



## Jahrbuch 2024

Herausgegeben vom  
Vorstand der Marburger Geographischen Gesellschaft e. V.  
in Verbindung mit dem Dekanat des Fachbereichs Geographie  
der Philipps-Universität Marburg

Sonderdruck

Der Inhalt dieses Sonderdrucks oder Teile davon dürfen nicht ohne die schriftliche Genehmigung der Herausgeber vervielfältigt, in Datenbanken gespeichert oder in irgendeiner Form übertragen werden. Sie dürfen ausschließlich zum persönlichen Gebrauch ausgedruckt oder gespeichert werden.

Marburg/Lahn 2025

# Kurzfassungen der Gastvorträge

**BÜDEL, BURKHARD**

## Expeditionen – Forschungsreisen zu verborgenem Leben

Neben den auffälligen Blütenpflanzen, die das Landschaftsbild von den tropischen bis zu den borealen Klimaregionen der Erde prägen, gibt es in allen Lebensräumen sehr viele kleine und kleinste photosynthetische Lebewesen. Wie die Gefäßpflanzen (Farne und Blütenpflanzen) auch, nutzen diese als „neue Kryptogamen“ zusammengefassten Organismengruppen wie die Cyanobakterien, Algen, Flechten und Moose (BÜDEL et al. 2024) Licht, Wasser (H<sub>2</sub>O) und Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>), um daraus Zucker (Glucose) zu produzieren. Energielieferant ist dabei das Licht der Sonne. Bei diesem Prozess entsteht aus der Wasserspaltung molekularer Sauerstoff (O<sub>2</sub>), der an die Atmosphäre abgegeben wird. Die Fähigkeit zur Photosynthese wurde durch die endosymbiotische Aufnahme (in das Innere einer Zelle) eines Cyanobakteriums (Blualge) vor ca. 3,2 bis 3,5 Milliarden Jahren durch einen Wirtsorganismus erworben und fest in allen Abkömmlingen des Wirtes etabliert. Damit war die Grundlage für die Evolution aller grünen Pflanzen und der „neuen Kryptogamen“ gelegt.

Der Planet Erde änderte sich durch die Freisetzung von molekularem Sauerstoff grundlegend. Was folgte war eine rasante Entwicklung neuartiger Lebensformen, der Gefäßpflanzen, Algen, Moose und Flechten sowie, damit verbunden, auch radikal veränderte Landschaften in den tropischen, subtropischen und klimatisch gemäßigten Klimaregionen der Erde. Bisher wurden ca. 364.000 (von geschätzt ca. 435.100) Gefäßpflanzenarten und 86.400 (von geschätzt ca. 288.600) sogenannte „neue Kryptogamen“ beschrieben.

Tropische Zone	Immergrüner tropischer Regenwald (ganzjährig hohe Niederschläge, Bäume)
	Feuchtsavanne (saisonale Sommerregen, Bäume und Gräser)
	Trockensavanne (geringere saisonale Sommerregen, Gräser und Bäume)
Warmgemäßigt-subtropische Zone	Halbwüsten (generell niedrige Regenmengen im Sommer oder Winter oder völlig zufällig, vereinzelt Bäume)
	Wüsten (ganzjährig trocken; Niederschläge erratisch, Sommer- oder Winterregen)
	Hartlaubzone (mediterranes Klima mit Winterregen, immergrüne Wälder, Pflanzen artenreich)
Kühlgemäßigte Zone	Laubbawerfende Wälder im ozeanischen Westen (ganzjährige Regenereignisse), Steppen im kontinentalen Osten
Kaltgemäßigt-boreale Zone	Taiga (Nadelwälder, ganzjährige Regenereignisse, nur kurze frostfreie Periode, stellenweise Permafrostboden, Moos- und Flechtenreich)
Polar-subpolare Zone	Tundra (Niederschlag oft als Schnee, kurze frostfreie Periode, Permafrostboden, „neue Kryptogamen“, mehr oder weniger flächendeckend verbreitet)
	Polare Wüsten (Schneefälle, Permafrost, polare Nacht, vereinzelte Vegetationsflächen dominiert von „neuen Kryptogamen“)

Tab. 1: Klimazonen und Vegetation der Erde (eigener Entwurf)

Die klimatische Zonierung der Erde, zumindest die der letzten 10.000 Jahre, resultiert in einer Abfolge unterschiedlicher terrestrischer Großlebensräume vom Äquator zu den Polen. Diese sogenannten Biome sind vom Äquator zu den Polen von einer abnehmend dichten und niedriger werdenden Vegetationsdecke geprägt. Die Unterscheidung der Klimazonen und ihrer Biome ist in Tabelle 1 veranschaulicht.

Vom immergrünen tropischen Regenwald bis zur Taiga ist das Landschaftsbild geprägt durch Baumländer, zu den Steppen hin durch Grasländer (Abb. 1). Die mittlere Jahrestemperatur nimmt vom Äquator zu beiden Polen hin kontinuierlich ab, was übrigens auch für die Höhenstufen der Gebirge gilt, wo die planetarische Temperaturabfolge hypsometrisch wiedergespiegelt wird. Einhergehend mit der Abnahme der mittleren Jahrestemperatur nimmt, grob vereinfacht ausgedrückt, die Mächtigkeit der Humusaufgabe der Böden zu. Bedingt durch die hohen Temperaturen und der damit verbundenen raschen Zersetzung organischer Materialien durch Klein- und Kleinstlebewesen (Mikrobiom) haben tropische Regenwälder in der Regel keine oder



**Abb. 1: Forschungsorte in den verschiedenen Klimazonen**

a) Costa Rica, tropischer Regenwald; b) Trockensavanne mit Granitinselberg, Südafrika, Limpopo Provinz; c) Flechtenfeld mit *Teloschistes capensis* (orange) in der Namib-Wüste, Alexanderbaai, NW-Südafrika; d) eine der trockensten Regionen Europas: Tabernas im Südosten Spaniens; e) Buchen-Eichenmischwald, Spessart, Deutschland; f) Steppenlandschaft nördlich des Altai-Gebirges (schneebedeckte Berge im Hintergrund), SW-Sibirien, Russland; g) Borealer Nadelwald, „betrunkenen Wald“ mit *Picea mariana* (Schwarzfichte), durch oberflächlich auftauenden Boden verliert die Schwarzfichte ihren Halt im Boden, Tok, Alaska; h) Tundrenlandschaft auf Spitzbergen, Engelsbukta am Comfortless-Gletscher, im Vordergrund durch BSCs charakterisierte Vegetationsdecke; i) Polare Eiswüste, Brown Hill (Berg in oberer rechter Bildhälfte), Darwin-Gletscher Region, 80° südlicher Breite, Ost-Antarktis. (Fotos: © B. Büdel)

nur eine geringe Humusdecke. Je geringer die mittlere Jahrestemperatur zu den Polen hin wird, desto langsamer sind die Zersetzungsprozesse. Folglich kommt es dort, wo noch Gefäßpflanzen dominant an der Vegetation beteiligt sind (z. B. in der Taiga), zur Ausbildung einer immer mächtigeren Humusschicht.

Vorausgehende Beobachtungen etlicher Forschergenerationen (und auch des Autors) legten die Vermutung nahe, dass es auf der Erde kaum Baum-, Boden- oder Felsflächen gibt, die nicht von Cyanobakterien, Algen, Moosen und Pilzen (inkl. der Flechten) bewachsen sind. Ziel der Untersuchungen des Autors und seiner Arbeitsgruppe war es, zur Erforschung des Anteils der „neuen Kryptogamen“ und deren ökologischer Rolle und Bedeutung in den unterschiedlichen Klimazonen der Erde beizutragen.

In Tabelle 2 sind die bereisten Kontinente und Länder (einige davon mit der MGG) zusammengefasst. Aus Ländern, die nicht besucht werden konnten, lagen in vielen Fällen Proben oder vergleichbare Untersuchungen vor.

Afrika	Nord-Amerika	Süd-Amerika	Antarktis	Arktis	Asien	Australien (Ozeanien)	Europa
<b>Marokko:</b> (Agadir, Essaouira, Marrakesch, Tiznit, Ouarzazate)	<b>Kanada:</b> (Labrador, Neufundland, Ontario, Yukon Terr.)	<b>Brasilien:</b> (Pernambuco)	<b>Ost-Antarktis:</b> (Ross Island, Transantarktisches Gebirge)	<b>Grönland:</b> (Kangerlussuaq, Disko Bucht)	<b>China:</b> (Innere Mongolei, Yunnan)	<b>Australien:</b> (N-S Wales, Northern Territory, Queensland, Tasmania, Victoria)	<b>Belgien, Bosnien-Herzegowina, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Großbritannien, Italien, Kosovo, Kroatien, Luxemburg, Montenegro, Niederlande, Nord-Mazedonien, Österreich, Polen, Rumänien, Schweden, Schweiz, Serbien, Slowenien, Spanien, Tschechien, Ungarn</b>
<b>Namibia:</b> (Erongo, Hardap, Karas-Region, Khomas, Kunene, Omaheke, Otjozondjupa)	<b>USA:</b> (Alaska, Arizona, California, Colorado, Neu-Mexiko, Oregon, Utah)	<b>Chile:</b> (Atacama-Wüste)		<b>Spitzbergen / Svalbard:</b> (Longyearbyen Region, Nye Ålesund Region)	<b>Indonesien:</b> (Java, Bali)	<b>Neuseeland:</b> (Nord- und Südinsel)	
<b>Südafrika:</b> (Free State, KwaZulu-Natal, Lesotho, Limpopo, Mpumalanga, Northern Cape, Western Cape)	<b>Mexiko:</b> (Baja California, Baja California Sur, Chihuahua, Sinaloa, Sonora)	<b>Peru:</b> (Arequipa, Apurimac, Ayacucho, Cusco, Ica, Lima)			<b>Russland:</b> (Sibirien: Novosibirskaya Oblast, Altayskiy Krai, Respublika Altay, Tomskaya Oblast)		
<b>La Réunion:</b> (Küstenregion und Inselzentrum)		<b>Venezuela:</b> (Apure, Amazonas, Bolivar, Guarico)					
<b>Mauritius:</b> (Küstenregion und Inselzentrum)	<b>Costa Rica:</b> (Alajuela, Guanacaste, Puntarenas, San José)	<b>Französisch-Guayana:</b> (Régina, Nouragues Nat. Res.)					
<b>Seychellen:</b> (La Digue, Mahé, Praslin)	<b>Panama:</b> (Bocas de Toro, Chiriqui, Colon, Panama)	<b>Surinam:</b> (Brokopondo, Paramaribo, Saramacca, Sipaliwini)					

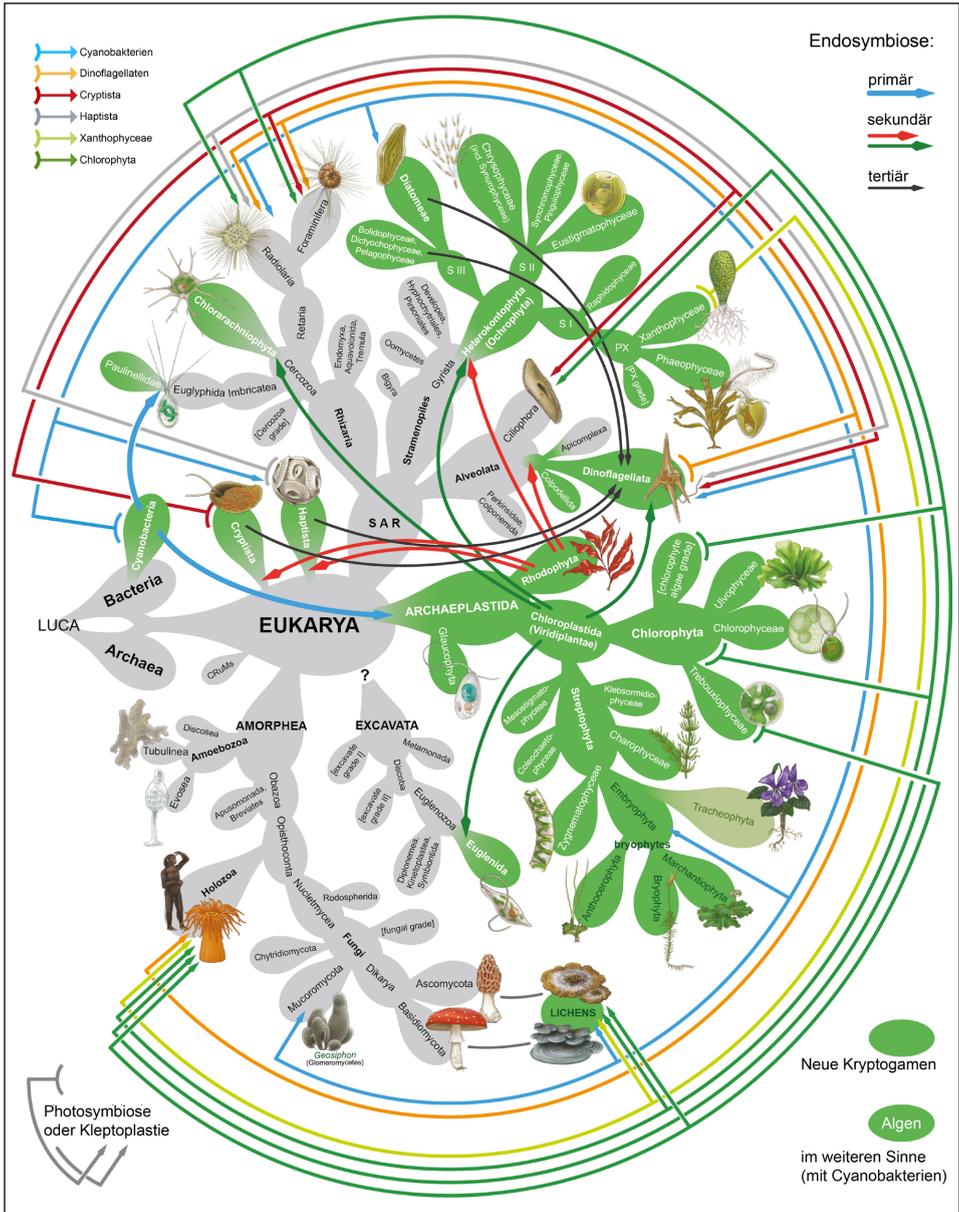
Tab. 2: Vom Verfasser bereiste Kontinente und Länder

Die Wissenschaft ist sich inzwischen weitgehend einig darüber, dass der Ursprung des Lebens auf eine einzige gemeinsame Lebensform zurückzuführen ist. Diese ist indessen unbekannt und wird gemeinhin als „LUCA“ bezeichnet, der Kurzform der englischen Definition „Last Universal Common Ancestor“. Lebewesen sind zur Evolution (hier im Sinne von [Weiter-]Entwicklung) fähig. Dies betrifft die Lebensform (z. B. Art), nicht aber das Einzelindividuum. Vor ca. 120 Jahren begann man darüber nachzudenken, dass Organelle wie die Mitochondrien („Kraftwerke“ aller Zellen, ausgenommen der Prokaryonten = Bakterien) und die Plastiden (Chloroplasten, Orte der Photosynthese in Pflanzen) über die Nahrungsaufnahme in die eukaryotischen Wirtszellen (mit Zellkern ausgestattet) gekommen sein könnten – eine Ansicht, die sich in den 1960er bis 1980er Jahren durchgesetzt hat.

Heute geht man davon aus, dass dieser als Endocytobiose bezeichnete Vorgang der Aufnahme eines Proteobakteriums ähnlichen Bakteriums der Ursprung aller Mitochondrien und die Aufnahme eines Cyanobakteriums der Ursprung aller Chloroplasten (Plastiden) ist (Abb. 2; für eine detaillierte Übersicht siehe z. B. BOENIGK 2021). Neben der rein evolutiven Entwicklung der Arten gibt es also noch das weite Feld der Endocytobiosen und der Symbiosen, mittels derer Lebewesen sich immer wieder im Sinne evolutiver oder ökologischer Einnischung entwickeln können.

So verschiedene Organismen wie Blaualgen (= Cyanobakterien), Algen, Moose, Pilze und farnartige Gewächse wurden früher unter dem Begriff „Kryptogamen“ (Verborgenerblüher) zusammengefasst und den „Phanerogamen“ (Offenblüher) gegenübergestellt. Während man den Begriff Phanerogamen bis heute noch so verwenden kann (er fasst alle Blütenpflanzen zusammen), trifft dies für den Begriff Kryptogamen nicht mehr zu. Neben der Tatsache, dass alle dort zusammengefassten Organismen nicht im eigentlichen Sinne blühen, sind Blaualgen Bakterien (→ Cyanobakterien) und haben keinen Sexualzyklus. Pilze hingegen betreiben keine Photosynthese und gehören damit gar nicht zu den pflanzlichen Organismen, sondern in die große Gruppe der „Amorphaea“, aus der auch die Tiere hervorgehen (Abb. 2). Farne und Farnartige (z. B. Moosfarne, Schachtelhalme) weisen schon Gefäße für den Wassertransport (von unten nach oben) und den Saftfluss (von oben nach unten) – zusammengefasst in Leitbündeln – auf und werden daher als Gefäßpflanzen bezeichnet, zu denen alle Blütenpflanzen gehören. Weil viele der früher als Kryptogamen bezeichneten Organismengruppen unter zunehmend schwierigeren klimatischen Bedingungen in vielen Lebensräumen ein auffälliges Element der Vegetation sind und bei zunehmend kritischen Klimabedingungen auch dominieren, haben wir den Begriff „neue Kryptogamen“ definiert (BÜDEL et al. 2024).

Die „neuen Kryptogamen“ umfassen nach unserem Konzept alle Organismen, die permanent zur sauerstofffreisetzenden Photosynthese befähigt und gleichzeitig hydropassiv sind. Der Begriff Hydropassivität bezieht sich darauf, dass diese Organismen Wasser nicht, wie alle Gefäßpflanzen, aktiv aufnehmen können, sondern in ihrem Wassergehalt vollständig von ihrem Lebensraum abhängig sind. Sie können,



**Abb. 2: Der Opuntia-Baum des Lebens**  
 So genannt nach dem Aussehen eines Kaktus der Gattung *Opuntia* (die Grafik um 90° nach links kippen). Die etwas stärkeren Pfeile innerhalb des Baumes zeigen, wer als Spender für die Plastiden (Chloroplasten) der mit der Pfeilspitze gekennzeichneten Gruppe diente, ausgehend von einer Endocytobiose (primär, sekundär, tertiär). Die Pfeile, die den Lebensbaum umgeben, kennzeichnen Symbiosen, welche immer wieder neu eingegangen werden und in der Regel nur über die Dauer der Lebenszeit der Wirtszelle existieren. Dabei indiziert der schalenartige Teil des Pfeils den Ursprung des Organismus und die Pfeilspitze das Ziel bzw. den Wirt der Symbiose. (Quelle: © FRIEDL & SPINDLER, in BÜDEL et al. 2024)

Nr.	Taxon	Autoren	Nr.	Taxon	Autoren
<b>Neue Arten</b>					
1	<i>Acarospora conafi</i>	Jung et Büdel	28	<i>Aliterella chasmolithica</i>	Jung, Schermer, Mikhaliyuk et Büdel
2	<i>Peccania cerebriformis</i>	Henssen et Büdel	29	<i>Symphyonema bifilamentata</i>	Jung, Büdel et Lakatos
3	<i>Psorotichia columnaris</i>	Henssen et Büdel	30	<i>Gloeocapsopsis crepidinum</i>	(Thuret) Geitler ex Komárek emend. Jung, Lakatos et Büdel
4	<i>Lichina macrospora</i>	Henssen, Büdel et Wessels	31	<i>Gloeocapsopsis diffuens</i>	Jung et Büdel
5	<i>Pterigiopsis convexa</i>	Henssen, Büdel et Wessels	32	<i>Hyella disjuncta</i>	Jung, D'Agostino, Büdel et Lakatos
6	<i>Pterigiopsis melanophthalma</i>	Henssen, Büdel et Wessels	33	<i>Aliterella compacta</i>	Jung, Büdel et Lakatos
7	<i>Pterigiopsis submersa</i>	Büdel, Henssen et Wessels	34	<i>Aliterella gigantea</i>	Jung, Büdel et Lakatos
8	<i>Thyrea rotundata</i>	Büdel, Henssen et Wessels	35	<i>Sinocapsa ellipsoidea</i>	Jung, Büdel et Lakatos
9	<i>Lichinella intermedia</i>	Henssen, Büdel et Nash	36	<i>Pseudocyanosarcina phycocyania</i>	Jung, Büdel et Lakatos
10	<i>Lichinella flexa</i>	Henssen, Büdel et Nash	37	<i>Compactonostoc sarcinoides</i>	Jung, Büdel et Lakatos
11	<i>Lichinella robustoides</i>	Henssen, Büdel et Nash	38	<i>Komarekiella globosa</i>	Jung, Büdel et Lakatos
12	<i>Phyliscum vermiformis</i>	Schultz et Büdel	39	<i>Komarekiella gloeocapsoides</i>	Jung, Büdel et Lakatos
13	<i>Phloeopeccania anemoides</i>	Schultz et Büdel	<b>Neukombinationen</b>		
14	<i>Thyrea porphyrella</i>	Schultz, Büdel et Porembski	40	<i>Peltula hassei</i>	(Zahlbr.) Büdel, Kauff et Bachran
15	<i>Peltula auriculata</i>	Büdel, Schultz et Gröger	41	<i>Peltula leptophylla</i>	(Vain.) Büdel et Schultz
16	<i>Peltula Cariathea</i>	Büdel, Henssen et Wessels	42	<i>Peltula steppae</i>	(Kalb) Büdel, Kauff et Bachran
17	<i>Peltula kofferi</i>	Henssen et Büdel	43	<i>Peltula brasiliensis</i>	(Zahlbr.) Büdel, Kauff et Bachran
18	<i>Peltula sonorensis</i>	Büdel et Nash	44	<i>Peltula rodriguesii</i>	(Cromb.) Büdel
19	<i>Peltula farinosa</i>	Büdel	45	<i>Peltula capensis</i>	(Brusse) Büdel
20	<i>Peltula tenuis</i>	Büdel et Henssen	<b>Neue Gattungen, Familien, Ordnungen</b>		
21	<i>Peltula cataractae</i>	(Büdel et Senusiaux) Büdel, Kauff et Bachran	46	Peltulaceae (Fam.)	Büdel
22	<i>Peltula langi</i>	Büdel et Elix	47	Lichinales (Ord.)	Henssen et Büdel
23	<i>Peltula corticola</i>	(Büdel et Santesson) Büdel, Kauff et Bachran	48	<i>Chroococciadiopsidaceae</i> (Fam.)	Geitler ex Büdel, Donner et Kauff
24	<i>Peltula inversa</i>	Büdel et Schultz	49	<i>Compactonostoc</i> (Gatt.)	Jung, Büdel et Lakatos
25	<i>Pseudopeltula necrocorticata</i>	Schultz et Büdel	<b>Nach Autor benannt</b>		
26	<i>Cyanocohnella crotaloides</i>	Jung, Mikhaliyuk, Emrich, Dultz et Büdel	50	<i>Xantoparmelia buedelii</i>	O. Blanco, A. Crespo, Elix, D., Hawksw. et Lumbsch
27	<i>Oculatella crustae-formantes</i>	Jung, Briegel-Williams, Mikhaliyuk et Büdel			

Tab. 3: Durch den Autor und seine Arbeitsgruppe neu beschriebene und/oder umbenannte Arten von Cyanobakterien und Flechten (Schwarze Schrift; Flechten; Grüne Schrift; Blaue Schrift; Blaualgeln (Cyanobakterien))

vergleichbar einem Schwamm, Wasser nur passiv aufnehmen und verlieren es ebenso auch wieder an ihre Umgebung.

Im Vortrag wurden die Lebensräume der verschiedenen Klimazonen der Erde und einige typische Vertreter dieser Zonen aus der Gruppe der „neuen Kryptogamen“ vorgestellt (vgl. Tab. 3). Als übergreifendes Ergebnis wurde betont, dass biologische Krusten oder sogenannte Biofilme, wenn diese nur ein dünner Belag auf Fels sind, in allen Großlebensräumen der Erde als typischer Bestandteil der Vegetation oder der frühen Stadien der Regeneration nach Störungen nachgewiesen werden können. Sie können enorm artenreich sein und beinhalten, neben den „neuen Kryptogamen“, auch sehr viele Pilz- und Bakterienarten. Sie haben in der Regel sogar ein ganz charakteristisches Mikrobiom (BÜDEL et al. 2014; MAIER et al. 2018).

Eine Metadatenanalyse, welche wir zusammen mit dem MPI für Chemie in Mainz durchführten, ergab für die jährliche globale Kohlenstoffaufnahme von biologischen Bodenkrusten (BSC) und epiphytischen Pflanzenkrusten (EPC) rund 3,6 Pg Kohlenstoff/Jahr (1 Petagramm = 1 Milliarde Tonnen) (ELBERT et al. 2009, 2012). Dies entspricht etwa 7% der jährlichen Primärproduktion der terrestrischen Vegetation. Die auf Felsoberflächen siedelnden „neuen Kryptogamen“ konnten wir dabei nicht berücksichtigen. Dabei wären ja auch die durch den Menschen gemachten steinernen Bauwerke zu erfassen, und das ist für die gesamte Erde derzeit nicht ohne enormen



**Abb. 3:** Auf Felsoberflächen wachsende und nach dem Autor benannte Flechte *Xanthoparmelia buedelii*, eine für die Namib-Wüste endemische Art – Junger Thallus, 2,2 cm breit (vgl. auch: [https://species.wikimedia.org/wiki/Xanthoparmelia\\_buedelii](https://species.wikimedia.org/wiki/Xanthoparmelia_buedelii)) (Foto: © V. Wirth)

Aufwand durchführbar. Grobe Abschätzungen inklusive der Gesteinsoberflächen ergeben einen Anteil an der jährlichen Primärproduktion zwischen 10 und 12%. Wir konnten ermitteln, dass BSCs ca. 17,9 Millionen km<sup>2</sup> bedecken, was etwa 12,2% der Landoberfläche der Erde entspricht (RODRIGUEZ-CABALLERO et al. 2018). Die im Zuge unserer Arbeiten für die Wissenschaft neu beschriebenen Arten, bzw. solche, die in ihrer systematischen Zugehörigkeit neu bewertet wurden, sind in Tabelle 3 und Abb. 3 dargestellt.

## Literatur

- BOENIGK, J. (2021): Biologie. Berlin.
- BÜDEL, B., [et al. + 17] & L. ZHENG (2014): Improved appreciation of the functioning and importance of biological soil crusts in Europe: the Soil Crust International Project (SCIN). *Biodiversity and Conservation* 23(7): 1639–1658.
- BÜDEL, B., FRIEDL, T. & W. BEYSLAG (Eds., 2024): Biology of Algae, Lichens and Bryophytes. Berlin.
- ELBERT, W., BÜDEL, B., [et al. + 2] & U. PÖSCHL (2009): Microbiotic crusts on soil, rock, and plants: neglected major players in the global cycles of carbon and nitrogen? *Biogeosciences Discussion* 6: 6938–7015.
- ELBERT, W., BÜDEL, B., [et al. + 4] & U. PÖSCHL (2012): Contribution of cryptogamic covers to the global cycles of carbon and nitrogen. *Nature Geoscience* 5: 459–462.
- IPCC CLIMATE CHANGE (2013): The Physical Science Basis (eds. STOCKER, T.F. et al.). Cambridge.
- GREEN, T. G. A., [et al. + 2] & L. G. SANCHO (2011): Extremely low lichen growth rates in Taylor Valley, Dry Valleys, continental Antarctica. *Polar Biology* 35: 535–541.
- MAIER, S., [et al. + 4] & B. WEBER (2018): Photoautotrophic organisms control microbial abundance, diversity, and physiology in different types of biological soil crusts. *ISME Journal* 12(4): 1032–1046.
- RODRIGUEZ-CABALLERO, E., BÜDEL, B., [et al. + 4] & B. WEBER (2018): Dryland photoautotrophic soil surface communities endangered by global change. *Nature Geoscience* 11(3): 185–189. Online: doi.org/10.1038/s41561-018-0072-1.

## Autor

Prof. i. R. Dr. Burkhard Büdel  
Hammerfurtweg 5  
97833 Frammersbach  
E-Mail: buedel@bio.uni-kl.de