

nachfolgender Zersetzung des Carbonyls gibt zum ersten Male die Möglichkeit, sehr reines, d. h. insbesondere fremdmetallfreies Eisen in größten Mengen fabrikatorisch auf rein chemischem Wege herzustellen, eine Tatsache, deren grundsätzliche Bedeutung außer Zweifel steht. Welchen Wert derart reine Metalle haben können, dafür möchte ich als Beleg ein Beispiel aus der Geschichte der Ammoniakkatalyse anführen. Bei den systematischen Versuchen zur Ammoniakkatalyse mit Eisen als Katalysator, die ich von 1909 ab unter Bosch ausführen konnte, sind wir sehr rasch zu einer klaren Übersicht über die Verhältnisse dadurch gekommen, daß wir uns allerreinstes Eisen teils herstellten, teils im Handel verschafften; so wurde z. B. das „Eisen reduziert“, Kahlbaum, Preis 24 M. pro kg, und bald das noch reinere „Eisen Kahlbaum“ zu 200 M. pro kg bezogen. Man kann ja bei der oft ungeheuer großen Empfindlichkeit der katalytischen Wirkung eines Stoffes gegen Spuren weiterer Stoffe — in negativem und im positiven Sinne, als Kontaktgifte oder als Aktivatoren — zuverlässige Resultate nur dann gewinnen, wenn man von wohldefinierten, möglichst reinen und in ihrem Reinheitszustand genauest bekannten Substanzen ausgeht, und ich zweifle nicht, daß, wenn uns 1910 das Carbonyleisen zur Verfügung gestanden hätte, wir mit diesem unsere katalytischen Versuche ausgeführt und unsere grundlegenden Resultate erhalten hätten.

Tatsächlich ist unser Carbonyleisen, insbesondere in seinen verschiedenen Pulver- und Schwammformen, vorzüglich als Ausgangsmaterial für katalytische Prozesse geeignet. So kann man es verwenden für die Herstellung von feinstverteiltem Kohlenstoff<sup>30)</sup> (Ruß) durch katalytische Beschleunigung der Reaktion



sowie für die katalytische Reduktion von Kohlenoxyd mittels Wasserstoff<sup>31)</sup> zu verschiedenen Produkten; natürlich ist es auch als Ausgangsstoff für die Ammoniakkatalyse mit aktiviertem Eisen vorzüglich geeignet<sup>32)</sup>.

Und so sind wir denn schließlich wieder bei der Katalyse, dem Alpha und Omega des industriellen Chemikers angelangt, bei der Katalyse, die nach einer Äußerung von Professor Bosch<sup>33)</sup> dem Zauberstab vergleichbar ist, mit dem der Chemiker stoffliche Umwandlungen zu meistern vermag.

Es sei schließlich erwähnt, daß sich außer den schon im Laufe des Vortrags genannten Mitarbeitern vor allem die Herren Dr. Schlecht, Dr. Schubardt und Dr. Keunecke um die Bearbeitung des reizvollen Gebietes erfolgreich bemüht haben und noch weiter bemühen. [A. 111.]

<sup>30)</sup> D. R. P. angemeldet.

<sup>31)</sup> D. R. P. angemeldet.

<sup>32)</sup> D. R. P. angemeldet.

<sup>33)</sup> Wirtschaftshefte der Frankfurter Zeitung Nr. 1, 1927.

## Beiträge zur Mikroskopie der Körperfarben.

Von HANS WAGNER und JOSEF KESSELRING.

Chemisch-technische Werkstätte der württ. staatl. Kunstgewerbeschule, Stuttgart.

Im Auszug vorgetragen in der Fachgruppe für Erd-, Mineral- und Pigmentfarben auf der 41. Hauptversammlung des Vereins deutscher Chemiker am 1. Juni 1928 in Dresden.

(Eingeg. 1. Juni 1928.)

Die Mikroskopie hat in der Industrie der Körperfarben erst vor kurzem Eingang gefunden, und noch heute arbeiten viele Fabriklaboratorien ohne Mikroskop und verzichten damit auf ein Hilfsmittel, das, wie die folgenden Darlegungen zeigen sollen, gerade für die Farbindustrie von besonderem Wert ist. Es genügt nicht, wenn die Fachzeitschriften heute schon mit Mikrophotogrammen geschmückt sind, auch die Praxis muß sich diese Betrachtungsweise zu eigen machen, die gegenüber der chemischen Analyse ja fast immer das einfachere Verfahren ist. In der wissenschaftlichen und technischen Publikation verbietet es die fast durchweg allein in Frage kommende Schwarzweiß-Wiedergabe, besonders wichtige, am farbigen Urbild feststellbare Besonderheiten zum Ausdruck zu bringen. Deshalb war der Hauptzweck meines Vortrages der, eine Serie besonders interessanter, naturgetreu kolorierter Mikrobilder im Lichtbild vorzuführen, da eine andere Art der Publikation bei den hohen Kosten des Dreifarbindrucks vorerst nicht besteht. Hier muß ich mich auf die Wiedergabe solcher Bilder beschränken, bei denen das Wesentliche auch in Schwarzweiß in Erscheinung tritt.

Die allermeisten Körperfarben sind nicht nur heterodispers und heteromorph, sondern auch heterochrom und heterotrop, und gerade darum kann man erst durch eine die chemische Analyse unterstützende mikroskopische Betrachtung ein Bild ihrer wahren Natur erhalten, wie es beispielsweise als Grundlage für eine Normierung unerläßlich ist. Ebenso wichtig ist ein solches Bild für die Betriebskontrolle, wo es gilt, Verunreinigungen nachzuweisen, den Mahlungs- und Vermischungsgrad festzustellen, den Verlauf eines chemischen oder physikalischen Arbeitsprozesses zu ver-

folgen usw. Ganz allgemein wird das mikroskopische Bild das Resultat der chemischen Analyse derart ergänzen, daß eine genaue Feststellung von Teilchengröße, Gestalt, Verteilung, gegenseitiger Lage usw., also eine Topographie der Pigmente möglich ist, die der kritischen Beurteilung wesentliche Dienste zu leisten vermag.

Zur mikroskopischen Hellfeldbetrachtung, die über Teilchengröße und Gestalt Auskunft zu geben vermag, hat stets die Dunkelfeldbetrachtung zu treten, bei der die Färbung der Teilchen besonders deutlich wird und häufig Verunreinigungen erkannt werden, die im Hellfeld unsichtbar bleiben. Schließlich darf die polaroskopische Betrachtung nicht fehlen, da sie in den meisten Fällen sichere Schlüsse auf die Struktur des Materials zuläßt.

Der besondere Wert der mikroskopischen Betrachtung liegt darin, daß sich nicht nur der Zustand einer Farbe beobachten läßt, sondern auch die Veränderung, die sie in chemischer oder physikalischer Hinsicht unter der Einwirkung von Agenzien erleidet. Es ist dabei nicht nur an die in manchen Fällen sehr aufschlußreiche Reaktion unter dem Mikroskop zu denken, sondern auch an Veränderungen, die speziell für die Beurteilung in farbertechnischer Hinsicht von Wichtigkeit sind. Das ist erstens das Verhalten gegen trocknendes Öl. Es leuchtet ein, daß die Feststellung derjenigen Bestandteile eines Farbpulvers, die mit dem Öl reagieren, höchst wertvoll ist. Das hat in allerjüngster Zeit A. V. Blom<sup>1)</sup> am Beispiel Mennige gezeigt. Untersuchungen an anderen Buntpigmenten sind unsererseits im Gang, doch soll dar-

<sup>1)</sup> A. V. Blom, Ztschr. angew. Chem. 40, 1194 [1927]: Farbe u. Lack 1927, 39, 329.

über erst berichtet werden, wenn die diesbezüglichen Mikrophotogramme fertiggestellt sind.

Als zweite Veränderung ist diejenige zu nennen, die ein Farbpulver beim Behandeln mit der Lösung saurer und basischer Farbstoffe erleidet und die als Maß zur Bewertung der „Fixierfähigkeit“ einer Körperfarbe schon lange herangezogen wurde. Nicht beachtet, auch von Kolloidchemikern nicht, die sich mit dieser Frage befaßt haben, wurde die Tatsache, daß sich verschieden Teilchen einer Körperfarbe hierbei ganz verschieden verhalten, und damit in dieser Probe eine sehr einfache, charakteristische Unterscheidungsmöglichkeit vorliegt. Um die Frage, welche Vorgänge sich hierbei abspielen, ob Chemosorption, echte Salzbildung usw., handelt es sich hierbei nicht. Über die theoretische Seite der Angelegenheit habe ich unlängst an anderer Stelle einige Ausführungen gemacht, in denen auch die gesamte neuere Literatur berücksichtigt ist<sup>2)</sup>. Hier gilt es nur, die Probe der praktischen Beurteilung nutzbar zu machen. Voraussetzung hierfür ist freilich die für mich sichere Feststellung, daß bei dieser Form der Farbstoffadsorption chemische Kräfte wirksam sind, und wir daher das Recht haben, zwischen neutralen, basoiden, acidoiden und evtl. amphoteren Teilchen zu unterscheiden. Daß dies im Bereich der Körperfarben und insbesondere der fast durchweg silicathaltigen Erdfarben möglich ist, zeigen die in meinem Vortrag vorgeführten farbigen Bilder, deren Wiedergabe hier leider unmöglich ist. Es konnte dort gezeigt werden, daß Kaolin basischen Farbstoff aufnimmt, Quarz, Spat, Lenzin keinen Farbstoff aufnehmen, kolloide Kieselsäure sauren und basischen Farbstoff aufnimmt, Tonerdehydrogel (in Allophanoiden) fast nur sauren Farbstoff aufnimmt, Kreide Spuren basischen Farbstoffs aufnimmt, Kalkspat keinen Farbstoff aufnimmt, Kieselgur mit Ausnahme der deutlichen Diatomeenelemente basischen Farbstoff aufnimmt usw. Zuweilen sind durch die beschriebene Probe acidoiden und basoiden Teilchen im Mikroskop nebeneinander nachweisbar (z. B. in Florida-Bleicherde).

Unter Zuhilfenahme der Adsorptionsreaktion läßt sich eine „Topographie“ der Körperfarben gewinnen, die über die Einzelteilchen und deren Form, Größe, Farbe, Zusammensetzung und technisch wichtige Eigenschaften Auskunft gibt. Weder die chemische Analyse allein noch die Mikroskopie allein vermag eine solche durchzuführen. Vereint aber geben sie in einem topographischen Schema ein Hilfsmittel zur Beurteilung und Prüfung der Pigmente, wie es für eine zielbewußte Normung unerläßlich ist. Das sei an einem Beispiel gezeigt.

#### Topographie einer Terra di Siena.

Zur Untersuchung lag eine Terra di Siena (Abb. 1) vor, die nach Angabe der Fabrikanten in Italien am Südschloß der Alpen gegraben wurde. Durch die qualitativ chemische Analyse wurden zuerst festgestellt: Ca, Mg, Al, Fe, Mn, Quarz-, Silicat- und kolloide Kieselsäure.

Die Adsorptionsprobe wurde mit 1%iger Brillantgrün-, Orange II- und Säureviolett-Lösung ausgeführt. Die Farbstoffaufnahme von ersterem betrug 6%, die an sauren Farbstoffen war sehr gering und wurde nicht quantitativ ermittelt. Zur besseren mikroskopischen Unter-

scheidung der Einzelteilchen wurden sechs Schlämffractionen hergestellt (Abb. 2–4). Jede derselben wurde im Tiegel gebrannt und unter dem Mikroskop mit

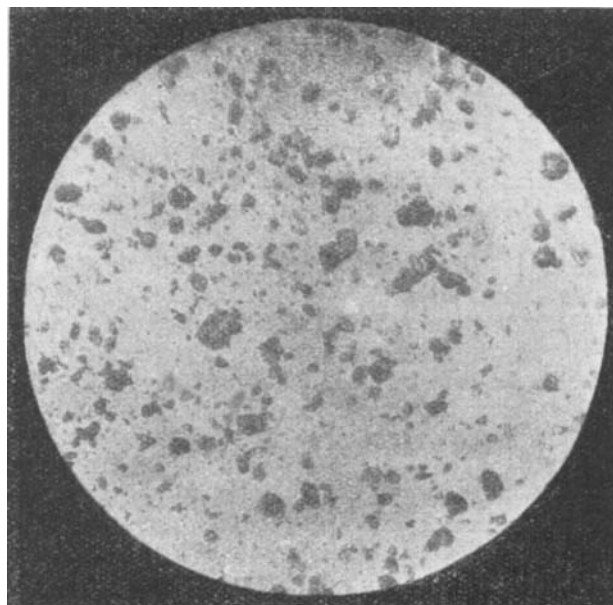


Abb. 1. Terra di Siena, nat., ital., 315fach vergr.

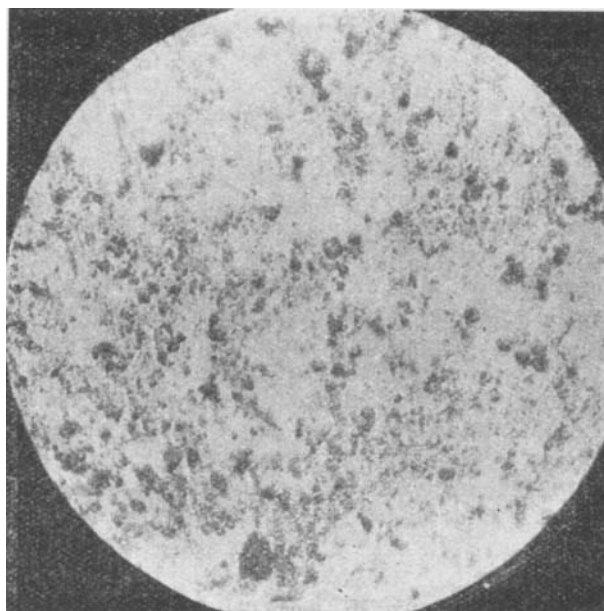


Abb. 2. Terra di Siena, Schlämffraktion 2. Im wesentlichen Tonsubstanz, daneben Umbraprodukte, wenig Quarz, ganz vereinzelt Dolomitekristalle.

Salzsäure behandelt. Außerdem wurde mit jeder Fraktion sowie mit den Salzsäurerückständen die Adsorptionsprobe ausgeführt. Folgende wichtigen Einzelbestandteile konnten ermittelt und genauer gekennzeichnet werden:

1. Kieselsäure- und Tonerdehydrogel (Allophanoiden). Topographisch allein feststellbar durch die Adsorptionsprobe. Kolloide Kieselsäure wurde durch Brillantgrün, durch Säureviolett und nur wenig durch Orange II gefärbt. Nachfärben der grün gefärbten Teilchen mit Säureviolett ergab keine Farbveränderung (chemische Bindung des basischen Farbstoffs), neben den grünen Teilchen waren aber wenige violett gefärbte

<sup>2)</sup> H. Wagner, Bauder u. Kesselring, Farben-Ztg. 33, 1658 [1928]; s. a. in H. Wagner, Die Körperfarben, S. 303 ff., Stuttgart 1928.

erkennbar<sup>3)</sup>). Durch die Färbeprobe sind die Allophanoide nachweisbar vornehmlich in Fraktion 1 und 2 als in ihren Umrisen nicht scharf charakterisierbare Glo-

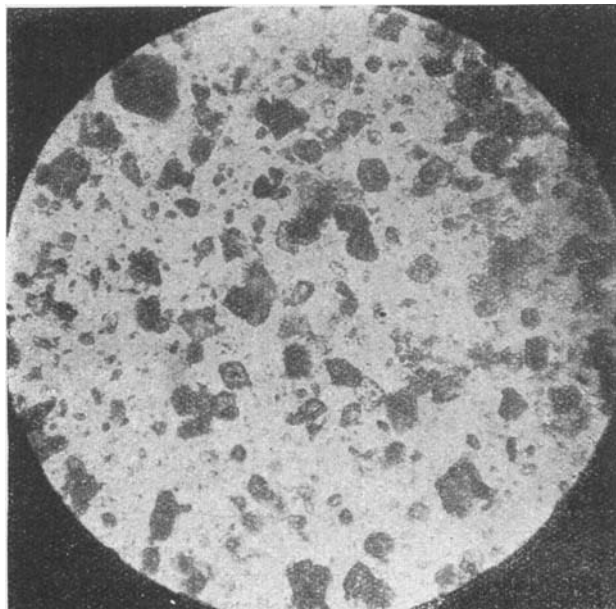


Abb. 3. Terra di Siena, Schlammfraktion 4. Wenig Tonsubstanz, viel Umbra-Agglomerate, Quarzkörner, Dolomitrhomboiden. Man beachte die deutlich sichtbare Zonarstruktur!

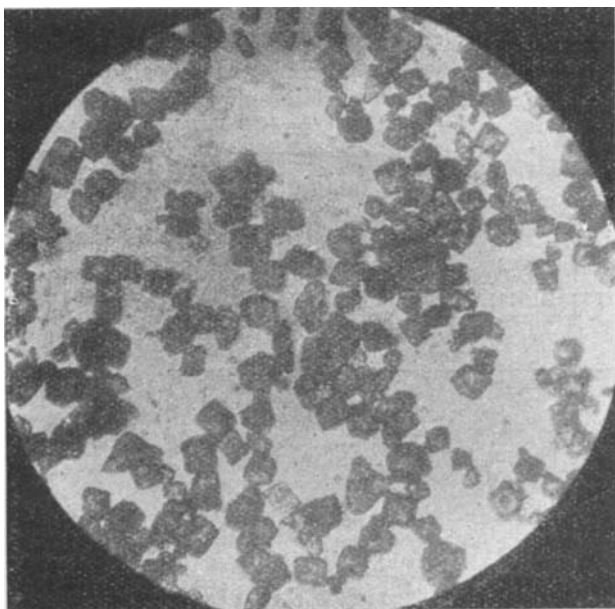


Abb. 4. Terra di Siena. Schlammfraktion 5. Fast ausschließlich Dolomitrhomboiden, auch hier einzelne Zonarstrukturen erkennbar.

merate oder schlierige Massen, die teils neben, teils auf und um Substanz 2 vorkommen. In den anderen Frak-

<sup>3)</sup> Es sei hier ausdrücklich darauf hingewiesen, daß die kolloidchemischen Verhältnisse natürlich wesentlich komplizierter liegen, als bei dieser praktischen Auswertung der Adsorptionsprobe zutage treten kann. Beispielsweise verhalten sich nicht alle durch Brillantgrün gefärbten Teilchen dieser Siena gleich. Die einen werden auf Zugabe von Säure blau (Bildung eines Farblacks zwischen saurem und basischem Farbstoff, daher letzterer nicht chemisch gebunden), andere bleiben grün (keine Umsetzung mit dem sauren Farbstoff, daher chemische Bindung ans Substrat). Dasselbe läßt sich auch beim sauren Farbstoff feststellen. Für eine Topographie im obigen Sinne sind solche Unterscheidungen aber unwesentlich.

tionen finden sie sich besonders auf den größeren Partikeln und in Ritzen von Kristallen sitzend. Polariskopisch erscheinen sie stets dunkel. Auf ihrer Gegenwart beruht die Möglichkeit, die Terra di Siena als Fixierfarbensubstrat zu verwenden.

2. Eisenhaltige Tonsubstanz. Hauptbestandteil: Körner und Trümmerstückchen von 0,3–4  $\mu$ , vornehmlich in Schlammfraktion 1 und 2. In Fraktion 3 bis 5 seltener frei, meist unter sich agglomeriert oder auf Kristallen und Quarzbrocken sitzend. Einzelne Körner fast farblos, die übrigen gelblich bis gelbbrot, bräunlich oder grünlich. Durchweg durchsichtig (Dunkelfeld!) und polariskopisch als kristallin feststellbar. Größere Glomere freilich nur schwach durchscheinend. In Salzsäure teilweise löslich, im unlöslichen Rückstand Kieselsäureglomerate mit teilweise nicht ganz gelöstem Fe. Durch Brillantgrün teilweise nicht, teils olivgrün, der Salzsäurerückstand rein grün gefärbt. Durch Brennen rot (Abb. 5), Form dabei er-

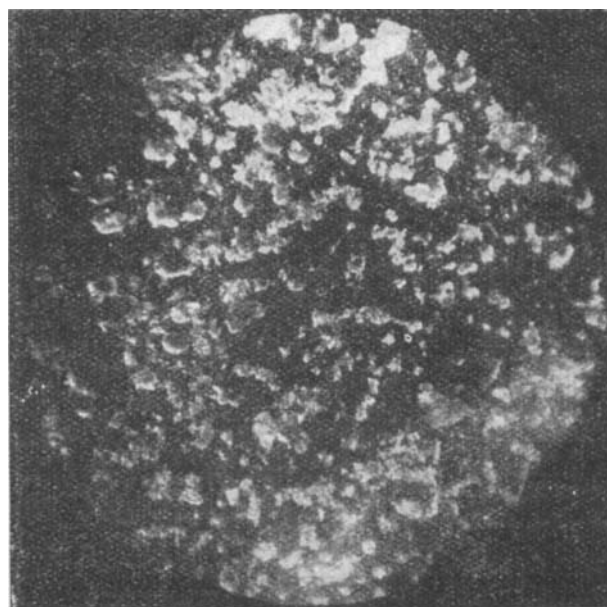


Abb. 5. Dieselbe Siena, jedoch gebrannt. Dunkelfeld. Sekundäre Kornvergrößerung durch Agglomeration deutlich erkennbar.

halten oder Agglomerate, die sich vorzugsweise auf den groben Teilchen 3 und 5 als Substrate festsetzen, also sekundäre Kornvergrößerung. Durch Abschrecken nach dem Brennen teilweise wieder deglomeriert. Hauptträger der Farbwirkung.

3. Umbra, d. h. Aluminium und Kieselsäure enthaltende Eisen- und Manganerzverwitterungsprodukte. Undurchsichtige, höchstens am Rand rötlichbraun durchscheinende Körner von 2–15  $\mu$ . Stets einzeln. Hauptsächlich in Fraktion 3–5. Im Dunkelfeld rot, polariskopisch unsichtbar. Beim Brennen Farbe und Gestalt ziemlich unverändert. Durch basischen Farbstoff nicht, durch sauren, soweit feststellbar, etwas gefärbt (Basoide?). In Salzsäure fast ganz löslich. Farbvertiefende Nebenbestandteile.

4. Dolomit, teilweise mit isomorphem Fe- bzw.  $\text{MnCO}_3$ . Ausgeprägte Rhomboiden von 5–10  $\mu$ . Völlig durchsichtig, farblos oder leicht gelblich gefärbt, oft an Spalten und in Ritzen mit gelber Tonsubstanz bedeckt. Im Dunkelfeld nur an Kantenreflexionen sichtbar. Polariskopisch hell, je nach Lage gelb oder mit rotgrüner Doppelbrechung. In warmer Salzsäure löslich,

bei größeren Stücken unter dem Mikro  $\text{CO}_2$ -Entwicklung zu beobachten. Häufig die auf Abb. 3 und 4 deutlich erkennbare Zonenstruktur zeigend, die vermutlich durch fraktionierte Kristallisation derart hervorgerufen ist, daß zuerst ein Eisen-Calcium-Magnesiumcarbonat auskristallisierte und um dieses der eigentliche Dolomit. Beim Brennen werden die Kristalle zerstört. Im wässrigen Auszug des Brennprodukts ist alkalische Reaktion nachweisbar. Kein Brillantgrün aufnehmend, aber durch Brillantgrünadsorption der daraufsetzenden Tonsubstanz zuweilen grün gefärbt erscheinend. Bestandteil, der die Transparenz der Farbe in Öl erhöht.


















5. Quarz. Körner von 1–12  $\mu$  in allen Fraktionen, vornehmlich in 3 bis 5. Durchweg ungefärbt, un-

wird Ocker schlechthin amorph genannt. In einer Fachzeitschrift wurde unlängst Kreide als die amorphe Form des Calciumcarbonats betrachtet. Das wäre unmöglich, wenn man sich allgemein der mikro- und polariskopischen Betrachtung bediente. Die meisten kristallinen Substrate, Mineral- und Erdfarben sind als solche mühelos im Polarisoskop erkennbar. Nur unter einer bestimmten Korngröße versagt diese Probe. Bleiweiß indes liegt gerade noch an der Grenze polariskopisch sicherer Erkennbarkeit. Und vielfach gelingt es, eine Körperfarbe, die deutlich kristallin ist, derart zu dispergieren, daß ihre Struktur polariskopisch nicht mehr sicher feststellbar ist (Chromgelb, Abb. 7). Das hat ja auch Weimarn<sup>5)</sup> am Bariumsulfat gezeigt. Und

seine Anschauungen über die Amorphie, der Ersatz der strengen Gegenüberstellung von amorph und kristallin durch den allmählichen Übergang vom nicht oder kaum zum deutlich orientierten Körper werden auch die Farbentechnik immer mehr befruchten müssen.

Diejenigen Pigmente, die sich polariskopisch nicht sicher als kristallin nachweisen lassen, sind entweder äußerst feindispers (weiße Deckpigmente, Ruß, viele Farblacke, Tonerdehydrat) oder aber glasähnliche, frittenartige Massen (Guitnetgrün, Ultramarin, Kobaltblau). (Nebenbei möchte ich erwähnen, daß auch sie vielfach kristalline Bestandteile, die integrierend oder akzessorisch sein können, enthalten.) Die Körper erster Art sind teilweise durch die Röntgenographie als kristallin festgestellt (weiße Deckpigmente<sup>6)</sup>). Es erscheint keineswegs unmöglich, daß auch die übrigen hierher gehörenden Farbkörper im Debyeogramm als zum mindesten nicht vollständig orientierungslos ers-

schienen. Es ist mir nicht bekannt, ob es etwa gelungen ist, Graphit zu Ruß zu dispergieren, etwa wie Weimarn Blanc fixe zu einem fast unorientierten Produkt

Form																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
------	---	---	---	---	---	---	---	---	--	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

als amorph betrachteten feindispersen Pigmente als scheinamorph oder „kristallogen“ bezeichnen. Dieser Kristallogenamorphie wäre die „Glasamorphie“ der grobkörnigen Schmelzprodukte gegenüberzustellen. Vom hierher gehörigen Guinetgrün hat Wöhler<sup>7)</sup> die völlige Orientierungslosigkeit bereits nachgewiesen.

Die Strukturfrage ist deshalb für die Farbentechnik so außerordentlich wichtig, weil man von ihrer Lösung auch eine solche des Deckfähigkeitsproblems erhofft. Entgegen der alten Auffassung von der Amorphie der Deckfarben nehmen ja Goldschmidt und Gademann (a. a. O.) an, daß gerade der kristalline Zustand der Deckfähigkeit durch Lichtreflexion günstig sei. Und da die Lichtreflexion mit der Dispersitätserhöhung bis zu einem gewissen Punkt wächst, ist es nicht verwunderlich, daß gerade die feindispersen Weißpigmente die höchste Deckfähigkeit aufweisen. Und weil der Nachweis ihrer Kristallstruktur polariskopisch vielfach nicht gelingt, ist es auch nicht verwunderlich, daß sich die alte Auffassung von der günstigen Wirkung des amorphen Zustands so lange erhalten hat. Mit weiterer Erhöhung

<sup>7)</sup> Wöhler u. Dierksen, Ztsch. angew. Chem. 39, 13 [1926].

der Dispersität werden jedoch die Reflexionsverhältnisse immer ungünstiger (vgl. Graphit und Ruß), und es macht fast den Eindruck, daß mit dem Nachlassen der Orientierung durch Dispersitätsverringern die Lichtabsorption zunähme. So mag es zu erklären sein, daß gerade im Bereich der Kristallogenamorphie, wie der Ruß zeigt, häufig Deckfähigkeit durch Lichtabsorption eintritt. Im Gegensatz hierzu findet man im Bereich der Glasamorphie vorzugsweise diejenigen Farbkörper, die weder stark reflektierend noch stark absorbierend sind, sondern infolge niederen Brechungsvermögens in den am meisten gebrauchten Ölbindemitteln Lasurwirkung zeigen. Eine Verallgemeinerung ist aber nicht möglich. Indischgelb z. B. fällt aus der Reihe, da es trotz seiner deutlich kristallinen Beschaffenheit ein sehr geringes Lichtbrechungsvermögen hat und damit ausgesprochene Lasurfarbe ist. Eine sichere Entscheidung über die interessanten Verhältnisse wird erst dann möglich sein, wenn das Gesamtgebiet der Körperfarben röntgenographisch völlig durchforscht ist. Es wäre dringend zu wünschen, daß sich ein Röntgeninstitut dieser schönen Aufgabe annähme.

[A. 124.]

## Über Massenspektroskopie.

Von Dozent Dr. GEORG STETTER, Wien.

Vorgetragen im Bezirksverein Österreich des Vereins deutscher Chemiker.

(Eingeg. 21. April 1928.)

Mit diesem Wort bezeichnen wir eine experimentelle Methode, die schon auf verschiedene wichtige Probleme Anwendung gefunden hat: auf die Bestimmung der Isotopen und der wahren Atomgewichte, auf die Diagnose unbekannter Atomsplitters (Radioaktivität und Atomzertrümmerung) und schließlich die Feststellung der Abweichung der wahren Atomgewichte von der Ganzzahligkeit, die für die Erforschung der Kernstruktur von Interesse ist.

Die physikalischen Grundlagen der Methode sind die denkbar einfachsten. Ein elektrisch geladenes Massenteilchen, z. B. ein Gasion, erfährt in einem elektrischen Felde eine Kraft, die es, wenn es etwa positiv geladen ist, in der Richtung der Kraftlinien zu bewegen sucht und gleich ist dem Produkt der Feldstärke und der Ladung des Teilchens, unabhängig davon, ob dieses in Ruhe oder Bewegung sich befindet. Ein bewegtes Teilchen erfährt auch im magnetischen Felde eine Kraft, welche senkrecht zur Bewegung und zu den Kraftlinien wirkt, und deren Größe man erhält, wenn man das Produkt aus Ladung und magnetischer Feldstärke noch mit der Transversalkomponente der Geschwindigkeit multipliziert. Treten nun rasch bewegte Ionen, etwa eines Kanalstrahles, durch ein elektrisches und ein magnetisches Feld, so erhält man zweierlei Ablenkungen, deren Größe man leicht berechnen kann. In die betreffenden zwei Gleichungen geht dann außer den eben erwähnten Größen und den Apparatkonstanten noch die Masse der Teilchen ein, und zwar immer in Form des Quotienten Ladung/Masse. Da in den hier in Betracht kommenden Fällen die Ladung gleich dem elektrischen Elementarquantum oder einem kleinen ganzen Vielfachen desselben ist, hat man praktisch nur zwei Unbekannte, Geschwindigkeit und Masse, die sich daher nach Durchführung der Messung aus den beiden Gleichungen finden lassen.

Es sind sehr viele verschiedene Kombinationen der beiden Felder verwendet worden, je nach dem Zweck

des Versuchs. Der wichtigste Vorläufer der hier zu schildernden Anordnung ist die sogenannte Parabelmethode, die in Deutschland hauptsächlich von Wien und Kaufmann, in England von J. J. Thomson angewendet wurde. Dabei wurden elektrisches und magnetisches Feld einander überlagert, der durchgehende Strahl erfährt Ablenkungen in zwei zueinander senkrechten Richtungen, und die Spur eines heterogenen Bündels auf einen senkrecht dazu aufgestellten Schirm ist eine Parabel, wie auch die rechnerische Betrachtung ergibt. Und zwar entspricht jedem Punkte einer Parabel eine bestimmte Geschwindigkeit, jeder Masse aber eine eigene Parabel. Die Anordnung gibt also nicht nur die Massenbestimmung, sondern auch Aufschluß über die Geschwindigkeitsverteilung. Leider ist ihre Genauigkeit nicht so groß, wie man sie z. B. zur Isotopenforschung benötigt; andererseits ist in diesem Fall die Geschwindigkeit ohne Interesse. F. W. Aston hat nun eine Anordnung verwendet, bei der unter Verzicht auf die Geschwindigkeitsmessung eine viel größere Genauigkeit der Massenbestimmung ( $1/100$ ) erreicht wird, und die er „Massenspektrograph“ nennt. (Der Aufgangsschirm ist bei ihm eine photographische Platte.) Das elektrische und magnetische Feld werden nacheinander durchlaufen, die Kraftlinien stehen aufeinander senkrecht, die Ablenkung erfolgt daher in der gleichen Ebene, aber mit verschiedenen Vorzeichen. Das erstere ermöglicht die Verwendung eines sehr feinen, linearen Spaltes zur Ausblendung des erforderlichen, nahezu parallelen Bündels (die Parabelanordnung erfordert Lochblenden, also kleinere Intensität). Das Wichtigste aber ist, daß man durch richtige Wahl der geometrischen Abmessungen und der Feldstärken erreichen kann, daß Strahlen verschiedener Geschwindigkeit, wenn sie nur die gleiche Masse haben, in einem Punkte vereinigt werden, während verschiedene Massen verschiedene Endablenkungen erfahren, so daß man tatsächlich ein Massenspektrum erhält, das noch dazu in