

# ANGEWANDTE CHEMIE

HERAUSGEGEBEN IM AUFTRAGE DER GESELLSCHAFT DEUTSCHER CHEMIKER

62. Jahrgang · Nr. 20 · Seite 471–490 · 21. Oktober 1950

FORTSETZUNG DER ZEITSCHRIFT „DIE CHEMIE“

## Organische Phosphor-Verbindungen als neuartige Insektizide (Auszug)<sup>1)</sup>

Von Dr. G. SCHRADER, Opladen-Lützenkirchen

Aus dem Pflanzenschutz-Laboratorium der Farbenfabriken „Bayer“, Wuppertal-Elberfeld

Die Entwicklung der neuen Insektizide „HETP“ und „TEPP“ und das innertherapeutisch an lebenden Pflanzen wirkende „Pestox“ wird beschrieben. Ferner wird über die Darstellung des Mioticums „Mintacol“ und die Entwicklung der Pflanzenschutzmittel „E 605“ und „E 838“ berichtet. Alle Einzelheiten über die neuen Verbindungen finden sich in der ausführlichen Arbeit des Verfassers „Entwicklungsgeschichte neuer Insektizide auf Grundlage organischer Fluor- und Phosphorverbindungen“, die als Beiheft zu dieser Zeitschrift erscheint.

Seit 1934 beschäftigte sich der Verfasser, einer Anregung Otto Bayers folgend, mit der Herstellung und der möglichen Verwendung organischer Fluor-Verbindungen als Schädlingsbekämpfungsmittel. Bei diesen Arbeiten wurden bestimmte organische Fluorverbindungen als Träger starker kontaktinsektizider Wirkung erkannt<sup>1)</sup>. Beim systematischen Durcharbeiten des ganzen Gebietes konnte festgestellt werden, daß in der Reihe der organischen Phosphor-Verbindungen die kontaktinsektizide Wirkung einer Anzahl neu entwickelter Phosphorsäureester nicht an das Vorhandensein von Fluor in der Moleköl geknüpft ist. Die erste fluor-freie Phosphor-Verbindung mit deutlicher kontaktinsektizider Wirkung wurde 1937 synthetisiert. Es handelte sich um:  $\text{C}_2\text{H}_5\text{O}-\text{P}(\text{OAc})_3$ . Die Verbindung wurde gewonnen durch Einwirken von Dimethylamino-phosphorsäuredichlorid auf Natriumacetat in Gegenwart von wasserfreiem Alkohol; Herstellung und Verwendung wurden 1937 unter Patentschutz gestellt.

Die Verbindung 1 läßt sich unter nebenstehendes Schema fassen:

Das Schema besagt: Phosphor-Verbindungen mit kontaktinsektiziden Eigenschaften werden erhalten, wenn am Zentralatom Phosphor neben doppelt gebundenem Sauerstoff zwei gleiche oder verschiedene Substituenten (Alkoxy-Gruppen oder der Rest einer sekundären Base) vorhanden sind und außerdem am Zentralatom Phosphor noch eine saure Gruppe anorganischer oder organischer Herkunft gebunden ist!

Bei der Abwandlung der Acylgruppen wurden u. a. auch die Reste substituierter Phosphorsäuren, z. B.:  $\text{C}_2\text{H}_5\text{O}-$  in das obige Schema eingeführt. Dabei entstanden Derivate der Pyrophosphorsäure. Von den vielen hergestellten Verbindungen dieser Art bewährte sich besonders der Pyro-phosphorsäure-tetraäthylester (2) als kontaktinsektizides Mittel:

Die Verwendung des Pyrophosphorsäure-tetraäthylesters als Pflanzenschutzmittel wurde daher 1938 unter Patentschutz gestellt. Zur technischen Verwertung kam es nicht, da die Verwendungsangmeldungen 1939 vom Heereswaffenamt als „Geheim“ erklärt wurden.

Hergestellt wurde der Pyrophosphorsäure-tetraäthylester nach einer neuen Synthese aus 0,0,0-Triäthylphosphat und Diäthylphosphorsäurechlorid.

### Eigenschaften des Pyrophosphorsäure-tetraäthylesters

Die physikalisch-chemischen Eigenschaften des Pyrophosphorsäure-tetraäthylesters werden im Beiheft beschrieben. Er ist ein starkes Gift für Warmblüter. Der Wirkungsmechanismus des Giftes wurde 1939 von E. Gross erkannt. Er stellte fest, daß der Pyrophosphorsäure-tetraäthylester die Cholinesterase hemmt.

<sup>1)</sup> Die ausführliche Arbeit erscheint in Kürze als Monographie Nr. 62 zur „Angewandten Chemie“ und hat einen Umfang von 62 Druckseiten. Preis DM 7,50.  
Vorbestellungen sind zu richten an Verlag Chemie, GmbH., Weinheim/Bergstraße. (Bestellschein auf Seite 2 der Inhaltsfahne).

Die starken pupillenverengenden Wirkungen des Pyrophosphorsäure-tetraäthylesters wurden vom Verfasser bei seinen experimentellen Arbeiten erkannt und von E. Gross quantitativ verfolgt.

Pyrophosphorsäure-tetraäthylester entwickelt bereits in einer wäßrigen Verdünnung von 0,1–0,01% sehr starke kontaktinsektizide Eigenschaften gegen Blattläuse der verschiedensten Art, gegen junge Raupen und gegen die Rote Spinne. Allerdings müssen die hergestellten Spritzlösungen sofort verspritzt werden, da die hydrolytische Spaltung des Esters so schnell einsetzt, daß nach 2 h nur noch ca. die Hälfte der Anfangskonzentration vorhanden ist.

Erst 1945 wurden die Eigenschaften des Pyrophosphorsäure-tetraäthylesters durch Befragen des Verfassers dem Auslande bekannt. Als „TEPP“ wird der Ester heute im Schrifttum des Auslandes erwähnt.

Es gelang, durch Substitution einer oder mehrerer Äthoxy-Gruppen im Pyrophosphorsäure-tetraäthylester durch Dimethylamino-Gruppen neuartige Verbindungen herzustellen, die bei guter kontaktinsektizider Wirkung eine wesentlich verbesserte Wasserbeständigkeit zeigten<sup>1)</sup>.

### Pyrophosphorsäure-Verbindungen mit 1,4-Dimethyl-amino-Gruppen

Durch Einwirken eines substituierten Phosphorsäuremonochlorids auf den entsprechenden Phosphorsäure-alkylester bei erhöhter Temperatur lassen sich zahlreiche Pyrophosphorsäure-esteramide und Amide herstellen. (Einzelheiten vgl. das Beiheft).

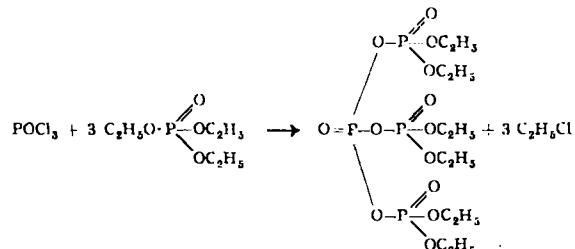
Die stickstoff-haltigen Derivate des Pyrophosphorsäure-tetraäthylesters sind wasserlösliche, farblose Flüssigkeiten, die sich unzersetzt im Vakuum bei einem Druck von 1–3 mm destillieren lassen. Die toxischen Daten subcutan an der weißen Maus bewegen sich zwischen 3–18 mg/kg (G. Hecht). Gegenüber dem Pyrophosphorsäure-tetraäthylester tritt demnach durch die Einführung von Dimethylamino-Gruppen eine wesentliche Entgiftung ein. Bei Blattläusen der verschiedensten Art wirken einige der hergestellten Verbindungen 100 proz. abtötend beim Spritzen mit wäßrigen Sprays, die die wirksame Substanz in einer Konzentration von 0,2–0,05% enthalten.

Die interessanteste Eigenschaft der Stoffklasse ist aber zweifellos ihre starke innertherapeutische Wirkung bei lebenden Pflanzen. Diese Beobachtung machte der Verfasser zusammen mit H. Küenthal in den Jahren 1939–1941. Es zeigte sich die überraschende Tatsache, daß lebende Pflanzen sowohl durch die Wurzeln wie auch mit den Blättern aus den wäßrigen Lösungen und Sprays, die die Wirkstoffe enthalten, die aktiven Substanzen aufnehmen. Diese Wirkstoffe lassen sich dann dadurch in den Pflanzen nachweisen, daß im Verlauf von 3–4 Wochen saugende und fressende Insekten an derart vorbehandelten Pflanzen eingehen. Die innertherapeutische Wirkung der neuen Mittel an lebenden Pflanzen konnte durch mehrfaches Nacharbeiten von ausländischen Forschern bestätigt werden.

Von englischer Seite wird heute das Oktamethyl-tetra-pyrophosphorsäureamid als „Pestox III“ in den Handel gebracht. In Deutschland wurde die Herstellung und Verwendung 1941 unter Patentschutz gestellt.

### Ester von Polyphosphaten (Bladane)

Bei dem Studium der Einwirkung von Säurechloriden auf Triäthylphosphat wurde bei der Verwendung von Phosphoroxychlorid beobachtet, daß 1 Mol Phosphoroxychlorid unter den gewählten Bedingungen mit 3 Molen Triäthylphosphat reagiert:



Unter der angeführten Strukturformel wurde die Herstellung 1942 veröffentlicht. Anfang 1944 kam das neue Insektizid unter dem Namen „Bladan“ als vollwertiger Ersatz für Nikotin in den Handel.

„Bladan“ kann mit einfachen technischen Hilfsmitteln discontinuierlich oder kontinuierlich in praktisch quantitativer Ausbeute aus Triäthylphosphat und Phosphoroxychlorid oder aus Phosphoroxychlorid und Äthylalkohol gewonnen werden. Das gegen Blattläuse der verschiedensten Art, gegen Rote Spinne und junge Raupen wirksame „Bladan“ wird durch Wasser hydrolytisch gespalten. Als Spaltprodukte lassen sich Pyrophosphorsäure-tetraäthylester und Diäthylphosphorsäure nachweisen.

Nach 1945 entstand eine Fülle von Arbeiten über dieses neue Gebiet in der ganzen Welt. Es wurde erkannt, daß „Bladan“ (Hexääthyltetraphosphat) ein in seiner Zusammensetzung zwar gleichmäßig anfallendes Produkt, aber kein chemisches Individuum ist. Der wirksame Bestandteil des „Bladans“ ist der Pyrophosphorsäure-tetraäthylester, der je nach der Methode der Herstellung in größeren oder geringeren Mengen in dem mit „Bladan“ bezeichneten Präparat vorhanden ist.

Es ist zur Gewohnheit geworden, ein technisches Gemisch, das bis zu 20% Pyrophosphorsäure-tetraäthylester enthält, als Hexääthyltetraphosphat (HETP) zu bezeichnen. Dagegen werden Wirkstoffgemische, die über 40% Pyrophosphorsäure-tetraäthylester enthalten, als Tetraäthylpyrophosphat bezeichnet (TEPP).

Der Hydrolyseverlauf von HETP und TEPP wurde von J. A. Ketelaar und A. H. Bloksma untersucht. Technische Herstellungsmethoden für „Bladan“ wurden vorwiegend von W. H. Woodstock ausgearbeitet.

„Bladan“ ist ein auf Warmblüter schnell wirkendes, starkes Gift. Subcutan wirken 2–3,5 mg/kg an der weißen Maus in wenigen Minuten tödlich (G. Hecht). Zur Bekämpfung von Insekten wird es mit Wasser im Verhältnis 1:1000 verdünnt.

### Wasser- und kalkbeständige „Bladane“

„Bladan“ ist genau so wie der Pyrophosphorsäure-tetraäthylester der Hydrolyse unterworfen. Erst durch die systematische Entwicklung bestimmter Thio-phosphorsäure-Verbindungen gelang die Darstellung von wasser- und alkalibeständigen neuen Insektiziden. Während im Monothiopyrophosphorsäure-tetraäthylester bereits eine gegen hydrolytische Einflüsse beständige Verbindung vorliegt, wurde im Dithiopyrophosphorsäure-tetraäthylester eine Substanz erhalten, die sowohl in wässrigen wie in alkalischen Medien weitgehend stabil ist. Der neue Ester  $\text{C}_2\text{H}_5\text{O}-\text{P}(\text{S}-\text{C}_2\text{H}_5)_2-\text{OC}_2\text{H}_5$  wurde durch Anlagern von Schwefel an den von A. E. Arbusow und B. A. Arbusow hergestellten Tetraäthylester der pyrophosphorigen Säure gewonnen. Er ist ein ausgezeichnetes Kontaktinsektizid, das auch in Kombination mit den verschiedensten alkalisch reagierenden Pflanzenschutzmitteln Anwendung finden kann. Da auch die toxische Wirkung des Esters bei Warmblütern relativ gering ist (tödliche Dosis an der weißen Maus

subcutan 8 mg/kg; G. Hecht), schien das Ziel der Arbeit: Die Herstellung eines wasser- und alkalibeständigen Insektizids erreicht zu sein.

Erst durch die noch universeller wirkenden Stoffe E 600 und E 605 wurde der Ester als Pflanzenschutzmittel in seiner Bedeutung zurückgedrängt.

### Entwicklung der Ester E 600 (Mintacol) und E 605 (Parathion)

Es blieb zu prüfen, ob zur Herstellung wirksamer, wasserbeständiger Phosphorsäureester die Anhydridverbindungen von zwei gleichen oder verschiedenen Phosphorsäuren notwendig waren, oder ob auch die Anhydrid-Verbindungen einer Phosphorsäure mit einer beliebigen anderen organischen oder anorganischen Säure zur Gewinnung aktiver Verbindungen Verwendung finden konnten. Zur Klärung dieses Gebietes wurden gemischte Anhydridverbindungen hergestellt und geprüft. Die neuen Verbindungen waren insektizid wirksam, teilweise auch wasser- und kalkbeständig. Um eine Übersicht über die Wirkung anderer „Acyle“ in Kombination mit dem Rest substituierter Phosphor- oder Thiophosphorsäuren zu erhalten, wurde auch das stark saure p-Nitrophenol und der Acetessigester in den Kreis der Untersuchungen gezogen.

Phosphorsäureester mit dem Rest des p-Nitrophenols wurden vom Verfasser hergestellt, während Ester der Phosphorsäure mit dem Rest des Acetessigesters von dem Mitarbeiter des Verfassers W. Lorenz synthetisiert wurden. Bei der Prüfung der neuen Verbindungen im Biologischen Institut Leverkusen (H. Küenthal) stellte sich heraus, daß einige Ester sich durch eine enorme Breite der insektiziden Wirkung auszeichnen. Daraufhin wurde das neu erschlossene Gebiet gründlich durchgearbeitet.

#### A. E 600 (Mintacol)

0,0-Diäthyl-phosphorsäure-0-p-nitrophenylester wurde erstmalig durch Umsetzen des Natriumsalzes des p-Nitrophenols mit Chlorophosphorsäure-diäthylester gewonnen.

$\text{C}_2\text{H}_5\text{O}-\text{P}(\text{O})=\text{O}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{NO}_2$  Später wurde der Ester (interne Bezeichnung: E 600) direkt durch Nitrieren des 0,0-Diäthyl-phosphorsäure-0-phenylesters erhalten. E 600 ist ein hellgelbes in Wasser bei Zimmertemperatur ca. 1:1000 lösliches Öl von schwachem Geruch. Wäßrige Lösungen sind bis  $\text{pH}$  7 relativ beständig. E 600 zeigte hervorragende Wirkung gegen fast alle bekannten Insekten.

Leider mußten die vielversprechenden Versuche Mitte 1945 abgebrochen werden, da sich herausstellte, daß E 600 für die Verwendung als Pflanzenschutzmittel zu giftig ist. Der Leiter des Gewerbehygienischen Laboratoriums der Farbenfabriken Bayer, Werk Elberfeld, G. Hecht, stellte zusammen mit W. Wirth fest, daß

- 1) E 600 durch die menschliche Haut dringt und damit zu Vergiftungen Anlaß geben kann.
- 2) daß E 600 gegen Warmblüter unverhältnismäßig toxisch ist (0,6–0,8 mg/kg Maus subcutan).

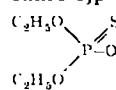
Wenn auch das Präparat E 600 auf Grund der geschilderten Eigenschaften für den Pflanzenschutz aufgegeben werden mußte, so konnte diese Substanz doch bei den weiteren Untersuchungen zu einem wertvollen pharmazeutischen Produkt entwickelt werden.

Bei der experimentellen Bearbeitung des E 600 war die starke pupillenverengende Wirkung aufgefallen, die immer dann eintrat, wenn ein Tropfen der wäßrigen E 600-Lösung irgendwie mit den Augen in Berührung kam. G. Hecht und W. Wirth fanden, daß im E 600 ein Stoff vorliegt, der starke Hemmungen auf die Cholinesterase ausübt. Noch in einer Konzentration von  $10^{-9}$  wirkt E 600 hemmend auf die Cholinesterase. Durch die starke Hemmung der Cholinesterase kann bei der Verabfolgung von E 600 in dem tierischen Organismus das an den Nervenendigungen laufend entstehende Acetylcholin nicht in Cholin und Essigsäure gespalten werden. Es kommt daher an den parasympathischen Nervenendigungen zu einer Anhäufung des giftigen Acetylcholins. Diese Anhäufung des Acetylcholins führt zu einer Störung der parasympathisch versorgten Organe. Das E 600 hat damit hinsichtlich seiner pharmakologischen Wirkung eine

weitgehende Ähnlichkeit mit dem in der Augenheilkunde viel verwendeten Physostigmin (Eserin). Eserin wird lokal in der Augenheilkunde bei beginnendem und bereits entstandenem Glaucom gegeben, um den intraokularen Druck herabzusetzen. Das an Stelle von Eserin klinisch geprüfte E 600 führte zu so günstigen Resultaten, daß das Präparat E 600 unter dem Namen „Mintacol-Augentropfen“ und „Mintacol solubile“ seit 1948 als pharmazeutisches Präparat im Handel ist.

### B. E 605 (Parathion)

Der dem E 600 entsprechende 0,0-Diäthyl-thio-phosphorsäure-O,p-nitrophenylester:

 wurde Mitte 1944 durch Umsetzen des Diäthyl-thio-phosphorsäuremonochlorids mit dem Natriumsalz des p-Nitrophenols hergestellt. Der später unter dem internen Namen „E 605“ bekannt gewordene Ester ist ein gelbes, wasserunlösliches Öl, das bei +6° krystallin erstarrt. Eine analytische Bestimmungsmethode für E 605 wurde von P. R. Owerell und M. V. Norris ausgearbeitet. Die Hydrolysenkonstante bestimmte J. A. A. Ketelaar. Eine kurze Übersicht über die Entwicklung von E 605 geben J. K. Eaton und R. G. Davies.

E 605 ist ein wasser- und alkalibeständiges Insektizid. Es vereinigt in sich die Eigenschaften eines Kontakt-, Fraß- und Gasgiftes. Da auch die toxischen Wirkungen gegen Warmblüter günstig liegen (18–20 mg/kg Maus subcutan), wurde bereits 1945 das Hauptgewicht der Arbeit auf die technische Entwicklung des Präparates E 605 gelegt. Die insektiziden Prüfungen führte im Biologischen Institut Leverkusen H. Kükenthal durch. Später erprobte G. Unterstenhöfer unter den Bedingungen der Praxis das Präparat E 605 in Freilandversuchen.

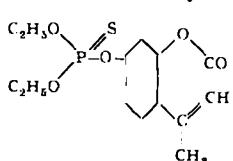
Durch den Umbruch im Jahre 1945 wurden die Ergebnisse mit dem Präparat E 605 dem Auslande bekannt. Chemische Fabriken in USA waren auf Grund der erhaltenen Informationen schneller in der Lage, technische Anlagen zur Gewinnung von

E 605 zu erstellen, als es in der damaligen Zeit in Deutschland möglich war. So erschien E 605 unter dem Namen „Parathion“ eher in USA auf dem Markt als in seinem Ursprungslande Deutschland!

E 605 kommt in seinen insektiziden Wirkungen einem Ideal-insektizid nahe. Die insektizide Wirkung ist an die angegebene Konstitution geknüpft. Abwandlungen der Konstitution führen zu keiner Verbesserung.

### Entwicklung des Kartoffelkäfermittels E 838 (Potasan)

Als Ergebnis einer systematischen Durchforschung der E 605-Reihe wurde Anfang 1947 vom Verfasser der Thiophosphorsäureester des 4-Methyl-7-oxycumarins synthetisiert:



Der Ester erhielt den internen Namen „E 838“ und kam später unter der Bezeichnung „Potasan“ als spezielles Kartoffelkäferbekämpfungsmittel in den Handel.

Die insektizide Erprobung führte H. Kükenthal im Biologischen Institut in Leverkusen durch. Die Anwendungstechnik wurde in Freilandversuchen von G. Unterstenhöfer bearbeitet. „E 838“ ist ein weißes Krystallpulver vom Fp. 3°.

Während alle bisher hergestellten Insektizide der Phosphorreihe eine breite insektizide Wirkung aufwiesen, zeichnet sich „E 838“ durch eine sehr starke selektive Wirkung aus. Sauende Insekten werden durch „E 838“ nur in untergeordnetem Maße vernichtet, während einige fressende Insekten, wie z. B. der Kartoffelkäfer (*Leptinotarsa decemlineata Say*) und die Kartoffelkäferlarven durch „E 838“ in kürzester Zeit sicher getötet werden.

Auch bei „E 838“ führen Änderungen der Konstitution zu keiner wesentlichen Verbesserung der Wirkung.

Die Arbeit über Insektizide auf Basis organischer Phosphorverbindungen wird fortgesetzt. Eingeg. am 9. Juni 1950. [A 283]

## Retentionsanalyse von Papierelektropherogrammen natürlicher Proteingemische Über Retentionsanalyse. III. Mitteilung<sup>1)</sup>

Von Prof. Dr. TH. WIELAND und LISELOTTE WIRTH

Aus dem Max-Planck-Institut für medizinische Forschung, Heidelberg, Institut für Chemie

Es wird an Beispielen gezeigt, wie die Retentionsanalyse verbessert und, insbes. auch klinisch, zur quantitativen Bestimmung von Proteinen verwendet werden kann.

Die von Th. Wieland und E. Fischer<sup>2)</sup> vor 3 Jahren entwickelte Methode der Elektrophorese geladener Moleküle auf einem mit Pufferlösung getränkten Streifen von Filterpapier in einer feuchten Kammer ist in der Folgezeit auf verschiedene Körperklassen angewendet worden<sup>3)</sup>. So wurde auch gezeigt, daß Proteine in der angegebenen Apparatur getrennt werden können<sup>4)</sup>, deren Nachweis z. B. dadurch gelingt, daß man den Streifen des Pherogramms in der wäßrigen Lösung von diazotierter Sulfanil- oder Metanilsäure und in verd. Soda-Lösung badet, wobei die Proteine als braunrote Flecken sichtbar werden. Man kann auch mit Ninhydrin-Lösung besprühen und danach, am besten in einer Wasserdampf-gesättigten Atmosphäre, einige Zeit auf 100° erwärmen. Die Papierelektrophorese von Proteinen ist dann von F. Turba und H. J. Enenkel<sup>5)</sup> sowie von H. J. Cremer und A. Tiselius<sup>6)</sup> eingehender studiert worden. Diese Autoren machten die Lage der getrennten Protein-Flecken auf dem Papier durch Anfärben mit Farbstoffen (Azokarmin B, Bromphenolblau und Sublimat) sichtbar und konnten sogar eine quantitative Bestimmung der Komponenten nach Elution der gefärbten Flecken durch Colorimetrie durchführen.

<sup>1)</sup> I. Mittig. Th. Wieland u. E. Fischer, Naturwiss. 35, 29 [1948]. II. Mittig. Th. Wieland, diese Ztschr. 60, 313 [1948].

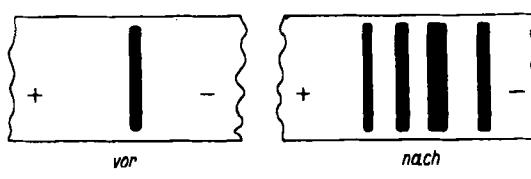
<sup>2)</sup> Th. Wieland u. E. Fischer, Naturwiss. 35, 29 [1948].

<sup>3)</sup> Th. Wieland, E. Fischer u. L. Wirth, Liebigs Ann. Chem. 564, 152 [1949] sowie weitere noch unveröff. Ergebnisse.

<sup>4)</sup> Th. Wieland, diese Ztschr. 62, 31 [1950], Vortrag vor der Chem. Ges. Marburg 29. 11. 1949.

<sup>5)</sup> Naturwiss. 37, 93 [1950]. <sup>6)</sup> Biochem. Z. 320, 273 [1950].

Wir haben nun die Retentionsanalyse zur quantitativen Bestimmung von Proteinen in Elektropherogrammen herangezogen und dabei eine allgem. ausführbare Verbesserung der Retentiometrie ausgearbeitet, über deren Anwendung auf andere Körperklassen im Detail später berichtet werden soll. Die neue Ausführungsform der Analyse besteht darin, daß man das Substanzgemisch nicht, wie früher beschrieben, als kreisförmigen Tropfen auf das Papier aufträgt, sondern als senkrecht zur Stromrichtung angebrachte Linie auf einem 5–10 cm breiten Streifen von Whatman Nr. 1-Papier. Bei der Elektrophorese im beschriebenen Apparat wandern dann die Komponenten als mehr oder weniger breite Streifen in verschiedene Positionen, so daß das fertige Pherogramm diese in gitterartiger Anordnung enthält (Bild 1).



[A 284] Bild 1  
Papierelektrophorese eines streifenförmig aufgetragenen Substanzgemisches

Läßt man nun die bei der Retentiometrie benutzte Reagenslösung im Streifen quer zur Stromrichtung aufsickern, so kommt es zur Ausbildung charakteristischer Lücken, weil das Reagens