

Ein Verdünnungskolorimeter, nebst Bemerkungen über die Versuchsfehler des kolorimetrischen Vergleiches.

Von

Dr. R. V. Stanford.

Mit zwei Abbildungen im Text und einer Tafel.

(Research Chemist, Cardiff City Mental Hospital, England.)

(Der Redaktion zugegangen am 14. Juli 1913.)

Bei gefärbten Substanzen, oder bei solchen, die charakteristische Farbenreaktionen besitzen, bildet der kolorimetrische Vergleich der gefärbten Lösungen eine bequeme Methode zur quantitativen Bestimmung. Insbesondere in der physiologischen Chemie sind sehr viele kolorimetrische Bestimmungsmethoden vorgeschlagen worden, und einige davon, wie diejenigen der Blutfarbstoffbestimmung und der Kreatininbestimmung, sind häufig gebraucht worden. Auch bei der Ausarbeitung neuer analytischer Methoden ist deren Anwendung in manchem Fall nicht zu vermeiden, entweder weil nur sehr kleine Substanzmengen zur Verfügung stehen (was bei Untersuchungen während des Lebens gewöhnlich der Fall ist) oder weil geeignete Trennungsvorfahren sich nicht ausfindig machen lassen.

In der physiologisch-chemischen Praxis hat man es oft mit den beiden dieser Schwierigkeiten zu tun. Der Farbenvergleich wird nicht nur mit den kleinsten Quantitäten, sondern auch mit unreinen Lösungen ausgeführt. Unter diesen Umständen wird man die strengste Kontrolle der Genauigkeit der Analyse erwarten, sowie die exaktesten Beweise, daß der Farbenvergleich nicht durch die Beimengung anderer Substanzen beeinträchtigt wird: denn sonst weiß man nie bestimmt, ob die Unterschiede, aus denen man Schlußfolgerungen ziehen will, wirklich von einer anderen Größenordnung sind, als die möglichen Versuchsfehler.

Bei der Ermittlung des wahrscheinlichen Versuchsfehlers einer kolorimetrischen Bestimmungsmethode kommen drei Faktoren in Betracht: 1. Zu welchem Grade die Farbenreaktion selbst quantitativ ist. 2. Inwieweit die Genauigkeit der Farbenreaktion oder der Farbenvergleich durch Beimengungen beeinflusst wird. 3. Der Versuchsfehler des kolorimetrischen Vergleiches.

Die ersten beiden Fehlerquellen sind selbstverständlich bei jeder Methode für sich zu prüfen, die dritte aber kommt bei allen kolorimetrischen Methoden in Betracht und ist deshalb einer allgemeinen Behandlung fähig.

Den einfachsten Vergleich zweier gefärbter Lösungen erzielt man dadurch, daß man die beiden in passenden, ähnlichen Glasgefäßen nebeneinander stellt, ohne Mithilfe irgend eines Instruments. Diese einfache Methode wird noch in vielen Fällen gebraucht und sie liefert bei einiger Erfahrung auffallend exakte Resultate.¹⁾

Meistens wird man aber versuchen, den Vergleich durch eine zweckmäßige optische Einrichtung zu erleichtern und infolgedessen sind eine große Anzahl verschiedener «Kolorimeter» beschrieben worden. Diese Instrumente lassen sich in zwei Gruppen einteilen: 1. Solche, wobei durch passende Prismen im Verein mit einem Okular ein Gesichtsfeld erzeugt wird, deren eine Hälfte durch die erste Lösung, deren andere Hälfte durch die zweite Lösung beleuchtet wird. 2. Solche, wobei außerdem noch andere optische Systeme zugesetzt werden, damit die Unterschiede der Farbenintensität vergrößert werden.

Zu der zweiten Klasse gehören die Spektrokolorimeter und Polarisationskolorimeter, die sehr genaue Vergleichung gefärbter Lösungen gestatten. Trotzdem sind diese Apparate verhältnismäßig selten angewendet worden. Erstens sind sie kostspielig und zweitens verfeinern sie die kolorimetrische Bestimmung weit über die Grenzen der Genauigkeit des analytischen Verfahrens in den meisten Fällen, die bei physiologisch-chemischen Untersuchungen vorkommen.

¹⁾ Vgl. z. B. diese Zeitschrift, Bd. 86, S. 221 (1913).

Die einfacheren Kolorimeter der ersten Gruppe, die bei fast allen kolorimetrischen Methoden auf diesem Gebiet und auch sonst allgemein angewendet worden ist, existieren in zahlreichen Modifikationen, die aber alle nach dem Typus des bekannten Duboscq'schen Kolorimeters gebildet werden. Bei diesem Instrument strahlt das Licht von unten nach oben durch zwei Flüssigkeitssäulen, deren Höhen man durch Schraubebewegung zweier unabhängiger Eintauchröhre beliebig ändern kann. Nachdem die eine Säule (die der Normlösung) auf eine bestimmte Höhe (z. B. 10 mm) gebracht ist, ändert man die Höhe der anderen, bis die beiden Hälften des Gesichtsfeldes im Okular gleich hell erscheinen.

Beim Duboscq'schen Kolorimeter wird also die Helligkeitsgleichheit durch Veränderung der Dicke der einen absorbierenden Flüssigkeit erzielt. Andere Kolorimeter¹⁾ unterscheiden sich davon nur betreffs der Einrichtung, wodurch die Änderung der Höhe der Flüssigkeitssäule bewirkt wird. Wolff bewirkt dies durch Anbringen eines seitlichen Hahnes, wodurch die Flüssigkeit ausgelassen werden kann. Donnan und andere machen die Einstellung durch komprimierte Luft. Macmillan und auch Eydman jun. ändern das Flüssigkeitsniveau mit Hilfe einer Syringe. Le Docte hebt ein zweites Gefäß, nach Art des Nitrometers. Gallenkamp macht den einen Flüssigkeitsbehälter keilförmig und bewegt das Okular den beiden Behältern entlang, bis die Stelle gefunden wird, wo Helligkeitsgleichheit besteht. Das neue Kolorimeter von Autenrieth und Königsberger²⁾ ist im Prinzip das gleiche, nur ist nicht das Okular, sondern das keilförmige Gefäß beweglich. Beim Steigerschen Apparat werden zwei bewegliche Spiegel in die Flüssigkeiten eingetaucht.

Die Anwendung aller dieser Kolorimeter beruht auf der Annahme, daß die Konzentrationen der beiden Flüssigkeiten den Schichtendicken umgekehrt proportional seien.

¹⁾ Ausführliche Beschreibung der meisten von diesen Formen findet man bei Krüss, Kolorimetrie und quantitative Spektralanalyse, II. Aufl., Hamburg 1909.

²⁾ Autenrieth und Königsberger, Münch. med. Wochenschr., 1910, Nr. 19 und 34.

Es ist dies eine Annahme, welche keineswegs berechtigt ist.¹⁾ Es liegt nämlich auf der Hand,

1. daß zwei Lösungen von verschiedenen Konzentrationen denselben Farbenton nicht besitzen können (einerseits zufolge Aggregations- resp. Dissoziationserscheinungen, andererseits aber weil die Lichtabsorptionsgesetze einer gefärbten Lösung nicht dieselben bei allen Konzentrationen sind),

2. daß zwei Lösungen von verschiedenen Dicken denselben Farbenton nicht besitzen können (weil die Lichtabsorption keine einfache Funktion der Dicke ist).

Wenn aber die Farben der zu vergleichenden Flüssigkeiten nicht gleich sind, so ist von einem kolorimetrischen Vergleich nicht zu reden.

Die obigen beiden Sätze sind aus allgemeinen physikalischen Überlegungen abzuleiten und man kann sich auch leicht experimentell von ihrer Bedeutung überzeugen. Nach meinen Messungen beim Duboscq'schen Instrument kann der Fehler aus jeder der obenerwähnten Quellen oft 25% oder noch mehr betragen. In einigen Fällen allerdings decken sie sich teilweise gegenseitig.

Noch unexakter wird die Sache, wenn nicht mit reinen Lösungen gearbeitet wird, oder wenn die Vergleichslösung aus

¹⁾ In bezug auf die Einwände, die hier gegen die gewöhnliche kolorimetrische Arbeitsweise gemacht werden sollen, teilt mir Hr. Dr. Krüss brieflich mit, daß in seinem oben zitierten Buche, SS. 27, 28 und 108 die Verhältnisse ausführlich dargelegt seien, unter denen die gewöhnlichen Kolorimeter nicht anzuwenden sind. Dies kann ich aber nicht zugeben. Es wird allerdings an den angegebenen Stellen in die Theorie der Sache eingegangen, aber der Schluß wird nicht gezogen, daß die gewöhnlichen Kolorimeter unbrauchbar sind. Im Gegenteil schreibt Hr. Krüss (S. 27) «Es muß jedoch auf einige Einschränkungen aufmerksam gemacht werden, denen die dargestellten Beziehungen zwischen Konzentration und Schichtendicke unterliegen: wenn sie auch bei praktischen Bestimmungen nicht in Betracht kommen (im Original nicht gesperrt), so würde eine Nichtbeachtung an dieser Stelle doch ein Mangel sein.» Nun sind aber meiner Meinung nach gerade bei praktischen Bestimmungen die Fehler aus diesen Quellen am größten: bei Messungen, die zu physikalisch-chemischen Zwecken unternommen werden, pflegen die Bedingungen (reine Lösungen, annähernd gleiche Konzentrationen) viel günstiger zu sein.

einem anderen Stoff besteht, die nur annähernd und bei gewissen Konzentrationen den verlangten Farbenton besitzen kann.

Es kommt sehr häufig vor, daß man in einer Flüssigkeit eine gewisse gefärbte Substanz erzeugt und sie sofort mit einer Lösung der reinen Substanz im Kolorimeter vergleicht. Man hat es in diesem Falle mit zwei Flüssigkeiten zu tun, die oft am Anfang verschiedene Nuancen zeigen, und die jedenfalls dieselbe Absorptionskonstante nicht besitzen, sodaß beim Verändern der Schichtdicken auch die Farbe augenscheinlich verändert wird. Die Verhältnisse sind also genau wie beim Gebrauch einer chemisch verschiedenen Substanz zur Herstellung der Vergleichslösung. Die Genauigkeit, die man in dieser Weise erreichen kann, ist offenbar sehr gering, aber sie wird noch sehr vermindert, wenn der Vergleich mit verschiedenen Dicken der Lösungen angestellt wird, weil die geringen Mengen gefärbter Verunreinigungen einen Teil des Lichtes abblenden und dadurch die Lichtabsorptionskonstante der Flüssigkeit ändern. Von dieser Fehlerquelle kann man sich leicht überzeugen, indem man z. B. bei der häufig ausgeführten Bestimmung des Kreatinins im Harn nach der Folin'schen Methode¹⁾ den Vergleich mit zwei verschiedenen Schichten der Dichromatlösung anstellt. Nehmen wir an, daß 12 mm der Kreatininlösung gleich 8 mm der Dichromatlösung gefunden werden, so werden 24 mm der Kreatininlösung 16 mm Dichromatlösung durchaus nicht gleich erscheinen. Es wird wohl schon 16—18 mm der Kreatininlösung genügen. Man würde also bei dieser Bestimmung ganz abweichende Werte erhalten, wenn man mit anderen Dicken als der von Folin empfohlenen 8 mm-Schicht der Dichromatlösung arbeitete. Es fragt sich dann, warum sollte gerade der Vergleich mit 8 mm Dichromatlösung den wahren Kreatininhalt zeigen? Auf die Zuverlässigkeit dieser Bestimmungsmethode hoffe ich in einer anderen Arbeit zurückzukommen.

Diese Überlegungen gelten auch für den Fall, wo anstatt einer Normallösung gefärbte Gläser u. dgl. verwendet werden, vorausgesetzt, daß Gleichheit der Farbentiefe durch Verändern der Dicke der Flüssigkeitsschicht erhalten werden soll.

¹⁾ Folin, Diese Zeitschrift. Bd. 41, S. 223 (1904).

Das Verdünnungskolorimeter.

Aus dem Gesagten geht hervor, daß bei Anwendung von Kolorimetern, wobei die Einstellung durch Veränderung der Schichtendicke bewirkt wird, genaue Resultate nur dann zu erwarten sind, wenn mit Lösungen von fast gleicher Konzentration gearbeitet wird. Wenn dies nicht der Fall ist, so gibt die zufällige gegenseitige Ausgleichung der Fehler die einzige Möglichkeit zur Erhaltung richtiger Werte. Dies ist sogar schon anerkannt worden,¹⁾ doch werden solche Kolorimeter noch allgemein gebraucht.

Die Einstellung zweier Lösungen auf gleiche Farbentiefe läßt sich aber in einer anderen Weise machen. Man kann nämlich bei Anwendung gleicher Schichtendicke die stärkere Lösung verdünnen, bis die beiden gleich hell erscheinen.

Bei dieser Arbeitsweise verschwinden auf einmal sämtliche Fehlerquellen, die dem gewöhnlichen Kolorimeter anhaften, denn bei Ausführung des Vergleichs sind die beiden Flüssigkeiten einander in allen Hinsichten vollkommen gleich. Schichtendicke und Konzentration sind identisch und infolgedessen haben die Flüssigkeiten genau denselben Farbenton.

Der Versuchsfehler der Bestimmung hängt in diesem Falle von der Genauigkeit ab, womit das Auge Unterschiede der Farbentiefe beobachten kann.

Neu ist dieses Prinzip natürlich nicht! Vielmehr bildet es die Grundlage der allgemein gebrauchten, einfachsten kolorimetrischen Vergleiche, wie man sie durch Verdünnung in Reagenzröhren, Nesslerischen Gläsern usw. ausführt. Sobald man aber durch Zuhilfenahme von optischen Einrichtungen den kolorimetrischen Prozeß verfeinern wollte, so wandte man sich der andern Methode zu und bewirkte die Einstellung durch

¹⁾ Gelegentlich seiner Kreatininbestimmung beobachtete Folin, daß die Resultate nach einer Richtung durch Verdünnung, nach der anderen Richtung aber durch Verändern der Säulenhöhe verschoben werden, dann schreibt er «Durch einen glücklichen Zufall decken diese Veränderungen sich fast vollständig . . . (Diese Zeitschrift, Bd. 41, S. 227 1904)). Übrigens decken die Veränderungen sich nach meinen Versuchen nicht.

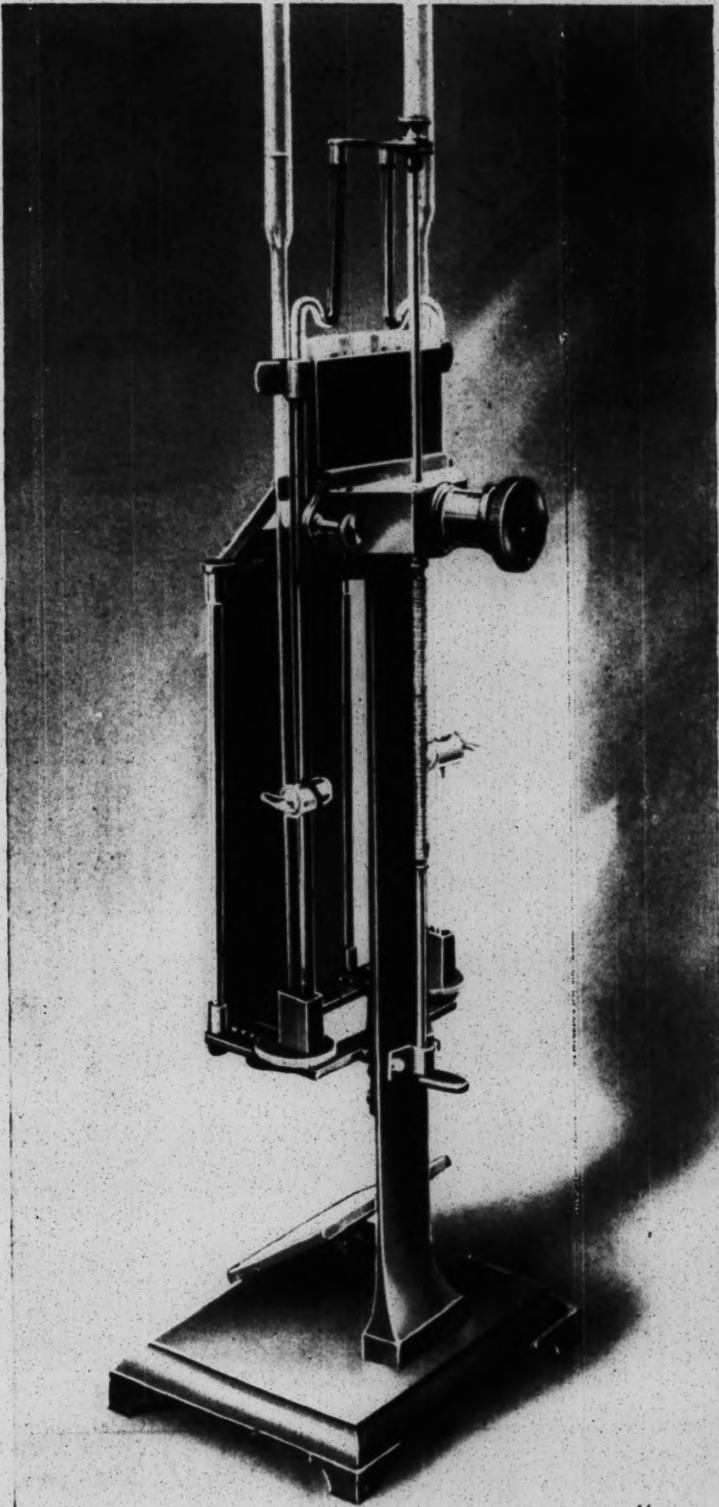


Fig. 1.

Das Verdünnungskolorimeter.

Hoppe-Seyler's Zeitschrift für physiologische Chemie, Band LXXXVII, Tafel I.
Zu R. V. Stanford, Ein Verdünnungskolorimeter.

Veränderung der Schichtendicke, nicht durch Verdünnung. In der Literatur werden allerdings einige Instrumente beschrieben, die zu besonderen, meist klinischen Zwecken vorgeschlagen worden sind, wobei eine Lösung bis zu einer bestimmten Farbentiefe verdünnt wird. Die normale Farbentiefe wird durch gefärbtes Papier (Hayem) oder Farbstofflösungen (Quincke, Rajewski, Gower) repräsentiert. Ein Verdünnungskolorimeter zu allgemeinen Zwecken ist aber bisher anscheinend nicht beschrieben worden.

Da ich mich mit verschiedenen kolorimetrischen Bestimmungsmethoden beschäftigt habe, so habe ich infolgedessen ein Verdünnungskolorimeter konstruiert, welches sich im Gebrauch gut bewährt hat. Das Instrument, wie es mir nachher in schönerer Ausführung von einer bekannten Firma ¹⁾ geliefert worden ist, ist in umstehender Figur 2 abgebildet. ²⁾

Vor einem Okular O und einem reflektierenden Prismenpaar P der üblichen Typen steht ein kleiner, innerlich geschwärzter Kasten K. In der Vorderseite und Hinterseite dieses Kastens befinden sich je zwei Löcher LL, wodurch das Licht von dem Spiegel S₂ strahlt, um durch die beiden Prismen und schließlich ins Okular zu gelangen. Der Spiegel S₂ wird von der Milchglasplatte S₁ beleuchtet. In dem Kasten stehen die beiden Flüssigkeitsbehälter ZZ nebeneinander in solcher Weise, daß deren Hohlräume den oben erwähnten Löchern entsprechen. Jeder Flüssigkeitsbehälter besteht aus zwei planen Glasplatten, die mit einem dicken, U-förmigen Glasstück verkittet werden. Die Glasplatten bilden also parallele Vorder- und Hinterwände, deren Abstand durch die Dicke des Glasstückes bestimmt wird. Da die Genauigkeit des Instruments auf die Gleichheit dieser beiden Gefäße abhängt, so werden sie durch mikroskopische Messungen geprüft, um zu sehen, daß sie in der Nähe von den Löchern im Kasten genau die-

¹⁾ A. Krüss, Hamburg (Adolphsbrücke 7), von dieser Firma ist es auch zu beziehen.

²⁾ Die Zeichnungen verdanke ich der geschickten Hand von Herrn D. E. Turner.

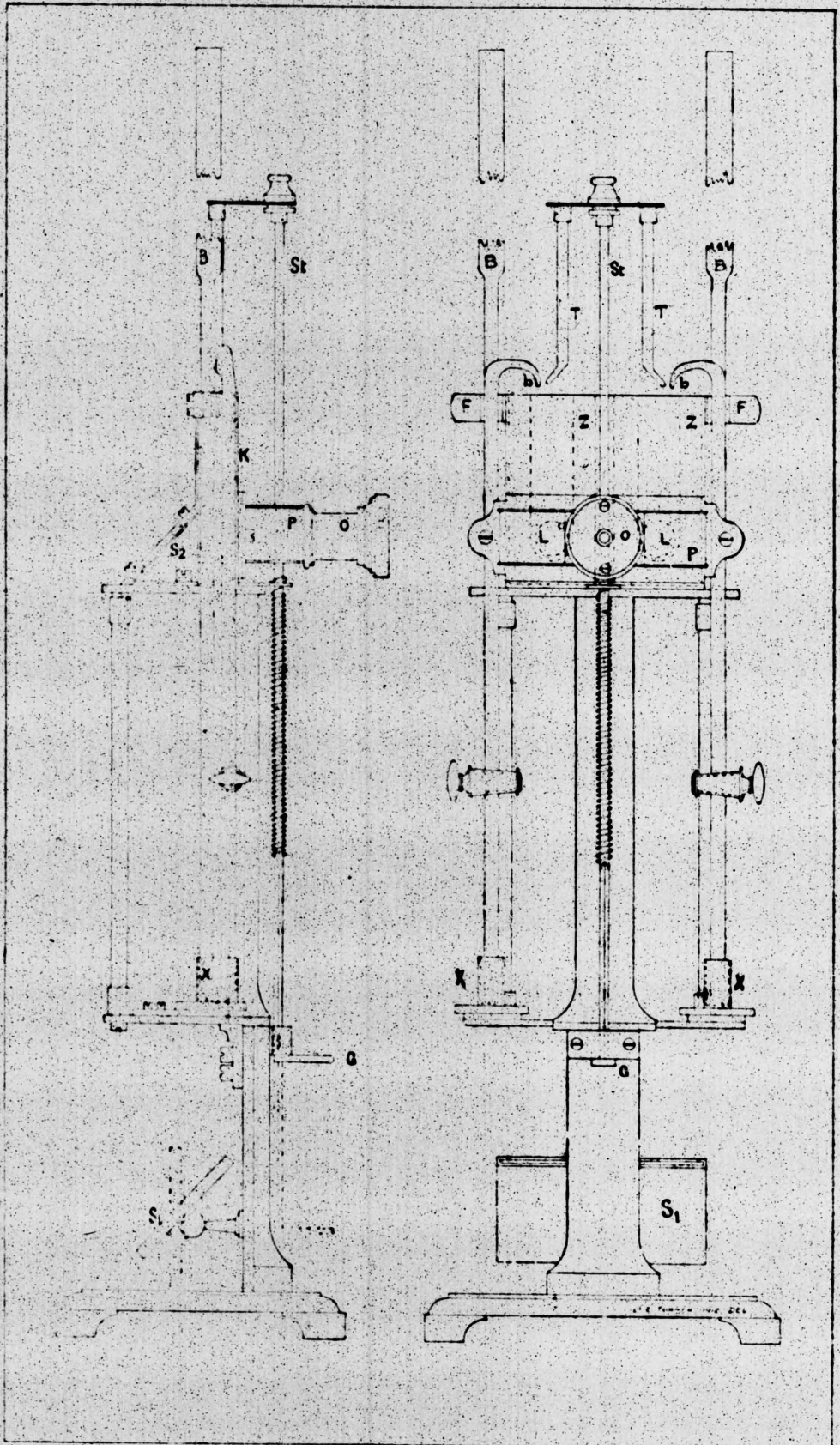


Fig. 2.

Das Verdünnungskolorimeter: Ansichten von vorn und von der Seite.

selben inneren Dicken besitzen. Figur 3 gibt eine Perspektivansicht der beiden Flüssigkeitsbehälter und des Kastens. Der Inhalt der beiden Behälter wird durch den Rührer St gerührt, wobei durch Auf- und Abbewegen des Griffes G mit dem Finger eine entsprechende Bewegung der beiden Glasstäbchen T bewirkt wird. Symmetrisch an den beiden Seiten des Instruments werden zwei 15 ccm fassende Büretten angebracht. Um die Bürettenhähne in einer bequemen Stelle zur Handhabung zu bringen, haben die Bürettenspitzen die Form langer U-Röhren, die oben dicht über den Flüssigkeitsgefäßen münden (b). Die Büretten sind oben durch die Federn F befestigt; unten steht jeder Bogen der U-Röhre in einem Kästchen X, welches um eine senkrechte Axis drehbar ist. Die Büretten lassen sich infolgedessen um einen Winkel von 45° drehen, wodurch die Spitzen b derart entfernt werden, daß die Flüssigkeitsbehälter aus ihrem Kasten leicht herauszunehmen sind. Für denselben Zweck ist auch der Teil TT des Rührers um St drehbar gemacht.

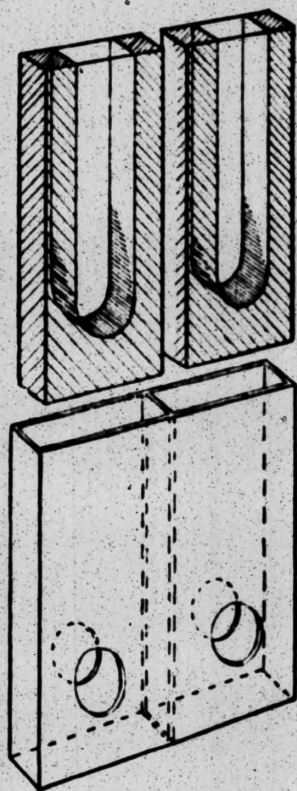


Fig. 3.

Das Verdünnungskolorimeter: Flüssigkeitsbehälter.

Das Aussehen des Verdünnungskolorimeters zeigt die nebenstehende Photographie (Fig. 1).

Bei der Ausführung einer Bestimmung wird das Kolorimeter so aufgestellt, daß die beiden Hälften des Gesichtsfeldes gleich hell erscheinen. Es gelingt dies am besten, wenn man den nördlichen Himmel zur Beleuchtung benutzen kann.

Die Büretten füllt man mit dem reinen, staubfreien Lösungsmittel. Darauf gießt man in das eine Flüssigkeitsgefäß eine genau abgemessene Menge (z. B. 3 ccm) der Normallösung und in das andere Gefäß eine ebenfalls abgemessene Quantität der Lösung von unbekanntem Gehalt. Zu der stärkeren der

beiden Lösungen läßt man dann Lösungsmittel von der entsprechenden Bürette zutropfen, bis die beiden Hälften des Gesichtsfeldes gleich gefärbt sind. Durch Ablesen der Bürette erfährt man, wieviel Lösungsmittel zugesetzt worden ist, um die Konzentration an den beiden Seiten gleich zu machen: es genügt dann eine einfache Berechnung, um den Gehalt der unbekanntem Lösung zu ermitteln.

Es hat keine Bedeutung, welche von den beiden Lösungen verdünnt wird, doch ist die Berechnung bequemer, wenn man eine Normallösung stärker als die unbekanntem Lösung wählt. In diesem Falle gestaltet sich die Berechnung wie folgt: Es werden a Kubikzentimeter einer Normallösung angewandt, die b Gramm pro Kubikzentimeter des gefärbten Stoffes enthält: beim Verdünnen bis zur gleichen Farbentiefe wie die unbekanntem Lösung mußte man c Kubikzentimeter des Lösungsmittels zutropfen lassen. Bei Farbgleichheit war die Konzentration der Normallösung $\frac{ab}{a+c}$ Gramm in $a+c$ Kubikzentimeter oder $\frac{ab}{a+c}$ Gramm pro Kubikzentimeter. Dies ist aber auch die Konzentration der unbekanntem Lösung, die zu ermitteln war.

Es empfiehlt sich, bei genaueren Versuchen mindestens zwei Bestimmungen zu machen, wobei man die Normallösung einmal auf die linke und einmal auf die rechte Seite stellt. In dieser Weise werden Fehler ausgeglichen, die von Ungleichmäßigkeit der Beleuchtung oder Asymmetrie des optischen Apparates herrühren könnten.

Wenn man mit der Verdünnung der einen Lösung zu weit gegangen ist, so kann man einfach die andere Lösung verdünnen, bis gleiche Farbentiefe erhalten wird. Die Gleichheit läßt sich also von beiden Seiten erreichen. Die der zweiten Lösung zugesetzte Menge des Lösungsmittels muß natürlich bei der Berechnung berücksichtigt werden. Bei einiger Übung kommt es nur selten vor, daß man den richtigen Endpunkt überschreitet.

In einigen Fällen läßt sich der Vergleich durch Anwendung eines blauen Glases erleichtern. Ein solches Glasstück

wird durch Bewegung eines kleinen, an der linken Seite des Okulars befindlichen Hebels vor dem Auge eingeschaltet.

Beim Arbeiten mit organischen Lösungsmitteln bietet dieses Kolorimeter den praktischen Vorteil, daß die Flüssigkeitsgefäße sich nicht unter der Nase befinden.

Genauigkeit des Verdünnungskolorimeters.

Ich habe viele Bestimmungen mit dem Verdünnungskolorimeter und auch mit dem Duboscq'schen Instrument ausgeführt, um zu sehen, mit welcher Genauigkeit die Einstellung auf gleiche Farbtiefe sich machen läßt. Sie hängt natürlich in jedem Falle von dem Farbenwahrungsvermögen des Untersuchers, von der Beschaffenheit, Farbe und Farbtiefe¹⁾ der Lösungen usw. ab, und deswegen werde ich in die Einzelheiten meiner diesbezüglichen Versuche nicht eingehen.

Ich habe im allgemeinen gefunden, daß beim Arbeiten mit klaren und reinen Lösungen die Einstellungen des Verdünnungskolorimeters bis auf 1—2% übereinstimmen, sodaß bei der Ausführung von vier Vergleichen zu jeder Analyse der Gehalt an gefärbter Substanz sich mit einem wahrscheinlichen Fehler von nicht mehr als 1% ermitteln läßt.

Die Genauigkeit der Einstellung beim Duboscq'schen Kolorimeter ist im günstigsten Falle ungefähr dieselbe, denn bei aufeinanderfolgenden Einstellungen pflegen die Schichtendicken nicht mehr als 0,1 mm verschieden zu sein, wenn mit 10 mm Schichten von reinen Lösungen von ungefähr gleicher Konzentration gearbeitet wird. Es muß aber betont werden, daß es sich hier nur um die Einstellung auf gleiche Farbtiefe handelt, nicht um die Genauigkeit des ganzen Prozesses.

Anwendbarkeit des Verdünnungskolorimeters.

Eine einwandsfreie kolorimetrische Bestimmungsmethode hat man nur dann, wenn der kolorimetrische Vergleich zwischen zwei reinen Lösungen (der normalen und der unbekanntes) von derselben Substanz ausgeführt wird: bei Anwendung von

¹⁾ Vgl. Horn, Chem. Zentralblatt, 1906, I, S. 1462; II, S. 1218.

dem Verdünnungskolorimeter sind in diesem Falle auch die beiden Konzentrationen gleich und infolgedessen wird die Genauigkeit der Bestimmung nur durch die Fähigkeit des Sehvermögens begrenzt.

Wenn die Gewinnung einer reinen Lösung der gefärbten Substanz unmöglich ist, kann man doch brauchbare kolorimetrische Methoden ausarbeiten, wenn Beweise ihrer Genauigkeit sich in indirekter Weise erbringen lassen. Es handelt sich in den meisten Fällen darum, eine unreine Lösung von einer gefärbten Substanz mit einer reinen Normallösung derselben Substanz zu vergleichen, und besonders in diesem Fall empfiehlt sich der Gebrauch des Verdünnungskolorimeters. Dies gilt noch mehr für den Fall, daß die Normallösung aus einem chemisch verschiedenen Stoff besteht oder durch ein gefärbtes Glas ersetzt wird, denn die Lösung, die man analysieren will, kann denselben Farbenton wie das Vergleichsobjekt nur bei einer bestimmten Konzentration und Schichtdicke besitzen: beim Gebrauch des Verdünnungskolorimeters wird man den Vergleich immer bei dieser Konzentration und Schichtdicke ausführen können. Es ist schon oben erwähnt worden, daß das Verdünnungsprinzip in verschiedenen, zu bestimmten klinischen Zwecken gebrauchten Instrumenten angewendet worden ist und es läßt sich folgern, daß man mittels solcher «klinischen» Kolorimeter exaktere Resultate hat erzielen können, als mittels der gebräuchlichen Kolorimeter, die doch auf eine größere Genauigkeit Anspruch machen.