

**ART
ODER**

**ARTE-
FAKT?**

ART ODER ARTEFAKT?

IM AUGEN DES BETRACHTERS

GERD U. AUFFARTH

Das menschliche Sehen ist weitaus mehr als nur das Lesen von Zahlen und Buchstaben auf dem Display eines Smartphones. Das Auge kann eine Vielzahl visueller Informationen aufnehmen – und unser Gehirn kreiert daraus Welten, die selbst das beste „3D-Kino“ nicht zu erschaffen vermag. 80 Prozent aller Informationen der Außenwelt gelangen über das Auge in unser Gehirn. Doch oftmals wird unser Sehen von Erkrankungen getrübt. Die Operation des „Grauen Stars“ etwa ist weltweit der häufigste chirurgische Eingriff. Neue Verfahren, die Laserstrahlen mit modernen bildgebenden Methoden kombinieren, machen diesen Eingriff präziser – und versprechen, nahezu jeden Sehfehler zu korrigieren.

D

Das Betrachten von Dingen mit beiden Augen ermöglicht uns eine echte räumliche Tiefenwahrnehmung. Ein Maler, der eine dreidimensionale Welt in einem zweidimensionalen Bild erschaffen will, erreicht die Tiefenwahrnehmung durch das geschickte Darstellen von Licht und Schatten. Ein Meister darin war der italienische Maler Giovanni Francesco Barbieri (1591-1666). Seine Licht- und Schatten-Maltechnik („Chiaroscuro“, nach italienisch hell-dunkel) stammt aus den Schulen in Bologna und Venedig. Berühmt sind seine Altarbilder und seine Deckenfresken in der Villa Ludovisi und im Dom von Piacenza. In diesen Bildern gelang es Barbieri immer wieder, eine starke Illusion von Räumlichkeit zu erzeugen.

Das Erstaunliche daran: Barbieri – auch „il guercino“, der Schieler, genannt – war gar nicht zu einem beidäugigen räumlichen Sehen imstande. Sein rechtes Auge schielte und war schwachsichtig von der Kindheit des Malers an. Er malte also „einäugig“. Dennoch erzeugte Barbieri durch genauestes Beobachten und den akribischen Einsatz von Licht und Schatten in seinen Werken eine äußerst beeindruckende Pseudoräumlichkeit. „Il guercino“ konnte seinen Sehfehler mit seiner Gabe zur genauen Beobachtung überwinden. Andere Maler hatten deutlich stärkere Probleme mit Erkrankungen der Augen – vor allem, was das Farbensehen angeht.

Licht und Farbe

Der Mensch als „Trichromat“ verfügt mit drei Farbrezeptoren (Zapfentypen) über ein relativ gut entwickeltes Farbsehvermögen. Mit unseren Farbrezeptoren nehmen wir einen Teil des elektromagnetischen Spektrums als Licht und Licht einer bestimmten Wellenlänge als Spektralfarbe wahr. Der Spektralbereich ist verhältnismäßig schmal: Sein kurzwelliges Ende liegt bei circa 380, die langwellige Grenze bei etwa 780 Nanometer. Andere Säugetiere, etwa Hunde und Katzen, sind „Dichromaten“ – sie haben nur zwei Zapfentypen. Im Wasser lebende Säugetiere wie die Wale sind „Monochromaten“. Vögel oder Reptilien hingegen können teilweise sogar den Ultraviolettbereich wahrnehmen und verfügen über vier Zapfentypen.

Zurück zu den Malern, denen das Farbensehen gleichsam systembedingt sehr wichtig sein muss. Der französische Maler Claude Monet (1840-1926) gilt als Vater des Impressionismus. Monet wollte, wie andere impressionistische Künstler auch, vor allem den Einfluss des Lichts in seinen Bildern wiedergeben und weniger ein Abbild des Gegenstandes erstellen. Über Jahrzehnte hinweg malte Monet dasselbe Motiv immer wieder, beispielsweise seine berühmten Seerosen oder die japanische Brücke. An diesen Bildern lässt sich nicht nur studieren, wie ein Künstler ein Motiv zu verschiedenen Zeitpunkten seines Lebens darstellt – auch wie sich Monets Sehkraft veränderte, zeigt sich an den Bildern deutlich.

Im Jahr 1883 zog Monet in sein Haus nach Giverny, in dessen Garten sich die japanische Brücke über den Teich mit Seerosen spannte. 1908 bemerkte der fast 70-Jährige erstmals, dass er Schwierigkeiten beim Auswählen der Farben hatte. Die durch den Altersprozess des Menschen bedingte gelbliche Verfärbung der Augenlinse reduzierte bei Monet die Durchlässigkeit des Lichts, insbesondere die des kurzwelligen blauen Lichts. Dies geht einher mit einer veränderten Wahrnehmung der Farben.

Monet erschien Rottöne schmutzig, Rosatöne fad, ähnliche Farbtöne konnte er kaum noch unterscheiden. Seine späteren Werke zeigen zudem weniger Details, die Formen „verschwimmen“. Im Jahr 1912 diagnostizierte ein Arzt bei Monet den Grauen Star (Katarakt) an beiden Augen. Die dadurch bedingte Veränderung der Augenlinse reduzierte die Kontrastempfindlichkeit und Lichtdurchlässigkeit – Monet empfand seine Malerei als „immer dunkler“. Aufgrund der Trübung seiner Augenlinse streute das Licht so sehr, dass Monet wegen der starken Blendung über Mittag nicht mehr malen konnte.

Monet kaschierte seine Probleme teilweise damit, dass er die „richtigen“ Farben für seine Motive anhand der Beschriftung der Farbtuben auswählte und die Farben auf der Palette immer an der gleichen Stelle auftrug. Die zwischen den Jahren 1918 und 1922 entstandenen Gemälde seines Seerosenteichs offenbaren die dramatischen Veränderungen in Monets Sehkraft deutlich. Im Jahr 1922 schrieb er verzweifelt, nichts Schönes mehr schaffen zu können – einige seiner Bilder habe er sogar vernichtet. Nun sei er fast blind und müsse mit dem Malen gänzlich aufhören.

Monets Arzt hatte schon im Jahr 1912 zur Operation geraten. Doch Monet fürchtete sich vor dem Eingriff. Erst im Januar 1923 – mit 83 Jahren – unterzog sich der Maler der Star-Operation am rechten Auge. Danach erschienen ihm die Farben „seltsam“. So geht es vielen Star-Operierten: Sie empfinden die Farben nach der Operation anders als zuvor. Von der Farbgebung in seinen früheren Gemälden war Monet so entsetzt, dass er viele seiner Bilder mit kräftigen Farben übermalte.

Aufgrund der Trübung filtert die Augenlinse vor allem den Blaulichtanteil des einfallenden Lichtes heraus. Die Farbgestaltung der Bilder zeichnet sich dann häufig durch viele gelbe und braune Töne aus. Der Vergleich der Bilder, die Monet von der japanischen Brücke im Jahr 1899 und im Jahr 1922 malte, zeigt dies sehr anschaulich: Sein Spätwerk ist fast nur noch in Gelbtönen und sehr abstrahiert gemalt. Dies zeigt sich auch bei den späten Bildern des englischen Malers William Turner (1775-1851), der ebenfalls am Grauen Star litt – darunter auch einem Bild des Heidelberger Schlosses, das er im Jahr 1844 erstellte. Die Beschreibung der Sehprobleme, die Monet und Turner

zu schaffen machten, ist typisch für alle Patienten mit Grauem Star: Die Schärfe verschwimmt und verschleiert, Farben sehen anders aus, Kontraste sind schwer wahrzunehmen und die Augen werden sehr blendempfindlich.

Die häufigste Operation der Welt

90 Prozent der Katarakte sind altersbedingt und zeigen sich zumeist ab dem 65sten bis 70sten Lebensjahr; zehn Prozent der Linsentrübungen sind angeboren oder durch Medikamente, Operationen, Verletzungen oder andere Augenerkrankungen bedingt. Bei uns in der Heidelberger Universitäts-Augenklinik erfolgen jährlich etwa 2.000 bis 3.000 Kataraktoperationen am sogenannten Altersstar, etwa 300 unserer Patienten sind jünger als 50 Jahre, rund 30 Kataraktoperationen pro Jahr führen wir bei Säuglingen mit angeborenem Grauen Star durch. Insgesamt zählt man alljährlich in Deutschland etwa 800.000 Kataraktoperationen; weltweit ist die Kataraktoperation der häufigste chirurgische Eingriff in der Medizin.

Die ersten „Starstecher“ gab es bereits vor 3.600 Jahren in Indien und im arabischen Kulturkreis. Damit ist die Star-Operation nicht nur das häufigste, sondern auch eines der ältesten chirurgischen Verfahren der Menschheit. Heutzutage ist die Operation des Grauen Stars ein sehr technisierter Eingriff und erfolgt bei starker Vergrößerung mit einem OP-Mikroskop. Die meisten Schritte erfolgen dabei manuell, und der Erfolg ist abhängig von der Erfahrung, dem Geschick und der Verfassung des Chirurgen. Um die harte und getrübe Augenlinse entfernen zu können, muss sie zunächst mit Ultraschall zerkleinert werden. Dazu öffnet der Chirurg die Linsenkapsel mit einem etwa zwei Millimeter großen Schnitt und führt eine kleine Nadel in die Kapsel ein, die im Ultraschallbereich mit 30.000 bis 45.000 Hertz vibriert. Auf diese Weise wird die harte Linse zertrümmert und anschließend über ein Saug- und Spülsystem abgesaugt. Am Schluss bleibt nur die Hülle der Linse, der Kapselsack, übrig, in den sodann die Kunstlinse eingesetzt wird.

Bildgeführte Mikro-Chirurgie

Seit Kurzem verhelfen sogenannte Femtosekunden-Laser dazu, wichtige Schritte der Operation präziser und sicherer durchzuführen – etwa das Eröffnen der fragilen Linsenkapsel und das Entfernen des nicht selten steinharten Linsenkerns. Mit dem Femtosekunden-Laser lässt sich der Linsenkern vorfragmentieren. Er ist danach so stark zerkleinert, dass die Reste nur noch abgesaugt werden müssen – oder zumindest soweit vorgebrochen, dass der Linsenkern mit dem herkömmlichen System schnell abgetragen werden kann. Zudem wird das umgebende Augengewebe geschont, da beim Schneiden mit dem Femto-Laser keine Wärme erzeugt wird. Der Laserpuls bearbeitet die getrübe Linse im Bereich von Femtosekunden rasend schnell – in 0,000000000000001 Sekunden, das entspricht zehn milliardstel Sekunden.

„80 Prozent
aller Informationen der
Außenwelt gelangen
über das Auge
in unser Gehirn.“



PROF. DR. GERD U. AUFFARTH wurde im Jahr 2011 auf den Lehrstuhl für Augenheilkunde der Medizinischen Fakultät der Universität Heidelberg berufen. Von 1992 bis 1994 war er als Stipendiat der Max-Kade-Stiftung am Center for Research on Ocular Therapeutics and Biodevices, Storm Eye Institute, Medical University of South Carolina, Charleston, in den USA tätig. Zu seinen Forschungsschwerpunkten zählen die Implantat- und Biomaterial-Forschung sowie die Entwicklung der Lasertechnologie. Für seine wissenschaftlichen Leistungen erhielt er unter anderem den Theodor-Axenfeld-Preis der Deutschen Ophthalmologischen Gesellschaft (2001) und den Löhn-Preis für herausragende Projekte im Technologietransfer der Steinbeis-Stiftung (2009). Seit 2012 ist er Präsident der Deutschsprachigen Gesellschaft für Intraokularlinsen-Implantation und Refraktive Chirurgie sowie Vorstandsmitglied der Deutschen Ophthalmologischen Gesellschaft.

Kontakt: gerd.auffarth@med.uni-heidelberg.de

Darüber hinaus wird der Femto-Laser zusammen mit einem hochpräzisen bildgebenden Verfahren, der „Optical Coherence Tomography“ (OCT) eingesetzt, die im Auflösungsbereich von Mikrometern Strukturen des vorderen Augenabschnittes darstellen kann, also die Horn- und Regenbogenhaut sowie die Linse. Aufgrund dieser Informationen lässt sich der Laser deutlich genauer und sicherer als bei manuellen Verfahren führen. Der Hauptvorteil der „Femtosekunden-Laser-assistierten Kataraktchirurgie“ aber ist das perfekte Öffnen der Linsenkapsel: Das ist wichtig, um die Kunstlinse optimal positionieren und fixieren zu können. Die erste von einem Femtosekunden-Laser assistierte Kataraktoperation erfolgte in Deutschland im Jahr 2011 in der Universitäts-Augenklinik in Heidelberg. Umfangreiche Vorarbeiten im Labor und vorklinische Studien waren dem Eingriff vorausgegangen.

Diverse Kunstlinsen-Implantate

Neben den Standard-Einstärkenlinsen können in der modernen Kataraktchirurgie auch andere Implantate eingesetzt werden. Mit sogenannten torischen Intraokularlinsen etwa lässt sich heutzutage während der Star-Operation zusätzlich eine vorbestehende Verkrümmung der Hornhaut ausgleichen. Darüber hinaus gibt es viele unterschiedliche „Multifokallinsen“. Sie ermöglichen ein Sehen ohne Brille in der Ferne und in der Nähe. Neuerdings verfügbar sind auch „Trifokallinsen“, die neben der Ferne und Nähe auch den Zwischenbereich korrigieren, zum Beispiel den Abstand zum Computerbildschirm. All diese Linsentypen gibt es in Kombination mit torischen Optiken, sodass sich heutzutage fast jeder Sehfehler unter Umständen komplett korrigieren lässt. Die Universitäts-Augenklinik Heidelberg war weltweit die erste Klinik, die eine „Multifokal-Torische Intraokularlinse“ mitentwickelt und im Jahr 2006 erstmals einem Patienten eingesetzt hat.

Von Nachteil ist, dass die multifokalen Optiken letztlich mehrere Foci erzeugen, auf die sich unterschiedliche Mengen des einfallenden Lichtes verteilen. Infolgedessen wird das Licht „gesplittet“. Daraus resultiert ein Licht- und Kontrastverlust, unter Umständen kommt es auch zu Blenderscheinungen. Das Ausmaß dieser Nebenwirkungen konnte zwischenzeitlich stark gesenkt werden, sie sind aber immer noch ein einschränkender Faktor.

Die akkommodierende Kunstlinse

Seit Jahren bemühen sich Forscher und Entwicklungsabteilungen der Industrie darum, eine Kunstlinse zu entwickeln, die wie die menschliche Linse „akkommodieren“ kann. Die bisherigen Versuche jedoch sind gescheitert, oder es ließen sich bestenfalls passable klinische Ergebnisse durch „pseudoakkommodative“ Effekte erzielen. Bei der natürlichen Akkommodation der menschlichen Linse verändert sich die Krümmung der Linsenoberfläche, sodass sich die Brechkraft des Auges dynamisch anpassen kann. Dies ist eine wesentliche Voraussetzung für deutliches Sehen.

„Weltweit ist die Operation des Grauen Stars der häufigste Eingriff in der Medizin.“

ART OR ARTEFACT?

IN THE EYE OF THE BEHOLDER

GERD U. AUFFARTH

Eighty percent of the information our brain processes is based on visual input. One severe dysfunction of visual perception, and the most common cause of blindness worldwide, is known as a cataract. A number of famous painters, among them Claude Monet (1840–1926), also suffered from this condition. His paintings of water-lily ponds, created between 1918 and 1922, clearly show the dramatic changes in Monet's eyesight. Cataract formation in the human crystalline lens leads to colour deviation because the blue light wave length is filtered out by the opacified lens. The operative treatment of this condition is the most frequent and one of the oldest surgical procedures in medicine.

Modern cataract surgery uses ultrasound to destroy the opacified and hard crystalline lens. New approaches also include the femtosecond laser technology – a highly precise and safe method that is used to open the lens capsule and prefragment the cataract, with guidance provided by imaging technology (OCT – optical coherence tomography). After the removal of the cataract, the optical lens must be replaced by an artificial implant. In Germany, the femtosecond laser technology was first used at the Heidelberg University Eye Clinic in 2011. At present, our research focuses on developing implants that can mimic the natural accommodation of the young human lens. Natural accommodation means that the curvature of the lens surface varies, allowing the eye to dynamically adjust its refraction. This is a fundamental prerequisite for clear sight. Initial tests of the new implant show very promising results. ●

PROF. DR GERD U. AUFFARTH has held the Chair of Ophthalmology at the Medical Faculty of Heidelberg University since 2011. From 1992 to 1994, he was a Max Kade Fellow at the Center for Research on Ocular Therapeutics and Biodevices, Storm Eye Institute, Medical University of South Carolina, Charleston, USA. Prof. Auffarth's research interests include implant and biomaterial research and the improvement of laser technology. He has received the Theodor Axenfeld Award of the German Ophthalmology Association (2001) and the Löhn Award for outstanding technology transfer projects of the Steinbeis Foundation (2009) in recognition of his scientific work. In 2012 he became president of the German-Speaking Society for Intraocular Lens Implantation and Refractive Surgery (DGII) and joined the board of the German Ophthalmology Association (DOG).

Contact: gerd.auffarth@med.uni-heidelberg.de

“Today’s new procedures and implants allow us to correct virtually any optical eye defect with near perfect success.”

Die Theorien hierzu wurden um das Jahr 1858 von dem deutschen Physiologen und Physiker Hermann von Helmholtz (1821-1894) in Heidelberg entwickelt. Sie sind heute aktueller denn je.

In einer klinischen Studie untersuchen wir derzeit eine Kunstlinse, die mit flüssigem Silikonöl gefüllt ist und ihre Oberflächenkrümmung verändern, also akkomodieren kann. Die Linse lässt sich mit einem speziellen System in den Kapselsack einbringen, wobei die Schnittgröße derzeit noch bei etwa vier Millimetern liegt. Über zirkulär angelegte schlauchartige Elemente kann nun die Silikonflüssigkeit in die Optik gedrückt werden. Die Vorderfläche der Linse wölbt sich daraufhin und die Krümmungsradien verändern sich. Auf diese Weise lässt sich eine echte Änderung der Brechkraft erreichen. Unsere ersten Ergebnisse mit dem neuen Implantat sind sehr vielversprechend. Aber wie für jede Forschung gilt auch für die Forschung in der Augenheilkunde: Licht und Schatten liegen dicht beieinander. ●

**„Neue Verfahren
erlauben
es heute, fast jeden
Sehfehler unter
Umständen komplett
zu korrigieren.“**