

SONDERDRUCK

aus

4 | 2023

VBio

Verband | Biologie, Biowissenschaften
& Biomedizin in Deutschland

EPIGENETIK

Die Plastizität
von Ameisen

EXKURSION

Lebewesen unter
der UV-Lampe

**LEBENSMITTEL
TECHNOLOGIE**

Pflanzliche
Milchalternativen



BIOLOGIE

IN UNSERER ZEIT

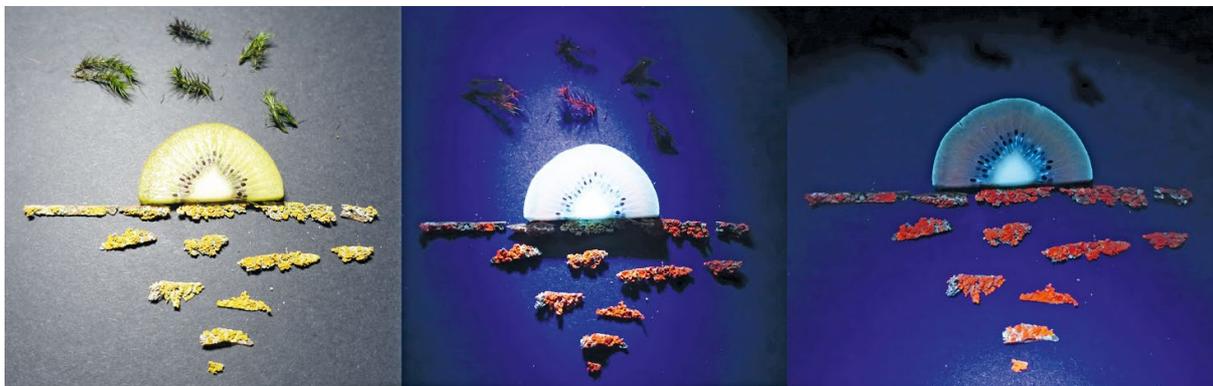
**Leben
mit dem Feuer**



Faszinierende Fluoreszenzeffekte im Gemüsebeet, im Wald und am Meer

Mit UV-Licht der Natur auf der Spur

ANDREAS KORN-MÜLLER



Man nehme eine UV-Taschenlampe und leuchte damit im Dunkeln im Garten, im Gemüsebeet, im Wald oder am Strand herum. Die Natur bietet ein farbenfrohes Fluoreszenzspektakel und lässt dadurch tiefere Einblicke zu. Der Spaßfaktor kommt aber auch nicht zu kurz.

Im Schein einer einfachen UV-Taschenlampe erstrahlt die Natur in farbenfrohem Fluoreszenzleuchten und macht scheinbar Unsichtbares für unser Auge sichtbar. Bestrahlt man Flora und Fauna mit UV-A-Licht (siehe dazu Kasten „Das elektromagnetische Spektrum“), erlebt man an manchen Orten ein spektakuläres Leuchten. Für die Experimente in diesem Beitrag wurde eine UV-Taschenlampe mit einer Wellenlänge von 365 nm (UV-A) der Marke Alonefire X901UV eingesetzt (ca. 35 €, via USB aufladbar). Bei Versuchen in Innenräumen wurde der Raum verdunkelt, im Freien die Dunkelheit abgewartet. Um die Fluoreszenzeffekte sehen zu können, muss es aber nicht immer stockdunkel sein, auch bei Dämmerung lassen sich viele Leuchterscheinungen gut erkennen.

Was ist Fluoreszenz?

Unter Fluoreszenz versteht man die Emission von Licht, die nur so lange anhält, wie die fluoreszierenden Moleküle durch Lichtabsorption angeregt werden. Mit Hilfe von

Licht nehmen Elektronen eines fluoreszenzfähigen Moleküls Energie auf und werden vom Grundzustand (S_0) in extrem kurzer Zeit von 10^{-13} Sekunden in einen angeregten ▶ Singulett-Zustand (S_2) befördert. Innerhalb von 10^{-11} Sekunden kommt es über ▶ strahlungslose Schwingungsrelaxation und ▶ thermische Äquilibration durch Molekülstöße zu einer Abgabe von Energie in Form von Wärme an die Umgebung. Durch diese *internal conversion* fällt das angeregte Molekül schließlich auf den energieärmsten angeregten Singulettzustand S_1 . Von dort wird der verbleibende Rest der Anregungsenergie beim Übergang von S_1 auf den Grundzustand S_0 in Form von sichtbarem Licht innerhalb von 10^{-8} Sekunden abgestrahlt und als Fluoreszenz bezeichnet [1]. Durch den Energieverlust ist Fluoreszenzlicht im Vergleich zum kurzwelligeren Anregungslicht in den langwelligeren Bereich verschoben – in unserem Beispiel vom für das menschliche Auge unsichtbaren UV-Licht in den Bereich des sichtbaren Lichts. Die Fluoreszenz tritt nur bei gleichzeitiger Beleuchtung auf und ist demnach eine zeitgleiche Lichtemission bei Bestrahlung mit Licht.

Mit Abbildung 1 wird versucht, Schüler/-innen der Unterstufe die Fluoreszenz auf anschauliche, comichafte Weise zu verdeutlichen. Die mündliche Erläuterung zur Abbildung würde beispielsweise so lauten: „Ein mutiges, grünes Elektron klettert mit viel Energie bis auf das 10-m-Brett eines Sprungturms. Dort herrscht aber ein zu großes Gedränge und zu viel Geschubse; zudem traut es sich nicht so recht aus dieser Höhe zu springen. Das Elektron steigt

Die mit einem grünen Pfeil markierten Begriffe werden im Glossar auf Seite 386 erklärt.

DAS ELEKTROMAGNETISCHE SPEKTRUM

Ultraviolettes (UV)-Licht ist kurzwelliger und damit sehr viel energiereicher als blaues, grünes oder rotes Licht. Das weiße Licht, das wir sehen und das sich aus den Spektralfarben Rot, Orange, Gelb, Grün, Blau und Violett zusammensetzt, erstreckt sich über einen Wellenlängenbereich von etwa 750 nm bis rund 380 nm (siehe Abbildung). UV-Licht wird in drei Kategorien unterteilt: UV-A-Strahlung reicht von 380 bis 315 nm, UV-B-Licht von 315 bis 280 nm. UV-C-Strahlung (280–100 nm) ist noch energiereicher als UV-A- und UV-B-Strahlung, wird aber komplett von der Atmosphäre absorbiert [32]. Grafik: Melvin Müller.

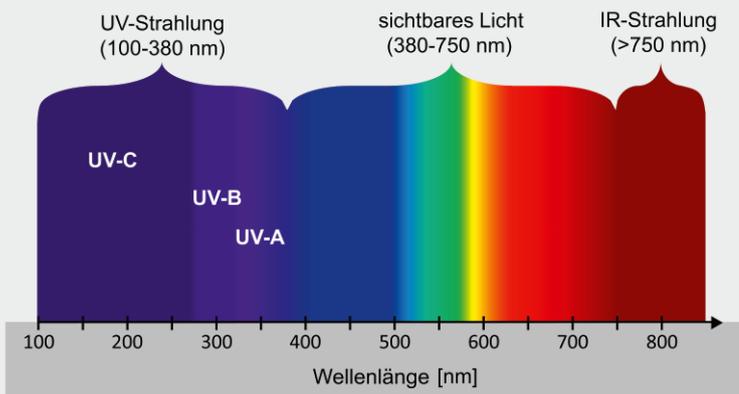
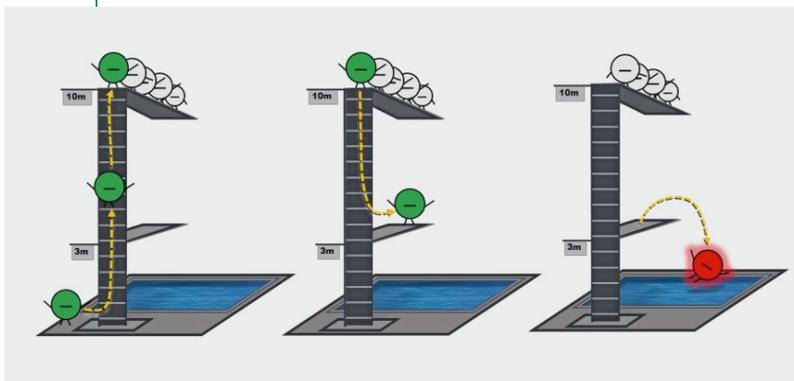


ABB. 1 | ENERGIESTUFENDIAGRAMM DER FLUORESCENZ



Mit Hilfe des anschaulichen Analogiemodells wird die Fluoreszenz auch für Schüler/-innen verständlich. Grafik: Melvin Müller.

IN KÜRZE

- Mit Hilfe einer einfachen UV-Taschenlampe kann man eine **Vielzahl an Fluoreszenzphänomenen** in der Natur beobachten.
- Abendliche **Exkursionen mit UV-Lampen** eröffnen eine neue Sicht auf Flora und Fauna.
- **Farbenprächtige Leuchten** entdeckt man bei **Gemüse, Obst, Pilzen und Flechten**.
- Am Strand von Nord- und Ostsee fluoreszieren diverse **Meeresalgen, Krabbenpanzer und Muscheln**.

die Leiter wieder herunter bis zum 3-m-Brett und verliert dadurch etwas an Höhenenergie. Das 3-m-Brett hat eine angenehme Höhe und das Elektron springt von dort ins Becken. Mit einem Freudenschrei und hochrotem Kopf gibt es seine übrig gebliebene Energie ab. Wir sehen quasi die „Lichtspritzer“ eines ins Wasser gesprungenen Elektrons.“

Die rote Fluoreszenz des Chlorophylls

Weißes Licht aus einer LED-Lampe oder der Smartphone-Leuchte erzeugt in einer (alkoholischen) Chlorophylllösung eine auffällige rote Fluoreszenz [2, 3]. Bei Einsatz eines Blaufilters kommt dieser Effekt noch deutlicher zur Geltung, weil das gesamte Licht aus kurzwelligem und damit energiereicherem Licht besteht. Zusätzlich wird die Wahrnehmung der Fluoreszenz verbessert. Besonders spektakulär erscheint die rote Fluoreszenz in einem Rund- oder Erlenmeyerkolben mit großer Flüssigkeitsoberfläche (Abbildung 2) [4, 5].

Durch Absorption von Licht gelangen Elektronen im Photosyntheseapparat vom Grundzustand in den angeregten Zustand. Normalerweise nehmen die in der Chloroplastenmembran verankerten Photosynthesesubstanzen diese Elektronen auf und leiten sie kaskadenartig weiter [6]. Dabei werden etwa 80 Prozent der absorbierten Lichtenergie photochemisch genutzt; 19,5 Prozent werden als Wärme an die Umgebung abgegeben und 0,5 Prozent gehen als Fluoreszenzlicht verloren [3]. Da die Chlorophylllösung jedoch keine Chloroplasten enthält oder diese nur zerstört (vom Ethanol denaturiert) vorliegen, funktioniert dieser Prozess hier nicht. Die Elektronen verlieren innerhalb von Picosekunden strahlungslos bis zu 97,5 Prozent der Energie als Wärme und gelangen dann vom angeregten Zustand in den Grundzustand [1]. Dabei geben sie die verbleibenden 2,5 Prozent ihrer Energie als langwelligeres Licht in Form einer roten Fluoreszenz mit einem Emissionsmaximum von 685 nm an die Umgebung ab [2, 3] (siehe dazu auch Kasten „Die Farben des Chlorophylls“). Ein mit weißem oder blauem Licht bestrahltes grünes Blatt, eine Wiese oder grünes Gemüse fluoreszieren zwar auch, die Fluoreszenz macht jedoch nur 0,5 Prozent des eingestrahnten Lichts aus und ist für unser Auge nicht sichtbar oder wahrnehmbar.

Grünpflanzen im UV-Licht

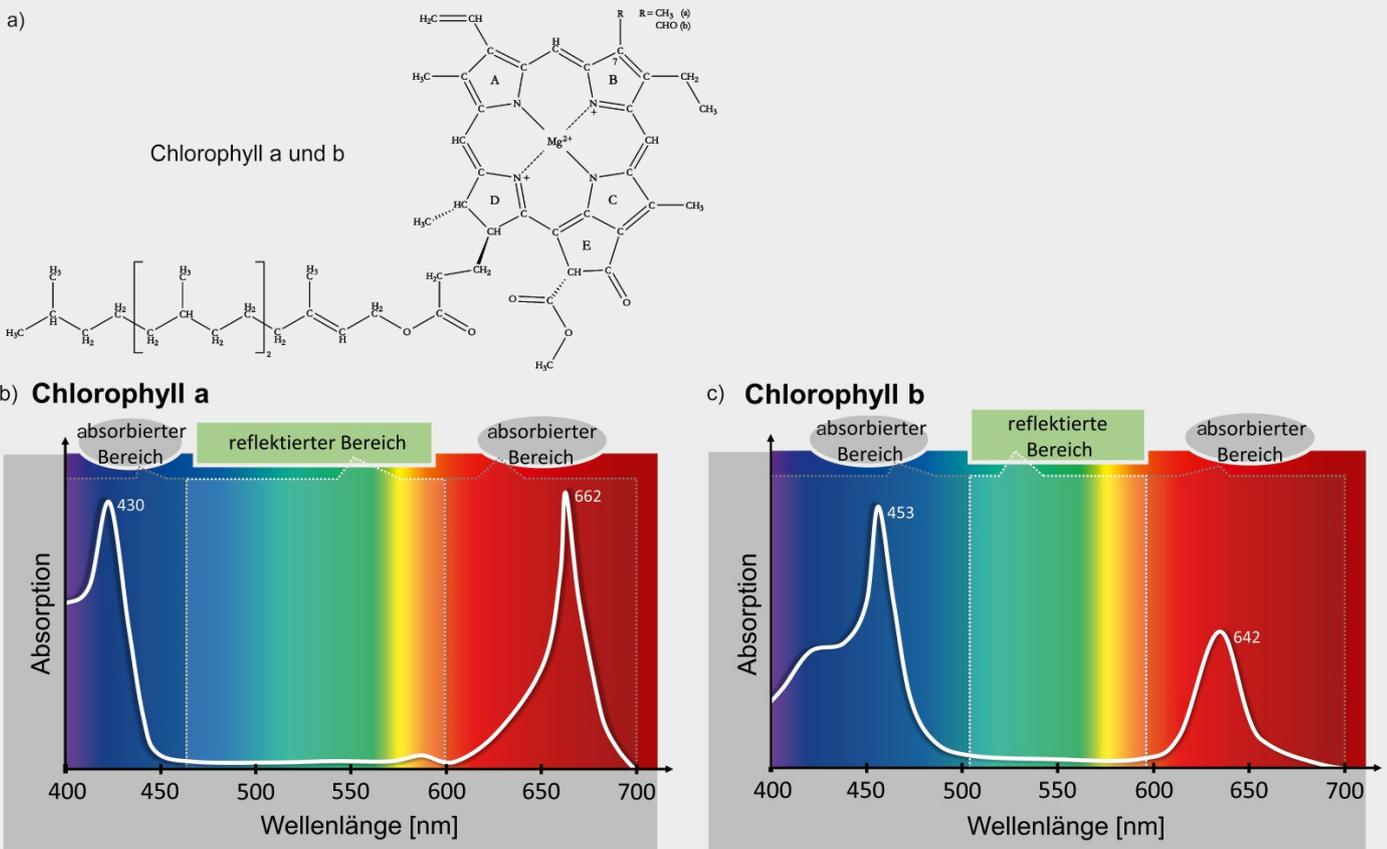
Beleuchtet man nun eine Pflanze mit reinem UV-Licht, erhält sie ein „Zuviel“ an Licht mit kurzer Wellenlänge. Diese „Überdosis“ an Lichtenergie wird die bestrahlte Pflanze durch Abstrahlung von rotem Licht, sprich Fluoreszenzbildung der Chlorophyllpigmente, schnell und unkompliziert wieder los. Das rote Leuchten beruht auf der roten Fluoreszenz des grünen Farbstoffs Chlorophyll. Weißes und blaues Licht sind zu schwach, um die für unser Auge sichtbare Fluoreszenz zu erzeugen. Aber UV-A-Licht der Wellenlänge 365 nm ist energiereich genug, um die Chlorophyllmoleküle anzuregen und sie so zur roten Lichtabstrahlung zu „zwingen“.

DIE FARBEN DES CHLOROPHYLLS

Von den bisher sechs bekannten Chlorophyllvarianten a-f kommen im grünen Pflanzenfarbstoff im Wesentlichen Chlorophyll a und b vor [6] (Abbildung a). Der Begriff Chlorophyll stammt aus dem Griechischen und bedeutet grün (chloros) und Blatt (phylon). Aufgrund seines besonderen Molekülaufbaus ist Chlorophyll ein effizienter Photorezeptor („Lichtaufnehmer“) und gehört zu den effektivsten und stärksten organischen Lichtsammelverbindungen [6].

Chlorophyll a und b absorbieren kein Licht im grünen Bereich, sondern reflektieren es, so dass wir ihre Farbe als grün wahrnehmen. Chlorophyll a (Abbildung b) hat Absorptionsmaxima bei 430 nm (blau) und 662 nm (rot), Chlorophyll b (Abbildung c) bei 453 nm (blau) und 642 nm (rot)

(1 nm = 1 Nanometer = 10^{-9} m = 1 Millionstel Millimeter). Die resultierende Blattfarbe erscheint dadurch bei Chlorophyll a grünblau und bei Chlorophyll b gelbgrün. In einer Studie aus dem Jahr 2015 wurde isoliertes Chlorophyll a und b unabhängig vom Lösungsmittel mit Laseranregung im Vakuum gemessen [33]. Das Ergebnis: Die Absorptionsmaxima sind um 15 bis 60 nm ins kurzwelligere Spektrum verschoben – bei Chlorophyll a liegen sie bei 372 nm beziehungsweise 642 nm und bei Chlorophyll b bei 392 nm beziehungsweise 626 nm. Isoliertes Chlorophyll – ohne die zelluläre Umgebung der Photosynthesepoteine und außerhalb der Hülle (Membran) der Chloroplasten – erscheint demnach bläulichgrün. Die Blätter und Gräser würden wir tatsächlich blauer als gewohnt wahrnehmen. Grafiken: Melvin Müller.



Die rote Chlorophyllfluoreszenz von Nutzpflanzen wird übrigens auch zur Bestimmung des „Gesundheitszustands“ der betreffenden Pflanze verwendet [7]. Mit diesem seit Jahrzehnten bekannten Phänomen lassen sich Stressfaktoren wie Nahrungsmangel, Hitze, Wassermangel oder Schädlingsbefall indirekt messen [8, 9]. Je schlechter es einer Pflanze geht, desto weniger Lichtenergie kann sie in chemische Energie umwandeln und desto heller leuchtet die Fluoreszenz. Heutzutage werden die Fluoreszenzspektren von Masten oder Flugzeugen aus aufgenommen [10]. Zukünftig soll ein Fluoreszenzsatellit der ESA hochaufgelöste Fluoreszenzkarten liefern, um beispielsweise Ernteausfälle oder die globale Vegetation im Klimawandel zu erforschen [11, 12].

Experimente im Grünen und mit Grünem

Falls man tagsüber schöne Moosflächen im Wald oder in einem Park entdeckt, dann sollte man sich diese Stellen gut merken. Bei Dämmerung oder Dunkelheit kommt man zurück an den Fundort und lässt das Moos in herrlichem Rot leuchten. Abbildung 3 zeigt ein Sternmoos-Kissen im Schwarzwald. In Abbildung 4 ist eine Zucchini sowie deren Querschnitt als willkürliches Beispiel von grünem Gemüse im UV-Licht zu sehen. Auch bei Gurken oder Salatblättern tritt die Chlorophyllfluoreszenz auf.

Bei einer grünen Paprika verhält es sich jedoch ganz anders. Die Beschaffenheit der äußeren Schale (Exocarp) einer Paprika ist recht hart und glatt. Das merkt man auch beim Verspeisen von Paprikaspalten, weshalb manche

Genießer ihre Paprikaschoten schälen. Das UV-Licht kann nicht durch die Schale eindringen und wird lediglich reflektiert. Es kommt zu keinem Fluoreszenzleuchten. Die



ABB. 2 Chlorophylllösung im Rundkolben mit weißem Licht (links) und mit blauem Licht (rechts) bestrahlt. Die Lösung fluoresziert intensiv rot. Fotos: A. Korn-Müller.

innen liegenden Zellen können dagegen vom Licht durchdrungen und das darin enthaltene Chlorophyll zur Fluoreszenz angeregt werden. Diesen Umstand kann man für einen kreativ-gruseligen Spaß für Halloween nutzen – und zwar ohne einen riesigen, schweren Kürbis, sondern mit einer handlichen und schmackhaften grünen Paprika: Mit Hilfe einer Hautcurette schabt man eine Halloween-Fratze in die Oberfläche der Paprika, indem man die äußere Schale der grünen Schote bis zum Fruchtfleisch abträgt. Der scharfe Ring der Curette ist dafür sehr gut geeignet. Im UV-Licht leuchtet das Geschnittene blutrot während die „unbehandelte“ Paprika in fahlem graublau erscheint (Abbildung 5). Halloween kann kommen! Anschließend kann man die Vitamin-C-reiche Gruselschote als gesunden Gemüsesnack auch noch verzehren.

Probieren Sie andere Gemüsesorten und Grünpflanzen aus! Allerdings fluoreszieren nicht alle grünen Blätter gleich stark. Es gibt deutliche Unterschiede. Während u. a. Salatblätter, Gurken und Zucchini intensiv rot leuchten, zeigen beispielsweise Tulpenblätter, manche Gräser und Nadelbäume nur eine schwachrote Fluoreszenz. Bei einem beleuchteten Efeu-, Kirschlorbeer-, Salbei- oder Ilexblatt ist mit bloßem Auge so gut wie keine rote Fluoreszenz erkennbar. Das liegt an der unterschiedlichen Beschaffenheit und dem Aufbau der Blätter.



ABB. 3 Schwanenhals-Sternmoos (*Mnium hornum*) im Schwarzwald bestrahlt mit weißem Licht (links) und mit UV-Licht (rechts). Fotos: A. Korn-Müller.

Pilze und Gliederfüßer im UV-Licht

In der Natur gibt es mit einer UV-Lampe viel zu entdecken und zu bestaunen – man sieht die Natur wortwörtlich in einem anderen Licht. Moose, Pilze, Insekten und vieles mehr stechen leuchtend hervor. Die Fruchtkörper mancher Pilze zeigen Fluoreszenzerscheinung, allerdings tritt sie weder bei Champignons oder Steinpilzen noch bei Maronen oder Fliegenpilzen auf. Folgende Pilzarten fluoreszieren dagegen wunderschön: Der Grünblättrige Schwefelkopf (*Hypholoma fasciculare*, Abbildung 6a), der Gemeine Schwefelporling (*Laetiporus sulphureus*, Abbildung 6b) sowie der Rosa Rettich-Helmling (*Mycena rosea*, Abbildung 6c).

Der Grünblättrige Schwefelkopf enthält Hypholomine und Fasciculine, die im UV-Licht grün fluoreszieren [13]. Hypholomin A und B sind gelbliche Pigmente [14],

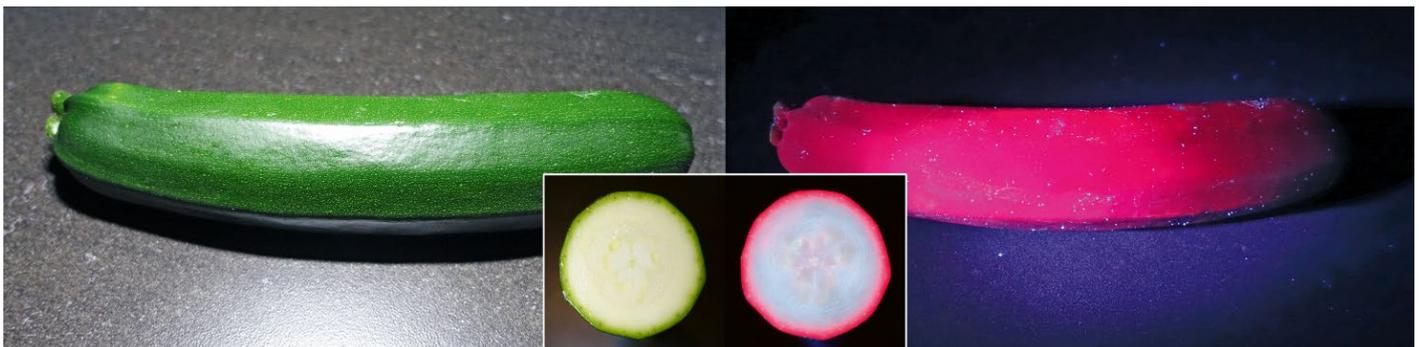


ABB. 4 Eine Zucchini und deren Querschnitt (Inset) bestrahlt mit weißem Licht (links) und mit UV-Licht (rechts). Fotos: A. Korn-Müller.

Fasciculin A und B weisen bis auf eine zusätzliche HC=CH-Doppelbindung die identische Molekülstruktur auf wie die Hypholomine A und B [15]. Die fluoreszenzfähigen Pigmente des Gemeinen Schwefelporlings beruhen auf ähnlichen Strukturen wie die der Schwefelköpfe. Das schönste und atemberaubendste Leuchten zeigt aber der Rosa Rettich-Helmling. Sobald das UV-Licht den Hut im Dunkeln bestrahlt, leuchtet der Pilz in Azurblau auf, als ob er von innen beleuchtet wäre (Abbildung 6c): wie eine angeknipste Lampe mit einem blau schimmernden Schirm. Herrlich! Welche Inhaltsstoffe die wunderschöne blaue Fluoreszenz auslösen, ist bisher nicht bekannt. Es könnte sich um Russopterin und Russulumazin handeln, zwei Pteridin-Derivate [16]. In anderen Pilzarten ist diese Substanzklasse für blaue und gelbgrüne Fluoreszenzeffekte verantwortlich [13]. Die Vielfalt an Inhaltsstoffen ist bei Pilzen enorm und die meisten von ihnen warten noch auf ihre Entdeckung und Strukturaufklärung. Welche Substanzen dabei auch im UV-Licht leuchten, bleibt ebenfalls noch zu entschlüsseln. Einen Einblick in den Molekülreichtum und die Komplexität der Pilzpigmente bietet die Fachliteratur [17].

Auch Kellersasseln (*Porcellio scaber*) leuchten in einem gespenstisch wirkenden blauweißen Licht, wenn sie kurz mit der Lampe angestrahlt werden (Abbildung 7). Verantwortlich dafür ist das Chitin ihres Exoskeletts – ein Polymer aus Acetylglucosamin, das im Aufbau der Cellulose ähnelt, aber deutlich härter und stabiler ist. Es strahlt blaues Licht mit einer Wellenlänge von 440 nm ab.

Fluoreszierende Flechten

Flechten sind eine Lebensgemeinschaft aus zwei Organismen: einem Pilz (Mykobiont) und einer Grünalge (Photobiont, manchmal auch Cyanobakterien) [18]. Mit etwas Glück und Suchen findet man auf Ästen und Baumstämmen die Gewöhnliche Gelbflechte (*Xanthoria parietina*, Abbildung 8a). Sie gedeiht auf nährstoffreichen Rinden und aufgrund der heutzutage guten und SO₂-reduzierten Luft sogar an Straßen- und Parkbäumen, aber auch auf Steinen oder Gartentoren. Der Flechtenpilz enthält den gelben Farbstoff Parietin, ein Anthrachinon-Abkömmling, welcher der Gelbflechte ihr Aussehen und ihren Namen verleiht. Bei Bestrahlung mit UV-Licht fluoresziert Parietin in einem spektakulären Orangerot mit einem Emissionsmaximum bei 610 nm [19, 20]. In der oberen Flechtenschicht eingebettete Grünalgen enthalten natürlicherweise Chlorophyll, so dass es bei UV-Bestrahlung zusätzlich zur roten Fluoreszenz kommt. Allerdings ist diese so schwach, dass sie von der starken Fluoreszenz des Parietins schlicht und ergreifend überstrahlt wird.

Auch die Pigmente der Schwefelflechten fluoreszieren bei UV-Bestrahlung. Schwefelflechten gehören zu den Krustenflechten, sind leuchtendgelb und haben eine feinkörnige, wasserabweisende (hydrophobe) Oberfläche. Sie gedeihen nur in sehr reiner Luftumgebung auf großen Silikat- oder Sandsteinfelsen in feuchten Tälern

wie dem Elbsandsteingebirge. Es existieren vor allem zwei Arten von Schwefelflechten: Die Fels-Schwefelflechte (*Chrysothrix chlorina*) und die Gelbfrüchtige Schwefelflechte (*Psilolechia lucida*) [18]. Letztere ist eher grüngelb und enthält den Farbstoff Rhizocarpsäure [21], während die Fels-Schwefelflechte durch ihr (giftiges) Pigment Vulpinsäure leuchtendgelb hervorsteicht. Sowohl Rhizocarpsäure als auch Vulpinsäure gehören zur Gruppe der Pulvinsäure-Farbstoffe (Lacton-Pigmente), die im Bereich von 550–570 nm fluoreszieren [22].



ABB. 5 „Grusel-Paprika“ mit eingeschnittener Fratze bestrahlt mit weißem Licht (links) und mit UV-Licht (rechts). Fotos: A. Korn-Müller.



ABB. 6 Fluoreszierende Pilze. a) Gemeiner Schwefelporling (*Laetiporus sulphureus*) an einer Eiche in einem Park, b) Grünblättriger Schwefelkopf (*Hypholoma fasciculare*) im Schwarzwald, c) Rosa Rettich-Helmling (*Mycena rosea*) im Schwarzwald. Jeweils links beleuchtet mit weißem Licht und rechts mit UV-Licht. Fotos: A. Korn-Müller.



ABB. 7 Kellerasseln (*Porcellio scaber*) auf der Hausmauer beleuchtet mit UV-Licht. Fotos: A. Korn-Müller.

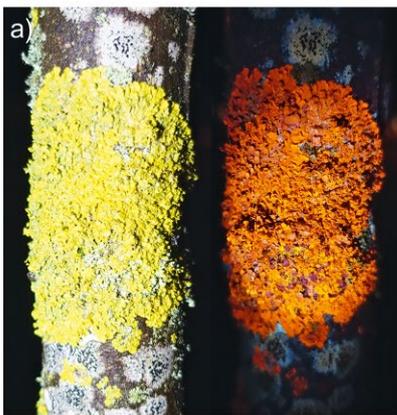


ABB. 8 Fluoreszenz bei Flechten. a) Gewöhnliche Gelbflechte (*Xanthoria parietina*) an einem Baum am Straßenrand, b) regennasse Gelbfrüchtige Schwefelflechte (*Psilolechia lucida*) auf einer Felspalte im Elbsandsteingebirge, c) regennasse Fels-Schwefelflechte (*Chrysothrix chlorina*) auf einem Felsen im Kirnitzschtal im Elbsandsteingebirge. Die Wassertropfen in Abb. c formen sich zu Kügelchen aufgrund des Lotus-Effekts der hydrophoben Flechtenoberfläche. Jeweils links beleuchtet mit weißem Licht und rechts mit UV-Licht. Fotos: A. Korn-Müller.



Abbildung 8b zeigt eine Gelbfrüchtige Schwefelflechte an einem Felsen der Bastei im Elbsandsteingebirge, Abbildung 8c eine Fels-Schwefelflechte im Kirnitzschtal im Elbsandsteingebirge. Das Chlorophyll im sattgrünen Moos in Abbildung 8b fluoresziert blutrot, während das gelbgrüne Pigment Rhizocarpsäure der Schwefelflechte orange leuchtet. Die Wassertropfen auf der hydrophoben Oberfläche erkennt man im UV-Licht aufgrund der bläulichen Reflexion sehr viel besser als im weißen Licht. Aufgrund des Lotuseffekts haben sich die Wassertropfen zu Kugeln geformt. In Abbildung 8c fluoresziert die gelbe Vulpinsäure in Braunorange.

Farbspektakel am Strand

Falls Sie im Urlaub an die Nord- oder Ostsee fahren, kann ich Ihnen empfehlen, eine UV-Lampe mitzunehmen. Was bei einem Nachspaziergang am Strand aussieht wie unscheinbarer Schlamm, entpuppt sich im UV-Licht als farbenprächtiges Schauspiel (Abbildung 9), und graue Krebspanzer mutieren zu einem leuchtenden Kunstwerk der Natur (Abbildung 10). Die folgenden Aufnahmen stammen von der belgischen Nordsee und der deutschen Ostsee.

Auf den Sandbänken der Nordsee stößt man bei Ebbe auf grünbräunlichen Algenschlamm, der bei UV-Bestrahlung spektakulär aufleuchtet. Die winzigen Meeresalgen, die sich im Schlamm der Sandbank angesammelt haben, enthalten Chlorophyll, das im UV-Licht intensiv rot fluoresziert. Bei dem Stück Seetang in Abbildung 9a, das grell orange leuchtet, handelt es sich um Zuckertang, eine Braunalge (*Saccharina latissima*) [23]. Braunalgen enthalten neben Chlorophyll das dunkelrote bis dunkelbraune Farbpigment Fucoxanthin, ein Carotinoid der Gruppe der Xanthophylle [24]. Es ist ein Lichtsammelmolekül, absorbiert Licht im grünen Wellenlängenbereich und macht somit die Photosynthese unter Wasser, wo naturgemäß weniger Sonnenlicht gelangt, effizienter. Im UV-Licht fluoresziert Fucoxanthin mit einer Wellenlänge von etwa 630 nm in leuchtendem Rotorange [24].

Beim Herumleuchten mit der weißen LED-Lampe auf einer Sandbank bin ich auf eine rotviolettfarbene Alge gestoßen (Abbildung 9b). Im UV-Licht fluoreszierte dieses Stück Tang in schönem Orange. Was mich aber am meisten erstaunt hat, ist das plötzliche Sichtbarwerden anderer Algen, die ich im weißen Licht überhaupt nicht wahrgenommen habe. Erst durch die UV-Bestrahlung entpuppte sich die graue Schlammputze als farbenfrohe Ansammlung vieler filigraner Strukturen: Seemoos (*Sertularia cupressina*), auch Zypressenmoos genannt, ist weder Moos oder Alge noch Tang, sondern ein zu den Hydrozoen gehörendes Nesseltier [25]. Dieses buschige Meerestier besteht aus einer Körperhülle aus Chitin mit vielen mehrfach gegabelten Chitinseitenästchen, die sich spiralförmig um den Stamm winden. Am Ende dieser Ästchen sitzen winzige Tentakelkugeln und fangen mit ihren Nesselfäden tierisches und pflanzliches Plankton ein. Normalerweise sitzt das Zypressenmoos fest ver-

ankert auf dem Meeresboden, doch die Schleppnetze der Krabbenfischer reißen es ab und die Meeresströmung befördert es an den Spülsaum. Aufgrund ihrer blassbeigen oder grauen Farbe liegen die Nesseltiere oft unscheinbar im Watt, doch das UV-Licht macht sie als blaue „Palmenwedel“ sichtbar. Beim rotviolettten Stück Tang handelt es sich vermutlich um den Roten Eichtang (*Phycodrys rubens*/*Phyllophora rubens*) [26]. Diese Rotalge enthält ihrem Namen entsprechend rote Pigmente aus der Klasse der Phycobiline, die mit einer Wellenlänge von etwa 585 nm – also orange – fluoreszieren wie beispielsweise das Phycoerythrin [27]. Die kleinen grünen „Fetzen“ stammen von der Gemeinen Darmalge (*Ulva intestinalis*), deren Chlorophyll die typische rote Fluoreszenz zeigt. Im Angespül bin ich zudem auf die Wurmlättrige Wattalge (*Gracilaria vermiculophylla*) gestoßen, die zu den Rotalgen zählt und deren Farbpigmente ebenfalls aus der Klasse der Phycobiline stammen [28]. Bei UV-Bestrahlung fluoreszieren sie in leuchtend schönem Gelborange mit einer Wellenlänge von etwa 585 nm (Abbildung 9c). Abbildung 9d zeigt einen Algenmix aus einer Braunalge (Palmentang, *Laminaria hyperborea*), einer Rotalge (Roter Eichtang, *Phycodrys rubens*/*Phyllophora rubens*), zwei Grünalgenarten (Meersalat, *Ulva lactuca* und Gemeine Darmalge, *Ulva intestinalis*) sowie das Seemoos (*Sertularia cupressina*).

Am Spülsaum der Sandbänke findet man immer wieder abgeworfene, angespülte Rückenpanzer von Krebsen (Krabben), die im UV-Licht himmelblau fluoreszieren. Abbildung 10 zeigt ein Exemplar, das ich bei einem abendlichen Spaziergang entdeckt habe. Es handelt sich um den Rückenpanzer einer Schwimmkrabbe (*Portunus bolsatus*) [29]. Der Panzer (Cuticula) besteht hauptsächlich aus dem Polysaccharid Chitin (20–30%), dem Strukturprotein Arthropodin bzw. Sklerotin (30–40%) und Kalk (CaCO_3 , 30–50%). Aus dieser „Zementmischung“ entstehen Fasern, die sich in- und übereinander zu extrem harten Platten schichten [30]. Der blaue Leuchteffekt beruht auf dem Vorhandensein von Chitin, das Fluoreszenzlicht mit einer Wellenlänge von etwa 440 nm, sprich blauem Licht, abstrahlt [31]. Allerdings habe ich festgestellt, dass nicht alle gefundenen Krebspanzer im UV-Licht geleuchtet haben. Vermutlich war der Anteil an Chitin in diesen Panzern zu gering.

Die Natur hat neben den hier aufgeführten Beispielen viele weitere Fluoreszenzphänomene zu bieten. Etliche Insekten, Spinnen und Kellerasseln fluoreszieren aufgrund ihrer Chitin-Cuticula. Mineralien wie der Hyalit, der Fluorit und der Calcit leuchten im UV-Licht grün, rosarot bzw. blau. Braune Eier fluoreszieren blutrot und Wasserlinsen erscheinen rotviolett. Eine abendliche UV-Exkursion in den Garten, in einen Park oder Wald oder eine UV-Nachtwanderung am (Urlaubs)Strand lohnt sich – trotz unserer Scheu vor Dunkelheit – auf jeden Fall und ich kann sie nur empfehlen.



ABB. 9 Fluoreszenz bei Meeresalgen. a) Neben den Meeresalgen in Rot leuchtet auf einer Sandbank ein Stück Zuckertang (*Saccharina latissima*) in grellem Orange auf. b) Unscheinbarer Schlamm wird unter UV-Licht bunt: Filigranes Seemoos (*Sertularia cupressina*) fluoresziert blau, ein Stück Rotalge (*Phyllophora rubens*) leuchtet orange und kleinere Fetzen der Gemeinen Darmalge (*Ulva intestinalis*) erscheinen in kräftigem Rot. c) Die Wurmlättrige Wattalge (*Gracilaria vermiculophylla*) strahlt in schönem Gelborange. d) Algenmix aus Palmentang (*Laminaria hyperborea*), Roter Eichtang (*Phycodrys rubens*/*Phyllophora rubens*), Meersalat (*Ulva lactuca*), Gemeine Darmalge (*Ulva intestinalis*) und Zypressenmoos (*Sertularia cupressina*). Jeweils links beleuchtet mit weißem Licht und rechts mit UV-Licht. Fotos: A. Korn-Müller.

ABB. 10 Durch Häutung abgeworfener Rückenpanzer einer Schwimmkrabbe (*Portunus holsatus*), beleuchtet mit weißem Licht (links) und mit UV-Licht (rechts).
Fotos: A. Korn-Müller.



Zusammenfassung

Mit einer einfachen UV-Taschenlampe kommt man erstaunlichen und beeindruckenden Fluoreszenzphänomenen in der Natur auf die Spur. Neben dem rot fluoreszierenden Chlorophyll in Gemüse, Obst, Pflanzen und Grünalgen stößt man bei Beleuchtung von Rot- und Braunalgen, Panzern von Krebsen, Pilzen und Flechten auf einen farbenfrohen Fluoreszenzmix aus Gelb, Orange, Grün und Blau.

Summary

Tracing nature with the help of UV light

With a simple UV torch (BE)/flashlight (AE) you can discover amazing and impressive fluorescence phenomena in nature. Apart from the red fluorescent chlorophyll in vegetables, fruits, plants and green algae, you come across a colourful mix of yellow, orange, green and blue fluorescence when red and brown algae, crab shells, fungi and lichens are illuminated.

GLOSSAR

Singulett-Zustand: Alle organischen Moleküle wie beispielsweise Kohlenhydrate, Fette, Proteine und Duftstoffe enthalten stets eine gerade Anzahl von Elektronen. Das liegt daran, dass jede Atom-Atom-Bindung über zwei Elektronen vermittelt wird, der sogenannten Elektronenpaarbindung (bei einer Doppelbindung sind es vier, bei einer Dreifachbindung sind es sechs Elektronen). Die gepaarten Elektronen einer Bindung besitzen einen antiparallelen (gegenläufigen) Spin. Unter dem Spin versteht man den Drall (Drehbewegung/Drehimpuls) eines Elektrons. Dieser Spin kann (quantenmechanisch gesehen) genau zwei Werte annehmen: links herum oder rechts herum. Ist die Drehbewegung der beiden Elektronen gegenläufig, so bezeichnet man diesen Zustand als Singulett (S). Das rührt daher, dass solche Moleküle mit einem Magnetfeld nicht reagieren; sie bleiben „Singles“. Im Gegensatz dazu gibt es neben den angeregten Singulett-Zuständen (S1 und S2) auch angeregte Moleküle mit gleichläufigem (parallelem) Spin. Diese befinden sich im so genannten Triplett-Zustand (T), weil sie mit einem Magnetfeld wechselwirken und sich dreifach aufspalten. Bei der Phosphoreszenz spielt dieser Effekt eine wichtige Rolle.

Strahlungslose Schwingungsrelaxation: Regt man ein Molekül mit UV-Licht an, so wird es durch Energieaufnahme in ein höheres Energieniveau katapultiert. In diesem angeregten Zustand schwingt das Molekül hin und her und kann mit anderen Molekülen zusammenstoßen. Dabei gibt es seine Energie an das gestoßene Molekül ab – wie bei zwei aufeinander prallenden Billardkugeln. Dieser Vorgang wird als Schwingungsrelaxation bezeichnet. Relaxation meint Entspannung/Erschlaffung, sprich hier den allmählichen Übergang vom hoch angeregten in einen weniger angeregten Zustand. Da bei diesem Vorgang keine Strahlung entsteht, spricht man von einem strahlungslosen Ablauf.

Thermische Äquilibration: Ein durch UV-Licht angeregtes Molekül kann seine Energie auch als Wärme an die Umgebung abgeben. Dieser Abgleich von angeregter und „abgeregter“ Energie wird als Äquilibration (auch Equilibration) bezeichnet.

Danksagung

Mein Dank gilt Herrn Melvin Müller für die Erstellung der Grafiken und der zusammengeführten Fotos.

Schlagworte:

Fluoreszenz, UV-Licht, Chlorophyll, Farbpigmente, Naturbeobachtung

Literatur

- [1] E. Breitmaier, G. Jung (2012). Organische Chemie, 7. vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, S. 570–572.
- [2] G. H. Krause, E. Weis (1991). Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: the basics. Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 42, 313–349.
- [3] H. R. Bolhar-Nordenkamp et al. (1989). Die Bestimmung der Photosynthesekapazität über die Chlorophyllfluoreszenz als Maß für die Stressbelastung von Bäumen. Phytol. (Austria) 29, 119–135.
- [4] A. Korn-Müller (2022). Warum Gras nicht rot leuchtet. Nachr. Chem. 70, 18–21.
- [5] L. Urry et al. (2019). Campbell Biologie. 11., aktualisierte Aufl., Pearson Verlag Deutschland, Hallbergmoos, S. 260–261.
- [6] J. M. Berg et al. (2018). Stryer Biochemie. 8. Aufl., Springer Spektrum Verlag, Heidelberg, S. 661–685.
- [7] K. Smorenburg et al. (2002). Remote sensing of solar induced fluorescence of vegetation, Proceed. Internat. Symposium on Remote Sensing. Toulouse, France, 178–190.
- [8] H. K. Lichtenthaler, U. Rinderle (1988). The Role of Chlorophyll Fluorescence in The Detection of Stress Conditions in Plants. Crit. Rev. Anal. Chem. 19, S29–S85.
- [9] W. J. S. Downton et al. (1981). Chlorophyll A fluorescence transient as an indicator of water potential of leaves. Plant Sci. Lett. 20, 191–194.
- [10] <https://www.sueddeutsche.de/wissen/biologie-da-leuchtet-was-1.4660438> (Stand: 01.08.2023)
- [11] Y. Sun et al. (2017). OCO-2 advances photosynthesis observation from space via solar-induced chlorophyll fluorescence. Science 358, 189–194.
- [12] https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/FutureEO/FLEX/New_satellite_to_measure_plant_health (Stand: 01.08.2023)
- [13] D. Weiß, H. Brandl (2013). Fluoreszenzfarbstoffe in der Natur, Teil 1+2. Chem. Unserer Zeit 47, S. 50–54 und S. 122–131.
- [14] <https://roempp.thieme.de/lexicon/RD-08-02625?linkSource=TIB> (Stand: 01.08.2023)
- [15] <https://roempp.thieme.de/lexicon/RD-06-00255?searchterm=fasciculine&context=search> (Stand: 01.08.2023)
- [16] <https://roempp.thieme.de/lexicon/RD-18-02123?searchterm=russuptridine&context=search> (Stand: 01.08.2023)
- [17] J. Velisek, K. Cejpek (2011). Pigments of Higher Fungi: A Review. Czech J. Food Sci. 29, 87–102.
- [18] V. Wirth, U. Kirschbaum (2017). Flechten einfach bestimmen. 2., aktualisierte Aufl., Quelle & Meyer Verlag, Wiebelsheim.
- [19] K. A. Solhaug, Y. Gauslaa (1996). Parietin, a photoprotective secondary product of the lichen Xanthoria parietina. Oecologia 108, 412–418.
- [20] B. Fernández-Marín et al. (2018). Can Parietin Transfer Energy Radiatively to Photosynthetic Pigments? Molecules 23, 1741–1748.
- [21] S. Huneck et al. (1992). Zur Chemie einiger Strauch- und Krustenflechten aus der Türkei, Herzogia, 9, 173–179.
- [22] É. Pradayrol et al. (2023). Bioinspired Synthesis of Pulvinic Acids Including Xerocomic Acid and Fluorescence Properties of Bis-lactone Intermediates, Eur. J. Org. Chem. 26, e202201152 (1–8).
- [23] R. Reinicke (2011). Funde am Ostseestrand. 2. Aufl., Demmler Verlag, Ribnitz-Damgarten, S. 43.

- [24] T. Katoh et al. (1991). Fluorescence properties of the allenic carotenoid fucoxanthin: Implication for energy transfer in photosynthetic pigment systems. *Photosynth. Res.* 27, 221–226.
- [25] <https://www.schutzstation-wattenmeer.de/wissen/tiere/nesseltiere/seemoos/> (Stand: 01.08.2023)
- [26] G. Quedens (2013). *Strand und Wattenmeer*. 10., überarbeitete Aufl., BLV Buchverlag, München, S. 36–37.
- [27] C. C. van der Weij-De Wit et al. (2006). How Energy Funnels from the Phycoerythrin Antenna Complex to Photosystem I and II in Cryptophyte *Rhodomonas CS24* Cells. *J. Phys. Chem. B* 110, 25066–25073.
- [28] W. Rüdiger (1979). Struktur und Spektraleigenschaft von Phycobilinen und Biliproteiden, *Ber. Deutsch. Bot. Ges.* 92, 413–426.
- [29] G. Quedens (2013). *Strand und Wattenmeer*. 10., überarbeitete Aufl., BLV Buchverlag, München, S. 64.
- [30] V. Storch, U. Welsch (2012). *Kurzes Lehrbuch der Zoologie*. 8., neu bearbeitete Aufl., Springer Spektrum Verlag, Berlin Heidelberg, S. 87–88.
- [31] M. D. Rabasovic et al. (2015). Nonlinear microscopy of chitin and chitinous structures: a case study of two cave-dwelling insects. *J. Biomed. Opt.* 20, 016010-1–016010-10.
- [32] C.-D. Schönwiese (2020). *Klimatologie*, 5., überarbeitete und aktualisierte Aufl., Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart, S. 29 und 276.
- [33] B. F. Milne et al. (2015). Unraveling the Intrinsic Color of Chlorophyll. *Angew. Chem. Int. Ed.* 54, 2198–2201.

Verfasst von:



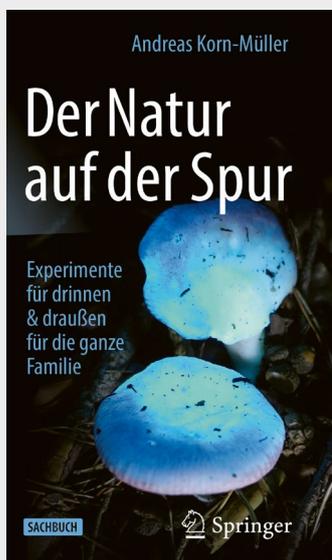
Andreas Korn-Müller studierte in Tübingen Chemie und promovierte 1994 am MPI für Biochemie in Martinsried. Nach einer zweijährigen Post-Doc-Forschung im HIV-Hochsicherheitslabor der LMU München arbeitet er seit 1997 freiberuflich auf dem Gebiet der „Wissenschaftsvermittlung“. Neben diversen Ausstellungen an Museen hat Dr. Korn-Müller bisher acht verschiedene Wissenschafts-Shows entwickelt, die er unter dem Künstlernamen „Magic Andy“ weltweit vor allem auf Science Festivals für Jung und Alt erfolgreich aufführt. Bisher hat er vier (Kinder-) Sachbücher geschrieben.

Korrespondenz

Dr. Andreas Korn-Müller
science comedy
Winterbergstr. 6c
01277 Dresden
E-Mail: show@science-comedy.com



springer.com



A. Korn-Müller
Der Natur auf der Spur
Experimente für drinnen & draußen
für die ganze Familie
2023. 254 S. 194 Abb., 122 Abb. in
Farbe. Mit Online-Extras. Brosch.
€ (D) 17,99 | € (A) 18,49 | CHF 20.00
978-3-662-67397-3
€ 12,99 | CHF 16,00
978-3-662-67398-0 (eBook)

Das Buch

In diesem Buch erfahren Sie und Ihre Kinder mit einfachen Experimenten die erstaunliche Wunderwelt der Natur. Was steckt hinter dem Lotus-Effekt? Mit Kohlrabi-Blättern kriegen Sie es raus. Fleischfressende Pflanzen mit Gummibärchen füttern? Geht! Aber warum? Bestimmen Sie die Luftgüte Ihrer Umgebung, eines Parks oder Waldes mit dem selbst gebastelten Flechtenraster. Schnell werden Sie zum Experten der wunderbaren und nützlichen Flechten. Unsichtbare Mikroorganismen eines Sees werden mit einem Laserpointer als tierisches Gewimmel sichtbar – ganz ohne Mikroskop! Die „dunkle“ Seite der Natur entdecken Sie mit einer einfachen UV-Taschenlampe und lassen Gemüse, Pflanzen, Moose, Pilze, Algen, Krebse und Muscheln in bunten Farben leuchten. Eine rot leuchtende Grusel-Paprika zu Halloween? Ja! Eine erforschende Nachtwanderung am Strand? Hurra! Großer Experimentier-Spaß für Drinnen und Draußen für die ganze Familie. Das Buch ist der ideale Begleiter auf Wanderungen und Urlaubsreisen – damit kommen Sie der Natur ein Stückchen näher. Mit zahlreichen Farbfotos, vielen anschaulichen Grafiken und 14 spektakulären Videos. Also: Ab in die Natur!

Hier direkt bestellen:



oder

Springer Nature Customer Service Center GmbH,
Tiergartenstraße 15 / 69121 Heidelberg
Tel +49 (0)6221 / 345-0 | Fax +49 (0)6221 / 345-4229
customerservice@springernature.com



Verband | Biologie, Biowissenschaften
& Biomedizin in Deutschland

**GEMEINSAM
FÜR DIE**

BIEWISSENSCHAFTEN

Gute Gründe, dem VBIO beizutreten:

- Werden Sie Teil des größten Netzwerks von Biowissenschaftlern in Deutschland.
- Unterstützen Sie uns, die Interessen der Biowissenschaften zu vertreten.
- Nutzen Sie Vorteile im Beruf.
- Bleiben Sie auf dem Laufenden – mit dem VBIO-Newsletter und dem Verbandsjournal „Biologie in unserer Zeit“.
- Treten Sie ein für die Zukunft der Biologie.



www.vbio.de

Jetzt beitreten!

