

# Die Papierchromatographie der Zucker

Von Dipl.-Chem. FR. CRAMER, Heidelberg, Chemisches Institut der Universität

Die Papierchromatographie hat in den letzten Jahren zum Trennen und Erkennen kleinster Mengen organischer Stoffe besondere Bedeutung erlangt. Ihre Anwendung zur Trennung der Zucker wird zusammenfassend dargestellt. Auf die vielseitige Anwendbarkeit im Gesamtgebiet der organischen Chemie wird kurz eingegangen.

## Entwicklung der Papierchromatographie

1941 wurde von Gordon, Martin und Synge<sup>1)</sup> ein neues chromatographisches Trennungsverfahren gefunden. Die Forscher gingen von Versuchen aus, Aminosäuren durch wiederholtes fraktioniertes Ausschütteln in einer neuartigen Apparatur zu trennen, wie sie später Craig<sup>2)</sup> angegeben hat. Das Verfahren wurde als Verteilungschromatographie (= partition chromatography) eingeführt.

Zur analytischen Trennung kleinster Mengen von Substanzgemischen wurde die Verteilungschromatographie von Consden, Gordon und Martin<sup>3)</sup> 1944 auf Papierstreifen durchgeführt. Es hat sich seither erwiesen, daß die Leistungsfähigkeit dieser Methode außerordentlich groß ist, denn sie ermöglicht es, mit recht primitiven Mitteln geringste Substanzmengen zu trennen, zu erkennen und zu bestimmen. Zusammen mit Tüpfelreaktionen, mikroanalytischen Bestimmungen und optisch-analytischen Verfahren wurden bei der Aufklärung von Naturstoffen bemerkenswerte Ergebnisse erzielt<sup>3a)</sup>. In erster Linie untersuchen diese Arbeiten die Aminosäuren-Zusammensetzung von Proteinen und Peptiden. Hierzu ist die Papierchromatographie insofern besonders geeignet, als sie es gestattet, über 20 verschiedene Aminosäuren gleichzeitig zu erkennen und dies mit weniger als 1 mg Ausgangssubstanz erreicht. Auf diese Weise können schwierig zu isolierende und kostbare Proteine wie Apofermente, Insulin, Viren und Gramicidin elegant untersucht werden.

## Qualitative Trennung und Nachweis von Zuckern

Inzwischen wurde nun die Papierchromatographie auf eine große Anzahl weiterer Substanzen ausgedehnt<sup>3b)</sup>. Von besonderer Wichtigkeit ist dabei die Papierchromatographie der Zucker nach Partridge<sup>4,5)</sup>. Die Technik ist hier die gleiche wie bei der Papierchromatographie der Aminosäuren<sup>3)</sup>. Man verwendet 30–40 cm lange mit Wasser getränkte Papierstreifen, über die aus einem Trog ein organisches Lösungsmittel herabsickert. Die ganze Vorrichtung steht unter einer Glasglocke. Als Papiere sind das englische Whatman No. 1 und das amerikanische Schleicher & Schüll 597 geeignet. Als Lösungsmittel werden hauptsächlich Phenol, Collidin oder Butanol-Essigsäure verwendet. Von der etwa 1%igen Lösung der zu untersuchenden Substanz werden etwa 3 mm<sup>3</sup> auf das Papier gebracht, entsprechend einem Gehalt von 30  $\gamma$  Zucker. Die Laufzeit des Chromatogramms beträgt 20–40 Stunden. Bei den Zuckern benützt man für das Sichtbarmachen Silbernitrat. Nach dem Trocknen des Papiers behandelt man mit ammoniakalischer 0,1 n Silbernitrat-Lösung. An den Stellen reduzierender Zucker scheidet sich beim Erwärmen auf 105° das Silber als braunschwarzer Fleck auf dem Papier ab. Ascorbinsäure und Tannin geben schon in der Kälte Dunkelfärbung und können so von den anderen Zuckern unterschieden werden. Ein Nachteil der Anwendung von Silbernitrat ist der, daß sich nach einigen Stunden der ganze Papierstreifen dunkel färbt. Auch wenn man das überschüssige Silbernitrat herauswäscht, ist das Chromatogramm nicht dauernd haltbar. Dies wird aber bei einer anderen Erkennungsreaktion erreicht. m-Phenylendiamin bildet mit Zuckern Acridin-Derivate<sup>6)</sup>, die stark fluoreszieren und zum empfindlichen Nachweis der Zucker dienen können<sup>7)</sup>. Der Papierstreifen wird mit einer alkoholischen Lösung von m-Phenylendiamin-dichlorhydrat besprengt, kurz erwärmt und unter die Analysenquarzlampe gelegt. Glucose, Mannose, Galaktose, Fruktose, Sorbose, Rhamnose und Fucose geben sich als gelb

fluoreszierende Flecken zu erkennen, Arabinose-, Xylose- und Ribose-Derivate fluoreszieren orange. Freilich darf hier kein Lösungsmittel mit eigener Fluoreszenz verwendet werden. Brauchbare Ergebnisse liefert auch die Verwendung von Anilinththalat<sup>7a)</sup> oder Benzidin-Lösung<sup>7b)</sup> zur Erkennung der Zucker im Papierchromatogramm. Nach F. Weygand und H. Hofmann ist als Reagens zum spezifischen Nachweis von reduzierenden Zuckern auch die 3,4-Dinitrobenzoesäure sehr gut geeignet, die in 1proz. Lösung in 2-n Soda angewendet wird<sup>7c)</sup>. Es bilden sich bei 100° zunächst blaue Flecken, die beim längeren Erhitzen oder beim Liegen braun werden. Gegenüber Silbernitrat haben diese Reagenzien den Vorteil größerer Spezifität für Zucker, so daß sich reduzierende Verunreinigungen, die besonders bei Anwendung von Phenol stets vorhanden sind, nicht so störend bemerkbar machen.

Nichtreduzierende Zucker werden auf dem Papier mit der Naphthoresorcin-Probe erkannt<sup>8)</sup>, bei der die Zucker durch Säureeinwirkung zu Furfurol-Derivaten dehydratisiert werden. Furfurole zeigen mit Phenolen besonders charakteristische und empfindliche Farbreaktionen. Dabei muß aber beachtet werden, daß die zur Dehydratisierung notwendige Säurebehandlung nicht durchgeführt werden kann, ohne daß die Cellulose des Papiers zu Zucker hydrolysiert wird. Deshalb verwendet man mit Vorteil Trichloressigsäure, die genügend dehydratisierend wirkt, dabei aber die Cellulose intakt läßt. Zur Farbreaktion wird mit einer 0,2%igen alkoholischen Naphthoresorcin-Lösung besprüht und auf 100° erwärmt. Auch andere Phenole geben die Farbflecken, und die Menge des vom Chromatographieren im Papier zurückgebliebenen Phenols ist oft hinreichend, um den Fleck erkennen zu lassen, so daß sich dann das Naphthoresorcin erübrigt. Die Reaktion ist spezifisch für Ketosen. Fruktose, Sorbose und Rohrzucker geben leuchtend rote Flecken, die 12 h beständig sind. Wenn man anschließend bei 70° mit feuchter Luft behandelt, werden nach einiger Zeit die Pentosen und Uronsäuren als blaue Flecken sichtbar.

Reagens	Trockenzeit	Pentosen Uronsäure	Aldohexosen	Ketohexosen	Rhamnose	Farbe des Grundpapiers
Resorcin	3 min	—	—	rot	—	—
	10 min	blau	—	rot	gelb	rosa
Naphthoresorcin	10 min	blau	grau	rot	grün	rosa

Mit der Naphthoresorcin-Probe hat man also zusätzlich zu den charakteristischen Wanderungsgeschwindigkeiten, deren Maße die  $R_F$ -Werte<sup>9a)</sup> sind, eine Unterscheidungsmöglichkeit für die einzelnen Zucker.

Glucosamin und N-Acetylglucosamin werden durch die Farbreaktion nach Morgan und Elson<sup>9)</sup> erkannt. Das entwickelte Chromatogramm wird bei 105° mit einer alkalischen Lösung von Acetylaceton und anschließend bei 90° mit einer Lösung von p-Dimethylaminobenzaldehyd behandelt. Die Reaktion für das freie Glucosamin ist dunkelrot, für N-Acetylhexosamin dunkelviolet. Acetylhexosamine zeigen die Färbung ohne Vorbehandlung mit Acetylaceton und können so gut erkannt werden. Andere Zucker geben mit dem Reagens von Morgan und Elson nur schwache, kaum sichtbare Reaktionen.

Bei der Papierchromatographie der Zucker empfiehlt es sich, im Chromatogramm Vergleichszucker mitlaufen zu lassen, um die genaue Lage des gesuchten Zuckers sicher ermitteln zu können, was aus den  $R_F$ -Werten allein manchmal nicht möglich

<sup>1)</sup> Biochemic. J. 35, 91, 1358, 1369 [1941].

<sup>2)</sup> Ebenda u. J. biol. Chemistry 150, 33 [1943]; 155, 519 [1944], 168, 665 [1947].

<sup>3)</sup> Biochemic. J. 38, 224 [1944].

<sup>3a)</sup> S. a. diese Ztschr. 60, 313 [1948], 62, 31 [1950].

<sup>3b)</sup> Vgl. diese Ztschr. 61, 367 [1949]. <sup>4)</sup> Nature [London] 158, 270 [1946].

<sup>5)</sup> Biochemic. J. 42, 238 [1948]. <sup>6)</sup> Schiff, Liebigs Ann. Chem. 253, 319 [1889].

<sup>7)</sup> E. Chargaff, C. Levine u. Ch. Green, J. biol. Chemistry 175, 67 [1948].

<sup>7a)</sup> S. M. Partridge, Nature [London] 164, 443 [1949].

<sup>7b)</sup> R. H. Horrocks, ebenda 164, 444 [1949]. <sup>7c)</sup> Unveröffentlicht.

<sup>8)</sup> W. G. C. Forsyth, Nature [London] 161, 239 [1948].

<sup>9a)</sup>  $R_F$ -Wert =  $\frac{\text{Wanderungsgeschw. d. Zuckers}}{\text{Fließgeschw. d. Lsg.-Mittels}}$

<sup>9b)</sup> Biochemic. J. 27, 1824 [1933].

ist. In Bild 1 ist das Chromatogramm einer Mischung von sechs Zuckern dargestellt. Die angewandten Mengen sind etwas größer

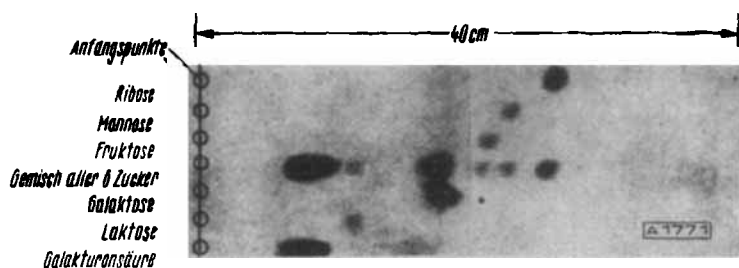


Bild 1

Papierchromatogramm eines Gemisches von 6 Zuckern, wobei gleichzeitig alle Zucker einzeln mitlaufen (nach Partridge).

als bei den Aminosäuren und betragen etwa 5–40  $\gamma$ . Es lassen sich mit Phenol und Collidin auch zweidimensionale Chromatogramme durchführen<sup>8</sup>).

### Verhinderung von Störungen

Wie bei den Aminosäuren ist darauf zu achten, daß bei der Untersuchung von Naturstoffen und Hydrolysaten Fremdstoffe und Ionen beseitigt werden müssen. Aminosäuren stören nicht, solange sie in geringeren Konzentrationen als die Zucker vorliegen. Ebenso wenig Kreatin, Kreatinin, Purine und Milchsäure. Inosit gibt mit Silbernitrat eine braune Färbung, wenn man der ammoniakalischen Lösung etwas Natronlauge zusetzt. Die Ionen werden am besten durch Ionenaustauscher entfernt, wobei man allerdings in Kauf nehmen muß, daß Uronsäuren und Aminosucker verloren gehen.

Bei der Bestimmung von Uronsäuren mußte eine weitere Schwierigkeit überwunden werden. Uronsäuren stehen im Gleichgewicht mit ihren Lactonen. Dieses Gleichgewicht stellt sich dauernd ein und bewirkt, daß das schneller wandernde Lacton hinter sich einen langen Schweif sich ständig nachbildender freier Uronsäure zieht, der das ganze Chromatogramm verwischt. Ein Zusatz von Ammoniak verschiebt jedoch das Gleichgewicht ganz auf die Seite der freien Uronsäure bzw. deren Ammoniumsalz, und man bekommt dann nur einen gut umrissenen, langsam wandernden Fleck.

### Anwendung

Die Anwendung zeigte<sup>10</sup>, daß nach Vorbehandlung mit einem Anionen- und einem Kationen-Austauscher das Chromatogramm gut durchgeführt werden kann. Es wurden die Zucker untersucht, die in Apfelsaft, in Hühnerweiß und im Blut enthalten sind, ferner die Zucker der spezifischen Polysaccharide – hierher gehören die blutgruppenspezifischen Substanzen, die Antigene und Antikörper. Diese physiologisch so wichtige Verbindungsklasse war mit den bisherigen Mitteln schwierig zu untersuchen<sup>11</sup>, und die neue Methode ist hier eine große Bereicherung<sup>10</sup>. Es wurde die Zusammensetzung der blutgruppenspezifischen Substanz A (Bild 2) (aus Magenschleimhaut des Schweins) ermittelt, ebenso wurde das spezifische Kohlehydrat aus *Bact. dysenteriae* (Shiga) untersucht. Die kristallisierte Substanz A wird nach Entfernen des Protein-Anteils mit Schwefelsäure hydrolysiert. Die Schwefelsäure kann mit Bariumhydroxyd entfernt werden. Man umgeht so die Anwendung von Ionen-

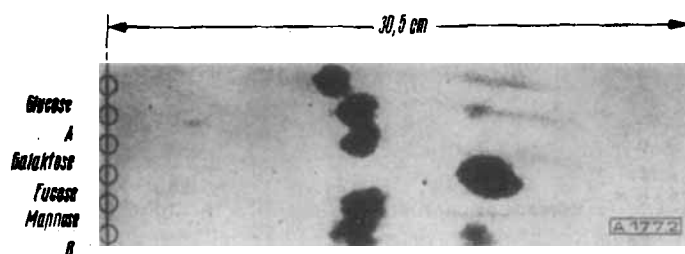


Bild 2

Chromatogramm eines Hydrolysates des Polysaccharid-Anteils der Blutgruppen-A-spezifischen Substanz, aufgetragen in A und B nach Behandlung mit zwei verschiedenen Ionenaustauschern. Das Polysaccharid enthält Galaktose und Fucose. Zum Vergleich sind mehrere Zucker mitchromatographiert (nach Partridge, S. M.).

<sup>10</sup> S. M. Partridge, ebenda 42, 251 [1948].

<sup>11</sup> W. T. J. Morgan, ebenda 37, 640 [1943].

Austauschern, von denen die im Polysaccharid vorhandenen Aminosucker festgehalten werden würden. Nach den Untersuchungen besteht das Polysaccharid zur Hauptsache aus Galaktose und Glucosamin, daneben etwas Fucose. Das Antigen aus *Bact. dysenteriae* enthält Galaktose, Glucosamin und Rhamnose. Die Zucker wurden aus ihren  $R_F$ -Werten mit Phenol, Collidin und Butanol-Essigsäure und aus den Farbreaktionen ermittelt. Die Ergebnisse stimmen mit den früher gefundenen überein.

Wenn man die Struktur eines Oligo- oder Polysaccharides untersucht, geht man bekanntlich folgendermaßen vor: Man methyliert alle freien OH-Gruppen des vorliegenden Polysaccharids, hydrolysiert und trennt anschließend die methylierten Zucker. Aus der Stellung der freien OH-Gruppen nach der Hydrolyse können dann die Bindungsstellen erkannt werden. Die Trennung der methylierten Zucker durch fraktionierte Kristallisation ist schwierig, im Papierchromatogramm läßt sie sich dagegen leicht erreichen<sup>12</sup>). Das Chromatogramm wird in der gleichen Weise durchgeführt wie mit den nichtmethylierten



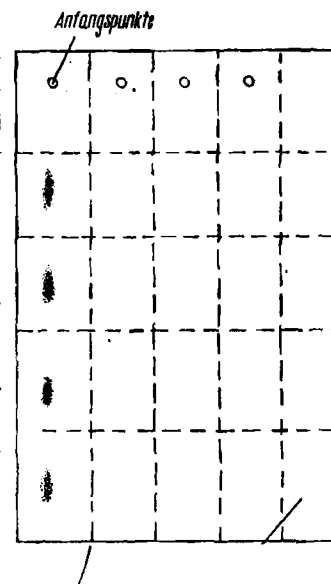
Bild 3

Chromatogramm eines Hydrolysates des Polysaccharids aus *Bact. dysenteriae* (Shiga), aufgebracht in C und 16 h mit Phenol entwickelt. Das Polysaccharid enthält Galaktose, Rhamnose und Glucosamin (nach Partridge).

Zuckern. Je mehr Methyl-Gruppen ein Zucker enthält, um so größer ist seine Löslichkeit im fließenden organischen Lösungsmittel, um so größer also sein  $R_F$ -Wert. Den größten  $R_F$ -Wert haben daher die Tetramethylhexosen und die Trimethylrhamnose. Ein Unterschied im  $R_F$ -Wert von 0,03 reicht noch zur Trennung aus, so daß z. B. 2,3,6-Trimethylglucose und 2,4,6-Trimethylglucose (Unterschied 0,05) oder 2,4-Dimethylxylose und 2,3-Dimethylxylose (Unterschied 0,08) noch leicht getrennt werden können. Es wurde auf diese Weise die Untersuchung von methyliertem Kirschgummi und Zuckerrübenaraban durchgeführt.

### Quantitative Zuckerbestimmung

Die quantitative Zuckerbestimmung im Anschluß an das Papierchromatogramm ist in Analogie zur quantitativen Aminosäure-Bestimmung möglich<sup>13</sup>). Man läßt auf einem breiteren



durch Vergleich, wie bei den Aminosäuren, die Lagen der übrigen Zucker bestimmt und die entsprechenden Stellen ausgeschnitten (vgl. Bild 4). Da zu der

Auseinanderschneiden des Papierchromatogramms zur anschließenden quantitativen Bestimmung. Nur ein Streifen wird sichtbar gemacht. Die anderen werden danach ausgeschnitten und ausgewaschen. Aus den Lösungen werden die einzelnen Zucker bestimmt.

<sup>12</sup> F. Brown, E. Hirst u. J. Jones, Nature [London] 161, 720 [1948]; E. L. Hirst, L. Hough, J. Jones, J. chem. Soc. [London] 1949, 928.

<sup>13</sup> A. Flood, E. Hirst, J. Jones, Nature [London] 160, 86 [1947]; J. chem. Soc. [London] 1948, 1679.

nachfolgenden Mikrobestimmung der Zucker ca. 0,1 mg benötigt werden, ist es zweckmäßig, die Zucker aus drei Chromatogrammen gleichzeitig auszuschneiden und auszuwaschen. Letzteres macht man am besten mit einer von C. E. Dent<sup>14)</sup> angegebenen Methode (Bild 5). Die erhaltenen Zucker werden entweder mit Somogyis Kupferreagens<sup>15)</sup>, einer unter besonderen Bedingungen

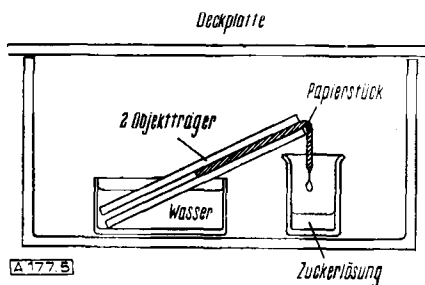


Bild 5

Auswaschen eines aus dem Chromatogramm ausgeschnittenen Papierstückchens zur nachfolgenden quantitativen Mikrobestimmung (nach C. E. Dent). Das Papier wird zwischen zwei Objektträger gelegt. Das sich hochsaugende Wasser wäscht den Zucker aus.

durchgeführten Fehlingschen Reaktion, oder durch colorimetrische Bestimmung des bei der Oxydation mit Perjodat gebildeten Formaldehyds<sup>16)</sup>, bzw. Titration der gebildeten Ameisensäure<sup>16a)</sup> bestimmt. Auch die Anwendung der Titration nach Willstätter-Schudel im Mikromaßstab ist hier sehr geeignet<sup>17,18)</sup>.

Ebenso die Bestimmung nach Folin-Wu<sup>18a)</sup> oder Hagedorn-Jensen<sup>18b)</sup>. Bei der Zuckerbestimmung muß der Blindwert des Papiers aus einem gleichgroßen, gleichartig behandelten Stück ermittelt und abgezogen werden.

Beim Austesten der Methode wurden mit Somogyis Reagens 96–100%, mit Titration nach Willstätter-Schudel 90–104% wiedergefunden. Als Beispiel ergab die Analyse des Arabans aus *Opuntia julgida*:

6 l-Arabinose	3 d-Galaktose
2 d-Xylose	1 Glucuronsäure.

Es ist klar, daß die Flecken auf dem Papier um so größer sind, je mehr Zucker zum Chromatogramm verwendet wurde. Zwischen der Größe des Fleckes und dem Logarithmus der Konzentration besteht nach R. B. Fisher eine Proportionalität, so daß man aus der Fleckengröße die Konzentration an Zucker bestimmen kann<sup>19)</sup>. Die Genauigkeit des Verfahrens ist durch die Unschärfe der Fleckenränder jedoch begrenzt.

Ein Verfahren zur Bestimmung von Zuckern mit radioaktivem C-Atom oder von radioaktiven Zuckerderivaten ist in Amerika ausgearbeitet worden<sup>20)</sup>. Der getrocknete Papierstreifen wird auf einen Film aufgelegt und aus der photometrisch ermittelten Intensität der Schwärzung die Zuckermenge bestimmt. Ein eindimensionales Chromatogramm kann auch noch einfacher mit dem Geiger-Zähler ausgewertet werden<sup>21)</sup>. Zum Studium der

Kohlensäureassimilation ließ man radioaktives CO<sub>2</sub> auf Grünalgen einwirken und untersuchte nach einiger Zeit die von der Pflanze gebildeten radioaktiven Zucker im Papierchromatogramm.

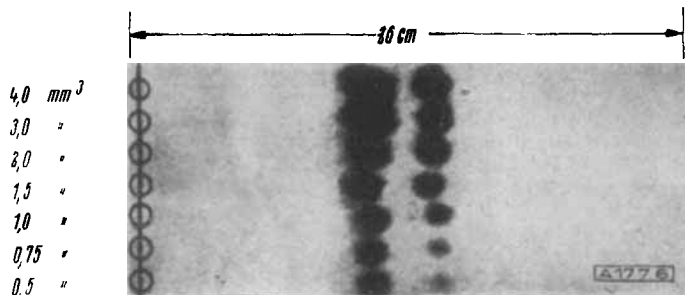


Bild 6

Papierchromatogramm einer 1proz. Lösung von Glucose und Xylose, die in abnehmender Menge aufgebracht wurde. Die Fleckengröße nimmt mit fallender Konzentration ab. Das beste Chromatogramm erhält man mit 1–2 mm<sup>3</sup> einer 1proz. Lösung, entsprechend 10–20 γ (nach Partridge).

## Bisherige Ergebnisse

Die Untersuchung der Polypeptid- und Polysaccharidhydrolysate ist zur Zeit das Hauptanwendungsgebiet der Papierchromatographie. Darüber hinaus sind bereits eine Anzahl weiterer Verbindungsklassen nach dieser Methode getrennt worden, die hier nur aufgezählt werden sollen. Säuren, wie Äpfelsäure, Citronensäure, Weinsäure<sup>22)</sup>, Fettsäuren<sup>23)</sup>, Tropa- und Atropasäure<sup>24)</sup> werden mit Indikatoren sichtbar gemacht und nach dem Auswaschen acidimetrisch bestimmt. Flavinnucleotide, Purine, Xanthopterin und Leucopterin werden an ihrer Fluoreszenz erkannt<sup>25)</sup>. Kreatin, Kreatinin, Colamin, Cholin, Spermin und Spermidin können ebenfalls außer der Bestimmung der R<sub>F</sub>-Werte durch bestimmte Farbreaktionen erkannt werden<sup>26)</sup>. Primäre aromatische Amine werden auf dem Papier diazotiert und zu Farbstoffen gekuppelt<sup>27)</sup>. Ketosterine lassen sich ebenfalls trennen<sup>28)</sup>. Sehr empfindlich ist die Trennung und der Nachweis der jodhaltigen Bestandteile aus mit <sup>131</sup>I indizierter Schilddrüsensubstanz<sup>29)</sup>. Auch die Anthocyane sind im Papierchromatogramm trennbar<sup>30)</sup>. Die Trennung von Hemm- und Wirkstoffen hat Winsten ausgearbeitet<sup>31–33)</sup>. In letzter Zeit ist es sogar gelungen, fast alle anorganischen Kationen zu trennen<sup>34,35)</sup>.

Der Anwendungsbereich der Papierchromatographie ist in rascher Ausbreitung begriffen.

Eingeg. am 13. Dezember 1948. Ergänzt b. d. Korr. 21. X. 49. [A 177]

<sup>14)</sup> Blochemic. J. 41, 240 [1947].

<sup>15)</sup> M. Somogyi, J. biol. Chemistry 160, 61 [1945].

<sup>16)</sup> P. Desnuelle, u. M. Naudet, Bull. Soc. Chim. 12, 871 [1945].

<sup>16a)</sup> E. Hirst, J. Jones, J. chem. Soc. [London] 1949, 1659.

<sup>17)</sup> J. R. Hawthorn, Nature [London] 160, 714 [1947].

<sup>18)</sup> K. Linderstrom-Lang u. H. Holter: Baumann u. Myrbäck, Methoden der Fermentforschung, G. Thieme, Leipzig.

<sup>18a)</sup> J. biol. Chemistry 67, 357 [1926]; 82, 83 [1929].

<sup>18b)</sup> Biochem. Z. 135, 46 [1923]; 137, 92 [1923]; H. Sobotka, M. Reiner, Blochemic. J. 24, 394 [1930].

<sup>19)</sup> R. B. Fisher, D. S. Parson u. G. A. Morrison, Nature [London] 161, 764 [1948].

<sup>20)</sup> M. Calvin, Chem. Engng. News 26, 2880 [1948]; A. Benson, M. Calvin, Science [New York] 108, 304 [1948]; R. M. Fink u. K. Fink, ebenda, 107, 253 [1948].

<sup>21)</sup> R. M. Tomarelli u. K. Florey, Science 107, 630 [1948].

<sup>22)</sup> J. W. H. Lugg u. B. T. Overell, Nature [London] 160, 87 [1947].

<sup>23)</sup> J. Boldingh, Experientia IV, 7, 270 [1948].

<sup>24)</sup> G. Sidney, J. Amer. Chem. Soc. 70, 423 [1948].

<sup>25)</sup> J. L. Crammer, Nature [London] 161, 349 [1948]; E. Vischer, E. Chargaff, J. biol. Chemistry 176, 715 [1948]; E. Chargaff, R. Doninger, E. Vischer, B. Magasanik, J. Amer. Chem. Soc. 71, 1513 [1949]; P. M. Good, A. W. Johnson, Nature [London] 163, 31 [1949].

<sup>26)</sup> G. A. Maw, Nature [London] 160, 261 [1947].

<sup>27)</sup> Birger Ekman, Acta Chem. Scand. 2, 383 [1948].

<sup>28)</sup> R. Burton, E. H. Keutmann, J. biol. Chemistry 177, 109 [1949].

<sup>29)</sup> A. Taurag, W. Tong, J. Chaikoff, Nature [London] 164, 181 [1949].

<sup>30)</sup> E. C. Bate-Smith, Nature [London] 161, 835 [1948].

<sup>31)</sup> W. A. Winsten u. E. Eigen, Proc. Soc. exptl. Biol. Med. 67, 513 [1948].

<sup>32)</sup> W. A. Winsten u. E. Eigen, J. Amer. Chem. Soc. 70, 33 [1948].

<sup>33)</sup> R. G. Kluener, J. Bacteriol. 57, 101 [1949].

<sup>34)</sup> M. Lederer, Nature [London] 162, 776 [1948].

<sup>35)</sup> G. M. Osborn, A. Jewsbury, ebenda 164, 443 [1949].

## Versammlungsberichte

### Symposium über die Physik der Pulvermetallurgie

Die Tagung wurde veranstaltet von der Sylvania Electric Products Inc. auf Fort Totten, Bayside, L. I., New York, vom 24. bis 26. August 1949.

Diese Tagung, welche an die vorjährige Internationale Tagung in Graz anknüpfte, wurde eingeleitet von G. F. Hüttig (Graz) durch einen gemeinsam mit W. E. Kingston (Bayside) abgefaßten Vortrag über die grundlegenden Probleme des Sinter-Prozesses, worin die Zustände der Sinterstoffe und die Thermodynamik und Kinetik ihrer Wandlungen dargestellt wurden. Im besonderen behandelte hierauf A. Smekal (Darmstadt) den Mechanismus des Kristallwachstums, A. J. Shaler (Boston) das Schrumpfen von Poren und B. H. Alexander und G. C. Kuczynski (Bayside) die Beziehungen zwischen Diffusion und Fließen in Metallen. Die Erscheinungen der Selbstdiffusion, Keimbildung, Oberflächenspannung und Rekristallisation waren Gegenstand der Vorträge von M. Cohen (Boston), J. E. Hollomon (General Electric Co.) und C. Herring

(Bell Telephone Laboratories), R. Smoluchowski, P. Beck, M. Balicki und L. Delisle. Vorwiegende technologische Fragen wie die Pulverherstellung und das Heißpressen wurden von C. G. Goetzal, P. Duwez, G. Comstock und F. V. Lenel behandelt. Einen breiten Raum beanspruchten die für die Hartmetalle wichtigen Carbide; hier wurden die Vorträge der am persönlichen Erscheinen verhinderten R. Kieffer (Reutte, Tirol) und V. Fattinger (Stübing ob Graz) verlesen und diskutiert. Ihnen folgten die Berichte von H. H. Hausner (New York) über die Verfolgung des Sinterungsverlaufes durch Messungen von elektrischen Eigenschaften und von Kopelman (Bayside) über die Herstellung von Metallpulvern durch Reduktion von Oxyden. Die Vorträge von A. D. Power über das Elektronen-Mikroskop, von R. P. Seelig über das Pressen von Metallpulvern und von E. F. Lowry über den Mechanismus des Kristallwachstums bechlossen die Tagung. Ähnlich wie bei der Grazer Veranstaltung werden sämtliche Vorträge und Diskussionen in Buchform erscheinen.

H.

[VB 141]