

Preußische Akademie der Wissenschaften. Mathematisch-Naturwissenschaftliche Klasse. Sitzung am 21. Januar 1943.

Prof. Dr. A. Butenandt, Berlin-Dahlem: *Die Feinstruktur des Tabakmosaik-Virus*.

In dem als einheitliches Protein dargestellten Virus der Tabakmosaik-Krankheit liegt ein Nucleoprotein vor mit einem Molgewicht von 23000000 und einer stäbchenförmigen Gestalt von 15 μ Breite und etwa 200 μ Länge. Die zu etwa 3,6% im Virus enthaltene Nucleinsäure läßt sich durch alkalische Denaturierung des Virus abspalten und in einheitlicher Form mit einem Molgewicht von 11000 gewinnen (Loring); daraus ergibt sich, daß 70 Moleküle Nucleinsäure in einem Tabakmosaik-Virussteinchen gebunden sind. Aus den Befunden von G. Schramm, daß man die Nucleinsäure im Tabakmosaik-Virus enzymatisch hydrolysieren kann, ohne daß ein Abbau des Proteins zu kleineren Bruchstücken erfolgt, ist zu entnehmen, daß die Nucleinsäure sich ausschließlich an der Oberfläche des zusammenhängenden Proteingerüstes befindet. Ein weiterer Einblick in den Feinbau des Tabakmosaik-Virus wurde durch optische Untersuchungen erzielt (Butenandt, Friedrich-Freksa, Hartwig u. Scheibe¹): Die charakteristischen Absorptionsen der aromatischen Ringsysteme in der Nucleinsäure des Tabakmosaik-Virus und im Eiweißbaustein Tryptophan treten nur deutlich zutage, wenn der elektrische Vektor des absorbierten Lichtes senkrecht zur Längsachse des Tabakmosaik-Virus schwingt. Aus diesem Befund muß auf eine große Regelmäßigkeit im Feinbau des Moleküls geschlossen werden, denn es ergibt sich danach, daß die Nucleinsäure am Eiweißgerüst des Tabakmosaik-Virus derartig angeordnet ist, daß die Molekülebenen der aromatischen Basen vorwiegend einander parallel und senkrecht zur Längsachse gelagert sind. Das Eiweißgerüst selbst muß so gebaut sein, daß die Indol-Ringe des Tryptophans senkrecht zur Längsachse des Virusmoleküls stehen.

Einen weiteren entscheidenden Einblick in den Aufbau des Proteins erzielte G. Schramm²) (Arbeitsstätte für Virusforschung der Kaiser-Wilhelm-Institute für Biochemie und Biologie) durch das Studium der Stabilität des Virus in Abhängigkeit vom p_{H} seiner Lösung. Oberhalb von $p_{\text{H}} 9$ zerfällt es in Spaltprodukte, von denen ein nucleinsäure-freies Protein vom Molgewicht 360000 (= $1/70$ des Molgewichtes des Tabakmosaik-Virusproteins) und ein nucleinsäure-haltiges Protein von gleicher Molgröße in reiner einheitlicher Form gewonnen wurden. Beide Spaltprodukte sind biologisch inaktiv und nicht vermehrungsfähig. Sie zeigen die bemerkenswerte Eigenschaft, im sauren Gebiet (p_{H} etwa 5) wieder in einheitliche, hochmolekulare Proteine von Gestalt und Größe des Tabakmosaikvirus überzugehen. Aus dem nucleinsäure-freien Spaltprotein wurde ein nucleinsäure-freies, aus dem nucleinsäure-haltigen Spaltprotein ein nucleinsäure-haltiges hochmolekulares Protein von Gestalt und Größe des Tabakmosaikvirus resynthetisiert. Diese neuen hochmolekularen Proteine kristallisieren in den gleichen parakristallinen Nadeln wie das Virus, zeigen in der Ultrazentrifuge die gleiche Sedimentationskonstante und auf elektronenmikroskopischen Aufnahmen die gleiche Gestalt. Sie sind aber biologisch inaktiv.

Aus diesen Befunden ergeben sich weitgehende Schlüsse über die Struktur des Tabakmosaik-Virus: 1. Es besteht aus etwa 70 der Masse und Ladung nach gleichen Proteinteilchen, die der Größe der röntgenographisch ermittelten Elementarzelle (Bernal und Fankuchen) entsprechen. Jede dieser Untereinheiten trägt wahrscheinlich ein Molekül Nucleinsäure. 2. Größe und Gestalt des Tabakmosaik-Virus sind bedingt durch die Eigenschaften der Untereinheiten, aus denen es sich spontan ohne Anwesenheit einer lebenden Zelle bildet. 3. Gestalt und Größe des Tabakmosaik-Virus sind nicht an die Gegenwart von Nucleinsäure gebunden, die Untereinheiten sind also nicht durch Nucleinsäure-Brücken miteinander verknüpft.

KWI. für physikalische Chemie und Elektrochemie, Berlin-Dahlem. Colloquium am 20. Januar 1943.

Doz. Dr. Boersch, Wien: *Elektronen-Randwellen*³).

Nach der Theorie von Sommerfeld⁴ bzw. Rubinowicz⁵) können die Fresnelschen Lichtbeugungerscheinungen an einem beliebigen Gegenstand als Interferenzerscheinungen einer von den Rändern des Gegenstandes ausgehenden Randwelle und des durch den beugenden Gegenstand geometrisch-optisch begrenzten primären Strahlenbündels angeschenen werden. Der Nachweis dieser Randwellen ist mit jeder Art von Dunkelfeldabbildung möglich, in der die Ränder infolge der von ihnen ausgehenden Randwelle sich als helle Streifen kennzeichnen. Wegen des Zylinderwellen-Charakters der Randwellen erscheinen nur diejenigen Ränder als helle Streifen, auf die der Beobachter senkrecht blickt. Bei kleinen

Beugungswinkeln ist für Licht die Intensität der „inneren“ und der „äußerer“ Beugung (Beugung innerhalb bzw. außerhalb des Schattenraums) gleich intensiv.

Nachdem auch für Elektronen der Nachweis Fresnelscher Beugungerscheinungen⁶ erbracht worden war, trat infolge hierbei beobachteter Anomalien der Wunsch auf, auch hier die nach der lichtoptischen Theorie zu erwartenden Elektronen-Randwellen direkt zu beobachten.

Auf den mit einem Elektronen-Übermikroskop⁷ durchgeführten Dunkelfeldaufnahmen treten die Ränder von Zinkoxyd- und Magnesiumoxyd-Kristallen und von Platin- und Aluminiumoxyd-Folien erwartungsgemäß als helle Streifen auf, unter denen intensitätsbevorzugte und nicht-intensitätsbevorzugte unterschieden werden können. Die Unabhängigkeit vom Material und die Richtungsverteilung der intensitätsbevorzugten Ränder, die dem Auftreten von Zylinderwellen entspricht, rechtfertigt es, ihre Entstehung durch den Begriff der Elektronen-Randwellen zu charakterisieren, die den Randwellen der Lichtoptik weitgehend analoge Eigenschaften besitzen. Abweichungen von einer vollkommenen Analogie, die sich in einer starken Intensitätsbevorzugung der nach innen gestreuten Elektronen äußern, lassen sich im Rahmen der bisherigen Lichtbeugungstheorie nicht erklären.

Für Licht- und Elektronenwellen bestehen nun insofern andere Streuverhältnisse, als Elektronen eine Eindringtiefe besitzen, die ihre Wellenlänge um einige Zehnerpotenzen übersteigt, während die Eindringtiefe des Lichts in die bisher untersuchten Kantenmaterialien von der Größenordnung der Wellenlänge selbst ist. Ob die Abweichungen in den Intensitätsverhältnissen der „inneren“ und „äußerer“ Beugung auf diesen Unterschied oder auf anderen in der Lichtbeugungstheorie nicht berücksichtigten Möglichkeiten der Wechselwirkung von Elektronen mit Materie beruhen, konnte bisher nicht entschieden werden.

Während die Richtungsabhängigkeit der intensitätsbevorzugten Ränder auf elastische Streuprozesse hinweist, sind für das Zustandekommen der nicht-intensitätsbevorzugten Ränder unelastische Streuprozesse wahrscheinlich.

Münchener Chemische Gesellschaft.

511. Sitzung am 10. Dez. 1942 im chem. Staatslaboratorium.

Vorsitzender: W. Funk.

K. Clusius u. G. Dickel (Vorgetragen von K. Clusius): *Isolierung der Isotope ^{84}Kr und ^{86}Kr im Trennrohr*.

Die Trennrohranlage im physikalisch-chemischen Institut der Universität München, die seinerzeit zur Trennung der Chlor-Isotope⁸ errichtet worden war, wurde zur Abtrennung der Krypton-Isotope ^{84}Kr und ^{86}Kr herangezogen. Die gesamte Trennrohrlänge betrug 27 m. Um mit der bereits vorhandenen Anlage diese Aufgabe erfolgreich durchführen zu können, wurde nach der Formel von Jensen⁹) der für die Erreichung der optimalen Trennschärfe erforderliche Druck ermittelt. Man erhält so $p_{\text{opt.}} = 0,62$ at, doch wurde zur Erzielung einer höheren Einstellungsgeschwindigkeit, namentlich zu Beginn der Trennung, mit höheren Drucken gearbeitet.

Das Krypton besteht aus 6 Komponenten mit folgender Häufigkeitsverteilung:

0,35% ^{78}Kr ; 2,01% ^{80}Kr ; 11,52% ^{82}Kr ; 11,52% ^{83}Kr ;
57,13% ^{84}Kr ; 17,47% ^{86}Kr .

Während die Abtrennung des schweren Randisotops keine Schwierigkeiten bereitet, wurde zum Zwecke der Isolierung des Isotops ^{84}Kr zunächst ein binäres Gemisch von ^{84}Kr — ^{86}Kr abgetrennt, aus dem sich dann das reine ^{84}Kr gewinnen ließ. Als Ausgangsgas standen etwa 10 l normales Krypton zur Verfügung. Aus diesem wurden in zwei Versuchsreihen 850 cm^3 99,5%iges ^{86}Kr abgetrennt. In drei weiteren Versuchsreihen wurden als Endergebnis 500 cm^3 98,25%iges ^{84}Kr gewonnen. Zur Kontrolle der Reinheit wurden neben Gasdichte-Analysen, die vor allem auch zur Betriebsüberwachung dienten, Aufnahmen mit einem Parabel-Massen-Spektrographen, die von Herzog und Böniß in Wien gemacht wurden, herangezogen. Durch den Vergleich dieser Ergebnisse mit der Theorie des Trennrohrs konnte zum Schluß noch die Größe der Thermodiffusionskonstanten des Kryptons ermittelt werden.

K. Clusius u. W. Schanzer (Vorgetragen von W. Schanzer): *Zum Mechanismus der Photolyse der Essigsäure im Quarzultraviolet*.

1-n-Essigsäure liefert bei Bestrahlung mit UV gleiche Anteile CH_4 und CO_2 . Nach bisheriger Anschauung sollte der Zerfall in einem Akt eintreten¹⁰): $\text{CH}_3\text{-COOH} + h\nu \rightarrow \text{CH}_4 + \text{CO}_2$ (1). Dies läßt sich nachprüfen durch die Photolyse der Säure $\text{CH}_3\text{-COOD}$ in schwerem Wasser, welche Lösung man durch Anlagerung von D_2O (96,4% D) an Essigsäureanhydrid erhält. Nach Gl. (1) sollte hierbei CH_3D mit dem Molgew. 17,01 entstehen. Die Gaswaage zeigt jedoch 16,24, was kundtut, daß nur 21% CH_3D entstanden waren, der Rest aber aus reinem CH_4 besteht. Dieses bildet sich

¹) Hoppe-Seyler's Z. physiol. Chem. **274**, 276 [1942]; vgl. a. die Rundschau mit dieser Ztschr. **55**, 251 [1942]. ²) Vgl. a. ebenda **54**, 159 [1941]. u. Naturwiss. **31**, 94 [1943].

³) H. Boersch, Physik. Z. **44**, 32 [1943]. ⁴) Math. Ann. **47**, 317 [1896].

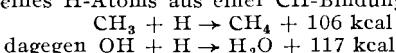
⁵) Ann. Physik **53**, 258 [1917].

⁶) H. Boersch, Naturwiss. **28**, 709 [1940]. ⁷) H. Boersch, Physik. Z. **43**, 515 [1942].

⁸) K. Clusius u. G. Dickel, Z. physik. Chem. B **44**, 451 [1939].

⁹) H. Jensen, diese Ztschr. **54**, 405 [1941]. ¹⁰) Z. physik. Chem. B **18**, 124 [1932].

auf folgendem Wege: $\text{CH}_3 \cdot \text{COOD} + h\nu \rightarrow \text{CH}_3 + \text{COOD}$ (2); $\text{CH}_3 + \text{HCH}_2 \cdot \text{COOD} \rightarrow \text{CH}_4 + \text{CH}_2 \cdot \text{COOD}$ (3). Auch die Theorie spricht für diese Tatsache: Nach der Lösung der schwächsten Stelle im Molekül $\text{CH}_3 \cdot \text{COOD}$, der C—C-Bindung, sucht sich das CH_3 -Radikal zum Methan aufzuhydrieren, was nur durch Abtrennung eines H-Atoms aus einer CH-Bindung möglich ist:



Eine Abspaltung von H aus Wasser kommt wegen der hohen Trennungsarbeit von 117 kcal nicht in Frage, da bei der Hydrierung zum Methan nur 106 kcal gewonnen werden, dagegen sehr wohl aus der Methyl-Gruppe von $\text{CH}_3 \cdot \text{COOD}$, da hier die Abtrennungsenergie wegen der Substitution des zweiten Methyls mit Sicherheit weniger als 102 kcal beträgt. Gl. (3) ist also mit mindestens 4 kcal exotherm. Auf dieselbe Art entsteht Methan bei der Elektrolyse von Essigsäure¹¹⁾. Die bei (3) und (4) entstehenden Radikale COOD und CH_2COOD sind vermutlich die Ursache für das Auftreten eines gelben Polymerisationsproduktes.

Auch bei der photolytischen Zersetzung von Eisessig, in dem Doppelmoleküle $(\text{CH}_3\text{COOH})_2$ vorliegen, konnte mit Hilfe von Deuterium bewiesen werden, daß zu 93% ein Zerfall über Methyl-Radikale stattfindet. Hier werden als gasförmige Produkte CH_4 , C_2H_6 , CO_2 und CO frei.

Biologische Reichsanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Berlin-Dahlem. Viruscolloquium am 23. Januar 1943.

Dr. Riehm, Präsident der Biologischen Reichsanstalt: In einleitenden Worten wird auf die Bedeutung der pflanzlichen Viruskrankheiten, insbes. der Kartoffelkrankheiten, hingewiesen. Die Virusätiologie der als „Kartoffelabbau“ zusammengefaßten Krankheiten fand in Deutschland erst durch die wissenschaftlichen Arbeiten Köhlers in der Biologischen Reichsanstalt allgemeine Anerkennung. Auf diese Erkenntnis gründen sich die Maßnahmen des Reichsnährstandes zur Hebung des Kartoffelbaus. In der Biologischen Reichsanstalt wurden von K. O. Müller gegen Viruskrankheiten resistente Kreuzungen geschaffen und den deutschen Kartoffelzüchtern zur Weiterzüchtung übergeben. Hier werden auch Untersuchungen über die Natur der Viren ausgeführt.

Oberregierungsrat Dr. Stapp: Die serologische Virusdiagnose und ihre Bedeutung für den Kartoffelbau.

Durch die Abbaupraktiken der Kartoffel können bereits im 1.—4. Nachbaujahr Ernteminderungen von 60—85% verursacht werden. Es sind daher Untersuchungsverfahren notwendig, die eine schnelle und sichere Diagnose auf Virusfreiheit bzw. -befall gestatten. Sie müssen möglichst einfach sein, damit in kurzer Zeit eine große Zahl von Kartoffelproben geprüft werden kann und auch die Züchter selbst ihr Kartoffelzuchtmaterial fortlaufend kontrollieren können. Alle bisherigen Schnellverfahren chemischer, physikalisch-chemischer oder colorimetrischer Art sind unspezifisch und haben sich in der Praxis nicht bewährt. Das einzige wirkliche brauchbare biologische Verfahren ist die Keimaugmethode, die von Köhler in Deutschland eingeführt wurde. Sie besteht darin, daß man ein ausgeschnittenes Auge einer zu prüfenden Kartoffel zum Keimen bringt und den aus den Keimen gewonnenen Saft auf einer für die Kartoffelviren empfindlichen Pflanze, z. B. Tabak, austestet. Da diese Methode verhältnismäßig zeitraubend ist, eignet sie sich nicht für Massenuntersuchungen. Vom Vortr. wurde nun eine serologische Nachweismethode ausgearbeitet, die als Sero-Mikro-Reaktion bezeichnet wird. Zur Gewinnung der Antiseren werden zunächst die einzelnen Viren auf Tabak gezüchtet, aus dem virushaltigen Pflanzensaft wird dann das Virus auf chemischem Wege nach Pfankuch u. Kausche angereichert und mit den konzentrierten Lösungen dieser Viren die Versuchstiere (Kaninchen und Hammel) immunisiert. Das so gewonnene Antiserum wird zunächst mit dem normalen Eiweiß der Kartoffel versetzt, um die gegen das normale Protein gerichteten Antikörper auszufällen, und ist dann gebrauchsfertig. Es sind auf diese Weise bis jetzt Antiseren gegen X-, Y- und A-Virus sowie Aucubamosaikvirus der Kartoffeln hergestellt worden. Der Saft der zu untersuchende Kartoffelpflanze wird nach Zugabe von NaCl und Zentrifugieren geklärt, mit einem Tropfen des Antiseraums auf einem Objektträger gemischt und im Mikroskop nach 20—30 min geprüft. Die Anwesenheit eines dem Antiserum entsprechenden Virus wird durch eine Präcipitation des Antigen-Antikörper-Komplexes zu erkennen, aus deren Stärke gleichzeitig auf die Stärke des Virusfalls geschlossen werden kann. Unspezifisch: Fäulungen mit normalem Serum treten nur sehr selten auf. Die Methode eignet sich vorläufig nur für den Nachweis der Viren der Kartoffelkraut. Ein unmittelbarer Nachweis in den Knollen ist nicht möglich, da hier Störungen durch unspezifische Fäulungen auftreten. Diese Schwierigkeit läßt sich dadurch umgehen, daß man die Knollen im Dunkeln keimen läßt und den Virusnachweis mit dem Saft der Dunkelkeime durchführt. Hier treten diese Störungen nicht auf. Gleichzeitig scheinen die Viren in den Keimen angereichert zu werden.

Aussprache: Dr. Störmer betont die Dringlichkeit einer einfachen Nachweismethode der Kartoffelviren für Züchter und hält

¹¹⁾ Diese Ztschr. 55, 97 [1942].

auch die Ausarbeitung eines Nachweises für das Blattrollvirus der Kartoffel, das sich bisher serologisch nicht bestimmen läßt, für wünschenswert. — Dr. Melchers fragt nach den Erfahrungen des Vortr. mit der serologischen Feldmethode von Chester. Diese Methode wäre für Züchter besonders leicht durchzuführen, da hierzu kein Mikroskop oder sonstige apparative Hilfsmittel benötigt werden. — Vortr.: Nach meinen Erfahrungen ist diese Methode nicht zuverlässig und kann besonders in der Hand von Ungeübten zu Fehldiagnosen Anlaß geben. Sie versagt außerdem völlig bei dem Nachweis von Y- und A-Virus.

Regierungsrat Dr. Köhler: Einige Probleme der allgemeinen Viruspathologie der Pflanzen.

Es wird zunächst die Frage nach dem Ursprung der Viren erörtert. Es kommen zwei Arten der spontanen Virusentstehung in Frage, entweder durch Umsiedlung eines selbstvermehrungsfähigen Zellbestandteils in einen artfremden Organismus, in welchem dieser Bestandteil die Eigenschaften eines Virus annimmt, oder dadurch, daß ein normaler selbstvermehrungsfähiger Inhaltsstoff in der eigenen Zelle durch eine Entgleisung des Stoffwechsels zum Virus wird. Der ersten Vorstellung wird der Vorzug gegeben. Vor längerer Zeit wurde vom Vortr. unabhängig von anderen Forschern die Entdeckung gemacht, daß virusinfizierte Pflanzen unter bestimmten Voraussetzungen imstande sind, ein zweites Virus abzuwehren, wenn dieses mit dem in der Pflanze vorhandenen Virus verwandt ist. Ist das für die zweite Infektion benutzte Virus nicht artverwandt, so vermag es die Pflanze ebenso leicht zu infizieren, als ob sie gar kein Virus enthielte. Man kann also Pflanzen durch Impfung mit einem schwachen Virus gegen ein stärkeres Virus derselben Art abwehrfähig machen. Die Erscheinung entspricht also der Immunität beim Warmblüter. Schutzstoffe von der Art eines Antikörpers, wie sie im Warmblüter gebildet werden, sind jedoch bei der Pflanze nicht beobachtet worden. Nach Ansicht des Vortr. ist diese Immunität der Pflanzen so zu erklären, daß das zweite Virus sich nicht vermehren kann, weil die Stoffe, aus denen es sich aufbaut, bereits durch das erste Virus aufgebraucht sind. Zum Schluß geht Vortr. auf seine Untersuchungen über das Vordringen von Virus in die Blütenorgane infizierter Pflanzen ein. So ließ sich das Tabakmosaikvirus in Pollen der damit infizierten Petunienpflanzen nachweisen, nicht jedoch oder nur sehr spärlich in Pollen von Tabakpflanzen. Es ist also ausgeschlossen, daß in Petunienpollen derselbe das Virus inaktivierende Stoff wirksam ist, der unlängst in Tabakpollen nachgewiesen wurde. Von praktischer Bedeutung ist ferner der Nachweis von Virus im Narbensekret des Griffels.

Regierungsrat Dr. Pfankuch: Die Bedeutung unserer Kenntnisse von Aufbau und Eigenschaften der Virusproteine für eine Chemotherapie der Viruskrankheiten.

Während schon in den ersten Jahren dieses Jahrhunderts die Entwicklung einer Chemotherapie der durch Protozoen (z. B. Spirochäten, Trypanosomen) vorursachten Krankheiten begann, setzte eine Chemotherapie der Bakteriosen erst mit dem Jahre 1935 ein, und eine Chemotherapie der Viruskrankheiten fehlt bisher. Diese Reihenfolge ist nicht zufällig. Es ist viel leichter, einen relativ hochdifferenzierten Organismus wie ein Protozoon anzugreifen und zu vernichten als ein primitives Bakterium oder gar ein Virus. Denn dieses ist kein lebender Organismus, sondern ein toter hochmolekularer Eiweißkörper ohne eigenen Stoffwechsel, der daher einer Chemotherapie wenig Angriffspunkte bietet. Es wurde nun eine Reihe von Stoffen auf ihre Fähigkeit geprüft, Viren zu inaktivieren. In einer Reihe von Modellversuchen mit Tabakmosaikvirus und oberflächenaktiven oder an Eiweiß leicht absorbierten Verbindungen wurde gezeigt, daß jede Adsorption an die Virusoberfläche, die mit physikalischen, chemischen und elektronenmikroskopischen Methoden nachgewiesen wurde, auch von einer Inaktivierung des Virus begleitet wird. Eine gewisse Sonderstellung nimmt Victoria-Blau ein, das von Herzberg zur Färbung von Viren und ihrer Sichtbarmachung im Lichtmikroskop benutzt wurde. Dieser Farbstoff bewirkt noch in einer Verdünnung von 1 : 100 000 eine merkliche Abnahme der Virusaktivität. Einige oberflächenaktive Stoffe, wie z. B. Dodecylsulfat, bewirken bekanntlich einen Zerfall des Virus in kleinere Bruchstücke unter Abspaltung der Nucleinsäure. Die leichte Abspaltbarkeit der Nucleinsäure wird in Übereinstimmung mit enzymatischen Befunden von Schramm darauf zurückgeführt, daß diese an der Oberfläche des Virusmoleküls angelagert ist. Nach den Untersuchungen des Vortr. bewirken andere oberflächenaktive Stoffe, z. B. die Invertseifen, nur eine reversible Inaktivierung des TM-Virus, jedoch keinen Zerfall. Nach früheren Untersuchungen des Vortr. läßt sich das TM-Virusprotein durch Behandlung mit 5%iger Natronlauge oder Pyridin unter Entfernung der Nucleinsäure in elektrophoretisch einheitliche Bruchstücke spalten. Die weitere Untersuchung dieser nucleinsäure-freien Spaltproteine in der Ultrazentrifuge zeigt, daß sie aus wenigen in sich einheitlichen Komponenten bestehen. Vortr. zieht den Schluß, daß diese Komponenten als solche im TM-Virus vorkommen und sich dieses aus bestimmten unter sich gleichartigen Untereinheiten zusammensetzt. Die Kittstellen dieser Bausteine sind schwache Stellen im Virusmolekül, an denen dieses durch chemische Einwirkungen unter Verlust der Infektiosität leicht zum Zerfall gebracht werden kann.