

Wissenschaftslabore als artifizielle Zeitkonfigurationsräume. Techniken der Dehnung, Transformation und Aufhebung von Zeit

Abstract

Im Unterschied zur ›temporalization of nature‹, als Gewährwerden zeitlicher Entwicklungen und Genealogien, dienen Labore als Konfigurationsräume artifizieller Zeitlichkeiten. Der Beitrag stellt drei Beispiele laborwissenschaftlichen Experimentierens unter artifiziellen Zeitregimen vor: die Trudelforschung in der Aerodynamik, die ›stop-and-flow‹-Technik in der Biochemie und die Vitrifizierung in der Kryobiologie. Ihnen entsprechen Technologien der Dehnung, Transformation und Aufhebung von Zeit. Die Fallbeispiele zeigen, dass Techniken zur temporalen Manipulation zunächst der Ermöglichung kinetischer Experimente dienen und später als eigene Forschungstechnologien fungieren, die als Produktionsmittel technowissenschaftlicher Objekte die Neukonfiguration von Zeitregimen auch in den sozialen und kulturellen Kontexten außerhalb des Labors ermöglichen.

In contrast to the ›temporalization of nature‹ as an acknowledgement of temporal developments and genealogies, laboratories serve as configuration spaces of artificial temporalities. This article presents three examples of laboratory experimentation under artificial time regimes: spin research in aerodynamics, stop-and-flow techniques in biochemistry, and vitrification in cryobiology. They correspond to technologies of stretching, transformation and suspension of time. The case studies show that temporal manipulation techniques initially serve to enable kinetic experiments and later function as separate research categories or ›research technologies‹, and finally, as means of production of technoscientific objects, enabling the modification of time configurations and their relations also in social and cultural contexts outside the laboratory.

Wissenschaft erforscht Phänomene in Laboratorien und sie tut dies in der ›artifiziellen Dramaturgie des Experiments‹.¹ Experimentalvorrichtungen, mit welchen die Forscher die »Natur zu Antworten nötigen«², wurden in der Wissenschaftsgeschichte wie -philosophie vielfach beschrieben.³ Dabei steht meist die experimentelle Manipulation von Materialien und Entitäten im Zentrum der Forschung, doch Experimentalvorrichtungen dienen oft auch der artifiziellen Konfiguration von Zeitlichkeit. In der Wissenschaftsforschung gibt es eine Reihe von Untersuchungen, die temporale Aspekte der empirischen und experimentellen Naturwissenschaft thematisieren. In

-
- 1 Beispielsweise in Bruno Latour: »Von der Fabrikation zur Realität. Pasteur und sein Milchsäureferment«, in: Ders.: *Die Hoffnung der Pandora*, Frankfurt am Main 2002, S. 137–174.
 - 2 Immanuel Kant: *Kritik der reinen Vernunft*, hrsg. v. Raymund Schmidt, Hamburg 1993, Vorrede B XIII.
 - 3 Vgl. beispielsweise von Ian Hacking: *Einführung in die Philosophie der Naturwissenschaften* (1983), Stuttgart 1996; Hans-Jörg Rheinberger: *Experimentalsysteme und epistemische Dinge. Eine Geschichte der Proteinsynthese im Reagenzglas*, Göttingen 2002.

Bezug auf Experimentalsysteme wurden dabei vor allem drei Zeitebenen betrachtet: (1) die Ebene der *historische Epistemologie von Zeitkonzepten*, also die Vorstellungen von Zeit, die seitens der Forschungssubjekte an ihren Gegenstand herangebracht werden oder die sie in der Auseinandersetzung mit diesem entwickeln; (2) die *lokale und soziale Zeit von Forschungskollektiven in Handlungszusammenhängen*, also die Zeitebene der jeweiligen Forschungspraxis, die in der Anbahnung, Planung und Durchführung der konkreten Laborarbeit zum Tragen kommt; und (3) die *materiale Eigenzeit der Phänomene selbst* und deren Erforschung, also die Zeitebene des Forschungsobjekts selbst, die sich in der Konstitution der jeweiligen Untersuchungsgegenstände im Labor bekundet.⁴

Was bislang jedoch wenig erforscht und wissenschaftsphilosophisch systematisch betrachtet wurde, ist das Zusammenspiel von Labortechniken der Zeitmanipulation und experimentellen Settings zur Erforschung und Kontrolle der Kinetik von Prozessen. Unsere Studie beschäftigt sich vornehmlich mit dem letzten Aspekt, wobei es uns darauf ankommt zu zeigen, wie diese »Eigenzeit« labortechnisch in einen artifiziiellen Zustand überführt wird, der es dem untersuchten Phänomen erst erlaubt, zur Erscheinung zu kommen. In diesem Sinne folgen wir Helga Nowotnys These, dass Wissenschaft mit dem modernen Laboratorium »eine eigene Zeitstruktur«⁵ erschafft. Während Nowotny indessen die labortechnisch erzeugte Stabilität der wissenschaftlichen Untersuchungsobjekte als Voraussetzung für eine immer bessere Beobachtung

4 Im Rahmen der Laboratory Studies untersucht etwa Karin D. Knorr-Cetina vor allem die raumzeitliche Kontextgebundenheit von Forschungshandlungen (*The Manufacture of Knowledge. An Essay on the Constructivist and Contextual Nature of Science*, Oxford u.a. 1981); Michael Lynch widmet sich den temporalen Aspekten naturwissenschaftlicher Praktiken im Hinblick auf die Arbeitsorganisation der Laborforschung (*Art and Artifact in Laboratory Science*, London u.a. 1985); Bettina Bock von Wülfigen diskutiert die Historizität von Zeitkonzepten in der lebenswissenschaftlichen Forschung und deren Zusammenhang mit veränderten soziokulturellen Zeitregimen (u. a.: »Temporalities of reproduction: practices and concepts from the eighteenth to the early twenty-first century«, in: *History and Philosophy of the Life Sciences* 37 (2015), Heft 1, S. 1–16). Das Zusammenspiel verschiedener Zeitebenen in der experimentellen Forschung und die dadurch ermöglichte Konzeptualisierung neuer Zeitlichkeit, wie etwa die Eigenzeit biologischer Individuen, thematisieren Barbara Adam: »Modern Times: The Technology Connection and its Implications for Social Theory«, in: *Time & Society* 1 (1992), Heft 2, S. 175–191; Helga Nowotny: *Eigenzeit. Entstehung und Strukturierung eines Zeitgefühls*, Frankfurt am Main 1993; Henning Schmidgen (Hrsg.): *Lebendige Zeit. Wissenskulturen im Werden*, Berlin: Kadmos 2005; Ders.: »Zukunftsmaschinen: Zeit als Gegenstand der historischen Wissenschaftsforschung«, in: *Rechtsgeschichte* 10 (2007), S. 51–62. Mit der Manipulation und Operationalisierung biologischer Eigenzeit beschäftigen sich insbesondere Hannah Landecker: »Living Differently in Time: Plasticity, Temporality and Cellular Biotechnologies«, in: Jeanette Edwards, Penelope Harvey und Peter Wade (Hrsg.): *Technologized Images, Technologized Bodies*, New York 2010, S. 211–236, und Catherine Waldby: »Banking Time: Egg Freezing and the Negotiation of Future Fertility«, in: *Culture, Health & Sexuality* 17/4 (2015), S. 470–482, Dies.: »Stem Cells, Tissue Cultures and the Production of Biovalue«, in: *Health*: 6 (2002), Heft 3, S. 305–323.

5 Helga Nowotny: *Eigenzeit*, S. 81.

zeitlicher Skalen und Bedingungen sieht, wollen wir dieses Bedingungsverhältnis gerade in seiner Umkehrung betrachten.

Dieses Bedingungsverhältnis gerade in seiner Umkehrung erscheint uns interessant, da (die physikalische) Zeit selbst nicht verändert werden kann und als unabhängige Variable die Hintergrundfolie der Zeitmessung bildet. Das bedeutet, es sind spezifische Labortechniken, die Prozesse verlangsamen, beschleunigen, wiederholen oder anhalten, die Zeit sichtbar sowie mathematisch beschreibbar machen.⁶ Labore sind, aus dieser Perspektive betrachtet, ›artifizielle Zeitkonfigurationsräume‹, die Prozesse in ein technogenes temporales Regime überführen, indem sie natürliche Abläufe in ihrer Zeitlichkeit manipulieren, d.h. sie mittels elaborierter Verfahren operationalisierbar machen, um sie den Experimentalanforderungen entsprechend zu konfigurieren. Durch diese Art der temporalen Manipulation wird die Kinetik von Zeitobjekten, also prozessförmiger Dinge, im Labor mitunter in ganz neue Zustände, Modi und Temporalitäten gebracht, die nicht nur epistemischen, sondern weiteren operativen Zwecken dienlich gemacht werden. Laborwissenschaft lässt sich in diesem Zusammenhang als ein Unternehmen beschreiben, das – ganz im Sinne Gaston Bachelards – immer komplexere, artifizielle temporale Regime ›verwirklicht‹.⁷ Eine solche Verwirklichung eröffnet eine Phänomentechnik des Zeitlichen, die den Gegenstand des Experiments, sein epistemisches Ding, nicht nur zur Erscheinung, in die Anwesenheit bringt, sondern es auch in seiner temporalen Verfasstheit zugänglich macht. Genauer gesagt, und das ist unsere These, bringt die Phänomentechnik des Zeitlichen ihren Gegenstand zur Darstellung, *indem* sie seine Temporalität konfigurierbar und damit *disponibel* macht.

Wir wollen diese These anhand dreier Fallstudien aus unterschiedlichen Disziplinen entfalten, mit denen wir auch eine historische Entwicklung sichtbar machen wollen, die sich als eine Steigerungsthese formulieren lässt: Laborwissenschaft vollzieht sich zunehmend unter Bedingungen artifizierter Temporalitäten und entwickelt immer komplexere Techniken der Beobachtung, Aufzeichnung und Kontrolle der Zeitlichkeit von Prozessen. Die Fallstudien sollen die Forschungsfrage untersuchen, *ob sich Zeitkonfigurationstechniken als Forschungstechnologien (›research technologies‹⁸) verstehen lassen*, die zunächst der Ermöglichung von Experimenten dienen und dann über ihre epistemische Funktion und damit auch über die Laborgrenzen hi-

6 Beispielsweise die technische Beherrschung der Katalyse. Vgl. Benjamin Steininger: *Katalysator – Ein Schlüsselprinzip des 20. Jahrhunderts* (Dissertationsschrift an der Universität Wien), Wien 2014.

7 Vgl. Gaston Bachelard: *Die Bildung des wissenschaftlichen Geistes. Beitrag zu einer Psychoanalyse der objektiven Erkenntnis* (1938), Frankfurt a.M. 1987, S. 111ff. Wir kommen unten noch einmal genauer auf Bachelard zurück.

8 Vgl. Bernward Joerges und Terry Shinn (Hrsg.): *Instrumentation Between Science, State and Industry*, Dordrecht u.a. 2001; Terry Shinn: *Research-Technology and Cultural Change*, Oxford 2008. In der Diskussion werden wir näher darauf eingehen. An dieser Stelle mag allerdings eine kurze terminologische Erläuterung bezüglich unserer scheinbar synonymen Verwendung der Be-

naus Wirksamkeit entfalten. Diese Wirksamkeit lässt sich allerdings nicht kausal, sondern *modal* fassen, und zwar insofern sie neue Wirklichkeitsverhältnisse ermöglichen – in unserem Fall: des kinematischen Sehens, des kinetischen Denkens und des kryogenen Lebens.

1. Zeitdehnung – ›Kleinzeitforschung‹ der 1930er⁹

Kaum flogen zu Beginn des 20. Jahrhunderts motorisierte Flugzeuge, wurde ein bis dahin unbekanntes Phänomen beobachtet. Sie drehten sich um ihre eigene Achse und stürzten vom Himmel. Dieser Flugzustand erhielt einen harmlos klingenden Namen: Trudeln. Da das Trudeln meist zur Zerstörung der Maschine und zum Tod der Insassen führte, flossen ab den 1920er Jahren viele Ressourcen in die experimentelle Untersuchung des Phänomens. Dabei sah man sich primär mit zwei Problemen konfrontiert. Erstens war das Trudeln aufgrund der Gefährdung von Menschen schwer zu reproduzieren, weswegen eigens dafür ein Windkanaltypus entwickelt und gebaut

griffe ›Technik‹ und ›Technologie‹ angebracht sein. Unser Beitrag handelt von Artefakten, Apparaten, Verfahrensweisen und Zusammenhängen, die wir mit Theorien unterschiedlicher Provenienz analysieren und reflektieren: zum einen mit dem oben genannten Konzept der Phänomenotechnik (*phénoménotechnique*) und zum anderen mit dem Konzept der Forschungstechnologien (*research technologies*), so dass beide Bezeichnungen schon durch ihre Übersetzung miteinander in Kollision geraten. Im landläufigen Sinne gilt ›Technologie‹ bisweilen als Inbegriff sämtlicher Verfahren, Artefakte und Arbeitsabläufe, die in bestimmten Herstellungs- und Forschungsprozessen verwendet werden (z.B. ›Biotechnologie‹). In der deutschsprachigen Technikphilosophie wird dagegen mitunter auf einer disjunkten Unterscheidung der Extension von ›Technik‹ oder ›Technologie‹ insistiert (so auch von einer oder einem der beiden anonymen Gutachter*innen dieses Beitrags, denen wir an dieser Stelle sehr für Ihre gründlichen Anmerkungen, kritischen Einwände und anregenden Hinweise danken möchten). So definiert etwa Ropohl an einschlägiger Stelle »*Technologie* als die Wissenschaft von der Technik. Während *Technik* den [...] Bereich der konkreten Erfahrungswirklichkeit bezeichnet, meint *Technologie* die Menge wissenschaftlich systematisierter Aussagen über jenen Wirklichkeitsbereich. Sprachphilosophisch formuliert, ist ›Technik‹ ein objektsprachlicher, ›Technologie‹ dagegen ein metasprachlicher Ausdruck.« (Vgl. Günter Ropohl: *Allgemeine Technologie: Eine Systemtheorie der Technik* (1978), Karlsruhe ³2009, S. 31f.). Mit dieser klassischen Unterscheidung lässt sich jedoch der Gegenstand unserer Studien nicht adäquat fassen, weil sie verlangt, etwas auseinanderzuhalten, was in der technowissenschaftlichen Forschung so nicht mehr zu trennen ist. Denn in technowissenschaftlichen Laboren ist der »Bereich der konkreten Erfahrungswirklichkeit« unabhängig von der »Menge wissenschaftlich systematisierter Aussagen über jenen Wirklichkeitsbereich« weder erfahr- noch sinnvoll beschreibbar; er wäre nicht einmal existent. Umgekehrt sind Forschungstechnologien hier nicht einfach nur ›Wissenschaft von der Technik‹ (als Menge metasprachlicher Aussagen zu Funktion und Gebrauch von Phänomenotechniken); sondern ebenso sehr ›Technik der Wissenschaft‹. Diese Verwicklung scheint uns komplex genug, um sie zum Gegenstand einer eigenen Abhandlung zu machen, weshalb wir auf diese (disjunkt nicht durchhaltbare) Unterscheidung in diesem Beitrag verzichten und uns mit dem Hinweis auf diese Problematik begnügen müssen.

- 9 Kapitel 1 basiert auf einer aktuellen Fallstudie von Sarine Waltenspül zum Trudelturm in Berlin-Adlershof. Vgl. Sarine Waltenspül: »The *Trudelturm* as Camera Tunnel. Of Brown Monuments, Brown Instruments and Spinning Pleasures«, in *Cabinet Magazine* 66 (erscheint 2021).

werden musste. Zweitens stellte sich die zur Erforschung des Phänomens erforderliche Analyse der Bewegungsprozesse und Neigungswinkel des trudelnden Flugzeugs aufgrund der hohen Geschwindigkeit als schwierig heraus, weswegen auf ein aus der Ballistik und Aerodynamik bekanntes Analyseinstrument zurückgegriffen wurde: auf die Hochfrequenzkinematografie.

Die Trudelforschung ist ein Fall für eine neue, artifizielle Form von Temporalität im modernen aerodynamischen Laboratorium. Das gefürchtete Phänomen, das sich am Himmel von alleine einstellt, musste im Labor aufwendig mittels Phänomenotechniken des Zeitlichen erzeugt werden. Versteht man die »Laborzeit« mit Nowotny als etwas, was den technischen Objekten anhaftet und in den Markt und den industriellen Produktionsbereich einfließt,¹⁰ so bedingte die Laborzeit des Trudelversuchs sowohl eine direkte Wirksamkeit, die in der verbesserten Bauweise von Flugzeugen besteht, als auch eine indirekte: »Die Laborzeit fließt in die »Normalwelt« ein«¹¹, insofern die Phänomenotechnik der Hochfrequenzkinematografie über das Labor hinaus neue Wahrnehmungsweisen mitbedingt und Wirklichkeitsverhältnisse schuf.

Artifizieller Wind: Eine kurze Geschichte des Trudelversuchs

Der Trudelturm oder -windkanal wurde zwischen 1934 und 1935 von der Deutschen Versuchsanstalt für Luftfahrt (DVL) errichtet. Die DVL wurde 1912 in Berlin gegründet und gilt mitunter zusammen mit der Aerodynamischen Versuchsanstalt in Göttingen (AVA) als Vorgängerinstitution des heutigen Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR). Bereits vor der Gründung der DVL eröffnete 1909 auf dem Gelände in Adlershof der erste Motorflugplatz Deutschlands, was Adlershof zur »Wiege« der deutschen Motorluftfahrt werden ließ.¹² Insbesondere ab den 1920er Jahren erfuhr die Luftfahrtforschung einen rasanten Aufschwung, der sich in den 1930er Jahren weiter verstärkte. Im Rahmen des Rüstungsprogramms der Nationalsozialisten wurde ein Ausbau der aerodynamischen Forschung beschlossen, der den Bau dreier Anlagen ermöglichte: des Trudelturms, des schallgedämpften Motorenprüfstands und des großen Windkanals, die heute als technische Denkmale geschützt sind und den »Aerodynamischen Park« bilden.¹³

Der Trudelturm ist ein Windkanal, in dem die Luft nicht horizontal wie in anderen Windkanälen, sondern vertikal strömt. Sie wurde von einem unter der Decke angebrachten Propeller von unten nach oben gesaugt, wobei die Form des Kanals dem

10 Nowotny: *Eigenzeit*, S. 94.

11 Ebd., S. 95.

12 Siehe bspw. Kurt Graichen u.a.: *Technische Denkmale der Luftfahrtforschung in Berlin-Adlershof*, Berlin 2012, S. 3.

13 Vgl. <https://www.hu-berlin.de/de/ueberblick/campus/adlershof/ueberblick/geschichte/standards> eite (aufgerufen: 28.11.2019).

Strömungsverlauf der Luft im Inneren folgt (Abb. 1). Aus einem undatierten Bericht zum »Überdruck-Trudelwindkanal der DVL« (zwischen 1936–39) geht hervor, dass Modellversuche unerlässlich waren, sollte die Untersuchung des Trudelns »ohne Gefährdung von Menschen und Material«¹⁴ erfolgen. Nachdem die Messungen in normalen Windkanälen aufgrund der erforderlichen Fixierung des Modells keine zufriedenstellenden Ergebnisse geliefert hatten, war man dazu übergegangen, Modelle von Dächern großer Luftschiffhallen fallen zu lassen. Oft reichte jedoch bei diesen Versuchen die Fallhöhe nicht aus, um die Modelle in den stationären Trudelzustand zu versetzen. Die Lösung zur präzisen Untersuchung des Trudelns kam schließlich aus England, wo 1931 in Farnborough der erste Trudelwindkanal gebaut und das Trudeln mittels Filmkamera untersucht wurde. Daraufhin wurde in Deutschland der Überdruck-Trudelturm entworfen. Das freie Trudeln wurde mittels Präzisionsmodellen erzeugt, die dem realgroßen Bezugsobjekts dynamisch ähnlich zu sein hatten. Um die Modelle frei im senkrechten Luftstrom halten zu können, musste sowohl jedes Bauteil in Form und Masseverteilung exakt gebaut, als auch die Luftdichte mittels einer Überdruckanlage verändert werden.¹⁵ Wie aus dem Bericht der DVL hervorgeht, erfolgte die Beobachtung des Trudelns von bloßem Auge, während die schwierig zu erfassenden, weil unvorhersehbar und schnell ablaufenden Trudelbewegungen gefilmt werden mussten, um sie quantifizieren zu können.¹⁶

Artifizielle Zeit: Aerodynamik und »Kleinzeitforschung«

Die Trudelversuche bildeten eine komplexe Experimentalanordnung, die präzise justiert werden musste. Das physikalische Medium Luft hatte sich nicht nur um die skalierten Präzisionsmodelle zu bewegen, wie es auch in anderen Windkanälen der Fall war, sondern die Luftströmung hatte die Modelle in der Luft zu halten, wozu die Luftdichte dem Gewicht der Modelle angepasst werden musste. Diese Dimensionsmanipulationen von Größe und Luftdichte erzeugten eine dem Experiment eigene Zeitlichkeit. Noch schneller als in voller Größe bewegten sich die skalierten Modelle im Luftstrom, folglich noch schneller hatten die Instrumente die Bewegungen zu registrieren. Um das zu gewährleisten, griff man auf optisch-zeitbasierte Messinstrumente zurück: auf Hochfrequenz- oder sogenannte Zeitdehnerkameras.¹⁷

14 Kurt B. Krüger: *Überdruck-Trudelwindkanal der DVL*, undatiertes Bericht, Zentrales Archiv des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt, GOAR/1789, S. 3.

15 Ebd., S. 6–7.

16 Ebd., S. 12–13. Zur Auswertung des aufgenommenen Materials wurde ein Gerät gebaut, auf dessen Mattscheibe der Film projiziert wurde und die Neigungsachsen auf den Einzelbildern abgelesen werden konnten.

17 Zur Funktion unterschiedlicher Funken- und Hochfrequenzapparaturen siehe bspw. W. Ende: »Der Film als Forschungsmittel der Technik«, in: W. Petersen: *Forschung und Technik*, Berlin 1930, S. 435–454.

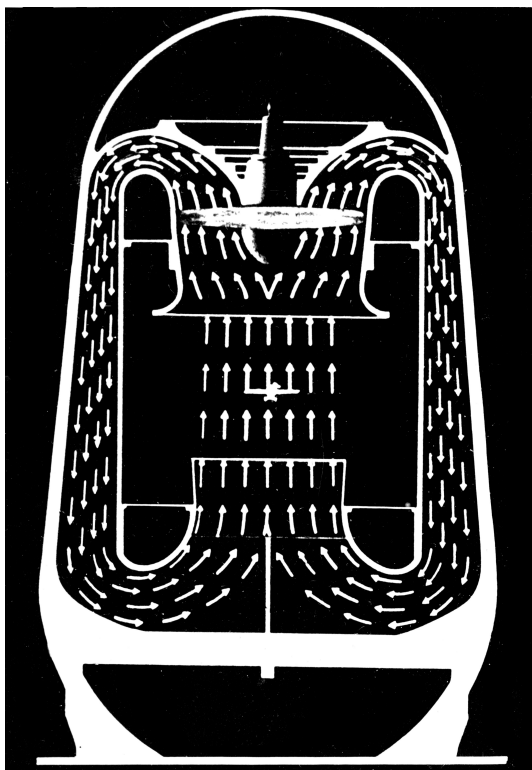


Abb. 1: Vertikalschnitt durch den Trudelwindkanal: Die äußere Form des Kanals folgt dem Strömungsverlauf der Luft im Innern. Bildquelle: Kurt B. Krüger: Der Überdruck-Trudelwindkanal der DVL, undatierter Bericht (Zentrales Archiv des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt, GOAR/1789, o.S.)

Optische Reproduktionstechniken wie Fotografie und Kinematografie wurden seit ihrer Erfindung resp. in »Koevolution« dazu bei der Untersuchung von Fluiden eingesetzt.¹⁸ Dies einerseits, da Kameras berührungslos aufzeichnen und einen Überblick über das gesamte Phänomen geben, wohingegen punktuell-intrusive Messungen nur Ausschnitte registrieren und unerwünschte Verwirbelungen produzieren können; andererseits, da turbulente Phänomene mathematisch lange nicht vollständig zu lösen waren. Strömung und Turbulenzen hinter Objekten wurden mittels Fotografie und Kinematografie in ballistischen und aerodynamischen Versuchen überhaupt erst sicht-, fixier- und analysierbar gemacht. Wo jedoch die Ballistik immer schon schnelle Bewegungen aufzuzeichnen hatte, wurde die Hochfrequenzkinemato-

18 Vgl. Etienne-Jules Marey oder Ludwig Mach.

grafie in dem rasant wachsenden Feld der Aerodynamik erst durch höhere Windgeschwindigkeiten in den Windkanälen, durch die Untersuchung schneller Phänomene wie dem Trudeln, oder grundlegend überhaupt erst durch Verwendung von Luft anstelle von Wasser erforderlich. Denn die Visualisierungs- und entsprechend Messmethoden bei der experimentellen Erforschung in der Strömungsdynamik hängen maßgeblich von den eingesetzten Fluiden ab. Eine Flüssigkeit wie Wasser unterscheidet sich von einem Gas wie Luft durch ihre Zähflüssigkeit und dadurch entsprechend in ihrer ›Zeitlichkeit‹: Das zähflüssigere Wasser kann mit langsamerer Aufnahmefrequenz untersucht werden,¹⁹ wohingegen Luft mittels eines schnelleren technischen Mediums gefilmt werden musste.

Aus dem Bericht der DVL kann geschlossen werden, dass zunächst nur eine Kamera in den Trudelversuchen vorgesehen war: ein von der Seite filmender Thun'scher Zeitdehner (Abb. 2), anhand dessen sich temporale Aspekte optisch-aerodynamischer Forschung aufzeigen lassen. Rudolph Thun hatte bereits in den 1920er Jahren erste Zeitdehner-Kameras entwickelt. 1929 stellte er in der Zeitschrift *Die Kinotechnik* die »Kleinzeitforschung« vor, deren »hauptsächliche[s] Hilfsmittel [...] die Kinematographie«²⁰ sei. Bereits 1928 hatte Ludwig Prandtl – Leiter der eingangs erwähnten AVA, Begründer der Grenzschichttheorie und »Vater der modernen Aerodynamik«²¹ – einen solchen bei der Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft beantragt, um »[r]asche Strömungsvorgänge unter Wasser und in Luft«²² zu untersuchen. Wie aus einem Brief von Thun an Prandtl hervorgeht, war Thun zuvor bereits in der AVA tätig, wobei die Versuche nicht nur der fluiddynamischen, sondern ebenso der kameratechnologischen Erkenntnisgewinnung dienten.²³ Prandtl wiederum unterstützte das größere Forschungsvorhaben Thuns, die Entwicklung von Zeitdehner-Kameras in Deutschland zu zentralisieren.²⁴

Im Falle des Trudelturms schrieben sich die Zeitdehner regelrecht in die Versuchseinrichtung ein. Der Thun'sche Zeitdehner war beim Entwurf bereits eingeplant. Er filmte die Modelle über einen Spiegel und auf dem Steuerpult gab es mehr Knöpfe und Schalter zur Bedienung desselben als für den Kompressor und die Schleusentür (Abb. 3). Aus einem späteren Bericht der DVL von 1942 geht ferner

19 Vgl. Mario Schulze und Sarine Waltenspil: »From Images of Lines to Images of Particles. The Role of the Film Camera in Flow Visualization«, in: *Yearbook of Moving Image Studies* 4 (2019), S. 166–191.

20 Rudolph Thun: »Kleinzeitforschung unter besonderer Berücksichtigung der kinematographischen Hilfsmittel«, in: *Die Kinotechnik* 11/17 (1929), S. 458–462, hier S. 460.

21 Michael Eckert: *Ludwig Prandtl – Strömungsforscher und Wissenschaftsmanager. Ein unverstellter Blick auf sein Leben*, Berlin, Heidelberg 2017, S. V.

22 Ludwig Prandtl an die Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft, 31.7.1928 (Archiv der Max-Planck-Gesellschaft (AMPG), III/61/1171, fol. 30–31).

23 Thun an Prandtl, 25.2.1928 (AMPG, I/44/1592, fol. 2–4).

24 Vgl. Korrespondenz Prandtl/Thun, 1928 (AMPG, I/44/1592).

hervor, dass eine zweite Kamera in den Trudelturm eingebaut wurde:²⁵ ein AEG-Zeitdehner, eine Weiterentwicklung von Thun, die 80.000 Bilder pro Sekunde aufnehmen vermochte. Er schrieb sich an noch zentralerer Stelle in die Versuchseinrichtung ein, nämlich *in* den Propeller, der die Luft nach oben saugte (Abb. 4). Das Trudeln wurde somit nicht nur mittels Hochfrequenzkinematografie aufgezeichnet, die Kameras wurden durch ihren Einbau auch zu wesentlichen Elementen des Labors und der Trudelwindkanal zum »Kamerawindkanal«. Dabei wird die Zeitlichkeit im Experiment in doppelter Hinsicht rekonfiguriert und manipuliert: erstens auf Ebene des Verhältnisses von Modellen und Bezugsobjekt, was zur Folge hat, dass die Trudelbewegungen im Experiment sich gegenüber dem Trudeln der realen Objekte in höherer Geschwindigkeit vollziehen; zweitens auf medialer Ebene, wobei die Zeitdehnkameras die erste artifizielle (und manipulierte) Zeitlichkeit wiederum relativieren und »korrigieren«, indem sie sie entschleunigen, fixieren und auf diese Weise messbar machen.

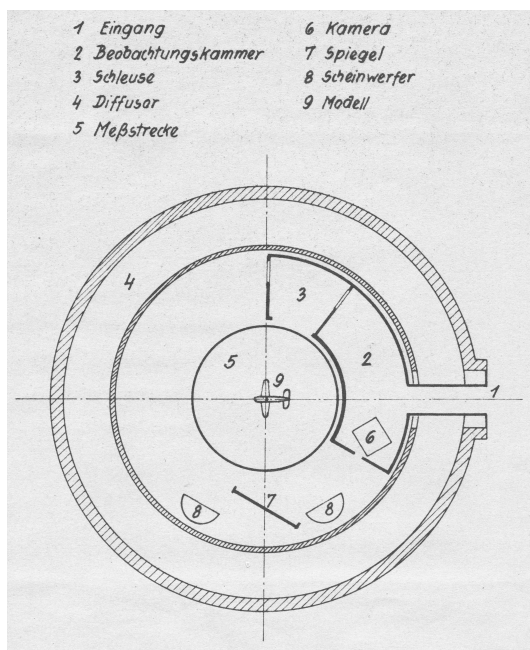


Abb. 2: Horizontalschnitt durch den Trudelwindkanal: Der Thun'sche Zeitdehner filmte die trudelnden Modelle über einen Spiegel. Bildquelle: Krüger: Der Überdruck-Trudelwindkanal der DVL, o.S.

25 Vgl. G. Thiel und A. Huffschild: »Der Trudelwindkanal der DVL«, in: *Jahrbuch der Deutschen Luftfahrtforschung* I (1942), S. 419–431.



Abb. 3: Steuerpult im Trudelwindkanal mit Knöpfen und Reglern zur Steuerung der Schleusentür, der Scheinwerfer, des Greifers für die Modelle und des Zeitdehners. Bildquelle: Krüger: Der Überdruck-Trudelwindkanal der DVL, o.S.

Die Erkenntnisse aus Modell-Trudelversuchen, wie jene aus Berlin Adlershof, wurden mit Großversuchen verglichen,²⁶ wodurch das Trudeln vermieden und die Flugsicherheit verbessert werden konnte. Die spezifische Laborzeitlichkeit stand jedoch auch in Wechselwirkung mit der Entwicklung neuartiger kinematographischer Verfahren und Ästhetiken, die außerhalb des Labors an Bedeutung gewannen. Im Falle des AEG-Zeitdehners lässt sich das am Werbefilm *80 000 Bilder in einer Sekunde* aufzeigen.²⁷ Kurz vor Kriegsausbruch entstanden, wird darin nicht nur der »wissenschaftliche« – also industrielle – Nutzen der Hochfrequenzkinematografie umrissen, sondern es wird in propagandistischer Manier die Ästhetisierung der entschleunigten Zerstörung mit unterhaltenden Stilmitteln verbunden: auf fallende Wassertropfen in *slow-mo* folgen Stabhochspringer und schon Geschosßaufnahmen in AEG-super *slow-mo*. Von der Phänomentechnologie des Zeitdehners im Trudelkanal scheint es ein kleiner Schritt zum nationalsozialistischen Bildprogramm zu sein, das gleichermaßen fliegende Geschosse²⁸ und stählerne Körper bei olympischen Festspielen zelebrierte.²⁹ Die Hochfrequenzkinematografie trat damit nicht nur in den Dienst der

26 Vgl. ebd., S. 431.

27 *80 000 Bilder in einer Sekunde*, AEG Presse-, Lehrmittel- und Vortragsdienst (Berlin-Grunewald), 16mm, ca. 1938 (Stiftung Deutsches Technikmuseum Berlin: F076, I.2.060 F – FA AEG-Telefunken).

28 Vgl. Sarine Waltenspül: »Reusable and Unreusable Films«, in: *Isis 2* (2021) [im Druck].

29 Vgl. Andreas Becker: »Propaganda in Zeitlupe: Leni Riefenstahls *Olympia*-Filme«, in: Robert Gugutzer und Barbara Englert (Hrsg.): *Sport im Film*, Konstanz 2014, S. 125–138.

Rüstungsforschung und Entwicklung von Massenvernichtungswaffen, sondern ermöglichte die (Neu)Konfiguration eines Wirklichkeitsverhältniss, das Walter Benjamin in seinem Aufsatz zum *Kunstwerk im Zeitalter seiner technischen Reproduzierbarkeit* (1939) als »Ästhetisierung der Politik« beschrieb.³⁰

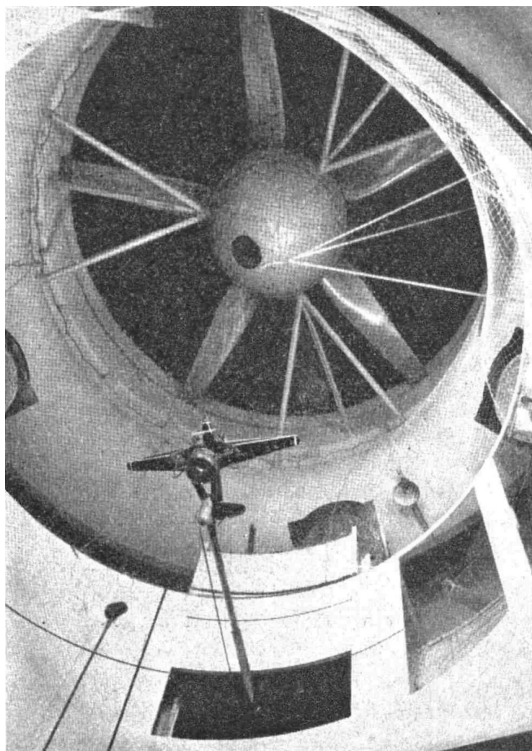


Abb. 4: In den Propeller eingebauter AEG-Zeitdehner, der die trudelnden Modelle mit bis zu 80.000 Bildern pro Sekunde zu filmen vermochte. Bildquelle: G. Thiel und A. Huffschmid: »Der Trudelwindkanal der DVL«, in: *Jahrbuch der Deutschen Luftfahrtforschung I* (1942), S. 419–431, hier 420.

30 Walter Benjamin: »Das Kunstwerk im Zeitalter seiner technischen Reproduzierbarkeit« (1939), in: Ders., *Gesammelte Schriften*. Band I, Frankfurt am Main 1980, S. 499; dort verzeichnet Benjamin auch die Dehnung der urbanisierten Zeit durch den Film: »Unsere Kneipen und Großstadtstraßen, unsere Büros und möblierten Zimmer, unsere Bahnhöfe und Fabriken schießen uns hoffnungslos einzuschließen. Da kam der Film und hat diese Kerkerwelt mit dem Dynamit der Zehntelsekunden gesprengt, so daß wir nun zwischen ihren weitverstreuten Trümmern gelassen abenteuerliche Reisen unternehmen. Unter der Großaufnahme dehnt sich der Raum, unter der Zeitlupe die Bewegung.«

2. Vom kinematischen zum kinetischen Denken

Blicken wir zurück ins Labor: Am Trudelturm zeigt sich, dass die Erforschung fluider, dynamischer Prozesse Zeittechniken wie die Kinematografie erforderte. Diese Zeittechniken betrachten jedoch die untersuchten Abläufe ›von außen‹, also beschreibend und aufzeichnend wie der Begriff ›kinematographisch‹ anzeigt. In diesem Sinne sind sie ›kinematisch‹, da sie das ›wie‹ der Bewegung sichtbar machen, aber nicht das ›warum‹. Der Einteilung von William Thomson (1. Baron Kelvin) und Peter Guthrie Tait in ihrer bis heute maßgebenden Abhandlung *Treatise on Natural Philosophy* von 1879 folgend, charakterisiert die Kinematik die rein geometrische Beschreibung der Bewegung von Körpern:

»We adopt the suggestion of AMPÈRE, and use the term *Kinematics* for the purely geometrical science of motion in the abstract. Keeping in view the properties of language, and following the example of the most logical writers, we employ the term *Dynamics* in its true sense as the science of which treats the action of *force*, whether it maintains relative rest, or produces acceleration of relative motion. The two corresponding divisions of Dynamics are thus conveniently entitled *Statics* and *Kinetics*.«³¹

Die Frage, die sich jedoch der Forschung stellt, ist das ›warum‹ der Bewegung. Mit dieser Frage wechselt die Forschung nicht nur in den Bereich der Kinetik, sondern sie untersucht über das Ablaufende hinaus die Gründe des Bewegungsverhaltens und dessen Veränderungen. Damit werden Bewegungsabläufe zu analysierbaren und manipulierbaren Prozessen. In der Mechanik sind dies die Kräfte, die auf die Bewegung von Objekten unter Berücksichtigung ihrer Masse wirken. Die rein geometrische, abstrakte Perspektive wandelt sich in eine physikalisch-prozessuale. Auf Zeittechniken gewandt heißt dies, dass sie in die technisch wie epistemisch komplexen Manipulationssettings der Experimente eingebunden werden, um das ›warum‹ des Prozessualen zu erforschen. Damit werden, so unsere These, immer komplexere Prozesse erforschbar; und zwar je komplexer die Zeittechniken und ihre Einbindungen in das Experiment werden. Der Trudelturm veranschaulicht dieses Zusammenspiel von Kinematographischem und Dynamisch-Kinetischem, die beide wechselseitig voneinander abhängen: Um die Gründe des Trudelns zu erforschen, braucht es einerseits eine eigene, im ›Labor Trudelturm‹ hergestellte und disponibel gemachte Zeitlichkeit, die andererseits entsprechende kinematographische Techniken der Entschleunigung und Aufzeichnung temporaler Abläufe erfordert. Was ›kinematographiert‹ wird, ist die kinetische Verfasstheit einer artifiziellen Bewegung, die ihrerseits einen

31 Lord Kelvin und Peter Guthrie Tait: *Treatise on Natural Philosophy*, Part I (1878), London u.a. 1912, hier S. vi (Hervorhebungen im Text). Diese Einteilung hat auch Immanuel Kant in der Einleitung seiner *Metaphysische Anfangsgründe* treffend beschrieben. Vgl. Immanuel Kant: *Metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaft* (1786), hrsg. von Wilhelm Weischedel, Hamburg 1983.

›natürlichen‹ Prozess modelliert, indem der Trudelturmvorgang einen realen Flugzeugabsturz simuliert, dessen zeitlicher Ablauf über die medientechnische Verlangsamung des physikalisch beschleunigten Laborexperiments *en détail* sichtbar und schließlich beherrschbar gemacht wird. Zusammen konstituieren die kinematographischen Zeittechniken und die artifiziellen Zeitkonfigurationsräume der Labore das Zeitregime zur Erforschung des Kinetischen.

3. Zeittransformation – ›Stop and flow‹-Forschung der 1920er bis 1940er³²

Es mag Zufall sein oder nicht, dass die Entwicklung der Kinematografie in eine Zeit fällt, in der sich auch das ›kinetische Denken‹ der Chemie maßgeblich entwickelte. Im Zuge dieser Entwicklung gerieten Prozesse ins Zentrum der experimentellen Forschung, die wesentlich schwerer zu erforschen sind als das Trudeln. Nicht nur, weil sie sich auf sehr kleinen räumlichen Skalen vollziehen – wie im Molekularen der Chemie und der Biologie – oder weil sie zu schnell sind, um mit Hilfe von Zeitdehner-Techniken sichtbar und messbar gemacht zu werden; sondern, weil sie eine weit aus tiefer greifende Manipulation von Zeitlichkeit im Experiment erfordern. Der Chemiehistoriker Viktor Kristman hat das ›kinetische Denken‹ der organischen Chemie Mitte des 19. Jahrhunderts beschrieben, das mit dem Interesse an katalytischen Prozessen Einzug hielt und das dafür Anleihen bei der klassischen Mechanik nahm:

»Dementsprechend wurden aus der Mechanik in die Chemie die folgenden Grundbegriffe der chemischen Kinetik eingeführt: ›Reaktionsgeschwindigkeit‹ (Analogie zur mechanischen Geschwindigkeit), ›Reaktionszeit‹ (Analogie zur Bewegung eines Körpers), ›Affinitätskräfte‹ als die Ursache der Reaktion (Analogie zu mechanischen Kräften, die Ursache der Bewegung der mechanischen Körper sind), chemisches Reaktionsgleichgewicht (Analogie zum Gleichgewicht der mechanischen Kräfte).«³³

Das ›warum‹ chemischer und biochemischer Reaktionen lässt sich jedoch nur dann experimentell untersuchen, wenn folgender Eingriff in das Prozessuale vorgenommen wird: Ein Gemisch muss in einen artifiziellen Ungleichgewichtszustand gebracht werden – dies ist die Leistung geschickter experimenteller Settings. Was dann im Zeitkonfigurationsraum des Labors beobachtbar wird, ist die Entwicklung in einen Gleichgewichtszustand, woraus Rückschlüsse auf die Zusammensetzung wie das kinetische Verhalten gewonnen werden können.

32 Kapitel 3 basiert auf einer Fallstudie von Gabriele Gramelsberger zu *Continuous Culture Techniques*, die in einem größeren Kontext bereits veröffentlicht wurde. Vgl. Gramelsberger: »Continuous Culture Techniques«, a.a.O.

33 Viktor Kritisman: »Ludwig Wilhelmy, Jacobus H. van 't Hoff, Svante Arrhenius und die Geschichte der chemischen Kinetik«, in: *Chemie in unserer Zeit* 6 (1997), S. 291–300, hier S. 291.

Ludwig Wilhelmy, beispielsweise, studierte 1850 die katalytische Reaktion der durch Zugabe von Essig verursachten Inversion von Saccharose (Haushaltszucker) in Glucose und Fructose.³⁴ Dazu nutzte er die damals neue Labortechnik der Polarimetrie, mit der sich der Drehwinkel der Schwingungsebene von linear polarisiertem Licht messen lässt. Möglich ist dies, da bei der Spaltung von Zucker sich der Drehwinkel nach links verschiebt und damit die Konzentration von Glucose und Fructose anzeigt, die einem Gleichgewichtszustand zustrebt. Damit kann Wilhelmy durch die Messungen mit einer Stoppuhr die Reaktionsgeschwindigkeitskonstante k der Inversion bestimmen und eine erste, kinetische Gleichung formulieren.³⁵ Die Polarimetrie übersetzt das Fortschreiten einer chemischen Reaktion in die mechanische Analogie des Drehwinkels der Schwingungsebene von linear polarisiertem Licht. Diese Zeittechnik wurde auch 1913 von Leonor Michaelis und Maud Menten genutzt, um Enzymreaktionen zu untersuchen und ihre berühmte Gleichung und Theorie zu formulieren, die bis heute Bestandteil jedes biochemischen Lehrbuchs ist.³⁶

Entscheidend ist hier, dass das kinetische Denken mehr leistet, als Prozesse kinematisch darzustellen. Es erschafft eine artifizielle Zeitontologie, die – wie im Falle der organischen Chemie – auf das Konzept des Gleichgewichtszustandes (Equilibrium) bezogen ist. Zeit wird hier nicht verlangsamt reproduziert, sondern deren Konfiguration konstituiert das Experiment selbst. Im Falle des Experiments von Michaelis und Menten beispielsweise waren die Eingriffe so umfassend, dass sie die Kinematik des Ablaufes fundamental veränderten – von komplex (nicht-linear) zu linear –, um die Kinetik erforschen zu können.³⁷ In diesem Sinne markiert die entstehende »Chemie der Zeit« von Wilhelmy bis zu Michaelis und Menten den Übergang vom »Kinematischen« zum »Kinetischen«, auch wenn zu Beginn Reaktionsgeschwindigkeiten noch statisch in Reagenzgläsern untersucht und die zeitlichen Vorgänge nur indirekt, von außen mit Stoppuhren gemessen wurden. Dadurch ließen sich nur langsam ablaufende Reaktionen im Bereich von Minuten und Stunden untersuchen.

34 Ludwig Wilhelmy: »Über das Gesetz, nach welchem die Einwirkung der Säuren auf den Rohrzucker stattfindet«, in: *Poggendorffs Annalen der Physik und Chemie* 81 (1850), S. 413–433 und S. 499–526.

35 Vgl. Kritsman: »Ludwig Wilhelmy, Jacobus H. van 't Hoff, Svante Arrhenius und die Geschichte der chemischen Kinetik«, S. 291f.

36 Vgl. Leonor Michaelis, Maud L. Menten: »Die Kinetik der Invertinwirkung«, in: *Biochemische Zeitschrift* 49 (1913), S. 333–369.

37 Eine detaillierte Analyse der Zeitmanipulationen im Experiment von Michaelis und Menten findet sich in Gabriele Gramelsberger: »Figurationen des Phänomenotechnischen«, in: *Jahrbuch Technikphilosophie* (2016), S. 157–167 sowie Gabriele Gramelsberger: »Continuous Culture Techniques as Simulators for Standard Cells. Jacques Monod's, Aron Novick's and Leo Szilard's Quantitative Approach to Microbiology«, in: *History and Philosophy of the Life Sciences* 40 (2018) Heft 23: doi: 10.1007/s40656-017-0182-x.

Im 20. Jahrhundert ändert sich die Situation aufgrund zunehmend komplexer werdenden Zeittechniken auch in der Chemie. 1923 schlagen Hamilton Hartridge und Francis Roughton eine neue Experimentalmethode vor, mit der sich wesentlich schnellere Reaktionen im Sekundenbereich erforschen lassen.³⁸ Ihre Idee ist, den Zeitverlauf einer Reaktion in die Länge einer vertikalen Beobachtungsröhre von 1 bis 30 cm zu transformieren. Dazu konstruierten sie einen neuen Apparat (*constant flow method*):

»We have sought to devise a mechanical process of mixing together two solutions which must be so rapid, and yet so efficient in action, that complete mixture would be obtained before any appreciable degree of chemical action could have taken place. [...] The basic conditions of an apparatus for measuring the velocity of rapid chemical reactions in the liquid phase are therefore: [...] it is necessary that the thorough mixture of the two solutions should be completed in a time short in comparison with that taken by the chemical reaction [...] and] that all parts of the fluid should travel with uniform velocity down the observation tube.«³⁹

Zwei Gemische werden mit Spritzen so in eine Mischkammer eingespritzt, dass sie sich möglichst schnell vermengen und dann entlang der Beobachtungsröhre fließen. Mit einem beweglichen Spektroskop lässt sich nun die optische Dichte des Gemischs messen, die Aufschluss über den Fortgang der Reaktion gibt. Die Reaktionsgeschwindigkeit wird auf Grundlage der konstanten Fließgeschwindigkeit und des Durchmessers der Röhre berechenbar. »Supposing the rate of flow down the observation tube to be 100 cms per second, then the first observation can be made in one hundredth of a second after the reaction.«⁴⁰ Der zeitliche Ablauf wird in räumliches Verhalten transformiert, dessen artifizielle Zeitlichkeit (Fließgeschwindigkeit) Aufschluss über die chemische Kinetik ermöglicht. In anderen Worten: Die chemische Reaktionsgeschwindigkeit wird zur messbaren »Spur« im Sinne einer abgeleiteten Größe aus der Fließgeschwindigkeit und dem Durchmesser des Rohres.

1943 entwickelte Britton Chance den Apparat von Hartridge und Roughton für das Studium von Enzymreaktionen weiter (*accelerated stopped-flow method*). Das Interessante an Chances Apparat war, dass extrem schnelle Reaktionen gemessen und visuell zugänglich gemacht werden konnten: »the kinetic curve was obtained di-

38 »But in the case of reactions so rapid that equilibrium is reached within a second or less, such methods [... e.g., polarimetry] break down completely, and it is necessary to search for new modes of attack.« Hamilton Hartridge, Francis J.W. Roughton: »A Method of Measuring the Velocity of Very Rapid Chemical Reactions«, in: *Proceedings of the Royal Society of London*, Ser. A, 104 (1923), S. 376–394, hier S. 377.

39 Ebd., S. 378.

40 Ebd., S. 380.

rectly as a trace, which could be photographed.«⁴¹ Die Übersetzung in ein photographisches Bild ist zu jener Zeit technisch jedoch mühsam.

»At the place of observation, a beam of light of suitable wave length passes through the reaction mixture to a photocell. The change in optical density, due to the reaction upon mixing, measures the extent of reaction which takes place during the time of flow from mixing chamber to the mean observation point. The [electrical] photocell output is amplified and photographically recorded from the screen of a cathode ray oscilloscope.«⁴²

Viele Versuche im Vorfeld der Experimente waren nötig, um Limitierungen durch den Einfluss des Mischens der Reaktanden – mit Chances Apparat wurde ein nahezu ideales Mischverhältnis von 98 Prozent erreicht –, des Absorptionsverhaltens des Gemischs oder der Intensität der Lichtquelle auf die Qualität der Messungen festzustellen. Aber auch die Sensitivität der Photozellen sowie der Einfluss des elektrischen Widerstands der Photozellen auf deren Sensitivität mussten aufwendig ermittelt werden, da sie einen direkten Einfluss auf die Dokumentation der Ergebnisse hatten. Doch der Aufwand lohnte sich, insofern Chance die Theorie von Michaelis und Menten nicht nur mit seinen experimentellen Ergebnissen bestätigen konnte, sondern mithilfe der experimentellen Daten eine der ersten Computersimulationen durchführen konnte. »While previous data suggest the validity of the Michaelis theory, a much more convincing proof is furnished by the data on the superposition of the differential analyzer (see »Appendix«) and direct experimental curves.«⁴³

Die im Appendix angesprochenen Berechnungen auf dem mechanischen *Differential Analyzer* der Moore School der Universität von Pennsylvania Anfang der 1940er Jahre lieferten erstaunlich gute Ergebnisse: »Remarkably good agreement is obtained in view of the possible error in all experimental quantities required to determine the mathematical solution.«⁴⁴ Chance wiederholte die Simulation einige Jahre später mit einem selbstgebauten elektrischen Analogrechner, der die Ergebnisse auf dem Bildschirm einer Kathodenstrahlröhre ausgab.⁴⁵ Beide Methoden, die ex-

41 Keith Dalziel: »An Apparatus for the Spectrokinetic Study of Rapid Reactions«, in: *Biochemical Journal* 55 (1953), S. 79–90, hier S. 79. Britton Chance: »The kinetics of the enzyme-substrate compound of peroxidase«, in: *Journal of Biological Chemistry* 151 (1943), S. 553–577. »The requisite extension of the time range and economy of material were secured with an accelerated flow method and a very sensitive reaction meter with a high speed of response: a manual syringe drive gave an initial impetus to the reactants; and, the subsequent variations of flow velocity, and therefore of time interval, and the corresponding variations in the extent of reaction, measured photoelectrically at a fixed distance from the mixing chamber, were continuously recorded with a double-beam cathode-ray tube.« Dalziel: »An Apparatus for the Spectrokinetic Study of Rapid Reactions«, S. 79.

42 Eugenia Traver: *The kinetic analysis of some fast biochemical reactions*, (Lecture and Review Series, No. 52–10), Naval Medical Research Institute, Bethesda, Maryland, 18. November 1952, S. 1–21, hier S. 3.

43 Chance: »The kinetics of the enzyme-substrate compound of peroxidase«, S. 575.

44 Ebd., S. 569.

45 Britton Chance: »The mechanism of catalase action. II. Electric analog computer studies«, in: *Archives of Biochemistry and Biophysics* 37 (1952), S. 322–339.

perimentell-spektrometrische und die Computersimulation ermöglichten es in den 1940er Jahren, nicht nur den Equilibriumszustand, sondern auch die flüchtigen Prozesse von Enzymreaktionen zu untersuchen (*»transient kinetic studies«*). Dies eröffnete das neue Forschungsfeld der Biochemie und deren Studium des Metabolismus von Organismen.

»To chemists, the terms »reaction mechanism« and »catalysis« imply events that involve changes in covalent binding. To those interested in the molecular basis of enzyme action or in the transduction of energy and signals in biological systems, the study of reaction mechanisms has a much wider meaning. [...] Classical enzymology has developed from the investigations into metabolism and biosynthesis. The principal interest was the synthesis and degradation of compounds in the presence of catalytic concentrations of enzymes, which are negligible compared with those of the metabolites.«⁴⁶

4. Vom kinetischen Denken zur Aufhebung des Zeitlichen

Die *»stop and flow«*-Forschung der 1920er bis 1940er entwickelte sich in den 1950er Jahren zu *»continuous culture technologies«* weiter, die erste quantitative, genetische Untersuchungen ermöglichten und das neue Feld der Molekularbiologie mitkonstituierten. Doch die Molekularbiologie untersucht nicht nur die Kinetik metabolischer Prozesse, sie will die genuin zeitlichen Prozesse des Lebens selbst – Entwicklung, Wachstum, Altern – untersuchen und kontrollieren. Die Fähigkeit, Wachstums- und Alterungsprozesse von Zellen, also die Temporalität biologischer Entitäten zu kontrollieren, beruht auf einer Zeittechnik, welche nicht nur für die Biotechnologie, sondern für nahezu alle Bereiche von grundlegender Bedeutung ist, die in operativer Weise mit dem Lebendigen befasst sind: Sie alle sind kaum mehr denkbar ohne den Einsatz *künstlicher Kälte*. In Bezug auf biologisches Leben hat die Tieftemperaturtechnik ein enormes Spektrum an Anwendungsmöglichkeiten eröffnet, deren weitreichendste wohl die Kryokonservierung lebendigen Materials in Form von DNA, Zellen und Geweben ist. Die Kältespeicherung organischer Substanzen, etwa in flüsigem Stickstoff bei -196°C , erlaubt ihre zeitlich potentiell unbegrenzte Erhaltung, und zwar nicht nur hinsichtlich ihrer strukturellen, sondern auch ihrer vitalen Eigenschaften. In künstliche Kältestarre versetzt, gehen alle organischen Substanzen in einen festen Aggregatzustand über. Sämtliche Stoffwechselvorgänge kommen zum Stillstand, womit die Eigenzeit einer biologischen Entität angehalten wird. Während das Leben um sie herum (jenseits des Stickstoffbehälters) weitergeht, erfolgt innerhalb der kryogenen Zeitkapsel keinerlei Veränderung mehr – bis zum Moment ihrer

46 Herbert Gutfreund: »Rapid-flow techniques and their contributions to enzymology«, in: *Trends in Biochemical Sciences* 11 (1999), S. 457–460, hier S. 459.

Wiedereröffnung. Fachkundig aufgetaut, erwacht das Organische neu zum Leben – unverändert in genau dem Zustand, in dem es eingefroren wurde.

Durch den Prozess des Einfrierens werden die Lebensfunktionen damit im Hegel'schen, also dreifachen Sinne aufgehoben: sie werden negiert, indem ihr Vollzug *suspendiert* wird; doch werden sie zugleich erhalten, also *aufbewahrt*; und dabei in eine neue Existenzweise gebracht, auf eine *neue Stufe gehoben*, und zwar indem sie neue Funktionen erhalten. Diese können sehr unterschiedlicher Art sein. So lassen sich Keimzellen menschlicher wie nichtmenschlicher Lebewesen für Reproduktionsziele oder biokonservatorische Zwecke ebenso speichern wie Bodenproben, Blut und genetisches Material für umwelttechnische, forensische und epidemiologische Untersuchungen oder standardisierte Zelllinien für die molekularbiologische Forschung und biotechnologische Zwecke. Im Rahmen des modernen Biobankings – mit »Kryobanken« als spezifisch tieftemperaturbasierten Einrichtungen von »Lebenssammlungen«⁴⁷ – werden diese neuen Funktionen auch zunehmend als Potentiale bzw. Optionswerte für künftige Verwendungszusammenhänge, d.h. als mögliche Mittel für noch unbekannte Zwecke gefasst.⁴⁸

5. Zeitkonservierung – Kryobiologische Forschung seit den 1950er Jahren⁴⁹

Die Fähigkeit, die Zeit des Lebens auf zellulärer Ebene anzuhalten, um sie zu einem beliebigen Zeitpunkt wieder fortsetzen zu können, ist das Resultat einer technowissenschaftlichen Entwicklung, die etwa Mitte des 19. Jahrhunderts beginnt und Mitte des 20. Jahrhunderts zur Etablierung einer neuen wissenschaftlichen Disziplin führte: der Kryobiologie. Als Wissenschaft vom Verhalten biologischer Körper und Substanzen bei tiefsten Temperaturen besteht die zentrale Frage dieser neuen »science of frosty life«⁵⁰ darin, wie Lebendiges durch den Gebrauch künstlicher Kälte erfolgreich in den Zustand der *suspended animation* versetzt und zu einem beliebigen

47 Nicole C. Karafyllis (Hrsg.): *Theorien der Lebenssammlung: Pflanzen, Mikroben und Tiere als Biofakte in Genbanken*, Freiburg 2018. Zur Diskussion siehe Alexander Friedrich: »All the bank-able species« – Zwischen Bewahren und Nutzen: Biobanken auf der Suche nach ihrem Paradigma«, in: *Jahrbuch Technikphilosophie* 6 (2020), S. 235–151.

48 Ebd. Siehe dazu auch Alexander Friedrich und Christoph Hubig: »Kryosphäre«, in: Andreas Brenneis u. a. (Hrsg.): *Technik – Macht – Raum: Das Topologische Manifest im Kontext interdisziplinärer Studien*, Wiesbaden 2018, S. 159–184.

49 Kapitel 5 basiert in Teilen auf Alexander Friedrich und Stefan Höhne: »Frischeregime. Biopolitik im Zeitalter der kryogenen Kultur«, in: *Glocalism: Journal of Culture, Politics and Innovation* 1–2 (2014), S. 1–44 sowie Alexander Friedrich: »Die Vergänglichkeit überlisten – Leben und Tod in kryogenen Zeitregimen«, in: *Jahrbuch Technikphilosophie* 2 (2016), S. 35–56.

50 Alan Sterling Parkes: »Cryobiology«, in: *Cryobiology* 1 (1964) Heft 1, S. 3.

Zeitpunkt wieder reanimiert werden kann.⁵¹ Der Zustand des suspendierten Lebens, das seine Vitalfunktionen unter Abwesenheit sämtlicher messbarer Lebenszeichen erhält, ist mit dem Beginn der Neuzeit zunehmend zum Gegenstand der wissenschaftlichen Neugier geworden.⁵² Während diese Fähigkeit etwa an bestimmten Wurmarten oder Froschlaich wiederholt beobachtet wurde, verliefen Tiefkühlexperimente an Insekten und größeren Lebewesen – zum Verdruss der Forscher und Pech der Tiere – lange Zeit erfolglos. Damit Kälte als technisches Medium für der Konservierung des Lebendigen genutzt werden konnte, waren zunächst zwei grundlegende Herausforderungen zu bemeistern: (1) die Produktion tiefster Temperaturen musste gewährleistet und (2) die tödliche Wirkung des Frosts vermieden werden. Die Lösung beider Probleme gestattete schließlich die Aufhebung biologischer Zeit.

Artifizielle Temperaturen: Nahe des Nullpunkts

Elementar möglich wurden die Fortschritte der Kryobiologie durch die Fähigkeit zur Produktion von Flüssiggasen, sogenannter Kryogene. Deren Herstellung gelang infolge der technowissenschaftlichen Anstrengung, den absoluten Nullpunkt ($-273,15^{\circ}\text{C}$ bzw. 0K) zu erreichen. Zwar ist dieser Punkt niemals vollends erreichbar, da jeder Messvorgang dem Gemessenen stets ein gewisses Quantum an Energie zuführt, sodass die Distanz zum Nullpunkt unüberwindlich bleibt. Als finales Etappenziel galt daher zunächst: die Verflüssigung von Helium und die größtmögliche Annäherung an null Kelvin. Am 10. Juli 1908 gelang es dem Physiker Heike Kamerlingh Onnes in seinem Tieftemperaturlabor an der Universität Leiden erstmals, flüssiges Helium herzustellen und es auf $-272,3^{\circ}\text{C}$ abzukühlen. Dafür hatte Onnes eine fünfstufige Kaskade von Kältekreisläufen aus Kompressoren und Wärmetauschern konstruiert, um Gase mit sehr niedrigen Siedepunkten durch die Kühlung von Gasen mit höheren Siedepunkten schrittweise zu verflüssigen. Dem Tieftemperaturphysiker ging es dabei vor allem darum, die molekularen Theorien thermodynamischer Systeme seines Mentors Johannes Diderik van der Waals experimentell zu prüfen.

-
- 51 David Keilin: »The Leeuwenhoek Lecture – The problem of anabiosis or latent life: history and current concept«, in: *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 150 (1959) Heft 939, S. 149–191. Parkes: »Cryobiology«, a.a.O.
- 52 So sind entsprechende Beobachtungen und Experimente zum Einfluss von Kälte auf Lebensprozesse etwa von Bacon, Hunter, Spallanzani und anderen frühneuzeitlichen Forschern dokumentiert. Vgl. Keilin: »The problem of anabiosis or latent life«, a.a.O. Gerald J. Gruman: »A History of Ideas about the Prolongation of Life: The Evolution of Prolongevity Hypotheses to 1800«, in: *Transactions of the American Philosophical Society* 56, (1966) Heft 9, S. 1–102. Friedrich: »Die Vergänglichkeit überlisten«, a.a.O.

fen und zu präzisieren.⁵³ Van der Waals hatte die nach ihm benannte Gleichung aufgestellt, um das Gesetz *idealer* Gase, das keinerlei Wechselwirkung von Teilchen vorsieht, für *reale* Gase mit atomaren Wechselwirkungen anwendbar zu machen. Die Gleichung erlaubt annäherungsweise Vorhersagen über Verflüssigungsvorgänge. Onnes aber wollte Exaktheit: »Door meten tot weten« – »Durch Messen zum Wissen« war das ausgewiesene Motto seines Laboratoriums, das er zu einer fabrikartigen Assemblage aus mehreren selbstständig arbeitenden Labors und Werkstätten von Technikern und Handwerkern (darunter Glasbläsern für die Fertigung der benötigten Vakuumgefäße) komponiert und bald zur weltweit führenden Manufaktur für Präzisions- und Hochleistungstechnik der Tieftemperaturforschung ausgebaut hatte.⁵⁴ Als ein Prototyp dessen, was später *Big Science* heißen wird, wurde seine Verfahrenstechnik – wie auch Onnes' unternehmerisches Geschick – wegweisend für die nun einsetzende industrielle Flüssiggasproduktion.

Artifizielle Flüsse: Ein- und Auftauen, oder ›stop and flow‹

Onnes' Erfolg, dem bis heute immer weitere Annäherungen an den absoluten Nullpunkt folgten, führte zur Entdeckung und genaueren Erforschung der Verhaltensweisen von Materie nahe dem Nullpunkt, etwa der Supraleitung.⁵⁵ Die nun zuverlässig verfügbare Tieftemperaturtechnik wurde auch bald für biologische Forschungen und medizinische Anwendungen eingesetzt. Bereits der Physiker und Mediziner Raoul Pictet, dem 1877 erstmals die Luftverflüssigung gelang,⁵⁶ experimentierte in seinem Laboratorium mit der Wirkung von Flüssiggasbädern auf den menschlichen Organismus.⁵⁷ Eine erste systematische Auswertung der organischen Kälteforschung der vergangenen zwei Jahrhunderte unternahm in den 1930er Jahren der Jesuitenpater, Biologieprofessor und promovierte Physiker Basile Joseph Luyet. Gemeinsam mit Schwester Marie Pierre Gehenio publizierte er 1940 die Studie *Life and Death at Low Temperatures*. Sie wurde zum Standardwerk des sich nun formierenden Forschungsfeldes der Kryobiologie. Das Wissen aller bisher dokumentierten biologi-

53 Vgl. Dirk van Delft: »The Cryogenic Laboratory of Heike Kamerlingh Onnes: An Early Case of Big Science«, in: Kostas Gavroglu (Hrsg.): *History of Artificial Cold, Scientific, Technological and Cultural Issues*, Dordrecht 2014, S. 65–81, hier S. 66. Aleksandr Yakovlevich Kipnis, Boris Efimovich Yavelov und John Shipley Rowlinson: *Van der Waals and molecular science*, Oxford 1996.

54 Dirk van Delft: *Freezing Physics: Heike Kamerlingh Onnes and the Quest for Cold*, Amsterdam 2007, S. 172ff. Heike Kamerlingh Onnes: *De beteekenis van het quantitatief onderzoek in de natuurkunde*, Leiden 1882. Arno Laesecke: »Through measurement to knowledge: The inaugural lecture of Heike Kamerlingh Onnes (1882)«, in: *Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology* 107 (2002), S. 261–277.

55 Kurt Mendelssohn: *Die Suche nach dem absoluten Nullpunkt*, München 1966.

56 Vgl. ebd., S. 40.

57 Vgl. Friedrich und Höhne: »Frischeregime«, S. 25.

schen Kälteexperimente umfassend, formuliert die Studie eine erste Theorie der Kryokonservierung.⁵⁸ Durch eigene Tiefkühlexperimente war Luyet zu der Einsicht gelangt, dass das größte Hindernis für die Kältekonservierung lebendigen Materials die Bildung von Eiskristallen ist.⁵⁹ Kristallisiert im Kühlprozess das in organischen Geweben anwesende Wasser, wird deren Zellstruktur zerstört. Dies nicht nur durch die physische Perforation der Zellmembran, wie Luyet erkannte, sondern auch, wie sich später noch zeigte, durch die erhöhte Elektrolytkonzentration in den Zellen, die als Nebenfolge der Kristallbildung einen Großteil der Gewebeschäden verursacht.⁶⁰

Um die fatale Wirkung des Frosts zu vermeiden, folgte Luyet, bedarf es eines Kühlverfahrens, das die Zellen dermaßen rasch abkühlt, dass das Wasser erstarrt, *bevor* die Kristallbildung einsetzt. Das Wasser muss also blitzschnell vom flüssigen in den festen Aggregatzustand versetzt werden. Luyet nannte dieses Verfahren *Vitrifizierung*. Es verwandelt die Flüssigkeit in eine glasig-amorphe Masse von extremer Viskosität. Vitrifiziertes Wasser ist zwar fest, aber kein Eis. Es ist genau genommen noch eine Flüssigkeit, denn die Wassermoleküle behalten die Konfiguration des flüssigen Aggregatzustands, aber das Wasser ist zu kalt und darum zu zähflüssig, um noch fließen zu können.⁶¹ Das Fließen der Flüssigkeit wird, kurz gesagt, so rasch verlangsamt, dass sie keine Zeit hat, zu gefrieren. Das Fließen wird durch Kälte aufgehoben. Das Gleiche gilt vom Wasser innerhalb der verglasten Zellen. Gelingt die Vitrifizierung, so die Hoffnung Luyets, stellt sie eine ideale Konservierungsmethode für lebende Zellen und Organismen dar.

In der Praxis ist die Methode in der von Luyet erstrebten Reinheit aber kaum durchführbar, und zwar umso weniger, je größer das Volumen des zu vitrifizierenden Objekts ist. Denn ein sich abkühlender Körper passt sich nicht sofort seiner Umgebungstemperatur an: Er kühlt zunächst an der Oberfläche ab und dann im Inneren allmählich aus. Somit bleibt Zeit für Kristallbildung und damit für Frostschäden. Die ab der Mitte des 20. Jahrhunderts einsetzenden Fortschritte der Kryobiologie führten schließlich zur Entdeckung von Frostschutzmitteln, wie etwa Glycerol,⁶² die das unerwünschte Kristallisieren von Wasser verhindern, indem die Wasserstoffbrücken

58 Basile J. Luyet und Marie Pierre Gehenio: *Life and Death at Low Temperatures*, Normandy, Mo. 1940.

59 Basile J. Luyet: »The vitrification of organic colloids and of protoplasm«, in: *Biodynamica* 1 (1937) Heft 29, S. 1–14.

60 James E. Lovelock: »Het mechanism of the protective action of glycerol against haemolysis by freezing and thawing«, *Biochimica et Biophysica Acta* 11 (1953), S. 28–36.

61 Masashige Kuwayama u.a.: »Vitrification: An Overview«, in: *Vitrification in Assisted Reproduction*, hrsg. v. Gautam Allahbadia, Masashige Kuwayama und Goral Gandhi, New Delhi 2015, S. 1–7.

62 Christopher Polge, Audrey U. Smith und Allan S. Parkes: »Revival of Spermatozoa after Vitrification and Dehydration at Low Temperatures«, in: *Nature* 164 (1949) Heft 4172, S. 666. Audrey U. Smith und J. Smiles: »Microscopic Observation of Living Cells During Freezing and Thawing«, in: *Journal of the Royal Microscopical Society* 71 (1951) Heft 2, S. 186–195. Seit den 1950er Jahren bezeichnete der Begriff »Vitrifizierung«, im Zusammenhang mit der Metho-

der H₂O-Moleküle unterbrochen werden. Somit lässt sich Wasser auf Temperaturen unter null abkühlen, ohne dass es gefriert. Es bildet dann eine unterkühlte Schmelze, die den Eiskristallen keinen Ansatz mehr zum Wachsen bietet.⁶³ Während also die Vitrifizierung dem Eis *keine Zeit* lässt, sich zu bilden, gibt die Unterkühlung (*supercooling*) dem Eis *keinen Raum*.

Mit dieser Technik wurden schließlich auch größere Säugetiere einer kryobiologischen Behandlung zugänglich.⁶⁴ Audrey Smith, eine Pionierin auf dem Gebiet der Kryokonservierung und Kollegin des Inaugurators der Kryobiologie Alan Parkes, hatte mit ihrem Team in den 1950ern Hamster tiefgeköhlt und einen Großteil der insgesamt 300 kältesuspendierten Nager erfolgreich wieder zum Leben erweckt.⁶⁵ Die Tiere wurden zunächst mehrere Tage mit dem Frostschutzmittel Propylenglykol gefüttert, bevor sie für das Kältebad präpariert und zu unterschiedlichen Bedingungen unter den Gefrierpunkt abgeköhlt wurden:

»The hamsters were enclosed singly in airtight jars, and were left in a cold room at + 2°C for 55 min. [...] The jars were [...] surrounded by crushed ice. When flaccid and comatose the animals were removed from the jar, transferred to a bath of ice-cold water and covered with crushed ice. [...] When the body temperature had been below 0° for 10 to 200 min the hamsters were either resuscitated or else they were used for determining the amount of ice formed [...].«⁶⁶

Während die Hamster oberflächlich so hart gefroren, »dass sie zu Eisklumpen w[u]rden, die man auf den Tisch knallen kann«⁶⁷, wie der 101-jährige Mitexperimentator James Lovelock aus der Retrospektive berichtet, blieb das Innere der meis-

de des ›Slow Freezings‹, einen Zustand kältekonservierter Zellen, die (nur) im Inneren eisfrei, von Eis aber umgeben sind. Luyet hingegen hatte völlige Eisfreiheit intendiert und in diesem Sinn wird der Begriff aktuell im Hinblick auf neuere Verfahren der Verglasung wieder verwendet. Vgl. Roger Gosden: »Cryopreservation: a cold look at technology for fertility preservation«, in: *Fertility and Sterility* 96 (2011) Heft 2, S. 264–268.

- 63 Die unterkühlte Schmelze ist jedoch metastabil, sie kann spontan kristallisieren, sobald ein erster sogenannter Kristallkeim entsteht. Auf ein erstes Kristall folgt ein zweites und dann schlagartig überall der Frost.
- 64 Kryoprotektive Substanzen sind allerdings in der Regel umso toxischer, je wirksamer sie sind. Um die frostgeschützten Gewebe vor der Giftwirkung des Frostschutzmittels zu bewahren, wurden eine ganze Reihe spezifischer Kryokonservierungsprotokolle entwickelt, bei denen sehr viel von der richtigen Geschwindigkeit abhängt – auch und insbesondere des Auftauens. Siehe dazu Anm. 52.
- 65 Audrey U. Smith, James E. Lovelock und Alan S. Parkes: »Resuscitation of Hamsters after Supercooling or Partial Crystallization at Body Temperatures Below 0° C«, in: *Nature* 173 (1954) Heft 4415, S. 1136–1137.
- 66 Audrey Smith: »Studies on golden hamsters during cooling to and rewarming from body temperatures below 0° C – I. Observations during chilling, freezing and supercooling. In: *Proceedings of the Royal Society of London. Series B – Biological Sciences* 145 (1956) Heft 920, S. 391–407, hier S. 395.
- 67 James Lovelock: »Niemand versteht Gaia«, Interview von Jonathan Watts, in: *der Freitag* 30/2020, 26.07.2020, <https://www.freitag.de/autoren/the-guardian/niemand-versteht-gaia> (zugegriffen 20.11.20).

ten Tiere weitestgehend eisfrei, sodass die lebenswichtigen Organe unversehrt blieben. Um die Hamster, die den Kühlprozess ohne letale Frostschäden überstanden, wiederbeleben zu können, musste allerdings sichergestellt werden, dass auch der Auftauprozess rasch genug verlief, um Eiskristallbildung zu vermeiden. Hier erwies sich der Einsatz von Mikrowellenstrahlen als zuverlässigste Aufwärmmethode.⁶⁸ Während die Verbesserung kühltechnischer Verfahren für die vorübergehende Suspension lebendiger Organismen zu neuen medizinischen Anwendungen geführt hat (etwa die Hypothermie), stellt die dauerhafte Kältekonserverung größerer Lebewesen aber nach wie vor ein unlöstes Problem dar.⁶⁹

Artifizielle Zustände: Lebendiges stillstellen, synchronisieren, zirkulieren

Das Verfahren der Vitrifizierung und der Einsatz von Gefrierschutzmitteln ermöglichten indessen die systematische Langzeitspeicherung einzelner Bestandteile unterschiedlichster Lebensformen – von Viren, Einzellern, Pflanzen, Tieren oder Menschen. Was dabei genau konserviert werden soll, kann sehr unterschiedlich sein: eine genetische Information, die Keimfähigkeit von Samen, die Transplantierbarkeit bestimmter Gewebe oder der metabolische Zustand von Zellkulturen. Der Stabilisierung von Zellkulturen kommt dabei eine weitere biotechnologische Zeitkonfigurationstechnik zustatten: die *Synchronisation* von Zellen als Voraussetzung der Erzeugung von ›continuous cultures‹ und permanenter Zelllinien. Dabei werden die Wachstums- und Teilungsphasen von In-Vitro-Kulturen z.B. durch kontrollierte Zufuhr bzw. den Entzug bestimmter Nährstoffe in ein gemeinsames Prozessstadium versetzt, etwa um eine bestimmte Teilungsrate, die kontinuierliche Produktion eines bestimmten Enzyms, populationsbezogene Forschungsdaten oder die dauerhafte Reproduktion der Zellen selbst (auch über ihre natürliche Lebensdauer hinaus) sicherzustellen. Derart stabilisiert können die Zellkulturen eingefroren, dauerhaft fixiert, an andere Forschungseinrichtungen verschickt oder für künftige Verwendungszwe-

68 Vgl. Radoslav K. Andjus und James E. Lovelock: »Reanimation of Rats from Body Temperatures Between 0 and 1° C by Microwave Diathermy«, in: *The Journal of Physiology* 128 (1955) Heft 3, S. 541–546. James E. Lovelock und Audrey U. Smith: »Hamsters during Cooling to and Rewarming from Body Temperatures below 0 degrees C. – III. Biophysical Aspects and General Discussion«, in: *Proceedings of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences* 145 (1956) Heft 920, S. 427–442.

69 Die prinzipielle Möglichkeit hat indessen die transhumanistische Idee der Kryonik, also der Langzeit-Kältekonserverung von Menschen, inspiriert. Vgl. Robert C. W. Ettinger: *The Prospect of Immortality*, Garden City 1964. Während die Kryonik, die seither – auf die Wiederbelebung Verstorbener durch eine Medizin der fernen Zukunft hoffend – zu einer Reihe von Tiefkühlbestattungen geführt hat (vgl. <https://alcor.org>), sich als Anwendung der Kryobiologie versteht, distanzieren sich Kryobiologen von der Kryonik als einer unseriösen Praxis ihrer Wissenschaft. Vgl. Mike Darwin: »Cold War: The Conflict Between Cryonicists and Cryobiologists«, in: *Cryonics* 12 (1991) Heft 131, S. 4–16 und Heft 132, S. 2–14.

cke archiviert werden. Archive dieses Typs, d.h. Kryobanken wie etwa die American Type Culture Collection (ATCC) oder die Deutsche Sammlung von Mikroorganismen und Zellkulturen (DSMZ) und deren internationale Vernetzung, stellen inzwischen eine unverzichtbare Infrastruktur der biotechnologischen, agrikulturellen und pharmazeutischen Forschung, d.h. eine *Forschungstechnologie* – auch von nationalen wie internationalen Behörden für Umweltschutz, Lebensmittelkontrolle und Gesundheitsvorsorge, dar.

Die kryogene Kontrolle der biologischen Eigenzeit – das Vermögen, sie beliebig anhalten und wieder fortsetzen zu können – ermöglicht deren umfassende Operationalisierung. Zwar wird dabei die Temporalität der ›natürlichen‹ Lebensprozesse nicht *direkt* gesteuert. Doch eröffnet die kryogene Disponibilität biologischer Eigenzeit vielfältige Möglichkeiten ihrer (Neu)Konfiguration – und damit neue Weisen der Zeitigung des Lebendigen selbst. Durch die Konfigurierbarkeit der biologischen Zeit mittels spezifischer Kühlprotokolle wird die Verfasstheit der temporal disponierten Lebensformen nicht nur epistemisch, sondern auch operativ in einer neuen Weise zugänglich. Anders als in den bisher vorgestellten Beispielen unseres Beitrags stellt die modifizierte Temporalität der technowissenschaftlichen Artefakte nicht nur eine Sicht- und Manipulierbarkeit des sonst Unsichtbaren und Indisponiblen her. Sie bringt das Modifizierte selbst in eine neue Existenzweise. Denn im kryokonservierten Zustand der *suspended animation* verwandeln sich lebendige Entitäten, die wachsen, altern, interagieren, sich anpassen, reproduzieren und mutieren, sich also *ständig verändern*, in *unveränderliche* Objekte, die sich nun mithilfe der Kühlkette leicht zwischen verschiedenen Laboren zirkulieren und austauschen lassen: *immutable mobiles* in einem phänomenotechnischen Sinne.⁷⁰

6. Diskussion: Phänomenotechnik des Zeitlichen⁷¹

Als ›artifizielle Zeitkonfigurationsräume‹ sind Labore auch Phänomenotechniken des Zeitlichen. Diese Techniken zielen darauf ab, die Zeitlichkeit natürlicher Prozesse sichtbar, beschreibbar, berechenbar, manipulierbar und schließlich instrumentalisierbar zu machen. Als Zeittechniken ›verwirklichen‹ sie dabei im Sinne Bachelards komplexe, artifizielle temporale Regime, insofern Wissenschaft im Experiment

»nach Möglichkeiten sucht, das Konzept zu komplizieren, es gegen den Widerstand des Konzeptes anzuwenden, um so die Anwendungsbedingungen zu verwirklichen, die die

70 Wenn Latour erklärt: »the logistics of immutable mobiles is what we have to admire and study« (Bruno Latour: *Science in Action: How to Follow Scientists and Engineers Through Society*, Cambridge 1987, S. 237), dann gehört zu dieser Form der Logistik hier insbesondere jene der Kühlkette.

71 Ein erster Überblick über Temporalitätsformen des Experimentellen findet sich bei Gramelsberger, »Figurationen des Phänomenotechnischen«, a.a.O.

Wirklichkeit nicht zustande gebracht hat. An diesem Punkt merkt man, daß die Wissenschaft ihre Objekte verwirklicht, ohne sie jemals ganz fertig vorzufinden. Die Phänomentechnik erweitert die Phänomenologie. Ein Konzept wird in dem Maße wissenschaftlich, wie es technisch wird, wie mit ihm eine Technik der Verwirklichung einhergeht.«⁷²

Diese Verwirklichung eröffnet eine Phänomentechnik des Zeitlichen, die die Kriterien der Stabilisierung, wie sie von Bruno Latour und Hans-Jörg Rheinberger für die »epistemischen Objekte« der Forschung beschrieben wurden, erweitert.⁷³ Stabilisierung meint bei Latour und Rheinberger, den »prekären Status« der epistemischen Dinge, »in ihrer experimentellen Präsenz abwesend zu sein,« zu verfestigen; sie anwesend zu machen.⁷⁴ Eine Phänomentechnik des Zeitlichen bringt den Gegenstand des Experiments auch zur Erscheinung, aber auf eine besondere Weise, und zwar *indem* sie seine Temporalität disponibel und konfigurierbar macht. Das epistemische Ding, mit dem es eine solche Technik zu tun hat, kann nur über die Kontrolle seiner temporalen Prozesse stabilisiert werden. Die dazu nötigen artifiziellen, temporalen Regime sind die technischen Bedingungen dafür. Ihre Experimentalsysteme respektive Forschungstechnologien sind als Zeittechniken »research enabling technologies«, wie sie Rheinberger beispielsweise für die Flüssigkeitsszintillationszähler beschrieben hat.⁷⁵ Forschungstechnologien werden zunächst für spezifische Experimente entwickelt und avancieren dann aufgrund ihrer interpretativen und operativen Flexibilität zu »cascades of secondary apparatus, which are in turn used to solve a range of problems«. ⁷⁶ So eröffnen sie neue Forschungsbereiche und werden für diese generisch.⁷⁷ Viele der Forschungstechnologien entpuppen sich bei genauerer Analyse vermutlich als Zeittechniken, die den prekären Status des Zeitlichen anhand technischer Manipulationen des Prozessualen stabilisieren. Die Ultrazentrifuge von Theodor Svedberg beispielsweise beschleunigt Proben von ursprünglich 20.000 Umdrehungen in der Minute bis zu 500.000 Umdrehungen und damit auf bis zu 10^6 g

72 Bachelard: *Die Bildung des wissenschaftlichen Geistes*, S. 111.

73 Vgl. Latour: »Von der Fabrikation zur Realität. Pasteur und sein Milchsäureferment«, a.a.O.; Hans-Jörg Rheinberger: *Experimentalsysteme und epistemische Dinge. Eine Geschichte der Proteinsynthese im Reagenzglas*, Göttingen 2002.

74 Rheinberger: *Experimentalsysteme und epistemische Dinge*, S. 25.

75 Hans-Jörg Rheinberger: »Putting isotopes to work: liquid scintillation counters, 1950–1970«, in: Bernward Joerges und Terry Shinn (Hrsg.): *Instrumentation Between Science, State and Industry*, Dordrecht u.a. 2001, S. 143–174, hier S. 144. Vgl. Terry Shinn und Bernward Joerges: »The Transverse Science and Technology Culture: Dynamics and Roles of Research-technology«, in: *Social Science Information* 41 (2002) Heft 2, S. 207–251; Shinn: *Research-Technology and Cultural Change*, a.a.O. Zu dem verwickelten Verhältnis von Technik und Technologie siehe oben, Anm. 8.

76 Joerges und Shinn (Hrsg.): *Instrumentation*, S. 9.

77 Beispiele sind hier, neben der Ultrazentrifuge, der Flüssigkeitsszintillationszähler oder die von Myles Jackson ausführlich beschriebene Spektrometrie, die Joseph von Fraunhofer Anfang des 19. Jahrhunderts entwickelte und die die Grundlage für die spektrometrischen Messungen der »stop and flow« Forschungen war. Vgl. Myles Jackson: »From theodolite to spectral apparatus: Joseph von Fraunhofer and the invention of a German optical research-technology«, in: Joerges und Shinn (Hrsg.): *Instrumentation*, S. 17–28.

heutzutage. Dadurch lassen sich gelöste Makromoleküle anhand ihrer Bewegungsgeschwindigkeit sortieren und spezifische Teilchen wie Proteine oder Viren isolieren.⁷⁸

Auch die Kryotechnologie ist heute eine weitverbreitete Forschungstechnologie. Im Bereich der molekularbiologischen und biomedizinischen Forschung stellt die Kryokonservierung inzwischen eine *conditio sine qua non* der Biotechnologie dar. Sie verwandelt biologische Entitäten in stabile Referenzobjekte bzw. Produktionsmittel. Sie erfüllen dank Tieftemperaturspeicher und Kühlkette, die weltweit dauerhaft zu hinreichend genau kontrollierbaren Bedingungen verfügbar gehalten werden, eine notwendige Voraussetzung für reproduzierbare biologische Experimente, die ihrerseits auf der Operationalisierung biochemischen Wissens beruhen, die sich wiederum in wesentlichen Teilen der Forschung zur Kinetik der Enzymreaktionen verdankt.

Historizität der artifiziellen Zeitlichkeit

Dies macht deutlich, dass Zeitkonfigurationstechniken mittlerweile essentiell für das Forschen und Leben in hochtechnisierten Gesellschaften sind und dass die Entwicklung zunehmend komplexer Zeitregime und Zeittechniken der Beherrschung von Zeitlichkeit selbst eine Historie einschreibt. Es gehört zu der Eigentümlichkeit von Forschungstechnologien, dass sie über Fach- und Laborgrenzen hinausdrängen, weil schon die Entwicklung solcher Hochtechnologien einen hohen Grad interdisziplinärer und intersektionaler Kooperation mit sich bringt, die sich u.a. in der auch für Big Science typischen Allianzbildungen aus Wissenschaft und Industrie bekundet.⁷⁹

Als Beginn der technogenen Erforschung von Zeitlichkeit in diesem Sinne lassen sich das Lineare und gleichförmig Beschleunigte der Newton'schen Mechanik mit den dafür nötigen Zeittechniken wie Uhren und Pendeln nennen. Es ist die Strömungsdynamik, die zu Zeitregimen führt, die wesentlich komplexere Zeitkonfigura-

78 »The rotor, consisting of two arms and a slotted disk, was mounted [in 1923] inside a steel box (to control temperature and air currents) and driven by an electric motor capable of spinning at 20,000 rpm. [Ultraviolet] light was passed from below to image the sedimentation, with the slotted metal disk only allowing light through when the sample was aligned with the beam. With a camera the progressive movement of the particles could be imaged and quantified, using a model based on Stokes' Law. It worked beautifully.« Andrea Sella: »Svedberg's ultracentrifuge«, in: *Chemistry World*, 4. Juni 2019, <https://www.chemistryworld.com/opinion/svedbergs-ultracentrifuge/3010533.article> (abgerufen: 30.12.2019). Vgl. Theodor Svedberg: »The ultracentrifuge«, (Nobel Lecture 19. Mai 1927), in: H. Grünewald (Hrsg.): *Nobel Lectures, Chemistry 1922–1941*, Amsterdam 1966, S. 67–83.

79 Vgl. Joerges und Shinn (Hrsg.): *Instrumentation*, S. 9–10. Zur Allianzbildung von Big Science und Big Business in der Geschichte der Kühltechnik siehe Alexander Friedrich und Stefan Höhne: »Frischeregime. Biopolitik im Zeitalter der kryogenen Kultur«, in: *Glocalism: Journal of Culture, Politics and Innovation* 1–2 (2014), S. 27.

tionen verwirklichen wie das Equilibrium, das Rekurrente, das nicht-linear Oszillatorische bis hin zum Chaotisch-Turbulenten wie dem Trudeln.⁸⁰ Pendel und Uhren als gleichförmige Zeitmesser reichen hier nicht mehr aus. Was gefordert ist, sind Phänomenotechniken der Sichtbarmachung und Fixierung dynamischer temporaler Zusammenhänge – seien dies die Hochfrequenzphotographie, zeitbasierte Medien wie der Film oder digitale, sensorbasierte Datenerhebungs- und Aufzeichnungsverfahren.⁸¹ So scheint es sinnvoll, sich einer Geschichte der artifiziellen Zeitlichkeit über personen-, theorie- und institutionszentrierte Zugänge hinaus in einer technik- und medienhistorischen Perspektive anzunähern. Insbesondere der Film als Wissenschaftsmedium – Jimena Canales spricht in diesem Zusammenhang von einem ›*cinematographic turn*‹ in den Wissenschaften um 1900 –⁸² macht es möglich, das durch Zeitmanipulationen Sichtbargemachte aus dem Labor hinauszutragen und über zeitliche und räumliche Grenzen einem breiten Publikum zugänglich zu machen. Auf die zentrale Bedeutung und Vergleichbarkeit zeitbasierter Medien in Experimenten hat Hannah Landecker hingewiesen:

»It was as though a whole new world of temporal phenomena, previously below the threshold of perception, was opened up by the manipulation of the time of observation compared to the time of the experiment. Paying attention to the specificity of film as a time-based medium is key to understanding its emergence and then departure from scientific photography; this temporal dimension allowed new forms of recording and analysis in a wide array of disciplines. It is also one way to think through the significance of scientific film so as to connect it both to other concerns in the history of science and to other instances of the introduction of new media, such as computer modeling, into science in the twentieth century.«⁸³

Fallstudien und Analysen zeitbasierter Instrumente, Medien und/oder Technologien lassen im Idealfalle Erkenntnisse zutage treten, die über den spezifischen technischen oder wissenschaftlichen Bereich hinausreichen. Dadurch werden neue Wirklichkeitsverhältnisse wie das kinematische Sehen, das kinetische Denken und das kryogene Leben ermöglicht.

80 Bezüglich einer solchen Historie der wissenschaftlichen Temporalitätsformen vgl. Gramelsberger: »Figurationen des Phänomenotechnischen«, a.a.O.

81 Hannah Landecker beschreibt den Einsatz von Film als Forschungsmittel als »manipulation of the experiment, observation, and demonstration«. Hannah Landecker: »Microcinematography and the History of Science and Film«, in: *Isis* 97 (2006), Heft 1, S. 121–132, hier S. 131.

82 Vgl. Jimena Canales: »Photogenic Venus. The ›Cinematographic Turn‹ and Its Alternatives in Nineteenth-century France«, in: *Isis* 93 (2002), Nr. 4, S. 585–613.

83 Landecker: »Microcinematography and the History of Science and Film«, S. 123.

Aufgrund ihrer temporalen Manipulationen haben Zeitkonfigurationstechniken eine ähnlich anschauungserweiternde Funktion wie mikroskopische oder teleskopische Instrumente.⁸⁴ Svedberg beispielsweise sah seine Ultrazentrifuge als Apparat »to see ›ultra‹ – to see beyond«.⁸⁵ Diese anschauungserweiternde Dramatisierung des Zeitlichen ist eine Charakteristik der nachmodernen Wissenschaft, die sich nicht nur für stabile, langsame und gleichförmige Prozesse, sondern für instabile, katalytische, verlangsamte, beschleunigte Prozesse interessiert, die zu klein oder zu groß, zu schnell oder zu langsam für die menschliche Wahrnehmung sind.⁸⁶ So sind auch die der Mikroskopie zugehörigen Verfahren des Trocknens und Färbens von Präparaten unterschiedlicher Entwicklungsstadien biologischer Spezimen als Beobachtungstechniken temporaler Strukturen zu verstehen, indem sie Momentaufnahmen einer Bewegung fixieren, die dann – gleichsam kinematographisch – in ihrer Sukzession unabhängig von ihrer Eigenzeit studiert werden kann.⁸⁷ Die entsprechenden Zeittechniken der Forschung sind die ›Chronoskope‹ des kinetischen Denkens. Mit ihnen entstehen unzählige ›artifizielle Zeitkonfigurationsräume‹, die so nur in den Wissenschaftslaboren und ihren industriellen Ablegern realisierbar sind.

Auch ist es kein Zufall, dass im 20. Jahrhundert das ›Computerlabor‹ als paradigmatische Prozesstechnologie entsteht: »to imitate one process by another process [...] carried out by a computer«.⁸⁸ Computersimulationen bringen die bis dahin statischen mathematischen Modelle zum Laufen und ermöglichen so das Studium der nichtlinearen Dynamik komplexer Systeme.⁸⁹ Zeittechniken als Forschungstechnologien wie Computersimulationen sind Ausdruck einer ›operativen Epistemologie‹, die das Prozessuale in den Blick nimmt, indem es mit und auf Prozessen operiert

84 Dass Mikroskope zwar nicht einfach Vorhandenes bloß sichtbar machen, aber dennoch als Anschauungserweiterung verstanden werden können, nämlich indem sie unseren *Begriff* von Sehen erweitern, zeigt Ian Hacking: *Representing and Intervening: Introductory Topics in the Philosophy of Natural Science*, Cambridge, New York 1983, S. 186–209.

85 Sella: *Svedberg's ultracentrifuge*, a.a.O.

86 Bezüglich Instabilitäten als Basis der nachmodernen Physik vgl. Jan Cornelius Schmidt: *Instabilität in Natur und Wissenschaft: Eine Wissenschaftsphilosophie der nachmodernen Physik*, Berlin 2008.

87 Vgl. Bock von Wülfigen: »Observing temporal order in living processes«, S. 99. Zur Mikrokinematographie des Lebendigen vgl. Christopher Kelty und Hannah Landecker: »Eine Theorie der Animation. Zellen, Film und L-Systeme«, in: Schmidgen (Hg.): *Lebendige Zeit*, S. 314–348.

88 Stephan Hartmann: »The World as a Process«, in: Rainer Hegselmann, Ulrich Müller und Klaus G. Troitzsch (Hrsg.): *Modelling and Simulation in the Social Sciences from the Philosophy of Science Point of View*, Dordrecht 1996, S. 77–100, hier S. 77 u. 79.

89 Vgl. George D. Birkhoff: *Dynamical Systems*, New York 1927. Andrej Kolmogorov: »General Theory of Dynamical Systems and Classical Mechanics« (1954), in: *Mathematics and Its Applications* (Soviet Series) 25 (1991), S. 355–374. Stephen Smale: »On Dynamical Systems«, in: *Bulletin of the Mathematical Society Mexicana* 5 (1960), S. 195–198. Hedrich: *Die Entdeckung der Komplexität*, a.a.O.

und deren Zeitlichkeit manipuliert, vergegenwärtigt und sichtbar macht.⁹⁰ Als solche sind sie immer medial und technisch verfasst, insofern sie Zeit mittels Prozessualität dehnen, beschleunigen, transformieren oder aufheben. Die operative Epistemologie der Zeittechniken ist die Bedingung der »explorativen Epistemologie« der Experimente.

Die Zeitkonfigurationstechnologie der Kryokonservierung geht noch weiter, insofern sie eine nicht nur epistemische – sollte man sagen: eine ontologische – Herstellung der Gleichzeitigkeit des Ungleichzeitigen ermöglicht. Rupert E. Billingham und Peter Medawar, bekannt für ihren Nachweis der Immuntoleranz, haben im Kontext ihrer Hauttransplantationsexperimente in den 1950er Jahren den Begriff der »Altersschimäre« geprägt: die Verpflanzung kryokonservierten Gewebes eines Organismus »to its own self when it has grown older«⁹¹. Das Konzept der »age chimaera (an organism whose parts are of the same genetical constitution but of different developmental ages)«⁹² würde infolge des Fortschritts der Reproduktionsmedizin heute auch auf eine schwangere Frau zutreffen, die im Zuge einer »*Social Freezing*«-Behandlung (also der Kryokonservierung menschlicher Eizellen für private Reproduktionszwecke) ihrem *older self* eine Eizelle re-implantieren lässt, die sie ihrem *younger self* einst entnehmen ließ.⁹³ Dass die Bezeichnung »Altersschimäre« dafür heute anachronistisch erschiene, liegt auch daran, dass diese Zeitkonfigurationstechnik längst Teil moderner Zeitmanagement- und Lebensführungsstrategien (etwa der Familienplanung) geworden ist – die unterschiedliche Zeitebenen (von der biologischen Eigenzeit der Zelle bis zum Zeitregime moderner Arbeits- und Lebensverhältnisse) miteinander synchronisiert.⁹⁴ Diese Form der Optionalisierung biographischer Lebenszeit im Zuge des »*Social Freezings*« beruht auf der Verkreuzung zweier biologischer Zeitpunkte, die Landecker als Zeitschleife beschrieben hat: »Freezing looped the *line* in lineage, making two of its points cross«⁹⁵. Da sich durch die Kreuzung indes keine Zirkularität ergibt, wäre es vielleicht genauer, von einer *Faltung* des temporalen Prozesses zu sprechen, dessen Krümmung zwei Stränge entstehen lässt, die gleichsam aufeinander geklappt werden, sodass sie sich in zwei Punkten miteinander verbinden, um danach *linear* weiter zu verlaufen. Das *Kreuzen* bzw. *Falten* sind zwei Techniken einer Neukonfiguration von Zeit, die durch ihre Aufhebung ermöglicht werden.

90 Vgl. Gabriele Gramelsberger: *Operative Epistemologie. (Re-)Organisation von Anschauung und Erfahrung durch die Formkraft der Mathematik*, Hamburg 2020.

91 Rupert E. Billingham und Peter B. Medawar: »The Freezing, Drying and Storage of Mammalian Skin«, in: *Journal of Experimental Biology* 29 (1952) Heft 3, S. 454–468; hier S. 466.

92 Ebd.

93 Zu Social Freezing als kryogenem Zeitregime vgl. Alexander Friedrich: »A cold yield. Cryopreserved oocytes of »social freezing« customers as potential option values for biomedical research«, in: *New Genetics and Society* 39 (2020), Heft 3, S. 327–351.

94 Vgl. Waldby: »Banking Time«, in: *Culture, Health & Sexuality*, S. 470–482.

95 Landecker: »Living Differently in Time«, S. 216.

Hinsichtlich ihres Gebrauchs zur Fixierung aktueller Zustände veränderlicher Entitäten lässt sich die Kryokonservierung damit zunächst als eine avancierte Fortschreibung der mikroskopischen oder mikrokinematographischen Chronoskopie verstehen, indem sie vergangene Zustände des Lebendigen für die Gegenwart und auch für die Zukunft noch referenzier- und lesbar hält, sofern sie eine retrospektive Vergegenwärtigung vergangener evolutionärer Zustände ermöglicht – etwa der Verfasstheit eines Malaria-Erregers vor der Ausbildung seiner Resistenz gegen medizinische Wirkstoffe, so dass sich aus dem Vergleich der verschiedenen evolutionären Zeitschichten der Mechanismus der Immunisierung studieren lässt.⁹⁶ Doch indem es ihr gelingt, den vitalen Prozess durch die Suspension seiner Eigenzeit selbst zu konservieren, stellt die Kryokonservierung darüber hinaus eine höherstufige Form von Zeitkonfigurationstechnik dar. Die temporalen Strukturen, die sie konfiguriert, dienen nicht nur der Herstellung spezifischer Phänomene im Labor, sondern sie erzeugt Phänomene, die auch außerhalb des Labors beginnen, unsere Wirklichkeit zu bevölkern. Mit der Möglichkeit der Kryokonservierung von Keimzellen ist die Temporalität von Reproduktions- und Wachstumsprozessen insgesamt disponibel geworden. Die Operationalisierung der biologischen Zeit hat damit nicht nur die Art und Weise, wie wir das Lebendige sehen und verstehen, sondern die Existenzweise des Lebendigen selbst modifiziert. In dieser Hinsicht ist die kryobiologische Phänomenotechnik des Zeitlichen nicht nur *chronoskopisch*, sondern vielmehr *chronomatisch* zu verstehen. Oder um noch einmal in den Worten Hannah Landeckers zu sprechen:

»Being a cellular entity after cryobiology and cell synchrony means being freezable and open to artificial synchronization; any live thing made of cells, after these interventions, becomes an object that can be stopped and started, suspended and accelerated.«⁹⁷

Beruhet die Operationalisierung biologischer Zeit auf ihrer Suspension im Labor, ermöglicht sie zugleich eine ganze Reihe temporaler Anschlussoperationen im Verhältnis zu ihrem Außen: die Dehnung, Verzögerung, Faltung, Optionalisierung und Potentialisierung biologischer Zeitlichkeit. Als eine Zeitkonfigurationstechnik hat die Kryokonservierung damit nicht nur unsere Anschauung vom Leben, sondern auch das Leben selbst und unser Verhältnis zu ihm erweitert und verändert.

Neue Wirklichkeitsverhältnisse zu stiften – das ist etwas, das allen hier betrachteten Zeitkonfigurationstechniken zukommt, wenn auch in unterschiedlicher Weise. Wie unsere Fallstudien zeigen, lassen sich diese Techniken als temporale Forschungstechnologien verstehen, die mittels spezifischer Verfahren laborwissen-

96 Joanna Radin: »Unfolding Epidemiological Stories: How the WHO Made Frozen Blood into a Flexible Resource for the Future«, in: *Studies in History and Philosophy of Science Part C: Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences* 47 (2014), S. 62–73.

97 Hannah Landecker: »Living Differently in Time: Plasticity, Temporality and Cellular Biotechnologies«, in: Jeanette Edwards, Penelope Harvey und Peter Wade (Hrsg.): *Technologized Images, Technologized Bodies*, New York 2010, S. 211–236, hier S. 220.

schaftliche Gegenstände erzeugen, indem sie deren Zeitlichkeit disponieren. Als Phänomenotechniken des Zeitlichen eröffnen sie dabei ebenso neue Wirklichkeitsverhältnisse, in unserem Fall: des kinematischen Sehens, des kinetischen Denkens und des kryogenen Lebens. Die Form modaler Wirksamkeit, diesseits wie jenseits des Labors, ist ein allgemeines Charakteristikum von Zeitkonfigurationstechniken – dieser Vermutung nachzugehen, darf künftigen Studien vorbehalten bleiben.

