

GERHARD LOTT

Die Herleitung der Linienspektren
des Quecksilbers und des Heliums
nach der Forschungsmethode Goethes

Ein Beitrag zum Nachweis der Fruchtbarkeit goetheanistischer Denkmethode

Verlag des "Goethe - Farbenstudio" Dornach

Lott, G.: Die Herleitung der Linienspektren

GERHARD OTT

Die Herleitung der Linienspektren
des Quecksilbers und des Heliums
nach der Forschungsmethode Goethes

Ein Beitrag zum Nachweis der Fruchtbarkeit goetheanistischer Denkmethode

1970

Verlag des "Goethe – Farbenstudio" Dornach

Vorbemerkung des Herausgebers

Wir freuen uns, als erste Publikation unseres Verlages des „Goethe-Farbenstudio“ in Dornach, den Freunden einer goetheanistischen Naturwissenschaft diese wohl nicht umfangreiche, aber bedeutsame Arbeit von Gerhard Ott vorlegen zu können. Die Entstehung der beiden Kapitel liegt nahezu sieben Jahre auseinander und erscheint hier erstmals in dieser Zusammenstellung. Daraus erklären sich einige Wiederholungen zu Anfang des zweiten Kapitels, die der Leser aber dankbar aufnehmen wird, da sie das Verständnis für die wohl kaum bekannten Beobachtungen, die zu den so erhellenden Ergebnissen führen, erleichtern helfen.

Möchte uns der Verfasser dieser Arbeit, dem wir schon die ausgezeichnete Schrift „Zur Entstehung der prismatischen Farben“ und „Zum Verständnis der Farbmischung im Sinne Goethes“ (Zbinden Verlag, Basel) verdanken, noch weitere Forschungsergebnisse liefern können, denn diese bilden für eine Naturwissenschaft der Zukunft nicht hoch genug zu schätzende Grundlagen und Vorbilder.

Heinrich O. Proskauer

Das positive und negative Linienspektrum des Quecksilbers und die Enthüllung seiner wahren Natur als Metamorphose des Sonnenspektrums

„Sollte ich dereinst das Glück haben, Muße und Mittel zu besitzen, um eine Farbenlehre im Goetheschen Sinne ganz auf der Höhe der modernen Errungenschaften zu schreiben, so wäre in einer solchen allein die Aufgabe zu lösen, die zu Goethes Zeiten noch unbekanntem Erscheinungen der Farbenlehre aus seinem Prinzipie abzuleiten.“

Rudolf Steiner, Einleitung zu Band III
von Goethes naturwissenschaftlichen Schriften.

Wohl keine wissenschaftliche Entdeckung auf dem Gebiete der Optik hat so weittragende Bedeutung erlangt wie diejenige der Spektralanalyse. Ihre Entdeckung geht auf die deutschen Chemiker und Physiker Bunsen und Kirchhoff zurück. Im Jahre 1859 wiesen diese beiden Forscher nach, daß ein bedeutsamer Unterschied besteht zwischen dem Spektrum¹ eines festen oder flüssigen hell-weißglühenden Körpers oder der Sonne auf der einen Seite, und dem Spektrum eines zum Leuchten gebrachten Gases. Im ersteren Falle entsteht als Bild eines Lichtspaltes mit Hilfe eines Prismas² ein kontinuierliches Farbenband im Sinne der Regenbogenfarben rot-gelb-grün-blau-violett. Es tritt ein solches vor allem bei Verwendung von Sonnenlicht auf. Bringt man jedoch in die Flamme eines Bunsenbrenners Salze eines Metalls, so wird die Flamme dadurch in charakteristischer Weise gefärbt (z. B. grün beim Kupfer, dunkelgelb beim Natrium, violett beim Kalium usw.); das entstehende Spektrum aber erweist sich jetzt nicht mehr als kontinuierliches Farbenband, sondern zeigt merkwürdigerweise nur noch einzelne farbige Linien, welche durch Dunkelräume voneinander getrennt sind. In diesem Falle spricht man daher vom Linienspektrum eines glühenden Gases.

Die dabei auftretenden farbigen Linien sind im Hinblick auf ihre Farbe und Verteilung so charakteristisch, daß man aus ihnen jederzeit wieder auf den an der Flammenfärbung beteiligten Stoff zurückschließen kann, wenn man sich dessen Spektrallinienbild einmal eingepägt hat. So zeigt z. B. das Natrium nur eine einzige intensive Linie in der Gelb-Region des Sonnenspektrums, Kalium dagegen deren zwei in der roten und gelbroten, eine in der violetten Zone desselben. Entwirft man ein Linienspektrum des Quecksilbers, etwa durch eine Quecksilberdampfampe, so entstehen (neben einigen weniger auffälligen Linien) drei besonders charakteristische Linien im Rot-, Grün- und Violett-Streifen des Sonnenspektrums. Zwischen den jeweiligen Linien aber befinden sich die verschieden breiten Dunkelzonen.

Bunsen und Kirchhoff stellten nun auf diese Weise von möglichst vielen

bekanntem Elementen, indem sie diese im Gaszustand durch eine Bunsenflamme zum Leuchten brachten, die charakteristischen Spektrallinien fest und hatten so zugleich auch ein ausgezeichnetes Mittel zur chemischen Analyse von unbekanntem Stoffen sowie zur Entdeckung und Auffindung überhaupt neuer chemischer Elemente. Sie brauchten die ihnen vorgelegten Substanzen nur in gasförmigem Zustand zum Leuchten zu bringen und konnten dann an den auftretenden Linien schon feststellen, welche Elemente hauptsächlich an deren Bildung beteiligt waren. Wurden diese dann chemisch abgetrennt, so zeigten sich an den dann deutlicher hervortretenden anderen Linien vorher verborgene Elemente an, ja sogar neue, wenn diese Linien von ganz neuartiger Natur in Farbe und Lage sich erwiesen. Damit war es Bunsen und Kirchhoff möglich, z. B. die bis dahin noch gänzlich unbekanntem Alkali-Elemente Caesium und Rubidium zu entdecken, welche in der Natur nur in sehr geringen Beimengungen zu anderen Stoffen auftreten und auch in chemischer Hinsicht sich von ihren Verwandten Kalium und Natrium nur schwer abtrennen lassen. Aus den bei der Untersuchung gewisser Substanzen auftretenden besonderen Spektrallinien in der Blau-Region bekam dann das Caesium, aus den besonderen Rotlinien das Rubidium seinen Namen³.

Bunsen selbst schrieb 1859 über die Vorteile der von ihm und Kirchhoff gefundenen Methode der Spektralanalyse das Folgende:

„Wir haben gezeigt, daß die Lichtlinien der Spektren, welche von glühenden Dämpfen verschiedener Metallverbindungen erhalten werden, als die sichersten und feinsten chemischen Reagentien benützt werden können. Die analytische Methode, welche sich auf die Beobachtung derartiger Linien stützt, gewährt besonders für solche Stoffe, die nur in verschwindend kleinen Mengen auftreten oder die in ihrem chemischen Verhalten zueinander zum Verwechseln nahe stehen, eine Reihe der schätzbaren Auffindungsmittel und Unterscheidungsmerkmale, welche mit Sicherheit alles, was bisher auf chemischem Wege zu erreichen war, bei weitem übertreffen. Wir konnten uns daher der Überzeugung nicht verschließen, daß diese Methode ganz besonders geeignet sein müsse zur Aufspürung noch unbekannt gebliebener Elemente, die zu spärlich verbreitet vorkommen oder anderen Stoffen gegenüber zu wenig charakterisiert sind, um durch unsere bisherigen unvollkommeneren Mittel wahrnehmbar zu sein.“

Man sieht also aus diesen Worten, welche Bedeutung die Entdeckung der Spektralanalyse für den Fortschritt der Chemie hatte. Aber auch in anderen Zweigen der Physik schlossen sich an die neue Erfindung bedeutensame Weiterungen und neue Anwendungen an, die im Rahmen dieser Arbeit jedoch nicht weiter besprochen werden können. Nur so viel sei gesagt, daß man selbstverständlich das Licht der Weltkörper spektralanalytisch untersuchte und damit zu bedeutsamen Schlußfolgerungen für das gesamte astronomische Weltbild kam, was wiederum auf das Weltbild der Gegenwart überhaupt von größtem Einfluß war.

Insbesondere aber vermeinte man in dem Auftreten der einzelnen Spektrallinien zugleich den allerschlüssigsten Beweis dafür zu haben, daß eben bestimmte Körper nur Licht ganz bestimmter Farbe und Wellenlängen ausstrahlten, während das Sonnenlicht und das Licht der weißglühenden festen und flüssigen Körper ein aus vielen Farben zusammen-

gesetztes weißes Licht im Sinne von Newtons Anschauung darstelle. Denn mit der seit Newton in der Physik eingezogenen festen Überzeugung, daß das Licht nicht das „einfachste, homogenste, unzerlegteste Wesen ist, das wir kennen“ – wie es Goethe ansah – sondern nur ein bereits aus farbigen Lichtern zusammengesetztes, trat man nun natürlich auch an diese Erscheinungen heran. So mußte man dann die Anschauung ausbilden, daß im Quecksilberlicht z. B. nur Licht ganz bestimmter Farben mit bestimmten Wellenlängen enthalten sei und „Licht anderer Farbe“ bzw. Wellenlänge hier eben fehle. Auch sah man aus demselben Grunde in dem kontinuierlichen Spektrum des Sonnenlichts mit „Farben aller Wellenlängen“ und dem diskontinuierlichen Linienspektrum des Quecksilbers mit „Licht von nur bestimmten einzelnen Wellenlängen“ einen ganz prinzipiellen Unterschied.

Nun muß ohne weiteres zugegeben werden, daß für jeden, der die beiden Spektren in ihrer letzten Präzision sich vor Augen führt und diesen auffallenden Unterschied wahrnimmt, der Gedanke außerordentlich nahe liegt, daß eben im Sonnenlichte Licht aller Farben bzw. Wellenlängen enthalten sei, im Quecksilber aber im wesentlichen nur Licht von drei Farben bzw. Wellenlängen. (Andere Spektrallinien, die beim Quecksilber in viel schwächerer Ausprägung noch auftreten, aber der roten, grünen und violetten Linie an Deutlichkeit und Lichtkraft bedeutend nachstehen, sollen hier zunächst unberücksichtigt bleiben.) Und insbesondere wird derjenige, der sich eine Überzeugung von der Ableitbarkeit des Sonnenspektrums aus dem Goetheschen Urphänomen selbst zu eigen gemacht hat⁵, sich fragen, wie eine solche Erscheinung verstanden werden könne. Denn in der Art ihres Auftretens scheint diese ja gerade der Newtonschen Hypothese von dem „zusammengesetzten weißen Licht“ und den drei einfachen „monochromatischen“ Lichtern bzw. Farben des Quecksilberspektrums so deutlich recht zu geben. Ist es überhaupt möglich, eine scheinbar so eindeutig für die Newtonische Auffassung sprechende Erscheinung nach Goethes Prinzipien deuten zu wollen? Wie sollen denn ausgesprochene Linien, wie diese drei Farblinien des Quecksilberspektrums, sich aus dem Zusammenwirken von Licht oder Dunkelheit mit der Trübe, also mit dem Goetheschen Urphänomen erklären lassen? Und wie „einfach“ sind sie doch gerade aus der von Goethe so sehr bekämpften Newtonischen Anschauung erklärbar! Fürwahr ein für jeden Goetheanisten in der Farbenlehre scheinbar hoffnungsloses Unternehmen.

Da nun die Bunsen-Kirchhoffsche Entdeckung immerhin 27 Jahre nach Goethes Tod stattfand, liegt also seit nunmehr über einem Jahrhundert schon die Aufgabe vor, diese neuen Phänomene aus Goethes Grundansichten zu erfassen. Aber eine Lösung dieser Aufgabe könnte erst dann vorliegen, wenn es gelänge, den inneren Zusammenhang mit dem Urphänomen auch hier deutlich nachzuweisen, wie dies bei der Herleitung des prismatischen Sonnenspektrums jetzt als möglich angenommen werden darf. Erst wenn sich auch an einer so zentralen und naturwissenschaftlich

so weittragenden, bedeutsamen Erscheinung wie der Spektralanalyse Goethes Methode bewähren könnte, ja sogar auch hier der Newtonischen überlegen sich zeigte, – erst dann könnte man hoffen, daß auch für Goethes Farbenlehre eine neue Zeit anbrähe. Wenn Goethes Anschauung von dem Entstehen der Farben aus Licht und Finsternis auch hier sich als tragfähig und überzeugend erweise, so wäre mit Nachdruck dargetan, welche Wahrheitskraft in ihr waltete.

Gelingt es also an einem solchen markanten Punkt, dessen Bearbeitung Goethe selbst gar nicht mehr vornehmen konnte, seine Anschauung siegreich zu behaupten, so darf mit Recht gehofft werden, daß es auch gelingen kann, nach und nach alle anderen zu seiner Zeit noch unbekanntesten Erscheinungen „aus seinem Prinzip abzuleiten“. Dadurch aber würde die gesamte Lichtlehre zugleich eine völlige Umgestaltung und einen im Goetheschen Sinn ganz neuen einheitlichen Charakter erhalten, ein Vorgang, der nicht ohne tiefe Rückwirkung auf die gesamten wissenschaftlichen Anschauungen der Gegenwart bleiben dürfte.

Versuchen wir also das Geforderte zunächst für das Linienspektrum des Quecksilbers zu leisten, an dem diese Aufgabe besonders gut in Angriff genommen werden kann, wie sich zeigen wird. Weiter unten sollen die hierbei gewonnenen Einsichten dann fruchtbar gemacht werden auch für die Entstehung des charakteristischen Spektrums eines anderen Stoffes, wo sich Gelegenheit ergeben wird, die beim Quecksilber erarbeiteten Gedanken erneut auf ihre universelle Tragfähigkeit zu überprüfen.

Nun kann bei dieser Aufgabe ausgegangen werden von der ausgezeichneten Arbeit von Max Barth in dem bereits im Mai 1944 erschienenen Heft II der „Experimentellen Beiträge zur Erweiterung von Goethes Farbenlehre“. Leider ist diese vorzügliche Arbeit bisher bei weitem nicht in dem Maße fruchtbar gemacht worden, wie sie es verdient, und der Verfasser möchte es dem inzwischen Verstorbenen gegenüber als eine Ehrenschild ansehen, das ins rechte Licht zu stellen und dort weiterzubauen, wo das Schicksal ihm die Feder aus der Hand nahm⁶.

Max Barth geht in seinen Betrachtungen über die wahre Natur des Quecksilber-Linienspektrums in einfachster Art auf Goethes Grundversuche in den 1791 erschienenen „Beiträgen zur Optik“ zurück. Aber gerade in diesem Schritt vollzieht er eine geniale Handlung und schafft damit den sichersten Schlüssel zur Lösung dieses gewiß komplizierten Phänomens. Bekanntlich reduziert Goethe in den „Beiträgen zur Optik“ und auch in seiner „Farbenlehre“ (1810) die subjektiven Versuche⁷ zuletzt auf die allereinfachste Möglichkeit einer Farbentstehung beim Prisma, die eintritt, wenn sich eine weiße und schwarze Fläche an einer einzigen Grenzlinie gegenüberreten. Dabei stellt er fest, daß die vom Sonnenlicht her gewohnten farbigen Randerscheinungen auch hier eintreten, nur mit gewissen, allerdings auffälligen Veränderungen! Ist das Schwarz oben, das Weiß unten, so erscheint ja bei Sonnenbeleuchtung an der Grenze der beiden Flächen ein roter Rand und gelber Saum⁸, wenn die Grenze durch ein mit

der brechenden Kante nach abwärts gerichtetes Prisma betrachtet wird. Sieht man nun diese Grenze in umgekehrter Anordnung, also weiß oben und schwarz unten, so entstehen ein blauer Rand und ein violetter Saum. In polaren Randfarbenbildungen äußern sich also die aus dem Urphänomen zu verstehenden farbigen Erscheinungen⁹: rot-gelb einerseits, blau-violett andererseits. So wie Licht durch Trübe gesehen rot und gelb gibt, so Dunkelheit durch beleuchtete Trübe blau-violett. Die polaren Randfarben sind die Dokumentation des in sich selbst polar gestalteten Goetheschen Urphänomens selbst, wie es sich durch das Prisma offenbart. Von hier aus, so sagte sich Max Barth, muß auch ausgegangen werden, wenn man verstehen will, wie das Quecksilber-Linienspektrum in seiner so besonderen Ausprägung entsteht.

Welche Veränderungen treten nun an den farbigen Rändern und Säumen ein, wenn das Sonnenlicht durch Quecksilberlicht ersetzt wird? Barth stellt klar fest, daß solche Veränderungen sich nach drei Gesichtspunkten hin einstellen (siehe dazu Zeichnung I, Positives Quecksilber-Spektrum):

1. Die Farben sind alle etwas verändert, was auf die schwach blau-grünliche Eigenlichtfarbe des Quecksilbers zurückzuführen ist. So erscheint der beim Sonnenlicht noch leuchtend rote Rand bräunlich-rot, wie etwas beschmutzt, der sich anschließende breite gelbe Saum aber leicht ins Grünliche spielend. — Die bei Umkehrung der Felder auftretenden Gegenfarben dagegen verlieren kaum etwas von ihrer Art, höchstens wird das Blau des Randes etwas dunkler, das Violett des Saumes etwas bläulicher. Sonst aber erkennt man völlig deutlich, daß die ganze Änderung in den Nuancen der Farben nur der hinzutretenden schwachen Eigenlichtfarbe des Quecksilbers zuzuschreiben ist.
2. Die Farben der Ränder und Säume erscheinen gegeneinander sowie bei ihrem Übergang in die angrenzende Helligkeit oder Dunkelheit fast messerscharf abgeschnitten, also ohne die beim Sonnenlicht auftretenden milden unscharfen Übergänge.
3. Das Verhältnis des roten Randes zum gelben Saum sowie des blauen Randes zum violetten Saum ist ein ganz anderes als beim Sonnenlicht. Der jeweilige Saum hat fast die 6fache Breite des an ihn grenzenden farbigen Randes!

Barth hat diese drei wichtigen Unterschiede des Quecksilber- gegenüber dem Sonnenspektrum bereits klar ausgesprochen. Man sieht auch leicht ein, daß die erste Veränderung keine sehr weitreichenden Folgen hat. Lediglich haben wir es mit einer Art Dämpfung der rot-gelben Farbenseite gegenüber den strahlenderen Farben des Sonnenspektrums zu tun, wie überhaupt die gesehenen Farben fahler, schärfer, härter erscheinen, sonst aber ihrer Anordnung und Reihenfolge nach ganz dieselben sind. So liegt der rote Rand in das Dunkle hinein, der gelbe Saum gegen das Helle zu, desgleichen wieder der blaue Rand gegen das Helle, der violette Saum gegen das Dunkle, genau wie beim Sonnenspektrum. — Die zweite Veränderung der scharfen Begrenzungen ist auffallend und vorläufig ein

Rätsel. Sie ermöglicht es aber nun gerade besonders gut, das verschiedene Verhalten der Ränder und Säume untereinander zu beurteilen, wenn man mit dem Prisma sich weiter entfernt oder auch ein stärker farbhervorrufendes Flintglasprisma zur Hand nimmt. – Die dritte Veränderung jedoch ist von weittragendster Bedeutung, denn die so ganz andersartige, viel weitere Ausdehnung der beiden Säume, des gelben und violetten, führt, wie wir sehen werden, zu völlig anderen Situationen als beim Sonnenspektrum.

Um nun beide Bewegungen der polaren Farbränder und -säume gleichzeitig zu beobachten, nehmen wir eine Schwarz-Weiß-Schwarz-Tafel mit noch ziemlich breitem weißen Mittelstreifen. (Siehe Figur 1, 1. Phase und 2. Phase des positiven Quecksilberspektrums). Auch diese Tafel ist ja schon eine der von Goethe besonders angegebenen. An ihr können wir nun beobachten, was geschieht, wenn der von oben her über das Weiße hin strahlende gelbe Saum den von unten her ins Weiße sich hineinerstreckenden blauen Rand erreicht – und übergreift. Infolge der scharf abschneidenden Farbränder können wir hier mit größter Präzision wahrnehmen, wie das Grün der späteren Quecksilber-Spektrallinie erst neu und damit sekundär entsteht, wenn der weit ausstrahlende gelbe Saum von oben den von unten über die weiße Mitte hin ihm entgegentretenen blauen Rand übergreift. Liegen also schon ursprünglich in den beiden „Kantenspektren“ (rot-gelbe und blau-violette Farbränder und -säume) in dem Gelb und Blau ganz eigentlich zwei Farben vor, die das Quecksilberlicht so ausgeprägt in seinem Linienspektrum gar nicht mehr aufweist! – so vollzieht sich überdies die Bildung der sonst „monochromatisch“ angenommenen Grünfarbe eindeutig vor unseren Augen aus dem Gelb und Blau und erweist sich damit als zusammengesetzt, also durchaus „polychromatisch“. Schon hier also treten Tatsachen auf, die den Newtonischen Annahmen heftig widersprechen. (Darauf macht auch Barth mit vollem Recht aufmerksam.)

Aber sehen wir weiter.

Treten wir mit dem Prisma weiter von der Tafel weg (siehe Figur 1, Phase 2) oder nehmen ein Flintglasprisma zur Hand, das die Farberscheinungen wesentlich verbreitert, so tritt nun ein außerordentlich überraschender Vorgang auf, den wir dank der scharfen Randabgrenzungen der Farbzonen auf das Allerdeutlichste und Genaueste verfolgen können. Denn der allmählich alles Blau des unteren Randes überdeckende breit ausladende gelbe Saum macht nicht nur die ganze blaue Randzone grün, wie es die Phase 2 darstellt, sondern greift nun sogar in die nach unten angrenzende Violett-Zone (siehe Phase 3), die sich über das Schwarz, mit dem Dunkel als Untergrund ausbreitet. Da aber Violett und Gelb polare (komplementäre) Farben darstellen, neutralisieren diese sich im Zusammenreffen in eine Unfarbigkeit über dunklem Grund, d. h. es tritt in dem Maße, als das Gelb über das Violett greift, eine Dunkelzone auf. Und damit haben wir den entscheidenden Vorgang erkannt, der in seiner letzten Konsequenz zu dem Linienspektrum mit seinen Dunkelzonen zwischen den einzelnen Spektrallinien führt.

Denn nunmehr besteht das angeschaute farbige Spaltbild (Figur 1, 3. Phase) oben aus einem braunroten Rand, dem eine gelbe Zone folgt, von schon schmälerer Art, dann folgt der vom Gelb und Blau gebildete, dem Braunrot gegenüber nun schon fast gleich breite grüne Rand, sodann die eben beschriebene Dunkelzone und dann, wo das Violett nicht mehr in seinem untersten Ende vom Gelb erreicht wird, – nach der Dunkelzone – noch ein violetter Streifen.

Aber auch diese 3. Phase ist nur eine solche des Übergangs zur Endstufe des Linienspektrums selbst.

Denn treten wir nun noch weiter von der Tafel zurück oder betrachten wir eine Tafel mit etwas schmälerer Mitte oder winkeln wir das Prisma steiler ein, so beobachten wir nun nochmals die Bildung einer weiteren Dunkelzone (Figur 1, 4. Phase), wenn das von unten her sich ausbreitende Blau (das aber in voller Ausdehnung infolge der Gelbüberdeckung bis zur Grenze des roten Randes grün erscheinen muß!) die Grenze des Rot nach oben hin übergreift. Dieses Blau und Rot löschen sich aber als ebenfalls polare (komplementäre) Farben wiederum über dem dunklen Untergrund zu einer Unfarbigkeit aus, wodurch jetzt auch zwischen grün und rot eine allerdings wesentlich schmalere Dunkelzone entsteht. Das zugleich noch weiter nach unten greifende Gelb löscht noch einen weiteren Teil des Violett über dem Dunkelgrund, so daß der verbleibende Violett-Streifen noch weiter von dem Grünstreifen abrückt.

Damit aber haben wir die charakteristische Form des Quecksilber-3-Linienspektrums erhalten. In einer fortlaufenden Folge interessantester Metamorphosen geht so das dem Sonnenspektrum durchaus analoge Quecksilberspektrum von einem ursprünglich gleichfalls farbkontinuierlichen in ein diskontinuierliches Linienspektrum über, in dem durch Auslöschung polarer Farbenpaare über dem Dunkelgrund sich zwischen den Einzelfarben Dunkelzonen bilden.

Macht man den weißen Mittelstreifen zwischen den beiden Schwarzzonen von Anfang an schmäler, so läßt sich der ganze Vorgang auch mit einem gewöhnlichen Prisma leicht verfolgen und bis zu diesem Endstadium bringen, wobei dann die verbleibenden Farbstreifen durchaus schon den Charakter von Farblinien annehmen. Die bei einem sehr lichtscharf angenommenen objektiv von einer Lichtquelle durch ein Prisma hindurch entworfenen Spaltbild noch auftretenden, aber viel schwächeren Quecksilberlinien, vor allem eine blaue und zwei ganz im Rot-Violett liegende, kommen infolge der nur reflektierenden Lichteinwirkung beim subjektiven Versuch nicht zur Sichtbarkeit. Im objektiven Versuch aber verdanken sie ihre Entstehung, wie die Beobachtung zeigt, ebenfalls nicht dieser klar gesetzmäßigen Verschiebung, sondern gewissen Lichtbeugungserscheinungen an dem dort ganz eng angenommenen Lichtspalt, wodurch in die sonst homogenen Dunkelzonen Aufhellungen hineinkommen, die sich dann gemäß den dort herrschenden Untergrundverhältnissen in Farbe manifestieren. Denn nach Goethes Urphänomenen wird eine durch „Licht-Trübe“

erhellte Dunkelheit blau, bzw. violett erscheinen, so daß diese Linien, viel unscheinbarer Art, allein hierauf zurückzuführen sind.

Was hier bequem von jedem an Hand der einfachen Goethetafeln überprüft werden kann, wenn er diese nur mit einem Quecksilberlicht (wie es z. B. auch eine Höhensonnenlampe abgibt) beleuchtet und die Tafel dann durch ein stärker brechendes Prisma beschaut, das kann mit Hilfe eines mit der Quecksilberlampe beleuchteten Spaltes, einer Sammellinse, einem Geradsicht-Prisma¹⁰ und eines dahinter angebrachten Auffangschirmes (möglichst aus Transparentpapier) in allen Phasen auch bequem zum objektiven Versuch erhoben werden. Außer der notwendigen Umkehrung der Farbenfolge, wie sie beim objektiven Versuch immer gegenüber dem „subjektiven“ erfolgen muß, da Auge und Lichtaussende-Stelle (Tafel bzw. Lichtquelle) vertauscht sind, vollzieht sich der Vorgang genau so. Nur können wir hier ohne direkte Einschaltung des eigenen Sehaktes in den Farbenbildeprozeß jetzt unser Auge als bloßen getreuen Mittler, der sich objektiv außer uns vollziehenden Vorgänge benützen. Der zuerst breit angenommene rechteckige Lichtspalt wird von einer beweglichen Spaltkante her allmählich verengt, wobei sich das zuerst auch hier kontinuierlich gestaltete Spektrum nach derselben Farb- und Dunkelzonen-Reihenfolge in drei leuchtende Linien verwandelt, welche die drei Hauptlinien des Quecksilber-Linienspektrum in seiner Endphase bilden. Dabei treten dann bei der letzten schmalsten Spaltanordnung die schon erwähnten zusätzlichen viel dunkleren und unscheinbareren Blau- und Violett-Linien noch auf¹¹.

Somit aber ist das sich auf drei markante Farblinien: rot-grün-violett schließlich reduzierende Quecksilber-Spektrum genetisch auf Grund der genialen Angaben von Max Barth aus denselben Grundlagen heraus zu verstehen wie das Sonnenspektrum. Ist dieses also in der Entstehung seiner Farbränder und -säume auf das Urphänomen Goethes in seiner polaren Form zurückgeführt, so ist es damit auch das Quecksilber-Linienspektrum. Dieses stellt nur eine – allerdings höchst eigenartige und überraschende – Metamorphose des Sonnenspektrums dar. Auch dieses kann ja im Goetheschen Sinne nach gegenseitiger Überdeckung von gelb und blau in die Dreifarbenfolge rot-grün-violett in seiner letzten Phase übergeführt werden. Dieselben drei Farben treffen wir auch beim Quecksilber wieder an, nur getrennt durch die neugebildeten Dunkelzonen. Ein prinzipieller Unterschied zwischen dem kontinuierlichen Sonnen- und dem diskontinuierlichen Quecksilberspektrum, wie es die heutige Physik annimmt, besteht daher nicht. Das Quecksilberlicht ist nicht von vornherein aus drei monochromatischen Farblichtern zusammengesetzt, so wenig wie das Sonnenlicht aus vielen anderen, sondern beide sind Ausprägungen von Licht als dem „einfachsten, homogensten, unzerlegtesten Wesen, das wir kennen“. Nur lebt in der Natur des Quecksilberlichts die ihm eigentümliche spezifische Farbe zusätzlich und eng verbunden mit dieser Eigennatur die besondere Randschärfe der Farben wie das eigenartige Verhältnis der

Säume und Ränder zueinander. Nur in diesen Regionen unterscheidet es sich vom Sonnenlicht, keinesfalls aber in seiner ursprünglich an der einheitlichen Lichtnatur teilnehmenden Wesenheit.

Damit aber darf die zu Anfang gestellte Frage nach der Erklärbarkeit der spektralanalytischen Vorgänge im Sinne der Prinzipien Goethes voll bejaht werden. Und es ist die volle Übereinstimmung derselben mit einem zu seinen Lebzeiten noch unbekanntem, äußerst komplizierten Geschehen erwiesen. Ja, der Erklärungsvorgang leistet uns mehr als jede Newtonische Hypothese, denn die Durchführung dieser Erklärung läßt uns den Ursprung, das Werden des Linienspektrums selbst verfolgen und beseitigt zugleich das bestehende Vorurteil von der prinzipiellen Verschiedenheit der beiden Spektrenarten, des kontinuierlichen Sonnenspektrums^{1 2} und der diskontinuierlich sich erweisenden Spektren der glühenden Gase. Die letzteren sind nichts anderes als bedeutsame Metamorphosen des Sonnenspektrums selbst.

Scheint das gestellte Problem auch damit gelöst, so läßt es doch eine bedeutsame Erweiterung zu, über die noch gesprochen werden soll.

Im Sinne der Goetheschen Methodik haben wir nämlich bei dieser Betrachtung doch erst einen einseitigen Gesichtspunkt des Problems ins Auge gefaßt. Wir haben nämlich im „subjektiven“ Versuch nur die Schwarz-Weiß-Schwarz-Tafel bisher betrachtet, im objektiven Versuch nur den dieser Tafel entsprechenden Lichtspalt. Läßt man aber, wie es der innere Aufbau und die Konsequenz der Goetheschen Farbenlehre fordern, der Finsternis genau dasselbe Recht widerfahren wie dem Licht, so obliegt es uns noch, die ganze andere Hälfte des Problems zu studieren und zu sehen, was sich hierbei ergibt. Und diese andere Hälfte besteht in der polaren Aufgabenstellung, nämlich in der Betrachtung einer Weiß-Schwarz-Weiß-Tafel (siehe Figur 2, 4. Phase) bzw. eines ihr entsprechenden „Dunkelspaltes“ im Lichtstrom der Quecksilber-Projektionslampe.

Was stellt sich dabei unserer Beobachtung dar? Wir sehen naturgemäß bei breitem Schwarzstreifen an dessen oberem Rande gegen das Weiß wieder den schmalen blauen Farbrand, dann den weit in das Schwarz hineinstrahlenden violetten Saum, am unteren Rande gegen das Schwarz zu den schmalen ins Braunrote „verblichenen“ Rand und gegen das Weiß zu den breit ausladenden (leicht grünstichigen) gelben Saum. Sobald wir nun aber mit dem Prisma weiter von der Tafel zurücktreten, ein stärker farbgebendes Flintglasprisma nehmen oder den Schwarzstreifen in der Mitte der weißen Felder verengen, hebt nun der völlig polare Farbenprozeß an. Zunächst erreicht das von oben herabstrahlende Violett das Rot von unten, so daß sich schließlich ein dem obersten Blaurand der Breite nach entsprechender Purpur- (pfirsichblüt) -Rand bildet (Phase 2). Die Farbenfolge ist nun: Blau-violett-pfirsichblüt-gelb, wobei das letztere Gelb wieder weit ins Weiß voreilt und als Saumbreite genau dem Violett + Pfirsichblüt entspricht (der eigentlichen Violett-Ausstrahlung, die sich auch über das Rot erstreckt). – Bei erneuter Steigerung der Farbränder tritt nunmehr

aber eine ganz neue Überraschung auf. Das Violett von oben erreicht Teile der ins Weiß hinabstrahlenden Gelbzone und es kommt abermals zu einer Unfarbigkeit infolge gegenseitiger Neutralisation der Farben gelb und violett, jetzt jedoch über einem hellen Grund (Phase 3). Und so entsteht nicht eine Dunkelzone wie früher, als das Gelb über das Violett auf Dunkelgrund herzog, sondern eine weiße, helle Zone, wo das Violett über das Gelb auf hellem Grunde herzieht. So haben wir nunmehr: blau – schmaleres violett – pfirsichblüt – Helligkeitszone – gelb. Denn das Violett kann immer nur einen Teil der Gelbzone bedecken, nie die gesamte. Verengen wir die „Schwarzzone“ noch weiter (S. Phase 4), so tritt nun auch das sich von unten nach oben ausbreitende Braunrot (das aber infolge der Violettüberlagerung auf dem Schwarzgrund als pfirsichblüt sich offenbart.) für sich in Wechselwirkung mit dem oberen Blaurand. Dadurch kommt es abermals zur gegenseitigen Auslöschung der beiden polaren (komplementären) Farben, und es entsteht zwischen dem Blau und Pfirsichblüt eine zweite, allerdings wieder viel schwächere Helligkeitszone. Denn auch hier findet die farbige Neutralisation von blau und rot ja über einem hellen Grunde statt. So haben wir also in der Endphase ein genau polar aufgebautes negatives Quecksilberspektrum, das ebenso aus der Abbildung des Dunkelspaltes hervorgeht wie sonst das andere bekannte Spektrum aus der Abbildung des Lichtspaltes. Und es ist ebenso durch die fortschreitende Metamorphose und die Bildung der Helligkeitszone zum Linienspektrum geworden, das aber nunmehr die Farblinien blau-pfirsichblüt-gelb enthält, sonst aber ganz und gar dem bekannten positiven „Dunkelspektrum“ mit den Linien rot-grün-violett zugeordnet ist. Zugleich aber erweist sich dieses negative „Lichtspektrum“ des Quecksilbers in seinen Farben vollkommen äquivalent dem von einem schmalen schwarzen Streifen bei Sonnenlicht gebildeten Dreifarbenstreifen blau-pfirsichblüt-gelb, nur daß dieser kontinuierlich ist, jener aber (beim Quecksilber), diskontinuierlich infolge der sich bildenden Helligkeitszone durch Überlagerung der polaren Farbenpaare. Wie schwer es sein wird, mit der alten Newtonischen Theorie diesem bisher gar nicht beachteten Phänomen gerecht zu werden, mag sich jeder selbst überlegen.

Zugleich aber offenbart sich hier mit innerer Notwendigkeit im Bereiche des Lichtes die sinnvolle Art der Anwendung des Polaritätsprinzips, wenn man dem gesamten Phänomenkomplex gerecht werden will. Weder das Blau noch das weit in den Helligkeitsbereich herausgerückte Gelb können bei wirklicher Vorurteilslosigkeit noch als „polychromatische Farben“ angesprochen werden, die man sich sonst nur aus der Überlagerung der „monochromatischen“ Farblinien des „Dunkelspektrums“ des Quecksilbers hervorgerufen denken könnte. Und das Pfirsichblüt ist genau so aus der Überlagerung von Violett und Rot über dem Dunkeln zu erklären, wie früher das Grün aus derjenigen von Gelb und Blau über dem Hellen.

Man wird sich auf die Dauer angesichts dieser Phänomene der Notwendigkeit nicht mehr entziehen können, das Licht wieder als das einfachste,

homogenste und unzerlegteste Wesen anzusehen, „das wir kennen“ – und polar dazu ebenso die Finsternis. Wenn man dies aber tut, dann wird man erleben, daß die gesamte Licht- und Farbenlehre erst wirklichkeitsgemäß ergriffen wird, wenn man sie auf der naturgegebenen Polarität von Licht und Finsternis aufbaut und aus dieser Polarität als ein Drittes, Höheres das Wesen des Farbigen, über dem Wirken der Trübe, entstehen sieht. Jeder Mathematiker weiß, daß in dem Zweige der sogenannten synthetischen Geometrie (der „Geometrie der Lage“) in absolutester Weise das Dualitätsprinzip gültig ist und daß sich die Ergebnisse dieser Geometrie nur unter voller Anwendung desselben klar und befriedigend darstellen lassen.

Wir werden erst eine sachgemäße Licht- und Farbenlehre haben, wenn diese aufgebaut wird nach dem Gesetz der Polarität von Licht und Finsternis. So wenig im Grunde die Anwendung eines analytischen Koordinatensystems mit dem innersten Wesen dessen etwas zu tun hat, was auf seiner Grundlage dargestellt wird, so wenig hat Newtons Hypothese von dem zusammengesetzten Licht etwas mit dem Wesen des Lichtes zu tun. So sehr aber das Dualitätsprinzip der synthetischen Geometrie eine wirklich qualitative Methodik zur Erfassung der von ihr zu beschreibenden geometrischen Tatsachen darstellt, ebensosehr ist das Polaritätsprinzip in der Licht- und Farbenlehre die adäquate, von der Sache selbst geforderte Methodik, auf deren Grundlage überhaupt nur eine befriedigende Ordnung der hier auftretenden Phänomene möglich ist.

Diese Tatsache wird sich bei jedem weiteren Vordringen in den Bereich des Gebietes der Farben immer wieder von neuem aufdrängen und so das Goethe-Wort bestätigen:

„Was fruchtbar ist, allein ist wahr!“

Es bedarf wohl kaum noch des Hinweises, daß das zunächst in einer für jeden leicht zugänglichen „subjektiven“ Form erzeugbare negative Linienspektrum des Quecksilbers auch objektiv hergestellt werden kann. Dazu ist nur vonnöten, daß wir über dem Lichtprojektor-Okular einen schmalen „Dunkelspalt“ in Form eines feinen Dunkelstreifens anbringen, wodurch in der zu erwartenden Form, nur in umgekehrter Anordnung, je nach Einstellung sämtliche Phasen der Entstehung des Gegenspektrums wieder verfolgt werden können. Insbesondere bilden sich die zwei Helligkeitszonen in ebenso überraschender Weise wie früher die zwei Dunkelheitszonen. Selbst die beim positiven Spektrum noch vorhandenen bloßen zusätzlichen Farblinien erscheinen nun auch hier in polarer Färbung innerhalb der Helligkeitszonen gemäß dem polaren Aspekt des Goetheschen Urphänomens der Trübe vor Helligkeit.

Wir werden sehen, wie sich das Verständnis des Linienspektrums eines anderen glühenden Gases in prinzipiell gleicher Art ergibt. Doch kann jetzt schon generell gesagt werden, daß der prinzipielle Gestaltungsvorgang durchaus dem beim Quecksilber geschilderten gleichartig verlaufen wird, nur daß die jeweilige Eigenfarbe des Gases (die beim Quecksilber noch kaum eine Rolle spielt.) sich als stärker mitwirkend zeigen wird. Je

deutlicher verschiedene getrennte Hauptlinien beim Linienspektrum eines glühenden Gases auftreten, desto interessanter wird es sein, ihre Farben aus den mannigfaltigen Überlagerungen der Rand- und Saumfarben unter Mitwirkung der Eigenfarbe des Gases zu erklären.

Damit dürfte es gelungen sein, die Fruchtbarkeit der wissenschaftlichen Methode Goethes auf dem so entscheidenden Gebiet der modernen Spektralanalyse gültig nachgewiesen zu haben.

Zu den Abbildungen

Figur 1 und 2 veranschaulichen die Entstehung des positiven und des negativen Linienspektrums des Quecksilbers aus den ursprünglichen Kantenspektren, durch schmaler werdenden hellen Streifen oder Lichtspalt auf dunklem Grund, respektive schmaler werdenden dunklen Streifen oder Dunkelspalt auf hellem Grund.

Figur 3 und 4 zeigt den gleichen Vorgang, der zur Entstehung des positiven und negativen Linienspektrums des Heliums führt.

Indem sich die Kantenspektren nur im mittleren Teil der Abbildungen zunehmend vereinigen, bleibt jeweils links und rechts das untere und obere Kantenspektrum in ursprünglicher Art sichtbar. Das seitliche Überstehen des schwarzen, respektive weissen Feldes über die farbigen Ränder soll deutlich machen wo sich die Farben bilden; nämlich Rot und Violett über dem schwarzen, Blau und Gelb über dem weissen Felde, die dann als Schwarz (dunkler Zwischenraum) und Weiss (heller Zwischenraum) wieder sichtbar werden wenn die Komplementärfarben über ihnen zusammenkommen und sich dadurch neutralisieren.

Die Farben der Abbildungen muss sich der Betrachter nach den Eigenfarben des Quecksilbers und des Heliums jeweils modifiziert vorstellen; sie können den Werdeprozess der Linienspektren nur in prinzipieller Weise darstellen.

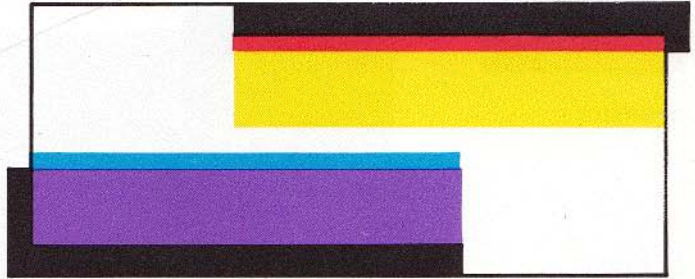
Fig. 1

Positives Quecksilberspektrum

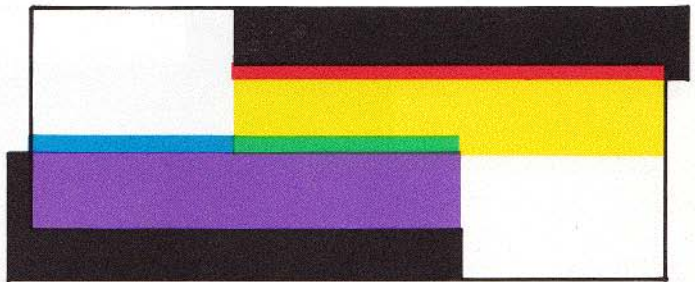


Spaltform

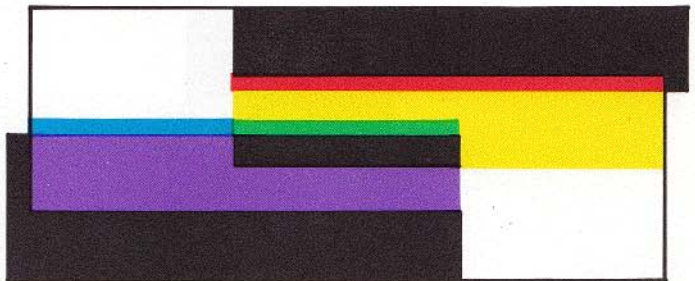
1. Phase



2. Phase



3. Phase



4. Phase

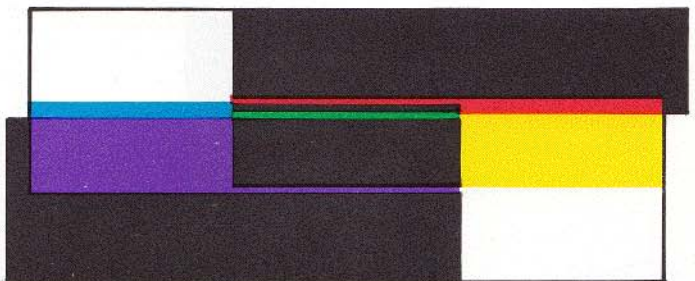


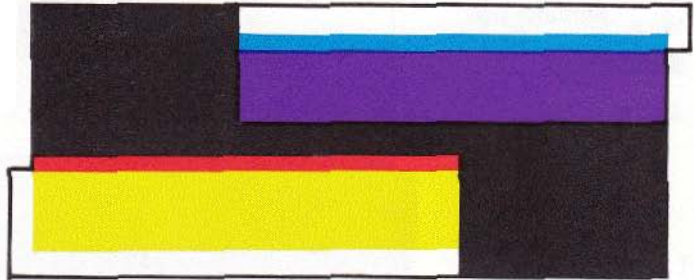
Fig. 2

Negatives Quecksilberspektrum

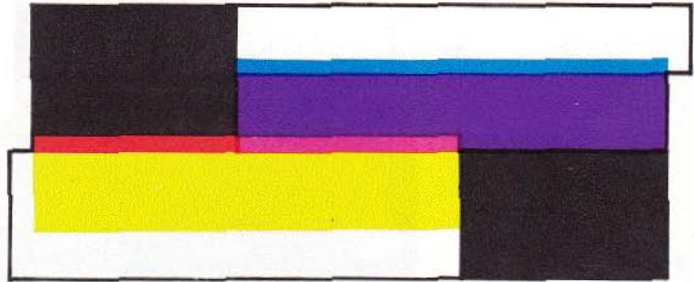


Spaltform

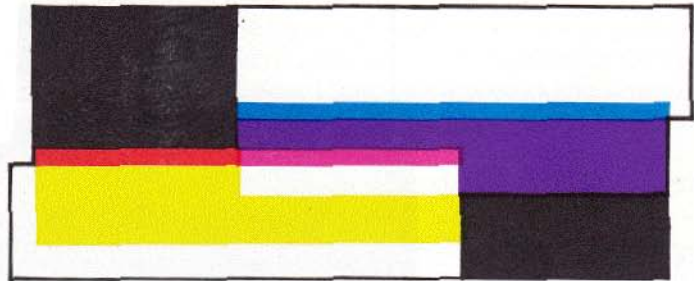
1. Phase



2. Phase



3. Phase



4. Phase

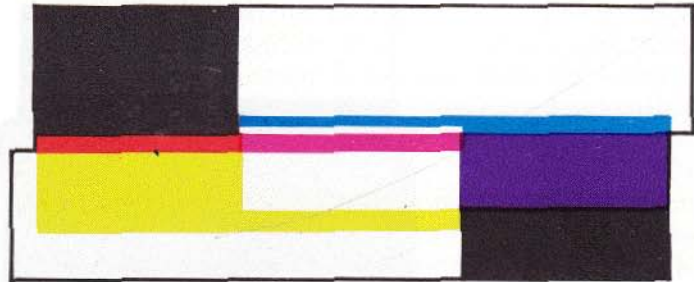


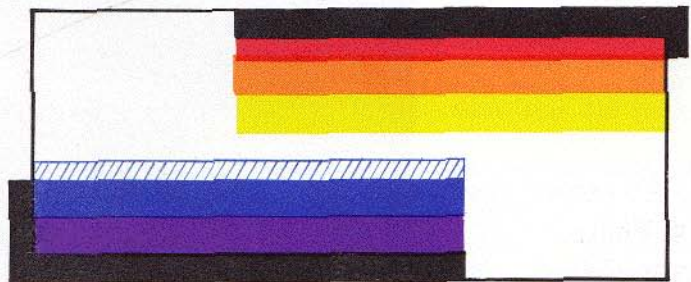
Fig: 3

Positives Heliumspektrum

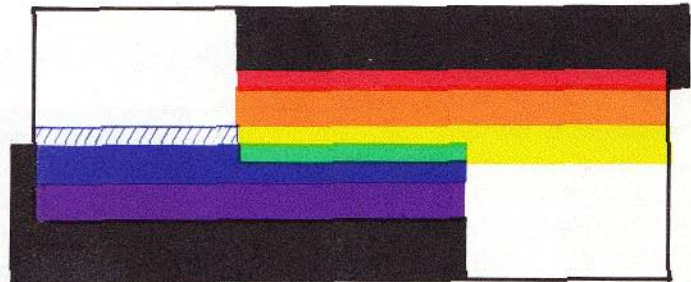


Spaltform

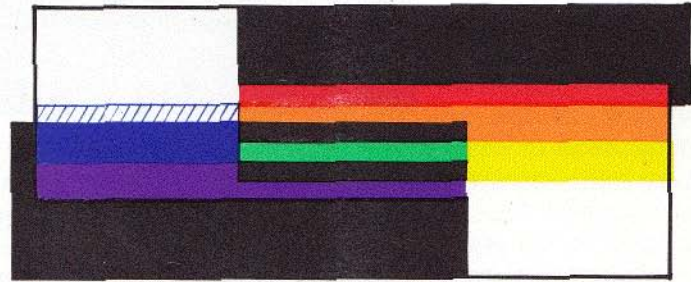
1. Phase



2. Phase



3. Phase



4. Phase

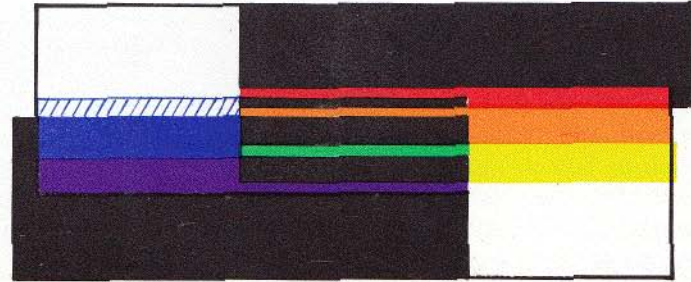
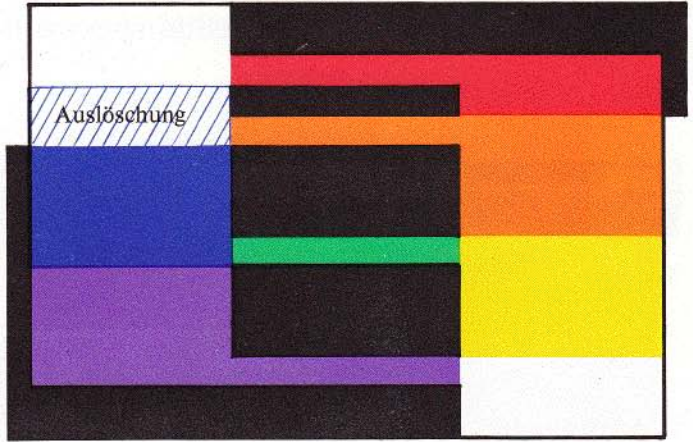


Fig. 4



4. Phase
vergrößert

Fig. 4a Vorstufe zu Phase 2

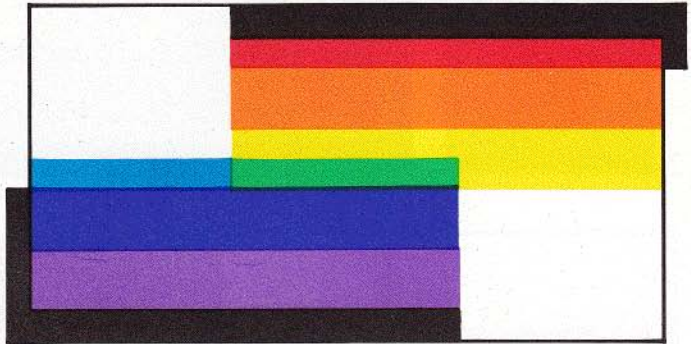
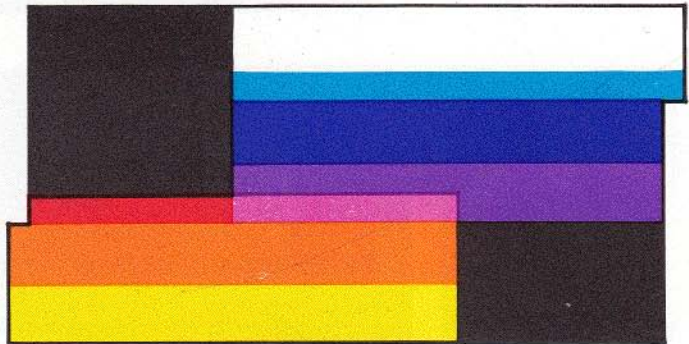


Fig. 4b Negatives Heliumspektrum



Spaltform



2. Phase

Die Herleitung der Gestalt des Linienspektrums des Heliums

„Man würde, wenn man Anstalten machte, genaue Versuche anzustellen, schon wahrnehmen, daß eigentlich für alles Leuchtende ein vollständiges Spektrum vorhanden ist, also ein Spektrum, das da reicht vom Roten ins Violette ... hinein. ... Wir bekommen ... , wenn wir ein glühendes Gas ein sich verbreitendes Licht erzeugen lassen, ein Lichtbild, das nur an einer Stelle, – oder für verschiedene Stoffe auch an mehreren Stellen – Lichtlinien oder kleine Lichtbänder zeigt. Das übrige Spektrum ist dann verkümmert.

Rudolf Steiner, I. naturwiss. Kurs,
V. Vortrag vom 27. Dezember 1919

Im voranstehenden Kapitel wurde gezeigt, wie die Gestalt des Linienspektrums des Quecksilbers aus der besonderen Art der Durchdringung der beiden Kantenspektren hergeleitet werden kann. Dabei wurden unter Kantenspektren (wie auch sonst in der Physik, nur daß sie dort anders erklärt werden) die Teilspektren verstanden, die sich bilden, wenn das Licht durch ein Prisma dringt, aber nicht durch einen engen Spalt geht, sondern nur eine Lichtzone mit angrenzender Dunkelheit vorhanden ist. Je nach der Lage des Hellen zum Dunkeln ergeben sich dann bekanntlich zwei gegensätzliche, polare Farbänderer und -Säume, das eine Mal ein rot-gelber, das andere Mal ein blau-violetter. Bei einem engeren Spalt greifen dann beim Sonnenspektrum die beiden Farbzonen übereinander, vereinigen sich in der Mitte zu Grün und bilden so erst das bekannte Regenbogenspektrum, das vom Rot über Gelb, Grün, Blau bis zum Violett kontinuierlich sich erstreckt.¹³ Es konnte dort gezeigt werden, wie die Farbenpaare rot-gelb und blau-violett sich bei Quecksilberlicht beim Übereinandergreifen ganz anders verhalten wie bei Sonnenlicht. Ihre ganz andersartigen Breitenverhältnisse führten ja insbesondere zur Bildung von Dunkelzonen infolge von Farbneutralisationen, so daß aus einem anfangs dem Sonnenspektrum noch durchaus ähnlichen, auch noch vollständigen (kontinuierlichen) Spektrum allmählich ein Spektrum mit nur drei Linien sich herausbildete, eben das bekannte Linienspektrum des Quecksilbers. Diese besonderen Linien zeigten die Farben rot-grün-violett. Es konnte weiterhin gezeigt werden, wie eine Art Gegenspektrum sich bildet mit den Linien: blau-pfirsichblüt-gelb, wenn man anstelle des „Lichtspaltes“ das verschwommene Bild eines „Dunkelspaltes“ sich bilden läßt. Die beiden Spektren gehören als polare Gebilde eng zusammen und bilden erst in ihrer Doppelnatur die dem Quecksilber eigenen spektralen Gestaltungskräfte und Farbtönungen. So konnte nachgewiesen werden, daß diese zwei Spektren, das positive und das negative, wie sie genannt wurden, die Endphasen einer

gesetzmäßig verlaufenden Metamorphosenreihe darstellen, die als Ganzes wiederum eine spezifische Modifikation der Vorgänge bei der Bildung des Sonnenspektrums ist.

Der Nachdruck wurde vor allem auf den Sachverhalt gelegt, daß ein prinzipieller Unterschied zwischen dem Entstehen des kontinuierlichen Sonnenspektrums und des Linienspektrums des Quecksilbers nicht besteht, sondern beide Spektren nur die besonderen Ergebnisse eines sie gemeinsam umfassenden Bildeprozesses darstellen. So verschieden dem äußeren Augenschein nach also auch das Linienspektrum des Quecksilbers sich gegenüber dem Sonnenspektrum ausnimmt, so unterliegen beide doch einem einheitlichen Entstehungsprozeß, eben dem Übereinandergreifen der primären, urphänomenbedingten Kantenspektren. Lediglich mußte beim Quecksilber die Eigenfarbigkeit desselben, also eine qualitative Verdunkelung im Lichtbereich, als metamorphosierender Faktor in Rechnung gestellt werden. Und die Frage blieb offen, ob ihr – und vielleicht auch nur ihr allein – die Faktoren zuzuschreiben sind, die schon in den Kantenspektren eine Transformation gegenüber dem Sonnenlicht hervorriefen. Als solche Faktoren traten ja drei auf:

1. Die leise Veränderung der Kantenspektralfarben selbst, die ganz sicher dem genannten Umstand zugeschrieben werden muß.
2. Die andersartigen Ausdehnungsverhältnisse der Farben zueinander, wobei aber das Verhältnis vom Rot zu Gelb streng dasselbe blieb wie das von Blau zu Violett (etwa 1:6).
3. Die scharfen Abgrenzungen der Farbtöne untereinander sowie gegen die angrenzende Dunkelheit bzw. Helligkeit.

Diese also spezifisch dem Quecksilber eigenen Gestaltungskräfte wirkten nun zusammen mit den allgemeinen Bildekräften, welches jedes Spektrum aus den Kantenspektren heraus entstehen lassen.

Am Ende dieser Darstellung wurde nun ausgesprochen, daß auf diese Weise auch die spezifischen Linienspektren anderer Gase sich herleiten lassen müßten.

Dieses Versprechen soll nun mit der Entschlüsselung der Gestalt des Heliumspektrums eingelöst werden. Dabei wird sich zeigen, daß auch in der Wahl des Heliums ein richtiger Weg beschritten wurde, indem die Eigenfarbigkeit dieses Gases sich wesentlich deutlicher in dem Bildeprozeß seines Spektrums zur Geltung bringt. Damit fällt der erste Metamorphosenfaktor schwerer als beim Quecksilber ins Gewicht, während die beiden übrigen annähernd dieselbe Bedeutung behalten. Jedoch tritt, sehr wahrscheinlich auch von der Eigenfarbe des Heliums mitbedingt, noch ein vierter Faktor als mitwirkend auf, wie wir sehen werden.

Zunächst gehört das Helium interessanterweise zu denjenigen chemischen Substanzen (Gasen), die überhaupt erst mit Hilfe der Bunsen-Kirchhof'schen Spektralanalyse, wie sie oben geschildert wurde, gefunden werden konnten. Und zwar bot für die Auffindung des Heliums eine auffallende, stark leuchtende orange-gelbe Spektrallinie eine besondere

Hilfe. Es wird also nötig sein, gerade auch die Natur dieser Linie bei unserer Herleitung des Heliumspektrums klarzustellen. Neben dieser Hauptlinie (und einer Anzahl ganz lichtschwacher Linien, wie wir sie auch schon beim Quecksilberspektrum wahrnahmen, aber auf sekundäre Interferenzerscheinungen des Lichtes durch den engen Spalt zurückführen mußten) treten nun beim Heliumspektrum noch deutlich drei weitere Farblinien hervor, die von der leuchtenden Orange-Gelb-Linie durch drei Dunkelzonen getrennt sind. Nehmen wir ein waagerechtes Spaltbild an, so erhalten wir oberhalb noch eine (– im äußersten Grenzfall – doppelt ausgeprägte) Rot-Linie, unterhalb, mit viel weiteren Dunkelzonen voneinander getrennt, noch eine Grünlinie und eine Blau-Violett-Linie. Insgesamt enthält also das positive Linienspektrum des Heliums vier deutlich hervortretende Spektrallinien und drei verschieden große Dunkelzonen.

Wir stellen uns also zunächst wiederum die Aufgabe, diese charakteristische Form des Heliumspektrums mit seinen vier Spektrallinien dunkelrot – orange-gelb – dunkelgrün – blauviolett als Endphase einer Metamorphosenreihe der sich überlagernden Kantenspektren darzustellen. Gelingt dieses in einwandfreier Weise ohne Hinzuziehung irgendwelcher spekulativer Elemente, so ist die Allgemeingültigkeit der Goetheschen Herleitung an einem weiteren markanten Beispiel bewiesen und damit in noch stärkerem Maße sichergestellt.

Zu unseren Versuchen haben wir eine speziell für physikalische Zwecke hergestellte Helium-Lampe der Firma Osram benutzt. Mit ihr beleuchten wir, um wieder mit der „subjektiven“ Versuchsreihe zu beginnen, zunächst ein Stück matten weißen, rechteckigen Papiers, das so angeordnet wurde, daß das an ihm vorbeigehende Heliumlicht sich in die umgebende Dunkelheit des Raumes verliert und so das beleuchtete Rechteck rings von möglicher Finsternis in beträchtlicher Ausdehnung umgeben ist. (Abblendschirm vor die Heliumlampe gegenüber dem Beobachter.) Diese vom Heliumlicht also hellbeleuchtete Fläche betrachten wir in einer Entfernung von etwa $1/2$ bis 1 m durch ein Flintglasprisma. (Je nach der Größe der rechteckig beleuchteten Fläche und dem Brechungsmaß des Flintglasprismas müssen wir den anfänglichen Beobachtungspunkt so wählen, daß die beiden Kantenspektren noch als völlig getrennte wahrzunehmen sind, sich also noch nicht auf der vom Heliumlicht beleuchteten Fläche überdecken.) (Siehe Figur 3; Phase 1: Stufe der Kantenspektren)

Da wir nun wissen, daß für das weitere Durchschauen der Vorgänge die Eigenfarbe des leuchtenden Gases eine wichtige Rolle spielen wird, so muß uns zunächst daran liegen, diese Eigenfarbe der Heliumbeleuchtung uns deutlich zum Bewußtsein zu bringen. Auf der beleuchteten Rechteckfläche ist diese aber infolge der Helligkeit der Lampenbeleuchtung nicht deutlich genug auszumachen. Wir müssen also versuchen, diese Eigenfarbe durch einen mehr schattigeren Untergrund klarer hervortreten zu lassen.

Dies ist nun mit der Methode der farbigen Schatten leicht zu erreichen.¹⁴ Dazu lassen wir am einfachsten schwaches Tageslicht (oder Licht einer

schwachen farblosen Lampe) auf die zugleich von Heliumlicht beleuchtete Reckteckfläche auffallen und halten in den gemeinsamen Lichtbereich einen schattenwerfenden Gegenstand. So erhalten wir zwei Halbschatten, die polarer Natur sind. Der eine, der vom Heliumlicht geworfen und vom Tageslicht aufgehellt wird, ist in der Literatur als farbiger Schatten bekannt. Er soll uns hier nicht näher interessieren; seine Farbe ist graublau. Der andere, den das Tageslicht von dem Gegenstand wirft, wird nun von dem Heliumlicht aufgehellt und zeigt damit als Halbschatten viel deutlicher dessen Eigenfarbe. Es ist der gefärbte Schatten; er ist polar zu dem farbigen Schatten und daher rötlich-gelb, fast ockerfarben. In ihm kommt also die Eigenfarbe des Heliumlichtes, mit der wir bei der Betrachtung des Spektrums rechnen müssen, deutlicher zur Anschauung.

Von dieser spezifischen Farbe muß also zunächst ausgegangen werden, wenn man die eigenartige Bildung des Heliumspektrums richtig erkennen will. Welche Wirkung geht zunächst von ihr auf die Farben der Kantenspektren aus? Sie zeigen gegenüber den Quecksilber-Kantenspektren ein überraschendes Moment, das man auch erst nach ruhig andauernder Beobachtung als Erscheinung richtig bemerkt. Denn zunächst ist natürlich das Augenmerk auf die schon vom Quecksilbersversuch her bekannten drei Faktoren gerichtet. Diese machen sich in der Tat auch hier wieder geltend.

Die Farbränder- und Säume sind durch die rötlich-gelbliche Eigenfarbe des Quecksilbers modifiziert. Der obere Rand allerdings nur sehr wenig, da die Eigenfarbe des Heliums das Rot-Gelb dieses Randes im Grunde nur verstärkt. Jedoch kann man dabei schon das Eigenartige bemerken, daß sich außer dem über dem Dunklen aufleuchtenden starken Rot eine Orange-Zone in das Helle hinein deutlich macht, wobei sich diese ziemlich scharf wiederum gegen die anschließende breite Gelbstrahlung absetzt. Bei ruhig aufmerksamem Hinschauen kommt man immer mehr zu der Überzeugung, daß diese Hell-Orange-Zone nichts anderes darstellt als die in die Helligkeits-Zone hineinreichende Rotzone, die beim Quecksilber- und Sonnenspektrum noch deutlich nur über der Dunkelzone sich abhob, so daß dort im Helligkeitsbereich eben keine Zäsur in der Gelbstrahlung wahrnehmbar war. Die Rot-Gelb-Grenze fällt also hier ganz offenbar nicht mehr mit der Hell-Dunkelgrenze zusammen. Das Rot ragt als orange-rötliche Zone von beträchtlicher Ausdehnung in den Helligkeitsbereich herein. Damit ist ein neues Variationselement aufgetreten, das, wie wir sehen werden, bei der Bildung des Spektrums von sehr erheblicher Bedeutung ist. (Woher diese offenbar mit dem Helium-Eigenlicht zusammenhängende andersartige Randprofilierung kommt, muß hierbei als Frage noch offen bleiben. Zutreffende Gedanken können darüber erst ausgesprochen werden, wenn die Verhältnisse bei anderen, auch anders farbigen Substanzen noch untersucht worden sind.) Hier aber muß das Faktum als solches zunächst erkannt und in seiner weiteren Wirkung verfolgt werden.

Als Ausgangssituation finden wir also am oberen Grenzbereich ein im Dunkeln stark aufleuchtendes Rot, dessen Fortsetzung im Lichtbereich als

ein Rot-Orange, aber sehr heller Art, sich kundgibt, woran sich schließlich ein weitausstrahlendes Gelb angliedert.

Wie stellt sich die Erscheinung am unteren Grenzbereich dar? Da fällt nun auf, daß das beim Sonnen- und Quecksilberlicht deutlich sichtbare Blau nach dem Lichtbereich zu gar nicht wahrzunehmen ist. wie verschwunden ist. Dann schließt sich, aber ganz in die untere Dunkelheit hinein sich erstreckend, ein dunkles Blau an, das in seiner Ausdehnung dem oben ins Helle sich erstreckenden Rot-Orange genau entsprechend ist. Darauf folgt ein Violett-Blau, das seiner Saumbreite nach genau dem Gelb des oberen Grenzbereichs entspricht. Während also die letzteren zwei Farben durchaus der Farbe nach als polar zu denen des oberen Randes gelten können, der Ausdehnung nach aber wiederum exakt gleich sind, fehlt offenbar zu dem Dunkelrot im oberen Dunkelheitsbereich das entsprechende Blau im unteren Helligkeitsbereich. Diesen Mangel, diese Abwesenheit einer Farbe merkt man erst nach genauerem Zusehen, da ja das Dunkelblau über dem unteren Dunkelbereich sehr deutlich hervortritt und man erst allmählich gewahr wird, daß dieses ja sein Äquivalent in dem hellen Orange-Gelb des oberen Helligkeitsfeldes hat.

Und nun kommt man aus der sonst so strengen Polarität der Kantenspektren sehr bald darauf, daß dieses ins Helle von unten her sich erstreckende Blau ja nur deswegen nicht erscheinen kann, weil es von dem rötlich-gelben, ockerfarbigen Eigenlicht des Heliums überleuchtet und als dessen fast komplementäre (polare) Farbe eben ausgelöscht, neutralisiert wird. Da aber die Eigenlichtfarbe des Heliums viel kräftiger ist als die ohnehin zarte, ins Helle verschwimmende, blaue Spektralfarbe, so ist der Effekt dieses Zusammenwirkens eben doch nur eine kaum sichtbare „Verweißlichung“ der unteren Lichtzone. Gegenüber der sonstigen hellgelbrötlichen Heliumbestrahlung fällt dies aber kaum noch in die Wahrnehmungsmöglichkeit, und eigentlich vermag erst ein durch diese Überlegung geschärfter Blick auch das Genannte als feines Faktum zu erkennen.

Wir sehen also, daß die Einwirkung der Eigenfarbe des Heliums am unteren Rande eine viel nachhaltigere ist als am oberen Rande, indem es hier schon bei den Kantenspektren selbst zu einer Art Farbauslöschung über dem unteren Lichtbereich kommt. Außerdem bewirkt ganz offenbar diese Eigenart der Heliumfarbe, also des Schattenhaften im Lichte selbst, auch nachhaltig hinein in die Lagerung und Ausdehnung der Farbränder- und -Säume. Damit wird nun eine ganz veränderte Ausgangssituation hervorgerufen: das Rot schiebt sich oben ins Helle vor als ein helles Rot-Orange und ebenso das untere Blau ins Dunkle als ein dunkles Blau. Daran schließt sich oben ein fast genau gleichbreites Gelb, unten ein Violett, während dem schmaleren Rot im Dunklen oben eine Blau-Auslöschung im Hellen unten korrespondiert: die „weißlich-heliumfarbene“ Zone. Es sei aber noch ausdrücklich hinzugefügt, daß sich naturgemäß der obere Kantenspektrenbereich als der aktivere von der Lichtseite her erweist, der untere als der aktivere von der Finsternisseite. Das zeigt

besonders deutlich das ganz lichte Rot-Orange und Gelb oben und die damit polar kontrastierenden dunklen Farben Blau und Blau-Violett unten, denen daher auch die Heliumlichtfarbe wenig anhaben konnte.

Gleichzeit erleben wir aber, wie schon bei den Quecksilberlicht-Ver suchen, daß die Farbränder- und Säume viel weiter ausschwingen als beim Sonnenlicht-Spektrum. Das Rot-Orange und Gelb oben reichen weit in das Helle, das Blau und Blau-Violett unten weit ins Dunkle hinein. Die Verhältnisse der Farben zueinander aber sind ganz anders wie beim Quecksilber. Es verhält sich, wie man an den ziemlich scharf wieder sich absetzenden Rändern deutlich erkennen und bestimmen kann

Rot: Hell-Orange: Gelb wie etwa 1:2:2.

Dasselbe Verhältnis besteht am unteren Rande:

Auslöschungszone: Dunkelblau: Blau-Violett wie etwa 1:2:2.

Ausgerüstet mit diesen Verhältniszahlen und den charakterisierten Farbmodifikationen können wir nun den Prozeß verfolgen, der sich vor unseren Augen abspielt, wenn wir die oberen und unteren Randfarbenbereiche ineinandergreifen und so erst die eigentliche Gesamt-Spektrumbildung sich vollziehen lassen. Dies kann wieder auf dreierlei Art geschehen:

a) Durch Verengung des Rechtecks zu einem immer schmaler beleuchteten Helligkeitsstreifen.

b) Durch schärferes Winkeln des Prismas, wodurch die Farbränderbreite gesteigert wird oder schließlich

c) durch allmähliches weiteres Entfernen von dem beobachteten Objekt, was zum selben Ergebnis führt.

Was gewahren wir nun bei einem dieser Vorgänge, namentlich dem ersteren, der auch in den folgenden Zeichnungen dem Ablauf nach charakterisiert werden soll?

Das über dem Hellen breit voreilende gelbe Band, in seinem Gelb verstärkt durch die ockergelbe Helium-Eigenfarbe, erreicht bald die schmale, vorher beschriebene Auslöschungszone, überflutet sie dann, färbt sie gelb ein und greift über die untere Hell-Dunkelgrenze in die Dunkelblauzone hinein, diese in ein Dunkelgrün verwandelnd. (Siehe Figur 3, Phase 2) Zu gleicher Zeit ist aber das nachfolgende Rötlich-Orange (Rotrand plus Helium-Eigenfarbe) über einen großen Teil des Helligkeitsstreifens vorgerückt und schließt sich damit an die jetzt gelb eingefärbte Auslöschungszone mit seinem Farbton an. (Siehe Figur 3, Phase 2) Noch ist aber ein kontinuierliches Spektrum vorhanden mit der Farbenfolge: Rot, Heliumfarben-Rot, Heliumfarben-Gelb, Dunkelgrün, Dunkelblau, Blauviolett.

Bei weiterer Verengung des Spaltes übergreifen sich nun die Farbbänder der beiden Kantenspektren in noch markanterer Weise. Denn nunmehr rückt der gelbe Saum noch weiter vor und greift schließlich über das Violett hinüber, dieses über dem dunklen Grund neutralisierend, so daß sich dort eine erste Dunkelzone herausbildet. (Siehe Figur 3, Phase 3) Zu gleicher Zeit hat aber das Rötlich-Orange mit seinem Farbton das Gelb der

früheren „Auslöschungszone“ abgelöst, ebenso aber einen Teil der vorherigen Dunkelgrünzone umgewandelt. Denn in diesem Teil trifft ja jetzt das Dunkelblau des unteren Kantenspektrums mit diesem bis dahin vorgerückten Rötlich-Orange zusammen und es kommt infolgedessen zu einer zweiten Auslöschungszone. (Siehe Figur 3, Phase 3) Infolge der gleichen Bandbreiten bei den sich neutralisierenden Farbzonen geschieht die Bildung dieser beiden Dunkelzonen gleichzeitig.

Damit ist aber aus dem in Phase 2 noch kontinuierlichen Spektrum das diskontinuierliche der Phase 3 geworden.

Im weiteren Fortgang ändert sich an dieser Sachlage grundsätzlich nichts mehr, nur daß durch die weitere Spaltverengung und die dadurch bewirkte Verlagerung der Farbränder sich die Dunkelzonen zwischen dem Farbstreifen vergrößern und dabei die Farbzonen selbst sich immer mehr zu Farblinien zusammenschieben. Und zwar die helle Lichtzone zu der starken heliumfarbig-sattgelben Linie, die so charakteristisch für das Helium war, daß man es daran spektralanalytisch erkennen konnte. Sie ist eben, wie wir hier klar einsehen können, die einzige Linie, die sich unmittelbar aus dem Spalthelligkeitsbereich herausgestaltet (wie beim Quecksilber die mittlere Grünlinie) während die untere Dunkelgrün- und Blauviolettlinie sich aus dem Dunkelheitsbereich herausbilden, der nur in komplizierter Weise von den Spektralfarben der Kantenspektren überleuchtet und teils zu Dunkelzonen, teils zu diesen zwei Schattenfarb-Linien ausgestaltet wird. So bekommen wir durch eine solche goethianistische Metamorphosenbetrachtung nicht nur Aufschluß über die Farblinien als solche, sondern zugleich über deren feinere Bildegeseetze, insbesondere ihre Beziehung zu Licht und Dunkelheit. Und auch die Dunkelzonen sind keine völlig lichtlosen Zonen, sondern eben solche, in denen sich polare Farbenpaare als Lichtentitäten aufheben, so daß durch diese Neutralisation der Schauplatz dieses Aufhebens, eben der Dunkelgrund selbst, so hervortritt, als ob man ihn mit farblosem Licht eben sichtbar gemacht hätte.

Ein letzter Schritt fehlt uns noch zu dem vollständigen Vier-Linien-Spektrum des Heliums. Diese letzte Metamorphose tritt viel später und viel weniger auffällig ein als die gleichzeitige und deutlich sich profilierende Bildung der beiden untersten Dunkelzonen. Im letzten Stadium der Linienverschärfung gewahren wir noch die Bildung einer sehr schmalen dritten Dunkelzone zwischen dem oberen Dunkelrot und der hellen Helium-sattgelben Linie. Wie ist diese letzte Veränderung erklärlich, die sich also dann vollzieht, wenn nach unten zu die Schattenfarbzonen und die Lichtfarbzonen zu immer schärferen Linien-Bereichen zusammenschrumpfen? (Siehe Figur 3, Phase 4, auch in der vergrößerten Darstellung)

Wir benötigen zur Erklärung dieser letzten Tatsache keinerlei weiterer Annahmen, sondern müssen nur unser Augenmerk noch auf dasjenige richten, was im Verlauf des beschriebenen Vorgangs sich mit dem unteren Kantenspektrum vollzogen hat. Dessen Dunkelheitsfarbzonen Blau und

Blauviolett liefen ja gleichsam stets um die jeweilige Spaltbreite vor den Rot-Orange- und Gelbzonen des oberen Randes her, so daß sie von diesem in die zwei Dunkelzonen sowie die Dunkelgrün- und Dunkel-Blauviolett-Linien ausgeformt wurden. In entgegengesetzter Weise aber bewegte sich gleichsam (wie auch beim Sonnen- und Quecksilberspektrum) nach oben, (nach der hellen Spaltmitte und dem oberen Spaltrand zu) die von uns als notwendig erkannte, aber vom Heliumeigenlicht unterdrückte lichte Hellblauzone. Deren Auslöschung durch dieses Heliumeigenlicht geschieht aber nur in dem Helligkeitsbereich. Sobald sie aber – mit zunehmender Spaltenge – den oberen Spaltrand (wie beim Quecksilber schon geschildert) überschreitet, neutralisiert sie sich in neuer Weise mit dem ihr nun streng polaren Spektral-Rot, das über dem Dunkelgrund gebildet ist. Die Neutralisation über dem Dunkelgrund geschieht aber nur für einen Teil des Dunkelrots, da dieses sich ja in gleicher Breite vom oberen Spaltrande an aufwärts erstreckt, also nie ganz von dem von unten her nachrückenden Hellblau ausgelöscht werden kann, das eben in gleicher Breite vom unteren Spaltrand nach oben strahlt. So bleibt die Differenz der Spaltbreite stets zwischen diesen beiden Farbzonen erhalten. Damit aber entsteht eben die dritte, sehr schmale Dunkelzone nach oben zu ganz deutlich und, durch Abtrennung von der hellen Heliumgelblinie durch eben diese Dunkelzone klar erkennbar, nun die dritte Schattenfarblinie Dunkelrot. (Siehe Figur 3, Phase 4)

Damit sind wir aber zu dem zuvor genannten Vier-Hauptlinien-Spektrum des Heliums mit seinen drei charakteristischen Dunkelzonen gelangt. Nichts anderes leitete uns bei dessen Herleitung als die Gesetzmäßigkeit der sich ausbreitenden Kantenspektren, aus deren Überlagerung unter Mitberücksichtigung der spezifischen Heliumfarbwirkungen sowohl die Spektrallinien wie die sich zwischen diese schiebenden Dunkelzonen gebildet haben. Der Ableitung des Quecksilberspektrums ist diejenige des Heliums zur Seite gestellt. Zugleich wurde dabei deutlich, wie diese Prozesse der Spektrenbildung umso komplizierter werden, je kräftiger die Eigenfarbe des betreffenden Stoffes sich dabei geltend macht.

Für den im Goetheschen Sinne Forschenden ist es nun ganz selbstverständlich, daß zu diesem jetzt beschriebenen und hergeleiteten positiven Heliumspektrum auch ein polares negatives gehört, dessen Gestaltung sich durch die „Auflösung“ eines Dunkelspaltens ebenso ergibt. (Dunkelspalt: schmale Schwarzzone zwischen breiten Helligkeitsbereichen.)

So ergeben sich in streng polarer Konsequenz zu den aus dem Dunkelbereich sich herausgestaltenden Linien, Dunkelrot, Dunkelgrün, Dunkel-Blauviolett im Gegenspektrum drei aus dem Helligkeitsbereich sich heraushebende Linien: Hellblau, Hell-Pfirsichblüt, Hellgelb. Umgekehrt stellt sich aber zwischen diese im Helligkeitsbereich oft fast verschwimmenden Linien eine dunkle schwärzlich-blaue Linie, welche der Linie des hellen Helium-Ockergelbs polar entspricht. Im Ganzen ist das negative Heliumspektrum aber etwas enttäuschend, weil die ersten drei Hell-Linien in der umgeben-

den Heliumfarbenen Umgebung fast verschwinden, sozusagen in der Helligkeit ertrinken und nur die Dunkel-Linie sich umso krasser dagegen abhebt. Dennoch ist es sowohl den Farbtönen wie dem Licht/Dunkel-Ausdruck gegenüber von absolut polarer Ausgestaltung. Nur kann man die hellen Farblinien gegen die noch hellere Umgebung weniger deutlich bei ihm unterscheiden, wie die an sich dunklen Schattenfarblinien des positiven Spektrums gegen die markanteren Dunkelzonen, die deren Umgebung bilden. Die oberste Hellblau-Linie würde man in der Heliumlicht-Umgebung wieder kaum bemerken, wüßte man nicht, daß sie als Entsprechung zu der oberen Dunkelrot-Linie dennoch vorhanden sein muß. Der in sich sichere Gedanke der Polaritätsbeziehung muß gleichsam die Sinne, die Sehkraft erst aktivieren, damit man wahrnimmt, was sich sonst der Aufmerksamkeit fast entzieht.

In einer Tatsache ist aber das entgegengesetzt sich formende negative Spektrum dem positiven an Farbdeutlichkeit überlegen und kann damit sogar über ersteres einen gewissen genaueren Aufschluß geben. (Siehe Figur 4b) Das ist bei jenem Anfangszustand der Linienspektrumbildung der Fall, wo jetzt das am unteren Rande sich bildende Dunkelrot dem von oben herabstrahlenden Dunkelblauviolett begegnet, wie es ja beim negativen Spektrum geschieht. Da kommt es für kurze Zeit – bis an Stelle des Violetts von oben das Dunkelblau tritt – zur Bildung eines im Dunklen aufstrahlenden Pfirsichblüts. Dieser Pfirsichblütregion aber müßte dann im positiven Spektrum die Region des ersten Ineinandergreifens des Hellblaus mit dem von oben herabkommenden Gelb entsprechen, also ein Licht-Grün, als Übergangsphase. (Siehe Figur 4a) Jedoch kommt diese – wie schon früher angedeutet – nicht zu einer wirklich deutlich sichtbaren Ausprägung, weil eben in dieser Region die Überleuchtung durch die Helium-Gelb-Eigenfarbe dies verhindert. So verliert sich dieses Hell-Grün im Heliumlicht-Farbtönen, während im Gegenspektrum das polare Pfirsichblüt durchaus wahrnehmbar erscheint, weil sein Entstehungsbereich in einen Dunkelstreifen, in welchem das Heliumlicht nicht so stört, hineinfällt. Aus der in Phänomenbereich verankerten strengen Polaritätsbeziehung wird also hier vom negativen Spektrum aus ein Vorgang beim positiven Spektrum enthüllt und verständlich, der durch die Ungunst der dort waltenden Farbverhältnisse an diesem selbst mehr gedanklich erschlossen als wirklich beobachtet werden konnte. So können die polaren Spektren auch gegenseitig zur Aufklärung der bei ihnen wirkenden Farbprozesse beitragen und werden selbst zu Beweismittel in dem oft verwickelten farbigen Werdevorgang.

Es ist dieses komplizierte Farben-Ineinanderspiel, wie es hier geschildert wurde, gewiß keine einfache Sache, allein die Wirklichkeit fragt nicht nach der „Einfachheit“ einer Erklärung, sondern nach der Wahrheit eines Vorgangs. Nur wenn man auf dieses Zusammenstimmen der menschlichen Gedankenbildungen mit dem wahren Sachverhalt eines Naturvorgangs ganz verzichtet (oder infolge einer falschen Erkenntnistheorie verzichten zu

müssen glaubt) kann man sich mit „Erklärungen“ zufrieden geben, die vielleicht „einfacher“ sind. Sie sind dann aber notwendig zu den Dingen hinzuerfundene Theorien, die im Grunde nichts über die Wirklichkeit aussagen. Und früh oder spät müssen diese erdachten Theorien zu Situationen führen, die anderen bekanntwerdenden Tatsachen der Sinneswelt widersprechen. Sie müssen dann leider nur zu oft zugunsten neuer Theorien wieder aufgegeben werden, wobei es diesen später ähnlich ergeht. Demgegenüber hält sich die Goethesche Denkmethode an die einfache Folge der Fakten, deren innere konsequente Aneinanderfügung zur gegenseitigen Selbstaufklärung und zum wirklichen Eindringen in die Werdeprozesse der Natur führt. So kann auch auf dem Gebiet der Spektralanalyse nur eine genaue Entwicklung von Tatsachenreihen eine wirkliche naturwahrhaftige Aufklärung über die dabei waltenden Naturkräfte geben und nicht eine in die Erscheinungen hineingedachte Theorie von fertig vorhandenseinsollenden mono-chromatischen farbigen Lichtern.

Auch das Heliumspektrum ist also kein dem Sonnenspektrum gegenüber „einfacheres“ und „ursprünglicheres“ Spektrum von vier monochromatischen „farbigen Lichtern“. Sondern es hat genau wie das Quecksilberspektrum, und auch das Sonnenspektrum vor allem, zunächst ein vollständiges Spektrum. (Siehe die anfangs zitierten Sätze Rudolf Steiners) Erst mit abnehmender Spaltgröße und dem komplizierten Übergreifen und Verändertwerden der Kantenspektralfarben kommt es zu der spezifischen Modifikation des anfänglich kontinuierlichen Spektrums und seiner diskontinuierlichen Endphase als Vier-Linien-Spektrum. Indem die vorhergehende Schilderung die verschiedenen Farbüberlagerungs-Vorgänge usw. die Entstehung dieses Linienspektrums offenbar macht, wird dieses aus einem isolierten und als solchem rätselhaften Faktum zu einem Glied innerhalb eines im Ganzen überschaubaren größeren Komplexes von Naturerscheinungen. So aber kann es erst wahrhaft verstanden und nicht nur als isoliertes Faktum registriert werden. Damit wird die Herleitung der Entstehung des Heliumspektrums aber zugleich zu einem Stück praktizierter Anwendung der Goetheschen Forschungsmethode selbst, indem es deren Anliegen sein muß, kompliziertere Tatbestände der Wirklichkeit auf einfachere überschaubare und diese schließlich auf Urphänomene zurückzuführen.

Das Vier-Linien-Spektrum wurde auf die schon untersuchten Vorgänge bei den Kantenspektren zurückgeführt und diese selbst müssen als Ausgestaltungen des Urphänomens erkannt werden, wie es von dem Verfasser in der schon zitierten Schrift versucht wurde. Einen solchen Weg in jedem einzelnen Falle zu gehen, darauf aber kommt es eben bei der Goetheschen Forschungsmethode an. Und was an Komplikationen des Verständnisses auf einem solchen Wege sich ergibt, muß als in der Natur der Sache liegend hingenommen und durch eine adäquate Gedankenanstrengung bewältigt werden. Die Erkenntnis der Wirklichkeit darf nicht zugunsten einer einfacheren und „bequemeren“ Theorie verschüttet werden. Denn

Erkenntnisbefriedigung kann dem suchenden Menschengenossen doch nur werden, wenn er nach vollzogenem Gedankengang die Überzeugung in sich erfüllt: Du hast mit deinem Denken die Seinsfäden dieser Naturerscheinung genau so verwoben, wie sie tatsächlich in derselben wirksam sind, aber dort als reale Naturkräfte. Daß aber diese Fäden bei einer solchen Erscheinung wie der Bildung des Heliumspektrums – durch das Ineinandergreifen so verschiedener Faktoren – nicht allzu einfach verknüpft werden können, liegt auf der Hand. Dennoch führte auch hier eine in sich konsequente Phänomenologie zu einer in der Sache selbst liegenden Verknüpfung der Tatsachen und damit zu deren vollen Überschaubarkeit und gesetzmäßigen Zusammenhang.

Es braucht kaum für den Kenner der Spektralfarbenprozesse erwähnt zu werden, daß an die bisher beschriebenen „subjektiven“ Versuche sich eine Versuchsreihe der „objektiven“ anschließt, wie das schon beim Quecksilber geschildert wurde. Dazu bedürfte es jedoch der genaueren Darstellung mit einer noch lichtstärkeren Lampe, wobei mit diesem allmählich sich verengenden Spalt Schritt für Schritt auch das „objektive“ positive und negative Spektrum sich bildet mit allen entsprechenden Übergangsphasen bis zur Endphase der zwei polaren Vier-Linien-Spektren. Kennt man die Vorgänge bei den „subjektiven“ Versuchen genau in ihrem Ablauf, wie sie hier beschrieben wurden, so ist das Wesentliche der „objektiven“ Versuche allerdings auch schon mit einer solchen Lampe zu sehen. Für größere Demonstrationen wird man allerdings stärkere Lampen benötigen.

Wie durchwegs die Farbe des Gases entscheidend auf die Gestaltung eines Linienspektrums einwirkt, das möge zum Abschluß noch eine Mitteilung verdeutlichen, die sich in dem Buche von W. Ostwald „Grundlinien der anorganischen Chemie“ (3. Aufl., Leipzig 1912, Verlag von W. Engelmann, S. 479) findet. Dort wird von dem dem Helium ganz nahestehenden Edelgas Argon das Folgende gesagt: „Unterwirft man das Argon in verdünntem Zustande elektrischen Entladungen, so zeigt sich ein sehr mannigfaltiges Linienspektrum. Je nach dem Druck und den elektrischen Bedingungen erhält man drei verschiedene Spektren, indem das Licht der Röhre blau, rot oder weiß aussieht.“ Würde man eine solche Aussage mit ihrem ganzen Gewicht nehmen, so würde man viel leichter an das hier angewendete Erklärungsprinzip für die Linienspektren herankommen. Denn aus derselben folgt doch, daß die Farbe des Gases den entscheidenden Modifikationsfaktor für das Linienspektrum abgibt, wie von selbst. Und hier wird sogar ausgesprochen, daß dasselbe Element verschiedene Spektren erzeuge, die ihre Verschiedenheit nur dem Farbton verdanken, den dasselbe Element unter verschiedenen Bedingungen auszusenden veranlaßt wird. So ist auch unsere Vermutung sehr naheliegend, daß alle noch unaufgeklärten strukturbildenden Faktoren eines Linienspektrums spezifische Einwirkungen der Grundfarbe des Gases auf den Spektralfarbenprozeß als solchen sind. Wie diese Einwirkungen im Einzelnen hervor gebracht werden, bedarf freilich noch weiterer genauerer Untersuchungen.

Weiterhin sei noch bemerkt, daß es nur eines sehr intensiv wirksamen Eigenlichtes eines Stoffes (Gases) bedarf, um die Farben der Kantenspektren entweder ganz in sich aufzusaugen oder gänzlich zu unterdrücken, d.h. als polare Farben auszulöschen. Anklänge dazu zeigten ja schon die besonderen Phasen bei der Bildung des Heliumspektrums. In extremem Falle ist dies aber bei dem intensiven sattgelben Licht des Natriums der Fall. Seine Gelbfärbung ist so stark, daß ihr gegenüber die eigentlichen zarteren Spektralfarben überhaupt nicht mehr aufkommen. Das Gelb und Rot des einen Randes wird von dem alles überleuchtenden Natriumgelb einfach aufgesogen, das Blau und Violett des anderen Randes völlig in seiner Farbe neutralisiert, somit unterdrückt und zusätzlich gelb „überleuchtet“. Man kann das mit der entsprechenden Lampe genau erkennen, aber auch schon mit einem gewöhnlichen Prisma feststellen, wenn man die verschiedentlich bei Straßenbeleuchtungen verwendeten starken Natriumdampflampen betrachtet. So ist es kein Wunder, daß in diesem Falle das ganze Linienspektrum zu einer einzigen Gelblinie „verkümmert“ (Siehe Rudolf Steiners Ausdruck), der sogenannten D-Linie (Na-Linie). Das Natrium-Linienspektrum besteht also nur aus einer einzigen Linie, auf welche hier durch intensive Eigenlicht-Überstrahlung das Gesamtspektrum zusammengeschrumpft ist.

Was beim Helium also in den ersten Phasen schon erfahren werden konnte (Überstrahlung der Hellblau-Zone durch das stärkere Heliumeigenlicht), das ist beim Natrium durchgehend und in voller Totalität für alle Spektralfarben der Fall. Hier ist die Eigenkraft, sozusagen die Egoität des Elementes in seinem Lichtverhalten so groß, daß durch sie das ganze Spektralfarbenspiel unterdrückt wird und von dem ganzen Spektrum eben nur die Eigenfarbenlinie des Natriums übrig bleibt.

Gibt das Sonnenlicht als Licht dem prismatischen Farbenspiel seine vollste Selbstentfaltungsmöglichkeit, wird dieses Farbenspiel beim Quecksilberlicht, namentlich durch die Dunkelzonen, schon stark modifiziert, den Grundfarben nach aber noch einigermaßen erhalten, so beginnt sich beim Heliumlicht die Eigenfarbe schon stärker durchzusetzen und erreicht in dieser Wirkung beim Natriumlicht ein absolutes Maximum, indem dieses sein Eigenlicht allein zur Geltung bringt und das Licht aller Spektralfarben völlig unterdrückt. Die zunächst neutrale farblose Mitte zwischen den Kantenspektren, die beim Sonnen- und Quecksilberlicht sich bei weiterer Spaltverengung zum Grün umwandelt, wird beim Helium und beim Natrium immer resoluter von der Eigenfarbe des leuchtenden Gases in Anspruch genommen. Damit aber wird gleichzeitig klar, daß die dortige Farblinie niemals ihrer Natur nach dasselbe ist, wie die entsprechende Linie im Sonnenlicht, sondern eben die spezifische Eigenlichtfarbe des Gases, die nur rein farbmäßig einem bestimmten Farbton im Sonnenlicht vergleichbar ist. Nicht das Sonnenlicht besteht aus einer großen Anzahl „farbiger Lichter“ monochromatischer Natur, sondern die einzelnen scheinbar „monochromatischen“ Linien der Gase sind die Ergebnisse komplizier-

ter Farbüberlagerungen und teilweise direkt die Wiedergabe der Eigenlichtfarbe des betreffenden Stoffes. Die ganze Deutung und Begriffsbildung im Bereich der spektralanalytischen Phänomene erfährt damit eine tiefgreifende Veränderung und Hinwendung auf einen neuen Realitätscharakter.

Es wird einer weiteren Arbeit vorbehalten bleiben müssen, noch auf einige andere Stoffe (Gase) mit ausgeprägten Spektralliniensbildern einzugehen und noch genauer aufzuzeigen, wie auch dort die Eigenfarbe des Gases für die Bildung des Spektrums ausschlaggebend ist. Vielleicht kann aus einer solchen umfassenderen Versuchsreihe dann auch hervorgehen, welchen Umständen die Ausdehnungsunterschiede der Farbzonen, die Begrenzungsschärfe der Ränder und die Verrückung derselben gegenüber den Hell/Dunkel-Grenzen ihre Entstehung verdanken. An der Ableitungsmöglichkeit jedes Spektrums aus den Goetheschen Kantenspektren im Zusammenhang mit dem Eigenfarb-Charakter des betreffenden Gases kann aber schon jetzt kein Zweifel mehr bestehen.

Somit gilt der Satz: Jedes Linienspektrum eines leuchtenden gasartigen Stoffes ist eine spezifische Metamorphose des einheitlichen und in sich ausgewogenen Sonnenspektrums, die insbesondere durch die Eigenlichtfarbe des betreffenden Stoffes bewirkt wird.

Die bei dem Linienspektrum sich bildenden „Dunkelzonen“ sind Orte spezifisch polarer Farbneutralisationen auf Dunkelgrund. Das gleichzeitig jedem positiven Spektrum polar entsprechende negative Linienspektrum zeigt stets die „komplementären“ Farben und hat an Stelle der Dunkelzonen entsprechende „Helligkeitszonen“, in denen gleichfalls durch spezifisch polare Farbneutralisationen, aber jetzt auf Helligkeitsgrund, die Eigenfarbe des Gases für sich erscheint.

Anmerkungen

Zur Vorbemerkung des Herausgebers: Wir möchten hier nicht unterlassen, auf die beiden Bände „Grundriß einer Chemie nach phänomenologischer Methode“ im Zbinden Verlag Basel von Gerhard Ott hinzuweisen.

- ¹ Ein Spektrum ist ein Bild, das von einem engen, durch eine Lichtquelle beleuchteten Spalt beim Durchgehen dieses Lichtes durch ein Prisma auf einem Schirm aufgefangen wird. Dabei entstehen von diesem Spalt je nach der Art der Lichtquelle charakteristische Farbbänder.
- ² Unter Prisma versteht man einen keilförmig gestalteten Glaskörper, durch den Licht hindurchdringen kann, wobei jedoch Ablenkung des Lichtes stattfindet und Farberscheinungen auftreten.
- ³ s. dazu das sehr interessante Buch von E. Pilgrim: „Entdeckung der Elemente“, Mundus-Verlag, Stuttgart.
- ⁴ aus: „Entdeckung der Elemente“ von E. Pilgrim, Mundus-Verlag, Stuttgart.
- ⁵ Siehe die Schrift „Zur Entstehung der prismatischen Farben“ und „Zum Verständnis der Farbmischung im Sinne Goethes“ vom Verfasser, im Zbinden Verlag, Basel.
- ⁶ Der unter dem Pseudonym Max Barth Schreibende war der aus Konstanz stammende und 1950 verstorbene Max Rebholz, der in einer Zeit tiefster Zerrüttung deutschen Geisteslebens damit der Unzerstörbarkeit dieses Geistes ein leuchtendes Wahrzeichen geschaffen hat.
- ⁷ Unter „subjektiven“ Versuchen versteht Goethe diejenigen (an sich natürlich ebenfalls objektiven!) Versuche, wo der Forschende selbst mit dem Auge durch das Prisma schaut und die dabei sich einstellenden Farbphänomene wahrnimmt.
- ⁸ unter Rand versteht Goethe ein schmales, unter Saum ein breiteres Farbenband.
- ⁹ Siehe Anmerkung 5.
- ¹⁰ Ein Geradsichtprisma stellt eine Prismenkombination dar, die die Brechung ausschaltet ohne die Farbvorgänge aufzuheben. Stellt man dies hinter der Linse auf, so kann der ganze Spaltabbildungsvorgang in einer geraden Linie erfolgen, was die Beobachtungsbedingungen sehr vereinfacht.
- ¹¹ Aus ähnlichen Gründen tritt zum Schluß auch noch eine sehr schwache „Gelblinie“ zwischen der leuchtenden rot- und grün-Linie ganz matt hervor.
- ¹² sowie der Spektren der weißglühenden festen und flüssigen Körper.
- ¹³ Siehe Anmerkung 5.
- ¹⁴ Siehe „Versuch, das Problem der farbigen Schatten von einer neuen Seite her zu beleuchten“ vom Verfasser, in „Die Menschenschule“ 1962, Heft 6/7.

Berichtigung

Das Manuskript zu dieser Veröffentlichung lag fertig vor, als der Verfasser von einer schweren Krankheit befallen wurde. So konnten die Farbtafeln nicht mehr eingehend vor der endgültigen Drucklegung mit ihm besprochen werden. Infolgedessen kam es zu **kleineren** Ungenauigkeiten, namentlich bei der Fig. 4 b, deren Beseitigung infolge der sonst entstehenden hohen Druckkosten nicht mehr möglich war. Auch war durch das gewählte Druckverfahren selbst nur eine beschränkte Farbzahl möglich.

So darf der Leser vielleicht gebeten werden, an Hand dieses beigelegten Berichtigungsblattes die nötigen Korrekturen selbst vorzunehmen. Folgendes ist zu verdeutlichen bzw. zu korrigieren.

- 1) **Fig. 2, 4. Phase:** Der Pfirsichblüt- und Gelb-Streifen im Mittelfeld müssen etwas schmaler sein und in Breite und Anordnung genau dem Bild der Fig. 1, 4. Phase, entsprechen.
- 2) **Fig. 4 a, Vorstufe zu Phase 2:** Das Hellblau links müßte viel lichter sein, ebenso das Grün in der Mitte heller und gelblicher, so daß es sich deutlich von dem Grün der Fig. 4, 4. Phase, unterscheidet.
- 3) **Fig. 4 b:** Hier müssen die Worte „Negatives Heliumspektrum“ als Überschrift höhergerückt werden und nach Fig. 4 b die Worte: „Vorstufe zu Phase 2“ an ihrer Stelle erscheinen. Das Wort „2. Phase“ links unten muß wegfallen. — Ferner müssen alle entsprechenden Felder mit denen der Fig. 4 a (pos. He-Sp.) deckungsgleich gestaltet werden. — Die links unten und rechts oben überkragenden Ränder müssen **ganz** weiß bleiben; die jetzt teilweise in sie unten und oben eingedruckten Farben (orange-gelb unten, blau oben) müssen getilgt werden. — Das Hellblau müßte wieder viel lichter sein. —

Das rechte schwarze Feld muß nach unten entsprechend Fig. 4 a vergrößert und daran anschließend unter dem Gelbstreifen ein Weiß-Streifen in Art und Ausdehnung des unteren entsprechenden Schwarzstreifens bei Fig 4 a angesetzt werden. — Die Fig. 4 a und 4 b müssen dann flächenmäßig genau deckungsgleich, farblich ungefähr polar ausfallen.