist an Zellkulturen oder Tieren durchgeführt. Hinzu kommt, dass weder die normale Bevölkerung noch die meisten Ärzte ungehinderten (das heißt zum Beispiel kostenlosen) Zugang zu solchen Publikationen haben. Dies macht es der Industrie umso leichter, alle Erkenntnisse, die der Vermarktung ihrer Produkte im Wege stehen könnten, erst einmal zu bestreiten



Kunstlicht vertreibt nicht nur die Dunkelheit, sondern kann auch krank machen.

und einfach weiterzumachen wie gehabt. Selbst bei ganz offensichtlich schädigenden Einflüssen wie dem Rauchen oder der Verwendung von Asbest hat es Jahrzehnte gedauert, bis die Gesetzgeber sich zu Gegenmaßnahmen entschließen konnten.

Auch beim Thema Licht gibt es eine starke Lobby, die dafür sorgt, dass die Interessen der Industrie gewahrt bleiben. Ich denke dabei nicht nur an die Lichtindustrie und das Glühlampenverbot, sondern auch an die heute gängige Praxis, Arbeitgebern eine Arbeitsplatzbeleuchtung zu verkaufen, die das Lichtdoping ihrer Angestellten ermöglicht, um dadurch deren Produktivität zu erhöhen. Pharmakonzerne profitieren doppelt, wenn die Menschen vor dem Sonnenlicht Angst haben: Einerseits fördert der Lichtmangel den Absatz zahlreicher Medikamente zur Behandlung von Zivilisationskrankheiten, andererseits verdienen sie auch bei dem Verkauf von Sonnenschutzmitteln und Hautpflegeprodukten kräftig mit. Selbst die Tourismusbranche profitiert davon, wenn den Menschen das Lichtwissen fehlt, denn ihre Kunden buchen ungehindert von jeglicher Vernunft auch diejenigen Urlaubsreisen, die gegen alle Regeln von Chronobiologie und Heliotherapie - die medizinische Anwendung von Sonnenlicht - verstoßen und dadurch der Gesundheit eher schaden. Dabei war der Urlaub doch ursprünglich als Erholungsmaßnahme gedacht, um dem Organismus die Gelegenheit zu geben, sich zu regenerieren.

Was Sie in diesem Buch erwartet

Es gibt genügend Gründe, sich näher mit der Kraft des Lichts zu befassen. Da Licht in all seinen Erscheinungsformen sowohl positiv als auch negativ wirken kann und wie Luft und Wasser ständig auf uns einwirkt, ist es wichtig, die Mechanismen zu kennen, über die es unseren Organismus beeinflusst. Nur dann kann man seine Vorteile optimal nutzen und eventuelle Schäden wirksam vermeiden.

Da selbst ein Genie wie Albert Einstein sagte: »Den Rest meines Lebens werde ich darüber nachdenken, was Licht ist«, ist es mir natürlich unmöglich, alle Aspekte dieser komplexen Materie im Rahmen dieses Buches erschöpfend darzustellen. Folglich beschränke ich mich darauf, Ihnen eine sehr persönliche Darstellung vorzulegen, in der ich mich auf solche Themen konzentriere, die mit dem Erhalt oder dem Wiedererlangen der Gesundheit in Verbindung stehen.

In der Einführung wird zuerst die Frage beantwortet, warum gutes Licht für uns so wichtig ist, bevor im ersten Kapitel genauer analysiert wird, was Licht ist, woher es kommt und warum es für alle Prozesse des Lebens auf unserem Planeten unverzichtbar ist. Im Anschluss daran werden Sie erfahren, wie Licht auf alle chemischen Prozesse einwirkt, und die wichtigsten Mechanismen der Wechselwirkungen zwischen Licht und belebter Materie kennenlernen. Daran schließt sich das Kapitel über die Wirkungen des Sonnenlichts an, gefolgt von einem Kapitel über das Kunstlicht. Der letzte große Abschnitt ist schließlich den Farben gewidmet, insbesondere der Anwendung von farbigem Licht nach den Prinzipien der *Spektro-Chrom-Methode*.

Viele Erkenntnisse zur Wirkung von Sonnen- und Farblicht sind nicht neu, sondern Teil eines jahrtausendealten Erfahrungsschatzes der Menschheit. Wenn das Sonnenlicht heute in der öffentlichen Darstellung als gefährlich, die Farblichttherapie als pseudowissenschaftlich und die LED-Technologie als die geniale Lösung unserer Energieprobleme präsentiert werden, dann zeugt dies für mich von einer

stark verzerrten Wahrnehmung, die nur durch eine Unkenntnis der Vergangenheit erklärbar ist. Um dem vorzubeugen und den gesunden Menschenverstand und auch das Bauchgefühl all derer zu stärken, die sich von der *Kraft des Lichts* wie magisch angezogen fühlen, habe ich in allen drei Hauptkapiteln der historischen Entwicklung einen gebührenden Platz eingeräumt. Dadurch wird deutlich, welche zentrale Rolle das Licht zu fast allen Zeiten der Menschheitsgeschichte gespielt hat.

Ich wünsche mir sehr, dass Ihnen meine Ausführungen, die oftmals eine Gegenposition zur offiziellen Meinung repräsentieren, dabei helfen, das Licht in all seinen Erscheinungsformen besser kennenzulernen und es im Sinne der Gesundheit zu verwenden. Entwickeln Sie die Liebe zum Licht, die uns Menschen mitgegeben wurde, zur vollen Blüte!

Ihr Alexander Wunsch

EINFÜHRUNG

Warum gutes Licht so wichtig ist

Die meisten Menschen leben in biologischer Dunkelheit, denn sie halten sich zu über 90 Prozent ihrer Lebenszeit in geschlossenen Räumen auf. Dort gibt es kein natürliches Licht, selbst wenn viele Fenster vorhanden sind. Unsere Vorfahren hingegen bewegten sich hauptsächlich im Freien. Dadurch waren sie nicht nur den Witterungsbedingungen, sondern auch dem Tageslicht und der Sonne direkt ausgesetzt. Diese tiefgreifenden Veränderungen unserer Lebensweise haben Konsequenzen für die Gesundheit. Zu wenig Tageslicht und zu viel Kunstlicht begünstigen die Entstehung der meisten Zivilisationskrankheiten. Der richtige Umgang mit Licht ist für die Gesundheit genauso wichtig wie gute Ernährung, saubere Luft und genügend Bewegung.

Die Entstehung unserer Zivilisation basiert auf Kunstlicht

Die Gesundheitskosten in Deutschland liegen laut dem Statistischen Bundesamt bei über einer Milliarde Euro täglich (Stand 2017). Dies entspricht etwa 11 Prozent des Bruttoinlandsprodukts wir geben etwa ein Zehntel unserer Wirtschaftsleistung für die Gesundheit aus! Moment mal - tun wir das wirklich? Investieren wir tatsächlich solche immensen Summen in unsere Gesundheit?

Die genauere Betrachtung zeigt, dass wir tatsächlich so viel Geld ausgeben, aber nicht für die Gesundheit, sondern für die Behandlung von Krankheiten. Am kostenintensivsten sind dabei die Herz-Kreislauf-Erkrankungen, dicht gefolgt von psychischen und Verhaltensstörungen sowie Krankheiten des Verdauungssystems. Wirft man einen Blick auf die Todesursachenstatistik, liegen abermals die Herz-Kreislauf-Erkrankungen auf dem vordersten Platz, diesmal jedoch gefolgt von Krebs. Zusammengenommen sind diese beiden Gruppen ungefähr für zwei Drittel der Sterbefälle in Deutschland verantwortlich.

Vergleicht man die Arten von Krankheiten, die in Industrienationen und Ländern der Dritten Welt auftreten, sieht man deutliche Unterschiede. Neben der individuellen genetischen Veranlagung kann man Umweltfaktoren, Lebensstile und Lebensauffassungen für diese Unterschiede verantwortlich machen. Die Lebensweise nimmt offenbar direkten Einfluss auf unsere Gesundheit und erhöht das Risiko, bestimmte Zivilisationskrankheiten (englisch: lifestyle diseases) zu entwickeln. Diese sind zwar im wissenschaftlichen Sinn nicht eindeutig definiert, es herrscht aber Konsens darüber, dass Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Krebs, Diabetes mellitus, Übergewicht, Adipositas, Essstörungen, bestimmte Allergien, Hautkrankheiten und psychische Störungen dazuzählen. Da die Entstehung von Zivilisationskrankheiten immer von mehreren Faktoren abhängt, ist es unmöglich, einzelne Ursachen verantwortlich zu machen. Als weitgehend anerkannte Risikofaktoren gelten Bewegungsmangel, Stress, Über- und Fehlernährung, Umweltgifte, Lärmbelastung, Reizüberflutung übertriebene Hygiene. Auch soziale Faktoren, permanenter Leistungsdruck und natürlich der übermäßige Konsum von Genussgiften wie Zucker, Alkohol und Tabak zählen zu den prädisponierenden Einflüssen.

Obwohl uns Licht unser ganzes Leben lang begleitet und überall vorhanden ist, findet es in den allermeisten Studien zur Ursachenforschung von Zivilisationskrankheiten keinerlei Erwähnung. Dabei ist das elektrische Licht der wichtigste Einzelfaktor, der die Form der heutigen Zivilisation überhaupt erst ermöglicht hat. Ohne Kunstlicht gäbe es keinen Schichtdienst, keine Nachtfahrten, kein Fernsehen, keine Smartphones und keine permanenten Störungen unserer chronobiologischen Rhythmen - aber dazu später mehr. Kunstlicht ist der einzige Risikofaktor, dem sich niemand konsequent entziehen kann, denn praktisch alle Menschen verwenden es täglich. Jeder öffentliche Raum, jedes Klassenzimmer und jedes Büro ist künstlich beleuchtet. Selbst außerhalb von Gebäuden ist Kunstlicht die ganze Nacht über präsent; jedes Fahrzeug, jede Straßenlaterne und jede Verkehrsampel rauben uns die Dunkelheit.

Gutes und schlechtes Licht

Wenn wir uns aufgrund unserer Lebensumstände ständig im künstlichen Licht aufhalten müssen, sollte es eigentlich selbstverständlich sein, dass höchste Qualitätsmaßstäbe an dieses Kunstlicht angelegt werden, so wie es für Trinkwasser, Atemluft und Nahrungsmittel auch üblich ist. Für Licht scheinen jedoch andere Überlegungen zu gelten, denn hier geht es seit Jahrzehnten nicht um die beste Qualität, sondern um die höchste Quantität und die niedrigsten Kosten.

Die Europäische Union hat in den vergangenen Jahren für alle Mitgliedsstaaten verbindliche Vorgaben beschlossen, die in ihrer Reichweite und Bedeutung für die Qualität von Kunstlicht fatal sind. Das wichtigste Anliegen der EU ist es, aus elektrischer Energie so viel Licht wie möglich herauszuholen. Energieeffizienz ist heute das Merkmal, dem sich alle anderen Faktoren unterordnen müssen, nach denen man Licht ebenfalls bewerten kann.

Alle Lebewesen sind unter dem Licht

der Sonne entstanden und die allermeisten leben vom Licht – auch wir Menschen. Jetzt aber müssen wir aufgrund von Verordnungen mit Lichtarten leben, die der menschliche Organismus in der Vergangenheit nicht kannte. Damit sind alle unbewussten Informationen, die unser Körper gewohnheitsmäßig aus seiner Lichtumgebung ableitet, in höchster Gefahr, als »fake news« verarbeitet zu werden.

Gutes Licht ist Licht, an das sich unsere Gene im Laufe der Evolution gewöhnt und angepasst haben. Sie haben gelernt, damit umzugehen, ohne dass es zu Problemen kommt. Unsere Körper können daher aus bestimmten Bereichen des natürlichen Lichtspektrums wichtige Steuersignale ableiten, die der Organismus dringend braucht, um langfristig gesund und leistungsfähig zu bleiben. Diese Steuersignale geben unseren Organsystemen darüber Aufschluss, ob es »draußen« Tag oder Nacht, Sommer oder Winter, warm oder kalt, gemütlich oder gefährlich ist.

Schlechtes Licht hingegen erzählt unserem Körper zusammenhanglose Geschichten, die ihn in die Irre führen. Das ist in etwa so, wie wenn man sich morgens, bevor man das Haus verlässt, aufgrund der Wettervorhersage dazu entscheidet, lange Wollunterwäsche und einen Wintermantel mit Schal anzuziehen und sich dann den ganzen Tag bei 35 Grad im Schatten aufhalten muss. Schlechtes Licht hält im Körper nicht, was es dem Auge versprochen hat - es ist wie eine optische Täuschung, die große Risiken für unsere Gesundheit mit sich bringt.

Schlechtes Licht ist ein Risikofaktor, den man vermeiden könnte. Da aber Staatengemeinschaften, Politiker und evidenzbasiert vorgehende Mediziner in den allermeisten Fällen keine Ahnung von den komplexen Vorgängen haben, die in unseren Körpern »unter der Haube« ablaufen, konnten sie auch nicht die richtige Entscheidung für gutes Licht treffen. Diese wäre gewesen, die Glühlampe zu erhalten und stattdessen andere Lichtquellen wie die Energiesparlampe zu verbieten. Um jedoch nachvollziehen zu können, warum das Licht aus einer Glühlampe gesund sein soll, während das Licht aus einer LED gesundheitliche Risiken birgt, müssen wir uns zunächst mit ein paar grundlegenden Eigenschaften von Licht beschäftigen.



WAS IST LICHT?



Licht ist die Substanz, aus der unsere Materie aufgebaut ist. Es besteht aus Photonen, auch Lichtquanten oder Lichtteilchen genannt, die sich nicht entscheiden können, was sie sein wollen: Welle oder Teilchen – elektrisch oder magnetisch? Licht ist unglaublich schnell: Als elektromagnetische Welle breitet es sich im Vakuum mit einer Geschwindigkeit von etwa 300 000 km pro Sekunde aus. Licht ist immer noch das größte Rätsel für die Naturwissenschaft und ist dabei die Grundlage allen Lebens. Der Quantenphysiker David Bohm fasste es so zusammen: »Licht ist Energie und ebenso Information – Inhalt, Form und Struktur. Es bildet das Potenzial für alles.«

Am Ursprung des Lichts

Licht ist ein Alleskönner – sogar die Materie, aus der wir selbst und alles um uns herum bestehen, kann man als kondensiertes oder gefangenes Licht ansehen. In der Materie pendeln die Photonen sozusagen hin und her, anstatt sich im Raum auszubreiten. Sie sind die Sprache, mit der die Materie kommuniziert, und sie sind an den wichtigsten Formen chemischer Bindungen beteiligt. Die meisten chemischen Reaktionen können nur ablaufen, weil die beteiligten Atome und Moleküle dabei Photonen abgeben oder aufnehmen.

Das erste Licht kam nicht etwa mit dem Urknall vor etwa 13,8 Milliarden Jahren in die Welt, sondern erst 380 000 Jahre später, als sich aus der Ursuppe die ersten stabilen Atome herausbildeten. Das Atom mit dem einfachsten Aufbau ist der Wasserstoff, aus dem im Laufe der Zeit alle schwereren Atome entstanden sind. Die Evolution der chemischen Elemente vollzog sich durch die Bildung von Sternen, in denen durch die extreme Verdichtung gigantischer Wasserstoffwolken eine Kernfusion in Gang gesetzt wurde. Durch diesen Prozess der Kernverschmelzung entstanden nicht nur jede Menge Strahlungsenergie, sondern auch schwerere Atome wie Deuterium, Helium, Lithium und Beryllium.

Da diese Sterne der ersten Generation wesentlich mehr Masse hatten als unsere Sonne, verlief der Fusionsprozess sehr schnell, weshalb sich der Vorrat an Wasserstoff in kurzer Zeit verbrauchte. Diese frühen Sterne brannten gewissermaßen so schnell ab wie ein Strohfeuer, um dann als Supernova zu enden. Die meisten chemischen Elemente, aus denen sich unsere Erde zusammensetzt, wurden während solcher Supernova-Explosionen »zusammengeschweißt«. Leben konnte sich im Umfeld der ersten Sterne nicht bilden, da die Bedingungen dafür zu ungünstig und wechselhaft waren.

Nachdem sich der Wasserstoff die Hörner etwas abgestoßen hatte, konnten sich aus kleineren Gas- und Staubwolken gemütlichere Sterne entwickeln. Einer davon ist unsere Sonne, die sich vor ungefähr 4,6 Milliarden Jahren durch den Kollaps einer interstellaren Gaswolke herausbildete. Aus der riesigen Sternenstaubwolke formten sich damals auch die Planeten, die seither die Sonne umkreisen. Diese ist im Vergleich zu ihren Vorgängern ein recht friedlicher Stern, in dem die Fusionsreaktion wesentlich gemütlicher abläuft, also nicht so ungestüm wie bei einem Strohfeuer, sondern eher vergleichbar mit den Gärungsprozessen in einem Misthaufen. Trotzdem herrschen im Inneren der Sonne noch sehr ungemütliche Bedingungen, denn dort

WIE SICH DAS SONNENLICHT ZUSAMMENSETZT

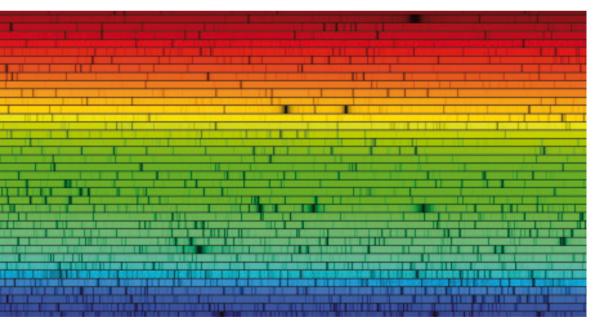
Sonnenlicht besteht aus einer Mischung von Photonen, die sich physikalisch nur in einem Punkt unterscheiden, nämlich in ihrem Energiegehalt. Die Energie eines Lichtteilchens steckt in der Frequenz seiner elektromagnetischen Welle: Je höher die Frequenz, desto größer ist der Energiegehalt eines Lichtteilchens, den man auch als Quantenenergie bezeichnet. Da jedes Photon sowohl Teilchen als auch Welle ist, kann man den Energiegehalt auch über die Wellenlänge definieren. Hohe Energie bedeutet hohe Frequenz und kurze Wellenlänge - und umgekehrt. Am handlichsten ist die Angabe der Wellenlänge in Nanometer (nm), die beim Sonnenlicht, so wie es auf der Erdoberfläche ankommt, zwischen 290 nm und 3000 nm beträgt. Je nach Wellenlänge teilt man das Sonnenlicht in verschiedene Bereiche ein, die aufgrund ihres Energiegehalts unterschiedliche biologische Wirkungen haben. Mit bloßem Auge können Menschen nur das Licht des Regenbogenspektrums zwischen 400 nm (Violett) und 700 nm (Rot) sehen, als Abkürzung wird hierfür VIS verwendet. Jenseits dieser Grenzen ist Licht für Menschen unsichtbar. Der unsichtbare Ultraviolettbereich wird mit UV abgekürzt und ist kurzwelliger als Violett. An das rote Ende des Regenbogenspektrums schließt sich der unsichtbare Infrarotbereich an, der mit IR abgekürzt wird. Der UV-Bereich wird aufgrund seiner unterschiedlichen biologischen Wirkung weiter unterteilt in das kurzwellige UVB zwischen 290 und 320 nm und das längerwellige UVA zwischen 320 und 400 nm. UVC ist noch kurzwelliger und damit auch aggressiver als UVB, allerdings filtert die Erdatmosphäre diese schädlichen Anteile zuverlässig aus. Auch der Infrarotbereich wird in IRA (700 bis 1500 nm), IRB (1500 bis 3000 nm) und IRC (> 3000 nm) unterteilt. Am meisten Energie strahlt die Sonne im sichtbaren (VIS) und Infrarot-A-Bereich ab, nämlich jeweils etwas über 40 Prozent. Obwohl Sonnenlicht insgesamt weniger als 10 Prozent UV-Licht enthält, hat dieser Bereich die stärkste biologische Wirkung. Der Anteil von UVB, das für die Vitamin-D-Bildung sowie die Entstehung von Sonnenbrand verantwortlich ist, beträgt dabei weniger als 1,5 Prozent.

gibt es noch kein Licht, sondern hauptsächlich Gamma- und Röntgenstrahlung. Diese besteht zwar auch aus Photonen, jedoch hat jedes dieser Lichtquanten einen viel zu hohen Energiegehalt beziehungsweise eine zu hohe Frequenz, um mit Lebensvorgängen vereinbar zu sein. Glücklicherweise durchlaufen diese hochfrequenten Photonen auf ihrem Weg durch die inneren Sonnenschichten einen Reifungsprozess, der bis zu einer Million Jahre dauert. Dadurch entsteht aus der gefährlichen radioaktiven Strahlung ein »gutmütiges« Licht, das die Entstehung des Lebens auf der Erde erst ermöglicht hat.

Sonnenlicht ist einzigartig

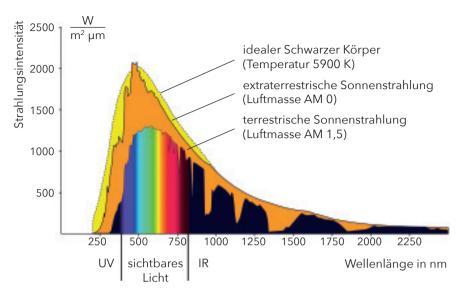
Sonnenlicht besteht nicht nur aus sichtbaren Anteilen, sondern auch aus unsichtbarem UV- und Infrarotlicht. Aber auch im sichtbaren Regenbogenspektrum sind unsichtbare Anteile vorhanden. Das menschliche Auge ist nicht in der Lage, diese ohne den Einsatz von Messgeräten zu erkennen. Bereits im 17. Jahrhundert entdeckte Isaac Newton mithilfe eines Prismas, dass sich das weiße Sonnenlicht aus den Farben des Regenbogens, den Spektralfarben, zusammensetzt.

Heute gibt es verschiedene Möglichkeiten, die farbliche Zusammensetzung von



Das Sonnenlicht enthält neben den Regenbogenfarben auch zahlreiche dunkle Abschnitte, die Fraunhoferlinien genannt werden.

© des Titels »Die Kraft des Lichts« (ISBN 978-3-7423-0911-2) 2019 by riva Verlag, Münchner Verlagsgruppe GmbH, München Nähere Informationen unter: http://www.rivaverlag.de



Die Spektralverteilung des Sonnenlichts ist außerhalb der Erdatmosphäre und an der Erdoberfläche unterschiedlich.

Licht zu untersuchen. Spektroskope werden zur Betrachtung verwendet, wohingegen Spektrometer die spektrale Zusammensetzung objektiv messen können und sich daher auch für die Bereiche eignen, die für das menschliche Auge unsichtbar sind.

Die Abbildung auf Seite 18 zeigt den Spektralverlauf des Sonnenlichts im sichtbaren Bereich durch einen Spektralapparat mit extrem hoher Auflösung. Erst in dieser Darstellung, bei der das Regenbogenspektrum in 50 untereinanderliegende Streifen unterteilt wurde, kann man erkennen, dass es sich nicht um einen kontinuierlichen Verlauf handelt, sondern um viele kurze, farbige Abschnitte, die immer wieder von schwarzen Bereichen unterbrochen werden. Das Sonnenspektrum erinnert dadurch fast an einen Schweizer Käse, der an vielen Stellen durchlöchert ist. Aus wissenschaftlicher Sicht handelt es sich aber eher um eine Art Barcode, in dem eine große Anzahl von Informationen verschlüsselt ist. Zum Beispiel kann man aus dem Muster und der Verteilung der schwarzen Bereiche, die nach ihrem Entdecker Fraunhoferlinien (Kasten Seite 20) genannt werden, ablesen, welche chemischen Elemente in der äußersten Schicht der Sonne, der Chromosphäre, enthalten sind. Wir werden später noch sehen, dass dieser Feinbau des Sonnenlichts sowohl für die biochemischen Vorgänge während der Entstehung des Lebens eine Bedeutung hatte als auch für bestimmte Wirkungen der Therapie mit Sonnenlicht (Heliotherapie) und farbigem Licht (Chromotherapie) eine Rolle spielt.

Sonnenlicht hat also bereits einzigartige Eigenschaften, wenn es die Oberfläche

unseres Zentralgestirns verlässt, und wird daher niemals vollwertig durch künstliche Lichtquellen ersetzbar sein. Da Sonnenlicht, bevor es auf der Erdoberfläche ankommt, zuerst noch die Erdatmosphäre

DIE ENTDECKUNG DER FRAUNHOFER-LINIEN IM SONNENSPEKTRUM

Anfang des 19. Jahrhunderts entdeckte der deutsche Optiker und Physiker Joseph von Fraunhofer die nach ihm benannten Linien im Sonnenspektrum. Es gibt die Geschichte, dass Fraunhofer die Linien zum ersten Mal auffielen, als er das Sonnenlicht durch eine Vogelfeder hindurch betrachtete. Im Jahr 1814 baute er sein erstes optisches Gerät, das es ihm ermöglichte, die dunklen Linien im Sonnenlicht genauer zu untersuchen. Solche Apparate werden Spektroskope genannt, da sie das Licht zum Beispiel mit einem Prisma in seine Bestandteile zerlegen, die man dann betrachten kann. Fraunhofer war nicht der erste, der diese Aussparungen im Farbverlauf des

Sonnenlichts entdeckt hatte, er war aber derjenige, der eine Anwendung für sie fand. Er stellte nämlich fest, dass diese Linien unveränderlich immer an der identischen Position im Spektrum des Sonnenlichts in Erscheinung treten. Die Linien konnten somit wie ein integriertes, hochpräzises Maßband fungieren. Diese Erkenntnis machte sich Fraunhofer zunutze, um zum Beispiel die Brechkraft und die Farbfehler von optischen Linsen exakt zu berechnen. Dadurch war er in der Lage, auf mathematisch-wissenschaftlicher Grundlage optische Apparate mit vorher ungekannter Präzision und Darstellungsqualität zu fertigen, was der optischen Industrie in Deutschland für fast 150 Jahre eine weltweite Vormachtstellung sicherte. Durch die berühmten Mikroskope, Spektralapparate und Teleskope aus Fraunhofers Werkstätten erfuhr die exakte Wissenschaft, die sich im 19. Jahrhundert mit Riesenschritten entwickelte, einen enormen Schub und Erkenntnisgewinn.

passieren muss, werden seine Eigenschaften weiter verändert. Der Wasserdampf und die gasförmigen Stoffe in den atmosphärischen Schichten prägen den Photonen ebenfalls ihren Stempel auf und machen die verbleibende Strahlung für alle Lebewesen verträglicher: Das aggressive UVC-Licht wird völlig herausgefiltert und die Wellenlängen im Infrarot (IRB und IRC), die in der Haut starke Hitze erzeugen würden, sind deutlich reduziert. Die Abbildung auf Seite 19 zeigt das Sonnenspektrum einmal so, wie es außerhalb der Erdatmosphäre beschaffen ist, und in der Form, wie es am Erdboden gemessen werden kann. Außerdem ist hier noch der Spektralverlauf eines Schwarzen Körpers dargestellt, dazu mehr im Kapitel über Kunstlicht ab Seite 121.

Der farbige Fingerabdruck chemischer Elemente

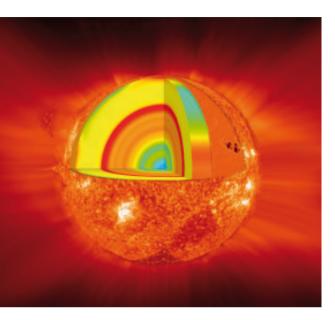
Fraunhofer, der Entdecker der Linien im Sonnenspektrum, war zwar so genial, diese Spektrallinien als optisch-mathematische Problemlöser zu nutzen, jedoch hatte er keine Ahnung, woher die Linien stammten. Die Aufklärung der Zusammenhänge sollte der fruchtbaren Zusammenarbeit von Robert Wilhelm Bunsen und Gustav Robert Kirchhoff überlassen bleiben. Beide Wissenschaftler forschten an der Universität Heidelberg über die



Mehrere chemische Elemente beginnen in der Bunsenbrennerflamme in verschiedenen Farben zu leuchten.

Spektralanalyse. Mithilfe des Bunsenbrenners entdeckten sie zuerst das Phänomen der Flammenfärbung, bei dem jedes chemische Element, sobald es in die farblose Flamme eingebracht wird, diese in ganz bestimmten Farben zum Leuchten bringt. Betrachtet man die Flamme dabei durch ein Spektroskop, treten die Farben als diskrete farbige Linien in Erscheinung.

Dabei fiel ihnen auf, dass die Linien immer genau an solchen Positionen lagen, an denen sich im Sonnenspektrum die dunklen Fraunhoferlinien befinden. Bunsen und Kirchhoff erkannten den Zusammenhang und konnten damit erstmals zeigen, dass jedes chemische Element ei-



Unsere Sonne zeigt im Inneren einen Aufbau in mehreren Schichten.

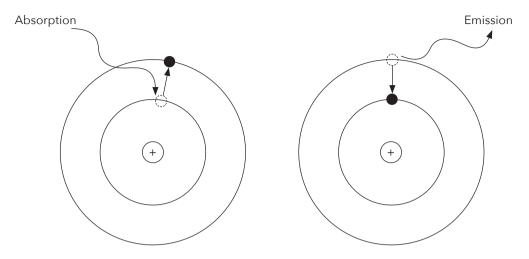
nen farbigen Fingerabdruck hat, der für seine eindeutige Identifikation geeignet ist. Dabei kann das Element diese Wellenlängen entweder als Emissionslinien abstrahlen, zum Beispiel in der Flamme, oder aus einem kontinuierlichen Spektrum heraus absorbieren, wie in der Sonne.

Heute wissen wir, dass das Sonnenlicht zunächst aus einem Emissionsspektrum der Elemente Wasserstoff und Helium besteht, wobei die einzelnen Linien durch den extremen Druck so stark verbreitert werden, dass sie ineinander übergehen. In der Photosphäre, wie man die zweitoberste Schicht in der Sonne nennt, sind daher noch alle Wellenlängen in Form eines

kontinuierlichen Vollspektrums vorhanden. Wenn die Photonen dann durch die Chromosphäre, also die oberste Sonnenschicht, an die Oberfläche drängen, werden alle Wellenlängen, die zu den in der Chromosphäre befindlichen chemischen Elementen gehören, absorbiert. Das Sonnenlicht repräsentiert daher ein Absorptionsspektrum, das nur aus Farben besteht, die keinem chemischen Element zugeordnet werden können. Obwohl die Zusammenhänge im Detail nicht ganz einfach sind, merken wir uns an dieser Stelle, dass das Sonnenlicht aus dem negativen Energieabdruck aller chemischen Elemente besteht, die auf der Sonne vorkommen. Um es salopp zu formulieren: Wenn das Sonnenlicht mit den chemischen Elementen auf der Erde »spielt«, macht es ihnen keine Vorschriften, sondern lässt ihnen alle Freiheit, sich in den energetischen Lücken im Spektrum auszutoben – es mischt sich nicht aktiv in die Kommunikation ein. die sich zwischen den Elementen vollzieht.

Von den Farben zum Atommodell

Die Feststellungen von Bunsen und Kirchhoff, dass jedes chemische Element durch seinen optischen Fingerabdruck, also die Anzahl und Lage seiner Emissions- beziehungsweise Absorptionslinien, eindeutig



Elektronen wechseln ihre Kreisbahn im Atom, wenn sie Lichtquanten aufnehmen oder wieder abgeben.

identifiziert werden kann, warf natürlich die Frage auf, warum dies so ist. Das Bohr'sche Atommodell konnte schließlich die Erklärung liefern. Am einfachsten Element, dem Wasserstoff, können wir die Vorgänge am leichtesten nachvollziehen: Es besteht nur aus zwei Bausteinen, nämlich dem schweren Kern (in diesem Fall einem einzigen Proton) und dem leichten Elektron. Da das Proton im Kern positiv geladen ist und das Elektron negativ, ziehen sich die beiden an wie Nord- und Südpol zweier Magnete. Weil das Elektron sich aber nicht in den Kern stürzen will, muss es mit hoher Geschwindigkeit um das Proton herumflitzen, ähnlich wie ein Planet, der um die Sonne kreist. Wenn dieses System aus gegensätzlichen Ladungen und Prinzipien nun mit Energie beschossen wird, kann das Elektron einen ganz bestimmten Energiebetrag aufnehmen. Dafür muss es jedoch seine Kreisbahn verlassen und in einen weiter außen gelegenen Orbit springen. Diese Kreisbahn, die weiter vom Kern entfernt ist, entspricht dabei einem angeregten Zustand, der die Voraussetzung für eine chemische Bindungsreaktion darstellt. Springt das Elektron wieder in die innere Bahn zurück, muss es die überschüssige Energie abgeben und sendet zu diesem Zweck ein Photon aus. Die Wellenlänge oder Farbe (oder Frequenz) dieses abgestrahlten Photons beschreibt dabei eindeutig, aus welchem Orbit das Elektron zurückgekehrt ist.

Während wir mit dem Ausdruck »Quantensprung« umgangssprachlich meistens etwas Großes oder Großartiges verbinden, handelt es sich dabei tatsächlich um einen Vorgang, der in so kleinem Maßstab abläuft, dass wir ihn nicht einmal mit dem stärksten Mikroskop beobachten können. Trotzdem berichtet uns das Licht, das daran beteiligt ist, durch seine Farbe ganz genau, was in seiner Welt passiert ist und woher es gerade kommt.

Vom Quantensprung zur chemischen Bindung

Bisher haben wir nur ein einzelnes Atom betrachtet. Dieser Idealfall kommt natürlich in der Realität kaum vor. Spannend wird es, wenn wir uns anschauen, was passiert, wenn viele Atome unterschiedlicher chemischer Elemente zusammenwirken. Kein Atom bleibt lange allein – entweder es gesellt sich zu seinesgleichen oder es geht mit anderen Atomen eine chemische Verbindung ein. Bei den wichtigsten chemischen Verbindungen sind Elektronen beteiligt, die dabei ihren Besitzer wechseln. Am Beispiel von Kochsalz, chemisch Natriumchlorid, können wir sehen, wie sich die chemische Ionenbindung zwischen den beiden Elementen Natrium und Chlor abspielt.

Die meisten chemischen Elemente haben entweder zu viele oder zu wenige Elektronen, um in ihrem Idealzustand zu sein. Wir können uns dabei die Elektronen vorstellen wie die Pfunde, die jemand zu viel oder zu wenig auf den Rippen hat.

Was für uns Menschen nun das angestrebte Idealgewicht darstellt, wäre in der Welt der Atome die sogenannte *Edelgaskonfiguration*. Diese entspricht immer dem energieärmsten Zustand und bedeutet, dass die äußerste Schale nach dem Bohr'schen Atommodell vollständig mit Elektronen besetzt ist. Dies sind für die ersten beiden Elemente Wasserstoff und Helium zwei Elektronen, bei allen schwereren Elementen passen immer acht Elektronen in die äußerste Schale. Die Elektronen in dieser Schale werden auch Valenzelektronen genannt.

Kommen wir zurück zu unserem Beispiel: Natrium hat nur ein Elektron in der äußersten Schale und Chlor hingegen sieben. Wenn sich beide Elemente zusammentun, gibt das Natrium sein einzelnes Valenzelektron an Chlor ab, Natrium nimmt es auf und beide werden dadurch zu Ionen. Natrium erhält durch die Abgabe des negativ geladenen Elektrons eine positive Ladung, Chlor hingegen wird durch das zusätzliche Elektron negativ geladen. Da sich Plus und Minus anziehen, haften die beiden gegensätzlich geladenen Ionen nun intensiv aneinander. Beide Elemente kommen damit in einen energetisch günstigeren Zustand und erreichen jeweils die Edelgaskonfiguration in ihrer Valenzschale.

Damit die beschriebene chemische Reaktion überhaupt stattfinden kann, muss

zuerst ein bestimmter Energiebetrag investiert werden, die Anregungsenergie. Damit das Valenzelektron von Natrium überhaupt sein Atom wechseln kann wie ein Eichhörnchen, das von Baum zu Baum springt -, muss es aus seiner Komfortzone gebracht werden. Das funktioniert am elegantesten, indem man ein Photon zur Verfügung stellt, das vom Elektron absorbiert wird, worauf es in eine weiter außen gelegene Schale springen muss – dies ist die Gelegenheit für das Chlor, sich das fremde Elektron zu greifen und einzuverleiben. Der Vorgang ist vergleichbar mit dem Start einer Versorgungsrakete für die ISS, auch hier muss zunächst Energie aufgebracht werden, damit die Rakete die Erdanziehungskraft überwinden kann.

Ohne Licht gibt es keine Chemie

Photonen sind an praktisch jeder chemischen Reaktion beteiligt, bei der Elektronen ihre Heimat-Atome wechseln. Damit ist Licht an den allermeisten Zustandsänderungen von Materie beteiligt: Licht wird emittiert, absorbiert und dient dem Austausch von Information und Energie zwischen chemischen Elementen aller Art. Photonen sind in der Lage, chemische Reaktionen in Gang zu setzen, indem sie die erforderliche Anregungsenergie zur Verfügung stellen. Sie können jedoch auch das Gegenteil bewirken, indem sie die Bindungsenergie bereitstellen, die nötig ist, um eine chemische Bindung wieder aufzubrechen. Photonen sind die unverzichtbaren Sende- und Empfangssignale, über die alle chemischen Elemente in uns und in unserer Umwelt miteinander kommunizieren. Die gesamte anorganische und organische Chemie ist auf Licht angewiesen - das erklärt die besondere Bedeutung von Licht auf atomarer Ebene. Vergegenwärtigen wir uns jetzt noch, dass in jeder einzelnen Zelle in unserem Körper pro Sekunde mehrere hunderttausend chemische Reaktionen ablaufen müssen, um die Zelle am Leben zu halten, können wir besser verstehen, wie sich die Kraft des Lichts bereits auf der Zellebene entfaltet. Egal, welche Stoffwechselreaktion in einer Zelle gerade abläuft – immer sind es Photonen, die diesen Prozess ermöglichen und steuern.



LICHT UND DIE EVOLUTION DES LEBENS



Alles Leben auf der Erde entwickelte sich unter dem Licht der Sonne. Bevor Leben entstehen konnte, mussten jedoch erst einige wichtige Voraussetzungen geschaffen werden. So, wie es vor der Entstehung der Sonne zuerst eine chemische Evolution geben musste, damit alle Elemente zur Verfügung standen, aus denen sich unser Sonnensystem zusammensetzt, war als Nächstes eine biochemische Evolution vonnöten, um die Bausteine für das Leben auf der Erde bereitzustellen. Auch daran war das Sonnenlicht maßgeblich beteiligt.

Fließende Energie führt Systeme zu höherer Ordnung

Durch die Erdrotation existierten von Anbeginn zwei gegensätzliche Zustände auf unserem Planeten, nämlich Tag und Nacht. Der rhythmische Wechsel zwischen diesen beiden Bedingungen führte zu Temperaturschwankungen, die für eine ständige Durchmischung der Uratmosphäre sorgten. Die vorhandenen Gase und der Wasserdampf wurden dadurch immer in Bewegung gehalten, was zu einem anorganischen Stoffwechsel führte.

Das UV-Licht der Sonne konnte damals noch ungehindert durch die Uratmosphäre hindurchdringen, da der Sauerstoff größtenteils chemisch gebunden war. Somit existierte auch noch keine Ozonschicht, die uns heute vor der chemisch sehr aggressiven UVC-Strahlung schützt. Im Zusammenspiel mit den ständigen Blitzentladungen sorgte diese intensive UVC-Strahlung dafür, dass aus den Gasen der Uratmosphäre die ersten Bausteine des Lebens entstanden. Auf diese Weise war das Licht am Aufbau von Aminosäuren, Fetten, Kohlehydraten und Nukleinsäuren maßgeblich beteiligt. Die Energie, die über den Photonenstrom des Sonnenlichts auf die Erde einwirkte, hielt und hält die Stoffkreisläufe (Wasser-, Kohlenstoff- und Stickstoffkreislauf) in den Ökosystemen in Gang. Mit nur wenigen Ausnahmen werden die biochemischen Reaktionsketten, auf denen Leben basiert, direkt oder indirekt von der Energie des Sonnenlichts angetrieben.



Wenn Energie auf Materie einwirkt, wird diese dadurch auch geformt, hier am Beispiel von Klangfiguren nach Chladni

Da wir auch heute die letzten Einzelheiten der Entstehung des Lebens nicht nachvollziehen können, müssen wir uns mit der Feststellung zufriedengeben, dass eine fließende Energie die Systeme, durch die sie fließt, immer auch strukturiert und zu höherer Ordnung führen kann,1 ähnlich wie der Wind die Oberfläche einer Sanddüne formt, über die er hinwegweht. Ein gutes Beispiel für dieses Prinzip sind die Klangfiguren, die nach dem deutschen Physiker Ernst Florens Friedrich Chladni benannt sind. Chladni'sche Klangfiguren entstehen, wenn einfache Tonfrequenzen auf dünne Platten einwirken, die so gelagert sind, dass sie möglichst frei schwingen können.

Auf der Oberfläche der Platten bilden sich stehende Wellen, deren komplexe Muster zum Beispiel durch feinen Sand sichtbar gemacht werden können, da dieser immer in die Bereiche verschoben wird, an denen die stehenden Wellen ihre Knotenpunkte haben. Eine Änderung der Anregungsfrequenz führt zu einer Variation des Oberflächenmusters, indem die Sandpartikel in andere Positionen verschoben werden.

Bei solchen Experimenten kann man direkt beobachten, dass eine Frequenz im wahren Wortsinn eine In-Formation darstellt, denn sie bringt in dem System nicht nur ganz bestimmte Formen hervor, sondern führt auch zu einem dynamischen

Stofftransport. Die Resonanzgesetze und das Prinzip stehender Wellen machen vor den räumlichen Dimensionen keinen Halt, sondern gelten auch für die Frequenzen von Licht. Die Klangbilder von Chladni sind eine anschauliche Analogie für die Vorgänge innerhalb von Zellen und zeigen uns, nach welchen Gesetzmäßigkeiten die verschiedenen Frequenzen des Lichts die innere Struktur lebender Zellen in Form bringen.

Die typische Energieverteilung im Sonnenlicht und die unterschiedlichen stofflichen und chemischen Auswirkungen der verschiedenen Spektralanteile haben auf diese Weise die Entstehung immer komplexerer Moleküle und Zellstrukturen aus einfachen Grundbausteinen begünstigt.

Licht als Geburtshelfer

Irgendwann vor ungefähr 3,8 Milliarden Jahren war es dann so weit: In irgendeinem urtümlichen Tümpel nahm die erste Zelle ihre Arbeit auf. Es war ihr gelungen, sich so in die vom Sonnenlicht angetriebenen Stoffkreisläufe einzuschalten, dass ihre innere Ordnung immer mehr zunahm. Sie konnte mit den ständig wechselnden Temperaturbedingungen umgehen, da sie sich flüssiges Wasser mit Temperaturen zwischen 4 Grad und maximal 100 Grad Celsius als Lebensraum ausgesucht hatte. Außerdem hatte sie gelernt, einen Teil der sie umströmenden Energie so abzuzweigen, dass sie für gezielte Stoffwechselvorgänge nutzbar wurde. Sie war bereits in der Lage, einige Photonen des Sonnenlichts zwischenzuspeichern und diese genau zur richtigen Zeit zu nutzen, um damit wichtige biochemische Reaktionen zu kontrollieren. Außerdem hatte sie einen Weg gefunden, sich mit all ihren Eigenschaften zu verdoppeln: Damit war sie endlich nicht mehr allein in ihrem Tümpel.

Während sich die Uratmosphäre zu diesem Zeitpunkt schon deutlich beruhigt hatte, konnten die kurzwelligen, biochemisch sehr aktiven Anteile im Sonnenlicht immer noch weitgehend ungehindert auf die Erdoberfläche und auch ins Wasser vordringen. Das führte dazu, dass die Urzelle und ihre Nachkommen sich in einem hohen Tempo weiter veränderten. Durch die zahlreichen Mutationen, die das UV-Licht hervorrief, gingen viele von ihnen zugrunde, andere hingegen entwickelten dadurch neue Fähigkeiten. Dafür war aber immer mehr Energie erforderlich, um den zunehmenden Ordnungsgrad aufrechterhalten zu können. Die Urzellen hatten jedoch einen anaeroben Stoffwechsel, der ohne Sauerstoff auskommen musste und deswegen energetisch sehr wenig ergiebig war. Es mussten also Mittel und Wege gefunden werden, neue und effizientere Nahrungsquellen

anzuzapfen, anstatt sich nur von Schwefelverbindungen und anderer energiehaltiger Chemie zu ernähren.

Die Erfindung der Photosynthese

Ein vielversprechender Weg zu diesem Ziel war die direkte Nutzung der Energie, die in den Photonen des Sonnenlichts steckt. Als die ersten Vorfahren der *Cyanobakterien* (Blaualgen) vor etwa 3,5 Milliarden Jahren die Photosynthese erfanden, konnten sie damit das Sonnenlicht zum Aufbau von Zuckermolekülen einsetzen, in denen die Lichtenergie in Form chemischer Bindungen gespeichert blieb.

Von diesen Energievorräten zehrten sie dann nicht nur bei Sonnenschein, sondern auch in der Nacht oder bei bedecktem Himmel. Die neue Energiequelle hatte also erhebliche Vorteile, was ihren Erfindern ermöglichte, sich in den Urmeeren wie wild zu vermehren. Allerdings stürzten sie dadurch die meisten anderen Spezies und fast auch sich selbst ins Verderben: Bei der direkten Nutzung des Sonnenlichts wurde nämlich Sauerstoff als für sie giftiges Abgas freigesetzt.

Sauerstoff war bisher hauptsächlich in Wasser oder Kohlensäure chemisch gebunden gewesen und in dieser Form ungefährlich. Weil die Photosynthese jedoch ausgerechnet mit Wasser und Kohlendi-



Vorläufer von Cyanobakterien oder Blaualgen waren die Erfinder der Photosynthese.

oxid am effektivsten funktionierte, entstanden plötzlich große Mengen an bisher nicht vorhandenem freiem Sauerstoff. Während die Urheber der Misere schon bald spezialisierte Enzyme entwickelten, um sich selbst vor ihren Abgasen zu schützen, gerieten die allermeisten anaeroben Organismen durch den Sauerstoff immer stärker in Gefahr. Dessen Konzentration stieg zuerst in den Urmeeren stetig an und gelangte schließlich auch in erheblichen Mengen in die Atmosphäre. Vor etwa 2.5 Milliarden Jahren kam es dadurch in der Evolutionsgeschichte zu einer Phase, die als Große Sauerstoffkatastrophe bezeichnet wird. Während dieser Zeit veränderte der Sauerstoff die chemische Zusammensetzung der vorhandenen Gesteinsarten und Mineralien in erheblichem Umfang und entzog dadurch vielen urzeitlichen Lebensformen ihre Nahrungsgrundlage. Außerdem attackierte er in seiner kontaktfreudigen Art auch direkt alle lebenden Zellen, indem er deren mühsam entwickelte biochemische Reaktionsketten oxidierte und damit funktionslos machte. Dadurch wurde das größte Massensterben der frühen Erdgeschichte ausgelöst, denn alle Organismen, die in dieser Phase keine Gegenmaßnahmen entwickeln konnten, gingen zugrunde.

Das Leben geht weiter

Außer den Cyanobakterien überlebten nur wenige andere Zellarten die Sauerstoffkatastrophe, indem sie lernten, mit diesem Zellgift umzugehen. Einige Zellen spezialisierten sich sogar auf den Umgang mit ihm und entwickelten sich zu den Vorläufern der Mitochondrien, also den Gebilden, die heute in unseren Körperzellen das Handling des Sauerstoffs und die Energieversorgung übernommen haben.

Die Große Sauerstoffkatastrophe ist ein Musterbeispiel für die Fähigkeit der Erbsubstanz, aus jeder Not eine Tugend zu machen, wenn man ihr nur genug Zeit dafür gibt. Die Erfindung der Photosynthese hatte nämlich auch jede Menge Vorteile, von denen wir noch heute profitieren:

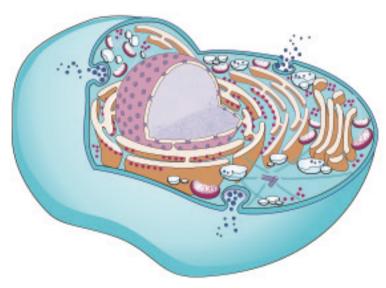
- **1.** Die Photosynthese führte in den Organismen, die sie zur Energiegewinnung nutzen, zur Entwicklung einer inneren Uhr. Diese ermöglichte es ihnen, sich mit den Tag- und Nachtphasen zu synchronisieren. Da sich die Photosynthese aus Hell- und Dunkelreaktionen zusammensetzt, sind diejenigen Organismen am erfolgreichsten, die sich am besten auf die äußeren Strahlungsbedingungen einstellen können. Wenn man weiß, dass in einer Stunde die Sonne aufgeht, ist man besser vorbereitet als jemand, der den Tagesanbruch verschläft.
- 2. Der Sauerstoff bildete in den oberen Schichten der Erdatmosphäre die Ozonschicht aus, die als wirksame Filterschicht dafür sorgt, dass die photochemisch extrem aggressiven kurzwelligen Ultraviolettanteile (UVC) den Erdboden nicht mehr erreichen. Dadurch verringerte sich das Ausmaß strahlungsbedingter Mutationen und Zellschädigungen und ein Leben an Land wurde einfacher.

- **3.** Die Etablierung eines Glukose-Stoffkreislaufs und die Einbindung von Sauerstoff in den Energiestoffwechsel ermöglichte die Entwicklung von mehr- und vielzelligen Organismen. Die Integration von Mitochondrien als Sauerstoffspezialisten in den zellulären Organismus ist ein frühes Beispiel für eine Arbeitsteilung, die eine Entwicklung höherer Lebensformen erst möglich machte.
- 4. Die zur Photosynthese fähigen Organismen nennt man autotroph, da sie sich selbst ihre Lebensgrundlage schaffen können. Sie produzierten zuverlässig so viel chemische Energie, dass sich auf ihrer Grundlage auch heterotrophe Organismen entwickeln konnten, die keine Photosynthese beherrschen und daher nur überleben können, wenn sie autotrophe Organismen fressen. Auch hier entstand eine übergeordnete Form von Aufgabenteilung: Die Autotrophen benötigen Licht und Kohlendioxid, um sie in Zuckermoleküle und Sauerstoff zu verwandeln. Die Heterotrophen verbrauchen hingegen im Rahmen ihres Stoffwechsels den Sauerstoff, indem sie die Zuckermoleküle wieder in ihre Bestandteile zerlegen, die darin gespeicherte Lichtenergie verwenden und dabei Kohlendioxid bereitstellen.

Die Evolution der Zellen

Die direkte energetische Nutzung von Sonnenlicht führte zur Entwicklung von wesentlich leistungsfähigeren Zellen mit immer komplizierteren Stoffwechselwegen. Spätestens in dem Moment, als die ersten Zellen damit anfingen, eine »Feuerstelle« (Mitochondrien) in sich aufzunehmen, mussten sie für eine klare innere Struktur sorgen. Je spezialisierter die Zellen jedoch wurden, umso wichtiger wurde es, die höhere Ordnung nicht nur auf Molekülebene, sondern auch in der gesamten Zelle zu etablieren. Man könnte diese Spezialisierung mit der Entwicklung einer kleinen Siedlung hin zu einer großen Stadt vergleichen. Während in der kleinen Siedlung jeder Bewohner selbst für alle Belange seines Lebens verantwortlich ist, erfordert die Stadt eine wesentlich komplexere Infrastruktur. Im Dorf ist es noch möglich, dass jede Hütte eine eigene Feuerstelle hat und dass das Trinkwasser, das in Gefäßen in die Hütten gebracht wird, aus dem gemeinsam genutzten Dorfbrunnen geschöpft wird. Eine kleine Siedlung kann auch dann funktionieren, wenn es nur Trampelpfade gibt und keine Abwasserleitungen vorhanden sind. Nicht so eine Stadt, hier ist eine zentrale Energie- und Wasserversorgung genauso wichtig wie befestigte Wege, Abwasserkanäle, spezialisierte Funktionsgebäude und so weiter.

Vor etwa 1,5 Milliarden Jahren begannen sich daher Zellen durchzusetzen, die heute zu den Eukaryoten gezählt werden. Das deutlichste Merkmal, das sie



In der lebenden Zelle laufen auf kleinstem Raum alle Prozesse des Lebens ab.

© des Titels »Die Kraft des Lichts« (ISBN 978-3-7423-0911-2) 2019 by riva Verlag, Münchner Verlagsgruppe GmbH, München Nähere Informationen unter: http://www.rivaverlag.de

von ihren Vorgängern unterscheidet, ist der Zellkern. Im Zellinneren von Eukaryoten existiert, wie in unserem Bild der großen Stadt, eine geordnete Infrastruktur mit klarer Aufteilung der Funktionsbereiche, sodass die unterschiedlichsten Stoffwechselvorgänge zeitgleich ablaufen können, ohne sich gegenseitig zu stören. Der Zellkern, in dem die überlebenswichtigen Baupläne aufbewahrt werden, liegt geschützt im Zentrum der Zelle, wohingegen sich die Kraftwerke in den Außenbereichen befinden, wo sie nicht nur leichter mit Brennstoffen und Sauerstoff versorgt werden können, sondern auch dann wenig Schaden anrichten, wenn die Verbrennungsvorgänge einmal nicht so sauber und kontrolliert ablaufen.

Eukaryote Zellen verfügen über spezialisierte Membransysteme, die das Zellinnere aufteilen und dadurch zum Beispiel Sicherheitsabstände schaffen. Röhrensysteme, die durch die Zelle ziehen, erleichtern, ähnlich wie Wasserleitungen, die zahlreichen Transportvorgänge, die mit einem komplexen Stoffwechsel einhergehen. Sie beinhalten zudem, vergleichbar mit einem Skelett, eine innere Struktur aus Fasern und Transportröhren, in deren Netzwerk Zellorganellen, das sind die Organe der Zellen, eingebettet sind. Membrankügelchen dienen als Transportvehikel, die sich entlang der Fasersysteme wie auf Straßen bewegen. Das Innenskelett ermöglicht im Zusammenspiel mit dynamischen Elementen, die wie Muskelfasern funktionieren, sogar aktive Formänderungen und Fortbewegungen der Zelle. Eukaryoten kommunizieren mit den Zellen in ihrer Umgebung und haben neben einer inneren Uhr meistens sogar die Fähigkeit, Licht wahrzunehmen, um zum Beispiel einen optimalen Abstand zu einer Lichtquelle einzunehmen.

Diese hochentwickelten Zellen boten ideale Voraussetzungen, um sich zu Zellverbänden mit einem gemeinsamen Stoffwechsel und komplexeren Fortpflanzungsstrategien als der einfachen Zellteilung zusammenzuschließen. Dieses Konzept setzte sich seit etwa 600 Millionen Jahren immer stärker durch und ermöglichte es ersten vielzelligen Lebewesen vor ungefähr 400 Millionen Jahren, das Wasser als Lebensraum zu verlassen.

Sonne an Land

Um das Festland erfolgreich besiedeln zu können, mussten die ersten Landbewohner eine Reihe von zusätzlichen Überlebensstrategien entwickeln. Dazu zählen zum Beispiel ein leistungsfähiger Sonnenschutz und die Regulation des Wärmehaushalts. Da die ersten Landwirbeltiere Kaltblüter waren, mussten sie zwangsläufig die Sonnenwärme nutzen, um ihren Stoffwechsel in Gang zu halten.

Wenn ich meine griechischen Landschildkröten beobachte, die etwa dem Entwicklungsstand der Lebewesen vor 200 Millionen Jahren entsprechen, wird mir immer wieder deutlich vor Augen geführt, welche zentrale Rolle die Körpertemperatur spielt: Ist sie niedrig, bewegen sich die Landschildkröten quasi in Zeitlupe. Nach einem ausgiebigen Sonnenbad mutieren sie hingegen zu »Rennschildkröten«, die bereits außer Sichtweite sind, wenn ich sie eine Minute lang unbeobachtet lasse.

Wechselwarme Landtiere wie Schildkröten und andere Reptilien verbringen einen Großteil des Tages mit Sonnenbaden, um reaktionsfähig zu bleiben und optimale Stoffwechselbedingungen aufrechtzuerhalten. Um dabei keinen Sonnenbrand zu erleiden, bedienen sich die meisten Landlebewesen der Substanzgruppe der Keratine. Aus diesen wasserunlöslichen Faserproteinen besteht die Hornsubstanz, die in Form von Schuppen, Panzerungen, Haaren und Federn die Körperoberfläche vor der direkten Einwirkung von UV-Strahlung schützt. In die Hornsubstanz sind in den meisten Fällen noch Pigmente wie das Melanin eingelagert, die die Schutzwirkung weiter verstärken.

Evolutionssprung

An dieser Stelle können wir den Pfad der Evolution für alle weiteren Betrachtungen außer Acht lassen, da fast alle Mechanismen des Lichthaushalts vor etwa 200 Millionen Jahren so entwickelt waren, wie wir sie heute kennen. Die meisten der molekularen Schutzmaßnahmen tragen wir noch immer in Form von Hormonen und neuronalen Verschaltungen in uns und sie funktionieren bei uns nach den gleichen Prinzipien wie bei den ersten Säugetieren vor ungefähr 200 Millionen Jahren.

Was uns Menschen jedoch von allen anderen Lebewesen unterscheidet, ist der Aufbau unserer Haut. Selbst unsere nächsten Verwandten tragen ein Fell, das sie wirksam vor zu viel Sonnenlicht schützt. Unsere Haut hingegen ist auf den ersten Blick unbehaart, verfügt aber trotzdem über äußerst leistungsfähige Lichtschutzmechanismen, die uns ein Leben unter der Sonne ermöglichen. Ihre einzigartigen Eigenschaften und ihre erstaunliche Anpassungsfähigkeit sind wichtige Gründe dafür, dass die Menschen heute fast den gesamten Erdball bevölkert haben. Wie unsere Vorfahren mit der Urkraft des Sonnenlichts umgegangen sind, werden wir uns im folgenden Kapitel genauer ansehen.