

# Zeitschrift für angewandte Chemie

I. Bd., S. 25—32

Aufsatzteil

23. Januar 1917

## Über Analyse und Synthese der Farben.

VON WILHELM OSTWALD<sup>1)</sup>.

„Mit dem Problem, über das ich Ihnen heute einige Mitteilungen machen will, ist es mir in den vielen Jahren, seit ich mich mit dem Gedanken daran beschäftigt habe, eigentümlich genug ergangen. Wenn ich mit Fachleuten über die Möglichkeit sprach, die Farben nach Maß und Zahl zu bezeichnen, so wurde mir häufig erklärt: Das ist ja gar nicht nötig. Wir schicken einfach Muster hin, danach wird gefärbt, und die Sache ist erledigt. Diese Auffassung hat mich an eine andere Geschichte erinnert, die ich einmal in den „Fliegenden Blättern“ fand, dieser unerschöpflichen Quelle von praktischer Weisheit. Es wurde einmal in der Kinderstube die Forderung gestellt, man müsse doch eigentlich mit dem Thermometer nachsehen, ob das Badewasser die richtige Temperatur hat. Darauf hat die „erfahrene“ Kinderfrau erklärt: Was Thermometer! Die Sache ist doch so einfach wie möglich: Wird das Kind blau, dann ist das Wasser zu kalt, und wird das Kind rot, dann ist es zu warm; wozu braucht man da noch ein Thermometer? (Heiterkeit!)

Damit sind wir alsbald mitten in der Farbenlehre darin, die ich heute zum Gegenstand unserer Besprechung machen will.

Die Farbenlehre wird gegenwärtig von Chemikern und Physikern und Physiologen getrieben; fragt man sich aber, wer eigentlich grundsätzlich die Aufgabe haben sollte, sich mit dieser Wissenschaft zu beschäftigen, so ist die Antwort: Dazu gehört eine Menschenklasse, die es zurzeit nur in kleiner Zahl gibt, nämlich die wissenschaftlichen Psychologen. Denn die Farbe ist eine Empfindung, und die Wissenschaft von der Farbe gehört demgemäß jener Wissenschaft zu, die sich mit den Empfindungen beschäftigt. Die Sprache ist hier ungenau und verwirrend wie immer. Wir hören ja, man baut Farbenfabriken, man kauft Ölfarben, der Physiker spricht von Interferenzfarben und Polarisationsfarben. Wenn man aber genau nachsieht, so ist das, was man hier unexakt Farbe nennt, nur ein Faktor (der nicht einmal unbedingt wesentlich ist), um die Empfindung der Farbe hervorzurufen. Daß aber die Empfindung hervorgerufen wird, daß Farbe im eigentlichen Sinne entsteht, dazu gehört der Mensch mit seinem Auge und einem entsprechenden Urteil, denn die Empfindung der Farbe ist ganz und gar von der psychischen Tätigkeit des sehenden Menschen abhängig. Nun sehen Sie, weshalb wir in der Farbenlehre noch so vielfach auf dem Standpunkt der erfahrenen Kinderfrau stehen. Es gibt sehr zahlreiche Physiker, Physiologen, Chemiker, aber einen regulären Beruf des Psychologen gibt es noch immer nicht, obwohl, wie Ihnen bekannt sein wird, beispielsweise in Amerika eine Reihe von erfolgreichen Versuchen gemacht worden sind, junge Leute durch eine psychologische Untersuchung über ihre Haupteigenschaften hinsichtlich der Frage der Berufswahl aufzuklären, sicherlich mit demselben segensreichen Erfolg, wie ihn jede rationelle Anwendung der Wissenschaft mit sich bringt.

Daß es sich bei der Beurteilung der Farbenempfindungen um eine rein psychische Sache handelt, möchte ich Ihnen durch einen Versuch darlegen. Der Versuch rührt von Hering her; ja, er findet sich im wesentlichen bereits bei Helmholtz angegeben. Es sind aber nicht die Konsequenzen gezogen worden, die ich für wesentlich halte, und die uns alsbald die Erkenntnis gewähren, wie maßgebend das psychische Element beim Farbsehen ist. Herr Donner wird den Versuch freundlich vorbereiten; um die Zeit bis zur Ausführung auszufüllen, will ich voraussagen, um was es sich handeln wird. Ich werde Ihnen eine Farbercheinung in Gestalt einer Kreisfläche auf dunklem Grunde wie ein aufgehender Mond zeigen; deren Farbe wird von Ihnen als lebhaft Orangegelb beurteilt werden. Dann wird mittels eines zweiten Projektionsapparates, während das Licht unseres „Mondes“ vollkommen unverändert bleibt, ein heller Rahmen um

den Kreis geworfen; sofort erscheint der Kreis kastanienbraun. Der Rahmen wird abgedeckt; der Mond ist wieder rotgelb. So erscheint also das gleiche Licht einmal rotgelb und das anderemal braun, bloß weil wir es in anderer Umgebung sehen.

Wir können diesen Versuch mit allen möglichen Farben machen; wir überzeugen uns jedesmal, daß durch den bloßen Umstand, daß der weiße Rahmen um das Farbfeld erscheint, eine starke Veränderung unserer Farbenempfindung eintritt, obwohl die physikalisch-energetischen Verhältnisse des farbigen Feldes vollständig unverändert geblieben sind.

Wir werden dadurch zu einem Punkt geführt, der von vornherein erledigt werden muß. Es gibt zwei Arten Farbe, die man sorgfältig unterscheiden muß; ich nenne sie die unbezogenen und die bezogenen Farben. Was Sie in dem dunklen Feld sahen, war eine unbezogene Farbe. Das sind Farben, wie man sie in dem Spektralapparat und bei den meisten optischen Experimenten sieht. Es erscheint bloß eine Farbe in dem lichtlosen Gesichtsfeld. Niemand kann in einem Spektralapparat, auch wenn der Apparat als Farbmischer eingerichtet ist, wo jede Variation möglich ist, jemals Braun oder Olivengrün sehen; man sieht nur Abstufungen zwischen den gesättigten Farben und Weiß, aber niemals eine von den sog. gebrochenen oder trüben Farben.

Das Gebiet der gebrochenen und trüben Farben gehört vorwiegend den Körperfarben zu, ist aber nicht ausschließlich auf sie beschränkt. Folgender Versuch zeigt es; leider läßt er sich nicht objektiv machen. Wenn man ein solches trübes Grüngrau, wie es durch Vermischung von Gelb mit Schwarz entsteht, so betrachtet, daß es allein in einem dunklen Gesichtsfeld erscheint, z. B. durch ein innen geschwärztes Rohr, so sieht man nur das Gelb; von dem Olivgrün sieht man nichts, es verschwindet unter dieser Bedingung vollständig.

Biologisch hat sich unser Auge dafür entwickelt, daß wir uns in der Umwelt zurechtfinden. Die Umwelt erleidet unaufhörlich große Veränderungen der objektiven Lichtstärke, mit der wir biologisch nicht allzu viel zu tun haben. Unser Auge ist so eingerichtet, daß wir diese Änderungen kompensieren; die Iris zieht sich zusammen, die Retina wird unempfindlicher, wenn die Lichtstärke zunimmt. Unser Auge arbeitet immer dahin, den Wechsel der äußeren Beleuchtung so wirkungslos wie möglich für die Empfindung zu machen und damit so gut wie möglich zu eliminieren. Was wir sehen, ist nicht die absolute Helligkeit der Farben, sondern es ist das, was ich im Anschluß an Hering das Remissionsverhältnis der Oberflächen nenne. Wir sehen ein Blatt Papier in einem dunklen Zimmer als eine weiße Fläche, obwohl das gleiche Weiß schwarz gesehen wird, wenn ich es in einer Landschaft erblicke, wo die Sonne scheint. Ebenso können wir ein Schwarz für Weiß halten, wenn es stark beleuchtet unter Umständen erscheint, wo wir von dieser starken Beleuchtung nichts wissen, und wir annehmen, es stehe unter durchschnittlicher Beleuchtung. Wir erklären uns die ganze Umwelt an diesem Remissionsverhältnis. Wir nennen einen Körper schwarz nicht, wenn er uns eine bestimmte sehr kleine absolute Lichtmenge zusendet, sondern wenn er im Verhältnis zu allen anderen Körpern sehr wenig Licht remittiert. Das ist das, wofür wir uns in erster Linie interessieren. Um diese Erscheinung mühen sich die Farbehemiker, wenn sie alle 14 Tage einen neuen Farbstoff in die Welt schicken; sie bemühen sich darum, die Hilfsmittel zu finden, um die Remissionsverhältnisse in einem ganz bestimmten Sinn zu beeinflussen. Das ist also das maßgebende. Wir werden uns deshalb ganz vorwiegend mit den bezogenen Farben zu beschäftigen haben, mit den Farben, die sich durch die Remissionsverhältnisse unserer Umwelt ergeben.

Die Farbe ist nun eine ungemein mannigfaltige Erscheinung, und es fragt sich: Wie finden wir uns in dieser Mannigfaltigkeit zurecht? Die erste Antwort heißt: Wir können diese ganze Mannigfaltigkeit teilen in zwei Gruppen, die ich Ihnen etwa durch diese beiden Blätter veranschaulichen kann. (Vorweisung.)

Wir haben hier einerseits eine bunte Farbe, andererseits ein neutrales Grau. Dies (vorzeigend) ist eine bunte Farbe, nämlich rot. Manch-

<sup>1)</sup> Vortrag, gehalten auf der Hauptversammlung des Vereins deutscher Chemiker in Leipzig, am 21./10. 1916, in der gemeinsamen Sitzung aller Fachgruppen.

mal sagt man auch: Jenes ist farblos, dies farbig; aber dabei kommt man in Konflikte durch die Nachlässigkeit und Unexaktheit der Sprache. Was wir sehen oder was unser Gesichtsfeld erfüllt, sind ausschließlich Farben. Was wir sehen, ist die zweidimensionale Mannigfaltigkeit des Gesichtsfeldes, das mit Farbflecken ausgefüllt ist; erst durch unsere Erfahrung deuten wir diese Farbflecken als Zeichen der Umgebung, in der wir uns befinden. Also Farbe ist das primäre Element alles Sehens; für die Gesichtsempfindung gibt es zunächst nichts als Farben.

Wir ordnen die Farben in die beiden großen Gruppen der unbunten Farben, nämlich Grau mit den Endpunkten Weiß und Schwarz, und der bunten Farben, die die bekannte große Mannigfaltigkeit bilden.

Die erste methodische Frage, die wir zu stellen haben, ist: Wie ist die Mannigfaltigkeit der unbunten Farben beschaffen? Nun, das weiß jedermann: sie geht von Weiß an, geht durch die grauen Stufen herunter bis zu Schwarz. Gibt es ein ideales Weiß? Antwort: Nein, ein Ideal ist ein Ding, das immer nur angenähert, nie vollständig erreicht wird. Also wie weit geht die tatsächliche Weiße? Hier muß ich sagen, daß unsere wissenschaftlich so vorgeschrittene Zeit noch ganz rückständig ist. Wir haben keine Untersuchung über das normale Weiß; wir haben dafür zunächst nur den schönen lateinischen Namen *Albedo*, kennen aber nicht ihren Wert an irgendeiner wohldefinierten weißen Fläche. Das theoretisch vollkommene Weiß ist definiert durch vollständige Zerstreuung ohne jede Spiegelung und ohne jede Absorption. Die Ausfüllung dieser Lücke ist eine Aufgabe für die physikalisch-technische Reichsanstalt; ich hoffe, sie wird die Art vornehmen. Einstweilen müssen wir uns also mit einer vorläufigen Annahme begnügen. Da besteht nun eine große Übereinstimmung bei allen denjenigen, die sich mit derartigen Fragen beschäftigt haben: das Normalweiß ist gefälltes Bariumsulfat.

Ich habe hier Bariumsulfat so aufgetragen, daß eine nichtspiegelnde Oberfläche entsteht. Es ist ein Objekt, das noch weißer ist als frischgefallener Schnee, der sonst als Urbild der Weiße gilt. Frischgefallener Schnee ist tatsächlich weniger weiß als Bariumsulfat; er imponiert uns nur als Weiß, weil wir ihn in großen Flächen sehen. Ich glaubte eine Zeitlang, daß basisches Wismutnitrat noch etwas weißer wäre, weil es, wie Sie wissen, von den Damen als weiße Schminke benutzt wird, also wahrscheinlich ein Optimum nach dieser Richtung darstellt. In der Tat kommt basisches Wismutnitrat dem Ideal von Weiß praktisch näher als fast alles andere, was ich sonst untersucht habe. Es ist aber doch nicht ganz so weiß wie das Bariumsulfat, das ja vom chemischen Standpunkt alle Eigenschaften in sich vereinigt, um möglichst reine Niederschläge zu geben; auch ist der Brechungskoeffizient groß genug, um eine gute Remission zu sichern.

Schwarz liegt in der Unendlichkeit. Wenn man einen innen schwarzen Kasten mit einem kleinen Loch versieht, so hat man in umgekehrter Verwendung den berühmten schwarzen Körper von Kirchhoff, mit dem die Physiker, die sich mit den Strahlentheorien beschäftigen, so viele Erfolge erzielt haben. Dieses Loch bildet die Verwirklichung eines idealen Schwarz. Es gibt kein Objekt, dessen Remission so klein wäre. Dr. Kraus hat mich auf schwarzen Seidensamt als den schwärzesten Körper aufmerksam gemacht, aber er remittiert immer noch 0,2% Weiß.

Zwischen diesen beiden Enden muß für Weiß und Schwarz nun eine Skala gemacht werden. Wir machen die Skala so, daß wir nahe an die Unterschwelle kommen. Sie wissen, wir können zwei graue Farben haben, die quantitativ verschieden zusammengesetzt sind, die wir aber doch nicht unterscheiden können, denn für derartige Unterscheidungen gibt es eine Schwelle, unterhalb welcher eine Verschiedenheit nicht empfunden wird. Für gute Verhältnisse, nicht die ganz allerbesten, aber solche wie sie für viele wissenschaftliche Aufgaben in Frage kommen, werden wir die Schwelle etwa bei 1% ansetzen können. Infolgedessen erscheint eine gleichförmige Einteilung der weiß-schwarzen Skala in hundert Teile entsprechend so und so viel Prozent des remittierten Lichtes nahe gelegt. Es fragt sich nun, wie eine solche Skala aussieht. Ich habe keine mitgebracht, will aber einen charakteristischen Punkt zeigen. Wenn man weiß, daß das schwärzeste Schwarz, das als Aufstrich hergestellt werden kann, immer noch 2% Licht remittiert und das weißeste Weiß 100%, so wird man das mittlere Grau mit 51% Licht ansetzen. Hier habe ich solches Weiß und Schwarz (Vorweisung), und hier habe ich ein Grau mit 51% Weiß und 49% Schwarz. Es sieht erstaunlich hell aus; kein Mensch wird sagen: Das steht in der Mitte zwischen Schwarz und Weiß. Wenn ich schätze, was der Empfindung nach in der Mitte zwischen Schwarz und Weiß steht, so muß ich eine Tafel mit ungefähr 14% Remission nehmen. Wir haben also die Reihe 2, 14 und 100%

Weiß. Was liegt hier vor? Das Fechner'sche Gesetz, wonach sich die Reize in geometrischer Reihe steigern müssen, wenn die Empfindung in arithmetischer Reihe steigen soll. 2 zu 14 verhält sich wie 14 zu 98; die 2% schenken Sie mir. Wenn die abgestuften Lichtmengen in gleichem Verhältnis stehen, so beurteilen wir sie als gleichabständig. Hier zeige ich eine Grauleiter, die nach dem Fechner'schen Gesetz gemacht ist; wir empfinden alle Stufen als gleich. Nur das dunkle Ende erscheint vielleicht als etwas zu eng. Das hängt von der Gesamthelligkeit ab.

Um die Lichtunterschiede zu messen, gibt es einfache photometrische Methoden. Damit haben wir das Gebiet der unbunten Farbe erledigt, denn wir haben eine zahlenmäßige Definition für jedes beliebige Grau gewonnen.

Nun kommt das andere Gebiet, das der bunten Farben; da kommen wir nicht so einfach zu Wege. Unsere unbunte Reihe war eine einfache Mannigfaltigkeit, die linear zwischen zwei Grenzwerten liegt; bei den bunten ist es nicht so. Nehmen wir irgendeine Farbe, etwa das Rot, das Sie da (vorzeigend) sehen. Dieses Rot können wir in verschiedener Weise ändern. Wir können es gelblicher und bläulicher machen, d. h. im Farbkreise hin und hergehen. Das nennen wir die Änderung des Farbtone. Jede bunte Farbe können wir in ihrem Farbton ändern.

Wenn Sie den Farbkreis hier ansehen, werden Sie gleich bemerken, daß diese Mannigfaltigkeit der bunten Farben wesentlich verschieden ist von der Mannigfaltigkeit der schwarzweißen Reihe. Sie läuft nicht von einem Anfangs- zu einem Endpunkt, sondern sie läuft in sich selbst zurück. Verfolgen wir die Farbtöne etwa vom Gelb ab, so sehen wir sie zunächst dem Gelb immer unähnlicher werden bis etwa zum Blau; gehen wir noch weiter, so wird die Farbe aber nicht noch unähnlicher, sondern sie wird wieder ähnlicher. Grün nähert sich dem Gelb und läuft schließlich in das Gelb zurück. Also während die graue Reihe durch eine Gerade dargestellt wird, wird die Reihe der Farbtöne durch einen Kreis dargestellt. Die Gerade hat einen natürlichen Anfangs- und Endpunkt, der Kreis aber hat keinen Anfangs- und keinen Endpunkt. Man muß diesen willkürlich festsetzen. Im übrigen besteht dieselbe Stetigkeit der Übergänge wie in der grauen Reihe. Als bestimmt verschieden kann man je nach dem Empfindlichkeitsverhältnisse 300—500 Farbtöne unterscheiden.

Haben wir den Anfangs- und Endpunkt festgesetzt, so müssen wir noch die stetige Mannigfaltigkeit dieses Umfanges in Stufen teilen. Dazu haben wir folgendes Verfahren. Es gibt im ganzen Farbkreis für jeden beliebigen Farbton einen anderen, und nur einen, der bei optischer Vermischung ein neutrales Grau ergibt. Wir nennen solche Farbenpaare Gegenfarben. Wenn wir die Farben so ordnen, daß sie sich diametral einander gegenüberstehen, so können wir aus dem Farbkreise alle zusammengehörigen Gegenfarben ablesen. Man kann eine Stufe von der anderen bei einer Einteilung des Kreises in 100 Stufen noch gut unterscheiden. Können wir also die eine Hälfte der Farben richtig ordnen, so ist die andere Hälfte durch die diametralen Gegenpunkte gleichfalls geordnet. Es entsteht nun die Frage, wie man die eine Hälfte ordnen soll. Wenn wir die Farben mit Perlen an einer Schnur vergleichen, so können wir die einzelne Perle immer noch hin- und herschieben, wir wissen noch nicht, wo wir sie zur Ruhe bringen sollen. Hier schlage ich nun ein Prinzip vor, das Prinzip der inneren Symmetrie. Nehmen wir irgendwelche zwei Farben und mischen sie optisch zu gleichen Teilen (das ist leicht gesagt, aber nicht so leicht gemacht), so entsteht eine Mischfarbe, die dazwischen liegt; die muß in dem Kreise genau in die Mitte zwischen die beiden Teilfarben gesetzt werden. Das ist das einfache Prinzip. Wenn Sie einen Augenblick nachdenken, so finden Sie, daß hierdurch die Stellung jedes Farbtons vollständig definiert ist. Nehmen wir zwei naheliegende Farbtöne a und b und suchen dazu experimentell einen Farbton c auf, der mit a zu gleichen Teilen gemischt b ergibt, so sind nach dem Prinzip der inneren Symmetrie a, b und c gleich weit entfernt. So können wir genau, wie man in einen Kreis mit einem Zirkel die gleichen Sehnen absteckt, hier die gleichen Abstände des Farbtons abstecken und den ganzen Kreis nach einem konstanten Maß durchteilen. Das ist in dem vorgezeigten Farbkreise geschehen.

Aber das führt auf eine Frage, die uns noch ein wenig wird beschäftigen müssen, nämlich auf die Frage nach den gleichen Mischungen, die wir mischen wollen. Die Farben, wie sie in der Natur vorkommen, sind nicht rein. Wir haben trübe und reine Farben gleichen Farbtons und fragen nach der Art dieser Mannigfaltigkeit. Hier haben wir Farben, welche alle den Farbton 23 (Hechrot) haben, mit ihren Abkömmlingen, nicht ins Unbegrenzte, aber mit Stufen. Sie können das reine Rot Nr. 23 erstens durch Zusatz von Weiß ab-

wandeln, dadurch wird es immer heller und gleichzeitig weniger rein. Dann aber können wir dasselbe Rot durch Zusatz von Schwarz bis ins reine Schwarz führen. Endlich können wir vom reinen Rot irgendeine andere Linie nach der schwarz-weißen Seite ziehen, d. h. wir können dasselbe Rot durch Zusatz irgend eines Grau bis in das reine Grau überleiten.

Es ist also nicht an dem, daß ein jeder Farbton, wenn wir ihn uns zunächst als rein denken, nur eine Variation, die der Reinheit, hätte. In senkrechten Linien sind hier die Farben von (annähernd) gleicher Reinheit angeordnet. Sie sehen, daß z. B. die Farben mit 10% Rot ganz außerordentlich verschieden aussehen. Wo wir 90% Weiß dazu nehmen, kann man das Rot kaum erkennen; bei 90% Schwarz ist das Rot sehr stark ausgeprägt. Also Weiß und Schwarz verhalten sich da sehr verschieden. Darauf wollen wir uns aber nicht einlassen; wir wollen nur sagen, daß wir die weiteren Abwandlungen, die wir haben, nicht ganz einfach erledigen können. Wir haben erstens die Reinheit in Stufen 0—1, wir haben aber für jeden Reinheitsgrad bezüglich des unbunten Anteils sowohl Schwarz wie Weiß, wie auch Grau, d. h. Schwarz und Weiß in irgendeinem Verhältnis gemischt, zur Verfügung. Es genügt also nicht, wenn wir die Mannigfaltigkeit der Farben nach Farbstufe und Reinheit ordnen, wir müssen noch ein drittes Moment hercinnehmen, das Grau.

Nennen wir die reine Farbe  $r$ , die schwarze Komponente  $s$ , die weiße Komponente  $w$ , dann gilt für die gesamte Farbenlehre die Gleichung

$$r + w + s = 1.$$

Jede Farbe besteht also aus drei Elementen, schwarz, weiß und reiner Farbe, und diese Gleichung gilt nicht nur symbolisch, sondern, und das ist die maßgebende und überaus wichtige und weitreichende Bedeutung dieser Gleichung — sie ist streng quantitativ. Alles, was wir an Farben erforschen mögen, ist durch diese Gleichung bestimmt, und wenn wir eine Vergleichung aus einem uns bekannten Gebiet haben wollen, so möchte ich sagen: die Bedeutung dieser Gleichung für die Farbenlehre ist vergleichbar der Bedeutung des Ohm'schen Gesetzes für die Lehre von den elektrischen Strömen. Man kann nichts mit den Farben vornehmen, ohne mit dieser Gleichung zu tun zu bekommen, und alle Probleme können der Lösung nähergeführt werden durch die Benutzung dieser Gleichung. Ist  $w + s = 0$ , so haben wir es mit einer reinen oder gesättigten Farbe zu tun; ist  $r = 0$ , so haben wir es mit einer grauen Farbe zu tun, die aus Weiß und Schwarz entsteht; ist  $w + r = 0$ , so haben wir reines Schwarz. Also umfaßt diese Gleichung die gesamte Möglichkeit der Farben.

Diese Mannigfaltigkeit hat nichts zu tun mit der Dreifarbenlehre. Die Herstellung von Mischfarben aus drei Komponenten ist ein Problem, das wir heute nicht berühren werden. Es handelt sich nur um die quantitative Analyse jeder einzelnen Farbe. Dieses Gelbgrau z. B. besteht aus so viel Gelb von einem bestimmten Farbton, so viel Schwarz, so viel Weiß, und ist damit eindeutig bestimmt.

Nun ist noch die Frage zu beantworten: was ist eine reine oder gesättigte Farbe? Der Physiker ist mit der Antwort gleich bei der Hand; er sagt: eine reine oder gesättigte Farbe besteht aus Licht von einer einzigen bestimmten Wellenlänge. Wir können uns leicht überzeugen, daß dies grundfalsch ist. Sie erinnern sich aus dem Aufsatz von Dr. Kraus in Ihrer Zeitung, wie er die Schwierigkeit schildert, ein Farbenfilter mit spektral reinem Gelb zu bekommen. Er hat das schönste Gelb genommen, hat es zwanzigmal aufeinandergelegt, aber mit dem Spektroskop besehen, war es weit entfernt, reines Gelb zu sein. Sie wissen, daß der rein gelbe Streifen im Spektrum ein ganz minimales Bändchen ist, es enthält vielleicht ein oder zwei Prozent von dem gesamten Licht. Nun kennt aber jeder das Aussehen einer rein gelben Fläche, das sind nicht ein oder zwei Prozent, sondern 90%. (Verdunklung des Hörsaals, Spektrum.)

Wir haben hier zunächst ein vollständiges Spektrum. Schalte ich nun ein reingelbes Glas in den Gang der Lichtstrahlen, so bleiben keineswegs nur die gelben Strahlen übrig. Vielmehr geht der größere Teil des Spektrums, vom äußersten Rot bis zum Blaugrün, vollständig und ungeschwächt durch, und nur die letzten blaugrünen, die blauen und die violetten Strahlen werden vollständig verschluckt. Ich habe etwa 20 verschiedene gelbe Lösungen auf diese Weise spektroskopisch untersucht. Sie zeigen immer dasselbe Spektrum. Nur wenn das Gelb mehr rotgelb ist, verschiebt sich die Grenze mehr nach dem Reingrün hinüber, aber die Spektren aller rein gelben Stoffe sind immer identisch. Es sind gut  $\frac{1}{4}$  des ganzen Spektrums intakt geblieben, und nur das kurzwellige Ende ist abgeschnitten.

Eine ähnliche Definition gilt für jede andere Farbe. Untersuchen wir irgendein Grün oder Blau oder Rot, so überzeugen wir uns immer

wieder: Es ist nicht ein enges Wellengebiet, sondern ein erheblich breites Gebiet, aus welchem die reinsten, schönsten Farben bestehen. Es stellt sich dabei folgendes Gesetz heraus. Ich muß es noch mit einiger Zurückhaltung aussprechen, habe mich aber persönlich davon überzeugt, daß es grundsätzlich richtig ist, wenn ich es auch mit den Mitteln meines Privatlaboratoriums nicht habe auf seine Genauigkeit durchprüfen können. Zu jeder reinen Farbe gehören alle Wellenlängen, welche der Hälfte eines ganzen Farbkreises entsprechen. Wir wollen den Farbkreis wieder ansehen. Also was gehört zu Gelb? Das ganze Rot durch das Gelb bis in das Blaugrün gehört dazu, nämlich alle Farben, welche in den beiden Quadranten rechts und links von der Hauptfarbe Gelb liegen. Die beiden Endfarben, hier Rot und Blaugrün, sind daher Gegenfarben. Gleiches gilt für jede andere Farbe. Nennen wir alle Wellenlängen, die einem halben Farbkreis entsprechen, ein *Farbenhalb*, so kann man sagen: Jede gesättigte Farbe enthält alle Wellenlängen ihres Farbenhalbs und keine anderen.

Die Sachen sind allerdings nicht immer so einfach, wie sie bisher dargestellt wurden. Im Spektrum ist bekanntlich ein Teil des Farbkreises nicht vorhanden; es fehlen die purpurroten und rotvioletten Töne. Dieses Bestehen spektraler Lücken gibt besondere Komplikationen, auf die ich nicht eingehe, die aber grundsätzlich die Sache nicht ändern. Es entstehen dann lückenhafte Farbenhälbe, die namentlich beim Purpur auch die psychologischen Wirkungen mitbedingen. Man erkennt die gleichen Verhältnisse, wenn man den Farbkreis mit homogenem Licht beleuchtet. (Versuch.) Die Hälfte des Farbkreises sieht hell, die andere dunkel aus, und die Trennungslinie steht senkrecht zu dem Radius der beleuchtenden Farbe.

Nun haben wir die Definition der gesättigten Farbe und werden uns noch zu fragen haben: Wie bestimmen wir in einem gegebenen Aufstrich die Menge gesättigter Farbe? Ich will Ihnen zunächst einige Sonderbarkeiten zeigen. Diese beiden roten Farben enthalten gleichviel gesättigter Farbe, nämlich 50%; die andere Hälfte ist hier Weiß und dort Schwarz. Es zeigt dies, daß die Beimischung von Weiß den bunten Charakter viel mehr beeinträchtigt als die Beimischung von Schwarz.

Nun, wie stellen wir diese 50% fest? Da kommen wir auf den Hauptpunkt. Bitte um das Spektrum. (Versuch.) Ich nehme hier eine Tafel von recht lebhaftem Rot her und fahre damit durch das Spektrum. Im Rot erscheint sie ebenso hell, wie eine weiße Tafel, in dem grünen Gebiet wird sie schwarz.

Da haben Sie die Hauptpunkte der Farbenanalyse vor Augen. Ich beleuchte den Aufstrich mit den reinen Farben des Spektrums zunächst mit dem gleichfarbigen Licht. Er sieht gewöhnlich nicht ganz weiß aus; bringe ich diese Grauleiter daneben, so kann ich auf und ab fahren, bis ich das gleiche Grau gefunden habe. Dann habe ich gelernt: Der Aufstrich enthält ebensoviel Schwarz, wie dieses Grau, dessen Schwarzgehalt ich kenne.

Das wäre der schwarze Teil in der Farbe. Der weiße Teil läßt sich ebenso bestimmen. Sie erinnern sich, daß das Rot im grünen Gebiet nicht ganz schwarz aussah, nur dunkelgrau. Ich kann also ein Dunkelgrau herausuchen, das daneben in das grüne Licht gehalten ebenso dunkel erscheint wie das Rot. Was lehrt das? Das Rot sieht im grünen Lichte deshalb nicht ganz schwarz aus, weil es noch einen Teil grünes Licht zurücksendet. Dies rührt von dem weißen Anteil in der Farbe des Aufstriches her, denn weder der rote, noch der schwarze kann grünes Licht remittieren. Da ich den Weißgehalt in meinem Grau kenne, habe ich damit auch den Weißgehalt im Rot bestimmt.

Ich brauche zu einer solchen Messung nicht notwendig das Spektrum aufzubauen; es genügt, wenn man mit einem Lichtfilter den Aufstrich ansieht und die Grauleiter daneben hält. Durch diese Beobachtungen bekomme ich folgendes. Ich bekomme den weißen Anteil als echten Bruch und den schwarzen Anteil ebenso, was bei der Summe von beiden an Eins fehlt, ist der Anteil gesättigter Farbe, gemäß der Gleichung  $r = 1 - s - w$ .

Als ich das Verfahren gefunden hatte, suchte ich natürlich nach einer Kontrolle. Ich kann auf der Drehscheibe feststellen, in welchem Verhältnis zwei Gegenfarben gemischt werden müssen, damit ein neutrales Grau entsteht. Finde ich nun z. B. durch die Farbenanalyse für die beiden Farben die Reinheiten 60 und 40, und stellt es sich heraus, daß die gleichen Farben im Verhältnis 40 : 60 reines Grau auf der Drehscheibe ergeben, dann habe ich eine Bestätigung, daß ein optisches Gesetz besteht, wonach das Neutralisationsverhältnis gleich dem reziproken Reinheitsverhältnis ist. Ich habe diese Messungen durchgeführt für den ganzen Farbkreis und eine durchgehende Übereinstimmung innerhalb der Fehlergrenzen erhalten. Ich muß also

schließen, daß keine prinzipiellen Fehler in der ganzen Rechnung sind, wie ich sie vorgeführt habe, denn die beiden Messungsreihen sind ganz unabhängig voneinander.

Daraus ergibt sich nun die Lösung des Problems, eine Farbe nach Maß und Zahl zu bestimmen. Zuerst kann ich die nunmehr bekannten Werte der Reinheit benutzen, um den Farbkreis richtig einzuteilen, indem ich die Farben, die ich in meinem Apparat mische, mit ihrem richtigen Koeffizienten versehe. Ich durfte ja nicht voraussetzen, daß beide die gleiche Reinheit haben, wußte also nicht, in welchem Verhältnis ich sie mischen mußte, um genau in die Mitte zu kommen. Kenne ich aber nunmehr die Reinheit der beiden, so kann ich wirklich gleiche Mengen beider Bestandteile zur Mischung nehmen.

So ist der Farbkreis, den Sie hier sehen, hergestellt worden. Es war eine ziemlich lange und mühselige Arbeit, bis ich so weit gekommen war. Wenn wir also jetzt eine Farbe analysieren wollen, — hat einer der Herren vielleicht irgendein farbiges Objekt? (Ein rotes Blatt wird überreicht.) Jeder von Ihnen sieht, die Farbe ist in der Gegend von Mennige; ich sagte früher schon, Mennige hat die Nummer 20. Ich will auf die Konstruktion des Mischapparates nicht eingehen, er beruht auf der Verbindung eines Wollaston'schen Prismas und eines drehbaren Niko's. Die Gegenfarbe von 20 hat die Nummer 70; ich suche zunächst Nummer 66 in meinen Karten auf, lege ein neutrales Grau daneben, um gegen Nachbilder gesichert zu sein, (Versuch) und finde die Mischung zu blau. Deshalb nehme ich eine etwas grünere Karte, bis ich die rechte habe. Jetzt habe ich für mein Auge ein reines Grau erhalten. Die Karte hat Nr. 71, folglich hat das Rot Nr. 21 des Farbkreises.

Ferner betrachte ich das rote Blatt durch ein rotes Lichtfilter und verschiebe es längs meiner Grauleiter, bis ich eine gleiche helle Stelle finde. Diese wirft nach der ein für allemal durchgeführten Ausmessung der Leiter 65% Licht zurück. Was an 100 fehlt, ist der schwarze Anteil im Grau und also auch im Rot; die Farbe enthält also 35% Schwarz. Zuletzt mache ich den gleichen Versuch mit dem grünen Lichtfilter und komme auf das Grau mit 16% Weiß; ebensoviel Weiß enthält die rote Farbe. Ich habe also in die Farbgleichung  $r + s + w = 100$  zu setzen  $s = 35$  und  $w = 16$ , woraus  $r = 49$  folgt; die Farbe enthält 49% reines Rot von der Nr. 21 des Farbkreises neben 16 Weiß und 35 Schwarz. Damit ist die Farbe eindeutig gekennzeichnet.

Von jetzt an, meine Herren, besteht also die Möglichkeit, — sofern nicht etwa die deutsche Literatur von den Engländern mit Stumpf und Stiel ausgerottet wird, sondern weiter besteht — eine Farbe mit einer Genauigkeit, die an der Unterschiedsgrenze steht, zu kennzeichnen und nach den Zahlen wieder herzustellen. Dieses Verfahren arbeitet unter den günstigsten Umständen, man hat nur Hell und Dunkel zu unterscheiden. Es ist deshalb genauer als alle früheren colorimetrischen Verfahren, von denen keines wie das beschriebene willkürfreie Werte liefert.

Es ist selbstverständlich, daß ich nur eine Skizze geben kann von den Hauptzügen der ganzen Arbeit; in dem Gesagten ist aber das Problem grundsätzlich erledigt.

Wenn ich noch mit ein paar Worten auf die Synthese der Farben eingehen soll, so muß folgendes genügen. In einem rationell geordneten Farbenreieck, welches alle Abkömmlinge eines bestimmten Farbtons enthält, brauche ich nur den Ort der herzustellenden Farbe zu berechnen und eine Gerade durch diesen Punkt nach dem Endpunkt der gesättigten Farbe zu legen. Wo diese Gerade die Graulinie auf der Gegenseite schneidet, befindet sich das Grau, welches, mit der gesättigten Farbe gemischt, die gesuchte Farbe gibt. Das Verhältnis beider ist durch das umgekehrte Verhältnis der entsprechenden Abschnitte der Verbindungslinie gegeben. Damit ist das gesamte Problem der Farbsynthese auf die technische Ausführung dieser Regel, die ja optisch leicht geschehen kann, zurückgeführt.

Wir können auf solche Weise die Charakteristik jedes Farbstoffes feststellen. Wir können z. B. feststellen, daß wenn Eosin in den Bleilack verwandelt wird, seine Farbe um rund 10 Punkte nach der blauen Seite wandert. Kurz und gut, wir haben die Möglichkeit, mit Zahl und Maß alle chromatischen Mannigfaltigkeiten unserer unzähligen Farbstoffe auszudrücken.

Ich glaube, Sie haben auch die Überzeugung gewonnen, daß die benutzten Apparate auch in ihrer zum Teil höchst primitiven Ausführung ein Mittel darstellen, um unabsehbare neue Gebiete der theoretischen wie praktischen Farbenlehre der Herrschaft der Wissenschaft zu unterwerfen.

Damit sind meine Mitteilungen zu Ende. Ich möchte nur noch einiges Praktische daran knüpfen. Um dieses vielfach Neue und Un-

gewohnte, was ich heute kurz vorgeführt habe, den Interessenten bequem näher zu bringen, habe ich eine „Farbenfibel“ geschrieben, in der die Hauptgesetze der neuen Farbenlehre ganz elementar dargestellt sind. Die Farbenbeispiele darin sind nicht durch Druck hergestellt, ich habe sie vielmehr selbst gefärbt oder unter meinen Augen färben lassen. Ferner habe ich einen Farbenatlas vorbereitet, der die beschriebenen Messungen ersparen würde; es ist ja schließlich nicht jedermanns Sache, eine Analyse zu machen.

Um die Fragen nach der Farbenharmonie der psychologischen Wirkung der Farbe auf das Gefühl, der Zusammengehörigkeit der Farben zu bearbeiten, ist eine systematische Sammlung gemessener Farben notwendig. Ich habe nach langem Hin und Her eine Mannigfaltigkeit ausreichend gefunden, die rund 100 Farben für jeden Farbton enthält; das macht etwa 3000 Farben, wenn man die Stufen des Farbkreises weiter nimmt und nur einige (etwa sieben) vollständige Kreise von je 100 Stufen ausgeführt. Einen solchen Atlas herzustellen, habe ich die Vorbereitungen getroffen und gedenke, die Sache auszuführen trotz der Kriegsschwierigkeiten.

Ich schließe mit dem Ausdruck der Hoffnung, daß die alte Praxis mit dem blauen und roten Kinde nunmehr von einem Teil unter Ihnen an den Ort gestellt werden wird, wohin sie gehört, in die „Fliegenden Blätter“, und daß den anderen wenigstens die Idee, man könne Farben wirklich zählen und messen, nicht mehr ganz abenteuerlich erscheinen wird. Ich will noch eines anschließen. Die Reinheit kann man absolut messen; in bezug auf die Einteilung des Farbkreises sind subjektive Einflüsse vorhanden, aber um vieles kleiner als die subjektiven Mannigfaltigkeiten, die wir bei der Untersuchung des Farbensehens mittels Spektralfarben beobachten, weil durch die Betätigung der „Farbenhalbe“ in den gesättigten Farben ein weitgehender Ausgleich erfolgt. Dasselbe gilt für den Einfluß der Beleuchtung. Bei einer schlechtbrennenden Glühlampe an dem kritischen Punkt beim Vergleich der Nummern 0 und 50 des Farbkreises war ein Unterschied von nur zwei Punkten meines Farbkreises zu beobachten.

Damit schließe ich und danke den Damen und Herren aufs beste für die freundliche Aufmerksamkeit, die Sie mir geschenkt haben.“ (Lebhafter, anhaltender Beifall.)

Auf ein kurzes Dankeswort des Vorsitzenden erwidert

Geh. Rat Prof. Dr. Ostwald: „Ich möchte unmittelbar an das anknüpfen, was Sie eben sagten. Die ganze Arbeit ist eine Kriesarbeit, sie ward mit Beginn des Krieges angefangen und war voller Mühseligkeiten, die ich aber gut und mit Freude überwunden habe, im Hinblick darauf, daß wir der ganzen feindlichen Umwelt beweisen können: Wir haben genügenden Energieüberschuß, um noch reine Kulturarbeit zu leisten. Und wie es schon vor dem Kriege war, ist unsere Kulturarbeit immer so orientiert, daß die ganze Menschheit davon Nutzen hat. Ich bin ein unbedingter Gegner des Satzes von der Wissenschaft auf der Wissenschaft halber oder der Kunst um der Kunst willen. Es ist das eine Phantasie einiger weltfremder Leute, die selbst nichts rechtes machen können. Eine Wissenschaft muß zeigen, daß sie etwas Ordentliches leistet; wenn sie Unterstützung durch die Allgemeinheit beansprucht, so hat die Gesellschaft Anspruch darauf, Rechenschaft von dem Fortschritt zu fordern. Sie darf, ja muß fragen: Wozu kann das dienen? Hat die Sache in irgendeinem Sinn eine Bedeutung? Nicht um Geld zu machen; aber kann sie einen kulturellen Gewinn bringen? In solchem Sinne, und ich danke dem Herrn Vorsitzenden, daß er mir Anlaß gegeben hat, das besonders zu betonen, in solchem Sinne habe ich die Arbeit bisher geführt und gedenke, sie durch alle 3000 Farbentafeln des großen Farbenatlas durchzuführen, den ich mir herzustellen vorgenommen habe!“ (Lebhafter Beifall.) [A. 189.]

## Bericht über die Fortschritte in der Chemie der Gärungsgewerbe im Jahre 1915.

Von A. BAUDREXEL.

(Schluß von S. 24.)

Das Hefeneiweiß in reiner Substanz hat C. Neuberg<sup>155)</sup> mit Hilfe des nach Lebedew hergestellten Macerations-saftes aus zwei Trockenhefepreparaten hergestellt; es hat das Aussehen von Casein, gibt die Schwefelreaktion (Cystin) und die sonst für Eiweiß charakteristischen Eiweißreaktionen aufs deutlichste. Als Spaltungsprodukte desselben gelang der Nachweis von Alanin und namentlich von Tryptophan, das ja bekanntlich nach

<sup>155)</sup> Wochenschr. f. Brauerei 32, 317—320 [1915]; Angew. Chem. 29, II, 18 [1916].