

Ich aber wußte, dass es nur eine Wissenschaft von den Dingen gibt, die sich wiederholen.

Antoine de Saint-Exupéry (1900–1944) in: „Stadt in der Wüste“

Liebe Leserin, lieber Leser,

Wissenschaft entwickelt sich auch methodisch weiter. Fragen der Art „Was wäre gewesen, wenn ...“ finden durchaus offene Ohren. Vor einem halben Jahrhundert noch war solch **k o n t r a f a k t i s c h e s** Denken verpönt. Es gibt halt keine zweite Erde, die sich von der unsrigen nur durch die Abwesenheit des Menschen unterscheidet. Trotzdem will Politik heute von der Wissenschaft wissen, ob die Klimaerwärmung menschengemacht ist. Dass kontrafaktisches Denken salonfähig geworden ist, belegen die diesjährigen Nobelpreise für Physik und Ökonomie. Doch auch in der Astronomie, vor allem in der Kosmologie, hat diese Art des Denkens Konjunktur. Und das hat auch mit dem „Anthropischen Prinzip“ zu tun, welches im November vor 60 Jahren erstmals in Überlegungen des Princeton Physikers Robert Henry Dicke (1916–1997) einfloss. Er stellt fest: Um Physiker zu machen, sei Kohlenstoff vonnöten. Also käme von vornherein nur ein Universum in Frage, welches (a) Sterne gebiert, die Kohlenstoff brauen, und (b) über genügend Zeit verfügt für eine biologische Evolution *à la* Darwin.

Ebenfalls vor 60 Jahren stellte der Radioastronom und SETI-Pionier Frank Donald Drake (geb. 1930) auf einer Minikonferenz in West Virginia die Green-Bank-Formel vor, mit welcher sich die Anzahl galaktischer Zivilisationen abschätzen lässt. Als kritisch erweist sich der letzte Faktor. Er beziffert die Zeitspanne, während derer eine zur interstellaren Kommunikation fähige Zivilisation am Gedankenaustausch Gefallen findet.

Und einen 800. Geburtstag gibt es: Am 23. November 1221 wurde in Toledo der spätere König Alfons X. von Kastilien und León geboren. Er starb im 63. Lebensjahr in Sevilla. Ihm verdanken wir die Alfonsinischen Tafeln. Das Tafelwerk über Sonne, Mond und die damals bekannten fünf Planeten war um 1250 von einem Expertengremium arabischer, jüdischer und christlicher Astronomen auf Ptolemäischer Grundlage erarbeitet worden und bis ins 16.

Jh. in Gebrauch. Nach Alfons X. wurde ein prominenter Mondkrater benannt: Alphonsus liegt unmittelbar südlich vom Ptolemaeus und misst über 100 km im Durchmesser.

Während der Erklärungswert des Anthropischen Prinzips umstritten ist, hat das Was-wäre-gewesen-wenn-Denken in der Wissenschaft Fuß gefasst.

Willkommen im „Land der unrealisierten Möglichkeiten“!

Ihr Hans-Erich Fröhlich

Der Himmel im November

In den ersten Novembertagen noch kann Merkur vor Sonnenaufgang im Osten gesichtet werden.

Am Abend des 8. November gesellt sich im SW zur Venus der junge Mond, während im tiefen Süden Jupiter und Saturn brillieren. Am 10. und 11. November erreicht der (Halb-)Mond die beiden Riesenplaneten. Er zieht südlich an ihnen vorüber.

Der erste Planetoid, die Ceres, – seit 2006 ein Zwergplanet! – steht am 27. November der Sonne am Himmel gegenüber. Als Objekt 7. Größe ist sie im Feldstecher sichtbar. Ceres wandert am 3. November $0,1^\circ$ südlich am Antares vorbei. Ihr auf dem Weg durch die Hyaden zu folgen ist höchst reizvoll angesichts der vielen Hintergrundsterne. Zur Oppositionsnacht kulminiert sie 12 Minuten nach Mitternacht.

Die Ekliptik, der Tierkreis, zieht sich durch 13 Sternbilder. In der Nacht vom 29. zum 30. November betritt die Sonne den Schlangenträger. Dort verweilt sie gut 18 Tage. Der Ophiuchus (gr. Ophiuchos) liegt zwischen Skorpion (Scorpius) und Schütze (Sagittarius). Er wird mit dem mythischen Mediziner Asklepios (dt. auch Äskulap) in Verbindung gebracht. Wie Homer erzählt, sei der Heilkundige derart erfolgreich gewesen, dass der Gott der Unterwelt, Hades (Pluto), sich beim Zeus (Jupiter) über den mangelnden Nachschub für sein Totenreich beklagte. Der Göttervater erschlug daraufhin den Mediziner mit einem seiner Blitze. Dieser hinterließ mehrere Töchter, darunter Hygiäa, unsere Hygiene. „Doktorvater“ soll der weise Kentaur Cheiron (Chiron) gewesen sein. Als Sohn des Apoll wurde Asklepios ans Firmament versetzt. Die Schlange verweist auf Verjüngung. Man hatte ihr Häuten dahingehend interpretiert.

Kontrafaktische Wissenschaft

Wenn es Wirklichkeitssinn gibt, muß es auch Möglichkeitssinn geben.

Robert Musil (1880–1942)

Etwas erklären heißt üblicherweise, die Ursache für ein Geschehnis zu benennen. Was man so sieht, sind indes häufig bloß Korrelationen. Bei schwer zu durchschauenden Sachverhalten weiß man dann nicht, ist X die Ursache von Y oder dessen Wirkung? Kausalität aber ist asymmetrisch: Die Wirkung folgt stets der Ursache.

So soll es einen statistischen Zusammenhang zwischen Geburtenanzahl und dem Auftreten von Störchen geben, was nicht heißt, dass die Babys vom Storch gebracht werden. Diese Korrelation ist bedeutungslos.

Astronomen wundern sich beispielsweise darüber, wieso die Masse des zentralen schwarzen Lochs einer Galaxie proportional mit der Masse der E-Galaxie, bzw. bei einer Spiralgalaxie mit der Masse ihres zentralen „Bauchs“ zunimmt. Wer richtet sich hier nach wem?

Wir leben gerade in einer Pandemie, da ist Medizinisches vielleicht nicht unwillkommen. Pharmaunternehmen sind verpflichtet, die Wirksamkeit eines marktreifen Produktes wissenschaftlich zu belegen. Das nun ist etwas für den wissenschaftsmethodologisch interessierten Leser:

Um die erwünschte Wirkung eines Medikaments, Impfstoffes etc. auf den i -ten Probanden nachzuweisen, müsste man sein Befinden¹ $Y_i(X = 1)$ nach Einnahme des Medikaments vergleichen mit seinem Befinden $Y_i(X = 0)$, *hätte er das Medikament nicht genommen*. X steht für die Medikation. Da das eine das andere ausschließt, vergleicht man stattdessen Mittelwerte zweier Personengruppen: das Befinden derjenigen, die das Medikament bekommen haben mit dem Befinden der anderen, denen ein Placebo verabreicht wurde. Man bestimmt also die Differenz $\Delta = \langle Y_i(1) | g_i = 1 \rangle - \langle Y_i(0) | g_i = 0 \rangle$, wobei hinter dem senkrechten Strich | vermerkt ist, welcher Gruppe das Individuum i angehört, $g = 1$ stehe für die Gruppe der Behandelten, $g = 0$ für die Kontrollgruppe. Gruppenmittel sind mit $\langle \dots \rangle$ bezeichnet.

Misst Δ den kausalen Effekt? Natürlich nicht! Wir kennen die Gründe nicht, die für die Wahl der Gruppe im Einzelfall ausschlaggebend waren. (Ließen sich nur kerngesunde junge Erwachsene gegen COVID-19 impfen, die Alten

¹natürlich sein Langzeitbefinden

und Gebrechlichen aber aus unerfindlichen Gründen nicht, würde selbst ein mieser Impfstoff scheinbar wahre Wunder bewirken.) Puristen (und inzwischen auch Zulassungsbehörden) sind allein an $\langle(Y_i(1) - Y_i(0))|g_i = 1\rangle$ interessiert. Der Term $\langle Y_i(0)|g_i = 1\rangle$ aber ist *nicht von dieser Welt*: Wie wäre es den Probanden in der Gruppe der medikamentös Versorgten im Mittel ergangen, wären sie *n i c h t* versorgt worden!

Kontrafaktisches Rasonieren ist eine Zumutung: Man räumt dem Nichtgeschehenen, aber Möglichen, einen vergleichbaren Platz im Denken ein wie dem Tatsächlichen. Geht es um Kausalität, kommt man anscheinend nicht darum herum.

Nun erweitern wir den kausalen Effekt formal so, dass sich unser Δ von vorhin ergibt²: $\Delta = \langle(Y_i(1) - Y_i(0))|g_i = 1\rangle + \langle Y_i(0)|g_i = 1\rangle - \langle Y_i(0)|g_i = 0\rangle$. Die erste (gemittelte) Differenz bemisst den kausalen Effekt, die zweite die Verzerrung, den Bias, der sich aus der Verwechslung von Δ mit dem kausalen Effekt ergäbe: $B = \langle Y_i(0)|g_i = 1\rangle - \langle Y_i(0)|g_i = 0\rangle$. Er tritt auf, hängt das Befinden Unbehandelter aus verborgenen Gründen von der Gruppenzugehörigkeit (behandelt/unbehandelt) ab, was man sich auch ohne mathematische Symbolik hätte denken können.

Obwohl niemand wissen kann, wie es den Probanden in der Gruppe der medikamentös Behandelten ergangen wäre, wären diese nicht behandelt worden, kann man vernünftigerweise davon ausgehen, dass bei rein zufälliger Eingruppierung bei einer hohen Anzahl an Probanden, statistisch gesehen, B verschwindet! Man bezeichnet diese Vorgehensweise als RCT (*randomized controlled trials*). RCT gilt seit gut einem halben Jh. als „Goldstandard“ bei derlei Studien³, und wir wissen nun warum.

RCT ist u. U. ethisch bedenklich: Um die Schädlichkeit des Rauchens nachzuweisen darf man Probanden nicht zum Rauchen zwingen!

Inzwischen wurden clevere Versuchsdesigns erdacht, um B loszuwerden – unter Ausnutzung sog. „natürlicher Experimente“. Dafür gab's den diesjährigen Alfred-Nobel-Gedächtnispreis für Wirtschaftswissenschaften. Man kann auch von „denen“ etwas lernen!

Man sage nicht, Astronomen tangiere das nicht. Um mit Hilfe eines Pulsationsveränderlichen die Entfernung des galaktischen Zentrums (GC) photometrisch zu bestimmen, müsste man den Stern einmal im GC und in, sagen wir, 10 pc Abstand beobachten. Aus der Helligkeitsdifferenz ergäbe sich dann die Entfernung zum Zentrum. Da das nicht geht, hatte man

²Man beachte, dass das Mittel einer Differenz gleich der Differenz der beiden Mittel ist: $\langle a_i - b_i \rangle = \langle a_i \rangle - \langle b_i \rangle$.

³Auslöser für den Siegeszug von RCT soll der Contergan-Skandal 1961/62 gewesen sein.

die mittleren Helligkeiten zweier Gruppen von Pulsationsveränderlichen verglichen, die eine nahe dem GC befindlich, die andere bestehend aus Nachbarsternen bekannter Entfernung. Das Ergebnis war *ge-biased*: Zentrumsnahe Sterne unterscheiden sich von zentrumsfernen hinsichtlich ihres Metallgehalts! Erst als man sich auf Sterne beschränkte, die den gleichen Zentrumsabstand wie wir haben, ergab sich die richtige Entfernung zum GC. Szenenwechsel: Zum Studium der kosmologischen Expansion werden nahe Typ-Ia-Supernovae mit Supernovae des gleichen Typs, die aber bereits vor Jahrmilliarden aufgeflammt sind, verglichen. Da es sich vermutlich um weiße Zwerge handelt, deren naturgegebene Grenzmasse überschritten wurde, scheint das gerechtfertigt zu sein. Aber ganz geheuer ist einem dabei nicht.

Dem Klimaforscher geht es wie dem Kosmologen: Die Erde gibt's nur einmal, und er kann (und sollte auch) nicht mit seinem Forschungsgegenstand experimentieren. Was indes dank Hochleistungsrechnern möglich ist, Experimente *in silico* – Klimamodellrechnungen. Sie dienen als Surrogate der Wirklichkeit.

Der Physiknobelpreis 2021 ging zur Hälfte an zwei Klimaforscher. Einer der beiden ist Herr Hasselmann (geb. 1931) aus Hamburg, ehemaliger Direktor des dortigen Max-Planck-Instituts für Meteorologie. In einer 9-seitigen Arbeit aus dem Jahre 1979 hatte Klaus Hasselmann dargelegt, wie sich aus einem Wust von Klimadaten und anhand numerischer Simulationen der anthropogene Beitrag beim Klimawandel herausfiltern lasse. Es sei vorausgeschickt, dass der menschliche Einfluss aufs Klima keinesfalls offensichtlich ist! Der Grund ist die Langzeitvariabilität des Klimas, das „Klimarauschen“. Angesichts dieses „Rauschens“ kann das „Signal“, das von der menschengemachten Störung des Erdklimas durch den Eintrag von Treibhausgasen (CO_2 , CH_4 , etc.) sowie Aerosolen ausgeht, nur entdeckt werden, sind sowohl die Eigenschaften des Rauschens als auch die des Signals bekannt. Man muss schon wissen, wonach⁴ man suchen muss, um fündig zu werden. Um diese „Fingerabdrücke“ zu erkennen, bedarf es Modellrechnungen im Cyberspace.

Es handelt sich um globale Zirkulationsmodelle, welche sowohl die Kopplung zwischen den (thermisch trägen) Ozeanen und der (turbulenten) Atmosphäre berücksichtigen als auch den Kohlenstoffkreislauf. Die Kontrollsimulationen überdecken bis zu einem Jahrtausend Klimageschichte.

Haupterschauquelle⁵ sei das Wettergeschehen, welches im Stunden- und Tagestakt agiert. Das meteorologische Kurzzeitgeschehen, so der Meteorologe

⁴Der Nachrichtentechniker spricht vom Optimalfilter: Man wird am ehesten bei jenen Frequenzen fündig, wo das Signal das Rauschen dominiert.

⁵Hinzu kommen sporadische Vulkanausbrüche und Änderungen bei der Sonneneinstrahlung durch die zyklische Sonnenaktivität sowie säkulare Veränderungen der Erdbahn.

und Meeresforscher, wiederum zeitige (bedingt durch nichtlineare Kopplungen) klimatische Langzeitfolgen. Hasselmann verweist auf die „Brown’sche Bewegung“, die mikroskopische Irrfahrt eines Pollenkorns in einer Flüssigkeit aufgrund der Wärmebewegung der Wassermoleküle. Das stochastische Element seien die unvorhersagbaren Stöße durch die Moleküle (das Wetter), die Irrfahrt steht für die Klimavariabilität über Zeiträume von Jahrzehnten und länger. Die zündende Idee mit der Brown’schen Bewegung⁶ sei ihm während eines Fluges zu einem Kongress gekommen, verrät der Preisträger. Bereits 1995 konnten Hamburger Klimatologen konstatieren, die Null-Hypothese, wonach die derzeitige Klimaerwärmung noch im Rahmen des Natürlichen liege, sei mit 95 % Wahrscheinlichkeit abzulehnen.

Das Experimentieren mit Klimamodellen in virtuellen Laboren, um beispielsweise die natürliche Schwankungsbreite⁷ auszuloten, setzt das Erfassen aller wesentlichen Aspekte der Klimarealität voraus. Hätte man etwas Wichtiges vergessen, wäre das Ganze Makulatur. Andererseits sollten Modelle, um Erklärungswert zu haben, also um nützlich zu sein, nicht zu ausgefeilt sein. Das untergrübe ihre Glaubwürdigkeit⁸. (Ein Modell, das die Wirklichkeit perfekt kopierte, wäre wertlos, weil genauso unverständlich wie die Wirklichkeit selbst.) Das Beschränken auf das wirklich Wesentliche war immer schon heikel und erfordert Intuition.

Man sollte sich hüten, das Modell mit der Wirklichkeit zu verwechseln. Naturwissenschaftler bewerten anhand empirischer Daten ihre mentalen Vorstellungen von der Natur, sprich ihre Modelle (Hypothesen), nie die Natur selbst!

Eine Spielwiese des „Kontrafaktischen“ ist die Kosmologie. Da uns nur ein Universum zur Verfügung steht, bleibt der „kühnen Seglerin Phantasie“ (Schiller) kaum etwas anderes übrig, als sich, wissenschaftlich gespurt, Paralleluniversen auszudenken. Man spielt, auf dem Papier oder *in silico*, mit alternativen Weltmodellen und bewertet diese in Hinblick auf das Anthropische Prinzip danach, ob sie irgendwann Komplexität hervorbringen. Denn nur in offenen komplexen dynamischen Systemen kommt es zur Selbstorganisation, wird Materie kreativ. Der anthropozentrische Blick fällt dann, absehbar, auf Leben und Intelligenz. Dass es Leben auf Kohlenstoffbasis gibt, setzt

⁶Mit dieser hatte sich 1905 schon Albert Einstein herumgeschlagen.

⁷Das Beziffern der Klimavariabilität, d. h. der natürlichen Klimakapriolen, ist anscheinend die Achillesferse beim Klimageschäft.

⁸Für den Bayesianer ist die Evidenz das Maß für die Modellperformance. Ein Mehr an Stellschrauben (freie Parameter) verbesserte zwar die Genauigkeit, mit der die Natur modellmäßig erfasst wird, kostet aber Glaubwürdigkeit.

„rußende Sterne“ voraus, Umweltverschmutzung im kosmischen Ausmaß. So müssen in einer ursprünglich reinen Wasserstoff-Helium-Welt Sterne entstehen, in deren Innern daraus letztlich Kohlenstoff, Sauerstoff usw. thermonuklear bei hohen Temperaturen zusammengebräut wird. Zu den Voraussetzungen für organisches Leben gehören aber auch kühle Planeten um langlebige Sterne. Sternentstehung muss Raum für Planetenentstehung lassen.

Man mag sich sogar fragen, inwieweit die Werte gewisser Naturkonstanten variieren dürften, man denke an die Gravitations- und die Feinstrukturkonstante, ohne dass dadurch gleich Leben (wie wir es kennen) unmöglich wird. Wie es aussieht, ist eine gewisse Feinabstimmung⁹ vonnöten. Man kann Universen ersinnen, welche von Anbeginn an „ungemütlich“ sind und nichts (in unseren Augen) „Gescheites“ hervorbringen!

Theoretische Kosmologie setzt noch eins drauf: Was, wenn die alternativen Universen keine Elektronenhirngespinnste wären, sondern Realität? Falls an gewissen Überlegungen etwas dran ist, sollten Paralleluniversen zuhauf existieren – allerdings, weil jenseits des Horizonts, uns unerreichbar. Egal, die Idee vom Multiversum steht im Raum. Andrei Linde (geb. 1948) „ewige Inflation“ legt darüber hinaus eine nicht enden wollende Zeugung von Kind- und Kindeskinduniversen nahe, in denen andere physikalische Gesetze gelten mögen als in dem unsrigen . . .

Ein beredter Vertreter der Sparte ist der Brite Martin Rees (geb. 1942), seines Zeichens Astronomer Royal. Wie seine Lordschaft einräumt, hielten der eine oder andere Kollege die Idee vom Multiversum für wissenschaftlich fragwürdig, doch sei das Ausdenken alternativer Szenarien – immerhin ein Alleinstellungsmerkmal des Menschen! – inspirierend, und es habe Unterhaltungswert.

⁹Der gläubige Philosoph Gottfried Wilhelm Leibniz (1646–1716) postulierte 1710, Gott habe sich für „die beste aller möglichen Welten“ entschieden.