

physiker rundbrief

Sonderheft Januartagung 2005

Georg Maier

Wodurch zeichnet sich Goethes Methode gegenüber dem konventionellem Vorgehen aus?

Thomas Schmidt

Prismatische Farben in der klassischen Dispersionstheorie und bei Goethes bzw. Steiner

Ingrid Hartmann

Betrachtungen zum Auge ausgehend vom Lichtkurs

Florian Theilmann

Prismatische Farben als Ausblick auf eine umfassende "Optik der Bilder"

Theodor Bolsinger

Einführung in das neue System von Acrylmalfarben

Editorial

Dankbar verschicke ich einen dicken Physikerrundbrief, der zustande kommt, weil verschiedene Menschen meine Anregung aufgegriffen haben, aufzuschreiben, was sie im Januar gesagt haben bzw. hätten sagen wollen. Auf diese Weise können auch Menschen, die an den Arbeitstagen nicht haben dabei sein können, in das, was uns inhaltlich beschäftigt hat, Einblick nehmen. Daneben besteht so für Ingrid Hartmann die Möglichkeit, ihren Vortrag, den ihre Erkrankung im Januar verhindert hat, doch noch unter die Leute zu bringen. Ich hoffe mit der Veröffentlichung dieser Beiträge nicht zu sehr hinterherzuhinken – das Material lag seit Februar vor, die letzten Tage hing es an mir, meinen kleinen Beitrag fertigzuschreiben. . .

Noch ein kurzer Hinweis in eine ganz andere Richtung: zwar wurde die Information schon über David Auerbachs Emailverteiler verschickt, es sei hier aber noch einmal in Form einer Annonce wiederholt: Johannes Grebe-Ellis organisiert federführend eine Tagung zur modellfreien Optik an der Humboldt-Uni zu Berlin. Näheres entnehmen sie beiliegendem PDF bzw. dem ausführlichen Material unter [http://www.open-eyes-2005.de!](http://www.open-eyes-2005.de)

Herzlichen Gruss aus dem im Moment tiefverschneiten und dabei sonnigen Dornach

Ihr Florian Theilmann

Inhaltsverzeichnis

Editorial	2
Georg Maier: Wodurch zeichnet sich Goethes Methode gegenüber konventionellem Vorgehen aus?	5
Konventionelle Erkenntnisweise	5
Goethe'sches Vorgehen: Phänomenreihen	6
Erscheinungen in einander übergehen lassen	9
Staunen	10
Thomas Schmidt: Prismatische Farben nach der klassischen Dispersionstheorie im Zusammenhang mit den Darstellungen Goethes und Rudolf Steiners	12
Anthroposophische Dringlichkeit	12
Die prismatischen Farben bei Goethe	13
Die prismatischen Farben bei Rudolf Steiner	15
Die anomale Dispersion	16
Die Ableitung der prismatischen Farben aus der Dispersionstheorie	17
Schlusswort	19
Ingrid Hartmann: Betrachtungen zum Auge ausgehend vom Lichtkurs	20
Schöpferkraft: Astralleib und Auge	20
Die schaffende Seite des Auges: Auge – Ohr – Kehlkopf	21
Wahrnehmen: Innen – Außen	22
Das menschliche Auge	23
Augen im Tierreich	24
Zusammenschau	29
Florian Theilmann: Prismatische Farben als Ausblick auf eine umfassendere “Optik der Bilder”	31
Verschiedene Ansichten desselben Gegenstandes	31
Farbabhängige Sichtverbindungen am Trog	33
Der Blick durchs Prisma	35
Ungestörte und modifizierte Ansichten	37
Theodor Bolsinger: Einführung in das neue Acrylmalfarbensystem von ALL IN ONE BOX COLORS	39
(Email-)Adressen der Autoren	40

Physikerrundbrief: Sonderheft zum Januar 2005
Copyright Naturwissenschaftliche Sektion
Dornach, März 2005
Redaktion und Herstellung: Florian Theilmann

Wodurch zeichnet sich Goethes Methode gegenüber konventionellem Vorgehen aus?

GEORG MAIER

Konventionelle Erkenntnisweise

In Rudolf Steiners Einleitung zur Methode werden drei "Arten" konventioneller Naturerkenntnis drei solchen in Goethes Arbeitsweise gegenübergestellt. Die ersteren seien zunächst stichwortartig angedeutet:

1. Die Erscheinungen werden nach Art- und Gattungsbegriffen eingeteilt.
2. Hinter den Erscheinungen wird auf verborgene verursachende Kräfte geschlossen.
3. Allgemein gültige Naturgesetze werden abgeleitet.

Es ist erkennbar, dass am Anfang dieser Reihe sehr allgemeine Konzepte stehen, während zuletzt ein explizites Gesetz formuliert wird. So geht man vor, wenn man in der Mathematik aus einem Satz von Axiomen bestimmte Sätze ableitet. Dies kann an dem im Vortrag angeführten Beispiel der Kepler'sche Gesetze erläutert werden:

1. Gehen wir davon aus, dass es sich bei den Planetenbewegungen *überhaupt um Mechanik* handeln soll, so können wir diesen Himmelskörpern schwere und der träge Masse zuordnen.
2. Anziehungskraft und Zentrifugalkraft zwischen Planet (Masse m) und Sonne (Masse M) werden angesetzt. Deren gegenseitiger Abstand sei (r). Dann gilt $F_{gravitativ} = \gamma \times m \times M / r^2$ und $F_{zentrifugal} = m \times r \times \omega^2$ mit der Winkelgeschwindigkeit $\omega = 2\pi / T$
3. Setzen wir diese gleich, so erhalten wir das 3. Kepler'sche Gesetz: $r^3 / T^2 = \gamma M / 4\pi^2$ (Die Quadrate der Umlaufzeiten sind den Kuben der Abstände von der Sonne proportional).

Wir haben uns auf einen Typus des wissenschaftlichen Vorgehens eingelassen, bei welchem die allgemeinen Voraussetzungen einer Theorie hypothetische Annahmen sind, welche erst nachträglich in einem Vergleich mit von ihnen ausgehend abgeleiteten Sätzen mit dem Experiment geprüft, wie man sagt, "falsifiziert" werden können. Der so genannte prognostische Charakter von Theorien ist nichts anderes als eine notwendige Folge der spekulativen Natur ihrer Voraussetzungen. Kepler hat ja seine Gesetze an den Daten der astronomischen Messungen abgelesen, ohne vorauszusetzen, dass die Planetenbewegungen mechanischer Natur seien. Das oben angewendete Gravitationsgesetz hat Newton später an ihnen geprüft.

Goethe'sches Vorgehen: Phänomenreihen

Nun zu den "Arten" der Vorgehensweise in der Goethe'schen Arbeitsweise: Sie seien wieder in Stichworten wiedergegeben. Sie werden als "eigentlich von allen dreien das Gegenteil" angekündigt:

1. Statt Erscheinung ihrer Art nach zu interpretieren – eine Erscheinung allmählich in die andere übergehen lassen, "Metamorphose".
2. Statt Ursachen hinter den Phänomenen zu postulieren – Phänomenreihen bilden, welche zu Urphänomenen hinführen.
3. Statt allgemeingültige Naturgesetze abzuleiten – eine rationelle Naturbeschreibung pflegen.

In diesen ist zunächst keine methodische Schrittfolge erkennbar, wohl aber ist dies der Fall, wenn wir sie in der umgekehrten Reihenfolge in betracht ziehen ("U-turn"). Eine Anregung dazu ist die explizite Umkehr in der Reihenfolge: Begriff, Urteil, Schluss, wie sie von Rudolf Steiner zuvor¹ angeregt worden war. Ausgegangen würde hier vom *konkreten Phänomen*. Dann wären die beschriebenen Phänomene in einem zweiten Schritt aufzureihen, was zu Urphänomenen hinleiten sollte und schließlich, im dritten Schritt, würde erkundet, was sich im Übergang von Erscheinungen in einander zeigt.

Sehen wir nun zu, wie Erscheinungen in ihrer Abfolge für einander etwas bedeuten? Offenbar ist die Frage keine Selbstverständliche. Im Weiteren wird hier die unter (b) vertretene Sicht erläutert.

a.) *Phänomenreihe als Funktion einer Veränderlichen*: Gewöhnlich wird eine Phänomenreihe als Anordnung ausgewählter Phänomene verstanden, welche zum Zweck des Aufzeigens des Einflusses sich dabei verändernder Bedingungen aufgestellt wird. Zusammen genommen, soll die Reihe als *ein* Urphänomen gelten. Als Beispiel ist Goethes Urphänomen der atmosphärischen Farben zu nennen, bei welchem es darauf ankommt, dass die Helligkeitsverhältnisse im Hintergrund und Mittelgrund beim Durchblick durch die sich als Trübe erweisende Luft variiert werden. Die Anwendung solcher Reihen ist vielfach erprobt worden. Um sie aufzustellen, wird man bereits erkannt haben müssen, um was es geht. Es ist auch mit solchen eine bestimmte Auffassung zu stützen, im Sinne eines Hilfsmittels für die Argumentation.

b.) *"Aufbauende" Phänomenreihe*: Im Laufe der Biographie, beginnend in der frühesten Kindheit, werden wir mit immer weiteren Erscheinungen vertraut. Dies schliesst ein, dass frühere Erfahrungen zum Aufgreifen von Neuen gebraucht werden; bereits bekannte Phänomene erwei-

¹Rudolf Steiner: *Allgemeine Menschenkunde*. GA 293, Vortrag vom 30. August in Stuttgart, S. 130.

sen sich geradezu als “Werkzeuge”, welche weitere Phänomene erschliessen, indem sie quasi die Voraussetzung geben, auf Neues zu achten!

Indem im Folgenden damit angefangen wird, optische Erscheinungen in einer Folge anzusprechen, kann als Hintergrund der Gegensatz zur Tasterfahrung dienen.

1. Mir scheint das Folgende am Anfang zu stehen: Zum Sehen braucht es einen durchsichtigen Abstand zum Gesehenen, das wir erblicken. Der Zwischenraum ist dann im Zustand aktueller Transparenz, wenn Tageslicht herrscht; herrscht Dunkelheit, so finden wir ihn im Zustand potentieller Durchsichtigkeit.²

Hier finden wir in einem ganzen Komplex von Urteilen die Bedingungen des gewöhnlichen Sehens von Objekten:

- Akkommodation muss möglich sein.
 - Erblickte Objekte haben die Eigenschaft der Undurchsichtigkeit an sich. (Übrigens: auch Eigenhelles können wir anblicken, es gehört zum Undurchsichtigen!).
 - Mit dem offenen durchsichtigen Abstand ist zugleich die Beleuchtung des erblickten Objekts *möglich*; bei Tage ist sie *gegeben*. Im Grunde ist damit die “Sichtbeziehung” überhaupt gekennzeichnet: auch in den viel komplexeren Fällen, welche in der Optik anzutreffen sind, bleibt die Sichtbeziehung, ihrer Möglichkeit nach, an die körperlich gegebenen Bedingungen gebunden.
 - “Sehdinge” (nach Berkeley) haben (verglichen mit den Tastdingen) eine Ausdehnung im Maß ihres Anteils am Gesichtsfeld. Bei direkter Sicht verändert sich dieser Anteil *perspektivisch* mit der Veränderung des Abstands zum Auge.
 - Auf dieser Basis kommen wir im Hinblick auf die als rationelle Naturbeschreibung zu sehende Feststellung der abnehmenden Beleuchtungswirkung einer Lampe in zunehmendem Abstand auf das Urteil: Die Beleuchtungswirkung ist proportional der sichtbaren Grösse der beleuchtenden Lampe im entsprechenden Abstand.
2. Das Phänomen des Schattenwurfs wird aus der Sicht von der beleuchteten Fläche auf die sie beleuchtende Situation verständlich. Aus dem Schatten erscheint das Beleuchtende vollständig durch Undurchsichtiges verdeckt, aus dem Halbschatten, eben teilweise.
 3. Bewegen wir das Auge quer zur Blickrichtung, dann verschieben sich die Sehdinge unter einander nach Massgabe ihres Abstands vom Auge (Parallaxe). Achten wir dabei darauf, dass nähere Dinge fernere verdecken, so folgt:

²Aristoteles: “Über die Seele”. Übertragen von Paul Gohlke, Paderborn 1961, S. 74 ff.

- Weiter entfernte Dinge begleiten uns, an näher gelegenen Dingen gehen wir vorüber; während Sie aus dem Gesichtsfeld verschwinden, treten dafür neue ins Gesichtsfeld ein: Wir erhalten so ein Mittel zum Einführen von Entfernungen im Bereich der Sehdinge.
 - Stereoskopie gebraucht ebendieses Mittel im Nahbereich.
4. Ruhende Spiegelbilder kommen zustande an ruhenden Wasserflächen, wie auch an ebenen Spiegeln.
- Mit Hilfe der Entfernungsbestimmung nach (3.) kann dem Spiegelbild eine räumliche Gestalt im “Spiegelraum” *unter der spiegelnden Fläche* zugeordnet werden. Diese ist ebenso ortsfest, wie das sich Spiegelnde. Was im Spiegelraum anzublicken ist, erweist sich als bezüglich der Spiegelebene spiegelbildlich arrangiert zur räumlichen Anordnung der direkt zu erblickenden Sehdinge. Von oberhalb der Spiegelebene zeigt sich die Szene in einer anderen Perspektive als ihr Spiegelbild.
 - Im Spiegelraum kommt keine Wahrnehmung von Tasteigenschaften zustande, aber wir finden dort alle bekannten optischen Verhältnisse wieder vor.

Bei den noch folgenden Punkten soll nur hingewiesen werden auf weitere Grade der “Entfremdung” vom anfänglichen Schema des direkten Blicks auf Gegenstände. Und mit diesen ist ja die “Reihe” noch keineswegs abgeschlossen!

5. Gekrümmte spiegelnde Flächen lassen Bilder entstehen, welchen nicht nur keine Tastwahrnehmungen zukommen, sondern bei welchen darüber hinaus die gewohnte Verknüpfung zwischen Stereoskopie und Perspektive aufgehoben ist (Beispiel: beide Seiten eines noch brillant spiegelnden Löffels).
6. Beim Einblick in Wassertröge erscheint z.B. deren Boden gehoben, so erscheint beim Herumgehen um einen Brunnentrog dessen Boden als stets auf den Betrachter zu geneigt.

Es wäre an dieser Stelle die Wirkung von Linsen darzustellen, usw., usw. . .

In der Liste ist ja keine Vollständigkeit angestrebt. Es soll vielmehr insgesamt auf zweierlei hingewiesen werden:

1. Dass eine Beschreibung mit dem Charakter eines Urteils zustande kommt vor dem Hintergrund anderer Phänomene. Diese lassen uns die Erscheinung so beobachten, dass deutlich wird, worauf es bei ihr ankommt. Dabei werden *Ergebnisse* gewonnen, die ihrerseits durchaus als “rationale Naturbeschreibungen” anzusehen wären. Hier zwei Beispiele: So gelangen wir dazu die Gesamtheit der Sichten auf einen Spiegel als Gestalt im Spiegelraum zu begreifen, wenn wir auf

den Effekt der Parallaxe bei Blick in Richtung zur Spiegelfläche achten, der wir sonst in einer Szene die räumlichen Verhältnisse im Angeschauten aufschliesst.

Weiterhin gelangen wir dazu, die Abnahme der Beleuchtungswirkung einer isotrop leuchtenden Lampe mit dem Quadrat der Entfernung zu verstehen: Beachten wir die perspektivische "Sehding-Natur" der Lampe, so folgt, dass ihre Raumwinkelgrösse in diesem Mass mit der Entfernung von dem in Betracht gezogenen beleuchteten Ort abnimmt.

Ob solche Ergebnisse als "Urphänomene" angesehen werden können, wäre zu besprechen.

2. Weiterhin ist zu bemerken, dass mit jedem oben aufgezählten neuen Phänomen schlechthin neue Verhältnisse angetroffen werden; wir verlassen das Vertraute, treten in neue Erfahrungsbereiche ein. Dies setzt aber voraus, dass die neue Situation im oben angedeuteten Sinn begriffen wird. Ein gutes Beispiel ist der Mangel an tastbaren Korrelaten der Spiegelbilder dort, wo sie erscheinen. Sofort kommt ja dann der Einwand, die Spiegelbilder seien *unwirklich*. Wie bilden wir da adäquate Begriffe, welche das Wesentliche bezeichnen? Damit treten wir ein in den Bereich des "dritten Schrittes": eine Erscheinung in die andere übergehen lassen.

Erscheinungen in einander übergehen lassen

Bekanntlich sind unsere Sinne viel empfindlicher auf Veränderungen einer Qualität als im Feststellen von absolut, also fixiert Gegebenem. So wird auch der ungeübte Laie geringfügige Erhöhungen oder Erniedrigungen eines gehörten Tons bemerken, dem es gar nicht auffallen kann, dass ein Musikstück in einer erhöhten Stimmung gespielt wird. Überhaupt nehmen unveränderlich bleibende Sinnesreize in ihrer Intensität ab. Wir gewöhnen uns an die Lebensbedingungen, welche herrschen, ihre Wahrnehmbarkeit flaut ab. Wir bleiben aber empfindlich auf deren Wechsel. Dies wird besonders drastisch demonstriert am Wärmesinn durch den so genannten "Drei Eimer-Versuch". Hier wird gezeigt, wie unsere Wärmeempfindung nicht bloss von der gegenwärtigen Umgebung abhängt, sondern weiter davon, ob sie Abkühlung oder ein Erwärmen gegenüber der vorherigen Situation brachte.

Analog hierzu ist zu beachten, dass unsere Vorerfahrung uns nicht nur mit Gesichtspunkten ausstattet, welche uns helfen in einer neuen Situation uns zurechtzufinden. Wir tragen sie auch mit uns als Basis auf welcher das Neue *kontrastieren* kann. Gehen wir von der "direkten Sicht" auf Tastdinge über zu zunehmend "indirekter Sicht", so begeben wir uns immer tiefer ins "*Sehdinghafte*". Das macht sich beim Blick auf eine Münze auf dem Grund eines mit Wasser gefüllten Brunnentrogs drastisch bemerkbar: Sie erscheint zum Greifen nahe. Bei der Umsetzung der Situation in die Tat stellt es sich aber heraus, dass in der geschätzten Tiefe noch nichts zu greifen ist.

Was heisst das, wenn vom *allmählichem* Übergehen im “Lichtkurs” die Rede ist? Wir *begleiten* die sich entwickelnde Erscheinung. dabei wird deutlich, worauf es bei der neuen Erscheinung ankommt: Während der Trog mit Wasser gefüllt wird, hebt sich dessen gesehener Boden sachte in die Höhe, er verabschiedet sich vom gewohnten Konnex mit dem greifbaren Objekt. Die Sache ist noch nicht mit der Feststellung des Gesetzes der Hebung abgetan. Da wären wir damit zufrieden mit einem konventionellen wissenschaftlichen Ergebnis, etwa so: “Das Verhältnis zwischen den zwei Strecken im dichteren Medium von der Einblicksstelle zum “Tastort” beziehungsweise zum “Bildort” ist konstant.” Im Übergehen von der direkten zur gehobenen Sicht löst sich das Sehding ab vom materiellen Objekt. Die Art *wie* dies geschieht, ist eine andere als bei der Spiegelung.

So könnten wir sogar zwischen Gattungen und Arten von Begriffen unterscheiden, was im Kontext der gemeinten Stelle im “Lichtkurs” vielleicht von Interesse ist, so:

Gattungsbegriff: Sehding

Artbegriffe: Hebung, Spiegelung, Zustände actu – potentia,

Staunen

Durch das gemeinte “Übergehenlassen” werden die Phänomene *staunenswert*. Diesen Charakter gilt es zu bewahren. Zum Umgang mit anfangs Bestauntem gibt es eine Anleitung von Rudolf Steiner³, die für Motivation und Arbeitsweise im Realisieren dessen sehr instruktiv ist, was als Goethe’sche Methode hier in Betracht gezogen worden ist. Im erwähnten Kontext wird davon abgeraten, mit Hilfe des Erklärungen suchenden Denkens den Erkenntnisprozess abzuschliessen. Auch die Erkenntnis eines Urphänomens leitet hin zu einem aussprechbaren, allgemeinen Ergebnis. Mit diesem in der Hand kann unser Erkennen einmünden in die konventionelle Arbeitsweise: Ableiten der besonderen Schlüsse aus einem allgemein gültigen Prinzip.

Wir können die Ablösung der Sehdinge von den Tastdingen in verschiedenster Art erfahren (Spiegelung, Hebung, Regenbogen, usw.). Zweifellos ist die Vorstellung einer körperlichen, von uns getrennten Aussenwelt eng mit der Erfahrung von körperlichen Objekten verbunden. Indem wir uns hingegen mit dem Reich der Sehdinge vertraut machen, nehmen wir teil an Erscheinungen, in welche wir uns hinein begeben; indem wir unsere Augen im Hinblick auf Stereoskopie, wie auch auf Akkommodation auf sie einstellen, vereinigen wir uns mit dem Sichtbaren, überwinden wir den trennenden Abstand. Erscheinen und Erscheinenlassen sind eins.

Es wirken im optischen Zusammenhang verschiedene beteiligte Bedingungen zusammen, so, wie wenn sie in die gegenwärtige Erscheinung projiziert wären. Sie können verstanden werden als Einflüsse, welche einander *wechselweise* zur Erscheinung bringen unter Zurücknahme eigener Bildgestalt. (z.B. Sichtbarwerden der Bewegung

³Rudolf Steiner: *Die Welt der Sinne und die Welt des Geistes. GA 134, Vorträge vom 27. und 28. 12. 1911 in Hannover.*

von Wellen in der Spiegelfläche an den Verzerrungen des Spiegelbildes – “Verschwinden” der vollkommen ebenen Oberfläche zugunsten der Spiegelung der Umgebung; Erblicken des Beugungsbildes bei der Sicht *durch* einen Spalt auf eine Flamme – Blick *auf* einen Spalt, wobei die Flamme nur noch als Helligkeit innerhalb von dessen Öffnung in Erscheinung tritt, etc.). Eines tritt zurück zugunsten des Erscheinens des anderen. Wir können uns hier an die “Unschärferelation” von Heisenberg erinnern.

Prismatische Farben nach der klassischen Dispersions- theorie im Zusammenhang mit den Darstellungen Goe- thes und Rudolf Steiners

THOMAS SCHMIDT

In den folgenden Betrachtungen soll versucht werden, eine “Verständnis-Brücke” zu schaffen zwischen der Erklärung der prismatischen Farben aus dem Goetheschen Urphänomen, wie sie von *Goethe* 1810 in dem didaktischen Teil des “Entwurfes einer Farbenlehre” und von *Rudolf Steiner* im zweiten und vierten Vortrag seines “Lichtkurses” 1919¹ dargestellt wurde sowie der üblichen Dispersionstheorie, die u.a. in dem klassischen Optik-Lehrbuch von *Max Born* und *Emil Wolf*² zu finden ist.

Anthroposophische Dringlichkeit

In der Michaelizeit des Jahres 1917, am Ende des ersten Weltkrieges, äußert sich *Rudolf Steiner* mit großer Dringlichkeit zu dem Verhältnis zwischen der spirituellen und akademisch üblichen Wissenschaft. Das beginnt so:³

“Die naturwissenschaftliche Weltanschauung ist eine rein ahrimanische Sache; aber nicht dadurch bekämpft man sie, dass man nichts von ihr wissen will, sondern indem man sie wo möglich in das Bewusstsein heraufbefördert, sie möglichst gut kennen lernt. Man kann Ahriman keinen größeren Dienst leisten, als die naturwissenschaftlichen Anschauungen ignorieren oder unverständlich bekämpfen...”. Und einige Seiten weiter: “...Nur müssen wir niemals vergessen, dass es den heutigen Menschen oftmals unüberwindliche Schwierigkeiten macht, wenn sie selbst auch schon wirklich den Anschluss finden an die spirituelle Wissenschaft, die Brücke zu schlagen hinüber ins Reich der ahrimanischen Wissenschaft. Ich habe manche Menschen gefunden, die sehr gut Bescheid wussten auf diesem oder jenem Gebiet der ahrimanischen Wissenschaft, die entweder gute Naturwissenschaftler oder gute Orientalisten waren und so weiter, die dann auch den Anschluss gefunden haben an unsere spirituelle Forschung. Oh, ich habe mir viele Mühe gegeben, um solche Menschen zu veranlassen, nun die Brücke zu schlagen... Ich habe es bei Orientalisten versucht. Gewiss, die Menschen können auf der einen Seite gute Anhänger der Anthroposophie sein, auf der anderen Seite sind sie Orientalisten und machen die Sache so, wie es Orientalisten machen. Aber die Brücke von dem einen zu dem anderen wollen sie nicht schlagen. Das ist es

¹Rudolf Steiner: “Geisteswissenschaftliche Impulse zur Entwicklung der Physik - erster naturwissenschaftlicher Kurs” (1919/20, 2. und 4. Vortrag), GA 320, Dornach 1987.

²Max Born: “Optik - Ein Lehrbuch der elektromagnetischen Lichttheorie”, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York (1981 und spätere Auflagen).

³Rudolf Steiner: “Die spirituellen Hintergründe der äußeren Welt - Der Sturz der Geister der Finsternis” (1917, 10. bis 12. Vortrag) GA 177, Dornach 1977 (10. Vortrag S. 169 u. 176, 11. Vortrag S. 191).

aber gerade, was die Gegenwart so notwendig braucht, was so intensiv notwendig ist...“ Am nächsten Tag und im nächsten Vortrag wird das dann nochmals bekräftigt: “... Ich habe gestern erwähnt, wie schwer es wird, die Brücke zu schaffen zwischen der Geisteswissenschaft im allgemeinen und den Spezialbetätigungen im wissenschaftlichen Leben. Gerade das aber wird zu dem Allernotwendigsten der Zukunft gehören...”.

Die prismatischen Farben bei Goethe

J. W. Goethe formuliert 1810 in seiner Farbenlehre⁴ am Ende von Kapitel X “Dioptrische Farben der ersten Klasse” sein “Urphänomen der Entstehung der Farben aus Licht, Finsternis und Trübe”, um es dann von Kapitel XI “Dioptrische Farben der zweiten Klasse (Refraktion)” bis zu Kapitel XV “Ableitung der angezeigten Phänomene” auf die prismatischen Farben anzuwenden:

145. Der Raum, den wir uns leer denken, hätte durchaus für uns die Eigenschaft der Durchsichtigkeit. Wenn sich nun derselbe dergestalt füllt, dass unser Auge die Ausfüllung nicht gewahr wird, so entsteht ein materielles, mehr oder weniger körperliches, durchsichtiges Mittel, das luft- und gasartig, flüssig oder auch fest sein kann.

...

148. Das Durchsichtige selbst, empirisch betrachtet, ist schon der erste Grad des Trüben. Die ferneren Grade des Trüben bis zum undurchsichtigen Weißen sind unendlich.

149. *Auf welcher Stufe wir auch das Trübe vor seiner Undurchsichtigkeit festhalten, gewährt es uns, wenn wir es in Verhältnis zum Hellen und Dunklen setzen, einfache und bedeutende Phänomene.*

150. Das höchst energische Licht, wie das der Sonne, des Phosphors in Lebensluft [Sauerstoff] verbrennend, ist blendend und farblos. So kommt auch das Licht der Fixsterne meistens farblos zu uns. Dieses Licht aber durch ein nur wenig trübes Mittel gesehen, erscheint uns gelb. Nimmt die Trübe eines solchen Mittels zu oder wird seine Tiefe vermehrt, so sehen wir das Licht nach und nach eine gelbrote Farbe annehmen, die sich endlich bis zum Rubinroten steigert.

151. Wird hingegen durch ein trübes, von einem darauffallenden Lichte erleuchtetes Mittel die Finsternis gesehen, so erscheint uns eine blaue Farbe, welche immer heller und blässer wird, je mehr sich die Trübe des Mittels vermehrt, hingegen immer dunkler und satter sich zeigt, je durchsichtiger das Trübe werden kann, ja, bei dem mindesten Grad der Trübe als das schönste Violett dem Auge fühlbar wird.”

...

⁴J. W. Goethe: “Entwurf einer Farbenlehre, didaktischer Teil” §§ 145 - 151 und §§ 219- 238 in: “Zur Farbenlehre, erster Band” Tübingen 1810.

175. Das, was wir in der Erfahrung gewahr werden, sind meistens nur Fälle, welche sich mit einiger Aufmerksamkeit unter allgemeine empirische Rubriken bringen lassen... von nun an fügt sich alles nach und nach unter höhere Regeln und Gesetze, die sich aber nicht durch Worte und Hypothesen dem Verstande, sondern gleichfalls durch Phänomene dem Anschauen offenbaren. Wir nennen sie Urphänomene, weil nichts in der Erscheinung über ihnen liegt, sie aber dagegen völlig geeignet sind, dass man stufenweise... von ihnen herab bis zu dem gemeinsten Falle der täglichen Erfahrung niedersteigen kann.

Nun zu Goethes Anwendung dieses “Urphänomens” auf die prismatischen Farben:

178. Die dioptrischen Farben der beiden Klassen [Trübungs- und prismatische Farben] schließen sich genau aneinander an, wie sich bei einiger Betrachtung sogleich finden lässt. Die der ersten Klasse erschienen in dem Felde der trüben Mittel, die der zweiten sollen uns nun in durchsichtigen Mitteln erscheinen. Da aber jedes empirisch Durchsichtige an sich schon als trüb angesehen werden kann, wie uns jede vermehrte Masse eines durchsichtig genannten Mittels zeigt, so ist die nahe Verwandtschaft beider Arten genugsam einleuchtend.

...

219. Vor allen Dingen erinnern wir uns, dass wir im Reiche der Bilder wandeln. Beim Sehen überhaupt ist das begrenzt Gesehene immer das, worauf wir vorzüglich merken, und in dem gegenwärtigen Falle, da wir von Farbenerscheinung bei Gelegenheit der Refraktion sprechen, kommt nur das begrenzt Gesehene, kommt nur das Bild in Betrachtung.

220. Wir können aber die Bilder überhaupt zu unsern chromatischen Darstellungen in primäre und sekundäre Bilder einteilen. Die Ausdrücke selbst bezeichnen, was wir darunter verstehen, und Nachfolgendes wird unsern Sinn noch deutlicher machen.

...

226. [Unter anderem] kann man die primären Bilder auch als Hauptbilder ansehen und ihnen die sekundären als Nebenbilder gleichsam anfügen. Ein solches Nebenbild ist eine Art von Doppelbild, nur dass es sich von dem Hauptbilde nicht trennen lässt, ob es sich gleich immer von demselben zu entfernen strebt. Von solchen ist nun bei den prismatischen Erscheinungen die Rede.

...

233. Auch haben wir bemerkt, dass Doppelbilder als... eine Art von durchsichtigem Gespenst erscheinen, so wie sich Doppelschatten jedes Mal als Halbschatten zeigen müssen. Diese nehmen die Farbe leicht an und bringen sie schnell hervor. Und eben der Fall tritt auch bei den Nebenbildern ein, welche zwar von dem Hauptbilde nicht ab-, aber... aus

demselben hervortreten und daher so schnell, so leicht und so energisch gefärbt erscheinen können.

234. Dass nun die prismatische Farberscheinung ein Nebenbild sei, davon kann man sich auf mehr als eine Weise überzeugen. Es entsteht genau nach der Form des Hauptbildes . . .

235. Aber nicht allein die Form des wahren Bildes, sondern auch andere Bestimmungen desselben teilen sich dem Nebenbilde mit

...

238. Überhaupt ist das Kennzeichen des Doppel- und Nebenbildes die Halbdurchlässigkeit. Man denke sich daher innerhalb eines durchsichtigen Mittels, dessen innere Anlage, nur halbdurchsichtig, nur durchscheinend zu werden, schon oben ausgeführt ist (148), man denke sich innerhalb desselben ein halbdurchsichtiges Scheinbild, so wird man dieses sogleich für ein trübes Bild ansprechen.

239. Und so lassen sich die Farben bei Gelegenheit der Refraktion aus der Lehre von den trüben Mitteln gar bequem ableiten. Denn wo der voreilende Saum des trüben Nebenbildes sich vom Dunklen über das Helle zieht, erscheint das Gelbe; umgekehrt, wo eine helle Grenze über die dunkle Umgebung hinaustritt, erscheint das Blaue (150, 151)."

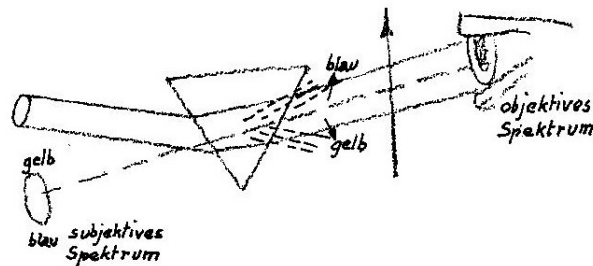
Das Wesentliche der Gedankengänge *Goethes* sind auch so zusammenzufassen: Es gibt keine noch so durchsichtige, materielle Raumerfüllung, die nicht zugleich mit einer - und sei es noch so geringen - Trübung verbunden ist; im Falle einer optischen Asymmetrie - wie schräge Aufsicht auf das Medium oder prismatische Form des Materials - entstehen Halbschattenzonen, die wie eine Trübung zwischen Licht und Finsternis gefärbt erscheinen.

Die prismatischen Farben bei Rudolf Steiner

Weihnachten 1919 nimmt sich auch *Rudolf Steiner* im vierten Vortrag seines "Lichtkurses" ¹ nochmals der prismatischen Farben und ihrer Erklärung in *Goethes* Sinne aus der Trübung an:

Wir haben es also in dem Augenblicke, wo wir das Licht durch das Prisma hindurchjagen, zu tun mit zweierlei, erstens mit dem einfachen, fortströmenden hellen Licht, dann aber mit dem dem Licht in den Weg gestellten Trüben. Aber dieses Trübe,... stellt sich so dem Lichte in den Weg, dass, während das Licht in der Hauptsache [im Sinne der Abbildung] nach oben abgelenkt wird, dasjenige, was als Trübung entsteht,... mit seinen Strahlen in der Richtung der Ablenkung sein wird.... Dunkelheit lebt gewissermaßen im abgelenkten Licht. Dadurch entsteht hier das Bläuliche, Violette. Aber Dunkelheit strahlt auch nach unten. Da strahlt sie, während der Lichtzylinder so [nach oben] abgelenkt wird, nach unten,

und sie wirkt entgegengesetzt dem abgelenkten Licht, kommt gegen dieses nicht auf, und wir können sagen: da übertönt das abgelenkte helle Licht die Dunkelheit, und wir bekommen die gelblichen oder gelblich-rötlichen Farben.



Fassen wir das Wesentliche zusammen: Die Trübung wirkt primär von der Seite der Ablenkung, also von der blau-violetten Seite des Spektrums her, aber sie strahlt "auch" – also sekundär – nach unten und bewirkt dort die rötlich-gelben Trübungsfarben des Lichtes.

Die anomale Dispersion

Die Beobachtungen zeigen, dass für brechende durchsichtige Substanzen die *Dispersion* (das ist die Änderung der Brechzahl) von der roten zur violetten Seite des Spektrums hin zunimmt; dieser Verlauf wird "*normale Dispersion*" genannt. Dazu gehört ferner, dass auch die *Dispersion* selbst (also die Stärke der Farb-Zerstreuung) in der Regel zur violetten Seite hin größer wird.

Wird jedoch die Dispersion im Spektralbereich von Absorptionslinien untersucht, so dreht sich das Dispersionsverhalten teilweise um, und es entstehen schmale Spektralbereiche mit stark abnehmender Brechung, "*anomale Dispersion*" genannt. Diese zumindest teilweise zu beobachten (vollständig ist das wegen der Absorption kaum möglich) kann man den folgenden Weg wählen: Zunächst wird das Spektrum einer farblosen Lichtquelle mit einem normalen Glasprisma entworfen. Setzt man nun in den Lichtweg ein zweites Prisma senkrecht zum ersten orientiert, so entsteht lediglich ein schräg verlaufendes Spektrum hinter den beiden Prismen, falls auch das zweite Prisma eine normale Dispersion besitzt. Zeigt jedoch das Material dieses zweiten Prismas Absorptionslinien, so wird das *anomale Dispersions*-Verhalten, wie in Fig.

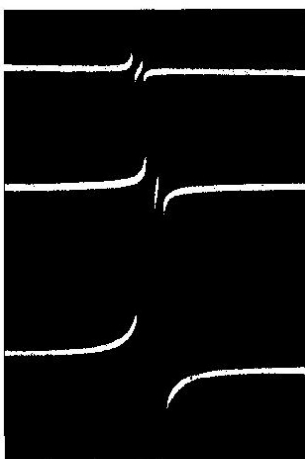


Fig. 216. Anomale Dispersion der Natrium-D-Linien bei 3 verschiedenen Dampfdrücken (Aufnahme von G. CARIO).

216 für Natriumdampf dargestellt, immerhin in den Teilen der Absorption gut erkennbar, die noch beobachtbares Licht hindurchlassen. Man sieht in der Abbildung auch, wie bei geringem Dampfdruck die beiden Natriumlinien getrennt in Erscheinung treten, bei hohen Drucken aber zu einer einzigen Absorptionsbande verschmelzen.

Die Ableitung der prismatischen Farben aus der Dispersionstheorie

Die wesentlichen Ableitungen lassen sich am besten in dem bereits erwähnten Standardwerk "Optik" von *Max Born* in den von *Emil Wolf* betreuten Neuauflagen finden, hier nach der Auflage von 1981².

Die Vakuum-Lichtgeschwindigkeit c ergibt sich als Grundkonstante der Maxwell'schen Gleichungen der Elektrodynamik zu $c = 1/\sqrt{\epsilon_0\mu_0} = 2,997 \times 10^8 \text{ m/s}$, wo $\epsilon_0 = 8,85410 \times 10^{-12} \text{ As/Vm}$ und $\mu_0 = 1,25610 \times 10^{-6} \text{ Vs/Am}$ die elektrische und magnetische Feldkonstante im materiefreien Raum sind. In durchsichtigen Materialien außerhalb von Absorptionsgebieten gilt die reduzierte Lichtgeschwindigkeit $c_k = c/n$, wobei n die übliche Brechzahl bedeutet. Aus der elektromagnetischen Lichttheorie folgt für alle Materialien, in denen Atomkernbewegungen keine Bedeutung haben - das sind Edelgase, Metaldämpfe und symmetrische Gasmoleküle (Hauptbestandteile der Luft), die Beziehung $n^2 = \epsilon_r\mu_r$, ϵ_r und μ_r sind die elektrische und magnetische Feldkonstante relativ zum materiefreien Raum. Da für alle optisch relevanten Substanzen $\mu_r \approx 1$ gilt, kann es also weggelassen werden, also:

$$n^2 = \epsilon_r . \quad (1)$$

Für absorbierende Stoffe ist der Brechungsindex komplex:

$$\mathbf{n} = (1 - i\kappa) , \quad (2)$$

der Realteil n bedeutet die gewöhnliche Brechzahl und κ den Absorptionsindex.

Wird die Materie als eine Ansammlung von Atomen und Molekülen angesehen, so ist eine entscheidende Größe die Polarisierbarkeit α der wirksamen einzelnen Teilchen, die deren elektrisches Moment

$$\vec{p} = \alpha \vec{E}' \quad (3)$$

bestimmt (\vec{E}' ist die real wirksame elektrische Feldstärke). α ist an sich ein Tensor, wird aber hier als Skalar betrachtet, da es in den hier zitierten Betrachtungen nur um verdünnte, isotrope Gase geht, die aber bereits alles zeigen, worauf es hier ankommt. Es ergibt sich in diesem Fall die Beziehung

$$\mathbf{n}^2 = 1 + 4\pi N\alpha , \quad (4)$$

wobei N die Anzahl der Oszillatoren pro Volumeneinheit bedeutet. Für anisotrope, optisch aktive Festkörper wären die hier relevanten Ergebnisse zwar nicht wesentlich anders, aber sehr viel komplizierter abzuleiten.

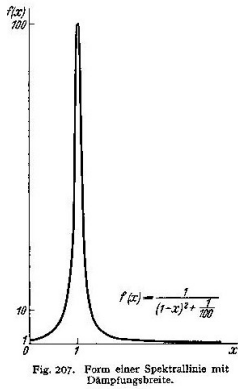


Fig. 207. Form einer Spektrallinie mit Dämpfungsbreite.

Nach der elektromagnetischen Lichttheorie besteht jede *Lichtquelle* als aus gedämpften harmonischen Oszillatoren (typischerweise den äußeren Elektronen der Atomhülle) mit der Eigenschwingung

$$u(t) = u_0 e^{\pm i\omega t - \gamma t/2} . \quad (5)$$

Die Fourierzerlegung von $u(t)$ ergibt die beobachtbare, in Fig. 207 aufgetragene Spektrallinie. Die Abszisse x ist die auf die Eigenfrequenz und das Linienzentrum normierte Frequenzverteilung, das ebenfalls normierte Dämpfungsglied, zur Veranschaulichung extrem groß gewählt (übliche Spektrallinien ergäben nur etwa 10^{-4} bis 10^{-5}). Eine Dämpfung ist grundsätzlich immer vorhanden, zumindest die durch die Emission selbst bedingte “Strahlungsdämpfung”. Die Abbildung zeigt die typische “Dispersionsverteilung” für eine gedämpfte Emissionslinie, bei der die Strahlung umgekehrt quadratisch und damit sehr viel *schwächer* als exponentiell ins Unendliche ausläuft, nach dem gleichen Gesetz übrigens wie die auch weit reichende Gravitation in der Umgebung von Zentralkörpern.

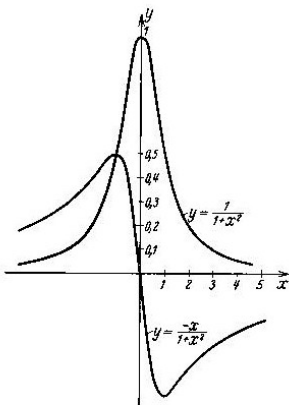


Fig. 213. Verlauf von Dispersion und Absorption in der Umgebung einer Spektrallinie eines Gases bei niedrigeren Drucken.

Harmonische Oszillatoren, die in der Theorie die Grundlage aller Lichtquellen sind, müssen natürlich dann auch als die Elemente der Atome angesehen werden, die für die Fortpflanzung, also den *Brechungsindex* n und für die *Absorption* κ des Lichtes verantwortlich sind. Die atomaren (auch hier wieder als isotrop angenommenen) “Resonatoren” werden dabei von einer äußeren periodischen Feldstärke $\vec{E}_t = \vec{E} e^{i\omega t}$ angeregt. Die Lösung der entsprechenden Schwingungsgleichung liefert hier die Amplitude \vec{p}_0 des elektrischen Momentes des Oszillators, über Glg. 3 und 4 ergibt sich daraus das Quadrat des Brechungsindex, wobei jetzt in Glg. 4 die komplexe Glg. 2 einzusetzen ist, weil die äußere Anregung einer Schwingung grundsätzlich eine Absorption bedeutet. Es wird dann 5 zu

$$\mathbf{n}^2 = n^2(1 - \kappa^2) + (2n^2\kappa)i , \quad (6)$$

wobei der Imaginärteil die *Absorption* der Spektrallinie und der Realteil die dadurch erzeugte *Dispersion* bedeuten; in beiden Fällen ergeben sich wieder Dispersionsverteilungen, die in den Abbildungen dargestellt sind. Sie sind bei niedrige Drucken (Fig. 213) symmetrisch. Wenn der Frequenzabstand vom Zentrum der betrachteten Absorption wieder geeignet normiert wird, hat die *Absorption* die Form $1/(1+x^2)$, die *Dispersion* dagegen $x/(1+x^2)$; damit wirkt die *Dispersion* noch deutlich stärker in die Umgebung der Absorption hinein als die *Absorption* selbst oder die zugehörige, zuvor betrachtete *Emission*.

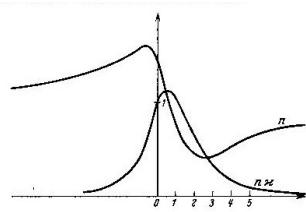


Fig. 214. Verlauf von Dispersion und Absorption in der Umgebung einer Spektrallinie eines Gases bei höheren Drucken.

Bei höheren Drucken und weiteren aus der spektralen Umgebung an die Stelle der betrachteten Spektrallinie hereinwirkenden Absorptionen verschiebt sich, wie in Fig. 214 dargestellt, der ansonsten qualitativ gleiche Verlauf der Kurven. Man sieht die Übereinstimmung mit den zuvor in Fig. 216 dargestellten Beobachtungen an Natriumdampf. Ferner ist noch zu beachten, dass die Absorptionslinien, die für alle optisch relevanten, im normalen Licht

durchsichtigen Substanzen die Dispersion und damit auch jede Brechzahl $n > 1$ erzeugen, ihre hauptsächlichsten Absorptionsbanden im ultravioletten Strahlungsbereich besitzen. Das sichtbare Licht befindet sich also in Fig. 214 auf der linken Seite der Abbildung. In der Regel zwar weniger intensiv, sind aber bei praktisch allen durchsichtigen Substanzen auch im infraroten Spektralbereich Absorptionen vorhanden.

Da Brechung und Dispersion in durchsichtigen Substanzen grundsätzlich durch Absorptionen (von Goethe Trübung genannt) in irgend welchen anderen Spektralbereichen verursacht werden, bedeutet das auch zugleich, dass absorptionsfreie Substanzen keinerlei Brechung oder Dispersion haben könnten. Im übrigen ist aber auch eine materielle Substanz ohne jede absorptive Wechselwirkung mit dem Licht physikalisch unreal.

Schlusswort

Es wohl deutlich geworden, dass für die prismatischen Farben im Zusammenhang mit Absorption und Trübung eine wirklich zu Ende gedachte elektromagnetische Lichttheorie keineswegs mit den Goetheanistischen Erklärungen im Widerspruch steht. Das gilt sowohl für Goethes Ausspruch "das Durchsichtige selbst, empirisch betrachtet, ist schon der erste Grad des Trüben" als auch für Steiners ausführlichere Erklärungen der prismatischen Farben in seinem "Lichtkurs" mit seiner Aussage, dass die Trübung vor allem aus "der Richtung der [Licht-]Ablenkung" kommt, wodurch das Bläuliche, Violette entsteht, aber auch auf der der Ablenkung entgegengesetzten Seite gelblich-rötliche Farben bewirkt. Die Schlussfolgerung: *ohne Trübung - weder Brechung noch Dispersion* ist offensichtlich für jede Art optischer Betrachtung entscheidend.

Konrad Schneider danke ich für ein klärendes Gespräch bei der Abfassung dieses Textes.

Betrachtungen zum Auge ausgehend vom Lichtkurs (GA 320)

INGRID HARTMANN

Das Auge kann zum einen als vollkommenes, optisches Instrument gesehen werden. Zum anderen verwirklicht sich das Wesen des Organischen in ihm.

Jene unmittelbare Verwandtschaft des Lichtes und des Auges wird niemand leugnen; aber sich zugleich als eins und dasselbe zu denken, hat mehr Schwierigkeit.

Das Auge ist das letzte, höchste Resultat des Lichtes auf den organischen Körper. Das Auge als ein Geschöpf des Lichtes leistet alles, was das Licht selbst leisten kann.

J. W. v. Goethe

Im Lichtkurs nimmt R. Steiner in dreierlei Hinsicht Bezug auf das Auge. Er geht auf das mehr selbständige Wirken des Astralleibes des Menschen im Auge ein. Durch dieses Wirken des Astralleibes im Auge kommt dem Auge eine besondere Stellung in der Organisation des Menschen zu. Durch die Hinzunahme der Metamorphosenlehre stellt R. Steiner dar, wie die mehr schaffende Seite des Auges im Sehvorgang deutlich werden kann. Des weiteren kommt im Auge ein merkwürdiges Zusammenspiel von Innen und Außen, Vitalem und Unlebendigerem zum Ausdruck.

Den Hinweisen R. Steiners folgend offenbart sich uns eine große Vielfalt der Schöpfung. Es wird deutlich, daß Sehen ein bloßes Wahrnehmen von Bewegung sein kann, aber auch über Hell-Dunkelwahrnehmen bis zu detaillierten Farbwahrnehmung führen kann. Es kann scharf und unscharf gesehen werden und sich nach der Polarisationsrichtung des Lichtes orientiert werden. Anhand der Entwicklung der Augen im Tierreich kann eine Vielzahl von optischen Mechanismen dargestellt werden. Es kann verfolgt werden, wie das Innere, Vitale immer mehr dem Äußeren entgegengeschoben wird.

Schöpferkraft: Astralleib und Auge

Das Auge hat eine ganz besondere Stellung in der Organisation des Menschen. R. Steiner erwähnt, daß der Ätherleib im Muskel anders eingeschaltet ist als im Auge. Er ist im Auge verhältnismäßig selbständig. Dadurch kann der Astralleib mit dem Ätherleibteil eine innige Verbindung im Auge eingehen. Somit ist unser astralischer Leib innerhalb des Auges ganz anders selbständig als innerhalb unserer anderen physischen Organisation. (GA 320, S.59)

“Unser Astralleib ist im physischen Leibe drinnen. Wir müssen fragen, wie er drinnen ist. Denn er ist anders drin im Auge und anders im Muskel. Im Auge ist er relativ selbständig, trotzdem er drinnen ist wie im Muskel. Daraus sehen sie, daß Ingredienzien einander durchdringen können und dennoch selbständig sein können. So können

sie Helligkeit und Dunkelheit zum Grau vereinigen, dann sind sie einander so durchdringend wie Astralleib und Muskel. Oder aber sie können sich so durchdringen, daß sie selbständig bleiben, dann durchdringen sie sich so wie unser Astralleib und die physische Organisation im Auge. Das eine Mal entsteht Grau, das andere Mal entsteht Farbe.” (S.60)

Diese sprühende Kraft der Augen begegnet uns in einigen Stellen der “Offenbarung des Johannes” wieder. So wird die Gestalt des Menschensohnes mit Augen” als wären es Feuerflammen (Off. d. Joh. 1,13,ff) beschrieben. In Off. d. Joh. 4,7 schaut Johannes die vier Lebewesen im Umkreis des Thrones voller Augen vorn und hinten. Ein jedes der Lebewesen hat sechs Flügel. Rundherum und auch im Inneren waren sie voller Augen. Johannes schaute weiter das Lamm. Es steht inmitten des Thrones und der vier Tiere und in der Mitte der Ältesten. Es hatte sieben Hörner und sieben Augen. Diese waren die sieben göttlichen Schöpfergeister, denen das ganze Erdreich als Wirkensstätte zugeteilt ist.

Am Ende der Offenbarung erscheint der Weiße Reiter mit Augen als wären es Feuerflammen (Off. d. Joh. 19,11 ff).

Feuer und Schöpferkraft sprüht aus den Augen. Selbst im Menschen wirkt der Astralleib im Auge anders als in der übrigen physischen Organisation.

Die schaffende Seite des Auges: Auge – Ohr – Kehlkopf

Im Lichtkurs weist R. Steiner daraufhin, daß Auge, Ohr und Kehlkopf nicht separat betrachtet werden können. Man würde so zu den falschen Schlußfolgerungen kommen. Das Herauslösen des Ohres auf der einen Seite und des Kehlkopfes auf der anderen Seite ist nur eine Abstrahierung. Man kommt nie auf eine Ganzheit, wenn man die Dinge, die zusammengehören, voneinander trennt. Er sieht den Zusammenhang wie folgt:

“Und ich habe also in dem menschlichen Organismus auf der einen Stufe das Auge, das da innerlich ein metamorphosiertes Ohr ist, äußerlich umschlossen wird von einem metamorphosierten Kehlkopf. Nehmen wir andererseits auf ein Ganzes Kehlkopf und Ohr zusammen, dann haben wir auf einer anderen Stufe ein metamorphosiertes Auge. (GA 320, S.142)”

Demnach kann mit dem Ohr nur das verglichen werden, was hinter der Linse im Auge liegt, was mehr vitalistisch im Inneren ist. Dagegen kann das, was sich vorschiebt und mehr muskelmäßig ist, mit dem menschlichen Kehlkopf verglichen werden. Auf das innerliche Dynamische, Reale, Wirkliche muß bei der Metamorphosenlehre eingegangen werden. So wie die Kehlkopfmuskeln die Stimmbänder ergreifen und sie weiter und enger stellen, so ergreifen die Ziliarmuskeln die Linse und verändern sie.

Wenn lediglich das Auge als Sinnesorgan und das Ohr als Sinnesorgan betrachtet werden, so wird das, was aus dieser Beziehung folgt, ganz falsch. R. Steiner schreibt dazu:

“Wenn ich sehe, so ist das etwas ganz anderes, als wenn ich höre.

Wenn ich sehe, so geschieht im Auge dasselbe, wie wenn ich höre und zu gleicher Zeit spreche. Auf einem höheren Gebiete begleitet eine Tätigkeit, die ich nur mit dem Sprechen vergleichen kann, die eigentlich rezeptive, die aufnehmende Tätigkeit beim Auge....

Denn wenn man gewahr wird, daß hier im Auge zweierlei vereinigt ist, was sonst beim Hören, beim Schall, auf scheinbar ganz verschiedene Körperorgane verlegt ist, dann wird man sich klar darüber, daß beim Sehen, beim Auge, so etwas vorhanden ist wie eine Art Verständigung mit sich selbst. Das Auge verfährt immer so, wie wenn Sie zuhören, aber es erst, um es zu verstehen, nachsprechen....

Wir reden da ätherisch mit uns selbst, indem wir sehen (S.143)“

Hierin kommt eine aktive, schaffende Seite des Auges zum Ausdruck, die beim bloßen Vergleich des Auges mit dem Ohr verloren ginge. Erst durch die Betrachtung der Ganzheit rückt diese Seite ins Bewußtsein.

Wahrnehmen: Innen – Außen

Ein weitere Aspekt, um die Realität in ihrer Ganzheit zu erfassen, ist die Betrachtung von Innen und Außen in bezug auf das Auge. R. Steiner geht ausführlich auf diesen Aspekt ein:

“An der Stelle, wo der Mensch seine Augenflüssigkeit hat, zwischen der Linse und der äußeren Hornhaut, ist der Mensch seiner Leiblichkeit nach ganz so, gewissermaßen, wie ein Stück Außenwelt. Es ist fast so, daß diese Flüssigkeit, die da ist in der äußeren Peripherie des Auges, kaum sich unterscheidet von einer Flüssigkeit, die ich mir hier auf die Hand schütten kann. Und das, was hier die Linse ist, das ist auch noch etwas sehr, sehr Objektives, sehr, sehr Unlebendiges. Gehe ich dagegen auf den Glaskörper über, der das Innere des Auges ausfüllt und an die Netzhaut grenzt, so kann ich diesen Glaskörper keineswegs so betrachten, daß ich sage: Das ist auch etwas, was fast wie eine äußere Flüssigkeit oder ein äußerer Körper ist. Da drinnen ist schon Vitalität, da drinnen ist Leben, so daß, je weiter wir zurückgehen im Auge, desto mehr dringen wir heran an das Leben. Hier haben wir eine Flüssigkeit, die fast ganz objektiv äußerlich ist, die Linse ist auch noch äußerlich; aber beim Glaskörper stehen wir schon innerhalb eines Gebildes, das in sich Vitalität hat. Dieser Unterschied zwischen alldem, was da draußen ist, und dem, was da drinnen ist, der zeigt sich auch noch in etwas anderem. Auch das könnte man schon heute naturwissenschaftlich studieren. Wenn man nämlich die Bildung des Auges komparativ von der niederen Tierreihe aus verfolgt, so findet man, daß dasjenige, was äußerer Flüssigkeitskörper ist und Linse, daß das nicht von innen heraus wächst, sondern daß sich das ansetzt, indem sich die umliegenden Zellen ansetzen. Also, ich müßte mir die Bildung

der Linse so vorstellen, daß das Linsengewebe und daß auch die vordere Augenflüssigkeit entsteht aus den benachbarten Organen und nicht von innen heraus, während beim Inneren das so ist, daß der Glaskörper entgegenwächst. Sehen sie, da haben wir das Merkwürdige: Hier wirkt die Natur des äußeren Lichtes und bewirkt jene Umwandlung, die Flüssigkeit und Linse hervorbringt. Auf das reagiert das Wesen von innen und schiebt ihm ein Lebendigeres, ein Vitaleres entgegen, den Glaskörper. Gerade im Auge treffen sich die Bildungen, die von außen angeregt werden, und diejenigen, die von innen aus angeregt werden, in einer ganz merkwürdigen Weise (S.74 f).”

In den beiden folgenden Abschnitten wird auf den Aspekt des Innen und Außen näher eingegangen. Es wird beim Menschen die Vitalität der inneren Augenteile den äußeren, mehr unlebendigeren gegenübergestellt. Im zweiten Abschnitt wird die vorgeschlagene Tierreihe analysiert und gezeigt, wie sich hier die Linse von außen heraus aus den benachbarten Organen bildet und ihr von innen her der Glaskörper entgegengebildet wird.

Das menschliche Auge

Das Auge ist in der Augenhöhle verborgen. Es ist uns lediglich durch die Hornhaut, Iris und Pupille sichtbar. In “Der dreigliedrige Mensch” weist L. Vogel auf die Wesensnatur des Auges als Lichtorgan hin. Ihm folgend stellt sie sich in dreifacher Weise dar. Die lichtabweisende bläulich-weiße Hornhaut in der Peripherie, die lichtempfangende tief-schwarze Pupille im Zentrum und die farbige Irisscheibe bilden als Organ ein Gegenbild, was das Licht im Reich der irdischen Finsternis erleidet.

Die Augenentwicklung ist ein Wirken von innen und außen. Die Nervensphäre und die Sphäre des Lichtes begegnen einander. Die Nervensubstanz bildet vom Gehirn aus zuerst die Augenblase. An ihrem vorderen Pol, mit dem sie dem Licht begegnet, stülpt sie sich ein und bildet den Augenbecher. Aus der äußeren Haut, unter der sich dieser Organkeim entwickelt, gehen stufenweise drei gesonderte Teile hervor:

- Hornhaut
- Linse
- Glaskörper

L. Vogel führt aus, daß Hornhaut, Linse und Glaskörper den optischen Pol bilden, da sie eine vollkommene Durchsichtigkeit erlangen. Sie bilden als Lichtätherorganisation des Auges den kosmischen Pol; der Nervenbecher, der als Netzhaut den Augenhintergrund auskleidet, den physischen. Das Blut ist die organische Mitte in der polaren Augensphäre. Im Augenhintergrund hüllt das Blut die Netzhaut durch die Bildung einer mächtigen Aderhaut ein. Am vorderen Augenpol bildet das Blutsystem die Iris (Regenbogenhaut).

Die Iris bildet im Zentrum die Pupille als sich erweiterndes oder verengendes Tor des Lichtes ins Augenninnere, sozusagen die Blende des optischen Systems. Von der Rückseite her ist die Iris durch die Einlagerung dunkler Pigmente tief schwarz. Von der Vorderseite her, in die das Licht in feinste Gefäßnetze eindringt, erscheinen mannigfaltige individuelle Farben. Sie reichen von blau bis tief dunkelbraun. Sie gestalten sich selbst vom Seelischen her wechselvoll. Blau erscheint als durchlichtete Sphäre der Finsternis. Die Irisfarben gehören zu den schönsten Beispielen der Farbentstehung nach der Goethischen Farbenlehre (L.Vogel).

Die Augendiagnose macht sich die Besonderheit des Auges – das Zusammentreffen von innen und außen – zunutze. Da man an der Iris wie an keiner Stelle des ganzen Leibes Blutkapillaren unmittelbar in wechselnden Zustandsformen beobachten kann, ist es möglich, von hier aus solche Leibesprozesse zu beobachten, die sich unmittelbar auf den kapillaren Blutstrom auswirken (z.B. Sklerose).

Als Ergänzung der Akkommodationsvorgänge kann die Irismuskulatur die Pupille verengen oder erweitern. Jedoch bewirken nicht nur Lichtverhältnisse Veränderungen, sondern auch rein seelische Vorgänge können die Ursache sein. Innen und Außen gehen Hand in Hand. Das eine kann ohne das andere nicht betrachtet werden.

Augen im Tierreich

Die Augen im Tierreich weisen in ihrem Aufbau und in ihrer Funktion eine große Vielfalt auf. Die Spannweite reicht von bloßen optischen Zellen bis zum kompletten Auge, vom Bewegungswahrnehmen über Hell-Dunkelwahrnehmung bis zur detaillierten Farbwahrnehmung. Die herausgebildeten optischen Mechanismen zur Wahrnehmung zeigen ebenfalls eine große Vielfalt. Im Weiteren wird dem Hinweis R. Steiners nachgegangen, die Entwicklung im Tierreich in Bezug auf das Verhältnis von innen und außen zu betrachten. Es wird sich zeigen, daß dem Äußeren immer mehr ein Inneres entgegengeschoben wird. Die Entwicklung der Netzhaut von einer ebenen Fläche über das Grubenaugel zum Becherauge und letztendlich zum Blasenauge (Lochkammerauge) verdeutlicht es.

Es werden nun die einzelnen Prozesse beim Sehen in ihrer Vielfalt dargestellt. Dazu seien die Ausführungen aus G. Vogel et al. und V. Storch et al. kurz dargestellt.

Der Lichtsinn:

Der Lichtsinn kann auf einem allgemeinen Reaktionsvermögen der Hautzellen beruhen (dermatoptischer Sinn, z.B. bei *Hohltieren*, *Muscheln*, *Insektenlarven*), in höherer Form auf Photorezeptoren. Die Rezeptoren sind meist zu Lichtsinnesorganen vereinigt (Augen). Dabei verhindern Pigmentzellen den allseitigen Lichteinfall und lichtbrechende Systeme konzentrieren die aus bestimmten Richtungen kommenden Strahlen. Nicht alles liegt im Bereich der menschlichen Wahrnehmung. So nehmen *Bienen* z. B. Ultraviolett wahr und *Grubenottern* Infrarot. *Insekten* können sich nach der Polarisation des Lichtes richten.

Das Helligkeitssehen:

Die Unterscheidung verschiedener Lichtintensitäten leisten schon einzelne Sinneszellen. Sie sind z.B. beim *Regenwurm* über den ganzen Körper verteilt. Eine typische Vakuole enthält eine lichtzersetzliche Substanz, die die Reizaufnahme vermittelt. Eine grobe Wahrnehmung der Lichtrichtung ist durch Zusammenwirken solcher Rezeptoren möglich, wenn sie z.T. vom Körper beschattet werden. Derartige Rezeptoren ermöglichen dem Tier im allgemeinen nur ungerichtete Reaktionen, wie z.B. Belichtungs- und Beschattungsreflex.

Das Richtungssehen:

Das Richtungssehen wird schon durch eine Sinneszelle möglich, die in einer becherförmigen Pigmentzelle liegt. So finden wir *einfache Pigmentbecherocellen* z. B. bei *Turbellarien*, beim *Lanzettfischchen*. Eine Zelle ermittelt stets nur eine Lichtrichtung. Eine Steigerung der Leistung erbringt das Zusammenwirken vieler Zellen.

Bei *zusammengesetzten Pigmentbecherocellen*, bei denen nur die Endabschnitte der Sinneszellen Reize aufnehmen, unterscheidet schon ein Organ verschiedene Lichtrichtungen. Das durch die Becheröffnung einfallendes Licht kann verschiedene Zellen reizen. *Grubenaugen (Becheraugen)*, bei denen die Sinneszellen in Epitheleinsenkungen liegen, leisten das gleiche. Schon hier kommen linsenartig wirkende Sekretschichten vor.

Das Bewegungssehen:

Das Bewegungssehen wird bei vorhandenen nervösen Voraussetzungen von allen Augen geleistet, die Richtungssehen ermöglichen. Das von einem Objekt ausgehende Licht muß nacheinander verschiedene Rezeptoren reizen. Voraussetzung ist dabei wiederum eine gewisse Geschwindigkeit der Bildverschiebung. Bei engerer Öffnung des Auges sind die Voraussetzungen für Bewegungs- und Richtungssehen günstiger. Der Nachteil besteht darin, daß das Auge dann lichtschwacher ist.

Das Bildsehen:

Das Bildsehen ermöglichen zwei ganz verschiedene Augentypen: Das *Komplexauge (Facettenauge)* besteht aus zahlreichen Einzelaugen, den Ommatidien. Es kommt bei *Insekten, Krebsen* und *einigen Muscheln* vor. Der dioptrische Apparat jedes Ommatidiums besteht aus einer cuticularen Linse (Cornea) und einem vierzelligen Kristallkegel. Durch Pigmentzellen sind die Ommatidien mehr oder weniger optisch isoliert. Es werden danach zwei Typen von Komplexaugen unterschieden.

- Das *Appositionsauge* weist optisch völlig isolierte Ommatidien auf. Der Vorteil besteht darin, daß ein hohes Auflösungsvermögen erreicht wird. Die Ursache

liegt darin, daß jedes Ommatidium einen Lichtpunkt abbildet, der auf der optischen Achse liegt. Sein Nachteil ist in der geringen Lichtstärke zu sehen, die auf der kleinen Lochblende im Pigmentmantel basiert.

- Das *Superpositonsauge* hat unvollständig isolierte Ommatidien. Sein Vorteil ist sein lichtstärkeres Bild. Es herrscht dadurch bei Nachttieren vor. Sein Nachteil ist die geringe Bildschärfe. Durch Pigmentwanderung wird tagsüber das Superpositonsauge dem Appositionsauge ähnlich.

Das *Kameraauge* ist phylogenetisch aus dem Grubenaug her zu leiten, das am Vorderpol nur ein enges Sehloch hat. Die Blasen- oder Lochkameraaugen entwerfen auch ohne dioptrisches System umgekehrte Bilder auf der Innenseite der Augenblase, in der die Sehzellen (Netzhaut, Retina) liegen.

Die *Linsenaugen* bilden die höchstentwickelte Form dieses Augentyps. Sie wurden in mehreren Tiergruppen konvergent entwickelt (*Wirbeltier, Kopffüßer, Gliederwürmer*).

Die Pigmente liegen bei den *Wirbeltieren* in einem besonderen Epithel, bei den *Kopffüßern* dagegen in den Sehzellen. Die *Wirbeltiere* weisen eine mehrschichtige Retina auf. Bei den *Kopffüßern* ist sie einschichtig. Bei den *Wirbeltieren* sind die Sinneszellen von den reizaufnehmenden Fortsätzen vom Lichteinfall weg (inverse Lage), bei den *Kopffüßern* sind sie dagegen dem Licht zugewandt (everse Lage).

Der lichtbrechende (dioptrische) Apparat:

Durch diesen Apparat kann ein Nachteil der Blasenaugen beseitigt werden, was ein Bild entwirft, das bei engem Sehloch scharf aber lichtschwach ist, bei weitem Sehloch lichtstark, aber unscharf. Der dioptrische Apparat des Linsenauges ist in der Lage, die durch ein weites Sehloch (Pupille) einfallenden Strahlen gerade so zu bündeln, daß sie auf der Retina ein scharfes Bild liefern. Der Brechungsindex der verschiedenen Medien beeinflußt dabei den Strahlengang. Er hängt von der Stärke der lichtbrechenden Flächen, von der Entfernung zueinander und von der Zentrierung des optischen Systems ab.

Das Farbsehen:

Das Farbsehen kommt bei *Arthropoden (Gliedertiere)*, *Mollusken (Weichtiere)* und *Wirbeltieren* vor, jedoch in keiner Gruppe durchgehend. Unter den Säugetieren werden Ratten, Kaninchen und Halbaffen u.a. als farbenblind angesehen, besonders farbtüchtig sind die Affen und der Mensch.

Die Rezeptorzellen:

Die Rezeptorzellen stellen primäre Sinneszellen dar, deren Saum besonders differenziert ist. Es wird in zwei Typen unterschieden:

- Rhabdomer Typ und
- Cilien-Typ.

Zum Rhabdomertyp zählen die flache Retina (Netzhaut) der Medusa, das Grubenaugen der Napfschnecke und das Blasenauge des Prosobranchiers. Die Retina entwickelt sich also von einer flachen Form über eine leicht eingedellte Fläche hin zur einer fast geschlossenen Form, dem Blasenauge. Der Strahlengang entwickelt sich demzufolge vom einfachen einfallenden Strahl zum Lochkammer- Strahlengang mit der Bildumkehr. Beim Cilien-Typ liegt im Bereich der Plasmaeinfaltungen das Sehpigment membrangebunden vor. Die Sehzellen der *Wirbeltiere* (Stäbchen und Zäpfchen) sind langgestreckte Zellen, die auch dem Cilien-Typ zugehören.

Farbrezeptoren:

Die Farbrezeptoren sprechen auf einen engeren Ausschnitt des sichtbaren Spektrums an. In der Retina farbsehender Tiere gibt es zwei bis vier verschiedene Farbrezeptoren mit unterschiedlichen Absorptionsmaxima. Bei *Wirbeltieren* existieren drei verschiedene Zapfentypen. Dieser experimentelle Befund entspricht der Dreikomponententheorie von Young und Helmholtz, die auf der psychologischen Feststellung basiert, daß aus den drei Grundfarben (Rot, Grün, Violett) fast alle anderen Farben mischbar sind.

Gegenfarbenprinzip:

Neben der Farbanalyse nach trichromatischem Prinzip in den Photorezeptorzellen wurde in Ganglienzellen der Retina oder im Zentralnervensystem noch das Gegenfarbenprinzip nachgewiesen (Goethe, Hering). Durch Gegenfarben (Rot-Grün, Blau-Gelb) gereizte Rezeptorzellen rufen bei dazugehörigen Ganglienzellen gegenteilige Potentialveränderungen hervor. Das kurzwellige Licht bewirkt Hyperpolarisation, das langwellige Depolarisation, ein dazwischenliegender Bereich (Indifferenzpunkt) verändert das Ruhepotential nicht.

Die Retina:

Die Photorezeptoren stehen meist in Verbänden zusammen, die man Retina nennt.

- Ursprünglich ist eine flache Retina.
- Durch Einwölbung des Sinneszellverbandes entstehen becherförmige, und
- dann blasenförmige Retinae (Grubenaugen, Blasenauge, Lochkammerauge)

Kleine Augen:

Kleine Augen unterschiedlicher Strukturen werden oft als *Ozellen* bezeichnet, so auch die Medianaugen der *Arthropoden*, die bei *Krebsen* oft auf Lavalstadien beschränkt sind (Naupliusaugen), aber auch die einzigen Augen der *Adulten* sein können (*Copepoden*). U. a. beeinflussen sie als Stimulationsorgan die motorische Aktivität.

Retina der Wirbeltierseitenaugen:

Die Seitenaugen sind die paarigen Augen der Wirbeltiere, die auf paarige Ausstülpungen des Zwischenhirns zurückgehen. Die Retina der Seitenaugen ist invers und enthält neben zwei strukturell unterscheidbaren Rezeptortypen (Zäpfchen und Stäbchen) Neurone und Gliazellen. Die Rezeptoren sind in den Augen einzelner Wirbeltiere verschieden verteilt:

- Nachttiere (*Eulen, Fledermäuse*) –fast nur Stäbchen
- Tagtiere - außerdem zahlreiche Zapfen
- Tagvögel, *Schlangen, Schildkröten* – fast nur Zapfen

Zapfen gewährleisten Farbsehen bei hoher Sehschärfe und Stäbchen Dämmerungssehen bei geringer Sehschärfe.

Die Retinomotorik:

Die unterschiedliche Funktion von Stäbchen und Zapfen läßt sich besonders deutlich an der Retina vieler niederer Wirbeltiere zeigen. Bei ihnen ändern die Rezeptoren je nach Belichtung ihre Stellung (Retinomotorik). Bei größerem Lichteinfall sind die Rezeptorpole der Stäbchen zwischen Mikrovilli des Pigmentepithels getaucht, die Zapfen hingegen kontrahiert und dem einfallenden Licht ausgesetzt. Bei geringerem Lichteinfall kontrahieren sich die Stäbchen, und die Zapfen treten zwischen die Mikrovilli der Pigmentzellen. Farbstoffgranula der Pigmentzellen führen Wanderungen durch. Bei hoher Lichtintensität werden sie in die Mikrovilli verschoben, bei geringer ziehen sie sich zurück. Retinomotorische Vorgänge sind bei *Säugetieren* und vielen *Vögeln* nur verhältnismäßig gering ausgeprägt.

Augen von *Nachttieren* sind sehr lichtempfindlich, aber die Retina löst schlecht auf. Das Licht passiert bei ihnen die Rezeptorzelle zweimal, wenn reflektierendes Gewebe (Tapetum lucidum) da. Z.B. haben Katzen eine besondere Reflektorschicht. Fällt ein Lichtstrahl hinein, so wird er reflektiert. Dadurch wird im Dunkeln die Lichtmenge verstärkt und die Katzen können sehen.

Polarisation des Lichtes:

Die besondere Leistung der *Facettenaugen* besteht in der Wahrnehmung der *Schwingungsebene polarisiererten Lichtes*. Die Sehfärbstoffmoleküle absorbieren bevorzugt

Licht einer bestimmten Schwingungsrichtung (Dichroismus). Es sind jeweils bestimmte Sehzellen, die auf eine bestimmte Schwingungsrichtung bevorzugt reagieren. Da die Polarisation des Himmelslichtes vom jeweiligen Sonnenstand abhängig ist, können sich z.B. *Insekten* nach dem Sonnenstand richten, auch wenn die Sonne hinter Wolken verborgen ist, der freie Himmel muß nur irgendwie sichtbar bleiben.

Linsen:

Linsen können aus ganzen Zellen aufgebaut sein, z.B. bei einigen *Muscheln*, *Polychaeten*, *Arthropoden* und *Wirbeltieren*. Ein zweiter Linsentyp wird von Fortsätzen der Pigmentzellen (manche *Polychaeten*) aufgebaut oder von Fortsätzen der Epidermiszellen (Carnealzellen, *Cephalopoden*). Eine dritte Möglichkeit ist der Aufbau der Linsen durch extrazelluläre Sekrete (*Schnecken*, *Onychophoren*, *Arthropoden mit pseudochromen Augen*). Die Linsen der Nachttiere sind oft kugelig. Dadurch werden auch die mehr seitlich einfallenden Strahlen noch in das Auge geleitet. Meist sind Linsen unbeweglich und liegen den Sinneszellen direkt auf.

Die Augen vieler *Cephalopoden*, der *Heteropoden (Prosobranchia)*, *Alciopiden (Polychaeta)* und *Wirbeltiere* besitzen einen dioptrischen Apparat, der veränderlich ist, so daß aus Ferne und Nähe gleichermaßen ein scharfes Bild auf der Retina projiziert werden kann (Akkommodation).

Die *Wirbellosen*, *Anamnia* sowie *Schlangen* akkommodieren, indem sie den Linsen-Retina-Abstand verändern.

Bei *Cephalopoden* und *Heteropoden* wirken Muskeln in der Weise, daß die Linse von der Retina entfernt wird. Das normalerweise auf die Nähe akkommodierte Auge wird durch Retraktion der Linse auf die Ferne eingestellt.

Bei *landlebenden Amphibien* wird das normalerweise auf die Ferne eingestellte Auge durch einen Protraktor nahakkommodiert.

Bei *Amnioten* wird die Gestalt der Linse geändert.

Die Linse der Säugetiere ist durch die radiären Zonulafasern mit dem Ciliarkörper verbunden. Ihre Kontraktion hat ein Erschlaffen der Zonulafasern zur Folge. Aufgrund ihrer Elastizität nimmt daraufhin die Linse eine mehr kugelige Gestalt an. Die Brechkraft wird erhöht (Nahakkommodation). Bei der Fernakkommodation ziehen elastische Anteile der Aderhaut den Ciliarmuskel wieder in seine Ausgangslage zurück. Die Zonulafasern werden gespannt, die Linse abgeflacht, Überflüssig wird die Akkommodation bei einigen relativ schlecht sehenden Säugern: Z.B. *Fledermäuse*, die eine gefaltete Retina besitzen, so daß immer einige Rezeptorzellen im Focus sind.

Zusammenschau

Eine große Spannweite der Sehprozesse, des Baus der Augen liegt vor uns und damit ein breites Spektrum an optischen Mechanismen. Es erweist sich als sinnvoll, im Unterricht das Auge in der Zusammenschau des Biologie- und Physikunterrichtes darzustellen. Vom einfachen Tier bis hin zum Menschen unterliegt der optische Strah-

lenverlauf einer Wandlung. In der Unterrichtspraxis hat sich bewährt, Fragen nachzugehen: Wie sieht meine Schlange? Was sieht eigentlich meine Katze? Welche Farben nimmt meine Schildkröte wahr? Es weckt ein Staunen vor der unendlichen Vielfalt der Schöpfung. Die aktive Kraft des Auges zum näheren Schauen wird angeregt.

Literatur

- [1] Rudolf Steiner: Erster naturwissenschaftlicher Kurs, GA 320, Rudolf Steiner Verlag, Dornach/Schweiz, 1987
- [2] V. Storch, U. Welsch: Kurzes Lehrbuch der Zoologie, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, Jena, New York, 1994
- [3] G. Vogel, H. Angemann: Taschenbuch der Biologie, Gustav Fischer Verlag, Jena, 1971
- [4] L. Vogel: Der dreigliedrige Mensch, Philosophisch-Anthroposophischer Verlag Goetheanum, Dornach/Schweiz, 1979

Prismatische Farben als Ausblick auf eine umfassendere “Optik der Bilder”

Florian Theilmann

Schon im letzten Physikerrundbrief habe ich versucht, die Frage aufzuwerfen, ob wir die grundsätzlichen methodischen Anregungen Steiners in Licht- und Wärmekurs nicht viel zu wenig ernstnehmen [1]. Zum Beispiel ist es wahrscheinlich so, dass unter der Fahne “Goetheanismus” vielerlei zur Erklärung der prismatischen Farben vorgebracht wird – natürlich unter anderen Vorzeichen als etwa in der Strahlenoptik –, das Vorgebrachte aber dabei noch nicht dem genügt, was im Wärmekurs unter dem Etikett “Anschauungsbegriffe” so dringlich für die Naturbetrachtung gefordert wird. Georg Maier hat dabei schon vor über 30 Jahren die Nagelprobe darauf, ob wir in der Optik nach der Methode Goethes arbeiten oder nicht, prägnant aus Steiners Einleitungen zu Goethes Naturwissenschaftlichen Schriften [2] zusammengefasst: *schaffen wir es, Optik ohne in den Raum verlegte Vorgänge zu behandeln oder nicht* [3]?¹ Vor dem Hintergrund dieser Problematik habe ich mit Georg Maiers Unterstützung das Thema “Prismatische Farben” noch einmal angeschaut und dabei eine überraschende Entdeckung gemacht: die Sache ordnet sich nicht nur systematisch ins Umfeld (im besten Sinne) goetheanistisch gut verstandener Themen wie “Beugung” und “optisch dichte Medien” ein [6–8], sondern es ist auch der ordnende Gesichtspunkt hochinteressant. Er eröffnet die Perspektive darauf, was alles noch getan werden könnte, und wie...²

Verschiedene Ansichten desselben Gegenstandes

Der Ausdruck “Modellfreie Optik” verweist uns vielleicht gar nicht auf die erste und grösste Hürde beim Versuch, Naturwissenschaft im Sinne Goethes zu treiben, nämlich die mangelnde Unterscheidung von mathematisch-geometrischer (oder auch kinematischer) Methode einerseits und erfahrungsordnender Gedankenart andererseits. Eine *hypothesenfreie Erkenntnis der Natur* bleibt im Grunde genommen solange ein künstliches Projekt, wie das Bewusstsein für die *Problematik einer als Mathematik betriebenen Physik* fehlt: es werden in Mathematik bzw. in einer als Erfahrungswissenschaft verstandenen Physik jeweils grundsätzlich andere Erkenntnisanliegen verfolgt [4, 5]. Einigermassen nachvollziehbar ist diese Problematik allerdings auf dem Gebiet der Optik, weil hier ein umfangreicher hypotheseffreier Gegenentwurf zur konventionellen Methode vorliegt. Versuchen wir einmal zu sagen, worin Optik-Treiben besteht:

¹Das zur Verteidigung Goethes beim Erklären der prismatischen Farben typischerweise zugezogene Übereinanderschieben von hellen bzw. dunklen Bildern oder Bildteilen (um das “Urphänomen der Farbentstehung” zur Anwendung bringen zu können) fällt bei dieser Probe natürlich genauso durch wie etwa irgendwelche Ablenkung von Lichtstrahlen oder Superpositionen elektromagnetischer Wellen.

²Wen die Ausarbeitung des Bezuges zu Beugung und dichten Medien genauer interessiert, der möge gerne unser Manuskript dazu anfordern, das im Moment auf seine Publikation in MNU wartet. Für hier sollen die systematischen Fragen und die Ideen, auf die uns das alles gebracht hat, im Vordergrund stehen.

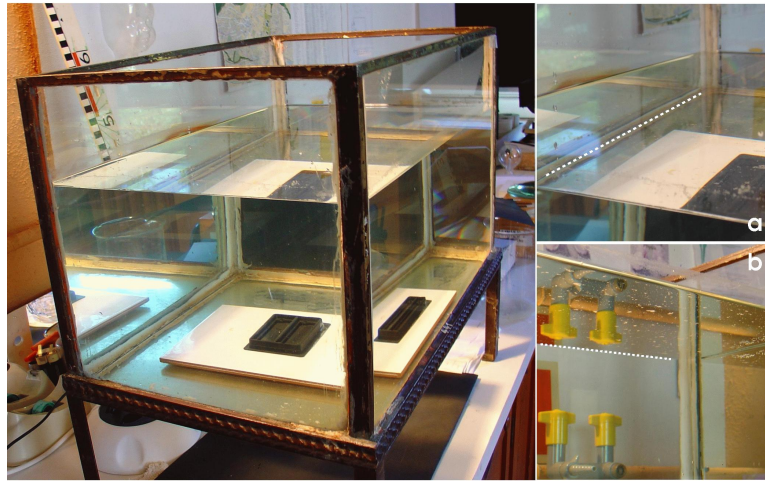


Abbildung 1: Das optisch dichte Medium modifiziert die Ansicht ohne optische Mittel in charakteristischer Weise. Insbesondere erscheinen die Tastgegenstände im Verhältnis zur unmodifizierten Einsicht nach festen Regeln näher an der Seitenfläche des Mediums zu sein, durch die Einsicht genommen wird (“Hebung”, vgl. die verzerrte Perspektive der linken Trogunterkante in Detail a), was zur Situation führt, dass dasselbe Arrangement auf dem Grund des Troges u. U. mehrfach zu sehen ist. Nett ist auch das Detail b: warum ist die Kante (gestrichelte Linie) der spiegelnden Wasser-Luft-Grenze nicht in der Mitte von Ur- und Spiegelbild?

Eine geometrisch-kinematisch aufgefasste Optik muss die Verhältnisse zwischen den äusserlich vorhandenen Gegenständen (“Tastdingen”) und den mit und ohne Mitteln zustandegebrachten Abbildungen und Beleuchtungsverhältnissen regeln, was z.B. mit Hilfe von Lichtstrahlen (diese sind geometrischer Natur, es entsteht eine “geometrische Optik”) oder vorgestellten Transportvorgängen (wie in der “Wellenoptik” oder im Photonenbild) geleistet wird. So oder so wird die Optik “von der Seite her” beschrieben, als räumlich-bewegungshaftes Geschehen zwischen tastbaren Gegenständen, und die *Ansicht*, das, was zu sehen ist, ist gar nicht konstituierend für diese Art Seh- oder Lichtkunde. George Berkeley zeigt dieses Missverhältnis und weist andere Wege, und Georg Maier hat diesen Schatz für uns gehoben und sehr vergrößert: Optik funktioniert auch als eine *Optik der Bilder*, und das sogar in vielerlei Hinsicht spannender, ja sogar *besser* als der konventionelle Ansatz, sofern man an eine Art Vorschule für moderne Physik denkt.

Und doch ist es so, dass wir erst langsam realisieren, wie mit einer Optik der Bilder umfassend gearbeitet werden könnte. Um den Blick dafür freier zu bekommen, wenden wir uns zwei klassischen Beispielen optischer Situationen zu: Am wassergefüllten Trog (Abb. 1) lassen sich die wesentlichen Elemente der Sichtverhältnisse natürlich relativ leicht und korrekt über das Brechungsgesetz bestimmen – für eine geometrisch-kinematische Optik ist die Welt dort ein wenig komplizierter geworden, aber noch ganz in Ordnung. Hat man sich dagegen zu Bewusstsein gebracht, wie *grundsätzlich*

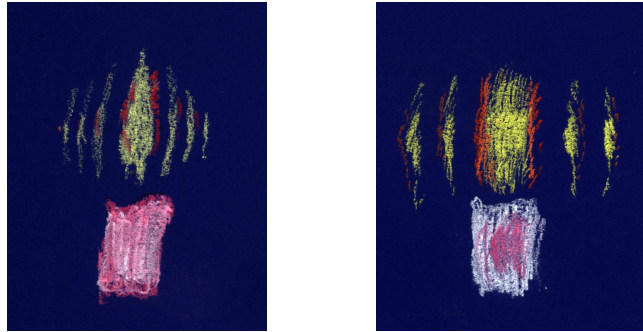


Abbildung 2: Kreidezeichnungen der Kerzenflamme, wie sie durch einen breiteren (links) und einen schmalen Spalt gesehen wird. Es wird nicht nur die direkte Ansicht verändert, es zeigen sich auch Sätze farbiger Nebenbilder in charakteristischer Ordnung und unter strengen geometrischen Bedingungen.

wir auf die Kohärenz von Tast- und Seherfahrung bauen, die uns im Alltag orientiert, führt das Sich-Einlassen auf die Seherfahrungen am Becken zu tief irritierenden Erlebnissen: die Ansicht mit optisch dichten Mittel zeigt nicht mehr einfach eine äusserlich-geometrisch “verortbare” Welt, sondern entfaltet Eigenständigkeit. Die Verzerrung der Ansicht gegenüber der ungestörten Perspektive ist dabei nicht eine “simple” globale Koordinatentransformation, sondern gehört zu den *lokalen* Bedingungen der Sicht: der ferne Beckenboden ist immer stärker gehoben als der nahe usw. Natürlich lässt sich auch hier vielerlei schöne Mathematik – vom Hebungsmass bis zum Fermatschen Prinzip – anschliessen, doch ist die wesentliche Lektion für unseren Kontext zunächst einfach dies: *optisch dichte Mittel emanzipieren die Ansicht von den gegebenen räumlich-geometrischen Verhältnissen.*

Auch im Umfeld der Beugung lassen sich in dieser Hinsicht eigentlich verwandte Beobachtungen machen: die Kerzenflamme, gesehen durch den Spalt (Abb. 2), erscheint nicht nur in der direkten Ansicht verfremdet, es entstehen auch die typischen, kaum zu erschöpfenden Sätze periodischer und farbiger Nebenbilder. Wieder lassen sich strenge geometrische Bedingungen formulieren, nach denen sich die Gesamtansicht strukturiert, doch ist die Situation gegenüber dem ungestörten Sehen noch stärker entfremdet als bei den Ansichten am Trog. Hier sind es nicht verschiedene geometrische Varianten (in Form verschiedener Seitenflächen usw.), die die verschiedenen Ansichten gewähren, sondern *ein Mittel* vervielfältigt den Sehgegenstand – und zwar in charakteristische Weise: *die Ansicht des Sehgegenstandes zerfällt unter Sicht durch einschränkende Blenden o. ä. in farbige (i. A. verzerrte) Einzelansichten.*

Farbabhängige Sichtverbindungen am Trog

Vergegenwärtigen wir uns noch einmal, wie die Hebung im Trog zustandekommt: Fernere Blickziele werden (gemessen an der ungestörten Perspektive) immer stärker gehoben gesehen, weil die direkte Sicht über immer grössere Strecken im dichten Medi-

um verlaufen würde, und sich damit für minimale optische Weglänge immer grössere “Umwege” durch die Luft lohnen.³ Das heisst aber auch, dass für eine bestimmte Beobachtungsgeometrie die Hebung stärker sein wird, wenn die optische Dichte zunimmt (und umgekehrt).

Nun ist die Ansicht beim Einblick in den Trog nicht nur einfach gehoben: Schauen wir von oben auf eine grosse dunkle Form auf weissem Grund auf dem Boden des Trogs direkt unter uns. Wir sehen sie auf den ersten Blick irreführend nah und dabei durchaus deutlich. Bei guter Beleuchtung entdecken wir allerdings doch einen *umlau-fenden* rötlichgelben Saum am dunklen Umriss. Der rote Saum begrenzt die helle Umgebung nach innen, zum dunklen, *unhellen* Muster hin. Je stärker eine Ansicht gehoben wird, desto grösser erscheint sie⁴. Was wir hier als ordnenden Gedanken vorschlagen ist dies: “wir haben analog zur Beugung eine Situation, in der Helligkeit in einzelne Ansichten zerfällt und für den roten Anteil der Ansicht ist das Wasser am wenigsten optisch dicht”. Analog dazu können wir uns eine weisse Kontur auf dunklem Grund ansehen: der umlaufende bläuliche Saum wäre in diesem Sinn die am stärksten gehobene Ansicht. Verschieden konfigurierte Ansichten innerhalb derselben Konfiguration von Tastgegenständen verweisen uns, wie bei der Beugung, auf *verschieden realisierte Sichtbeziehungen*, differenziert *nach Farbe!*

Mit diesen Begriffen können wir uns dann in anderen Situationen des Einblicks orientieren: an einer nach oben (“oben” wieder vom Betrachter aus verstanden) durch schwarz begrenzten hellen Fläche können wir den bläulichen Saum als den am stärksten gehobenen Anteil ihrer Ansicht sehen. Umgekehrt lässt sich der untere Rand einer hellen Fläche gegen dunkleren Hintergrund als ihre rot-gelbe, am wenigsten gehobene Ansicht verstehen. Die Schärfe oder Unschärfe der Ansicht wäre so bedingt durch Zusammen- oder Auseinanderfallen der Einzelansichten. Der senkrechte Einblick ist am schärfsten, weil hier die Unterschiede zwischen den Einzelansichten am geringsten sind. Wir sind am Trog damit konfrontiert, dass die vermeintlich verbindliche (und verzerrte) Ansicht der Konfiguration sich in etwas auflöst, was sich als ein Miteinander versetzter, verschiedenfarbiger (und z. T. selbst unterschiedlich scharfer) Einzelansichten beschreiben lässt. Die Folge der Einzelansichten ist im Blickfeld entlang der Hebungsrichtung (am Trog also senkrecht) angeordnet. Recht analog zur Situation am Spalt differenzieren sich also die Sichtbedingungen am dichten Medium *nach Farben*; die Einzelansichten werden verschieden stark gehoben gesehen und fallen so für vertikale Strukturen zusammen, nicht aber für die horizontalen Strukturen. Das optisch dichte Medium erweist sich damit als verschieden dicht für verschiedene Farbigkeit des Bildes. Die Farbsäume werden als farbige “Überstände” einer zusammengesetzten Gesamtansicht verstanden, der Einzelschichten innerhalb des Gesichtsfeldes (nicht räumlich!) gegeneinander verschoben sind.

³Daneben wird aber der Blickwinkelunterschied für immer fernere Einblickstellen kleiner, das Bild wird zunehmend gestaucht!

⁴Überhaupt von “Hebung” zu sprechen impliziert diesen Zusammenhang letztlich schon. . .

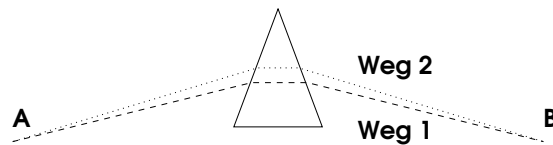


Abbildung 3: Die Sichtverbindung zwischen A und B über das Prisma kommt wieder über “Umwege” zustande: Für extremale (hier: minimale) optische Weglänge müssen längere Abstände an Luft (Weg 2) mit längeren Abständen im dichten Medium (Weg 1) abgewogen werden.

Der Blick durchs Prisma

Die sichtablenkende Wirkung eines Glasprismas kommt auf ganz ähnliche Weise zustande wie die hebende Wirkung des Wassertroges: je direkter die potentielle Sichtverbindung ist, desto grössere Teile derselben verlaufen im optisch dichten Medium (Abb. 3). Für minimale optische Weglänge stellt sich ein “Umweg” ein, in dessen Umgebung sich mögliche “Ersparnis” am dichten Medium und resultierende “Kosten” des Umwegs gerade ausgleichen (und umgekehrt). Das Sichtfeld zeigt überall kräftige Farbsäume an den Strukturelementen der Ansicht, die in Richtung der Prismenkanten orientiert sind. Gleichzeitig ist der Gesamteindruck der Ansicht irritierend unscharf und die Perspektive in Richtung Prismenbasis zunehmend gestaucht (die Richtungen hin zur Basis bzw. zur Spitze “ersetzen” unten und oben am Trog).

Anhand des am Trog gewonnenen Verständnisses lässt sich dieser Befund schnell ordnen: helle Flächen zeigen sich zur Basis hin rot-gelb, zur Prismenspitze hin cyanblau besäumt, die rote Ansicht ist also analog zur Hebung am wenigsten, die blaue am stärksten “umgeleitet” (was wiederum auf entsprechende optische Eigenschaften des Glases verweist). Die Breite der Farbsäume ist dabei oft grösser als die feiner Strukturen der Ansicht, gelber und blauer Saum sind zudem eben selbst schon unscharf, was die Deutlichkeit des Bildes beeinträchtigt. Die zunehmende Stauchung der Ansicht hin zur Basis ist analog zur Stauchung des Bildes bei flacherer Einsicht in den Trog.

Es seien hier drei kleine Beobachtungsübungen hinzugefügt, die deutlich machen mögen, wie stark die Ansicht durchs Prisma dabei nicht nur von dessen optischen Eigenschaften abhängt, sondern auch davon, wie sich die Sichtverbindung *jenseits* des Prismas darstellt – ein Umstand, den man von der Strahlenoptik her kommend vielleicht nicht in Betracht ziehen würde, schliesslich “passiert Brechung an den Grenzflächen”... (Abb. 4). Alle Erscheinungen lassen sich mehr oder weniger leicht im Kontext des hier Geschilderten verstehen; die Auflösungen sei dem Leser überlassen, der sich auch gerne an einer vergleichenden strahlenoptischen Diskussion versuchen möge. Im einzelnen:

1. Ein gut beleuchtetes Blatt bedrucktes Papier auf dem Tisch ist mit dem Prisma vor dem Auge schön bunt, aber schwerlich zu lesen. Führt man das Prisma zum Blickziel, so erhält man einen kontinuierlichen Übergang zu einer scheinbar farblosen, scharfen Durchsicht. Was passiert? Und: Ganz farblos? (Hinweis:



Abbildung 4: Der sich am Prisma farbig brechende Lichtstrahl gehört offenbar schon zu den Ikonen unserer Kultur, hier auf dem epochalen Rock-Album “The dark Side of the Moon” von Pink Floyd. Schon für einfache subjektive Versuche kann es schwierig werden, die Ansicht so zu erklären, vgl. Text. Das Bild ist dabei nicht nur schematisch, sondern in mehrerlei Hinsicht *grob* falsch.

Warum sind die Farbsäume bei ähnlichen Brechzahlen von Wasser und Glas am Taschenprisma trotzdem so viel stärker als am grossen Aquarium?)

2. Man betrachte eine möglichst gut beleuchtete Hell-Dunkel-Kante (“innerer Lampenschirmrand”) durch ein Prisma, das etwa eine gute Handbreit vor dem Auge gehalten wird. Nun betrachten wir die kräftigen Farbsäume durch ein *pinhole* in einem Stück Papier und variieren den Abstand des Papiers zwischen Auge und Prisma. Was sich zeigt ist wenig überraschend: wir sehen den Farbsaum beinträchtigt durch die Lochblende, aber “normal”. Nun nimmt man das Papier *hinter* das Prisma und variiert wieder den Abstand (man muss dazu die Hand in eine andere Richtung bewegen als man schaut!). In einigem Abstand vom Prisma zeigt das hell erleuchtete Loch *selbst* sehr deutliche Farben. Diese verschwinden aber wiederum bei Annäherung an das Prisma – warum und was erscheint stattdessen?
3. Mit Hilfe eines “Kompensationsprismas” kann man eine Ablenkung der Sicht erreichen, die kaum Farbsäume zeigt und dabei recht scharf ist⁵. Es ist nun spannend, etwa im Handversuch diese Prismen räumlich zu trennen: im nahen Prisma lässt sich eine typische Prismenansicht erreichen, in der das ferne Prisma ein kleines “Fenster scharfer Ansicht” bildet. So weit, so gut, aber wie verste-

⁵Für das Gemeinte funktioniert auch die Kombination zweier gleicher Prismen, deren Wirkung sich vollständig kompensiert.

hen wir das: Je nach Umfeld des fernen Prismas zieht die Spitze einen kräftigen rot-gelben bzw. blau-cyanen Rand in die scharfe Ansicht innerhalb des fernen Prismas (!) und die Ansicht "im Fenster" zieht Ränder in die Ansicht der Umgebung...

Ungestörte und modifizierte Ansichten

Um den umrissenen Gesamtzusammenhang noch einmal zu schildern: Die Seherfahrung besteht aus *Ansichten*, innerhalb derer wir "Gegenstände" des Sehens unterscheiden. Das Konzept solcher Gegenstände steht in einer Art Konkurrenz zur Tasterfahrung, Sehdinge und Tastdinge sind in der Situation alltäglicher Erfahrung implizit identisch, gleichsam verschiedene Zugriffsweisen auf dasselbe "Ding". Wenn wir beginnen, die Seherfahrung als eigenständigen Modus des Begegnens mit der Welt anzusehen, kompliziert sich das Bild – so kommen etwa "reine Sehdinge" wie Mond, Sonne und Sterne oder der Regenbogen zum Weltinventar dazu. Der Einsatz optischer Mittel greift dagegen in das Gefüge der Seherfahrung selbst ein: Kategorien wie Deutlichkeit, Farbigkeit, Perspektive oder stereoskopischer Abstand bezeichnen Qualitäten der Ansicht, die durch den Einsatz (oder unter dem Gegebensein) von optischen Mitteln bestimmten Veränderungen unterliegen.

Das natürliche "Referenzsystem" beim Bedenken und Besprechen dieser Veränderungen ist dabei immer die "ungestörte", deutliche Sicht in die Gegenstandswelt, sie wäre im geschilderten Sinn die optische Grundtatsache schlechthin. Die Vielfalt möglicher "Verfremdungen" dieser einfachen Grundsituation schlummert gleichsam als Möglichkeit und realisiert sich durch Zuziehung optischer Mittel: das dichte Medium "weckt" bestimmte Verhältnisse zwischen Perspektive und Stereoskopie, das trübe Medium geht vielleicht in charakteristischer Weise auf Deutlichkeit und Farbigkeit etc. Beugende Medien realisieren einen Zusammenhang zwischen Beleuchtungsqualität und Ansichtsgeometrie: die einheitliche Ansicht zerfällt nach Massgabe der Beleuchtung in ein im Sehraum differenziertes Spektrum von farbigen Einzelansichten, die dann wieder eine Gesamtansicht bilden oder weiter manipuliert werden können. Das dispersive Medium ordnet sich genau da ein – es entsteht ein Spektrum verschieden verfremdeter farbiger Einzelansichten, die dadurch in bestimmten Teilen der Gesamtansicht (an der "Struktur" des Angeschauten) unterscheidbar werden.

Diese Art optische Verhältnisse zu schildern führt uns inmitten typisch quantenmechanischer Problemstellungen: geeignete zusätzliche Bedingungen führen zu einer Differenzierung der Phänomene. Die übliche Sprechweise, den undifferenzierten Zustand als "entartet" anzusprechen, ist dabei vielleicht unglücklich ("ungestört" könnte ein wenig besser sein – andere Vorschläge?). Wieder zeigt sich die Nähe von modellfrei betriebener Optik zur Quantenmechanik, obwohl es sich nicht um Mikrophysik handelt. Wir begegnen einer Grundfigur des physikalischen Zugriffs auf die Welt wieder, die wir gut kennen: neue Bedingungen führen zu neuen Erscheinungen innerhalb eines Erfahrungskontextes. Darin liegt auch, dass es immer schwieriger wird, festzuhalten, was "Licht" ist. Wir können über Ansichten sprechen und da gilt offenbar ein

eindeutiges “Primat des Hellen”, also des Sichtbar-Seins, gegenüber dem Dunklen. Die vielfach betonte Symmetrie von hell und dunkel im Umfeld der prismatischen Farben ist dem gegenüber formal; wir können die Asymmetrie von Sichtbarkeit und ihrem Schwinden bejahen ohne uns in einen Gegensatz zu diesem strukturellen Gesichtspunkt (bezüglich der Ordnung innerhalb des farbigen Spektrums) zu setzen.

Literatur

- [1] Florian Theilmann: Was sind die ersten Schritte für ein Verständnis der Wärme? Physikerrundbrief **9** (2004).
- [2] Rudolf Steiner: Einleitungen zu Goethes Naturwissenschaftlichen Schriften. Rudolf Steiner Verlag, Dornach, 1987.
- [3] Georg Maier: Zum Begriff Trübe. Elemente der Naturwissenschaft **19** (1973) und [7].
- [4] Florian Theilmann: Der Sprung über die Kluft. Über verschiedene Arten, von Kräften zu Sprechen. Elemente der Naturwissenschaft **80** (2004).
- [5] Florian Theilmann: Blick in den Spiegel. Erziehungskunst 7/8 (2003).
- [6] Georg Maier: Optik der Bilder. Kooperative Dürnau 1993.
- [7] Georg Maier: blicken, sehen, schauen. Kooperative Dürnau 2004.
- [8] Wilfried Sommer: Zur phänomenologischen Beschreibung der Beugung im Konzept optischer Wege. Inauguraldissertation, Frankfurt am Main 2004.

Einführung in das neue Acrylmalfarbensystem von ALL IN ONE BOX COLORS

THEODOR BOLSINGER

Ausgehend von leidvollen Erfahrungen in den staatlichen Schulen, wo man als Kunst-erzieher ständig mit schlechten Malfarben kämpfen musste, war es ein Anliegen von Daniel und Theodor Bolsinger, ein Farbensystem zu kreieren, mit welchem das Malen z.B. von verschiedenartigsten Farbkreisen erleichtert wird. Entwickelt wurden flüssige, transparente, mit Wasser verdünnbare, nicht absetzende, hochkonzentrierte Malfarben in Künstlerqualität mit hervorragender Lichteinheit und schneller Trocknung. Die Farben werden den höchsten künstlerischen Anforderungen gerecht, da mit ihnen z.B. die schichtende Lasurmalweise in starker (brillanter) oder in verdünnter (pastelartiger) Konsistenz durchgeführt werden kann.

Unsere Gäste präsentierten ein Sortiment von 16 Malfarben, 3 Trichromien beinhalten: zwei davon sind farbabständig sich ergänzende Primärfarben, die dritte Trichromie bilden die Komplementärfarben. Jede der 3 Trichromien ergibt bei exaktem Mischverhältnis (1:1:1) ein Schwarz und ermöglicht somit auch das Aufzeigen der abdunkelnden (subtraktiven) Farbenmischung. Die übrigen 7 Malfarben ergänzen das Sortiment: 2 Weissqualitäten zum ermischen von transluzenten Pastelltönen und opaken Gouache-Tönen, sowie Tiefschwarz, Indigo, Bordeaux, rötliches Gelb und ein einheitliches Braun.

Es wurden viele mögliche Maluntergründe für Versuche zur Verfügung gestellt, die sich für diese neuen Acrylfarben eignen: Papier, Leinwand, Öl- / Acrylmalpapier, Karton, Holz, Glas, Plexiglas, Metallfolien, hart- und Weich-PVC-Folien, Polyesterfolien, Cellulosetriacetat-Folien und Polystyrol. In der kurzen zur Verfügung stehenden Zeit konnten jedoch nur einzelne Untergründe ausprobiert werden.

Daniel Bolsinger erzählte, dass die Gründung einer neuen Firma nötig war, die sich mit der Entwicklung, Herstellung und dem Vertrieb dieser neuen Malfarben befasst. Informationen sind unter www.allinonebox.com zu finden oder bei All IN ONE BOX, Hasenrain 44, CH-4106 Therwil.

Theodor Bolsinger wies speziell darauf hin, dass die neuen Malfarben den Anforderungen von R.Steiner nicht nur nachkommen (flüssig, transparent, wässrig, für die schichtende Malweise geeignet), sondern sogar übertreffen (Lichteinheit), siehe dazu GA 291, "Das Wesen der Farben", Vortrag 8.5.1921, Seiten 71,72). Eine erste Priorität ist und bleibt ferner die toxikologische Sicherheit der verwendeten Rohmaterialien, damit die neuen Malfarben im Schulbereich problemlos verwendet werden können.

Man kam zum Schluss, dass das goetheanistische Tun", in diesem Fall der Umgang mit Acrylfarben, verschiedensten Substraten und differenzierten Maltechniken ein weites, faszinierendes Gebiet ist. Durch das unmittelbare Erlebnis mit brillanten Farben, die beinahe alle Möglichkeiten der Farbgestaltung ermöglichen, können direkte Zugänge zum Kunstverständnis eröffnet werden. Mit Sicherheit lohnt es sich, die Vermittlung von Kunst in diese Richtung weiter auszubauen.

(Email-)Adressen der Autoren

Georg Maier: georg.maier@bluewin.ch

Thomas Schmidt: thomas-cornelia.schmidt@t-online.de.

Ingrid Hartmann: Über Uwe Hartmann, Uwe.Hartmann@fh-stralsund.de

Florian Theilmann: florian.theilmann@goetheanum.ch

Theodor Bolsinger: th.bolsinger@intergga.ch