

[Eine gekürzte und redaktionell bearbeitete Fassung erschien unter der Überschrift "Das Schöne, Wahre und Schmutzige" in der *Frankfurter Allgemeinen Sonntagszeitung*, 28.4.2019, pp. 17/8].

Physik im Rausch der Schönheit?

Olaf L. Müller, Humboldt-Universität zu Berlin

Harmonice Mundi, Weltharmonik. Unter diesem provokanten Titel brachte Johannes Kepler (1571-1630) vor genau 400 Jahren ein voluminöses Werk heraus, das es in sich hatte. Kepler stand auf dem Höhepunkt seines Ruhms. Schon in jungen Jahren war er zum kaiserlichen Hofmathematiker der Habsburger aufgestiegen, hatte die Planetenbahn des Mars als Ellipse erkannt, war 47 Jahre alt. Seine damals und heute ungeheuerliche These: In den tiefsten Strukturen ist das Weltall schön.

Kepler hing keinen vagen Schwärmereien für Schöngeister an. Er hatte etwas Präzises im Sinn – eine Harmonie für das geistige Ohr, schöner als Musik. Und die Lehre von den musikalischen Harmonien war seit der Antike eine mathematische Disziplin. Wie Kepler meinte, lassen sich die Parameter der Gesetze, nach denen die Planeten um die Sonne ziehen, als gigantische Partitur lesen.

Diese Idee trieb Kepler auf die Spitze. Jedem Planeten schrieb er einzelne Tonintervalle zu – der Mars repräsentiert die Quinte, der Saturn die große Terz usw.¹ Mehr noch, laut Kepler spielen die Planeten ihre Musik in Dur und Moll, und jeder Planet musiziert in einer eigenen Tonart.² Sogar einen

¹ Siehe die Tabelle in Kepler [HM]:312 (= Liber V, Caput IV).

² Siehe Kepler [HM]:322 (= Liber V, Caput VI).

vierfachen Kontrapunkt machte Kepler in den Sphärenklängen aus und behauptete, dass Saturn und Jupiter im Bass singen, Erde und Venus im Alt, Mars im Tenor und Merkur im Diskant.³

Sphärenmusik, Sphärenklänge, Esoterik – so mag man Keplers ästhetische Schwärmerei heute abtun. Wir sind zu abgeklärt und vernünftig für solche Eskapaden. Doch bedenken Sie: Kepler war nicht irgendwer. Neben Kopernikus, Galilei und Newton verdanken wir ihm die entscheidenden Impulse der neuzeitlichen Physik (auf denen wiederum unsere gegenwärtige Physik beruht). Wem dieser vier Genies die Palme gebührt, darüber streiten die Gelehrten. Für die Frage nach der Schönheit in der Physik ist der Streit müßig, denn alle vier waren sich einig: Weil das Weltall für das geistige Auge schön ist, eignet sich unser Sinn für Ästhetik ausgezeichnet als Kompass auf der Suche nach der physikalischen Wahrheit.

Wie und warum konnte ein mathematisches Genie vom Schlage Keplers dieser verführerischen Idee verfallen? Weil er damit erstaunliche Erfolge gefeiert hat. Folgen wir ihm das erste Wegstück am Beginn seiner Karriere. Als junger Theologe im Alter von 24 Jahren hatte er verstehen wollen, aus welchem geometrisch bedeutsamen Grund es nicht etwa zwanzig oder hundert, sondern genau sechs Planeten geben müsse. (In seinen Tagen waren Neptun und Uranus noch unentdeckt, ganz zu schweigen vom Zwergplaneten Pluto).

Keplers These war so bestechend wie kühn.⁴ Seit der Antike wusste man, dass es exakt fünf Platonische Körper gibt. Das sind diejenigen Körper, deren Flächen allesamt aus einer

³ Siehe Kepler [HM], Liber V, Caput VII sowie Kepler [HM]:329 (= Liber V, Caput VIII).

⁴ Kepler [MC]/A.

einzigsten Sorte regulärer Vielecke aufgespannt werden und deren Ecken allesamt gleichartig sind, also Tetraeder, Würfel, Oktaeder, Dodekaeder, Ikosaeder (Abb. A).

Schon für sich alleine ist jeder dieser Körper mathematisch schön – und zwar wegen der ihm innewohnenden Symmetrien. Doch hiermit hielt sich Kepler nicht lange auf; stattdessen brachte er die fünf Platonischen Körper zusammen (Abb. B).⁵ Er schuf aus ihnen eine hochkomplexe Einheit von strahlender Schönheit: Jeder der fünf Platonischen Körper umschreibt eine (größtmögliche) Innenkugel und wird von einer (kleinstmöglichen) Außenkugel umschrieben. Daher lassen sich die Platonischen Körper höchst ästhetisch ineinander verschachteln; die Innenkugel des größten ist die Außenkugel des zweitgrößten Körpers, dessen Innenkugel wiederum als Außenkugel des drittgrößten Körpers genommen wird und so weiter. Wieviele Sphären, das heißt wieviele Kugeloberflächen werden dabei insgesamt aufgespannt? Sechs: nämlich für jeden Platonischen Körper je eine Außenkugel, und dann noch die Innenkugel des innersten Körpers.

Damit hatte Kepler sein erstes Ziel erreicht. Es gibt, so Kepler, deshalb sechs Planeten, weil die von den Körpern aufgespannten Sphären genau sechs abgezielte Regionen des Weltalls darbieten, in denen die Planeten jeweils ihren Bewegungsgewohnheiten nachgehen. In einem perfekt aufgebauten Weltall ist kein Platz für mehr Planeten. Und ein Weltall mit weniger Planeten wäre Platzverschwendung, mithin ein ästhetisches Manko.

Was für ein lausiges Argument! Ist es nicht armselig, irgendeine passende mathematische Tatsache

⁵ Kepler [MC]/A:26.

herbeizuzitieren, um die vorab bekannte, zufällige Zahl der Planeten "abzuleiten"? Gemach, das Schönste kommt noch.

Jedes physikalische Modell muss sich in der Prognose dessen bewähren, was man nicht in die Modellkonstruktion eingebaut hat. Und an diesem Punkt wird die Geschichte wild. Die ineinandergeschachtelten Körper bestimmen nämlich mit geometrischer Notwendigkeit exakte Größenverhältnisse der eingeschriebenen Kugeloberflächen. Wie Kepler sofort klar war, ergibt sich daraus eine Prognose über die Abstände der Planetenbahnen. So müsste der Jupiterbahn ein exakt dreimal größerer Radius zukommen als der Marsbahn; und das Verhältnis von Venus- zu Merkurbahn wäre $\sqrt{3} : 3$.

Als Kepler seine Modellzahlen mit den gemessenen Zahlen verglich, wurde ihm schwindelig. In zwei Fällen waren es Volltreffer (mit einem Fehler von weniger als einem Promille). Und in den übrigen Fällen war der Fehler etwas größer, aber immer noch verblüffend klein.

Wer einzig und allein den empirischen Daten traut wie die sog. Positivisten, kann über den Fehler nicht hinweggehen und muss Keplers Modell als widerlegt betrachten; Fehler ist Fehler, wie klein auch immer.

Aber so funktioniert Physik nicht. Wenn das Modell nicht zu den Daten passt, dann muss die Schuld nicht beim Modell liegen; sie kann bei den Daten liegen. Die astronomischen Daten sind nicht sakrosankt; sie wurden und werden unter größten Schwierigkeiten erhoben. Da liegt es auf der Hand, dass sie nicht völlig fehlerfrei sein können.

Alles kommt darauf an, wie groß die Diskrepanz zwischen Modell und Messwert gewesen ist; sie war winzig. Um ein Gespür für ihre Größenordnung zu wecken, möchte ich Sie in eine Lotterie gegen Kepler verwickeln. Fünf Mal dürfen Sie

aus tausend Losen ziehen, auf denen Nummern von 0,001 und 0,002 bis 0,999 und 1,000 stehen; Ihre Losnummer soll jedesmal Ihre zufällige Schätzung für das Verhältnis jeweils benachbarter Planetenbahnen darstellen. Wie groß ist die Wahrscheinlichkeit, dass Ihre ausgelosten Zahlen besser zum vermessenen Sonnensystem passen als Keplers? Unter 1:200.000. Das entspricht der Wahrscheinlichkeit, beim Münzwurf siebzehn Mal hintereinander Kopf zu werfen – und wäre ein gigantischer Glückstreffer. (Probieren Sie's mal!)

In Keplers Tagen gab es keine Wahrscheinlichkeitstheorie, so wie wir sie kennen. Aber er war Mathematiker genug, um zu dem Schluss zu kommen: Es kann kein Zufall sein, dass sein ästhetisches Modell so gut zu den bekannten Daten passt. Der prognostische Erfolg hat ihm Flügel verliehen; kein Wunder, wenn er sein Leben lang an der Schönheit als Richtschnur astronomischer Erkenntnis festgehalten hat.

Da haben Sie den Roten Faden, der sich seit über 400 Jahren durch die Entwicklung unserer Physik zieht. Immer wieder setzen die großen Physiker auf Modelle und Theorien von atemberaubender mathematischer Schönheit – und immer wieder erzielen sie damit Prognosen von unerwarteter Treffsicherheit. Der Wahnsinn hat Methode.

Wer dem Sinn für Ästhetik physikalisch nicht über den Weg traut, muss einer beispiellosen Kette von Zufallstreffern das Wort reden. Oder er muss das historische Ausmaß des Erfolgs verharmlosen. Diesen Weg hat zuletzt Sabine Hossenfelder in ihrem brillanten Lamento über den Schönheitssinn der Physiker gewählt.⁶ Wohl um Kepler nicht als Scharlatan dastehen zu lassen, behauptet sie im Vorübergehen, er habe sich in späteren Jahren von seinem

⁶ Hossenfelder [LiM]; Hossenfelder et al [VP].

platonischen Modell getrennt, und zwar sobald ihm bessere astronomische Daten zur Verfügung standen.⁷ Das entspricht nicht den Tatsachen; ein Vierteljahrhundert nach der ersten Veröffentlichung seines Modells im *Mysterium Cosmographicum, Weltgeheimnis* (1596), brachte er diese Schrift ein zweites Mal ohne Eingriffe in den Originaltext heraus.⁸ Im Anhang korrigierte er allerlei physikalische Patzer der Erstausgabe, die er mit entwaffnender Offenheit seinem jugendlichen Leichtsinn zuschrieb. Aber an der ästhetischen Kernidee des Buchs hat er in seinen Korrekturen ausdrücklich nicht gerüttelt; er hielt an ihr zeitlebens fest. Für Ellipsenbahnen war auf den Kugelsphären genug Platz, denn ihnen hatte Kepler (in Übereinstimmung mit Kopernikus) von Anfang an eine gewisse Dicke zugestanden. Und die *Weltharmonik* aus dem Jahr 1619 trat nicht an die Stelle der ursprünglichen Idee, sie war deren musikalische Verfeinerung.

Wie dem auch sei, Keplers ästhetische Modelle des Weltalls sind heute obsolet – schon allein deshalb, weil inzwischen zwei Planeten hinzugekommen sind, für die er keinen Platz vorsehen konnte; und weil wir heute meinen, dass die Anzahl der Planeten im Sonnensystem keine grundlegende Tatsache unseres Weltalls darstellt.

Aber das ändert nichts daran, dass sich viele Grundlagenforscher der heutigen Physik nicht anders als Kepler und Newton an ästhetischen Leitprinzipien orientieren: Wenn eine Grundlagentheorie unseren mathematischen Schönheitssinn anspricht, dann ist das erst einmal ein ernstzunehmendes Argument zugunsten der Theorie. Und wenn eine Theorie hässlich ist, so bietet dies

⁷ Hossenfelder [LiM]:18/9.

⁸ Kepler [MC]/B.

einen wichtigen Grund, um sich nach einer schöneren Alternative umzutun.

Hossenfelder klagt darüber, dass sich diese Grundsätze in letzter Zeit totgelaufen hätten. Seit Jahrzehnten, so moniert sie, optimierten heutige Grundlagenforscher die Ästhetik ihrer Theorien – und scherten sich keinen Deut darum, dass die empirischen Belege ausbleiben. Schlimmer noch, die Arbeit einer ganzen Generation von Physikern (ihrer Generation) sei durch sinnlosen Schönheitskult auf Abwege geraten. Stimmt das?

In der Tat fehlt es seit längerem an einem entscheidenden Durchbruch, und die Leichen im Keller der heutigen Grundlagenforschung stinken zum Himmel. Es mag also sein, dass Hossenfelder mit ihrem pessimistischen Blick auf die Gegenwart recht hat.

Doch ebenso gut könnte sie zu früh die Geduld verloren haben. Ein Blick zurück auf Kepler ist da vielleicht hilfreich. Von seinem schier übermenschlichen Durchhaltewillen könnte sich mancher heute eine Scheibe abschneiden. Als er sich nämlich um 1600 der besten verfügbaren Himmelsdaten bemächtigt hatte, wollte er sein Modell überprüfen und insbesondere die Bahn des Mars entschlüsseln. So wie Hossenfelders Kollegen baute er auf einen schnellen Triumph – was ein gigantischer Irrtum gewesen ist. Die Zahlen passten hinten und vorne nicht. Da Kepler wusste, wie akkurat sie von Tycho Brahe (1546-1601) erhoben worden waren, konnte er sie nicht einfach unter den Teppich kehren. Die Daten schlugen ihm eine Hypothese nach der anderen aus der Hand. Und das ging jahrelang so. Kepler rechnete sich an den Rand seiner Kräfte. Es hätte tragisch enden können.

Warum hat er die Ellipsenbahn nicht einfach aus den Beobachtungsdaten abgelesen? Weil die Ellipse so wie jede andere Hypothese keineswegs eindeutig von den Daten

erzungen wurde. Da es immer noch reale Daten waren, d.h. Daten voller Fehler, konnte es keinen perfekten Fit geben. Kepler musste also schummeln, musste die Daten hie und da zurechtbiegen, musste sie beschönigen – nur wo, zum Teufel? Es gab kein Kochrezept für Keplers Ellipse. Der Astronom und Wissenschaftshistoriker Owen Gingerich resümiert: "Kepler hat die Daten Tycho Brahes weit kreativer genutzt als jemand, der bloß eine Kurve an empirische Datenpunkte anpassen will".⁹

Kreativität. Positivistisch gesonnene Personen wie Hossenfelder unterschätzen den Wert dieses menschlichsten aller Erkenntnismittel der Physik. Um es zu wiederholen – wie viele empirische Daten auch immer wir zusammentragen mögen: es sind nie ausschließlich diese Daten, die bei unserer theoretischen Arbeit den Ausschlag geben. Ob wir eine naturwissenschaftliche Theorie akzeptieren, hängt nicht alleine davon ab, wie exakt sie zur Empirie passt (also zu den Daten aus Beobachtungen und Versuchsergebnissen), sondern auch von weiteren – außerempirischen – Kriterien. Von ihrer Schönheit zum Beispiel.

Unser Sinn für Ästhetik beflügelt die naturwissenschaftliche Kreativität nicht allein mithilfe erhabener Großartigkeit, also z.B. nicht allein mithilfe eines großartigen Modells wie dem der fünf Platonischen Körper oder der strahlenden Idee einer Sphärenharmonie. Wie sich an Keplers Fall zeigen lässt, stützt sich das kreative Genie der Physik auch im kleinen auf den Schönheitssinn. Es war eine ungeheure schöpferische Leistung, mit der Kepler in jahrelanger Rechnerei die Daten immer wieder neu geformt, umgeformt, beschönigt, ausgewählt, ungeordnet, verworfen und erneut einbezogen hat. Und der Erfolg gab ihm recht.

⁹ Im englischen Original: "Kepler's use of Tycho's data was far more creative than

Wie man sieht, ließ sich Kepler nicht allein dazu hinreißen, Modelle zu vertreten, deren betörende Schönheit geradezu davon ablenkte, wie gewagt und haltlos sie waren – großartig, aber gefährlich. Abgesehen davon brauchte er angesichts der Fülle und Unzuverlässigkeit der Beobachtungsdaten eine Form auswählender Kreativität im kleinen, für deren Erfolg seine mathematisch-physikalische Intuition Hand in Hand gehen musste mit seinem Sinn für Einfachheit und Schönheit.

Diese Art der Kreativität haben wir bislang nur schemenhaft vor Augen; sie ist in den meisten kritischen Auseinandersetzungen mit Keplers Schönheitssinn übersehen worden.¹⁰ Dabei war sie eine treibende Kraft in der gesamten Geschichte der neuzeitlichen und modernen Physik. Nehmen wir sie aus einer Perspektive in den Blick, die für einen Astronomen wie Kepler nicht einschlägig wäre. Besonders stark zeigt sich die Kreativität des Physikers im Umgang mit der Empirie dann, wenn er die empirisch zu beobachtenden Phänomene *allererst selber erzeugt*. Astronomen können den Himmel nur beobachten, ohne ins Geschehen einzugreifen. Eben deshalb werden sie zuweilen zum Spielball hässlicher Beobachtungszufälligkeiten. Experimentatoren dagegen können mehr Macht über das Empirische ausüben, indem sie es mitgestalten. Wie und wo ihnen bei dieser Gestaltungsarbeit der Sinn für Schönheit zuhilfekommt – diese Frage ist von den meisten Verächtern des physikalischen Schönheitssinns, auch von Hossenfelder, gar nicht erst gestellt worden.

In der Tat eignen sich Experimente besonders gut, um sich über den Schönheitssinn von Physikern Klarheit zu

mere empirical curve-fitting" (Gingerich et al [TK]:77).

¹⁰ Siehe z.B. Heisenberg [BSiE]:303; Weinberg [TvEU]:169-170; McAllister [SAPa]:182-185.

verschaffen und Verbindungen zur Ästhetik in den Künsten zu ziehen. Im Vergleich zu Theorien sind Experimente angenehm konkret; es sind Artefakte. Man kann sie anfassen und sehen – so wie viele Kunstwerke. Und man kann jahrelang an ihnen feilen, ihre Präsentation optimieren, wohlkalkulierte Überraschungen fürs Publikum einbauen usw. – nicht anders als in den Künsten. Wo in der Physik, wenn nicht beim Experimentieren, geht es am ehesten so zu wie in den Künsten?

Einer der größten Experimentierkünstler der Neuzeit war Isaac Newton (1643-1727). Bevor wir ihm bei seiner Arbeit im Labor über die Schulter schauen, ist ein Wort zu seinen großen theoretischen Leistungen am Platze. Parallel zu und unabhängig von Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1714) schuf er die Integral- und Differentialrechnung. Es war eine Kulturleistung ersten Ranges, auf geregelte Weise mit dem Unendlichen rechnen zu lernen – bei einem Thema, auf dessen bloß spekulative Bearbeitung sich Theologen, Metaphysiker und Künstler zuvor einiges eingebildet hatten; viel heiße Luft.

Im Kontrast dazu konnte Newton seine mächtigen mathematischen Werkzeuge nutzen, um Keplers drei Gesetze vom Gang der Planeten auf grundlegendere und einfachere, also schönere Gesetze zurückzuführen. Mit beneidenswerter Intuition sah und schuf er die mathematische Einheit in der verwirrenden wuselnden Vielfalt der irdischen und himmlischen Bewegungen. Einheit in der Vielfalt – das ist eine der zahllosen Formeln, an denen wir ästhetische Erungenschaften von Kunstwerken festmachen können. So holte der alte Johann Sebastian Bach (1685-1750) aus einem einzigen Fugenthema den im Detail schwindelerregenden Reichtum seiner *Kunst der Fuge* heraus. Und der junge Kepler holte aus einer einzigen geometrischen Idee den ganzen Reichtum seines Himmelsmodells heraus.

Dem offiziellen Newton war der schönheitstrunkene Überschwang eines Keplers fremd; der habe, spottete er, die Planetenbewegungen nur zufällig geraten. War er vielleicht neidisch? In unveröffentlichten Schriften hat Newton auf abenteuerlichste Weise alles durchprobiert von Alchemie über physikalische Bibelexegese bis zum Rosenkreuzertum – aber das ist eine andere Geschichte. Nach außen jedenfalls gab er sich kühl, *very British*:

"Ich weiß nicht, welchen Eindruck ich auf die Welt mache, aber mir selbst kommt es so vor, als hätte ich nur wie ein kleiner Junge am Strand gespielt und mich damit vergnügt, ab und an einen besonders glatten Kieselstein oder eine besonders hübsche Muschel zu finden, während der große Ozean der Wahrheit völlig unentdeckt vor mir lag".¹¹

Mit überbordender kreativer Energie formulierte er nicht nur eine mathematisch durchgeformte Mechanik, sondern schuf auch die früheste ernstzunehmende Farb- und Lichttheorie (1704). Hier lässt sich sein Sinn für Ästhetik besonders gut nachempfinden. Einstein – der genialste physikalische Ästhet aller Zeiten – jubelte 1931 in seinem Vorwort zur Neuausgabe der newtonischen *Opticks*:

"Die Natur lag vor ihm wie ein offenes Buch, dessen Schrift er mühelos lesen konnte. Um das vielfältige Erfahrungsmaterial auf eine einfache Ordnung zurückzuführen, stützte er sich auf Begriffe, die ihm aus der Erfahrung wie von selbst zuflogen – aus den schönen Experimenten, die er wie Spielzeuge aufbaute und deren Reichtum er liebevoll im Detail beschrieb. In seiner Persönlichkeit vereinte er den Experimentator, den Theoretiker, den Handwerker und nicht zuletzt den Darstellungskünstler. Stark,

¹¹ Ob Newton den berühmten Spruch wirklich getan hat, für den der erste Newton-Biograph David Brewster keine Fundstelle nennt, kann man wohl nicht mehr feststellen. Hier das Zitat aus der Biographie im englischen Original: "I do not know what I may appear to the world, but to myself I seem to have been only like a boy playing on the seashore, and diverting myself in now and then finding a *smoother* pebble or a *prettier* shell than ordinary, whilst the great ocean of *truth* lay all undiscovered before me" (Newton zitiert nach Brewster [MoLW]/2:407, mein Kursivdruck).

sicher und alleine steht er vor uns: Seine Schaffensfreude und seine äußerste Genauigkeit treten uns aus all seinen Worten und all seinen Abbildungen entgegen".¹²

Newton experimentelle Erfolgsserie fing an mit seinem Ärger über die miese Qualität der damaligen Teleskope, deren Bilder wegen Farbenschmutz unscharf waren – Stichwort chromatische Aberration (Abb. C).

Physiker empfinden einen ästhetischen Widerwillen gegen unsaubere Versuchsergebnisse – so wie Musiker gegen versehentlich schlecht gestimmte Instrumente. Umgekehrt schätzen sie die Schönheit der Sauberkeit – so wie manch ein Portraitmaler der Renaissance (Abb. D).

Der optische Farbenschmutz in den Teleskopen der Newtonzeit war hartnäckig und ließ sich nicht beseitigen. An diesem Punkt machte Newton einen genialen Zug. So wie Künstler u.a. auf die Änderung unserer Wahrnehmungsgewohnheiten abzielen, so änderte Newton unseren Blick. Er richtete die volle Aufmerksamkeit auf die störenden Farben. Statt sich mit ihrer Verringerung abzufragen, rückte er sie ins Zentrum und verstärkte sie massiv. Das Ergebnis ist eine wahre Ikone neuzeitlicher Physik (Abb. E). Auf Photographien sieht das Spektrum schnell kitschig aus – die experimentelle Wirklichkeit ist weit intensiver, und genau das spricht unseren Schönheitssinn unmittelbar an, direkt sinnlich, fast überwältigend, schockierend schön: Unerhört leuchtende Farben größter

¹² Im englischen Original: "Nature to him was an open book, whose letters he could read without effort. The conceptions which he used to reduce the material of experience to order seemed to flow spontaneously from experience itself, from the *beautiful experiments* which he ranged in order like playthings and describes with an affectionate wealth of detail. In one person he combined the experimenter, the theorist, the mechanic and, not least, the *artist in exposition*. He stands before us strong, certain, and alone: his *joy in creation* and his minute precision are evident in every word and in every figure" (Einstein [F]:vii; mein Kursivdruck).

Sättigung verlieren sich auf mysteriöse Weise im Finsternen. Kein Wunder, dass sich dieses höchästhetische Resultat blitzschnell über Europa verbreitete, nicht anders als manche Gemälde desselben Jahrhunderts (Abb. F).

Gegen Missverständnisse: Diese Art farbiger Prachtentfaltung ist nicht die einzige Aufgabe der Malerei – aber es gibt Gemälde, deren Ästhetik wesentlich darauf beruht. Genauso in der Physik; es gibt Experimente, deren ästhetische Durchschlagskraft wesentlich auf Pracht beruht – aber das trifft längst nicht auf alle Experimente zu.

Jeder kennt Newtons Spektrum aus dem Schulunterricht. Doch wieviel ästhetischer Gestaltungswille hinter dem Experiment steckt, weiß kaum einer. So wie ein Brueghel musste auch Newton hart arbeiten, bis das Ergebnis höchsten ästhetischen Ansprüchen genügte (Abb. G). Er brauchte ein perfekt geschliffenes Prisma mit ganz bestimmten Winkeln, es musste präzise symmetrisch ausgerichtet werden, die Sonne musste einen ganz bestimmten Stand erreichen, und der Abstand zwischen Prisma und Auffangschirm musste erheblich größer sein, als es seine Vorgänger probiert hatten (aber nicht zu groß!) Nur so konnte es Newton gelingen, die zuvor als Schmutz abgetanen Farben provokant ins Zentrum der Aufmerksamkeit zu rücken. Ihm war bewusst, was er da tat. Er inszenierte sein Experiment mit der größtmöglichen Überraschungskraft und kündete stolz von der aufreizenden Extravaganz seines Spektrums.¹³

Schmutz, Provokation, Überraschung. Kennen wir alles aus der Malerei des 20. Jahrhunderts. In der Tat war es eine Innovation von Dadaisten und gleichgestimmten Malern etwa aus der Wiener Szene der Aktionskunst, dem Schmutz und

¹³ Newton [LoMI]:3076.

Kaputten eine neue, strahlende Bühne zu bereiten (Abb. H). In seiner Experimentierkunst war Newton ihnen weit voraus.

Moment mal, war nicht vorhin vom ästhetischen Wert sauberer Versuchsergebnisse die Rede? Und jetzt soll es plötzlich auf den Schmutz ankommen? Allerdings; *beide* Werte sind in der Experimentierkunst eines Newton von Belang. Nicht anders als in der Kunst kann eine experimentelle Errungenschaft mit ihrer Sauberkeit prunken oder aber mit ihrer überraschenden Kraft, unsere Wahrnehmungsgewohnheiten zu ändern. Oder mit beidem. Und mit vielem mehr. Weder in der Kunst noch in der Physik gibt es den einen ästhetischen Wert, der alle anderen zu übertrumpfen vermöchte.

Nachdem Newton z.B. mit seinem herrlichen Experiment aus dem sauberen weißen Sonnenlicht die bunten Bestandteile herausgeholt hatte, die darin stecken, stellte er eine naheliegende Frage: Wenn alle diese Farben im weißen Licht stecken sollen – muss sich dann das bunte Licht des Sonnenspektrums nicht ebensogut wieder in weißes Licht zurückverwandeln lassen?

Schöne Idee; was vorwärts funktioniert, muss auch rückwärts gehen. Doch die Sache wollte ihm zunächst nicht recht gelingen. Newtons allererstes Experiment zur Weißherstellung ließ zu wünschen übrig, und nur mit gutem Willen konnte man die Schmutzeffekte übersehen, die das gewonnene "Weiß" störten. Statt sich damit abzufinden und die Sache kurzerhand verbal zu beschönigen (wie es nur zu oft geschieht), spuckte er in die Hände und versuchte es immer wieder. Innerhalb von über dreißig Jahren hat er ein halbes Dutzend Weißsynthesen veröffentlicht, eine schöner

als die andere – aber keine perfekt. Eine von ihnen nannte er immerhin "nicht unelegant".¹⁴

Wer sich in diese alten Experimente vertieft, wird schnell vom ruhelosen Perfektionismus dieses großen Experimentierkünstlers gefesselt. Die Geschichte geht gut aus; noch zu Newtons Lebzeiten sollte einer seiner Schüler das perfekte Experiment zur Weißsynthese veröffentlichen (Abb. I). Man hört förmlich Newtons Jubel über diesen Triumph.

Das Experiment besticht nicht allein durch die reine weiße Sauberkeit seines Ergebnisses. Seine ästhetische Hauptattraktion ist die strenge Zeitsymmetrie des optischen Geschehens.

Symmetrie: Hier haben Sie eine der wohl wichtigsten Quellen physikalischer Schönheitsbegeisterung; sie wirkt bei Experimenten genauso wie bei Theorien. Bei der Zusammenstellung des modernen Teilchenzoos war die Schönheit der Symmetrien ein entscheidender Triebfaktor. Man suchte nach Teilchenarten, die das symmetrische Gegenteil bereits entdeckter Teilchenarten bieten sollten. Und man fand sie, eine nach der anderen.

Ohne Übertreibung lässt sich festhalten: Hätten wir Menschen einen völlig anderen Schönheitssinn, oder hätten wir – Gott bewahre – überhaupt keinen Schönheitssinn, dann hätten wir eine völlig andere Physik.

Gleichwohl bietet die Ästhetik den Physikern keine Erfolgsgarantie. Die 400-jährige Geschichte ihres Schönheitssinns ist voller Höhen und Tiefen. Nicht immer lagen sie richtig, wenn sie auf das Schöne setzten. Aber sie

¹⁴ Newton [OO]:519.

lagen um Dimensionen öfter richtig, als man kühlerweise erwarten wollte. Wäre ihr Sinn für Ästhetik auf bloß zufällige Weise mit der Treffsicherheit ihrer Modelle verknüpft, dann grenzte die Sache an eine mysteriöse Serie von Hauptgewinnen im Lotto.

Wenn die Sache aber nicht auf Zufall beruht – worauf beruht sie dann? Dieses Rätsel ist bis auf weiteres ungelöst.

Olaf Müller hat den Lehrstuhl für Wissenschaftstheorie an der Humboldt-Universität Berlin. Im April 2019 erschien bei Fischer sein neues Buch *Zu schön, um falsch zu sein: Über die Ästhetik in der Naturwissenschaft*.

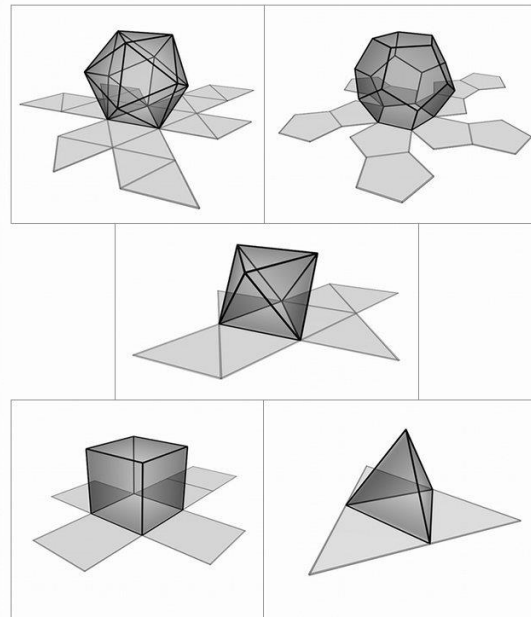


Abb. A: Die Platonischen Körper. Diese Platonischen Körper sind so aus deckungsgleichen Regulären Vielecken (mit gleichen Winkeln und gleichen Kanten) zusammengesetzt, dass die Kanten eines solchen Körpers überall im selben Winkel aufeinandertreffen. Es gibt nur fünf Körper mit diesen beiden Eigenschaften, nämlich (von links oben nach rechts unten): Ikosaeder, Dodekaeder, Oktaeder, Würfel, Tetraeder. (Graphik von Matthias Herder).

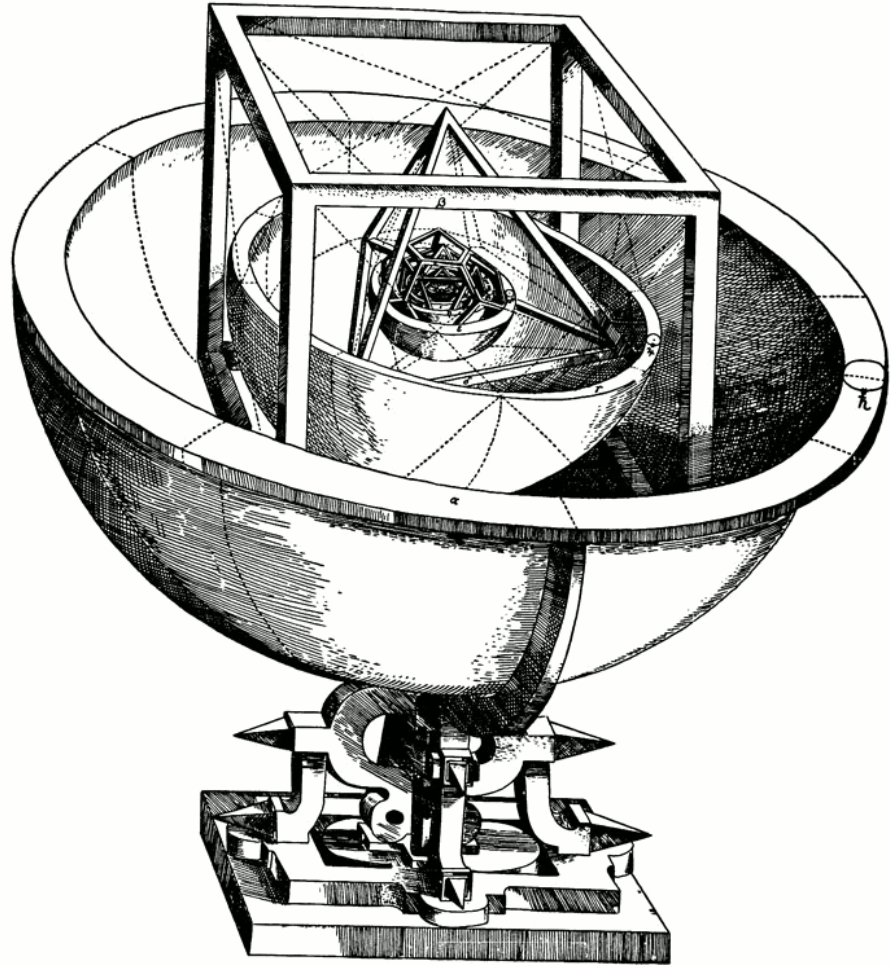


Abb. B: Keplers geometrisches Modell des Sonnensystems.

In die äußere Kugelschale (in deren Rahmen der Saturn um die Sonne kreist) hat Kepler den ersten Platonischen Körper – den Würfel – eingeschrieben. Die Schale seiner Innenkugel bietet dem Jupiter ausreichend Platz für seine Bewegungen, und diese Sphäre umschreibt den zweiten Platonischen Körper, den Tetraeder, dessen Innenkugel noch gut erkennbar den Dodekaeder einhüllt und die Marsbahn beherbergt. (Tabella III aus Kepler, *Mysterium Cosmographicum*, 1596).

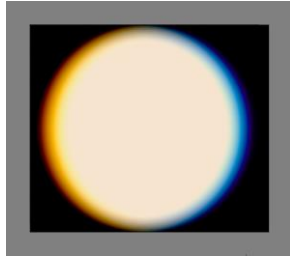


Abb. C: Chromatische Aberration bei Betrachtung eines weißen Himmelskörpers durch Teleskope der Newtonzeit.

Das Bild wird links wie rechts von Farbsäumen verschmutzt und verliert dadurch an Schärfe; die Farben stören die Reinheit des Bildes – höchst unschön.



Abb. D: Antonio del Pollaiuolo, *Bildnis einer jungen Frau im Profil*, ca. 1465. Reinheit als ein ästhetisches Ideal der Malerei. (Öl und Tempera auf Pappelholz. Gemäldegalerie Berlin).

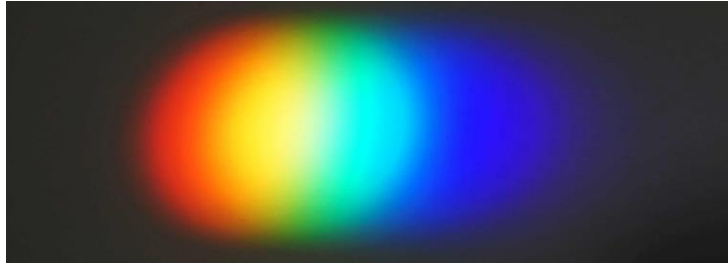


Abb. E: Newtonspektrum. Vor schwarzem Hintergrund leuchtet in den sattesten Farben ein Bild auf, dessen farbästhetisch überwältigender Kraft sich im echten Experiment kaum einer entziehen kann. Dabei beruht das Bild nur auf der konsequenten Verstärkung von ehemaligem Schmutz (Abb. C). Dass das Bild alles andere als scharf und sauber war, tat seiner Ästhetik keinen Abbruch. (Photo von Ingo Nussbaumer).



Abb. F: Jan Brueghel der Ältere, Blumenstrauß, um 1619/20. Wie beim Spektrum (Abb. E) verschwimmen hier die sattesten Farben unscharf, aber fast magisch im finsternen Hintergrund. Sauberkeit ist nicht das Thema des Bildes, wie auch die halbtote Biene vor der Vase zeigt, die an unser aller Verweslichkeit gemahnt. (Eichenholz. Gemäldegalerie Berlin).

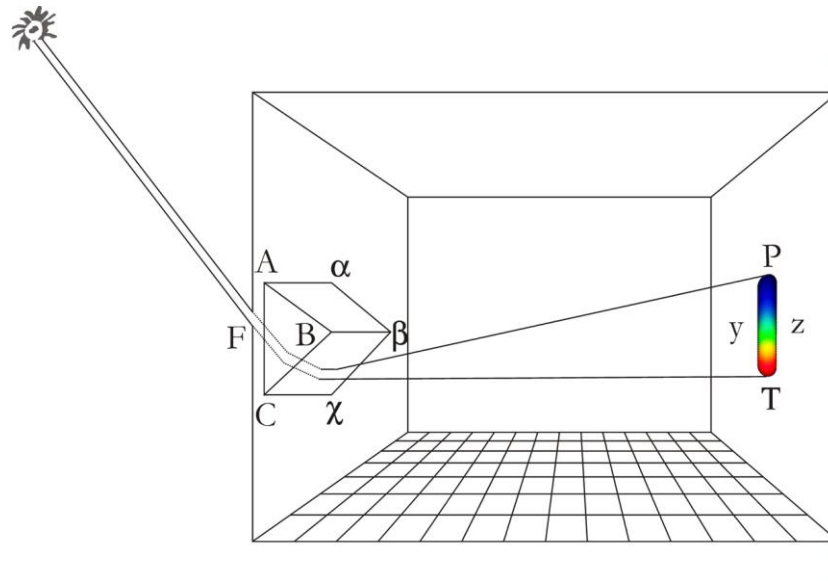


Abb. G: Newtons Versuchsaufbau – die Weißanalyse. Ein Sonnenstrahl wird durchs Fensterladenloch F in ein Prisma geschickt, wobei er vom geraden Weg abgelenkt wird und sich in seine kunterbunten Bestandteile auffächert. Hinter den Kulissen hat Newton, der Ästhet, für ganz präzise Abmessungen gesorgt, sonst klappt's nicht. (Graphik von Ingo Nussbaumer nach dem Notizbuch Newtons).



Hermann Nitsch, Blutorgelbild, Blut, Dispersion, Kreidegrund auf Jute, 1962, 100x40 cm, Leihgabe Stiftung Galerie für zeitgenössische Kunst, Leipzig, Foto: Simon und Mathias

Abb. H: Hermann Nitsch, Blutorgelbild, 1962. Blut, Dispersion, Kreidegrund auf Jute: So wie Newton uns lehrte, den angeblichen Farbenschmutz (Abb. C) mit neuen Augen als Hauptattraktion zu sehen, so lehren uns moderne Künstler einen neuen Blick auf angeblichen Schmutz. Oder muss man Blutflecke immer gleich wegputzen? Ist Blut Schmutz? (Stiftung Galerie für zeitgenössische Kunst Leipzig).

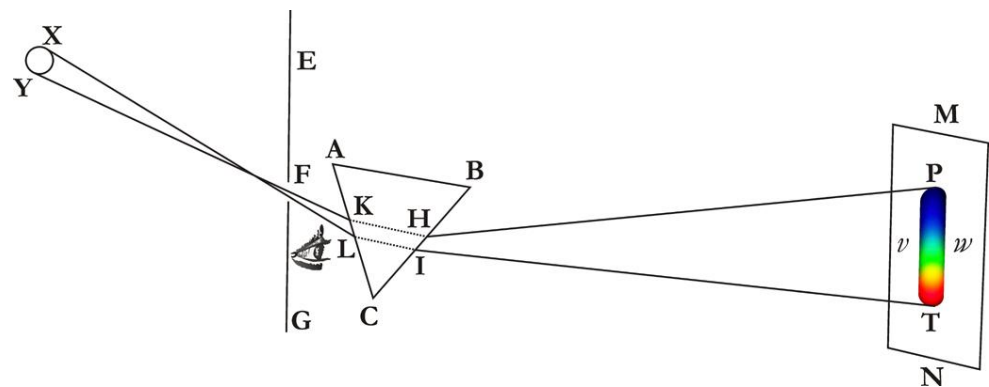


Abb I: Die Weißsynthese der Newtonschule (1714). Warum hat Newton mehrere Weißsynthesen veröffentlicht anstelle einer einzigen? Weil sie noch nicht schön genug waren – zu verwirrend, zu unrein. Einer seiner Schüler ging den Pfad zuende und erreichte Perfektion. Wie gehabt wird das weiße Licht der Sonne zunächst vom Prisma in seine bunten Bestandteile zerlegt. Diese bunten Lichter spritzen in alle Richtungen vom Schirm in den Raum; ein kleiner Teil von ihnen reist exakt auf denselben Pfaden zum Prisma zurück, auf denen sie zum Schirm gelangt waren. Was tun diese Strahlen auf dem Rückweg durchs Prisma? Exakt dasselbe wie auf dem Hinweg; das ist Newtons höchästhetische Zeitsymmetrie der optischen Gesetze. Da sich die farbigen Lichter beim Auge L wiedervereinigen, sieht der Experimentator beim Blick ins Prisma wie durch Magie einen sauber abgezeichneten blitzblanken Kreis: das Sonnenbild. Wer dessen unerwarteter Reinheit gewahr wird, der atmet auf – und freut sich nicht viel anders als beim Blick auf das blitzblanke Gesicht der Unbekannten aus Abb. D. (Zeichnung von Ingo Nussbaumer in Anlehnung an eine Originalzeichnung von Desaguliers).

Bibliographie

- Brewster, David [MoLW]/2: *Memoirs of the life, writings, and discoveries of Sir Isaac Newton. Volume 2.* (New York: Johnson Reprint Corporation, 1965). [Erschien zuerst 1855].
- Einstein, Albert [F]: "Foreword". In Newton [O]/A:vii-viii.
- Gingerich, Owen / Voelkel, James R. [TK]: "Tycho and Kepler. Solid myth versus subtle truth". *Social Research* 72 No 1 (2005), pp. 77-106.
- Heisenberg, Werner [BSiE]: "Die Bedeutung des Schönen in der exakten Naturwissenschaft". In Heisenberg [SüG]:288-305. [Text eines Vortrags aus dem Jahr 1970].
- Heisenberg, Werner [SüG]: *Schritte über Grenzen. Gesammelte Reden und Aufsätze.* (München: Piper, 1971).
- Hossenfelder, Sabine / von Rauchhaupt, Ulf [VP]: "Verführte Physiker". Interview, *Frankfurter Allgemeine Sonntagszeitung* Nr. 26 (1. Juli 2018), pp. 64/5.
- Hossenfelder, Sabine [LiM]: *Lost in math.* (New York: Basic Books, 2018).
- Kepler, Johannes [GW]/I: *Gesammelte Werke. Band I: Mysterium cosmographicum. De stella nova.* (Max Caspar (ed); München: Beck, 1938).
- Kepler, Johannes [GW]/VI: *Gesammelte Werke. Band VI: Harmonice mundi.* (Max Caspar (ed); München: Beck, 1940).
- Kepler, Johannes [GW]/VIII: *Gesammelte Werke. Band VIII: Mysterium cosmographicum editio altera cum notis. De cometis. Hyperaspistes.* (Franz Hammer (ed); München: Beck, 1963).
- Kepler, Johannes [HM]: *Harmonice mundi.* In Kepler [GW]/VI:5-377. [Erschien zuerst 1619].
- Kepler, Johannes [MC]/A: *Mysterium cosmographicum.* In Kepler [GW]/I:1-145. [Erschien zuerst 1596].
- Kepler, Johannes [MC]/B: *Mysterium cosmographicum.* In Kepler [GW]/VIII:5-128. [Erschien 1621 als zweite Auflage].
- McAllister, James W. [SAPa]: "Scientists' aesthetic preferences among theories. Conservative factors in revolutionary crises". In Tauber (ed) [ES]:169-187.
- Newton, Isaac [LoMI]: "A letter of Mr. Isaac Newton, professor of the mathematicks in the university of Cambridge; containing his new theory about light and colors". *Philosophical Transactions* 6 No 80 (1671/2), pp. 3075-3087.
- Newton, Isaac [O]/A: *Opticks. Or, a treatise of the reflections, refractions, inflections & colours of light.* (London: Bell, 1931). [Nachdruck der vierten Ausgabe von 1730].
- Newton, Isaac [OO]: *Opticae – Optics.* In Newton [OPoI]/I:280-603.
- Newton, Isaac [OPoI]/I: *The optical papers of Isaac Newton. Volume I: The optical lectures. 1670-1672.* (Alan E. Shapiro (ed); Cambridge: Cambridge University Press, 1984).

Tauber, Alfred I. (ed) [ES]: *The elusive synthesis. Aesthetics and science.* (Dordrecht: Kluwer, 1997). [= *Boston Studies in the Philosophy of Science* 182].

Weinberg, Steven [TvEU]: *Der Traum von der Einheit des Universums.* (Friedrich Griese (tr); München: Bertelsmann, 1993). [Erschien zuerst auf Englisch im Jahr 1992].

