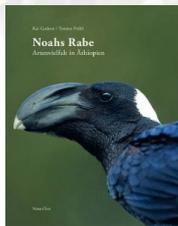




Foto: M. Riffel.

ARTENVIELFALT

Eindrucksvolle Biodiversität



Das herausragende Buch von Kai Gedeon und Thorsten Pröhl lässt sich nicht in eine Kategorie fassen. Es ist ein großartiger Bild-

band und ein gut recherchierter Erzählband über die naturgeschichtliche, naturkundliche und vogelkundliche Erforschung Äthiopiens – eines der unbekannteren und doch lohnendsten Reiseziele des afrikanischen Kontinents in einem. Für Natur- und Naturgeschichtsbegeisterte wäre ein solches Buch für jedes afrikanische Land wünschenswert!

Kai Gedeon und Thorsten Pröhl beschäftigen sich seit vielen Jahren mit der Tierwelt Äthiopiens – ihre fundierten Detailkenntnisse, gewonnen aus zahllosen Reisen, finden sich in den Texten und den herausragenden Bildern wieder. Gerade letztere müssen hervorgehoben werden. Sie vermitteln dem Leser einen guten Eindruck von den Landschaften, Vogel- und Säugerarten Äthiopiens. Die Vogelwelt ist artenreich, und im Gegensatz zu vielen anderen afrikanischen Ländern sind die Vögel selbst in menschlichen Ansiedlungen nicht scheu und lassen Fotografen nah herankommen. Äthiopien ist aus diesem Grund für Natur- und insbesondere Vogelfotografen ein absolutes Eldorado. Dies stellt Pröhl, der den Großteil der Bilder machte, eindrücklich unter Beweis.

Der erste Teil des Buches beinhaltet eine umfangreiche Beschreibung der sechs Naturräume (Biome) Äthiopiens. Im zweiten Teil werden loh-

nende Naturreiseziele vorgestellt. Die sechs Hauptkapitel behandeln nach biogeographischen Aspekten abgegrenzte Naturräume. Die einzelnen Kapitel sind wiederum in vier Abschnitte gegliedert nach frühen Naturreisenden, Menschen und Landschaft, Biodiversität und Vogelwelt. Im Abschnitt „Frühe Reisende“ wird die historische naturkundliche Erforschung Äthiopiens ausführlich dargestellt.

Forscher aus dem deutschsprachigen Raum spielten eine wichtige Rolle. Einige wie Theodor von Heuglich, Carlo von Erlanger, Friedrich Wilhelm Hemprich, Eduard Rüppell und Theodor Erckel verewigten sich in der wissenschaftlichen Vogelnamenklatur des ostafrikanischen Landes: Erckelfrankolin (*Pternistis erckelii*), Hemprichs Hornbill (*Lophoceros hemprichii*) und Sperbergeier (*Gyps rueppellii*). Der Frankfurter Forscher Eduard Rüppell war der erste Europäer, der Äthiopien bereiste. Er beschrieb 120 Vogelarten neu für die Wissenschaft, unter anderem den Erzraben (*Corvus crassirostris*), dem als Noahs Rabe in der volkstümlichen äthiopischen Geschichte eine wichtige Rolle zukommt, und nach dem das Buch benannt ist.

Im Abschnitt „Mensch und Landschaft“ steht der Einfluss des Menschen auf die äthiopische Natur im Vordergrund. Die Domestizierung von Pflanzenarten wie Teff, Khat und Kaffee wird ausführlich behandelt. Teff (*Eragrostis tef*) spielt als Hauptbestandteil der Nationalspeise Injera eine wichtige Rolle in der Ernährung der Äthiopier. Eine der wichtigsten Kulturpflanzen, der Kaffee (*Coffea arabica*), stammt ebenfalls aus dem Hochland Äthiopiens. Die Kaffeeproduktion stellt den Lebensunterhalt von 15 Millionen Äthiopiern. Der Abschnitt „Biodiversität“ behandelt die zahlreichen Tier- und Pflanzenarten jedes Naturraumes Äthiopiens. Do-

gehört beispielsweise der Großteil des äthiopischen Hochlandes zum *eastern afro-montane biodiversity hotspot*, der sich durch eine besonders hohe Anzahl endemischer Tier- und Pflanzenarten auszeichnet. Die Gruppe der Vögel hat es den Autoren besonders angetan. Ein eigener Abschnitt beschäftigt sich mit dieser attraktiven Tiergruppe. Äthiopien beherbergt 854 Vogelarten, von denen je nach taxonomischer Auffassung 23 bis 28 als endemisch gelten. Auffallend ist bei vielen Arten eine Aufspaltung in lokale Unterarten, von denen sich viele in der Zukunft als eigenständige Arten erweisen dürften, wie die Autoren eindrucksvoll herausarbeiteten. Im zweiten Teil des Buches werden 31 ausgewählte Naturreiseziele in Äthiopien detailliert vorgestellt. Das Land lässt sich leider nur schwer auf eigene Faust bereisen – organisierte Reisen sind ein Muss.

Den Autoren gelingt es, Interesse zu wecken am Besuch des Landes und seiner Naturschätze. Äthiopien ist eines der naturräumlich, ethnisch und biologisch vielfältigsten Länder Afrikas. Die mittlerweile über 100 Mio. Einwohner sind eine enorme Herausforderung für den langfristigen Erhalt der Vielfalt. Der Schutz der biologischen und naturräumlichen Vielfalt des Landes kann gelingen, wenn mehr Naturreisende Äthiopien besuchen und der Ökotourismus eine ähnliche wirtschaftliche und gesellschaftliche Bedeutung erlangt wie in den anderen ost- und den südafrikanischen Staaten. Noahs Rabe liefert einen wichtigen Beitrag hierfür.

Michael Riffel, Hirschberg

Noahs Rabe

Kai Gedeon, Thorsten Pröhl
Natur & Text Verlag GmbH, Rangs-
dorf, 2022, 320 S., 55,00 Euro,
ISBN 978-3-942062-55-8

ORNITHOLOGIE

Für Einsteiger und Experten

Der ehemalige Leiter der „Vogelwarte Helgoland“, Franz Bairlein, legt ein 368 Seiten dickes Buch mit 640 Farbabbildungen vor. Das Buch gibt einen umfassenden Überblick über alle Facetten des Vogelzuges mit sehr vielen Beispielen ziehender Vogelarten aus allen Teilen der Welt. Das Buch ist kein Fach-Review für Experten (obwohl diese es manchmal nötig haben, einen Gesamtüberblick zu erhalten). Allerdings ist es geschrieben von einem Experten, und deswegen kann man Vertrauen haben, dass Alles, was in dem Buch steht, richtig ist und dass auch die jeweils treffendsten Beispiele ausgewählt wurden. Das Buch wendet sich bewusst an den interessierten Laien und ist deshalb einfach geschrieben und mit leicht verständlichen Bildern ausgestattet. Im Zeitalter fast unerschöpflicher Internetquellen ist das ein Buch, dessen Kauf sich lohnt, wenn man sich für Vogelkunde und Allgemeinbildung interessiert.

Das erste Kapitel „Methoden der Vogelzugforschung“ gibt einen historischen Rückblick über die Vorstellungen zum Vogelzug in früheren Jahrhunderten und die Anfänge der Vogelberingung. Aristoteles vertrat die Auffassung, dass die Zugvögel einen Winterschlaf in Teichen und Sümpfen halten und deswegen im Herbst verschwinden würden und erst im Frühjahr wieder erscheinen. Dieser Glaube war anerkannte Lehrmeinung über das gesamte Mittelalter hinaus, ohne dass irgendjemand bereit war, die aristotelische Auffassung durch Beobachtungen und Experimente auf ihre Richtigkeit zu überprüfen. Zwar gab ein Storch, der sogenannte „Pfeilstorch“, der 1822 bei Wismar geschossen wurde und von einem Pfeil ostafrikanischer Herkunft längs durch den Hals durchbohrt war, Hinweise auf den Aufenthalt in Afrika, aber erst 1899 kam der

dänische Lehrer Mortensen auf die Idee, Vögel zu beringen und den Ring mit der Adresse des Heimatortes zu versehen. Damit begannen die Rückmeldungen der Ringfunde und gaben Aufschluss über die Zugwege der Vögel. Im weiteren Teil dieses Kapitels wird ein Überblick über die neuen Technologien zur Ermittlung der Vogelzugwege gegeben, von der Satellitentelemetrie über die Erkennung des Überwinterungsgebietes anhand von Isotopen an den Federn bis hin zur Ortung nachts ziehender Vögel mit Radargeräten.

Sehr hilfreich für den Einsteiger in die Vogelzugforschung ist das Übersichts-kapitel „Vogelzug in Deutschland“, das auf 61 Seiten eine rasche Orientierung über das Zugverhalten der bekanntesten in Deutschland vorkommenden Arten verschafft. Hier findet man bei ca. 45 Nicht-Singvogelarten und ca. 30 Singvogelarten, die man bei uns antrifft (darunter so bekannte Arten wie Stockente, Amsel, Rotkehlchen oder Haussperling), ob dies nun Standvögel oder Zugvögel sind. Wer weiß schon, ob das bei uns zu Weihnachten singende Rotkehlchen ein Heimisches ist oder ein Zuzügler aus dem Nordosten? Zu jeder dieser Arten gibt es eine Karte mit Zugwegen, Beringungsorten oder Fundorten der beringten Vögel. Leider wird in den meisten dieser Karten nur zwischen den in Deutschland beringten Vögeln und den in Deutschland gefundenen im Ausland beringten Vögeln differenziert. Dabei bleibt offen, ob die in Deutschland beringten Vögel auch in Deutschland erbrütet wurden. Der Leser wüsste aber gern, wo der in Deutschland erbrütete Vogel wiedergefunden wurde.

Das Kapitel „Vogelzug - global“ ist für den interessierten Nicht-Fachmann außerordentlich aufschlussreich. Man erfährt, dass nur 40 Prozent aller Vogelarten wirklich große Wanderungen machen. Die Vielfalt des Vogelzuges ist auf einfache, leicht verständliche Gemeinsamkeiten

konzentriert. Beispielsweise ziehen die meisten Langstreckenzieher West- und Mitteleuropas nach Westafrika, während die meisten Langstreckenzieher Osteuropas nach Ost- und Südafrika ziehen. Man erfährt interessante Extreme, z. B. dass die in Ostdeutschland brütenden Zwergschnäpper in Indien (also nicht in Afrika) überwintern, dass die Pfuhschnepfen aus Alaska 200 Stunden lang ohne Unterbrechung über das Wasser des Pazifiks nach Neuseeland fliegen oder dass die Küstenseeschwalbe den dunklen Nächten fast vollständig ausweicht, indem sie sich im Sommer in der Arktis und im Winter in der Antarktis aufhält und dazu im Jahr bis zu 90.000 km zurücklegt. Wenn nordische Vögel ins südliche Winterquartier ziehen, dann darf man nicht vergessen, dass diese Quartiere ja durch andere Arten besetzt sind, so dass sich die Zugvögel in der Evolution zunächst einmal mit erheblichen Konkurrenzen auseinandersetzen hatten. Dabei ist wichtig, dass eigentlich nur Afrika (südlich der Sahara) viel Platz anbietet. Nordamerikas Vögel überwintern hauptsächlich in Mittelamerika und haben dort nur wenig Platz. Das gleiche gilt für die flächenmäßig geringen „Aufnahmegebiete“ Südasiens für die Zugvögel des riesigen zentral- und nordasiatischen Kontinents.

Viele Fachbegriffe des Vogelzuges werden im Kapitel „Formen des Vogelzuges“ an Beispielen erklärt. Einige Vogelarten ziehen im Frühjahr denselben Weg zurück, den sie im Herbst nach Süden gewandert sind („Pendelzug“), andere Arten wählen für den herbstlichen Wegzug und Frühjahrs-Rückzug verschiedene Wege („Schleifenzug“). Während der Weißstorch eine klare „Zugscheide“ hat, in dem die Tiere aus Westdeutschland über Spanien nach Nordafrika, und die Tiere aus Ostdeutschland und Osteuropa über den Bosphorus und Anatolien nach Ost- und Südafrika fliegen, ziehen Schwarzstörche aus Tschechien aus demselben Brutgebiet sowohl auf



der westlichen Route über Spanien nach Westafrika als auch über die östliche Route über den Bosphorus und Anatolien nach Zentralafrika. Interessant ist das Phänomen der „Teilzieher“, bei denen ein Teil der Individuen ein und derselben Population regelmäßige Zugvögel sind, während der andere Teil dauerhaft sesshaft ist. Leider wird nur auf das selektiv vorteilhafte Ziel dieses Polymorphismus hingewiesen, während das ungeklärte populationsgenetische Problem nicht behandelt wird, wie die gekoppelten Gencluster, die in bestimmten Individuen das Zugvogelverhalten steuern, von den Genclustern, die in den anderen Individuen das Standvogelverhalten steuern, auseinandergehalten werden und vor gegenseitiger Rekombination geschützt sind. Das ist ein Problem, weil die beiden Typen (Zug- oder Standvogel) ja ein und derselben Reproduktionsgemeinschaft angehören.

Im Kapitel „Muster des Vogelzuges“ geht es um jahreszeitliche und tageszeitliche Zugzeiten sowie die Zuggeschwindigkeit und die Zughöhen, wobei Streifengänse in bis zu 9000 m Höhe den Himalaya überfliegen (Kap. 9). In den Kapiteln „Steuerung des Vogelzuges“ und „Räumliche Orientierung“ werden die genetischen und die Umweltfaktoren behandelt, die den Vogelzug auslösen und steuern. Verblüffend sind die Orientierungsleistungen, wobei die Richtungsorientierung von der Zielorientierung unterschieden wird. Viele Zugvögel haben die Zugrichtung und die zeitliche Dauer des Zuges ererbt und finden sich ganz alleine zurecht, jedoch wirken oft auch soziale Kontakte korrigierend auf das angebotene Zugprogramm ein. Es geht um den Sonnen- und Sternkompass und um das Magnetfeld der Erde. Auch erlernte Landkarten nach optischen Landmarken und Gerüchen spielen eine Rolle. Manche Vogelarten erstellen sich eine regelrechte „Geruchslandschaft“.

In den Kapiteln „Energetik des Vogelzuges“ und „Physiologische und morphologische Anpassungen“ wird vor allem die Bedeutung der Fettspeicherung als Energie- und Wasserreserve analysiert; weiterhin die Rolle des Schlafs während der langen Zugstrecken. In weiteren Kapiteln werden die Qualitäten der Rastplätze auf den Zugwegen dargestellt sowie die Bedeutung großer geografischer Barrieren wie Alpen, Mittelmeer und Sahara. Außerdem erfährt der Leser, wie sich Zugvögel in ihren Winterquartieren zurechtfinden und wie sie mit Wind, Wetter und Klimawandel zurechtkommen. Den Abschluss bilden Vogelparasiten und Infektionskrankheiten, und es geht um den Einfluss, den der Vogelfang und die Jagd auf die Bestandsdichten der Vogelarten haben.

Etwas irritierend ist die nicht-übereinstimmende Nummerierung der Kapitel, die im Inhaltsverzeichnis mit 1 = „Vorwort“ und 2 = „Methoden der Vogelzugforschung“, im laufenden Text aber mit 1 = „Methoden der Vogelzugforschung“ beginnt, so dass im Text alle Kapitelnummern um 1 verschoben sind.

Werner Kunz, Düsseldorf

Das große Buch vom Vogelzug.

Eine umfassende Gesamtdarstellung. Franz Bairlein, Aula-Verlag, Wiesbaden, 2022, 368 S., 49,95 Euro, ISBN 978-3-8910-4825-2.

MIKROBIOLOGIE

Eindrucksvolle Biodiversität

Den größten Teil der Lebewesen bilden Mikroorganismen, die überall auf der Erde siedeln; dennoch werden sie häufig nur als Krankheitserreger wahrgenommen. Dabei sind die Leistungen der Mikroben im globalen Kohlenstoff-, Stickstoff- und Schwefelkreislauf fundamental, und bei der Umsetzung von minerali-

schen oder organischen Substanzen sowie der Synthese biotechnologischer Produkte sind sie wichtige Player. Das Büchlein „Winzig, zäh und zahlreich“ stellt die Welt der Bakterien und Archaea anhand von 50 ausgewählten Beispielen vor. Es beschreibt Rekordhalter (die größten, kleinsten, sauersten, alkalischsten, salzigsten, heißesten oder verrücktesten Vertreter) sowie nützliche Helfer oder Krankheitskeime. Außerdem erklärt es die Spannweite mikrobiellen Lebens und berichtet über exotische Ernährungsweisen. Viele der Informationen bringen uns zum Staunen oder sind erheiternd; das Buch ist sehr kurzweilig zu lesen. Jede der fünfzig Mikroben ist zudem mit einer kolorierten Zeichnung illustriert, die ihre jeweiligen Besonderheiten hervorhebt. Das Bild von *Halobacterium salinarum* ist allerdings nicht so passend, denn es stellt den Organismus als kurzes, eiförmiges Etwas dar. Dabei handelt es sich in der Realität um ein etwa 5 µm langes Stäbchen, das im Zellinnern gut sichtbare Gasvesikel zeigt. Aber das sind Feinheiten. Diesen Porträts der Mikroben geht eine allgemeine Einführung voraus, die von der Entdeckung der Bakterien über die Anfänge der Mikrobiologie bis hin zu den bahnbrechenden Untersuchungen von Carl Woese führt, der durch den Vergleich ribosomaler RNA-Sequenzen die Entwicklungsgeschichte der Bakterien revidierte und Archaea als 3. Domäne des Lebens definierte. Seine Ergebnisse schärfen unseren Blick auf den Ursprung des Lebens und befeuerten damals auch die Suche nach neuartigen Mikroben in extremen Habitaten. Zudem begründete Woese die moderne Mikroben-Ökologie, bei der Bakterien und Archaea über (Meta-)Genomanalysen im Habitat identifiziert werden. Viele der hier identifizierten Mikroben (>90%) sind im Labor (noch) nicht kultiviert.

Im Text haben sich leider kleinere Ungenauigkeiten eingeschlichen, die bei einer Neuauflage verbessert werden sollten. Die Begriffe „Archae-



bakterien“ und „Archaea“ werden z. B. nebeneinander verwendet, und es wird nicht erklärt, warum der Begriff „Archaeobakterien“ durch „Archaea“ ersetzt wurde. Manche Aussagen sind zu pauschal – z. B. sind Archaea nicht nur auf extreme Lebensräume spezialisiert, sondern kommen in großer Zahl auch bei mittleren Temperaturen im Boden, Wasser und sogar auf unserer Haut oder im Darm vor. Wieso anaerobe Keime 16 Prozent des Genoms über horizontalen Gentransfer aufgenommen haben sollen, aerobe Keime aber nur 8 Prozent, erschließt sich mir nicht. Die aeroben Haloarchaea haben z. B. > 1000 Gene und damit etwa 1/3 ihres Genoms von Bakterien übernommen; dies transferierte einen anaeroben Methanbildner als Vorläufer zu einem aeroben Archaeon. Auch teilen sich nicht alle Bakterien schon nach 20 min; dies hängt von ihrem Energiestoffwechsel, der Nahrungszufuhr sowie den optimalen physikalischen Bedingungen ab. Einige Mikroben haben sogar selbst unter optimalen Bedingungen Generationszeiten von Tagen oder Monaten. Dennoch ist das Buch sehr informativ, und wer sich über die Vielfalt des mikrobiellen Lebens kurzweilig und schnell informieren will, ist hier sehr gut aufgehoben.

Felicitas Pfeifer,

Technische Universität Darmstadt

Winzig, zäh und zahlreich.

Ein Bakterienatlas. Ludger Weiß, illustriert von Falk Nordmann, Matthes & Seitz, Berlin, 2020, 279 S., 28,00 Euro, ISBN 978-3-95757-842-6.

MIKROBIOLOGIE

Wir sind viele

In den letzten Jahrzehnten ist klar geworden, dass Mikroorganismen nicht nur Krankheitserreger sind, sondern durchaus viele nützliche

Eigenschaften haben. Inzwischen geht die Wissenschaft sogar noch einen gewaltigen Schritt weiter: Mikroben erfüllen in den meisten Lebewesen als Kommensalen oder Symbionten unverzichtbare Aufgaben, ohne die ein Überleben der Wirte auf Dauer nicht möglich wäre. Das geht so weit, dass alle vielzelligen Organismen – einschließlich des Menschen – dauerhaft mit einer spezifischen Mikrobengemeinschaft (= Mikrobiom) assoziiert sind. Daraus ergibt sich ein „Metaorganismus“ aus einem Wirt und seinem unverwechselbaren und unverzichtbaren Mikrobiom, der oft auch als Holobiont bezeichnet wird. Die Metaorganismus-Forschung hat in den letzten Jahren erstaunliche Zusammenhänge aufgedeckt, insbesondere in Bezug auf die Entstehung von nicht-übertragbaren Krankheiten, also solchen, die sich nicht auf einen Infektionserreger zurückführen lassen. Heute weiß man: Übergewicht, Typ-2-Diabetes, Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Krebs – überall haben Mikroben ein Wörtchen mitzureden.

Der in Kiel beheimatete DFG-Sonderforschungsbereich „Ursprung und Funktionieren von Metaorganismen“ widmet sich vielen dieser spannenden und komplexen Fragen. Ihr Leiter Thomas C. G. Bosch, Professor für Allgemeine Zoologie an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel und BiuZ-Autor, hat nun einige davon und – soweit möglich auch die Antworten darauf – in einem Sachbuch vorgestellt. Im ersten Teil des Buches schafft Bosch die Grundlagen zum Verständnis der aktuellen Mikrobiomforschung. Dazu beschreibt er wichtige Aufgaben eines Mikrobioms und skizziert, wie im Verlauf der Evolution Metaorganismen entstanden sein könnten. Dabei lernen wir, dass das Zusammenspiel von Wirten und Mikroben die Entwicklung von Eigenschaften geprägt hat, über die wir heute höhere Lebewesen definieren, darunter die Vielzelligkeit, das Immunsystem und sogar das Nervensystem.

Die sich daraus ergebenden Konsequenzen mögen vielleicht nicht für Jeden angenehm scheinen: etwa, dass Mikroben unser Verhalten beeinflussen können. Wichtige Ergebnisse dazu stammen aus Boschs eigenem Labor, in dem die Interaktion des Mikrobioms des Süßwasserpolyphen *Hydra* mit dessen Nervensystem erforscht wird (siehe hierzu „Wenn das Mikrobiom den Nerven trifft“, BiuZ 4/22). Der Einfluss von Mikroben auf die Neurogenese und viele weitere aktuelle Forschungsergebnisse werden im zweiten Teil des Buches präsentiert. Der letzte Teil wagt dann einen Blick in die Zukunft und reißt auch heute zum Teil noch utopisch klingende Fragestellungen an. Dabei ist das abgedeckte Themenspektrum breiter als nur die menschliche Gesundheit, denn auch in anderen Bereichen, beispielsweise in der Landwirtschaft, spielen (pflanzliche) Mikrobiome eine Rolle.

Die Forschung, die uns Bosch präsentiert, ist anspruchsvoll, doch es gelingt ihm durchweg, sie anschaulich und gut verständlich darzustellen. Die Überschriften der kurzen Zwischenkapitel führen den Leser sicher durch das Buch. Ein Kapitel zu den Auswirkungen der Corona-bedingten Kontaktbeschränkungen auf die Entwicklung individueller Mikrobiome und die daraus resultierenden Gesundheitsrisiken zeigt, dass das Buch hochaktuell ist. „Die Unentbehrlichen“ sind eine spannende und informative Lektüre für anspruchsvolle Leser, die verstehen wollen, wie Mikroben unser Leben und unsere Natur als menschliche Holobionten prägen.

Larissa Tetsch, Maisach

Die Unentbehrlichen – Mikroben, des Körpers verborgene Helfer.

Warum sind so viele Menschen krank? Antworten aus der Mikrobiomforschung. Thomas C. G. Bosch, Springer Spektrum, Berlin, 2022, 271 S., 19,99 Euro, ISBN 978-3-662-65082-0.



MIKROBEN VERSTEHEN

Schwimmstile der Mikroben

Aktiv schwimmende Mikroben haben für diesen Zweck im Laufe ihrer Entwicklung verschiedene Flagellenanordnungen erworben. So besitzen manche Arten ein polares Filament, andere bipolare oder verstreut polytriche Anordnungen, mitunter Kombinationen oder auch wechselnde Flagellierungen. Dabei stellen die Varianten der mikrobiellen Organellen nicht einfach nur morphologische Spielarten zur Fortbewegung dar, sondern sind Grundlage für Schwimmstile mit unterschiedlich funktionellen Eigenschaften.

In der Evolution entstanden mikrobielle Bewegungsformen mehrfach. Man kennt Fortbewegung durch Schwimmen, Schwärmen, Kriechen, Gleiten und strukturell und funktionell noch nicht vollständig aufgeklärte Systeme mit besonderen Organellen. Die bekanntesten und derzeit am besten untersuchten Strukturen sind Pili sowie die rotierenden Flagellen der Bakterien und Archaeen [1]. Hier gehen wir einigen Eigenschaften charakteristischer Flagellierungen nach, die Mikroben zum differenzierten Schwimmen in wässrigen Medien nutzen.

Je mehr Flagellen, desto besser?

Die meisten Studien sind wohl am Bewegungssystem von *Escherichia coli* durchgeführt worden. Das Bakterium besitzt eine Anzahl verstreut inserierter Flagellen (Abbildung 1), die bei Fortbewegung synchron gegen den Uhrzeigersinn rotieren (*counter clockwise*), dabei spiralige

Flagellenbündel formen und sich durch das für sie zähflüssige Wasser schrauben [2]. Die Schwimmphasen (*run*) werden – spontan oder bei Chemotaxis induziert [3] – durch Taumelphasen (*tumbling*) unterbrochen, in denen sich die Rotation (eines Teils) der Flagellen umkehrt (*clockwise*), wodurch sich das Flagellenbündel unkontrolliert auffächert und die Zelle zufällig neu ausrichtet.

Polytriche Flagellierung – das heißt mehrere Flagellen sind vorhanden – ist unter Mikroben verbreitet. Auch der Modellorganismus *Bacillus subtilis* (die Mikrobe des Jahres 2023, <https://vaam.de>) weist sie auf; bei ihr wurde die Wirkung der Flagellenzahl am Wildtyp mit 26 ± 6 Flagellen, einer Regulationsmutante (*DswrA*, 9 ± 2) und einem überexprimierenden Stamm (*swrA⁺⁺*, 41 ± 6) studiert [4]. Der Wildtyp ist der geringer flagellierte Mutante überlegen und bewegt sich rascher fort. Ein intuitiv eher nicht erwartetes Ergebnis aber ist, dass der Vielflagellenstamm keineswegs schneller schwimmt als der Wildtyp und auch noch etwas langsamer ist als die Zellen mit neun Filamenten. Es stellt sich heraus, dass *B. subtilis* unabhängig von der Flagellenzahl nicht nur ein, sondern meist drei Flagellenbündel ausbildet. Sie stehen bei dem Stamm *swrA⁺⁺* wegen der zahlreichen Filamente besonders weit vom Zellkörper ab, üben dadurch einen höheren Strömungswiderstand aus und bremsen die Fortbewegung. Der Geschwindigkeitsgewinn durch mehrere Flagellen macht sich beim Wildtyp noch bemerkbar, die Bündel liegen enger am Zellkörper an als bei noch höherer Flagellenzahl. Auch andere stäbchen-

förmige Mikroben, darunter *E. coli*, entwickeln beim Schwimmen mehr als ein Flagellenbündel [5].

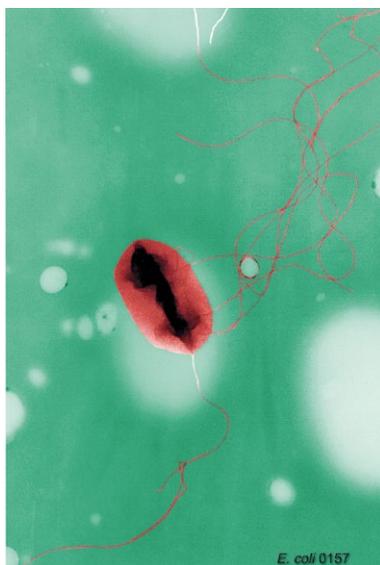
Ein weiterer Zusammenhang findet sich zwischen Flagellenzahl und der Zeit ungestörter Fortbewegung. Je weniger Flagellen *B. subtilis* besitzt, desto länger dauert es, bis die Zellen in den Taumelmodus verfallen und die Schwimmrichtung neu einstellen. Die Erklärung hierfür liegt im zufälligen Konformations- und damit Rotationswechsel der Flagellenmotoren [6]. Je mehr Flagellen beteiligt sind, desto wahrscheinlicher wird es, dass mindestens einer der Motoren umschaltet und die Synchronisation des betroffenen Bündels stört. Die Zelle verliert an Fahrt und stoppt vollständig, wenn nahezu gleichzeitig alle Bündel auseinanderfallen. Eine höhere Flagellenzahl bewirkt beim Taumeln auch einen bedeutenderen Richtungswechsel; der Änderungswinkel fällt größer aus.

Vergleichbar mit dem zufälligen Weg frei diffundierender Partikel in ruhenden Flüssigkeiten sinkt die resultierende Translokationsgeschwindigkeit der Mikroben über längere Strecken in einer gewählten Richtung. Dadurch vermögen die Zellen aber eine begrenzte Fläche kleinteiliger abzusuchen, während Bakterien mit weniger Flagellen länger eine grobe Richtung beibehalten und größere Areale überstreichen. Die Bewegungscharakteristik ist durch chemotaktisches Verhalten mit Anpassung der Run- und Taumelphasen modifizierbar [3] und folgt dabei verschiedenen physiologischen Anforderungen [7]. Der Wildtyp hat offenbar einen evolutionär angepassten Flagellensatz erworben, mit dem noch eine geeignete schnelle Fortbewegung möglich und die Erkundung und Besiedlung von Oberflächen durch Biofilmbildung begünstigt ist [4]. Gibt es andererseits Mikroben, die besonders zur Bewältigung größerer Strecken ausgerüstet sind?

Ein Filament zusätzlich

Man kennt schon länger Bakterien mit einem konstitutiv polaren Flagel-

ABB. 1 Zelle von *Escherichia coli* mit peritrich, also rund um die Zelle, angeordneten Flagellen in der Transmissionselektronenmikroskopie. Durch die Präparation wurde die Zelle leicht verformt. Bild: Centers for Disease Control and Prevention.



lum wie Vertreter der Gattung *Vibrio*, die optional auch peritrich (also rund um die Zelle) verteilte Filamente besitzen können. Letztere nützen, wie bei *B. subtilis*, zum Überstreichen kleinerer Areale und dadurch auch zur leichteren Anheftung auf Oberflächen. Das kollektive Verhalten von Massenansammlungen der Bakterien auf feuchten Substraten wird als Schwärmen bezeichnet. Das polare Organell dient dagegen der großräumigen Fortbewegung [8]. Die beiden Systeme werden in *Vibrio* genetisch getrennt reguliert und energetisch unterschiedlich versorgt. Ein H^+ -Gradient treibt die Motoren der peritrichen Flagellen an, das polare Flagellum wird dagegen durch einen Na^+ -Gradienten befeuert. Der Na^+ -Motor rotiert schneller als die H^+ -Antriebe; das polare Flagellenfilament ist zudem bei manchen Arten mit einer Proteinscheide umhüllt, somit rigider, und schiebt die Mikrobe nicht nur rascher, sondern auch effizienter voran. Mit unterschiedlichen Flagellensystemen ausgestattete Bakterien können so zwischen einem Erkundungs- und Reisemodus umschalten. Ein ähnliches Verhalten findet man unter anderem bei Arten von *Methanocaldococcus*. Diese Archaeen zählen – gemessen an ihrer Körpergröße – zu den schnellsten Organismen, wenn sie sich im freien Medium bewegen und hier rund zehnmal rascher als *E. coli* schwimmen. Geraten ihre zahlreichen Archaeen-spezifischen Flagellen jedoch in die Nähe von Oberflächen, beobachtet man einen langsamen Zickzackmodus [9]. Dies zeigt, dass auch die Interaktion mit Umweltfaktoren (hier Oberflächen) Einfluss auf den Schwimmstil nehmen, was ebenfalls für andere Mikroben zutrifft [10]. Wir hatten schon besondere Bewegungscharakteristika im Zusammenhang mit Strömungseffekten nahe von Oberflächen kennengelernt [2].

Nur polare Flagellen

Mikroben mit einem polaren Filament schwimmen, über einen längeren Zeitraum betrachtet, relativ gerichtet

„geradeaus“. Sie unterbrechen die reinen Run-Phasen zwar ebenfalls wie peritrich begeißelte Bakterien, ändern dabei ihre Ausrichtung aber meist nur wenig abweichend von 0° oder 180° , denn die zufällige Reorientierung durch das Aufdröseln eines Flagellenbündels entfällt hier. Die Brownsche Bewegung der Wassermoleküle bewirkt in der kurzen Zeit bei der typischen Größe von Mikroben keine nennenswerte Neuausrichtung elongierter Zellen [11]. Das phototrophe Bakterium *Rhodobacter sphaeroides* (vormals *Rhodospseudomonas*) hat zur variableren Reorientierung eine besondere Eigenschaft des polaren Flagellums entwickelt. Das Filament ändert seine Konformation bei Rotationsumkehr derart, dass neben der zur normalen Fortbewegung dienenden Spiralform eine rigide superspiralige und eine gestreckte Variante auftritt, die zusammen mit den Übergangsformen bei Rotation zu größeren Richtungsänderungen führen [11].

Rhizobium lupini, ein symbiotisches, N_2 -fixierendes Bakterium, bildet zwei bis drei polare Flagellen und vermag damit ebenfalls überwiegend nur zwischen 0° und 180° zu wechseln. Die Strategie zu mehr abweichenden Richtungsänderungen (vermehrt um 90°) besteht darin, mehr Filamente am Pol anzufügen und das Flagellenbündel zu vergrößern [11]. Magnetotaktische Bakterien wie *Magnetospirillum* besitzen meist Flagellenbündel an beiden Polen, die jeweils und wechselnd als Schub- und Zugsysteme arbeiten [2]. Auch hier ergibt sich im Mittel eine Hin- und Herbewegung ohne große Unregelmäßigkeiten. Diese sind bei diesen Organismen ohnehin kaum erwünscht und möglich, denn die Zellen richten sich durch ihre interne Magnetsomenkette am Erdmagnetfeld aus und streben diesem entlang in das sauerstoffarme Sediment von Gewässern [12].

Man kommt immer mehr weiteren physikalischen, physiologischen und umweltbedingten Effekten der

aktiven Bewegung von Mikroben auf die Spur, wobei der Einfluss von Chemotaxis und anderen Taxien eine kontrollierende oder modifizierende Rolle spielt [7]. Die Bewegungssysteme und – wie hier mit einigen Beispielen keineswegs erschöpfend angesprochen – die Schwimmstile von Mikroben sind erheblich vielgestaltiger, dynamisch komplexer und durch die Umwelt in größerem Maße beeinflusst, als man intuitiv vermutet. Was wir dabei leicht übersehen, ist die Tatsache, dass Mikroben bereits eine mehrere Milliarden Jahre währende Evolution und mannigfache Anpassungen und Spezialisierungen erfahren haben. Ihre vermeintlich einfachen Strukturen und Funktionalitäten haben sich auf verschiedenste ökologische Umgebungen und Wechselwirkungen eingerichtet, und sie spiegeln diese Variabilität wider. Die Bewegungsstrukturen und ihre Leistungen gehören nicht zuletzt dazu, und deren Vielfalt ist bei weitem noch nicht endgültig erforscht.

Literatur

- [1] N. Wadhwa, H. C. Berg (2022). Nat. Rev. Microbiol. 20, 161–173.
- [2] H. Engelhardt (2022). Biologie in unserer Zeit 52, 192–193.
- [3] A. Briegel (2022). Biologie in unserer Zeit 52, 72–79.
- [4] J. Najafi et al. (2018). Sci. Adv. 4, <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.aar6425>
- [5] J. Najafi et al. (2019). Soft Matter 15, 10029–10034.
- [6] Y. Sowa, R. M. Berry (2008). Quat. Rev. Biophys. 41, 103–132.
- [7] R. Colin et al. (2021). FEMS Microbiol. Rev. 45, <https://doi.org/10.1093/femsre/fuab038>
- [8] M. Homma et al. (2022). Microbiol. Immunol. 66, 75–95. <https://doi.org/10.1111/1348-0421.12954>
- [9] B. Herzog, R. Wirth (2012). Appl. Env. Microbiol. 78, 1670–1674. <https://doi.org/10.1128/AEM.06723-11>
- [10] S. Kudo et al. (2005). FEMS Microbiol. Lett. 242, 221–225.
- [11] J. G. Mitchell, K. Kogure (2006). FEMS Microbiol. Ecol. 55, 3–16.
- [12] M. Schüler, D. Schüler (2021). Biologie in unserer Zeit 51, 74–81.

Harald Engelhardt, Martinsried

AUSSERSCHULISCHE LERNOORTE

Inatura: Natur, Mensch und Technik in Vorarlberg erleben



Die inatura (Abbildung 1) – im Stadtgarten von Dornbirn gelegen – ist ein Museum der besonderen Art. Hier wird nicht nur gesammelt, geforscht und ausgestellt, hier wird Wissen um Natur, Mensch und Technik und deren Vernetzung durch Mitmachen begreifbar. So vielfältig das Themenspektrum inhaltlich ist, so vielseitig sind auch die Aufgaben der mit dem Österreichischen Umweltzeichen ausgezeichneten Einrichtung.



ABB. 1 Die inatura befindet sich in einem historischen Industriegebäude inmitten des Stadtgartens von Dornbirn. Foto: Dietmar Walser.

Die Dauerausstellung (Abbildung 2) bietet kleinen und großen Besucher/-innen eine Mitmach-Reise durch typische Lebensräume wie Wald, Wiese, Gebirge und Gewässer und durch den menschlichen Körper. Dabei stehen das Ausprobieren und forschende Begreifen von Zusammenhängen im Vordergrund.

Durch integrierte Terrarien und Aquarien können die Besucher/-innen sogar lebendige Tiere im Museum beobachten.

Beherbergt ist die Ausstellung der inatura in einem historischen Industriegebäude (Abbildung 1), dessen Geschichte und Architektur eng mit der Ausstellung verknüpft

sind. Diese Verbindung zwischen Natur, Kultur und Technik wird dabei an speziellen Science-Stationen erlebbar gemacht.

Mit einer kostenlosen App wird das eigene Smartphone zum individuellen Audio-Guide während des Besuchs.

Sonderausstellungen und Veranstaltungen

Regelmäßig zeigt die inatura auf der Galerie wechselnde Ausstellungen. Aktuell zu Gast ist die Mitmach-Ausstellung „Tüftelgenies“ des Kindermuseums FRida & freD aus Graz, in der sich alles rund um geniale Erfindungen und ihre Erfinder/-innen dreht (Abbildung 3). Was war Zufall, was Geistesblitz, was jahrelange Tüftelei – hier können Kinder ab 8 Jahren und ihre Familien die spannenden Geschichten entdecken, die hinter wesentlichen und auch skurrilen Erfindungen stecken und erfahren, dass bereits Kinder richtige Erfinder sein können.

Für Zielgruppen aller Altersstufen bietet die inatura ein abwechslungsreiches Programmangebot (Abbildung 4). Ob museumspädagogische oder naturpädagogische Veranstaltungen für Schulklassen aller Schulformen und Kindergartengruppen, ob Führungen für Erwachsene, Vorträge, Exkursionen, Kurse oder Konferenzen, Science-Cafés oder das beliebte Pub-Quiz – auch hier zieht das Themenspektrum Natur, Mensch und Technik rund ums Jahr eine Vielzahl an Besucher/-innen von nah und fern an.

ABB. 2 Impressionen der Dauerausstellung. Fotos: a, c) Dietmar Walser, b) Petra Rainer.





ABB. 3 Mitmach-Ausstellung „Tüftelgenies“. Foto: FRida & freD, Hannes Loske.

Sammlung und Forschung

Als naturwissenschaftliches Dokumentationszentrum der Naturvielfalt Vorarlbergs steht die inatura mit umfangreichen Sammlungsbeständen (Abbildung 5) und Beobachtungsdaten Forschenden, Gutachtern und Sachverständigen offen. Naturkundlich Interessierten ermöglicht sie die aktive Beteiligung an Forschung durch *Citizen-Science*-Projekte.

Die Fachberatung bietet darüber hinaus Expertenrat zur Artbestimmung heimischer Pflanzen, Tiere und Pilze, zum Umgang mit z. B. Giftpflanzen, Gifttieren oder auch Schädlingen und gibt Auskünfte zu Gesteinen, Mineralien und Fossilien und vielem mehr.

Genuss und Kunst

Das Café-Restaurant bietet drinnen und im Sommer auch draußen mit Blick auf das historische Gebäudeensemble und den Stadtgarten Genuss in besonderem Ambiente. Der Kunstraum Dornbirn im historischen Gebäude gegenüber präsentiert und vermittelt zeitgenössische Kunst.

Lust bekommen auf einen Besuch? Alle Infos zu Anreise, Öffnungszeiten, Angebot und mehr finden Sie unter www.inatura.at.

*Ines Linke,
inatura Museumspädagogik*



ABB. 4 Zum Angebot der inatura gehören Exkursionen (a) und Workshops (b). a) inatura-Archiv, b) Ines Linke.



ABB. 5 Die umfangreichen Sammlungsbestände stehen sowohl Forschenden als auch naturkundlich Interessierten offen. Fotos: a) Petra Rainer, b) Sabrina Perle-Alge.

PARTNER DES MENSCHEN

Hanf: Eine alte Kulturpflanze mit dem Versprechen einer grünen Zukunft

Die Geschichte der ersten Hanfernte durch den Menschen reicht bis vor etwa 8500 Jahre zurück, während der aktive Anbau von Hanf etwa 6000 Jahre alt ist. In den letzten Jahrzehnten sind viele vergessene Kulturpflanzen aufgrund ihres bedeutenden Potenzials in neuem Licht erstrahlt und versprechen einen wichtigen Beitrag zur Bewältigung globaler Herausforderungen wie Ernährungssicherheit, Klimawandel, Verlust der biologischen Vielfalt etc. Kaum eine Agrarpflanze hat so viel Begeisterung ausgelöst wie der Industriehanf.



ABB. 1 Männliche Hanfpflanze auf dem Versuchsfeld der Universität Hohenheim. Foto: F. Khajehei, L. Burgel.

Obwohl Hanf (*Cannabis sativa* L., Abbildung 1) für Tausende von Jahren die Nutzpflanze Nummer eins der Menschheit war, verschwand sie aufgrund des in Deutschland und vielen anderen europäischen Ländern über Jahrzehnte herrschenden Anbauverbots Mitte des 20. Jahrhunderts fast vollständig von der Bildfläche. Mittlerweile rücken die legalen Einsatzmöglichkeiten des Hanfs in einer

biobasierten Wirtschaft aufgrund ihres hohen Potenzials in unterschiedlichen Industriezweigen mit bemerkenswerter Begeisterung mehr und mehr in den Fokus. Schließlich kann die lange Geschichte der Menschen mit Hanf als Nahrungsmittel, Medizin, Kleidung und technisches Material nicht vergessen und gelehrt werden.

Grundsätzlich bietet die industrielle Nutzung von Hanf konkrete und nachhaltige Alternativen für wertvolle Lebensmittel (Öle, Proteine, Mehle) und umweltfreundliche Non-Food-Produkte – von Textilien, Papier und Seile über Biokunststoffe bis hin zu Baumaterialien und Kosmetika. Zusätzlich wird Hanf ebenfalls in langer Tradition als Heilmittel gegen z. B. Schmerzen, Depressionen, Epilepsie etc. medizinisch genutzt. Dabei stehen die in den Blüten und Blättern enthaltenen Phytocannabinoide und Terpene, welche für den charakteristischen Geruch der Hanfpflanze verantwortlich sind, im Zentrum. Basierend auf den Aussagen des Hanfverbandes ist es möglich, mehr als 50.000 Produkte aus Hanf herzustellen. Folglich ist Industriehanf ein Paradebeispiel für eine multifunktionale Mehrzweckpflanze. Sein hohes Potenzial für die Verwendung in verschiedenen Branchen (z. B. Textil, Papier, Baustoffe, Bioenergie, Biokunststoffe, Arzneimittel, Pflanzenöl, tierische Produkte, Kosmetika usw.) sowie seine

Vielseitigkeit und die Möglichkeit der 100-prozentigen Wiederverwertung machen ihn nicht nur zu einer geeigneten Kulturpflanze für die zirkuläre Bioökonomie, sondern auch für die Verfolgung der Klimaziele, die von der Regierung im Rahmen des europäischen Green Deals 2019 beschlossen wurden.

Dieser Artikel gibt einen kurzen Überblick über die Vergangenheit von Hanf und seine zukünftigen Anwendungen und Potenziale in Europa und insbesondere in Deutschland.

Kurze Geschichte des Hanfes als Industriepflanze

Die Hanfpflanze (*Cannabis sativa* L.) ist eine einjährige, krautige Pflanze aus der Gattung der Hanfgewächse (Cannabaceae). Aufgrund ihrer Anpassungsfähigkeit wächst sie weitverbreitet vom Äquator bis zum Polarkreis. Obwohl die antiken Dokumente, die sich auf den Anbau von Hanf in Europa beziehen, seit dem 15. Jahrhundert spärlich sind, kam Hanf laut Herodot (484 v. Chr.) zum ersten Mal mit der Migration der Skythen aus Asien im Jahr 1500 v. Chr. nach Europa, wobei die Teutonen eine wichtige Rolle bei der Verbreitung des Hanfanbaus in ganz Europa spielten [1]. Im 15. Jahrhundert wuchs die Bedeutung von *C. sativa* vor allem als Faserpflanze für die Herstellung von Textilien und Seilen. Neben der Verwendung von Hanf als Faserpflanze ist auch seine Verwendung als Heilpflanze sowie als rituelle, berauschende Droge zu berücksichtigen. Angesichts des bemerkenswerten Nährwerts der Hanfsamen (Abbildung 2) wurden sie in Europa als Nebenprodukt der Hanfproduktion zur Faserherstellung betrachtet; die Hinweise auf ihre Verwendung als Nahrungsmittel in der Geschichte sind gering [2]. Im 20. Jahrhundert ging der Anbau von Hanf als Faserpflanze aufgrund der zunehmenden Produktion und Verbreitung von Kunstfasern sowie der steigenden

Arbeitskosten kontinuierlich zurück. Die Cannabis-Prohibition der USA führte ab den 1940er Jahren in vielen Ländern der Welt zu Anbauverboten. Dies brachte den Hanfanbau, unabhängig davon, ob es sich um Faser- oder Drogenhanf handelte, fast zum Erliegen. Darüber hinaus verabschiedeten die Vereinten Nationen (UN) 1961 das Übereinkommen über Suchtstoffe, mit dem ein universelles System zur Beschränkung des Anbaus, der Herstellung, des Vertriebs, des Handels, des Besitzes und der Verwendung von Suchtstoffen auf medizinische und wissenschaftliche Zwecke eingeführt wurde, wobei der Schwerpunkt auf pflanzlichen Stoffen, darunter *C. sativa*, lag.

Mit dem Fortschritt und dem Erwerb ausführlicherer Kenntnisse über die biochemischen und biomolekularen Eigenschaften der Hanfpflanze wurde deutlich, dass der Genfluss eine Unterscheidung zwischen dem Faser- und Drogenhanfanbau ermöglicht. Diese Erkenntnis führte dazu, dass Faser- oder Industriehanf und Drogenhanf getrennt voneinander betrachtet wurden [2]. Folglich wurde der Anbau von Industriehanf in den letzten zwei Jahrzehnten aufgrund seines hohen Potenzials für verschiedene Industriezweige wieder eingeführt (Abbildung 3). Allerdings ist auch heute der Industriehanf aufgrund seiner Geschichte noch mit einem prohibitiven Status konfrontiert, was den Anbau, die Anbaufläche und final auch die Nutzung limitiert. Obwohl der landwirtschaftliche Hanfanbau seit seiner Wiedergeburt Anfang der 1990er Jahre kontinuierlich zunimmt, liegt die Produktion in Europa weit hinter der Nachfrage zurück.

Nutzhanf in verschiedenen Industriebereichen

Speziell die Nutzung der Hanfstängel und -schäben für die Gewinnung von Lignin und die daraus resultierende Neuentwicklung von

Bio-Kunststoffen eröffnet Möglichkeiten für technisch anspruchsvolle Anwendungen, welche bislang kaum Beachtung fand. Diese Kunststoffalternative ist umweltfreundlich, schadstoffarm und biologisch abbaubar. Hanfschäben sind gleichmäßig gebrochene, holzähnliche Teilchen, die als Neben- oder Koppelprodukt bei der Fasererzeugung anfallen und bisher vorwiegend als Tiereinstreu Verwendung finden. Die zusätzliche Gewinnung von Plattformchemikalien aus Reststoffen wie Schäben und Kurzfasern stellt ebenfalls ein mögliches innovatives Verfahren für die Chemieindustrie dar, um Industrie- und Verarbeitungsstandorte kosteneffektiv mit biobasierten Ausgangsprodukten zu versorgen und gleichzeitig eine echte Alternative zu erdölbasierten Ressourcen zu schaffen.

Obwohl die Märkte für Hanffasern und -schäben in Europa zwar etabliert und weitestgehend stabil sind, ist im Moment aufgrund der hohen Konkurrenzsituation mit preisgünstigeren Rohstoffen kaum Marktwachstum zu erwarten [3]. Dies wäre nur durch die Erschließung innovativer neuer Verwertungsrichtungen sowie der Unterstützung seitens der Politik durch eine gezielte Förderung von Materialien aus nachhaltigen Rohstoffquellen zu realisieren. Darüber hinaus muss die Weiterverarbeitung, d. h. das Pressen sowie der Transport des lignocellulosehaltigen Hanfmaterials zu den verfügbaren Aufschlussanlagen gewährleistet werden.

Das in den Hanfstängeln enthaltene Lignin, das als eine Art Klebstoff fungiert, welcher die Cellulosefasern zusammenhält, fand bislang kaum industrielle Verwertung. Ein Grund dafür ist, dass es sich bei Lignin um sehr stabile Moleküle handelt, die schwer aufgespalten werden können. Gleichzeitig ist es jedoch das einzige natürliche Makromolekül, das eine Grundstruktur aus aromatischen Ringen besitzt und sich deshalb als Rohstoffquelle



ABB. 2 Samen, Blätter und Blüten von Nutzhanf. Foto: F. Khajehei.

für sogenannte Bio-Aromate sehr gut anbietet. Letztere sind die Grundlage vieler Produkte wie Lösungsmitteln, Verpackungen oder Medikamente. Dieser natürlich nachwachsende Rohstoff ist als bislang ungenutztes Abfallprodukt im Hanfanbau verfügbar und findet keine Verwertung als Lebensmittel oder im Futtermittelbereich.

Speziell Hanfsamen, das Nebenprodukt aus der Fasernutzung für die Bau- und Werkstoffindustrie, sind reich an Fetten (25–35%, meist ungesättigte Fettsäuren), Proteinen (20–25%), Ballaststoffen (10–15%), Vitaminen und Mineralien [4]. Hanfsamenöl enthält bis zu 80 Prozent mehrfach ungesättigte Fettsäuren, darunter auch die Omega-6-Fettsäure Linolsäure und die Omega-3-Fettsäure alpha-Linolensäure. Das Verhältnis von omega-6 zu omega-3 beträgt in der Regel 2:1 oder 3:1 und ist somit von hoher ernährungsphysiologischer Wertigkeit [4]. Das pflanzliche Protein im Hanf besitzt zudem eine hohe biologische Wertigkeit, die auf zwei Proteintypen zurückgeführt wird. Hanfprotein besteht zu 65 Prozent aus dem Globulin Edestin. Globuline sind in unserem Körper die am dritthäufigsten vorkommende Proteingruppe. Sie sind u. a. wichtig für das Immunsystem, die Blutbil-

dung und den Nährstofftransport zu den Zellen. Darüber hinaus sind 35 Prozent Albumine enthalten, die als hochwertiges pflanzliches Protein sehr gut verdaulich sind und eine antioxidative Wirkung aufweisen. Aufgrund des anerkannten Nährwerts von Hanf haben Lebensmittelhersteller eine breite Palette von Einzelhandelsprodukten aus Hanf entwickelt wie Nüsse, Öl, Proteinmehl, Energieriegel, Müsli, Hanfnussbutter, Nudeln und Eiscreme. In jüngster Zeit liegt der Schwerpunkt auf Hanfprotein, das nicht nur als Nahrungszusatz, sondern auch als funktionelle Zutat in formulierten Lebensmitteln verwendet wird, um die Qualitätseigenschaften des Produkts zu verbessern. Die geringe Allergenität von Hanfprotein im Vergleich zu den meisten anderen pflanzlichen Proteinen erlaubt auch den Ersatz tieri-

scher oder pflanzlicher Proteine in einigen Lebensmitteln. Hanfproteinprodukte lassen sich in fünf Hauptkategorien einteilen: Backwaren, extrudierte Produkte, Getränke, Milchprodukte und Säuglingsnahrung sowie verarbeitete Fleischprodukte. Die Verwendung von Hanfproteinprodukten als Alternative zu den üblicherweise verwendeten Casein-, Molken-, Weizen- und Sojaproteinen ist im Kommen. Der Schlüssel, um Hanfprotein auf dem Markt für Pflanzenproteine wettbewerbsfähig zu halten, liegt darin, seinen Nährwert, seine Funktionalität, seine Sicherheit und seine sensorischen Eigenschaften zu gewährleisten [5].

Darüber hinaus können Abfallprodukte wie Hanfblätter und Dreschrückstände, die bisher nicht in nennenswertem Umfang verwertet wurden, ebenfalls zur Gewinnung nicht psychoaktiver Cannabinoide wie Cannabidiol (CBD, Abbildung 4) und Cannabigerol (CBG) als Hauptbestandteile verwendet werden. CBD wird hauptsächlich für pharmazeutische und medizinische Zwecke verwendet. Als starkes antioxidatives und entzündungshemmendes Mittel kann CBD bei akuten und chronischen Fällen von Neurodegeneration neuroprotektiv wirken und zur Behandlung als Antiepileptikum eingesetzt werden [6].

Insgesamt betrachtet ist Hanf eine heimische Faserpflanze, die pflanzenbaulich geringe Ansprüche stellt [1]. Darüber hinaus eignet sich Nutzhanf hervorragend als Zwischenfrucht und kann dabei helfen, die Agrarbioidiversität zu fördern [7]. Dabei bindet Nutzhanf auf einer Fläche von einem Hektar rund 13,4 Tonnen CO₂ und ist damit ähnlich effektiv wie tropischer Regenwald.

Die Zukunft von Hanf in Deutschland

Aufgrund des in Deutschland und vielen anderen europäischen Ländern über Jahrzehnte herrschenden

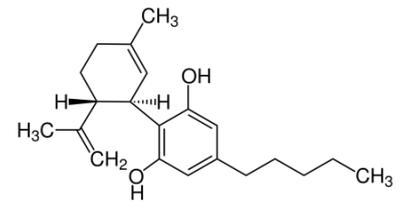


ABB. 4 Strukturformel Cannabidiol (CBD). ABB. gemeinfrei unter <https://de.wikipedia.org/wiki/Cannabidiol>

Anbauverbots wurde das volle Potenzial der Hanfpflanze kaum genutzt und erforscht. Die Zulassung des landwirtschaftlichen Anbaus von Industriedhanf 1996 in Deutschland rehabilitierte die Hanfpflanze, nachdem sie fast vollständig Mitte des 20. Jahrhunderts von der Bildfläche verschwunden war. Seit 2013 steigt die Anbaufläche in Deutschland kontinuierlich an und erreichte im Jahr 2021 6.444 ha. Im Vergleich zum Vorjahr entspricht dies einem Zuwachs um weitere 172 Betriebe und 1.082 ha. Dies ist unter anderem auf den „Superfood-Trend“ in der Nahrungsmittelindustrie zurückzuführen, bei dem in den letzten Jahren eine gesteigerte Nachfrage nach Produkten aus Hanföl und Hanfsamen auszumachen ist. Weiter spiegelt es das wiedererwachte Interesse am Nutzhanfanbau, gerade unter schwierigen Standortbedingungen, wider. Von Seiten der Landwirte steigt das Interesse nach robusten wirtschaftlichen Alternativkulturen, die auch auf Böden mit geringer Fruchtbarkeit angebaut werden können und ein hohes Potenzial für eine regionale Wertschöpfung durch lokale Verarbeitung bieten. Der Nutzhanfanbau erlebt, nicht zuletzt durch die breitgefächerten Nutzungsmöglichkeiten, eine Renaissance und eröffnet für landwirtschaftliche Betriebe neue Perspektiven.

Experten sagen, dass trotz des vielseitigen Nutzungspotenzials der Hanfanbau die Landwirte vor große Herausforderungen stellt. Gesetzliche Restriktionen, fehlende



ABB. 3 Anbau von Nutzhanf im Versuchsfeld der Universität Hohenheim. Foto: L. Burgel.

Sortenverfügbarkeit und -empfehlungen sowie eine fehlende industrielle Infrastruktur für die Verarbeitung gestalten den regionalen Hanfanbau als schwierig. Die Erschließung neuer innovativer Verwertungsrichtungen durch Mehrfach- und Kaskadennutzung sowie eine gezielte Förderung von Materialien aus nachhaltigen Rohstoffquellen kann den regionalen Hanfanbau in der Agrar- und Industriewirtschaft marktfähiger positionieren.

Im Detail bedeutet dies, dass der Anbau von Nutzhanf als förderungswürdige Alternative im Hinblick auf Biodiversität, Ressourcenschonung und Umweltverträglichkeit im Ackerbau anerkannt, die Züchtung von Nutzhanfsorten in Deutschland vereinfacht und eine Reform des nationalen Betäubungsmittelstrafrechts (BtMG) sowie eine Vereinheitlichung der Regeln auf europäischer Ebene angestrebt werden müssen. Dadurch kann eine Intensivierung der Hanfverwen-

dung speziell in Nutzungskaskaden und eine effiziente Erzeugung und Bereitstellung von regionaler Biomasse unter den Gesichtspunkten der Nachhaltigkeit, des Arten- und Klimaschutzes erreicht werden, woraus langfristig neue Anforderungen, Bedürfnisse und Märkte im Hanfsektor entstehen. Dabei zielt ein Ausbau des Hanfsektors durch vielfältige Wertschöpfungsketten auf ein langfristiges Wachstum und die Schaffung qualifizierter Arbeitsplätze insbesondere in ländlichen Regionen ab. Dabei ist der Industriehanf nachwachsender Rohstoff und Lebensmittel in einem, und es entsteht durch eine Ausdehnung des regionalen Hanfanbaus kein Teller-Tank-Konflikt.

Literatur

- [1] S. Amaducci et al. (2015). Key cultivation techniques for hemp in Europe and China. *Ind. Crops Prod.*, 68, 2–16, <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.06.041>
- [2] R. E. Schultes (1973). Man and marihuana. *Natural History*, 82(7), 59.
- [3] Nova-Institut. 2016. Wachsende Märkte für Hanflebensmittel und Pharmazeutika-Milliarden-Umsätze in Europa möglich. Pressemitteilung vom 25. April 2016, Kontaktperson: M. Carus.
- [4] J. C. Callaway (2004). Hempseed as a nutritional resource: An overview. *Euphytica*, 140, 65–72.
- [5] Q. Wang, Y. L. Xiong (2019). Processing, nutrition, and functionality of hempseed protein: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18(4), 936–952.
- [6] O. Devinsky et al. (2014). Cannabidiol: pharmacology and potential therapeutic role in epilepsy and other neuropsychiatric disorders. *Epilepsia*, 55(6), 791–802.
- [7] N. R. Flicker et al. (2020). The bee community of *Cannabis sativa* and corresponding effects of landscape composition environmental entomology, 49(1), 197–202, <https://doi.org/10.1093/ee/nvz141>

*Dr. Lisa Burgel,
Dr. Forough Khajebai und
apl. Prof. Dr. Simone Graeff-
Hönniger, Universität Hohenheim,
AG Anbausysteme und Modellierung*

VORTRAGSREIHE: 250 JAHRE BÄRTIERCHEN

Alles begann mit Johann August Ephraim Goeze, einem evangelischen Pfarrer in Quedlinburg. In seinen Ruhestunden erfrischte er sich mit der mikroskopischen Untersuchung des grenzenlosen Reichtums der Natur, die er im Wasser fand. Dabei entdeckte und beschrieb er erstmals ein kleines Tier, das einem kleinen Bären ähnlich sah. Deshalb gab er diesen Tieren 1773 den Namen „kleiner Wasserbär“.

2023 feiern wir den 250. Jahrestag der Entdeckung dieser faszinierenden Tiere. Passend dazu hat der Stuttgarter Bärtierchenforscher Ralph O. Schill mit Kolleg/-innen eine Bärtierchen-Online-Vortragsreihe ins Leben gerufen. Zwölf führende internationale Wissenschaftler/-innen aus Dänemark, Deutschland, Italien, Japan, Polen, Schweden und den USA werden uns einen Einblick in das spannende Leben der Bärtierchen geben. In jedem Monat des Jubiläumjahres 2023 bewegen wir uns zwischen dem 18. Jahrhundert und der Gegenwart – von der ersten Skizze, die Johann August Ephraim Goeze 1773 zeichnete, bis hin zu den modernsten Forschungsmethoden in der Bärtierchenforschung.

An der Vortragsreihe kann jeder teilnehmen – egal, ob als Schüler/-in, Student/-in oder Wissenschaftler/-n oder einfach nur aus Interesse. Weitere Informationen gibt es unter www.tardigrade-online.org oder info@tardigrade-online.org.



Foto: Ralph O. Schill



MANAGEMENT-FALLSTRICKE, TEIL 15

Der Decoy-Effekt – oder wie Sie ein Schnäppchen erwerben, das gar keines ist.

Fehlentscheidungen sind menschlich. Wir aber lassen in unserer Serie „Management-Fallstricke“ Tiere zu Wort kommen. In Form von Fabeln vermittelt unsere Autorin Andrea Hauk in anschaulicher Weise typische Denkfehler, die auf allen Managementebenen zu Hause sind. Vielleicht sind Sie ja selbst auch schon einmal in die eine oder andere Falle getappt?

Wie jeden Frühling trafen sich der bunte Gockel Gustav und Hoppler Hans, der Präsident der Hasenverbände, um die Preise und Lieferbedingungen für das kommende Osterfest auszuhandeln. Für Hoppler Hans war die Verhandlung nie eine große Sache, denn seit Generationen färbten die Hasen die Eier selbst, da dies einfach billiger war. So bestellte er meist weiße Eier sowie genügend bunte Farbe, und seine Hasen und Häsinnen im Stall erledigten in mühevoller Kleinarbeit den Rest. Gockel Gustav hingegen ärgerte die Sparmentalität der Hasen sehr, denn sie hinderte ihn daran, sein großes Eierbusiness endlich auf ein neues Level zu heben.

Üblicherweise hatte Gockel Gustav zwei Angebote: Angebot 1 – eine Ladung weißer Eier im Korb für 6 Taler und Angebot 2 – die glei-

che Menge bereits fix und fertig gefärbter Eier im Geschenkset für 12 Taler. Hoppler Hans entschied sich bisher jedes Jahr für Angebot 1. Logisch. Es war auch eindeutig das bessere Angebot. Wie Hoppler Hans taten es die meisten anderen Kunden. 70 Prozent aller Kunden kauften die weißen Eier im Korb für 6 Taler, und nur 30 Prozent entschieden sich für das teure Angebot der bereits gefärbten Eier für 12 Taler.

Die Investition seines Färbeautomats mitsamt der gekauften Farbe beurteilte Gockel Gustav bisher als Reinfall. Dieses Jahr sollte aber alles anders werden. Gockel Gustav hatte extra für das jährliche Treffen eine ansprechende Hochglanzbroschüre vorbereitet, die er mit Hoppler Hans durchgehen wollte. Die Überzeugung von Hoppler Hans war für ihn außerordentlich wichtig, denn wenn der Präsident der Hasenverbände ihn nicht nur als reinen Eierlieferanten sah, sondern als wertvollen Partner einer Rundumlösung, liebäugelten sicher die Verhandlungspartner der anderen Hasenverbände auch damit, die fertig bemalten Eier bei ihm zu bestellen.

In diesem Jahr unterbreitete Gockel Gustav daher Hans und allen Hasenverbänden drei anstatt zwei Angebote. Die ersten beiden Angebote waren identisch zu denen, die er immer im Programm hatte. Hinzu fügte er ein weiteres Angebot 3: Eier im Korb plus drei Dekorfarben nach Wahl für 12 Taler. Sorgfältig schrieb er die 3 Angebote auf die große Tafel vor seinem Hühnerstall.

(1) Weiße Eier – 6 Taler
 (2) Gefärbte bunte Eier – 12 Taler
 (3) Weiße Eier & drei Dekorfarben nach Wahl – 12 Taler

Hoppler Hans überflog die Auflistung. Dann hielt er inne und las sich die drei Angebote nochmals genau durch. Nach einer Weile schüttelte er erstaunt den Kopf und ordnete seine Schnurrhaare. „Die Aufbringung der Farbe machen wir kostenlos“, fügte Gockel Gustav hinzu. „Ja, das sehe ich gerade“, wunderte sich Hase Hans und rechnete heimlich nach. Er konnte drehen und wenden, wie er es wollte. Angebot 2 schien einfach das beste Angebot zu sein. Da er ein schlauer Verhandlungspartner war, war ihm natürlich sofort klar, dass der Hahn mit Angebot 3 mächtig in die eigene Tasche wirtschaften würde. Auf diese Nummer fiel er natürlich nicht hinein. Es lag daher auf der Hand, Angebot 2 anzunehmen. Leise grunzte er in sich hinein. Dass der Hahn aber auch so dumm sein würde. Jetzt bekämen die Hasen gefärbte Eier und mussten nicht einmal einen Handstrich dazu tun. Er klopfte vor Freude mit den Vorderpfoten auf den Boden und besiegelte damit den Vertrag.

Wie Hoppler Hans entschieden sich noch mehrere Kunden. Das zusätzliche Angebot Nummer 3 kauften NULL Prozent aller Kunden. Dafür kauften jedoch 85 Prozent der Kunden Angebot 2, die bereits fertig gefärbten Eier für 12 Taler. Gockel Gustav bekam sein Grinsen nicht mehr aus dem Gesicht, als er nach Abschluss aller Verträge seinen Hühnerstall aufschloss. „Mädels“, sagte er erfreut, „ab heute beginnt eine neue Ära!“. Er lief zum Färbeautomat und schaltete ihn an. Applaudierendes Gegacker und Flügelschlagen begleitete seine Schritte.

Und die Moral von der Geschichte: Ein Schnäppchen nicht immer ein gutes Angebot ist.

Ihre Andrea Hauk,
 andreahauk@gmx.de

FAKTENBOX

Als Manager treffen Sie viele Entscheidungen, auch Kaufentscheidungen. Angenommen, Sie verhandeln gerade mit einem wichtigen Entwicklungspartner. Vielleicht wollen Sie einen Teil Ihres Produktes von ihm entwickeln lassen und brauchen hier ein Angebot. Ihr Unterbewusstsein spielt bei diesen Entscheidungen eine sehr große Rolle. Als guter Entscheider vergleichen Sie natürlich die verschiedenen Optionen, um anschließend das Beste auszuwählen. Sind Sie aber sicher, dass Sie dabei nicht auf den Decoy-Effekt hereingefallen sind? Das englische Wort decoy bedeutet so viel wie „Köder“ oder auch „Lockvogel“. Der Verkäufer fügt hier ein sogenanntes Köderprodukt zu, welches dem eigentlichen Produkt in allen Belangen unterlegen ist, oder viel zu teuer scheint. Natürlich entscheiden Sie sich nicht dafür! Das eigentliche Produkt scheint nun wie ein Schnäppchen. Klar, dass wir uns mit Vorliebe immer für das Schnäppchen entscheiden – auch wenn es nüchtern betrachtet eigentlich gar keines ist.



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!

