

LUFTSTAUB ÜBER DEN MEEREN  
WIE HISTORISCHE STAUBPROBEN WISSENSCHAFTLER  
UND KÜNSTLER INSPIRIEREN<sup>1</sup>

Anna A. Gorbushina/Sabine Kacunko/Slavko Kacunko

Schon erfahrenen Seemännern waren die Staubstürme bekannt, die zwischen den Kontinenten westwärts von Afrika über den Atlantik zogen.<sup>2</sup> Doch war es Charles Darwin, der diese Phänomene erstmals in seinen wissenschaftlichen Aufzeichnungen belegte. So heißt es in seinen Notizen, die während einer Forschungsreise auf der *Beagle* zu Papier gebracht wurden:

»Am 16. Januar 1832 warfen wir in Porto Praya auf St. Jago, der Hauptinsel des Cap Verd'schen Archipels, Anker.«<sup>3</sup> »Meist ist die Atmosphäre dunstig, und zwar in Folge eines unfehlbar feinen Staubes, welcher, wie wir fanden, die astronomischen Instrumente unbedeutend beschädigt hatte. Am Morgen, ehe wir in Porto Praya vor Anker gingen, sammelte ich ein kleines Päckchen dieses braun gefärbten feinen Staubes, welcher offenbar durch die Gaze der Windfahne an der Mastspitze vom Winde filtrirt worden zu sein scheint. Mr. Lyell hat mir noch vier Päckchen von Staub gegeben, welcher auf ein Schiff einige hundert Meilen nördlich von diesen Inseln gefallen war.«<sup>4</sup>

1. Vgl. zum vorliegenden Beitrag: A. Giongo/J. Favet/A. Lapanje/K. A. Gano/S. Kennedy/A. G. Davis-Richardson/C. Brown/A. Beck/W. G. Farmerie/A. Cattaneo/D. B. Crabb/Y.-Y. Aung/R. Kort/H. J. Brumsack/B. Schnetger/W. J. Broughton/A. A. Gorbushina/E. W. Triplett: Microbial hitchhikers on intercontinental dust: high-throughput sequencing to catalogue microbes in small sand samples, in: *Aerobiologia* 2012 (online first) DOI 10.1007/s10453-012-9264-0; I. Toepfer/J. Favet/A. Schulte/M. Schmölling/W. Butte/E. W. Triplett/W. J. Broughton/A. A. Gorbushina: Pathogens as potential hitchhikers on intercontinental dust, in: *Aerobiologia* 2012: 221–231.
2. Vgl. C. G. Ehrenberg: Passatstaub und Blutregen; ein grosses organisches unsichtbares Wirken und Leben in der Atmosphäre. In: *Abhandlungen der Königl. Akademie der Wissenschaften zu Berlin* 1849, 269–460. URL: [http://bibliothek.bbaw.de/bbaw/bibliothek-digital/digitalequellen/schriften/anzeige/index\\_html?band=08-verh/18458seite:int=54](http://bibliothek.bbaw.de/bbaw/bibliothek-digital/digitalequellen/schriften/anzeige/index_html?band=08-verh/18458seite:int=54); R. B. Husar: Intercontinental transport of dust: historical and recent observational evidence. In: A. Stohl (Hg.): *Intercontinental Transport of Pollutants*, Berlin: Springer, 2004, 277–294.
3. C. R. Darwin: Reise eines Naturforschers um die Welt, in: ders.: *Gesammelte Werke*, Bd. 1, übers. von J. Victor Carus, Stuttgart: E. Schweizerbart'sche Verlagshandlung 1875, 1.
4. Ebd., 5.

Diese Staubproben wurden an Christian Gottfried Ehrenberg, den führenden Aerobiologen seiner Zeit<sup>5</sup> und Naturforscher an der Königlich-Preußischen Akademie der Wissenschaften in Berlin zur Analyse weitergegeben. Darwin notierte dazu: »Aus den fünf kleinen Päckchen, die ich ihm zugeschickt hatte, identifizierte er nicht weniger als 67 verschiedene organische Formen.«<sup>6</sup> Kurz vor Ehrenbergs Tod im Jahre 1876 wurde die Staubsammlung der Preußischen Akademie der Wissenschaften übergeben. Heute befindet sie sich im Berliner Museum für Naturkunde. Ehrenbergs Sammlung besteht aus historischen Proben (Abb. 1), die zu Beginn der Industriellen Revolution gesammelt worden sind.

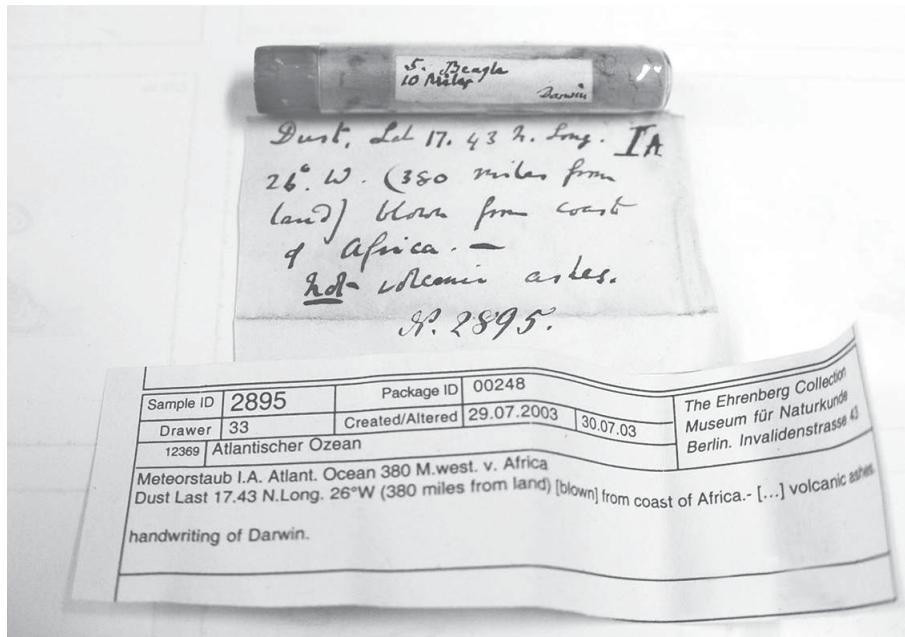


Abb. 1: Darwin-Staubprobe aus der Sammlung Ehrenberg, © Wolfgang E. Krumbein, © Sammlung Museum für Naturkunde, Berlin

Heute wissen wir, welche organischen Formen sich im luftgetragenen Wüstenstaub verbergen: nicht nur diverse Mikroben (wie z. B. Sporen, Keime), sondern

5. Vgl. W. E. Krumbein: Gone with the wind – a second blow against spontaneous generation. In memoriam, Christian Gottfried Ehrenberg (1795–1876), in: *Aerobiologia* 11 (1995), 205–211.
6. Vgl. C. R. Darwin: An account of the fine dust which often falls on vessels in the Atlantic Ocean, in: *Quarterly Journal of the Geological Society of London* 2 (1846), 26–30 (Read 4 June 1845). URL: <http://darwin-online.org.uk/content/frameset?itemID=F1672&viewtype=side&pageseq=1>; C. G. Ehrenberg: Neue Untersuchungen über das kleinste Leben als geologisches Moment. Mit kurzer Charakteristik von 10 neuen Gattungen und 66 neuen Arten, in: *Berichte der Akademie der Wissenschaften zu Berlin* 1845, 53–87.

ebenso auch Pollen.<sup>7</sup> Zu Beginn des 21. Jahrhunderts war der Drang, Staub näher zu erforschen, mit der Angst vor einer Verbreitung von Schadstoffen und Krankheiten verbunden.<sup>8</sup> Da die Ehrenberg-Staubsammlung spannende Einblicke in eine unberührte Welt erlaubt, haben wir uns in einer mikrobiologischen Studie jenem Staub gewidmet, der vor der Epoche der Globalisierung gesammelt wurde und uns dabei für die mikrobiologische Beschaffenheit von einigen dieser Proben interessiert.

### *Die mikrobielle Charakterisierung von historischen Staubproben*

Es liegt auf der Hand, dass die Ehrenberg-Sammlung aus unersetzlichen Proben besteht. Aus diesem Grund wurden nur Proben von jenen Stäuben entnommen, die in größerer Menge vorhanden waren. Glücklicherweise gab es genügend Material der ältesten Stäube (welche im Jahre 1812 über Barbados niedergingen) und auch von vier weiteren Proben, die einst an Darwin geschickt wurden. Während seiner Reise über den Atlantik im Jahre 1838 sammelte Lieutenant R. B. James, der Kapitän der britischen Brigg *The Spey*, nach einem viertägigen Staubsturm vier verschiedene Staubproben und sandte diese an Charles Lyell, einen persönlichen Freund Darwins. Nachdem Darwin diese Proben persönlich analysiert hatte und alle relevanten Merkmale festgehalten waren, wurden die Staubpäckchen auch an Ehrenberg übermittelt. Die Anzahl der kultivierbaren Mikroorganismen variierte zwischen  $10^4$  und  $10^5$  koloniebildenden Einheiten (KbE) pro Gramm Probe. Sogar einige der ältesten Proben, die 1812 über Barbados gesammelt worden waren, enthielten noch immer mehr als  $10^4$  KbE g<sup>-1</sup> Staub.

Die Anzucht der mikrobiellen Besiedler wiederbefeuchteter Staubproben ergab 48 Bakterienstämme, die 17 verschiedenen, eindeutig identifizierbaren Arten (basierend auf *16S/18S rDNA* Gensequenzen) zugeordnet werden konnten. Durch mikrobiologische Analysen konnten darin viele vermehrungsfähige Mikroben nachgewiesen werden. Auch in den älteren Proben aus Barbados, die vor rund zwei Jahrhunderten an Ehrenberg geschickt worden waren, konnten viele kultivierbare Bakterien und Pilze identifiziert werden. Dabei handelt es sich um viele unterschiedliche Ascomyceten und Eubakterien.

7. Vgl. C. A. Kellogg/D. W. Griffin: Aerobiology and the global transport of desert dust, in: *Trends in Ecology and Evolution* 21 (2006), 638–644; J. M. Prospero/E. Blades/G. Mathison/R. Naidu: Interhemispheric transport of viable fungi and bacteria from Africa to the Caribbean with soil dust, in: *Aerobiologia* 21 (2005), 1–19.

8. Vgl. J. K. M. Brown/M. S. Hovmoller: Aerial dispersal of pathogens on the global and continental scales and its impact on plant disease, in: *Science* 297 (2002), 537–541; Kellogg/Griffin: Aerobiology (Anm. 7).

*Geochemische Charakterisierung und mögliche Ursprünge  
von historischen Staubproben*

In einem weiteren Schritt wurden mineralogische Vergleichsstudien von historischen Staubproben mit Stäuben, wie sie heute in der Luft vorkommen, und mit Erdproben von möglichen Ursprungsgebieten durchgeführt. Geochemische Analysen ergaben, dass jener Staub, der 1838 über dem Atlantik gesammelt worden war, ursprünglich aus der Westsahara stammt.

Es sind starke Winde, die große Mengen von Wüstenstaub durch die Sahel-Sahara-Staubzone über den Atlantik und oft bis nach Nord- und Südamerika tragen.<sup>9</sup> Während der Reise vollzieht sich eine Fraktionierung der Mineralien in der Luft, in der sich schwerere Partikel zuerst absetzen. Es findet auch eine vertikale Fraktionierung statt<sup>10</sup> – ein Prozess, der aber immer vom Wassergehalt der Atmosphäre abhängig ist. Vereinfacht gesagt: Je höher und weiter der Staub in der Luft treibt, umso homogener wird er. Diese Fraktionierung spiegelt sich in der chemischen und mineralischen Zusammensetzung der Stäube wider.

Ehrenberg selbst hat schon vorausgesagt, dass »die Wissenschaft sogar in 100 Jahren die gesammelten Staubproben so interessant finden werde, um in ihnen nach Lebensformen zu suchen.«<sup>11</sup> Wenngleich der exakte Beginn der Industriellen Revolution schwer festzulegen ist, nahm sie unbestritten ihren Ausgang in England und in der Textilindustrie. Folglich ist es unwahrscheinlich, dass der Staub, der im frühen 19. Jahrhundert aus der Westsahara nach Barbados getragen wurde, von menschenverursachter Verschmutzung beeinträchtigt war.

Auch andere Aspekte dieser interkontinentalen Staubdrift und der damit verbundenen Zerstreung von Mikroorganismen haben sich nicht schwerwiegend verändert. Damals wie auch heute wird der Staub aus der Sahara durch weiträumige Verwehungen fraktioniert, was eine Abscheidung von groben Körnern und Schwermineralien zur Folge hat.

Nach allem, was wir wissen, befindet sich die weitaus größte Quelle von Staub auf diesem unserem Planeten in der Bodélé-Senke, einer Bodensenke im nördli-

9. Vgl. T. Moreno/X. Querol/S. Castillo/A. Alastuey/E. Cuevas/L. Herrmann et al.: Geochemical variations in aeolian mineral particles from the Sahara-Sahel Dust Corridor, in: *Chemosphere* 65 (2006), 261–270.

10. Vgl. Husar: Intercontinental transport (Anm. 2).

11. Vgl. C. G. Ehrenberg: Einige Bemerkungen über den vom 3. zum 4. Febr. in der Schweiz in Graubünden gefallenen rothen Schnee und dessen abermalige Übereinstimmung mit dem atlantischen Passatstaube, in: *Bericht über die zur Bekanntmachung geeigneten Verhandlungen der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin* 1851, 158–166. URL: [http://bibliothek.bbaw.de/bbaw/bibliothek-digital/digitalequellen/schriften/anzeige/index\\_html?band=08-verh/1851&seite:int=159](http://bibliothek.bbaw.de/bbaw/bibliothek-digital/digitalequellen/schriften/anzeige/index_html?band=08-verh/1851&seite:int=159)

chen Tschad.<sup>12</sup> In diesem zwischen zwei Bergketten ausgedehnten Gebiet kommt es zu hohen Windgeschwindigkeiten, die dafür sorgen, dass sich der kalkhaltige, aus Kieselgur bestehende weiße Bodélé-Staub in Form von enormen Staubwolken über mehrere tausend Kilometer ausbreiten kann. Somit vermochten wir in den Proben auch einen hohen Kalziumgehalt nachzuweisen.

So wie der Staub während seiner langen Reise durch die Luft von einigen Elementen und groben Partikeln befreit wird, werden auch die mitreisenden Mikroorganismen gewissermaßen »fraktioniert«, da gewisse Mikroben sensibel auf den Verwehungsprozess reagieren, aber auch unterschiedliche Haftungseigenschaften aufweisen. Da es uns möglich war, die meisten der Isolate eindeutig zu identifizieren und sie mit heutigen Gattungen abzugleichen, können wir behaupten, dass sich die staubassoziierten Bakterien und Pilze über die Jahrhunderte nicht merklich verändert haben. Vielmehr beziehen sich die vorhandenen Unterschiede auf subtile Veränderungen in den Genomen. Leider gibt es kein einfaches Verfahren, um zu bestimmen, ob und in welchem Ausmaß sich die heute vorhandenen mikrobiologischen Varianten entwickelt haben.

Ähnlich wie frühere Studien<sup>13</sup> konnten auch wir zweifellos nachweisen, dass die Proben, die einst von Pionieren der modernen Biologie gesammelt wurden, sogenannte *Bacilliales* enthalten, die Jahrhunderte überleben können. Bei einer geschätzten Distanz von 7.500 Kilometern zwischen der Bodélé-Senke und Miami und moderaten Windstärken von 30 Stundenkilometern, würde die Reisezeit der Staubwolken von Afrika bis Amerika cirka 10,5 Tage betragen. Die interkontinentale Staubdrift findet meist in der freien Troposphäre statt (2–10 km Höhe) und bei stärkeren Winden dauert die Reise nicht ganz so lange.<sup>14</sup> Mikroorganismen wie Rhizobien, wie sie im Oberboden der Sahara und Sahel-Zone vorkommen, können

12. Vgl. J. Giles: The dustiest place on Earth, in: *Nature* 434 (2005), 816–819; S. Engelstaedter/I. Tegen/R. Washington: North African dust emissions and transport, in: *Earth-Science Review* 79 (2006), 73–100; M. C. Todd/R. Washington/J. V. Martins/O. Dubovik/G. Lizcano/S. M'Bainayel/S. Engelstaedter: Mineral dust emission from the Bodélé Depression, northern Chad, during BoDEX 2005, in: *Journal of Geophysical Research – Atmospheres* 112 (2007), D06207. doi:10.1029/2006D007170.2007.

13. Vgl. P. H. A. Sneath: Longevity of micro-organisms, in: *Nature* 195 (1962), 643–646. Sneath untersuchte die Mikrobiologie von Erdpartikeln, die an den Wurzeln von alten Herbarien hafteten. Vgl. auch Nicholsons Forschungsgruppe, die verschiedene Bazillen, darunter auch *B. subtilis*, aus Granit isolierte (vgl. W. L. Nicholson/N. Munakata/G. Horneck/H. J. Melosh/P. Setlow: Resistance of *Bacillus* endospores to extreme terrestrial and extraterrestrial environments, in: *Microbiology and Molecular Biology Reviews* 64 (2000), 548–572; P. Fajardo-Cavazos/W. Nicholson: *Bacillus* endospores isolated from granite: close molecular relationships to globally distributed *Bacillus* spp. from endolithic and extreme environments, in: *Applied and Environmental Microbiology* 72 (2006), 2856–2863.

14. Vgl. Husar: Intercontinental transport (Anm. 2).

dadurch vermutlich bis nach Nord- und Südamerika gelangen und dort weiterleben.

Zeitgenössische Wissenschaftlerteams gewinnen Erkenntnisse in der Erforschung der interkontinentalen Staubdrift, indem sie Staubproben aus der Luft über Ozeanen und auf entlegenen Inseln nehmen, in denen danach Mikroorganismen nachgewiesen werden (und mit denen aus afrikanischen Proben verglichen werden). So wie Lyell 169 Jahre zuvor haben Griffin und seine Kollegen an Bord eines Schiffes, das über dem mittelatlantischen Rücken ankerte, Proben aus einem afrikanischen Staubsturm genommen.<sup>15</sup> Durch das Anwenden von molekularbiologischen Methoden war es ihnen möglich, Bakterien und Pilze zu identifizieren. Während 2005 Prospero und seine Forschungskollegen sagten, »es gibt allerdings nur vereinzelte und indirekte Belege dafür, dass lebensfähige Mikroorganismen weiträumig zwischen den Kontinenten driften«<sup>16</sup>, hat sich die Wissenslage inzwischen geändert. Durch die Kombination von geochemischen, mikrobiologischen, mikroskopischen und molekularen Methoden konnten wir in der Analyse von fast 200 Jahre alten Proben mit Sicherheit nachweisen, dass lebensfähige Mikroorganismen durch die Staubdrift über den Atlantik zumindest bis in die Karibik transportiert wurden.

Offensichtlich ist diese Langlebigkeit auf die Resistenz und Vermehrungsfähigkeit der Mikroben zurückzuführen, aber wir sind der Meinung, dass auch der Träger in Form feinen anorganischen Staubs das Überleben der Mikroorganismen begünstigt. Viele Stäube der entnommenen kalkhaltigen Proben sind porös oder besitzen gekrümmte Oberflächen, die es den Mikroorganismen ermöglichen, sich vor Gefahren wie Austrocknung und UV-Strahlung zu schützen. In diesem Refugium zwischen Poren und Körnern konnten Bakterien und Pilze also schon immer mühelos per Anhalter Ozeane und Kontinente überqueren.

#### *Staubige Wiedergeburt: die künstlerische Bearbeitung von historischen Staubproben*

Am 27. November 2011 wurde in der Ecolé des Beaux-Arts in Paris das Medienkunstprojekt *BOOTSCHAFT – CRYSTAL MIRROR* von Sabine Kacunko vorgestellt (Abb. 2).<sup>17</sup> In einer begehbaren Medien-Skulptur aus Karbon befand sich ein Video-Mikroskop, unter dem eine Petrischale mit lebenden Zellkulturen stand, die

15. Vgl. D.W. Griffin/D.L. Westphal/M. A. Gray: Airborne microorganisms in the African desert dust corridor over the mid-Atlantic ridge, Ocean Drilling Program, Leg 209, in: *Aerobiologia* 22 (2006), 211–226.

16. Vgl. Prospero et al.: Interhemispheric transport (Anm. 7).

17. Die Performance eröffnete die 17. ICOMOS-Generalversammlung, welche unter der Schirmherrschaft des französischen Präsidenten Nicolas Sarkozy und Irina Bokova, der Generaldirektorin der UNESCO, stand.



Abb. 2: Sabine Kacunko, Medienperformance *BOOTSCHAFT: CRYSTAL MIRROR*, Eröffnungsvent des 17th ICOMOS General Meeting am 27. November 2011 in der École Nationale Supérieure des Beaux-Arts, Paris, © Sabine Kacunko

audiovisuell erlebbar waren. Dabei standen die reaktivierten Bakterienkulturen aus der Ehrenbergsammlung im Mittelpunkt, die durch Mikrobiologen »wiederbelebt« worden waren (Abb. 3 auf der folgenden Seite). Die Bilddaten von den Wachstumsprozessen der reanimierten Bakterienkulturen wurden live in das Internet übertragen und waren auf einer Projektwebsite den virtuellen Besuchern zugänglich. Der Karbon-Körper bezog sich auf die Koordinaten der Louvre-Pyramide und setzte sich aus der Spiegelung der Pyramiden-Apex zu einem Oktaeder zusammen, an welchem Ultraschall-Soundspots befestigt waren.

Auch die molekularbiologische Information »wiederbelebter« Mikroorganismen erfuhr eine künstlerische Bearbeitung: Mittels einer speziell entwickelten Software wurden die Basen der DNA von den Bakterienkulturen in Töne transformiert und mit Hilfe der aktuellen Windkoordinaten vor Ort direkt als Klänge ausgegeben.

Der für *BOOTSCHAFT – CRYSTAL MIRROR* benutzte Wüstenstaub stammt nur aus einer Probe und hat eine europäische Reise hinter sich. Die »Wiederbelebung« eines beinahe 200 Jahre alten Bakteriums als Produkt interdisziplinärer Kollaboration und des produktiven Zusammenspiels von Kultur und Wissenschaft wird mit kaum einer anderen historischen Persönlichkeit so sehr in Verbindung gebracht wie mit Alexander von Humboldt. Die im Projekt von Sabine Kacunko verwendete



Abb. 3: Sabine Kacunko, Medienperformance BOOTSCHAFT: CRYSTAL MIRROR, Videomikroskopische Aufnahme von den reaktivierten Mikroorganismen, © Sabine Kacunko

Probe ist auch in seinen Händen gewesen. Der Staub war ursprünglich in Kalabrien gefunden und im Jahre 1823 Alexander von Humboldt in Paris überreicht worden, der ihn von Christian Gottfried Ehrenberg in Berlin untersuchen ließ (Abb. 4 und 5).<sup>18</sup> Dabei wurde festgestellt, dass der Staub ursprünglich aus der Sahara stammte und über die Passatwinde nach Italien getragen worden war. Damit wurde damals zum ersten Mal wissenschaftlich bestätigt, dass die unterschiedlichen Ökosysteme in einer Wechselbeziehung mittels Staubübertragung stehen. Die unfruchtbare Wüste Sahara ernährt weit entlegene höchstproduktive Ökosysteme (z. B. Ozean, Regenwald, Alpenökosysteme), da durch die Winde mit dem nordafrikanischen Staub Pflanzennährstoffe wie Calcium, Magnesium transportiert werden.

Die den Ökosystemen unserer Erde eigene Verbindung von Leben und unbelebter Materie fasziniert alle Menschen. Mikroorganismen stellen häufig die Verbindung zwischen diesen beiden Formen dar und bringen eine schier unendliche Vielfalt von Farben, Strukturen und Interaktionen mit der Umwelt hervor, sind aber für

18. Vgl. Petra Gentz-Werner: *Roter Schnee oder Die Suche nach dem färbenden Prinzip* (Beiträge zur Alexander-von-Humboldt-Forschung, Bd. 28), Berlin: Akademie, 2007.

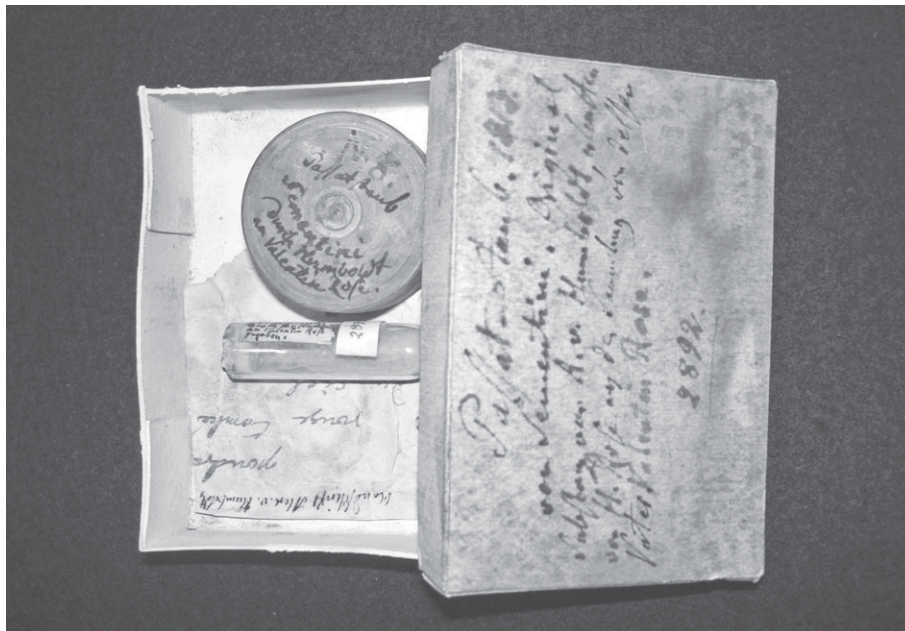


Abb. 4: Humboldt-Staubprobe aus der Sammlung Ehrenberg, © Sabine Kacunko, © Sammlung Museum für Naturkunde, Berlin

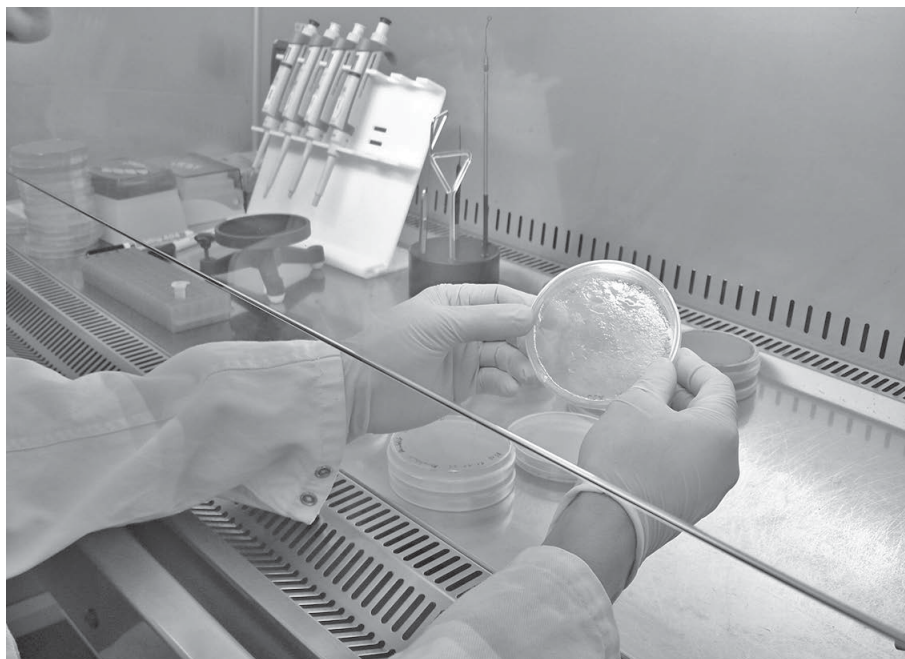


Abb. 5: Humboldt-Staubprobe aus der Sammlung Ehrenberg, © Sabine Kacunko, © Museum für Naturkunde, Berlin

das bloße Auge unsichtbar. Durch die künstlerische Betrachtung und Darstellung von aus dem Staub isolierten Organismen werden Bilder kreiert, die die Fähigkeiten der Mikroorganismen für den Betrachter visualisieren. Die Bakterienkunst von Sabine Kacunko führt uns die darin abgebildete asymptotische Konvergenz von instrumentellen- und Sinnfragen vor Augen.