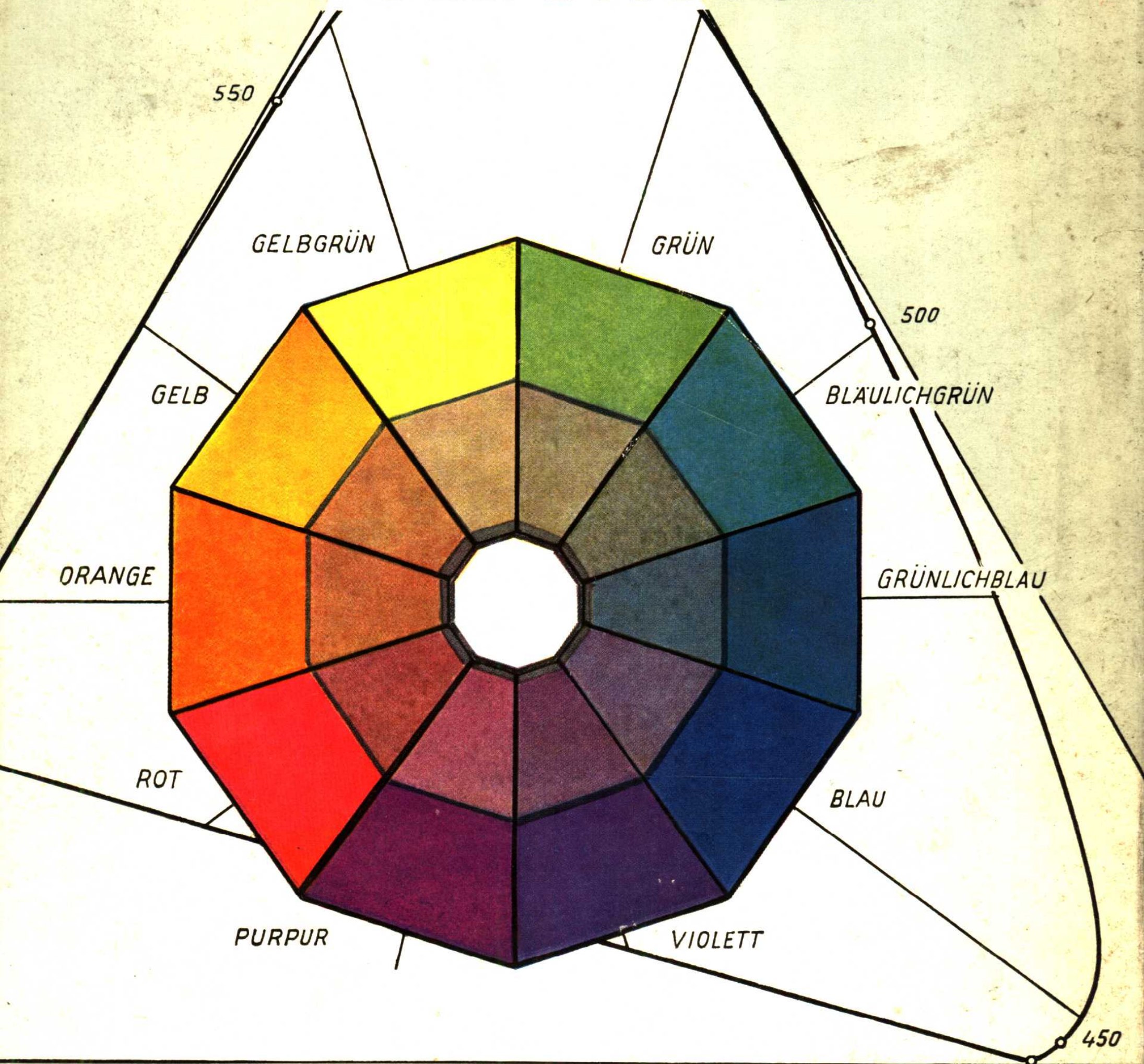


J. PACLT

FARBENBESTIMMUNG IN DER BIOLOGIE



FARBENBESTIMMUNG IN DER BIOLOGIE

Von

Dr. J. PACLT

Bratislava

*Mit 22 Abbildungen im Text und 5 Tafeln,
zum Teil farbig*



VEB GUSTAV FISCHER VERLAG · JENA

1958

Vorwort

Motto: „Le domaine des couleurs
est l'un de ceux où le langage
est le plus riche
et le moins précis.“

B. PERSOZ 1954

Die Wahrhaftigkeit des obenstehendes Mottos kann auch von keinem Biologen, geschweige denn Taxonomen, der in täglicher Praxis mit der Beschreibung von mannigfaltig gefärbten Körpern in Berührung kommt, geleugnet werden. Eigene biologische Forschungen, die ich nun seit mehr als 15 Jahren treibe, führten allmählich zu dem Plane der vorliegenden Veröffentlichung. Denn keine der existierenden Schriften über Farbbestimmungen gaben uns die Möglichkeit, alle möglichen Farben nach einem gut übersichtlichen und wissenschaftlich begründeten Farbsystem *sprachlich* einfach und klar in beliebiger Weltsprache, auch im Latein, zu bezeichnen. Dieses Ziel hoffe ich mit dem der gesamten Fachöffentlichkeit hiermit übergebenen Buch grundsätzlich erfüllt zu haben.

Es wäre durchaus falsch, mein Werkchen so anzusehen, als ob es einfach die verschiedenen Farbmusterwerke ersetzen oder sogar neue Farbstandarde im Sinne der Farbenlehre in Vorschlag bringen sollte. Die vorliegende Schrift soll vielmehr ein neues farbenterminologisches System ins Leben treten lassen und außerdem durch eine methodische Darstellung der wichtigsten Probleme der Farbenbestimmung eine genügende Orientierung des Biologen auf jenem Gebiete ermöglichen. Die unserem terminologischen System zugrunde liegenden Farbskalen von PAVLOVSKÝ erscheinen dementsprechend ohne spektrophotometrische Bestimmungen der für die einzelnen Farbmuster charakteristischen CIE-Koordinaten, was sonst bei einem modernen *Farbenkodex* nachteilig empfunden werden dürfte. Zur Beseitigung etwaiger Lichteinflüsse der Umgebung, die beim Betrachten des betreffenden Farbmusters das Auge stören können, wurden drei besondere Kartonmasken beigelegt.

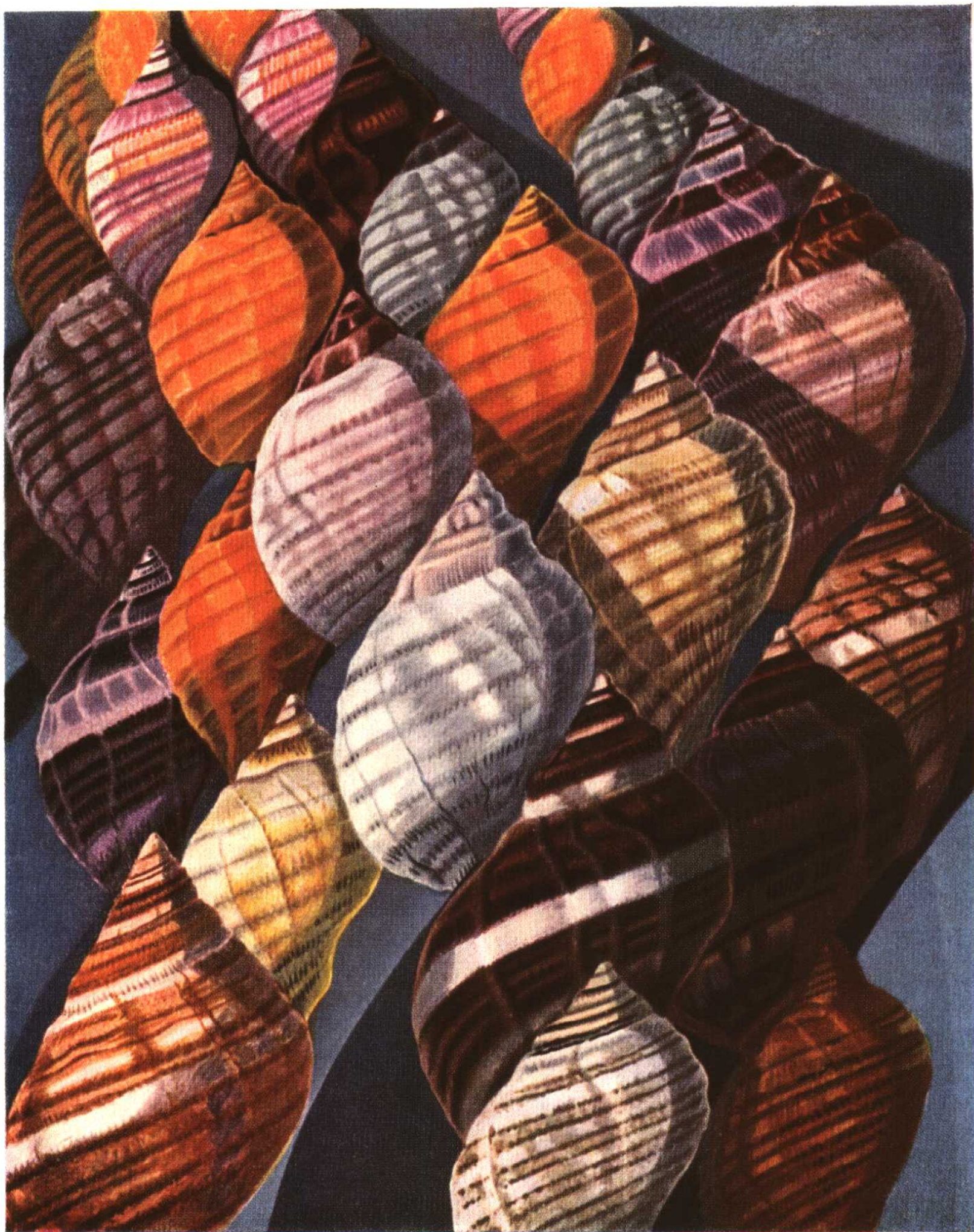
Ohne Mitarbeit zahlreicher Fachmänner hätte mein kleines Buch allerdings nie das Licht der Welt erblickt. Den größten Anteil an dieser Mitarbeit hat nun kein anderer als der hervorragende slowakische Farbenkenner Dr.-Ing. E. PAVLOVSKÝ aus Prešov, dem ich in erster Linie für die bereitwillige Überlassung seiner Skalen herzlichsten Dank schulde. Diese bisher sonst nicht veröffentlichten Skalen wurden mir vom Autor freundlicherweise gleich nach Herstellung im Jahre 1955 zugesandt; 1956 hat PAVLOVSKÝ dieselben im Rahmen seines nichtöffentlichen Berichtes „Návrh

desatinnej farebnej normy“ (Entwurf eines Dezimal-Farbnormblattes) der Slowakischen Akademie der Wissenschaften in Bratislava vorgelegt. Ferner sage ich den besten Dank für Unterstützung folgenden Herren: Dr. O. CZEPA (Berlin), Dr. V. B. POLÁČEK (Brandýs nad Labem), Prof. Dr. S. RÖSCH (Wetzlar) und Dr. F. SAUBERER (Wien).

Und wenn die vorliegende Darstellung vielleicht eine allgemeinere Anerkennung finden mag, so gebührt Verdienst und verbindlichster Dank dafür dem Verlag, der auf die Ausstattung wiederum große Sorgfalt verwandt hat.

Bratislava, zu Weihnachten 1957.

Der Verfasser

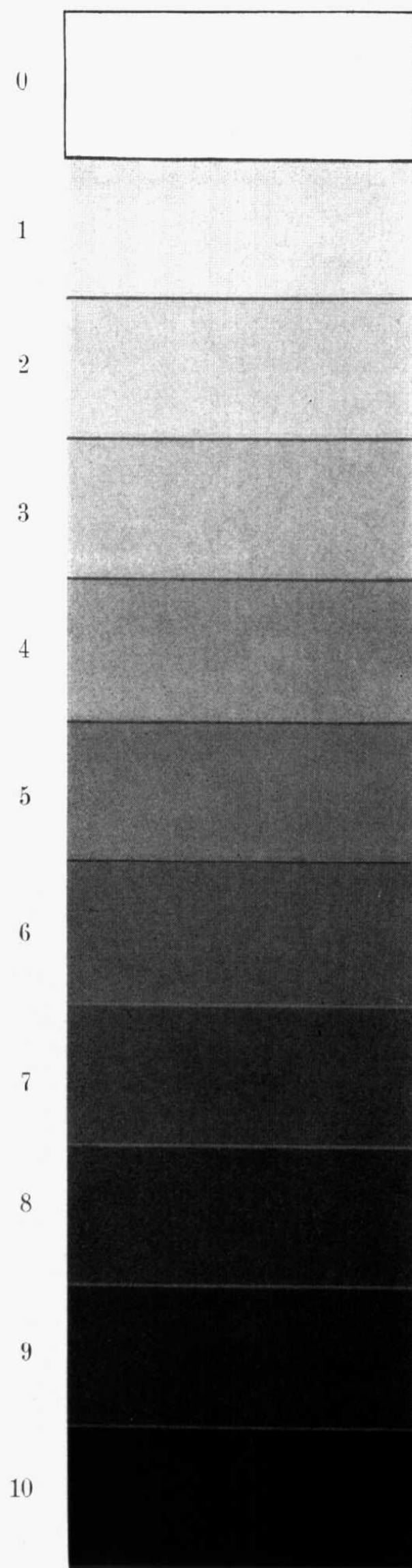


Farbenvariabilität bei *Nucella lapillus*. (Nach T.A. STEPHENSON, Courtesy of „Endeavour“.)

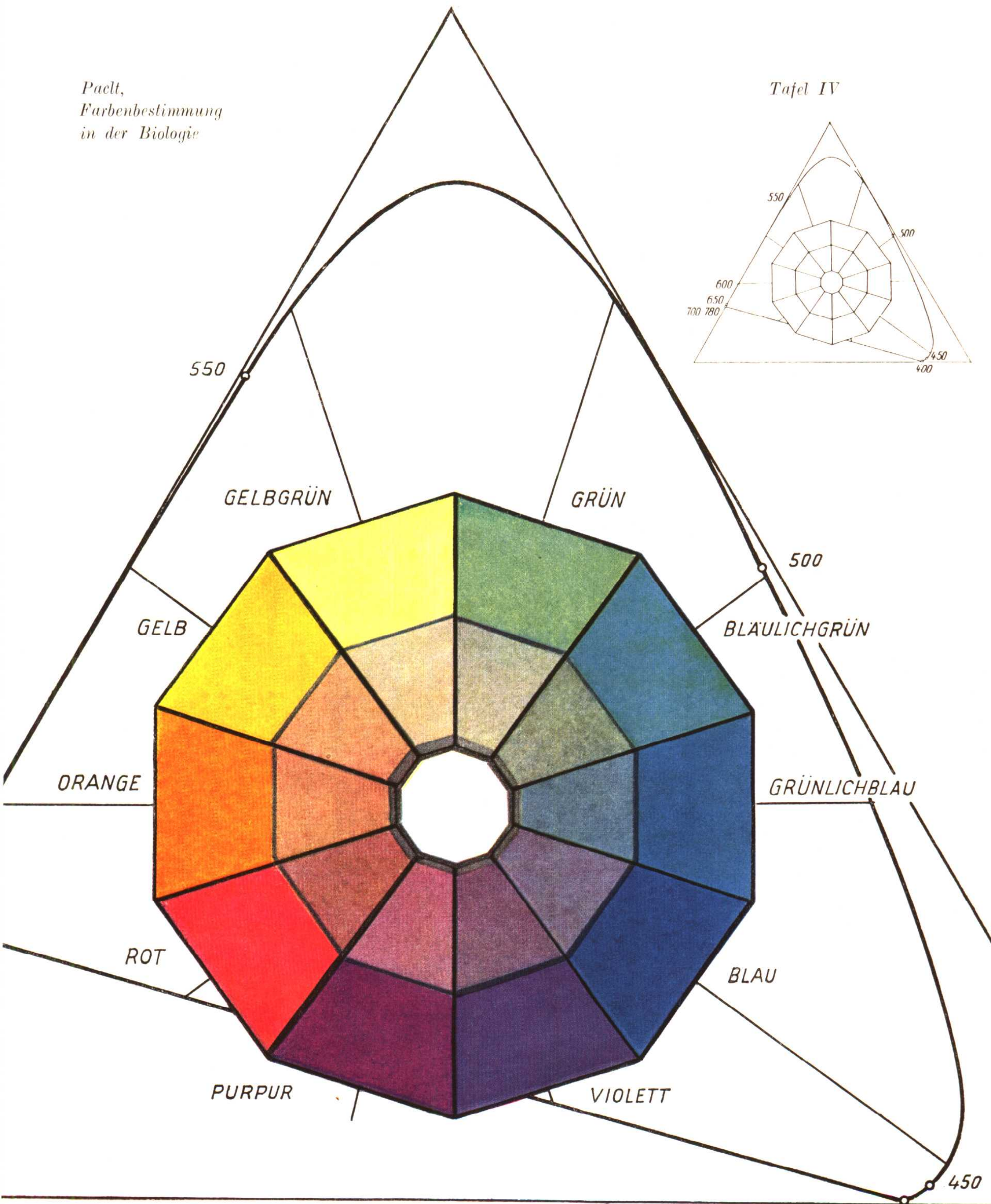
VEB GUSTAV FISCHER VERLAG · JENA



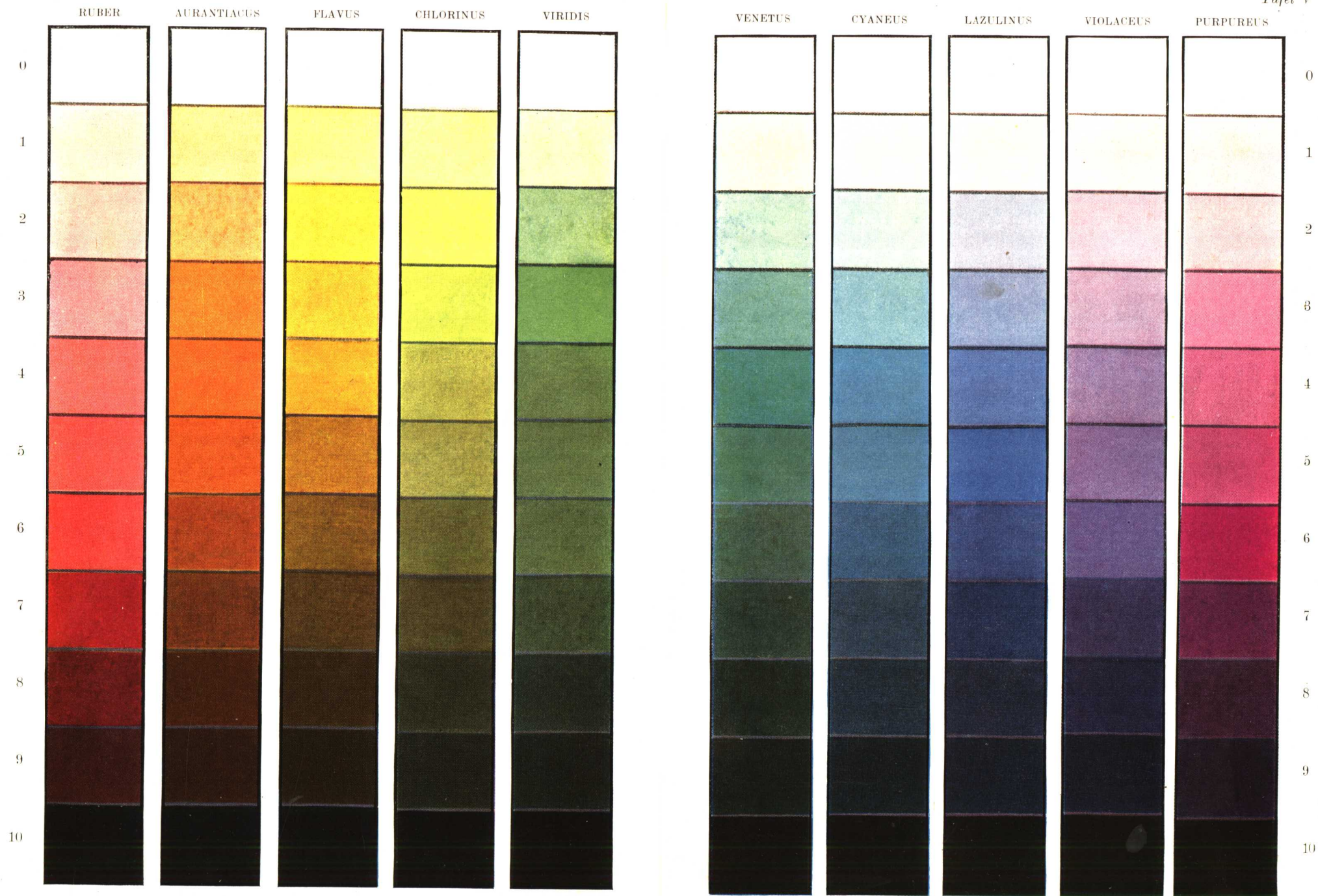
Farbenwechsel des Chamäleons in der Natur.
(Verändert nach einer Originalzeichnung von B. M. KLEIN aus Kosmos, Stuttgart, 1931.)



Dezimal-Skala von Unbunt. (Orig. E. PAVLOVSKÝ.) *Dazu: Maske 1.*



Dezimal-Farbtonekreis: gesättigte (äusserer Kreis) und „gebrochene“ Farben (innerer Kreis).
(Orig. E. Pavlovský.) Dazu: Maske 2:



Dezimal-Buntskala. (Orig. E. Pavlovský.) Dazu: Maske 3.

VEB GUSTAV FISCHER VERLAG • JENA

Inhalt

I. Aufgabe und Grenzen der Farbenbestimmung in der Biologie	1
1. Bedeutung der Farbe für die beschreibende Biologie	1
2. Bedeutung der Farbe für die experimentelle Biologie	2
II. Wesen und Systematik der Farben	3
1. Begriff der Farbe und aus der Farbenlehre	3
2. Ältere Farbensysteme	8
3. Dezimal-Klassifikation der Farben	11
III. Methoden der Farbenbestimmung	14
1. Kolorimetrie	14
2. Koloriskopie	17
IV. Farbterminologie	25
1. Historischer Überblick	25
2. Wege zur internationalen Regelung der lateinischen Terminologie	28
§ 1. Terminologie der zusammengesetzten Farben	28
§ 2. Terminologie subtilerer Farbtöne	29
§ 3. Mononymie der lateinischen Terminologie	29
§ 4. Farbton, Helligkeit (Dunkelheit), Sättigung	30
§ 5. Terminologie universaler Bestimmungsworte	30
§ 6. Versuch einer Auslese traditioneller Farbtermini für den Gebrauch der Dezimal-Klassifikation	34
3. Entwurf einer internationalen Farbterminologie nach dem dezimalen Farbensystem	36
4. Die künftige Anwendung von Spezialkodizes	38
Anhang: Sechssprachiges Wörterbuch der Farbtermini, zusammengestellt nach der in der Biologie bisher üblichen Bezeichnungsweise, dargestellt an der Dezimal-Klassifikation und verglichen mit den neu vorgeschlagenen Farbbezeichnungen	39
Literatur	65
Register	73

I. Aufgabe und Grenzen der Farbenbestimmung in der Biologie

1. Bedeutung der Farbe für die beschreibende Biologie

Daß die Bestimmung der Farbe für die beschreibenden Naturwissenschaften eine nicht zu unterschätzende Bedeutung hat, ergibt sich einerseits aus dem natürlichen Bedürfnis, jedes Objekt dieser Wissenschaften möglichst genau zu beschreiben, andererseits aber auch aus dem spezifischen Wert der Farbe als eines wichtigen diagnostischen Merkmales in der modernen Taxonomie. Die Zeiten sind vorbei, in denen der Systematiker die Farbe als ein bedeutungsloses Attribut der äußeren Gestalt des Organismus ansah. Noch in seiner *Philosophia botanica* hat LINNAEUS (1751) schreiben können: „*Color in eadem specie mire ludit, hinc in differentia nil valet; ... Colore in floribus nihil inconstantius est.*“ Früher kümmerte man sich in der biologischen Systematik kaum um nähere Deutung der Variabilität. Man hat damals nur selten versucht, mit Hilfe eines vertieften Studiums der Variabilität *intra species* dem Problem der Mikroevolution, um die moderne Terminologie anzuwenden, näherzukommen. So ist in bestimmten Wissenschaften, wie in der Entomologie, das Studium der Artvariabilität bisweilen zu einer Art Philatelie, dem sogenannten „Aberrationismus“, verflacht worden.

In der Tat ist die Farbe ein sehr konstantes Merkmal, mag auch ein und dieselbe Art eine ganze Zahl vikariierender Farben aufweisen. Die eben in der Farbe sehr variablen Arten der Gattungen *Colias* (Lepidoptera), *Drosophila* (Diptera) und vieler anderer sind in den einzelnen, gesetzmäßig auftretenden Farbformen doch immer wieder sehr konstant, d. h., die Farbe ist hier genetisch fixiert. Diese Gesetzmäßigkeiten lassen sich überall in der Natur beobachten, gleichgültig ob in der Tier- oder Pflanzenwelt.

Nur ein kleiner Teil der existierenden Farbunterschiede hat für die Taxonomie keine Bedeutung. Es sind die adaptiven Verfärbungen, z. B. bei verschiedenen Raupen und Puppen, die sich je nach der Nahrung bzw. der Unterlage „beliebig“ verfärben, ferner analoge Verfärbungen einiger Meertiere, z. B. die des Gastropoden *Nucella lapillus* (Taf. I). Schließlich wäre an dieser Stelle der Farbenwechsel des Cephalopoden *Sepia officinalis* und des Chamäleons (Taf. II) zu nennen. In allen diesen Fällen ist die Farbe taxonomisch kaum auswertbar, bleibt aber dennoch von unvermindertem Interesse für die experimentelle Biologie, besonders die Physiologie.

In der beschreibenden Anthropologie wird die Farbe sogar als eines der wichtigsten Merkmale bis zu den feinsten Unterschieden beschrieben. Eigentlich nur diese Wissenschaft mit ihrem beschränkten Artenmaterial (meistens wird hier eben nur die Variabilität einer einzigen Art, *Homo sapiens*, untersucht) ist imstande, die Variabilitätsverhältnisse mehr zu berücksichtigen, als es das unendlich verschiedenartige Material einer systematischen Botanik oder Zoologie ermöglicht.

2. Bedeutung der Farbe für die experimentelle Biologie

Da nun eine Farbe oft einem ganz bestimmten Zustand des Organismus entspricht, liegt es nahe, daß Farbbestimmungen sich nicht auf das Gebiet der beschreibenden Biologie beschränken können. Die Bestimmung der Farbe bildet manchmal sogar die Voraussetzung für exakte experimentelle Vergleiche und findet somit auf dem Gesamtgebiet der experimentellen Biologie und Medizin Verwendung.

Die Hautfarbe spielt eine wichtige Rolle in der medizinischen Diagnostik (vgl. das Literaturverzeichnis); man muß sie auch bei der biologischen Dosierung der Röntgenstrahlen berücksichtigen, und die Haarfarbe wurde als diagnostisches Merkmal bei Krebserkrankungen in Anspruch genommen (ZÖLLNER 1923).

Verschiedene Farbbestimmungen werden weiter in der Ökologie zur Standortbeschreibung herangezogen: man ermittelt die Wasserfarbe oder die Farbe der Gesteine. In der Geobotanik kommt man weiter bei der Kartierung der Pflanzengesellschaften mit der Farbenbestimmung in Berührung (BROCKMANN-JEROSCH 1930; vgl. auch HICKETHIER 1952—1953).

Viel häufiger wird die Farbe dagegen im biochemischen und genetischen Laboratorium bestimmt. Es braucht nur an die Pigmentstudien an verschiedenen, teils genetisch wichtigen Pflanzen und Tieren erinnert zu werden (vgl. z. B. ROBINSON 1942), um die Notwendigkeit einer präzisen Farbterminologie auch in diesen Wissenschaften zugeben zu müssen.

II. Wesen und Systematik der Farben

1. Begriff der Farbe und aus der Farbenlehre

Um auch dem in der Physik nicht bewanderten Biologen die nächsten Kapitel über die Methoden der Farbenbestimmung verständlicher zu machen, ist es angebracht, an dieser Stelle wenigstens die wichtigsten Thesen der inzwischen sehr umfangreich gewordenen Farbenlehre zusammenzustellen. Von der bedeutenden Zahl der hier existierenden Tatsachen haben in die vorliegende Darstellung vorzugsweise solche Gesetze der Optik Eingang gefunden, die eine praktische Bedeutung für Farbenbestimmungen in der Biologie haben. In bezug auf nähere Einzelheiten muß aber der deutsche Leser besonders nach den Werken von RICHTER 1940 und KLAPPAUF 1949 greifen.

Eine richtige Definition der Farbe darf weder die physikalische Ursache der Farbeempfindung noch das Phänomen selbst außer Betracht lassen. Nur im Sinne der mechanistischen Philosophie sei das Ding an sich ohne Farbe, Gestalt und Größe. Die objektive Existenz einer Farbe ist von der Materie absolut untrennbar, während die subjektive Vorstellung derselben Farbe natürlich von den artspezifischen und individuellen physiologisch-psychologischen Fähigkeiten zur Farbunterscheidung des beobachtenden Organismus, gleichwie in einer Tagtierart, abhängt. So wird es auch klar, warum der Mensch nur einen Teil der theoretisch abzuleitenden und wirklich existierenden Farbnuancen wahrnehmen kann.

Nach dem Gesagten haben wir unter dem Begriff der Farbe ein bestimmtes *Reflexionsvermögen* der Materie zu verstehen, welche Eigenschaft im Beobachter (durch Vermittlung eines Sehorganes) eine — *der Beschaffenheit der reflektierten Strahlen entsprechende*, psychologische Empfindung hervorruft.

Das Reflexionsvermögen der Materie kann allerdings recht verschieden sein; an der ebenen Grenzschicht zweier Medien beobachtet man eine *reguläre Reflexion*, während an völlig unregelmäßig gerichteten Grenzschichten die einzelnen regulären Reflexionen zu einer *diffusen Reflexion* oder *Remission* werden. Körper, deren Farbe durch eine reguläre Reflexion bestimmt ist, werden im allgemeinen als gefärbt bezeichnet (allochromatische Körper in der Mineralogie); diese gefärbten Körper werden entweder durch eine *Oberflächenfarbe* (hierher gehören sogenannte optische oder *Strukturfarben* biologischer Gegenstände) oder durch eine *Durchsichtfarbe* charakterisiert. Körper, deren Farbe dagegen durch eine diffuse Reflexion bestimmt ist, werden „farbig“ genannt (sogenannte idiochromatische oder eigenfarbige Mineralien usw.); die Farbe solcher Körper heißt einfach *Körperfarbe* oder, wie in der Biologie, *Pigmentfarbe*. Kombinierte Farben (Oberflächen- zusammen mit den Körperfarben) sind in der Natur keine Seltenheit. Eine über diese Grundbegriffe weit hinausgehende genetische Systematik der Farben, deren Terminologie von der unsrigen teilweise grundsätzlich abweicht, wurde von RÖSCH 1954 vorgeschlagen.

Bei einer regulären Reflexion an ein und demselben Körper verhalten sich die Oberflächen- und Durchsichtfarbe zueinander stets als Komplementärfarben¹⁾. Schöne Beispiele hierfür liefern z. B. Metalle und Farbstoffkristalle. Die Oberflächenfarbe von Gold ist gelb, die eines Fuchsinkristalls bläulichgrün, während die Durchsichtfarbe einer dünnen Goldschicht blau, die eines Fuchsinkristalls rot erscheint. Eine Grenzschicht zweier Medien läßt zwar niemals die gesamte auffallende Strahlung hindurch, doch gibt es Körper, welche bei kleinerer Schichtdicke nicht nur beinahe keine Strahlen absorbieren, sondern auch beinahe keine reflektieren können (die Strahlung geht hier praktisch durch den Körper hindurch). Solche Körper erscheinen nun vollkommen farblos und durchsichtig. Ist aber der sogenannte Durchlaßgrad des Körpers für eine bestimmte Wellenlänge gegenüber den übrigen Farbkomponenten des Spektrums reduziert, so erscheint der Körper selbst bei geringerer Schichtdicke in auffallendem weißen Licht entsprechend gefärbt (gefärbte Gläser, Lösungen usw.).

Remittiert ein Körper alles auffallende Licht, wird er als *absolut weiß* bezeichnet; absorbiert er im Gegenteil alle Lichtstrahlen, wird er *absolut schwarz* genannt. In der Tat gibt es keinen Stoff, der der Definition eines absolut weißen oder schwarzen Körpers gerecht würde; einen *annähernd* vollkommen weißen Stoff gibt es jedoch (frisches Magnesiumoxyd), ähnlich wie einen nahezu vollkommen schwarzen (schwarzer Seidensamt).

Sind gleiche Farben durch gleiche Lichtquellen verursacht, so spricht man von *isomeren* Farben. Liegen gleichen Farben verschiedene Lichtquellen zugrunde, werden solche Farben *metamer* genannt. Denn die Beziehung zwischen Licht L und Farbe F ist in Richtung von links nach rechts eindeutig, umgekehrt jedoch vieldeutig:

$$L \rightarrow F \quad (1)$$

Nach dem zweiten GRASSMANNschen Gesetz ist nun *jede Farbe* umkehrbar *eindeutig* durch *drei Farbkoordinaten* der sogenannten trichromatischen Farbgleichung bestimmt:

$$F \leftrightarrow q_1 R + q_2 G + q_3 B, \quad (2)$$

wobei die Farbkoordinaten q_1, q_2, q_3 Mengen der einzelnen Eichfarben ($R = \text{Rot}$, $G = \text{Grün}$, $B = \text{Blau}$; sogenanntes RGB-System²⁾) bezeichnen. Auf Grund neuerer Spektralmessungen von GUILD und WRIGHT wurde im Jahre 1931 ein internationales CIE-System³⁾ vorgeschlagen, in welchem neue Eichfarben X, Y, Z festgesetzt sind (Abb. 1). Zunächst mußte man allerdings die anzuwendende Lichtstrahlung durch Wellenlängen und Wellenenergien kennzeichnen. Dementsprechend wurden drei *Spektralfarben* („reelle Eichlichter“) festgesetzt, deren Wellenlängen $\lambda_1 = 435,8 \text{ m}\mu$, $\lambda_2 = 546,1 \text{ m}\mu$, $\lambda_3 = 700,0 \text{ m}\mu$ sind, und deren Energien im Verhältnis 1,0000 : 1,3455 : 70,2100 stehen. Da aber die zu ermittelnden Farbkoordinaten je nach der Beleuchtung des Farbkörpers verschieden sind, würde die Festsetzung der Spektralfarben der Lichtquelle allein nicht genügen. Es war deshalb noch eine *Standardbeleuchtung* der Körperfarbe festzulegen. Als solche wurden drei Fälle von Beleuch-

¹⁾ Bekanntlich werden zwei Farben so genannt, die durch Mischung bei einem bestimmten Mischungsverhältnis Weiß geben.

²⁾ $\lambda_R = 700 \text{ m}\mu$, $\lambda_G = 546 \text{ m}\mu$, $\lambda_B = 436 \text{ m}\mu$.

³⁾ Abkürzung des französischen Namens der Internationalen Beleuchtungs-Kommission (deutsche Abkürzung IBK): *Commission Internationale de l'Eclairage* (englisch ICI, International Commission of Illumination).

tungen (bezeichnet als Normlichtart **A**, **B** und **C**) zugelassen. Die Normalbeleuchtung **A** gewinnt man durch eine Glühlampe von der absoluten Farbtemperatur $T_f = 2848^\circ \text{ K}$ (Kelvinskala). Die Standardbeleuchtungen **B** und **C** werden durch Vorsetzen bestimmter Flüssigkeitsfilter vor die genannte Glühlampe erzielt, wobei **B** durch eine Farbtemperatur $T_f \approx 4800^\circ \text{ K}$ charakterisiert wird und dem direkten Sonnenlicht

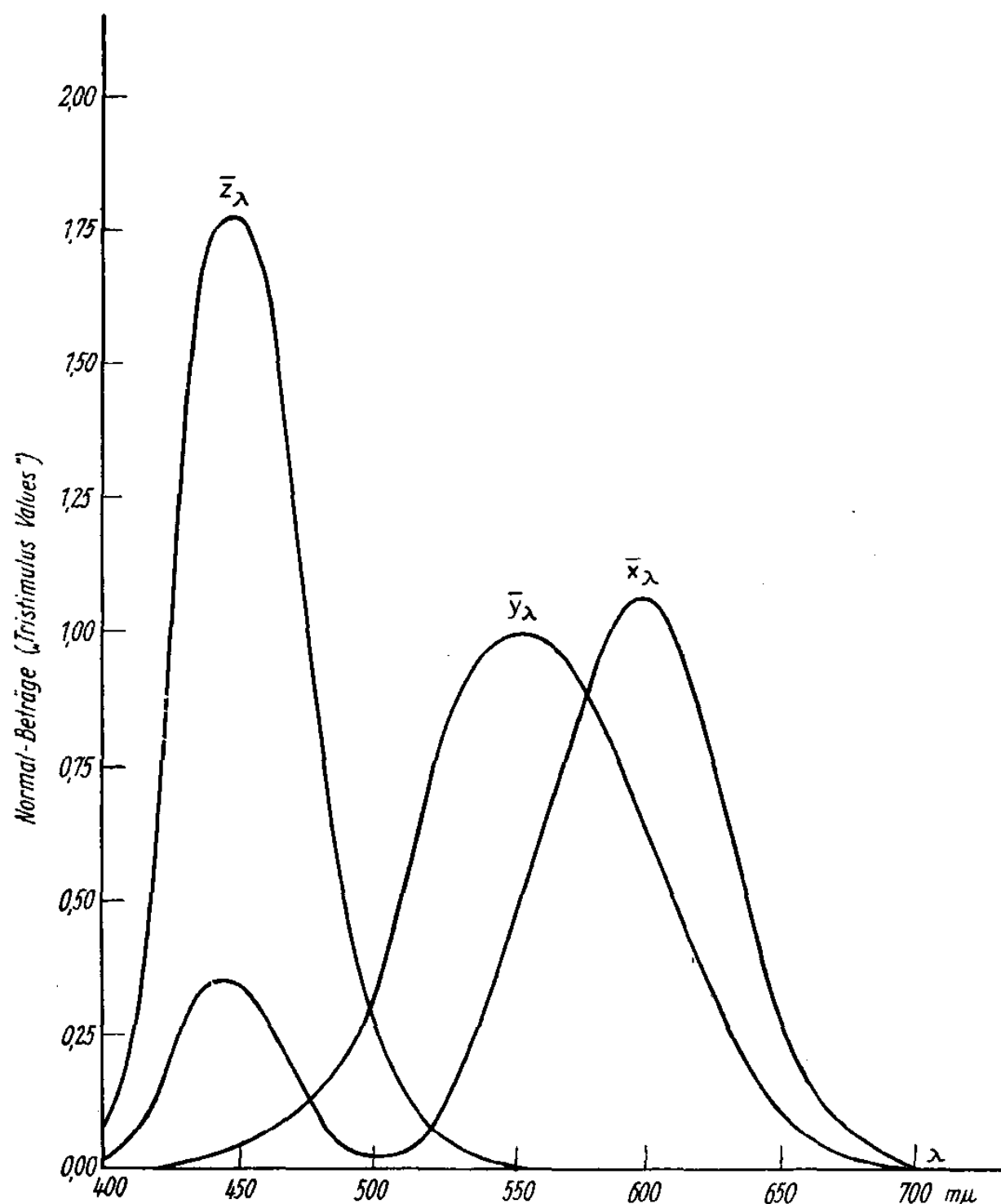


Abb. 1. Standard-Eichkurven in bezug auf die virtuellen Farben X, Y, Z des CIE-Systems.

entspricht, während **C** als bläuliches Tageslicht ($T_f \approx 6500^\circ \text{ K}$) definiert werden kann. Genaue Angabe der gewählten Standardbeleuchtung darf im Arbeitsprotokoll nie fehlen.

Jede der neu festgesetzten Eichfarben des CIE-Systems muß allerdings der Beziehung (2) gehorchen:

$$\begin{aligned} X &= q_{x1} R + q_{x2} G + q_{x3} B \\ Y &= q_{y1} R + q_{y2} G + q_{y3} B \\ Z &= q_{z1} R + q_{z2} G + q_{z3} B \end{aligned} \quad (3)$$

Während die Eichfarben des RGB-Systems reelle Spektralfarben sind, die im Experiment additiv gemischt werden können, erscheint ein solcher Versuch mit den

Eichfarben des CIE-Systems unmöglich; denn die XYZ-Farben sind als sogenannte *virtuelle Farben* aufzufassen.

Der Gleichung (2), die sich für das RGB-System geltend gemacht hat, entspricht nun im CIE-System folgende Beziehung

$$F = \bar{x} X + \bar{y} Y + \bar{z} Z, \quad (4)$$

wobei \bar{x} , \bar{y} , \bar{z} Farbkoordinaten des CIE-Systems für die virtuellen Farben X , Y , Z bedeuten. Multipliziert man die drei Gleichungen (3) mit \bar{x} bzw. \bar{y} , \bar{z} , so ergibt sich:

$$\begin{aligned} q_1 &= \bar{x} q_{x1} + \bar{y} q_{y1} + \bar{z} q_{z1} \\ q_2 &= \bar{x} q_{x2} + \bar{y} q_{y2} + \bar{z} q_{z2} \\ q_3 &= \bar{x} q_{x3} + \bar{y} q_{y3} + \bar{z} q_{z3} \end{aligned} \quad (5)$$

oder nach Einsetzung:

$$\begin{aligned} q_1 &= +0,49000 \bar{x} - 0,17697 \bar{y} + 0,00000 \bar{z} \\ q_2 &= +0,31000 \bar{x} + 0,81240 \bar{y} + 0,01000 \bar{z} \\ q_3 &= +0,20000 \bar{x} - 0,01063 \bar{y} + 0,99000 \bar{z}, \end{aligned} \quad (6)$$

woraus \bar{x} , \bar{y} , \bar{z} berechnet werden können, setzt man die $q_1 q_2 q_3$ -Werte fest:

$$\begin{aligned} \bar{x} &= +2,36460 q_1 + 0,51515 q_2 + 0,00520 q_3 \\ \bar{y} &= -0,89653 q_1 + 1,42640 q_2 - 0,01441 q_3 \\ \bar{z} &= -0,46807 q_1 - 0,08875 q_2 + 1,00921 q_3 \end{aligned} \quad (6')$$

Falls eine bestimmte Farbe F aus den durch die Wellenlängen $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3 \dots$ (usw.) charakterisierten Spektralfarben besteht, so bekommt man die $\bar{x}\bar{y}\bar{z}$ -Werte als Summe der einzelnen Beträge:

$$\begin{aligned} \bar{x} &= \varrho_1 \bar{x}_1 + \varrho_2 \bar{x}_2 + \varrho_3 \bar{x}_3 + \dots \\ \bar{y} &= \varrho_1 \bar{y}_1 + \varrho_2 \bar{y}_2 + \varrho_3 \bar{y}_3 + \dots \\ \bar{z} &= \varrho_1 \bar{z}_1 + \varrho_2 \bar{z}_2 + \varrho_3 \bar{z}_3 + \dots, \end{aligned} \quad (7)$$

wobei $\varrho_1, \varrho_2, \varrho_3$ usw. Reflexionen in bezug auf $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ usw., und $\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3$ usw. Werte von \bar{x}_λ in bezug auf $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ usw. sind; ähnlich bedeuten $\bar{y}_1, \bar{y}_2, \bar{y}_3$ Werte von \bar{y}_λ in bezug auf $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ usw., und $\bar{z}_1, \bar{z}_2, \bar{z}_3$ usw. Werte von \bar{z}_λ in bezug auf $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ usw.

Die Gleichungen (7) können abgekürzt geschrieben werden:

$$\bar{x} = \sum \varrho_\lambda \bar{x}_\lambda; \bar{y} = \sum \varrho_\lambda \bar{y}_\lambda; \bar{z} = \sum \varrho_\lambda \bar{z}_\lambda \quad (8)$$

Sie setzen allerdings voraus, daß die Beleuchtung für alle λ dieselbe Energie hat; ist die Beleuchtungsenergie für einzelne λ verschieden, muß eine Energiefunktion E_λ eingeführt werden:

$$\bar{x} = \sum E_\lambda \varrho_\lambda \bar{x}_\lambda; \bar{y} = \sum E_\lambda \varrho_\lambda \bar{y}_\lambda; \bar{z} = \sum E_\lambda \varrho_\lambda \bar{z}_\lambda \quad (9)$$

Die Beziehungen (7), (8), (9) gelten eigentlich nur für die Oberflächenfarben. Für die Durchsichtfarben muß das spektrale Reflexionsvermögen ϱ_λ durch den spektralen Durchlaßgrad τ_λ ersetzt werden. Wird schließlich ein Licht an einem Körper remittiert (Körperfarben), so muß ϱ_λ durch den spektralen Remissionsgrad ε_λ ersetzt werden.

Anhand derartiger Formeln und verschiedener Tabellen¹⁾ kann man in allen Fällen, in denen eine direkte Farbmessung undurchführbar erscheint, die fragliche Farbe berechnen (vgl. KLAPPAUF 1949, S. 60).

¹⁾ Vgl. DIN 5033 (Bewertung und Messung von Farben). 2. Aufl. 1944.

Obzwar die drei Größen \bar{x} , \bar{y} , \bar{z} eine Farbe eindeutig bestimmen (4), führt man wegen einer bequemen graphischen Darstellung noch den Begriff der sogenannten *relativen Koordinaten* (x , y) in die Farbkennzeichnung ein:

$$x = \frac{\bar{x}}{\bar{x} + \bar{y} + \bar{z}}; \quad y = \frac{\bar{y}}{\bar{x} + \bar{y} + \bar{z}} \quad (10)$$

Die entsprechende graphische Darstellung der relativen Koordinaten einer Farbe erfolgt nun in einer CIE-Farbtafel, dem sogenannten *Chromatizitätsdiagramm* (Abb. 2). In diesem Diagramm bedeutet E das sogenannte ideale Weiß, beleuchtet

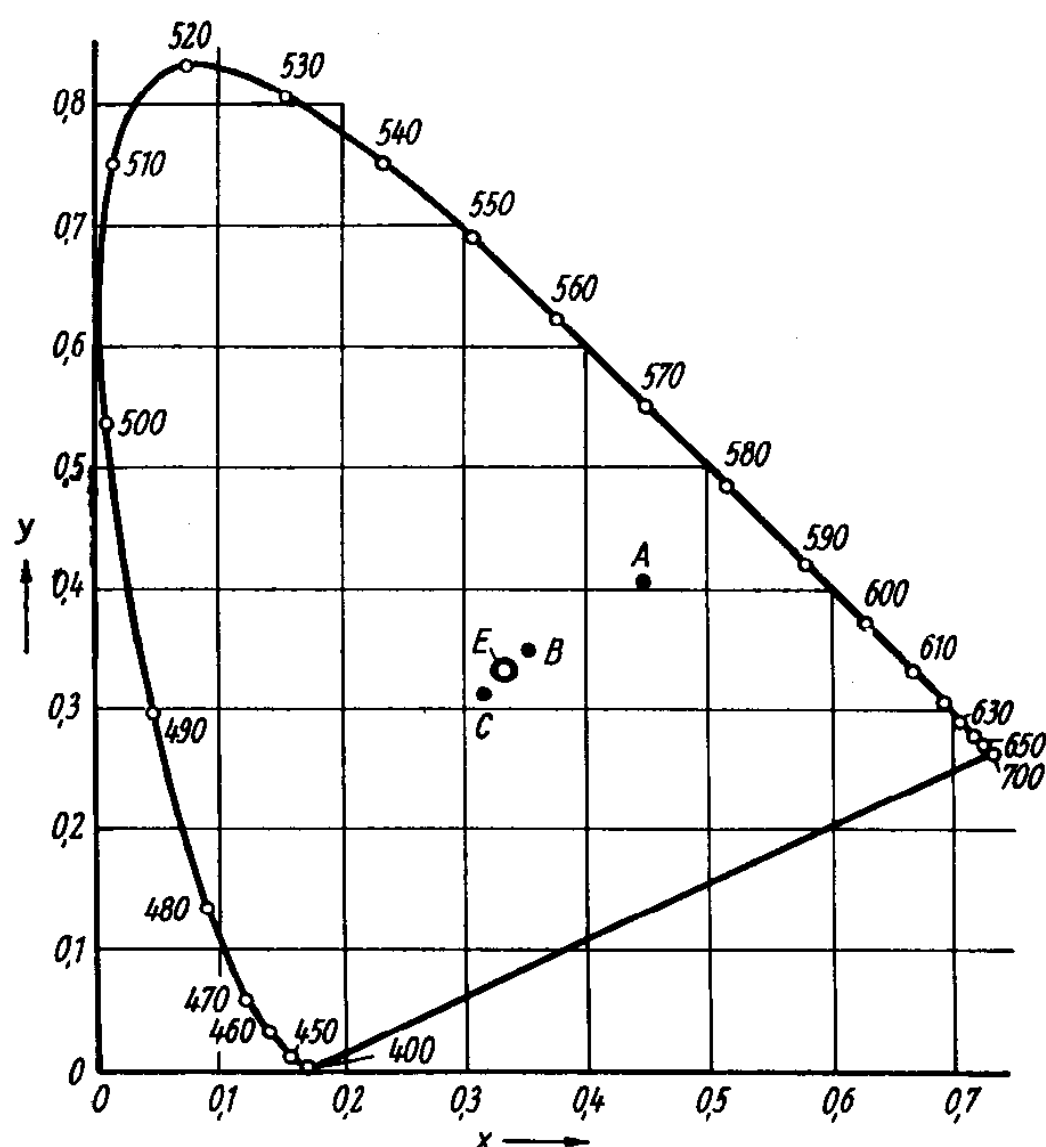


Abb. 2. Chromatizitätsdiagramm (nach MUNSSELL).

mit einer konstanten Lichtenergie. A, B, C stellen die bereits besprochenen Standardbeleuchtungen dar (vgl. S. 5). Von den Eichfarben X, Y, Z liegt Z im Nullpunkt ($x = y = 0$), Y im Punkte ($x = 0$; $y = 1$) und X im Punkte ($x = 1$; $y = 0$); daraus ist wieder leicht zu ersehen, daß X, Y, Z scheinbare, virtuelle Farben sind. Je näher eine Farbe dem Punkt E bei ein und derselben Standardbeleuchtung liegt, desto heller ist die Farbe und umgekehrt. Außerdem wird die *Helligkeit* einer Farbe im Vergleich zu dem annähernd idealen Weiß (MgO) ohne weiteres durch die Koordinate \bar{y} angegeben. In einer endgültigen Farbdiagnose durch die CIE-Koordinaten brauchen deshalb nur drei Werte verzeichnet zu werden: \bar{y} ; x ; y .

Die relativen Koordinaten x , y geben die sogenannte *Chromatizität* (vgl. S. 30) der Farbe an. Sämtliche Spektralfarben liegen in dem genannten Diagramm auf der Kurve. Die Eichfarben des RGB-Systems sind dementsprechend nur auf dieser zu