

# Die modernen Kunststoffe und ihre Anwendung in der Chirurgie

1954

## Die modernen Kunststoffe und ihre Anwendung in der Chirurgie

von Dipl. Chemiker u. Dr. med. B. Braun, Melsungen

Von früh an haben dem Menschen für seine kulturellen Bedürfnisse die ihm in der Natur gebotenen Rohstoffe nicht genügt, und er war stets bestrebt, sie zu verbessern bzw. durch andere künstlich geschaffene Stoffe zu ersetzen. Aus diesem Bestreben heraus entwickelten sich in der Geschichte der Menschheit die verschiedenen Epochen, die wir als Bronze- und Eisenzeit usw. bezeichnen. Im Laufe der letzten drei Jahrzehnte bahnt sich nun durch den Fortschritt der modernen Chemie eine neue Entwicklungsepoche an, die wir als die der chemischen Kunststoffe bezeichnen können.

Wenn man früher unter Kunststoffen Gegenstände aus Glas, Porzellan oder Metall verstand, so hat das Wort Kunststoff in neuerer Zeit eine Begriffsverengung erfahren. Man versteht heute darunter ganz oder teilweise synthetisch hergestellte hochmolekulare organische Stoffe, die aus monomolekularen organischen Verbindungen zusammengesetzte Riesenmoleküle darstellen und in der Hauptsache die Elemente Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff, Chlor und neuerdings auch Silizium und Fluor enthalten.

Durch die grundlegenden Arbeiten von E. Fischer, K. Freudenberg, K. H. Meyer und H. Mark und vor allen Dingen durch Staudinger wurden die Grundlagen für die Entwicklung dieses wichtigen Arbeitsgebietes der modernen Chemie geschaffen. Während die bisher hergestellten chemischen organischen Verbindungen Molekülgrößen im Bereich dreistelliger Zahlen zeigten, findet man bei den modernen Kunststoffen Molekülgrößen bis zu siebenstelligen Zahlen.

Staudinger bezeichnete diese Riesenmoleküle erstmalig als makromolekular und diese Bezeichnung ist heute international eingeführt.

Es gelang Staudinger, die Konstitution einer großen Anzahl derartiger hochmolekularer Verbindungen zu erforschen und zu zeigen, daß durch Polymerisation oder Kondensation lineare Kettenmoleküle entstehen, die in sehr starker Vergrößerung fadenartige Gebilde darstellen.

Werden diese Ketten nun an bestimmten Verzweigungspunkten durch Brücken verbunden, so bilden sich Netze, die entsprechend eng- und weitmaschig sein können. Die physikalischen Eigenschaften dieser Verbindungen werden durch die jeweilige Konstitution bestimmt und es hat sich ergeben, daß reine Ketten-Moleküle, d. h. also solche ohne jede Vernetzung harte oder weiche sog. Thermoplasten bilden, d. h. Stoffe, die bei normaler Temperatur fest sind, jedoch bei erhöhter Temperatur klebrig weich werden. Ist jedoch eine Vernetzung der Kettenmoleküle vorhanden, so ent-

stehen bei geringgradiger Vernetzung Stoffe gummiartiger Elastizität, die durch Wärme nicht beeinflusst werden, bei dichter Vernetzung harte, un-schmelzbare Massen.

Diese hochmolekularen synthetisch darstellbaren Kunststoffe haben in ihrer Konstitution große Ähnlichkeit mit den wichtigsten Naturprodukten wie Kautschuk, Cellulose und Eiweiß, so daß man neben der rein synthetischen Darstellung auch auf diese Produkte in der Großfabrikation zurückgreift und darauf bedacht ist, die natürlichen Riesenmoleküle fraktioniert abzubauen und eine teilweise konstitutionelle Veränderung in dem Sinne vorzunehmen, daß unvernetzte oder wenig vernetzte lineare Ketten-Verbindungen entstehen, die Fasereigenschaften besitzen und als Kunststoff-Faser in der Textilindustrie ihre große Bedeutung haben.

So entstanden im Anfang dieses Jahrhunderts aus der natürlichen Cellulose die künstliche Zellwolle, die jahrzehntelang in der Textil-Industrie die führende Bedeutung hatte, und die erst in letzter Zeit immer mehr durch die reinsynthetischen Fasern NYLON oder PERLON, bzw. ORLON oder PAN abgelöst wird, da diese Fasern physikalische Eigenschaften haben, die allen Naturprodukten weit überlegen sind.

Durch die schon oben erwähnten engen konstitutionellen Beziehungen, die diese hochmolekularen Kunststoffe zu den Naturprodukten haben, lag es ja auf der Hand, sie auch in die Medizin einzuführen.

Als erster hochmolekularer Kunststoff stand mir 1931 für diese Zwecke der von den Alexander Wacker-Werken, München, hergestellte Polyvinyl-Alkohol zur Verfügung.

In Zusammenarbeit mit seinen Erfindern *Willy O. Herrmann* und *W. Hähnel* versuchten wir folgende Anwendungsgebiete für die Medizin zu erschließen:

1. in Form von Fäden als chirurgisches Nahtmaterial
2. in Form von Colloidzusatz für Blutersatzlösung
3. in Form von schwammartigen Gebilden als Lungenplomben
4. in Form von Folien als Faszienersatz
5. in Form von Röhren als Gefäßprothesen
6. in Form von kolloidalen Pasten als Depotunterlagen für therapeutisch wirksame Mittel
7. in Form von flüssigen sich erhärtenden Pasten als Pflasterersatz und zur Versteifung von Verbänden.

Leider erwies sich jedoch der Polyvinylalkohol für die meisten Zwecke als nicht geeignet und bewährte sich im Laufe der klinischen Erprobung nur als Augenplombe nach *Enucleatio bulbi*, die *Thiel* zuerst prüfte, und die an vielen Augenkliniken im Laufe der Jahre sich bestens bewährt hat.

Die Vorteile dieser Polyviol-Augenplomben beruhen auf der Eigenschaft, daß Polyvinylalkohol durch Zusatz von Kongorot eine muskelähnliche elastische Masse bildet, deren Konsistenz man durch den Kongorot-Zusatz



von dünnflüssiger geleeartiger bis zu hartgummiähnlicher Form variieren kann. Diese Plomben kommen steril, gebrauchsfertig in Kugelform in den Handel und liegen bei einer großen Anzahl von Patienten seit mehr als 20 Jahren ohne irgendwelche Gewebsreizungen in der Augenhöhle.

Ein anderes Derivat des Polyvinylalkohols, das von *Reppe* 1941 dargestellte Polyvinylpyrrolidon, zeigte gegenüber dem Polyvinylalkohol die gewünschten Eigenschaften eines kolloidalen Körpers als Plasmasubstitut. Es wird synthetisiert, indem das monomere Pyrrolidon aus Acethylenformaldehyd und Ammoniak über eine Reihe von Folgestufen aufgebaut und dann zu dem hochmolekularen Körper polymerisiert wird.

Durch *Weese* wurde seine Eignung als Plasmasubstitut bestätigt und seit 10 Jahren ist es in einer großen Anzahl von Fällen unter der Bezeichnung Periston mit gutem Erfolg klinisch verwendet worden.

Im POLYVINYLSCHLORID, technisch kurz PVC genannt, wurde durch Synthese des monomeren Vinylchlorids eine weitere hochmolekulare Verbindung gefunden, die vor allen Dingen auch technisch eine außerordentlich große Anwendung gefunden hat.

PVC ist von harter Konsistenz, kann aber durch Zusatz geeigneter Weichmacher in seiner Härte sehr stark beeinflusst werden und findet wegen seiner chemischen Resistenz in der Medizin vor allen Dingen in Form von schlauchartigen Gebilden Anwendung. Daraus hergestellte Katheter, Drains, Intubationsröhren, Kapillaren und Magen- und Darmsonden werden im Ausland seit Jahren in großen Mengen gebraucht und haben die entsprechenden Gummiartikel vor allen Dingen deshalb verdrängt, weil sich PVC im Gegensatz zu dem schwefelhaltigen Gummi im Gewebe reizlos verhält, transparent und billiger ist. Wegen ihres niedrigen Preises werden PVC-Schläuche besonders zur Herstellung von Infusions- und Transfusionsgeräten für einmalige Verwendung benutzt.

Im Gebrauch ist bei der Sterilisation die thermoplastische Eigenschaft insofern zu berücksichtigen, als diese Schläuche in der Form und Lage sterilisiert werden müssen, in der man sie später verwenden will, d. h. sie dürfen im Autoklaven nicht durch Gewichte belastet oder geknickt werden, sondern werden plan eingelegt und erst nach Abkühlung dem Autoklaven wieder entnommen. Infolge der Geschmeidigkeit als feinlumige Kapillaren finden sie weitgehende Anwendung in der Venoflex-Apparatur, in der sie durch entsprechende Kanülen in die Venen eingeführt werden und bei Dauertropfinfusionen bis zu 14 Tagen und länger liegenbleiben können, ohne den durch das Metall sonst bedingten Reiz auf die Gefäßintima auszuüben. Auch zum Absaugen von Sekret aus den Bronchien während der Intubationsnarkose finden Kapillaren verschiedener Durchmesser ausge dehnte Verwendung.

Ein anderer Kunststoff, der wegen seiner chemischen Unangreifbarkeit und hydrophoben Eigenschaften in der Medizin Eingang gefunden hat, ist

das POLYÄTHYLEN. Er wurde erst während des Krieges in Deutschland und England gleichzeitig entdeckt und durch Polymerisation des verflüssigten Äthylens unter sehr hohem Druck und unter Zusatz kleinster Sauerstoffmengen dargestellt. Es ist eine paraffinartige, weißliche, sich fettig anfühlende Masse, aus der im Spritzgußverfahren Schläuche, Röhren und Folien hergestellt werden können. Diese sind elastisch, dehnbar und transparent. In kochendem Wasser erweichen sie und schmelzen bei 110°. Die Sterilisation der aus Polyäthylen hergestellten Produkte kann also nur auf chemische Weise erfolgen und wird am besten durch 24-stündiges Einlegen in eine 1—5 %ige wäßrige Zephirollösung vorgenommen. Die Polyäthylenschläuche werden, ebenso wie die PVC-Schläuche, zu Kathetern und Drains verarbeitet.

*Beermann*, Boston, führte zuerst Oesophagus-Prothesen aus Polyäthylenschläuchen ein, die nach seinen Veröffentlichungen und allerdings noch wenigen deutschen Erfahrungen sich bisher bewährt haben. Der Einsatz der Prothese vereinfacht die bisherigen Operationsmethoden am Oesophagus durch Magenhochlagerung ganz wesentlich und schaltet die spätere Gefahr der Stenosenbildung aus.

In der Versorgung großer Wundflächen nach Verbrennungen und nach Entnahme von Hautlappen mit dem Dermatom hat *Hegemann* die Polyäthylenfolien wegen ihrer Wasserunempfindlichkeit als besonders geeignet gefunden. Die Folie deckt die Wunde steril ab, verhindert ein Verwachsen des jungen Granulationsgewebes mit der Auflage und ist ohne jede chemotaktische Wirkung.

Ein weiterer Kunststoff, der eine ausgedehnte Anwendung findet, ist ein POLYAMID, das unter dem Namen NYLON in Amerika von der Firma *DuPont de Nemours*, durch Polykondensation von Hexamethyldiamin-Adipat und in Deutschland unter der Bezeichnung: PERLON, IGAMID oder SUPRAMID von der Badischen Anilin- und Soda-Fabrik, Ludwigshafen, durch Polymerisation von Caprolactam hergestellt wird. Die Polyamide stehen dem Eiweiß in seiner Konstitution sehr nahe, und demzufolge sind seine physikalischen Eigenschaften denen der natürlichen Eiweißstoffe Seide und Wolle sehr ähnlich. Die aus ihm hergestellten Fasern übertreffen jedoch die natürlichen Produkte durch größere Festigkeit, Geschmeidigkeit und Elastizität und haben weiterhin den Vorteil, daß sie hydrophob sind und in Wasser nicht aufquellen. Aus den Schmelzen der Polyamide kann man durch Auspressen Borsten und Fäden jeglicher Stärke herstellen. Diese Fäden fanden sehr schnell wegen ihrer ausgezeichneten physikalischen Eigenschaften und ihrer Gewebsverträglichkeit als nicht resorbierbares chirurgisches Nahtmaterial Verwendung, und zwar in drei verschiedenen Formen:

Zuerst als monofiler Faden, der sich jedoch wegen seiner Drahtigkeit für versenkte Nähte nicht als brauchbar erwies, da die über dem Knoten abgeschnittenen Fadenenden wie Stachel in das umliegende Gewebe ragten, einen permanenten Reiz ausübten und in sehr vielen Fällen dadurch zu



Granulomen und zu anschließenden Abstoßungen führten. Außerdem hatte dieser drahtige Faden infolge seiner glatten Oberfläche den Nachteil, daß drei oder vier Knoten geschlungen werden mußten, damit die Ligatur hielt, demzufolge waren die Knoten besonders stark und blieben sehr oft, wenn sie im subcutanen Gewebe lagen, durch die Haut fühlbar.

Dahingegen ist der geflochtene Faden außerordentlich weich, aber auch sehr elastisch. Diese hohe Elastizität bedingt eine gewisse Umstellung in der Nahttechnik und erfordert ebenfalls ein drei- bis vierfaches Knoten, wenn Ligaturen, an die hohe Zugbeanspruchungen gestellt werden, festsitzen sollen.

Eine besondere Form zwischen dem monofilen und dem geflochtenen Faden stellt das SUPRAMID der Badischen Anilin- und Soda-Fabrik, Ludwigshafen, dar.

Hier handelt es sich um einen gezwirnten Perlon-Faden, der mit einem Mantel aus dem gleichen Material gleichsam umhüllt ist. Hierdurch wird die drahtige Beschaffenheit des monofilen Fadens einerseits und die zu hohe Elastizität des geflochtenen andererseits ausgeschaltet. In seiner Konsistenz entspricht er den Anforderungen der meisten Chirurgen. Aber auch er benötigt infolge seiner glatten Oberfläche ein mehrfaches Knoten, wodurch sie in ihrer Masse sehr stark werden und bei Subcutannähten auch fühlbar bleiben. Die Polyamidfäden sind demzufolge vor allen Dingen in der plastischen Chirurgie als Haut- und Sehennaht und zu Verschußnähten des Bronchus indiziert.

Die Frage ihres weiteren Verhaltens im Körper ist noch nicht eindeutig geklärt. Es steht einwandfrei fest, daß manchmal noch nach Jahren die Abstoßung einiger völlig unresorbierter Fäden beobachtet werden kann.

In letzter Zeit mehren sich nach Verwendung des geflochtenen Perlonfadens die Beobachtungen, die nach mehreren Monaten und Jahren eine Resorption der Fäden feststellen. Diese Resorption kann jedoch kein fermentativer Abbau wie bei dem Kollagen des Katgutfadens sein, sondern höchstwahrscheinlich eine allmählich fortschreitende Polymerisation mit anschließendem Zerfall der Fäden.

Jedoch nicht nur als Fäden, sondern auch in Gewebsform finden die Polyamide Verwendung, so als Nylon-Netzgewebe, als monofile Fäden und als geflochtenes Perlonnetz zum Verschuß von Hernienrezidiven. Auf ihre Anwendung ist in der nachfolgenden Arbeit von *Speier* ausführlich eingegangen.

Da man die Polyamide auch im Spritzgußverfahren verarbeiten kann, hat man auch versucht, medizinische Spritzen, Bluttransfusionsgeräte und Hüftgelenkprothesen daraus herzustellen. Diese Gegenstände haben gegenüber dem Glas den Vorteil der Unzerbrechlichkeit und chemischen Resistenz; sie haben jedoch den Nachteil, daß sie sich infolge ihrer Thermoplastizität

nicht im Autoklaven sterilisieren lassen und durch mehrfaches Auskochen einen Teil ihres Weichmachers verlieren, wodurch sie dann leicht spröde und undicht werden. Die aus Polyamid hergestellten Hüftgelenkprothesen haben der permanent hohen mechanischen Beanspruchung, die bis zu 300 kg beträgt, nicht genügt und zeigten eine frühzeitige Abnutzung.

An ihrer Stelle hat man versucht, aus PLEXIGLAS — Polymethylmethacrylat — die gewünschten Prothesen herzustellen, jedoch auch diese scheinen zur frühzeitigen Abnutzung zu neigen, wenn die Polymerisation an der Oberfläche nicht unbedingt zuverlässig durchgeführt ist, wohingegen das Plexiglas sich für Prothesen, wenn an sie keine physikalischen Anforderungen gestellt werden, bewährt hat.

In letzter Zeit ist in USA und auch in Deutschland nun eine weitere Klasse von Kunststoffen entwickelt worden, die nicht mehr rein organisch sind, sondern als Hauptbausteine neben dem Kohlenstoffatom anorganische Elemente wie Silicium oder Fluor enthalten. Durch die Vierwertigkeit des Siliciumatoms sind ähnliche Variationsmöglichkeiten wie beim Kohlenstoff gegeben und man erhält in diesen Siliciumverbindungen, die man als SILICONE bezeichnet, Stoffe, die eine eigentümliche Mittelstellung zwischen organischen und anorganischen Verbindungen einnehmen. Man unterscheidet bei den Siliconen Siliconöle und -fette, Silicon-Harze, Silicon-Kautschuk. Für die Chirurgie sind vorläufig die nicht toxischen Öle und Fette insofern interessant, als sie zum Einölen und Fetten von Instrumenten, Apparaturen und Glaswaren benutzt werden können, die hohen Sterilisationstemperaturen ausgesetzt werden. Der äußerst dünne Schmierfilm, der sich auf der Oberfläche polymerisiert, ist außerordentlich widerstandsfähig und hitzebeständig und übersteht sowohl die Sterilisation im Autoklaven bei 120—135 ° als auch die durch trockene Hitze bei 180 °.

In der pharmazeutischen Industrie siliconisiert man gern bei besonders hochwertigen Präparaten das Flascheninnere, um durch die wasserabstoßende Eigenschaft ein schnelles und völliges Auslaufen der in Wasser gelösten Präparate zu erzielen. Manche Silicon-Öle haben weiterhin die Eigenschaft, bei geringstem Zusatz das Schäumen wäßriger eiweißhaltiger Lösungen zu verhindern, so daß man mit Silicon behandelte Glasgeräte bei der Oxydation venösen Blutes zur intraarteriellen Transfusion verwendet.

Der Einbau des Fluoratoms ist bis jetzt bei dem Polytrifluorchloräthylen und dem Polytetrafluoräthylen gelungen. Diese Verbindungen, die man als Teflone oder Fluone bezeichnet, haben bisher ungeahnte physikalische Eigenschaften. Sie verspröden weder bei bis zu - 100 ° noch verändern sie sich in der Hitze bis zu etwa + 300 °, haben eine Druckfestigkeit von 4000—6000 kg/qcm und sind völlig hydrophob. Zur Zeit ist jedoch ihre Herstellung noch außerordentlich kostspielig, so daß sie zunächst nur in der Technik als hervorragende Isolatoren verwendet werden. Bei der schnellen Entwicklung der makromolekularen Chemie werden auch sie jedoch sehr



wahrscheinlich in absehbarer Zeit für medizinische Zwecke zur Verfügung stehen.

Zum Schluß sei noch ein Wort zu der Gewebsverträglichkeit der Kunststoffe gesagt:

*Oppenheimer* und *Druckrey* wiesen in ihren Arbeiten nach, daß nach Versenkung fast aller Arten von Kunststoff-Filmen in die Bauchhöhle von Ratten und Mäusen es nach mehreren Monaten zur Bildung sarkomartigen Gewebes kam. Während *Druckrey* auf Grund dieser Beobachtung den Schluß zieht, daß die im Rattenversuch als cangerogen gefundenen Kunststoffe für humane Zwecke nicht verwendet werden sollen, schreibt *Oppenheimer* wörtlich:

„Es muß nochmals betont werden, daß bis jetzt kein Fall berichtet wurde, in dem die Versenkung eines Plastikfilms im menschlichen Körper zu einem bösartigen Tumor führte.“

Hierzu ist zu bemerken, daß in Amerika seit ca. 15 Jahren im größeren Maßstab Nylonfäden, Polyäthylen-Folien und auch PVC-Schläuche in der Chirurgie zur Anwendung kommen. Da es sich in Amerika bei fast jedem vierten Operierten um einen Krebskranken handelt, müßten bei cangerogener Wirkung des Nylons doch mindestens schon Fälle von Metastasen-Bildung um den versenkten Fremdkörper im menschlichen Gewebe bei Patienten beobachtet worden sein, die an einem Carcinom operiert wurden.

Wie ich mich jedoch persönlich bei amerikanischen Firmen, die Nylonfäden herstellen, und bei amerikanischen Chirurgen, die diese Fäden verwenden, erkundigen konnte, kann ich die oben erwähnten Angaben von *Oppenheimer* nur bestätigen und die auch von vielen deutschen Wissenschaftlern vertretene Ansicht anführen, daß die im Ratten- und Mäuseversuch mit cangerogenen Stoffen gemachten Erfahrungen nicht ohne weiteres auf den Menschen übertragen werden können, da es besonders von Ratten bekannt ist, daß sie außerordentlich leicht auf Reize der verschiedensten Art mit der Bildung sarkomartigen Gewebes reagieren.

Soweit mir bekannt ist, hat die Kunststoff erzeugende und liefernde Industrie in ihren Laboratorien und in neutralen Universitäts-Instituten in ganz großem Maßstab Versuche angelegt zur Klärung der Frage, ob überhaupt und gegebenenfalls welche Art von Veränderungen nach der Implantation von Kunststoffen im tierischen Körper entstehen. Vor Beendigung solcher kritischer Versuche ist eine Diskussion über die Gewebsreaktion auf Kunststoffe gar nicht möglich.

Welche Erfahrungen und Beobachtungen über das Verhalten des menschlichen Gewebes gegenüber Nylonnetzgeweben vorliegen, berichtet *Vonout* in seiner Arbeit in Nr. 40 des Zentralblattes für Chirurgie, Jahrgang 78, auf die auch *Speier* anschließend näher eingeht. Auch diese Ausführungen bestätigen die Mitteilung *Oppenheimers*, daß es im menschlichen Körper zu keiner pathologischen Gewebsreaktion kommt.