Untersuchungen über den Farbensinn bei künstlicher Beleuchtung.

Von

Dr. Franz Becker,
Augenarzt in Düsseldorf.

Es muss auffallen, dass die Veränderungen, welche der Farbensinn bei künstlicher Beleuchtung erfährt, bisher anscheinend nur selten der Gegenstand eingehender Studien gewesen sind. Selbst die besten Arbeiten über die Hygiene der künstlichen Beleuchtung aus den letzten Jahren behandeln die betreffende Frage ganz oberflächlich. Fick in seiner Gesundheitspflege des Auges¹⁾, Erismann in seinem grossen Referat auf der 24. Versammlung des Deutschen Vereins für öffentliche Gesundheitspflege²⁾, und ebenso Seggel und Eversbusch in ihrem umfangreichen Gutachten³⁾, alle bringen über den genannten Punkt kaum mehr als einige allgemein gehaltene Bemerkungen. Und doch ist die gewaltige Veränderung, welche unser Farbenwahrnehmungsvermögen wohl bei jeder Art von künstlichem Licht erleidet, jedem gebildeten Laien bekannt, ja wenigstens für den Laien wohl das hervorstechendste Unterscheidungsmerkmal, durch welches sich das künstliche Licht vom natürlichen Tageslicht unterscheidet. Als ich aus Interesse für den betreffenden Gegenstand anfang, die mir zugängliche Literatur zu durchforschen, musste ich bis zum Jahre 1879 bzw. 1880 zurückgehen, um eine grössere zusammenhängende Arbeit über den gedachten Punkt zu finden. In diesen Jahren sind die beiden grösseren Arbeiten von Cohn⁴⁾ erschienen. Dass diese Untersuchungen von Cohn trotz des grossen zu Grunde

¹⁾ Graefe-Saemisch, Handb. d. ges. Augenheilk. 1899.

²⁾ Vierteljahrsschr. f. öffentliche Gesundheitspflege. Bd. XXXII. 1. 1900.

³⁾ Münchener med. Wochenschr. 1901. Nr. 29 u. 30.

⁴⁾ Vergleichende Messungen der Sehschärfe und des Farbensinnes bei Tages-, Gas- und elektrischem Licht. Arch. f. Augenheilk. Bd. VIII. 3/4. S. 408 und Bd. IX. 1. S. 84.

liegenden Materials nicht mehr den heutigen Anforderungen genügen können, ist klar, schon weil sie sich überhaupt nur auf Tageslicht, Gas- und elektrisches (Bogen-) Licht erstrecken. Aber auch die Cohnsche Methode kann nicht als besonders zweckmässig bezeichnet werden. Cohn bestimmte einfach bei einer grössern Anzahl von Personen bei Tageslicht, Gas- und Bogenlicht zunächst die Sehschärfe und nachher die Farbensehschärfe und verglich alsdann die gefundenen Werte. Die Farbensehschärfe wurde mittels des Adolf Weberschen „Chromoptometers“ bestimmt. (Es sind das kleine Farbmarken aus Heidelberger Blumenpapier auf schwarzen Sammet geklebt; mittels davor anzubringender Schieber kann die Farbmarke beliebig verkleinert werden.) — Zwei Einwendungen insbesondere muss man gegen die Cohnsche Untersuchungsmethode machen: Es ist zunächst allgemein bekannt, dass unsere Sehschärfe bei mittlern Beleuchtungsgraden ziemlich konstant ist, bzw. sich wenigstens nicht sehr wesentlich ändert. Oder mit andern Worten: Ein gesundes Auge erlangt seine normale Sehschärfe schon bei einem gewissen mässigen Beleuchtungsgrade; ein Zuwachs an Beleuchtung bringt im allgemeinen nur eine ganz geringe Steigerung der Sehschärfe. Nun ist es aber keineswegs bewiesen, ja aus verschiedenen Gründen von vornherein nicht sehr wahrscheinlich, dass sich der Farbensinn genau ebenso verhalte¹⁾. Wenn also z. B. ein Auge bei Tageslicht und nachher bei Gaslicht beidemale eine Sehschärfe von 1 aufweist, so kann trotzdem die absolute Helligkeit der beiden Lichtarten derart verschieden sein, dass dadurch der Farbensinn immerhin erheblich beeinflusst wird.

Ferner haben die von Cohn benutzten kleinen Farbmarken den Nachteil, dass dabei die Farbe unter Umständen einfach erraten wird, wobei noch in Betracht kommt, dass überhaupt Pigmentfarben, unter sehr kleinem Winkel gesehen, dem Auge wesentlich anders erscheinen. Es kann deshalb auch nicht überraschen, wenn Cohn zu recht eigentümlichen Resultaten gelangte. Wenn es ja auch wahrscheinlich ist, was ja auch andere Autoren bestätigen, dass das elektrische Bogenlicht die Farbensehschärfe sowohl dem Tages- als Gaslicht gegenüber steigert, so sind doch die von Cohn gefundenen Werte sicher viel zu gross. Noch auffallender ist es, wenn nach Cohns Untersuchungen das Gaslicht die Farbensehschärfe steigern soll, wenn sie bei Tageslicht < 1 , sie dagegen vermindern soll, wenn sie

¹⁾ Snellen in Ned. Tijdschrift voor Geneesk. 1897. 2. Dez. Referat in Hirschberg. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. 1898. S. 112.

bei Tageslicht > 1 war. Es ist kein Grund einzusehen, warum sich das Gaslicht so verschieden verhalten sollte. Vielmehr erklärt sich die eigentümliche Erscheinung wahrscheinlich so, dass bei einer Anzahl von Personen infolge von ungünstiger Beleuchtung bei Tageslicht¹⁾ nicht die volle normale Farbensehschärfe erreicht wurde. Bei der vielleicht wesentlich günstigeren Gasbeleuchtung stieg dann die Farbensehschärfe etwas, erreichte aber vermutlich nicht den Wert, denn sie unter guter Tagesbeleuchtung erreicht haben würde.

Ich möchte nunmehr dazu übergehen, eine wesentlich anders gestaltete Methode zu schildern, mit der ich eine Reihe von Versuchen angestellt habe und die, wie ich glaube, namentlich geeignet ist, eine direkte Vergleichung verschiedener künstlicher Lichtarten hinsichtlich ihrer Einwirkung auf den Farbensinn zu ermöglichen. Das von mir angewendete Verfahren beruht auf Kontrastwirkung der Farben, wenn man will, auf dem sog. simultanen Kontrast, sobald man wenigstens darunter nur versteht, dass eine helle Fläche um so heller, eine Farbe um so intensiver erscheint, je weniger Helligkeit, bzw. Licht von der gleichen Farbe sich in der Umgebung befindet und umgekehrt.

Der Fundamentalversuch, von dem ich ausging, war der folgende: Ich brachte auf einer schwarzen und einer weissen Grundfläche je zwei Briefoblaten, eine rote und eine grüne, an. Bei gewöhnlichem Tageslicht waren alle vier Oblaten annähernd gleich gut und auch ungefähr gleich weit zu erkennen. Die Sache änderte sich aber sofort, wenn ich die Tafeln durch ein rotes Glas betrachtete. Auf der schwarzen Tafel war die grüne Oblate verschwunden, während die rote fast noch lebhafter glänzte als vorher. Umgekehrt sah jetzt die grüne Oblate auf der weissen Tafel fast schwarz aus, so dass sie auf grössere Entfernung wahrgenommen werden konnte. Die rote dagegen erschien seltsam matt und konnte entschieden nicht mehr so weit erkannt werden, wie eben. Eine Erklärung dieser selbstverständlichen und einfachen Tatsachen kann ich mir wohl an dieser Stelle ersparen. Die auf dem sog. simultanen Kontrast beruhende Erscheinung, dass die rote Oblate auf der weissen Tafel so matt erschien, trotzdem das rote Glas doch offenbar alles von der Oblate ausgehende rote Licht hindurchliess, diente mir indes zum Ausgangspunkt für weitere Erwägungen. Ich sagte mir, dass ein ganz ana-

¹⁾ Cohn untersuchte im März, nachmittags zwischen 4 und 5 Uhr, bei meist bedecktem Himmel.

loges Verhältnis obwalten werde, wenn die weisse Tafel von einem Lichte beleuchtet würde, in welchem etwa die roten Lichtstrahlen überwiegen, also z. B. von gewöhnlichem Gas- oder Petroleumlicht, und ein Versuch bestätigte auch vollkommen meine Voraussetzung. Ich schloss daraus, dass allgemein bei künstlichem Lichte farbige Gegenstände auf hellem Grunde infolge einer Kontrastwirkung um so schlechter zu erkennen wären, je mehr Strahlen von der gleichen Farbe die künstliche Lichtquelle enthält und natürlich auch umgekehrt. Wenn es nun möglich wäre, den Wert dieses Kontrastes in einfacher Weise genau zu berechnen, so müsste damit auch zugleich ein Massstab für eine Vergleichung verschiedener künstlicher Lichtarten und ihrer Einwirkung auf den Farbensinn des menschlichen Auges gegeben sein.

Nennen wir z. B. die Menge „Rot“, welche ein roter Gegenstand bei Tageslicht ausstrahlt a , so ist der Kontrast dieses Rot gegen eine weisse Grundfläche bei gewöhnlichem weissen Tageslicht offenbar ebenfalls gleich a . Wird der weisse Grund indes von einem an sich rötlichen Lichte (Gaslicht) beschienen, so erscheint der weisse Grund nicht mehr rein weiss, sondern selbst schwach rötlich. Wir wollen dieses schwache Rot des Grundes mit b bezeichnen. Allerdings wird auch der rote Gegenstand in dem rötlich gefärbten Lichte verhältnismässig mehr Rot ausstrahlen als bei gewöhnlichem weissen Tageslicht. Wir müssen deshalb das Rot des Gegenstandes jetzt mit $a + b$ bezeichnen. Das Rot des Grundes wird ein gewisser Bruchteil von dem Rot des Gegenstandes sein und wir können es darum durch einen Bruch mit dem Nenner $a + b$ ausdrücken. Der Kontrast, die Differenz zwischen Gegenstand und Grund, würde dann

sein:
$$\frac{a + b}{a + b} - \frac{b}{a + b} = \frac{a}{a + b}.$$

Setzen wir nun wiederum $a = 1$, so erhalten wir die Gleichung:

$$C \text{ (Kontrast)} = \frac{1}{1 + b}. \quad (\text{I})$$

Wenn es nun möglich wäre, dieses b in einer einfachen und bequemen Weise zu bestimmen, so wäre, wie gesagt, die gegebene Aufgabe gelöst.

Es wäre vielleicht leicht, dieses b zu berechnen, wenn das künstliche Licht immer genau dieselbe Helligkeit wie das Tageslicht besässe. Der Wert b würde sich dann berechnen lassen aus der verschieden grossen Entfernung, in welcher der betreffende Gegenstand, etwa ein Buchstabe, bei Tageslicht bzw. bei künstlicher Beleuchtung

erkannt wird¹⁾. Nennen wir die Entfernung, in welcher z. B. ein roter Buchstabe bei Tageslicht erkannt wird m , die Entfernung, in welcher derselbe Buchstabe etwa bei Gaslicht erkannt wird n , so hätten wir folgende Proportion:

$$1 : \frac{1}{1+b} = m : n.$$

Daraus liesse sich b berechnen. Es wäre nämlich

$$b = \frac{m}{n} - 1. \quad (\text{II})$$

Nun wird es in Wirklichkeit nicht möglich sein, dem künstlichen Lichte immer genau die Helligkeit des natürlichen Tageslichtes zu geben, auch wird sich vielleicht bei künstlicher Beleuchtung der Helligkeitsunterschied (zwischen Gegenstand und Grund) etwas ändern. Wenn wir aber, um bei dem obigen Beispiel zu bleiben, neben dem roten Buchstaben den gleichen Buchstaben in Schwarz anbrächten, so würde uns die veränderte Erkennbarkeitsdistanz dieses schwarzen Buchstaben einen Anhalt geben für den Anteil, der lediglich der veränderten Helligkeit zukäme, da hier natürlich von einem spezifischen Farbkontrast keine Rede sein könnte. Aus der Veränderung nun, welche das wechselseitige Verhältnis der roten und schwarzen Buchstaben bei Tageslicht und bei künstlichem Licht erführe, wäre dann wiederum der Anteil, der dem spezifischen Farbkontrast zukäme, zu berechnen.

Kehren wir nun zur obigen Formel $\frac{m}{n} - 1$ zurück. Handelt es sich, wie wir annehmen wollen, um rote Buchstaben, deren Erkennbarkeitsdistanz wir erst bei Tageslicht und nachher bei Gaslicht untersuchen, so wird im allgemeinen natürlich n kleiner sein als m . Und zwar setzt sich die Differenz $m - n$ aus zwei Addenden zusammen:

1. aus dem Stück, um welches die Erkennbarkeitsdistanz verkleinert wird lediglich als Folge einer verminderten Helligkeit. Wir nennen dieses Stück h .

2. aus dem Stück, um welches die Erkennbarkeitsdistanz ver-

¹⁾ Wenn ich hier und im folgenden die Voraussetzung mache, dass sich die Sehschärfe, bzw. die Farbensehschärfe proportional der Helligkeit bzw. dem Farbenkontrast verhalten, so weiss ich wohl, dass diese Annahme keine allgemeine Gültigkeit besitzt. Innerhalb gewisser enger Grenzen dürfte die Annahme gleichwohl zulässig sein.

kleinert wird lediglich durch Wirkung eines veränderten Farbkontrastes. Wir nennen dieses Stück f . Also:

$$m - n = h + f. \quad (\text{III})$$

Wir müssten also, wenn Tageslicht und künstliches eine verschiedene Helligkeit besitzen, in Gleichung (II) dem n noch den Wert von h hinzufügen, so dass diese Gleichung jetzt lauten muss:

$$b = \frac{m}{n + h} - 1. \quad (\text{IV})$$

Die Erkennbarkeitsdistanz schwarzer Buchstaben dagegen würde allein durch eine Veränderung der absoluten Helligkeit (bzw. des Helligkeitsunterschiedes) verkürzt werden. Wollten wir daher eine Proportion zwischen den Sichtbarkeitsdistanzen der roten und schwarzen Buchstaben aufstellen, so müssten wir hier dem n noch den Wert von f hinzufügen. Wir haben dann folgende Gleichung (o sei die Sichtbarkeitsdistanz der schwarzen Buchstaben bei Tageslicht, p bei künstlicher Beleuchtung):

$$o : p = m : n + f. \quad (\text{V})$$

Nach Gleichung (III) wäre aber:

$$f = m - n - h.$$

Setzen wir diesen Wert für f in Gleichung (V), so erhalten wir:

$$o : p = m : m - h. \quad (\text{VI})$$

Daraus lässt sich der Wert für h berechnen:

$$h = \frac{om - pm}{o}.$$

Dieser Wert für h in Gleichung (IV) gesetzt, ergibt:

$$b = \frac{m}{n + \frac{om - pm}{o}} - 1,$$

oder

$$b = \frac{pm - on}{om + on - pm}.$$

Endlich setzen wir den hier erhaltenen Wert für b in Gleichung (I) und kommen dadurch zu der Formel:

$$C = \frac{om + on - pm}{om},$$

wobei also o die Sichtbarkeitsdistanz der schwarzen Buchstaben bei Tageslicht, p die Sichtbarkeitsdistanz der schwarzen Buchstaben bei künstlichem Licht, m die Sichtbarkeitsdistanz der roten, bzw. farbigen Buchstaben bei Tageslicht, und endlich n die Sichtbarkeitsdistanz der roten, bzw. farbigen Buchstaben bei künstlichem Licht bedeutet.

Versuche.

Zur Anstellung praktischer Versuche liess ich mir eine weisse Tafel anfertigen, an welcher fünf gleich grosse Streifen weisser Pappe befestigt werden konnten. Auf jedem dieser Streifen befand sich je viermal der Buchstabe **E** (sog. Grotesk), wie er nach Snellen auf 18 m Entfernung vom normalen Auge gelesen werden soll. Die Öffnung des **E** war in wechselnder, doch auf den einzelnen Streifen verschiedener Folge immer nach einer andern Seite gerichtet. Jeder einzelne Streifen enthielt nur Buchstaben von einer Farbe, der eine schwarze, die andern rote, gelbe, grüne und blaue Buchstaben. Die Buchstaben selbst waren aus sog. Heidelberger Blumenpapier hergestellt. Da die Streifen abwechselnd an verschiedener Stelle und sowohl mit der einen, wie mit der andern Längsseite nach oben oder unten angebracht werden konnten, war die Möglichkeit einer grossen Abwechslung gegeben und ein Erraten nahezu ausgeschlossen. Die Versuche selbst fanden alle in einem ungefähr 20 m langen, bei Tage gut erhellten Raume statt, der zugleich abwechselnd mit gewöhnlichen Schnittbrennern, Auerlicht und elektrischem Glühlicht erleuchtet werden konnte. Für Versuche mit Petroleum und Acetylen dienten transportable Lampen, die in der Nähe der Buchstabentafel aufgestellt wurden. Bei diesen Versuchen war die Lichtquelle durch einen Schirm den Versuchspersonen verdeckt. In Kopfhöhe der Versuchspersonen war ferner ein Draht gespannt mit Markierung der ganzen und halben Meter. Die Versuchspersonen wurden angewiesen, sich langsam der Buchstabentafel zu nähern, bis sie eben im stande waren, genau anzugeben, nach welcher Richtung die **E** eines bestimmten Streifens geöffnet wären. An dieser Stelle wurde sofort eine kleine Marke mit entsprechendem Vermerk befestigt. Alle Versuche mit künstlicher Beleuchtung fanden übrigens ausschliesslich in den spätern Abendstunden statt, so dass von aussen kein störendes Licht eindringen konnte.

1. Versuche mit rotem Licht.

Ehe ich dazu überging, die einzelnen Hauptarten der künstlichen Beleuchtung zu untersuchen, hielt ich es für richtig, zunächst einige Vorversuche anzustellen, und zwar zunächst einmal bei Bedingungen, welche geeignet wären, die Verhältnisse besonders drastisch zu demonstrieren. Zu diesem Zwecke liess ich mir zunächst eine kleine

Laterne anfertigen. In derselben befand sich eine kleine Petroleumlampe mit dahinter angebrachtem Reflektor. Alles seitliche Licht wurde durch Metallscheiben abgeblendet und nur dem Reflektor gegenüber befand sich eine etwa talergrosse Öffnung, vor welcher schmale Streifen farbigen Glases angebracht werden konnten. Die Laterne wurde so aufgestellt, dass ihr Licht voll auf die Buchstabentafel fiel, und es wurden nun zunächst die Sichtbarkeitsdistanzen der einzelnen Buchstabenstreifen für das gewöhnliche Petroleumlicht festgestellt. Ich erhielt (eine Versuchsperson, zwei Versuche) folgende (Mittel-)Werte:

Schwarze Buchstaben	16,6 m
Rote	„ 13,6 „
Gelbe	„ 6,8 „
Grüne	„ 13,2 „
Blaue	„ 15,2 „

Nach Anbringung einer roten Scheibe vor der Öffnung der Laterne erhielt ich (ebenfalls eine Versuchsperson, zwei Versuche) folgende (Mittel-)Werte:

Schwarze Buchstaben	14,7 m
Rote	„ 8,6 „
Gelbe	„ 4,1 „
Grüne	„ 12,4 „
Blaue	„ 13,3 „

Daraus kann man nach der oben entwickelten Formel

$$\left(C = \frac{om + on - pm}{om} \right)$$

folgende Werte für die einzelnen Farbenkontraste berechnen:

Rot	0,748
Gelb	0,717
Grün	1,055
Blau	0,992

Der Versuch zeigt sehr schön, wie durch die rote Glasscheibe der Wert des Kontrastes für Rot und Gelb beträchtlich herabgesetzt wird, wie dagegen der Kontrastwert für die komplementäre Farbe, das Grün, steigt, während Blau nicht nennenswert beeinflusst wird.

2. Versuche mit abgestuftem blauen Licht.

Als recht wünschenswert erschien es mir ferner, wo möglich einige Versuche in der Art anzustellen, dass dabei der Farbkontrast

in genau bestimmter Weise gesteigert oder abgeschwächt würde. Hier zeigten sich indes verschiedene technische Schwierigkeiten. Als nächstliegendes Hilfsmittel boten sich die graduierten blauen Kobaltgläser der Rathenower Optischen Industrie-Anstalt. Diese blauen Gläser (ebenso wie die rauchgrauen derselben Firma) sind in der Art abgestuft, dass, wenn die mit *A* bezeichnete Nüance = 1 gesetzt wird, folgende Stufenfolge entsteht:

$$\begin{aligned} AI &= 0,25 \\ AII &= 0,5 \\ A &= 1 \\ B &= 1,5 \\ C &= 2,0 \\ D &= 3,0 \\ E &= 5,0 \end{aligned}$$

Nun war mir allerdings schon früher aufgefallen, dass, wenn man versucht, durch Decken von zwei oder drei schwächeren Nummern eine stärkere Nummer zu bekommen, man häufig einen von der betreffenden Nummer nicht unmerklich abweichenden Farbton erhält. Dies gilt allerdings vornehmlich von den rauchgrauen Gläsern. Ich wandte mich daraufhin an die Firma und erhielt den Bescheid, dass die Glastechnik zurzeit noch nicht im stande ist, ein farbiges Glas von einem vorher genau bestimmten Farbton zu erzeugen, so dass auch die betreffende Firma, wie sie mir schreibt, immer von mehreren Schmelzen wieder die passendsten Gläser auswählt. Aus diesem Grunde nahm ich davon Abstand, mir, wie ich zuerst beabsichtigt, besondere farbige Gläser für meine Zwecke anfertigen zu lassen, stellte aber einige Versuche mit den blauen Rathenower Gläsern an, nachdem ich mir aus zwei Serien die passendsten Gläser ausgewählt hatte. Mit der oben beschriebenen kleinen Laterne erhielt ich folgende Resultate (zwei Versuchspersonen, vier Versuche, Mittelwerte):

Glasscheibe	Sichtbarkeitsdistanz	
	der schwarzen	der blauen Buchstaben
0	16,6 m	15,2 m (siehe oben)
blau <i>A</i>	15,6 „	14,0 „
„ <i>B</i>	14,7 „	13,1 „
„ <i>C</i>	13,2 „	11,6 „
„ <i>D</i>	11,8 „	10,0 „
„ <i>E</i>	5,0 „	3,4 „

Der Wert des Kontrastes berechnet sich danach folgendermassen:

$$C \text{ (blau } A) = 0,984$$

$$C \text{ (blau } B) = 0,976$$

$$C \text{ (blau } C) = 0,968$$

$$C \text{ (blau } D) = 0,948$$

$$C \text{ (blau } E) = 0,925$$

Ist nun nach Gleichung (I) $C = \frac{1}{1+b}$, so ist $b = \frac{1-C}{C}$. Be-

rechnet man nun nach dieser Formel für obige fünf Kontrastwerte den Wert von b , so erhält man folgende Resultate:

$$b \text{ (blau } A) = 0,016$$

$$b \text{ (blau } B) = 0,025$$

$$b \text{ (blau } C) = 0,033$$

$$b \text{ (blau } D) = 0,055$$

$$b \text{ (blau } E) = 0,081$$

Das Verhältnis dieser fünf Werte zueinander entspricht jedenfalls sehr genau dem Verhältnis, in welchem die betreffenden blauen Gläser zueinander stehen (siehe oben). Ich darf daraus wohl schliessen, dass die von mir entwickelte Formel wenigstens innerhalb gewisser Grenzen richtige und zuverlässige Resultate ergibt.

3. Versuche mit verschiedenen Arten von künstlicher Beleuchtung.

Es wurden die Versuche, wie schon oben erwähnt, mit Gas (Schnittbrenner), Petroleum, elektrischem Glühlicht, Auerlicht und Acetylenlicht angestellt. Die hier mitgeteilten Resultate sind das Mittel aus sieben einzelnen Versuchen mit drei Versuchspersonen. Die Abweichungen der einzelnen Versuche voneinander waren im ganzen nicht sehr erheblich. Zunächst wurde die Sichtbarkeitsdistanz der einzelnen Buchstabenreihen bei guter Tagesbeleuchtung festgestellt. Das Ergebnis war folgendes:

Es wurden erkannt die schwarzen Buchstaben auf 18,6 m

„ roten	„	„	15,6 „
„ gelben	„	„	11,2 „
„ grünen	„	„	14,8 „
„ blauen	„	„	16,8 „

Die Sichtbarkeitsdistanzen für künstliches Licht waren die folgenden:

	Gas	Petrol.	el. Glühlicht	Auerlicht	Acetylen
schwarze Behstb.	14,6 m	15,8 m	16,0 m	16,8 m	16,3 m
rote	11,6 „	13,0 „	12,8 „	14,6 „	14,5 „
gelbe	4,4 „	6,6 „	5,7 „	7,6 „	7,4 „
grüne	11,4 „	12,6 „	12,5 „	13,4 „	13,3 „
blaue	13,0 „	14,5 „	14,6 „	15,2 „	15,1 „

Der Kontrastwert berechnet sich danach wie folgt:

	Gas	Petrol.	el. Glühlicht	Auerlicht	Acetylen
Rot	0,959	0,983	0,962	1,034	1,055
Gelb	0,611	0,740	0,649	0,779	0,784
Grün	0,985	1,004	0,985	1,004	1,022
Blau	0,990	1,016	1,009	1,003	1,026

Es möge mir jetzt zum Schluss noch gestattet sein, einige Bemerkungen an die hier mitgeteilten Beobachtungsergebnisse zu knüpfen. Zunächst bedarf es wohl nicht der ausdrücklichen Betonung, dass ich die betreffenden Werte keineswegs für absolut feststehend halte; ich bin vielmehr durchaus überzeugt, dass schon geringe Änderungen in den Beobachtungsbedingungen geeignet sind, die Endergebnisse nicht unwesentlich zu beeinflussen. Aber als relative Vergleichswerte dürften sie wohl geeignet sein, uns ein annähernd richtiges Bild von den tatsächlichen Verhältnissen zu geben, und jedenfalls glaube ich, dass es möglich ist, auf dem von mir versuchten Wege zu Resultaten zu gelangen, welche uns ein sicheres Urteil über die Einwirkung der verschiedenen künstlichen Lichtarten auf den Farbensinn gestatten. Im einzelnen möchte ich noch folgendes bemerken: Zunächst bestätigen meine Beobachtungen wiederum die bekannte Tatsache, dass noch kein künstliches Licht existiert, welches in seinem Farbcharakter einigermassen dem Tageslicht nahe käme. Gemeinsam ist all den von mir untersuchten Lichtarten eine starke Herabsetzung des Farbkontrastes für Gelb, wenn auch natürlich nicht in ganz gleichem Masse bei jeder einzelnen Lichtart. Hinsichtlich der drei andern Farben zerfallen die fünf Beleuchtungsarten in zwei getrennte Gruppen: in die „warmen“ Lichtarten: Gas, Petroleum, elektrisches Licht, und in die „kalten“: Auerlicht und Acetylen. Charakteristisch für die warmen Lichtarten ist eine Herabsetzung des Rotkontrastes, der bei den kalten Lichtarten eine entsprechende Steigerung des Rotkontrastes gegenübersteht. Weniger charakteristisch sind die Verhältnisse bei grün und blau. Der Grüntontrast erscheint bei den warmen Lichtarten eigentlich nicht so gesteigert, wie man erwarten sollte. Den höchsten Wert für den Grüntontrast erhielt ich bei dem kalten

Acetylenlicht! Der Blaukontrast erscheint bei Petroleum und elektrischem Glühlicht etwas gesteigert; beim Auerlicht ist er nahezu normal; beim Acetylenlicht wieder etwas erhöht. — Für die Praxis würden daraus etwa folgende Schlüsse zu ziehen sein: Zunächst hat sich das Petroleumlicht, d. h. das Licht einer guten modernen Petroleumlampe auch nach meinen Versuchen als ein höchst empfehlenswertes Licht erwiesen, das wenigstens hinsichtlich des hier in Betracht kommenden Punktes wohl noch den Vorzug vor dem elektrischen Glühlicht verdient. Vielleicht würde es sich nur empfehlen, die Cylinder für Petroleumlampen aus ganz schwach blauem Glase (etwa wie blau A II Rathenow) anzufertigen¹⁾. Blaue Glocken dagegen sind bekanntlich im allgemeinen nicht anzuraten. — Von den beiden kalten Beleuchtungsarten würde ich im Gegensatz zu Fick dem Auerlicht den Vorzug geben. Die vielfach übliche Benutzung schwach rötlich oder orange gefärbter Glocken beim Auerlicht erscheint durchaus rationell.

¹⁾ Vgl. Rosenthal, Vorlesungen über die öffentliche und private Gesundheitspflege. S. 461.