

Schwarz: die Farbe der Nacht als Farbe der Welt: nichts oder Eigengrau: die wissenschaftlichen Modelle zur Erklärung der Farbe Schwarz

Autor(en): **Fischer, Ernst Peter**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Tec21**

Band (Jahr): **129 (2003)**

Heft Dossier (~~Farbe~~) **und Identität**

PDF erstellt am: **06.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-108847>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Schwarz: Die Farbe der Nacht als Farbe der Welt

Nichts oder Eigengrau: die wissenschaftlichen Modelle zur Erklärung der Farbe Schwarz

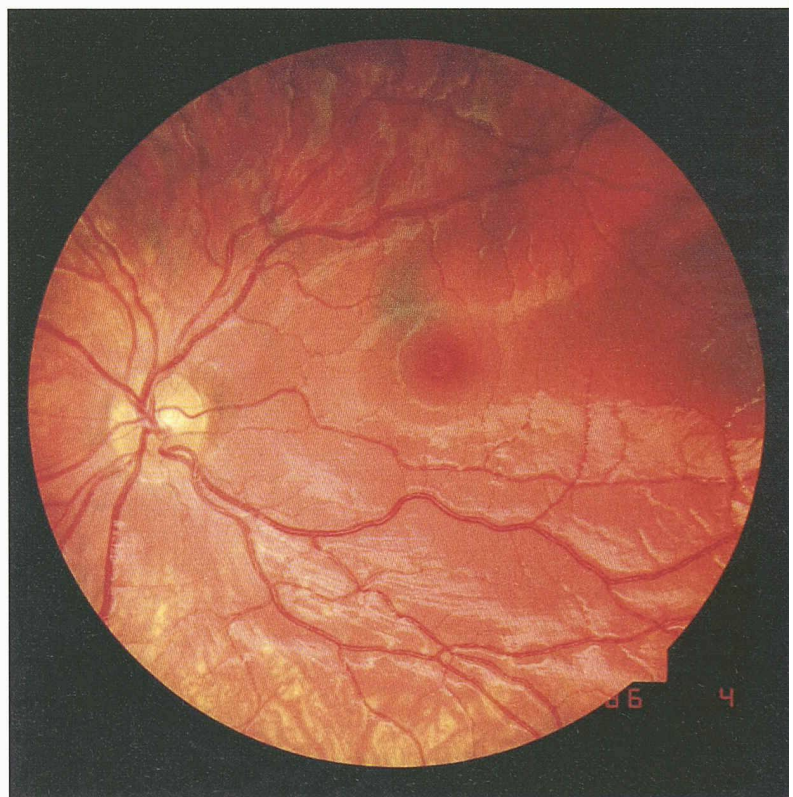
Die Nacht ist – physikalisch zumindest – bunt. Unsere Augen sehen nicht nichts, wenn sie nichts sehen. Nachts sind alle Katzen grau. Was aber sehen wir, wenn wir Schwarz sehen?

Schwarz fasziniert bei vielen Forschungen, und nicht wenig an dieser Empfindung bleibt geheimnisvoll, wie es sich für die Farbe der Nacht gehört. Schwarz fasziniert die Biologie innen und die Astronomie aussen, wobei mit innen die Welt in unserem Kopf und mit aussen die Welt über unserem Kopf gemeint ist. Da, wo wir sehen – im Gehirn –, ist es ebenso dunkel und schwarz wie da, wo wir hinsehen, wenn wir nach dem Untergang der Sonne zum Himmel blicken und nur Sterne und Planeten als kleine Lichtpunkte mit grossen schwarzen Zwischenräumen erkennen können. Die Farbe Schwarz dominiert, wenn sich Mitternacht nähert, und die Frage lautet, warum dies so ist. Wieso ist das ganze Weltall vor allem schwarz und auf seine Weise ähnlich lichtlos wie das innere Weltall, das wir im Kopf tragen und Gehirn nennen?

Die Lust auf Schwarz

Das Spannende an der Schwärze steckt ursprünglich in der Frage, wie man etwas sehen kann, das entweder kein Licht ist oder von dem kein Licht ausgeht. Offenbar haben viele Menschen lange Zeit hindurch geglaubt, die Farbe Schwarz so charakterisieren zu können. Noch zur Zeit des grossen Isaac Newton vermuteten zum Beispiel einige Wissenschaftler, dass schwarzes Licht überhaupt keine Frequenz habe und also kein Licht im physikalischen Sinne sei. Und in einem berühmten Begriff der Gegenwart, dem «Schwarzen Loch», steckt natürlich genau die Idee, dass sich von diesem Gebilde keinerlei Licht lösen und zu uns gelangen kann. Schliesslich hat sich an dieser (nach wie vor hypothetischen) Stelle des Universums zu viel Materie auf zu kleinem Raum angesammelt, so dass es selbst Lichtstrahlen unmöglich ist, über einen vorgegebenen Horizont hinauszukommen und in ein menschliches Blickfeld zu treten.

Der Begriff «Schwarz» ist im Übrigen bei Forschern sehr beliebt, da sie nicht nur von Schwarzen Löchern schwärmen, sondern zudem die Idee der «Black Box» ersonnen haben, um die Steuerung der Lebensvorgänge in einem theoretischen Gerüst erfassbar zu machen. Der «Schwarze Kasten» bleibt dabei allen neugierigen Blicken verschlossen und kann nur durch Ein- bzw.



1

Schwarzsehen? Netzhaut mit Fovea (Mitte) und Annulus (Peripherie) (Bild: Prof. A. Safran, Ophthalmologische Klinik des Universitätsspitals Genf)

Ausgaben analysiert werden. Und die nachhaltigste Entwicklung der Physik, der Umsturz des klassischen Weltbildes, ist zustande gekommen, weil um die Wende zum 20. Jahrhundert jemand hartnäckig probiert hat, die Strahlung eines so genannten «Schwarzen Körpers» zu verstehen, die von ihm bei steigender Temperatur ausgeht.

Ein «Black Body» ist dabei durch die Eigenschaft charakterisiert, alle einfallende Strahlung zu absorbieren und keine zu reflektieren. Das Licht, das ein immer

weiter erhitzter Schwarzer Körper nach und nach ausstrahlt – in der Praxis kann man sich darunter ein Stück Kohle im Ofen vorstellen –, muss er selbst produzieren, was genauer heisst, dass es seine Atome tun müssen. Je heisser ein Schwarzer Körper wird, desto bunter leuchtet er, wie jeder sicher selbst schon einmal beobachtet hat. Die Frage der Physik lautete vor rund 100 Jahren, ob sich quantitativ sagen lässt, wie dieser Prozess im Detail abläuft, und die seltsame Antwort mit revolutionären Konsequenzen hiess, dass es in den Atomen Quantensprünge geben muss, um Licht freizusetzen. In den Atomen setzen Elektronen sprunghaft ihre Energie frei, die in neuer Form als Licht in Erscheinung tritt und sich zum Beispiel auf den Weg in ein menschliches Auge macht und es genau dort erreicht, wo es schwarz ist. In der Tat: Wir sehen gerade da, wo unser Auge schwarz ist. Es ist nicht sein Weiss, das wesentlich zum Sehen beiträgt, sondern die schwarze Mitte, in der das Licht verschwindet, um den Glaskörper und viele Zellschichten zu durchlaufen, bevor es auf der Rückwand – der Netzhaut – eingefangen wird. Damit nähern wir uns zum ersten Mal dem inneren Schwarz, dem wir uns aber erst nach einem kosmologischen Umweg genauer widmen wollen.

Die Dunkelheit der Nacht

Dass die kosmischen Räume masslos dunkel sind, haben wir alle sehen können, als vor einer Generation mit amerikanischer Hilfe der Blick vom Mond möglich wurde, der eine blaue Erde als farbige Heimat in einer ansonsten tiefschwarzen Welt erkennen liess. Doch wie kann das sein?

Wie kann das Universum schwarz sein, wenn seine Struktur homogen ist und die Erde keine besondere Position einnimmt, wie von allen Wissenschaftern vorausgesetzt wird? Müsste mein Auge nicht überall einen Stern finden, so wie mein Blick durch einen Wald letztlich immer auf einen Baum trifft, wenn es davon ausreichend viele gibt? Ausreichend viele Sterne sollten aber das Merkmal eines grenzenlosen Universums sein, was die oben gestellte Frage in der neuen Form aufwirft, warum der Nachthimmel nicht weiss ist.

Mit diesem paradoxen Rätsel befassen sich die Menschen seit Jahrhunderten,¹ und die seltsame Antwort lautet in ihrer knappsten Fassung, dass die kosmische Nacht schwarz erscheint, weil das Universum – obschon grenzenlos – nicht unbegrenzt ist. Was im Deutschen rasch unsinnig zu klingen scheint, lässt sich in einer Sprache wie im Englischen besser ausdrücken, die zwei Formen von Grenzen unterscheiden kann: die «boundary», die man überschreiten kann, und das «limit», bei dem dies nicht geht. Der Kosmos hat nun ein «limit» – das heisst, er ist nicht unendlich ausgedehnt –, aber wer ihn durchfährt, trifft dabei nie an eine Grenze («boundary») – was man sich durch eine Reise auf einer Kugeloberfläche veranschaulichen kann, die begrenzt abläuft, ohne auf eine Grenze zu treffen.

Die Farbigkeit der Nacht

Diese schwer vorstellbare Geometrie, die der kosmischen Tiefenschwärze der Nacht ihren raffinierten wis-

senschaftlichen Grund liefert, ist ein Auswuchs der Allgemeinen Theorie der Relativität, die Albert Einstein zur Zeit des Ersten Weltkriegs vorlegte und die zur Basis der Kosmologie geworden ist. Wer sich mit diesem physikalischen Zugang zum Weltraum auskennt und sein Augenmerk dabei auf die sichtbaren Sterne lenkt, kann sich rasch theoretisch davon überzeugen, dass deren Licht nach den Gesetzen der Natur farbig sein müsste. Und tatsächlich, optische Messungen zeigen, dass vom Nachthimmel, der uns so schwarz erscheint, Strahlen mit allen möglichen Wellenlängen unser Auge erreichen. Die Nacht ist also – rein physikalisch gesehen – äusserst bunt, und die Frage lässt sich nicht vermeiden, was in unserem Auge geschieht, damit sie so schwarz wird, wie wir sie erleben. Und wie hilft ihm das Gehirn dabei?

Die Wahrnehmung von Schwarz

Die einfache Antwort auf diese Fragen lautet, dass die Intensität des nächtlichen Lichts nicht ausreicht, um die Farben der späten Stunden zu empfinden. Genauer würde ein Physiologe beschreiben, dass sich heute im Auge bzw. auf der Netzhaut zwei Zellsorten unterscheiden lassen, die man ihrer Form wegen als Stäbchen oder Zapfen bezeichnet. Eine Sorte allein – die der Zapfen – ist für Farben zuständig, und die damit bezeichneten Zellen reagieren nur am Tage; was nicht nur erklärt, warum nachts alle Katzen grau sind, sondern auch verständlich macht, warum die unbeleuchtete und von jeder Neon-Reklame unberührte Nacht sich nur ein schwarz-weisses Gepräge gibt.

Wer die Antwort genauer (und den biologischen Tatbeständen angemessener) geben möchte, muss rasch komplizierter werden und zum Beispiel zwischen dem punktförmigen Zentrum der Netzhaut (genannt Fovea) und seiner ringförmigen Peripherie (genannt Annulus) unterscheiden und die Beiträge beider Bereiche zusammenführen und vergleichend auswerten. Doch da die Wissenschaft noch keine endgültige Lösung der Frage kennt, braucht auf diese Feinheit hier nur am Rande hingewiesen zu werden, und dies soll auch erst später geschehen, weil für den allgemein an den biologischen Bemühungen um Schwarz Interessierten die historische Dimension dieses Gegenstandes weit spannender ist.

Die Wahrnehmung von Schwarz hat tatsächlich schon sehr früh zu einer Kontroverse geführt, bei der sich zwei seltsam verschiedene Ansichten gegenüberstanden.² Auf der einen Seite glaubte eine Gruppe von Physiologen, dass Schwarz durch die Abwesenheit von Licht verständlich wird. Ihnen stand auf der anderen Seite eine Gruppe gegenüber, die bei jeder visuellen Wahrnehmung – also auch bei Schwarz – nur die Anwesenheit von Licht gelten lassen wollte. Die beiden Gruppen lassen sich am einfachsten durch ihre beiden berühmtesten Repräsentanten charakterisieren, den berühmten Physiker und Physiologen Hermann von Helmholtz und seinen Gegenspieler, den leider nicht so bekannten Psychologen Ewald Hering. In seinem «Handbuch der Physiologischen Optik» von 1867 schreibt Helmholtz (S. 109 ff): «Das Schwarz ist eine wirkliche Empfindung, wenn es auch durch die Abwe-

senheit allen Lichts hervorgebracht wird. Wir unterscheiden die Empfindung des Schwarzen deutlich von dem Mangel aller Empfindung. Ein Fleck unseres Gesichtsfeldes, von welchem kein Licht in unser Auge fällt, erscheint uns schwarz, aber die Objekte hinter unserem Rücken, von denen auch kein Licht in unser Auge fällt, erscheinen uns nicht schwarz, sondern für sie mangelt alle Erfahrung.»

Die Idee, dass Schwarz eine wahre Wahrnehmung ist, die durch einen Mangel an Lichtreiz zustandekommt, geht nicht nur bis auf Aristoteles zurück, sie wurde auch von Goethe aufgenommen und gelehrt. Doch trotz dieser illustren Gesellschaft konnte Hering sich der Idee von Helmholtz nicht anschliessen, und er begründete dies überzeugend. In einer Arbeit «Über die so genannte Intensität der Lichtempfindung und über die Empfindung des Schwarzen», die 1874 als Sitzungsbericht der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften (Band 69) erschienen ist, wies Hering unter anderem darauf hin, dass man kein Schwarz, sondern vielmehr ein Grau sieht, wenn man die Augen schliesst. Hering sprach dabei vom «Eigengrau» und nahm dieses Phänomen als Beweis dafür, dass Schwarz nicht durch die Abwesenheit von Lichtreizen auftreten kann.

Hering schrieb (S. 97): «Gleichwohl ist es eine Tatsache der alltäglichen Erfahrung, welche ich jedoch nirgends besonders betont gefunden habe, dass die eigentliche schwarze Empfindung erst unter dem Einfluss des äusseren Lichtreizes zu Stande kommt, wie ja auch die weisse Empfindung für gewöhnlich durch objektives Licht hervorgerufen wird; nur mit dem Unterschiede, dass sich die weisse Empfindung unter dem directen, die schwarze aber unter dem indirecten Einfluss des Lichtreizes entwickelt, nämlich durch den sogenannten simultanen oder successiven Contrast.»

Hering zufolge resultiert die Empfindung Schwarz also durch räumliche (simultane) oder zeitliche (sukzessive) Kontraste. Ein Gegenstand könnte grosse Mengen Licht reflektieren und dabei zum Beispiel als Rot, Grün, Gelb, Blau oder Weiss wahrgenommen werden. Wenn nun aber dieser Gegenstand entweder von intensiv leuchtenden Objekten umgeben ist oder nach der Empfindung eines gleissendes Lichts gesehen wird, würde er anfangen, schwarz zu erscheinen. Wenn die Intensität der Kontrastreize zunimmt, wirkt der ursprünglich anvisierte Gegenstand immer schwärzlicher, bis er zuletzt vollkommen schwarz aussieht.

Man kann in einem Experiment mit einer glatten schwarzen Scheibe und einer einzelnen Lichtquelle demonstrieren, was Hering meint. Wenn die Lichtquelle, die nicht direkt sichtbar ist, nur die Scheibe und nicht die Umgebung beleuchtet, dann erscheint die Scheibe nicht mehr schwarz, sondern weiss (wie man sich leicht ausmalen kann, selbst wenn man das Experiment nicht vorgeführt bekommt). Doch wenn man nun ein Blatt weisses Papier vor die Scheibe hält, springt der Eindruck um, und die Scheibe sieht wieder schwarz aus.

Hering war nicht der Erste, der über die Wahrnehmung von Schwarz unter Bedingungen des Kontrastes berichtet hat. Vor ihm hatte dies schon Michel E. Chevreul

getan, der im 19. Jahrhundert für die Qualität der schwarzen Farben in Teppichen verantwortlich war. Chevreul hatte bemerkt, dass die Wahrnehmung des Schwarz dann besonders gut ist, wenn die Fäden neben dem schwarzen Bereich mehr Licht reflektieren als die schwarzen Fäden selbst. Chevreul sprach dabei von der Induktion des Schwarzen unter Kontrastbedingungen, ohne die physikalischen Lichtbedingungen des Kontrastes selbst als entscheidend anzusehen. Deswegen kann man bei Hering (1874) lesen:

«Wenn man all diese Thatsachen bedenkt, muss man sich wundern, wie man die Empfindung des Schwarzen als diejenige definieren konnte, welche der ruhenden, nicht durch Licht gereizten Netzhaut eigenthümlich ist. Gerade das Auge, welches vor jedem äusseren Lichtreize sorgfältig geschützt wurde, empfindet durchaus kein Schwarz, sondern hat Empfindungen, welchen man eine ziemlich bedeutende Helligkeit zuschreiben muss.»

Unterschiedliche Farbtheorien

So verschieden die beiden Theorien der Schwarzempfindung sind, so sind es auch die beiden Theorien des Farbsehens, die Helmholtz und Hering vorgeschlagen haben. Helmholtz ging von der Wissenschaft des Lichtes und der physikalisch motivierten Idee des trichromatischen Sehens aus, und deshalb postulierte er, dass es im Auge drei Rezeptoren für drei Grundfarben (Rot, Grün und Blau) gebe. Die Farbe Weiss resultiert nun, wenn alle drei Pigmente gleichartig und gleich stark aktiviert werden, und die Farbe Schwarz tritt hervor, wenn keiner der Rezeptoren stimuliert wird – so der Grossmeister der Biophysik und Physiologie des 19. Jahrhunderts.

Tatsächlich hat Helmholtz in Bezug auf das Auge (die Netzhaut) Recht, denn auf ihr hat man drei verschiedene Typen von Zapfen gefunden, die uns zum Farbsehen verhelfen, und genau sie sprechen nicht mehr an, wenn es Nacht wird. Folglich erscheint uns der Himmel jetzt schwarz und lichtlos. Ist damit die Frage nach dem Schwarz geklärt? Helmholtz würde mit Ja antworten, aber Hering würde bemerken, dass diese Erklärung nicht über das Auge hinauskommt und ungerechtfertigterweise das Gehirn aus dem Spiel lässt. Dass es hier anders zugeht und es mehr als die Rezeptoren im Auge geben muss, konnte Hering erkennen, weil er nicht von physikalischen Beobachtungen, sondern statt dessen von phänomenologischen Erfahrungen ausging; und zu denen gehört, dass es so etwas wie ein grünliches Rot bzw. ein gelbliches Blau nicht gibt. Diese Komplementärfarben kamen offenbar nicht unabhängig für sich, sondern durch antagonistische Prozesse zustande, und Hering postulierte dafür so genannte Opponenten-Zellen. Er beschränkte sich dabei zunächst auf die bunten Farben – er nahm also zum Beispiel eine (der heutigen politischen Situation nicht unähnliche) Rot-Grün-Opponenten-Zelle an –, weitete sein Schema dann aber auch für das unbunte Paar Schwarz-Weiss aus. Hering nahm folglich an, dass es eine besondere physiologisch-chemische Reaktion gibt, die in einer Nervenfaser stattfinden muss, um die Empfindung

bzw. Wahrnehmung Schwarz auszulösen. Schwarz hat also seine eigene Aktivität und kommt nicht durch ein Fehlen oder Unterbleiben zustande.

Tatsächlich hat die moderne Forschung gezeigt, dass Hering in Bezug auf die Vorgänge im Kopf selbst Recht hat und seine Beschreibung zutrifft, wenn die Information, dass auf der Netzhaut Licht eingetroffen ist, das Auge verlassen konnte und sich über Nervenbahnen (Ganglienzellen) den Weg in die höheren Regionen des Gehirns bahnt. Es gibt in der zellulären Wirklichkeit des zentralen Nervensystems genau die Opponenten-Zellen, die Hering postuliert hat, und die moderne wissenschaftliche Erklärung von Schwarz nutzt sie entsprechend aus. Sie benötigt dazu allerdings noch ein paar Einzelheiten mehr.³ Die jüngste Veröffentlichung zum Thema kombiniert physiologische Ereignisse und biochemische Reaktionen aus zentral und peripher gelegenen Zellen, um schliesslich auch die Kontrastphänomene erklären zu können, von denen oben die Rede war.

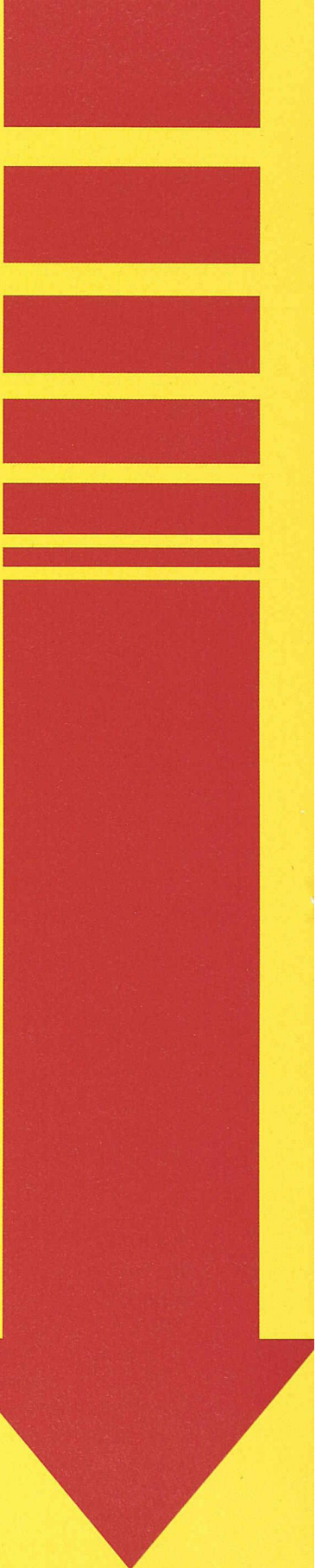
Nicht Nichts, sondern Schwarz

Bevor man sich nun verärgert von der Wissenschaft abwendet und sich darüber wundert, wie es Biologen und Physiologen wieder einmal gelungen ist, eine wunderbar einfache Frage mit humanem Interesse – Wie nimmt man Schwarz wahr? – mit einer hoffnungslos komplizierten Auskunft ohne menschliche Dimension zu beantworten, sollte man eher umgekehrt staunen, wie raffiniert die Natur zu Werke gegangen ist, um uns den Gefallen zu tun, der mit dem Erleben von Dunkelheit zu tun hat. Sie hat eben nicht einfach nichts getan, denn dann würden wir da auch einfach nichts sehen, wo uns jetzt das Etwas begegnet, das wir als Schwarz kennen. Schwarz ist der Evolution eine Herzensangelegenheit, und sie hat weder Zellen noch Reaktionen gescheut, um uns dieses Erlebnis zu ermöglichen. Schwarz ist also für uns gemacht, und ich vermute, dass wir dies alle fühlen und diese Farbe uns deshalb so fasziniert.

Prof. Dr. Ernst Peter Fischer ist diplomierter Physiker, promovierter Biologe und Professor für Wissenschaftsgeschichte an der Universität Konstanz. Er ist Autor zahlreicher Bücher, darunter einem über Farben: «Die Wege der Farben». Zuletzt ist von ihm erschienen: «Die andere Bildung – Was man von den Naturwissenschaften wissen sollte».
www.epfischer.com

Anmerkungen

- 1 Edward Harrison: «Darkness at Night». Harvard University Press, Cambridge (Mass.), 1987 (Paperback 1989).
- 2 Vicki Volbrecht und Reinhold Kliegl: «The Perception of Blackness – A Historical and Contemporary Review», in Werner Backhaus et al. (Hg.), «Color Vision», Walter de Gruyter, Berlin, 1998, S. 187–218.
- 3 K. Shinomori et al.: «Journal of the Optical Society of America 14», 372–387 (1997).



**Bohren
Rammen
Fundationen
Baugruben-
abschlüsse
Grundwasser-
absenkungen**

risi
die Spezialtiefbauer

041-766 99 99 www.risi-ag.ch