

8 Chemische Reaktionen: Die Behälter der Herz-Lungen-Maschine

Im Laufe der Versuche mit Model I trat immer deutlicher zutage, dass eine Herz-Lungen-Maschine stets mehr als ein automatisierter Mechanismus aus beweglichen Teilen war. Nicht minder war ihr Funktionieren auf ein zielgerichtetes Arrangement spezieller Behälter angewiesen: Die Leitungen beinhalteten und kanalisiert das Blut, der Oxygenator bot dessen Kontakt mit Sauerstoff Raum und schließlich schirmte das ummantelnde Gehäuse innere Funktionsabläufe vor äußeren Einflüssen ab.

In Anbetracht der »Roboterherzen und -lungen«, von denen die sensationsheischende Presse mittlerweile schrieb,¹ mochte die Bedeutung der scheinbar schlichten Behälter leicht in Vergessenheit geraten. Die Geringschätzung der Technizität von Behältern ist ein allgegenwärtiges Muster in der modernen Techniktheorie. Gibbons Landsmann und Zeitgenosse Lewis Mumford sieht darin die Fortsetzung »einer im neunzehnten Jahrhundert übliche[n] Praxis, technischen Fortschritt ausschließlich mit kraftbetriebenen, zunehmend automatisierten Maschinen gleichzusetzen«.² Tatsächlich bildet die Ignoranz gegenüber der »nicht minder wichtigen Rolle der Behälter« den Ausgangspunkt von Mumfords organologisch grundierter Kritik am *Mythos der Maschine*:

»[A]nfangs Herde, Höhlen, Fallen, Seilwerk; später Körbe, Schränke, Ställe und Häuser, gar nicht zu reden von noch späteren kollektiven Behältern, wie Reservoirs, Kanäle und Städte. Diese statischen Komponenten spielen eine wichtige Rolle in jeder Technologie, nicht zuletzt in unserer heutigen, mit ihren Hochspannungstransformatoren, ihren gigantischen chemischen Retorten und ihren Atomreaktoren.«³

-
- 1 Übers. B. P., »Life from Robot Hearts and Lungs Outside Your Body During Repairs«, *Pittsburgh Sun-Telegraph* (26. Februar 1939), S. 49.
 - 2 Lewis Mumford, *Mythos der Maschine. Kultur, Technik und Macht*, übers. von Liesl Nürnberger und Arpad Hälbig, Frankfurt a.M.: Fischer 1977, S. 499.
 - 3 Ebd., S. 15.

Auch die marx'sche Analyse des Wandels vom Manufaktur- zum Fabrikwesen bildet keine vollkommene Ausnahme von Mumfords Kritik und achtet »die mechanischen Arbeitsmittel, deren Gesamtheit man das Knochen- und Muskelsystem der Produktion nennen kann«, höher als das »Gefäßsystem der Produktion [...] wie z.B. Röhren, Fässer, Körbe, Krüge usw.«.⁴ Doch wie Mumford hebt Marx explizit die »bedeutungsvolle Rolle« von Behältern in der »chemischen Fabrikation« hervor.⁵

Umgekehrt spielen Behälter wenig verwunderlich eine ausgesprochen negative Rolle im kritikfeindlichen Posthumanismus, wenn auch vornehmlich im metaphorischen Sinne. In seiner Geringschätzung von Behältern ist dieser Theorienzweig somit trotz gegenteiliger Bekundungen immer schon modern gewesen.⁶ Abgesehen von seinem statischen Geschichtsverständnis, das keinerlei Umbrüche oder Revolutionen kennt, basiert die posthumanistische Ontologie im Einklang mit ökonomischem Automatisierungs- und Flexibilisierungsstreben auf Prinzipien der Eigendynamik und Performativität.⁷ Insofern passt es ins Bild, dass Latours postkritische Polemik die Metapher des »mysteriösen Container[s]« gebraucht, um sozialwissenschaftliche Kategorien von Herrschaft, Kapitalismus und Gesellschaft als prinzipiell substanzlosen Reduktionismus zu delegitimieren.⁸ In geradezu verschwörungsgläubiger Manier wittert er in solchen Kategorien »Container«, die eine differenziertere Wirklichkeit zugunsten linker Pauschalkritik verbergen:

»Die Idee der Gesellschaft ist in den Händen ›sozialer Erklärer‹ der jüngsten Zeit gewissermaßen zu einem riesigen Containerschiff geworden, das kein Inspektor betreten darf und mit dessen Hilfe Sozialwissenschaftler Güter über Grenzen schmuggeln, ohne sie öffentlicher Überprüfung zugänglich zu machen.«⁹

Auf beiden Ebenen, der technisch-konkreten wie der metaphorischen, will ich in den folgenden Abschnitten Argumente gegen die Abwertung des Behälters vorbringen. Dafür gilt es zu zeigen, wie sich die Entwicklung von technischen Behältern der Herz-Lungen-Maschine keineswegs undifferenziert in die rahmende Geschichte des Industriekapitalismus einschreiben lässt. Den Gegenstand der Untersuchung bilden weitere Probleme, die bei den Versuchen mit Model I auftraten und schließlich zum Bau eines generalüberholten zweiten Modells aus dem Hause IBM führten.

4 Karl Marx, *Das Kapital. Kritik der politischen Ökonomie. Erster Band. Buch I: Der Produktionsprozeß des Kapitals* (Marx-Engels-Werke, Bd. 23), Berlin: Dietz 1979, S. 195.

5 Ebd.

6 Im Widerspruch zu Bruno Latour, *Wir sind nie modern gewesen. Versuch einer symmetrischen Anthropologie*, übers. von Gustav Roßler, Frankfurt a.M.: Suhrkamp 2008.

7 Siehe auch die Theoriediskussionen in den Kapiteln 5 und 6 der vorliegenden Arbeit.

8 Bruno Latour, *Eine neue Soziologie für eine neue Gesellschaft. Einführung in die Akteur-Netzwerk-Theorie*, übers. von Gustav Roßler, Frankfurt a.M.: Suhrkamp 2007, S. 143.

9 Ebd., S. 117f.

Dabei überlagerten und ergänzten Entwicklungen der chemischen Industrie nach dem Zweiten Weltkrieg die agrarindustriellen Grundlagen, auf die das chirurgische Experiment der 1930er-Jahre materiell gefußt hatte, und zwar im selben Zuge, in dem die Chirurgen und Ingenieure begannen, Teile der Herz-Lungen-Maschine im Sinne eines Behälters zu problematisierten.

Der erste Abschnitt des Kapitels widmet sich der Zersetzung roter Blutkörperchen aufgrund der Benetzungseigenschaften von Gummischläuchen und Glasröhren, die das Leitungssystem der Herz-Lungen-Maschine bildeten. Vor dem kontrastreichen Hintergrund marginalisierter Reinigungsarbeiten und hochprofitabler Industrieforschung zeichnete sich die Lösung ab, das Anhaften von Blutbestandteilen durch kommerzielle Silikonbeschichtungen zu vermeiden. Der zweite Abschnitt erläutert daraufhin den schrittweisen Wandel des Oxygenators von einer dynamischen Maschine, ähnlich der landwirtschaftlichen Milchscheider, zu einem statischen Behälter nach dem Vorbild eines chemischen Reaktors. Als entscheidend erwies sich dabei der Rückgriff auf Verfahrenstechniken des Chemieingenieurwesens, das sich im Zuge der industriellen Rationalisierung in der Zwischenkriegszeit herausgebildet hatte. Wie der dritte Abschnitt zeigt, machten sich die IBM-Ingenieure abschließend ans Werk, die elektronischen Komponenten der Maschine in einem Schutzbehälter vor dem Kontakt mit explosivem Narkosegas zu bewahren. Frachtbehälter und Motorgehäuse der petrochemischen Industrie dienten dabei einem Explosionsschutzkonzept für den Operationsraum als Vorbild.

In der Gesamtschau verdeutlichen all die Übernahmen außermedizinischer Materialien, Verfahrenstechniken und Sicherheitsvorkehrungen, dass die Wirtschafts- und Gesellschaftsform des Industriekapitalismus alles andere als eine inhaltsleere Hülse der Sozialkritik darstellt.

8.1 Silikonschichten zwischen marginalisierter Arbeit und Konzernprofilen

»Die Hämolyserate war hoch, so hoch, dass sie in einigen Fällen 500 und 600 Milligramm-Prozent erreichte.«¹⁰ Das neue Evelyn-Kolorimeter in Gibbons Labor sprach eine deutliche Sprache. Mittels fotoelektrischen Farbabgleichs wies das Analyseinstrument die Existenz von Hämoglobin dort nach, wo es in solch hohen Konzentrationen nichts verloren hatte: im Blutplasma der perfundierten Hunde. Physiologisch kam der Blutfarbstoff in den roten Blutkörperchen vor, wo er atmosphärischen Sauerstoff band und durch die Gefäße des Körpers transportierte. Doch irgendetwas im Inneren der IBM-gefertigten Herz-Lungen-Maschine wirkte

10 Übers. B. P., Bernard J. Miller, »The Development of Heart Lung Machines«, *Surgery, Gynecology and Obstetrics* 154/3 (1982), S. 403–414, hier: S. 405.

sich zersetzend auf die fragilen Zellwände aus, setzte das Hämoglobin frei und tauchte das eigentlich gelblich-klare Plasma in ein unheilvolles Rot.¹¹

Das Problem der Hämolyse begleitete Gibbons Experimente seit den frühen Bostoner Tagen. Schon bei den ersten Versuchsaufbauten hatten John und Mary Gibbon deshalb probiert, die mechanische Fortbewegung des Blutes durch die Maschine möglichst schonend zu gestalten: Sie hatten darauf geachtet, schädliches Schäumen und Spritzen im Oxygenator zu vermeiden, die Strömungsintensität zu dämpfen und die Blutgerinnung mit Heparin zu hemmen, und spätestens mit dem Einbau der Rollerpumpen geglaubt, die Zellauflösung weitgehend unter Kontrolle zu haben.¹² Allerdings gaben sowohl der schon damals bestimmte Hämatokritwert als auch das neue Kolorimeter lediglich Aufschluss über das Ausmaß, nicht aber über die genaue Ursache des Problems. Entsprechend summarisch formulierte Gibbon in einem unveröffentlichten Aufsatzmanuskript um 1950: »Erythrozyten sind bei der Zirkulation durch jedweden extrakorporalen Kreislauf einem gewissen Maß an Trauma ausgesetzt. Der Grad der auftretenden Hämolyse ist direkt proportional zum Ausmaß des durch Schläuche, Pumpen, Ventile und Oxygenator verursachten Traumas.«¹³

Auf der Suche nach der Ursache der zellulären Auflösungserscheinungen zogen die mechanischen unter den fraglichen Bauteilen als Erstes die Aufmerksamkeit der Chirurgen in Philadelphia auf sich. Die motorbetriebenen Rollerpumpen zum Beispiel standen umgehend im Verdacht, die Blutzellen unter den walzenden Rollen zu zerreiben. Gibbons Forschungsgruppe fixierte die Rollen folglich mit größerem Abstand zu den gewalzten Schläuchen, auf dass diese nicht vollständig zusammengedrückt würden, bewirkten damit jedoch lediglich Schwankungen des

11 Siehe auch Thomas L. Stokes und John H. Gibbon Jr., »Experimental Maintenance of Life by a Mechanical Heart and Lung During Occlusion of the Venae Cavae Followed by Survival«, *Surgery, Gynecology and Obstetrics* 91/2 (1950), S. 138–156, hier: S. 146; sowie Kenneth A. Evelyn, »A Stabilized Photoelectric Colorimeter with Light Filters«, *Journal of Biological Chemistry* 115/1 (1936), S. 63–75.

12 So schilderte Gibbon im Bericht seiner Bostoner Versuche bereits einige Schwierigkeiten mit Hämolyse, behandelte diese im Bericht zu seinen Versuchsreihen von 1938 aber nur noch als Nebensächlichkeit (vgl. John H. Gibbon Jr., »Artificial Maintenance of Circulation During Experimental Occlusion of Pulmonary Artery«, *Archives of Surgery* 34/6 (1937), S. 1105–1131, hier: S. 1127f.; John H. Gibbon Jr., »The Maintenance of Life During Experimental Occlusion of the Pulmonary Artery Followed by Survival«, *Surgery, Gynecology and Obstetrics* 69/5 (1939), S. 602–614, hier: S. 611). Zu den getroffenen Maßnahmen siehe auch Kap. 4.1 und 5.1 der vorliegenden Arbeit.

13 Übers. B. P., titelloses Aufsatzmanuskript in John H. Gibbon Papers. 1930–1981. Archives and Modern Manuscripts Collection, History of Medicine Division, National Library of Medicine, Bethesda, MD; MS C 313, Series VII: Writings, 1959–1970: Box 6, Folder 8: Unpublished Heart-Lung Manuscripts, [undated].

Leitungsdrucks, die umso mehr Blutzellen das Leben kosteten.¹⁴ Seltener verirrt sich der Blick der Chirurgen hingegen ins Innere des Leitungssystems, das scheinbar nichts weiter tat, als das Blut zu beinhalten. Dabei waren die Gummischläuche und Glasröhren keineswegs unzugänglich im Maschineninneren verbaut, wie IBM-Ingenieur John R. Engstrom unterstrich: »Die Maschine musste so konstruiert sein, dass sie sich leicht auseinandernehmen ließ, weil die Ärzte – die normalerweise keine Ingenieure sind – sie demontieren und alle Oberflächen reinigen und sterilisieren mussten.«¹⁵

Der Grund für die ungleiche Beachtung von mechanischen Bauteilen und Behältern, die sich in der Praxis offenbar genau wie in der Theoriegeschichte der Technik niederschlug, lag also keineswegs in technischen Notwendigkeiten. Mit Mumford lassen sich vielmehr gesellschaftliche, genauer gesagt genderspezifische Hintergründe dieser Unwucht vermuten:

»Viele Gelehrte, die unschwer erkennen, daß Werkzeuge mechanische Nachbildungen der Muskeln und Glieder des männlichen Körpers sind – der Hammer ist eine Faust, der Speer ein verlängerter Arm, die Zange menschliche Finger –, scheinen sich schamhaft gegen die Einsicht zu Sperren [sic!], daß auch der weibliche Körper extrapoliert werden kann. Sie wollen nicht sehen, daß der Mutterleib ein schützender Behälter und die Brust ein Milchkrug ist; deshalb erkennen sie nicht die volle Bedeutung des Umstands, daß eine Vielfalt von Gefäßen genau zu dem Zeitpunkt in Erscheinung trat, da die Frau erwiesenermaßen in der Nahrungsversorgung und in der Gemeinschaftsführung eine wichtigere Rolle zu spielen begann als in den früheren Sammler- und Jägerwirtschaften.«¹⁶

Sicherlich stellen Mumfords genderspezifische Konnotationen von Werkzeugen und Behältern keine überzeitlichen oder überkulturellen Universalien dar.¹⁷ Doch falsch ist der Grundgedanke nicht, dass zumindest die kapitalistisch-patriarchale Arbeitsteilung europäisch-angloamerikanischer Tradition häusliche Arbeiten mit Behältern (wie Kochen, Vorratshaltung, Reinigung) systematisch an Frauen übertrug und marginalisierte.¹⁸

14 Siehe John H. Gibbon Jr., »Medicine's Living History«, *Medical World News* (3. November 1972), S. 46–47, 51–53, hier: S. 53.

15 Übers. B. P., Engstrom, zitiert nach Jack Dann, »Today's Heart Surgery Made Possible by Endicott Contributions 40 Years Ago«, *Endicott Heritage* (August 1988), S. 17–19, hier: S. 18.

16 Mumford, *Mythos der Maschine*, S. 167.

17 Siehe auch Erhard Schüttelpelz, »Vom Werkzeug zum Behälter, vom Behälter zum Medium. Die Ausweitungen des Körpers«, in: Nina Engelhardt und Johannes F. M. Schick (Hg.), *Erfinden, Schöpfen, Machen. Körper- und Imaginationstechniken*, Bielefeld: transcript 2021, S. 25–72, hier: S. 34.

18 Siehe z.B. Gisela Bock und Barbara Duden, »Arbeit aus Liebe – Liebe als Arbeit: Zur Entstehung der Hausarbeit im Kapitalismus«, in: Gruppe Berliner Dozentinnen (Hg.), *Frauen und*

In Gibbons Labor jedenfalls bekamen die Herren Doktoren das Innere der Blutbehälter deshalb selten zu Gesicht, weil sie lästige Routinearbeiten wie die Reinigung der Gummischläuche und Glasröhren konsequent an den weiblichen Teil der Belegschaft um die Labortechnikerin Joanne Crothers delegierten.¹⁹ »Die Laborbelegschaft bestand aus sechs technischen Assistentinnen, die die Maschine warteten und vorbereiteten«, erinnerte sich Gibbons Versuchsleiter Bernard J. Miller.²⁰ »Jo Ann Cruthers [sic!], die oberste technische Assistentin im Labor, war bereits zwei oder drei Jahre vor meiner Einbindung im Projekt. Sie kümmerte sich um die Vorbereitung der Hunde, die Bestimmung und Kreuzprobe von Blutgruppen sowie viele andere Pflichten.«²¹ Aufgrund dieser genderspezifischen Arbeitsteilung waren die Labortechnikerinnen zweifellos auch für jene Entdeckung verantwortlich, welche die Blutbehälter endlich von ihrer technisch-materiellen Seite ins Blickfeld der Chirurgen rückte: Rückstände feiner Fibrinfasern hafteten an den Innenwänden der Leitungen.²²

Dass die Oberflächenmaterialien von Behältern bei Benetzung mit Blut gerinnungsfördernd und traumatisch auf die zellulären Bestandteile wirken konnten, war im Allgemeinen keine neue Erkenntnis. Schon die Kontaktflächen von Transfusions- und Perfusionsapparaturen des späten 19. und frühen 20. Jahrhunderts waren aus genau diesem Grund nur aus sorgfältig ausgewählten Materialien gefertigt und in Ermangelung von Heparin manchmal mit einer gerinnungsverzögernden Schutzschicht aus Paraffin oder Vaseline bestrichen worden. Die glatten, che-

Wissenschaft. Beiträge zur Berliner Sommeruniversität für Frauen, Juli 1976, Berlin: Courage 1977, S. 118–199.

- 19 Namentlich erwähnt in der Filmaufnahme »The Extracorporeal Diversion of Systemic and Coronary Venous Blood Flow During Auriculotomy and Ventriculotomy« (1952) by Bernard J. Miller, Charles Fineberg, John H. Gibbon; Kopie auf Videokassette (11 min.); Films and Videos Collection, History of Medicine Division, National Library of Medicine, Bethesda, MD; WG 168 VC no. 39 1952. Das einzige erhaltene Zeugnis über die Reinigungsarbeiten an Gibbons Herz-Lungen-Maschine legte die Krankenschwester Joeann G. T. Fraser bezüglich eines Nachfolgemodells in den frühen 1960er-Jahren ab: »Dieser Vorgang dauerte mehrere Stunden, sogar über Nacht. Bevor eine Lösung namens Hemosol daherkam, musste jedes Teil separat in Plastikwannen eingeweicht werden, um jegliche Beschädigung der hochglanzpolierten Oberflächen zu vermeiden, die zur Übertragung von Blutaggregaten auf den nächsten Patienten führen konnte. Einige Teile mussten zuerst mit großen Pfeifenreinigern gereinigt werden. [...] Wir befanden uns noch nicht im Zeitalter der Einwegartikel« (übers. B. P., Joeann G. T. Fraser, »Retrospective on Dr Gibbon and His Heart-Lung Machine«, *The Annals of Thoracic Surgery* 76/6 (2003), S. S2197–S2198, hier: S. S2197).
- 20 Übers. B. P., »Recollections of My Research in Developing the Heart-Lung Machine at Jefferson Medical College« (2005), Miller, Bernard J. MS-113. Archives and Special Collections, Thomas Jefferson University, Philadelphia; hier: S. 6.
- 21 Übers. B. P., Miller, »The Development of Heart Lung Machines«, S. 412.
- 22 Vgl. Stokes/Gibbon, »Experimental Maintenance of Life«, S. 141.

misch inerten Oberflächen von Gummi und Glas galten allerdings nach jahrzehntelanger Praxiserfahrung als die am wenigsten traumatisierenden unter den verfügbaren Materialien.²³ Neuerdings schien einzig Edelstahl, wie er in der Schleudertrommel von Gibbons Oxygenator verbaut war, ähnlich kompatibel mit Blut zu sein, jedoch nicht mit den peristaltischen Pumpen der Herz-Lungen-Maschine, deren Rollen über elastisches Schlauchmaterial walzen mussten.

Seit der Zäsur für Gibbons Forschungsprojekt durch den Zweiten Weltkrieg hatte sich das traditionelle Repertoire verfügbarer Materialien allerdings beträchtlich erweitert, und zwar um Produkte aus der Klasse der siliciumorganischen Verbindungen, genauer gesagt um Silikone. In diesem profitversprechenden Metier waren sich Männer keineswegs zu schade, sich mit spezifischen Ummantelungen oder Schutzschichten für Behälter auseinanderzusetzen. Auch wenn die chemische Fachwelt einhellig den Nottinghamer Universitätsprofessor Frederic S. Kipping für seine 1904 geglückte Laborsynthese als »Vater der siliciumorganischen Chemie« pries, waren es Industriechemiker wie Eugene G. Rochow von General Electric (GE) und J. Franklin Hyde von Corning Glass Works, welche die einstige akademische Kuriosität in Konzernprofite umzumünzen wussten. In den 1930er-Jahren hatten sie sich bei der Suche nach hitzebeständigen elektrischen Isoliermaterialien auf dem Gebiet der siliciumorganischen Chemie wiedergefunden und ihren jeweiligen Konzernen zahlreiche Schlüsselpatente auf dem noch jungen Forschungsgebiet beschert.²⁴ GE und Dow Corning, ein 1943 von Corning Glass Works und der Dow Chemical Company gemeinsam gegründetes Tochterunternehmen, schlossen zum Kriegsende gegenseitige Lizenzabkommen über besagte Patente und trieben die

-
- 23 Vgl. Pierre M. Galletti und Gerhard A. Brecher, *Heart-Lung Bypass. Principles and Techniques of Extracorporeal Circulation*, New York: Grune & Stratton 1962, S. 34; sowie Stefan Schulz, »Vom Paraffin zum Bernstein: Die ›Evolution‹ von Bluttransfusionsapparaten aus gerinnungsverzögernden Materialien im frühen 20. Jahrhundert«, *Jahrbuch des Deutschen Medizinhistorischen Museums* 10 (1999), S. 221–255.
- 24 Siehe Margaret B. W. Graham und Alec T. Shuldiner, *Corning and the Craft of Innovation*, Oxford: Oxford University Press 2001, S. 125–127, 133f.; sowie Herman A. Liebhafsky, *Silicones under the Monogram. A Story of Industrial Research*, New York: Wiley 1978, S. 67–70, 94–98. Ironischerweise hatte sich der Glasproduzent aus Corning, New York in den 1930er-Jahren strategisch gegen den umsatzstarken, aber von übermächtiger Konkurrenz dominierten Absatzmarkt für Glasbehälter entschieden, um auf dem Gebiet der siliciumorganischen Chemie nach Verbesserungsmöglichkeiten von Isolierband aus Glasfaser zu forschen und letztlich, wie im Folgenden gezeigt, Schutzfilme u.a. für Glasbehälter zu entwickeln. Da sowohl Glas als auch Silikone auf der chemischen Verbindung von Silicium mit Sauerstoff bzw. Kohlenstoff beruhen, war das Interesse eines Glasproduzenten an der siliciumorganischen Chemie kein so großer Sprung, wie es auf den ersten Blick erscheinen mag.

Massenproduktion von künstlichen Ölen, Harzen und Elastomeren tatkräftig voran.²⁵

Zu den ersten Produkten aus der Klasse der siliciumorganischen Verbindungen, die nach dem Zweiten Weltkrieg auf den Markt kamen, gehörten Dow Corning Silikonöl »DC 200« und das Pendant »Dri-Film« aus dem Hause GE. Bereits bei Rochows Entwicklung eines zur Massenproduktion tauglichen Syntheseverfahrens für gasförmige Silikonzwischenprodukte (heute bekannt als Müller-Rochow-Synthese) von 1940 hatten sich die außergewöhnlichen Oberflächeneffekte siliciumorganischer Verbindungen auf Glasgefäßen, Filterpapieren und anderen Laborgegenständen in Form eines unbenetzbaren Filmes niedergeschlagen, von dem Wasser einfach abperlte.²⁶ Um in der Nachkriegszeit neue zivile Absatzmärkte zu erschließen, bewarben die Unternehmen die flüssigkeitsabweisenden Eigenschaften ihrer Silikone nun mit proaktivem Vertretermarketing in unterschiedlichsten Branchen. Dow Corning schickte beispielsweise Vertreter zu Automobilzulieferern und in Großbäckereien, wo Schutzfilme aus ausgehärtetem Silikonöl bald Reifengussformen beziehungsweise Backpfannen gegen das Anhaften unliebsamer Rückstände imprägnierten.²⁷ Noch unkonventionellere Pfade schlug GE ein: Auf den initialen Hinweis einer Krankenschwester, die mit der Reinigung von gläsernen Blutbehältern betraut war, stellte GE das Silikonöl einer Torontoer Forschungsgruppe unter Charles H. Best bereit, um damit Blutgerinnungsstudien durchzuführen.²⁸

So trugen die marginalisierten Reinigungsarbeiten von Krankenschwestern und Labortechnikerinnen ihren Teil dazu bei, dass die flüssigkeitsabweisenden Qualitäten von silikonbeschichteten Blutbehältern bereits Ende der 1940er-Jahre in medizinischen Fachkreisen diskutiert und erprobt wurden.²⁹ Während die Ersetzung

25 Vgl. Graham/Shuldiner, *Corning and the Craft of Innovation*, S. 133–139; sowie Earl L. Warrick, *Forty Years of Firsts. The Recollections of a Dow Corning Pioneer*, New York: McGraw-Hill 1990, S. 74.

26 Vgl. Eugene G. Rochow, *Silicium und Silicone. Über steinzeitliche Werkzeuge, antike Töpfereien, moderne Keramik, Computer, Werkstoffe für die Raumfahrt und wie es dazu kam*, übers. von Eduard Krahé, Berlin: Springer 1991, S. 93, 149f.; sowie Liebhafsky, *Silicones under the Monogram*, S. 128–130.

27 Vgl. Warrick, *Forty Years of Firsts*, S. 88–94.

28 Zum initialen Hinweis vgl. Liebhafsky, *Silicones under the Monogram*, S. 166; zu den Blutgerinnungsstudien von Bests Forschungsgruppe vgl. Louis B. Jaques et al., »Silicones and Blood Coagulation«, *Canadian Medical Association Journal* 55/1 (1946), S. 26–31, hier: S. 31.

29 Siehe z.B. ebd.; Björk, *Brain Perfusions in Dogs*, S. 80f.; Thomas B. Patton, Arnold G. Ware und Walter H. Seegers, »Clotting of Plasma and Silicone Surfaces«, *Blood* 3/6 (1948), S. 656–659; Kenneth M. Brinkhouse und Charles P. Emmerson, »Use of Protective Interfaces in Blood Collection and Storage«, in: Carl J. Potthoff (Hg.), *The Preservation of the Formed Elements and of the Proteins of the Blood*, Boston: American National Red Cross 1949, S. 303–304; Eugene G. Rochow, Louis B. Jaques und Ivan Brown, »Silicone«, in: Carl J. Potthoff (Hg.), *The Preservation of the Formed Elements and of the Proteins of the Blood*, Boston: American National Red Cross 1949,

altbewährter Gummi- und Glaskomponenten durch Kunststoffe in der Medizin der Nachkriegszeit nur zögerlich voranschritt, schickten sich die patentgeschützten Silikonöle an, reguläre Verbrauchsmaterialien bei der Handhabung von Blut zu werden.³⁰ »Es ist ratsam, neue Glasgefäße mit drei Anwendungen zu behandeln, um einen gleichmäßigen Film zu gewährleisten«, instruierte der GE-Chemiker Rochow in einer Publikation des Roten Kreuzes. »Für kritische Verwendungen ist es ebenso ratsam, die Ausrüstung vor jedem Gebrauch neu zu beschichten.«³¹

Die Chirurgen in Gibbons Labor stuften ihre experimentellen Einsätze der Herz-Lungen-Maschine zweifellos als »kritische Verwendungen« ein. Seit der Entdeckung der Fibrinrückstände in den Gummischläuchen und Glasröhren lag es in ihrem ureigenen Forschungsinteresse, weitere Evidenz für die Hämostatizität von Silikonbeschichtungen zu liefern. Und tatsächlich wussten Gibbon und Miller bald darauf von ersten Erfolgen zu berichten: »Im Experiment wurde festgestellt, dass es während der Zirkulation des Blutes durch den Apparat zu weniger Hämolyse kam, wenn das Blut in Kontakt mit nicht benetzbaren Oberflächen war. Deshalb wurden die in den drei Pumpen verwendeten Gummischläuche und alle Glasverbindungen mit DC 200 silikonisiert.«³²

Mit der Einführung des Silikonöls in Gibbons Labor gingen nicht zu unterschätzende Veränderungen der inneren und äußeren Verhältnisse des chirurgischen Experiments einher. Innerhalb des Labors steigerte sich mit der Zeit der Arbeitsaufwand für die Vorbereitung und Wartung der Herz-Lungen-Maschine

S. 305–309; sowie Harold Margulies und Nelson W. Barker, »The Coagulation Time of Blood in Silicone Tubes«, *The American Journal of the Medical Sciences* 218/1 (1949), S. 42–51.

- 30 IBM Model II illustriert diesen Ersetzungsprozess gut. Teile der Blutleitungen bestanden bereits aus noch heute gängigen Tygon-Schläuchen, bestehend aus einer Kunststoffmischung, während Verbindungsstücke weiterhin aus Glas und das Schlauchmaterial der von den Rollen gewalzten Leitungsabschnitte noch immer Gummi, also Naturkautschuk, war (vgl. Miller/Gibbon/Gibbon, »Recent Advances«, S. 702). Ein Grund für diese zögerliche Ersetzung dürfte neben Unsicherheiten bezüglich der Biokompatibilität vor allem im noch fragmentarischen Wissen über Weichmacher gelegen haben (siehe Reginald L. Wakeman, *The Chemistry of Commercial Plastics*, New York: Reinhold 1947, S. 84f.). Dort, wo besonders elastisches Material vonnöten war, bestanden deshalb mindestens bis in die 1960er-Jahre Gummischläuche fort (vgl. Galletti/Brecher, *Heart-Lung Bypass*, S. 41).

- 31 Übers. B. P. Rochow/Jaques/Brown, »Silicone«, S. 306.

- 32 Übers. B. P. Miller/Gibbon/Gibbon, »Recent Advances«, S. 702. Von insgesamt drei Pumpen war die Rede, weil in der Apparatur, auf die sich der Artikel bezog, neben der venösen und arteriellen Rollerpumpe eine zusätzliche Rollerpumpe Blut zum Ausgleich von Volumenschwankungen von der arteriellen Leitung zurück in den Oxygenator beförderte. Mary Gibbon wurde auf Drängen ihres Ehemanns als Koautorin gelistet, war aber tatsächlich nicht mehr direkt in die Versuchsdurchführungen involviert (vgl. »Recollections of My Research in Developing the Heart-Lung Machine at Jefferson Medical College« (2005), Miller, Bernard J. MS-113. Archives and Special Collections, Thomas Jefferson University, Philadelphia; hier: S. 24).

beträchtlich. Sobald die männlichen Industriechemiker und Chirurgen ihre profit-beziehungsweise prestigeträchtigen Forschungen abgeschlossen hatten, delegierten sie die routinemäßige Behandlung der Blutbehälter wieder zurück an den weiblichen Teil der Laborbelegschaft. Zur Reinigung der mit Silikonöl veredelten Oberflächen oblag es letztlich den Labortechnikerinnen, alle blutführenden Leitungen in ihre Einzelteile zerlegt mit Seifenlauge zu putzen und die wieder zusammengesetzte Herz-Lungen-Maschine im Anschluss mehrfach mit Desinfektionsmittel, Kochsalz- beziehungsweise Natriumchloridlösung durchzuspülen.³³

Gänzlich vermeiden ließ sich die Hämolyse in Anbetracht der körperfremden Behälter, die das Blut in der Herz-Lungen-Maschine durchströmte, auch mit der aufwendigsten Oberflächenbehandlung nie. Wohl oder übel musste sich Gibbon damit abfinden, dass die Auflösung der roten Blutkörperchen eine chirurgisch produzierte Krankheitserscheinung der extrakorporalen Zirkulation darstellte. Doch durch die Auskleidung der Maschineninnenräume mit chemisch inerten und flüssigkeitsabweisenden Kontaktflächen, wie sie die penibel gesäuberten Silikon-schichten boten, ließ sich die Freisetzung von Hämoglobin im Regelfall auf deutlich unter 100 Milligramm pro 100 Kubikzentimeter Plasma eindämmen.³⁴

Was die Nische des chirurgischen Experiments in den Industrielandschaften der Nachkriegszeit betraf, so stand die Beschichtung der Blutbehälter mit Silikonöl stellvertretend für die wachsende Abhängigkeit in der medizinischen Handhabung des Blutes von der chemischen Industrie. Während die Verabreichung des Gerinnungshemmers Heparin im landwirtschaftlichen Sektor der Fleischindustrie verankert blieb, unterlag der Schutz zellulärer Bestandteile beim Transport des Blutes durch körperfremde Behälter neuerdings der Belieferung durch einen Chemiekonzern wie Dow Corning. Als einen von vielen technischen Anwendungsbereichen verwickelte das Unternehmen die Herzchirurgie in eine langfristige Abhängigkeit von seinen patentgeschützten Kunststoffen. Dies war der Preis, wollte man das unheilvolle Rot des Plasmas im Evelyn-Kolorimeter in einen unbedenklichen Hauch von Orange verwandeln.

8.2 Turbulenz im statischen Behälter: Der Oxygenator als chemischer Reaktor

»Wenn er zwei Stockwerke hoch sein muss, dann legen Sie los und machen ihn zwei Stockwerke hoch. Machen Sie sich um die Größe keine Sorgen, wenn es den Zweck

33 Vgl. Bernard J. Miller, John H. Gibbon Jr. und Charles Fineberg, »An Improved Mechanical Heart and Lung Apparatus. Its Use during Open Cardiomy in Experimental Animals«, *Medical Clinics of North America* 37/6 (1953), S. 1603–1624, hier: S. 1610.

34 Vgl. ebd., S. 1612–1614.

erfüllt.«³⁵ Solch ironische Kommentare musste Gibbon ertragen, wenn er Kollegen wie dem erfahrenen Physiologen und Pharmakologen Alfred N. Richards von dem zentralen Dilemma seines Experiments erzählte. Je länger die Versuche mit IBM Model I in Philadelphia andauerten, desto klarer wurde Gibbon, dass sein in der Theorie plausibles Konzept des zentrifugalen Filmoxygenators zusehends an praktische Grenzen stieß. Seit den frühen Tierversuchen in Boston hatte sich die innere Oberfläche der zylindrischen Schleudertrommel bereits mehr als verdreifacht. Auf nunmehr 7100 Quadratzentimetern breitete sich das Blut in einem dünnen Film aus, um den Gasaustausch anzuregen.³⁶ Trotz dieser Kapazitätssteigerung zeugten die Blutgasanalysen nach Van Slyke oft nur von einer grenzwertigen Sauerstoffsättigung – und das bei kleinen Hunden.³⁷ Um das ungleich größere Blutvolumen eines Menschen adäquat mit Sauerstoff anzureichern, hätten die Dimensionen der Schleudertrommel nach Gibbons Schätzungen tatsächlich in die unrealistische Höhe von besagten zwei Stockwerken vorstoßen müssen.

Ungeachtet ironischer Kommentare plante Gibbon in seinem chirurgischen Forschungslabor keine Deckendurchbrüche oder Ähnliches, um eine haushohe Schleudertrommel unterzubringen. Stattdessen suchte er mit seiner Forschungsgruppe nach möglichen Effizienzverlusten des bisherigen Oxygenierungsverfahrens. Immerhin basierte der Mechanismus der künstlichen Lunge auf mehreren Übersetzungsschritten von Motorkraft in Bewegung: Ein Elektromotor versetzte die in Kugellagern aufgehängte Trommel über Triebriemen in schnelle Rotation um die eigene Vertikalachse, sodass die entfachte Zentrifugalkraft das herabfließende Blut in einem dünnen Film gegen die innere Trommelwand drängte.³⁸ Nicht ahnen konnte Gibbon zu diesem Zeitpunkt, dass am Ende der Suche keines dieser beweglichen Maschinenteile mehr übrig bleiben würde. Denn zwischen 1949 und 1951 durchlief der Oxygenator einen schrittweisen Wandel von einem dynamischen Mechanismus nach dem Vorbild einer landwirtschaftlichen Maschine zu einem statischen Behälter, konzipiert als chemischer Reaktor.

Erste Hinweise darauf, dass die erzeugten Bewegungskräfte Effizienzverluste mit sich brachten, erhielt Gibbon von seinen schwedischen Kollegen aus Stockholm.

35 Übers. B. P., Alfred N. Richards, zitiert nach John H. Gibbon Jr., »Development of the Artificial Heart and Lung Extracorporeal Blood Circuit«, *The Journal of the American Medical Association* 206/9 (1968), S. 1983–1986, hier: S. 1984.

36 Vgl. Thomas L. Stokes und John B. Flick Jr., »An Improved Vertical Cylinder Oxygenator«, *Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine* 73/3 (1950), S. 528–529, hier: S. 528.

37 Vgl. Stokes/Gibbon, »Experimental Maintenance of Life«, S. 148f.; sowie Bernard J. Miller, »The Laboratory Work Preceding the First Clinical Application of Cardiopulmonary Bypass«, *The Annals of Thoracic Surgery* 76 (2003), S. 2203–2209, hier: S. 2203.

38 Vgl. »Oxygenator. Construction and Operation«, Sound Laboratory International Business Machines Corporation, Endicott, New York; John H. Gibbon Papers, Series IV: Oxygenator, 1947–1958: Box 3, Folder 7: Oxygenator Construction and Operation Manual, [undated].

Clarence Crafoords Doktorand, Viking O. Björk, erinnerte zurecht daran, dass der ursprüngliche Zweck einer Milchscheuder, deren zentrifugales Funktionsprinzip Gibbon bei der Konstruktion seines Oxygenators adaptiert hatte, nicht etwa im Gasaustausch, sondern in der massenspezifischen Abscheidung der in Flüssigkeit suspendierten Feststoffe (des Rahmes von Magermilch) lag. Auch wenn die Schleudertrommel des Oxygenators mit erheblich niedrigerer Rotationsgeschwindigkeit lief als bei Milchscheudern oder gar Ultrazentrifugen, reichte die erzeugte Zentrifugalkraft zumindest aus, um die sauerstoffaufnehmenden Zellen innerhalb des dünnen Blutfilmes hin zur Innenwand der Schleudertrommel und weg von der Oberfläche zu bewegen, die in direkten Kontakt mit eingeleitetem Sauerstoff kam.³⁹ »Indem wir den Zylinder mitsamt seinem Film rotieren lassen«, fasste Gibbon die Kritik zusammen, »sedimentieren wir die roten Blutkörperchen direkt am Zylinder, sodass nur eine Plasmaschicht (die ziemlich dick sein kann) dem Sauerstoff ausgesetzt bleibt.«⁴⁰

Weder die experimentierenden Chirurgen in Philadelphia noch die Maschinenbau- und Elektroingenieure im IBM-Hauptquartier in Endicott, New York wussten den Sauerstoffmolekülen einen Weg durch die entstehende Plasmabarriere zu bahnen. Doch eine Mischung aus industriekapitalistischen Entwicklungen und persönlichen Beziehungen brachte Fachleute, die es konnten, in Gibbons unmittelbare Reichweite. Denn knapp 40 Kilometer von Philadelphia entfernt hatte sich bereits in der Zwischenkriegszeit eine neue Berufsgruppe ausdifferenziert, die sich bestens auf die effiziente Absorption von Gasen in Flüssigkeiten verstand. Dort, in der Stadt Wilmington im Staat Delaware, betrieb der Chemiekonzern Du Pont eine wachsende Abteilung für Chemieingenieurwesen, die Chemical Engineering Section, der mittlerweile ein Ruf als »die Nummer eins der Forschungseinrichtungen im Chemieingenieurwesen der US-amerikanischen Chemieindustrie« vorausseilte.⁴¹ Ebenfalls in Delaware wohnte Gibbons Fellow Thomas L. Stokes, dessen Nachbar Jack R. Caddell seit 1947 als Experte für Fluidmechanik und Reaktordesign in der Chemical Engineering Section arbeitete. Das gute Nachbarschaftsverhältnis verschaffte den Chirurgen ein offenes Ohr in der renommierten Industrieforschungsabteilung.⁴²

39 Zu Björks Hinweis auf die Milchscheuder, speziell den »Alfa Laval separator«, und seiner experimentellen Evaluation von Gibbons Oxygenationsverfahren siehe Björk, *Brain Perfusions in Dogs*, S. 18f.

40 Übers. B. P., »Notes on Crafoord's Pump Oxygenator«, John H. Gibbon Papers, Series VII: Writings, 1959–1970: Box 7, Folder 2: Misc. Printed Material, 1968–1970 [sic; irreführende Datierung].

41 Übers. B. P., Edwin Baker, zitiert nach Donald F. Boucher, *History of the Engineering Technology Laboratory. Part I: The First 25 Years, 1929–1953*, Wilmington, DE: E. I. du Pont de Nemours & Company 1980, S. 49.

42 Zu Caddells Einstellung in der Chemical Engineering Section vgl. ebd., S. 68; exemplarisch für Caddells Expertise siehe Jack R. Caddell (Hg.), *Fluid Flow in Practice*, New York: Reinhold 1956;

Mit der Sauerstoffanreicherung von Blut hatte Caddell bei Du Pont, das seit dem 19. Jahrhundert für Schießpulver, Sprengstoffe und neuerdings für synthetische Polymere wie Nylon bekannt war, rein gar nichts zu tun. Doch Du Ponts Produktionsanlagen, deren Reaktortürme die Industrielandschaften von New Jersey über West Virginia bis South Carolina säumten, waren nicht auf dem Boden des Wissens um einzelne Chemikalien gewachsen.⁴³ Vielmehr lag Du Ponts Expansion ab den 1920er-Jahren eine prozessorientierte Rationalisierung der Anlagenplanung nach fordistischen und tayloristischen Kriterien zugrunde. Das Chemieingenieurwesen hatte sich im Zuge dessen gerade durch die Abstraktion verfahrenstechnischer Grundprinzipien von den klassischen Disziplinen der Laborchemie und des Maschinenbaus emanzipiert.⁴⁴ Während in der Zwischenkriegszeit die Anlagenplanung als Sequenz kombinierbarer Standardverfahren, sogenannter *Unit Operations*, die Maxime gewesen war, erforschten Caddell und seine Kollegen in der Chemical Engineering Section um 1950 Optimierungsprinzipien des Reaktordesigns für verschiedene Reaktionsklassen:

»Die hoch kompetitive Wirtschaft heutzutage verlangt für den Ausbau auf Fabrikkapazität weit mehr als eine bloße Vervielfachung von Laboratoriumseinheiten. Das Reaktordesign im weitesten Sinne muss daher die Ermittlung – durch verglei-

sowie Jack R. Caddell und David M. Hurt, »Principles of Reactor Design. Homogeneous Reactions«, *Chemical Engineering Progress* 47/7 (1951), S. 333–338. Zur Zusammenarbeit von Caddell mit Stokes und anderen Mitgliedern der Forschungsgruppe vgl. V. Zehl, »IBM Heart Lung Machine«, 3. Juni 2017 (Entwurf eines Artikels mit Erinnerungen von John R. Engstrom und Donald K. Rex), IBM Heart-Lung Machine. Techworks! Archive. Center for Technology & Innovation, Binghamton, NY; sowie Interview mit Donald K. Rex, durchgeführt von Susan Sherwood, Kassette, B Rex 9–21-2008 B, 28:10; IBM Heart-Lung Machine. Techworks! Archive.

43 In Deepwater, New Jersey ging 1919 eine Farbstofffabrik in Betrieb und baute ihre Produktionskapazität in den Folgejahren aus; in den späten 1920er-Jahren errichtete Du Pont eine Ammoniakfabrik in Belle, West Virginia; 1950 erhielt das Unternehmen den Staatsauftrag zu Planung, Errichtung und Betrieb einer Fabrik für die Verarbeitung nuklearer Rohstoffe am Savannah River nahe Aiken, South Carolina (vgl. Vance E. Senecal, »Du Pont and Chemical Engineering in the Twentieth Century«, in: William F. Furter (Hg.), *History of Chemical Engineering*, Washington, D.C.: American Chemical Society 1980, S. 283–301, hier: S. 287f., S. 288 bzw. S. 295f.).

44 Siehe hierzu ausführlicher und mit Schwerpunkt auf das Konzept der *Unit-Operations*: David A. Hounshell und John K. Smith, *Science and Corporate Strategy. Du Pont R&D, 1902–1980*, Cambridge: Cambridge University Press 1988, S. 275–281; sowie Pap A. Ndiaye, *Nylon and Bombs. DuPont and the March of Modern America*, übers. von Elborg Forster, Baltimore: Johns Hopkins University Press 2007, S. 31–35.

chende Auswertungen – der wirtschaftlich optimalen Bauart, Größe und Form von Anlagen für *jede vorgegebene Kapazität und Leistung* einschließen.«⁴⁵

So brachte der industriekapitalistische Übergang von der Produkt- zur Prozessorientierung ein verfahrenstechnisches Wissen hervor, das sich flexibel auf neue oder unkonventionelle Substanzen übertragen ließ. Ob nun Stickstoffdioxid in Wasser oder aber Sauerstoff in Blut absorbiert werden sollte, spielte aus der Warte des Chemieingenieurwesens eine nachgeordnete Rolle.⁴⁶ Beide Vorgänge waren in Caddells Begriffen heterogene Reaktionen zwischen Flüssigkeits- und Gasphase – und ein Oxygenator nichts anderes als ein chemischer Reaktor vom Typ einer Absorptionskolonne.⁴⁷

Erwartungsgemäß bot die Schleudertrommel des Oxygenators gemessen an den Ansprüchen des Reaktordesigns suboptimale Reaktionsbedingungen. Das soll nicht heißen, dass Gibbons Modell nicht gewisse Charakteristika einer typischen Absorptionskolonne aufwies. Genau wie die industriechemischen Reaktoren dieses Typs funktionierte der Oxygenator nach dem Gegenstromprinzip mit einem herabfließenden Flüssigkeitsfilm und aufsteigendem Gas, das sich durch Verengung des Hohlraums um die Flüssigkeit herum konzentrierte.⁴⁸ Zu bemängeln hatte Caddell allerdings, dass das Blut – gerade weil es in der Schleudertrommel beträchtlichen Kräften ausgesetzt war – laminar über die glatte Edelstahloberfläche strömte. Ein effizientes Reaktordesign, klärte Caddell auf, zielte jedoch auf die Erzeugung von Turbulenz.⁴⁹

Unter Turbulenz verstand der Chemieingenieur im Sinne der Fluidmechanik eine Verwirbelung des Flüssigkeitsfilms, die ein Untermischen des Gases bewirkte

45 Übers. B. P. Caddell/Hurt, »Principles of Reactor Design«, S. 333 [Herv. B. P.]. Zum Wandel des Schwerpunkts nach dem Zweiten Weltkrieg siehe zudem Hounshell/Smith, *Science and Corporate Strategy*, S. 285.

46 Die Absorption von Stickstoffdioxid in Wasser bildete die abschließende *Unit Operation* der Produktion von Salpetersäure (eine Zutat für Dynamit), die Du Pont in den 1920er-Jahren mithilfe seiner Chemieingenieure hochfuhr (vgl. ebd., S. 277).

47 Zur Klassifikation von Reaktionen nach den involvierten Phasen (Feststoffe, Flüssigkeiten, Gase) vgl. Caddell/Hurt, »Principles of Reactor Design«, S. 333. Zur Einordnung eines Oxygenators als Absorptionskolonne siehe zudem »Engineering, Surgery Combine To Develop Heart-Lung Machine«, *Chemical and Engineering News* 29/15 (1951), S. 1412, 1414, hier: S. 1412 (hier am Beispiel von parallel zu Gibbon aufgenommenen Versuchen am Hahnemann Hospital und dem Drexel Institute of Technology in Philadelphia).

48 Vgl. Thomas K. Sherwood, *Absorption and Extraction*, New York: McGraw-Hill 1937, S. 127; sowie »Oxygenator. Construction and Operation«, Sound Laboratory International Business Machines Corporation, Endicott, New York; John H. Gibbon Papers, Series IV: Oxygenator, 1947–1958: Box 3, Folder 7.

49 Vgl. Miller/Gibbon/Gibbon, »Recent Advances«, S. 708; sowie Interview mit Donald K. Rex, durchgeführt von Susan Sherwood, Kassette, B Rex 9–21–2008 B, 28:50.

und so die reaktiven Kontakte der Bestandteile vervielfältigte. Auf das Problem des Oxygenators übertragen bedeutete dies, dass die bei laminarer Strömung unter der Plasmaschicht verschwindenden Zellen aufgewirbelt und gleichzeitig die Oberfläche des Blutfilms fortwährend von der sauerstoffreichen Atmosphäre durchdrungen werden konnte, was einen deutlich effizienteren Gasaustausch versprach.⁵⁰

Wer geglaubt hatte, zur Erzeugung eines turbulenten Blutfilms gelte es nun, die Zahl der beweglichen Maschinenteile weiter aufzustocken, sah sich eines Besseren belehrt. Die chemische Ingenieurskunst bestand im Gegenteil darin, den Reaktionsbehälter mit statischen Einbauten, sogenannten Packungen, auszustatten, deren unregelmäßige Oberflächenstruktur Strömungswiderstände bot. Während die frühesten solcher Packungen einfach aus Gesteins- oder Koksbrocken bestanden hatten, mehrte sich seit der Zwischenkriegszeit die Vielfalt zweckmäßig hergestellter Packungen.⁵¹ Konkret riet Caddell seinem Nachbarn Stokes zu Packungen aus engmaschigem Drahtgitter, ähnlich denen, die der kanadische Chemieingenieur Donald F. Stedman in den späten 1930er-Jahren eingeführt hatte.⁵² Abschüssig im Reaktor angeordnet, boten die siebartigen Drahtgitter der herabfließenden Flüssigkeit reichlich Fläche, um sich kraft ihrer Oberflächenspannung über die feinen Öffnungen im Maschenwerk hinweg auszubreiten. Völlig bewegungslos ragten die einzelnen Maschen dabei aus dem Flüssigkeitsfilm heraus, um ihn zu verwirbeln wie Steine das Wasser in einem Bachlauf.⁵³

Unter all den ausgeklügelten Mechanismen der Herz-Lungen-Maschine bildete somit ein einfaches Stück Maschendraht das entscheidende Puzzleteil chemischer Verfahrenstechnik, welches den Oxygenator in der Folge binnen dreier Entwicklungsschritte grundlegend umkrempelte. Trotz der fachkundigen Nachbarschaftshilfe gaben die Chirurgen ihre dynamische Maschine zunächst nur zögerlich auf. In einem ersten Schritt kleideten Stokes und sein Kollege John B. Flick Jr. einfach

50 Zur Turbulenz im zeitgenössischen Anwendungskontext der chemischen Industrie siehe z.B. Georg C. Brown, *Unit Operations*, New York: Wiley 1950, S. 517f.; zum Funktionsprinzip im Falle des Oxygenators siehe auch R. Taylor, »A Mechanical Heart-Lung Apparatus«, *IBM Journal of Research and Development* 1/4 (1957), S. 330–340, hier: S. 335; zur allgemeinen Forschungsgeschichte des Problems der Turbulenz siehe Michael Eckert, *The Turbulence Problem. A Persistent Riddle in Historical Perspective*, Cham: Springer 2019.

51 Vgl. Sherwood, *Absorption and Extraction*, S. 131.

52 Zur Einführung der Stedman-Packung siehe Norbert Kockmann, »200 Jahre Entwicklung in der kontinuierlichen Destillation«, *Chemie Ingenieur Technik* 85/12 (2013), S. 1815–1823, hier: S. 1820; zur Erwähnung der Stedman-Packung in direktem Zusammenhang mit der Sauerstoffanreicherung von Blut siehe außerdem »Engineering, Surgery Combine To Develop Heart-Lung Machine«, S. 1412.

53 Vgl. Donald F. Stedman, *Liquid and Vapor Contacting Device*, US2227164A, United States Patent Office 1940.

die Innenwände der vorhandenen Schleudertrommel von IBM Model I mit engmaschigem Drahtgitter [*screen*] aus und brachten Blut auf die gewohnte Art und Weise zum Schleudern.⁵⁴ Die gasometrischen Analysen im Nachgang deuteten an, dass der Chemieingenieur nicht zu viel versprochen hatte. Die veränderte Oberflächenstruktur zeigte Wirkung:

»Vor der Einführung des Drahtgitters führte die fortlaufende Steigerung der Flussrate oberhalb von 1 Liter pro Minute zu einer fortlaufenden Abnahme der Blutsauerstoffsättigung. Mit dem Drahtgitter jedoch lässt sich die Flussrate auf das 8-Fache dieser Menge steigern – mit zufriedenstellender Blutoxygenierung.«⁵⁵

Angespornt durch diesen Durchbruch unternahm Gibbons Forschungsgruppe sogleich weitere Testläufe, bei denen Blut in einer sauerstoffgefüllten Kolonne über einen Streifen aus Drahtgitter floss. Zum Vergleich verwendeten die Chirurgen Geflechte unterschiedlicher Drahtstärke und Maschenenge, um den jeweiligen Einfluss der Oberflächenstruktur auf die Sauerstoffaufnahme des Blutes zu studieren. Unter Abwägung der Oxygenierungsleistung gegen die zur Benetzung nötige Blutmenge fiel die Wahl schließlich auf ein Drahtgitter aus Edelstahl, das die Clevelander Tyler Wire Company standardisiert für industriechemische Verfahren herstellte.⁵⁶

Von diesem Moment an entfernte sich das Reaktordesign des Oxygenators Stück für Stück von der Ursprungsform der Milchscheuder und gab mehr und mehr seiner beweglichen Teile auf. In einem zweiten Schritt wandte sich Gibbon auf Basis der neuen Erkenntnisse wieder an die Ingenieure von IBM, um einen neuen Oxygenator entwerfen zu lassen, der den Turbulenzeffekten gezielt Rechnung trug. Ende Januar 1950 begann der Maschinenbauingenieur Donald K. Rex folglich, an einer Trommel mit patronenförmig zulaufender Kappe zu feilen (siehe Abb. 12).⁵⁷ Die Trommelwände bestanden nun direkt aus dem erlesenen Drahtgitter und verharrten regungslos in einem mit Sauerstoff durchströmten Kunststoffgehäuse. Das einzige bewegliche Teil der Konstruktion war eine rotierende Düse, die das Blut über die Kappe verteilte, von wo aus der Flüssigkeitsfilm das Drahtgitter innen wie außen benetzte.⁵⁸

Mit dem zunehmenden Verschwinden beweglicher Teile waren auch die Tage der altbewährten zylindrischen Trommelform gezählt. Diese verkörperte ein evolu-

54 Vgl. Stokes/Flick, »An Improved Vertical Cylinder Oxygenator«, S. 528.

55 Übers. B. P., ebd., S. 529.

56 Vgl. Miller/Gibbon/Gibbon, »Recent Advances«, S. 695f.; sowie Albert E. Reed, »Screens in the Process Industries«, *Industrial and Engineering Chemistry* 30/12 (1938), S. 1369–1371.

57 Vgl. den Eintrag in Rex' Notizbuch vom 27. Januar 1950, John H. Gibbon Papers, Series IV: Box 3, Folder 4.

58 Vgl. Miller/Gibbon/Gibbon, »Recent Advances«, S. 696f.

tionäres Überbleibsel der Rahmabscheidung in der Milchscheuder und entpuppte sich unter Verzicht auf Rotationskräfte zusehends als funktionsloses Effizienzhindernis. Dass die Kapazität des neuen Oxygenators noch nicht dem Blutvolumen größerer Hunde oder gar Menschen genügte, war von vornherein klar gewesen. Doch Durchläufe der Drahtgittertrommel mit Rinderblut von einem Schlachthof lieferten Caddell, der den Konstruktionsprozess weiterhin begleitete, zumindest eine Datengrundlage zur Berechnung der für spezifisch anvisierte Oxygenierungsleistungen aufzubietenden Fläche an Drahtgitter.⁵⁹ Um die errechneten 8000 Quadratzentimeter und mehr in zylindrischer Anordnung unterzubringen, hätte der Oxygenator zwar nicht mehr zwei Stockwerke in die Höhe wachsen, aber noch immer »sperrige und unpraktische« Dimensionen annehmen müssen.⁶⁰ »Nachdem wir törichterweise an der geometrischen Form eines senkrechten Zylinders festgehalten hatten, wurde ersichtlich, dass es effizienter war, eine Anzahl senkrechter Drahtgitterplatten zu verwenden«, erinnerte sich Gibbon.⁶¹

Genau genommen war es Gustav V. A. Malmros, Leiter der Ingenieurgruppe von IBM, der im Juni 1950 mit der Idee aufwartete, mehrere Platten aus Drahtgitter senkrecht hintereinander zu montieren wie Zellen einer Autobatterie (siehe Abb. 13).⁶² Bei diesem grundlegend veränderten Design verschwand in einem dritten Schritt nicht nur die zylindrische Trommelform, sondern mit der rotierenden Drüse auch das letzte bewegliche Maschinenteil. Stattdessen wurden die Drahtgitterplatten in einem Plexiglasgehäuse aufgehängt und durch schmale Schlitzze am Boden einer Verteilerkammer direkt oberhalb der Aufhängungen mit herabfließendem Blut benetzt.⁶³ Die Dimensionen der Drahtgitterplatten änderten sich im Laufe des Konstruktionsprozesses noch mehrmals, da die Chirurgen bei menschlichen Patient*innen letztlich von einer geringeren Ausgangssättigung des venösen Blutes mit Sauerstoff ausgingen als ursprünglich angenommen und dementsprechend zusätzliche Fläche veranschlagten.⁶⁴ Das finale Design sah

59 Vgl. ebd., S. 696 und 708; sowie Bernard J. Miller, »Development of the Heart-Lung Machine at Jefferson and Its First Application in the Surgery of the Heart«, in: Frederick B. Wagner Jr. und J. Woodrow Savacool (Hg.), *Legend and Lore. Jefferson Medical College*, Devon, PA: William T. Cooke Publishing 1996, S. 452–465, hier: S. 454.

60 Übers. B. P., Miller/Gibbon/Gibbon, »Recent Advances«, S. 696.

61 Übers. B. P., John H. Gibbon Jr., »The Development of the Heart-Lung Apparatus«, *American Journal of Surgery* 135/5 (1978), S. 608–619, hier: S. 616.

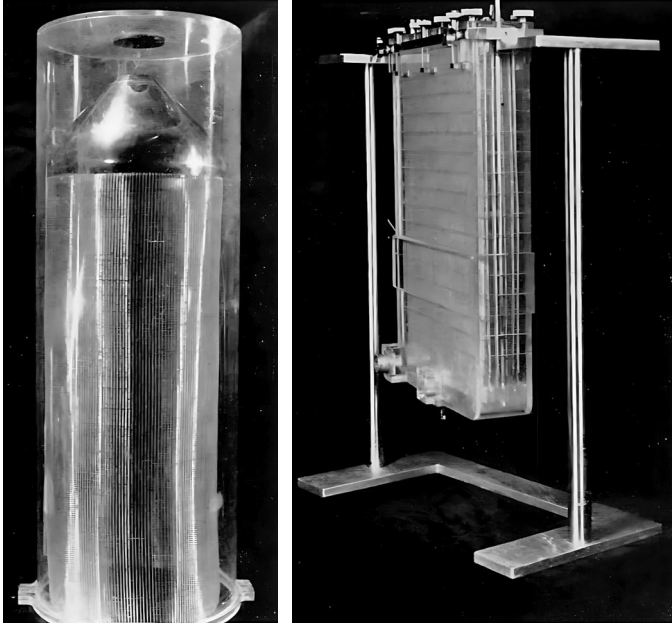
62 Vgl. Miller, »The Development of Heart Lung Machines«, S. 406. Arbeiten an einem »batterieplattenartigen Oxygenator« (übers. B. P.) finden in Rex' Notizbuch erstmals am 19. Juni 1950 Erwähnung; John H. Gibbon Papers, Series IV: Box 3, Folder 4.

63 Vgl. Miller/Gibbon/Gibbon, »Recent Advances«, S. 699f.

64 Vgl. Eintrag in Rex' Notizbuch vom 21. Juli 1950, John H. Gibbon Papers, Series IV: Box 3, Folder 4.

schließlich Platz für bis zu acht Drahtgitterplatten mit einer Größe von jeweils 30 mal 60 Zentimetern vor.⁶⁵

Abb. 12/13: Entwicklungsschritt des Oxygenators von der Trommel mit patronenförmiger Kappe (l.) zum batterieförmigen Reaktor (r.)



Quelle: Bernard J. Miller, John H. Gibbon Jr. und Mary H. Gibbon, »Recent Advances in the Development of a Mechanical Heart and Lung Apparatus«, *Annals of Surgery* 134/4 (1951), S. 694–708, hier: 697 und 698.

Mit diesem letzten Entwicklungsschritt konkretisierte sich der Oxygenator zu einem hocheffizienten Behälter bar jeglichen Mechanismus aus beweglichen Teilen. Das Statische des Behälters bedeutete jedoch keinesfalls, dass es wenig technischer Finesse zur adäquaten Durchführung der Sauerstoffanreicherung bedurfte. Die Schwierigkeit bestand in der gleichmäßigen Benetzung des Drahtgitters mit einem Blutfilm ohne Rinnsalbildung. Zunächst probierten die Chirurgen und Ingenieure, die Benetzbarkeit des Drahtgitters durch Bestreichen mit Gelatine oder Proteinlösungen zu verbessern.⁶⁶ Doch zuverlässige Ergebnisse erzielte erst eine Technik,

65 Vgl. Miller/Gibbon/Fineberg, »An Improved Mechanical Heart and Lung Apparatus«, S. 1608.

66 Vgl. Eintrag in Rex' Notizbuch vom 20. April 1951, John H. Gibbon Papers, Series IV: Box 3, Folder 4; sowie Miller, »Development of the Heart-Lung Machine at Jefferson«, S. 455.

die einmal mehr dem industriechemischen Umgang mit Stedman-Packungen entstammte und als »Vorflutung [*preflooding*]« Eingang in die Fachliteratur gefunden hatte.⁶⁷ Demnach fluteten die Chirurgen das Plexiglasgehäuse vor dem Gebrauch bis zum Rand mit physiologischer Kochsalzlösung und ließen diese im selben Moment ab, in dem das erste Blut durch die Schlitze der Verteilerkammer floss. Der fallenden Flüssigkeitssäule aus Kochsalzlösung unmittelbar nachfolgend, strömte das Blut über die bereits befeuchteten und von Lufteinschlüssen befreiten Maschen und bildete endlich den gewünschten Film.⁶⁸

Die im Tierversuch mit dem neuen Oxygenator erzielten Ergebnisse gaben Anlass, ihn zum Prunkstück eines generalüberholten Modells der Herz-Lungen-Maschine, IBM Model II, zu machen.⁶⁹ Die einzelnen Entwicklungsschritte der künstlichen Lunge auf dem Weg von der dynamischen Schleudertrommel zum statischen Reaktorbehälter illustrieren die mühsame Abkehr einer Maschine von ihren technologischen Vorbildern der Vergangenheit. Selbst als bereits feststand, dass sich die Sauerstoffanreicherung des Blutes nicht durch Zentrifugalkraft, sondern durch die Oberflächenstruktur des Drahtgitters steigern lassen würde, brauchte es mehrere Schritte, um die einst von der landwirtschaftlichen Milchscheider entlehnten Rotationsbewegungen und die zylindrische Trommelform endgültig abzustreifen.

Bemerkenswert ist dabei, wie eng die Geschichte dieses medizintechnischen Wandlungsprozesses mit der Geschichte der chemischen Industrie zusammenhing. Personell wie materiell fußte der Wandel des Oxygenators zu einem Reaktorbehälter auf der Rationalisierung industriechemischer Produktionsanlagen, die beginnend in der Zwischenkriegszeit sowohl zur Ausdifferenzierung des Chemieingenieurwesens als auch zur Entwicklung prozessorientierter Verfahrenstechniken beitrug. Ohne beides hätte der Chemieingenieur Caddell den experimentellen Chirurgen niemals aufzeigen können, wie sich eine statische Reaktorpäckung aus Drahtgitter zur Verwirbelung von Blut adaptieren ließ.

So aber stand Gibbon endlich ein Oxygenator zur Verfügung, der eine klinische Anwendung der Herz-Lungen-Maschine in greifbare Nähe rückte. Bei Durchflussraten, für welche die ursprüngliche Schleudertrommel zwei Stockwerke beansprucht hätte, verwandelte der bewegungslose Behälter vom Ausmaß eines

67 Siehe A. L. Glasebrook und F. E. Williams, »Ordinary Fractional Distillation. Part I. Apparatus«, in: Arnold Weissberger (Hg.), *Technique Of Organic Chemistry*, Bd. 4: *Distillation*, New York: Interscience Publishers 1951, S. 175–294, hier: S. 211.

68 Vgl. Miller/Gibbon/Gibbon, »Recent Advances«, S. 701; sowie Glasebrook/Williams, »Ordinary Fractional Distillation. Part I. Apparatus«, S. 211. Die Technik wird vorgeführt zu Beginn der Filmaufnahme »The Extracorporeal Diversion of Systemic and Coronary Venous Blood Flow During Auriculotomy and Ventriculotomy« (1952) by Bernard J. Miller, Charles Fineberg, John H. Gibbon; Films and Videos Collection, WG 168 VC no. 39 1952.

69 Siehe auch Harris B. Shumacker Jr., *A Dream of the Heart. The Life of John H. Gibbon, Jr. Father of the Heart-Lung Machine*, Santa Barbara, CA: Fithian Press 1999, S. 156f.

kleinen Koffers zuverlässig bläuliches in sattrotes Blut. Angesichts dieser enormen Effizienzsteigerung verfiel in Gibbons Labor wohl kaum jemand mehr der von Mumford angeprangerten »moderne[n] Unsitte, das Statische geringer zu werten als das Dynamische«. ⁷⁰ Gibbon selbst war in den 1930er-Jahren lange genug der Ruf eines eigenwilligen Tüftlers an absonderlichen Mechanismen, als »dieser Fellow, der glaubt, er baut eine mechanische Lunge«, vorausgeeilt. ⁷¹ Im Nachhinein würdigte Gibbon sicherlich nicht ohne Genugtuung das Statische seines neuen Oxygenators explizit: »Die künstliche Lunge vom Drahtgittertyp hat den zusätzlichen Vorteil, keinerlei bewegliche Teile zu haben.« ⁷²

8.3 Funkenschlag und Ätherdampf: Schutzbehälter in explosiver Atmosphäre

Während ein Behälter wie der Oxygenator der Intensivierung des Kontakts zwischen Blut und Gas diente, gehörten zur Infrastruktur eines Operationsraums zahlreiche Behälter mit der gegenteiligen Funktion, ihr Inneres vor dem Kontakt mit Gas abzuschirmen. Auf besonders dramatische Weise unterstrich dies der Aufmacher einer Werbeanzeige für hoch spezialisierte Lampenfassungen, Steckdosen und Schalter, die 1947 in der Zeitschrift der amerikanischen Krankenhausgesellschaft erschien:

»Schützen Sie Ihre ÄRZTE, SCHWESTERN, PATIENTEN vor den Gefahren explosiver Anästhetika, indem Sie in Ihren Operationsräumen Crouse-Hinds explosionsgeschützte Condulet-Elektrik installieren.

Die Verwendung explosiver Anästhetika bereitet Krankenhaus- und Kommunalbehörden sowie Brandschutz- und Unfallversicherern große Sorgen. Die Gefahrenbereiche beschränken sich nicht nur auf die Räume, in denen die Anästhetika gelagert oder verwendet werden, sondern können sich laut Bestimmung der National Fire Association horizontal auf zehn Fuß Entfernung von den Türen, die zu solchen Räumen führen, und bis zu einer Höhe von sieben Fuß über dem Fußboden erstrecken.« ⁷³

70 Mumford, *Mythos der Maschine*, S. 168.

71 Übers. B. P., John Lear, »Science May Give You a Second Heart«, *Collier's* (27. September 1952), S. 22–24.

72 Übers. B. P., John H. Gibbon Jr., »The Normal Heart and Temporary Substitutes for the Heart and Lungs«, *Proceedings of the American Philosophical Society* 109/3 (1965), S. 112–116, hier: S. 116.

73 Übers. B. P., Crouse-Hinds Company, »Protect your Doctors, Nurses, Patients«, *Hospitals. The Journal of the American Hospital Association* 21/12 (1947), S. 31. Das Wort »condulet« war ein Kofferwort, das »conduit« und »outlet« zu einem Markennamen für Kabelschutzgehäuse amalgierte (vgl. David N. Keller, *Cooper Industries, 1833–1983*, Athens, OH: Ohio University Press 1983, S. 297).

Wer glauben mochte, bei den von der Crouse-Hinds Company heraufbeschworenen Katastrophen handele es sich um bloße Angstmacherei als Verkaufsargument, sollte sich seiner Sache nicht zu sicher sein. Nur ein Jahr später erschütterte eine aufsehenerregende Serie von Explosionen in Operationsräumen die Staaten der Ostküste und rief eine Untersuchungskommission des Innenministeriums auf den Plan.⁷⁴ Doch neu war das Phänomen keineswegs. Meldungen über Brände und Explosionen in Operationsräumen datierten mindestens bis zur frühen Anwendung von Narkosegasen in der Mitte des 19. Jahrhunderts zurück und erhielten mit der Elektrifizierung der Krankenhäuser um 1900 sowie dem vermehrten Einsatz von komprimiertem Sauerstoff ab den 1930er-Jahren neue Nahrung.⁷⁵ »Es gab eine Zeit, da suchte die Angst vor Wundinfektion den Chirurgen heim«, bemühte der renommierte Anästhesiologe Ralph M. Waters einen historischen Vergleich: »Heute liefert die Angst vor Explosion einen dramatischeren Ersatz.«⁷⁶

Angesichts der Katastrophenmeldungen der vergangenen Jahre konnte sich die Belegschaft des Jefferson Hospital in Philadelphia glücklich schätzen, dass die Elektrik des örtlichen Operationsraumes bereits mit Explosionssicherungen von Crouse-Hinds ausgestattet war.⁷⁷ Doch in den frühen 1950er-Jahren schickte sich ein neuer Gefahrenherd an, auf das Herzstück des Krankenhauses zuzurollen. Zusätzlich zu dem entzündlichen Narkosegas, das in der Luft lag, brachte dieses »leblose Monster«⁷⁸ vom Ausmaß eines Klaviers eine unheilvolle Kombination aus komprimiertem Sauerstoff und funkenschlagnenden Elektromotoren mit in den Operationsraum. Das »Monster« war die Herz-Lungen-Maschine.

Die Erkenntnis, dass von der Herz-Lungen-Maschine eine potenzielle Explosionsgefahr ausging, markierte den Auftakt der finalen Episode in der Konstruktionsgeschichte von IBM Model II. Gibbon selbst lief es eiskalt den Rücken herunter, als er realisierte, bereits seit den 1930er-Jahren in der Nähe von ungeschützten Elektromotoren, die seine Pumpen antrieben, mit entzündlichen Gasen experimentiert zu haben. »Mir schaudert heute«, gestand er rückblickend, »wenn ich an diese Mischung aus Ätherdampf und Sauerstoff denke, doch wir hatten nie eine Explosion.

74 Siehe Paul G. Guest, V. W. Sikora und Bernard Lewis, *Static Electricity in Hospital Operating Suites: Direct and Related Hazards and Pertinent Remedies*, U.S. Department of the Interior, Bureau of Mines 1952, S. 1f.

75 Siehe A. G. MacDonald, »A Short History of Fires and Explosions Caused by Anaesthetic Agents«, *British Journal of Anaesthesia* 72/6 (1994), S. 710–722.

76 Übers. B. P., Ralph M. Waters, »Explosion Jitters«, in: ders., *Holding Court With the Ghost of Gilman Terrace: Selected Writings of Ralph Milton Waters, M.D.*, hg. von David C. Lai, Park Ridge, IL: Wood Library-Museum of Anesthesiology 2002, S. 111.

77 Vgl. Eintrag in Rex' Notizbuch vom 28. November 1950, John H. Gibbon Papers, Series IV: Box 3, Folder 4.

78 Übers. B. P., Lear, »Science May Give You a Second Heart«, S. 24.

Ich nehme an, Gott wacht über junge chirurgische Forscher ebenso wie über Narren und Kinder!«⁷⁹

Bei der Explosionssicherheit der Herz-Lungen-Maschine weiterhin allein auf Gott zu vertrauen, wäre der Fahrlässigkeit jedoch zu viel gewesen. Deshalb beratschlagten die IBM-Ingenieure 1950 in Endicott über ein geeignetes Maschinengehäuse, das die Elektromotoren samt der vielen elektronischen Bauteile wie ein Schutzbehälter vor dem Kontakt mit explosivem Narkosegas bewahren konnte. »Ich entwerfe die allgemeine Anordnung wie Rahmen, Abdeckungen usw.«, notierte Rex. »Das Problem des Explosionsschutzes der Maschine wird gerade geprüft.«⁸⁰

Trivial war der Explosionsschutz einer klaviergroßen Maschine, durch die sowohl elektrischer Strom als auch Blut floss, keineswegs. Das Prädikat »explosionsschutz [explosion-proof]« galt nach der Definition des National Electric Codes im engeren Sinne für ein Gehäuse, das einer Explosion im Inneren standhielt, entstehende Flammen undurchdringlich einschloss und so die Entzündung von Gasen und Dämpfen in der äußeren Atmosphäre verhinderte.⁸¹ Die Ummantelung einer Lampenfassung oder Steckdose nach dieser Norm war eine Sache. Aber ein explosionsschutztes Gehäuse für große Maschinen oder Motoren erforderte schwere Stahlwände, verschweißte oder penibel versiegelte Fugen und zu allem Überfluss ein ausgeklügeltes Kühlungssystem, um die eingeschlossene Abwärme unter Kontrolle zu halten.⁸² Bei mancher Industriemaschine mochte diese kostspielige und materialaufwendige Lösung gangbar sein. Ein künstliches, blutdurchströmtes Organsystem, das im Klinikalltag hin- und herbewegt und zwecks Reinigung nach jeder Anwendung zerlegt werden musste, wäre unter solchen Schutzmaßnahmen jedoch an die Grenzen der Praktikabilität gestoßen.

Neue Hinweise hofften die Ingenieure in der rund 100 Kilometer nördlich gelegenen Stadt Syracuse zu finden. Dort besuchten John R. Engstrom und sein Vorgesetzter Malmros im August 1950 den Hauptsitz der Crouse-Hinds Company.⁸³ Die Ausstattung von Operationsräumen war eigentlich nicht das Kerngeschäft des 1897

79 Übers. B. P., John H. Gibbon Jr., »The Gestation and Birth of an Idea«, *Philadelphia Medicine* 59/37 (1963), S. 913–916, hier: S. 915. Allen Verfechter*innen des Zufallsprinzips in der Geschichte der Wissenschaft, Medizin und Technik (siehe Kap. 3) sei an dieser Stelle zugestanden, dass die Tatsache, dass Gibbon sein Labor nie in die Luft sprengte, tatsächlich reiner Zufall war.

80 Übers. B. P., Einträge in Rex' Notizbuch vom 8. und 9. August 1950, John H. Gibbon Papers, Series IV: Box 3, Folder 4.

81 Vgl. Arthur L. Abbott, *National Electrical Code Handbook*, 6. Aufl., New York: McGraw-Hill 1947, S. 8.

82 Vgl. »Get the Right Enclosure for Large Motors in Hazardous Areas«, *Power* 100/3 (1956), S. 82–84, hier: S. 84.

83 Siehe Eintrag in Rex' Notizbuch vom 9. August 1950, John H. Gibbon Papers, Series IV: Box 3, Folder 4.

gegründeten Unternehmens. In der Anfangszeit hatten Huntington B. Crouse und Jesse L. Hinds mit der Produktion spezieller Kabelgehäuse und Leuchtmittel moderat vom US-amerikanischen Netzausbau nach Wechselstromstandard profitiert. Doch im Windschatten der rasant expandierenden Ölindustrie hatte sich ihr Unternehmen ab den 1920er-Jahren zu einem Weltmarktführer im wachsenden Geschäftsfeld explosionsgeschützter Gehäuse aufgeschwungen.⁸⁴

Dass der französische Schriftsteller und Philosoph Georges Bataille die vom Erdöl befeuerte Überflusswirtschaft der Vereinigten Staaten 1949 als »größte Explosivkraft, die es jemals auf der Welt gegeben hat«, bezeichnete, war eine durchaus wörtlich zu nehmende Diagnose.⁸⁵ Katastrophale Explosionen zählten tatsächlich zu den inhärenten Problemen der von petrochemischen Produktionsstätten und Infrastrukturen durchzogenen Industrielandschaften. Schon im frühen 20. Jahrhundert stellten hohe Verdampfungsverluste auf dem Transportweg des Erdöls durch Pipelines und Tanks – von offenen Ölfeldern ganz zu schweigen – nicht die Ausnahme, sondern die Regel dar.⁸⁶ Doch mit der Durchsetzung petrochemischer Produkte als elementare Brennstoffe in Automobil- und Flugzeugantrieben sowie als Rohmaterial der Kunststoffindustrie vervielfachten sich die Orte, an denen explosive Öldämpfe die Atmosphäre schwängerten, noch einmal beträchtlich.⁸⁷ So stufte Crouse-Hinds Operationsräume nach den Sicherheitsnormen des National Electric Codes in einer Gruppe mit Tankstellen, Chemiewerken, Erdölraffinerien und anderen als Orte der Gefahrenklasse I ein.⁸⁸

Vor diesem Hintergrund war es kaum verwunderlich, dass Engstrom und Malmros mit einem Explosionssicherheitskonzept nach Endicott zurückkehrten, das in der Ölindustrie bereits wohl erprobt war. Genau genommen lagen die historischen Ursprünge des Konzepts in der Tankschiffahrt der späten 1930er-Jahre. Damals hatten erste Ölkonzerne begonnen, ihre Flotten mit sogenannten Inertgasanlagen auszustatten, um dem erhöhten Explosionsrisiko entleerter Öltanks beizukommen. Je weiter der Füllstand eines Frachtbehälters sank, desto mehr Sauerstoff konnte sich wie ein Brandbeschleuniger darin ausbreiten und mit den verbliebenen Öldämpfen zu einem hochexplosiven Gemisch konzentrieren.⁸⁹

84 Vgl. Keller, *Cooper Industries*, S. 294–302.

85 Georges Bataille, *Die Aufhebung der Ökonomie*, übers. von Traugott König, Heinz Abosch und Gerd Bergfleth, 3., erw. Aufl., München: Matthes & Seitz 2001, S. 209; siehe auch Benjamin Steininger und Alexander Klose, *Erdöl. Ein Atlas der Petromoderne*, Berlin: Matthes & Seitz 2020, S. 103f.

86 Vgl. Hugh S. Gorman, *Redefining Efficiency. Pollution Concerns, Regulatory Mechanisms, and Technological Change in the U.S. Petroleum Industry*, Akron, OH: University of Akron Press 2001, S. 79.

87 Vgl. Keller, *Cooper Industries*, S. 300–302.

88 Vgl. C. W. Gustafson, *Manual of Electrical Requirements for Hazardous Locations. An Analysis of Article 500 of the National Electric Code*, Syracuse, NY: Crouse-Hinds Company 1941, S. 8–13.

89 Vgl. Gorman, *Redefining Efficiency*, S. 123 und 252.

Zur Verdrängung von Sauerstoff leiteten Inertgasanlagen ein nicht entzündliches Gasgemisch aus gefilterten Schiffsabgasen (hauptsächlich Kohlenstoffdioxid und Stickstoff) in den frei werdenden Raum des Frachtbehälters. Die Aufrechterhaltung eines geringfügigen Überdrucks gegenüber der Außenatmosphäre stellte dabei sicher, dass im Falle eines Lecks das Inertgas ausströmte, anstatt dass sauerstoffhaltige Außenluft einströmte, wodurch die Entstehung explosiver Konzentrationen im Keim erstickt wurde.⁹⁰

Als die IBM-Ingenieure 1950 am Gehäuse von Model II arbeiteten, war es in der Industrie bereits Praxis, auch Motoren, deren Ausmaße die Kapazitätsgrenzen explosionsgeschützter Gehäuse überschritten, mit Inertgas gegen Öldämpfe abzusichern. Genau wie in Operationsräumen ließ sich nämlich in Industriestätten, die petrochemische Rohstoffe und Produkte im großen Stil verarbeiteten, die Entstehung explosiver Gasgemische in der Atmosphäre kaum mit Sicherheit ausschließen. Doch ein mit Inertgas unter Druck gesetztes Motorgehäuse konnte gefährliche Gasgemische effektiv und relativ kostengünstig am Vordringen zu einem potenziellen Explosionsherd hindern.⁹¹ »Anstatt die Maschine explosionsgeschützt abzusichern«, resümierte Rex mit Blick auf die Herz-Lungen-Maschine, »wäre es wohl möglich, die elektronischen Bauteile, Schalter, Registrier- und Messgeräte usw. in Gehäusen unterzubringen, die mit CO₂ oder N₂ unter Druck gesetzt werden können, und dadurch Explosionen zu verhindern.«⁹²

Über Umwege waren es also Tankerunglücke und Raffinerieunfälle, welche die Gehäusearchitektur der Herz-Lungen-Maschine inspirierten. Das Grundgerüst von Model II bildete ein dreistöckiger Metallrahmen, den aufpolierte Edelstahlbleche ummantelten. Über die Decke des Gehäuses verliefen freiliegende Blutleitungen zwischen Einlassungen für die Rollerpumpen, während am querseitigen Rand auf einem Gestänge der batterieförmige Oxygenator thronte. Die Front- und Außenwände, gespickt mit Bedienelementen und Kontrollanzeigen, ließen die Elektronik im Inneren des Gehäuses erahnen. Dort verschwanden unter anderem die Steckplätze für zahlreiche Elektronenröhren sowie ein separates Motorgehäuse hinter den abgedichteten Edelstahlblechen (siehe Abb. 14).⁹³

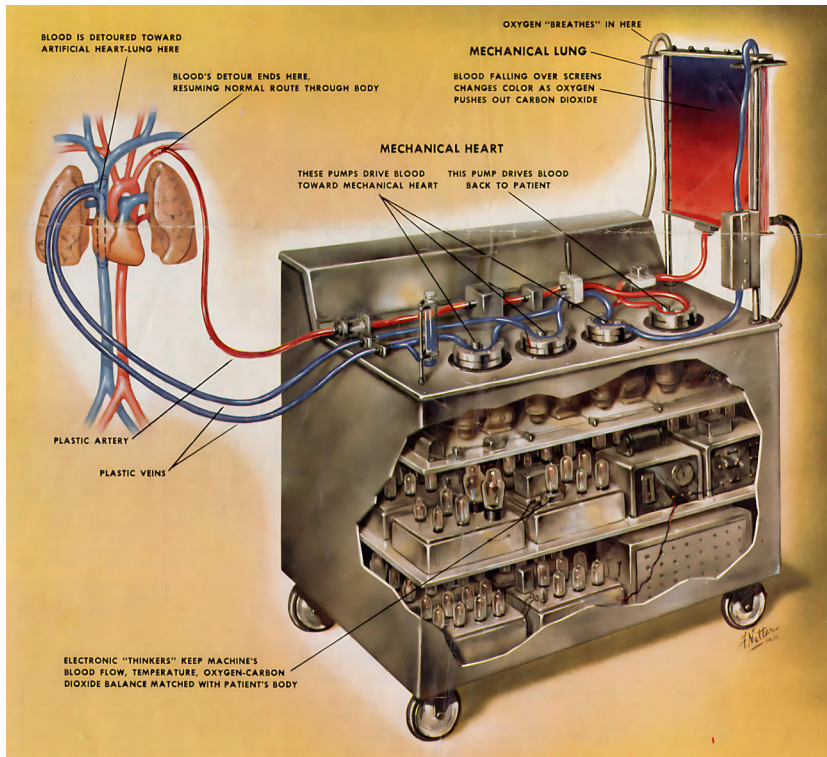
90 Siehe »Cargocare Tanker System Cuts Maintenance Costs 80 %«, *The Log of America's Maritime Industries* 43/18 (1948), S. 33–35, 58; sowie U.S. Navy Department, Bureau of Ships, *Bureau of Ships Manual*, Bd. 15: *Gasoline Stowage and Equipment*, Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office 1951.

91 Siehe J. C. Linsenmeyer, »Motor Selection for Hazardous Locations«, *The Petroleum Engineer* 23/1 (1951), S. C20–C24, hier: S. C24; sowie »Get the Right Enclosure for Large Motors in Hazardous Areas«.

92 Übers. B. P., Eintrag in Rex' Notizbuch vom 10. August 1950, John H. Gibbon Papers, Series IV: Box 3, Folder 4.

93 Siehe auch Miller/Gibbon/Fineberg, »An Improved Mechanical Heart and Lung Apparatus«, S. 1605f.

Abb. 14: Zeichnung von IBM Model II mit Innenansicht des Maschinengehäuses



Quelle: John Lear, »Science May Give You a Second Heart«, *Collier's* (27. September 1952), S. 22–24, hier S. 23.

Das schützende Inertgas, Stickstoff, strömte aus einer Gasflasche zuerst in besagtes Motorgehäuse und zirkulierte unter leichtem Überdruck gegenüber der potenziell explosiven Außenatmosphäre durch die weiteren Abteilungen innerhalb des Gesamtgehäuses. Als zusätzliche Absicherung statteten die Ingenieure das Gehäuse auf Malmros' Vorschlag hin mit einem Sensor aus, der im Falle eines außergewöhnlichen Druckabfalls optische und akustische Warnsignale auslöste.⁹⁴ »Das gesamte Gehäuse war mit Stickstoff gefüllt«, erklärte Rex, »und sollte es irgendeine undichte Stelle geben, kam der Stickstoff raus – nichts konnte reinkommen.«⁹⁵

94 Übers. B. P., Eintrag in Rex' Notizbuch vom 15. August 1950, John H. Gibbon Papers, Series IV: Box 3, Folder 4; sowie Miller/Gibbon/Fineberg, »An Improved Mechanical Heart and Lung Apparatus«, S. 1606.

95 Interview mit Donald K. Rex, durchgeführt von Susan Sherwood, Kassette, B Rex 9–21-2008 B, 19:20.

Mit diesen letzten Sicherheitsvorkehrungen war die auf das Jefferson Hospital zurollende Gefahr schlussendlich in einem unter Druck gesetzten Behälter gebannt. Dabei unterstreicht der Weg der schützenden Inertgasbehälter, der von Öltankern über die Motorgehäuse der petrochemischen Industrie bis zum Explosionsschutz der Herz-Lungen-Maschine führte, mehr als nur die technikhistorische Bedeutung von Unfällen, Katastrophen und den Strategien zu ihrer Vermeidung.⁹⁶ Die finale Episode in der Konstruktion von IBM Model II entlarvt aufs Neue, wie haltlos die Implikationen der postkritischen Behältermetapher sind. »Der Kapitalismus existiert nicht [...]«, behauptet Latour in Anspielung auf den angeblichen Reduktionismus sozialkritischer Kategorien.⁹⁷ Doch nichts ist reduktionistisch an der klaren Feststellung, dass die Herz-Lungen-Maschine in ihren materiellen Bestandteilen die sie umfassenden Produktionsverhältnisse des Industriekapitalismus widerspiegeln.

Der experimentellen Chirurgie war zweifellos die Eigenheit zuzusprechen, durch den Versuch der maschinellen Beherrschung von Organfunktionen vielen ungewöhnlichen Kombinationen technischer Mittel Raum zu bieten. Doch genau wie die Beschichtungen aus Silikonöl und die Verfahrenstechniken der Gasabsorption im turbulenten Flüssigkeitsfilm leitete sich auch die Explosionssicherung der Herz-Lungen-Maschine mit Inertgas historisch aus jüngeren Entwicklungen der chemischen Industrie ab. Es waren sogar jeweils direkte Kontakte mit Angestellten von Industriekonzernen, welche der chirurgischen Adaption außermedizinischer Mittel den Weg bereiteten: General Electric stellte Silikonöl für Blutgerinnungsstudien bereit, ein Chemieingenieur von Du Pont konzipierte den Oxygenator als Reaktor und IBM-Ingenieure besuchten die Crouse-Hinds Company auf der Suche nach Explosionsschutzkonzepten für die Herz-Lungen-Maschine. All den postkritischen Relativierungsversuchen zum Trotz war die Wirtschafts- und Gesellschaftsform des Industriekapitalismus offensichtlich und ohne jeden Restzweifel das Gebilde, in dessen Grenzen sich die Medizin des 20. Jahrhunderts, insbesondere die US-amerikanische Chirurgie der Nachkriegszeit, nischenartig zu entfalten hatte.

Am 19. Juni 1951 waren schließlich alle Einzelteile zu einer geschlossenen Maschine zusammengefügt und IBM Model II konnte auf einen Lastwagen mit Fahrziel Philadelphia verladen werden.⁹⁸ Es war die letzte Reise eines Bündels von Ma-

96 Siehe auch Roger Cooter und Bill Luckin (Hg.), *Accidents in History: Injuries, Fatalities and Social Relations*, Amsterdam: Rodopi 1997; sowie Christian Kassung (Hg.), *Die Unordnung der Dinge. Eine Wissens- und Mediengeschichte des Unfalls*, Bielefeld: transcript 2009.

97 Übers. B. P., Bruno Latour, *Les microbes. Guerre et paix suivi de Irréductions*, Paris: Métailié 1984, S. 194.

98 Vgl. Eintrag in Rex' Notizbuch vom 19. Juni 1951, John H. Gibbon Papers, Series IV: Box 3, Folder 4.

terialien und Bauteilen, die aus unterschiedlichen Gefilden der Industrielandschaften stammten, auf dem Weg in die Chirurgie des Herzens. Am Jefferson Medical College angekommen, unterzog Gibbons Forschungsgruppe die neue Maschine so gleich ausgiebigen Untersuchungen. Tatsächlich sank die Mortalitätsrate der perfundierten Hunde im Vergleich zu den Versuchen mit Model I aus dem Jahr 1949 von damals 79 Prozent auf nunmehr 12 Prozent – und das, obwohl bei den jüngsten Versuchsreihen zusätzlich die rechte Herzkammer beziehungsweise der Vorhof der Tiere temporär offengelegt wurde.⁹⁹ Voller Selbstbewusstsein konnte die chirurgische Forschungsgruppe daher ein aussichtsreiches Fazit ziehen: »[D]er Zugang zu den blutleeren Herzkammern bei Überleben der Versuchstiere erweist sich als gänzlich durchführbares Verfahren.«¹⁰⁰

Mehr als 20 Jahre, nachdem Gibbon in Boston den tödlichen Ausgang einer Trendelenburg-Operation miterlebt und sich zu seinem gewagten Experiment entschlossen hatte, war die Herz-Lungen-Maschine endlich bereit für den Operationsraum. Die Frage lautete nur: Waren es auch die Chirurgen?

99 Vgl. Miller/Gibbon/Fineberg, »An Improved Mechanical Heart and Lung Apparatus«, S. 1621.

100 Übers. B. P., ebd., S. 1604.