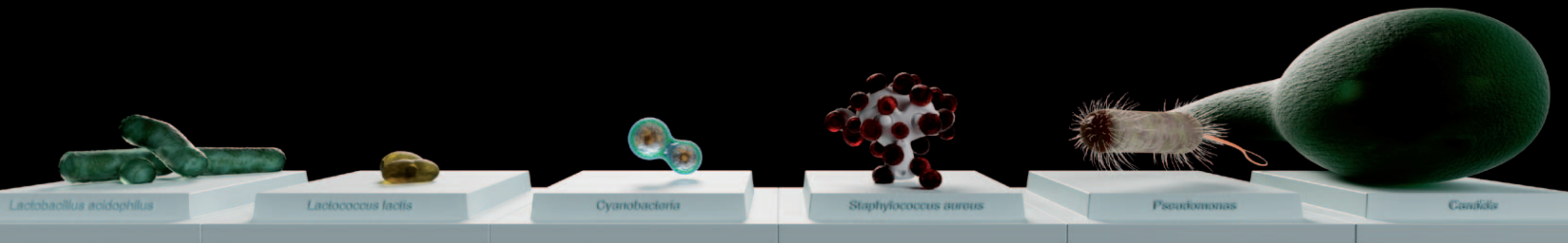


DIE HEIMLICHEN HERRSCHER DER WELT



GEBURT DES LEBENS AUF DER ERDE

Vor viereinhalb Milliarden Jahren war die Geburtsstunde der Erde. Damals bestand der Planet aus Gas und Staub. Mit der Zeit kühlte die Erde ab, es bildete sich eine Kruste, Wasser sammelte sich. Vor dreieinhalb Milliarden Jahren entstand das erste Lebewesen. Wie es dazu kam, ist unbekannt. Chemische Verbindungen gruppierten sich und daraus bildete sich ein Lebewesen in Gestalt einer einzelnen lebenden Zelle. Diese Zelle teilte sich und es entstanden weitere Einzeller. Kleine Lebewesen wie diese heißen Mikroorganismen, weil sie so winzig sind, dass wir sie mit bloßem Auge nicht sehen können. Vermutlich ist das Leben im Wasser entstanden. Denn die ältesten Lebensformen sind heute noch Einzeller, die in heißem Wasser leben – wie in der Nähe von brodelnden Quellen am Meeresboden.

Cyanobakterien „erfanden“ Fotosynthese

Eine Milliarde Jahre nach der Entstehung des ersten einzelligen Lebewesens kam es zum nächsten entscheidenden Schritt für das Leben auf der Erde: Cyanobakterien erzeugten Zucker und Sauerstoff – mit etwas Wasser, ein wenig Gas aus der Umgebung und mit der Hilfe von Sonnenlicht. Damit war die Fotosynthese „erfunden“. Die Cyanobakterien konnten damit ihre Nahrung selbst herstellen. Der von den Cyanobakterien gebildete Sauerstoff reicherte sich mit der Zeit in der Atmosphäre an. Damit war eine der wichtigsten Grundlagen für die weitere Entwicklung des Lebens geschaffen: die Atemluft – von der unser Leben abhängt.

FANTASTISCH

Cyanobakterien waren die ersten Produzenten von Sauerstoff. Für die Fotosynthese benötigen sie Sonnenlicht. Wahrscheinlich können Cyanobakterien genau deswegen Licht wahrnehmen. Es war lange ein großes Rätsel, wie sie das tun. Cyanobakterien haben einen Durchmesser von 3 Mikrometern – also 3 Millionstel eines Meters. Es gibt keine optischen Messgeräte, die so klein sind, dass sie die Lichtbrechung in der Bakterie messen können. Die Forscher*innen wandten einen Trick an. Sie maßen, einfach gesagt, die Lichtbrechung rund um die Bakterien. Und sie fanden heraus: obwohl das Bakterium nur aus einer Zelle besteht, funktioniert diese einzelne Zelle tatsächlich wie ein Auge. Das Licht fällt durch eine winzige Linse ein, direkt gegenüber der Linse werden Fortbewegungsfäden aktiviert und das Bakterium kann sich auf die Lichtquelle zubewegen.

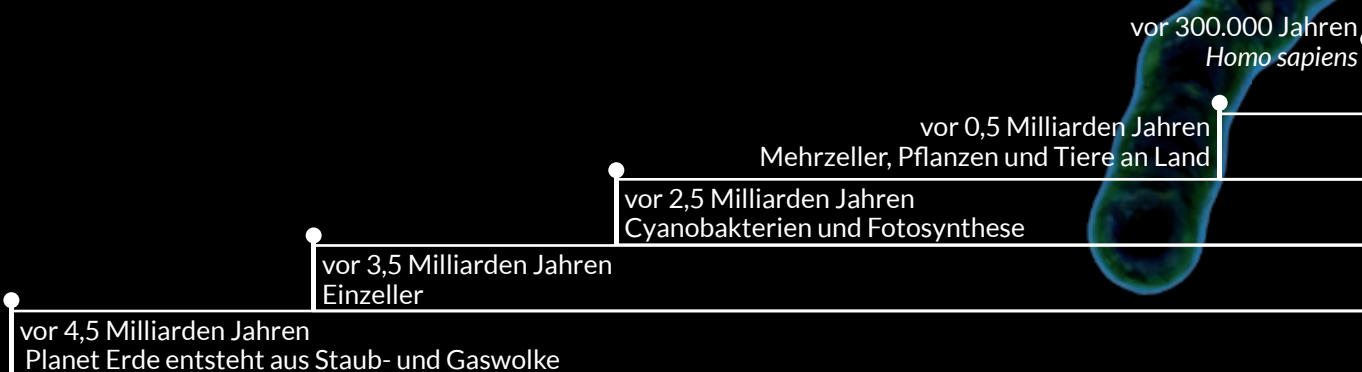
Studie
Schuergers N. et al. (2016)
Cyanobacteria use micro-optics to sense light direction.
<https://doi.org/10.7554/eLife.12620>

CYANOBAKTERIEN

Cyanobakterien waren und sind die wichtigsten Sauerstoffproduzenten auf unserer Welt. Rund 2000 verschiedene Arten von Cyanobakterien sind bisher klassifiziert.

ARCHAEA

Das sogenannte „Urbakterium“ und die erste Zellteilung markieren vor 3,5 Milliarden Jahren den Beginn des Lebens auf der Erde.



Mikroorganismen im Wasser erzeugen SAUERSTOFF

Ohne Mikroorganismen gäbe es kein Leben auf dem Planeten Erde. Bis heute hängt unser Leben von diesen Organismen im Wasser ab, weil sie den Großteil des Sauerstoffs produzieren.

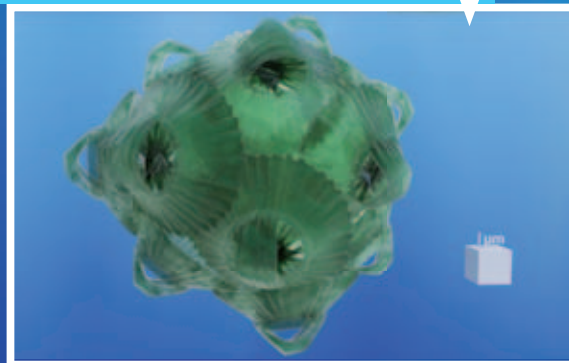
Algen - die SAUBERMACHER

Algen können Stickstoffe und Phosphat aus Abwasser aufnehmen. Sie benötigen dazu nur Sonnenlicht und Kohlenstoffdioxid. Während des Reinigungsprozesses produzieren die Algen Sauerstoff. Und sie wachsen natürlich auch. Die Algenbiomasse vergrößert sich und daraus kann dann Biosprit gewonnen werden. Eine Win-win-und-nochmal-win-Situation.

Algen als ROHSTOFF

Algen bilden eine Vielzahl von Stoffen und werden deshalb auch als nachhaltiger Rohstoff erforscht. Sie liefern Fette, wie zum Beispiel die sehr gesunden Omega-3-Fettsäuren, und sind reich an Mineralien und Vitaminen. Algen vermehren sich schnell und produzieren 30-mal mehr Öl als Raps oder Mais.

Emiliana huxleyi ist eine Alge aus der Gruppe der Kalkflagellaten. Die Algenzelle ist von Kalkplättchen umgeben. Bestimmte Kalkgesteine, wie zum Beispiel Kreide, bestehen oft zu einem großen Teil aus Kalkflagellaten. Wenn wir also mit Kreide auf einer Tafel schreiben, schreiben wir im Grunde mit Algen.



EINZIGARTIG

Algen produzieren Öl. Einige Algen aber können n-Alkane herstellen. N-Alkane sind in der Regel der Hauptbestandteil von Erdölen. Eine sehr besondere Mikroalge namens *Dicrateria rotunda* hat n-Alkane-Öltröpfchen in ihren Hohlräumen, mit einer Kettenlänge von 10-38. Das ist die gleiche Kettenlänge, die Erdöl hat. *Dicrateria rotunda* ist das erste bekannte Lebewesen, das Erdöl produzieren kann.

Studie
Harada N. et al. (2021)
A novel characteristic of a phytoplankton as a
potential source of straight-chain alkanes .
<https://doi.org/10.1038/s41598-021-93204-w>

Das MIKROBIOM im Wasser

Algen blieben lange unter sich

In den nächsten Jahrtausenden entstanden Mehrzeller wie Algen. Algen haben einen Zellkern, um ihre Geninformationen zu schützen. Wahrscheinlich haben sie sich mit den Cyanobakterien vereint und konnten damit auch Fotosynthese betreiben. Algen waren für rund zwei Milliarden Jahre die einzigen pflanzenartigen Lebewesen auf der Erde.

Ökosystem Meer ist essenziell für das LEBEN AUF DER ERDE

70 % der Erde sind von Wasser bedeckt. Seegräser und Algen können 20 mal mehr Kohlenstoff speichern als der Wald an Land. Damit sind sie ein immenser Faktor im Kampf gegen die Klimakrise. Sollte der maritime Lebensraum jedoch weiter zerstört und der dort gespeicherte Kohlenstoff frei werden, ist mit gewaltigen Einträgen von CO₂ in die Lufthülle der Erde zu rechnen. Das Leben entstand im Meer, ohne die Meere wird es auch in Zukunft kein Leben auf Erden geben.

Mikroorganismen bestehen aus einer oder nur wenigen Zellen

Wir nennen die Kleinstlebewesen Mikroorganismen, einfach weil sie so klein sind.
Zu den Mikroorganismen zählen Bakterien, Protozoen, Archaeen, Pilze und Mikroalgen.

Jeder Organismus bildet eine Einheit mit seinem Mikrobiom

Ein Mikrobiom bezeichnet die Gesamtheit aller Mikroorganismen, die einen bestimmten Lebensraum besiedeln, zum Beispiel die menschliche Haut, die Blätter einer Pflanze oder die Wurzeln einer bestimmten Pflanzenart im Boden. Ein Mikrobiom ist eine sehr komplexe und vielfältige Lebensgemeinschaft. Am bekanntesten ist das Mikrobiom im menschlichen Darm.

ÜBERWÄLTIGEND

Wie viele verschiedene Arten von Bakterien, Pilzen und Algen auf unserer Erde leben, ist nur schwer abschätzbar. Es gibt allerdings sogenannte Skalierungsgesetze, mit denen die Artenvielfalt berechnet werden kann. 2016 haben Wissenschaftler*innen diese Skalierungsgesetze auch auf Mikroorganismen angewandt und errechnet: Es könnte auf unserer Erde 1 Billion, also 1000 Milliarden, Mikroorganismen geben. Eine Million Millionen verschiedene Arten. Davon sind 10 Millionen bisher katalogisiert. Etwa 10.000 lassen sich im Labor züchten.

Studie
Locey K. J. et al. (2016)
Scaling laws predict global microbial diversity.
<https://doi.org/10.1073/pnas.1521291113>

Artenvielfalt ist die Grundlage für stabile

Auch wenn wir Menschen technisch weit fortgeschritten sind, sind wir von der Natur und ihrer gesamten Vielfalt abhängig. Und zu dieser Vielfalt zählen auch die Kleinsten unter ihnen: die Mikroorganismen. Die unterschiedlichen Mikroorganismen sind überall: in der Luft, in der Erde und im Wasser. Auch Pflanzen, Tiere und Menschen sind von ihnen bevölkert. Jede Pflanze und jedes Tier ist der Lebensraum für Abermillionen Mikroorganismen. Je größer die Artenvielfalt bei Pflanzen und Tieren ist, desto vielfältiger sind auch die Mikroorganismen, die sich bei ihnen ansiedeln. Stirbt eine Pflanzen- oder Tierart aus, verschwinden mit ihr auch Tausende Mikroorganismen – darunter auch unzählige noch unbekannte. Es gibt Milliarden verschiedener Arten, von denen bis jetzt nur ein Bruchteil bekannt ist.

ökologische Systeme

Aus einfachsten Lebewesen entstand Artenvielfalt

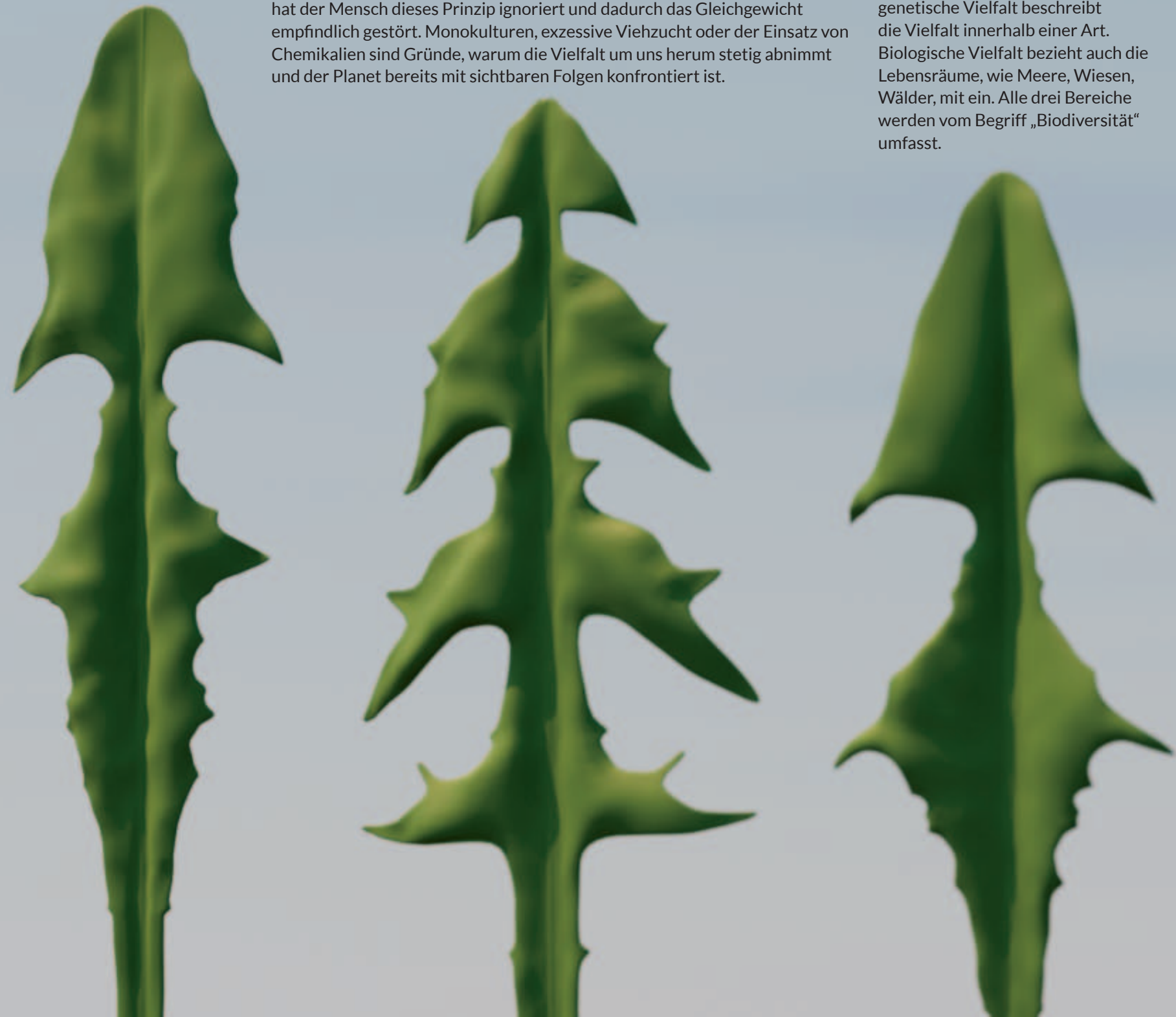
Ganze drei Milliarden Jahre lang bevölkerten einfachste Lebewesen mit nur wenigen Zellen die Erde. Und dann, vor rund 500 Millionen Jahren, ging plötzlich alles ganz schnell. Innerhalb kurzer Zeit entwickelten sich enorm viele verschiedene Arten. Unterschiedliche Pflanzen und Tiere besiedelten die Erde und bildeten damit eine bunte Artenvielfalt.

Vielfalt hält gesund

Das grundlegende Prinzip der Natur ist: Leben ist Vielfalt. Je vielfältiger ein Lebensraum ist, desto gesünder ist er. Das Prinzip der Vielfalt gilt auch für menschengemachte Systeme wie für die Landwirtschaft. Über viele Jahre hat der Mensch dieses Prinzip ignoriert und dadurch das Gleichgewicht empfindlich gestört. Monokulturen, exzessive Viehzucht oder der Einsatz von Chemikalien sind Gründe, warum die Vielfalt um uns herum stetig abnimmt und der Planet bereits mit sichtbaren Folgen konfrontiert ist.

Biodiversität beschreibt ein breites Spektrum

Artenvielfalt umfasst die Vielfalt von Tieren, Pflanzen und Mikroorganismen. Die genetische Vielfalt beschreibt die Vielfalt innerhalb einer Art. Biologische Vielfalt bezieht auch die Lebensräume, wie Meere, Wiesen, Wälder, mit ein. Alle drei Bereiche werden vom Begriff „Biodiversität“ umfasst.



ERDBODEN WIMMELT NUR SO VON MIKROORGANISMEN

Im Wurzelbereich einer Pflanze leben Billionen Mikroorganismen zusammen. Die Summe aller Mikroorganismen in einer solchen Wohngemeinschaft bildet das Mikrobiom. Je unterschiedlicher die Bewohner sind, desto besser für alle Beteiligten. Denn in jedem Mikrobiom ist die Vielfalt der entscheidende Faktor für ein funktionierendes Zusammenleben. Und alle Bewohner haben bestimmte Aufgaben zu erfüllen: Pilze können hauchdünne Fäden bilden.

Im Boden erschließen sie damit die entlegensten Gebiete, in die die Pflanzenwurzeln sonst nicht vordringen könnten. Bakterien und Pilze im Boden verarbeiten totes Pflanzenmaterial und zersetzen dabei Stoffe, die anderen Organismen als Nahrung dienen. Pilze wiederum sind wie ein Lieferservice, weil sie Nährstoffe aufnehmen und an die Pflanzen liefern können. Als Gegenleistung bekommen die Bakterien und Pilze dafür Fotosynthese-Zucker von der Pflanze.

Gemütliche Wohngemeinschaften in Wurzeln

Alle Pflanzen brauchen Stickstoff als Nahrung. Der Stickstoff kommt aber oft nur in einer Form vor, die von Pflanzen nicht direkt aufgenommen werden kann. Bakterien können Stickstoff allerdings so verändern, dass eine Pflanze ihn verwerten kann. Deshalb laden einige Pflanzen die Bakterien ein, gleich bei ihnen in der Wurzel zu wohnen. Sie gehen eine symbiotische Beziehung mit den Bakterien ein. Besonders gut sieht man das bei Hülsenfrüchtlern. Diese Pflanzen bilden sogar Knöllchen aus, die dann für Millionen sogenannter Knöllchenbakterien ein Zuhause sind und in denen sie Stickstoff für die Pflanze umwandeln.

Rhizobium

Hülsenfrüchtler gehen eine einzigartige Symbiose mit Bakterien ein. Der Luftstickstoff wird in den Knöllchenbakterien umgewandelt und gespeichert. Deshalb werden Hülsenfrüchtler auch als Zwischenfrucht und zur Gründüngung in der Landwirtschaft angebaut. Die Pflanze wird in den Boden eingearbeitet. So kommt der wichtige Stickstoff in den Boden und steht den darauffolgend angebauten Pflanzen zur Verfügung.

VON EINEM GESUNDEN ERDBODEN PROFITIEREN ALLE

Grundsätzlich siedeln Pflanzen an Standorten, an denen sie das finden, was sie zum Überleben brauchen. In der Landwirtschaft müssen die Gegebenheiten oft angepasst werden, da die Vielfalt fehlt und der Boden sehr beansprucht wird. Mit Düngemitteln müssen dann Nährstoffe in den Boden eingebracht werden, die dort aber oft nur kurz aktiv sind, weil sie ausgewaschen oder unwirksam werden. Ein gesundes Bodenleben mit einem intakten Mikrobiom kann helfen, chemische Dünger zu sparen.

ENORM

Pflanzen sind wichtige Kohlenstofflieferanten für den Boden. Abgestorbene Pflanzenteile werden von den Bodenorganismen in Bodenkohlenstoff und CO₂ umgewandelt. Aber auch die Bodenorganismen selbst sterben natürlich. Stirbt ein Bakterium im Boden, wird seine Zellflüssigkeit von der Umgebung aufgesogen, ca. 10 % des abgestorbenen Bakteriums dienen anderen Mikroorganismen als Nahrung, rund 50 % werden in Mineralstoffe umgebaut und etwa 40 % des organischen Kohlenstoffs bleiben im Boden erhalten. Abgestorbene Bakterien und Pilze bilden einen großen Teil der organischen Bodenmasse. Boden ist der größte CO₂-Speicher der Welt. Etwa 2.600 Milliarden Tonnen Kohlenstoff sind im Boden gespeichert (zweimal so viel wie in der Atmosphäre).

Nicht alle Mikroorganismen haben es so gemütlich und heimelig wie die Knöllchenbakterien in der Erde. Mikroorganismen auf Pflanzenblättern haben rauere Lebensbedingungen. Schnelle Wechsel von Sonnenstrahlen, Hitze, Kälte, Regen und Wind setzen ihnen zu. Deshalb wohnen sie gerne in Einbuchtungen auf der Pflanzenoberfläche oder geschützt durch einen „Schirm“ auf der Blattunterseite. Auf den Blättern siedeln sich Bakterien, Pilze und Algen an. Mit dem Wind reisen sie oft von fern über Strecken von Hunderten Kilometer an. Bakterien auf den Blättern helfen einer Pflanze, ihr Immunsystem zu stärken, und schützen sie so vor Erkrankungen. Pflanzen mit einem optimalen Mikrobiom sind außerdem widerstandsfähiger gegenüber Stressfaktoren wie Trockenheit und Salz.

Mikrobielle Schutzschilde auf einem Blatt

Geschmack durch Methylobakterien

Die häufigsten Mikroorganismen auf Blättern sind Methylobakterien. Sie sind auch dafür mitverantwortlich, wie Obst und Gemüse schmecken.

Studie
Siegmond B. et al. (2011).
Die Bedeutung von Methylobakterien
für die Aromabildung von Erdbeeren.
Die Ernährung, 35, 149-155

Innere Werte einer Pflanze

Noch mehr Bakterien als auf der Oberfläche eines Blattes finden sich im Inneren einer Pflanze. Millionen Bakterien können sich hier ansammeln, aber die Anzahl alleine bringt noch keine Vorteile. Vielfalt ist wichtiger als Fülle. Denn viele gleiche Bakterien verbessern das Mikrobiom nicht. Wie viele verschiedene Mikroorganismen die Pflanze bewohnen, ist ausschlaggebend. Insbesondere wichtig sind all jene Mikroorganismen, die Krankheiten abwehren oder für die Pflanze Nährstoffe bereitstellen.

Studie
Shalev, O. et al. (2022)
Commensal Pseudomonas strains facilitate protective
response against pathogens in the host plant.
<https://doi.org/10.1038/s41559-022-01673-7>

Mikroorganismen produzieren GAS FÜR BIOGASANLAGEN

Bis zu 200 verschiedene Arten von Bakterien tummeln sich in den Mägen der Kuh. Sie verdauen die Pflanzennahrung, produzieren dabei aber auch eine große Menge Gase. Beim Wiederkäuen entweichen die Gase, CO₂ und Methan, aus dem Maul der Kuh – bis zu 200 Liter täglich.

Das von den Mikroorganismen der Kuh produzierte Methangas kann zwar nicht aufgefangen und als Energie genutzt werden. Biogasanlagen nutzen aber ähnliche Mikroorganismen zur Produktion von Gas. Die Mikroorganismen werden mit Pflanzen und Bioabfällen gefüttert, verdauen die Pflanzen und produzieren dabei Gas.

GENIAL

Die Mikroorganismen in der Kuh können fast alles verdauen, manche von ihnen zersetzen sogar Plastik. Bis jetzt wurden diese Bakterien immer einzeln untersucht. Österreichische Wissenschaftler*innen fanden heraus, dass der Abbau von Plastik besser verläuft, wenn das gesamte Pansen-Mikrobiom mithilft.



Studie
Quartinello F. et al. (2021)
Together Is Better: The Rumen Microbial
Community as Biological Toolbox for
Degradation of Synthetic Polyesters.
[https://doi: 10.3389/fbioe.2021.684459](https://doi.org/10.3389/fbioe.2021.684459)

Eine Kuh ist viel mehr, als wir sehen können. Denn jede Kuh ist auch das Zuhause von Billionen Bakterien, die ihr helfen, das Futter zu verdauen und gesund zu bleiben. Ohne diese Bakterien könnte die Kuh nicht überleben.

MIKROORGANISMEN VERDAUEN FUTTER FÜR KÜHE

Viele Pflanzen, die eine Kuh frisst, sind eigentlich für sie unverdaulich. Die Aufgabe der Verdauung übernehmen Bakterien, die in einer Gemeinschaft mit der Kuh leben. Wenn eine Kuh ein Büschel Pflanzen geschluckt hat, beginnen Bakterien das Futter zu vergären, daraus entsteht nahrhafter Zucker.

Alles, was die Bakterien nicht zersetzen können, kommt wieder ins Maul zurück, wird dort kräftig eingespeichelt und dann wiedergekaut. Der wiedergekaute feine Pflanzenbrei kommt in einen weiteren Magen, den Pansen. Die dort ansässigen Mikroorganismen bauen den Brei in verdauliche Bestandteile um.

Aber auch ein Teil der Mikroorganismen selbst dient der Kuh als Nahrung. Neben durchschnittlich 100 kg Gras verdaut eine Kuh täglich bis zu 10 kg Mikroorganismen. Welche Pflanzen eine Kuh frisst, bestimmt, welche Mikroorganismen sich vermehren.

Die Zunge einer Kuh ist übersät mit kleinen Erhebungen, die die Zunge rau machen und das Ausreißen und Zermalmen der Pflanzen erleichtern. Sind die Pflanzenfasern im Magen noch zu groß für die Mikroorganismen, wird der Brei wieder ins Maul befördert und wiedergekaut. 100 bis 200 Liter Speichel produziert die Kuh so täglich.

BAKTERIEN, DIE UNS NICHT SAUER MACHEN

Aus Milch werden seit Jahrtausenden Milchprodukte erzeugt – schon in der Steinzeit haben Menschen Käse erzeugt. Entscheidend für die Produktion von Käse ist das Milch-Mikrobiom, darunter versteht man die in der Milch enthaltenen Bakterien und Pilze. Sie beeinflussen die Reifung und den Geschmack von Rohmilchkäse. Milchsäurebakterien zum Beispiel verwandeln Milchzucker in Milchsäure, die Milch wird dann sauer. In dem sauren Umfeld bildet das Milcheiweiß Klumpen (Kasein genannt), die dem Käse seine feste Struktur geben.

Die Qualität von Milch hängt auch von Mikroorganismen ab

Die Qualität von Milch hängt auch von Mikroorganismen ab. Im Euter einer Kuh sind unzählige Milchbläschen. Sie filtern Eiweiß, Fett, Milchzucker, Mineralstoffe und Vitamine aus dem Blut, die dann in der Milch zu finden sind. Die Bestandteile der Milch unterscheiden sich – je nachdem, was eine Kuh frisst und welche Mikroorganismen sich in ihr angesiedelt haben.

Milchsäurebakterien bremsen schädliche Bakterien ein

Die durch Bakterien gebildete Milchsäure verhindert, dass sich schädliche Bakterien vermehren können – dadurch werden Lebensmittel länger haltbar. Milchsäurebakterien kommen aber nicht nur in der Milch vor, sondern auch auf Gemüse. Sie sind dafür verantwortlich, dass Kraut zu Sauerkraut wird oder Gemüse zu Sauergemüse. Auch beim Brotbacken haben sie ein Wörtchen mitzureden: Sauerteig besteht aus Milchsäurebakterien, Hefen und Mehl und verhilft dem Brot im besten Fall zu einem locker-flockigen Aufgehen. Milchsäurebakterien sind überaus nützliche Bakterien, auch für den menschlichen Darm, denn auch dort sorgen sie dafür, dass sich schädliche Bakterien schlechter vermehren können.

Prä und Pro

Milchsäurebakterien werden zu den Probiotika gezählt. Sie kommen in Joghurt, Sauerkraut, Kimchi und anderen fermentierten Lebensmitteln vor. Wir essen die Lebensmittel und nehmen damit auch die Bakterien zu uns. Viele überleben auch die sehr saure Umgebung in unserem Magen und siedeln sich dann im Darm an. Als Präbiotika werden dagegen Lebensmittel bezeichnet, die nicht direkt Bakterien beinhalten, aber eine Lieblingsspeise für die Bakterien in unserem Darm sind. Dazu gehören alle Ballaststoffe, wie sie in Obst, Gemüse, Hülsenfrüchten und Vollkornprodukten vorkommen. Milchsäure- und Bifidobakterien lieben Ballaststoffe und vermehren sich, wenn wir sie damit füttern. Zucker und zu viel Eiweiß lassen hingegen eher Mikroorganismen wachsen, die häufig mit Krankheiten in Verbindung gebracht werden.

Milchsäurebakterien leben am liebsten im Verdauungstrakt von Säugetieren, aber auch im Magen von Bienen und Fröschen können sie gefunden werden.

BEEINDRUCKEND

Kasein ist ein sehr gutes Bindemittel, es verbindet verschiedene Stoffe und haftet auf Untergründen. Für Kaseinfarben werden dem Kasein Farbpigmente beigemischt. Kaseinleim mit sehr hoher Klebekraft entsteht, wenn man Kasein mit Kalk mischt. Anscheinend haben Menschen schon vor Tausenden Jahren Milch als Grundlage für Farben benutzt, die Milcheiweiß-Verbindungen lassen sich sogar in Höhlenmalereien finden. Die Bindekraft von Kasein hat sich auch ein Mönch im Jahr 1531 zunutze gemacht. Er erhitzte Käse und kühlte ihn ab. Je öfter er das machte, desto fester wurde die erkaltete Masse. Er konnte damit Gegenstände formen und nannte das Material „Kunsthorn“. Das genaue Rezept für Kunsthorn stammt von einem Alchemisten namens Bartholomäus Schobinger und gilt als das erste Rezept für Kunststoff in Deutschland. Um 1900 mischten ein deutscher Drucker und ein Chemiker Kasein mit verschiedenen Chemikalien und erfanden damit Galalith, einen Kasein-Kunststoff, aus dem verschiedenste Gegenstände wie Knöpfe, Griffe und auch Schmuck hergestellt wurden.

KASEIN-STRUKTUR

Kasein ist das Eiweiß in der Milch, welches durch die von Bakterien erzeugte Milchsäure gerinnt und dadurch eine festere Struktur bekommt.

1 µm

Nicht nur Champignons kann man essen

Hefen sind Pilze, die aus nur einer Zelle bestehen. Sie vermehren sich, indem sich ein kleiner Spross an der Mutterzelle bildet. Im Inneren wird der Zellkern durch Teilung verdoppelt und in den Spross transportiert. Der Spross trennt sich von der Mutterzelle und eine kleine neue Hefe ist geboren. Dieser Vorgang benötigt natürlich Energie. Die holt sich die Hefe hauptsächlich aus Zucker, und während die Zelle den Zucker in Energie umwandelt, entstehen Alkohol und das Gas CO₂. Man kennt diesen Stoffwechsel als „Gärung“ oder „Fermentation“. Die Hefe mit dem Namen *Saccharomyces cerevisiae* ist unsere Backhefe und Bierhefe. Bei der Bierherstellung sorgt sie für den Alkoholgehalt im Getränk. Beim Backen mit Sauerteig sorgt die Vermehrung der Hefe dafür, dass kleine Gasbläschen entstehen und der Teig locker wird.



Hefe besteht aus nur einer Zelle, arbeitet aber wie ein Schwamm

Hefen werden in Kläranlagen zur Reinigung der Abwässer eingesetzt. Schwermetalle wie Zink, Kupfer und Kadmium haften an der Hefe und können dann chemisch entfernt werden. Auch andere Mikroorganismen wie Bakterien und Algen helfen den Menschen, durch diese „Biosorption“ Abwässer zu reinigen.

Hefe in der Nahrungsmittelproduktion

Hefen kommen überall vor. Sie sind in der Luft, in und auf Pflanzen und anderen Lebensmitteln. Sie sind einfach überall. Einen Sauerteig kann man herstellen, indem man Mehl und Wasser mischt und wartet. Die Hefen vermehren sich und der Sauerteig geht auf. Die natürlich vorkommenden Hefen können aber die gesamte Alkohol- und Backwarenproduktion auf unserer Welt nicht stemmen. Deshalb werden Hefen gezielt gezüchtet und vermehrt und dann in der Nahrungsmittelproduktion eingesetzt.

Verschiedene Hefen und Bakterien unterstützen sich gegenseitig ...

... und heraus kommt ein trendiges Getränk: Kombucha. Das ist ein Tee, welcher mithilfe von Hefen und Bakterien fermentiert wurde. Das Besondere an Kombucha ist, dass der Fermentationsprozess von in Symbiose lebenden Bakterien und Pilzen bewerkstelligt wird. Verschiedene Hefepilze, wie die Bierhefe oder die Spaltheife *Schizosaccharomyces pombe*, Milchsäurebakterien und Essigsäurebakterien wandeln den Zucker in Gas (deshalb ist Kombucha leicht sprudelnd) und Säure um. Dem Kombucha werden heilende Wirkungen zugesprochen, obwohl es kaum wissenschaftliche Untersuchungen dazu gibt.

Ein falscher Pilz namens SCOBY

Oft wird die Kombuchakultur als Teepilz bezeichnet. Das ist nicht korrekt, denn es handelt sich nicht um einen Pilz, sondern um eine Lebensgemeinschaft aus Bakterien und Hefen. Der Fachbegriff ist SCOBY. Das kommt aus dem Englischen und steht für „Symbiotic Culture of Bacteria and Yeast“.



Studie
Villarreal-Soto S. A. et al. (2018)
Understanding Kombucha Tea Fermentation: A Review.
<https://doi.org/10.1111/1750-3841.1406>

Im Inneren vom menschlichen Darm

So sieht der Darm eines Menschen von innen aus: Die Darmzotten sind Ausstülpungen des Dünndarms, sie sind etwa einen Millimeter groß. Auf den Darmzotten finden sich noch kleinere Microvilli. Microvilli sind fadenförmige Fortsätze von Zellen. Die Darmzotten und Microvilli vergrößern die Innenfläche des Darms um ein Vielfaches und schaffen damit ein riesiges „Wohnzimmer“.

Billionen Mikroorganismen wie Bakterien, Phagen und Pilze leben dort und verrichten ihre wertvolle Arbeit. Sie alle zusammen bilden das Darm-Mikrobiom. Sie sind im Darm geschützt vor äußeren Einflüssen und bekommen auch genügend Nahrung. Dafür produzieren sie für uns Vitamine und viele andere wertvolle Stoffe. Ein vielfältiges Darm-Mikrobiom unterstützt die Verdauung und schützt vor Erkrankungen.

Ein sattes

Plus auf dem Gesundheitskonto

Was wir essen, macht sich bezahlt: Bioprodukte schmecken nicht nur, sie sind auch reich an für Menschen gesunden Mikroorganismen. Es ist die Vielfalt an Mikroorganismen, die den Darm und die Gesundheit am besten unterstützt. Früher dachte die Forschung, dass die Mikroorganismen durch die Magensäure abgetötet werden und deshalb im Darm keine Rolle spielen. Aber mittlerweile ist bewiesen, dass viele Mikroorganismen unbeschadet in den Darm gelangen.

Studie
Wassermann B, et al. (2019)
An Apple a Day: Which Bacteria
Do We Eat With Organic and
Conventional Apples?
doi: 10.3389/fmicb.2019.01629

VIREN ALS HELFER

Ein T4-Bakteriophage infiziert ein *Escherichia-coli*-Bakterium.



ERSTAUNLICH

Bakteriophagen sind mit einer Größe von 0,02–0,2 µm die kleinsten Bestandteile des Planktons. Trotzdem bilden die Bakteriophagen den zahlenmäßig größten Teil des Planktons in unseren Weltmeeren: 10³¹ Bakteriophagen zählt das sogenannte Virioplankton.

Besondere Formen stellen Viren dar. Sie sind per definitionem keine Lebewesen, denn sie können sich nicht selbstständig vermehren. Sie brauchen dazu einen Wirt. Manche Viren nutzen den Menschen als Wirt – wie das etwa bei Corona- oder Erkältungs-Viren der Fall ist. Aber auch Pilze, Pflanzen und Tiere dienen Viren als Wirt.

Manche Viren befallen ausschließlich Bakterien, diese Viren heißen Bakteriophagen. Zum Beispiel befällt eine Bakteriophage mit dem Namen T4 nur *Escherichia-coli*-Bakterien. T4 dockt an der Bakterienoberfläche an, mit seinem Stachel transportiert er seine DNA in die Bakterie. Im Inneren der Bakterie werden nun mit den Informationen aus der eingeschleusten Virus-DNA neue Viren nachgebaut. Wenn diese fertig sind, platzt die Bakterie und bis zu 200 neu geschaffene Viren werden freigesetzt. Dieser Vorgang ist für den Menschen gänzlich ungefährlich. Im Gegenteil: In der Medizin wird daran gearbeitet, Phagen so zu programmieren, dass sie gezielt schädliche Bakterien ausschalten können. Diese Phagen-Therapie kann damit alternativ zu Antibiotika gegen bakterielle Krankheiten angewandt werden.



Escherichia-coli-Bakterien kommen natürlich im Darm von Menschen und anderen Säugetieren vor. Die meisten von ihnen lösen keine Krankheiten aus. Es gibt aber auch viele *Escherichia-coli*-Bakterien, die bei Menschen schwere Infektionen mit Durchfall, Erbrechen und Fieber auslösen. *Escherichia coli* kann im Labor einfach gezüchtet werden und wird deshalb in der Mikrobiologie als Modellorganismus verwendet.

Escherichia coli

1 µm

Probleme mit dem Mikrobiom

Die Mikroorganismen im Darm produzieren viele Stoffe. Leider sind nicht alle dieser Stoffe von Vorteil für uns Menschen. Manche Stoffe können sogar unsere DNA schädigen und sind wahrscheinlich am Ausbruch von Krebserkrankungen beteiligt. Umfassende wissenschaftliche Forschung ist hier noch notwendig, um Genes über die Zusammenhänge von Darm-Mikrobiom und Krebserkrankungen herauszufinden. Dieses zukünftige Wissen kann neue Therapien oder Vorsorgemaßnahmen möglich machen. Bei chronischen Darmerkrankungen wird bereits mit Mikrobiom-Transplantationen experimentiert.

Studie
Yiyun C. et al. (2022)
Commensal microbiota from patients with inflammatory bowel disease produce genotoxic metabolites.
DOI: 10.1126/science.abm3233

Studie
Sittip P. et al. (2022)
The function of gut microbiota in immune-related neurological disorders: a review.
<https://doi.org/10.1186/s12974-022-02510-1>

Ruminococcus

Bakterien der Gattung *Ruminococcus* im Darm weisen auf seelische Gesundheit hin. Bei Menschen mit einer depressiven Erkrankung sind nur wenige dieser Bakterien zu finden.

Studie
Haiyin J. et al. (2015)
Altered fecal microbiota composition in patients with major depressive disorder.
<https://doi.org/10.1016/j.bbi.2015.03.016>

Mikrobiom und Darm-Hirn-Achse

Mikrobiom und Darm-Hirn-Achse
Es ist schon länger bekannt, dass ein gesundes Mikrobiom im Darm, früher auch „Darmflora“ genannt, vor Krankheiten schützt. Relativ neu sind aber die Erkenntnisse, dass das Darm-Mikrobiom unser Gehirn und damit unsere Stimmungen und Gefühle beeinflusst.

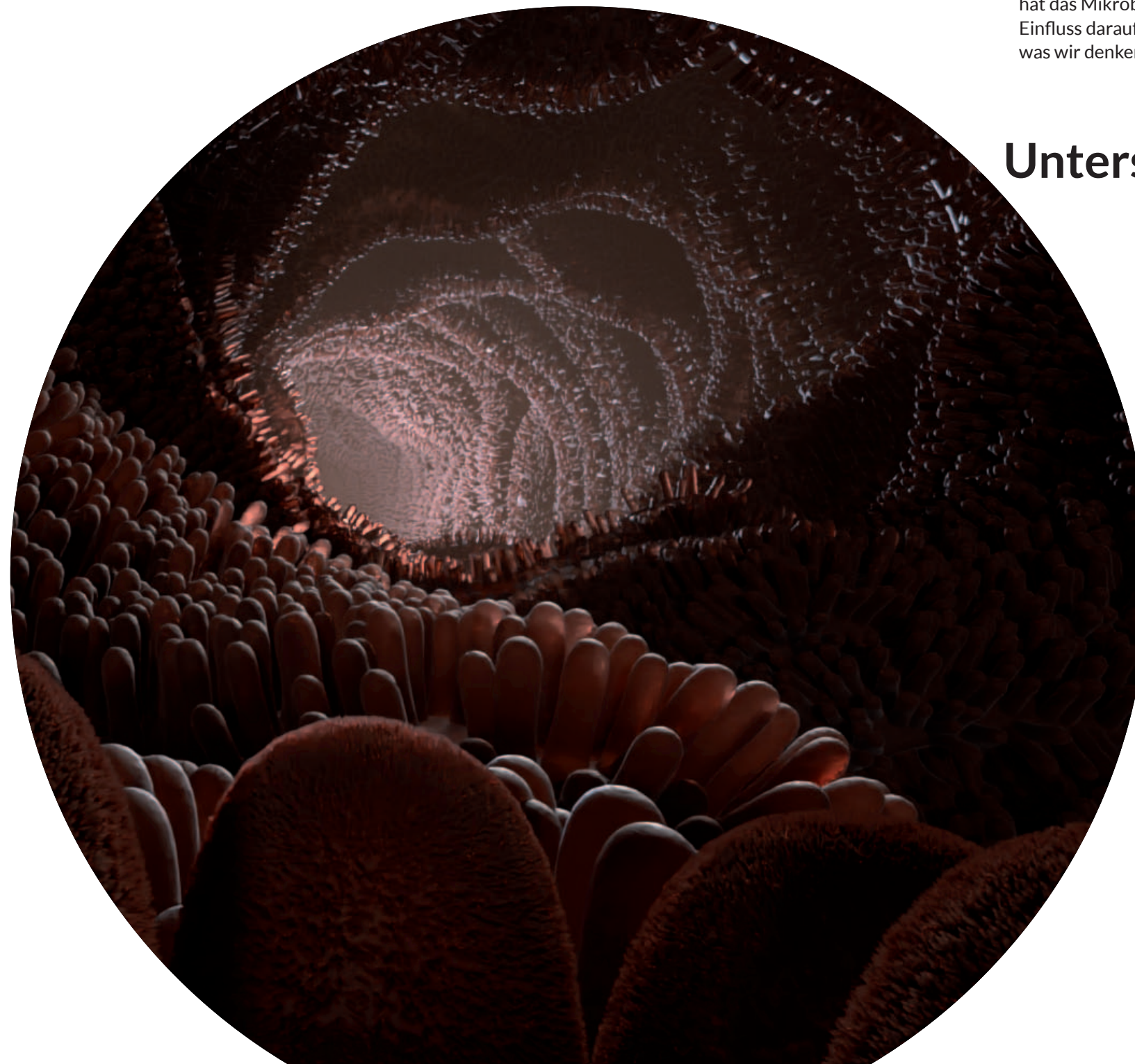
Der Vagus-Nerv verläuft vom Gehirn bis zu unserem Darm. Das ist einer der Wege, wie das Darm-Mikrobiom mit unserem Gehirn kommuniziert. Die Mikroorganismen können aber auch Stoffe produzieren, die auf die Botenstoffe im Gehirn, wie Dopamin oder Serotonin, wirken können. Damit hat das Mikrobiom in unserem Darm Einfluss darauf, wie wir uns fühlen, was wir denken und tun.

Welche Mikroorganismen sich in unserem Mikrobiom tummeln, hängt enorm von unserer Ernährung und unserem Lebensstil ab. Chronischer Stress und ungesunde Lebensmittel stören das Gleichgewicht in unserem Darm-Mikrobiom. Schädliche Bakterien können überhandnehmen und nicht nur unsere körperliche, sondern auch unsere geistige Gesundheit beeinträchtigen.

Unterschiedliches Mikrobiom bei unterschiedlicher Gemütsverfassung

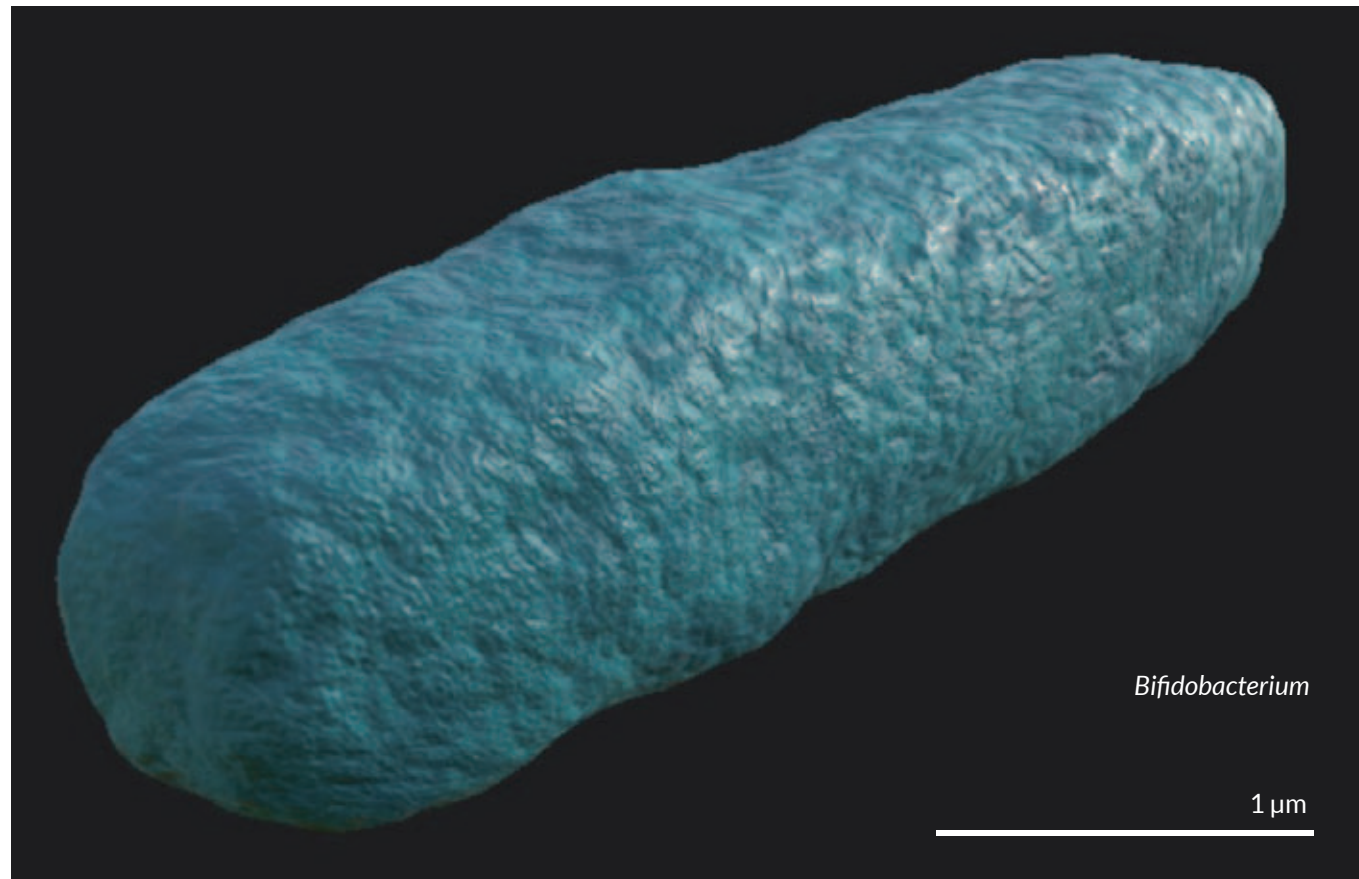
Menschen mit Depressionen haben oft eine geringere Anzahl von bestimmten Bakterien im Darm. Diese Bakterien produzieren kurzkettige Fettsäuren und andere Stoffe. Wenn die Bakterien nicht vorhanden sind, fehlen diese Stoffe dem Menschen. Genau diese Bakterien könnten als eine Art Medizin gegen Depressionen eingesetzt werden. Das ist aber noch Zukunftsmusik. Die Forschung in Bezug auf die Darm-Hirn-Achse hat erst vor wenigen Jahren begonnen und zu viele Fragen sind noch offen. Es sind weitere intensive Forschungen notwendig, um zeitliche und ursächliche Zusammenhänge beweisen zu können.

Studie
Thomann A.K. et al. (2022)
Depression and fatigue in active IBD from a microbiome perspective—a Bayesian approach to faecal metagenomics.
<https://doi.org/10.1186/s12916-022-02550-7>



Bifidobakterien lungern in der Darmwand herum

Bifidobakterien wirken wie eine Blockade gegen feindliche Belagerungen. Sie liegen im wahrsten Sinne des Wortes an der Darmwand herum. Dadurch besetzen sie den Platz und verhindern so, dass sich dort schädliche Mikroorganismen ansiedeln. Zusätzlich produzieren sie eine Säure, die die Vermehrung schädlicher Bakterien hemmt. Wo genügend Bifidobakterien herumlungern, produziert die Darmwand mehr Immunzellen, die entzündungshemmend sind.



Im Darm ist ziemlich viel los

Schätzungen gehen von rund 10 Billionen Bakterien im menschlichen Darm aus. Der menschliche Körper besteht aus rund 10 Billionen Zellen. Wir bestehen also aus gleich vielen Bakterien wie menschlichen Zellen. 95 % der Darmbakterien leben im Dickdarm. Im Darm befinden sich nicht nur Bakterien. Auch Pilze, Viren und sogenannte Archaeen leben dort.

CANDIDA

Nicht alle Mikroorganismen, die im Mikrobiom des Menschen leben, sind harmlos. *Candida* ist ein Hefepilz, der natürlich im Darm vorkommt. Breitet sich dieser Pilz übermäßig aus, kann das zu Infektionen führen. Milchsäurebakterien bilden dagegen einen natürlichen Schutzschild.

Mikrobiom als Fingerabdruck

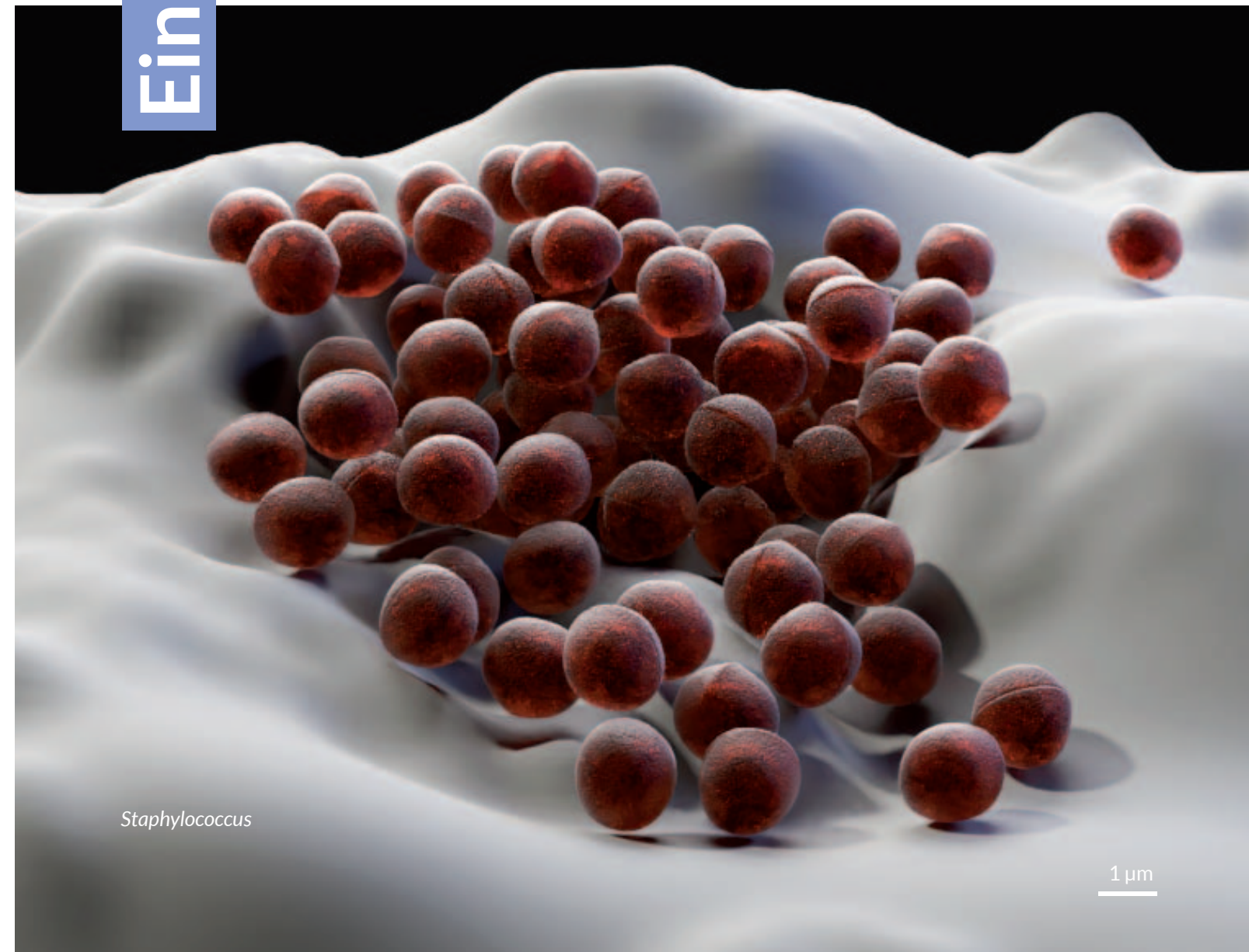
Die Zusammensetzung der Mikroorganismen im Darm jedes Menschen ist sehr speziell und unterscheidet sich von dem anderer Menschen. Jedes Mikrobiom ist wie ein Fingerabdruck einzigartig.

Ein zusätzliches Organ

Das Darm-Mikrobiom des Menschen wird oft als eigenständiges Organ betrachtet. Es hat, wie andere Organe auch, ganz bestimmte Aufgaben, zum Beispiel Immun- und Stoffwechselfunktionen. Jeder Mikroorganismus im Mikrobiom hat eine eigene DNA, das Mikrobiom wird deshalb auch oft als das „zweite menschliche Genom“ bezeichnet.

Stuhltransplantation als Form der „Organtransplantation“

Wenn das Darm-Mikrobiom als eigenständiges Organ betrachtet werden kann, so könnte es doch, wie andere Organe auch, transplantiert werden? Tatsächlich wurde bereits im 4. Jahrhundert n. Chr. in China bei Lebensmittelvergiftungen oder starkem Durchfall eine „goldene Suppe“ verschrieben, die hauptsächlich aus Fäkalien bestand. Sie schien das Gleichgewicht im Körper wiederherzustellen – was da genau passierte, war den damaligen Mediziner natürlich unbekannt. In der modernen Medizin werden Stuhltransplantationen in schweren Krankheitsfällen angewandt. Sie können gute Erfolge bringen, sind aber mit größter Sorgfalt durchzuführen, um nicht unerwünschte Mikroorganismen zu transplantieren.



Blick in die Zukunft

Mikroorganismen sind die ältesten Lebewesen unseres Planeten. Sie haben sich für eine unglaublich lange Zeit über Milliarden Jahre immer wieder an neue Lebensbedingungen angepasst und überlebt. Die Menschheit ist im Vergleich mit ihnen blutjung und hat sich in diese uralte Welt „eingelebt.“

Die Mikroorganismen wurden lange komplett unterschätzt. Erst jetzt versteht die Wissenschaft immer besser, welche Bedeutung Mikrobiome für die Gesundheit aller Lebewesen haben: Ohne Mikrobiome überlebt weder ein Grashalm noch eine Kuh.

Auch für Menschen sind Mikrobiome in vielerlei Hinsicht lebenswichtig: Viele Bewohner dieser Wohngemeinschaften sind unentbehrlich, hilfreich und nützlich.

Bakterien beeinflussen sogar das Klima, sie werden aber auch von der Klimaveränderung beeinflusst. Welche fatalen Folgen der sorglose Umgang mit der Biodiversität für uns Menschen haben kann, kann gar nicht hoch genug eingeschätzt werden.

VOM MIKROSKOP ZUR DNA-FORSCHUNG

Die Welt der Mikroorganismen ist ein eigener Kosmos mit einem unermesslichen Wert für alle Lebewesen und deren Umwelt. Dabei sind die meisten Mikroorganismen noch gar nicht entdeckt und erforscht.

Das hat damit zu tun, dass man sie lange im wahrsten Sinn des Wortes nicht gesehen hat. Erst durch Mikroskope konnte die Wissenschaft einen Blick auf sie werfen.

Viele Mikroorganismen überleben im Labor nicht lange genug, um sie untersuchen zu können. Viele bahnbrechende Erkenntnisse sind deshalb erst durch die Genforschungen in den letzten Jahren möglich geworden.

Erhalt von Mikrobiomen – eine gute Investition in die Zukunft

Der Erhalt der Vielfalt von Mikrobiomen wird ein entscheidender Faktor für eine nachhaltige Biowirtschaft sein. Innovative Mikrobiom-Anwendungen können wirkungsvolle Antworten auf die aktuellen Herausforderungen des 3. Jahrtausends sein: Eindämmung des Klimawandels, Erhalt der Biodiversität, Herstellung und Verfügbarkeit von gesunden Lebensmitteln, Bioenergie, Recycling und Abfallwirtschaft.

Lactobacillus

1 µm

Mikroorganismen orchestrieren das Leben auf der Erde

Die Mikrobiom-Forschung hat in den letzten Jahren dramatisch zugenommen. Es gibt eine Fülle neuer Erkenntnisse über mikrobielle Gemeinschaften. Besonders intensiv wurde dabei natürlich über das menschliche Mikrobiom geforscht. In jüngster Zeit aber wurde deutlich: Mikrobiome können dabei helfen, auch andere Herausforderungen zu bewältigen. Dazu zählen die Bodenfruchtbarkeit, die Ernährung und Gesundheit von Pflanzen und Tieren, die Lebensmittelsicherheit, die Abfallwirtschaft, die Anpassung an den Klimawandel, die Kohlenstoffbindung und die Verringerung der Treibhausgasemissionen.

Das Projekt „MicrobiomeSupport“ hat Expert*innen aus verschiedenen Bereichen der Mikrobiom-Forschung zusammengebracht. Es entstand ein internationales Expert*innengremium für Mikrobiome in Lebensmittelsystemen. Ein solches Expert*innengremium könnte ein ständiger Ausschuss werden, um an gemeinsamen Prioritäten zu arbeiten und ein gemeinsames Wissen zu entwickeln. Von den Expert*innen wurde auch erkannt, woran es in der Mikrobiom-Forschung noch mangelt: Forschungsinfrastrukturen, Datenzugang und -austausch, Wissenstransfer und Innovation, ein passendes Regelwerk für neuartige Produkte und Applikationen sowie Sensibilisierung von Interessengruppen und Gesellschaft. Damit sind auch die Wege zur Schließung dieser Lücken leichter zu finden.

Studie
Strategic Research and Innovation Agenda for future microbiome activities and applications.
www.microbiomesupport.eu

DIE GROSSE FRAGERUNDE

Die Wissenschaft weiß einiges über einzelne Mikroorganismen, aber sie weiß noch viel zu wenig über die Wechselwirkungen im Mikrobiom, also zwischen den einzelnen Bakterien, Pilzen und anderen Kleinstlebewesen. Auch wie der Wirt das Mikrobiom beeinflusst, wie Mikrobiome ihren Wirt oder die Umwelt beeinflussen, ist nur teilweise bekannt.

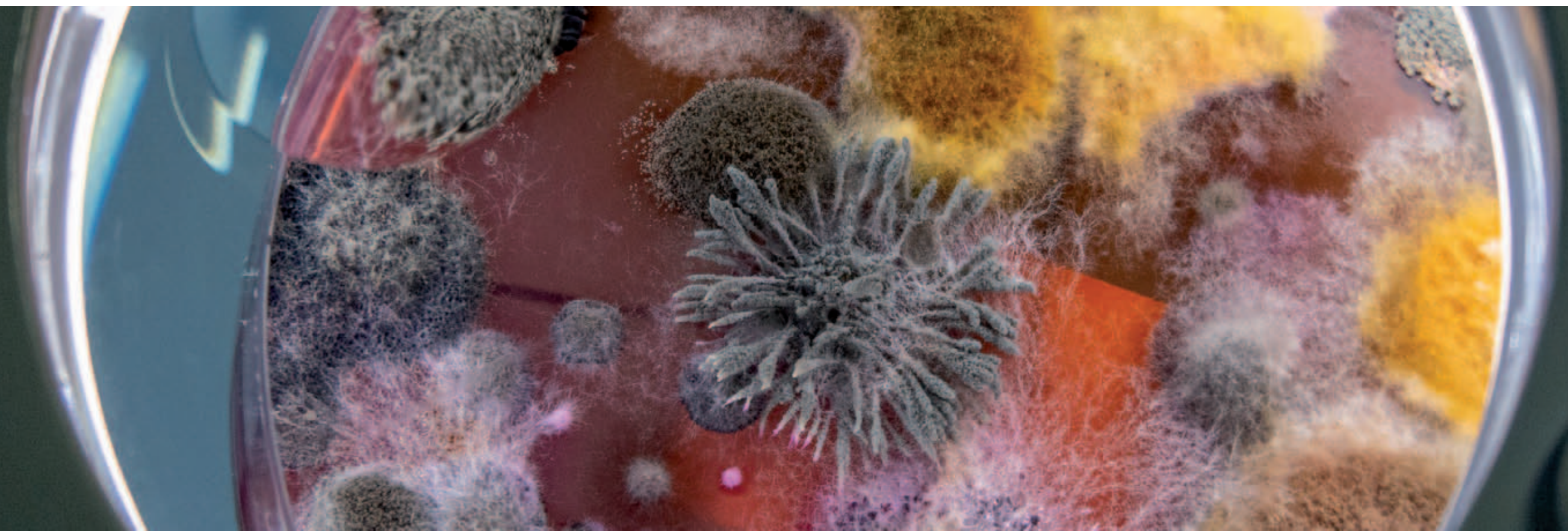
Dazu müsste man Mikrobiome noch besser beschreiben und charakterisieren können. Welche Mikroorganismen leben zusammen? Welche Arbeit verrichten bestimmte Mikroorganismen? Welche Substanzen produzieren sie? Wie verändern sie sich im Laufe der Zeit bzw. unter Einfluss von verschiedenen externen Faktoren? Kurz gesagt: Wer tut wann was wo und welche Auswirkungen hat das?

WAS MAN ALLES
noch NICHT WEISS

VORHERSAGEN TREFFEN MIT DEM MIKROBIELLEN „FIEBERTHERMOMETER“

Erst wenn man genau weiß, wie Mikrobiome funktionieren, kann man auch Vorhersagen treffen. Welche Bakterien sind gesund in Lebensmitteln? Welche Mikroorganismen stellen ein Risiko dar? Wie beeinflussen Mikrobiome die Haltbarkeit von Lebensmitteln? Ist mein Darm-Mikrobiom gesund oder sind von einigen Mikroorganismen zu viele da? Und ab wann sind Veränderungen krank machend?

Wenn man weiß, wie bestimmte Mikrobiome zusammengesetzt sind, kann man auch kontrollieren, ob sie so sind, wie sie sein sollten. Biologische Merkmale oder Substanzen könnten festgelegt werden, die auf Krankheit oder Gesundheit eines Mikrobioms hinweisen. Man könnte künftig Analysesysteme entwickeln, die die biologischen Merkmale des Mikrobioms messen, fast so wie ein Fieberthermometer die Temperatur misst.



AUF DER SUCHE NACH NEUEN MEDIKAMENTEN UND THERAPIEN

Krank machende Bakterien werden durch Antibiotika abgetötet. Gerade in der Tierhaltung werden Antibiotika oft zur Vorbeugung eingesetzt. Wenn aber zu viele Antibiotika verwendet werden, gewöhnen sich die Bakterien daran und werden resistent. Antibiotika-Resistenzen stellen mittlerweile ein sehr großes Problem dar. Kranke Menschen und Tiere können nicht mehr behandelt werden, weil die Medikamente nicht wirken. In den Mikrobiomen schlummern möglicherweise neue wirksame Antibiotika oder andere hilfreiche Substanzen, die Alternativen zu Antibiotika sein könnten. Mikrobiome müssen also auch erforscht werden, um neue Medikamente zu finden.

Auch gezielte Versuche, das Darm-Mikrobiom zu verändern, müssen auf gesicherten wissenschaftlichen Daten beruhen. Probiotika können helfen, nach der Einnahme von Antibiotika das Darm-Mikrobiom wiederherzustellen. Die Einnahme von Probiotika ist einfach und ohne besondere Gefahren möglich. Bei der Transplantation von Mikrobiomen sieht die Sache schon anders aus: Hier müssen besondere Standards eingehalten werden, um mit den gesundheitsfördernden Bakterien nicht auch krank machende zu transplantieren und so die Gesundheit der Patient*innen zu gefährden.

DER DETEKTIV IM MIKROBIOM

Jedes Mikrobiom ist wie ein Fingerabdruck. Wenn man Mikrobiome genau kennt und ihre Zusammensetzung zum Beispiel in einer Referenz-Datenbank gespeichert hat, kann man kontrollieren, ob das vorhandene Mikrobiom tatsächlich das ist, für das es ausgegeben wird. Damit könnte man in ferner Zukunft die Wege der Lebensmittel rückverfolgen, Zertifizierungen kontrollieren und Lebensmittelbetrug aufdecken.

Lactobacillus lactis

Lactobacillus lactis

GESÜNDERE LEBENSMITTEL FÜR GESÜNDERE MENSCHEN

Es sind weitere Forschungsarbeiten erforderlich, um neue und tiefere Erkenntnisse darüber zu gewinnen, was ein gesundes menschliches Mikrobiom ausmacht und welche Merkmale es aufweist. Eine Störung der Gemeinschaft von Mensch und Mikrobiom wird mit einer Vielzahl von Krankheiten in Verbindung gebracht. Die Beeinträchtigung des Mikrobioms wird als einer der Hauptfaktoren für die dramatische Zunahme chronischer Erkrankungen angesehen. Die Ernährung ist ein wichtiges Mittel zur Gestaltung des Mikrobioms. Eine gesunde Ernährung kann damit zur Wiederherstellung des gestörten Gleichgewichts beitragen.

Mehr Forschung wäre auch für die Entwicklung von speziellen Lebensmitteln und Diäten als Teil der medizinischen Therapie notwendig. Die therapeutische Wirkung sollte verbessert werden und unerwünschte Nebenwirkungen auf das menschliche Mikrobiom müssen vermieden werden. Dies wäre besonders für Menschen mit dem Risiko für chronische Krankheiten und für Patient*innen, die sich einer Behandlung unterziehen, von Bedeutung.

FERMENTATION UND GESUNDHEIT

Unter Fermentation versteht man die Umwandlung von Stoffen durch Bakterien, Pilze oder Enzyme. Gesundheitliche Vorteile von fermentierten Lebensmitteln werden seit Jahrhunderten beschrieben, obwohl viele davon nicht bewiesen sind. Die möglichen Vorteile beruhen auf dem Vorhandensein lebender Mikroorganismen und den fermentationsbedingten Veränderungen der Inhaltsstoffe des Lebensmittels. Lebensmittel, die auf mikrobieller Fermentation beruhen, können die Zusammensetzung des Darm-Mikrobioms positiv beeinflussen und den Stoffwechsel unterstützen. Weitere Forschungsarbeiten könnten dazu beitragen, nachhaltige Ernährung auf der Grundlage von mikrobiell fermentierten Lebensmitteln zu entwickeln, um die menschliche Gesundheit zu verbessern.

KRANK DURCH LEBENSMITTEL

Jedes Jahr werden 600 Millionen Menschen durch Lebensmittel krank und 420.000 sterben aufgrund von lebensmittelbedingten Krankheiten. Oft vermehren sich Krankheitserreger erst auf dem Weg vom Produzenten auf den heimischen Tisch. Ein Frühwarnsystem, welches gefährliche Veränderungen im Mikrobiom schon beim Produzenten anzeigt, könnte das Risiko für Erkrankungen durch Lebensmittel massiv reduzieren.

Vielfältige Mikrobiome in LANDWIRTSCHAFT und LEBENSMITTELSYSTEMEN

Mikrobiome existieren in und auf Menschen, Tieren und Pflanzen sowohl an Land als auch in Gewässern. Mikrobiome beeinflussen die Gesundheit des Bodens, die Produktivität der Pflanzen, die Gesundheit von Mensch und Tier. Damit spielen sie auch eine wichtige Rolle in der Landwirtschaft und bei der Produktion von Lebensmitteln.

Die Bevölkerung wird bis 2050 auf fast 10 Milliarden Menschen anwachsen. Die Menschen müssen ernährt werden. Dazu braucht es ein faires und gesundes Lebensmittelsystem. Die Wissenschaft muss Mikrobiome, besonders im Lebensmittelsystem, besser kennen. Dann können Mikrobiome auch sinnvoll genutzt werden.

ABFALLUMWANDLER

Die Lebensmittelproduktion ist eines der Systeme mit dem größten ökologischen Fußabdruck. Die Verschwendung von Lebensmitteln muss verringert werden. Abfälle und Abwässer aus der Lebensmittelproduktion könnten von Mikroorganismen so umgewandelt werden, dass sie als Energiequelle, als Dünger, aber auch als Futter für Tiere oder sogar als Nahrung für Menschen wiederverwertet werden können. Dazu müsste man die Umwelt-Mikrobiome, zum Beispiel Boden-, Meeres- und Fischerei-Mikrobiomen, besser verstehen. In ihnen können Mikroorganismen entdeckt werden, die für die Umwandlung nützlich wären.



DAS MIKROBIOM IN EINER GESUNDEN LANDWIRTSCHAFT

Der Boden ist eines der kompliziertesten Ökosysteme überhaupt. Er ist ein eigenständiger Lebensraum und beherbergt eine unglaubliche Vielfalt von Lebewesen. Sie regeln und kontrollieren die Bodenfruchtbarkeit, den Nährstoffkreislauf und die Kohlenstoffbindung.

Der ökologische Fußabdruck der Landwirtschaft ist enorm und viele Böden sind durch landwirtschaftliche Bearbeitung schwer geschädigt. Wenn man genauer wüsste, wie Mikrobiome die Gesundheit von Böden und damit auch die Gesundheit von Pflanzen beeinflussen, könnte man bessere, ungiftige Pflanzenschutzmittel und Biodünger mit Mikroorganismen herstellen. Der Boden wäre widerstandsfähiger und die Landwirte

wären weniger von giftigen Pestiziden und chemischen Düngemitteln abhängig. Mikrobiome könnten so zum Übergang zu einer klima- und umweltfreundlichen Landwirtschaft beitragen, die den Verbrauchern sichere, gesunde und nachhaltige Lebensmittel liefert.

Die Komplexität des Boden-Mikrobioms zu entschlüsseln und die Wechselwirkungen innerhalb solcher Ökosysteme besser zu verstehen ist in vielerlei Hinsicht notwendig. Damit können Lösungen zur Wiederherstellung von kaputten Böden gefunden werden. Mikrobiome im Boden können aber auch die Speicherung von Kohlenstoff unterstützen, was massiv zur Eindämmung der Klimakrise beitragen könnte.

MIKROORGANISMEN UND TIERGESUNDHEIT

Wie junge Tiere gehalten werden, hat großen Einfluss auf die Zusammensetzung und Funktionalität des Mikrobioms, was sich auf die Leistung und Gesundheit auch der erwachsenen Tiere auswirkt. Gesunde Tiere liefern gesunde Lebensmittel. Auch Tiere könnten von der Aufnahme von Probiotika, also Futter mit gesunden Mikroorganismen, profitieren. Wie genau? Das muss erforscht werden.

VERÄNDERTES KLIMA VERÄNDERTES MIKROBIOM

Welche Auswirkungen hat der Klimawandel auf die Mikrobiome in Lebensmittelsystemen? Wichtig wäre zu wissen, wie sich Mikrobiome anpassen können und ob sie unter den neuen Bedingungen die gleichen Leistungen für unsere Lebensmittelversorgung erbringen können.

DAS GANZE IST MEHR ALS DIE SUMME SEINER EINZELTEILE

Es müssen Methoden und abgestufte Ansätze festgelegt werden, um die Auswirkungen von Mikrobiomen auf die Gesundheit von Menschen, Tieren oder Pflanzen und die Lebensmittelsicherheit systematisch zu bewerten. So ist beispielsweise die ökologische Barrierewirkung gegen Chemikalien, Zusatzstoffe oder Krankheitserreger häufig nicht auf einzelne Bakterienstämme, sondern auf deren Kombination zurückzuführen. Die Bewertung jedes einzelnen Bakterienstammes spiegelt nicht die Eigenschaften der gesamten Bakteriengemeinschaft wider.

Genau so wie Mikrobiome aus verschiedensten Faktoren bestehen, sollten die Beteiligten der Mikrobiom-Forschung aus verschiedensten Mitwirkenden bestehen. Multidisziplinäre Projekte, an denen die Industrie, die Landwirtschaft, verschiedene wissenschaftliche und sozioökonomische Disziplinen und Regulierungsbehörden beteiligt sind, können ein umfassenderes Bild liefern.



DAS MIKROBIOM SOLLTE IM PARLAMENT SITZEN

Es gibt einen neuen Mitspieler, wenn es beispielsweise um die Sicherheit von Lebensmitteln und Chemikalien, die Pflanzen- und Tierproduktion und die Gesundheit des Planeten und seiner Bewohner geht: die Mikrobiome. Die Gesetzgebung hinkt der Wissenschaft hinterher. Es gibt zum Beispiel immer noch keine ausdrücklichen rechtlichen Anforderungen zur Berücksichtigung Mikrobiom-bezogener Auswirkungen bei der Prüfung von Risiken und Nutzen im Rahmen des Lebensmittelrechts. Wenn sich neue Kenntnisse zur Struktur und Funktionsweise des Mikrobioms ergeben, müssen diese bei der Bewertung von Rechtsvorschriften berücksichtigt werden.

Die Mikrobiom-Wissenschaft sollte parallel zur Regulierung und Gesetzgebung voranschreiten. Dies würde dazu beitragen, die für die Verbesserung von Risikobewertungen erforderlichen Nachweise zu erbringen. Das wiederum könnte die Zulassung Mikrobiom-basierter Innovationen erleichtern, die die Gesundheit von Menschen, Tieren und des Planeten fördern sowie die Nachhaltigkeit, Produktivität, Sicherheit und Nährstoffqualität von Lebensmitteln erhöhen sollen.

Auch Open-Source-Datenbanken, die Informationen über Mikrobiome sammeln, sollten geschaffen werden. Damit können die Wiederverwendung von Daten und mathematischen Modellen sowie der Zugang zu Informationen bzw. deren gemeinsame Nutzung verbessert werden. Diese Systeme müssen jedoch einen guten Datenschutz und eine ausreichende Speicherkapazität gewährleisten und einen schnellen, benutzerfreundlichen Zugang ermöglichen. Die Datenbanken sollten kostenlos und leicht zugänglich sein.

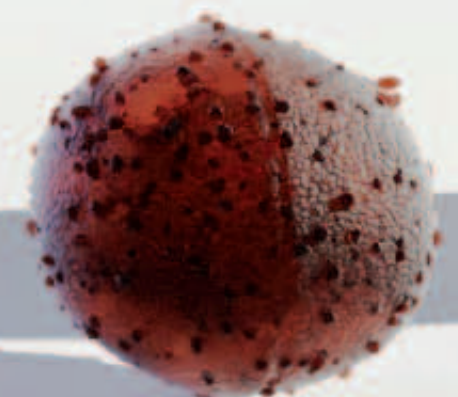
**INFORMATION
FÜR ALLE**

ÄPFEL UND BIRNEN VERGLEICHEN

Die Mikrobiom-Wissenschaft hat sich in den letzten zehn Jahren sehr schnell entwickelt. Viele verschiedene wissenschaftliche Bereiche erforschen Mikrobiome. Oft verwenden diese wissenschaftlichen Disziplinen aber unterschiedliche Methoden. Sie sprechen sozusagen wissenschaftlich verschiedene Sprachen. Dadurch können Erkenntnisse aber nur sehr schwierig verglichen oder verbunden werden. Für eine Gesamtsicht auf die Leistungen des Mikrobioms ist das aber unerlässlich. Deshalb müssten möglichst schnell ein einheitliches System und Regeln geschaffen werden, damit alle Wissenschaftler*innen in der Mikrobiom-Forschung die gleiche oder zumindest eine ähnliche Vorgangsweise einhalten. Von der Probenentnahme, -lagerung und -verarbeitung bis zur Analyse und Interpretation.

AUFBEWAHRUNG

Die Forschung an verschiedenen Mikrobiomen ist sehr aufwendig. Einer der momentan größten technologischen Engpässe ist die Konservierung von Mikrobiomen. Wie können komplexe Mikrobiome so aufbewahrt werden, dass ihre Zusammensetzung gleich bleibt und die Mikroorganismen auch weiter funktionieren? Und wie kontrolliert man, ob sie noch funktionieren?

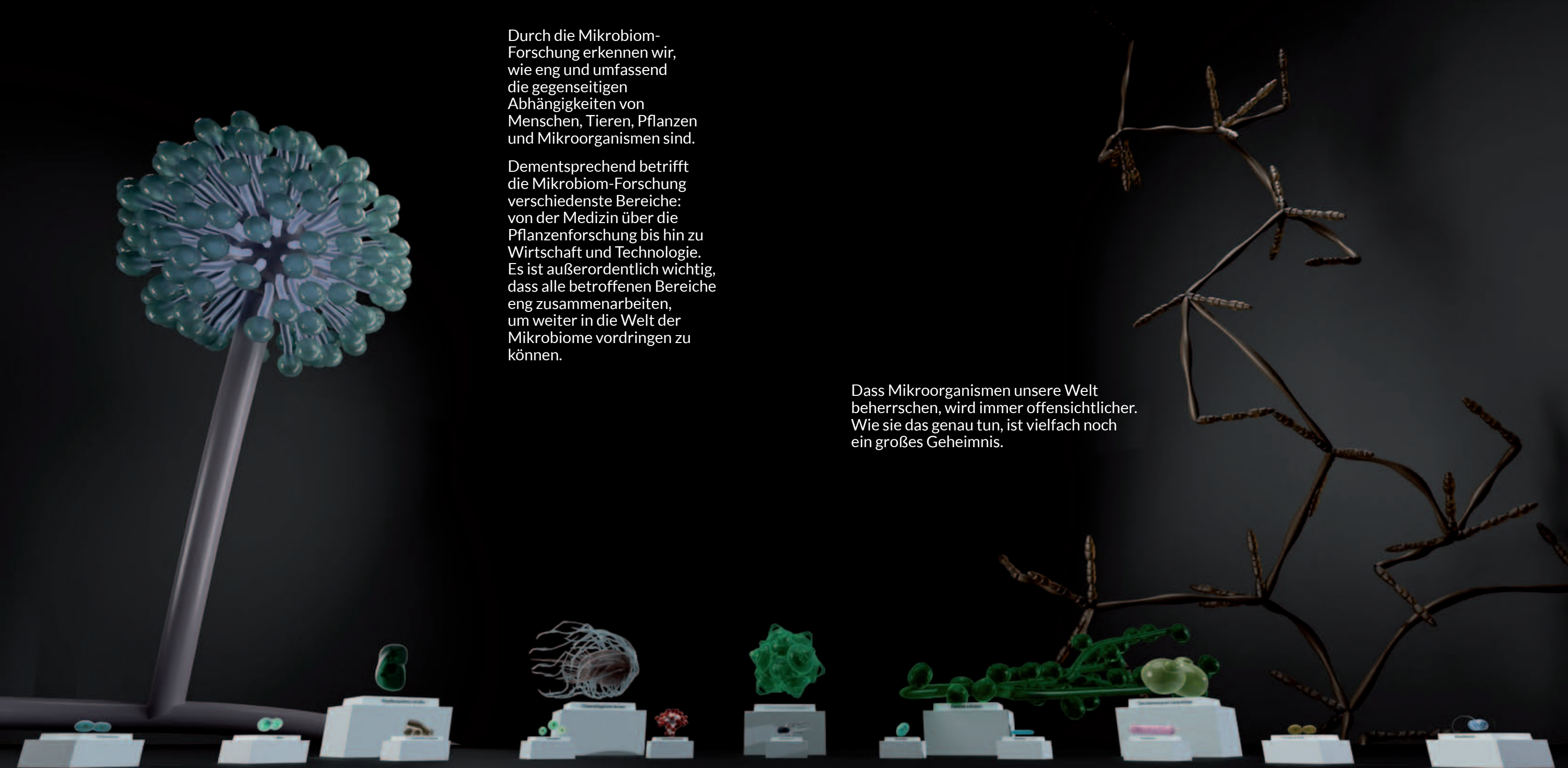


ERKENNTNISSE BÜNDELN

Durch die Mikrobiom-Forschung erkennen wir, wie eng und umfassend die gegenseitigen Abhängigkeiten von Menschen, Tieren, Pflanzen und Mikroorganismen sind.

Dementsprechend betrifft die Mikrobiom-Forschung verschiedenste Bereiche: von der Medizin über die Pflanzenforschung bis hin zu Wirtschaft und Technologie. Es ist außerordentlich wichtig, dass alle betroffenen Bereiche eng zusammenarbeiten, um weiter in die Welt der Mikrobiome vordringen zu können.

Dass Mikroorganismen unsere Welt beherrschen, wird immer offensichtlicher. Wie sie das genau tun, ist vielfach noch ein großes Geheimnis.





MicrobiomeSupport

Das AIT Austrian Institute of Technology leitete das Projekt MicrobiomeSupport. Das Projekt wurde vom Forschungs- und Innovationsprogramm Horizon 2020 der Europäischen Union (Grant agreement: 818116) finanziert. Das Ziel: den Weg für nachhaltige und zirkuläre, Mikrobiom-basierte Lebensmittelsysteme und die Bioökonomie zu ebnen. 29 akademische und staatliche Partner aus 13 europäischen Ländern und 9 internationale Partner haben dabei eng zusammengearbeitet, um die Qualitätsstandards für die Mikrobiom-Forschung festzulegen und Empfehlungen für eine strategische Forschungs- und Innovationsagenda in Europa und weltweit zu entwickeln.

www.microbiomesupport.eu



This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 818116.

STORY & DIGITAL DESIGN

Claudia Puck
Johann Steinegger
Sebastian Pichelhofer
Sebastian Postl
Florian Wurster
Valentin Postl
Brigitte Wegscheider

SCIENTIFIC ADVICE

Angela Sessitsch
Tanja Kostic
Stephane Compant

VIRTUAL REALITY FILM

<https://www.microbiomesupport.eu/resources/virtual-reality-movie>

*All images are 3D illustrations.