

Additiv und subtraktiv

Neue Experimente zur Spektroskopie und Farbmischung

Matthias Rang, Johannes Grebe-Ellis

"Auf einen schwarzen Grund hatte ich eine weiße Scheibe gebracht, welche in einer gewissen Entfernung durchs Prisma angesehen, das bekannte Spektrum vorstellte und vollkommen den Newtonischen Hauptversuch in der Camera Obscura vertrat. Eine schwarze Scheibe auf hellem Grund machte aber auch ein farbiges und gewissermaßen noch prächtigeres Gespenst. Wenn sich dort das Licht in so vielerlei Farben auflöst, sagte ich zu mir selbst: so müsste ja hier auch die Finsternis als in Farben aufgelöst angesehen werden", so schrieb Goethe etwas polemisch in seiner „Farbenlehre“, deren 200jähriges Jubiläum im vergangenen Jahr gefeiert wurde.

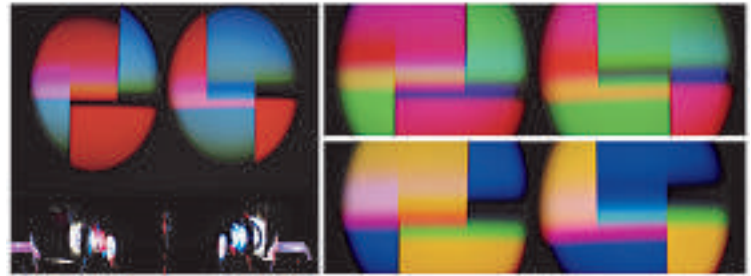
Wer das genannte Experiment einmal selbst gemacht hat, findet aufgrund der verblüffenden Symmetrie der entstehenden Spektren Goethes Argument sofort einleuchtend. Dennoch ist Goethes Deutung vom Standpunkt der heutigen Physik falsch, denn Spektralfarben sind der Theorie Newtons zufolge Bestandteile des weißen Lichts, keinesfalls Bestandteile der Finsternis.

Und dies lässt sich belegen. Bereits Newton zeigte, dass die Farben des gewöhnlichen Spektrums überlagert wieder weißes Licht ergeben, weißes Licht also die additive Mischung dieser Farben ist. Von diesem Standpunkt aus betrachtet ist Dunkelheit einfach nichts, die Abwesenheit jedes farbigen Lichtstrahls und keinesfalls zusammengesetzt.

Die moderne Optik hat – insbesondere auch dank dieser Theorie – ungeahnte optische Technologien und Produkte entwickeln können, und heute sind ganz andere Experimente möglich als zu Goethes Zeiten. Spektroskopische Methoden gehören zu den wichtigsten Analyseverfahren in Chemie, Biologie und Physik.

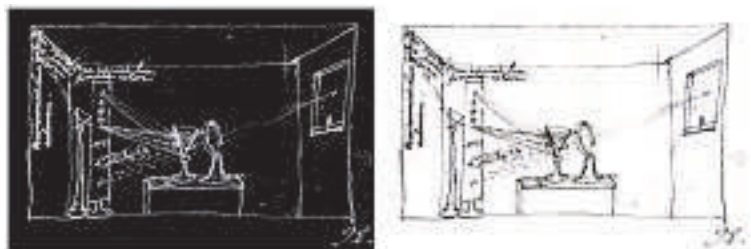
Das Jubiläum der „Farbenlehre“ Goethes im Jahr 2010 haben wir zum Anlass genommen, Goethes und Newtons Experimente auf den Stand der heutigen Technik zu bringen und in einer Ausstellung *Experiment FARBE* in Dornach (CH) mit vielen interaktiven Exponaten, sowie in der Veranstaltung *experimentum lucis* an der Humboldt-Universität zu Berlin mit Ausstellung, Experimentallabor und einem internationalen und interdisziplinären Workshop vorzustellen und zu diskutieren.

Newtons berühmtestes Experiment, das von ihm als *experimentum crucis* benannt wurde und seine Theorie belegen sollte, lässt sich mit neuer Technik realisieren und wird damit we-



sentlich präziser. Darüberhinaus lässt es sich auch im Sinne Goethes invertieren. Das Prinzip der Invertierung ist einfach: So wie Goethe schwarze Flächen durch weiße ersetzt hatte und natürlich auch umgekehrt weiße durch schwarze, so müssen in den räumlichen Laboraufbauten dunkle Raumbereiche durch helle ersetzt werden und umgekehrt. Im technischen Detail ist dies nicht leicht, weil die Geometrie der Experimente vollkommen ungestört bleiben muss. Mit dem *experimentum crucis* untersuchte Newton Lichtstrahlen in dunkler Umgebung. Aus dieser Anordnung wird durch Invertierung die Untersuchung von "Schattenstrahlen" in heller Umgebung.

Das Ergebnis ist überraschend: Wie Newtons Originalversion die Unzerlegbarkeit der einzelnen Spektralfarben nach-



weist, in die sich der weiße Lichtstrahl zerlegen lässt, so weist das invertierte Experiment die Unzerlegbarkeit der Spektralfarben nach, die bei der Zerlegung eines Schattenstrahles entstehen. Damit ist in der gleichen Weise, wie Newton die Zusammensetzung des Lichts aus monochromatischen Lichtstrahlen nachwies, die Zusammensetzung der Dunkelheit aus monochromatischen Schattenstrahlen gezeigt.

Wenn man in diesem Experiment die monochromen Spektralfarben des gewöhnlichen Lichtspektrums untersucht, so werden sie in diverse monochrome Spektralfarben des Schattenpektrums zerlegt.

Bei genauerem Hinsehen sind diese Ergebnisse aber keineswegs so überraschend, sondern bekannt als die verschiedenen Farbmischprozesse. Während in Newtons Experimen-

ten die additive Farbmischung zum weißen Licht führt und dieses in der Analyse in additive Bestandteile zerlegt wird, so führt in den invertierten Experimenten die subtraktive Farbmischung zur Dunkelheit und diese ist in der Analyse in subtraktive Bestandteile zerlegbar.

Neu ist dabei die Realisierung der subtraktiven Farbmischung ohne Überlagerung verschiedener Farbschichten oder Filter: Die subtraktive Farbmischung wird genauso rein geometrisch durch Strahlenüberlagerung realisiert, wie die additive in den Experimenten Newtons. Nach diesem Prinzip lassen sich Spektroskope bauen, die in den optischen Eigenschaften den herkömmlichen in nichts nachstehen müssen.

Die Gleichwertigkeit der beiden Mischprozesse ist dem Praktiker auf dem Gebiet der Farbe vertraut. In der Theorie werden aber die Spektralfarben des Lichtspektrums als primär angesehen, wie schon an der CIE-Normfarbtafel sofort ersichtlich ist. Dies ließ sich aus Newtons Experimenten begründen. Da aber, wie es scheint, zu jedem Experiment auch eine invertierte Variante existiert, ist die Auszeichnung der Lichtfarben nicht mehr ohne weiteres einsichtig.

Zudem können beide Experimente simultan in einem verallgemeinerten Experiment durchgeführt werden, wie es das *experimentum lucis* ist. Dann zeigt sich, dass die beiden Spektren, demnach auch die beiden Mischprozesse, nicht nur optisch gleiche Eigenschaften haben, sondern sich auch gegenseitig bedingen und auseinander hervorgehen.

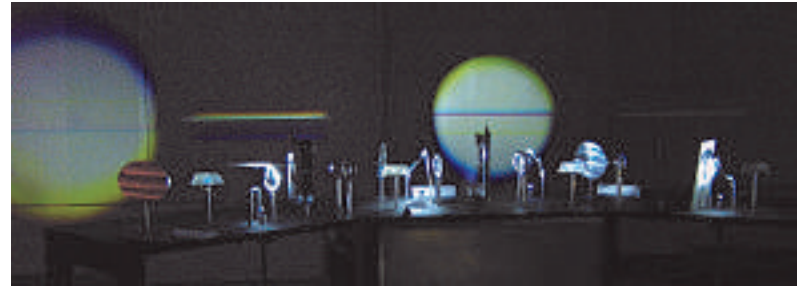
Dennoch kann das von Newton begründete Verständnis alle diese Phänomene erklären, es entsteht an keiner Stelle ein Widerspruch, nur spiegeln sich die symmetrischen Verhältnisse, welche sich durch die beschriebene abbildungsoptische Verallgemeinerung von Newtons *experimentum crucis* zutage fördern lassen, in Newtons Theorie nicht wider.

Weitere Informationen unter:
www.experimentum-lucis.de
www.experimentfarbe.ch

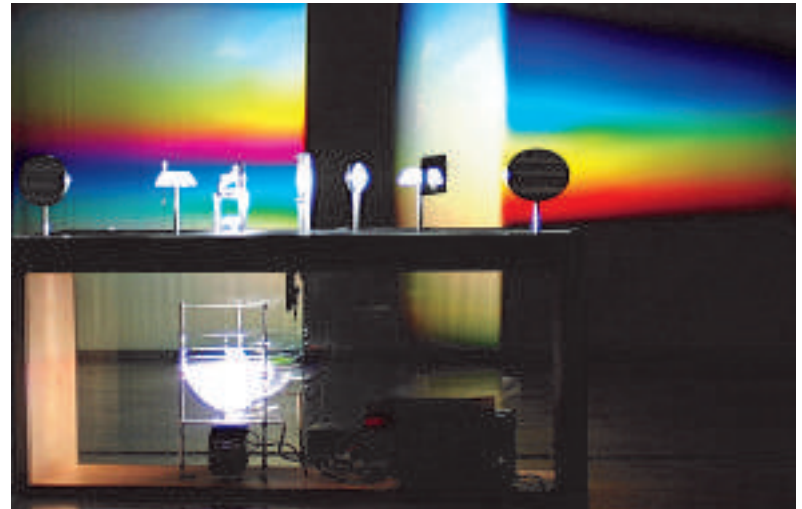
Autoreninformation:

Dipl. Phys. Matthias Rang
 Forschungsinstitut am Goetheanum
 Hügelweg 59
 CH-4143 Dornach
matthias.rang@gmail.com

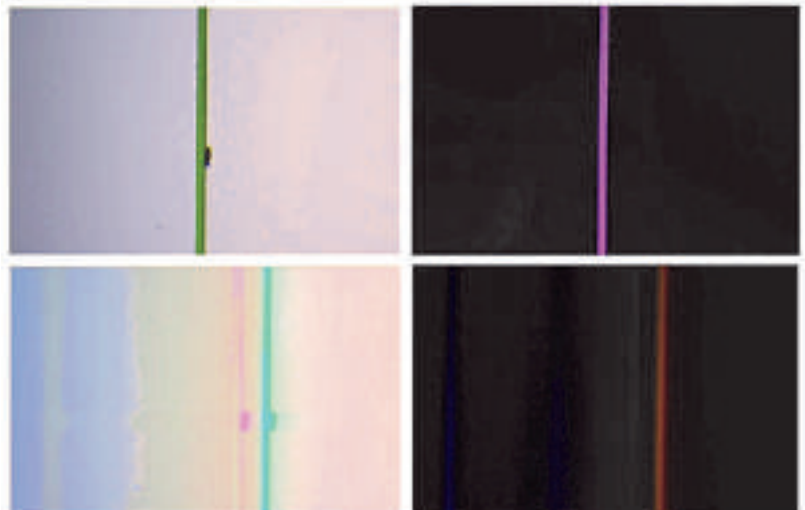
Prof. Dr. Johannes Grebe-Ellis
 Leuphana Universität Lüneburg
 Phänomenologie und Didaktik der Physik
 Scharnhorststr. 1
 21335 Lüneburg
grebe-ellis@uni.leuphana.de



Das *experimentum lucis* im Lichthof der Humboldt-Universität zu Berlin im September 2010. An der Wand sind verschiedene Ausschnitte der Linienspektren einer Quecksilberdampfampe zu sehen. Auch Linienspektren lassen sich invertieren.



Spektrprojektion als verallgemeinertes Experiment, bei dem die beiden sichtbaren Spektren sich gegenseitig bedingen (Projektion 3 x 6 m, Experiment FARBE). Links ist das Spektrum bzw. die subtraktiven spektralen Bestandteile eines Schattenstrahles, rechts das Spektrum bzw. die additiven spektralen Bestandteile eines Lichtstrahles zu sehen.



Dargestellt sind Spektren zweier zueinander invertierter Experimente. Rechts oben wird ein magentafarbener Spektralbereich eines invertierten Spektrums selektiert. Rechts unten ist die spektrale Zerlegung in seine additiven Bestandteile gezeigt. Die Bilder links zeigen das dazu invertierte Experiment. Links oben wird ein grüner Spektralbereich des gewöhnlichen Spektrums selektiert, links unten ist seine spektrale Zerlegung in seine subtraktiven (!) Bestandteile abgebildet. Charakteristisch sind die unterschiedlichen Umgebungen der additiven und subtraktiven spektralen Dekomposition (Lichtquelle: Quecksilberhochdrucklampe).