

Mikroorganismen im Spannungsfeld von Wissenschaft und Kunst – Ein Potpourri

Judith Ascher-Jenuß, Barbara Imhof, Daniela Mitterberger, Tiziano Derme, Carolin Garmsiri & Heribert Insam

Zusammenfassung

Aus Mikroorganismen hat sich alles Leben entwickelt, und alle Lebensprozesse sind von Interaktionen mit Mikroorganismen abhängig. Nichts geht ohne sie, alles ginge ohne Mensch. Gar stellt sich die Frage, wer wir sind, 10^{13} menschliche Zellen plus $1,3 \times 10^{13}$ mikrobielle Zellen ergeben das menschliche Holobiom. Das Ganze gilt es zu wahren, um nicht das Uns zu verlieren. Die Faszination, Universalität und das visionäre Potential der Mikrobiologie wurden im Rahmen der MWB Konferenz 2021 in Form eines Potpourris von rezenten Werken aus Forschung & Kunst-Kollaborationen zwischen dem Institut für Mikrobiologie der Universität Innsbruck und InterNationalen PartnerInnen aus Kunst und Architektur, u.a. der Universität Innsbruck, ETH Zürich und der Universität für Angewandte Kunst, Wien, präsentiert, auch als Vorgeschmack auf das *upcoming* Science Center MikrobAlpina-MikroMondo.

Forschung & Kunst & Architektur

Das Thema der MWB 2021 Konferenz „Ökologische Krisen und Ökologie der Kritik“ hat uns inspiriert, die, frei nach Willy Verstraete, „potentielle Bewältigung der Super-Challenges des 21. Jahrhunderts durch die angewandte mikrobielle Ökologie“, anhand einiger rezenter Art & Science Projekte zu veranschaulichen und die Faszination und das Potential unserer mikrobiellen Welt generell zu verbreiten. Transdisziplinäre Projekte zwischen Mikrobiologie und Architektur ermöglichen neue Formfindungen (Derme und Ascher-Jenuß, 2021), nachhaltige Materialien durch *Recycling* (Derme und Ascher-Jenuß, 2021) oder *Upcycling* (Derme, 2021) qualitativ hochwertiger organischer (z.B.

Hanfrestreue, Holzspäne, Kaffeesatz) und mineralischer Abfallstoffe (z.B. Marmorstaub), und neue Sicht-Blick-Denkweisen (<https://cocorporeality.net>).

Als Beispiel von Biowerkstoffen der Zukunft, aber auch bereits der Gegenwart, wurde ein Prototyp eines *Myco-Composite*-Biowerkstoffes präsentiert (Abb. 1). Hanfrestreue wurde mit einer Körnerbrut des Austernseitlings *Pleurotus ostreatus* inokuliert, in eine Form gepresst und inkubiert; das mit dem Pilz-Myzel durchwachsene Substrat wurde anschließend getrocknet und stellt ein Bio-Material mit Eigenschaften eines High-Tech Materials dar: hohes Isolierungspotential, atmungsaktiv, feuerfest, wasserabweisend, 100% biologisch abbaubar; durch das Recycling von organischen Abfallstoffen kann dieser Biowerkstoff mit negativem CO₂-Abdruck hergestellt werden.



Abbildung 1: Prototyp aus Biokomposit-Werkstoff (Substrat: Hanfrestreue; Myzel: *Pleurotus ostreatus*; J. Bernath) mit getrocknetem Fruchtkörper von *Pleurotus salmoneo-stramineus*; links im Bild: Winogradskysäule „Fast ein Planet im Kleinformat“ (Credit: MWB 2021, J. Ascher-Jenuß).

Im Rahmen der MWB Konferenz 2021 wurde auch ein Ergebnis eines Formfindungs-Projektes präsentiert. Prototypen, deren Formen mittels Hanfseilen festgelegt wurden, konnten durch Pilze aus der Gattung der Seitlinge (Austernseitling, *Pleurotus ostreatus*) in stabile Strukturen mit dynamischer Anmutung verwandelt werden (Abb. 2, 4). Die „Active Forms of Matter“-Objekte sind das Ergebnis der gleichnamigen, im WS20/21 erstmals an der Universität Innsbruck angebotenen interdisziplinären Lehrveranstaltung, geleitet von Tiziano Derme (Experimentelle Architektur; Marjan Colletti) und Judith Ascher-Jenuß (Mikrobiologie; Heribert Insam). Die eindrucksvollen Abschlussarbeiten der Architektur-Studierenden beeindrucken durch „zukunftsweisendes biologisches Design“ (Derme und Ascher-Jenuß, 2021; Ascher-Jenuß, 2021).



Abbildung 2: Austernseitling-Hanfseilprototyp „layers&lamellae“ (K. Bauer und V. Kammerlander) der transdisziplinären LV Active Forms of Matter (Derme und Ascher-Jenull, 2020) (Credit: J. Ascher-Jenull).

Ein anderes Projekt von Tiziano Derme, *Digital Marble*, in Kollaboration mit dem Institut für Mikrobiologie, befasst sich derzeit mit dem *Upcycling* von Laaser Marmorstaub, der beim Marmorabbau in großen Mengen als *Nebenprodukt* anfällt. Durch das *Binder Jetting*-Prinzip wird Marmorstaub mit einer Flüssigkultur des Bakteriums *Sporosarcina pasteurii* inokuliert, welches mittels des Enzyms Urease Harnstoff (Urea) metabolisiert und Calciumcarbonat als kristallines Stoffwechselprodukt ausscheidet, welches als Bindemittel agiert. Durch diese bakteriell induzierte Calcit-Präzipitation (Biozementierung) gekoppelt mit Robotertechnik-getriebenem 3D-Druckverfahren wird „neuer Marmor“ hergestellt, der als nachhaltiger Baustoff in der Architektur Einsatz finden soll (Derme, 2021).

Unter den Universal-Genies der Mikroorganismen verbergen sich auch potentielle Game-Changer in Bezug auf die vom belgischen Mikrobiologen Willy Verstraete formulierten 3 Super-Challenges des 21. Jahrhunderts (1) Klimawandel, (2) Energiekrise und (3) das Nachhaltige Ressourcenmanagement, welche mit Hilfe der angewandten mikrobiellen Ökologie gemeistert werden können.

Damit beschäftigt sich unter anderem auch das Science Center MikrobAlpina-MikroMondo (www.mikroalpina.org), derzeit in Realisierung mit der Betriebshygiene-Firma Hollu in Zirl. Dessen Hauptmission ist es, die positiven Aspekte und den Einfluss unserer mikrobiellen Welt auf den Menschen an die Öffentlichkeit zu tragen und somit die Faszination der Formen und die Vielseitigkeit der Anwendung der Mikroorganismen zu vermitteln. Neben den mikrobiellen Universalgenies, die uns mit Lebensnotwendigem versorgen, wird auch der Hauptprotagonist der aktuellen Pandemie, das SARS-CoV-2 Virus, von allen Seiten inspiziert, bis hin zu dem am Institut für Mikrobiologie Innsbruck entwickelten, epidemiologischen Frühwarn- und quantitativen Nachweis-System im Abwasser (Amann et al., 2022).

Das Potential transdisziplinärer Projekte für neue Blickweisen, Denkweisen und Formen der Kommunikation wurde am Beispiel des aktuellen FWF-Projektes *CoCorporeality – Responsive spaces in the era of biomediality* vorgestellt (<https://cocorporeality.net>). Das künstlerische Forschungsprojekt beschäftigt sich mit der nonverbalen Kommunikation zwischen Mensch und lebendigem Material mit dem Ziel, eine interaktive Protoarchitektur zu schaffen. Interaktion, die durch menschliche Emotionen und Wahrnehmung angeregt wird, findet somit über verschiedene Raum- und Zeitskalen hinweg statt. Diese asynchronen Aktionen zwischen Mensch und Mikroorganismen werden durch eine technologische Schnittstelle, die die Augenbewegungen des/r BetrachterIn aufnimmt, vermittelt. Dieses Eye-Tracking-System kann von einer Person getragen werden und verortet die Person. Durch die Pupillenveränderung können Emotionen und der Betrachtungswinkel detektiert werden. So können menschliche Reaktionen auf die Betrachtung der Mikrobenaktivität wie Veränderungen in Farbe, Geruch, Bewegung und Wachstum wahrgenommen werden. Im Rahmen der MWB 2021 Konferenz wurden zwei Video-Installationen von Experimenten, die im Projekt CoCorporeality entstanden sind, „E-Feeder“ und „Eye-Tracking“, gezeigt (Abb. 3).

E-Feeder

Der E-Feeder ist eine Plattform für die Interaktion zwischen Mensch und Mikroorganismen. Mit Hilfe einer Webcam können Besucher über menschliche Emotionen nonverbal mit Mikroorganismen kommunizieren, ein kompliziertes Unterfangen, da die Wahrnehmungssysteme von Menschen und Mikroben sehr unterschiedlich sind, und eine direkte Kommunikation daher nahezu unmöglich.

Mikroorganismen kommunizieren hauptsächlich mittels chemischer Botenstoffe, indem sie Signalmoleküle aussenden, um andere Organismen anzulocken oder zu vertreiben. Menschen können mit Mikroben interagieren, indem sie deren Umweltbedingungen

verändern und dadurch eine mikrobielle Reaktion auslösen. Dieser Ansatz wurde für die E-Feeder-Installation gewählt, die erstmals auf dem Angewandte Festival 2021 (Universität für Angewandte Kunst, Wien) präsentiert wurde.

Im E-Feeder sind alle wesentlichen Merkmale der Kommunikation zwischen Mensch und Mikroorganismen vereint:

- menschliche Wahrnehmung und Reaktion;
- mikrobielle Wahrnehmung und Reaktion;
- Hardware zur Ermöglichung mikrobieller Umweltveränderungen und zur Aufzeichnung derer Reaktionen und
- Anwendungen des maschinellen Lernens, die es ermöglichen, die Lücke zwischen den unterschiedlichen Kommunikationskanälen zu schließen.



Abbildung 3: CoCorporeality – Videoinstallationen, Eye Tracking und E-Feeder (Credit: MWB 2021, J. Ascher-Jenull).

Beim E-Feeder werden menschliche Emotionen von (virtuellen) Besuchern durch Gesichts- und Emotionserkennung gesammelt und analysiert. Dafür wird maschinelles Lernen (ML), künstliche Intelligenz (KI) und ein automatisierter Algorithmus

verwendet, welcher Gesichtsausdrücke wie glücklich, traurig, überrascht und wütend, in Echtzeit erkennt. Jeder Gesichtsausdruck ist mit einer bestimmten Reaktion der E-Feeder Maschine gekoppelt. Unter diesen Aktionen ist zum Beispiel die Zugabe einer Indikatormaterialie, Zugabe von Lactose oder das Aktivieren einer UV-Lampe. All diese Aktivitäten des E-Feeders und in Verbindung damit auch die Emotionen der Besucher beeinflussen so die mikrobiellen Kulturen. Durch die Aktivität des E-Feeders wird das Wachstum der Bakterien daher entweder gefördert oder gezielt (partiell) verändert. Das Bakterienwachstum wird für das menschliche Auge sichtbar gemacht, indem Indikatoren verwendet werden, die mikrobiell induzierte Farbveränderungen anzeigen.

Die ausgewählte Indikatormaterialie X-gal färbt die lebenden Zellen blau, eine weitere, reine Laktose, färbt sie rot. Die ausgewählte mikrobielle Spezies ist das Darmbakterium *Escherichia coli*, das sich unter günstigen Bedingungen alle 20 Minuten teilt und (auch) für seine Robustheit in Labor-Umgebung geschätzt wird.

Eye Tracking

Im Projekt CoCorporeality wird das Eye-Tracking-Gerät als Kommunikationsgerät eingesetzt und ermöglicht dem Betrachter, eine Beziehung zwischen Bakterien und anderen nicht menschlichen Subjekten einzugehen. Die nonverbale Kommunikation erfolgt über den Blick, der eine psychologische Beziehung zwischen Menschen und den anderen Protagonisten der CoCorporeality herstellt. Der Blick beinhaltet bewusste als auch unbewusste Prozesse der Kodierung und Entschlüsselung. Blickrichtung und -häufigkeit sind Beispiele für bewusste Prozesse. Pupillenerweiterung, Blinzelrate und Fixierungsmuster sind Beispiele für unbewusste Prozesse.

Das Eye-Tracking-Gerät registriert über zwei Kameras den Blickwinkel (Blickrichtung) und die Bewegung des Auges. Eine Kamera ist auf das Auge gerichtet und eine Kamera fokussiert den Raum. Der Abgleich zwischen beiden Kameras, gefolgt auf eine Kalibrierung der Position beider Kameras auf die Position des Auges definiert die Augen-Position und -Bewegung. Um die exakte Position des Auges und den Standort einer Person im Raum zu definieren, verwendet dieses Eye-Tracking Gerät zusätzlich ein eigenständiges simultanes Lokalisierungs- und Kartierungsgerät. Eine exakte Lokalisierung des betrachteten Objekts wird – basierend auf dem Schnittpunkt zwischen dem Augenvektor und einem registrierten 3D-Modell des Raumes – ermöglicht.

Im Falle des Projekts CoCorporeality kann so aufgezeichnet werden, auf welche Bakterienkulturen der Betrachter gerade blickt, wie sich beim Betrachten die Pupillen verändern oder wie oft ein Augenblinzeln entsteht. Mit Hilfe dieser Schnittstelle kann eine messbare Beziehung des Betrachters zur mikrobiellen Umwelt hergestellt werden.

Eine andere Installation der Konferenz zeigt unsere **Mikrobielle Welt**, für die stellvertretend insgesamt 45 Protagonisten (Reinkulturen) – Bakterien und Pilze – im wahrsten Sinne des Wortes ins Rampenlicht gestellt wurden (Abb. 4). Die gezeigten Mikroorganismen sind die Basis der Forschungsschwerpunkte einiger Arbeitsgruppen des Instituts für Mikrobiologie, Universität Innsbruck (U. Peintner und B. Urban; S. Zeilinger, G. Walch), wie z.B. die biologische Schädlingsbekämpfung (H. Strasser, H. Embleton, M. Zottele; Biological-Pest-Control, BiPesco: <https://www.uibk.ac.at/bipesco/>).



Abbildung 4: Rechts: Mikroorganismen im Rampenlicht: Agarplatten mit Reinkulturen von Bakterien und Pilzen, die Basis einiger Forschungsschwerpunkte am Institut für Mikrobiologie, Universität Innsbruck. Mitte: Flüssigkultur von Cyanobakterien (Abb. 5). Links: Auswahl der gezeigten Abschlussarbeiten der interdisziplinären Lehrveranstaltung Active Forms of Matter (links oben: „layers&lamellae“, K. Bauer & V. Kammerlander; links unten: „lostinloops“, J. Höck & R. Pischl) (Credit: MWB 2021, J. Ascher-Jenull).

Am Beispiel der **Winogradsky-Säule** (Abb. 1) wurde „Fast ein Planet im Kleinformat“ präsentiert, basierend auf dem vom russischen Mikrobiologen und Pflanzenphysiologen Sergei Winogradsky (1856-1953) formulierten Konzept geochemisch aktiver Bakterien, die in der Lage sind, anorganische Verbindungen zu oxidieren und daraus Energie und Kohlenstoff zu beziehen. Es handelt sich dabei um ein in sich geschlossenes, dynamisches Recycling-System, das mit Energie aus Licht angetrieben wird. Es finden

sich Mikro-Lebensräume für Algen und **Cyanobakterien** (Abb. 4, 5; ein weiterer CoCorporeality-Protagonist), Nichtschwefel- und Schwefelpurpurbakterien, Grüne Schwefelbakterien, Sulfat-Reduzierer und viele mehr. Die Aktivitäten des einen Organismus ermöglichen einem anderen zu wachsen und umgekehrt, Symbiosen und andere Interaktionen entstehen sowie auch mikrobielle Sukzessionen. Jede Schicht der Säule ist von unterschiedlichen Arten von Mikroorganismen kolonisiert und repräsentiert die wesentlichen biogeochemischen Stoffkreisläufe, die unseren Planeten charakterisieren.

Cyanobakterien (Abb. 5) haben vor 3,7 Milliarden Jahren die Erdatmosphäre geschaffen und somit den Grundstein für das Leben auf unserem Planeten gelegt. Aus Mikroorganismen hat sich alles Leben entwickelt, und alle Lebensprozesse sind von Interaktionen mit Mikroorganismen abhängig. „Nichts geht ohne sie, alles ginge ohne Mensch“ (H. Insam).

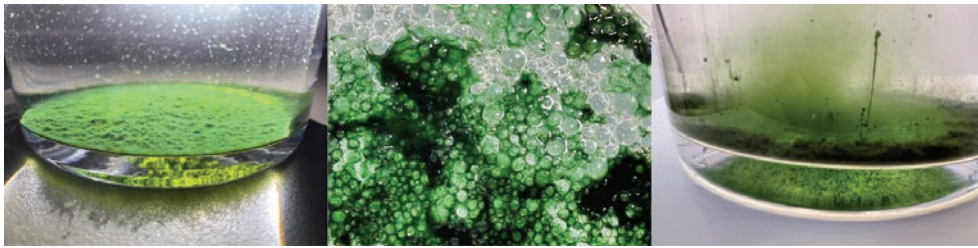


Abbildung 5: Cyanobakterien – *Synechocystis PCC 6803* – charakterisiert durch photosynthetisch produzierte Chlorophyll-Pigmente und Sauerstoff (Mitte), sowie ihrer Fähigkeit zu lichtorientierter Fortbewegung (positive Phototaxie; rechts) (Credit: CoCorporeality, J. Ascher-Jenull).

CoCorporeality – Cyanobacteria: Carolin Garmsiri, Heribert Insam, Judith Ascher-Jenull. *Special thanks to Rainer Kurmayer for providing the cyanobacterial strain.*

Transdisziplinäre Forschung hat unter verschiedensten Aspekten ein zukunftsweisendes Potential. Die Kombination von Mikrobiologie & Kunst nimmt darunter eine Sonderstellung ein, jene der künstlerischen Freiheit. Diese Freiheit – auch zur (positiven) Provokation – sollte genutzt werden, um auf gravierende, unser aller Zukunft bestimmende Probleme aufmerksam zu machen und somit „ein Morgen“ zu ermöglichen, im „Einklang und Respekt“ (Ascher-Jenull, 2021) gegenüber allem organischen und nicht organischen Material unseres Planeten.

Literatur

- Amman, F; Markt, R; Endler, L; Hupfaut, S; ..., ...; Nägele, F; Mayr, M; Rauch, W; Wagner, A.O; Insam, H; et al. (2022): Viral variant-resolved wastewater surveillance of SARS-CoV-2 at national scale. *Nature Biotechnology*, <https://doi.org/10.1038/s41587-022-01387-y>.
- Ascher-Jenuß, Judith (2021): *Mikroorganismen: die Architekten von gestern, heute und morgen*. Gastbeitrag zum APA-Thema: *Kunstvoll forschen*. <https://science.apa.at/gastbeitrag/mikroorganismen-die-architekten-von-gestern-heute-und-morgen/>
- Derme, Tiziano & Ascher-Jenuß, Judith (2021): *Active Forms of Matter*: <https://www.uibk.ac.at/newsroom/zukunftsweisendes-biologisches-design.html.de>
- Derme, Tiziano (2021): *Aus Staub gebaut*. *Zukunft Forschung*, 02/21, pp. 14-15. <https://diglib.uibk.ac.at/download/pdf/6786707>; <https://www.uibk.ac.at/newsroom/zukunft-forschung-dezember-2021.html.de>.
- Präsentierte Projekte* (<https://cocorporeality.net>):
- E-feeder*: Minovski, D., Mitterberger, D., Derme, T.; Artificial Intelligence, Machine Vision: Gasser, M.; Living material: Yousefi, N., Weiland, K., Gutierrez, T., Tibu, P.; Support: Imhof, B., Hoheneder, W., Koops, K.
- Eye-Tracking*: Mitterberger, D., Tibu, P.; Artificial Intelligence, Machine Vision: Gasser, M.; Support: Imhof, B., Derme, T.

