

Einfach + schön = wahr

$A := \dots$

Viele Menschen halten ästhetisch Ansprechendes automatisch für richtig. Sogar Mathematiker beurteilen Formeln und Theoreme gern anhand ihrer »Attraktivität«. Wieso?

VON ROLF REBER UND SASCHA TOPOLINSKI

Millionenschwere Vermutung

Der Mathematiker Henri Poincaré (1854–1912) stellte 1904 eine Behauptung über die Gestalt mehrdimensionaler Gebilde (»Mannigfaltigkeiten«) auf, ohne sie beweisen zu können. Seitdem gilt die »Poincaré-Vermutung« als eines der berühmtesten Probleme der Mathematik. Das Clay Mathematics Institute in Cambridge (USA) lobte eine Million Dollar für denjenigen aus, der Poincarés Intuition belegen könne. 2002 veröffentlichte der russische Mathematiker Grigori Perelman einen Beweis, der bislang nicht widerlegt wurde – das Clay Institute hat die Lösung aber noch nicht offiziell anerkannt.

Die Idee, dass Schönheit nicht bloß Blendwerk sei, sondern dem Guten und der Erkenntnis dienen solle, geht schon auf den griechischen Philosophen Platon zurück. Auch im Mittelalter waren Künstler und Gelehrte davon überzeugt, dass etwas Wahres nicht hässlich sein könne. Und bis heute berichten Mathematiker und Physiker, dass die Eleganz einer Theorie ihnen oft einen ersten Anhaltspunkt dafür liefert, ob sie richtig ist. Der Mathematiker Hermann Weyl (1885–1955) ging einmal so weit, eine an sich widerlegte Hypothese über die Schwerkraft aufrechtzuerhalten, nur weil er die Formel so schön fand. Weyls Instinkt erwies sich als richtig – seine mathematische Grundidee kam später in der Quantenelektrodynamik doch noch zu ihrem Recht.

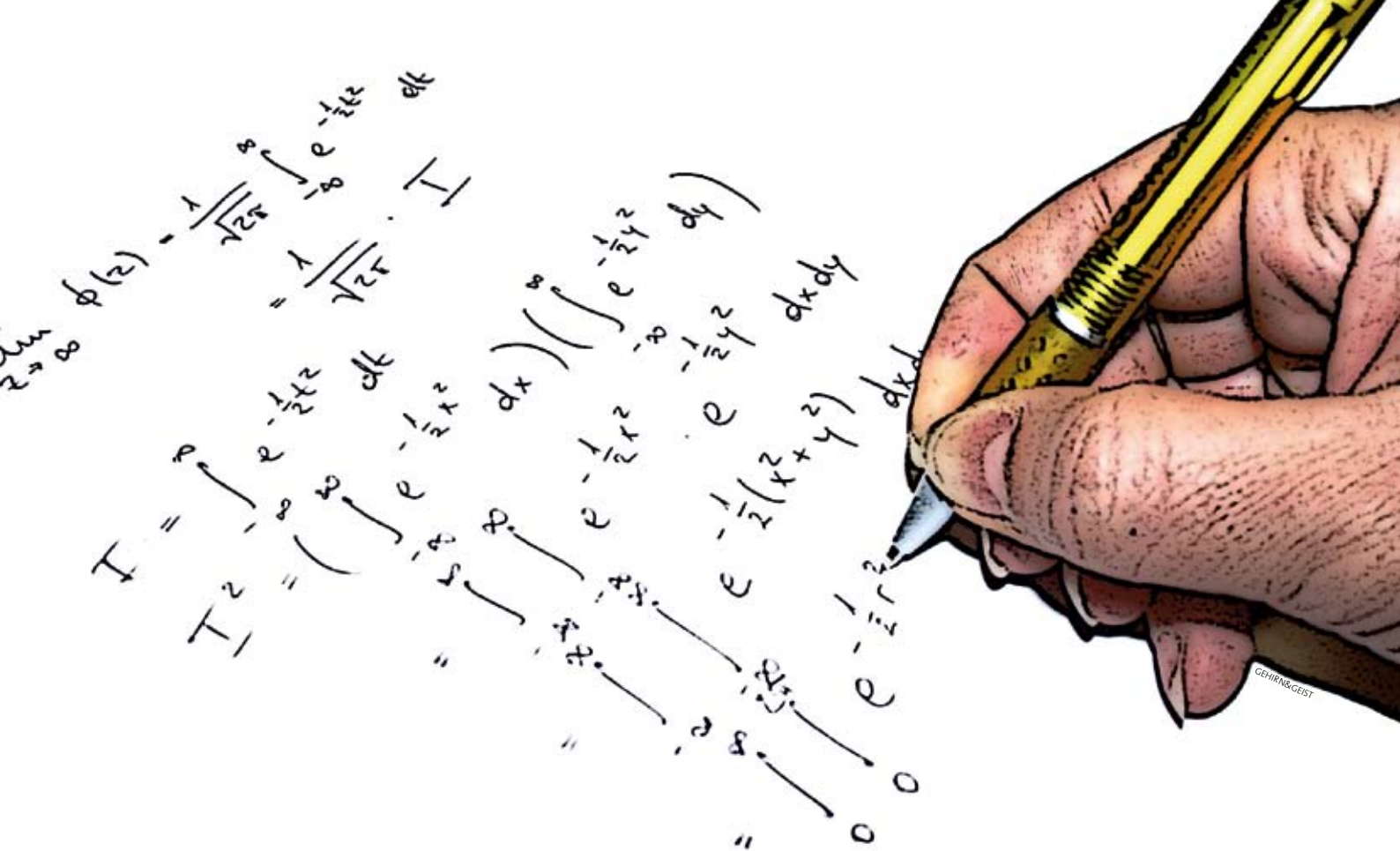
Natürlich kann sich auch die eleganteste Theorie als falsch herausstellen. Die Verbindung zwischen »schön« und »richtig« ist also nicht naturgegeben, erst der menschliche Geist stellt sie her. Warum? Im Jahr 2004 veröffentlichte einer von uns (Rolf Reber) zusammen mit Norbert Schwarz von der University of Michigan in Ann Arbor und Piotr Winkielman von der University of California in San Diego eine Theorie des ästhetischen Empfindens. Danach finden wir ein Kunstwerk oder ein Musikstück beson-

ders schön, wenn es für uns einfach ist, dieses wahrzunehmen. Psychologen nennen diese Leichtigkeit »Processing Fluency«, zu Deutsch: Verarbeitungsflüssigkeit.

Kindern gefällt demnach das Lied »Schlaf, Kindlein, schlaf!«, weil es so simpel und eingängig ist. Je älter ein Mensch wird, desto mehr und desto komplexere Musik lernt er kennen und zu verarbeiten.

Die Fluency-Theorie des ästhetischen Empfindens kann verschiedene Beobachtungen erklären, die Forschern bis dahin Kopfzerbrechen bereiteten: Etwa, warum Musikexperten auch komplizierte und sperrige Musik genießen können, während sich der Durchschnittshörer eher an Schlager und Hitparaden hält. Oder warum alle Neugeborenen den gleichen Musikgeschmack haben – sie bevorzugen konsonante, harmonisch klingende Tonreihen –, Erwachsene aber beträchtliche Unterschiede in ihren musikalischen Vorlieben aufweisen.

Offenbar kommen Babys mit einer biologischen Ausstattung zur Welt, mit der sie harmonische Tonfolgen leichter wahrnehmen können als dissonante Melodien. Erst später lernen die Kinder dann unterschiedliche Arten von Musik kennen, je nach Kultur und Umgebung, in der sie aufwachsen. Als Folge davon mögen



sie gewohnte Klänge lieber als Harmonien, mit denen sie keine Erfahrungen haben. Der individuelle Musikgeschmack käme also durch antrainierte Unterschiede in der Verarbeitungsflüssigkeit zu Stande.

Was leicht geht, erscheint richtig

Die Fluency-Theorie kann auch auf die Frage angewandt werden, warum unser Geist Schönheit mit Wahrheit verbindet: So wie eingängige Musikstücke mehr genossen werden als sperrige, werden auch leicht zu verarbeitende Aussagen eher für richtig gehalten. Rolf Reber und Norbert Schwarz ließen ihre Probanden beispielsweise den Wahrheitsgehalt von Sätzen wie »Osorno liegt in Chile« oder »Lima liegt in Peru« einschätzen. Manche Behauptungen waren in blassen Farben geschrieben, die vor dem weißen Bildschirmhintergrund nur schwer zu sehen waren, andere in kräftigen, leicht zu erkennenden Farben. Waren die Sätze gut lesbar, also flüssig zu verarbeiten, stimmten die Probanden der Aussage eher zu – unabhängig davon, ob sie stimmte oder nicht.

In einer eleganten Studie konnten Jochim Hansen, Alice Dechêne und Michaela Wänke von der Universität Basel zeigen, dass Fluency den scheinbaren Wahrheitsgehalt vor allem

dann erhöht, wenn die Verarbeitung unerwartet leicht fällt. Die Forscher nahmen dazu Sätze, deren Richtigkeit für die meisten Menschen schwierig einzuschätzen ist, etwa »Nussbrot ist gesünder als Kartoffelbrot« oder »Weißwein lässt die Konzentration der Magensäure stärker ansteigen als Rotwein«.

Wieder waren die Sätze mal in blassen, schwer zu erkennenden Farben geschrieben, mal mit gutem Kontrast. Folgte nun auf mehrere schwierig zu entziffernde Aussagen eine gut leserliche Behauptung, wurde diese sehr häufig als »wahr« eingestuft. Dieser Effekt trat aber nur bei einem plötzlichen Wechsel von anstrengenden zu mühelos lesbaren Sätzen auf. Anscheinend ist also nicht die absolute Verarbeitungsflüssigkeit für die Bewertung entscheidend, sondern vor allem, ob die Aussage leichter wahrzunehmen ist als erwartet.

Rolf Reber und Karoline Mitterndorfer haben die Fluency-Theorie zusammen mit Morten Brun, Professor für Algebraische Topologie an der Universität Bergen, auf die mathematische Intuition angewendet. Mathematiker sind heutzutage hoch spezialisiert und ihre Arbeitsgebiete so komplex, dass sie nur schwer in einem Experiment untersucht werden können. Daher griffen die Forscher auf einfache Rechenauf-

STIMMT'S?

Oft machen sich Mathematiker erst an den formalen Beweis einer Gleichung, wenn sie ihnen intuitiv wahr erscheint – ihrer Schönheit wegen.

LÄCHELQUARTETT

In einem Experiment blitzte für 17 Millisekunden je eines dieser fröhlichen Gesichter auf – zu kurz für die Testpersonen, um es bewusst wahrzunehmen. Trotzdem ließen die Probanden sich von der guten Laune anstecken: Nach der unbemerkten Manipulation waren sie eher der Meinung, dass eine Reihe von beliebigen Wörtern gut zusammenpasste.



gaben zurück, die sie Studenten vorlegten. Sie nutzten dabei ein Merkmal, das einerseits die Wahrnehmung erleichtert und andererseits oft als schön angesehen wird: Symmetrie.

Die Probanden sahen einfache Additionen in Form von Punktmustern, darunter auch falsche Rechnungen, zum Beispiel 12 Punkte plus 21 Punkte gleich 27 Punkte (siehe Bild links). Bei der Hälfte der Aufgaben waren die Punkte symmetrisch angeordnet, bei der anderen Hälfte unübersichtlicher. Die Versuchspersonen sahen die Rechnungen nur für 1,8 Sekunden, danach mussten sie entscheiden, ob die jeweilige Gleichung korrekt war oder nicht. Dies sollte die Situation eines Mathematikers simulieren, der die Lösung eines Problems vor sich sieht und intuitiv urteilt, ob diese richtig sein könnte – noch bevor er sich die Zeit nimmt, einen wissenschaftlich sauberen Beweis zu führen.

Tatsächlich hielten die Versuchspersonen eher Gleichungen mit symmetrischen als mit asymmetrischen Punktmustern für korrekt. Das lag aber nicht daran, dass Additionen mit regelmäßigem Aufbau leichter überprüft werden können: Denn dann wären falsche, aber hübsch anzuschauende Additionen auch häufiger als Fehler erkannt worden. Doch auch bei unwahren Punktgleichungen ließen sich die Probanden von deren Eleganz blenden. Anscheinend werteten sie die Leichtigkeit der Wahrnehmung und die Schönheit eines symmetrischen Bildes als Hinweis darauf, dass eine mathematische Verknüpfung richtig war.

Natürlich sind wissenschaftliche Sätze komplizierter als die Rechnungen in diesem Experiment und Mathematiker viel erfahrener als studentische Versuchspersonen. Man wird nun Schritt für Schritt die Versuchsanordnung den

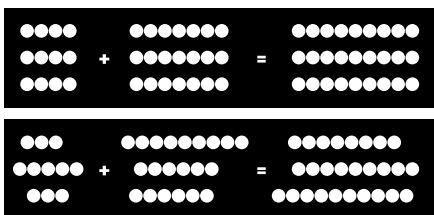
vielschichtigen Problemstellungen der Mathematik annähern müssen. Wir halten es aber für wahrscheinlich, dass das Gefühl der Schönheit, das Mathematiker intuitiv nutzen, um eine Lösung zu beurteilen, nicht viel anders ist als das Harmonieempfinden beim Anblick einer symmetrischen Addition von Punkten.

Doch wie genau werden Verarbeitungsflüssigkeit, Schönheit und Wahrheit miteinander verbunden? Wirkt, was leichter aufgenommen wird, nicht nur stets schöner, sondern gleichzeitig auch korrekter? Oder werden die flüssig zu verarbeitenden Lösungen zunächst einfach nur als harmonisch empfunden und lösen dadurch positive Gefühle aus – die dann erst die Beurteilung der Richtigkeit beeinflussen? Der französische Mathematiker Henri Poincaré berichtete, dass das Gefühl der Schönheit und Eleganz einer mathematischen Kombination dadurch entstehe, dass alles so schön zusammenspiele. Oft weiß ein Mathematiker nur, dass ein Satz »irgendwie passt« – er hat eine Ahnung, ohne bereits sichere Beweise liefern zu können.

Verlässliches Bauchgefühl

Sascha Toplinski und Fritz Strack von der Universität Würzburg versuchten, dieses unbestimmte Gefühl im Labor zu erzeugen. Ihre Probanden sahen Wort-Triaden wie beispielsweise Schaum, Salz, Tief. Ihre Aufgabe: Einen übergeordneten Begriff zu finden, mit dem alle drei Wörter zusammenhängen – in diesem Fall Meer. Für andere Triaden, wie Ball, Traum, Buch, gab es kein Lösungswort.

Wenn sie nach 15 Sekunden keinen Begriff gefunden hatten, der mit allen anderen verwandt war, mussten die Probanden eine Schätzung abgeben: Handelte es sich um eine zusam-



SYMMETRISCH, ALSO RICHTIG?

Studenten sollten bei Gleichungen wie diesen beurteilen, ob die Addition korrekt ist. Dazu hatten sie weniger als zwei Sekunden Zeit, abzählen funktionierte also nicht. Ergebnis: Gleichungen mit symmetrischer Anordnung der Punkte (oben) wurden öfter für richtig gehalten, auch wenn die Rechnung falsch war.



MIT FOT. GEN. VON SASCHA TOPOLINSKI

menhängende Triade oder um willkürlich kombinierte Wörter? Schon frühere Untersuchungen aus Kanada und Deutschland hatten gezeigt, dass die Probanden bei dieser Aufgabe ihrer Intuition trauen können: Auch wenn sie kein Lösungswort parat hatten, konnten sie trotzdem oft korrekt sagen, ob es einen solchen verbindenden Begriff gibt oder nicht. Manchmal scheinen Menschen also einen Sinn dafür zu haben, ob etwas zusammenpasst – selbst wenn sie nicht sagen können, warum.

Topolinski und Strack fragten sich nun, ob dieses Gefühl für Zusammengehörigkeit daher rührt, dass verwandte Wörter leichter gemeinsam verarbeitet werden können. Denn Begriffe sind im Langzeitgedächtnis in Netzwerken gespeichert: Jedes gelesene Wort aktiviert unterschiedlich bereits weitere Konzepte, die inhaltlich mit diesem verbunden sind. So können sinnverwandte Wörter schneller verarbeitet werden.

Ein Beispiel für den Aufbau dieses Netzwerks: Dem Satz »Eine Amsel ist ein Vogel« kann man etwas schneller zustimmen als dem Satz »Eine Amsel ist ein Tier«. Das Konzept »Amsel« ist im Gedächtnis nahe dem Begriff »Vogel« abgelegt – um festzustellen, dass Vögel zur Klasse der Tiere gehören, braucht es einen geistigen Arbeitsschritt mehr. Die »korrekten« Wort-Triaden wären demnach flüssiger zu lesen, weil alle Begriffe im semantischen Netzwerk relativ nah beieinanderliegen. In der Tat konnten die Probanden Wortfolgen, die über ein gemeinsames Lösungswort miteinander verknüpft waren, rund 60 Millisekunden schneller lesen als zufällig kombinierte Reihen. Und generell wurden Triaden umso wahrscheinlicher für passend gehalten, je schneller sie gelesen werden

konnten – egal, ob es tatsächlich ein Lösungswort gab oder nicht.

In einem anderen Experiment testeten die Autoren, ob das Lesen von zusammenhängenden Triaden vielleicht zu einem positiven Gefühl führt – so wie auch ein ästhetisches Empfinden angenehm ist. Dazu maßen sie die Anspannung von Muskeln, die bei emotionalen Gesichtsausdrücken zum Einsatz kommen, etwa die des Zygomaticus major. Er verläuft von der Schläfe bis zum Mundwinkel und zieht sich zusammen, wenn wir lächeln. In der Tat zuckte der Zygomaticus major kurz beim Anblick »korrekter« Wortfolgen, auch wenn die Aktivierung so klein war, dass es zu keinem echten Lächeln kam.

Ist dieses unterschwellige positive Gefühl dafür verantwortlich, dass die Versuchspersonen intuitiv sagen können, ob bestimmte Wort-Triaden zusammenpassen oder nicht? Um das zu erforschen, benutzten wir die so genannte »Priming«-Technik: Auf einem Bildschirm erschien für nur 17 Millisekunden entweder ein lächelndes oder ein ärgerliches Gesicht – zu kurz, um bewusst wahrgenommen zu werden (siehe Bilder oben links). Unmittelbar darauf folgten ein gut sichtbarer, neutraler Gesichtsausdruck und anschließend die Wort-Triade.

Wie schon in den vorherigen Experimenten hatten die Versuchspersonen oft nur ein unbestimmtes Gefühl, ob die Wörter zusammenpassten, und lagen damit wieder oft richtig. Neu war aber, dass sie sich bei ihren Urteilen offenbar von guter Laune beeinflussen ließen. Wenn zuerst unterschwellig ein lächelndes Gesicht präsentiert worden war, glaubten die Probanden öfter, dass die Wörter zusammenpassten. Frohe Mienen bestärkten sie also in dem Eindruck: Alles so schön passend hier!

Die Experimente von Strack und Topolinski geben Anhaltspunkte dafür, warum Mathematiker die Eleganz einer Theorie als Hinweis auf deren Wahrheit nutzen. Bei einer korrekten Lösung passen die einzelnen Teile vermutlich besser zusammen, weshalb die Information leichter aufgenommen werden kann. Dies wiederum löst positive Gefühle aus – das Gesehene wird als schön empfunden. Schönheit und Wahrheit haben eine gemeinsame Basis: die Verarbeitungsflüssigkeit. ~

Rolf Reber ist Professor für Biologische Psychologie an der Universität Bergen (Norwegen). Sascha Topolinski ist Doktorand am Lehrstuhl für Psychologie II der Universität Würzburg.

Die schönste Formel der Welt

1990 waren die Leser der Zeitschrift »The Mathematical Intelligencer« aufgerufen, das schönste mathematische Theorem zu küren. Klarer Sieger: Die »eulersche Identität«. Auch der Physik-Nobelpreisträger Richard Feynman (1918–1988) bezeichnete den Satz als »Juwel«.

$$e^{i\pi} + 1 = 0$$

LITERATURTIPPS

Reber, R. et al.: Processing Fluency and Aesthetic Pleasure: Is Beauty in the Perceiver's Processing Experience? In: *Personality and Social Psychology Review* 8, S. 364–382, 2004.

Kostenlos abrufbar unter: <http://hdl.handle.net/1956/594>

Topolinski, S., Strack, F.: The Analysis of Intuition: Processing Fluency and Affect in Judgments of Semantic Coherence. In: *Cognition and Emotion*, im Druck.

Topolinski, S. et al.: The Face of Fluency: Semantic Coherence Automatically Elicits a Specific Pattern of Facial Muscle Reactions. In: *Cognition and Emotion*, im Druck.