

vsao Journal

Das Journal des Verbandes Schweizerischer Assistenz- und Oberärztinnen und -ärzte

Licht

Von Zellen, Käfern
und Szenen

Seite 30

Politik

Arztberuf unter Druck

Seite 6

Immunsuppressiva

Möglichkeiten und Grenzen
bei Tumoren

Seite 48

Rheumatologie

Management der Gicht

Seite 51



Geschöpfe wie aus dem Märchen. In ihrem kurzen Erwachsenenleben bringen gewisse Leuchtkäfer nicht nur ihre Artgenossen zum Schwärmen, sondern verzaubern auch die Menschen.

Leuchtfeuer der Natur

Ihr Blinken hat etwas Märchenhaftes. Glühwürmchen – oder genauer gesagt Leuchtkäfer – erzeugen Licht in völliger Dunkelheit. Wie entsteht diese Biolumineszenz? Wozu dient sie? Und wie schaffen es gewisse Arten, rhythmisch aufzuleuchten?

Andreas Diethelm, Zellbiologe, Umweltberater

Die Schlacht von Shiloh war eine der blutigsten des Sezessionskriegs. Am 7. April 1862 war das Schlachtfeld, ein sumpfiger Wald am Tennessee River, mit fast 3500 Toten übersät; die mehr als 16000 Verwundeten waren tagelang Regen und Kälte ausgesetzt.

An Wundinfektion starben weit mehr Soldaten als an direkter Geschosswirkung. Manche der offenen Wunden haben in der Nacht grünbläulich geschimmert. Unter den davon Betroffenen gab es deutlich mehr Überlebende. Da man das Phänomen und den Zusammenhang nicht deuten konnte – die Wirkung des *Penicillium-*

Schimmelpilzes wurde erst 66 Jahre später allgemein bekannt –, sprach man vom «angels glow». Das Mysterium konnte 2001 doch noch auf natürliche Weise erklärt werden – von zwei US-Gymnasias-ten: Die Besiedlung der Wunden durch das einzig bekannte nicht marin lebende Leuchtbakterium, *Photorhabdus lumine-*

scens. Dieses lebt im Darm eines entomopathogenen Nematoden. Die Fadenwürmer, die eigentlich auf der Pirsch nach bodenlebenden Insektenlarven sind, gelangen mit Erde in die Wunde, wo sie das Bakterium, anstatt ins Blut einer erbeuteten Larve, irrtümlich in die menschliche Wunde erbrechen. *P. luminescens* scheidet nun einen Cocktail von Verdauungsenzymen und Toxinen aus, Letztere töten ausser der Beute auch um Nahrung konkurrierende Bakterien, verhindern so die Wundinfektion und retteten schliesslich dadurch die verletzten Soldaten. Die kalte Witterung war ein weiterer Glücksfall: *P. luminescens* überlebt bei normaler Körpertemperatur nämlich nicht. Bleibt die Frage nach dem Nutzen des Leuchtens für das Bakterium, wenn es nicht auf Kanonenfutter gerät. Eine eher behelfsmässige Hypothese lautet: Die besiedelte und damit leuchtende Insektenlarve dient als Köder für weitere Beute.

Schwer erklärbares Leuchten

Was es mit dem Zweck des Leuchtens von Bakterien, Pilzen und Tieren auf sich hat, lässt sich nur schwer allgemein formulieren. Eine populäre Hypothese postuliert die Genese des Leuchtens als Nebenerscheinung eines Stoffwechselwegs früher anaerober Lebensformen zur Entsorgung von Sauerstoff. Als sich vor etwa 3,5 Milliarden Jahren Cyanobakterien als erste Direktverwerter des Sonnenlichts entwickelten, war das bisherige Leben von der Oxidation durch den bei der Photosynthese freiwerdenden molekularen Sauerstoff bedroht. Jene Organismen konnten den sich in der Atmosphäre anreichern Sauerstoff aber nicht metabolisieren, dieser war Gift für sie.

Wie dem auch sei und war, Lichtsignale eignen sich zur Übertragung von Nachrichten, die verhaltensrelevante Informationen enthalten, dabei geht es um Orientierung, um Verständigung, um Koordination, allgemein um Erkennung – um das A und O des Lebens also. Konkret helfen die Lichtsignale etwa bei der Nahrungs- oder Partnersuche, zum Anlocken von Beute, bei der Flucht vor Räubern sowie bei der Verteidigung gegen diese oder einfach zu deren Abschreckung.

Licht im Dunkeln

Lumineszenz – kaltes Licht – geht von Leuchtpigmenten lebender Organismen oder technischer Systeme aus, die durch Strahlung zum Leuchten angeregt werden, sie phosphoreszieren oder fluoreszieren.



ren. Im Unterschied dazu zeigt sich Biolumineszenz auch in völliger und anhaltender Dunkelheit. Wie ist das möglich?

Der Fettkörper (*Corpus adiposum*), neben Speichergewebe ein stoffwechselaktives Organ in der Leibeshöhle vieler Gliederfüsser, ist in den Abdominalsegmenten vieler Leuchtkäfer als Leuchtorgan ausgebildet, welches aus Photocyten besteht. In diesen spezialisierten Zellen katalysiert das Enzym Luciferase die chemische Reaktion, welche den Farbstoff Luciferin in Oxyluciferin umsetzt. Vorgängig wird das Molekül durch den Energieträger ATP aktiviert. Die Oxidation des entstandenen Konjugats durch molekularen Sauerstoff führt zu einem hochgespannten Vierringheterozyklus, der zwei Sauerstoffatome in Form einer Peroxigruppe enthält. Dieses Intermediat ist überaus reaktiv und zerfällt unter CO_2 -Abspaltung, wobei Oxyluciferin im angeregten Zustand gebildet wird. Bei dessen Entspannung in den Grundzustand emittiert das Molekül Licht, welches der energetischen Differenz der beiden Zustände entspricht. Zusammengefasst: $\text{Luciferin} + \text{ATP} + \text{O}_2 \rightarrow \text{Oxyluciferin} + \text{AMP} + \text{CO}_2 + \text{Licht}$. Für eine effektive Leuchtwirkung lenken Salzkristalle das produzierte Licht, analog dem Spiegel des Leuchtturms, aus der Zelle nach aussen.

Beim skizzierten Mechanismus scheint es sich um einen generellen Prozess der Lichterzeugung in der Natur zu handeln. Die Erforschung der Biochemie hinter dem autonomen Leuchten der unterschiedlichsten Organismen nahm vor mehr als 70 Jahren ihren Anfang. Luciferasen treten in 17 unterschiedlichen Stämmen und mindestens 700 vorwiegend marinen Gattungen auf. Die technische Herstellung von Biolumineszenzsystemen zur Erforschung des Reaktionsmechanismus ist aufgrund der komplexen molekularen Struktur des Luciferins, beispielsweise dem von Leuchtkäfern, aber recht aufwändig.

Medizinische Anwendung

Andererseits hat Biolumineszenz die klassischen Untersuchungstechniken von Enzymmechanismen in den letzten 30 Jahren revolutioniert. Was mit der Klonierung von Luciferasegenen begann, entwickelte sich mit dem Imaging zum Universalwerkzeug für eine breite Palette von Fragestellungen in der biologischen und medizinischen Grundlagenforschung. Luciferasen dienen als Detektoren zur Untersuchung der Genregulation, wie auch zur Analyse zellulärer Signalwege oder von Proteininteraktionen und Proteininstabilität. Die Messung des ATP-Gehalts ermöglicht,

Stoffwechselaktivität beziehungsweise Viabilität von Zellen zu ermitteln. In der Umweltanalytik lassen sich Bakterien auf Oberflächen nachweisen. Mit rekombinanten Luciferasen und neuen Substraten hat man höhere Lichtausbeuten erzielt, ein hochsensitiver Luciferasereporter ermöglicht nun auch das Arbeiten unter physiologischen Bedingungen und bei endogenen Expressionsleveln.

Atem anhalten, blinken

Die Leuchtreaktion ist bei mehrzelligen Organismen nervös gesteuert, sie erfolgt in der Regel diskontinuierlich. Für Leuchtkäfer konnte nachgewiesen werden, dass sie auf exogene und auf endogene Einflüsse mit willkürlichen oder unwillkürlichen Nervenimpulsen reagieren. Zum Aufleuchten unterbricht die Atmung in den Mitochondrien, den zellulären Energiezentralen. Dadurch setzt Sauerstoff die Leuchtreaktion in Gang. Als Transmitter fungiert Stickstoffmonoxid. Dieses wird, wie der Leuchtstoff und das Enzym, in den Photozyten bereitgestellt. Leuchtkäfer verstehen sich aufs Energiesparen, denn viele Arten besitzen weder einen Verdauungstrakt noch Fresswerkzeug. Sie zehren als adulte Käfer, während der

wenige Wochen dauernden Fortpflanzungszeit, von den Fettreserven, die sie sich in ihrem jahrelangen Vorleben als Larven und Schneckenräuber angeeignet haben. Daher bewegen sie sich und leuchten sie nur wenn nötig. Auf Grund der kurzen Halbwertszeit von Stickstoffmonoxid hält der Effekt nur kurze Zeit an. Innerhalb eines Sekundenbruchteils wird die Sauerstoffzufuhr unterbrochen, das Licht geht wieder aus und die Zellatmung wieder an.

Gemeinsam auf Partnersuche

Leuchtkäfer senden typischerweise periodische Blinksignale oder Lichtblitze aus. Der Blinkrhythmus und das Anordnungsmuster der Leuchtorgane sind artspezifisch, so kann die eigene Art erkannt werden, dort, wo unterschiedliche Arten einen Lebensraum gemeinsam nutzen. Bei einigen Arten sind die Männchen in der Lage, ihr Blinken zu synchronisieren, nachdem sie scharenweise ein gut einsehbares Gehölz angefliegen haben. Diese magische Lightshow wird an Flussufern Südostasiens geboten. Auch im amerikanischen Great-Smoky-Mountains-Nationalpark ist das Phänomen eine beliebte Touristenattraktion. Die Käfer blinken et-

wa zwei Mal pro Sekunde nach ihrer inneren Uhr. Lange wurde gerätselt, welche Funktion dieses erstaunliche Verhalten haben könnte. Mit einem aufwändigen Versuchsaufbau konnten US-Forscher unlängst nachweisen, dass die Weibchen die synchron blinkenden Männchen bei weitem besser erkennen, als wenn diese ungeordnet blinken würden.

Wie aber entsteht aus ungeordnetem Durcheinander Tausender Individuen ein synchrones Blinken? Befindet sich ein Taktgeber im Schwarm, dem alle folgen? Nein. Vielmehr sieht sich jeder Käfer veranlasst, die innere Uhr, nach der er blinkt, ein wenig vorzustellen, wenn er den Nachbarn blinken sieht. Auf diese Weise soll ein Riesenschwarm in Gleichtakt geraten? Ja, so unglaublich wie einfach. Zunächst entstehen auf diese Weise gemeinsam blinkende Gruppen, dann entstehen daraus Wellen, die sich allmählich glätten bis ganze Lichterbäume stundenlang lautlos pulsieren. Wahrlich eine unübersehbare Einladung an die über sie hinweg fliegenden Weibchen!

Kontakt: era__@web.de
Mehr zum Thema unter:
www.gluhwurmchen.ch

Anzeige



Partnervermittlung mit Charme
persönlich · seriös · kompetent

Löwenstrasse 25, 8001 Zürich
044 534 19 50
Wir freuen uns auf Ihren Anruf.

Kathrin Grüneis  freieherzen.ch