

Dimensionen eines Begriffs Eine kurze Betrachtung der Nutzung und Bedeutung von »Modellen«

Camera Obscura im Blätterdach Frisch aus der Modellwerkstatt: Drei Dioramen für die neue Ausstellung Optik

Im Spiegel Europas Im Jahr 1670 begeisterte der »Ausländische Kultur- und Sittenspiegel« seine Leser

KULTUR & TECHNIK



Die Welt verstehen

Modelle und ihre Bedeutung

SEIT 5000 JAHREN EIN STABILES INVESTMENT.

Wir bieten Ihnen eine große Auswahl an Barren und Anlagemünzen und übernehmen für Sie auf Wunsch auch gerne die professionelle Einlagerung in unserem Degussa Schließfach oder in unserem Hochsicherheitslager.

Auch für den Verkauf Ihrer Edelmetalle wie beispielsweise Barren, Münzen oder alten Schmuck sind Sie bei uns goldrichtig. Unsere Experten prüfen Ihre Ware fachmännisch und kaufen diese direkt in unserem Ankaufszentrum am Promenadeplatz 10 an.

DEGUSSA-GOLDHANDEL.DE

Degussa Goldhandel GmbH
Promenadeplatz 12 · 80333 München
Telefon: +49 (0)89 1392613-18
E-Mail: muenchen@degussa-goldhandel.de





**Liebe Leserin,
lieber Leser,**

es scheint ein Urinstinkt des Menschen zu sein, Ideen und Vorstellungen reale Form verleihen zu wollen. Der Kuchen aus Förmchen und Spielsand gebacken ist eines unserer ersten selbst gebauten Modelle und so geht es weiter, ganz spielerisch und kreativ. Wir kneten, basteln und bauen uns groß, modellieren uns die Welt, um sie zu »begreifen«. Oskar von Miller hat diesen urmenschlichen Spieltrieb zum Anlass genommen, ein Museum zum Staunen und Anfassen zu schaffen. Sein Konzept ist heute so aktuell wie damals. Wir brauchen Modelle, um Theorien und Erkenntnisse über die Welt wenigstens in Ausschnitten sichtbar und verstehbar zu machen.

Das Deutsche Museum leistet sich den »Luxus«, eine eigene Modellwerkstatt zu betreiben. Dort herrschte in den vergangenen Monaten Hochbetrieb. Mich begeistert es immer wieder, wie es unserem Modellbauteam gelingt, die Visionen unserer Kuratorinnen und Kuratoren in reale Formen zu »übersetzen«. Sie anschaulich und angreifbar zu machen. Einen winzig kleinen Blick auf die Ergebnisse gewähren wir Ihnen in diesem Heft – viel mehr gibt es dann in den neuen Ausstellungen zu sehen.

Und hier wären wir dann auch schon bei meinem nächsten Thema: Wann öffnet der renovierte Teil des Museums endlich seine Pforten? Lange genug mussten Sie darauf warten – und ich bin Ihnen dankbar für Ihre Geduld und Treue. Wie es bei alten Gebäuden so ist: Termine mussten verschoben werden, weil unvorhersehbare Probleme auftraten. Und kurz vor der Zielgeraden hat uns die Coronapandemie einen weiteren Strich durch die Rech-

nung gemacht. Nun aber sind die Sanierungsarbeiten des ersten Bauabschnitts abgeschlossen, derzeit werden die Ausstellungen aufgebaut. Nun bleibt nur zu hoffen, dass die Inzidenzzahlen sich weiterhin nach unten bewegen (zu den Modellrechnungen rund um die Pandemie empfehle ich übrigens den Artikel ab Seite 36!), so dass wir Sie spätestens Anfang 2022 in den neuen Ausstellungen begrüßen dürfen.

Unabhängig davon lohnt sich der Besuch im Museum auch jetzt und immer: Ein Großteil unserer Ausstellungen ist wie gewohnt offen. Auf den folgenden Seiten finden Sie einen Vorschlag für einen »kreuz&quer«-modellorientierten Museumswandertag mit der ganzen Familie. Nicht nur an Regentagen! Und bitte: Solange die Coronapandemie uns Beschränkungen auferlegt, unbedingt vorher auf unserer Website oder telefonisch anmelden, damit es keine Enttäuschungen vor Ort gibt.

Alles Gute wünsche ich Ihnen. Bleiben Sie gesund

Ihr Wolfgang M. Heckl



6

Ein kurzweiliger Rundgang zu interessanten Modellen im Deutschen Museum.

10

Modelle setzen Vorstellungen in Szene – aber sie können noch viel mehr.



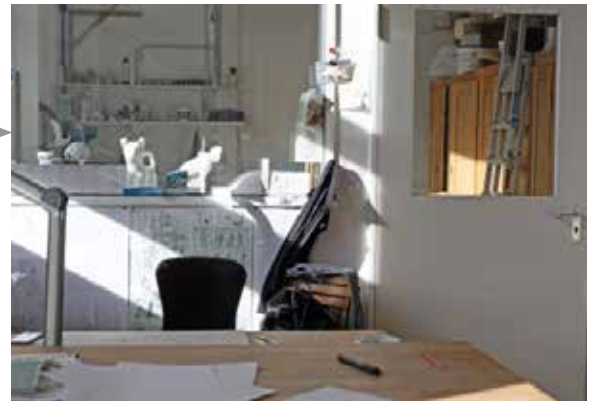
16

Wie ist die Welt außerhalb der Erde aufgebaut? Diese Frage fasziniert Menschen seit Jahrtausenden. Historische Modelle erzählen über ihre Vorstellungen.



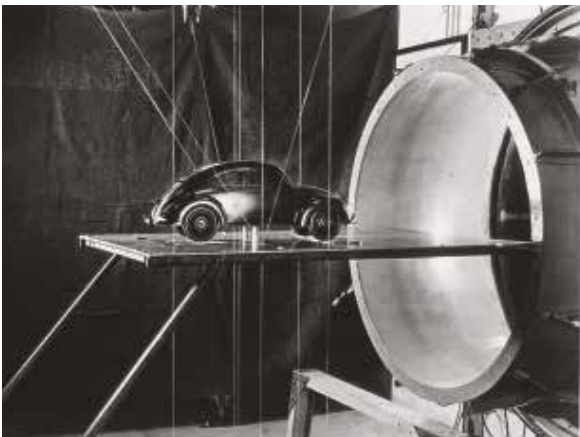
20

In der Modellwerkstatt des Deutschen Museums werden aus Ideen und Vorstellungen konkrete Objekte.



25

Das Verhalten von Luft und Wasser lässt sich allein an Modellen nicht prognostizieren.



30

Simulationen helfen, das Klima besser zu verstehen und Vorhersagen treffen zu können.



40

1670 veröffentlichte Erasmus Francisci ein umfangreiches Werk über fremde Kulturen.



50

Neu erschienen ist ein Buch über die Restaurierung eines Kleides aus Glasfaser.



DAS ZUKUNFTSMUSEUM

- 6** **kreuz & quer**
Ein Streifzug durch das Deutsche Museum | **Von Christian Rauch**
- 10** **Dimensionen eines Begriffs**
»Modelle« in unterschiedlichen Kontexten | **Von Wiebke Henning**
- 16** **Das ideale Weltall**
Darstellungen des Nachthimmels | **Von Benjamin Mirwald**
- 20** **Camera Obscura im Blätterdach**
Dioramen für die Ausstellung »Optik« **Von Christian Rauch**
- 25** **Zu Wasser und in der Luft**
Modelle in der Strömungsforschung | **Von Michael Eckert**
- 30** **Das Klimapuzzle**
Die komplexe Dynamik des Klimas verstehen | **Von Matthias Heymann**
- 36** **Die Pandemie in Zahlen fassen**
Epidemiologische Modelle | **Von Jonas Dehning, Emil Iftekhar, Viola Priesemann**

Magazin

- 40** **Im Spiegel Europas**
Francescis Kultur- und Sittenspiegel | **Von Claus Priesner**
- 46** **Erfolgreich durch das Corona-Jahr**
Neues aus dem Freundes- und Förderkreis | **Von Monika Czernin**
- 48** **Empfehlenswerte Bücher**

STANDARD

- 3** **Editorial**
- 46** **Vorschau, Impressum**

Zu einigen Beiträgen gibt es Literaturhinweise.

S. 16-19, Mirwald, *Das ideale Weltall*
 S.25-29, Eckert, *Zu Wasser und in der Luft*
 S. 36-39, Dehning, Iftekhar, Priesemann,
Die Pandemie in Zahlen fassen

Diese finden Sie auf unserer Website:
www.deutsches-museum.de/verlag/kultur-technik

Unzählige große und kleine Modelle im Deutschen Museum helfen dabei, Naturgesetze und technische Prozesse zu verstehen. Als Objekte, Experimente, Präsentationen oder Spiele beleuchten sie die Entwicklung des Wissens und der Technik. Autor Christian Rauch hat mit seinem Sohn Florian einen Rundgang zu besonderen Modellen des Museums gemacht. Heike Geigl hat die beiden mit der Kamera begleitet.



www.deutsches-museum.de/ausstellungen/lageplan



Am Strömungskanal beobachtet Florian, welches der drei Schiffe das schnellste sein wird.



Wasserwelt

Untergeschoss: Schifffahrtsabteilung

In der Schifffahrtsabteilung gehen wir über die Treppen neben dem Ewer Maria hinab ins Untergeschoss. Dort spazieren wir zu einer grauen Tauchkugel. Sie ist ein Modell der Tauchkugel mit der Jacques Piccard 1960 zur tiefsten Stelle der Welt im pazifischen Marianengraben tauchte – fast 11 000 Meter unter dem Meeresspiegel! Dort herrscht ein Wasserdruck von über 1000 Bar. Um die Tauchkugel zu testen, bauten Jacques und sein Vater Auguste Piccard zunächst kleine Modellkugeln, die in dem Schaukasten nebenan liegen. Mit ihnen führten sie Tests in Druckbehältern durch, um die richtigen Materialien auszuwählen und zu dimensionieren. Auf dem Weg zurück machen wir links einen Abstecher und erreichen drei Schiffsmodelle in einem langen Wasserbecken. Auf Knopfdruck kann man hier herausfinden welches der Modellschiffe den geringsten Widerstand bei ihrer Fahrt aufweist. Kleiner Tipp: Beobachten Sie die Wellen!



Bild oben: »Nur« ein Modell ist die Tauchkugel von Jacques Piccard. Mit dem Original tauchte Piccard 11 000 Meter tief. Rechts im Bild die Kugelmodelle, mit denen Piccard geeignete Materialien und Dimensionen testete.

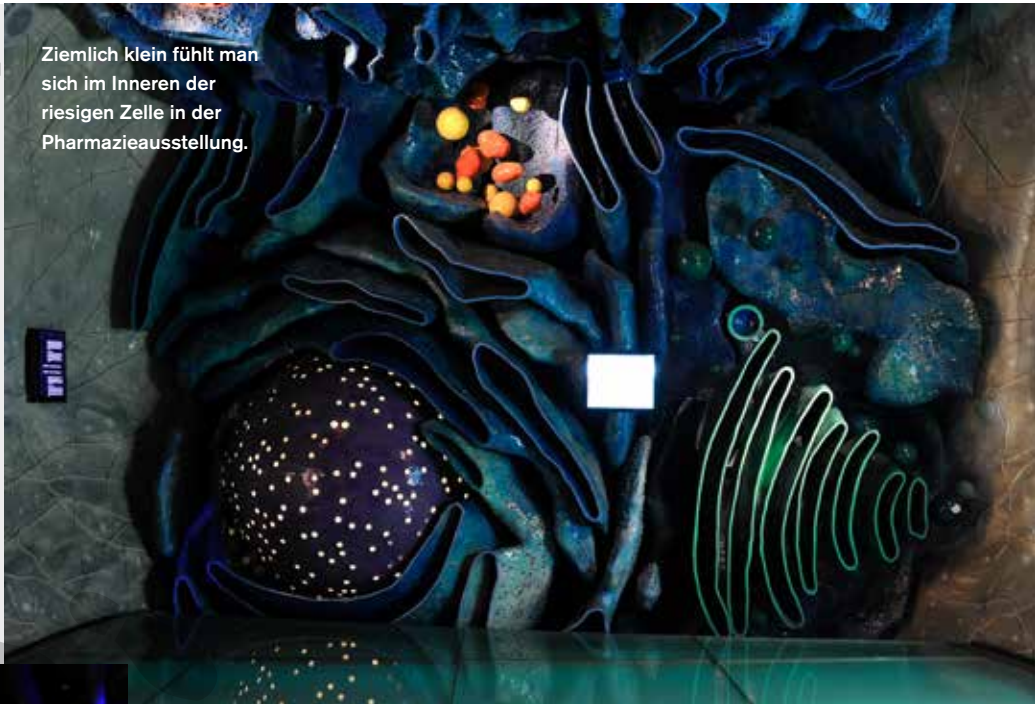
Körperwelt

Ebene 1: Pharmazie

Zurück geht es ins Erdgeschoss, dort Richtung Restaurant, die Treppen hinauf bis in den ersten Stock. In der Ausstellung Pharmazie begegnen wir Modellen spezialisierter Zellen in unserem Körper, die in Wirklichkeit 25 000-mal kleiner sind! Auf Knopfdruck leuchten Nervenzellen, Fettzellen, weiße und rote Blutkörperchen und einige mehr. Dahinter kann man in das 350 000-fach vergrößerte Modell einer menschlichen Körperzelle hineingehen und erfahren, wie Zellen genetische Information speichern, weitergeben und unseren Körper mit Energie versorgen. Übrigens: Auch die Sitzgelegenheiten in dieser Abteilung sind Modelle!



Ziemlich klein fühlt man sich im Inneren der riesigen Zelle in der Pharmazieausstellung.



Der Zellwald veranschaulicht die Vielfalt an Zellen im Körper.

Florian ist Pilot des Attas-Forschungsflugzeugs.



Flugwelt

Ebene 1: Luftfahrt

Über das Treppenhaus gelangen wir in die Historische Luftfahrt. Hier kann man ein Modell des ersten Heißluftballons steigen lassen. Das Original erhob sich im Jahr 1783 über Paris – mehr als hundert Jahre bevor die ersten »Flugapparate« Menschen in die Lüfte beförderten. Diese sehen wir im weiteren Verlauf der Ausstellung. Direkt neben dem Modell kann man an einem mechanischen Flugsimulator Platz nehmen. Per Steuerhorn und Pedalen lässt sich das Modell des Forschungsflugzeugs ATTAS steuern. Es tat in der realen Welt jahrzehntelang beim Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt Dienst (das Original steht nun in der Flugwerft Schleißheim des Deutschen Museums).



Per Knopfdruck bewegt sich der Heißluftballon im Diorama nach oben.



Forscherwelt

Ebene 1: Physik

Wieder zurück über das Treppenhaus in die Ausstellung »Physik«. Gleich in einem der ersten Räume fällt unser Blick auf das nachgebildete Arbeitszimmer und Labor von Galileo Galilei. So könnte die Forschungswerkstatt des großen Wissenschaftlers vor über 400 Jahren in Florenz ausgesehen haben! Schon 1959 baute man diesen Raum im Deutschen Museum samt der wichtigsten Experimente und Erfindungen Galileis, darunter die Pendelversuche und die Fallrinne. Damit entdeckte der Italiener entscheidende physikalische Gesetze. Deren Anwendung kann man an Experimentierstationen rund um die nachgebaute Werkstatt selbst ausprobieren.

Bild oben: Ein Nachbau der Werkstatt von Galileo Galilei. Bild rechts: Die Übertragung und Überlagerung von Wellen.



In der Ziegelei im Puppenstubenformat lassen sich echte Ziegel herstellen.



Steinwelt

Ebene 2: Keramik

Ein kleiner Abstecher in die Keramik: Im zweiten Stock steht seit rund 50 Jahren die beliebte Miniziegelfabrik – das funktionsfähige Modell einer kompletten Ziegelei. Bei Vorführungen wird ein miniature gezeigt, wie der Ton geformt, zu Ziegeln geschnitten und gebrannt wird. Gegen eine Spende kann man einen der frisch fabrizierten Miniziegel mit nach Hause nehmen.

Welt(en)räume

Ebene 5: Astronomie

An der Glasbläserei vorbei geht es wieder ins Treppenhaus und zu Fuß oder mit dem Aufzug in den fünften Stock. In der Ausstellung »Astronomie« spazieren wir zu einer großen grauen Schüssel, in der auf Knopfdruck eine Kugel im Kreis läuft. Die Kugel ist das Modell eines Planeten, der um die Sonne kreist. Ihr Schwerkraft-Massenzentrum wird durch das Loch symbolisiert und lässt Physiker vereinfacht an die massengekrümmte Raumzeit denken. Läuft die Kugel/der Planet weiter entfernt um das Loch/die Sonne, ist er langsamer, wie beispielsweise Jupiter. Näher am Massenzentrum läuft der Planet viel schneller, zum Beispiel Merkur. Dass das Modell hier nicht genau der echten Welt entspricht, beweist das finale Abstürzen der Kugel/des Planeten in die Sonne. Schuld ist die Reibung der laufenden Kugel, die im Vakuum des echten Weltalls nicht existiert. In der Astronomie und im Nebenraum zur »Entwicklung des Universums« kann man sich weiter umsehen. Wieder sind es vor allem Modelle, die uns das weite All näherbringen und uns zum Beispiel den Lauf der Jahreszeiten auf der Erde erklären oder den Gravitationslinseneffekt.



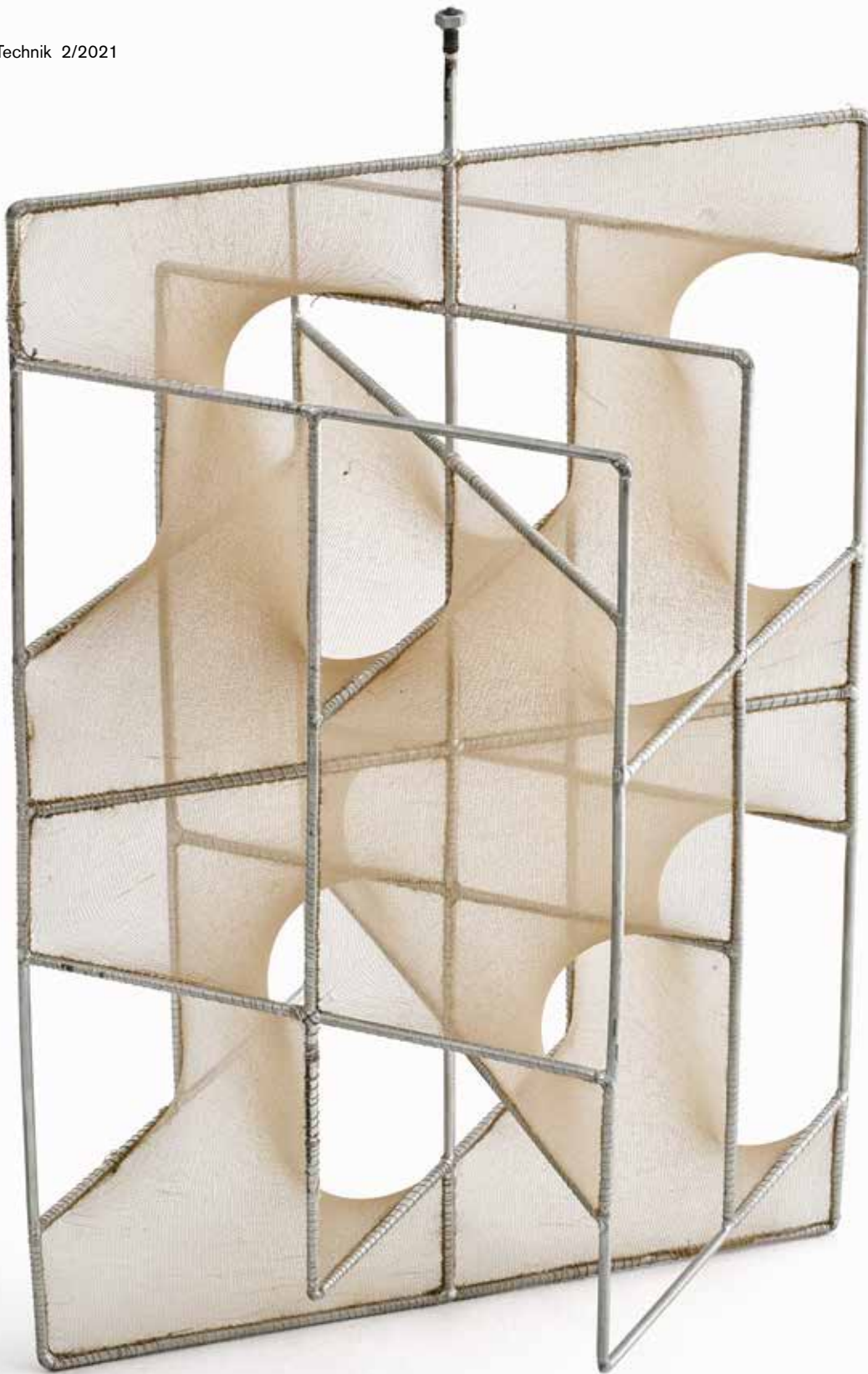
Faszinierende Kreisbahn:
Die Kugel rotiert um ein
Loch, um zu zeigen, wie
sich ein Planet um die
Sonne bewegt.



Kinderwelten

Ebene 0: Kinderreich

Mit kleineren Kindern lohnt zum Abschluss der Besuch im Kinderreich. Von der Astronomie fahren wir mit dem Aufzug bis ins Erdgeschoss und gehen dann an den Garderoben und am Bergwerk vorbei in das Kinderreich. Hier gibt es ein Modell mal richtig zum Anfassen! In die rote Riesengitarre können Kinder sogar hineinkriechen.



Die Kristallografin Elke Koch hat dieses Modell einer »Minimalfläche« aus einer Damenstrumpfhose und Metall angefertigt. Es zeigt eine Fläche, die sich in alle drei Raumrichtungen periodisch weiter ausdehnt und sich dabei selbst nicht schneidet. Dieses Modell wird in der neuen Mathematik-Ausstellung zu sehen sein.

Dimensionen eines Begriffs

*Eine kurze Betrachtung der Nutzung und Bedeutung von »Modellen«
in unterschiedlichen Kontexten. Von Wiebke Henning*

Stellen Sie sich vor, Sie wollen ein Kunstwerk erschaffen, das eine Szene aus einem Mythos zeigt. In der griechischen Mythologie bringt Prometheus den Menschen das Feuer. Dieses Feuer repräsentiert für viele Dichter und Denker die wissenschaftliche Erkenntnis. Es soll deswegen eine Skulptur werden, die eine große, brennende Fackel darstellt. Diese Fackel symbolisiert für Sie das Licht der Erkenntnis. Wie gehen Sie vor? Zunächst machen Sie sich vielleicht Skizzen auf Papier, dann erstellen Sie ein erstes Modell. Sie verwenden Gips, um eine erste Fackel nach Ihren Skizzen zu formen, schauen sich an wie sie im Raum wirkt, verändern hier und da etwas, machen die Flammen größer. Sie überlegen, wie die Skulptur Halt gewinnt. So lange, bis Ihr Licht der Erkenntnis Ihren Wünschen entspricht. Dann können Sie sich der eigentlichen Skulptur widmen, beispielsweise eine Form herstellen, um darin Metall zu gießen. Irgendwann ist Ihr Werk vollendet, stolz stehen Sie davor und betrachten es. Ihr Atelier sieht unterdessen aus wie ein Schlachtfeld, nach der Arbeit kommt ja immer noch mehr Arbeit und Sie müssen aufräumen. Was machen Sie mit den Gipsmodellen? Irgendwo in eine Ecke räumen oder gar entsorgen? Bitte nicht so schnell! Verharren Sie für eine Zeit bei den Modellen und stellen Sie sich einmal folgende Frage: Was ist ein Modell eigentlich? Was macht es aus, was leistet es?

Einerseits ist es bloß ein Zwischenschritt, ein Übergang auf dem Weg zum eigentlichen Kunstwerk. Es macht den Anfang, aber es ist nicht das eigentliche Ziel. Etwas, das für den Herstellungsprozess gebraucht wird, danach aber nicht mehr. Andererseits ist es notwendig und wichtig. Wenn Sie ohne Modell direkt mit dem Werk angefangen hätten, wären Sie jetzt vermutlich alles andere als zufrieden. Sie können das Modell behalten, falls Sie später noch einmal damit arbeiten wollen. Aber das Modell ist noch mehr. Es ist ein Hybridwesen zwischen den Ideen in Ihrem Kopf und der Realität des späteren Kunstwerks. Es sieht schon so aus wie das Bild in Ihrem Kopf und das spätere Kunstwerk, aber doch auch nicht, weil es z.B. kleiner ist und aus einem anderen Material besteht. Ein Vermittler zwischen verschiedenen Welten und damit etwas ganz Besonderes und gar nicht so leicht zu fassen.

Wenn man bedenkt, wo uns überall Modelle begegnen, werden sie noch schwieriger zu erklären: Wir kennen Gipsmodelle aus der Bildhauerei, Eisenbahnmodelle oder Modelle bei Modenschauen. Auch ein Globus ist ein Modell der Erde. Es



Extra für das Deutsche Museum hat der Physiker Arnold Sommerfeld ein Atommodell aus Eisen entworfen.

gibt aber auch Klimamodelle, Atommodelle und Rechenmodelle. Die Psychologie arbeitet ebenso mit Modellen wie die Sozialwissenschaften. Überall Modelle! Ein guter Grund, sich diesem Thema auch einmal im Deutschen Museum zu widmen. Schließlich stehen hier auch in jeder Ecke Modelle herum, sowohl vor den Kulissen in den Ausstellungen als auch dahinter in unseren Werkstätten.

Momentan findet im Deutschen Museum einer der größten Neugestaltungsprozesse in der Geschichte des Hauses statt. Ein großer Teil der Ausstellungen auf der Museumsinsel wird aktualisiert, das Gebäude saniert. Das Projekt heißt Zukunftsinitiative, kurz:

»Zukuni«, und ist in zwei Bauabschnitte geteilt. Der erste soll bald fertiggestellt werden, so dass 2021 die ersten 19 Ausstellungen eröffnen können. Danach schließen die Ausstellungen des zweiten Abschnitts, um ebenfalls erneuert zu werden. Auch bereits bestehende Dauerausstellungen werden in den kommenden Jahren aktualisiert, wie die Chemie oder die Schifffahrt.

Wie arbeiten Naturwissenschaftler?

Es wird aber auch eine ganz neue Dauerausstellung geben: »Die Natur der Naturwissenschaft«, die 2028 direkt neben dem Ehrensaal eröffnen soll, wird den Hintergründen und der Vielfalt naturwissenschaftlichen Arbeitens nachspüren. Modelle sind ein wichtiges Element in der naturwissenschaftlichen Forschung. Sie werden deswegen einen besonderen Platz in der Ausstellung bekommen. Hier wollen wir eine Auswahl verschiedenster Modelle zeigen, um ihre jeweilige Funktion und Bedeutung zu erläutern. Ein Atommodell darf hier nicht fehlen: Der bekannte Physiker Arnold Sommerfeld (1868–1951) hat im Jahr 1928 extra für die damals neue Chemie-Ausstellung »Bau der Materie« des Deutschen Museums zwei Atommodelle aus Gold und Eisen angefertigt. Sie bildeten den zu dieser Zeit aktuellsten Erkenntnisstand ab und haben somit eine didaktische Funktion.

Ähnlich verhält es sich auch mit dem anatomischen Ohrmodell des Mediziners Friedrich Bezold (1842–1908). Bezold hatte zu seiner Zeit bedeutende Fortschritte bei der Erforschung des Ohrs gemacht. Das Modell wurde nach seinen persönlichen Anleitungen für das Deutsche Museum hergestellt. Auch eine Armillarsphäre (von lat. *armilla*: »Armreif« und *sphaera*: »Kugel«), ein Modell des Sonnensystems aus dem 18. Jahrhundert,

Die Anatomie des Ohres veranschaulicht dieses Modell. Angefertigt wurde es in den Werkstätten des Deutschen Museums nach Vorgaben des Arztes Friedrich Bezold.



wird zu sehen sein. (siehe Beitrag Mirwald, S. 16-19). Es zeigt die Bewegungen von Erde, Sonne und Mond, die an beweglichen metallenen Reifen befestigt sind.

Außerdem gezeigt werden sogenannte Minimalflächenmodelle, die von der Kristallografin Elke Koch aus Damenstrumpfhosen angefertigt wurden. Sie zeigen Flächen im euklidischen Raum, die sich in alle drei Richtungen weiter ausdehnen und sich dabei selbst nicht schneiden. Auch aus der Forschung wird ein Modell präsentiert: Das Kartonmodell der 7x7-Rekonstruktion einer Silizium(111)-Oberfläche wurde 1982 angefertigt, um den Datensatz, den ein Rastertunnelmikroskop ausspuckte in eine 3D-Ansicht überführen zu können. Da dies mit Computern damals noch nicht möglich war, behelfen sich die Forschenden damit, die Daten selbst auf ein Koordinatensystem auf Karton zu übertragen und auszuschneiden.

Alle genannten Modelle haben gemeinsam, dass sie haptische Gegenstände sind, räumliche Abbilder von etwas, die als Objekte irgendwo hingestellt werden können (eben hoffentlich bald in unsere neue Ausstellung). Daneben gibt es aber auch Gedankenmodelle, in denen etwas berechnet oder rein theoretisch beschrieben wird. Ein Gedanke im Kopf der Forscherin oder des Forschers oder ein Rechenauftrag für einen Computer. Das oben bereits erwähnte Sommerfeldsche Atommodell von Gold beruht auf solch einem Theoriemodell des Atoms. Das Objekt im Deutschen Museum bildet auf verständliche Weise eine Berechnung ab. Es ist ein Schalenmodell, dessen Schalen aufzeigen, an welchen Orten Elektronen um den Atomkern herum mit höherer Wahrscheinlichkeit auftauchen als an anderen Orten. Unser Atommodell im Museum ist also das bildliche Modell eines Theoriemodells – das Modell eines Modells! Das

kommt Ihnen jetzt vielleicht etwas sehr gehirnakrobatisch vor, aber Modelle sind eben sehr komplexe Charaktere. Gleichzeitig schillernd wie spannend.

Modelle als Anleitung und Erklärung

Prinzipiell können Modelle zwei Bedeutungen haben, eine technische und eine theoretische. Die technische Bedeutung liegt in der praktischen Herstellung, z.B. in der Bildhauerei, aber natürlich auch bei der Herstellung von Maschinen etc. Schon hier zeigt sich ein doppelter Zweck. Zum einen das Experimentieren im Raum (wie kann die Fackel so angefertigt werden, dass sie eindrucksvoll wirkt, die richtigen Proportionen hat oder nicht umfällt), zum anderen als Muster. Wenn das Gipsmodell fertig ist, dient es als Anleitung und Orientierungspunkt für das spätere Werk.

Die zweite Bedeutung ist theoretisch. Hier dient das Modell nicht als Anleitung für eine handwerkliche Umsetzung, sondern als Erklärung. Ein Modell in dieser Hinsicht bildet eine Vorstellung von etwas ab, so wie z. B. die oben genannte Armillarsphäre zeigt, wie die Wissenschaft sich das Sonnensystem vorstellt oder das Sommerfeldsche Atommodell eine Theorie zu Atommodellen abbildet. Der Sinn dieser Modelle ist ein philosophischer: Die Erkenntnis der Welt, in unseren Fällen des Sonnensystems oder des Atoms.

Zwei vollkommen verschiedene Seiten, könnte man meinen, aber es gibt Gemeinsamkeiten. In der Geschichte der Philosophie geht die Suche nach Erkenntnis mit der Frage nach »ewigen Wahrheiten« einher. Bei Platon sind dies die Ideen oder Urbilder. Die Welt wurde lange als etwas von einem Gott Geschaffenes betrachtet. Die »ewigen Wahrheiten« sind dabei die Urbilder, nach denen die Welt erschaffen wird, so wie ein Künstler eine Skulptur nach seiner Vorstellung, seinem Modell herstellt. Diese Urbilder oder Ideen sind geistig, sie können mathematisch sein, sie können aber auch philosophische Grundsätze sein, wie Ursache und Wirkung oder das Gute.

Bei Platon (ca. 427 v.u.Z.–ca. 347 v.u.Z.) heißt der Gott »Demiurg«, was so viel bedeutet wie »Handwerker«, »Baumeister« oder auch »Schöpfer«. Er hat den Kosmos nach geometrischen Urbildern erschaffen. Nach Platon finden sich diese geometrischen Formen z.B. in den Atomen, aus denen die Welt besteht, wieder. Das muss man sich ganz konkret vorstellen: Feuer besteht in dieser Lehre z.B. aus sehr kleinen Tetraedern. Seine Eigenschaften leiten sich aus den Eigenschaften des Tetraeders ab. Ganz deutlich sieht man diese Vorstellung einer Welt, die auf mathematischen Prinzipien beruht, auch bei Johannes Keplers (1571–1603) Modell des Sonnensystems, das auf platonischen Körpern beruht.

Auch bei Gottfried Wilhelm Leibniz (1646–1716), der als Philosoph den Rationalismus vertritt, findet sich dieser Gedanke: Es gibt allen Dingen zugrundeliegende Ideen, nach denen Gott die Welt geschaffen hat. Alles auf der Welt richtet sich nach diesen Ideen, die Natur schafft ihre Produkte notwendigerweise gemäß diesen Grundsätzen. Die natürlichen Dinge sind die

Abbilder der Urbilder. Wir Menschen können mit unserer Vernunft diese Grundsätze erkennen und verstehen. Daher sind sie für uns eine Art Anleitung bei der Suche nach der Wahrheit. In unseren Modellen versuchen wir, uns diesen Urbildern anzunähern. So sieht in vielen Philosophien die Suche nach Erkenntnis aus. Bei Platon ist das der Prozess der Wiedererinnerung (griech. *anámnesis*), denn das Wissen der Urbilder ist in uns schon vorhanden, wir müssen es nur finden. Die beiden Modellbegriffe, technisch und theoretisch, fließen bei diesen Philosophen ineinander. Erkenntnis ist die Einsicht in die Grundzusammenhänge der Welt. Aus diesen Fundamenten lassen sich dann Erkenntnisse z.B. über Atome oder das Sonnensystem ableiten.

Hypothesen auf dem Prüfstand

In der modernen Naturwissenschaft wird mit Modellen allerdings oft ganz anders umgegangen. Ein naturwissenschaftliches Modell hat zwar immer noch eine theoretische Bedeutung, sie ist aber losgelöst von der Vorstellung einer inneren Wahrheit, die es zu ergründen gilt. Untersucht wird stattdessen die empirische Realität. Die Empirie ist die Welt der Erfahrung, die wir mit unseren Sinnen erfassen und mit unserem Denken verknüpfen. Die Frage, ob es hinter dieser Wirklichkeit, wie wir sie mit unseren Sinnen wahrnehmen, eine grundlegende Wahrheit gibt, wird in der Naturwissenschaft nicht gestellt. Man muss aber bedenken, dass sich die verschiedenen Wissenschaften hier berühren, denn die notwendigen Grundsätze der Mathematik und Philosophie liegen den Naturwissenschaften zugrunde. Naturwissenschaftliche Erklärungen dürfen den Prinzipien der Mathematik und Logik nicht widersprechen.

Aber die Naturwissenschaft will konkrete, empirische Phänomene erklären. Diese sind komplex, vielschichtig und oftmals diffus. Die Dinge in der Welt interagieren miteinander und vermischen sich. Jeder Ort in diesem Universum sieht anders aus, überall wimmelt es von verschiedenen Zusammensetzungen der Elemente, Atome, Moleküle – es ist nicht leicht aus diesem Durcheinander allgemeingültige Erkenntnisse herauszufiltern. Wenn man z.B. wissen möchte, was Feuer eigentlich ist, können wir nicht einfach ein Feuer machen und es untersuchen. Es gibt ja ganz unterschiedliche Arten von Feuer, je nachdem, ob Holz, Gummi oder Plastik brennt, wie die Luft um das Feuer herum zusammengesetzt ist, ob es überhaupt von Luft umgeben ist und nicht von Wasser, usw. Wie soll ich da wissen, welche meiner Beobachtungen oder Schlüsse wirklich etwas über das Feuer aussagen und nicht bloß zufällig gerade in diesem einen Feuer auftauchen?

Modelle helfen, hier Klarheit zu schaffen. Im naturwissenschaftlichen Modell versucht man, von den Unterschieden zu abstrahieren und nur das zu beschreiben, was für die Fragestellung wichtig ist. Eine Naturwissenschaftlerin würde also ein gedankliches Modellfeuer entfachen, in dem nur die Bedingungen herrschen, die sie gerade untersuchen möchte. Hier ist

RADSPIELER

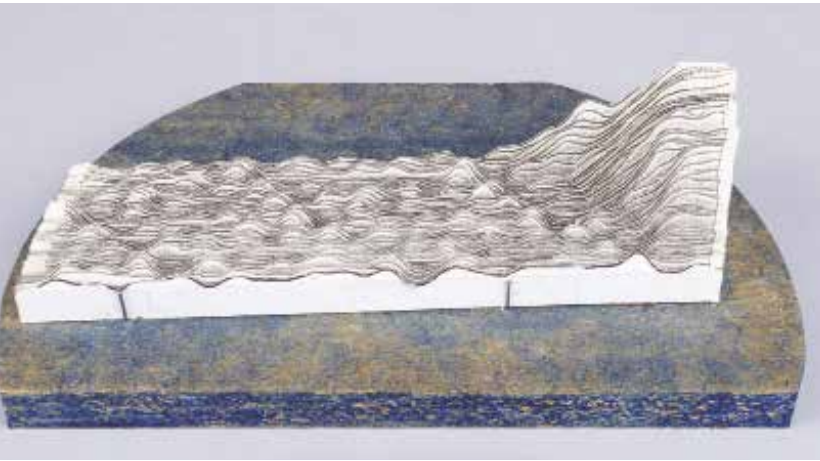
Seit 1841



*Radspieler –
damit
Einrichten
Freude
macht!*



*F. Radspieler & Comp. Nachf.
Hackenstraße 7
80331 München
Telefon 089/23 50 98-0
Fax 089/26 42 17
www.radspieler.com*



Die Daten eines Rasterelektronenmikroskops wurden auf Karton übertragen. Auf dem Kartonmodell erkennt man die abgetastete Oberfläche von Silizium.

der Modellbegriff ganz nah an der Hypothese: Man beschreibt einen Grundsatz, der aus den bisherigen Erkenntnissen abgeleitet ist und diesen kann man dann überprüfen. Die Naturwissenschaftlerin klopft z.B. ab, ob ihr Modellfeuer den bereits bekannten Gesetzen der Physik standhält. Wenn nicht, muss das Modell entsprechend verändert werden. Wenn sie eine Hypothese zum Feuer allgemein hat, kann sie auch echte Modellfeuer entfachen, um zu überprüfen ob sich das jeweilige Feuer genauso verhält, wie sie es in ihrer Hypothese beschrieben hat. Ein naturwissenschaftliches Modell ist dauernd im Fluss. Es wird immer wieder empirisch und theoretisch überprüft und kann so auch als eine Verbindung zwischen beiden betrachtet werden (ähnlich wie das künstlerische Modell eine Verbindung zwischen der geistigen Idee und dem realen Objekt ist). Störfaktoren, die in der Realität immer vorkommen, blendet es aus.

Hier zeigt sich der Unterschied zu der oben besprochenen Philosophie von Platon oder Leibniz. In der Geschichte der Naturwissenschaft werden zunächst empirische Phänomene betrachtet, anschließend wird davon abstrahiert und ein Modell geschaffen. Man nennt diesen Vorgang Induktion. Von vielen Einzeldingen werden allgemeine Merkmale zu einem allgemeinen Begriff abstrahiert. Demgegenüber steht die Deduktion, die Ableitung von besonderen aus allgemeinen Begriffen. Platon und Leibniz sehen die Welt so, dass es allgemeine Grundsätze gibt, die ewig existieren und denen die empirische Welt unterworfen ist (das ist eine Sichtweise, die auch ohne die Vorstellung eines göttlichen Schöpfers funktioniert). Um die Dinge zu verstehen, muss man zuerst Einsicht in die allgemeinen Prinzipien haben und kann daraus auf empirische Phänomene schließen. Die empirische Welt ist ein Abbild des Urbilds.

Dieser Sicht gegenüber steht der Empirismus. John Locke (1632–1704) war einer seiner berühmtesten Vertreter und ein Kontrahent von Leibniz. Nach seiner Theorie gibt es so etwas wie ewige Wahrheiten, die wir rein mit unserem Verstand erkennen können, nicht. Unser Verstand ist eine tabula rasa, eine unbeschriebene Tafel, die wir erst füllen müssen. Das tun wir durch die oben beschriebene induktive Methode. Die Zeit des

Empirismus ist die Zeit, in der sich die Naturphilosophie langsam von der Philosophie löst und später zur Naturwissenschaft wird. Hier möchte ich etwas umformulieren: »Auch Isaac Newton (1643–1727) vertrat den Empirismus, der Teile der Naturwissenschaft bis heute prägt. Dies ist allerdings nur eine grobe Unterscheidung, denn es gab und gibt auch Naturwissenschaftlern, die die deduktive Methode vertreten und stärker von der rationalistischen Philosophie beeinflusst sind. Letztendlich wird in der Naturwissenschaft heutzutage immer sowohl induktiv als auch deduktiv vorgegangen, ein stetiges Wechselspiel in dessen Mitte das Modell steht. Der Untersuchungsgegenstand ist aber immer die Natur und ihre empirischen Phänomene.

Vereinfachung der Wirklichkeit

Diese Funktion, die Realität einfacher darzustellen als sie ist und einen bestimmten Aspekt daraus hervorzuheben, haben fast alle Modelle gemein. Die Modelleisenbahn in Ihrem Keller ist eine kleinere, einfachere Version einer echten Eisenbahn. Der Globus ist eine kleinere, vereinfachte Version der Erde, genauso wie unsere Armillarsphäre eine einfachere Version des Sonnensystems ist. Das hat einen immensen Vorteil: Mit Modellen können Dinge untersucht werden, die in der Realität nicht untersucht werden können, weil sie z. B. zu groß sind, die Untersuchung zu teuer wäre o.ä. So kann man mit Computersimulationen die Entstehung des Weltalls als Modell nachspielen, ohne persönlich zum Urknall reisen zu müssen.

Das bedeutet auch, dass Modelle klar definierte Grenzen haben. Sie können und sollen die Wirklichkeit nicht nachahmen. Dadurch können auch Fehler passieren, wenn z.B. eine Bedingung, die in der Realität vorherrscht, fälschlicherweise als unwesentlich betrachtet und aus dem Modell herausgestrichen wurde. Die Vereinfachung führt noch zu einem weiteren Problem: Sie kann leicht missverstanden werden. Die Schalen im Sommerfeldschen Atommodell, die eigentlich ein Bild für hohe Wahrscheinlichkeiten sind, können leicht fehlinterpretiert werden als die Bahnen auf denen die Elektronen um das Atom sausen.

Modelle können viel leisten: Sie können uns einfach unterhalten und Spaß bereiten, sie können uns Wissen veranschaulichen und lehren, sie helfen uns bei handwerklichen und künstlerischen Tätigkeiten. Sie können aber auch ganz essentiell dabei helfen, Erkenntnis zu gewinnen und Licht ins Dunkel zu bringen. ■■



Dr. Wiebke Henning

ist Philosophin und seit September 2020 wissenschaftliche Mitarbeiterin in den Ausstellungsprojekten »Natur der Naturwissenschaften« und »Schiffahrt« am Deutschen Museum.

DER VERKAUF VON EDELMETALLEN IST VERTRAUENSACHE.

**EDELMETALLEXPORTE ZDENEK HOLLY VON DEGUSSA
GOLDHANDEL ERKLÄRT, WAS ZU BEACHTEN IST.**



Zdenek Holly – Niederlassungsleiter

Die Deutschen hängen am Gold. 2020 haben sie mehr als 163 Tonnen Gold gekauft und ihr Portfolio mit Edelmetallen ergänzt. Auf der anderen Seite verkaufen auch viele Goldbesitzer zunehmend geerbte Schmuckstücke oder Münzen. Woran man die Qualität eines Goldhändlers festmachen kann, erklärt Zdenek Holly, der Leiter der Degussa Goldhandel Niederlassung und des spezialisierten Goldankaufszentrums am Promenadeplatz in München:

„Seriosität und Professionalität des Goldhändlers sind das A und O. Diese Kriterien erkennt man unter anderem an geschultem Fachpersonal wie ausgebildeten Goldschmiedemeistern oder anderen zertifizierten Goldexperten.

Ein weiteres Erkennungsmerkmal ist die Transparenz. Kunden sollten Fragen oder Unklarheiten zum Ablauf kompetent erläutert bekommen. Wer online verkauft,

dem wird die Prüfung der eingeschickten Ware bei uns auf Video aufgenommen und zugesandt. Eine professionelle Wertermittlung zeichnet sich außerdem durch modernste Gerätschaften aus, die mit äußerster Präzision den genauen Edelmetallwert ermitteln. Die Preisberechnung sollte zudem immer nach dem tagesaktuellen Kurs des jeweiligen Edelmetalls erfolgen. Händler wie die Degussa geben ihre Ankaufspreise auch transparent auf ihrer Webseite an.

Und exzellente Goldhändler kümmern sich anschließend auch um die Sicherheit Ihrer Edelmetalle und bieten eine Schließfachlagerung als besonderen Service mit an. Bei der Degussa erfüllen die Tresorfächer höchste Sicherheitsstandards, der Inhalt ist versichert und die Versicherungssumme kann bequem an die individuellen Wünsche unserer Kunden angepasst werden. Selbstverständlich garantieren wir Diskretion und Zugang zu den Schließfächern auch in diesen Zeiten. Damit können wir den Kunden ein stimmiges Komplett-Paket bieten und sie müssen sich um Ihre Goldstücke und andere Wertgegenstände keine Sorgen mehr machen“, so Holly.



Unsere Edelmetallexperten bei der Prüfung Ihres Goldes.



Die Degussa Niederlassung am Promenadeplatz in München.

**CALL &
COLLECT**
Degussa

Bestellen Sie per Telefon oder E-Mail und holen Sie Ihre Ware in unserer Niederlassung ab.

Telefon: +49 (0)89 1392613-18

E-Mail: muenchen@degussa-goldhandel.de

**SEIT 5000 JAHREN
EIN STABILES
INVESTMENT.**

DEGUSSA-GOLDHANDEL.DE



Degussa 
GOLD UND SILBER.



durch die oben beschriebene induktive Methode. Die Zeit des Empirismus ist die Zeit, in der sich die Naturphilosophie langsam von der Philosophie löst und später zur Naturwissenschaft wird. Hier möchte ich etwas umformulieren: »Auch Isaac Newton (1643-1727) vertrat den Empirismus, der Teile der Naturwissenschaft bis heute prägt. Dies ist allerdings nur eine grobe Unterscheidung, denn es gab und gibt auch Naturwissenschaftlern, die die deduktive Methode vertreten und stärker von der rationalistischen Philosophie beeinflusst sind. Letztendlich wird in der Naturwissenschaft heutzutage immer sowohl induktiv als auch deduktiv vorgegangen, ein stetiges Wechselspiel in dessen Mitte das Modell steht. Der Untersuchungsgegenstand ist aber immer die Natur und ihre empirischen Phänomene.

Vereinfachung der Wirklichkeit

Diese Funktion, die Realität einfacher darzustellen als sie ist und einen bestimmten Aspekt daraus hervorzuheben, haben fast alle Modelle gemein. Die Modelleisenbahn in Ihrem Keller ist eine kleinere, einfachere Version einer echten Eisenbahn. Der Globus ist eine kleinere, vereinfachte Version der Erde, genauso wie unsere Armillarsphäre eine einfachere Version des Sonnensystems ist. Das hat einen immensen Vorteil: Mit Modellen können Dinge untersucht werden, die in der Realität nicht untersucht werden können, weil sie z.B. zu groß sind, die Untersuchung zu teuer wäre o.ä. So kann man mit Computersimulationen die Entstehung des Weltalls als Modell nachspielen, ohne persönlich zum Urknall reisen zu müssen.

Das bedeutet auch, dass Modelle klar definierte Grenzen haben. Sie können und sollen die Wirklichkeit nicht nachahmen. Dadurch können auch Fehler passieren, wenn z.B. eine Bedingung, die in der Realität vorherrscht, fälschlicherweise als unwesentlich betrachtet und aus dem Modell herausgestrichen wurde. Die Vereinfachung führt noch zu einem weiteren Problem: Sie kann leicht missverstanden werden. Die Schalen im Sommerfeldschen Atommodell, die eigentlich ein Bild für hohe Wahrscheinlichkeiten sind, können leicht fehlinterpretiert werden als die Bahnen auf denen die Elektronen um das Atom sausen.

Modelle können viel leisten: Sie können uns einfach unterhalten und Spaß bereiten, sie können uns Wissen veranschaulichen und lehren, sie helfen uns bei handwerklichen und künstlerischen Tätigkeiten. Sie können aber auch ganz essentiell dabei helfen, Erkenntnis zu gewinnen und Licht ins Dunkel zu bringen. ■■



Dr. Wiebke Henning

ist Philosophin und seit September 2020 wissenschaftliche Mitarbeiterin in den Ausstellungsprojekten »Natur der Naturwissenschaften« und »Schifffahrt« am Deutschen Museum.

RADSPIELER

Seit 1841



*Radspieler –
damit
Einrichten
Freude
macht!*



*F. Radspieler & Comp. Nachf.
Hackenstraße 7
80331 München
Telefon 089/23 50 98-0
Fax 089/26 42 17
www.radspieler.com*

DER VERKAUF VON EDELMETALLEN IST VERTRAUENSsache.

**EDELMETALLEXPORTE ZDENEK HOLLY VON DEGUSSA
GOLDHANDEL ERKLÄRT, WAS ZU BEACHTEN IST.**



Zdenek Holly – Niederlassungsleiter

Die Deutschen hängen am Gold. 2020 haben sie mehr als 163 Tonnen Gold gekauft und ihr Portfolio mit Edelmetallen ergänzt. Auf der anderen Seite verkaufen auch viele Goldbesitzer zunehmend geerbte Schmuckstücke oder Münzen. Woran man die Qualität eines Goldhändlers festmachen kann, erklärt Zdenek Holly, der Leiter der Degussa Goldhandel Niederlassung und des spezialisierten Goldankaufszentrums am Promenadeplatz in München: „Seriosität und Professionalität des Goldhändlers sind das A und O. Diese Kriterien erkennt man unter anderem an geschultem Fachpersonal wie ausgebildeten Goldschmiedemeistern oder anderen zertifizierten Goldexperten.

Ein weiteres Erkennungsmerkmal ist die Transparenz. Kunden sollten Fragen oder Unklarheiten zum Ablauf kompetent erläutert bekommen. Wer online verkauft,



Unsere Edelmetallexperten bei der Prüfung Ihres Goldes.

dem wird die Prüfung der eingeschickten Ware bei uns auf Video aufgenommen und zugesandt. Eine professionelle Wertermittlung zeichnet sich außerdem durch modernste Gerätschaften aus, die mit äußerster Präzision den genauen Edelmetallwert ermitteln. Die Preisberechnung sollte zudem immer nach dem tagesaktuellen Kurs des jeweiligen Edelmetalls erfolgen. Händler wie die Degussa geben ihre Ankaufspreise auch transparent auf ihrer Webseite an.

Und exzellente Goldhändler kümmern sich anschließend auch um die Sicherheit Ihrer Edelmetalle und bieten eine Schließfachlagerung als besonderen Service mit an. Bei der Degussa erfüllen die Tresorfächer höchste Sicherheitsstandards, der Inhalt ist versichert und die Versicherungssumme kann bequem an die individuellen Wünsche unserer Kunden angepasst werden. Selbstverständlich garantieren wir Diskretion und Zugang zu den Schließfächern auch in diesen Zeiten. Damit können wir den Kunden ein stimmiges Komplett-Paket bieten und sie müssen sich um Ihre Goldstücke und andere Wertgegenstände keine Sorgen mehr machen“, so Holly.



Die Degussa Niederlassung am Promenadeplatz in München.

**CALL &
COLLECT**
Degussa

**Bestellen Sie per Telefon oder E-Mail und
holen Sie Ihre Ware in unserer
Niederlassung ab.**

Telefon: +49 (0)89 1392613-18

E-Mail: muenchen@degussa-goldhandel.de

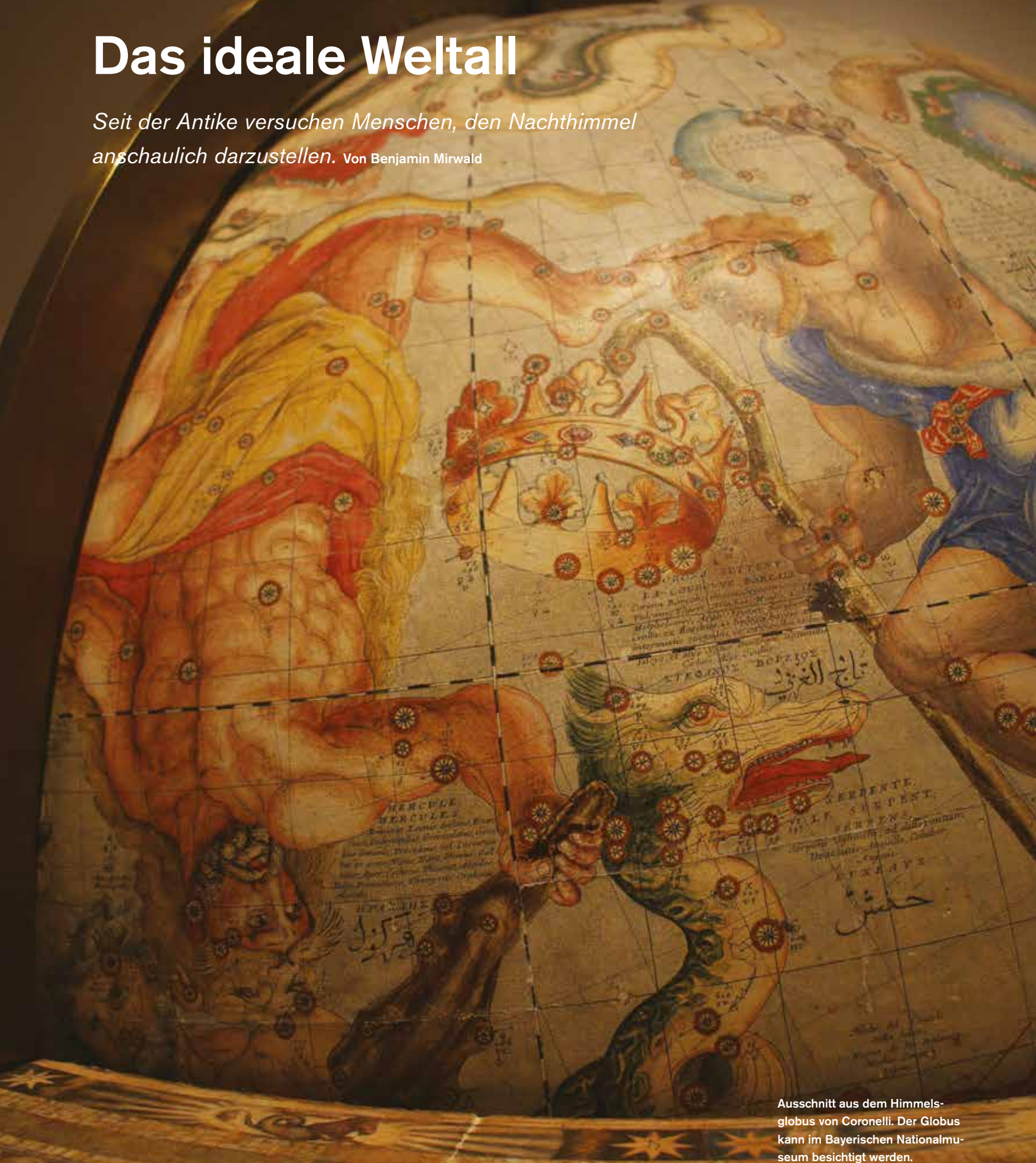
**SEIT 5000 JAHREN
EIN STABILES
INVESTMENT.**
DEGUSSA-GOLDHANDEL.DE



Degussa 
GOLD UND SILBER.

Das ideale Weltall

Seit der Antike versuchen Menschen, den Nachthimmel anschaulich darzustellen. Von Benjamin Mirwald



Ausschnitt aus dem Himmels-
globus von Coronelli. Der Globus
kann im Bayerischen Nationalmu-
seum besichtigt werden.

Astronominen und Astronomen lieben Modelle, ob es nun einfach das heliozentrische oder gleich das »Standardmodell« des ganzen Kosmos ist. Denn Modelle repräsentieren Phänomene, Theorien und Daten auf einmal, sie fassen das Wissen um einen Gegenstand zusammen. Die breite Öffentlichkeit und zu einem guten Teil auch die Fachwelt stellt sich unter einem Modell jedoch meist keine abstrakte Theorie vor, sondern eher etwas, das im Wortsinne zu begreifen ist, wie etwa ein architektonisches Modell. Und in der Tat sind materielle mit mathematischen Modellen stärker verbunden, als es auf den ersten Blick scheint.

Wer das Weltall modellieren soll, das lange Zeit gar nicht erreichbar war und auch heute nur schwer erreichbar ist, steht vor der Frage, wie. Das gelingt ähnlich wie bei theoretischer Modellbildung. Zunächst wird eingeschränkt, um was es geht – alles scheinbar Unwichtige wird weggelassen. Dann wird idealisiert, was sowohl ästhetisch, abstrahierend, analogisierend und didaktisch motiviert sein kann.

Astronominen und Astronomen haben im Lauf der Geschichte eine Vielzahl unterschiedlicher Geräte und Modelle erdacht, die widerspiegeln, welche Zusammenhänge sie gerade interessierten. Diese physisch vorhandenen Objekte ergänzen dabei die theoretischen Modelle, indem Erstere die Vorgänge darstellen, die sich aus den Inhalten Letzterer ergeben. Materielle, auch bekannt als visuelle Modelle machen leichter als theoretische Modelle begreifbar, wie etwas funktioniert.

Zu den allerersten astronomischen Modellen zählte die Kugeldarstellung des Himmels. Schon das war eine bemerkenswerte Leistung, denn psychologisch nehmen Menschen den Himmel eher wie eine abgeflachte Kuppel wahr. In der Antike soll schon der Gelehrte Eudoxos von Knidos im 4. Jahrhundert v. Chr. Globen hergestellt haben, wobei mehr als die Kugelform des Himmels dargestellt wurde: Die Sternbilder erscheinen auf Himmelsgloben fast immer spiegelverkehrt, denn es wurde ja der Blick von »außen« auf das Firmament dargestellt, also die göttliche Perspektive: Idealisierung und Ästhetisierung war wichtiger als Anschaulichkeit. Dieses Prinzip hat sich bis heute wenig verändert. Eine seltene Ausnahme bildet der Globus des Venezianers Vincenzo Coronelli (1650–1718), zu sehen im Bayerischen Nationalmuseum. Auf ihm sind auch zeitgenössische Kometenbeobachtungen dokumentiert.

In der Neuzeit erschienen Erdgloben, die in Halbschalen-Etuis verpackt wurden. Die Innenseiten der Halbschalen zeigten den Sternenhimmel recht naturgetreu. Später wurden auch durchsichtige Schalen mit einem Erdglobus oder kleinen Sonnensystem im Inneren gefertigt. Meisterhaft hat das der Brünner Mechaniker Mathias Zibermayer (1794–?) umgesetzt, dessen didaktisch konzipierte »Chronoglobien« die Darstellung von Tag und Nacht, Jahreszeiten, Mondphasen und vielen weiteren astronomischen Phänomenen erlaubten.

Nicht mehr sehr geläufig ist heute, dass viele Himmelsgloben auch als Rechengeräte genutzt werden können. Durch einstellbare Neigung und umlaufende Skalenringe konnten etwa die Zeitpunkte für Auf- und Untergang von Gestirnen ohne langwierige

Die Kunstuhr mit Himmelsglobus wird im Deutschen Museum aufbewahrt.

Rechnungen bestimmt werden. Doch begehrte Sammlerobjekte sind Himmelsgloben eher wegen ihrer ästhetischen Anmutung, die die antike Vorstellung edler Himmelsphären bis heute tradiert.

Parallel zu Himmelsgloben zeigten Armillarsphären den Aufbau der Welt. Die Kugelkoordinaten des Himmels verkörpert sie mit Hilfe von Ringen, jeweils ineinander drehbar aufgehängt. Im Zentrum stand zuerst die Erde, später kamen heliozentrische Varianten dazu. Der Pariser Geograph Louis-Charles Desnos (1725–1805) hat in seiner Konstruktion etwa die Bewegung der Erde um die Sonne verkörpert, nach dem kopernikanischen System idealisiert (siehe Abbildung).

Stärker vereinfacht finden sich Himmelsgloben und Armillarsphären auch als Schmuckstücke, auf Grabsteinen und an Gebäudefassaden, in München zum Beispiel auf dem Dach des Müllerschen Volksbads.

Mehr als Messwerkzeug und ebenso seit der Antike bekannt sind Astrolabien. Diese scheibenförmigen Instrumente sind meist mit Skalen auf der einen, einer Sternkarte auf der anderen Seite ausgestattet und tragen oft eine Visiereinrichtung zum Anpeilen von Gestirnen. Auch sie erhielten teils Modellcharakter: Im islamischen Raum des 13. Jahrhunderts wurden sie so groß konstruiert, dass man darin stehen konnte und die Astrolabienringe eine Art Modell des Himmels bildeten. Islamische Astronomen kritisierten und verbesserten in dieser Zeit das ptolemäische Modell, begriffen es aber auch als etwas physikalisch Reales statt nur als mathematische Abstraktion – plausibel, dass Modelle wie Armillarsphären und Astrolabien diese Vorstellung unterstützten.

Da sich Himmelskörper ständig bewegen, lag der Wunsch nach Antrieben nahe. Manche Astrolabien waren schon mit einer Anzeige der Mondphase versehen, illustrativer war ein Antrieb aber eher bei den Armillarsphären. In China war schon um 1090 ein ausgeklügelter Wasserantrieb entwickelt worden, ab der Renaissance liefen die Antriebe dann mechanisch mit Uhrwerken. Bewegte Armillarsphären wurden daher mit astronomischen Uhren gleichzeitig entwickelt.

Einen frühen Prototyp ersann Giovanni Dondi (ca. 1330–1388) in Padua. Er baute eine Uhr mit Zifferblättern für Po-





Ein zerlegbares
Planetarium aus Holz
und Metall.

sitionen von Sonne, Mond, Merkur, Venus, Mars, Jupiter und Saturn. Die Getriebe waren dem ptolemäischen Weltmodell nachempfunden: Den verknüpften Kreisbewegungen, sogenannten Epizykeln, entsprachen Zahnradkombinationen im Uhrwerk. Die Bewegung von Merkur wurde schon mit Hilfe eines eiförmigen Zahnrads verwirklicht, was rein pragmatisch bedingt war und nicht als Vorwegnahme der von Kepler erdachten Ellipsenbahnen interpretiert werden darf. In der Folge entwickelten sich astronomische Uhren zu einem Statussymbol, das mit immer ausgeklügelteren Funktionen die Bedeutung großer Kathedralen oder Rathäuser unterstreichen sollte. Erhaltene Uhren lassen das gut nachvollziehen, wenn etwa der mechanische Hahn an der Uhr im Straßburger Münster zu bestimmten Zeiten flattert und kräht oder am Esslinger Rathaus die beiden Figuren für Justitia und Temperantia viertelstündlich Bewegungen vollführen.

Auf Zifferblättern in Kombination mit der richtigen räumlichen Anordnung machte Philipp Gottfried Schaudt (1739–1809) aus Albstadt Planetenbewegungen sichtbar. Seine Kunstuhr mit Himmelsglobus umfasst nach damaliger theologischer Vorstellung die gesamte Zeitspanne seit der Schöpfung.

Das Sonnensystem verstehen

Nicht mehr als Uhr, sondern direkt als Modell konzipierte bewegliche Darstellungen des Sonnensystems werden als Orrer-

ries bezeichnet, weil der Londoner Instrumentenbauer John Rowley (1668–1728) schon früh ein solches Modell von Sonne, Erde und Mond für Charles Boyle, Earl of Orrery (1676–1731) baute. Diese – passend als Planetarien bezeichneten – Modelle erschienen in der Neuzeit in immer neuen Ausführungen. Der Astronom James Ferguson (1710–1776), konstruierte etwa ein Kurbelplanetarium für die Mondbewegung, ein »Eklipsarium« für Sonnenfinsternisse, ein elektrisch betriebenes Orrery oder ein Gezeitenmodell.

Gleich ein ganzes Zimmer als Planetarium richtete sich der Textilhandwerker Eise Eisinga (1744–1828) im friesischen Franeker ein: Hinter den Wänden und unter der Zimmerdecke tun Holzmechaniken ihren Dienst, um im Raum Sternkarten und ein begehbare Modell des Sonnensystems darzustellen. Eisinga verfolgte damit aufklärerisch-didaktische Zwecke. Diese sehen wir auch in zerlegbaren Planetarien verwirklicht, die wie heutige Spielzeug-Sonnensysteme anmuten. Mit Teilen aus Holz und Metall sowie Schnüren sind sie allerdings etwas nachhaltiger konstruiert.

Dem im 18. und 19. Jahrhundert stetig steigenden Interesse an Vorführungen und Vorträgen trugen Planetarien in Bildplatten Rechnung. Für die Vorläuferin von Diaprojektoren, die Laterna Magica, gab es spezielle Einschübe mit Anordnungen von Ringen. Jeder Ring war mit einem Planeten versehen, die über Zahnräder und eine Spindel während der Projektion bewegt wurden. Nach Entdeckung der Asteroiden ab 1801 fanden auch sie Aufnahme in Orreries. Außerdem schafften es die Mechaniker sogar, Ellipsenbahnen und geneigte Bahnen im Modell zu verwirklichen. Maximal komplex wurde es beim Planetarium der »Fabrik für Präzisionsinstrumente« Michael Sendtners, in dem nicht nur die Bewegungen der großen Planeten, sondern auch deren Monde über Zahnräder angetrieben wurden. Die 1906 fertig gestellte fragile Mechanik lief in einem großen gläsernen Himmelsglobus und ist im Deutschen Museum in der Ausstellung zur Zeitmessung zu besichtigen. Die mythologisch-religiös geprägte Ästhetik der Globen und Armillarsphären war nun einer aufklärerisch-didaktischen der Planetarien gewichen, Kunstfertigkeit in der Konstruktion der Modelle jedoch weiterhin oberstes Gebot geblieben.

Den Kosmos erleben

Schwierig war aber nach wie vor, ein natürlich wirkendes Modell des gesamten Sternenhimmels zu bauen. Ein Himmelsglobus musste so groß sein, dass eine Person hinein passte. Begehbare Himmelsgloben wie der 1650–1654 gebaute Gotorper Globus, aber auch der »Pancosmos« genannte Globus des Jenenser Mathematikers Erhard Weigel (1625–1699) gehörten zu den aufwändigsten Konstruktionen: Sie waren an den Positionen der Sterne mit Löchern durchbohrt. Wer in die verdunkelte Kugel stieg, erhielt den Eindruck einer Sternennacht. Die Kugel musste aber zur naturgetreuen Darstellung des Himmels mehrere Meter durchmessen. Große Gruppen waren nicht unterzubringen, zudem sollten ja Bewegungen dargestellt werden und dies stellte hohe Anforderungen an Mechanik und An-



Im inneren des gläsernen Himmelsglobus von 1906 werden Planeten und deren Monde über Zahnräder angetrieben. Zu sehen in der Ausstellung »Zeitmessung« im Deutschen Museum.

trieb. Und schließlich bestand der Nachteil, dass sich Sonne, Mond und Planeten schwer in einem Hohlglobus darstellen ließen.

So war es nur konsequent, dass ab dem entsprechenden technischen Entwicklungsstand in der Elektromechanik nicht mehr die Himmelskugel bewegt, sondern die Sterne projiziert wurden. Wenn auch die Grundidee einfach erschien, so brachte die Entwicklung des Projektionsplanetariums für das Deutsche Museum und die Firma Zeiss im Detail einen riesigen Aufwand mit sich. Bei all den neuen Entwicklungen fürs Zeiss-Planetarium ist frappierend, dass die Projektoren für die Planetenbewegungen noch immer so funktionierten wie in den

astronomischen Uhren und Orreries der Jahrhunderte zuvor: durch kombinierte Zahnräder nach dem ptolemäischen Epizykel-Modell (erst später lösten digital gesteuerte Projektoren diese Mechanik ab). Dass all der Entwicklungsaufwand nicht gescheut wurde und Planetarien ungebrochen beliebt sind, hat sicher nicht zuletzt mit der Anmutung zu tun, die ein Planetariumshimmel ausstrahlt. In mancherlei Hinsicht kann er tatsächlich brillanter als der natürliche Sternenhimmel wirken, und das nicht nur wegen der heute allgegenwärtigen Lichtverschmutzung: Im Planetarium erscheinen Sternschnuppen auf Knopfdruck, erklärende Überblendungen sind möglich und die Milchstraße wird zur Verdeutlichung gern etwas heller eingestellt als sie in Wirklichkeit schimmert.

Auch Zeiss' ganz neuer »Asterion«-Projektor wurde demzufolge bewusst als ästhetisch ansprechendes Objekt designt. Besondere Himmelsobjekte sind etwas heller dargestellt. Wie bei Globen, Armillarsphären, Orreries und astronomischen Uhren wird das betont, was den Modellherstellern wichtig ist. Gleichzeitig appellieren sie über Form und Farbe an die Emotion der Betrachtenden. Das Modell wird mal mehr, mal weniger an die Fakten aus der Natur angepasst, je nachdem welcher Blickwinkel vermittelt werden soll. Beim Betrachten oder Spielen mit einem astronomischen Modell können Zusammenhänge daher verzerrt oder etwas zu stark vereinfacht sein. Es lohnt sich also, beim nächsten Planetariumsbesuch ganz genau aufzupassen und das dort Gesehene mit eigenen Himmelsbeobachtungen zu ergänzen. ■■



Dr. Benjamin Mirwald

Zukunftsforscher und Wissenschaftsjournalist, lehrt am Zentralinstitut für angewandte Ethik und Wissenschaftskommunikation der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg.



Sie sind fertig: drei Dioramen für die neue Optikabteilung im Deutschen Museum. Bildhauerin Elisabeth Straßer und die Wissenschaftlerin Annekathrin Baumann ließen gemeinsam mit vielen weiteren Kolleginnen und Kollegen eine künstliche Sonnenfinsternis, das mittelalterliche Kairo und die Wirkstätte eines der größten Astronomen entstehen. Von Christian Rauch



Elisabeth Straßer (oben) und Annekathrin Baumann haben für die Dioramen der neuen Optikabteilung ihre wissenschaftshistorische und bildhauerische Expertise eingebracht.



Elisabeth Straßer ist seit rund 25 Jahren Bildhauerin im Deutschen Museum. Doch als sie vor ein paar Jahren ihren Kolleginnen und Kollegen vom Plan dreier Dioramen für die neue Optikausstellung erzählte, hatte sie selten so eine Begeisterung erlebt. »Endlich wieder Dioramen«, war die einhellige Meinung. Denn in den vergangenen Jahren waren im Deutschen Museum nur vereinzelt neue Dioramen entstanden. 2015 aber hatten sich die Pläne für die Abteilungen, die im Rahmen des Umbaus zur Zukunftsinitiative geschlossen und modernisiert werden, konkretisiert. Kuratorinnen und Kuratoren und ihre Mitarbeiter wandten sich nun mit ihren Wünschen an die Bildhauer und Modellbauer. Und das altbekannte Format des Diorama, das dem Museumsbesucher ein sofortiges Eintauchen in die dreidimensionale Lebens- oder Arbeitswelt anderer Länder oder Zeitepochen ermöglicht, sollte in jeder der neuen Abteilungen vorkommen.

Für die neue Optikabteilung erhielt Elisabeth Straßer eine Ideenskizze zu Aristoteles, Alhazen und Johannes Kepler. Die drei Gelehrten aus über 2500 Jahren Wissensgeschichte sollen die Besucherinnen und Besucher durch die Geschichte der Optik führen. Bei den alten Griechen war Aristoteles auf die Abbildung der Sonnenscheibe gestoßen, als deren Licht bei einer Sonnenfinsternis durch die Blätter eines Baumes fiel. »Im Prinzip sehen Sie den Effekt auch, wenn Sie an einem sonnigen Tag durch eine Allee spazieren«, erklärt Annekathrin Baumann, promovierte Chemikerin und wissenschaftliche Mitarbeiterin im Ausstellungsprojekt Optik. »Die Zwischenräume der Blätter lassen Licht durch und diese Lichtbündel werfen viele kleine runde Abbilder der Sonne auf den Boden unter Ihnen.« Viel prägnanter – und so fiel es auch Aristoteles auf – ist der Effekt bei einer partiellen Sonnenfinsternis. Denn dann erscheinen die ab- und zunehmenden Sonnensicheln auf dem Boden! Für Elisabeth Straßer und Annekathrin Baumann war schnell klar: In dem neuen Diorama sollten sich zeitgenössisch gekleidete Philosophen versammeln, die über den Anblick der Sonnensicheln auf dem Boden stolpern. »Noch besser, wir legen ein weißes Tuch auf dem Boden aus, auf dem sich die Sicheln abbilden«, befand Elisabeth Straßer.

An die Malerwerkstatt erging der Auftrag, in der Mitte des weiten Runds des Dioramahintergrunds die Stadt Athen zu malen, mit der beherrschenden Akropolis in der Mitte. »So sieht der Besucher auf den ersten Blick, wo und in welcher Epoche er sich befindet«, erläutert Straßer. »Noch ohne einen Blick auf die Erklärungen zu werfen, erkennt er die Akropolis und das alte Griechenland. Er freut sich und kommt automatisch im Thema an.« Figuren und Bäume, Landschaft und Mauerwerk fertigte die Bildhauerwerkstatt aus Stuckgips.

Blätterdach aus Pappelfrüchten

Schwierig wurde es bei den Blättern. Einige hundertmal kleiner als echte Blätter sollten sie sein, aus Naturmaterial und doch so dicht angeordnet, dass sie – wie in der



Griechische Philosophen blicken fasziniert auf die optischen Abbildungen der Sonnenscheibe deren Licht durch ein einfaches Blätterdach fällt.

Gut 1000 Jahre später greift der Gelehrte Alhazen bei optischen Versuchen auf die Erkenntnisse der antiken Philosophen zurück.





Nur mit Mühe kann man von unten die ausgefeilten Lichtquellen erkennen, die eine Sonnenfinsternis im Griechenland-Diorama simulieren. Der Besucher wird sie gar nicht zu Gesicht bekommen.

realen Welt – die Zwischenräume für das Sonnenlicht bilden. Erst dachte Elisabeth Straßer daran, Eukalyptusbäume und ihre -blätter nachzubilden. Dann las sie, dass es diesen Baum erst Jahrhunderte später in Griechenland gab. Im Internet entdeckte sie den Fachartikel eines Botanikers der Universität Freiburg, der über die Bepflanzung und Bewaldung Griechenlands zur Zeit Aristoteles geschrieben hatte, und entdeckte darin die Steineiche. Ein Baum, der immergrüne, relativ kleine und dichte Blätter trägt. Doch mit welchem Material sollte sie diese Blätter nachbilden? Auf der Isarbrücke vor dem Museum entdeckte Elisabeth Straßer zufällig die Fruchtkörper der Pappel. Getrocknet, grün gefärbt und an die Zweige und Äste der Modellbäume geklebt, ergaben sie ein perfektes Blätterdach.

Nun aber wartete eine der größten Herausforderungen: die Sonne. Im Elektroniklabor des Deutschen Museums von Holger Wiegel und seinen Kollegen entstand eine Beleuchtungstechnik im Inneren des Dioramas, die man von außen nicht sieht, die aber genau die Verhältnisse bei einer Sonnenfinsternis simuliert. Mit insgesamt sechs Lichtquellen, unter anderem für die Hintergrundbeleuchtung des Himmels und einer kleinen schwarzen verstellbaren Mondscheibe vor einer der Lampen gelang das Kunststück. Nun kann der Besucher per Knopfdruck die Sonnenfinsternis auslösen: In etwas schnellerem Tempo

ist damit das erste Diorama im Deutschen Museum, das einen physikalischen Versuch demonstriert!

Aristoteles' Blätterdach soll der Besucher der neuen Optikausstellung damit als ersten Versuch der optischen Bilderzeugung wahrnehmen, ein Vorläufer der »Camera Obscura«. Der lateinische Begriff steht für »dunkle Kammer« und in eine solche blickt der Museumsgast im zweiten der drei neuen Optikdioramen. Über 1000 Jahre sind nun vergangen, das Mittelalter ist angebrochen. »Wir haben uns beim zweiten Diorama bewusst für einen Gelehrten außerhalb von Europa entschieden«, erklärt Annekathrin Baumann. »Denn über die arabischen Gelehrten, die in der Blütezeit des Islam Wissenschaft betrieben und Übersetzungen anfertigten, sind die Ideen der griechischen Antike erst wieder nach Europa gelangt.« Ab Al al-asan ibn al-asan ibn al-Haytham, kurz Alhazen genannt, lebte um das Jahr 1000 u.Z. im ägyptischen Kairo. Er stützte sich auf die Beobachtungen der alten Griechen, arbeitete aber bereits mit optischen Gläsern, Spiegeln und Kerzenleuchtern. »Da der Besucher aber wiederum sofort sehen soll, wo und wann wir uns befinden, war uns klar, dass man von außen auf das Gebäude und auf einen Teil der Stadt blicken muss«, erklärt Elisabeth Straßer. Wieder bildete sich ein interdisziplinäres Team: zur Malerei der Ibn Tulun Moschee mit der Altstadt Kairos zur Zeit der Fati-

Anzeige



ERZBISCHÖFliche MÜNCHEN
UND FREISING

Erzbischöfliches Pater-Rupert-Mayer Schulzentrum Pullach

-staatl. anerkannt-

Wir sind eine Schulfamilie!

- Gymnasium mit sprachlicher und naturwissenschaftlich-technologischer Ausbildungsrichtung
- Realschule mit den Wahlpflichtfächergruppen I und II (mathem./naturwissenschaftlich/technisch, wirtschaftlich)
- Volksschule mit Teilhauptschule im Ganztag
- Kindertagesstätte
- Durchlässige Übergänge zwischen den Einrichtungen
- Bewährtes Ganztages-Konzept

- Tagesheimzeugnisse
- Fördernde und fordernde Vorbereitung auf den Abschluss
- Großflächige Außenanlagen
- Umfangreiches Zusatzangebot: Chöre, Streichorchester, Schulband, Sprachreisen, Theaterwerkstatt, Football, Skilager, Orientierungstage Schülercafeteria, u.v.a.m.

Vom Kindergarten bis zur Mittleren Reife oder bis zum Abitur – eine Biographie – eine Einrichtung.

Sind Sie interessiert?

Erzb. Pater-Rupert-Mayer Gymnasium www.prmg.de
Erzb. Pater-Rupert-Mayer Realschule www.prmrs.de

Wolfratshauserstr. 30 · 82049 Pullach
Tel.: 089/74426100



miden, zur Bildhauerei und zum Modellbau der Außenbalkone und Türen, der Tische und Schränke in Alhazens Kammer.

Modelle für Dioramen zu bauen, sind dabei immer wieder eine Herausforderung, Denn selten dürfen eine Tür oder ein Schrank maßstabsgetreu oder rechtwinklig sein! Die Betrachtenden blicken schließlich, je nachdem wo das Objekt steht, von oben, unten oder von der Seite darauf. Und damit das Objekt für sie in der Perspektive gerade und realistisch aussieht, muss das Modell selbst eben bewusst »schief« gestaltet sein. Eine rechtwinklig anmutende Tischplatte im Diorama hat der Modellbauer daher trapezförmig gebaut. »Und auf den Tisch musste noch eine Kerze«, erklärt Annekathrin Baumann. »Denn es ist belegt, dass Alhazen Leuchter für Experimente genutzt hat.«

Ob der Forscher wirklich schon die erste echte »Camera Obscura«, also eine Lochkamera in Form einer Schachtel, gebaut hat, ist nicht belegt. Da aber ihre Erfindung in die mittelalterliche Epoche fällt, entschieden Elisabeth Straßer und Annekathrin Baumann auf den Tisch des ägyptischen Gelehrten auch eine schachtelförmige kleine Lochkamera mit einer mattierten Scheibe zu stellen. Der Besucher kann nun, wenn er durch das Dioramafenster auf die mattierte Scheibe auf dem Tisch blickt, das auf dem Kopf stehende Bild der Kerze sehen. Denn deren Licht fällt durch ein Loch auf der anderen Seite der Schachtel. Während die Schachtel keine große Herausforderung war – sie ist schlicht aus Holz – war die Kerze nicht so leicht zu realisieren. »Sie sollte natürlich aussehen wie eine alte Kerze und gleichzeitig ein elektrisches Licht aussenden, das aussieht wie Kerzenlicht und das in geeigneter Stärke auf das Loch in der Camera Obscura trifft«, so Straßer. Die Modellbauerinnen einigten sich daher auf einen 3D-Druck aus einem geeigneten Kunststoff.

Ein Vogel im Fokus

Das dritte Diorama springt noch ein paar Jahrhunderte weiter, ins Dresden des frühen 17. Jahrhunderts. Johannes Kepler, der große Astronom, steht mit interessierten Gästen, gekleidet nach der Mode der damaligen Zeit, in einem Raum des Dresdner Residenzschlosses. Der kleine wallende Vorhang – Elisabeth Straßer hat ihn aus Kupferblech gefertigt – ist zur Seite gezogen. Er gibt den Blick frei auf das Fenster, hinter dem ein gezielt angeleuchteter Vogel sitzt. Vor dem Fenster steht eine große Glaslinse. Sie erzeugt ein klares Bild des Vogels, das Keplers Gäste staunend ansehen. »Keplers Kenntnisse der Optik bauten auf den Kenntnissen der Griechen und von Alhazen auf«, erklärt Annekathrin Baumann. »Und Kepler hat in seinen Paralipomena 1604 das Prinzip der Camera Obscura erstmals genau beschrieben.« Für die kleine Modelllinse im Diorama suchte Annekathrin Baumanns Kollegin Daniela Schneevoigt eine Linse mit den richtigen optischen Eigenschaften und im passenden Maßstab heraus.

Die Anfänge der Optikgeschichte schließt Keplers Diorama ab. Nun wird der Weg frei für die Moderne, für optische



Johannes Kepler leitet im dritten Diorama die moderne Optik ein (Bild oben). Durch ein seitliches Guckloch (Bild links) lassen sich alle drei Gelehrten in den drei Dioramen auf einmal erblicken.

Instrumente, die für uns heute längst selbstverständlich sind, wie Teleskope und Mikroskope. Auch sie werden in der neuen Optikabteilung ihren Platz haben. Da alle Entdeckungen vom alten Athen bis ins neuzeitliche Dresden aufeinander aufbauen, enthalten die drei neuen Optik-Dioramen noch eine besondere Spezialität: Sie stehen so nebeneinander, dass ein Besucher von der Seite durch alle drei Dioramen blicken kann. Durch ein kreisrundes Loch sieht er die Ausschnitte der Figuren von Kepler, Alhazen und Aristoteles in einer Linie hintereinander.

Ob handgemachte Dioramen im Zeitalter der Digitalisierung noch ihre Berechtigung haben? »Unbedingt«, da ist sich Elisabeth Straßer sicher. »Gerade weil wir alle, auch Kinder und Jugendliche, immer mehr auf zweidimensionale Bildschirme schauen, bietet ein dreidimensionales Diorama einen so lebendigen, authentischen und faszinierenden Eindruck.« Zwar kann sich Elisabeth Strasser zukünftig auch Kombinationen von Dioramen mit digitaler Technologie, zum Beispiel Virtual Reality (VR) vorstellen, doch die räumliche, perspektivische Welt von echten Modellen muss es weiter geben. Schließlich sind Dioramen seit der Gründung des Deutschen Museums durch Oskar von Miller bekannt und beliebt. Die drei neuen werden gerade in ihre Abteilung integriert. Zum Jahresende sollen sie dann in der subtil beleuchteten Optikabteilung das »Dunkel der Welt« erblicken. Den Besucherinnen und Besuchern werden die Experimente, Instrumente und Dioramen dort umso heller und klarer entgegenstrahlen. ■



Dipl.-Ing. Christian Rauch

ist freier Journalist für Zeitungen und Zeitschriften. Schwerpunkte: Wissenschaft/Technik sowie Reise und Tourismus.



Ein Schleppversuch im Experimental Model Basin der Washington Navy Yard in Washington, D.C., um 1900.

Zu Wasser und in der Luft

Selbst ein originalgetreues Modell kann das Verhalten von Objekten im Wasser oder in der Luft nicht exakt simulieren. Um korrekte Vergleiche anstellen zu können, mussten erst die passenden mathematischen Gesetze gefunden werden.

Von Michael Eckert

Schon für Galilei waren Modellversuche ein Thema, dem er – gedanklich jedenfalls – einige Beachtung zollte. In seinen berühmten *Discorsi* ließ er mit Blick auf den Schiffbau im Arsenal von Venedig Salviati darüber rätseln, »weshalb man ein so viel größeres Gerüst erbaut, um jene große Galeere vom Stapel zu lassen, während man sie lange nicht in demselben Maße kleiner für kleinere Schiffe gebraucht«. Für Galilei und seine Diskussionsrunde war klar, »dass in diesen und in anderen ähnlichen Fällen man nicht ohne Weiteres vom kleinen Maßstab auf den großen schließen dürfe«. Dabei ging es vor allem um Fragen der Festigkeit von Materialien, aber das Problem betraf auch andere Teilgebiete der Mechanik. Mitte des 18. Jahrhunderts zeigten Modellversuche mit Wasserrädern, dass bei einer Wasserzufuhr von oben (»oberschlächtig«) die auf die Schaufeln ausgeübte Kraft besser genutzt wird als bei einer Anströmung von unten (»unterschlächtig«). Aber auch bei einer noch so originalgetreuen Nachbildung kann man im Modellversuch das komplexe Verhalten eines realen Wasserrades nicht vollständig simulieren.

Schleppversuche mit Schiffsmodellen

Das gilt erst recht für Schiffsmodellversuche, mit denen die optimale Form einer Schiffshülle mit möglichst geringem Widerstand ermittelt werden sollte. In England nahm sich 1791 eine neu gegründete Society for the Improvement of Naval Architecture der Sache an und veranlasste systematische Schleppversuche an verschieden geformten Modellkörpern. Aber der Schiffswiderstand setzt sich aus verschiedenen Bestandteilen zusammen, die bei kleinen Modellen anders zusammenwirken als im Großen. Deshalb gelang es lange nicht, aus den Modellversuchen schlüssige Aussagen für den Schiffbau abzuleiten. Den Durchbruch schaffte erst der britische Ingenieur William Froude, der für die 1860 gegründete Royal Institution of Naval Architects Modellversuche in einem Schleppkanal in der Nähe seines Wohnsitzes bei Torquay in Südkonstantinopel durchführte. Froude unterschied zwischen dem Reibungswiderstand, der von der Beschaffenheit der Schiffswand abhängt, und einem Restwiderstand, der durch die Erregung von Wellen und von

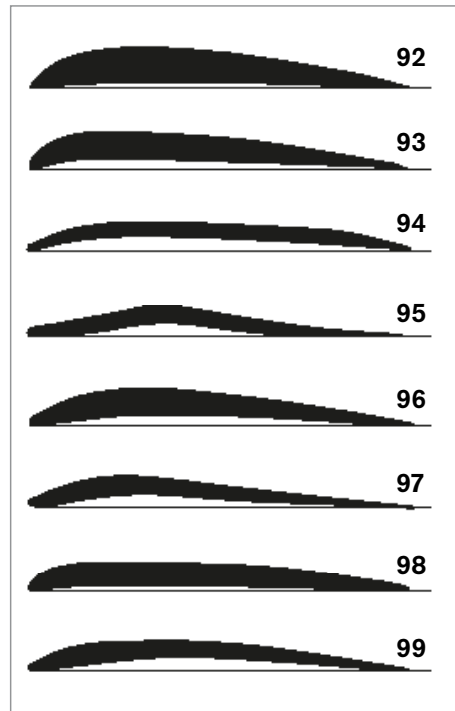
Wirbeln im Nachlauf des Schiffes bedingt ist. Froude fand eine gesetzmäßige Beziehung zwischen den entsprechenden Größen im Modell und im Großen, die er in einem »Vergleichsgesetz« (Law of Comparison) formulierte: Der Restwiderstand von geometrisch ähnlichen Schiffen steht im Verhältnis der Kuben ihrer Längen, wenn ihre Geschwindigkeiten im Verhältnis der Quadratwurzeln ihrer Längen stehen. Formelmäßig wird dieses Gesetz mit einer nach Froude benannten Kennzahl $V/\sqrt{gL}$ ausgedrückt, wobei V die Geschwindigkeit, g die Schwerebeschleunigung und L die Länge bedeuten. Wenn der Modellversuch die Verhältnisse in Originalgröße simulieren soll, muss diese

Kennzahl in beiden Fällen übereinstimmen. Bewegt sich zum Beispiel ein 100 m langes Schiff mit 10 m/s vorwärts, dann muss ein 4 m langes Modell mit 2 m/s im Schleppkanal bewegt werden, um vom Widerstand beim Modell auf den Widerstand beim großen Schiff schließen zu können.

William Froudes »Vergleichsgesetz« und die nach seinem Tod von seinem Sohn Robert Edmund Froude im Schleppkanal in Torquay fortgeführten Modellversuche stellten den Schiffbau auf eine neue Stufe. Angesichts der Hochrüstung von Kriegsflotten fehlte es auch in anderen Ländern nicht an der Bereitschaft, in solche Anlagen zu investieren. Binnen weniger Jahre nahmen sich Schiffingenieure die Anlage in Torquay zum Vorbild und errichteten nach diesem Muster weitere Versuchsanstalten. In den Niederlanden baute der Chefkonstrukteur der Kriegsmarine, Bruno Joann Tideman, in Amsterdam eine Schleppversuchsanstalt auf. In Deutschland machten Ingenieure von der TH Dresden mit einer Versuchsanstalt für Flussschiffahrt auf der Werft einer Reederei an der Elbe den Anfang mit dem Modellversuchswesen, gefolgt von einer Versuchsanstalt in Bremerhaven, wo der Ingenieur Johann Schütte im Auftrag des Norddeutschen Lloyd Schleppversuche an Schiffmodellen von Ozeanriesen durchführte. In den USA machte sich der Marineingenieur David Watson Taylor als Pionier des Schiffversuchswesens einen Namen. Das von ihm aufgebaute Experimental Model Basin auf dem Gelände einer Marinewerft in Washington, D.C., galt im beginnenden 20. Jahrhundert als Superlativ der Modellversuchstechnik.

Eine Modellversuchsanstalt für die Luftfahrt

Die Bedeutung von Modellversuchen für die Luftschiffahrt und Flugtechnik und die Einrichtungen für solche Versuche in Göt-



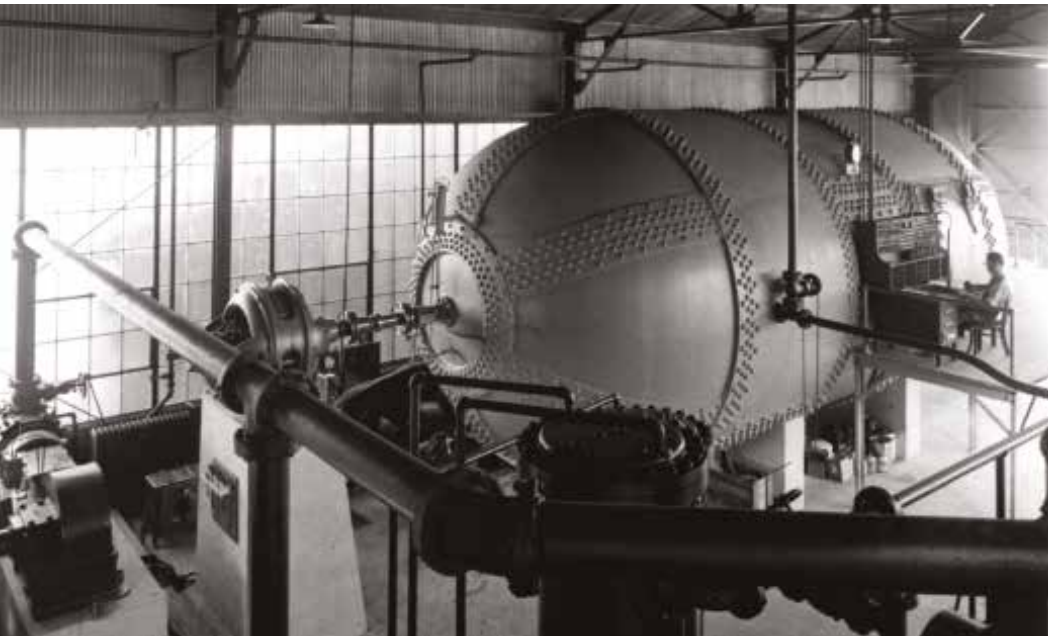
Im Göttinger Windkanal wurden 1917 etliche Profile untersucht. Das Katzenbuckelprofil (95) wies mit Abstand die schlechtesten Werte auf.

tingen, so überschrieb Ludwig Prandtl, der Nestor der Strömungsforschung in Deutschland, einen Vortrag im Sommer 1909 bei einer Versammlung des Vereins Deutscher Ingenieure. »Versuche mit Schiffmodellen, wie sie zuerst der ältere Froude angestellt hat«, seien »für die moderne Entwicklung des Schiffbaus von größter Bedeutung« gewesen. »Der starke Zuspruch, den die bekannten Schiffmodell-Versuchsanstalten von Seiten der Werften und Reedereien erfahren, ist das beste Zeugnis für die Wichtigkeit solcher Versuche.« Die Modellversuche in Schleppkanälen konnten jedoch nicht direkt den Bedürfnissen der Luftfahrt angepasst werden.

Das Vergleichsgesetz von Froude gilt für die von Wellen auf einer Wasseroberfläche begleitete Schiffsbewegung; die Bewegung eines Zeppelins im Luftmeer muss nach einem anderen Ähnlichkeitsgesetz zwischen Modell und Großausführung beschrieben werden. Dennoch könne man sich, so betonte Prandtl, die Modellversuche der Schiffbauer zum Vorbild nehmen. »Man wird hier, ähnlich wie es für Wasser die beiden Froude und später Schütte getan haben, auf Grund von besonderen Versuchen und von Vergleichen mit ausgeführten Luftschiffen Umrechnungsregeln finden müssen, für die wohl eine ähnliche Zuverlässigkeit wie dort zu erwarten sein wird.«

Diesem Ziel sollte die in Göttingen aufgebaute Luftschiffmodell-Versuchsanstalt dienen. An die Stelle von Schleppversuchen, bei denen das Modell etwa wie bei einer Seilbahn an einem Draht durch die Luft bewegt oder an einem ausgestreckten Bügel im Rundlauf geführt würde, setzte man in Göttingen auf Windkanalversuche: nicht das Modell wurde durch die Luft bewegt, sondern die Luft am ruhenden Modell vorbeigeführt. Die Luft wurde von einem Propeller durch eine Messkammer geblasen, wo an einem Luftschiffmodell die von der Luftströmung ausgeübten Kräfte gemessen wurden.

Nach der Theorie idealer Strömungen würden sich die Kräfte auf das Modell gegenseitig aufheben und gar kein Strömungswiderstand auftreten (d'Alemberts Paradox). In einer realen Strömung heben sich die Kräfte auf das Modell jedoch nicht gegenseitig auf; die Messungen im Windkanal sollten zeigen, wie diese Kräftebilanz von der Form des umströmten Modells abhängt. Diese Untersuchungen wurden zum Gegenstand der ersten Doktorarbeit am Göttinger Windkanal. Das Ergebnis war nicht nur die Ermittlung einer Form mit geringstem Luftwiderstand, sondern auch – ähnlich wie bei den Froudeschen Untersuchungen zum Schiffswiderstand – die Unterscheidung verschiedener



Der unter hohem Luftdruck arbeitende Windkanal im Langley-Forschungszentrum des National Advisory Committee for Aeronautics.

schrrieb Einstein Jahrzehnte später an den Testpiloten. »Ich muss gestehen, dass ich mich meines damaligen Leichtsinns noch oft geschämt habe, habe nun aber doch mit Ihrem launigen Briefe großen Spaß gehabt.«

Das Vergleichsgesetz für Modelle im Windkanal

Was selbst Physikern wie Einstein vor hundert Jahren noch kaum vertraut war, gehörte für Ingenieure auf dem neuen

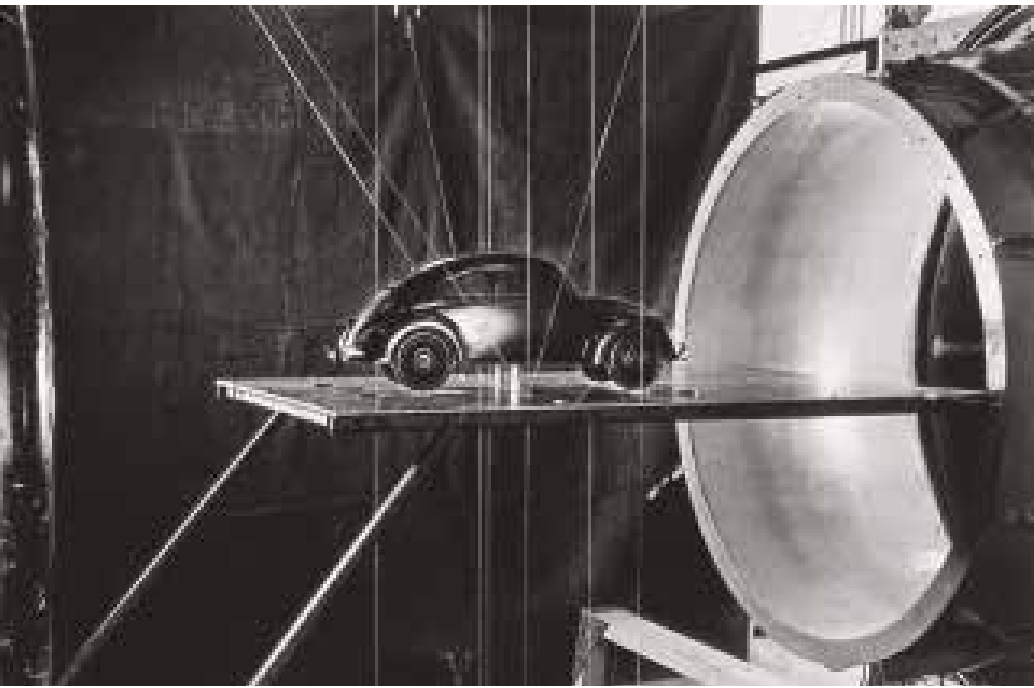
Widerstandsarten. Mit der aufkommenden Fliegerei kamen zu den Windkanalversuchen an Luftschiffmodellen mehr und mehr aerodynamische Messungen über Auftrieb und Luftwiderstand von Flugzeugen. Im Ersten Weltkrieg wurde in Göttingen eine neue Modellversuchsanstalt mit einem wesentlich leistungsfähigeren Windkanal aufgebaut. Der erste Windkanal wurde in einem kleinen Anbau weiter genutzt. Die Aerodynamische Versuchsanstalt, wie sie nach dem Krieg genannt wurde, nahm die Ausmaße einer Großforschungseinrichtung an – lange bevor mit Blick auf die immer größeren Experimentiergeräte der Physiker von »big science« geredet wurde. Die Flugzeugaerodynamik war noch weitgehend ingenieurwissenschaftliches Neuland. Erst bei den Windkanaluntersuchungen an Modellflügeln mit unterschiedlichen Profilen zeigten sich die Gesetzmäßigkeiten von Auftrieb und Widerstand, die den Flugzeugbau aus der Phase von Versuch und Irrtum herausführten.

Ein besonders markantes Beispiel aus dieser Zeit ist der »Katzenbuckelflügel« mit einem auffällig nach oben ausgebeulten Profil (Bild Seite 26). Nach dem Bernoulli-Prinzip, so die physikalische Begründung, würde die Luft darüber schneller strömen, was einen Unterdruck und damit vergrößerten Auftrieb zur Folge haben sollte. »Nach wenigen Wochen war die »Katzenbuckelfläche« an den normalen Rumpf eines LVG-Doppeldeckers montiert«, erinnerte sich der Testpilot des Flugzeugherstellers in einem Brief an den Erfinder dieses Flügelprofils. »Wie eine »schwängere Ente« hing ich nach dem Start in der Luft und war heilfroh, als ich nach einem peinlichen Geradeausflug kurz vor dem Flugplatzende am Zaun von Adlershof die Räder wieder auf festem Boden hatte«. Nach dem Beinahe-Fiasko wurden die Auftriebs- und Widerstandsbeiwerte des Katzenbuckelprofils im Göttinger Windkanal an einem Modellflügel gemessen. Sie waren bei weitem schlechter als die von anderen Profilen und entlarvten die Bernoullische Begründung als falsch – sehr zum Leidwesen des Physikers, der diesen Vorschlag gemacht hatte: Albert Einstein! »Es ist eine merkwürdige Sache, dass die Physiker das Wesen des Fluges nicht begriffen haben«,

Gebiet der Luftfahrt bald nach dem Ersten Weltkrieg zum Tagesgeschäft. Die damals führende Göttinger Modellversuchsanstalt wurde selbst zum Modell für ähnliche Forschungseinrichtungen. Max Munk, ein Assistent Prandtls, der im Krieg das Gros der Windkanaluntersuchungen durchgeführt und damit auch promoviert hatte, sorgte in den 1920er Jahren für einen Know-how-Transfer in die USA, wo er mit dem Entwurf eines ganz neuen Windkanals für Aufsehen sorgte. Im »Variable Density Tunnel«, wie das Monstrum hieß, zirkulierte die Luft unter einem hohen Druck. Das Gehäuse sah eher einem U-Boot als einem Windkanal für Modellversuche ähnlich.

Grund dafür ist das Vergleichsgesetz für Windkanalversuche: Analog zur Froude-Zahl bei den Schleppversuchen von Schiffsmodellen gibt es auch eine Kennzahl, die bei Windkanalversuchen zu beachten ist, die Reynolds-Zahl $Re = \rho V L / \mu$, wobei ρ die Dichte und μ die Zähigkeit des strömenden Mediums bedeuten; V und L bedeuten wie bei Schleppversuchen von Schiffen die Geschwindigkeit bzw. charakteristische Länge. Diese Kennzahl muss für das untersuchte Modell und die entsprechende Großausführung dieselbe sein. Ein Beispiel: Die Widerstands- und Auftriebsbeiwerte eines 10 m großen Flugzeugflügels entsprechen bei gleichem Medium (Luft) und gleicher Strömungsgeschwindigkeit denen an einem geometrisch ähnlichen 1 m großen Modellflügel, wenn im Modellversuch die Dichte um das 10fache vergrößert wird. Auch der Luftwiderstand von Autos lässt sich so ermitteln, indem man ein entsprechend verkleinertes Modell im Windkanal testet.

Derselbe Zusammenhang gilt auch in der umgekehrten Richtung. Um etwa die Aerodynamik eines winzigen Insektenflügels an einem viel größerem Modell zu untersuchen, muss man eine oder mehrere Größen so verändern, dass die jeweiligen Reynolds-Zahlen übereinstimmen. So wurde zum Beispiel die Strömung um einen Insektenflügel in einem Öltank erforscht: Die Zähigkeit des Öls, die Länge des Modellflügels und die Schlagfrequenz des Modells wurden so gewählt, dass sie der für eine Drosophila-Fliege typischen Reynolds-Zahl in



Das verkleinerte Modell eines VW-Käfers im Windkanal des Instituts für Strömungsmechanik an der Technischen Hochschule Braunschweig.

Luft entsprachen. Im Ergebnis fand man, dass der Auf- und Vortrieb ganz anders als bei einem Flugzeugflügel erzeugt wird: durch Wirbel, die bei der Auf- und Niederbewegung der dabei sich drehenden Flügel verursacht werden. Ein Flugzeug würde bei einem Strömungsabriss abstürzen; Insekten lassen die Strömung hundertmal pro Sekunde abreißen und nutzen die dabei erzeugten Wirbel für ihre Fortbewegung.

Modellversuche haben unser Wissen vom Fliegen geprägt, vom Leichtgewicht einer Fruchtfliege bis zum Giganten eines mehrere hundert Tonnen schweren Jumbos. Aber die zuerst für die Schifffahrt und dann für die Luftfahrt entwickelte Modellversuchstechnik ließ sich nicht nur für die Fliegerei nutzen. An der Aerodynamischen Versuchsanstalt in Göttingen wurden in den 1920er Jahren zum Beispiel im Auftrag des Deutschen Eisenbau-Verbands Modelle von Brückenträgern im Windkanal untersucht. Danach habe man »in größerem Umfang mit Untersuchungen über den Winddruck auf Bauwerke begonnen«, berichtete 1932 der damit beauftragte Ingenieur. »Es handelt sich um Messungen an schematisierten Modellen von Wohnhäusern, Fabrikhallen, Luftschiff- und Flugzeughallen«. Die »Winddruckforschung« auf Gebäude wurde zu einem wesentlichen Teilgebiet des Bauingenieurwesens.

Ein besonders herausragender Fall, der dieser Forschungsrichtung weltweit größeres Interesse verschaffte, ereignete sich am 7. November 1940, als die Tacoma Narrows Bridge im US-Bundesstaat Washington bei starkem Wind einstürzte. Diese drittgrößte Hängebrücke der Welt zeigte schon kurz nach ihrer Fertigstellung bei Wind starke vertikale Schwingungen, was ihr den Spitznamen »gallopiierende Gertie« verschaffte. Zum Einsturz kam es nach heftigen, mehr als eine Stunde anhaltenden Torsionsschwingungen, bei denen sich die Fahrbahn um bis zu 35° verdrehte. Vertikale Schwingungen waren schon oft vorgekommen, aber so heftige Torsionsbewegungen waren während der kurzen Lebensdauer der Brücke noch nie aufgetreten. Nach

dem Einsturz der Brücke wurde eine groß angelegte aerodynamische Untersuchung an der University of Washington durchgeführt, zu der insbesondere systematische Windkanalversuche an einem Modell der Brücke gehörten. Die aerodynamischen Befunde wurden in einem fünfbändigen Untersuchungsbericht dokumentiert. Sie führten künftigen Brückenbauingenieuren eindringlich die Bedeutung von Modellversuchen vor Augen. Die ganze Komplexität der an diesem Brückeneinsturz aufgetretenen Erscheinungen zeigte sich aber erst ein halbes Jahrhundert später. Lange galt eine Resonanz zwischen den an Brückenträgern abgehenden Luftwirbeln

und einer Eigenschwingung der Brücke als Ursache für ihren Einsturz. Doch die Frequenzen der Eigenschwingungen und der Wirbelablösung fallen nicht zusammen. Erst im Computereperiment zeigte sich, dass es sich um ein noch komplizierteres Wechselspiel von Wirbeln und Schwingungen handelte.

Der numerische Windkanal

Der elektronische Computer katapultierte die Modellierung von Strömungen in ein neues Zeitalter. John von Neumann verglich den digitalen Elektronenrechner schon in der Entwicklungsphase 1946 mit dem Windkanal, den er in diesem Zusammenhang als Analogrechner bezeichnete. »Wir sind dabei, einen elektronischen Digitalrechner mit einer sehr hohen Präzision zu entwickeln«, so beschrieb er das Projekt. Mit dem Digitalrechner könne man »Probleme von viel höherer Komplexität als die der typischen Windkanal- oder Strömungsprobleme« behandeln. »Ich möchte hinzufügen, dass eine solche Maschine viel kleiner und billiger als ein konventioneller Windkanal sein würde.« Die stürmische Entwicklung der Elektronenrechner eröffnete ganz neue Arten der Strömungsmodellierung, die sich dem Zugriff des analogen Modellversuchs entzogen.

Der Wiedereintritt von Interkontinentalraketen in die Erdatmosphäre konnte zum Beispiel auch in noch so hochentwickelten Windkanälen nicht am Modell simuliert werden. Hier bot sich der »numerische Windkanal« als Modellierungsinstrument an, wie man in den 1970er Jahren am Ames Research Center der NASA mit Blick auf die Entwicklung des Space Shuttle die Rolle des Computers beschrieb. Um diese Zeit begann sich bereits abzuzeichnen, dass sich mit dem Computer die numerische Strömungsmechanik (Computational Fluid Dynamics, CFD) zu einem ganz eigenen Teilbereich der Strömungsforschung entwickelte. Das digitale Modell im »numerischen Windkanal« gehört heute zum Alltag von Strömungsforschern, nicht nur

bei so extremen Strömungen wie dem Wiedereintritt von Raketen Sprengköpfen, sondern auch bei Strömungsproblemen, für die früher nur der analoge Modellversuch zur Verfügung stand. Dennoch war dem Schleppkanal der Schiffbauer und dem Windkanal der Aerodynamiker nicht dasselbe Schicksal wie der Dampfmaschine und anderen Artefakten vergangener Technikentwicklungen beschieden, die heute nur noch im Museum zu besichtigen sind. CFD wurde nicht zum Ersatz, sondern zur Ergänzung für analoge Modellversuche.

Modelle als Analogien

Dabei ist der Begriff des analogen Modells nicht nur im Sinn eines geometrisch ähnlichen (verkleinerten oder vergrößerten) Körpers im Vergleich mit dem jeweiligen Untersuchungsobjekt zu verstehen, sondern auch im Sinn einer Analogie zu anderen physikalischen Erscheinungen. So hat man die Elektrizität immer wieder als ein Fluidum begriffen. Im 19. Jahrhundert gab es zwischen der Hydrodynamik und der Elektrodynamik enge Beziehungen. Obwohl es sich um ganz verschiedene Erscheinungen handelt, gibt es bei der mathematischen Beschreibung auffällende Gemeinsamkeiten. In der Physikdidaktik wird das »Wassermodell« bis heute als »hydraulisch-elektrische Analogie« genutzt, um elektrische Begriffe wie Potentialdifferenz oder das Ohmsche Gesetz mit strömendem Wasser anschaulich zu machen.

Eine andere hydraulische Analogie gründet sich auf Gemeinsamkeiten zwischen der Gasdynamik von Überschallströmungen und »schießendem Wasser« in Flachwasserkanälen. Bei solchen Wasserströmungen entsteht ein »hydraulischer Sprung«, wie auf eindrucksvolle Weise das Beispiel der Eisbachwelle im Englischen Garten in München zeigt. Der hydraulische Sprung lässt sich mit der Stoßwelle beim Durchbrechen der Schallmauer vergleichen. Aufgrund der analogen mathematischen Beschreibung zwischen solchen Wasserströmungen und Überschallströmungen werden Flachwasserkanäle mit schießendem Wasser seit den 1930er Jahren genutzt, um an Modellen von Turbinenschaufeln, Düsen, Tragflächen für Überschallflugzeuge oder Steuerflächen von Raketen die dabei auftretenden Stoßwellen zu untersuchen.

Fazit: Der Modellversuch war und ist das zentrale Element der experimentellen Strömungsmechanik. Die Vielfalt von Modellversuchen und Anwendungen ist kaum überschaubar. Das Spektrum reicht vom Schiffsschleppkanal über den Windkanal bis hin zu hydraulischen Analogien und Modellrechnungen der numerischen Strömungsmechanik. Trotz der immer leistungsfähigeren Computersimulationen haben die analogen Modellversuche nichts an Bedeutung eingebüßt. ■■



Dr. Michael Eckert

ist Physiker und Senior Researcher im Forschungsinstitut des Deutschen Museums. Derzeit arbeitet er an der Geschichte der Turbulenzforschung.



Unsere Schule ein unbequemer – fröhlicher Ort



- Weil wir uns verpflichten, einander zu respektieren.
- Weil gegenseitiges Vertrauen stark macht.
- Weil alle ermutigt werden, die Freiheit des Einzelnen in unserer Gemeinschaft zu schützen.
- Weil junge Menschen sich selbst entdecken, ihre Gaben und Fähigkeiten entfalten.
- Weil wir den Widerspruch erwarten.
- Weil alle ermutigt werden, Bindungen einzugehen und Verpflichtungen wahrzunehmen.
- Weil uns Fehler helfen, Stärken weiterzuentwickeln.
- Weil wir im Interesse unserer Schüler auch dem Missbrauch von Macht und Einfluss entgegenzutreten.
- Weil wir den Mut haben, miteinander fröhlich zu sein.



www.derksen-gym.de



**INTENSIVE BERATUNG
UND VORBEREITUNG
auf den Übertritt ins Gymnasium.
Langjährige und gute Erfahrung mit
Ein- und Umschulungen.**

60 JAHRE



SEIT 1959

KLEINES PRIVATES LEHRINSTITUT

DERKSEN

G Y M N A S I U M

SPRACHLICH • NATURWISS.-TECHNOLOG.
STAATL. ANERKANNT • GEMEINN. GMBH

Pfingstrosenstraße 73 • 81377 München
Telefon 089/780707-0 • Fax 089/780707-10



Veränderungen des Klimas
in Antarktis und Arktis haben
enorme Auswirkungen auf die
globalen Klima- und Ökosysteme.

Das große Klimapuzzle

Computersimulationen helfen Forscherinnen und Forschern, die komplexe Dynamik erdweiter Klimaprozesse immer besser zu verstehen. Von Matthias Heymann

Das große öffentliche Interesse am Klimawandel ist nicht zuletzt der Erfindung und Nutzung computergestützter Klimamodelle – oder Erdsystemmodelle, wie sie heute heißen – zu verdanken. Diese Modelle kennzeichnen einen tiefgreifenden Wandel in der Erforschung des Klimas von der empirischen, geographisch geprägten, sogenannten „klassischen Klimatologie“, die sich vor allem für räumliche Unterschiede von Klimata interessierte, zur physikalisch geprägten Klimaforschung, die vor allem mit Hilfe computergestützter Klimamodelle die Dynamik von Klimaprozessen und Klimaveränderungen untersucht. Mit diesem Wandel gingen ein deutlich verändertes Verständnis von Klima, aber auch drastisch veränderte Interessen am Klima einher. Dieser Wandel folgte nicht einfach einer Logik wissenschaftlichen Fortschritts. Er hing mit gesellschaftlichen, politischen und technischen Entwicklungen maßgeblich zusammen.

Dieser Beitrag beschreibt die komplexen Zusammenhänge, die von der klassischen Klimatologie zur Computersimulation, von lokalen Klimabeschreibungen zu einem ‚globalen‘ Klima und von einem Verständnis stabiler lokaler Klimabedingungen zum vorherrschenden Interesse an Klimaveränderungen und ihrer Vorhersage führte. Erdsystemmodelle haben das Verständnis von Klimaprozessen und den Interaktionen von Atmosphäre, Biosphäre, Gewässer und Wasserkreisläufen, Eis und Erdböden dramatisch verbessert. Sie repräsentieren überdies die Basis für komplexe Vorhersageinstrumente, die Wissenschaftler nutzen, um mögliche zukünftige Klimaveränderungen

und ihre ökologischen und sozioökonomischen Folgen zu untersuchen. Der Beitrag zeigt aber auch problematische Folgen, die die zunehmende Politisierung der Klimaforschung hat.

»Klassische Klimatologie«: Praktische Interessen und nationale Identität

Die wissenschaftliche Klimatologie, die im Verlauf des 19. Jahrhunderts entstand, gründete auf den Erfolgen systematischer und koordinierter instrumenteller Wetterbeobachtungen, die im 18. Jahrhundert begannen und im 19. Jahrhundert deutlich ausgeweitet und verbessert wurden. Vor allem seit Mitte des 19. Jahrhunderts entstanden in vielen Ländern staatliche Wetterdienste, die die Beobachtungsnetze ausbauten, die Datenerfassung international standardisierten und zahllose Datenreihen von Wetterparametern wie Temperatur, Niederschlag, Luftdruck, Winde erfassten. Diese Basis von Wetterdaten diente nicht nur der Erstellung täglicher, sogenannter synoptischer Wetterkarten (wie sie noch heute in Wetterberichten zu sehen sind), die z. B. der Wettervorhersage dienten. Sie diente auch einem raschen Aufschwung der Klimatologie.

Der Direktor der Zentralanstalt für Meteorologie und Geomagnetismus in Wien, Julius Hann, schuf mit seinem 1883 erstmals erschienenen Handbuch der Klimatologie eine Synthese des methodologischen Repertoires klimatologischer Untersuchungen und die autoritative Grundlage für die entstehende wissenschaftliche Disziplin. Hann stellte die systematische

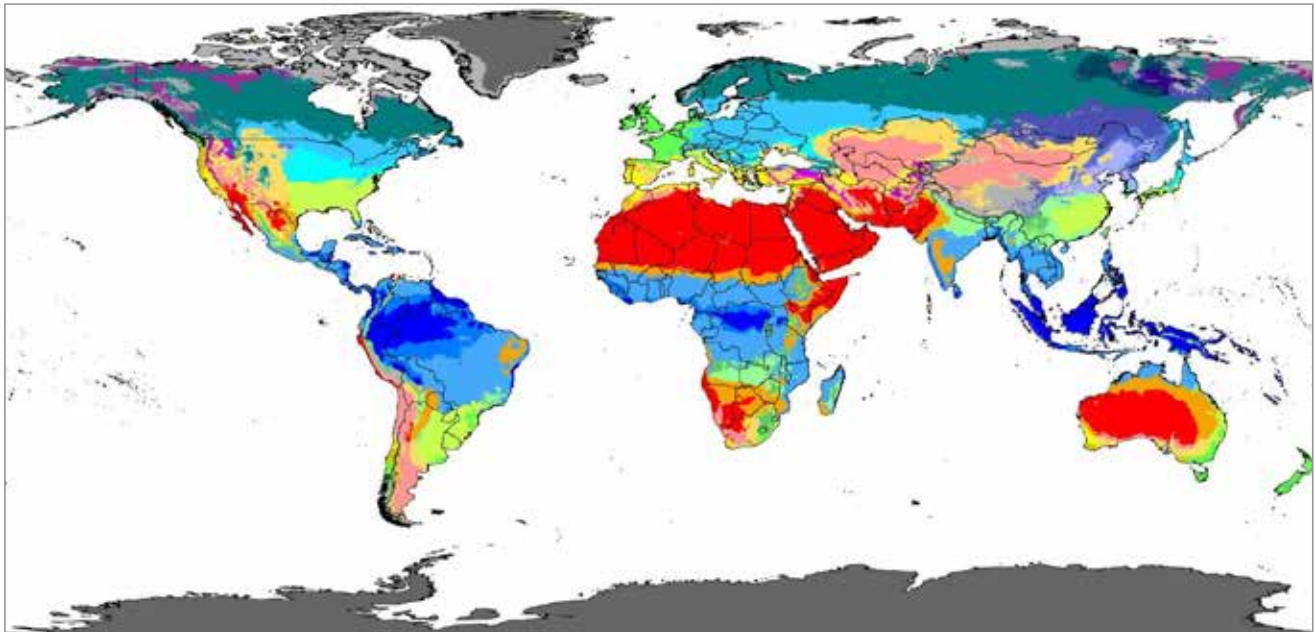
quantitative Beschreibung von lokalen Klimata durch die Mittelung langjähriger Datenreihen von Temperatur, Niederschlag, Windverhältnissen etc. in den Mittelpunkt der Klimatologie, obgleich er auch die typischen Abfolgen von Wetterlagen als Teil des Klimas verstand. Diese Klimatologie wurde später als »klassische Klimatologie« bezeichnet. Sie war von der Überzeugung geprägt, dass das lokale Klima zwar von Jahr zu Jahr schwankte, aber im langjährigen Mittel zumindest über viele Dekaden stabil blieb.

Die klassische Klimatologie blühte auf im imperialistischen Zeitalter mit rasch wachsenden Bevölkerungszahlen, nationalistischen Bestrebungen und kolonialen Ambitionen, die eine steigende Nachfrage nach klimatologischem Wissen verursachten. Gewerbe wie Land- und Forstwirtschaft, Militär, Kolonialverwaltungen, Seefahrt und Medizin verlangten nach klimatologischen Informationen. Natio-

gend eine empirische, geographische Wissenschaft, die sich für räumliche Unterschiede des Klimas interessierte. Ein berühmtes Resultat der klassischen Klimatologie war die Definition von Klimatypen und die Entwicklung von Klimakarten der Erde durch Klimatologen wie Wladimir Köppen von der Seewarte in Hamburg, die noch heute Anwendung findet.

Dynamische Klimatologie: Technischer Wandel und praktische Bedürfnisse

In der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts hatten zwei Faktoren einen entscheidenden Einfluss auf die weitere Entwicklung der Klimatologie: die Untersuchung von höheren Schichten der Atmosphäre und die Fortschritte der sogenannten dynamischen Meteorologie. Die klassische Klimatologie arbeitete mit Wetterdaten nahe der Oberfläche der Erde. Bereits Hann und Köp-



Der Klimatologe Wladimir Köppen (1846–1940) teilte die Erde in fünf Klimazonen ein. Dabei berücksichtigte er Temperatur, Niederschlagsmenge und Vegetation.

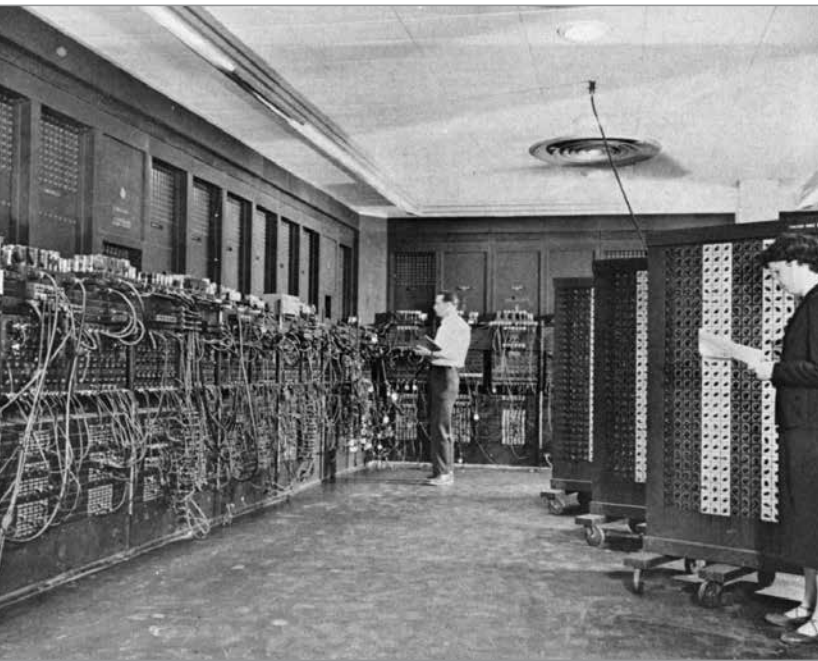
nale Wetterdienste, Wetterdaten und Klimatologien erfüllten überdies Bedürfnisse der Nationenbildung und der Pflege nationaler Identität. Wetterdienste und Netzwerke von Wetterstationen dienten der Erfassung und Registrierung der natürlichen Grundlagen des Staates und repräsentierten Symbole staatlicher Integrität und Kontrolle. Diese Funktionen erlangten zusätzliche Bedeutung, wenn es um geopolitischen Interessen und die Kontrolle von Kolonien und globalen Ressourcen ging.

Eine Hauptaufgabe der Klimatologie bestand darin, die verschiedenen Klimata der Erde auf Basis meteorologischer Messreihen zu beschreiben. Eine andere Aufgabe bestand in der Untersuchung von Zusammenhängen zwischen Klima und Pflanzen- und Tierwelt und den Menschen, insbesondere z.B. die Bedeutung des Klimas für die Verbreitung von Krankheiten oder das Wachstum von Pflanzen und Tieren in der Landwirtschaft. In dieser Konzeption war die Klimatologie vorwie-

pen befürworteten und förderten meteorologische Messungen in höheren Luftschichten der Atmosphäre, denn offensichtlich hing der Zustand in Bodennähe auch von Prozessen in größeren Höhen ab. Zunächst standen für

diese Aufgabe nur wenige Bergstationen und Heißluftballone zur Verfügung, am Ende des 19. Jahrhunderts auch Drachen und unbemannte, mit Wasserstoff gefüllte Ballons.

Die Untersuchung höherer Luftschichten hatte nicht nur wissenschaftliche, sondern auch handfeste praktische Gründe. Neue Luftschiffe und Flugzeuge, die um die Jahrhundertwende gebaut wurden, reagierten empfindlich auf die Wetterverhältnisse und erforderten eine gute Kenntnis der Wettersituation in höheren Luftschichten. Der Erste Weltkrieg beschleunigte diese Entwicklung. Seit Ende der 1930er Jahre standen überdies Radiosonden zur Verfügung, die meteorologische Messungen mit Hilfe von Radiowellen direkt an die Bodenstation senden konnten und die Erforschung der höheren Atmosphäre deut-



Mit dem Großrechner ENIAC wurden ab den 1950er Jahren erstmals wissenschaftliche Wettervorhersagen möglich.

lich erleichterten. Führt die Wetterdienste um 1930 weltweit etwa 3000 Aufstiege von Drachen oder Ballons durch, so stieg diese Zahl 20 Jahre später auf etwa 180 000.

Die langfristig größten Veränderungen in der Klimatologie sollten Durchbrüche in der Physik der Atmosphäre bringen. Lange trugen Meteorologie und Klimatologie den Makel, lediglich empirische Disziplinen und keine vollwertigen Wissenschaften zu sein, weil es ihnen an leistungsfähigen physikalischen Theorien mangelte. 1904 gelang es dem norwegischen Physiker Vilhelm Bjerknes eine neue Basis für die sogenannte dynamische Meteorologie zu schaffen. Er entwickelte ein komplexes System von sieben nicht-linearen, partiellen Differenzialgleichungen, die den Zustand der Atmosphäre im Prinzip für jeden Punkt in Zeit und Raum beschrieben. Es handelte sich dabei um sieben Gleichungen, die die relevanten physikalischen Gesetzmäßigkeiten repräsentierten.

Paradoxerweise wurden diese komplexen Gleichungen später als »primitive Gleichungen« bezeichnet. Diese Gleichungen weckten die Hoffnung, die Meteorologie zu einer vollwertigen wissenschaftlichen Disziplin zu machen und eine wissenschaftlich begründete Wettervorhersage zu ermöglichen. Ein entscheidendes Problem bestand allerdings darin, dass diese Gleichungen wegen ihrer Komplexität nicht analytisch gelöst und somit nicht praktisch angewandt werden konnten. Lediglich numerische Näherungsverfahren erlaubten eine näherungsweise Lösung, die sich allerdings als viel zu aufwändig erwies.

Bjerknes richtete den Fokus deshalb auf qualitative Verbesserungen der Wettervorhersage mit Hilfe theoretischer Einsichten. Mit Hilfe des norwegischen Militärs richtete er 1917 ein deutlich verdichtetes Netz meteorologischer Beobachtungen in

Norwegen ein, das seinem Team junger Meteorologen wesentliche Durchbrüche in dem Verständnis und der Identifikation großräumiger Wettersysteme erlaubte, die »Analyse von Fronten« atlantischer Tiefdrucksysteme. Diese Methoden verbesserten die Wettervorhersage dramatisch, setzten sich international rasch durch und erlangten als Bergener Schule der Meteorologie Berühmtheit.

Das wachsende Wissen über höhere Luftschichten ebenso wie die neuen Erkenntnisse der Bergener Schule der Meteorologie veränderten auch klimatologische Perspektiven nachhaltig. Die Bedeutung von Höhenwinden und großräumigen Wettersystemen wurde offensichtlich, und damit die Abhängigkeit lokaler Klimabedingungen von Prozessen, die kontinentale Ausmaße haben konnten. Die neue, dynamische Perspektive des Klimas, die der schwedische Bjerknes-Schüler Tor Bergeron als »dynamische Klimatologie« bezeichnete, verbesserte das Verständnis großräumiger Klimaphänomene, wie z.B. die Entstehung des Monsuns und Verschiebungen von Monsunzonen und -niederschlägen. Auch der Begriff des Klimas veränderte sich von einem statischen, geographischen Konzept, das an einen bestimmten Ort gebunden war, zu einem dynamischeren, von großräumigen Wettersystemen abhängigen Konzept.

Die Atmosphäre im Computer und eine neue Klimawissenschaft

Politische Konflikte wie der Zweite Weltkrieg und der Kalte Krieg dienten als Geburtshelfer für die Realisierung der einst von Bjerknes formulierten Vision der Wettervorhersage auf Basis physikalischer Gleichungen. Im Zweiten Weltkrieg entstanden Computer, technische Rechenmaschinen, die z.B. dazu dienten, ballistische Trajektorien für das amerikanische Militär zu errechnen. Nach dem Krieg erkannten in den USA tätige Wissenschaftler wie der ungarische Mathematiker John von Neumann und der schwedische Meteorologe und Bjerknes-Schüler Carl-Gustav Rossby die sich damit bietenden Gelegenheiten. Sie versprachen die kühne Vision wissenschaftlicher Wettervorhersagen und technischer Wetter- und Klimamodifikationen – ein Schlagwort, dass in den USA die Wetter- und Klimaforschung über 20 Jahre prägen und reichlich Forschungsgelder militärischer Dienste bringen sollte.

Rossby begründete eine neue, einflussreiche meteorologische Schule an der Universität von Chicago, die pragmatisch die komplexen primitiven Gleichungen drastisch vereinfachte, um angenäherte physikalische Gleichungen der Zirkulation der Atmosphäre nutzbar zu machen. Rossby gewann von Neumann für ein Projekt, geeignete Gleichungen mit Hilfe von digitalen Computern für den Zweck der Wettervorhersage zu lösen. 1946 stellte von Neumann ein junges Team von Wissenschaftlern für diese Aufgabe zusammen, das der Rossby-Mitarbeiter Jule Charney leitete. Charneys Team entwickelte ein Modell der Atmosphäre für den Computer, eine wegen der begrenzten verfügbaren Computerleistung drastisch vereinfachte virtuelle

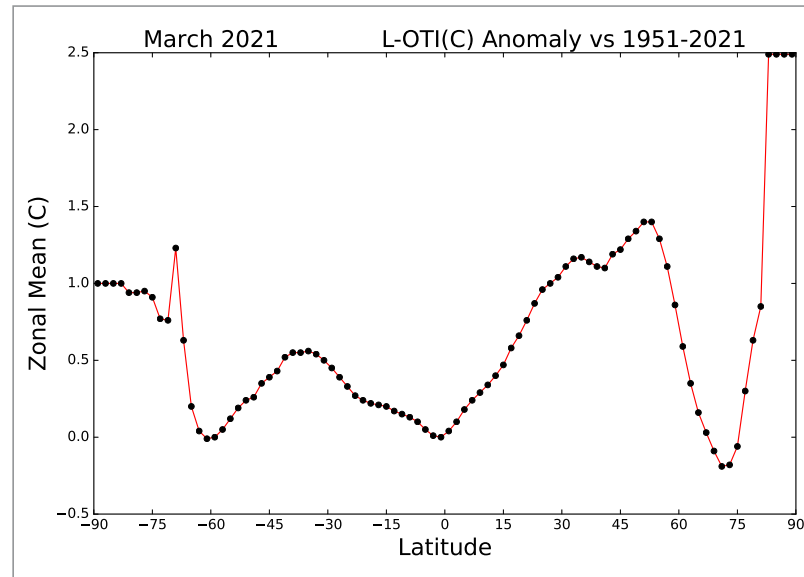
Atmosphäre, mit der Experimente in Form von Simulationsrechnungen durchgeführt werden konnten.

Vier Jahre später, 1950, gelang trotz der drastischen Vereinfachungen des Computermodells das erste Simulationsexperiment einer Wettervorhersage mit sehr ermutigenden Ergebnissen. Es dauerte nur wenige Jahre, bis die sogenannte numerische Wettervorhersage ab Mitte der 1950er Jahre operationell von Wetterdiensten in Schweden und den USA eingesetzt und in den folgenden Jahren und Jahrzehnten weltweit zum Standard wurde.

Das Experimentieren auf dem Computer entwickelte sich zu einem leistungsfähigen Instrument für die Wissenschaftler, zumal mit der realen Atmosphäre keine Experimente möglich waren. 1955 wagte Norman Phillips, ein junger Mitarbeiter aus Charneys Team, ein Simulationsexperiment über einen deutlich längeren Zeitraum als die für die Wettervorhersage möglichen ein bis zwei Tage. Mit weiteren drastischen Vereinfachungen, z. B. der Annahme einer ruhenden Atmosphäre zu Beginn der Simulation, ließ Phillips den Computer über 30 virtuelle Tage laufen. Das Ergebnis übertraf die kühnsten Träume. Phillips konnte mit diesem Experiment die Strömungsmuster der irdischen Atmosphäre erstaunlich gut reproduzieren. Dieses Ergebnis verursachte beträchtlichen Enthusiasmus, denn es legte nahe, dass sich die komplexe Physik der Atmosphäre mit Hilfe von Computermodellen und Simulationen bewältigen ließ.

Phillips Modell kann als das erste sogenannte Global Circulation Model (GCM) angesehen werden, ein Modelltyp, der in den 1950er und 1960er Jahren von zunächst vier Forschungsgruppen in den USA und einer in Großbritannien weiterentwickelt wurde, um Klimaprozesse besser zu simulieren und zu verstehen. Diese neue Klimawissenschaft sollte in den folgenden Jahrzehnten zu einem Standard werden und veränderte die Erforschung des Klimas radikal. Sie erforderte Physiker, Mathematiker, theoretische Meteorologen und Computerexperten, die zunehmend den Typus des Klimaforschers repräsentierten, während traditionell orientierte Klimatologen an Bedeutung verloren. Die Erforschung des Klimas wurde von einer geographischen zu einer physikalischen Wissenschaft. Bis zum Ende der 1960er Jahre hatte sich die Klimamodellierung, nicht zuletzt mit Hilfe dramatisch steigender Leistungsfähigkeit der Computer, zu einem führenden Instrument der Klimaforschung entwickelt.

Mit dieser neuen Klimawissenschaft veränderte sich auch das Verständnis von Klima selbst auf nicht minder radikale Weise. Das Klima eines Ortes im Verständnis der klassischen Klimatologie machte nunmehr wenig Sinn, denn die Klimamodelle – wie sie bald genannt wurden – kannten nur großräumige Rasterelemente von zunächst mehreren tausend Kilometern Seitenlänge, auf denen näherungsweise gemittelte Ergebnisse simuliert werden konnten. Das Klima selbst wurde damit zu einem sehr großräumigen, ja globalen Phänomen, während kleinräumige Daten und Phänomene sozusagen durch das Raster der Modelle fielen. Auch die Prioritäten veränderten sich. Während die klassische Klimatologie an möglichst differenzier-



Die »Keelingkurve« zeigt den Anstieg der Kohlendioxid-Konzentration in der Atmosphäre.

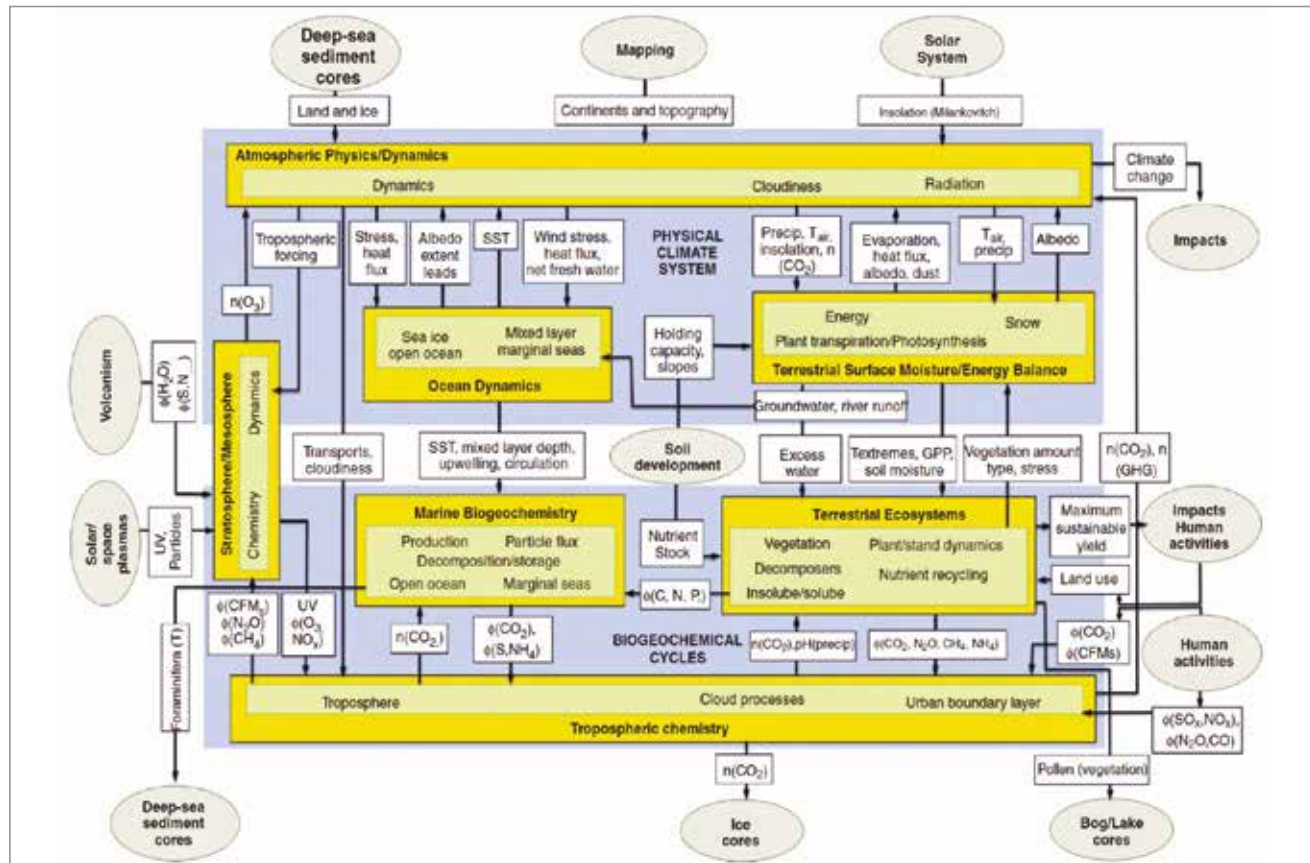
ten räumlichen Bestimmungen geographischer Klimata interessiert war, stand nun eher die zeitliche Dynamik von Klimaprozessen und Klimaveränderungen im Vordergrund.

Klimavorhersagewissenschaft: Umweltkrisen und die Zukunft des Klimas

Seit den 1960er Jahren begannen neue Problemhorizonte viele westliche Gesellschaften maßgeblich zu beeinflussen, darunter die zunehmende Sorge vor Umweltzerstörungen und Umweltkrisen, die durch menschliche Eingriffe in die Umwelt verursacht wurden. Diese Sorge sollte auch die Kultur der Klimaforschung nachhaltig verändern. Bereits während der 1950er und 1960er Jahre begannen die seit langem bekannten, aber kaum beachteten Kohlendioxidemissionen etwas mehr wissenschaftliche Aufmerksamkeit zu wecken.

Nachdem der amerikanische Chemiker Charles Keeling durch systematische Messungen auf Hawaii seit Ende der 1950er Jahre eindeutig nachweisen konnte, dass Kohlendioxidkonzentrationen in der Atmosphäre Jahr für Jahr kontinuierlich anstiegen und nicht, wie zuvor spekuliert, durch Absorption in den Meeren aufgefangen wurden, mehrten sich seit Anfang der 1970er Jahre sorgenvolle wissenschaftliche Bestandaufnahmen. Nun begann eine neue Generation von Klimawissenschaftlern die Möglichkeit eines Klimawandels als ein ernsthaftes politisches Problem zu sehen und wissenschaftlich zu untersuchen.

Der junge Klimamodellierer Stephen H. Schneider vom National Center for Atmospheric Research in Boulder, Colorado, warnte in Artikeln und populären Büchern eindringlich vor dramatischen Dürren und Hungernöten. Er wurde zu einem Wissenschaftsaktivisten, der darauf drängte, die noch sehr primitiven Klimamodelle trotz ihrer Unsicherheiten für Klimavorhersagen zur Untersuchung dieses Problems und zur Unter-



Das »Bretherton-Diagramm« dient als Grundlage für Erdsystemmodelle und zeigt eindrucksvoll die enorme Komplexität des Themas.

stützung erforderlicher politischer Entscheidungen zu nutzen. Ein anderer, ebenfalls sehr junger, ambitionierter Wissenschaftler war James E. Hansen vom NASA Goddard Institute for Space Studies in New York, der dem Ruf nach Klimavorhersagen folgte und 1981 als einer der ersten mit Hilfe eines einfachen Modells simulierte kontinuierliche Klimaprojektionen bis zum Jahr 2100 in der führenden Zeitschrift *Science* veröffentlichte. Diese Arbeit sagte abhängig von den zugrunde gelegten Emissionsszenarios eine Erwärmung der globalen Atmosphäre zwischen 1 und 4°C voraus. Sogar die *New York Times* schuf auf ihrer Titelseite Aufmerksamkeit für diese Arbeit mit der Schlagzeile, dass »ein Erwärmungstrend den Meeresspiegel steigen lassen könnte«.

Während der 1970er Jahre ließen globale Temperaturmessungen allerdings noch keinen Erwärmungstrend erkennen (so gab es gleichermaßen Spekulationen über eine einsetzende neue Eiszeit). Dennoch motivierten steigende Kohlendioxidkonzentrationen zahlreiche wissenschaftliche Bewertungen möglicher zukünftiger Klimaveränderungen, z.B. durch die National Academy of Science und das Energieministerium in den USA. Die Warnungen von Schneider und Hansen in der Öffentlichkeit und der von ihnen geforderte Einsatz von Klimamodellen zur Klimavorhersage verursachten hingegen eine Welle feindseliger Reaktionen. Viele Wissenschaftler sahen in Hansens Klimaprojektionen eher eine Wette auf die Zukunft als seriöse Wissenschaft.

Doch die Klimasimulation und Projektionen von Klimaveränderungen über Jahrzehnte und Jahrhunderte in die Zukunft

waren in der Welt und sollten bleiben. Etwa ein Jahrzehnt später, nach der Gründung des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), im Deutschen auch als Weltklimarat bezeichnet, wurde genau dieser Weg beschritten. Die Modellentwicklung führte in dieser Zeit zu weiter ausgebauten, verfeinerten und deutlich komplexeren Modellen, die auch Austausch- und Rückkopplungen der Atmosphäre mit den Ozeanen, der Biosphäre und anderen geologischen Prozessen berücksichtigten. Klimamodelle wurden nun zu Erdsystemmodellen. Die Entscheidung für die Simulation von Klimaprojektionen war auch deshalb sehr wichtig, weil damit neue Prioritäten für die Verteilung von Forschungsressourcen und für die Entwicklung und Nutzung von Erdsystemmodellen festgelegt wurden.

Mit diesen Entwicklungen veränderte sich auch das Verständnis des Begriffs Klima in Wissenschaft und Öffentlichkeit. Erstens wurde das Klima eine globale Kategorie, eine Eigenschaft des Zusammenspiels der globalen Erdsysteme. Zweitens gelangte die Zukunft des Klimas, insbesondere zukünftige Klimaveränderungen durch anthropogene Treibhausgase in den Vordergrund des Interesses. Denn damit drohten nicht nur Dürrekatastrophen, Fehlernten und Veränderungen von Niederschlägen und Klimazonen, sondern auch Folgeprobleme wie das Abschmelzen polarer Eismassen, Meeresspiegelerhöhungen und eine Beschleunigung des Artensterbens.

Politische Klimawissenschaft: Die »Klimatisierung« der Politik

Erdsystemmodelle fungierten als zeitliche Fernrohre, die einen Blick in weit entfernte mögliche Zukünfte gewährten. Sie dienten damit als politische Instrumente, als Basis für ein neues – wie Sozialwissenschaftler es ausgedrückt haben – Expertiseregime. Der Klimawandel als politisches Problem trug dazu bei, das Paradigma von Modellierung und Simulation auch stärker in die Sozial- und Wirtschaftswissenschaften zu tragen. Forscher in diesen Disziplinen entwickelten sogenannte Integrated Assessment Models (IAMs), die Simulationsdaten von Erdsystemmodellen dafür nutzten, um sozioökonomische Effekte des Klimawandels und die Wirkungen von umweltpolitischen Maßnahmen abzuschätzen. Während Erdsystemmodelle bereits verschiedene Disziplinen in den Naturwissenschaften zusammenbanden, bewirkte die Entwicklung und Nutzung von Integrated Assessment Models eine verstärkte Bindung von Wissenschaft und Politik.

Mit dem Expertiseregime von integrierter Modellierung und Simulation hatten Wissenschaftler eine neue Welt konstruiert, virtuelle Erd- und gesellschaftliche Systeme, die neue Blicke erlaubten und wissenschaftliche und politische Perspektiven, Wahrnehmungen und Interessen beeinflussten. Was Modelle und Simulationen nicht offenbaren konnten, blieb deshalb weitgehend außerhalb dieser Wahrnehmungswelt. Dazu zählten Komplexitäten gesellschaftlicher und politischer Prozesse oder der vielfältigen Wechselwirkungen zwischen Gesellschaft und Umwelt. Die integrierten Modellwelten offenbarten z.B. nicht, wie schwierig es sein würde, politisch adäquat auf die Herausforderungen des Klimawandels zu reagieren, wie sich Wissenschaftler das ursprünglich erhofften. Auch ließen diese Modellwelten kaum erkennen, wie sich die Kakophonie diverser politischer und wirtschaftlicher Interessen auswirken würden. Am wenigsten erwarteten Klimawissenschaftler, dass sich das von ihnen geschaffene Expertiseregime gegen ihre ursprünglichen Intentionen richten könnte.

Das Expertiseregime von integrierter Modellierung und Simulation half maßgeblich, Wissen über den Klimawandel und seine Folgen zu produzieren und sichtbar zu machen und mit der Verabschiedung der United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) 1992 einen umfassenden, internationalen politischen Prozess in Bewegung zu setzen. Die IPCC ermöglichte es, einen wissenschaftlichen Konsensus zu produzieren, Unsicherheiten des Wissens abzuschätzen und einzudämmen und das Expertiseregime der integrierten Modellierung und Simulation mit wissenschaftlicher und politischer Autorität zu versehen. Als politisches Werkzeug sah sich dieses Expertiseregime zwar vor allem in den 1990er Jahren heftigen Angriffen von politischen Akteuren, Lobbyisten und Skeptikern des Klimawandels ausgesetzt. Diese überstand es jedoch mehr oder weniger unbeschadet, wie die Vergabe des Friedensnobelpreises 2007 an die IPCC (gemeinsam mit dem früheren U.S. Vizepräsidenten Al Gore) demonstrierte (wenn-

gleich solche Angriffe einzelnen Wissenschaftlern erheblichen Schaden zufügten).

Vielmehr profitierte das klimawissenschaftliche Expertiseregime von einer Vervielfachung der Ressourcen in Form von neuen Forschungsinstitutionen, deutlich gestiegenen Forschungsmitteln, wachsendem Forscherpersonal und einer enorm gesteigerten öffentlichen Aufmerksamkeit. Politikwissenschaftler haben eine »Klimatisierung« der Politik beschrieben, die darin bestand, dass immer mehr Politikfelder, die zuvor nicht mit dem Klima in Verbindung gebracht wurden, nun durch die Linse der Klimaoptik und als Teil von Klimapolitik wahrgenommen wurden. Die internationalen Klimakonferenzen zogen damit einen deutlich weiteren Kreis von Akteuren und Interessenvertretern an, die verschiedenste Gruppierungen und Wirtschaftssektoren von der Fischerei bis zur Stahlindustrie repräsentierten und ihre spezifischen Interessen und Interpretationen in die Verhandlungen einbrachten. Einfacher wurden die Klimaverhandlungen damit nicht.

Seit etwa der Jahrtausendwende diente das Expertiseregime der integrierten Modellierung und Simulation zunehmend dem Interesse politischer Akteure, technische Lösungen des Klimawandels zu untersuchen, z.B. Maßnahmen des Geoengineering oder »Negative Emission Technologies« (NETs). Letztere haben die Aufgabe, Kohlendioxid in großem Maßstab aus der Atmosphäre zu entfernen. Zwischen 2010 und 2015, während die Treibhausgasemissionen weiterhin anstiegen, wurden zunehmend optimistische Simulationen von Dekarbonisierungsszenarios auf Basis eines umfassenden Einsatzes von Negative Emission Technologies publiziert, obgleich diese Technologien weder hinreichend entwickelt noch getestet waren und noch Jahre oder Jahrzehnte nicht zur Verfügung stehen würden.

Das historische internationale Übereinkommen auf der Klimakonferenz 2015 in Paris, in dem sich die internationale Gemeinschaft darauf einigte, die Klimaerwärmung auf eine globale mittlere Temperaturzunahme auf 1,5°C (statt wie zuvor vereinbart 2°C) zu begrenzen, beruhte vor allem auf Klimaprojektionen, denen solche Dekarbonisierungsszenarios zugrunde lagen. Während die internationalen Medien das Übereinkommen als einen Durchbruch feierten, fühlten sich viele Wissenschaftler missbraucht und betrogen. Sie hatten die Kontrolle über die Nutzung des von ihnen entwickelten Instruments der integrierten Modellierung und Simulation verloren, das nun die Politik zu nutzen schien, um nicht primär auf eine Begrenzung der Emissionen zu setzen, sondern heimlich auf (noch nicht existente) technische Lösungen der Klimaerwärmung. ■■

Prof. Dr. Matthias Heymann

Der Physiker und Technikhistoriker ist derzeit als Associate Professor an der Aarhus Universität in Dänemark tätig. Zu seinen Forschungsschwerpunkten gehören die Geschichte der Umwelttechnik, Klimafor-

Die Pandemie in Zahlen fassen

Wie epidemiologische Modelle helfen, die Ausbreitung eines Virus zu verstehen und zu bekämpfen.

Von Jonas Dehning, Emil Iftekhar, Viola Priesemann

Schon sehr früh in der COVID-19-Pandemie waren Schlagworte wie »R-Wert« oder »Inzidenz« in aller Munde. Diese Begriffe stammen aus dem Wissenschaftsfeld der Infektionsepidemiologie, die in den letzten Monaten viel dazu beigetragen hat, politische Entscheidungen zu treffen und Maßnahmen zu ergreifen. Doch wie wird ein solches Pandemiemodell überhaupt aufgebaut – und welche Aussagen können wir damit treffen? In diesem Artikel möchten wir erläutern, wie Pandemiemodellierung funktioniert, was sie leisten kann und wo ihre Grenzen liegen.

Grundlagen der Pandemiemodellierung: Das S(E)IR-Modell

Ein klassischer Ansatz für die Beschreibung der Ausbreitung einer ansteckenden Krankheit ist das SIR-Modell. Das ist ein Kompartimentmodell, in dem Menschen nicht individuell beschrieben, sondern als Gruppierungen zusammengefasst werden. Diese Gruppierungen sind durch verschiedene Krankheitsstufen definiert: Das Grundgerüst im SIR-Modell bilden meist die Gruppierungen »susceptible« (S, suszeptibel oder ansteckbar), »infectious« (I, infektiös) und »recovered« (R, genesen und immun). Individuen in der suszeptiblen (S) Gruppe können sich mit dem Virus anstecken; Infektiöse (I) können das Virus weitergeben und Genesene (R) tragen nicht mehr zur Ausbreitung bei, weil sie immun sind. Um die Verbreitungsdynamik detaillierter zu beschreiben, kann das SIR-Modell um beliebig viele Gruppierungen erweitert werden. Zum Beispiel wird aus dem SIR-Modell ein SEIR-Modell, wenn die Gruppe der Exponierten (E) hinzugefügt wird. Exponierte sind jene, die sich bereits angesteckt haben, aber andere noch nicht anstecken. Welche Gruppen letztendlich in einem Modell abgebildet werden, hängt davon ab, welcher Krankheitserreger untersucht und welche Fragestellung beantwortet werden sollen.

Die Tatsache, dass Menschen im Zeitverlauf zwischen verschiedenen Gruppen wechseln – etwa, weil sie sich anstecken – wird durch Differenzialgleichungen beschrieben. Eine solche Differenzialgleichung beschreibt, dass die infektiöse Gruppe

schneller wächst, je mehr Menschen infektiös sind, je einfacher sie sich anstecken, je mehr Personen noch suszeptibel sind und je langsamer Menschen wieder gesund werden. Je nach Virus oder Virusvariante werden in den Gleichungen bestimmte Übergangsraten von einer in die nächste Stufe festgesetzt. So gibt es eine Genesungsrate, die beschreibt, wie schnell Menschen nach Beginn einer Infektion immun werden.

Diese gruppenbasierten Modelle zeichnen das Infektionsgeschehen in größeren Strukturen wie Deutschland sehr gut nach. In diesen Größenordnungen handelt es sich um eine hinreichende Anzahl an Menschen, um aussagekräftige Einschätzungen aus den Berechnungen ziehen zu können. Mit einem SIR-Modell lässt sich beispielsweise herleiten, dass Infektionszahlen exponentiell ansteigen, solange sich nur ein kleiner Anteil der Bevölkerung angesteckt hat und der R-Wert über 1 liegt. Allerdings gehen in diesen Modellen reale Kontakte nur indirekt ein: Da die Menschen nicht einzeln abgebildet sind, werden auch keine Kontakte mit Ansteckungsrisiko explizit modelliert.

Modelle, die Menschen als Einzelpersonen abbilden, nennen sich »agentenbasiert«. Sie ermöglichen es, Kontaktnetzwerke und Strukturen, wie zum Beispiel Haushalte, Arbeitsplatz und Schulen, in die Simulation einzubeziehen. Dafür brauchen sie mehr Rechenkapazität als die SIR- oder SEIR-Modelle. Ob man nun ein agentenbasiertes oder ein SIR-Modell nimmt, welche Parameter man alle einbezieht und welche man weglässt, wird von der Fragestellung bestimmt. Es gilt: Das Modell soll so einfach wie möglich sein, damit man einen guten Überblick behalten kann, aber so komplex wie nötig, damit alle relevanten Parameter und Faktoren berücksichtigt werden.

Kenngrößen in der Infektionskrankheitsdynamik

Pandemiemodelle werden auch genutzt, um erhobene Daten statistisch auszuwerten, indem die berechnete Anzahl der Infektionen mit den gemeldeten Infektionszahlen verglichen wird. Damit können sie die akute epidemiologische Lage erfassen sowie Vorhersagen und alternative Zukunftsszenarien für

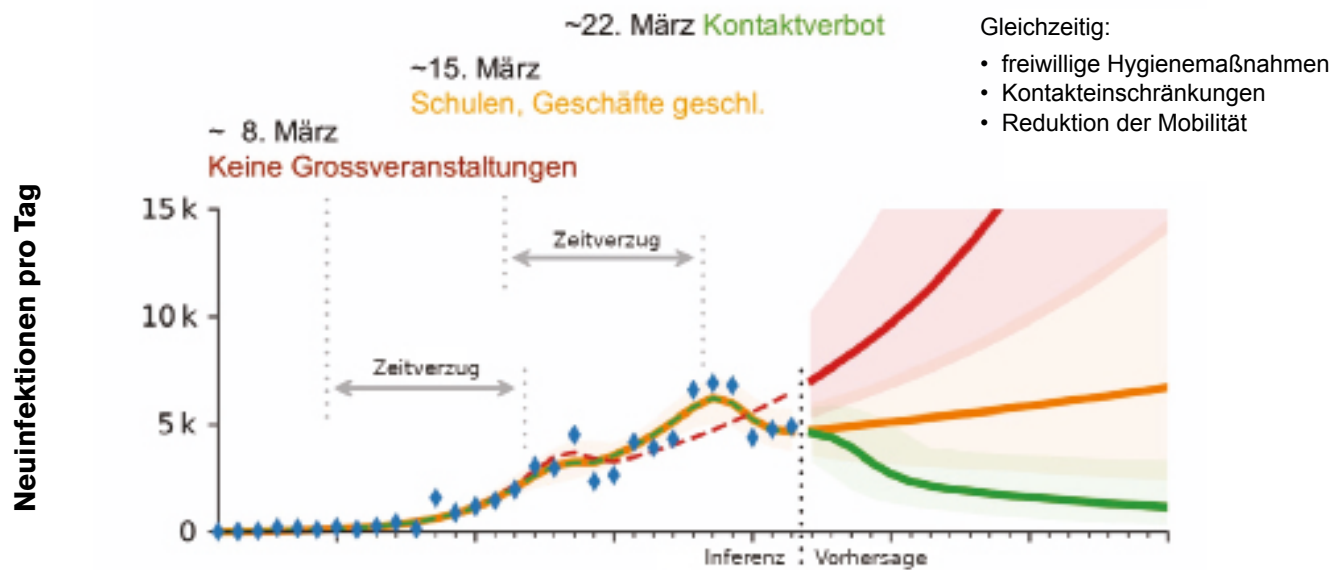


Abbildung 1: Die Maßnahmen, die am Anfang der Pandemie umgesetzt worden sind, führten dazu, dass die Fallzahlen schnell zurückgingen.

das Infektionsgeschehen aufstellen. Diese Modelle basieren auf einigen wichtigen Kenngrößen, die wir im Folgenden näher beleuchten: die Reproduktionszahl und die Inzidenz.

Die Basisreproduktionszahl

Reproduktionszahlen R beschreiben – grob gesagt – wie viele Menschen eine infektiöse Person im Durchschnitt ansteckt. Am Anfang der Pandemie wurde vor allem von der Basisreproduktionszahl R_0 gesprochen. Sie beschreibt die Anzahl der im Durchschnitt angesteckten Personen für eine noch vollkommen suszeptibel und sich »normal« verhaltende Bevölkerung. Mit »normal verhaltend« ist gemeint, dass es beispielsweise noch keine offiziellen Maßnahmen wie Maskenpflicht gibt oder dass Menschen sich noch nicht aus Sorge vor Ansteckung zurückziehen. Dieses »normale« Verhalten ist von Mensch zu Mensch und von Kontext zu Kontext unterschiedlich. Daher kann es in verschiedenen Ländern und Regionen auch verschiedene Basisreproduktionszahlen für COVID-19 geben. In Deutschland geht man davon aus, dass die Basisreproduktionszahl vom ursprünglichen Virus zwischen 2.5 und 3.5 liegt. Jene von der britischen Variante B.1.1.7 ist ungefähr 50% größer und liegt somit zwischen 3.7 und 5.2.

Die effektive Reproduktionszahl

Während der Pandemie wird allerdings die effektive Reproduktionszahl wichtig. Sie beschreibt die Anzahl der durchschnittlich von einer Person angesteckten Menschen in der aktuellen Situation. Die effektive Reproduktionszahl berücksichtigt, (a) wie sich das Verhalten der Bevölkerung geändert hat und (b) wie viele Menschen nicht mehr ansteckbar (immun) sind, weil sie schon infiziert waren oder geimpft wurden. Das Ver-

halten der Bevölkerung kann sich etwa durch persönliche Risikoeinschätzung geändert haben, durch nicht-pharmazeutische Interventionen wie das Vermeiden von Kontakten mit Infektionsrisiko oder die Schließung von Einrichtungen (siehe Abb. 1) sowie durch AHA+LA-Vorsichtsmaßnahmen (Abstand halten, Hygiene beachten, im Alltag Maske tragen, regelmäßig lüften und Corona-Warn-App nutzen). Seit Sommer 2020 schwankt die effektive Reproduktionszahl meistens zwischen 0.9 und 1.1 und war zwischenzeitlich bei 0.8 und 1.35. Sie ist also deutlich kleiner als die Basisreproduktionszahl.

Da sich die effektive Reproduktionszahl mit den gegebenen Rahmenbedingungen ändert, kann sie wiedergeben, wie sich die Pandemie zurzeit entwickelt. Sie drückt auch aus, ob sich mehr Menschen anstecken als gesund werden. Sie informiert darüber, wie stark sich die Fallzahlen momentan verändern.

Die Inzidenz

Eine weitere wichtige Größe, um die momentane epidemiologische Lage zu verstehen, ist die Inzidenz. Sie beschreibt, wie viele Infektionen im Verhältnis zur Bevölkerungsgröße gemeldet werden. Üblicherweise gibt man die Anzahl an wöchentlichen Infektionen pro hunderttausend Menschen an oder die täglichen Infektionen pro eine Million Menschen. Die Inzidenz erlaubt, das Infektionsgeschehen sehr zeitnah zu beobachten – im Gegensatz zu täglichen Krankenhausaufnahmen und Todeszahlen, die das Ausbreitungsgeschehen erst mit einiger Verzögerung abbilden.

Es wird häufig kritisiert, dass die Inzidenz stark von der Anzahl der Tests abhängt. Dies ist nur teilweise richtig: Die Kriterien, wann Tests durchgeführt werden sollen, bleiben nach Möglichkeit konstant; dann ist auch das Testergebnis gut interpretierbar. Wenn Testkriterien geändert werden, Labore überlastet sind oder neue Testverfahren hinzukommen (wie Schnelltests), dann ist die Inzidenz in dieser Übergangsphase schwieriger zu interpretieren. Deswegen machen einige Länder, zum Beispiel Großbritannien, regelmäßige Zufallsstichproben:

man den mittleren Effekt, also das »typische Testen«. Dadurch ist die Vereinfachung vertretbar. Je nach Fragestellung wird das Modell angepasst, erweitert oder andere Aspekte weggelassen. Im Idealfall ist das Modell so einfach wie möglich und enthält, trotzdem alle wichtigen Parameter. Jede Fragestellung braucht ihr eigenes Modell.

Um zurück auf unsere Fragen zu kommen, wie gut das TTI zur Eindämmung von COVID-19 beiträgt und was passiert, wenn die Kapazität der Gesundheitsämter überschritten ist, lässt sich sagen: Wenn diese Kapazität überschritten ist, beschleunigt sich die Ausbreitung. Die Inzidenz überschreitet einen Kipppunkt und wächst dann sogar schneller als exponentiell an. Ist ein solcher Punkt überschritten, wird es immer schwieriger, die Inzidenz zu stabilisieren oder gar zu senken. Kurz: Bei hohen Fallzahlen ist es deutlich schwieriger, eine konstante Wocheninzidenz zu halten.

Den Effekt dieses Kipppunktes haben wir in Deutschland im Herbst 2020 gesehen. Zur Erinnerung: Bundeskanzlerin Merkel warnte im September davor, dass es bis Weihnachten fast 20 000 tägliche Neuinfektionen geben könnte. Sie ging davon aus, dass das exponentielle Wachstum genau wie in den Wochen zuvor weitergehen würde. Manche taten diese Vorhersage damals als zu extrem ab. Tatsächlich hat sich COVID-19 dann wesentlich schneller ausgebreitet und die 20 000-Marke waren schon Wochen vor Jahresende überschritten.

Wie stark trägt das TTI-System aber nun zur Eindämmung bei? Mit absoluter Präzision lässt sich das mit einem Modell wie dem unseren nicht sagen. Mit unseren quantitativen Annahmen sehen wir, dass es einfacher ist, eine Wocheninzidenz von 10 zu stabilisieren. Auf einem solchen Infektionsniveau kann jede Person etwa 50% mehr Kontakte haben als bei einer Wocheninzidenz, welche die TTI-Kapazität auslastet. Die genauen Werte hängen davon ab, wie effektiv die Gesundheitsämter arbeiten und wie viele Kontakte jede Einzelperson hat. Klar aber ist: Für eine langfristige Kontrolle muss die Inzidenz niedrig gehalten werden, um vom TTI zu profitieren.

Mit Hilfe des Modells können wir außerdem den Einfluss der einzelnen Parameter abschätzen. Besonders wichtig sind schnelles Testen und striktes Isolieren, damit die Infektionsketten so früh wie möglich unterbrochen werden. Zufällige Tests in der Bevölkerung leisten im Vergleich zu symptom-basierten einen relativ kleinen Beitrag zur Pandemiekontrolle. Wenn sich die gesamte Bevölkerung aber mit einem sensitiven Test jede Woche testen lassen würde (oder mit weniger sensitiven Tests entsprechend häufiger), könnte man COVID-19, ergänzt durch ein effizientes TTI-System, eindämmen. Auch das konnten wir mit unserem Modell berechnen. Das Modell kann dementsprechend helfen, mögliche Maßnahmen und Stellschrauben im TTI anhand ihres Nutzens zu beurteilen und gegeneinander abzuwägen.

Zusätzlich unterstreicht unser Modell die Risiken von verspäteten Maßnahmen. Um eine Überlastung des Gesundheitssystems zu verhindern, werden rigorose Kontaktbeschränkungen oder sogar ein Lockdown spätestens dann nötig, wenn die

Intensivstationen an ihre Kapazitätsgrenzen kommen. Solche »Notfall«-Lockdowns haben jedoch den beträchtlichen Nachteil, dass sie länger aufrechterhalten werden müssen, um die Infektionszahlen ausreichend zu senken. Unsere quantitative Analyse unterstützt vielmehr politische Forderungen nach einer stärkeren und frühen Kontrolle der Fallzahlen. Sie zeigt, dass der Kontrollvorteil bei niedrigen Infektionszahlen beachtlich ist: Die Pandemie kann dann mit vergleichsweise »schwachen« Kontaktbeschränkungen kontrolliert werden – ohne dass die Krankenhäuser, und mit ihnen vor allem das Personal, an ihre Grenzen stoßen. Bei hohen Fallzahlen kann die epidemiologische Lage nicht mehr durch Kontaktnachverfolgung kontrolliert werden. Dann werden vergleichsweise strikte Kontaktbeschränkungen nötig. Aufgrund dieser Modellierungen konnten wir das Ziel von zehn täglichen Neuinfektionen pro hunderttausend Einwohnern pro Woche in die öffentliche Diskussion einbringen. Unser Modell konnte klare Indikationen für den Erfolg von TTI liefern.

Was aber leistet das Modell nicht? Es ist nur für bestimmte Fragestellungen und entsprechend bestimmte Rahmenbedingungen geeignet. Um andere Fragen zu beantworten und auf eine veränderte Situation zu reagieren, müssen die Annahmen des Modells überprüft, bearbeitet und gegebenenfalls angepasst werden. Unser TTI-Modell wäre zum Beispiel für eine Vorhersage der Fallzahlen ungeeignet. Um ein solches Vorhersagemodell zu kreieren, müssen andere Faktoren berücksichtigt werden, etwa der Einfluss von neuen Virusvarianten, der Impffortschritt, Saisonalität – und mögliche Verhaltensänderungen der Bevölkerung. Das war jedoch nicht das Ziel unseres TTI-Modells, es bildet diese Faktoren daher auch nicht ab. Die qualitativen Aussagen über die Bedeutung der Kontaktnachverfolgung bleiben unabhängig davon korrekt. Sie stellt eine der grundlegenden Maßnahmen der Pandemiebekämpfung dar.

Schlussendlich müssen Modelle nicht komplex sein, um wichtige Erkenntnisse zu liefern. Sie müssen nur die Aspekte beinhalten, die im betrachteten Kontext relevant sind. Je komplexer ein Modell ist, desto mehr Annahmen über Prozesse und Parameter müssen gemacht werden und desto schwerer lassen sich die Ergebnisse überprüfen. Je komplexer das Modell, desto länger dauern die Computersimulationen und desto schwieriger wird es, das Modell und seine Ergebnisse zu durchdringen und mit Kolleg:innen zu besprechen. Da in einer Pandemie aber viele Bedürfnisse berücksichtigt werden müssen, ist gerade eine klare Kommunikation und das Verständnis der Grundprinzipien für Entscheidungstragende und die Allgemeinheit wichtig. ■■

Jonas Dehning, Emil Iftekhar, Dr. Viola Priesemann

Die Arbeitsgruppe um Viola Priesemann am Max-Planck Institut für Dynamik und Selbstorganisation in Göttingen analysiert die Virusausbreitung und die Effektivität der Maßnahmen in der Covid-19-Pandemie in Deutschland und Europa.



Ausländischer Kunst- und Sittenspiegel von Erasmus Francisci: Titelpuffer.

Im Jahr 1670 erschien in Nürnberg ein Buch, das damals auf großes Interesse stieß. Auf nicht weniger als 1550 Seiten vermittelte der Autor seinen Lesern einen Einblick in Sitten und Gebräuche fremder Kulturen. Von Claus Priesner

Im Spiegel Europas

Der Titel des in typisch barocker Manier gestalteten Werks lautet: *Ausländischer Kunst- und Sitten-Spiegel. Neu polirter Geschicht-, Kunst- und Sitten-Spiegel ausländischer Völcker / fürnemlich Der Sineser / Japaner / Indostaner / Javaner / Malabren / Peguaner [...] und theils anderer Nationen mehr. Welcher in sechs Büchern sechserley Gestalten weiset. Nürnberg, in Verlegung Johnn Andreae Endters, 1670.* Erasmus Francisci – der Verfasser dieses ambitionierten Kompendiums – unternimmt auf kaum zu fassenden 1550 (!) Druckseiten in Folio den Versuch, seinen Lesern ein umfassendes Bild fremder Kulturen und Nationen zu vermitteln. Sein Werk ist aus heutiger Sicht vor allem aus zwei Gründen aufschlussreich: Einmal gibt es einen Einblick in das damalige europäische Wissen um die Sitten und Gebräuche außereuropäischer Kulturen und liefert eine Bewertung derselben, und zweitens ist Franciscis Werk auch ein »Kunst- und Sitten-Spiegel« der deutschen bzw. europäischen

Selbstwahrnehmung im 17. Jahrhundert. Das gesamte Opus ist in sechs Hauptkapitel oder »Bücher« unterteilt; das »Vier-te Buch« beschreibt »Heidnische Wissenschaften, Künste und Handwerke«. Dieser Teil soll uns hier beschäftigen, soweit er sich mit China auseinandersetzt.

Jurist, Hauslehrer, Autor

Erasmus Finx, wie der Autor eigentlich hieß, wurde 1627 in Lübeck geboren. Wie sein Vater, Franciscus von Finx, war er Jurist, bekleidete jedoch mehrere Jahre die Stelle eines Hofmeisters (Hauslehrers) bei der fränkischen Adelsfamilie von Wallenrodt. Dabei gelangte er auf einer Bildungsreise nach Italien, Frankreich und die Niederlande. Zu dieser Zeit änderte er seinen Namen von »Finx« in »Francisci«, nach dem Vornamen seines Vaters. Nach einem Unfall längere Zeit ans Bett gefesselt, begann

er 1657 im Auftrag der Nürnberger Verlagsbuchhandlung der Familie Endter mit dem Schreiben populärwissenschaftlicher Werke, die sich so gut verkauften, dass er beschloss, künftig als freiberuflicher Schriftsteller tätig zu werden.

Francisci starb 1694 in Nürnberg. Mit seinem breiten und durchaus fundierten Wissen wollte er eine allgemeingebildete Leserschaft erreichen und dieser in allgemeinverständlicher Form Kenntnisse über die Kultur, Politik, Landesbeschaffenheit und Geschichte anderer Länder und Völker vermitteln. Dies ist im Kern der Ansatz, der heute als »öffentliche Wissenschaft« (Open Science) bezeichnet wird. Die breite Rezeption der diversen Werke Franciscis macht ihn zu einem auch für die Bildungsgeschichte interessanten Autor, denn seine Schriften beeinflussten das Denken und die Vorstellungen der gebildeten Schichten in der Zeit des Barocks.



In der zweiten Hälfte des 17. Jahrhunderts war Erasmus Francisci ein vielgelesener Autor.

Die Alchemie in Orient und Okzident

Das Vierte Buch des *Kunst- und Sittenspiegels* umfasst 268 Druckseiten und 31 Kapitel. Das erste und mit 49 Druckseiten auch längste Kapitel dieses Teils ist der Alchemie gewidmet, die Francisci als »Gold-Kunst« bezeichnet. Einleitend findet er warnende Worte: »Des Goldes habhaft zu werden / vergiessen die Kriegsleute viel Bluts; die Gelehrten viel Dinte / die grossen Herren viel Geldes / sonderlich diejenige / so es durch den Stein der Weisen zu erwerben suchen / und auf die Gold-Kunst spendiren. Wiewohl Kaiser Maximilian ausdrücklich / anderen geringeren Fürsten vielleicht zur Warnung / sich verlauten lassen / er sey dieser Kunst zu arm.«

Die Alchemie sei umstritten, weil ihr nachzugehen viel Gold koste, anstatt es zu liefern, »und so mancher mit einem leeren Rauch bezahlt wird«. Viele Leute betrachteten die Alchemie entweder »als eine Betriegerin / die sich des Goldmachens fälschlich rühmet / oder / mit des bösen Geistes Hilfe / unterweilen etwas zuwege bringt«. Aber das ist nur die eine Seite, denn Francisci fährt fort: »Wider welche Verlästerung / ihr dennoch gleichwohl auch viel grundgelehrte Leute / und fürnehmlich hoch-erfahrene Schmelz-Künstler / oder Chymici / Schutz halten: gestaltsam ich beider Theile Meinungen in etwas durchlauffen will / zuvor aber etwas / von dem Ursprung und Alter der Alchymiae oder Gold-Kunst / anzeigen«.

Die westliche oder abendländische Alchemie ist eine hochkomplexe und dem heutigen wissenschaftlichen Denken weitgehend fremde Naturmetaphysik, bei der es sich im Wesentlichen um eine Methode handelt, das Wesen der Stoffe aus denen die Welt besteht, zu verstehen, und darauf aufbauend diese Stoffe – insbesondere die Metalle – umzuwandeln. Das Ziel war

letztlich der berühmt-berüchtigte Stein der Weisen, angestrebt wurde aber auch ein besseres Verständnis natürlicher und künstlicher Stoffumwandlungen. Die Alchemie ist als experimentelle Naturmetaphysik eine Art Protochemie, denn nicht wenige Grundlagen der heutigen Chemie gehen auf die Arbeiten von Alchemisten zurück. Die theoretische Basis der Alchemie ist u.a. die Elementenlehre des Aristoteles, von der ausgehend ein Konzept zur Erlangung des Steins der Weisen entwickelt wurde.

Wie stellt sich demgegenüber die chinesische Alchemie dar? Da Francisci natürlich nicht in der Lage war, chinesische Texte zur Alchemie zu lesen, gibt er die Auffassungen europäischer Chinakenner seiner Zeit wieder. Er stützt sich dabei vor-

nehmlich auf zwei Gewährsleute, die Jesuitenmissionare Nicolas Trigault, latinisiert Trigautius (1577–1628) und Martino Martini (1614–1661). Trigault berichtete, dass die Jesuiten von den Chinesen für große Alchemisten gehalten wurden und das Gerücht ging, »in Europa [seien] fürtreffliche Alchemisten anzutreffen / die das Quecksilber / durch Mittel eines Krauts / so den Europäern allein bekannt / in rechtes gutes Silber verwandeln können«. Ferner schrieb Trigault, dass die Chinesen »bey seiner Anwesenheit in Sina / eine gar starcke Einbildung gehabt / die Herren Patres Jesuitae hätten / auf das Silbermachen gründlichen Verstand«.

Die chinesische Alchemie ist untrennbar mit dem Daoismus (Taoismus) verbunden, einer Kombination von Philosophie und Religion, die von dem Philosophen Laozi (Laozi) formuliert wurde, der nach traditioneller Auffassung im 6. Jahrhundert v. u. Z. gelebt haben soll. Ähnlich wie im westlichen Denken, das bestrebt ist, alles Seiende auf ein Prinzip, einen Gott, einen Schöpfungsakt oder ein Fundamentalgesetz zurückzuführen, gilt nach chinesischer Auffassung das »Dao« als Ursprung und Prinzip des Universums. Zusammen mit dem Konfuzianismus und dem Buddhismus prägte der Daoismus die religiöse Kultur des Reiches der Mitte. Anders als das Christentum erhebt keine dieser Religionen oder existenzphilosophischen Lehren einen Anspruch auf alleinige Wahrheit. Während die Alchemie im Abendland immer wieder im Verdacht der Ketzerei stand, war sie in China Teil einer anerkannten religiös-philosophischen Lehre. Dies prägte nicht nur die innere Ausgestaltung der chinesischen Alchemie, sondern auch ihre Position innerhalb der Gesellschaft.

Die Fünf-Elemente-Lehre

Die abendländische Alchemie kennt vier Elemente, denen jeweils zwei »Qualitäten«, also Grundeigenschaften zugewiesen werden: Feuer (heiß und trocken), Wasser (kalt und feucht), Luft

(heiß und feucht) und Erde (kalt und trocken). Feuer und Wasser stehen in absolutem Gegensatz zueinander, da sie sich in zwei von vier »Qualitäten« unterscheiden, können aber – meist über die Zwischenstufen Erde oder Luft, ineinander übergehen. Diese von Aristoteles entwickelte Materiekonzeption prägte die Alchemie, aber auch generell die Naturvorstellung des Abendlandes, bis zum 17. Jahrhundert. Sämtliche Stoffe der Natur bestehen aus diesen vier Elementen, die sich nur in ihrem Mischungsverhältnis unterscheiden. Daraus folgt, dass auch die Metalle ineinander umwandelbar sein müssen. Auf dieser Annahme beruht die gesamte Alchemie und hier liegt auch der entscheidende Unterschied zur naturwissenschaftlichen Chemie.

Die chinesische Alchemie kennt fünf Elemente, nämlich Metall, Holz, Feuer, Wasser und Erde, die alle aus einer einzigen Grundsubstanz, dem »qi« hervorgehen. Die chinesischen Elemente bilden aber nicht, wie in der westlichen Alchemie, Grundeigenschaften der Materie ab, sondern symbolisieren Phasen eines zyklischen Geschehens. Das Wasser bildet den ruhenden Ausgangspunkt dieses, dem Jahreslauf folgenden Schemas, und ist zugleich wesentlicher Bestandteil jeder Dynamik; es entspricht dem Winter. Holz folgt als vorbereitende, expandierende Phase, und entspricht dem (Vor)frühling. Feuer bildet den Höhepunkt der eigentlichen Aktion; es steht für den Sommer. Erde steht für den Aspekt des Wandels, der im zyklischen Prozess Evolution bewirkt (etwa die Metamorphose hin zur Fruchtbildung) sowie den Spätsommer. Metall konzentriert und strukturiert die Aktion, dies gewährleistet die Wirkung der Aktion, entsprechend der Reifung im Herbst. Dem schließt sich wieder die Ruhephase (Wasser) an.

Neben diesem zyklischen Element- und Jahreszeitemsche-ma bestimmt eine weitere mit dem Konfuzianismus verbundene Auffassung den chinesischen Materiebegriff: Die Lehre des Yin und Yang. Dabei handelt es sich um eine systematische Symbolik von Seinszuständen, die im I Ging, dem *Buch der Wandlungen* durch Kombinationen von ungeteilten und geteilten Strichen dargestellt werden. Es zählt zu den frühesten Textzeugnissen der chinesischen Kultur und reicht in seinen Anfängen bis in die Zhou-Zeit im 1. Jahrtausend v. u. Z. zurück. Der ungeteilte Strich stellt das Yang dar; er symbolisiert das Männliche, den Tag, das Heiße, das Aktive und das Obere. Der geteilte Strich steht für das Yin und symbolisiert das Weibliche, das Passive, das Kalte, die Nacht und das Untere. Wichtig dabei ist, dass diese Gegensätze nicht im Sinne einer Wertung verstanden werden dürfen. Beide bedingen sich gegenseitig, sind wie zwei Seiten einer Münze. Je nachdem, wie viele Striche zu einem Symbol zusammengefasst werden, ergibt sich eine unterschiedliche Zahl möglicher Anordnungen, die sämtlich mit diversen Bedeutungen verbunden sind. Aus einer Kombination von jeweils zwei Strichen (Digramme) lassen sich vier Elemente darstellen, nämlich Erde, Wasser, Luft und Feuer; zwei durchgehende Striche stehen für die Luft, zwei geteilte für die Erde, die Kombination von durchbrochen unten und ungeteilt oben für Wasser und die umgekehrte Anordnung für das Feuer. Die gegensätzlichen Prinzipien von Oben und Unten, Positiv und

Negativ, schwarz und weiß sind niemals absolut, sondern enthalten auch immer ihr Gegenteil als Potential und verwandeln sich kontinuierlich.

Auf der Suche nach der Unsterblichkeit

Man erkennt unschwer, dass sowohl die fünf Elemente des Dao wie die vier bzw. acht Trigramme des I Ging ein ganz anderes Materieverständnis abbilden als die Elemente der westlichen Alchemie. Deren Grundgedanke besteht in der Vereinigung gegensätzlicher Elemente zu einem Ganzen, in dem sämtliche Eigenschaften perfekt aufeinander abgestimmt sind. Dies ist das Gold bzw. der legendäre Stein der Weisen. Auch in der chinesischen Alchemie ist die Vereinigung der Gegensätze zentral, jedoch im Sinne einer Transzendierung derselben zurück zu einem ursprünglichen Zustand der Einheit, der dem Beginn von Formen und Substanz und sogar der Zeit vorausgeht.

Anders als die westliche sei die chinesische Alchemie in erster Linie der Suche nach dem Elixier der Unsterblichkeit gewidmet, stellt Francisci zurecht fest. Die Alchemie sei bei den Chinesen von etlichen uralten Gelehrten, die sie unter die Heiligen zählen, erfunden und hernach der Nachwelt »von Hand zu Hand mitgeteilt« worden. Die Suche nach dem Lebenselixier habe, so Francisci, hohe und höchste Kreise der Gesellschaft erfasst. Francisci nennt zwei Kaiser als Beispiele: Uenius und Hiaouus. Es ist nicht einfach, diese von Francisci latinisierten chinesischen Namen tatsächlichen Herrschern zuzuordnen, zumal Francisci keine Angaben zu deren Regierungszeit macht. Ersterer ist vermutlich identisch mit dem mythischen »Gelben Kaiser« Xuan Yuan Huang Di. Einige Legenden besagen, dass er nach Einnahme eines alchemischen Elixiers die Unsterblichkeit erlangte und in den Himmel auffuhr. Mit »Hiaouus« ist wahrscheinlich Kaiser Xiao Wu Huangdi (reg. 141–87 v. u. Z.) gemeint. Zusammen mit seinem Hofalchemisten Li Shaojun führte er um 133 v. u. Z. die ersten aufgezeichneten alchemischen Experimente durch (Umwandlung von Zinnober in Gold). Wegen dieser Versuche sind beide in der chinesischen Literatur und Geschichte berühmt-berüchtigt.

Von Francisci nicht erwähnt, aber ebenfalls mit der chinesischen Alchemie verbunden ist der »erste erhabene Gottkaiser von Qin« Qin Shi Huang Di (259–210 v. u. Z.). Er vereinte ganz China unter seinem Zepter und gilt als Erbauer der ersten Großen Mauer. Die Landesbezeichnung »China« geht auf seine Herrschaft zurück. Im Jahr 219 hörte der Kaiser von sagenhaften »Inseln der Unsterblichkeit« und rüstete mit gewaltigem Aufwand eine Forschungsexpedition aus, die diese Inseln finden und ihm das ersehnte Elixier der Unsterblichkeit bringen sollte. Bezeichnenderweise kehrte die 3000 Personen (!) starke Expeditionstruppe nie zurück: Die Teilnehmer fürchteten wohl mit Recht um ihr Leben, wenn sie ohne Lebenselixier heimkämen. Was aus der Expedition geworden ist, ist unbekannt. Die Ansicht, sie habe das Kaiserreich Japan gegründet, ist nicht belegbar.

Ob der Kaiser auch Alchemisten beschäftigte, die ihm auf seiner Suche nach dem Elixier halfen, ist nicht bekannt. Jedenfalls

versuchte er, sein Ziel mit der Einnahme von Quecksilberpräparaten zu erreichen, was sein Ableben eher beschleunigte. Seit 214 zeigten sich bei ihm die Symptome einer chronischen Quecksilbervergiftung. Der Historiker Sima Qian (145–90 v. u. Z.), berichtet in seiner Chronik des chinesischen Reiches, dass der Kaiser in einer prächtigen Grabkammer bestattet worden sei, in welcher ein Fluss aus Quecksilber geflossen sei. Ob das stimmt ist unbekannt, denn die Grabkammer des Kaisers wurde bis heute nicht geöffnet. Lediglich die sein Grab bewachende Armee von Terrakottakriegern wurde seit 1974 teilweise ausgegraben.

Die chinesische Astrologie

Wie in Europa waren auch im alten China Astrologie und Astronomie untrennbar verbunden. Im 14. Kapitel des Vierten Buches behandelt Francisci »Die Stern-Kündigung«. Im Unterschied zur abendländischen Astrologie beobachtete man im alten China vorwiegend die Sonne und den Mond, die Wandelsterne spielten eine untergeordnete Rolle. In China wurden daher auch keine »klassischen« Horoskope berechnet, sondern im Rahmen eines komplexen Systems von gegenseitigen Bezügen der Himmel und die Erde, der Mensch und die Natur, die fünf Elemente und die Orakelzeichen des I Ging miteinander in Beziehung gesetzt. Der Leitgedanke bei alldem ist die Ermittlung von Harmonien bzw. Disharmonien im kosmischen Geschehen wie im Staat und im Einzelmensch. Nach der chinesischen Überlieferung soll der schon erwähnte mythische »Gelbe Kaiser« Xuan Yuan Huangdi auch die Astrologie bzw. Astronomie erfunden haben.

Wie schon in der Alchemie bildet auch in der Astrologie der Taoismus die philosophisch-religiöse Grundlage. Francisci macht hierzu erstaunlich detaillierte Angaben. Er berichtet, »daß die Sineser fabuliren / der erste Mensch / Namens Puoncuus / sey aus einem Chaos, welches ein Ey gewesen / erboren«. Der erwähnte »Puoncuus« dürfte »Pangu«, das chinesische Gegenstück zu Adam sein. Aus dem nichtdualen, eigenschaftslosen und formlosen Urzustand, dem »Chaos«, entstand ein Weltenei in dem das Urwesen Pangu war. In Pangu waren Yin und Yang noch vereint. Dann zerbrach Pangu das Ei in zwei Hälften und Eiweiß und Eidotter flossen heraus, Yin und Yang wurden getrennt. Aus dem Eiweiß wurden der Himmel und die Wolken (Yang), aus dem Eidotter entstand die Erde (Yin).

Im Jahr 1900 wurden nahe der Seidenstraßenstadt Dunhuang an der Nordwestgrenze Chinas zahlreiche Höhlen entdeckt, in denen sich Tausende von Schriftrollen aus dem 4. bis 11. Jahrhundert u. Z. fanden. Eine davon entpuppte sich als die älteste erhaltene Sternkarte der Welt. Auf einer 25 Zentimeter breiten und 210 Zentimeter langen Rolle aus feinstem Papier sind mehr als 3000 Sterne verzeichnet, die in 257 mit Namen versehene Sternbilder gruppiert sind.

Der von China aus sichtbare Himmel ist damit vollständig erfasst, unterteilt in 12 äquatoriale Tafeln. Die wissenschaftliche Auswertung der auf 700 u. Z.

datierten Rolle ergab, dass die Positionen der hellsten Sterne überraschend genau, nämlich mit einem Fehler von nur wenigen Winkelgraden, erfasst sind. Ähnliche genau waren erst die Sternkarten der Frühen Neuzeit in Europa, etwa von Gerhard Mercator (1512–1594).

Anders stellt sich das Bild für Francisci dar. Gestützt auf die Angaben des berühmten Universalgelehrten Athanasius Kircher (1602–1680) – auch er ein Mitglied des Jesuitenordens – in dessen »China Illustrata« von 1667, bestätigt er zwar das hohe Alter der chinesischen Astrologie/Astronomie monierte aber deren mangelnde Genauigkeit: »Aber wie uralt solche Wissenschaft der Sineser auch seyn mag: so ist sie doch / bey ihnen / sehr unvollkommen. [Daher] verwundert sich billig [zurecht] Herr Kircherus / über ihren wenigen Verstand [gemeint: geringe Kenntnis] in dieser Wissenschaft.«

Die chinesischen Sterndeuter hätten eine einzige Hauptaufgabe, »den Lauf der Sonnen und des Monden / wie auch derer Finsternissen / sorgfältig auszurechnen / den Neumond / und andere Mond-Aspecten / ganz genau aufzuzeichnen« und ihre Beobachtungen »durchs ganze Reich auszubreiten«. Die Planetenbeobachtung spiele dagegen kaum eine Rolle und die Chinesen glaubten, so Kircher, »alle Gestirne / in welchem Himmels-Kreise selbige auch sein mögen / sitzen in gleicher Weite von dem Erdboden. Welches / seines Erachtens / eine recht grobe und kindische Unwissenheit ist«.

Die Berechnung der Finsternisse

In der Tat verfügten die chinesischen Gelehrten über keine Methode, die Sonnen- und Mondfinsternisse exakt zu berechnen und konnten auch keinen präzisen Kalender erstellen. Beides war aber für die Stabilität der jeweiligen kaiserlichen Regierung von hoher Wichtigkeit. Der chinesische Kaiser trug den Titel »Sohn des Himmels«, wodurch seine Stellung als Vermittler zwischen der irdischen und der himmlischen Sphäre ausgedrückt wurde. Als solcher war der Kaiser für die Aufrechterhaltung der Harmonie zwischen Himmel und Erde bzw. zwischen Volk und Kaiser verantwortlich. Dieses »Mandat des Himmels« wurde angezweifelt, wenn der Kaiser so einschneidende Himmelsereignisse wie Sonnen- oder Mondfinsternisse nicht korrekt vorhersagen konnte. Dies ist der Grund, weshalb einige Jesuitenmissionare im 16. Jahrhundert ungemein viel Einfluss am Kaiserhof zu Peking erlangten. Der erste dieser gelehrten Gottesverkünder war Matteo Ricci (1522–1610).

Nach einem Jurastudium, trat er 1571 in den Jesuitenorden ein und studierte Theologie am Collegio Romano, wo der bekannte Astronom und Mathematiker Christoph Clavius (1538–1612) sein Lehrer war. 1577 verließ Ricci Rom und gelangte fünf Jahre später über Goa nach Macao, und 1601 schließlich nach Beijing (Peking), wo er bis zu seinem Tod blieb. Mit ihm begann die katholische Chinamission. Ricci passte sich den Landessitten an, sprach perfekt chinesisch und machte sich nicht zuletzt durch seine mathematisch-astronomischen Kenntnisse einen Namen unter chinesischen Gelehrten. Er übersetzte ver-

kürzte Versionen der Werke seines Lehrers Clavius, insbesondere dessen Kommentar zu den sechs Büchern der »Elemente« von Euklid, das er 1607 veröffentlichte. Eine weitere bedeutende Leistung Riccis ist seine Weltkarte die 1584 und erneut 1600 in Nanjing (Nanking) erschien. Die Karte besteht aus sechs auf Reispapier aufgetragenen Holzschnittdrucken und ist vier Meter lang und zwei Meter hoch. Afrika, Europa, Amerika und China sind im korrekten Größenverhältnis dargestellt. In der zweiten Version setzte Ricci – im bewussten Gegensatz zur eurozentrischen, abendländischen Kartografie – das chinesische Reich in die Mitte seiner Karte, um dem Kaiser die Größe seines Reiches, aber auch seine Lage im Verhältnis zur übrigen Welt klarer vor Augen führen zu können.

Für die Geschichte der chinesischen Astronomie noch bedeutender als Matteo Ricci war einer seiner Nachfolger und Ordensbrüder, Adam Schall von Bell (1592–1666). Er studierte seit 1607 am Collegium Germanicum in Rom Astronomie und Mathematik. 1611 trat er in den Jesuitenorden ein, studierte Theologie, setzte aber auch seine mathematisch-astronomischen Studien fort. Mit der von dem schon mehrfach genannten Jesuiten Nicolas Trigault geleiteten Mission reiste Schall nach Macao, wo er sich von 1619 bis 1623 aufhielt und die chinesische Sprache erlernte. Dann durften Trigault und seine Begleiter nach Beijing weiterreisen. Dort führte er die von seinem Ordensbruder Johannes Schreck (1576–1630) begonnene, aber durch dessen Tod unterbrochene Arbeit an der Reform des chinesischen Kalenders fort. Er war dabei so erfolgreich, dass er 1644 zum Mandarin V. Klasse und zum Leiter des Kaiserlichen Astronomischen Amtes ernannt wurde. Mit seiner Ernennung zum Mandarin I. Klasse im Jahr 1658 zählte Schall zu den einflussreichsten Männern am Kaiserhof. Nach dem Tod des Kaisers Kaisers Shunzi (1638–1661, reg. seit 1644) wurde Schall Opfer einer Hofintrige und wurde des Hochverrats, Verkündung einer falschen Religion und falscher astronomischer Lehren angeklagt. Er wurde zur grausamsten aller Todesstrafen, dem Zerstückeln, verurteilt. Kurz vor der Vollstreckung ereignete sich in Beijing ein Erdbeben, das als göttliches Zeichen und Beweis von Schalls Unschuld gewertet wurde. Nach mehrjähriger Gefangenschaft wurde Schall im Mai 1665 von Kaiser Kangxi (1654–1722, reg. seit 1661) begnadigt und aus der Haft entlassen; er starb am 15. August 1666 im Alter von 74 Jahren. Kaiser Kangxi rehabilitierte Schall und ließ ihm persönlich einen noch heute vorhandenen prächtigen Grabstein setzen.



Der Jesuit Adam Schall gehörte ab 1644 zu den einflussreichsten Männern am Hof des chinesischen Kaisers.

Die außerordentliche Wichtigkeit der Finsternis-Prognosen für das jeweilige Herrscherhaus unterstreicht Francisci mit folgenden Worten: »Sobald dem Kaiser von den Sternkündigern / eine obhandene [gemeint: bevorstehende] Finsternis angemeldet worden [ist]; schickt er zur Stunde seine Posten und Läufer aus / um allen Reichs-Städten den Tag und die Stunde anzudeuten. Worauf denn die Befehlshaber / Beamten / und Bürger / allenthalben sorgfältig der angezeigten Stunde erwarten / und mit ihren Trummeln / und messing- oder kupffernen Becken sich gefasst halten / die Gefahren von den verfinsterten Planeten abzuwenden.«

Diese Maßnahmen dienten dem Schutz von Sonne und Mond, die man in Gefahr sah, von dämonischen Wesen gefressen zu werden. Der Kaiser, als Sohn des Himmels,

und das Volk, als integraler Teil der metaphysisch-spirituellen Einheit von Herrscher und Volk, agierten gemeinsam zur Aufrechterhaltung der kosmischen Harmonie. Wurde eine Finsternis nicht korrekt und frühzeitig genug vorhergesagt, bedeutete das eine massive Störung der kosmischen Ordnung und trennte das Volk vom Kaiser, was zu dessen Sturz führen konnte. Die Tatsache, dass die jesuitischen Missionare – im Gegensatz zu ihren Konkurrenten aus anderen Orden – astronomische Kenntnisse besaßen, die jene der chinesischen Sterndeuter deutlich übertrafen, machte sie für die chinesischen Herrscher sehr wichtig; das, und nicht die Attraktivität des Christentums oder eine generelle Wertschätzung abendländischer Kultur, erklärt den ungewöhnlichen Einfluss, den etwa Adam Schall von Bell erlangte.

Die Medizin

Bei Francisci ist eine generell eher kritische Einstellung gegenüber der Zunft der Mediziner erkennbar. Da es überall auf der Welt Krankheiten gebe, so Francisci, gebe es auch überall Ärzte. Diese unterschieden sich aber in ihren Fähigkeiten ebenso wie in ihren Therapien: »Sintemal etliche Ärzte / aus gründlicher Wissenschaft und Erfahrung / etliche aber / und zwar die meisten / aus bloßer Muthmaßung / manche auch wohl aus einem puren lauterem Wahn / kurieren. Etliche behelfen sich lieber mit Simplicibus oder einfältigen Artzeneyen / etliche mit den Compositis oder gemischten; etliche und zwar die geschicktesten / mit ausgezogenen Geistern / und mit der fünfften Wesenheit der Kräuter / Gewächsen und Mineralien. Manche mit allerhand aberglaubischen Dingen / dabey weder Vernunft noch

Gottesfurcht stattfinden. Nicht wenige / gar mit zauberischen Mitteln. Welche letzte doch gleichwohl des Namens redlicher Ärzte nicht werth / sondern vielmehr ein Aussatz derselben sind / und nur im weitläufftigen Verstande / als verkehrte und gottlose Ärtzte / so den Geist töten / indem sie den Leib unterweilen [manchmal] kurieren / den Ärzten beygezehlet werden mögen.«

Diese Einschätzung dürfte sich mit der Ansicht der meisten von Franciscis Zeitgenossen decken, zumindest hinsichtlich der unterschiedlichen Fähigkeiten der Ärzte und ihrer Heilmethoden. Ob dies auch für seine rigide Kritik an »zauberischen Mitteln« gilt, ist dagegen fraglich. Viele häufig angewandte volksmedizinische Therapien waren mehr oder minder magisch, etwa bei der Behandlung von Impotenz oder der Behandlung erkrankten Stallviehs. Hier wurde oft die ohnehin recht unscharfe Grenze zur Beschwörungsmagie (Voodoo) überschritten.

Unter Berufung auf seinen Gewährsmann Trigault erklärt Francisci, in China gebe es keine »öffentliche oder allgemeine Schule [gibt], in der man die Arzeney-Kunst lehret, sondern jedweder wird daheim von jeglichem Meister unterwiesen«. An den Universitäten von Peking und Nanking werde der medizinische Doktorgrad zwar nach einem vorherigen Examen vergeben, aber »nur beyläufig und fast einem jeglichen ohne Unterscheid«. Jedermann könne sich als Arzt betätigen, »weil das Curiren der Krancken niemand verborgen [gemeint: verboten] wird / ungeachtet er darin erfahren oder unerfahren sey«. Aus diesen Gründen sei das Ansehen der Ärzteschaft gering. Zur Zeit Franciscis gab es in Deutschland durchaus eine festgelegte Ärzteordnung, die bestimmte, wer sich als »Medicus« bezeichnen durfte. Daneben gab es aber zahlreiche Bader, Wundärzte und Quacksalber sowie heilkundige Frauen und Männer, deren Fähigkeiten nicht oder nur mangelhaft geprüft wurden. Zu ihnen hatte die Bevölkerung, die sich oft einen »richtigen« Arzt ohnehin nicht leisten konnte, meist mehr Vertrauen als zu approbierten Medizinerinnen. In China dürfte es ähnlich gewesen sein.

Pulsdiagnose und Kräuterwissen

Die Ursprünge der chinesischen Heilkunde verortet Francisci bei dem »uralten Kaiser Xinnungi«, bei dem es sich um den mythischen »Urkaiser« Shennong handelt. Dieser soll vor etwa 5000 Jahren gelebt haben und den Chinesen die Kenntnis der Heilpflanzen und des Tees gebracht haben. Er zählt zu den Drei Erhabenen, die den (ebenfalls mythischen) Fünf Kaisern vorhergingen.

Die chinesische Medizin beruht(e) auf einer völlig anderen philosophischen Grundlage, als die zu Franciscis Zeiten in Europa überwiegend anerkannte, auf der »Vier-Säfte-Lehre« beruhende Medizin. Trigault stellte aber anerkennend fest, dass die Chinesen »in der Kur nicht unglücklich« seien, obwohl sich die Regeln der chinesischen Heilkunde von »den unsrigen nicht wenig unterscheiden«. In China würden, anders als bei den abendländischen Medizinerinnen, hauptsächlich »Simplicia / oder einfache Artzneyen / als Kräuter / Wurtzeln und dergleichen

Gewächse« verwendet. Mit dieser Beobachtung lag Trigault durchaus richtig, wenn man auch ergänzen muss, dass die chinesischen Verschreibungen häufig mehrere solche Kräuter und Wurzeln in wechselnden Mischungsverhältnissen enthalten.

In der galenisch geprägten westlichen Medizin spielte der Aderlass eine zentrale Rolle, da viele Krankheiten auf einen Überschuss des Blutes im Körper zurückgeführt wurden. Die Anhänger von Paracelsus sahen den Aderlass dagegen kritisch, weil sie eine gänzlich andere Krankheitslehre hatten, die mit der Funktion des »Inneren Alchemisten« verbunden war. Nach Martino Martini hielten auch die Chinesen den Aderlass »für einen großen Unverstand«. Sie zogen es vor, »durch Fasten und andere Erkühlungen / das Blut zu gebühlichem Temperament zu bringen«.

In der Pulsdiagnose seien die Chinesen den Europäern weit voraus, wie Francisci konstatiert. Er beschreibt diese für die chinesische Medizin hochwichtige Methode näher: »In jedweder Hand / nehmen sie ein sechsfaches unterschiedenes Schlagen des Puls wahr / nemlich drey fürnehme / und drey geringere Bewegungen / so allesamt mit gewissen Theilen des Leibes / verborgene Gemeinschaft haben. Denn das erste Schlagen / sagen sie / gehöre zum Hertzen / das andere zur Leber / das dritte zum Magen / das vierdte zum Miltz / das fünfte zu den Nieren / und so fortan. Die Erforschung der Pulsader an den Krancken währet beyneha eine halbe Stunde / welches in grosser Stille von einem jeglichen / wiewohl nicht ohne des Krancken Beschwerde und Verdruß / zugeht.«

Die Zuordnung gewisser Pulsformen zu Organen entspricht der in der abendländischen Medizin üblichen Verknüpfung von Tierkreiszeichen mit Organen, die beim Aderlass berücksichtigt wurden (Aderlassmann). Während diese keinerlei medizinisch relevanten Wert besitzt, ist die chinesische Pulsdiagnose sehr wohl medizinisch sinnvoll und aussagekräftig. Ein mit der chinesischen Medizin untrennbar verbundener Bereich ist die Behandlung von Krankheiten durch Akupunktur bzw. Moxibustion. Die ersten Hinweise auf diese Heilmethode finden sich in der Han-Zeit von rund 2000 Jahren. Etwas auch nur ansatzweise Vergleichbares hat es in der abendländischen Medizin nie gegeben. Seltsamerweise erwähnen Francisci bzw. die von ihm verwendeten Quellen die Akupunktur nur am Rande.

Franciscis *Kunst- und Sittenspiegel* aus heutiger Sicht

Die hier behandelten Aspekte vermitteln bei weitem kein Gesamtbild von Franciscis *Kunst- und Sitten-Spiegel*. Ich habe mich auf China und die Bereiche Alchemie, Astrologie/Astronomie und Medizin konzentriert. Die übrigen Länder bzw. Erdteile bleiben ebenso außer Betracht wie das weite Spektrum der anderen Themenfelder, die eingangs genannt wurden. Aber auch der hier behandelte kleine Ausschnitt erlaubt eine kulturhistorische Einordnung. Francisci bediente sich wichtiger zeitgenössischer Quellen, wertete diese aus und kommentierte sie. Seine Haltung zu den fremden Kulturen ist dabei von relativer Offen-

heit bestimmt. Fremde Kulturen erscheinen zwar exotisch, aber nicht minderwertig. Mit seiner Diskussion der »Gold-Kunst« leistete Francisci einen für die damalige Zeit ebenso ungewöhnlichen wie eigenständigen Beitrag zum Verständnis der völlig anders gearteten chinesischen Alchemie. Vergleichbares ist mir von keinem anderen Autor bekannt. Francisci trug damit zum interkulturellen Verständnis bei, indem er eine auf den ersten Blick in beiden Kulturkreisen bekannte und verbreitete Form der Naturphilosophie bzw. Naturmetaphysik – die Alchemie – in ihrer kulturell und historisch bedingten Unterschiedlichkeit relativ sachkundig charakterisierte und sich dabei mit Werturteilen zurückhielt. In keiner Weise wird die chinesische Alchemie gegenüber der westlichen Variante abgewertet, vielmehr werden beide kritisch beleuchtet, wobei sich Francisci ausdrücklich um Ausgewogenheit bemüht.

Ganz ähnlich stellt sich das Bild im Bereich Astrologie/Astrologie dar. Die unterschiedlichen Motive und Zielsetzungen bei der Gestirnsbeobachtung werden ebenso deutlich wie die entscheidende Rolle, die der Daoismus bzw. der Konfuzianismus sowohl bei der Alchemie wie der Astrologie spielte. Wesentliche Merkmale beider Denkschulen, wie das *Buch der Wandlungen* werden in zeitgemäßem Rahmen korrekt dargestellt. Im Gebiet der Heilkunde bestimmten ebenfalls signifikante Unterschiede das Bild. In der Medikationspraxis wie in der Therapie folgten die chinesischen und die europäischen Ärzte stark differierenden Konzepten, die im Falle Chinas wiederum von daoistischem Denken bestimmt waren. Zumindest implizit erkennt Francisci die Überlegenheit der chinesischen Methoden an, besonders, was den Aderlass betrifft. Auch die Betonung diätetischer Kuren in der chinesischen Medizin wird deutlich.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass Francisci auf der Höhe seiner Zeit war, hochgebildet, sehr belesen, und dass er es verstand, viele Einzelthemen synoptisch zusammenzuführen. Damit hat Francisci sein Hauptziel erreicht: Er wollte seiner Leserschaft ein Gesamtbild der Welt außerhalb Europas vermitteln. Francisci zählte zu seiner Zeit zu den meistgelesenen deutschen Schriftstellern und beeinflusste mit seinen Werken Gelehrte und Dichter. Dass er sich dabei wahrhaft als Enzyklopädist betätigte, beweist der Umfang seiner Werke, von denen der *Kunst- und Sitten-Spiegel* nur eines ist. Diese Darstellung soll dazu beitragen, Erasmus Francisci zumindest ein wenig aus der Vergessenheit zurückzuholen und ihm einen angemessenen Platz in der deutschen und europäischen Kulturgeschichte zuweisen. ■



Prof. Dr. Claus Priesner

lehrt als Wissenschaftshistoriker an der Ludwig-Maximilians-Universität in München. Seine Interessen gelten der Geschichte der Chemie und Alchemie, des Berg- und Hüttenwesens und der Geschichte der Drogen.

Erfolgreich durch das Corona-Jahr

Die Corona-Krise war und ist eine große Herausforderung für das Deutsche Museum und den Freundes- und Förderkreis. Doch überraschenderweise geht der Freundeskreis sogar noch gestärkt aus der Krise hervor und zwar mit über 20 neuen Mitgliedern.

Von Monika Czernin

Als das Deutsche Museum am 14. März 2020 aufgrund der Corona-Krise seine Tore schließen musste, stellten wir vom Vorstand des Freundeskreises uns die Frage, wie wir in dieser schwierigen Zeit dem Museum weiter helfen, unseren Mitgliedern gerecht werden und wie wir und das Museum trotz monatelanger Schließungen, gestrichener Events, ohne Reisen für unsere Mitglieder sichtbar bleiben können?

Die Antwort kam nahezu postwendend aus dem Museum selbst, und zwar durch den ersten Antrag zur Unterstützung digitaler Rundgänge für den YouTube Kanal des Deutschen Museums (Treffpunkt Führung). Presseleiter Gerrit Faust und Social Media Koordinatorin Sabine Pelgier hatten sofort erkannt, dass, »wenn die Menschen nicht ins Museum können, das Museum zu ihnen kommen muss«. Daraus entwickelte sich eine Erfolgsstory, an der der Freundeskreis einen wichtigen Anteil hat. So haben wir eigene Filme mit den Kuratoren und Mitgliedern des Freundeskreises gedreht, mit unseren Junioren die Serie M*Log für das jüngere Publikum aufgelegt, online Vorträge organisiert und eine Praktikantin für die nunmehr stark angewachsene und vor Arbeit schier untergehende Social-media-Abteilung des Museums gesponsert. Und wir alle haben dabei auch noch die Erfahrung gemacht, wie wichtig digitale Auftritte für das Museum auch in Zukunft sein werden, weil sie ein Publikum erschließen, dass nicht ins Museum kommen kann – ob aus Zeitgründen oder geographischer Dislozierung. »Dass der Freundeskreis online Vorträge anbietet, finde ich sehr gut«, sagt denn auch gleich Neumitglied Kerstin Joos, die in der Rechtsabteilung der Firma Kuka arbeitet, ein MBA macht und auch noch siebenjährige Zwillinge zu betreuen hat. »So kann ich teilnehmen und tute dies auch, wann immer es geht.«

Der Freundeskreis hat in Zeiten von Corona, das können wir schon heute sagen, nicht gelitten. Im Gegenteil. Insgesamt konnten wir über 20 neue Mitglieder gewinnen, so dass wir nun 441 Mitglieder zählen. Prominentester Neuzuwachs ist Georg Bednorz, Physiknobelpreisträger von 1987, langjähriges

Es denkt nicht!

Rudolf Seising: Die vergessenen Geschichten der KI. Von Daniel Schnorbusch

Rudolf Seising, promovierter Mathematiker, Physiker und Philosoph, habilitierter Historiker der Naturwissenschaften und leitender Mitarbeiter am Forschungsinstitut des Deutschen Museums hat ein kleines Büchlein von 150 Seiten geschrieben, das den Rezensenten beeindruckte, noch ehe dieser auch nur eine Zeile daraus gelesen hatte: Ein fester, dunkelblauer Karton in Leinenstruktur als Umschlag und hineingeprägt der Name des Autors und des Titels in silbernen und orangenen Lettern in fester Breite und fester Höhe, eine Art Computerschrift von schlichter Schönheit, sieben mal acht Zeichen im rechteckigen Raster gesetzt. Dann eine silbern glänzende Scheibe von fast acht Zentimetern Durchmesser und darunter, quasi als Erklärung für diese noble Gestaltung, der Schriftzug der Büchergilde Gutenberg, ein Ausnahmeverlag unter den Verlagen, zumindest in gestalterischer und typographischer Hinsicht. Jedes Buch ein kleines bibliophiles Kunstwerk. Wie schön! dachte der Rezensent und könnten Bücher nicht immer so sorgfältig und auf ihr Thema bezogen gestaltet sein? »Es denkt nicht! Die vergessenen Geschichten der KI«, lautet der Titel. Der Autor berichtet davon, wie sich im Laufe der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts zunächst getrennte Forschungsinteressen und -projekte schrittweise zu einem gemeinsamen Forschungsbereich verbanden, der seit den 1950er Jahren Künstliche Intelligenz genannt wird und der – nachdem ein halbes Jahrhundert lang ein doch nur kleines Fähnlein von Experten damit befasst war – nun in Forschung, Technik und Wirtschaft zu dem Thema überhaupt wurde. Allein, Seising's Buch beschäftigt sich nicht mit jener sogenannten künstlichen Intelligenz, die angeblich jetzt schon die eine oder andere Kaffeemaschine oder den ein oder anderen Staubsauger steuert, sondern mit der Vorgeschichte dieses Begriffs bis hin zu seiner heutigen Interpretation. Überhaupt geht es in dem Buch ganz wesentlich um Begriffe, die in der Geschichte der Künstlichen Intelligenz eine Rolle spielten, um ihren Inhalt und wie dieser sich gewandelt hat im Laufe der Jahre. Wir erfahren Namen von Wissenschaftlern, die wir noch nie gehört haben, von Kooperationen, von denen wir nichts wussten, von Tüfteleien, die alle irgendwie in das, was heute KI genannt wird, miteinfließen. Dabei ist der Autor nicht wenig mutig, wenn er schreibt, dass er mit diesem Buch zeigen werde, dass Intelligenz nicht technisch übertragen werden kann und dass technische Systeme nicht in dem Sinne wie wir Menschen intelligent sein können. Zeigt er



das wirklich? Es wird im ersten großen Kapitel von dreien, das der Informationsübertragung gewidmet ist, auf jeden Fall deutlich, dass die Wurzeln der KI unter anderem in der Nachrichtentechnik liegen und dass dort zunächst in verblüffend naiver Weise die Rede von Intelligenzübertragung die Rede war, obwohl doch zunächst nur auf telegraphische Weise Zeichengestalten übermittelt wurden. Der Unterschied zwischen Zeichengestalt und Zeichenbedeutung, zwischen Syntax und Semantik, war offenbar unbekannt oder wurde ignoriert. Seising zeigt sehr klar, wie der Begriff der Intelligenz dann zunächst von dem der Information abgelöst wurde, um schließlich 1956 auf der berühmten Dartmouth-Konferenz mit an-

derem Inhalt wieder zu neuen Ehren zu kommen. Das verdankt sich unter anderem auch einem ganz anderen Forschungsgebiet, mit dem sich das zweite Kapitel befasst und das ebenfalls einen historischen Strang der KI bildet, die Hirnforschung und Neurophysiologie. Tatsächlich waren die Nervenzellen und ihre Verbindungen erst 1894 von dem Spanier Santiago Ramon y Cajal entdeckt und mit einem Verfahren des Italieners Camillo Golgi sichtbar gemacht worden, wofür sie beide 1906 mit dem Nobelpreis für Medizin ausgezeichnet wurden. Das spätere Ergebnis dieser Entdeckung: der Computer als eine Art Gehirn, das Gehirn als eine Art Computer. Seising durchleuchtet die allseits beliebte und zugleich so simplifizierende Computermetaphorik, geht den technischen Fortschritten wie der Mustererkennung ebenso nach wie den geistesgeschichtlichen Paradigmen des Behaviorismus und Kognitivismus. Die Maschine, das ist Seising am Ende doch eine Gewissheit, ist aller Metaphorik und aller Turingtests zum Trotz, ein Wesen ohne Geist. »Es denkt nicht!« lautet der Titel dieses Buches und ist zugleich sein beruhigendes Fazit. Dieses Es, dieses geschlechtslose Neutrum, es ist und bleibt ein künstlicher Gegenstand. Und seine Intelligenz, die bleibt daher auch nur eine künstliche, eine, die wir hergestellt haben und die der unseren eben nicht gleicht. Wir sind, den Göttern sei Dank, nicht Prometheus, sondern bestenfalls ganz gute Ingenieure. Wie beruhigend, möchte man sagen und wünscht diesem in vielen Hinsichten schönen und erhellenden Buch eine zahlreiche Leserschaft. ■

Rudolf Seising, *Es denkt nicht!* Büchergilde Gutenberg, Frankfurt am Main 2021, ISBN: 9783763272341; 18,00 Euro

Es darf gelacht werden!

Wissenschaft könnte und sollte sich trauen, auch mal witzig zu sein. Von Sabrina Landes

Mein Ehemann, Bauingenieur, erzählt gelegentlich eine Anekdote aus seinem Studium: Der Professor für Statik pflegte seine ganz und gar humorlosen Vorlesungen gerne mit dem Ausspruch zu beginnen: »Genug gelacht!« Erheiterung versprach in diesen schweren Stunden glücklicherweise der Hausmeister, der zwischendurch die Tafel zu säubern hatte, während der Professor ungerührt mit seiner Rede fortfuhr. Hinter dessen Rücken sorgte der Hausmeister durch allerlei Faxen für befreiende Lacher, quasi als kleine Erfrischungsdusche für die Gehirnzellen.

Einige Jahrzehnte (!) später hat sich kaum etwas geändert. Die Wissenschaft hat den Ernst für sich gepachtet. Spaßvögel gelten hier allenfalls als sonderbare Exoten. Höchste Zeit also, dass ein grundsätzliches Werk endlich eine Lanze für die Bedeutung des Humors in der Wissenschaft bricht. Marc-Denis Weitze, Wolfgang Chr. Goede und Wolfgang M. Heckl haben keine Zeit, Überredungskünste und Mühen gescheut, um sachkundige Autorinnen und Autoren zu gewinnen: Neben Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern zeigen Frauen und Männer aus der Praxis, wie Humor geht: Thomas Fraps, Eckart von Hirschhausen, Jean Pütz, Martin Puntigam, Helmut Schleich oder Helena Gonzalez Buron mit Oriel Marimom Garrido sorgen für das Zwischendurch-Zwerchfeltraining bei der Lektüre des Buches.

Es darf also gelacht – und nebenbei, so der ausdrückliche Wunsch der Herausgeber – auch gelernt werden. Ziel des Buches ist es nämlich, endlich echtes Wissenschaftskabarett in Deutschland zu etablieren. »Wie die Politik müssen auch Wissenschaft, Forschung und Technologie sich einer satirischen Kritik stellen bzw. ausgesetzt werden...«, schreiben sie.

»Mehr Mut zum Anekdotenhaften, zum Geschichtenerzählen, zum gewitzten Bonmot!« wünscht sich Wolfgang M. Heckl. Dem Generaldirektor des Deutschen Museums fällt das freilich leicht, gilt er doch als herausragender Kommunikator. Quasi eine Art gewitzter Handlungsreisender in Sachen Wissenschaft und Technik. Doch nicht Jeder und Jedem ist der Witz in die Wiege gelegt, und wenn doch, dann wird er meist spätestens in der Schule rasch ausgetrieben.

Das Buch sollte daher umgehend Pflichtlektüre für angehende und seiende Lehrende allüberall werden. Denn – seien wir ehrlich – das Talent zum Bonmot zur rechten Zeit wird doch schon mit dem Eintritt in die Grundschule erstickt. Als Klassenkasper oder Faxenmacher abgestempelt, quält sich so manches kreative Talent bis zum Abitur, um spätestens im Studium resigniert sein humoristisches Alter Ego nur noch beim wochenendlichen Beerpongspiel auszupacken.



Karikatur vom Herausgebertrio: Test im Versuchslabor für Wissenschaftshumor – kribbelt es schon? (Grafik: Marlene Heckl)

Gefreut habe ich mich beim Lesen übrigens nicht nur über die – zugegeben besonders köstlichen – Beiträge der professionellen Kabarettisten und Zauberer, sondern auch darüber, dass hier sämtliche Artikel wunderbar lesbar sind. Da haben sich tatsächlich einmal alle bemüht, verständlich zu schreiben, die Leserinnen und Leser »abzuholen« und sich nicht hinter unverständlichen Satzungebümen oder Wortungeheuern zu verstecken.

Jetzt braucht dieses Buch nur noch Viele, die es lesen. Und dann könnt ihr euch endlich alle herauswagen: Ihr Klassenclowns, Quatschmacherinnen und Maulhelden. Ihr werdet gebraucht! Als besonders kreative WissenschaftlerInnen UND als angehende WissenschaftskabarettistInnen.

Marc Denis Weitze, Wolfgang Chr. Giede, Wolfgang M. Heckl
Kann Wissenschaft witzig? Wissenschaftskommunikation zwischen Kritik und Kabarett. Springer Verlag Heidelberg 2021, ISBN 978-3-662-61582-9; 20,00 Euro



Mitglied im Kuratorium des Deutschen Museums. »Es wurde irgendwann Zeit, auch Mitglied im Freundeskreis zu werden«, sagt Bednorz, der gemeinsam mit dem Museum einen Supragleiter für das Verkehrszentrum erdacht hat. »Es ist ein schwebendes Gefährt, etwas von dem die Zauberer früher geträumt haben«, sagt er und lässt die Erwartungen an dieses Transportsystem mit Zukunft in die Höhe schnellen.

Ein anderer Neuzugang ist Günter Steinebach, Facharzt für Innere Medizin, Naturheilverfahren und Akkupunktur. »Bisher war ich in meiner Praxis einfach zu sehr eingebunden. Jetzt bin ich im Ruhestand und konnte daher Freundeskreismitglied werden«, erklärt der seit 20 Jahren mit dem Generaldirektor Wolfgang M. Heckl befreundete Mediziner, wobei die Nachfrage sofort ergab, dass Steinebach eher in eine Art Unruhestand übergetreten ist, in dem das Museum eine wichtige Rolle spielt. Jetzt nämlich leitet er die Schulpaxis von Sami Haddeds Forschungsentrums »Geriatronik« der TUM in Garmisch-Partenkirchen, an der die Behandlung von Patienten aus der Ferne, mit Robotern und Telemedizin erprobt wird.

Ebenfalls seit langen Jahren mit dem Museum verbunden ist das Neumitglied Christoph Schwingenstein. Schon sein Vater Alfred, Begründer der SZ, war dem Museum und auch seiner Gründerfamilie stets verbunden. Christoph Schwingenstein, studierter Archäologe und Kunsthistoriker, ist heute Biolandwirt und leitet seit 20 Jahren ehrenamtlich die Umweltakademie in München – und in dieser Funktion ebenso ehrenamtlich einige Projekte mit der Bildungsabteilung des Museums. »Mir liegt das Thema Rohstoffe am Herzen, vor allem nachwachsende Rohstoffe wie Baumwolle. Dazu wollen wir im Museum eine Summer School und im Winter Vorträge anbieten.«

Andreas Knaus, Gründer und Geschäftsführer der Techfirma Linjal ist seit seiner Kindheit tief mit dem Deutschen Museum verbunden, denn hier liegen die Wurzeln für sein Verständnis und Interesse an Wissenschaft und Technik, erklärt der ebenfalls

erst seit kurzem zum Freundeskreis gestosene Unternehmer. Unzählige Stunden habe er seit frühester Jugend im Deutschen Museum verbracht. »Da die Pandemie auch für Institutionen wie das Deutsche Museum eine besondere Herausforderung darstellt, ist eine Unterstützung gerade in diesen Zeiten besonders wichtig.« Bärbel Rott, Guido Möller und Robert Ketterer sind einige weitere neue Mitglieder, die im besonders schwierigen Corona-Jahr zu uns gestoßen sind. Wir vom Vorstand des Freundeskreises sind dankbar, so viele und so interessante neue Mitglieder für die Anliegen des Deutschen Museums gewonnen zu haben und können uns nur mit Andreas Knaus darauf freuen, alle unsere Mitglieder bald auch wieder persönlich treffen zu können. Andreas Knaus: »Wir freuen uns darauf, auch im persönlichen Austausch mit anderen Technikbegeisterten an der Zukunft des Museums mitwirken zu können.«

Werden Sie Mitglied im Freundes- und Förderkreis des Deutschen Museums!

Jahresbeitrag:

- 500 Euro für persönliche Mitgliedschaften
- 250 Euro für Juniormitgliedschaften (bis 35 Jahre)
- 2500 Euro für Mitgliedschaften mittelständischer Unternehmen nach EU-Norm
- 5000 Euro für Mitgliedschaften großer Unternehmen

Kontakt:

Freundes- und Förderkreis Deutsches Museum e. V.
Museumsinsel 1 · 80538 München
<https://www.ffk-deutsches-museum.de/de>

Ihre Ansprechpartnerin:

Nicole Waldburger-Wickel
Tel. 089/28 74 84 21 • info@ffk-deutsches-museum.de
www.ffk-deutsches-museum.de

Das Glasfaserkleid der Infantin Eulalia

Beforscht, restauriert, dokumentiert, ausgestellt und publiziert. Dorothee Messerschmid-Franzen

Zu den Objekten des Deutschen Museums, die in den letzten Jahren auf besonderes Interesse gestoßen sind, gehört der dort erhaltene Rock eines Glasfaserkleids von 1893, das ursprünglich der spanischen Infantin Eulalia gehört hatte, dann jedoch jahrzehntelang in Depots des Deutschen Museums schlummerte, bis er durch ein exemplarisches Konservierungs-Restaurierungsprojekt wieder aus seinem Prinzenschlaf erweckt wurde.

Rechtzeitig zur ersten Ausstellung des frisch restaurierten, lichtempfindlichen Exponats in der Abteilung Museumsgeschichte im Haupthaus des Deutschen Museums, erschien nun in der DM-Open-Access-Reihe *Studies* ein Buch, das die Restaurierungsgeschichte erzählt. Das Kleid, das ursprünglich als Vorzeige- und Werbeobjekt der Libbey Glass Company auf der Weltausstellung in Chicago ausgestellt gewesen war, ist eine echte Rarität. Textilien aus und mit handgefertigten Glasfasern sind selten und auch in Museumssammlungen kaum erhalten. Das Material ist von faszinierendem Glanz, dabei aber spröde, scharfkantig und feuchteempfindlich. Dieser Seltenheitswert und sein prekärer Zustand gaben den Ausschlag, die Konservierung-Restaurierung des fragilen Stücks in Angriff zu nehmen. Der Erfolg des Projekts verdankt sich der interdisziplinären Zusammenarbeit von KollegInnen am Deutschen Museum wie auch an anderen Häusern mit ähnlichen Stücken, in erster Linie allerdings dem Elan und der Ausdauer der Textilrestauratorin Charlotte Holzer, die das komplexe Projekt im Rahmen ihrer Dissertation an der TUM, einer Residency als Scholarin am Deutschen Museum und eines Grants for Glass Research durchführen konnte und die sich mittlerweile als wissenschaftliche Mitarbeiterin Luftfahrtobjekten des Deutschen Museums zuwendet.

Der eigentlichen Konservierung-Restaurierung gingen interdisziplinäre Untersuchungen zu Objektbiografie, Herstellungskontext, Materialeigenschaften, Schäden und Restaurierungsmethoden sowie ein Vergleich mit 34 Glasfasertextilien aus anderen Museen voraus.



Vor dem Verfall gerettet wurde dieser seltene Rock aus Glasfaser aus dem Jahr 1893.

Diese wie auch das illustrierte Schadensglossar, das Maßnahmenkonzept, der Katalog der untersuchten Textilien sowie die Transkription und Reproduktion französischer Originalpatente tragen dazu bei, dass der vorliegende Band eine umfassende Grundlage für künftige Forschungen und Restaurierungsvorhaben zu Glasfasertextilien darstellt.

Nicht zuletzt zeigt er auch, wie das Deutsche Museum Forschung, Ausstellung, Restaurierung-Konservierung und Vermittlung – auch durch Publikation – zu vereinen vermag.

Der Band ist im Buchhandel für 39,90 Euro erhältlich und steht in der Museumsbibliothek. Wie alle Bände der Reihe ist er zudem kostenfrei als Open-Access-PDF auf den Verlagsseiten der DM-Homepage abrufbar:

www.deutsches-museum.de/verlag/museum-sammlungen/ueber-das-museum/das-kleid-aus-glas/



Charlotte Holzer, *Das Kleid aus Glas: Eine Restaurierungsgeschichte im Deutschen Museum*

Deutsches Museum Studies, Band 8
2021 Deutsches Museum Verlag
ISBN 978-3-948808-01-3



Eine Biologin entnimmt Proben, um den Verschmutzungsgrad des Wassers festzustellen.

Abwasserkanal in einer Großstadt.



Aus den Augen, aus dem Sinn?

Was passiert eigentlich mit all dem Wasser, das wir täglich nutzen, verschmutzen und angereichert mit allerlei Unrat in Abflussrohre und Kanäle leiten? »Abwasser« nennen wir es dann und der Begriff birgt schon eine gewisse Geringschätzung, die wir diesem nun kontaminierten Nass entgegenbringen. Höchste Zeit, sich mit der Entsorgung gebrauchten Wassers zu befassen. Denn in diesem Bereich hat sich in den vergangenen Jahren in technischer Hinsicht sehr viel getan und es wird intensiv weiter geforscht. Das Ziel ist es, möglichst viele unerwünschte Stoffe aus dem Wasser herauszufiltern, ehe es wieder, in Bäche und Flüsse geleitet, seinen natürlich Kreislauf antritt.

Ein wichtiges Thema für die Siedlungswasserwirtschaft ist die Rückgewinnung wertvoller Rohstoffe wie Phosphor. Die im Klärwerk verbleibenden Reste werden heute schon genutzt: Aus dem Klärschlamm beispielsweise wird Klärgas (z.B. Methan) gewonnen, um damit die Energiebilanz der Klärwerke zu verbessern.

Unsere Autorinnen und Autoren schreiben über neue Technologien zur Beseitigung von Spurenstoffen wie Hor-

mone, Medikamentenrückstände, Krankheitserreger oder Mikroplastik. Sie stellen neueste technologische Entwicklungen und Visionen vor und nehmen dabei auch den globalen Zusammenhang in den Blick. Und wir werden einen Ausflug in die Vergangenheit machen: Denn die Frage, wie wachsende Gemeinschaften das Problem der Entsorgung genutzten Wassers lösen bzw. gelöst haben ist auch aus kulturhistorischer Sicht höchst interessant.

Eine gute Zeit wünscht Ihnen
Sabrina Landes

Impressum

Das Magazin aus dem Deutschen Museum

45. Jahrgang

Herausgeber: Deutsches Museum München
Prof. Dr. Wolfgang M. Heckl
Museumsinsel 1, 80538 München
Postfach 80306 München
Telefon (089) 21 79-1
www.deutsches-museum.de

Gesamtleitung: Dr. Kathrin Mönch (Deutsches Museum)
Dr. Stefan Bollmann (Verlag C.H.Beck, verantw.)
Wissenschaftliche Beratung: Dr. Christian Sicka
Redaktionsleitung: Sabrina Landes | publishNET,
Grafik: Birgit Schwintek, Redaktion: Hannah Schnorbusch,
redaktion@publishnet.org, www.publishnet.org

Verlag: Verlag C.H.Beck oHG, Wilhelmstraße 9, 80801 München; Postfach 400340, 80703 München, Telefon (089) 381 89-0, Telefax (089) 381 89-398, www.chbeck.de

Redaktioneller Beirat: Dr. Frank Dittmann (Kurator Energietechnik, Starkstromtechnik, Automation), Gerrit Faust (Leiter Presse- und Öffentlichkeitsarbeit), Melanie Jahreis, Dr. Kathrin Mönch (Verlagsleitung), Dr. Christian Sicka (Kurator Astronomie, Planetarium, Atomphysik, Zeitmessung), Prof. Dr. Elisabeth Vaupel (Forschungsinstitut)

Herstellung: Bettina Seng, Verlag C.H.Beck oHG

Anzeigen: Bertram Mehling (verantw.), Verlag C.H.Beck oHG, Anzeigenabteilung, Wilhelmstr. 9, 80801 München; Postfach 400340, 80703 München; Disposition, Herstellung, Anzeigen, technische Daten: Telefon (089) 381 89-609, Telefax (089) 381 89-589. Zurzeit gilt Anzeigenpreisliste Nr. 37.

Repro: Rehmbrand Medienservice GmbH, Hauptstraße 1, 82008 Unterhaching

Druck, Bindung und Versand: Holzmann Druck GmbH & Co. KG, Gewerbestraße 2, 86825 Bad Wörishofen

Bezugspreis 2021: Jährlich 29,- Euro
Einzelheft 8,90 Euro, jeweils zuzüglich Versandkosten

Weitere Informationen: Deutsches Museum, Mitgliederservice, Museumsinsel 1, 80538 München, Telefon (089) 21 79-310, mitgliederinfo@deutsches-museum.de, www.deutsches-museum.de/mitgliederservice

Für Mitglieder der Georg-Agricola-Gesellschaft zur Förderung der Geschichte der Naturwissenschaften und der Technik e.V. ist der Preis für den Bezug der Zeitschrift im Mitgliedsbeitrag enthalten. Weitere Informationen: Georg-Agricola-Gesellschaft, Institut für Wissenschafts- und Technikgeschichte, TU Bergakademie Freiberg, 09596 Freiberg, Telefon (03731) 39 34 06

Bestellungen von Kultur & Technik über jede Buchhandlung und beim Verlag. Abbestellungen mindestens sechs Wochen vor Jahresende beim Verlag.

Abo-Service: Telefon (089) 381 89-679

Die Zeitschrift erscheint vierteljährlich. Sie und alle in ihr enthaltenen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes bedarf der Zustimmung des Verlags. Der Verlag haftet nicht für unverlangt eingesandte Beiträge und Bilddokumente. Die Redaktion behält sich vor, eingereichte Manuskripte zu prüfen und ggf. abzulehnen. Ein Recht auf Abdruck besteht nicht. Namentlich gekennzeichnete Beiträge geben nicht die Meinung der Redaktion wieder.

ISSN 0344-5690



klimaneutral produziert
www.chbeck.de/nachhaltig



Verschenken Sie ein Museum!

Sie sind auf der Suche nach einem besonderen Präsent?
Mit einer Geschenkmemberschaft verschenken Sie
ein ganzes Museum.

Das Anmeldeformular sowie weitere Informationen finden Sie unter
www.deutsches-museum.de/unterstuetzung/jahreskarte
oder bei Ihrem Mitgliederservice: 089/ 2179-310, mitgliederinfo@deutsches-museum.de



Deutsches Museum



Museumsinsel 1, München · Tel. 089/ 2179-1 · täglich 9–17 Uhr · www.deutsches-museum.de