



ESSAY

KÖNNEN SIE IHREN AUGEN TRAUEN?

DIESER UND ANDEREN FRAGEN
RUND UM RÄUMLICHE WAHR-
NEHMUNG, VISUELLE ILLUSION
UND MATHEMATIK IST DER
FOLGENDE ESSAY AUF
DER SPUR

VON FELIX A. WICHMANN UND MARIANNE MAERTENS.

Ein Problem der Wahrnehmungsforschung ist, dem Nichteinge-weihten die Schwierigkeit des Wahrnehmungsprozesses verständlich zu machen. Für das Sehen gilt das im Besonderen: Augen auf und – Voilà – die Welt ist da! Sehen fällt uns so leicht, dass wir es sprichwörtlich verwenden, um auch geistige Vorgänge zu beschreiben: „Das ist doch klar!“, „Ich sehe die Lösung.“, „Ein durchsichtiger Versuch, mich hinter das Licht zu führen...“, „Ein heller Kopf.“, „Der ist keine Leuchte!“. Die Denkforschung hat es hier viel leichter, denn jeder sieht (!) sofort, dass es schwierig ist, Fragen wie „Wie denken wir logisch?“ oder „Wie spielen wir Schach?“ zu erforschen. Intuitiv sollten Handlungen, die uns schwer fallen, wie logisches Denken und Schachspielen, doch grundlegender sein als das scheinbar einfache Sehen, das ja auch Vögel, Katzen und Hunde beherrschen, während schachspielende Hunde nur im Reich der Fabeln in Erscheinung treten. Doch Intuition ist hier ein ganz schlechter Lehrer. Logik und Schach sind bei weitem besser verstanden (und auch einfacher!) als das Sehen. Menschen haben technische Systeme – Softwareprogramme – entwickelt, die sowohl logische Schlüsse als auch Schachspielen besser können als jeder Mensch. Technische Systeme, deren visuelle Wahrnehmung auch nur annähernd so gut wie die des Menschen ist, werden noch lange auf sich warten lassen. Warum glauben Sie, dass Sie noch immer so viele PIN-Nummern auswendig lernen müssen? Weil kein Bankautomat ihr Gesicht wieder erkennen kann, obwohl dies schon Kleinkindern leicht fällt!

Vielleicht ist folgender Gedankengang der grundlegendste zur visuellen Wahrnehmung: Die Welt ist räumlich dreidimensional. Bilder von dreidimensionalen Objekten der Welt werden auf unsere zweidimensionale Netzhaut projiziert. Dort erzeugen sie zweidimensionale Erregungsmuster der Photorezeptoren. Aus diesem zweidimensionalen Bild muss das visuelle System Anzahl, Größe, Eigenschaften und Entfernungen der dreidimensionalen Objekte schätzen. Mathematisch gesprochen ist ein solcher Vorgang nicht eindeutig lösbar: Für jede zweidimensionale Projektion („das Bild auf der Netzhaut“) gibt es unendlich viele verschiedene dreidimensionale Szenen („mögliche Welten“), die der Projektion zugrunde liegen könnten. Visuelle Wahrnehmung stellt also immer eine Form des Schlussfolgerns dar (technisch: der Inferenz), denn was wir bewusst wahrnehmen („sehen“), geht über die sensorischen Daten hinaus. Es ist immer eine Interpretation dieser Daten. Wahrnehmung als Inferenz oder unbewusster Schluss (ein Ausdruck, der auf Hermann von Helmholtz zurückgeht) sollte aber nicht als perzeptuelle Willkür missverstanden werden: Die dabei verwendeten Rechenverfahren scheinen ziemlich universell zu sein; so genannte optische Täuschungen und visuelle Illusionen – also Perzepte (Wahrnehmungen), die nicht der „wirklichen Welt“ entsprechen oder „physiktreue Perzepte“ – werden auf die gleiche Weise von (fast) allen Menschen erlebt.

**WENN ALLE MENSCHEN
STATT DER AUGEN GRÜNE
GLÄSER HÄTTEN, SO WÜRDEN
SIE URTEILEN MÜSSEN, DIE
GEGENSTÄNDE, WELCHE SIE
DADURCH ERBLICKEN, SIND
GRÜN – UND NIE WÜRDEN SIE
ENTSCHEIDEN KÖNNEN, OB IHR
AUGE IHNEN DIE DINGE ZEIGT,
WIE SIE SIND, ODER OB ES
NICHT ETWAS HINZUTUT, WAS
NICHT IHNEN, SONDERN DEM
AUGE GEHÖRT.**

HEINRICH VON KLEIST AM 22. MÄRZ 1811
IN EINEM BRIEF AN SEINE HALB-
SCHWESTER ULRIKE

SEGMENTIERUNG VON OBJEKTEN VOM HINTERGRUND

Wahrnehmung hat nicht das Ziel, die Welt physikalisch genau abzubilden, quasi als Fotografie im Gehirn. Wir sehen nicht, um uns an der Bild gewordenen Physik zu freuen, sondern um zu handeln, zu überleben: der Sehsinn in Mensch und Tier erlaubt es, die Umwelt aus der Distanz zu sondieren, Objekte zu manipulieren, Essbares zu finden, Gefahren frühzeitig gewahr zu werden. Ein in diesem Handlungs- und Überlebenssinne ideales Sehsystem sollte visuelle Objekte klar herausstellen, zum Beispiel den Tiger von Busch und Ästen visuell „abheben“ oder „herauslösen“ – trotz der Tarnung des Tigers, der ja gerade nicht gesehen werden will. Und weil dies unserem Sehsystem meist so gut gelingt, zum Beispiel das Gesicht des Herzallerliebsten aus der Masse anderer Gesichter, Körper und Objekte in unser mentales Spotlight zu stellen, glauben wir irrtümlicherweise Sehen wäre so einfach! Wenn wir unsere Betrachtung der Einfachheit halber auf Schwarz-Weiß-Bilder beschränken, sollte das Sehsystem Übergänge zwischen Objekten herausarbeiten: die Helligkeitsunterschiede oder (Helligkeits-)Kanten sollten prägnanter gemacht werden. Dabei sollten Helligkeits- oder Objektkanten vernünftig nachgeschärft werden, wie es die digitale Bildbearbeitung in Adobe Photoshop auch versucht: scharf, prägnant aber ohne Artefakte. Vernünftiges Kantennachschärfen bedeutet, wie so oft, einen Kompromiss zu finden: Zu wenig, und der Tiger hebt sich bedauerlicherweise visuell nicht von den Ästen ab; zu viel, und wir nehmen viel zu viele Objektkanten und damit verschiedene Objekte wahr. Wir sehen nur noch sich bewegende gelbe und schwarze Streifen, aber eben auch keinen Tiger mehr – genauso bedauerlich wie fatal. →



Abb. 1 BEI EINER ABFOLGE VON FLÄCHEN UNTERSCHIEDLICHER GRAUFÄRBUNG, DIE IN SICH KEINE FARBGRADUIERUNG HABEN, SIND ENTLANG DER GRENZEN SO GENANNT E MACH-BÄNDER ZU SEHEN. ERNST MACH BESCHRIEB DIESEN EFFEKT ERSTMALS 1865. IN SUCCESSIONS OF AREAS WITH VARYING GREY COLOURING WITHOUT COLOUR GRADUATION, SO-CALLED MACH BANDS ARE PERCEPTIBLE ALONG THE BOUNDARIES. ERNST MACH INITIALLY DESCRIBED THIS EFFECT IN 1865.

VISUELLES NACHSCHÄRFEN UND MACH-BÄNDER

Ein Beispiel, wie subtil Bilder durch unser visuelles System nachgeschärft werden, zeigt Abbildung 1. Dort sehen Sie ein so genanntes Mach-Band, ein geradezu „berühmtes“ Helligkeitsmuster. Der Helligkeitsverlauf von links nach rechts, etwa an der pink markierten Linie in der oberen Hälfte, ist in Hellblau aufgetragen: Das linke äußere Drittel ist durchgehend Hellgrau, das äußere rechte Drittel fast Schwarz. Im mittleren Drittel fällt die Helligkeit linear von Hellgrau nach Dunkelgrau ab. Was Sie aber zusätzlich sehen, ist ein heller, vertikaler Streifen an der Stelle, wo die uniforme helle Fläche beginnt, dunkler zu werden (ein Drittel von links), sowie ein dunkler Streifen am Übergang von linearem Helligkeitsabfall zu gleichförmiger Dunkelheit (ein Drittel von rechts). Diese vertikalen hellen und dunklen Streifen – die so genannten Mach-Bänder – existieren nur in Ihrer Wahrnehmung: Ein technisches Gerät zur Helligkeitsmessung, wie eine Photodiode, die auch in den meisten Belichtungsmessern von Fotoapparaten zu finden ist, misst ausschließlich den blauen Helligkeitsverlauf, ohne helles und dunkles Mach-Band. Mach-Bänder sind so instruktiv, da sie

den der bewussten Wahrnehmung inhärenten Inferenzprozess – hier Nachschärfen von Kanten – offen legen und als unseren ständigen Begleiter offenbaren. Im Übrigen können Sie mit Hilfe von Mach-Bändern „schwärzer-als-Schwarz“ oder je nach philosophischer Natur, auch „schwärzer-als das-Nichts“ sehen: Wenn die dunkle, homogene Fläche so schwarz wie nur physikalisch möglich ist, also kein einziger Lichtquant reflektiert wird, dann sehen Sie dennoch ein noch dunkleres Mach-Band: die Mutter alles Schwarzen.

Zumindest einige Varianten von Mach-Bändern können als Resultat einer einfachen neuronalen „Bildbearbeitung“ verstanden werden, die sich in drei Arbeitsschritte aufgliedern lässt. Zuerst Tiefpassfiltern oder Glätten des Bildes, dann Wendepunkte der (geglätteten) Helligkeitsfunktion berechnen – zweite Ableitung der Helligkeitsfunktion nach dem Ort gleich Null, Sie erinnern sich an die Kurvendiskussion Ihres Mathematikunterrichts? – und drittens, diejenigen Wendepunkte als signifikanten Objektkanten markieren (wahrnehmen!), für die die dritte Ableitung nicht gleich Null ist. Diese aus der digitalen Bildbearbeitung bekannten Arbeitsschritte entsprechen ziemlich exakt der Strategie der Netzhaut: Die große Mehrzahl der Zellen der Netzhaut, welche Signale an den Rest des Gehirns weiterleiten, signalisieren die lokale, geglättete zweite Ableitung der Helligkeit an den visuellen Kortex, nicht die absolute Helligkeit (das physikalische Bild). Wenn sie diese Arbeitsschritte auf dem Mach-Band-Bild anwenden, erhalten Sie die typischen hellen und dunklen Mach-Bänder.

DARF MAN SEINEN AUGEN TRAUEN?

So genannte Helligkeitstäuschungen machen besonders deutlich, dass unsere Wahrnehmung keine 1:1 Abbildung der Lichtverhältnisse in der Umwelt ist. Betrachten Sie beispielsweise das Schachbrett in Abbildung 2: Die von A und B in Ihr Auge fallende Lichtmenge ist identisch, das heißt, wenn Sie mit dem oben schon erwähnten Photometer, einem physikalischen Messinstrument, die Helligkeit beider Felder messen würden, erhielten Sie den selben Wert (Sie können das nachprüfen, indem Sie die Felder ausschneiden oder eine Schablone darauf legen mit Löchern an den entsprechenden Stellen). Ihnen wird aber die Fläche A deutlich dunkler vorkommen als Fläche B, obwohl beide physikalisch identisch sind! Jetzt könnte man sich natürlich fragen, was das



PROF. FELIX A. WICHMANN, DPHIL, Professor für die Modellierung kognitiver Prozesse am Berliner Bernstein Center for Computational Neuroscience und an der TU Berlin. Er studierte Experimentelle Psychologie in Oxford und promovierte dort über mathematische Modelle der Kontrastwahrnehmung. Anschließend war er Gastwissenschaftler in Leuven (Belgien) und einige Jahre wissenschaftlicher Mitarbeiter am Max-Planck-Institut für Biologische Kybernetik in Tübingen, bevor er 2007 den Ruf nach Berlin erhielt.

PROF. FELIX A. WICHMANN, DPHIL, Professor for Modelling of Cognitive Processes at the Berlin Bernstein Center for Computational Neuroscience and at TU Berlin. He studied experimental psychology in Oxford, where he took a doctorate in mathematical models of contrast perception. Subsequently he was a guest researcher in Leuven (Belgium) and for a few years a research assistant at the Max-Planck-Institute for biological cybernetics in Tübingen, before he became professor at TU Berlin in 2007.

soll? Erlaubt sich unser Sehapparat einen Scherz mit uns? Nein, er macht genau das, was wir von ihm erwarten: Er zieht nämlich in Betracht, dass Schachfeld B im Schatten des Zylinders liegt und deshalb weniger Licht auf Feld B fällt. Wenn weniger Licht auf B als auf A fällt, aber dennoch die selbe Lichtmenge von A und B in ihr Auge fällt – dies meinen wir, wenn wir sagen, beide Flächen seien physikalisch identisch – dann muss Schachfeld B mehr Licht reflektieren als Schachfeld A. Das liegt daran, dass die Lichtmenge, die im Auge eintrifft, sowohl von der Beleuchtungsstärke abhängt, als auch von der Reflektanz der Oberfläche. Sie wissen, dass dunkle Flächen mehr Licht absorbieren (und weniger Licht reflektieren) als helle Flächen. Wir sehen also nicht die physikalische Helligkeit (also die Lichtmenge, die ins Auge fällt), sondern eher die Reflektanz eines Objektes. Unser Sehsystem ist also viel schlauer als ein bloßes Messinstrument, denn es hat versucht, das einfallende Licht quasi „herauszurechnen“, damit wir die Reflektanz sehen (entspricht meist dem Material), und nicht nur die physikalische Lichtmenge. Demnach ist es vielleicht doch gut, dass wir Dingen erst trauen, wenn wir sie mit eigenen Augen gesehen haben.

WARUM DER GANZE ERKLÄRUNGS-AUFWAND?

Befällt Sie dieser Gedanke beim Lesen? Dann sind wir wieder am Ausgangspunkt des Aufsatzes: die Schwierigkeit die Wahrnehmung zu kommunizieren. Ein Problem ist die Visualisierung: Warum sagt ein Bild mehr als tausend Worte? Weil unsere effektive Sehmaschinerie in Auge und Kopf über Millionen von Jahren, und während wir vom Tag unserer Geburt an lernen, eine große Zahl Helmholtz'scher unbewusster Schlüsse ausgebildet hat, um zum Beispiel die Helligkeitsunterschiede und -kanten in der Welt zu Objekten zu gruppieren.

Negative von schwarz-weißen Bildern, aber insbesondere Negative von Farbfotos sind etwa schon deutlich schwerer richtig wahrzunehmen – für unser Sehsystem ist es sehr schwer, sie zu interpretieren: Die merkwürdigen, psychedelischen Farben des Farbnegativs und die invertierte Helligkeit verhindern, dass der visuelle Inferenzapparat in Gang kommt. Die Schwierigkeit für ein technisches Sehsystem wird so offenbar, da wir unsere evolutionären und gelernten „Tricks“ bei der Interpretation bildhafter Daten nicht anwenden können.

Wir sehen helle und dunkle Streifen in Mach-Bändern, die nur in unserer Wahrnehmung existieren. Sie verdeutlichen somit die allgegenwärtige Tendenz des Gehirns, das kontinuierliche Erregungsmuster unserer Netzhaut in semantisch bedeutsame Objekte zu zerlegen, Hypothesen über die Welt zu bilden, Inferenz zu betreiben. Mathematik hilft uns, diese empirischen Befunde zu interpretieren. Die Netzhaut übermittelt dem Gehirn vorverarbeitete Daten darüber, wo im Bild die wichtigen Ecken und Kanten sind, und leitet eben nicht nur eine Kopie des auf die Photorezeptoren fallenden Lichtmusters weiter. Spätestens nach Lektüre dieses Artikels wissen Sie, dass Heinrich Kleists Verunsicherung in dem Brief an seine Halbschwester hinsichtlich des „Wahrheitsgehaltes“ der Wahrnehmung – ausgelöst durch die Lektüre von Immanuel Kants Kritik der reinen Vernunft – berechtigt war. Nur den vollen Durchblick hatte er noch nicht: Die Augen zeigen Ihnen zum Glück die Dinge *nie* wie sie sind – mit oder ohne grün getönter Sonnenbrille. X



DR. MARIANNE MAERTENS ist 30 Jahre alt und arbeitet als wissenschaftliche Mitarbeiterin in der Arbeitsgruppe Modellierung kognitiver Prozesse an der TU Berlin und dem Bernstein Center for Computational Neuroscience in Berlin. Sie hat an der Martin-Luther Universität in Halle Psychologie studiert und am Max-Planck Institut für Kognitions- und Neurowissenschaften in Leipzig promoviert. Anschließend war sie ein Jahr als Gastwissenschaftlerin im Center for Neural Science an der New York University tätig.

DR. MARIANNE MAERTENS is 30 years of age and works as research assistant in the working group "Modelling of Cognitive Processes" at TU Berlin and the Bernstein Center for Computational Neuroscience in Berlin. She studied psychology at Martin-Luther University in Halle and did her doctorate at the Max-Planck Institute for Cognition and Neurosciences in Leipzig. Subsequently she was a guest researcher at the Center for Neural Science at New York University for one year.

BY FELIX A. WICHMANN AND MARIANNE MAERTENS.

One problem of perception research is to make outsiders understand the difficulties of cognitive processes. This is especially true for visual perception: Open your eyes and – voilà – the world is right in front of you! Seeing comes so naturally to us that we proverbially use it to describe mental processes: “That is clear,” “I can see the solution,” “A transparent lie trying to pull the wool over my eyes...”, “A bright guy,” “He is no luminary.” For thinking research it is a lot easier, because everyone immediately sees (!) that it is difficult to research questions such as “How do we think logically?” or “How do we play chess?”. Considered intuitively, actions, which are difficult for us such as reasoning and playing chess, should be more fundamental than the seemingly simple power of seeing, which birds, cats and dogs master as well, whilst dogs playing chess only appear in the realms of fantasy. However, in this respect intuition is a very bad teacher. Logic and chess are by far better understood (and easier, too!) than vision. Humans have developed technical systems, software, which are better at logical conclusions and playing chess than every human being. Technical systems, whose visual perception even begins to compare with that of humans, are long in coming. Why is it that we still have to learn so many PINs by heart? Because no cash dispenser is able to recognise your face, although that comes naturally to toddlers already! Maybe the next question is the most basic regarding visual perception: The world is spatially three-dimensional. Images of three-dimensional objects are projected onto our two-dimensional retina, where they generate a two-dimensional stimulus pattern of the photoreceptors. From this two-dimensional image the visual system estimates number, size, features, and distances of the three-dimensional objects. Mathematically speaking such a process cannot be unambiguously solvable: for each two-dimensional projection (“image on the retina”) there are an infinite number of different three-dimensional scenes (“possible worlds”), which could be the basis of the projection. Therefore visual perception is always a form of deductive reasoning (technically: inference), because whatever

we see consciously (“see”) exceeds sensory data. It is always an interpretation of these data. Perception as inference or unconscious conclusion (an expression, which traces back to Hermann von Helmholtz) should however not be misunderstood as perceptual arbitrariness: the applied arithmetic techniques seem to be rather universal; so-called optical and visual illusions – that is percepts, which do not correspond to the “real world” or “physically correct percepts” – are experienced in the same way by (almost) all people.

HIGHLIGHT OBJECTS AGAINST THE BACKGROUND

Perception does not aim at generating a physically exact reproduction of the world, quasi as photograph in the brain. We do not see to delight in picturised physics, but in order to act and survive: The sense of vision of humans and animals permits a sounding of the environment from a distance, in order to be able to manipulate objects, find something to eat, become aware of danger precociously. A visual system, which is ideal in this sense of action and survival, should clearly signalise visual objects, for example visually contrast or expose a tiger against bushes and branches – despite the tiger’s camouflage, which does not want to be discovered. And because our visual systems mostly succeeds to place for example the face of our beloved in the crowd of other faces, bodies and objects in our mental spotlight, we mistakenly believe that seeing is so simple! If we – to simplify matters – restrict our viewing to black-and-white images, the visual system should work out transitions

between objects: differences in brightness or (brightness) edges should become more concise. In this process edges of brightness and objects should be sharpened, just as the digital image editing in Adobe Photoshop tries to do: sharp, concise, but without artefacts. As it is often the case reasonable sharpening means to come to a compromise: Too little, and unfortunately the tiger does not visually stand out against the branches; too much, and we perceive too many object edges and thus too many different objects. All we see is moving yellow and black stripes, but no tiger anymore – equally unfortunate or fatal.

ESSAY

CAN YOU BELIEVE YOUR EYES?

THE FOLLOWING ESSAY GETS TO THE BOTTOM OF THIS AND OTHER QUESTIONS CONCERNED WITH SPATIAL PERCEPTION, VISUAL ILLUSIONS AND MATHS



**IF ALL MEN HAD GREEN GLASSES
INSTEAD OF EYES, THEY WOULD
HAVE TO JUDGE THAT THE OBJECTS
WHICH THEY VIEWED THROUGH
THE GLASSES WERE GREEN – AND
NEVER COULD THEY DETERMINE
WHETHER THEIR EYES SHOWED
THEM THE OBJECTS AS THEY WERE,
OR WHETHER THE EYES PERHAPS
DID SOMETHING TO THE OBJECTS
CHARACTERISTIC NOT OF THE
OBJECTS, BUT OF THE EYES.**

HEINRICH VON KLEIST ON MARCH 22, 1811
IN A LETTER TO HIS HALF-SISTER ULRIKE

VISUAL SHARPENING AND MACH BANDS

Illustration no. 1 shows one example of how subtly images are sharpened by our visual system. Here you see a so-called Mach band, an almost “famous” brightness pattern. The brightness gradient from the left to the right, for example along the line marked pink in the upper half, is applied in light blue: The left outer third is continuously light grey, the outer right third is almost black. In the middle third the brightness linearly decreases from light grey to dark grey. However, what you actually see is a bright vertical stripe in place where the uniform bright area starts to become darker (one third from the left), as well as a dark stripe at the transition from the linear decline of brightness towards uniform darkness (one third from the right). These vertical bright and dark stripes – the so-called Mach bands – only exist in our perception: A technical device for brightness measurement, such as a photodiode, as it is used in most exposure meters of cameras, exclusively measures the blue brightness gradient, without the bright and dark Mach band. Mach bands are so instructive because they reveal the inference process inherent in conscious perception (here sharpening edges) as our constant companion. Apart from that, Mach bands help you to see “blacker than black” or depending on the philosophical nature, also “blacker than nothingness”: when the dark, homogeneous area is as black as physically possible, in example not a single light quantum is reflected, you still see an even darker Mach band: the mother of all blacks.

At least a few variants of Mach bands can be understood as the result of a simple neuronal “image processing”, which can be divided into three work steps. Initially lowpass filtering or smoothing of the picture, then calculation of inflection points of the (smoothed)

brightness function, and finally, marking those inflection points as significant object edges (perceive!) for which the third derivative is a nonzero number. These work steps well known from digital image processing rather exactly correspond to the retina’s strategy: The large majority of retina cells, which forward signals to the brain, signalise the local, smoothed second derivative of brightness to the visual cortex, but not the absolute brightness (the physical image). When you apply this process to the Mach band illustration, you receive the typical bright and dark Mach bands.

CAN WE BELIEVE OUR EYES?

So-called brightness illusions clearly emphasise that our perception is no 1:1 reproduction of the lighting conditions in our environment. When you look at the chessboard in illustration no. 2. The incident light quantity from A and B in your eye is identical, that is when you measure the brightness of both areas with the above-mentioned photometer (a physical measuring instrument) you would obtain identical values (you can check by cutting out both fields or but a mask over the fields with holes in the respective place). However, square A appears to you distinctly darker than square B although both are physically identical! Now one could obviously ask oneself, what this means? Does our vision play a trick on us? No, it does exactly what we expect it to do: It takes into account that chessboard square B lies in the cylinder’s shadow and that there is consequently less incident light on square B. If there is less incident light on B as compared to A, but the same light quantity from A and B still arrives in your eyes (this is what we mean when we say that both squares are physically identical), then chessboard square B must reflect more light than square A. That’s because the light amount, arriving in the eye is →

Abb. 2 SCHACHBRETT NACH ADELSON, 1995: DIE FARBFELDER A UND B SIND IDENTISCH, DAS HEISST GLEICH HELL IM PHYSIKALISCHEN SINNE DER GLEICHEN LICHTMENGE. CHESSBOARD ACCORDING TO ADELSON, 1995: THE SQUARES A AND B ARE IDENTICAL, I.E. EQUALLY BRIGHT IN THE PHYSICAL SENSE OF THE IDENTICAL LIGHT QUANTITY.



dependent on both the light intensity and the surface reflectance. You know that dark areas absorb more light (and reflect less light) than bright areas. Consequently we don't see the physical brightness (that is the incident light quantity in the eye), but rather the reflectance of an object. Our visual system is therefore much cleverer than a mere measuring instrument, because it tries to quasi "calculate" the incident light so that we see the reflectance (which mostly complies with the material), and not just the physical light quantity. According to this it is possibly advantageous that we only trust in things once we have seen them with our very eyes.

WHY ALL THAT EXPLANATORY EFFORT?

Does this strike you when reading this article? Then we are back at the beginning of our essay, namely the difficulties of communication perception. One problem is visualisation: Why is it that a picture is worth a thousand words? Because our effective visual machinery in our eyes and brains has developed a large number of Helmholtz unconscious conclusions over the last millions of years and in our learning process since we were born, in order to group the differences and edges of brightness in this world as objects. Negatives of black-and-white photographs, but especially negatives of colour photographs are much more difficult to perceive already – for our visual system it is very difficult to interpret them: the peculiar, psychedelic colours of the colour negative and the inverted brightness impede that the visual inference apparatus is

initiated. The difficulty for a technical visual system thus becomes obvious, because we cannot apply our evolutionary and learnt "tricks" for the interpretation of pictorial data.

We see bright and dark stripes in Mach bands, which only exist in our perception. They illustrate the brain's omnipresent tendency to resolve the continuous stimulus pattern of our retina into semantically significant objects, to form hypotheses on the world, to carry on inference. Mathematics helps us to interpret these empirical findings. The retina transfers pre-processed data to the brain where the important edges and corners are in the image; it doesn't simply forward a copy of the light pattern arriving at the photo-receptors. After reading this article you know at the latest that Heinrich Kleist's uncertainty in his letter to his half-sister regarding the "truth content" of perception (caused by reading Immanuel Kant's "Critique of Pure Reason") was justified. However, he still doesn't know what the score is: fortunately the eyes never show things as they are – with or without green-tinted sunglasses. X

REFERENZEN REFERENCES Purves D, Williams SM, Nundy S, Lotto RB. Perceiving the intensity of light. *Psychol Rev.* 2004, 111(1):142-58. Adelson EH.

Perceptual organization and the judgment of brightness. *Science.* 1993, 262(5142): 2042-4.

ANMERKUNG NOTE Die Grundlage für diesen Essay bildet der Artikel „Mathematik und Wahrnehmung“ von Felix A. Wichmann und Marc O. Ernst aus den „Akademischen Mitteilungen AM12 – Fünf Sinne“, Redaktion und Konzept: Andrea Appenzeller und Daniela Steidle, Herausgeber: Staatliche Akademie der Bildenden Künste Stuttgart, Studiengang Kommunikationsdesign, ISBN 978-3-931485-84-9