

2. Eine spätere Spritzung in geringerer Konzentration ist einer früheren mit höherer Konzentration zumindest gleichwertig (Versuchsglieder D—A/2, B/2).

3. Eine zweimalige Behandlung mit mittlerer Konzentration (0,5%) ist zur Erzielung eines relativ hohen Hybridanteiles in Verbindung mit guter Keimfähigkeit empfehlenswert (Versuchsglied A/1).

#### Literatur

1. BUTTERFASS, TH.: Künstlich induzierte Pollensterilität bei Zuckerrübe. Zucker 7, 164—165 (1960). —

2. EATON, F.: Selective gametocide opens way to hybrid cotton. Science 126, 1174—1175 (1957). — 3. ISÁK, H.: Möglichkeiten einer Erhöhung des triploiden Hybridanteiles polyploid Zuckerrübensamens. Bodenkultur 11, 266—276 (1960). — 4. OWEN, F.: Cytoplasmically inherited male-sterility in sugar beets. Agric. Res. 71, 423—440 (1945). — 5. ROHM & HAAS Comp. Washington Square, Philadelphia 5, USA.: Progress Report on FW 450 chemical gametocide (ohne Jahr und Verfasser). — 6. SEDLMAYR, K.: Rekurrente Selektion auf reziproke Kombinationsfähigkeit. Züchter 27, 65—69 (1957). — 7. WALTHER, F.: Eine neue cytologische Untersuchungsmethode bei Beta-Rüben. 24th I.I.R.B. Winter Congress, 223—226 (1961).

Aus dem Max-Planck-Institut für Züchtungsforschung, Abt. Genetik, Köln-Vogelsang

## Die Messung der spektralen Remission als objektive Methode zur Beschreibung und Klassifizierung von Phänotypen

Von W. SEYFFERT

Mit 3 Abbildungen

### Einleitung

Genetische und züchterische Arbeiten sind an die Voraussetzung gebunden, daß Unterschiede zwischen Phänotypen einwandfrei erkannt werden können. Sofern physikalisch oder chemisch einfach meß- oder klassifizierbare Eigenschaften zu beurteilen sind, bestehen bestenfalls hinsichtlich der Meßgenauigkeit Schwierigkeiten. Wo jedoch die gen- und umweltbedingte Variabilität nur schwer definierbarer Merkmale, wie beispielsweise organspezifischer Färbungen im Tier- und Pflanzenreich, zu untersuchen ist, führt der Wunsch nach verlässlicher Klassifizierung, d. h. nach unverwechselbaren und beliebig reproduzierbaren Resultaten, zu Problemen.

Farben gehören zu den Charakteren, die einer einfachen und zugleich exakten Definition nicht ohne weiteres zugänglich sind.

Phänogenetische Studien an Farbmerkmalen sind daher eng mit dem Problem der Farbmessung verknüpft, und so erscheint es aus diesem Grunde lohnend, sich eingehender mit methodischen Fragen zu befassen.

Farbmessungen können grundsätzlich auf drei verschiedenen Wegen ausgeführt werden. Die bekannteste und meist angewandte Methode ist die des Direktvergleiches mit einer Farbenkarte, zur Gruppe der sogenannten Gleichheitsverfahren gehörig.

Eine zweite Möglichkeit ist durch die spektralphotometrische Messung von Körperfarben gegeben, der sich eine valenzmetrische Auswertung mit Hilfe von geeigneten, der Empfindlichkeitskurve des Auges angepaßten Funktionen — beispielsweise der HELMHOLTZ- oder der trichromatischen Maßzahlen — anschließt. Auf diese Weise können für die Valenzen der an einer additiven Farbmischung beteiligten Komponenten Kennziffern erhalten werden, die eine eindeutige Beschreibung einer Farbe ermöglichen.

Der dritte Weg führt zu der Anwendung von Helligkeitsverfahren, bei denen durch Anwendung verschiedenartiger Filter genau definierter Durchlässigkeit photometrische Vergleiche mit Standardwerten (reinweiß) durchgeführt werden. Ihre Anwendung ist

jedoch an eine Reihe einschränkender Bedingungen geknüpft, welche den praktischen Gebrauch solcher Methoden erschweren.

Die Erfahrung vieler Benutzer von Farbenkarten geht dahin, daß die zuerst genannte Methode des Direktvergleiches mit beachtlichen Ungenauigkeiten belastet ist. In vielen Fällen ist die zwischen den angebotenen Farbmustern vorhandene Diskontinuität größer als der Farbunterschied zwischen zwei oder mehreren einander zwar ähnlichen, genetisch jedoch mit Sicherheit verschiedenen Phänotypen. In anderen Fällen führen unterschiedliche Beleuchtungseffekte bei Arbeiten in geschlossenen Räumen, im Gewächshaus und im Freiland, besonders unter wechselnden Witterungsbedingungen, zu unsicheren Ergebnissen. Differenzen in der Oberflächenstruktur des Farbmusters und der des lebenden Materials sind gleichfalls nicht ohne Bedeutung. Und schließlich kommt es auch noch auf das Farbsehvermögen des Beobachters an.

Gegenstand der vorliegenden Untersuchungen ist daher die Frage, ob die bisher allgemein angewandte, aber offensichtlich mit Mängeln behaftete Methode des Direktvergleiches anhand von Farbtafeln nicht durch eine objektive Farbmessung ersetzt werden kann. Hierzu sind standardisierbare Bedingungen, die an beliebigen Orten und zu beliebigen Zeiten wiederholt werden können, notwendige Voraussetzung. Es wird geprüft, ob sich ein Spektralverfahren, die Messung der spektralen Remission der Oberflächenfarbe eines Körpers mit Hilfe einer ULRICHTSchen Kugel in Verbindung mit einem Spektralphotometer, zur Unterscheidung ähnlicher Genotypen bzw. Mutanten eignet.

Zur Beantwortung dieser Frage ist es sinnvoll, von einer größeren Zahl von Farbtypen auszugehen, bei der nicht nur Unterschiede im Farbton, sondern auch in der Sättigung und in der Aufhellung der Farbe zu erkennen sind. Außerdem sollte der Genotyp bekannt und der Phänotyp bereits auf Grund anderer Kriterien klassifiziert worden sein.

Aus biochemisch-genetischen Untersuchungen an Blütenfarbmutanten steht uns ein Material zur Ver-

fügung, das diesen Anforderungen sehr wohl gerecht wird. Bei der Sommeraster besitzen wir neben 3 anthoxanthinhaltigen 6 anthocyanführende und bei der Levkoje insgesamt 16 anthocyanhaltige Genotypen, deren farbbestimmendes Muster an flavonoiden Pigmenten genau bekannt ist.

### Eigenschaften der untersuchten Pflanzen

Bei der Sommeraster (*Callistephus chinensis* Nees) gibt es eine Serie von 3 multiplen Allelen, *R*, *r'* und *r*, die den Anteil blauer, violetter und roter Chymochrome in den Petalen auf dem Wege über die Oxydation des Seitenphenylringes der Anthocyane bestimmt. Ein zweiter Locus, mit den Allelen *M* und *m*, bedingt Unterschiede im Glykosidierungsmuster der Anthocyanidine, was gleichfalls eine Verschiebung des Anteils blauer und roter Komponenten innerhalb des Pigmentmusters zur Folge hat.

Aus der Kombination der Allele dieser beiden Loci resultieren insgesamt 6 homozygote Genotypen, deren Pigmentmuster qualitativ und quantitativ untersucht worden ist.

Unterschiede zwischen gelben, cremefarbenen und weißen Astern werden durch die An- und Abwesenheit von Chalkonen und Flavanonen (gelb/nicht gelb) bzw. durch Differenzen im Flavonolgehalt (creme/weiß) bestimmt. Für die Abwesenheit von Chalkon ist ein Paar von Komplementärfaktoren, *g1<sup>+</sup>* und *g2<sup>+</sup>*, verantwortlich, die Genetik der creme und weißen Typen wird zur Zeit noch untersucht. In der nachfolgenden Tabelle 1 sind die 9 Geno- und Phänotypen der Astern zusammen mit den durch Direktvergleich ermittelten Farbtafelwerten aufgeführt worden.

Tabelle 1. Phänotypen und Farbtafelwerte der Astern-Genotypen.

Nr.	Phänotyp	Farbtafelwerte*		Genotyp
		B	HCC	
1	blau	12F	735	<i>MM R R</i>
2	lila	11E-11L	732	<i>MM r' r'</i>
3	rosa	10D	29-730	<i>MM rr</i>
4	violett	11L	732-733	<i>mm R R</i>
5	purpur	10,5D	31-730	<i>mm r' r'</i>
6	rot	9K-10K	25	<i>mm rr</i>
7	gelb	1B-1C	601/3-64/3	<i>g1 g1 g2 g2</i>
8	creme	1B	63/3	<i>g1<sup>+</sup>g1<sup>+</sup>g2<sup>+</sup>g2<sup>+</sup></i>
9	weiß	1A	-	<i>g1<sup>+</sup>g1<sup>+</sup>g2<sup>+</sup>g2<sup>+</sup></i>

\* B = Biesalski, HCC = Horticultural Colour Chart.

Von der Levkoje, *Matthiola incana* R. Br., verwenden wir insgesamt 16 anthocyanführende Genotypen. Diese resultieren aus der vollständigen Kombination der Allele vier verschiedener Loci, welche sowohl die Qualität als auch die Quantität einzelner Komponenten des reichhaltigen Pigmentmusters in charakteristischer Weise abändern.

Der für den Unterschied karmin-violett verantwortliche Locus bedingt in Gegenwart des dominierenden Allels *b<sup>+</sup>* eine Verschiebung der dominierenden Wellenlänge zum blauen Bereich hin. Dieser Effekt wird durch die Oxydation der 3'-Stellung des Seitenphenylringes der Anthocyane hervorgerufen.

Der zweite Locus ist für den Unterschied zwischen stumpfen und leuchtenden Farben verantwortlich. Das dominierende Allel *l<sup>+</sup>* bedingt die Glykosidierung der 5-Position des Anthocyanmoleküls, die mit einer Aufhebung das mattene Farbtöne und gleichzeitig

mit einer Aufhellung und leichten Rotverschiebung verbunden ist.

Das rezessive Allel am Locus *u* wirkt phänotypisch epistatisch über die Allele der Loci *l* und *v*. Es bedingt in jedem Falle eine braunviolette Färbung. Chromatographisch sind jedoch alle beliebigen Allelkombinationen einwandfrei zu unterscheiden, d. h. daß diese Epistasie nur im Bereich der visuell bestimmbarer Farben gilt. Hierdurch wird der Locus *u*, der biochemisch eine Mehrfachfunktion hat (obligatorische Glykosidierung in 3-Stellung des Anthocyanins, fakultative, d. h. interaktionsabhängige, Glykosidierung der Position 5, Veresterung der vorhandenen Xylose- bzw. Glukosemoleküle in 3- und 5-Stellung mit Phenolkarbonsäuren), auch für die vorliegenden Untersuchungen besonders interessant. Der vierte Locus bedingt in Form des rezessiven Allels *v* eine stärkere Sättigung des Farbtöns. Eine Verschiebung zum blauen oder roten Bereich hin ist visuell nicht wahrnehmbar. Das dominierende Allel *v<sup>+</sup>* ist für die Veresterung der Anthocyane mit Phenolkarbonsäuren (Zimtsäuren) verantwortlich. Aus der Interaktion der 4 Loci mit je 2 Allelen resultieren die nachfolgend aufgeführten 16 homozygoten Genotypen, deren Phänotyp nebst den zugehörigen Farbtafelwerten in der Tabelle 2 aufgeführt wird.

Tabelle 2. Phänotypen und Farbtafelwerte der *Matthiola*-Genotypen.

Nr.	Phänotyp	Farbtafelwerte*		Genotyp**
		B	HCC	
1	violett	10,5R-11L	34-733	<i>+++</i>
2	stumpf violett	11X	834	<i>+l++</i>
3	braunviolett	10Q	030	<i>+u+</i>
4	lila	11E	31	<i>++v</i>
5	braunkarmin	10,5R-11Q	031	<i>+lu+</i>
6	stumpf lila	11Q	32	<i>+l+v</i>
7	braunviolett	10,5J	031	<i>+uv</i>
8	braunkarmin	9H-10,5J	031	<i>+luv</i>
9	karmin	10E-10,5E	729	<i>b+++</i>
10	braunkarmin	9W	827-828	<i>bl++</i>
11	braunkarmin	9H	027/1	<i>b+u+</i>
12	rosa	10K	727	<i>b++v</i>
13	braunkarmin	9Q	00823/2	<i>blu+</i>
14	stumpf-rosa	9R	824/1	<i>bl+v</i>
15	braunkarmin	9H	0023/2	<i>b+uv</i>
16	braunkarmin	9H	0023/2	<i>bluv</i>

\* B = Biesalski, HCC = Horticultural Colour Chart.

\*\* Genotypen in haploider Schreibweise, da homozygote Linien vorliegen und sich die Nennung des 2. Allels jeweils erübrigt.

Aus der Tab. 2 geht bereits hervor, daß der Direktvergleich mit Hilfe verschiedener Farbtafelsysteme zu unterschiedlichen Resultaten führt. Phänotypen, die nach der BIESALSKI-Tafel als gleich angesehen werden (z. B. 8, 11, 15, 16) sind nach der HCC z. T. verschieden und umgekehrt. Phänotypen, die nach der HCC in die gleiche Klasse gehören (z. B. 5, 7 und 8), lassen sich anhand der B-Tafel unterschiedlich einordnen.

Dies ist schon ein erster Anhaltspunkt für die Unsicherheit, mit der diese einfachen Direktvergleiche belastet sind. Weitere werden sich aus der Auswertung der spektralphotometrischen Messungen ergeben.

Um die Zuverlässigkeit des Direktvergleiches richtig beurteilen zu können, sind folgende ergänzende Anmerkungen notwendig:

Von jedem Genotyp wurden 5 verschiedene, zufällig ausgewählte Pflanzen an je 5 Blüten von 2 verschiedenen, auf Farbnormalsichtigkeit mittels pseu-

doisochromatischer Tafeln zuvor überprüften Personen gemessen. Die angegebenen Farbtafelwerte sind die häufigsten beobachteten Tafelwerte. Wo zwei verschiedene Werte mit etwa gleicher Häufigkeit vorkamen, wurden beide angegeben.

### Angaben zum Meßvorgang

Zur Messung der spektralen Remission wird eine Lichtquelle benötigt, die einen Lichtstrahl definierter und im Bereich von  $400-700 \text{ m}\mu$  beliebig einstellbarer Wellenlänge auf die Oberfläche des zu messenden Körpers wirft. Der in einer gegebenen Wellen-

Petaloberseite dem zu reflektierenden Lichtstrahl zugekehrt ist. Durch Abdecken der Schablone mit einer kreisförmigen Scheibe aus dem gleichen Material und durch Aufpressen eines Metallringes wird seitlicher Lichteinfall während des Meßvorganges vermieden.

Der Reflexionsgrad des auf eine bestimmte Wellenlänge eingestellten monochromatischen Lichtes wird unmittelbar am Kolorimeter als Prozentwert abgelesen (Skala „percent transmittance“ bedeutet hier % Remission). Diese Messungen, in Abständen über den Bereich von  $400-700 \text{ m}\mu$  ausgeführt, ergeben eine spektrale Verteilungskurve, wie sie am Beispiel der Genotypen  $+++$  und  $b++$  (violett und karmin) der Levkoje zusammen mit denen der zugehörigen Farbtafelwerte in der Abbildung 1 dargestellt worden sind.

Eine erste Betrachtung der in dieser Abbildung wiedergegebenen Verteilungskurven führt zu dem Eindruck, daß der Unterschied zwischen den Phänotypen karmin und violett offenbar nur unbedeutend ist und daß die durch Direktvergleich als zu einem bestimmten Phänotyp gehörig ermittelten Farbtafelwerte stärker von diesen abweichen, als der Unterschied zwischen den beiden Phänotypen ausmacht.

Beide Annahmen sind jedoch irrig. Sie sind lediglich ein Beispiel dafür, daß der vom Auge wahrgenommene Farbeindruck nicht von der in einzelnen Wellenlängenbereichen reflektierten absoluten Lichtmenge, sondern im wesentlichen von ihrem Anteil abhängt. Dieser Tatsache trägt das der farbvalenzmetrischen Auswertung zugrunde liegende CIE-System Rechnung.

### Das CIE-System

Das von der Commission Internationale de l'Eclairage ausgearbeitete System beruht auf der Tatsache, daß jede natürliche Farbe als additive Mischung von Spektralfarben und diese wiederum als additive Mischung dreier Grundfarben mit den zur Eichung des Systems festgelegten Wellenlängen  $435,8 \text{ m}\mu$ ,  $546,1 \text{ m}\mu$  und  $700 \text{ m}\mu$ , darstellbar ist. Zur Normung des Systems wurde der Anteil jeder Grundfarbe an der jeweiligen Spektralfarbe durch exakte, auf die Empfindlichkeitskurve des menschlichen Auges abgestimmte Farbenvergleichsverfahren experimentell ermittelt und zur Vermeidung negativer Werte auf virtuelle Farben umgerechnet. Die auf diese Weise erhaltenen, für jede der drei Grundfarben charakteristischen „Normspektralwertkurven“, die auf Spektrallichter gleicher Energie bezogen sind, geben den additiven Anteil der jeweiligen Grundfarbe an einer Spektralfarbe an. Natürliche Farben, die aus der Mischung verschiedener Spektralfarben darstellbar sind, sind durch die Summe dieser an der Bildung der Spektralfarben beteiligten Anteile der Grundfarben, als  $X$ ,  $Y$  und  $Z$  bezeichnet, eindeutig charakterisierbar. Die unmittelbaren Anteile der Grundfarben an der natürlichen Farbe, d. h. bezogen auf  $X + Y + Z = 1$ , sind dann

$$x = \frac{X}{X+Y+Z}, \quad y = \frac{Y}{X+Y+Z}, \quad z = \frac{Z}{X+Y+Z}.$$

Sie kennzeichnen die Lage einer natürlichen Farbe im Farbdreieck (Abb. 2), wobei die Angabe zweier Koordinaten genügt, da  $z = 1 - (x+y)$  ist.

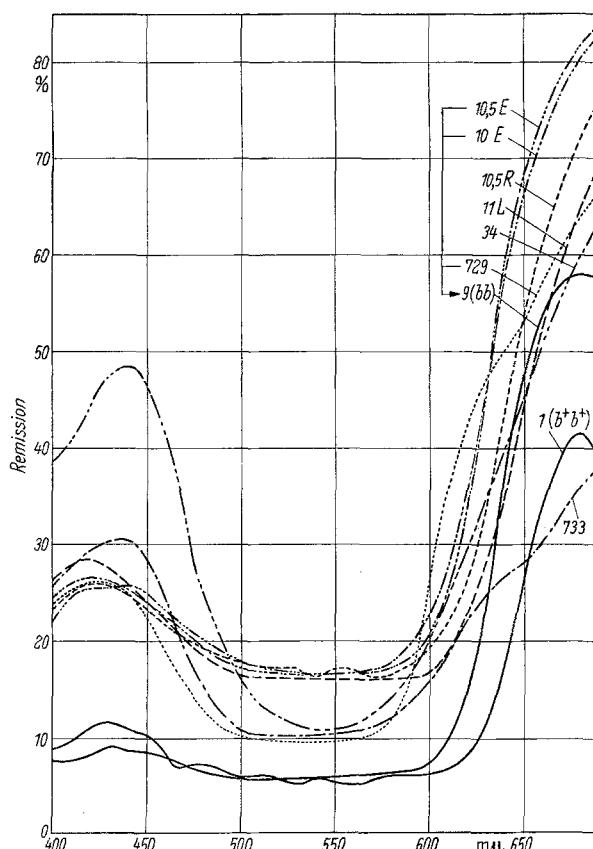


Abb. 1. Darstellung der spektralen Remissionskurven der *Matthiola*-Genotypen 1 ( $b+b^+$ ) und 9 ( $bb$ ) sowie die entsprechenden Farbtafelwerte. — Dem Genotyp 9 ( $bb$ ) entsprechen die BIESALSKI-Tafelwerte 10,5 E und 10 E sowie der HCC-Wert 729, dem Genotyp 1 ( $b+b^+$ ) die BIESALSKI-Tafelwerte 10,5 R und 11 L sowie die HCC-Tafeln 34 und 733.

länge reflektierte Anteil des eingestrahlten Lichtes wird von einem Photoelement in Verbindung mit einer ULBRICHTSchen Kugel gemessen und als Remissionsgrad bezeichnet. Als Bezugssystem dient eine vollkommen mattweiße Fläche, die sowohl vollkommene Remission als auch vollkommene Lichtstreuung gewährleistet. In der Regel wird hierzu ein Magnesiumkarbonat-Block verwendet.

Für unsere Messungen benutzen wir den Reflexionszusatz zum Spectronic 20 Kolorimeter (Bausch & Lomb). Technische Einzelheiten, die das Gerät betreffen, sind den entsprechenden Bedienungsanleitungen zu entnehmen.

Zur Messung wird eine mindestens  $8 \times 8 \text{ mm}$  große, möglichst homogene Probe der zu messenden Fläche, d. h. ohne starke Zeichnung, Aderung oder Mustierung, mit selbstklebendem Cellophan so über der runden Öffnung einer dem kreisförmigen Ausschnitt der ULBRICHTSchen Kugel angepaßten Schablone aus schwarzem Karton befestigt, daß die unbedeckte

Die graphische Darstellung geschieht üblicherweise in Form eines rechtwinklig gleichschenkligen Dreiecks, in dessen Ecken die den Normalvalenzen entsprechenden virtuellen, d. h. nicht realisierbaren Farben liegen. Die Lage der natürlichen Farben ist durch die nicht schraffierte Fläche gekennzeichnet. Farben mit der höchsten Sättigung liegen an der Peripherie dieser Fläche, deren Mittelpunkt normalerweise durch die unbunte Farbe weiß mit  $x = y = z = 0,333$ , im vorliegenden Falle jedoch durch die Farbe der Lichtquelle (Illuminante C) mit  $x = 0,3101$ ,  $y = 0,3163$  und  $z = 0,3736$ , gegeben ist. Der Linienzug von Blau über Grün nach Rot umfaßt alle Spektralfarben, die direkte Verbindung Blau-Rot die als Mischung zwischen Blau und Rot aufzufassenden Purpurfarben. Da aber jede Farbe durch drei Eigenschaften, durch Farbton, Sättigung und Helligkeit, zu kennzeichnen ist und im Dreieck nur die ersten beiden dargestellt werden können, ist die Einführung einer dritten Dimension erforderlich. Diese unmittelbar aus dem Wert Y erhältliche Maßzahl für die Helligkeit einer Farbe erlaubt es, die Lage des jeweiligen Farbdreiecks innerhalb des „Farbkörpers nach RÖSCH“ (auch als MAC-ADAM-Farbkörper bezeichnet) zu charakterisieren. Die Einführung der dritten Dimension setzt voraus, daß alle Körperfarben mit einheitlichem Licht beleuchtet und auf ideales Matt-Weiß bezogen werden.

Im Zusammenhang mit den vorliegenden Untersuchungen bietet das CIE-System folgende Vorteile:

1. Mit Hilfe der tabellierten Normspektralwerte (Tab. 3) können die Maßzahlen X, Y und Z durch einfache Produktsummenbildung ohne Mühe ermittelt werden. Es sind lediglich die Meßwerte des Remissionsgrades mit den zugehörigen Normspektralwerten zu multiplizieren und über alle gemessenen Wellenlängen zu summieren.

2. Durch die Errechnung der Koordinaten x und y ist die Lage einer Farbe im Farbdreieck festgelegt. Metamere, d. h. bedingt gleiche Farben, liegen an derselben Stelle des Farbdreiecks. Da jede natürliche Farbe auch als Mischung zwischen Weiß und einer Spektralfarbe denkbar ist, ist es möglich, den Farbton dieser Spektralfarbe durch Projektion von Weiß über den Meßpunkt auf die Seiten des Dreiecks zu ermitteln (oft als  $\lambda_D$  = dominierende Wellenlänge

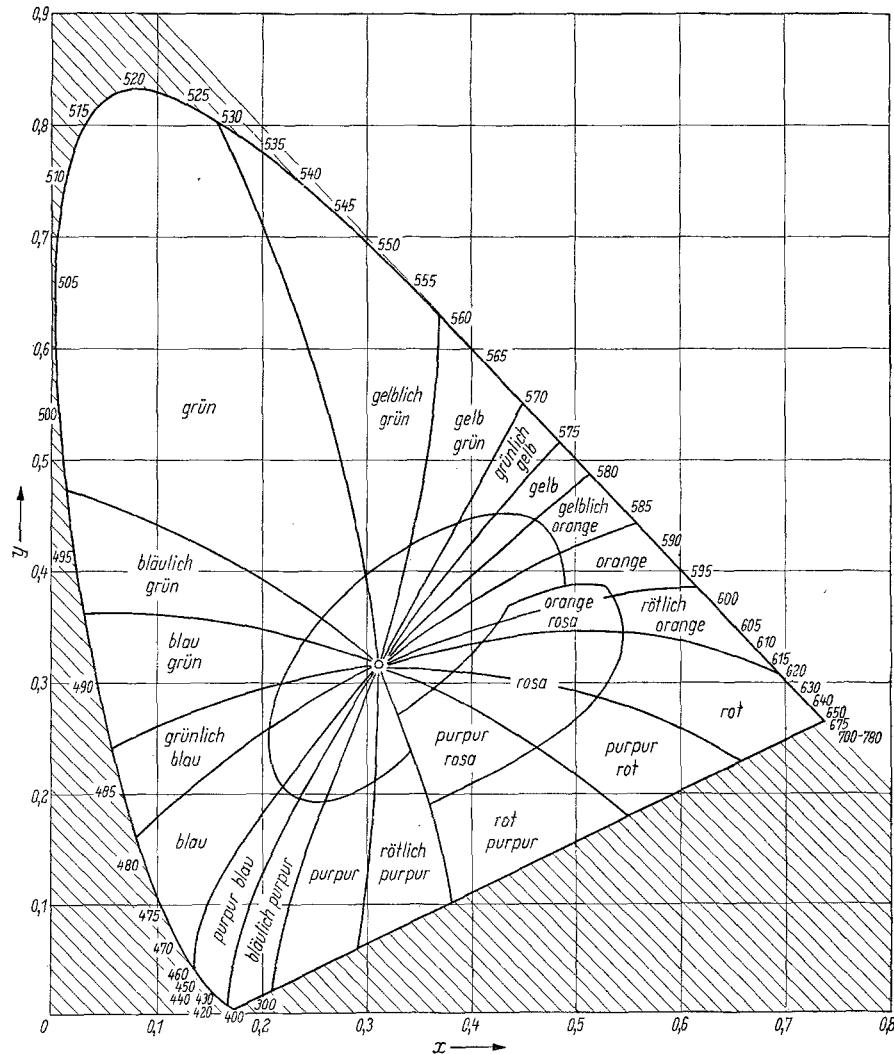


Abb. 2. Darstellung des Farbdreiecks\*. — Die schraffierte Fläche umfaßt den Bereich der virtuellen Farben, alle natürlichen Farben sind innerhalb der unschraffierten, durch den Linienzug begrenzten Fläche zu finden. Die Lage einer Farbe ist durch die Koordinaten x und y eindeutig festgelegt, die Projektion vom Mittelpunkt des Systems (Illuminante C) über den Meßpunkt auf den begrenzenden Linienzug erlaubt die Ablesung der dominierenden Wellenlänge (im Bereich der Purpurfarben wird die komplementäre Wellenlänge angegeben), und die Teilung der genannten Strecke durch den Meßpunkt ist ein Maß für die Sättigung. Gesättigte Farben liegen an der Peripherie.

\* Der Fa. Bausch & Lomb danke ich für die Erlaubnis zum Abdruck des Farbdreiecks.

bezeichnet). Im Bereich der Purpurfarben wird die komplementäre Wellenlänge angegeben.

3. Die Teilung der projizierten Strecke in Form des Quotienten (Weiß-Meßpunkt)/(Weiß-Seite des Dreiecks) gibt unmittelbar die Sättigung der Farbe an.

Somit ist eine objektive Klassifizierung jeder beliebigen Körperfarbe anhand der drei Kriterien a) Farbton ( $\lambda_D$ ), b) Sättigung (in %) und c) Helligkeit (Y) zu erreichen und damit die Grundlage für einen exakten Vergleich gegeben. Die Nachteile des Systems liegen in einer gewissen Unanschaulichkeit der Maßzahlen und in der Tatsache begründet, daß Farbenpaare, die im Farbdreieck gleiche Abstände haben, nicht notwendigerweise gleich große Farbempfindungsunterschiede hervorrufen.

#### Meßergebnisse der *Matthiola*-Genotypen

Von vollerblühten Pflanzen der 16 *Matthiola*-Genotypen wurden möglichst einheitlich gefärbte Petalen gleichaltriger Blüten entnommen. Diese wurden mit der Unterseite auf einen Tesafilm-Streifen

geklebt und damit so in der Meßschablone befestigt, daß die Reflexion der Petalenoberseite gemessen werden konnte.

Das Meßgerät wurde bei geschlossener Blende auf Null justiert und unter Verwendung von Magnesiumcarbonat für jede zu messende Wellenlänge ( $\lambda$ ) auf die Remission von mattweiß = 100% geeicht. Die in Abständen von je 30 m $\mu$  ausgeführten Messungen ( $r_\lambda$ ) werden mit den entsprechenden Normspektralwerten ( $b_X$ ,  $b_Y$  und  $b_Z$ ) multipliziert und summiert.

Die auf diese Weise erhaltenen „Gewichte der Farben“  $X$ ,  $Y$  und  $Z$  dienen zur Errechnung der Koordinaten  $x$  und  $y$ . Nach Eintragung in das Farbdreieck werden die zugehörigen  $\lambda_D$ -Werte und Sättigungsprozente ermittelt. Im vorliegenden Fall zeigte es sich, daß alle Phänotypen mit Ausnahme der Nr. 11, 13 und 14 in den Bereich der Purpurfarben fallen, so daß die Angabe des Farbtönes der

Tabelle 3. Normspektralwerte, bezogen auf die Illuminante C (nach B & L trichromatic coefficient computing form).

Wellenlänge $\lambda$	Koeffizienten			
	$b_X$	$b_Y$	$b_Z$	
415	1.960	.055	9.400	$X = S b_X \lambda r_\lambda$ ,
445	12.150	1.040	61.800	
475	4.980	3.940	36.300	$Y = S b_Y \lambda r_\lambda$ ,
505	.073	12.310	6.400	
535	6.370	25.750	.840	$Z = S b_Z \lambda r_\lambda$ ,
565	19.900	28.660	.079	
595	27.190	17.850	.025	$x = \frac{X}{X+Y+Z}$ ,
625	18.600	7.980	—	
655	5.450	2.240	—	$Y = \frac{Y}{X+Y+Z}$ ,
685	.760	.276	—	$y = \frac{y}{X+Y+Z}$ ,

zugehörigen Spektralfarbe nicht möglich ist. Aus diesem Grunde wurden in der nachfolgenden Tabelle 4, in der die Charakteristika der 16 Genotypen

Tabelle 4. Meßwerte der 16 Matthiola-Genotypen und der zugehörigen Farbtafeln.

Nr.	Genotyp	Farbtafel	Farbton m $\mu$ *	Sättigung %	Helligkeit %	Koordinaten	
						x	y
1	++++	10.5 R	504	24.9	13.6	.346	.266
		11 L	520	28.4	6.4 12.7	.331 .321	.252 .253
		34	530	25.7	16.5	.290	.191
		733	555	45.6	13.4	.304	.224
2	+l++	11 X	528	16.8	8.8 12.9	.317 .322	.272 .277
		834	553	26.1	10.6	.301	.243
3	++u+	10 Q	493	15.2	13.4 15.2	.362 .349	.298 .280
		030	498	19.8	17.9	.362	.257
4	++v	11 E	529	35.0	14.5 15.3	.327 .334	.234 .249
		31	518	29.9	17.9	.355	.235
5	+lu+	10.5 J	500	22.0	19.1	.347	.274
		11 Q	500	17.2	12.9 21.6	.339 .329	.282 .267
		031	514	20.7	16.8	.358	.261
6	+l+v	11 Q	534	25.6	12.5 21.6	.318 .329	.264 .267
		32	541	20.7	16.6	.320	.211
7	++uv	10.5 J	495	18.9	19.9 19.1	.363 .347	.289 .274
		031	500	22.0	16.8	.358	.261
8	+luv	9 H	492	12.6	25.9	.359	.302
		10.5 J	495	14.4	19.0 19.1	.350 .347	.294 .274
		031	500	22.0	16.8	.358	.261
9	b+++	10 E	498	31.4	14.9	.375	.265
		10.5 E	494	29.4	8.2 14.0	.407 .407	.285 .252
		729	499	38.3	15.9	.381	.254
10	bl++	9 W	491	11.4	12.2	.352	.306
		827	493	11.1	9.1 13.4	.344 .344	.300 .300
		828	491	18.4	12.6	.371	.294
11	b+u+	9 H	491	19.4	20.4 25.9	.379 .359	.310 .302
		027/1	492	12.6	29.9	.369	.272
12	b++v	10 K	495	28.4	14.5 16.3	.393 .374	.281 .268
		727	494	34.5	18.7	.431	.280
13	blu+	9 Q	492	15.4	21.1 15.4	.371 .384	.312 .308
		00823/2	490	20.3	17.5	.379	.309
14	bl+v	9 R	491	11.3	11.9 14.1	.350 .381	.308 .300
		824/1	492	17.9	16.1	.398	.305
15	b+uv	9 H	493	16.9	22.1 25.9	.368 .359	.297 .302
		0023/2	496	12.6	43.9	.354	.287
16	bluv	9 H	493	15.8	23.6 25.9	.363 .359	.297 .302
		0023/2	492	12.6	43.9	.354	.287

Die überwiegende Anzahl der Farbtöne liegt im Bereich der Purpurfarben. Die dominierende Wellenlänge wird daher für die Komplementärfarben angegeben.

zusammengefaßt werden, die  $\lambda_D$ -Werte der Komplementärfarben angegeben.

Diese Tabelle informiert über das Ausmaß der Übereinstimmung zwischen den Meßwerten der Phänotypen und denen der ihnen anhand des visuellen Vergleichs zugeordneten Farbtafeln.

Die vorliegenden Meßwerte sollen nach zwei verschiedenen Gesichtspunkten beurteilt werden. Zunächst interessiert die Frage, ob sich diese Methode der Phänotypenklassifizierung wirklich dazu eignet, die 16 Phänotypen unverwechselbar zu beschreiben und damit auch mit Sicherheit voneinander zu unterscheiden. Ferner ist zu prüfen, wie gut oder schlecht die zugehörigen Farbtafelwerte den jeweiligen Phänotyp beschreiben.

Werden die Unterschiede innerhalb der drei Farbcharakteristika Farbton, Sättigung und Helligkeit einerseits zwischen verschiedenen Phänotypen und andererseits zwischen Phänotyp und Farbtafelwert sorgfältig verglichen, so wird folgendes evident:

1. Die Mehrzahl der 16 Phänotypen ist bereits auf Grund eines einzigen Kriteriums, beispielsweise des Farbtons, gut von einem ähnlich aussehenden zu unterscheiden. Wo ein Kriterium nicht ausreicht, ermöglicht das zweite, in Zweifelsfällen auch noch das dritte dann eine verlässliche Klassifizierung. Hiervon ausgenommen sind die Typen Nr. 15 und 16, die sich bei völliger Gleichheit im Farbton sowohl hinsichtlich der Sättigung als auch der Helligkeit der Farbe nicht sicher genug voneinander trennen lassen. In diesem Fall wäre die Angabe eines Meßfehlers erforderlich. Hierauf wird im nächsten Abschnitt näher eingegangen werden.

2. Der Vergleich zwischen Phänotypen- und Farbtafelmeßwerten legt eindeutig die Unzulänglichkeit visueller Direktvergleiche dar. In vielen Fällen weichen der Farbton, die Sättigung und die Helligkeit der Farbenkarten wesentlich stärker von den entsprechenden Werten der zugehörigen Phänotypen ab als die Werte eines von diesem gut unterscheidbaren anderen Phänotyps. Hierbei sind zwischen den beiden verwendeten Farbenkarten-Werken, der HCC und der Farbtafeln nach BIESALSKI, keine wesentlichen Differenzen zu beobachten. Das heißt, daß Farbenkarten, aus welchen Gründen auch immer, für eine einwandfreie Beschreibung von Sorten- und Genotypencharakteren offenbar nicht geeignet sind.

Diese Aussage ist aber noch so lange der Kritik offen, als nicht durch saubere variationsstatistische Versuche nachgewiesen worden ist, daß die durch Meßfehler und natürliche Variation bedingten Abweichungen kleiner als die beobachteten Unterschiede sind. Für das vorliegende Material liegen entsprechende Versuche nicht vor, da die Notwendigkeit einer umfangreicheren Stichprobenentnahme anhand eines vorbedachten Versuchsplanes erst nach der Auswertung der Maßzahlen erkannt wurde. Zu diesem Zeitpunkt waren die Levkojen bereits zum größten Teil verblüht. Es war aber noch rechtzeitig genug, um die an den Sommerastern auszuführenden Messungen entsprechend durchzuführen.

#### Meßergebnisse der *Callistephus*-Genotypen

Zur Untersuchung der spektralen Remission standen bei der Sommeraster die auf S. 357 beschriebenen

6 anthocyanführenden und 3 anthocyanfreien Genotypen zur Verfügung. Diese Genotypen liegen als reine Linien vor, so daß Unterschiede zwischen Blüten verschiedener Pflanzen desselben Genotyps, ebenso wie die zwischen Blüten innerhalb einer Pflanze, lediglich auf umweltbedingte Einflüsse zurückzuführen sind. Um diese natürliche, im wesentlichen altersbedingte Variation der Blütenfarbe erfassen zu können, wurden von den 6 anthocyanführenden Genotypen jeweils 10 voll erblühte Pflanzen und von jeder Pflanze je 10 Blüten zufällig ausgewählt. Die zur Messung bestimmten Blüten wurden für 2 Std. in einem wassergefüllten Becherglas in einem gleichmäßig temperierten Raum gehalten, so daß Unterschiede in der Turgeszenz ausgeglichen werden konnten. Da ein Blütenblatt in der Regel nicht die für die Messung erforderliche Fläche besaß, wurden mehrere Petalen nebeneinander, etwas dachziegelartig überlappend, in der Meßschablone befestigt. Diese Methode bewährte sich gut, sie ergab in Vergleichsmessungen mit etwas breiter ausgefallenen Blütenblättern der gleichen Blüte, die ohne diese Manipulation gemessen werden konnten, dieselben Resultate.

Von den anthocyanfreien wurde nur jeweils eine charakteristische Pflanze je Genotyp gemessen, da bei diesen stärkere umweltbedingte Schwankungen nicht zu beobachten waren.

Wiederholte Messungen der zugehörigen Farbenkarten haben gezeigt, daß der durch das Gerät bedingte Fehler sehr geringfügig ist, so daß er praktisch vernachlässigt werden kann. D. h. daß die Maßzahlen der Farbenkarten mit der Varianz Null in die Tabelle eingehen.

In der nachfolgenden Zusammenstellung (Tab. 5) sind zunächst die Meßwerte (Mittelwerte) der 9 Genotypen denen der zugehörigen Farbenkarten gegenübergestellt worden.

Aus dieser Tabelle geht noch besser als aus dem *Matthiola*-Beispiel hervor, wie stark die Maßzahlen der zu einem Phänotyp gehörigen Farbtafelwerte sich mit denen anderer Phänotypen überschneiden. Das wird in dieser Zusammenstellung deswegen so besonders deutlich, weil sich die 6 anthocyanführenden Genotypen sowohl visuell als auch anhand der Reflexionsmessungen sehr viel klarer voneinander unterscheiden lassen als die Levkojen, deren Phänotypen einander ähnlicher waren. Wenn dennoch Überschneidungen zwischen Meßwerten von Phänotypen und nicht zugehörigen Farbtafelwerten vorkommen, so ist diese Situation der näheren Untersuchung wert.

Eine klare Aussage über wesentliche oder zufällige Unterschiede ist nur anhand der Variabilität der Meßwerte zu erhalten. In der Absicht, diese Variabilität in einen genotypisch und einen umweltbedingten Anteil zu zerlegen, wurde der Versuch so angelegt, daß eine faktorielle Auswertung durchgeführt werden konnte.

Von 6 anthocyanführenden als reine Linien vorliegenden Genotypen wurden je 10 Pflanzen und pro Pflanze je 10 Blüten gemessen. Unterschiede zwischen den Blüten einer Pflanze sollten vorwiegend altersbedingt, zwischen Pflanzen einer reinen Linie standortbedingt und zwischen den Genotypen sowohl durch die Wirkung der Allele am *M*- und am *R*-Locus als auch durch Interaktionen zwischen den Allelen beider Loci hervorgerufen sein. Die vor der Anwen-

Tabelle 5. Meßwerte der 9 *Callistephus*-Genotypen und der zugehörigen Farbtafeln.

Nr.	Genotyp	Farbtafel	Farbton mμ	Sättigung %	Helligkeit %	Koordinaten	
						x	y
1	RM	12 F 735	556c 523c 563c	23.1 20.8 38.6	12.3 12.7- 13.1-	.298 .322*** .273***	.248 .265*** .200***
2	r'M	11 E 11 L 732	518c 543c 530c 526c	29.9 28.7 25.7 39.1	15.3 *** 24.3 12.7*** 13.8 ***	.334 *** .313 .321*** .333 ***	.249- .244 .253** .227***
3	rM	10 D 29 730	496c 503c 503c 499c	27.9 26.8 42.9 36.7	20.7* 18.8 19.6- 15.2 ***	.381 *** .351 .374*** .380 ***	.275*** .254 .238*** .254-
4	Rm	11 L 732 733	530c 532c 526c 552c	25.7 14.9 39.1 34.3	12.7 *** 17.4 13.8 *** 13.4 ***	.321 ** .313 .333 *** .304 ***	.253*** .266 .227*** .224***
5	r'm	10.5 D 31 730	498c 504c 510c 499c	24.4 17.7 39.7 36.7	17.1- 16.9 17.9- 15.2*	.359 *** .334 .355 *** .380 ***	.274* .268 .235*** .254***
6	rm	9 K 10 K 25	491c 493c 498c 495c	23.5 22.5 29.8 39.3	19.6- 18.9 16.3 ** 24.4 ***	.404 *** .387 .374 *** .427 ***	.301 *** .280 .268 *** .270 ***
7	gelb	1 B 1 C 601/3 64/3	574 571 570 571 574	19.3 38.3 15.5 26.8 18.5	77.0 71.3 43.5 88.5 91.5	.334 .327 .363 .346 .333	.354 .399 .344 .371 .353
8	elfenbein	1 B 63/3	567 574 569	6.5 19.3 23.4	59.2 77.0 90.2	.314 .334 .338	.325 .354 .366
9	weiß	1 A	562 569	5.1 8.6	62.3 76.3	.310 .318	.323 .329

c = komplementäre Wellenlänge.

\* =  $P < 0.05$ ; \*\* =  $P < 0.01$ ; \*\*\* =  $P < 0.001$ .

dung jeder varianzanalytischen Rechnung erforderliche (jedoch nur selten tatsächlich ausgeführte) Prüfung auf Normalität, Additivität und Homoskedastizität zeigte, daß der vorliegende Versuch auch nach Anwendung einer großen Zahl verschiedener Transformationen keine der drei genannten Voraussetzungen erfüllte.

Da aber Mittelwerte aus nicht normal verteilten Stichproben in vielen Fällen normal verteilt sind, wurden die Meßwerte der 10 Blüten einer Pflanze zu einem Mittelwert zusammengefaßt und somit notgedrungen auf die Information über die vornehmlich altersbedingte Variabilität der Meßwerte verzichtet. Die so erhaltenen Pflanzenmittel genügten zwar den drei genannten Kriterien noch immer nicht, jedoch zeigte es sich, daß nach einer Transformation der Mittelwerte in log, loglog, komplementäre loglog und arc sin  $\sqrt{\%}$  nunmehr jeweils die eine oder andere der drei Voraussetzungen erfüllt war. Als wirkungsvollste Transformation erwies sich in diesem Falle die Quadratwurzel aus den über die Blüten summierter Meßwerten der Einzelpflanzen, die sowohl für die Koordinaten  $x$ ,  $y$  und  $Y$  zur Normalität und Additivität führte, während Homoskedastizität wohl für  $x$  und  $y$  vollkommen, für  $Y$  jedoch nicht erreicht werden kann. Da aber die Vernachlässigung der letztgenannten Voraussetzung den Aussagewert einer Streuungszerlegung weniger beeinflußt als Nichtnormalität und Nichtadditivität, wurde die Varianzanalyse mit Vorbehalten auch für die  $Y$ -Werte im Anschluß an die Quadratwurzel-Transformation durchgeführt. Die Resultate der Streuungszerlegung sind in der nachfolgenden Varianz-Tabelle aufgeführt worden.

Aus der Tabelle geht hervor, daß sowohl zwischen den Allelen des *M*-Locus als auch zwischen denen des *R*-Locus signifikante Unterschiede hinsichtlich der Koordinaten  $x$  und  $y$  bestehen. Die Helligkeit der Farbe ( $Y$ ) scheint dagegen ausschließlich durch die Allele des *R*-Locus verändert zu werden. Dieser Schluß ist jedoch nicht zwingend, da die ungenügende Homoskedastizität der Varianzen in diesem Falle zur Vorsicht in der Interpretation der Ergebnisse mahnt. Außerdem ist es interessant zu sehen, daß die Lage des Farbwertes hinsichtlich der Abszisse des Farbendreiecks ( $x$ ) in hohem Maße durch Interaktionen zwischen den Loci *M* und *R* beeinflußt wird. Das gleiche trifft möglicherweise für die Helligkeit der Genotypen zu. In der nachstehenden Übersicht werden die transformierten Mittelwerte der Genotypen mit Hilfe eines sequentiellen Rang-Testes (HARTLEY, 1955) unter Verwendung der Tafeln von MAY (1952) verglichen (Tab. 7).

Signifikante Unterschiede sind, wie aus der Tabelle 6 im Zusammenhang mit Tabelle 7 hervorgeht, sowohl zwischen den Mittelwerten der durch die Wirkung der *M*- wie auch die der *R*-Allele bedingten Phänotypen zu beobachten. Darüber hinaus ist die Mehrzahl der durch die Kombination der *M*- und *R*-Allele resultierenden Genotypen hinsichtlich eines einzigen Meßwertes signifikant voneinander verschieden. Wir erinnern uns daran, daß die drei Meßwerte,  $x$ ,  $y$  und  $Y$ , nichts anderes sind als Koordinaten, welche die Lage eines Farbpunktes innerhalb des MACADAM-Farbköpers festlegen. In diesem Falle ist der Konfidenzbereich dreidimensional. Es genügt daher eine signifikante Abweichung in nur einer der drei Dimensionen, um die Aussage zu rechtfertigen,

Tabelle 6. Varianzanalyse der über Blüten summierten und transformierten Koordinaten  $x$ ,  $y$  und  $Y$  einschließlich der Prüfung auf Additivität und Homoskedastizität.

Ursache	FG	SQ(x)	MQ(x)	SQ(y)	MQ(y)	SQ(Y)	MQ(Y)
Locus M	1	65075003	65075003***	74874745	74874745***	3058235	3058235
Locus R	2	315384218	157692109***	14347223	7173611***	493724625	246862312***
Pflanzen	9	1437988	159776	9950611	1105623	152756585	16972953
M/R	2	6420983	3210492***	1930784	965392	547648771	273824385***
M/Pflanzen	9	2364634	262737	3294685	366076	29414118	3268235
R/Pflanzen	18	3539853	196658	9937679	552093	223784225	12432456
Fehler	18	2819272	156626	10277288	570960	157797331	8766518
Nicht-Add.	1	3864	3864	3485	3485	< 1	< 1
Test	17	2815408	165612	10273803	604341	157797331	9282195
Gesamt	59	397041951		124613015		1608183890	
Homoskedastizität untransformiert: transformiert: FG = 5				$\chi^2 =$ 8.799 9.425	$\chi^2 =$ 33.786*** 8.655	$x$ 46.529*** 42.848***	$Y$

Anmerkungen: Test auf Additivität nach TUCKEY (1949, 1955), erweitert durch Einbeziehung der interaktionsbedingten Komponenten; Test auf Homoskedastizität nach BARTLETT (1937) anhand der 6 Genotypen-Varianzen. — SQ = Summe der Abweichungsquadrate; MQ = Varianzen; \*\*\* Signifikanz,  $P < 0.001$ .

Tabelle 7. Sequentieller Rang-Test der transformierten Mittelwerte, Konfidenz-Intervall = 5%.

	$\bar{x}_j$	$\bar{x}_j - \bar{x}_R$	$\bar{x}_j - \bar{x}_{r'}$		$\bar{x}_{ij}$	$\bar{x}_{ij} - \bar{x}_{MR}$	$\bar{x}_{ij} - \bar{x}_{M'r'}$	$\bar{x}_{ij} - \bar{x}_{mR}$	$\bar{x}_{ij} - \bar{x}_{mr'}$	$\bar{x}_{ij} - \bar{x}_{Mr'}$
$r'$	60735	05468*	03842*		$mr$	62223	07666*	06257*	06245*	04404*
$r'$	56893	01626*			$Mr$	59248	04691*	03282*	03270*	01429*
$R$	55267				$mr'$	57819	03262*	01853*	01841*	
					$mR$	55978	01421*	00012-		
					$Mr'$	55966	01409*			
					$MR$	54557				
	$\bar{y}_j$	$\bar{y}_j - \bar{y}_{r'}$	$\bar{y}_j - \bar{y}_R$		$\bar{y}_{ij}$	$\bar{y}_{ij} - \bar{y}_{M'r'}$	$\bar{y}_{ij} - \bar{y}_{MR}$	$\bar{y}_{ij} - \bar{y}_{Mr'}$	$\bar{y}_{ij} - \bar{y}_{mR}$	$\bar{y}_{ij} - \bar{y}_{mr'}$
$r'$	51672	01071*	00999*		$mr$	52974	03549*	03175*	02603*	01427*
$R$	50673	00072-			$mr'$	51774	02349*	01975*	01403*	00227-
$r'$	50601				$mR$	51547	02122*	01748*	01176*	
					$Mr$	50371	00946*	00572-		
					$MR$	49799	00374-			
					$Mr'$	49425				
	$\bar{Y}_j$	$\bar{Y}_j - \bar{Y}_R$	$\bar{Y}_j - \bar{Y}_{r'}$		$\bar{Y}_{ij}$	$\bar{Y}_{ij} - \bar{Y}_{MR}$	$\bar{Y}_{ij} - \bar{Y}_{M'r'}$	$\bar{Y}_{ij} - \bar{Y}_{mR}$	$\bar{Y}_{ij} - \bar{Y}_{mr'}$	$\bar{Y}_{ij} - \bar{Y}_{Mr'}$
$r'$	45204	06780*	01791-		$Mr'$	49259	14164*	08111*	07505*	05894*
$r'$	43413	04989*			$mr$	43462	08367*	02314-	01708-	00097-
$R$	38424				$Mr$	43365	08270*	02217-	01611-	
					$mR$	41754	06659*	00606-		
					$mr'$	41148	06053*			
					$MR$	35095				

\* signifikant,  $P < 0.05$ ; - nicht signifikant.

Tabelle 8. Zusammenfassung der Resultate der in drei Dimensionen durchgeführten Signifikanz-Tests auf Unterschiede zwischen den Farben der Genotypen.

$Mr'$	$Mr$	$mR$	$mr'$	$mr$	
$x - Y$	$x - Y$	$xyY$	$xyY$	$xyY$	$MR$
		$-yY$	$xyY$	$xyY$	$Mr'$
		$xy-$	$xy-$	$xy-$	$Mr$
		$x-$	$xy-$	$xy-$	$mR$
				$xy-$	$mr'$

## Anmerkungen:

$x$ ,  $y$  und  $Y$  symbolisieren signifikante Differenzen auf dem 5% Niveau im Bereich der jenen Symbolen entsprechenden Meßwerte, durch einen Strich ersetzte Buchstaben kennzeichnen nichtsignifikante Unterschiede.

dass zwei Farben mit angebbarer Wahrscheinlichkeit voneinander verschieden sind.

Eine Überprüfung der 15 möglichen Differenzen zwischen den 6 Genotypen (Tab. 8) führt zu dem Nachweis, daß alle Unterschiede zumindest in einer Dimension signifikant sind.

Da es keinen einzigen nichtsignifikanten Unterschied zwischen den hier untersuchten Genotypen

gibt, ist es also zumindest im vorliegenden Beispiel möglich gewesen, Farbunterschiede zwischen Phänotypen, die spezifischen Genotypen zuzuordnen sind, mit Hilfe der Messung spektraler Remission so eindeutig zu charakterisieren, daß eine Verwechslung unwahrscheinlich ist.

Außerdem kann nun anhand der Variabilität der Meßwerte auch die zweite Frage (S. 361 oben) beant-

wortet werden: ob und in welchem Umfang die Verwendung von Farbenkarten geeignet ist, Phänotypen verlässlich zu beschreiben.

Wird der für die Genotypen ermittelte und von allen erkennbaren systematischen Streuungsursachen befreite Fehler der Meßwerte zugrunde gelegt und zugleich berücksichtigt, daß die entsprechenden Meßwerte der Farbenkarten keine Variabilität besitzen<sup>1</sup>, so kann die Differenz zwischen den Meßwerten der Farbenkarten und denen der mit ihrer Hilfe beurteilten Phänotypen auf ihre Signifikanz überprüft werden. Die Resultate dieser Prüfung sind in den letzten drei Spalten der Tabelle 5 zu finden. Aus ihnen geht hervor, daß weder in den Farbenkarten nach BIESALSKI noch in der Horticultural Colour Chart eine einzige Farbenkarte enthalten ist, deren Meßwerte nicht signifikant von denen der ihnen entsprechenden Phänotypen abweicht. Selbst wenn man „zugunsten“ der Farbenkarten die unrealistische Annahme macht, die Meßwerte der Karten besäßen die gleiche Variabilität wie die der Blüten, d. h. wenn man die Fehlervarianz vor der Anwendung des t-Testes verdoppelt, tritt keine wesentliche Änderung ein. Zwar wird dann der Grad der Signifikanz einiger Differenzen entsprechend reduziert bzw. von 5% auf nicht signifikant geändert, doch gibt es auch in diesem Falle nicht einen einzigen Farbtafelwert, der nicht zumindest in einer der drei Dimensionen signifikant von den Meßwerten der Blüten abweicht.

Die nachfolgende Abbildung 3, die einen Ausschnitt aus dem Farbdreieck mit den Koordinaten  $x$  und  $y$  darstellt, gibt die Lage der Genotypen-Mittelwerte einschließlich ihres 0.001-Konfidenzbereiches und die der ihnen zugehörigen Farbtafelwerte wieder.

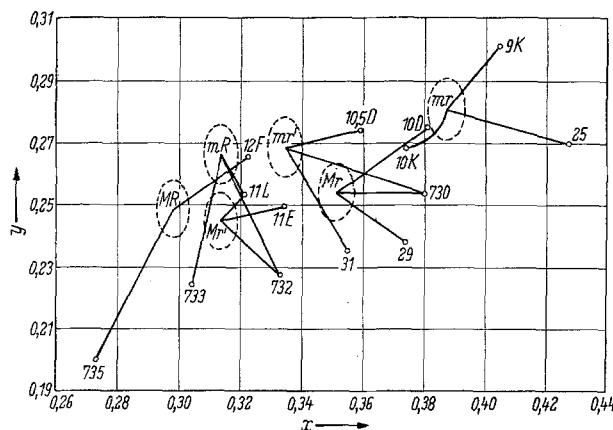


Abb. 3. Darstellung des 0,001 Konfidenzbereiches der rücktransformierten  $x$ - und  $y$ -Werte von 6 A stern-Genotypen nebst Meßwerten der zugehörigen Farbtafeln; Ausschnitt aus dem Farbdreieck. — Die Mittelpunkte der 6 Ellipsen entsprechen den  $x$  und  $y$  der Genotypen, die gestrichelten Linien kennzeichnen den wegen der Rücktransformation nur ellipsenähnlichen Konfidenzbereich, Farbtafelwerte sind durch kleine Kreise bezeichnet und durch ununterbrochene Linien mit den zugehörigen Mittelpunkten verbunden worden.

### Diskussion und Zusammenfassung

In der vorstehenden Arbeit wird nachgewiesen, daß die Verwendung von Farbenkarten ungeeignet ist, um auf dem Wege des visuellen Direktvergleiches

<sup>1</sup> Wiederholte Messungen der gleichen Farbenkarte ergeben in der Regel die gleichen Resultate. Wenn Abweichungen beobachtet werden, dann sind sie im Vergleich zur Variabilität der Blütenmessungen so geringfügig, daß sie als unbedeutend vernachlässigt werden können.

Phänotypen verlässlich zu beschreiben und zu klassifizieren:

Es wird gezeigt, daß die Messung der spektralen Remission objektive Maßstäbe zur eindeutigen und reproduzierbaren Charakterisierung von Körperfarben zu bieten vermag. In Verbindung mit den im CIE-System niedergelegten Normspektralwerten kann die Lage jeder natürlichen Farbe im MAC-ADAM-Farbkörper anhand ihrer spektralen Remissionskurve ermittelt und somit jede beliebige Farbe durch Angabe des Farbtone (dominierende Wellenlänge in  $\mu$ ), der Sättigung (in %) und der Helligkeit (in %) unverwechselbar gekennzeichnet werden.

Die Charakterisierung einer Farbe durch Maß und Zahl bietet zudem die Möglichkeit zur Fehlerrechnung, so daß nunmehr die genetisch und umweltbedingte Variabilität ermittelt und zum Vergleich zwischen verschiedenen Phänotypen herangezogen werden kann.

Im vorliegenden Material erwies sich die für die Durchführung varianzanalytischer Auswertungen erforderliche Normalität, Additivität und Homoskedastizität der Farbenkennwerte des natürlichen Materials als unzureichend. Aus diesem Grunde mußte transformiert werden, wobei sich unter allen geprüften Transformationen nur die Quadratwurzel der Farbenkennwerte eignete.

Die Untersuchung wohl definierter Blütenfarb-Genotypen der Levkoje (16) und der Sommeraster (9) hat im einzelnen die folgenden Ergebnisse gehabt:

1. Mit dem Auge noch wahrnehmbare Unterschiede zwischen phänotypisch einander ähnlichen, genetisch aber verschiedenen Levkojen-Typen sind mittels Farbenkarten nicht mehr feststellbar. Mehrere Phänotypen werden durch die gleichen Farbenkarten gekennzeichnet, d. h. der Unterschied zwischen Phänotyp und Farbkarte ist größer als der zwischen ähnlichen Phänotypen.

2. Messungen der spektralen Remission und Berechnung der Farbenkennwerte für Phänotypen und Farbenkarten bestätigen diese Beobachtung. Gleichzeitig lassen sie erkennen, daß anhand der Farbenkennwerte sehr wohl eine Unterscheidung einander ähnlicher Phänotypen möglich ist. Darüber hinaus ist zu sehen, daß aus nicht erkennbaren Gründen mitunter ausgesprochene Fehlbeurteilungen in der Weise möglich sind, daß Farbtafelwerte, deren Charakteristika sehr gut mit denen eines Phänotyps übereinstimmen, bei visuellem Direktvergleich nicht mit diesem, sondern mit einem ganz andersartigen Phänotyp identifiziert werden (Abb. 3).

3. Variationsstatistische Untersuchungen anhand der transformierten Farbenkennwerte von 6 A stern-Genotypen belegen die Behauptung, daß Farbtafelwerke keine exakte Bonitur ermöglichen:

Alle durch visuellen Direktvergleich ermittelten Farbtafelwerte (Farbtafeln nach BIESALSKI und Horticultural Colour Chart) weichen signifikant von den ihnen entsprechenden Phänotypen ab. Da der Konfidenzbereich der Mittelwerte der Phänotypen dreidimensional ist (MAC-ADAM-Farbkörper), genügt bereits eine signifikante Abweichung in einer der drei Dimensionen, um Phänotypen und Farbenkarten als verschieden zu charakterisieren (Tab. 5). In der Mehrzahl der untersuchten Fälle ist aber eine Signifikanz in allen drei Dimensionen zu beobachten.

Aus dem oben Gesagten ergibt sich die einfache Folgerung, daß überall dort, wo eine sehr zuverlässige Festlegung von Farben notwendig ist, von der Verwendung von Farbtafelwerken abzuraten ist. Vielmehr bietet die Messung der spektralen Remission eine sehr viel verlässlichere Grundlage zur Klassifizierung und Beschreibung von Phänotypen, so daß feinere Unterschiede zwischen Sorten, Mutanten, Linien oder Zuchttümern besser erkannt und beschrieben werden können. Voraussetzung ist lediglich, daß die zu messende Fläche homogen gefärbt und nicht kleiner als etwa  $1 \text{ cm}^2$  ist. In der beschriebenen Weise kann nicht nur ein genetisch bedingter Unterschied eindeutig erkannt, sondern auch der Einfluß verschiedener experimentell mehr oder weniger genau regulierbarer Faktoren wie Licht, Temperatur, Ernährung, Alterung u. dgl. unmittelbar gemessen werden.

Ein Beispiel der letztgenannten Art der Anwendung wird von ASEN (1959) gegeben, der den Einfluß der Kalidüngung auf die Chelatbildung der Delphinidinylglykoside in den Sepalen der *Hydrangea macrophylla* untersuchte. Allerdings beschränkt sich der genannte Autor auf die Darstellung der Remissionskurven und die Berechnung eines Indexwertes aus den Reflexionswerten zweier spezifischer Wellenlängen. Der an sich naheliegende Schritt, den Farbton, die Sättigung und die Helligkeit der beobachteten Farbwerte zu ermitteln, wird nicht ausgeführt.

Für die Darstellung genetisch bedingter Unterschiede hat ENDO (1962) kürzlich ein Beispiel gegeben<sup>1</sup>.

In dieser, während der Vorbereitung des vorliegenden Manuskriptes erschienenen Arbeit wird erstmals die Eintragung in ein Farbendreieck verwendet, um verschiedene Blütenfarb-Genotypen von *Viola wittrockiana* zu kennzeichnen, und m.W. auch erstmals der Hinweis gegeben, daß die Charakterisierung einer Farbe durch Farbton, Sättigung und Helligkeit ver-

<sup>1</sup> Herrn Prof. Dr. M. OKAMOTO bin ich für die Übersetzung der japanisch geschriebenen Arbeit sehr zu Dank verpflichtet.

läßlicher ist als jede andersartige Beschreibung. Ein Beleg für diese Behauptung ist der genannten Arbeit, die mit ganz anderer Zielsetzung ausgeführt wurde, jedoch nicht zu entnehmen.

Die deutsche Forschungsgemeinschaft stellte für die Ausführung der umfangreichen Rechenarbeiten einen elektrischen Tischrechner Monroe 88N zur Verfügung. Hierfür sage ich meinen aufrichtigen Dank.

Mein Dank gilt ferner meinen Mitarbeiterinnen Frau RECKERT und Fr. SCHEFERHOFF für ihre Hilfe bei der Messung und Auswertung der Versuche.

#### Literatur

1. ASEN, S.: A rapid method for evaluation of the color of *Hydrangea macrophylla* sepals. Proc. Am. Soc. Hort. Sci. **74**, 677–680 (1959). — 2. BARTLETT, M. S.: Some examples of statistical methods of research in agriculture and applied biology. J. Roy. Stat. Soc., Suppl. **4**, 137 (1937). — 3. ENDO, T.: Biochemical genetics of flower colour variation. Nucleus and Cytoplasm **4**, 30–35 (1962). — 4. FISHER, R. A., and F. YATES: Statistical tables for biological, agricultural and medical research. 6. Aufl. London: Oliver & Boyd 1963. — 5. HARTLEY, H. O.: Some recent developments in analysis of variance. Comm. Pure and Appl. Mathematics **8**, 47–72 (1955). — 6. LEGRAND, Y.: Light, Colour and Vision. New York: J. Wiley 1957. — 7. MAY, J. M.: Biometrika **39**: 192 (1952), zitiert nach: G. W. SNEDECOR, Statistical methods. 5. Aufl. Ames: Iowa State Univ. Press 1961. — 8. MOORE, P. G., and J. W. TUCKEY: Queries. Biometrics **10**, 562–568 (1954). — 9. SCHULTZE, W.: Farbenlehre und Farbenmessung. Berlin: Springer 1957. — 10. SEYFFERT, W.: Über die Wirkung von Blütenfarbgenen bei der Levkoje, *Matthiola incana* R. Br. Z. Pflanzenzüchtung **44**, 4–29 (1960). — 11. SEYFFERT, W.: Über Geninteraktionen bei der Ausbildung von Blütenfarben. Rep. XVI. intern. Hort. Congr. Brüssel 1962, IV: im Druck. — 12. SEYFFERT, W., und R. STEIN: unveröffentlichte Daten. — 13. TUCKEY, J. W.: One degree of freedom for non-additivity. Biometrics **5**, 232–242 (1949). — 14. TUCKEY, J. W.: Queries. Biometrics **11**, 111–113 (1955). — 15. WILF, F.: Contributions to the genetics of the china aster. III. Flower colour. Diss. Groningen 62–102 (1936).

#### Farbentafeln

1. BIESALSKI, E.: Pflanzenfarben-Atlas für Gartenbau, Landwirtschaft und Forsten. Mit Farbzeichen nach DIN 6164. Göttingen: Musterschmidt 1957. — 2. British Colour Council and Roy. Hort. Soc.: Horticultural colour chart. 2 Vol., London 1938 und 1940.

## BUCHBESPRECHUNGEN

**Fortschritte der Zoologie.** Begründet von M. HARTMANN. Im Auftrag der Deutschen Zoologischen Gesellschaft unter besonderer Mitwirkung von H. AUTRUM, F. DUSPIVA, F. SEIDEL und K. STRENZKE † herausgegeben von H. BAUER. Redaktion: G. CZIHAK. Bd. 15, 3. Lfg. Stuttgart: Gustav Fischer 1962. 87 S., 11 Abb., 1 Tab. Brosch. Subskriptionspreis DM 21,—.

Die 3. und abschließende Lieferung zu Bd. 15 der „Fortschritte der Zoologie“ enthält je einen Beitrag zur Anatomie der Insekten, zur Verhaltensforschung und zur Genphysiologie. F. J. GOBIN (Straßburg) berichtet auf S. 337–53. über die Morphologie des Abdomens der Insekten einschließlich der vergleichend-anatomisch sehr komplizierten Verhältnisse im äußeren Genitalapparat. I. EIBL-EIBESFELDT und W. WICKLER (Seewiesen) besprechen die neueren Arbeiten zur Ontogenese und Organisation der Verhaltensweisen von Tieren (S. 354–77). Während diese beiden kurzen Beiträge hauptsächlich für Nachträge und Ergänzungen zu vorangegangenen größeren Zusammenfassungen der Verf. bestimmt sind, gibt A. EGELHAAF (Tübingen) in seiner Arbeit über biochemische Genwirkungen (S. 378–423) einen ziemlich umfassenden Überblick der neueren Literatur, soweit sie an Metazoen ausgeführte Untersuchungen betrifft. Da-

durch ist eine zu den zahlreich vorhandenen Sammelerferaten über Viren- und Bakteriengenetik komplettäre Darstellung entstanden, die das gegenwärtige Wissen über den Wirkungsmechanismus der Gene und ihre Rolle bei der Regulation von Stoffwechsel- und Differenzierungsprozessen der vielzelligen Tiere gut wiedergibt. Daß die genabhängige Bildung der Pigmentierungsmuster bei Insekten dabei einen breiten Raum einnimmt, beruht nicht allein auf der Arbeitsrichtung des Verf., sondern auf der grundsätzlichen Bedeutung, die den auf diesem Gebiet erzielten Ergebnissen zukommt. — Der vorliegenden Schlüsseleiern sind noch Titel, Gesamtinhaltsverzeichnis für den Band 15 und ein Vorwort des Herausgebers beigelegt, in dem dieser nochmals die Aufgabe, über alle Teilgebiete der Zoologie zu berichten, als unverrückbares Ziel der „Fortschritte der Zoologie“ nennt, das trotz mancher Schwierigkeiten auch heute noch erreichbar sei.

Chr. Hoffmann, München

**Handbuch der Pflanzenanatomie.** Bd. II: Allgemeine Pflanzenkaryologie. Von G. TISCHLER †. Ergänzungsband Ange-wandte Pflanzenkaryologie. Fortgeführt von H. D. WULFF. 6. Lfg. Berlin: Borntraeger 1963. IX und 155 S. Brosch. DM 70,—.