

## Nummer Sicher

Worauf kann man sich heute überhaupt noch verlassen? Es sind doch sowieso alle korrupt und interessengeleitet und in Verschwörungen großen Stils involviert – so raunt es durch die sozialen Netzwerke. Descartes Aufruf zum methodischen Zweifel hat Hochkonjunktur. Und schreckt dabei auch nicht vor Tatsachen zurück, die uns maximal unverdächtig erscheinen. Die Kugelform der Erde etwa, deren Existenz von einer ganzen Bewegung, der „Flat Earth Society“, in Frage gestellt wird – eine Gesellschaft, die sich laut eines vielfach geteilten Facebook-Posts damit rühmt, Anhänger „auf dem gesamten Globus“ zu besitzen. Die Echtheit dieser entlarvenden Äußerung kann ihrerseits angezweifelt werden. Nicht aber die Existenz der Globus-Skeptiker selbst. Einer von ihnen, der Amerikaner Mike Hughes hat die Aufklärung der Frage nach der Gestalt der Erde am vergangenen Wochenende selbst in die Hand genommen und mit einer selbstgebauten Rakete in der kalifornischen Mojave-Wüste einen ersten Testflug unternommen, um die Erde von oben zu sehen. Eine Höhe von knapp 600 Metern erreichte er dabei. Offenbar nicht genug, um die Gestalt der Erde endgültig zu aufzuklären – Folgemissionen sind bereits geplant. Was will man von denen aber erwarten? Auch Hughes hat schließlich eine ganz bestimmte Agenda. Ein unvoreingenommener Test sieht anders aus. Als Paradebeispiel vorurteilsfreier Empirie kann man demgegenüber eine astronomische Beobachtung anführen, die ebenfalls vergangene Woche stattgefunden hat. Der südafrikanische Kosmologe Peter Dunsby hatte im „Astronomer's Telegram“, einem Online-Portal zur Bekanntgabe astronomisch relevanter Ereignisse, eine ungewöhnliche Himmelserscheinung gemeldet. Am 20. März um 1 Uhr Universal Time war ein außerordentlich helles, flüchtiges Objekt in der Region zwischen Lagunen- und Trifidnebel aufgetaucht. Auf früheren Aufnahmen dieser Himmelsgegend fehlte diese Quelle. „Weitere Beobachtungen sind dringend empfohlen, um die Natur dieses Objekts zu klären“, wandte sich Dunsby an seine Kollegen. Die folgten dem Aufruf. Und sorgten für eine schnelle Auflösung des Falles: Wie sich herausstellte, hatte Dunsby den Planeten Mars entdeckt. Nicht als Erster zwar, aber immerhin völlig unabhängig. Erkenntnistheoretisch hat das große Überzeugungskraft. Dunsby war der Vorfall trotzdem unangenehm: „Heutige Lektion: Check, Check, Dreifach-Check und dann nochmal checken“, konstatierte er auf Twitter. Die vorschnelle Veröffentlichung hatte aber doch auch etwas Gutes: Zumindest die Existenz von Mars können wir jetzt beim besten Willen nicht mehr anzweifeln. sian

Jetzt schwärmen sie wieder aus. Frühjahr 2018. Wir sind im fünften Jahr der „Salamanderfresserjagd“. 2014 hatte man im Norden und Süden der Eifel angefangen, nach dem „perfekten Erreger“ – dem „Alien“ – zu fahnden, wie Jahre später ein britischer Infektiologe im Wissenschaftsmagazin „Nature“ den gefürchteten Erreger „Bsal“ bezeichnete. Bsal steht für *Batrachochytrium salamandrivorans*, einen tödlichen Pilz. Vor knapp vier Jahren also gingen die Biologen raus in die Wälder, Forscher der Universitäten Trier und Braunschweig sowie der Biologischen Stationen Düren und Aachen. In Grenznähe zu Belgien und den Niederlanden suchten sie den feuchten Waldboden und die Uferländer nach toten Feuersalamandern ab. Ergebnislos. Hundert Hautabstriche von den Bäuchen lebender Salamander sammelten sie – alles negativ. Nichts. Noch nicht.

Die possierlichen Salamander mit den vorstehenden dunklen Augen hatten es als Symboltier bis in die Fußgängerzonen, Comichefte und Kinderbücher geschafft, in den Wohnzimmer-Terrarien wurden heile Welten für sie eingerichtet, doch plötzlich was das alles in den Hintergrund geratet. Wichtig von nun an war nur noch die Frage: Wird der Feuersalamander überleben?

Nur wenig mehr als zehn Kilometer entfernt von den Stellen, an denen die deutschen Biologen nach ersten Spuren von Bsal suchten, hatte der Horror begonnen. Das war 2013. Im Raum Eupen, gleich hinter der deutsch-belgischen Grenze war es zu einem Massensterben von Salamandern gekommen, ein Jahr später auch südlich davon in Rockville. Frank Pasmans und seine Kollegen von der Universität Gent hatten den bis dahin unbekannt Erreger Bsal noch im ersten Jahr der Epidemie identifiziert. Die Haut der befallenen Salamander war zerfetzt, überall offen. Geschwüre wucherten bis in tiefere Schichten. Bakterien, die über diese Läsionen in den Körper eindringen, bringen die Lurche rasend schnell um. Viele verenden binnen einer Woche.

## Die Vermessung der Wissenschaften

Auf der Grundlage von ungeheuren Datenmengen wird heute Forschung selbst zum empirischen Forschungsobjekt gemacht

Wer wüsste nicht gerne, wann wir mit dem nächsten großen wissenschaftlichen Durchbruch zu rechnen haben? Welcher Wissenschaftler das Potential für revolutionäre Ideen mitbringt und welcher nicht? Wie die Milliarden Forschungsgelder so verteilt werden können, dass sie optimalen Nutzen erzielen können? Antworten auf diese und ähnliche Fragen erfordern ein tiefes Verständnis derjenigen sozialen, politischen, wirtschaftlichen und erkenntnistheoretischen Prozesse, die den Wissenschaftsbetrieb prägen und bestimmen. Generationen von Wissenschaftshistorikern, -soziologen und -philosophen haben aus verschiedenen Perspektiven zu diesem Verständnis beigetragen.

All diese reflektierenden Tätigkeiten sind allerdings nicht gemeint, wenn heute zunehmend die Rede ist von der vergleichsweise jungen Disziplin der „Science of Science“ – der Wissenschaft der Wissenschaften –, die uns helfen soll, Fragen wie die eingangs genannten zu beantworten. Diese Forschungsrichtung, der in der Zeitschrift „Science“ Anfang dieses Monats ein umfangreicher Überblicksartikel gewidmet war (doi: 10.1126/science.aao0185), teilt gleichwohl viele ihrer Themen und Ziele mit ihren älteren geistes- und sozialwissenschaftlichen Schwestern. Insbesondere versucht sie, die Struktur und Entwicklung der Wissenschaft zu verstehen, so die Autoren um Santo Fortunato von der Universität Indiana. Das neue Wissen könne als Grundlage dafür dienen, Werkzeuge und Strategien zur Verbesserung und Beschleunigung wissenschaftlicher Forschung zu entwickeln, um damit schließlich auch gesellschaftliche Probleme effizienter zu lösen.

Der entscheidende Unterschied, der die „Science of Science“, kurz „SciSci“, gegenüber den traditionellen Disziplinen

## Der Horror im deutschen Wald

Der „Salamanderfresser“, ein Pilz, verursacht eine der furchtbarsten Tierseuchen Europas. Der Staat reagiert. Aber sind die Feuersalamander noch vor dem Aussterben zu retten?

Von Joachim Müller-Jung

Infektiöse Pilze sind seit Jahren gefürchtet, immer mehr sogar. Bsal zeigt, warum: Neue pathogene Pilzerreger gelangen, angetrieben durch Handelsströme und Mobilität, auf neue, ideale Lebensräume und treffen auf immunologisch völlig unvorbereitete Opfer. Dass Amphibien weltweit inzwischen die am meisten bedrohte Wirbeltiergruppe sind, muss neben den üblichen Giften, Schadstoffen und Biotopvernichtungen vor allem ihnen angerechnet werden. Es geht um Hunderte Amphibienarten. „Bd“, ein dem Bsal nahe verwandter Chytridpilz, ist nahezu weltweit verschleppt worden und dezimiert insbesondere Frösche. Darwins Nasenfrosch etwa siecht langsam dahin, in vielleicht fünfzehn Jahren dürfte er Züricher Biologen zufolge ausgestorben sein.

Langsam verlief die europäische Bsal-Welle bisher beileibe nicht. Nachdem der „Salamanderfresser“ am „Index-Fundort“ in Belgien und in den Niederlanden auftauchte, fand man infizierte Molche, Berg-, Kamm- und Fadenmolche etwa,

aber deren Bestände kollabierten nicht so radikal wie die der Feuersalamander. Inzwischen sind die Salamander-Populationen in Belgien um mehr als 95 Prozent geschrumpft, und noch brutaler – um 99,9 Prozent – in den Niederlanden, wo man die nördlichste Verbreitung im Hügelland von Zuid-Limburg Jahrzehnte lang beobachtete. „Erstmals hat ein Pathogen den Bestand einer Amphibienart auf Ebene eines europäischen Staates an den Rand des Aussterbens gebracht“, heißt es der neuen Ausgabe der „Zeitschrift für Feldherpetologie“ (Bd. 25, S. 1). Sieben Länder koordinieren heute die Überwachung der „Salamanderpest“, wie die Epidemie nun bezeichnet wird. Die Europäische Kommission, die Deutsche Bundesstiftung Umwelt, der Bund – weit mehr als eine Million Euro fließen inzwischen, weil Europa und vor allem Deutschland „eine hohe nationale Verantwortlichkeit“ für das Überleben des Feuersalamanders hat“, wie es beim Bundesamt für Naturschutz heißt. In Deutschland hat der Feuersalamander vie-

lerorts optimale Temperaturen und Lebensräume, er ist so weit verbreitet wie kaum anderswo.

Ideal ist es hier aber nicht nur für die Lurche, sondern auch für den Pilz. Woher der ursprünglich kam, ist noch unklar. Asien, vor allem Südostasien, war von Anfang an im Verdacht, auch China. In der Zeitschrift „Conversation Letters“ (doi: 10.1111/conl.12436) hat Pasmans zusammen mit Chinesen Stichproben asiatischer Schwanzlurche veröffentlicht. Unter den mehr als tausend Proben aus 51 Regionen Chinas fiel vor allem der prächtige Hongkong-Warzenmolch als Träger des Bsal-Erregers auf. Die Hälfte war infiziert. Betrachtet man den weltweiten Handel, sind im vergangenen Jahrzehnt mindestens 66 000 infizierte Tiere aus China exportiert worden. Für die Salamanderforscher, aber auch für die Deutsche Gesellschaft für Herpetologie und Terrarienkunde, ist die zentrale Rolle des Welthandels längst unstrittig. Mit einem EU-Kommissionsentscheid vom 28. Februar dieses Jahres wird

terminante, beschäftigt hatten. Von den heutigen Möglichkeiten des problemlosen Zugriffs auf umfangreiche Datenquellen konnte Price freilich nur träumen.

Publikationsdatenbanken mit ihren vielfältigen internen Quervernetzungen und reichhaltigen Metainformationen erlauben heute nicht nur eine erheblich präzisere Zählung der Publikationen in verschiedenen Feldern, sondern anhand von Textanalyse auch gewisse inhaltliche Schlüsse. Der Informatiker Staša Milojević etwa wertete 2015 Ausschnitte aus 20 Millionen Veröffentlichungen der Physik, Astronomie und Biomedizin in Hinblick auf die darin verwendeten Begriffe aus. Seine Analyse zeigt: Anders als das Wachstum der Publikationszahlen wächst der begriffliche, „kognitive“ Rahmen sehr viel schwächer, nämlich linear (doi: 10.1016/j.joi.2015.10.005). Studien ähnlicher Art ermöglichen es auch, die Entstehung neuer Gebiete und ganze Begriffsgeschichten nachzuvollziehen. Christian Vincenot von der Universität Kyoto konnte so beispielsweise in einer aktuellen Arbeit verfolgen, wie eine bestimmte Methode – die agentenbasierte Modellierung komplexer Systeme – unter verschiedenen Namen sowohl in den Natur- als auch in den Sozial- und Ingenieurwissenschaften genutzt wurde, und wie sich erst allmählich das Wissen über die Arbeiten der jeweils anderen Community durchsetzte (doi: 10.1098/rspb.2017.2360).

Wissenschaftspolitisch interessant sind aber insbesondere diejenigen datenbasierten Untersuchungen, die etwas über den Erfolg und die zukünftige Entwicklung von Wissenschaft auszusagen versuchen. Viele Studien widmen sich dabei der Sichtbarkeit von Forschungsergebnissen – ausgedrückt darin, wie oft die jeweiligen Arbeiten zitiert werden. Diese Zahl spielt für die wissenschaftsinterne

Bewertung von Forschung schon länger eine außergewöhnlich große Rolle. Bereits de Solla Price beschrieb aber, dass diese Kennzahl keineswegs nur vom wissenschaftlichen Inhalt bestimmt wird. Tatsächlich gibt es hier einen positiven Verstärkungseffekt, der auch durch zufällige Anfangsimpulse in Gang gesetzt werden kann: Oft zitierte Artikel werden als wichtig angesehen und daraufhin noch mehr zitiert. Gleichzeitig gibt es aber auch das Phänomen der „schlafenden Schönheiten“ – Artikel, deren Relevanz erst lange nach dem Zeitpunkt ihrer Veröffentlichung erkannt wird. Während solche „Spätzünder“ datenbasiert unvorhersagbar sind, lässt sich die Zitationsdynamik von Veröffentlichungen im Allgemeinen erstaunlich gut prognostizieren. So weisen Studien beispielsweise darauf hin, dass die Kombination bisher unverbundener Ideen und Ergebnisse, die bestimmte Erwartungen entkräften, besondere Wirkung besitzen. Auch Veröffentlichungen großer Gruppen von Forschern werden stärker zitiert als die Forschung einzelner.

Deutlich schwieriger gestaltet sich die Vorhersage des Erfolgs individueller Wissenschaftler – nicht nur aufgrund der schlechteren Verfügbarkeit von Daten, die Aufschluss über Karriereverläufe, Stipendien, Projektfinanzierungen, aber auch Teamkommunikation und gescheiterte Projekte geben, sondern auch, da davon auszugehen ist, dass grundsätzlich nicht messbare Faktoren eine wichtige Rolle spielen. Unabhängig davon können datenbasiert aber interessante Aussagen über herrschende Bias-Effekte in der Forschung oder allgemeine Eigenschaften wissenschaftlicher Karrieren, wie den zeitlichen Verlauf der Produktivität, gemacht werden.

Solche Befunde können Anlass für fruchtbare Diskussionen und Analysen

der Import von Schwanzlurchen neu geregelt: Sechswöchige Quarantäne, Anti-Pilz-Behandlung, auch Gesundheitszertifikate sollen ab Herbst Pflicht werden. Den Forschern geht das nicht weit genug. Auch Froschlurche, die als Reservoir des Pilzes dienen können, sollen in einer „bundesweiten Neuordnung des Amphibienhandels“ erfasst werden.

Inzwischen gilt die Nordeifel, vor allem im Nationalpark Eifel, als Seuchengebiet. 15 deutsche Bsal-Ausbrüche wurden bisher registriert. In der Südeifel hat man zwar noch keinen Pilznachweis, aber die Salamander-Populationen brechen auch dort zusammen. Den letzten Ausschlag für die behördlichen Interventionen dürften die Bsal-Funde in einem Friedhof in Essen im vergangenen Jahr gegeben haben. Der Ausbruch war fast hundert Kilometer von der Eifel entfernt. Unter Verdacht stehen freigelegene, aus Asien importierte Terrarientiere. Möglich ist aber auch, dass die Pilzsporen, die bei Bsal anders als bei anderen Pilzen zu den hochmobilen Sporen auch solche mit witterungsfesten Kapseln bilden können, im Waldboden überdauern und mit Netzen, Keschern, an Schuhen oder Reifen verschleppt worden waren. Doch das sind Thesen. Fest steht hingegen für Forscher wie Stefan Lötters aus Trier oder Sebastien Steinfartz aus Braunschweig, was sie mit Nachdruck immer wieder in ihren Veröffentlichungen so formulieren: „Bsal hat ein kaum zu überschätzendes Potential, Molch- und Salamanderpopulationen großflächig an den Rand der Ausrottung zu bringen.“ Deshalb arbeiten die deutschen Herpetologen gemeinsam an einem „Arche“-Projekt – dem Aufbau einer Erhaltungszucht, die langfristig eine genetisch diverse und stabile Salamander-Population sichern soll.

Über die „Salamander-Arche“ und die Hintergründe der Salamanderpest sowie über Gegenmaßnahmen können Sie mehr erfahren in unserer Multimediale-Dokumentation mit zahlreichen Videos und Interviews, die wir auf [www.faz.net/wissen](http://www.faz.net/wissen) zeigen.

## Kunstvoll falten wie die Ohrwürmer

Wissenschaftlern der ETH Zürich ist es gelungen, das Faltpapier der Flügel von Ohrwürmern nachzuahmen. Diese Insekten reduzieren die Fläche ihrer Flügel im gefalteten Zustand um mindestens das Zehnfache. Im Flug ist der Flügel stabil und faltet sich trotzdem schnell ohne den Einsatz von Muskeln zusammen. Auf der Grundlage von Computersimulationen fanden die Forscher um Jakob Faber heraus, dass proteinreiche elastische Faltgelenke die Grundlage dieser besonderen Eigenschaften darstellen. Traditionelles, starres Origami kann die Flügelfaltung der Ohrwürmer dagegen nicht erklären. Die in „Science“ veröffentlichten Ergebnisse könnten Anwendung in faltbarer Elektronik oder in der Herstellung von Solarpanelen von Satelliten und Raumsonden besitzen. sian

## Diamant-Maser bei Raumtemperatur

Stimulierte Emission, der Prozess bei dem ein Photon auf ein angeregtes Atom trifft und die Aussendung eines Photons mit gleicher Wellenlänge, Polarisation, Ausbreitungsrichtung und Phase auslöst, ist die Grundlage eines Lasers. Wenn die sich verstärkende Strahlung im Bereich von Mikrowellen liegt, spricht man von Masern. Bislang mussten Festkörper-Maser auf Temperaturen nahe des absoluten Nullpunkts gekühlt werden, um kontinuierlich betrieben werden zu können. Nun ist es Physikern erstmalig gelungen, einen kontinuierlichen Maser bei Raumtemperatur zu entwickeln. Wie in „Nature“ berichtet wird, nutzen sie dafür einen Diamanten mit Stickstoff-Fehlstellen-Zentren, der mit optischem Laserlicht in einen strahlungsverstärkten Zustand gebracht wird. sian

## Wer hat den schnellsten Quantencomputer?

Der Quantenphysiker Rainer Blatt aus Innsbruck betrachtet die großspurigen Ankündigungen der großen IT-Unternehmen eher mit Skepsis. Seite N2

## Positive Dialektik

Der Soziologe Hartmut Rosa hält sich für einen Fortsetzer der Kritischen Theorie. Mit Kritik konfrontiert, verstärkt er diesen Anspruch emphatisch. Seite N3

## Allgemeinarzt gesucht

Die Pläne zur Reform des Medizinstudiums verkennen die Fortschritte des Fachs und schießen über das Ziel hinaus. Seite N4