

Mikrobielle Welten

Mikroorganismen verändern unablässig (unsere Sicht auf) die Welt



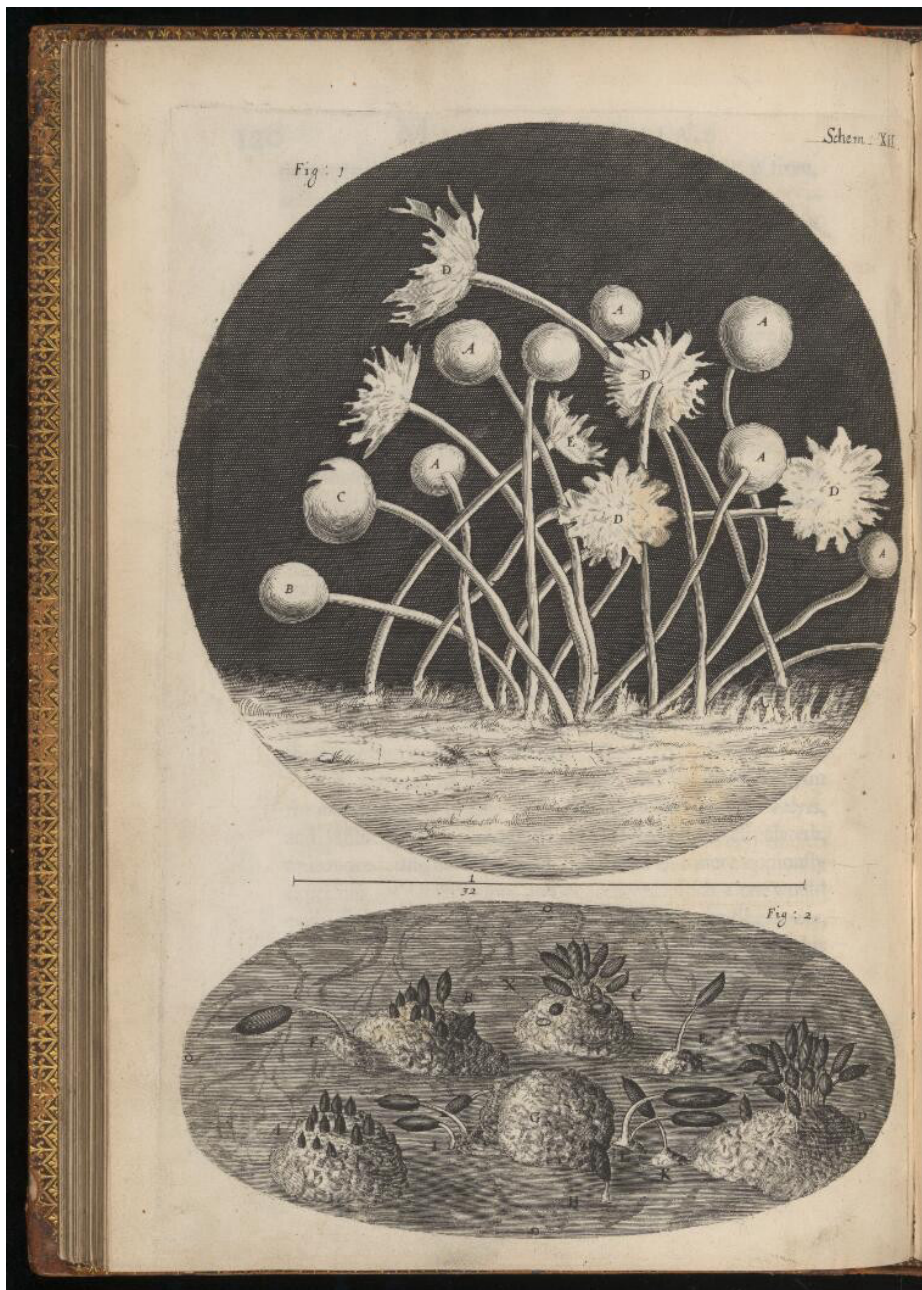
- Artikeltyp: Thema
- Autor:in: Filippo Bertoni
- Lektor:in: Jan-Peter Herrmann
- Textlizenz: CC BY-SA
- DOI: 64y2-m311/34

Eine wissenschaftliche 'conversazione' über Mikroskopie, die am 11. April 1855 in der Londoner Apothecaries' Hall stattfand, Kupferstich aus The Illustrated London News vom 28. April 1855. [1](#)

Im 17. Jahrhundert ermöglichten die ersten Mikroskope Einblicke in die außerhalb unserer Wahrnehmung liegende Welt der Mikroorganismen. Seit dieser Zeit sind Wissenschaftler:innen wie Laien gleichermaßen von dieser nahezu unsichtbaren Welt fasziniert. Anfangs galt die Mikroskopie als hoch anspruchsvolle Spezialtechnik, die nur einem kleinen Kreis von Naturforscher:innen vorbehalten war. Bis ein breiteres Publikum Zugang zu diesen Einblicken erhielt, sollte noch einige Zeit vergehen. Allerdings verwendeten viele der frühen Nutzer:innen der Mikroskopie viel Zeit darauf, ihre Beobachtungen in detailgetreuen Zeichnungen festzuhalten. Diese Illustrationen zirkulierten schnell auch jenseits akademischer Zirkel. Während im Laufe des 19. Jahrhunderts weitere technische Fortschritte Mikroskope immer leichter verfügbar machten, fanden zudem die Nachdrucke der Illustrationen immer größere Verbreitung. Die Illustrationen der wundersamen und geheimnisvollen Miniaturwelten der Mikroorganismen faszinierten schon bald ein immer breiteres Laienpublikum. Je mehr sich die Wissenschaft in der Folge mit den Mikroben befasste, desto häufiger offenbarte sich deren konkrete Funktion in menschlichen Arbeitsprozessen – vom Brauen über die Käseherstellung bis hin zum Backen.² In der Medizin verfestigte sich unterdessen die Erkenntnis, dass Mikroben zum Ausbruch und zur Verbreitung von Krankheiten beitragen, weshalb fortan ihre Bekämpfung und Eindämmung im Vordergrund standen. Mikroben galten nun als Feinde der Menschheit.

Die stetig verbesserte Auflösung verfügbarer Mikroskope und ein immer größerer Bestand an wissenschaftlichen Beobachtungen ließen spätestens ab der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts keinen Zweifel mehr an der zentralen Bedeutung mikrobieller Lebensformen. Nachdem die mikrobiellen Welten so

gewissermaßen ‘rehabilitiert’ waren, regte sich neuerliches Interesse.³ Heute wissen wir, dass Mikroorganismen nicht nur für die Entstehung des Lebens auf unserem Planeten, sondern auch für das Funktionieren von planetaren Systemen und Ökosystemen auf allen Ebenen, einschließlich unseres Körpers, eine entscheidende Rolle spielten und spielen. Ohne Mikroben gäbe es auch uns nicht. Seit der Anerkennung dieser Tatsache haben neue Ansätze in der Erforschung von Mikroben ausgewogenere und sachlichere Erkenntnisse über sie hervorgebracht als die polemische Dämonisierung der Vergangenheit. Weiterhin bedarf es jedoch komplexer (und immer komplexer werdender) **mikroskopischer Medien**, um sie sichtbar zu machen und in allen Einzelheiten abzubilden. Mikroorganismen überraschen uns immer wieder und zwingen uns, unsere Annahmen über das Leben auf der Erde unentwegt zu überprüfen.⁴ Auch in den Geschichten auf dieser Website erweitern sie unsere Vorstellung davon, **welche Formen** tierisches Leben annehmen kann. In den verschiedenen Beiträgen erfahren wir von den vielfältigen und unvorhersehbaren Entwicklungen und Faktoren, durch die bestimmte Lebewesen erst in Objekte und anschließend **in Daten verwandelt** und dadurch schließlich zur Grundlage naturwissenschaftlicher Forschung und Erkenntnis werden können. Außerdem führen uns die Geschichten darüber, wie mikrobielle Welten aus ihrem Schattendasein heraus und hinein ins Rampenlicht traten, eindrücklich vor Augen, dass das, *was* wir sehen, stark davon abhängt, *wie* wir es betrachten.



Kupferstich eines Schimmelpilzes, und vergrößerte Ansicht der Oberfläche eines Rosenblattes; Tafel 12. Aus Micrographia: or some Physiological Descriptions of Minute Bodies Made by Magnifying Glasses with Observations and Inquiries Thereupon [Micrographia: oder Einige physiologische Beschreibungen von winzigen Körpern, die mit Lupe hergestellt wurden, mit Beobachtungen und Untersuchungen dazu] Robert Hooke, Mitglied der Royal Society, 1665. (Wellcome Collection. CC BY SA)

Von Feen zu Zellen

Vor dem 19. Jahrhundert waren es wissbegierige Naturforscher:innen und Universalgelehrte, die sich die Beobachtung von Mikroorganismen zur Aufgabe machten, und die dazu auch oftmals ihre eigenen Instrumente entwickelten. Pioniere wie Antoni van Leeuwenhoek, Robert Hooke und Francesco Redi fertigten detaillierte Zeichnungen der mikroskopisch kleinen Organismen an, die sie mit Hilfe improvisierter Geräte beobachteten. Diese ersten Illustrationen fanden vor allem in akademischen und intellektuellen Kreisen Verbreitung, etwa in den frühen Wissenschaftsgesellschaften und ähnlichen Institutionen.⁵ Anfangs hatte die Welt der Wissenschaft Mühe, diese Lebensformen und ihre Rolle in der Natur zu verstehen, wie in den (Anfängen der Mikropaläontologie) zum Ausdruck kommt. Als Mikroskope immer leichter verfügbar und, durch die

Einführung achromatischer Linsen in den 1830er Jahren, immer präziser wurden, stand der Blick in die unsichtbaren Miniaturwelten, die sich in jedem Wassertropfen und jedem Sandkorn verbergen, einem immer breiteren interessierten Publikum offen.⁶ Hinzu kamen die massenhafte Produktion und Reproduktion mikroskopischer Darstellungen und ihre immer stärkere Verbreitung,⁷ was den Zugang zu den mikrobiellen Welten weiter erleichterte. In dieser frühen Phase moderner Mikroskopie beflügelte der Mikrokosmos die Fantasie der Menschen des viktorianischen Zeitalters. So galten Mikroben gewissermaßen als die (wenn auch kaum) sichtbare Daseinsform der Feen und Koblode aus volkstümlichen Märchen.⁸ Während diese von Mystik und Aberglauben geprägte Wahrnehmung von Mikroben Anklang fand, erklärten Naturforschende sie zu winzigen Tierchen, die als solche die Aufmerksamkeit der Wissenschaft verdienten. Entsprechend stellte Christian Gottfried Ehrenberg, ein früher Vorreiter der Erforschung von Mikroben – oder **Infusorien**, wie sie damals bezeichnet wurden – in seiner berühmten Monografie von 1838 die Behauptung auf, dass Mikroben vollwertige Organismen mit mehreren Verdauungssystemen seien.⁹ Diese These wurde allerdings durch Fortschritte in der Zellforschung in den folgenden Jahrzehnten widerlegt. Fortan galten sie als einzellige Lebensformen, die sich grundlegend von Tieren unterschieden und dennoch eine gewisse Verwandtschaft aufwiesen. Dieses Verständnis entwickelte sich vor dem Hintergrund eines zunehmenden Interesses an Darwins und Wallaces Evolutionstheorien. In diesen Theorien wurden Mikroben als die Überbleibsel primitiver Lebensformen aufgefasst, die den Planeten während einer frühen Phase der Evolution bevölkert hatten.

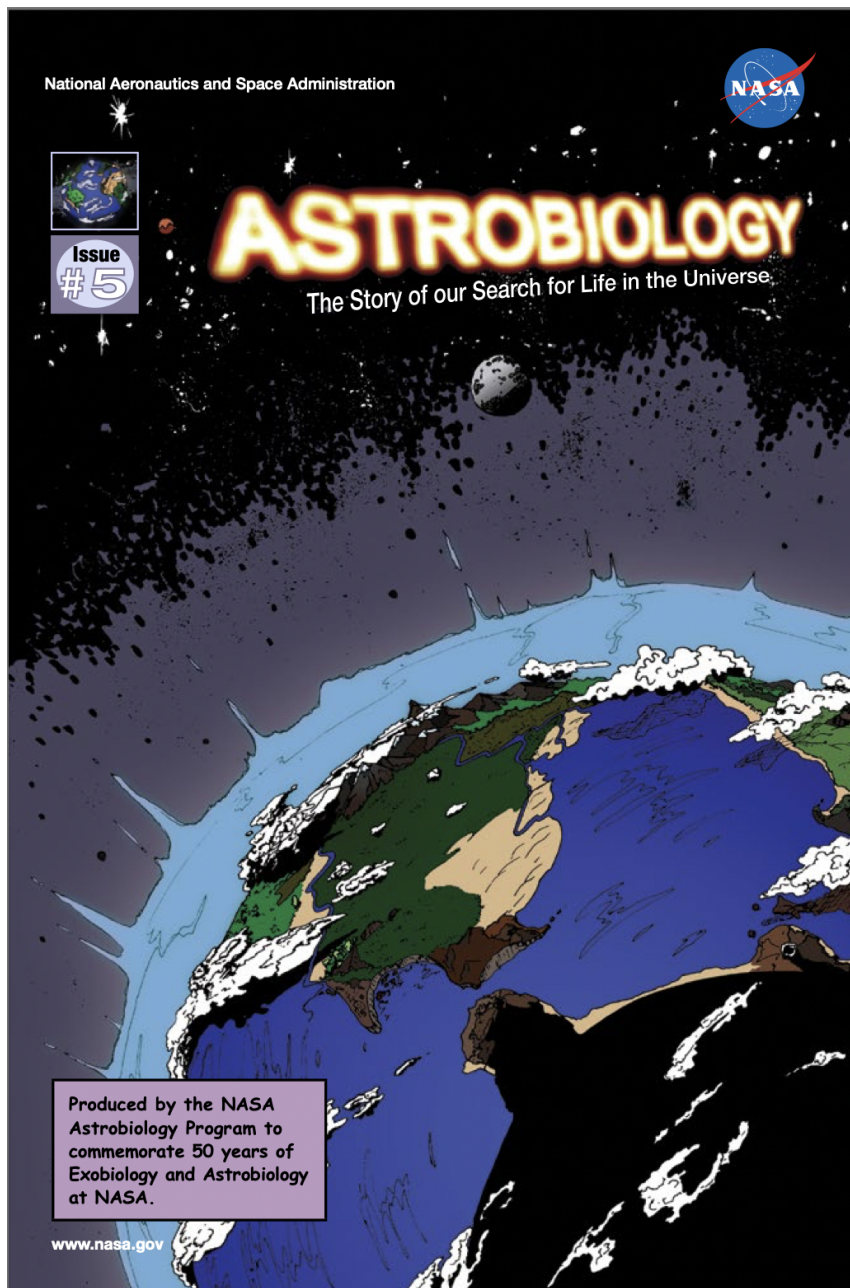


"Monster Soup commonly called Thames Water". Farbradierung von W. Heath, 1828. (Wellcome Collection. [CC BY SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/))

Nützlich, aber gefährlich

Ab der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts wandelte sich das Verständnis von Mikroorganismen immer wieder tiefgreifend, ein Prozess, der in vielerlei Hinsicht bis heute andauert. Als sich Wissenschaftler:innen auf Basis der Zelltheorie ein zunehmend klareres Bild von den Funktionsweisen lebender

Organismen und ihrer evolutionären Verflechtungen machen konnten, wurde auch die Schlüsselfunktion von Mikroben immer unübersehbarer. Einen Beleg dafür fand man nicht zuletzt in den Produktionsprozessen jahrhundertalter Gewerbe, darunter beim Brauen, Backen, in der Käseherstellung und der Fermentation. Wissenschaftler:innen unterzogen die magisch und alchemistisch anmutenden Prozesse, die diesen Tätigkeiten zugrunde liegen, mit Hilfe ihrer mikroskopischen Medien einer genaueren Untersuchung. Dabei stellten sie fest, dass Mikroben für all diese Prozesse unverzichtbar waren.¹¹ Hefepilze, Bakterien und andere Mikroben spielen hier eine Schlüsselrolle. In vielen Branchen wurden diese neuen Erkenntnisse unverzüglich für die Modernisierung und Steigerung der Produktion nutzbar gemacht. Abseits der frühen biotechnologischen Anwendungsgebiete wurden Mikroorganismen auch in der Medizin zunehmend in den Blick genommen; zur Verwertung von Tieren in der Biomedizin siehe auch das Beispiel des Pfeilschwanzkrebses. Hier wurden sie rasch als Verursacher verschiedenster Krankheiten und Leiden ausgemacht. Insbesondere durch den großen Erfolg von Pionieren wie Louis Pasteur und Robert Koch im Kampf gegen Krankheiten wie Tollwut, Milzbrand, Tuberkulose und Cholera setzte sich diese Sichtweise weitgehend durch.¹² Die Auffassung von Mikroben als Krankheitserreger durch diese frühen Protagonisten prägt nach wie vor das Gesundheitswesen und allgemeine Hygienestandards. Sie entwickelten die sogenannte 'Keimtheorie', die heutzutage in der medizinischen Praxis und im gängigen Verständnis von Krankheiten als völlig selbstverständlich gilt. Die breitere Öffentlichkeit feierte diese Entwicklungen als bahnbrechend, verhiessen sie doch den Sieg über viele moderne Zivilisationskrankheiten. Wenngleich Mikroben weiterhin eine große Bedeutung zugeschrieben wurde, trugen viele der Innovationen zu jenem negativen Image bei, das ihnen teilweise bis heute anhaftet, für weitere Beispiele dafür, wie Tiere ein negatives Image erhalten, siehe Vom Ort der Ratten in Berlin. Darüber hinaus hatte die große Berühmtheit, die diese Wissenschaftler erlangten, großen Anteil an der Verfestigung einer mit heroischem Individualismus assoziierten Vorstellung von der Arbeit von Forschern. Derartige Vorstellungen führen auch heute noch zu schlechter wissenschaftlicher Praxis und ungerechtfertigten Hierarchien in den Technikwissenschaften.¹³



Ausgabe #5 der Publikation Astrobiology: The Story of our Search for Life in the Universe, ein NASA-Comic, der "erklärt, wie die Astrobiologie analoge Umgebungen auf der Erde erforscht, um Rückschlüsse auf die Lebensbedingungen auf anderen Planeten (z.B. Mars) ziehen zu können."¹⁴

Mikrobielle Welten

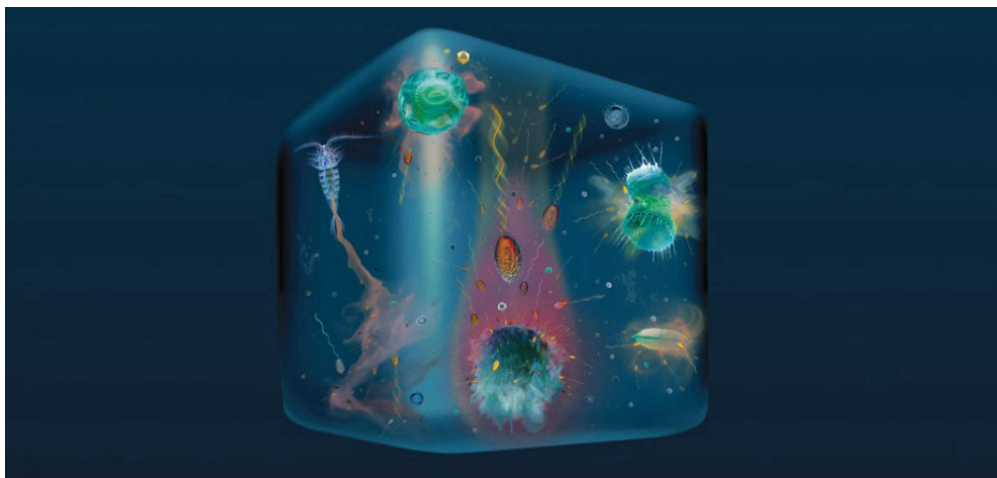
Während der Erfolg der medizinischen Mikrobiologie die pathologische Deutung von Mikroben als Krankheitserreger zementierte, wurden bereits zu dieser Zeit auch alternative Sichtweisen auf Mikroorganismen entwickelt. Vertreten wurden sie beispielsweise von Sergei Nikolajewitsch Winogradski und anderen, weniger bekannten Wissenschaftler:innen, deren Hauptaugenmerk auf der ökologischen Funktion mikrobiellen Lebens lag.¹⁵ Statt einzelne mikrobielle Arten zu betrachten, untersuchten diese Forschenden anhand von Bodenanalysen die ökologische Funktion ganzer mikrobieller Gemeinschaften, wobei sie mit Blick auf die lebenswichtigen, engen Wechselbeziehungen zwischen Mikroben und Planeten eine Reihe wichtiger Entdeckungen des 20. Jahrhunderts bereits vorwegnahmen. Doch trotz dieser bahnbrechenden Arbeiten sollte es noch bis zur zweiten Hälfte des folgenden Jahrhunderts

dauern (und diverse Auseinandersetzungen erfordern), ehe die ökologische Bedeutung mikrobiellen Lebens vollständig anerkannt war. Begünstigt wurde dies auch durch die transdisziplinäre Zusammenarbeit mit den angewandten geophysikalischen Wissenschaften, die unter anderem in der marinen Mikropaläontologie Ausdruck fand.

Ab den 1960er Jahren etablierte sich allmählich ein neues Verständnis von Mikroben, das den Schwerpunkt auf ihre ökologische und biogeochemische Rolle legte; wie sich Rolle, Image und Verwendungsweisen von Tieren ändern können, zeigen auch die Beispiele des Elefanten ("Siam"), von Eisbär ("Knut"), Gorilla ("Bobby") und Berlins ehemaligen Mauerhunden. Es trat an die Stelle des bis dahin dominanten Anthropozentrismus, der die Ausrichtung moderner medizinischer Forschung bestimmt hatte.¹⁷ Erleichtert wurde dieser Wandel durch neuartige Verfahren in der Genetik und Genomik sowie die jüngeren Fortschritte im Bereich der sogenannten Postgenomik, die zum Erfolg der neuen Sichtweise auf mikrobielle Welten beitrugen und zugleich die definierbare Trennlinie zwischen Mensch und Tier plötzlich unscharf erscheinen ließen.¹⁸ Die Beschäftigung mit mikrobiellem Leben und seinen Ökologien ermöglicht es Wissenschaftler:innen, den Pulsschlag des Planeten nachzuvollziehen und seine komplexen dynamischen Prozesse über geologische Langzeitperioden hinweg zu rekonstruieren. Andererseits werden dadurch bestehende Vorstellungen über das gegenseitige Verhältnis dieser verschiedenen Dimensionen und unsere eigene Position und Rolle in ihrem Zusammenspiel in Frage gestellt. Statt ein Schwarz-Weiß-Bild von Mikroben als entweder 'gut' oder 'böse' zu zeichnen, unterstreicht die Geschichte der Erforschung und Interpretation mikrobieller Welten die Notwendigkeit, eben nicht vorschnell auf allzu einfache Antworten zurückzugreifen, sondern "unruhig zu bleiben", wie es Donna Haraway, eine der wichtigsten Vertreterinnen der feministischen Technik- und Wissenschaftsforschung, ausdrückt. Mikroben sind überaus komplexe Organismen, und je genauer man in ihre Welt blickt, desto mehr Aspekte, Varianten und wechselseitige Verbindungen und Kombinationen dessen, was Leben sein kann, kommen zum Vorschein.

Mit der Art und Weise, *wie* wir mikrobielles Leben betrachten, verändert sich auch, *was* wir sehen. Die stetig umfangreichere mikrobiologische Expertise ermöglichte schließlich die Entwicklung spezifischer Methoden zur Beeinflussung bzw. Steuerung von Mikrobengemeinschaften. Solche Versuche, Mikroben (dauerhaft) zu kontrollieren, scheitern allerdings häufig, da sich Mikroorganismen unaufhörlich verändern und verwandeln. Das veranschaulicht beispielsweise die Geschichte der Antibiotika: Die erfolgreiche Verbreitung dieses molekularen Werkzeugs, das aus sogenannten konkurrierenden Bodenmikroben gewonnen wurde, basierte auf der menschlichen Industrie und dem Traum von immerwährendem Wachstum. Während in der Folge revolutionäre Neuerungen in der Landwirtschaft und der Biomedizin ermöglicht wurden, veränderte sich allerdings auch die Biologie der Mikroorganismen selbst, was zu Antibiotikaresistenzen führte.¹⁹ So gesehen stellt die Erforschung von Mikroorganismen auch immer wieder aufs Neue den universellen technischen Machbarkeitsanspruch der modernen Technikwissenschaften in Frage. Als heimliche Herrscher des Planeten treten Mikroben in zahllosen Formen (und Umgebungen) auf, die komplexe wechselseitige Verflechtungen aufweisen, äußerst wandlungsfähig sind und sich unseren gewohnten Maßstäben und Ordnungskategorien entziehen. Daher

wohnt den mikrobiellen Welten nach wie vor jener gewisse Zauber inne, der bereits die Menschen im 19. Jahrhundert faszinierte: Durch ihre Betrachtung wird unser Blick auf die Welt wie durch ein Kaleidoskop in eine sich endlos wandelnde Vielfalt alternativer Perspektiven gebrochen.



„A Drop of Ocean“ zeigt die komplexen physikalisch-chemischen Interaktionen zwischen Mikroben auf der Mikroebene. (Stocker lab.)²⁰

Fußnoten

1. Aus „Amateur Microscopists“. *National Museums Scotland*, ohne Datum. <https://www.nms.ac.uk/explore-our-collections/stories/science-and-technology/microscopes/microscopes-chapters/amateur-microscopists/> (28.08.2021). ↵
2. Zur Geschichte der Biotechnologie, siehe: Robert Bud. *The Uses of Life: A History of Biotechnology*. Cambridge: Cambridge University Press, 1994. ↵
3. Dieser Gegensatz zwischen einer mikrobe-feindlichen und einer mikrobe-freundlichen Haltung ist in den USA besonders deutlich, siehe: Heather Paxson. „Post-Pasteurian Cultures: The Microbiopolitics of Raw-Milk Cheese in the United States“. *Cultural Anthropology* 23, no. 1 (2008): 15-47. ↵
4. Siehe z. B. die jüngste Veröffentlichung über das Potenzial von Mikrobiota, um Altern zu verhindern, in einer experimentellen Studie an Mäusen: M. Boehme et al. „Microbiota from Young Mice Counteracts Selective Age-Associated Behavioral Deficits“. *Nature Aging* 1 (2021): 666-676. <https://doi.org/10.1038/s43587-021-00093-9>; oder die jüngste Veröffentlichung über ein Mikrofossil, das 3,42 Milliarden Jahre alt sein soll, in: Barbara Cavalazzi et al. „Cellular Remains in a ~3.42-Billion-Year-Old Subseafloor Hydrothermal Environment“. *Science Advances* 7, Nr. 29 (2021): 1-9. <https://doi.org/10.1126/sciadv.abc3963>. ↵
5. Siehe: Joseph Gall. „Early History of Microscopy“. *iBiology*, video. <https://www.ibiology.org/talks/history-of-early-microscopes/> (28.08.2021); oder: „A New Visible World: Robert Hooke's Micrographia“. *The Royal Society*, Audioaufnahme, 17.10.2015. <https://royalsocietypublishing.org/science-events-and-lectures/2015/10/a-new-visible-world/> (28.08.2021). ↵
6. Zur Kultur- und Wissenschaftsgeschichte der Mikroskopie, siehe: Jutta Schickore. *The Microscope and the Eye: A History of Reflections, 1740-1870*. Chicago: University of Chicago Press, 2007; Laura J. Snyder. *Eye of the Beholder: Johannes Vermeer, Antoni van Leeuwenhoek, and the Reinvention of Seeing*. New York City: WW Norton & Company, 2015; and Marc J. Ratcliff. *The Quest for the Invisible: Microscopy in the Enlightenment*. London: Routledge, 2016. ↵
7. Zum Weiterlesen sei hierzu beispielsweise dieser berühmten Essay empfohlen: Walter Benjamin. *Das Kunstwerk im Zeitalter seiner technischen Reproduzierbarkeit*. Berlin: Suhrkamp Verlag, 1996. ↵
8. Zu dieser eigentümlichen viktorianischen Vorstellung von der mikroskopischen Welt, siehe Laura Forsberg. „Nature's Invisibilia: The Victorian Microscope and the Miniature Fairy“. *Victorian Studies* 57, Nr. 4 (2015): 638-666. <https://doi.org/10.2979/victorianstudies.57.4.03>. ↵
9. Zu Ehrenberg, siehe: David M. Williams und Robert Huxley. *Christian Gottfried Ehrenberg (1795-1876): The Man and His Legacy*. London: Linnean Academic Press, 1998. Die Einleitung ist hier verfügbar: <https://cal-tls.edcdn.com/Special-Issue-1-Christian-Gottfried-Ehrenberg-1795-1876-The-Man-and-His-Legacy-Small.pdf?mtime=20160715141137> (01.07.2021). Eine Biografie auf Deutsch finden Sie hier: Johannes v. Hanstein. „Ehrenberg, Christian Gottfried“. In *Allgemeine Deutsche Biographie* 5, 1877: 701-711. <https://www.deutsche-biographie.de/pnd118529250.html#adbcontent> (01.07.2021). ↵
10. Auch hier können die historischen Untersuchungen von Robert Bud helfen, diesen Wandel besser zu verstehen: Robert Bud. *The Uses of life: A History of Biotechnology*. Cambridge: Cambridge University Press, 1994; und Robert Bud. *Penicillin: Triumph and Tragedy*. Oxford: Oxford University Press on Demand, 2007. ↵
11. Zur Geschichte der medizinischen Mikrobiologie und insbesondere zu ihrer hegemonialen Rolle im Vergleich zur Umweltmikrobiologie, siehe Frederick T. Attenborough. „‘To Rid Oneself of the Uninvited Guest’: Robert Koch, Sergei Winogradsky and Competing Styles of Practice in Medical Microbiology“. *Journal of Historical Sociology* 25, Nr. 1 (2012): 50-82. Für eine Reflexion über die aktuellen Auswirkungen dieser historischen Dynamik, siehe Frederick T. Attenborough. „The Singular Case of SARS: Medical Microbiology and the Vanishing of Multifactoriality“. PhD diss., Loughborough University, 2010. <https://core.ac.uk/download/pdf/288871192.pdf> (28.08.2021). ↵
12. Für eine kritischere Bewertung dieser Figuren und ihrer Rolle, siehe Bruno Latour. *The Pasteurization of France*. Cambridge: Harvard University Press, 1993; J. Andrew Mendelsohn. „‘Like All That Lives’: Biology, Medicine and Bacteria in the Age of Pasteur and Koch“. *History and Philosophy of the Life Sciences* 24, Nr. 1 (2002): 3-36. <http://www.jstor.org/stable/23332438> (28.08.2021). Hier wird die heroische Darstellung von Kochs Rolle in der Wissenschaftsgeschichte kritisch eingeordnet, insbesondere durch die Beleuchtung der wirtschaftlichen und kolonialen Aspekte seiner Arbeit: Christoph Gradmann. „Money and Microbes: Robert Koch, Tuberculin and the Foundation of the Institute for Infectious Diseases in Berlin in 1891“. *History and Philosophy of the Life Sciences* 22, Nr. 1 (2000): 59-79. <http://www.jstor.org/stable/23332775> (26.08.2021); und Christoph Gradmann. „Robert Koch and the Invention of the Carrier State: Tropical Medicine, Veterinary Infections and Epidemiology around 1900“. *Studies in History and Philosophy of Science Part C: Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences* 41, Nr. 3 (2010): 232-240. <https://doi.org/10.1016/j.shpsc.2010.04.012>. ↵

13. NASA. *Astrobiology: The Story of our Search for Life in the Universe*. NASA, 2015. https://astrobiology.nasa.gov/uploads/files_public/a378/a378f1b1-e438-4156-8af2-cf167a545e4a/astrobio_novel_5_firstedition_hires.pdf (28.08.2021). ↵
14. Zu Winogradski und ökologischen Alternativen zur medizinischen Mikrobiologie: Mathias Grote. "Petri Dish Versus Winogradsky Column: A Longue Durée Perspective on Purity and Diversity in Microbiology, 1880s-1980s". *History and Philosophy of the Life Sciences* 40, Nr. 1 (2018): 1-30. <https://doi.org/10.1007/s40656-017-0175-9> ↵
15. Wichtig für diesen Paradigmenwechsel war die Formulierung der so genannten "Gaia-Hypothese" durch Lovelock und Margulis sowie ihre Theorie der Symbiogenese. Siehe [Über Mikroben und Planeten](#). ↵
16. Zur Postgenomik und den damit verbundenen Umgestaltungen der Biologie, siehe: Sarah S. Richardson und Hallam Stevens (Hg.). *Postgenomics: Perspectives on Biology After the Genome*. Durham: Duke University Press, 2015. ↵
17. Um dieses komplexe Geflecht aus mikrobeindlichen Gefühlen und Industrien zu entwirren und die Art und Weise, wie die Moderne die Biologie im Falle der Mikroben umgestaltet, siehe Hannah Landecker. "Antibiotic Resistance and the Biology of History". *Body & Society* 22, Nr. 4 (2016): 19-52. <https://doi.org/10.1177/1357034X14561341>; Hannah Landecker. "Antimicrobials Before Antibiotics: War, Peace, and Disinfectants". *Palgrave Communications* 5, Nr. 1 (2019): 1-11. <https://doi.org/10.1057/s41599-019-0251-8>; "Hannah Landecker: The Microbiome After Industrialization", Vortrag an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, 03.02.2021. <https://www.youtube.com/watch?v=xC2g2P0KaIo> (28.08.2021); Hannah Landecker und Andrea Núñez Casal. "The Biology of History: Antibiotics, Resistant Bacteria and the Human Effect, an Interview with Hannah Landecker". *Theory, Culture & Society*, 16.03.2015, <https://www.theoryculturesociety.org/blog/the-biology-of-history-antibiotics-resistant-bacteria-and-the-human-effect-an-interview-with-hannah-landecker> (28.08.2021). ↵
18. Die Forschungsgruppe von Roman Stocker an der ETH Zürich entwickelt innovative Techniken durch die mikrobielle Welten sichtbar und vorstellbar werden. Die Techniken kombinieren Erkenntnisse aus der Mikrobiologie mit der Mikrofluidik, die sich mit den physischen Interaktionen von Flüssigkeiten auf kleinstem Raum beschäftigt. Mehr zum Thema findet sich auf der Webseite der Forschungsgruppe: <https://stockerlab.ethz.ch> (28.08.2021). ↵